



อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน
ภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

โดย

นางสาวพิชามณูชู้ ลีทองอิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน
ภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

โดย

นางสาวพิชามณูชु ลีทองอิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

THE IMPACT OF GREEN AREA AND SURFACE ON ENERGY SAVING
IN DETACHED HOUSE

BY

MISS PICHAMON LEETONGIN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวพิชามณูชु ลีทองอิน

เรื่อง

อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัย
ประเภทบ้านเดี่ยว

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

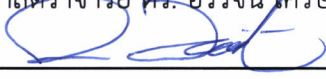
เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



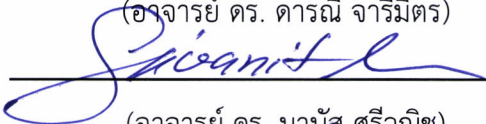
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน ศรีสุบุตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร. มานัส ศรีวณิช)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ เกลิมวัฒน์ ตันตสวัสดี)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว
ชื่อผู้เขียน	นางสาวพิชามณูชู่ ลีทองอิน
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร. ดารณี จาริมิตร
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลและเปรียบเทียบรูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำมาความเย็นของเครื่องปรับอากาศในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยวในพื้นที่เขตพักอาศัยชานเมือง และเสนอแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมเพื่อการประหยัดพลังงาน ขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4 โดยพิจารณาจากความสอดคล้องของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างพื้นที่เขตพักอาศัยที่สำรวจกับแบบจำลองกรณีตั้งต้น ช่วงที่ 2 วิเคราะห์สภาพอากาศระดับจุลภาคผ่านโปรแกรม ENVI-met V4 ของแบบจำลองกรณีศึกษา 16 กรณีที่ปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกจากแบบจำลองกรณีตั้งต้น เพื่อนำสภาพอากาศที่ได้มาสร้างเป็นฐานข้อมูลสภาพอากาศสำหรับการจำลองพลังงาน และช่วงที่ 3 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านโปรแกรม eQUEST 3.65 โดยใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศข้างต้น เพื่อพิจารณาแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมในการประหยัดพลังงาน

ผลการวิจัยจากการจำลองสภาพอากาศระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยวในกรณีศึกษาพบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมประกอบด้วย พื้นที่สีเขียว (ปริมาณและตำแหน่งของไม้ยืนต้น) วัสดุปกคลุมผิวพื้น (ไม้คลุมดินหรือกระเบื้องเซรามิก) และสีของผนัง (อ่อนหรือเข้ม) มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาค ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจายและความเร็วลม โดยพื้นที่สีเขียวที่ปลูกไม้ยืนต้น 3 ต้นรอบบ้านส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรงและความเร็วลม ขณะที่วัสดุปกคลุมผิวพื้นจากการใช้ไม้คลุมดินส่งผลต่อการลดลงของรังสีกระจาย เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาพบว่า กรณีศึกษาที่จัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นรอบบ้าน 3 ต้น ไม้คลุมดินและสีผนังอ่อน สามารถลดอุณหภูมิอากาศและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด กรณีศึกษาที่จัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นรอบบ้าน 3 ต้น ไม้คลุมดินและสีผนังเข้มสามารถดั่งสีตรงมากที่สุด กรณีศึกษาที่จัดสภาพแวดล้อมไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่มีไม้คลุมดินและสีผนังเข้มสามารถดั่งสีกระจายมากที่สุด กรณีศึกษาที่จัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นรอบบ้าน 3 ต้น กระเบื้องเซรามิกและสีผนังเข้มสามารถเพิ่มความเร็วลมมากที่สุด

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในบ้านเดี่ยวของกรณีศึกษา 16 กรณีได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศระดับจุลภาคและสภาพแวดล้อมข้างเคียงแตกต่างกัน กรณีศึกษาที่จัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นรอบบ้าน 3 ต้น พื้นกระเบื้องเซรามิกและสีผนังอ่อนมีปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด 5,730.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี แตกต่างจากกรณีศึกษาที่ใช้พลังงานมากที่สุดถึงร้อยละ 12.87 เมื่อพิจารณาตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงานพบว่า ไม้ยืนต้น 3 ต้นที่ปลูกรอบบ้านเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนการเลือกวัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด แนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมเพื่อการประหยัดพลังงานควรปลูกไม้ยืนต้นรอบบ้าน โดยเฉพาะทางทิศใต้ และใช้ผนังสีอ่อน ส่วนวัสดุปกคลุมผิวพื้นระหว่างไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิกไม่มีความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงาน เนื่องจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: พื้นที่สีเขียว, วัสดุผิว, สภาพอากาศระดับจุลภาค, ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ, การประหยัดพลังงาน, บ้านเดี่ยว, พื้นที่เขตพักอาศัย, ENVI-met V4, eQUEST 3.65

Thesis Title	THE IMPACT OF GREEN AREA AND SURFACE ON ENERGY SAVING IN DETACHED HOUSE
Author	Miss Pichamon Leetongin
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Daranee Jareemit, Ph.D
Academic Years	2016

ABSTRACT

This research has objectives to study an impact and compare green area and different surface scenarios that has an effect to microclimate and energy consumption for space cooling in detached house around suburban neighborhood. At the end, there are also suggestions on environmental design guideline for energy saving. The research consists of three parts: (1) Reliability validation of ENVI-met V4: This is done by comparing the actual measured field data and the simulated values of a base case both air temperature and relative humidity; (2) Using ENVI-met V4 to conduct microclimate analysis: 16 case study scenarios are simulated by adapting green area and surface from each base case. The simulated microclimate outputs are created as a weather database for energy simulation applying in the next stage; (3) Energy consumption analysis by eQUEST 3.65 using the weather database in order to use as a guideline in the design.

The result from the microclimate simulation around detached house of case study scenarios showed environment variation factors which consist of green area (quantity and position of trees), surface material (groundcover plant or ceramic tiles) and wall color (light or dark) affect microclimate: temperature, relative humidity, direct solar radiation, diffuse solar radiation and wind speed. Three (3) trees planted around the house definitely affected air temperature, relative humidity,

direct solar radiation and wind speed, while surface material (groundcover plant) provided diffuse solar radiation reduction. Case study scenarios comparison demonstrated that a case study which had 3 trees around the house, groundcover plant and light wall color, gave the lowest air temperature but highest relative humidity. Another case study, having 3 trees around the house, groundcover plant and dark wall color, could reduce maximum direct solar radiation. Another different case study, without any tree but with groundcover plant and dark wall color, minimized the most diffuse solar radiation. A case study, having 3 trees around the house, ceramic tiles and dark wall color, increased a notable wind speed.

Energy consumption for space cooling in detached house of case study scenarios was influenced by microclimate and environment. A case study, having 3 trees around the house, ceramic tile and light wall color, consumed the least energy approximately only 5,730.90 kWh per annum. There is a difference from a case study consumed the highest energy at 12.87%. Environment variation factors which affected energy consumption demonstrated that 3 trees around the house were significant in changing the most energy consumption, while surface material resulted in the least energy consumption. An environmental design guideline for energy saving recommends planting tree around the house, especially facing South, and using light wall color. However, surface material between groundcover plant and ceramic tiles did not show a drastic difference of energy consumption due to their similar property of material.

Keywords: Green Area, Surface Material, Microclimate, Energy Consumption for Space Cooling, Energy Saving, Detached House, Neighborhood, ENVI-met V4, eQUEST 3.65

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.ดารณี จาริมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำปรึกษาด้านวิชาการและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.มานัส ศรีวิณิช กรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย และการใช้โปรแกรม ENVI-met V4 รวมถึงให้ความกรุณาในการอนุญาตใช้เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี เศรษฐบุตุร จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำและความรู้เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีเนื้อหาที่ครบถ้วน

ขอขอบพระคุณ คุณประสงค์ รักสินเจริญศักดิ์ ผู้ประสานการติดต่อขอเข้าสำรวจในโครงการหมู่บ้านจัดสรร ผู้จัดการโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่ให้โอกาสเข้ามาทำวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายสำนักงานช่าง ฝ่ายสำนักงานขายและผู้ที่เกี่ยวข้องที่ให้ข้อมูลและความดูแลเอาใจใส่ขณะที่จัดเก็บข้อมูล

ขอขอบพระคุณ คุณสมควร ช้างเอม ผู้อำนวยการความสะอาดสำหรับการติดต่อขอข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา คุณพัฒนา รัตนนาวาทอง และ Mr. Michael O'Keefe ผู้ให้คำปรึกษาในการสร้างและแก้ไขฐานข้อมูลสภาพอากาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.เจริญ อาทิตยา ผู้ให้คำปรึกษาในการเรียบเรียงและขัดเกลาบทคัดย่อในวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายบัณฑิตศึกษา ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศและฝ่ายอาคารสำหรับอำนวยความสะดวกในการใช้งานห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม ผู้ให้คำปรึกษาในการใช้โปรแกรม eQUEST 3.65 เพื่อนและรุ่นน้อง ผู้ช่วยจัดทำข้อมูลสภาพอากาศ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัว โดยเฉพาะคุณพ่อ นพ.กฤษ ลิ้มทองอิน และคุณแม่ ดร.พรใจ ลิ้มทองอิน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ตรวจทานวิทยานิพนธ์ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจนสามารถสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

นางสาวพิชามณูชุลี ลิ้มทองอิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(13)
สารบัญภาพ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 คำถามวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	4
1.5.1 การออกแบบการจำลอง	4
1.5.1 การวิเคราะห์และสรุปผล	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7 นิยามศัพท์	5
1.8 กรอบแนวคิดการวิจัย	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การประหยัดพลังงาน	7

2.1.1	รูปแบบการใช้พลังงาน	7
2.1.1.1	การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ	7
2.1.1.2	การใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง	7
2.1.1.3	การใช้พลังงานในการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า	8
2.1.2	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ	8
2.1.2.1	สภาพแวดล้อมที่ตั้งของโครงการ	9
2.1.2.2	วัสดุเปลือกอาคาร	9
2.1.2.3	รูปทรงของอาคาร	11
2.1.2.4	ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	11
2.2	สภาพอากาศ	11
2.2.1	อุณหภูมิอากาศ	12
2.2.2	ความชื้นสัมพัทธ์	13
2.2.3	รังสีดวงอาทิตย์	13
2.2.3.1	ประเภทของรังสี	13
2.2.3.2	การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	15
2.2.4	ลม	17
2.3	พื้นที่สีเขียว	18
2.3.1	ความหมายของพื้นที่สีเขียว	18
2.3.2	ประเภทของพืชพรรณ	18
2.3.2.1	การจำแนกพืชพรรณตามฤดูกาล	18
2.3.2.2	การจำแนกพืชพรรณตามการสังเคราะห์แสง	18
2.3.2.3	การจำแนกพืชพรรณตามการจัดภูมิทัศน์	20
2.3.3	บทบาทของพื้นที่สีเขียว	21
2.3.3.1	การสร้างร่มเงา	21
2.3.3.2	การคายระเหย	22
2.3.3.3	การปรับเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วลม	23
2.3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและอุณหภูมิอากาศ	24
2.4	วัสดุผิวภายนอก	25

2.4.1 ความหมายของวัสดุผิวภายนอก	25
2.4.2 คุณสมบัติของวัสดุผิวภายนอก	25
2.4.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน	25
2.4.2.2 คุณสมบัติของผิววัสดุที่ส่งผลต่อการแผ่รังสีความร้อน	26
2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผิวภายนอกและอุณหภูมิอากาศ	27
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียว วัสดุผิวภายนอกและพลังงาน	28
2.6 โปรแกรมแบบจำลอง	29
2.6.1 โปรแกรมแบบจำลองสภาพอากาศ	29
2.6.1.1 โปรแกรม ENVI-met	30
2.6.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4	32
2.6.2 โปรแกรมแบบจำลองการใช้พลังงาน	33
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	35
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	35
3.1.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4	35
3.1.2 การวิเคราะห์สภาพอากาศผ่านโปรแกรม ENVI-met V4	35
3.1.3 การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานผ่านโปรแกรม eQUEST 3.65	36
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	37
3.3 ตัวแปรที่ศึกษา	38
3.3.1 ตัวแปรต้น	38
3.3.1.1 พื้นที่สีเขียว	38
3.3.1.2 วัสดุผิวภายนอก	40
3.3.2 ตัวแปรตาม	41
3.3.2.1 สภาพอากาศระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยว	41
3.3.2.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของ เครื่องปรับอากาศ (kWh)	41
3.3.3 ตัวแปรควบคุม	41

3.3.3.1	ผังโครงการหมู่บ้านจัดสรร	41
3.3.3.2	การวางตำแหน่งบ้าน	41
3.3.3.3	ลักษณะของแบบบ้าน	42
3.3.3.4	วัสดุผิวภายนอก	42
3.3.3.5	พื้นที่ปรับอากาศเฉพาะห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร และห้องนอน	42
3.3.3.6	เวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ	43
3.3.3.7	ทิศทางและความเร็วลม	43
3.4	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	44
3.4.1	เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ	44
3.4.2	โปรแกรม ENVI-met V4	44
3.4.3	โปรแกรม eQUEST 3.65	45
3.4.4	โปรแกรม Element	46
3.4.5	โปรแกรมทางสถิติ	46
3.5	การจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4	47
3.5.1	การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4	47
3.5.1.1	ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริงของกลุ่มตัวอย่าง	47
3.5.1.2	การเตรียมข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา	50
3.5.2	การนำเข้าแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4	52
3.5.2.1	การสร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่าง	52
3.5.2.2	การตั้งค่าข้อมูลนำเข้า	53
3.5.3	ข้อจำกัดในการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4	54
3.6	การจำลองในโปรแกรม eQUEST 3.65	55
3.6.1	การเตรียมข้อมูลสภาพอากาศ	55
3.6.2	การนำเข้าแบบจำลอง	57
บทที่ 4	การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้น	59
4.1	ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของเครื่องมือ	59
4.2	การนำเข้าแบบจำลองกรณีตั้งต้น	60

4.2.1 การสร้างแบบจำลองกรณีตั้งต้น	60
4.2.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าในกรณีตั้งต้น	60
4.2.2.1 กรณีตั้งต้น 1	61
4.2.2.2 กรณีตั้งต้น 2	61
4.2.2.2 กรณีตั้งต้น 3	61
4.3 ผลการจำลองกรณีตั้งต้น	62
4.3.1 อุณหภูมิอากาศ	62
4.3.2 ความชื้นสัมพัทธ์	62
4.4 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้น	64
4.4.1 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ The Coefficient of Determination	64
4.4.2 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ Root Mean Square Error	65
4.4.3 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ Index of Agreement	66
4.4.4 ค่า Mean Difference	67
4.4.5 ผลสรุป	67
4.5 แบบจำลองกรณีศึกษา 16 กรณี	68
4.5.1 การสร้างแบบจำลองกรณีศึกษา	69
4.5.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าในกรณีศึกษา	72
บทที่ 5 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	74
5.1 ผลการจำลองสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI-met V4	74
5.1.1 อุณหภูมิอากาศ	74
5.1.1.1 พื้นที่เขตพักอาศัย	74
5.1.1.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน	75
5.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์	79
5.1.2.1 พื้นที่เขตพักอาศัย	79
5.1.2.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน	80
5.1.3 รังสีตรง	84
5.1.3.1 พื้นที่เขตพักอาศัย	84
5.1.3.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน	85

5.1.4	รังสีกระจาย	89
5.1.4.1	พื้นที่เขตพักอาศัย	89
5.1.4.2	ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน	90
5.1.5	ความเร็วลม	94
5.1.5.1	พื้นที่เขตพักอาศัย	94
5.1.5.2	ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน	95
5.2	ผลการจำลองปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของ เครื่องปรับอากาศจากโปรแกรม eQUEST 3.65	99
5.2.1	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	99
5.1.2.1	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน	99
5.1.2.2	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน	100
5.1.2.1	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี	101
5.2.1	อัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของ เครื่องปรับอากาศ	102
5.1.2.1	อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	102
5.1.2.2	อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	106
5.1.2.3	อิทธิพลของสีผนังต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	106
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	108
6.1	สรุปผลการวิจัย	108
6.1.1	รูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาค	109
6.1.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศ ระดับจุลภาค	109
6.1.1.2	การเปรียบเทียบการจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา	114
6.1.2	รูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	121
6.1.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	121
6.1.2.2	การเปรียบเทียบการจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา	122

6.2 แนวทางในการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	124
6.2.1 พื้นที่สีเขียว	124
6.2.1.1 ประเภทพืชพรรณ	125
6.2.1.2 ตำแหน่งการปลูก	125
6.2.1.3 ปริมาณของพืชพรรณ	125
6.2.2 วัสดุปกคลุมผิวพื้น	125
6.2.3 สีนั่ง	125
6.3 ข้อเสนอแนะการวิจัยในครั้งต่อไป	126
รายการอ้างอิง	127
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	140
ภาคผนวก ข	145
ภาคผนวก ค	147
ประวัติผู้เขียน	149

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
2.2 ค่าความสอดคล้องทางสถิติของอุณหภูมิอากาศระหว่างผลการจำลองและพื้นที่จริง	33
3.1 พื้นที่สีเขียวและวัสดุปกคลุมผิวพื้น (ไม้คลุมดิน) ที่ใช้ในโปรแกรม ENVI-met V4	39
3.2 ค่าความหนาแน่นของพุ่มใบที่ระดับต่าง ๆ ของไม้ยืนต้น	40
3.3 วัสดุผิวภายนอกที่ใช้ในโปรแกรม ENVI-met V4	43
3.4 เวลาการใช้งานในห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร และห้องนอน	44
4.1 RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์	66
4.2 d ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์	66
4.3 การทดสอบ Paired T-Test ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์	68
4.4 แบบจำลองกรณีศึกษา	69
4.5 ข้อมูลนำเข้าในกรณีศึกษา 16 กรณี	72
5.1 พื้นที่เงาที่ทอดลงบนผนังของบ้านเดี่ยว 4 ด้าน	104
6.1 อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่ออุณหภูมิอากาศใน 1 วัน	110
6.2 อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วัน	111
6.3 อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อรังสีตรงใน 1 วัน	112
6.4 อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อรังสีกระจายใน 1 วัน	113
6.5 อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อความเร็วลมใน 1 วัน	114
6.6 การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศใน 1 วัน	115
6.7 การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วัน	117
6.8 การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของรังสีตรงใน 1 วัน	118
6.9 การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของรังสีกระจายใน 1 วัน	119
6.10 การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมใน 1 วัน	120
6.11 อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการ ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน 1 ปี	122
6.12 การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน 1 ปี	124

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ร้อยละของการลดการใช้พลังงานจำแนกตามกลุ่มภาคเศรษฐกิจ 4 กลุ่ม	1
1.2 ร้อยละของการใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาในประเทศไทยปีพ.ศ.2557	2
1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย	6
2.1 ร้อยละของการใช้พลังงาน 3 รูปแบบในบ้านพักอาศัย	8
2.2 ความสัมพันธ์เชิงทางเลือกระหว่างอุณหภูมิอากาศและการใช้พลังงาน	13
2.3 รังสีดวงอาทิตย์	14
2.4 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	16
2.5 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของกรุงเทพมหานคร	17
2.6 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของกรุงเทพมหานคร	17
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงกับอุณหภูมิอากาศของพืช C ₃ และ C ₄	19
2.8 ความแตกต่างของพืช C ₃ พืช C ₄ และพืช CAM	20
2.9 การคายระเหย	22
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน ค่าการดูดซับรังสีความร้อน และค่าการสะท้อนรังสีความร้อน	26
2.11 ตัวอย่างเครื่องมือในโปรแกรม ENVI-met V4	31
2.12 การประเมินด้านแสงแดดของโปรแกรม Ecotect	34
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	36
3.2 ร้อยละของความต้องการซื้อที่อยู่อาศัยปีพ.ศ. 2558	37
3.3 ไม่นิยมพื้นที่ใช้ในแบบจำลอง	40
3.4 ตำแหน่งค่าเฉลี่ยสภาพอากาศระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยว	41
3.5 ผังพื้นที่ของบ้านเดี่ยวที่ใช้ในแบบจำลอง	42
3.6 ชุดเครื่องมือวัดสภาพอากาศ	45
3.7 ตัวอย่างของข้อมูลจากเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ	45
3.8 ตัวอย่างโปรแกรม eQUEST 3.65	46
3.9 ตัวอย่างโปรแกรม Element	46
3.10 ลักษณะของกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัย	48

3.11 อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงของกลุ่มตัวอย่างในวันที่ 27 – 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2559	49
3.12 อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ. 2554-2559	51
3.13 ความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ. 2554-2559	51
3.14 ความเร็วและทิศทางลมในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ. 2554-2559	52
3.15 การกำหนดค่าของขนาดแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4	53
3.16 เครื่องมือ ConfigWizard ในการตั้งค่าข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมง	54
3.17 การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 2 รูปแบบ	55
3.18 ฐานข้อมูลสภาพอากาศในโปรแกรม Element	56
3.19 ฐานข้อมูลสภาพอากาศไฟล์นามสกุล .bin	57
3.20 แบบจำลองบ้านเดี่ยวในโปรแกรม eQUEST 3.65	58
4.1 แบบจำลองสามมิติในโปรแกรม ENVI-met V4	60
4.2 ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศในกรณีตั้งต้น	61
4.3 ข้อมูลนำเข้าความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีตั้งต้น	62
4.4 ผลการจำลองอุณหภูมิอากาศของกรณีตั้งต้น 3 กรณีและการวัดภาคสนาม	63
4.5 ผลการจำลองความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีตั้งต้น 3 กรณีและการวัดภาคสนาม	63
4.6 R^2 ของกรณีตั้งต้น 1 (ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา)	64
4.7 R^2 ของกรณีตั้งต้น 2 (ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 และความชื้นสัมพัทธ์คงที่)	65
4.8 R^2 ของกรณีตั้งต้น 3 (ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 และความชื้นสัมพัทธ์ลดลงตามสมการที่ 4.1)	65
4.9 แบบจำลองสามมิติของกรณีศึกษา 16 กรณีในโปรแกรม ENVI-met V4	71
5.1 ผลการจำลองอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.– 15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน	75
5.2 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของอุณหภูมิอากาศใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา	76
5.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน	77

5.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและ กระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน	78
5.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้ เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน	79
5.6 ผลการจำลองความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.– 15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน	80
5.7 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา	81
5.8 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียว แตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน	82
5.9 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและ กระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน	83
5.10 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้ เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน	84
5.11 ผลการจำลองรังสีตรงของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.–15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน	85
5.12 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของรังสีตรงใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา	86
5.13 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน	87
5.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิก ภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน	88
5.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้ เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน	89
5.16 ผลการจำลองรังสีกระจายของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.– 15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน	90
5.17 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของรังสีกระจายใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา	91
5.18 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน	92
5.19 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและ กระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน	93

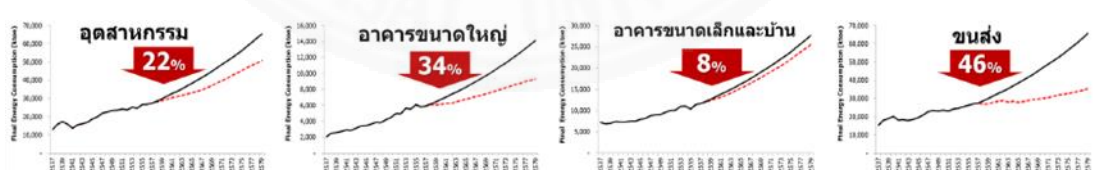
5.20 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้ เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน	94
5.21 ผลการจำลองความเร็วลมของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.– 15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน	95
5.22 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของความเร็วลมใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา	96
5.23 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน	97
5.24 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและ กระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน	98
5.25 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมของกรณีศึกษา 1 2 3 และ 4	99
5.26 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน วันที่ 28 พฤษภาคม	100
5.27 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เดือนเมษายนและเดือนธันวาคม	101
5.28 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปี	102
5.29 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่มีปริมาณ พื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน	103
5.30 เงาม 3 ช่วงเวลาที่เกิดขึ้นในวันเหย้าและวันคริสมาสต์	104
5.31 ตัวอย่างของพื้นที่เงาบนผนังบ้านทิศใต้ ณ เวลา 08.00 น. ในวันเหย้าและ วันคริสมาสต์	105
5.32 ผลต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการคายน้ำและการสร้างร่มเงา ระหว่างกรณีที่ไม่มีไม้ยืนต้นและมีไม้ยืนต้น 3 ต้น	106
5.33 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดิน และกระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน	107
5.34 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อน และเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน	107

บทที่ 1

บทนำ

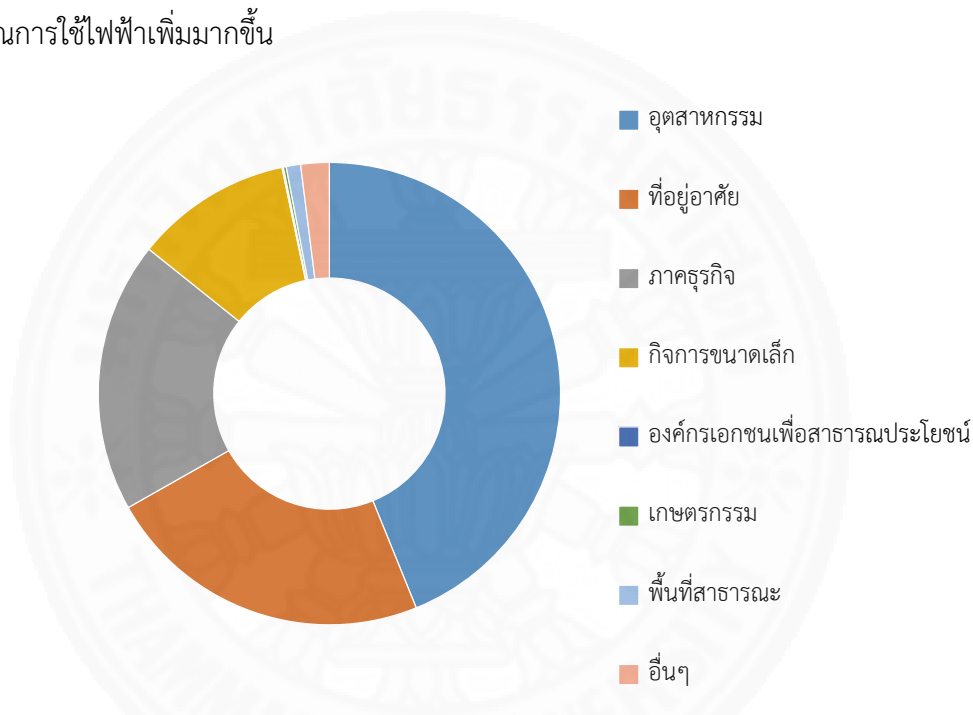
1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ตลอดจนการพัฒนาประเทศ ทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคม ความต้องการใช้พลังงานจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เนื่องจากอัตราการเพิ่มจำนวนของประชากรและการขยายตัวของเศรษฐกิจในแต่ละประเทศ อย่างไรก็ตามแหล่งพลังงานต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากซากดึกดำบรรพ์มีอยู่จำกัด ทำให้จำเป็นต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างปริมาณการใช้พลังงานและแหล่งพลังงานที่เหลืออยู่นอกจากนี้การใช้พลังงานยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เช่น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งเกิดจากภาวะโลกร้อน (Global Warming) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กระทรวงพลังงาน, ม.ป.ป.) ด้วยเหตุนี้หลายประเทศจึงให้ความสนใจการประหยัดพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากขึ้น เช่นเดียวกับประเทศไทยที่ริเริ่มจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานระยะยาว พ.ศ. 2558-2579 โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งกำหนดเป้าหมายลดการใช้พลังงานทุกประเภทลงอย่างน้อยร้อยละ 26-30 ภายในปีพ.ศ. 2578 มีการออกมาตรการกับกลุ่มภาคเศรษฐกิจ 4 กลุ่ม ประกอบด้วย ภาคอุตสาหกรรม อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดเล็กและบ้าน ขนส่ง โดยตั้งเป้าหมายลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 22 ร้อยละ 34 ร้อยละ 8 และร้อยละ 46 ตามลำดับ (ภาพที่ 1.1)



ภาพที่ 1.1 ร้อยละของการลดการใช้พลังงานจำแนกตามกลุ่มภาคเศรษฐกิจ 4 กลุ่ม. จาก แผนอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2558-2579, โดย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558, สืบค้นเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2559, จาก http://www.eppo.go.th/encon/EEP2015/EEP2015_FG.pdf

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานประเภทหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์มากที่สุด เนื่องจากถูกใช้เพื่อตอบสนองความต้องการในด้านต่าง ๆ ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายสาขาในประเทศไทยในปีพ.ศ. 2557 มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.6 เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา สาขาที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดคือ ภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 44 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ รองลงมา คือ ภาคครัวเรือนหรือที่อยู่อาศัย คิดเป็นร้อยละ 23 ภาคธุรกิจร้อยละ 19 และกิจการขนาดเล็กร้อยละ 11 ตามภาพที่ 1.2 และคาดการณ์ว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายสาขามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 1.2 ร้อยละของการใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาในประเทศไทยปีพ.ศ.2557. จาก รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2558, โดย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558, สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มีนาคม 2559, จาก <http://www.eppo.go.th/info/cd2015/Energy%20Statistics%20of%20Thailand%202015.pdf>

จากข้อมูลข้างต้น ภาคครัวเรือนใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 1 ใน 5 ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าของประเทศ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยไม่ได้รับการควบคุมใด ๆ จึงก่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเกินไปจนความจำเป็นในการตอบสนองต่อความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีความสามารถในการจ่ายค่าไฟฟ้า การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและควรกระทำเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสิ่งที่ผู้อยู่อาศัยสามารถกระทำได้ด้วยตนเอง (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2558)

การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยมีหลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางตรง คือ การเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงาน เช่น หลอดไฟ LED เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มี ฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 รวมทั้งการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยในการใช้อุปกรณ์และ เครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนทางอ้อม คือ การออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน เช่น การเลือกใช้วัสดุของ ระบบเปลือกอาคาร ตัวอาคาร การใช้แสงธรรมชาติ ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร อย่างไรก็ตามเนื่องจากการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานต้องดำเนินการตั้งแต่ก่อนการก่อสร้าง อาคาร ดังนั้นอาจมีเพียงสภาพแวดล้อมภายนอกของอาคารที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ แม้ว่าจะมีผู้อยู่ อาศัยแล้วก็ตาม สภาพแวดล้อมนี้ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกของอาคาร ซึ่ง สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบปรับอากาศ ด้วยการลดอุณหภูมิอากาศ ภายนอก นอกจากนี้สภาพแวดล้อมยังช่วยสร้างสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) ให้แก่มนุษย์ และลดการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island, UHI) ที่มีผลมาจากความ แตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่ชุมชนเมืองและพื้นที่ชนบทโดยรอบอีกด้วย

1.2 คำถามวิจัย

รูปแบบของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกบ้านพักอาศัยของพื้นที่เขตพักอาศัย (Neighborhood Area) ในลักษณะใดที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของ เครื่องปรับอากาศ

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาอิทธิพลและเปรียบเทียบรูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อ สภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกบ้านพักอาศัย

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลและเปรียบเทียบรูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.3.3 เสนอแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกบ้านพักอาศัยที่ส่งผลต่อการ ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาเฉพาะพื้นที่เขตพักอาศัยที่มีลักษณะเป็นบ้านเดี่ยว 2 ชั้น
- 1.4.2 วิเคราะห์และจำลองสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคด้วยโปรแกรมจำลองสถานการณ์ ENVI-met V4 เนื่องจากสามารถคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผิวภายนอก พืชและอากาศ
- 1.4.3 สภาพอากาศระดับจุลภาคที่นำมาวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยที่ห่างจากตัวบ้าน 2 เมตร และสูงจากระดับพื้นดิน 3-4 เมตร
- 1.4.4 วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าเฉพาะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศด้วยโปรแกรม eQUEST 3.65

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษา รวมถึงการออกแบบการทดลองเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ มีรายละเอียดดังนี้

1.5.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

- 1.5.1.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งวิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระดับจุลภาคและการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ
- 1.5.1.2 ศึกษาข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง
- 1.5.1.3 ศึกษารูปแบบของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวในแปลงที่ดินของพื้นที่เขตพักอาศัย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโครงการหมู่บ้านจัดสรร

1.5.2 การออกแบบการจำลอง

- 1.5.2.1 สำรวจพื้นที่และวัดภาคสนามในพื้นที่เขตพักอาศัย ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาเป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่วิเคราะห์จากการจำลองในแบบจำลองกรณีตั้งต้น (Base Case)
- 1.5.2.2 ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อสภาพอากาศบริเวณรอบบ้านเดี่ยวพักอาศัยด้วยโปรแกรม ENVI-met V4

1.5.2.3 ศึกษาสภาพอากาศบริเวณรอบบ้านเดี่ยวพักอาศัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศด้วยโปรแกรม eQUEST 3.65

1.5.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

1.5.3.1 วิเคราะห์รูปแบบของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกบ้านพักอาศัยในพื้นที่เขตพักอาศัยที่มีผลต่อสภาพอากาศ รวมถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.5.3.2 สรุปผลและเสนอแนวทางการสร้างสภาพแวดล้อมที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงศักยภาพระหว่างพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวในการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระดับจุลภาค

1.6.2 ทราบถึงรูปแบบที่เหมาะสมของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.6.3 สามารถเสนอแนะให้เจ้าของบ้านพักอาศัยและเจ้าของโครงการได้ทราบถึงการจัดสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 พื้นที่สีเขียว คือ พื้นที่กลางแจ้ง และกึ่งกลางแจ้งที่มีขอบเขตที่ดินทั้งหมดหรือบางส่วนที่อาจมีหรือไม่มีสิ่งก่อสร้างอยู่ด้วย ถูกปกคลุมด้วยพรรณพืชบนดินที่ชุ่มน้ำได้

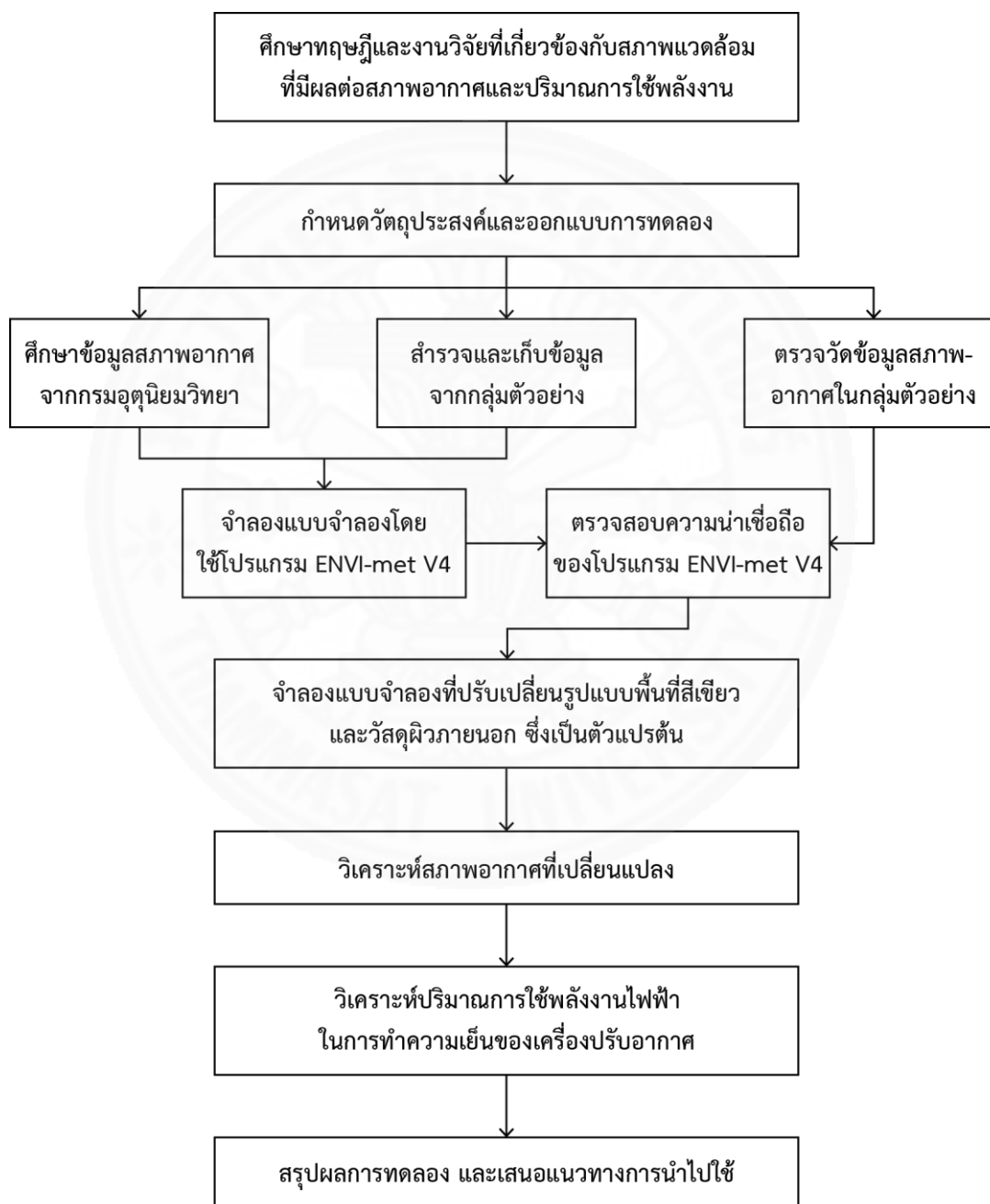
1.7.2 วัสดุผิวภายนอก คือ พื้นผิวโดยรอบนอก รวมถึงระบบเปลือกอาคารของอาคาร โดยสามารถจำแนกวัสดุผิวเป็น 2 ประเภท คือ แนวระนาบนอนที่ประกอบด้วยพื้นและหลังคา และแนวระนาบตั้ง คือ ผนังอาคาร

1.7.3 การประหยัดพลังงาน คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ลดลงจากการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมากที่สุด

1.7.4 พื้นที่เขตพักอาศัย คือ พื้นที่ที่มีกลุ่มของบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น เป็นโครงการหมู่บ้านจัดสรรหรือไม่เป็นก็ได้

1.7.5 ฐานข้อมูลสภาพอากาศ (Weather Data) คือ ฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมง ตลอดทั้งปี (8,760 ชั่วโมง) ที่นำมาใช้ในการจำลองพลังงานในโปรแกรม eQUEST 3.65

1.8 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกของบ้านเดี่ยวในพื้นที่เขตพักอาศัย ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิว ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระดับจุลภาค แล้วนำไปสู่การประหยัดพลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในบ้านเดี่ยว บทนี้จึงนำเสนอแนวคิด ทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องตามรายละเอียดดังนี้

2.1 การประหยัดพลังงาน

2.1.1 รูปแบบการใช้พลังงาน

พลังงานถูกนำมาใช้ในการตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ พลังงานที่ว่ามีหลายชนิดและหลายรูปแบบ แต่พลังงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้ชีวิตประจำวัน มากที่สุดในปัจจุบัน คือ พลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าจะถูกแปรรูปเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ตามการใช้งาน เพื่อให้มนุษย์มีความสะดวกสบาย โดยรูปแบบของการใช้พลังงานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.1.1.1 การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

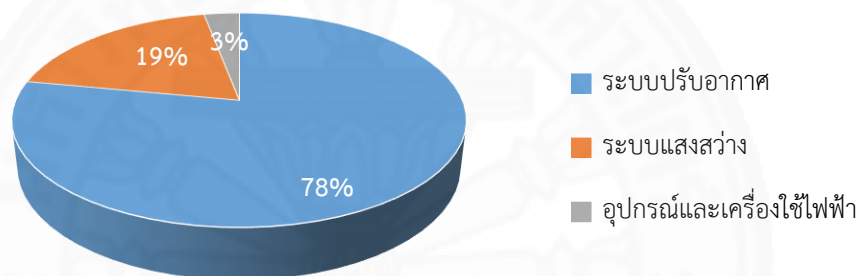
การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสามารถปรับสภาวะอากาศภายในห้องให้อยู่ในขอบเขตน่าสบายที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้อยู่อาศัยด้วยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายและปริมาณลม (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2553) แม้ว่าบรรยากาศภายนอกมีสภาวะที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็ตาม นอกจากระบบปรับอากาศจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามที่ต้องการแล้ว ยังสามารถช่วยป้องกันเสียงรบกวน และฝุ่นละอองด้วย (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

2.1.1.2 การใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดไฟชนิดต่าง ๆ ทั้งภายนอกและภายในอาคารทำให้เกิดระบบแสงสว่างขึ้น ระบบแสงสว่างนี้ยังส่งผลทางอ้อมต่อการทำความเย็นหรือระบบปรับอากาศภายในอาคารด้วย เนื่องจากหลอดไฟมีความร้อนที่แผ่ออกมา ดังนั้นจึงควรออกแบบและเลือกระบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีทั้งด้านประหยัดพลังงานและด้านความสบายต่อสายตาของผู้ใช้งาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

2.1.1.3 การใช้พลังงานในการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า

การนำพลังงานมาใช้เพื่อทำให้เกิดการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ และตู้เย็น การใช้พลังงานในรูปแบบนี้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากรูปแบบการใช้ชีวิตในปัจจุบัน และจำนวนของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานเพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพ ซึ่งรับรองโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้ฉลากเบอร์ 5 จะมีประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานมากที่สุด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.1 ร้อยละของการใช้พลังงาน 3 รูปแบบในบ้านพักอาศัย. จาก *เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน*, ม.ป.ป., สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.smartblock.in.th/about.php?id=3>

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า รูปแบบของการใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด โดยมีค่าร้อยละ 78 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแสงสว่างและการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้นการเพิ่มหรือลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของบ้านพักอาศัย ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาการประหยัดพลังงานในรูปแบบดังกล่าว

2.1.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

สัดส่วนของปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุดตามภาพที่ 2.1 ส่งผลให้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการประหยัดพลังงานส่วนใหญ่มากที่ระบบปรับอากาศ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานในระบบปรับอากาศสามารถแบ่งเป็น 4 ด้าน (รวีช ควรประเสริฐ, 2550) ดังนี้

2.1.2.1 สภาพแวดล้อมที่ตั้งของโครงการ

สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของอาคารเป็นปัจจัยทางอ้อมที่สามารถลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศด้วยการปรับปรุงสภาพอากาศ เมื่อปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม โดยการเพิ่มแหล่งน้ำ พื้นที่สีเขียว และเปลี่ยนวัสดุปกคลุมพื้นผิว เช่น วัสดุที่มีค่าอัลบิโด (Albedo) สูง (Akbari et al., 2001) หรือมีค่าความจุความร้อนสูง (พันธุ์ระวี กองบุญเทียม และ วุฒิกานต์ ปุระพรหม, 2558) จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลงได้ถึงประมาณ 2-3°C (สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวงศ์, 2538, อ้างถึงใน สุนทร บุญญาธิการ, 2542, น.50) ขณะเดียวกันวิชัย อิทธิวิศวกุล (2539) พบว่า สภาพแวดล้อมที่มีแหล่งน้ำภายในพื้นที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ 3-5°C ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงสุด ตรงกันข้ามกับสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นลานจอดรถจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 3-10°C เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา งานวิจัยของศุภฤกษ์ แก้วสิงห์ (2552) กล่าวถึง สภาพแวดล้อม เช่น พื้นดินแห้งโดนแดดหรือถนนคอนกรีตโดนแดด ทำให้อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงถึง 42°C ขณะที่สภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ร่มเงาจากต้นไม้ พืชคลุมดิน แหล่งน้ำที่มีความลึก 1.5 เมตร จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเหลือ 30°C

2.1.2.2 วัสดุเปลือกอาคาร

ระบบเปลือกอาคาร ได้แก่ ผนัง หลังคาและพื้น เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมาก เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคารมีส่วนสูงกว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการปรับอากาศ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2553) แหล่งความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารประกอบด้วย การส่งผ่านรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านพื้นผิวโปร่งแสง การนำความร้อนผ่านทางผนัง พื้นและหลังคา ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่น มนุษย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หลอดไฟ เป็นต้น และความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) ดังนั้นการมีเปลือกอาคารที่สามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ดีจะช่วยลดภาระการปรับอากาศและสามารถประหยัดพลังงานได้ โดยพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของผนังและหลังคา ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) ของกระจก เป็นต้น

(1) ผนัง (Wall) หมายถึง ผนังทึบและผนังโปร่งแสง การเลือกใช้ผนังทึบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุต่ำ รวมถึงการใช้สีทาผนังเป็นสีโทนอ่อน เป็นวิธีสำคัญประการหนึ่งในการลดภาระการทำความเย็น เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังบางส่วนจะสะท้อนกลับออกไป แต่ก็มีส่วนที่เหลือที่ถูกดูดกลืนและสะสมไว้ในผนัง ก่อนจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ขณะที่ผนังโปร่งแสงหรือกระจกจะส่งผลต่อการใช้พลังงานใน

อาคารค่อนข้างมาก เนื่องจากถ่ายเทความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ทำให้ความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่าผนังที่ประมาณ 5-10 เท่า (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558)

(2) **หลังคา (Roof)** หมายถึง เปลือกอาคารที่ปกคลุมด้านบนของอาคาร ซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ทำให้อุณหภูมิผิวของหลังคามีค่าสูง เช่น หลังคากระเบื้องมีอุณหภูมิผิวสูงถึง 60°C ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิอากาศระหว่าง 38°C - 40°C (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2553) การติดตั้งฉนวนกันความร้อน เช่น ฉนวนใยแก้ว แผ่นสะท้อนความร้อน เป็นต้น จึงส่งผลต่อการประหยัดพลังงานในการทำความเย็นได้

(3) **พื้น (Ground Floor)** หมายถึง เปลือกอาคารที่อยู่เหนือผิวดิน พื้นในส่วนนี้จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิวดิน ซึ่งมีอุณหภูมิกึ่งที่ ด้วยการนำความร้อน พื้นจึงไม่ได้รับความร้อนโดยตรงจากรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นเป็นระบบเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผนังและหลังคา

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเปลือกอาคารที่กล่าวถึงก่อนหน้า สามารถนำมาคำนวณหาอัตราความร้อนที่มีการถ่ายเทผ่านระบบเปลือกอาคารได้ จากสมการ 3 สมการ ดังนี้

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (2.1)$$

$$Q = U \times A \times CLTD \quad (2.2)$$

$$CLTD = (CLTD + LM)K + (78 - T_{in}) + (T_{out} - 85) \quad (2.3)$$

เมื่อ	Q	คือ ปริมาณความร้อนรวมที่ถ่ายเท (W)
	U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m ² °C)
	A	คือ พื้นที่ผิวที่ถ่ายเทความร้อน (m ²)
	ΔT	คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ (อุณหภูมิด้านนอกและอุณหภูมิด้านใน) (°C)
	CLTD	คือ ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference) จากตารางที่กำหนดให้
	LM	คือ ค่าการปรับละติจูดและเดือนตามที่ตั้งอาคาร
	K	คือ ค่าลักษณะสีของผนังอาคาร
		ผนังสีเข้มหรือผนังสีอ่อนในอาคารอุตสาหกรรม มีค่า K = 1.00
		ผนังสีปานกลาง มีค่า K = 0.83
		ผนังสีอ่อน มีค่า K = 0.65

T_{in} คือ อุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศ

T_{out} คือ อุณหภูมิภายนอกอาคาร

สมการที่ 2.1 และ 2.2 มีความแตกต่างกันที่ค่า ΔT และค่า CLTD โดยจะใช้สมการที่ 2.1 เมื่อค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในคงที่ (Steady State Condition) หรือไม่มีปัจจัยภายนอกส่งผลกระทบต่อมากนัก ซึ่งเหมาะกับการคำนวณปริมาณความร้อนในเมืองหนาว ในขณะที่สมการที่ 2.2 ค่า ΔT ถูกเปลี่ยนเป็นค่า CLTD เพื่อปรับให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารไม่เคยคงที่ ค่า CLTD นี้ถูกปรับให้เข้าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่าง ๆ เช่น เวลา วัน เดือน เขตละติจูด สีของผนัง และการหน่วงเหนี่ยวเวลา (ถนนมศักดิ์ พีระพัฒน์พงษ์, 2551, น. 12)

2.1.2.3 รูปทรงของอาคาร

รูปทรงอาคารเป็นปัจจัยที่มีผลร่วมกับระบบเปลือกอาคาร โดยต้องคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและพื้นที่ใช้สอยของอาคารเฉพาะส่วนที่ใช้ระบบปรับอากาศ เมื่อพิจารณาสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะเห็นได้ว่า พื้นที่ผิวของอาคาร ซึ่งประกอบด้วยผนัง หลังคาและพื้น (A) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อนรวม (Q) หากอาคารมีพื้นที่ผิวน้อย ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารจะลดลงไปด้วย ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของระบบปรับอากาศ (รวีช วรรณประเสริฐ, 2550) ดังนั้นผังของอาคารควรมีลักษณะเรียบง่าย เนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่ผิวน้อย

2.1.2.4 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ (Coefficient of Performance, COP หรือ Energy Efficiency Ratio, EER) สูงจะใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ โดยเปรียบเทียบจากภาระการทำความเย็น ดังนั้นการเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพเบอร์ 5 (EER มีค่า 11) หรือสูงกว่ามีผลให้เกิดการประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น (รวีช วรรณประเสริฐ, 2550)

2.2 สภาพอากาศ

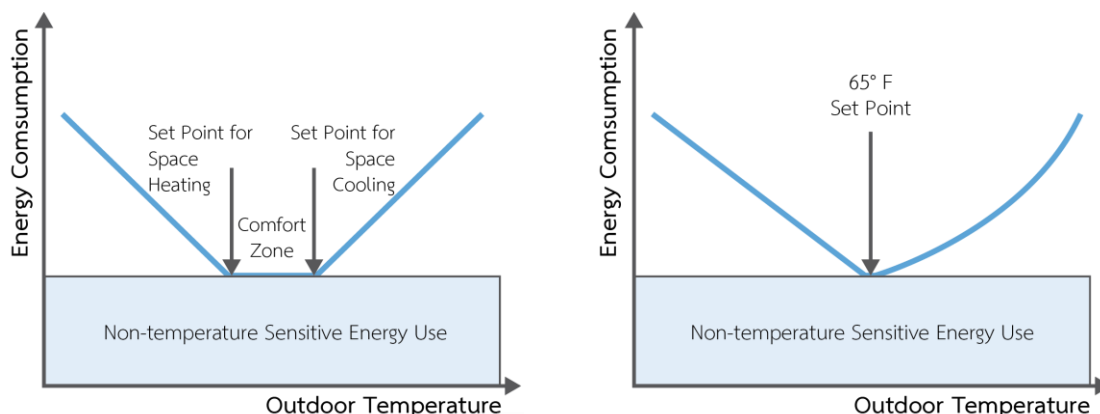
สภาพอากาศมีลักษณะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมและที่ตั้ง โดยสภาพอากาศสามารถแบ่งตามขนาดพื้นที่ได้ 2 ประเภท คือ สภาพอากาศระดับมหภาค (Macroclimate) และสภาพอากาศระดับจุลภาค (Microclimate) สภาพอากาศระดับมหภาคเป็นสภาพอากาศของพื้นที่

บริเวณกว้าง ซึ่งอาจมีขนาดหลายร้อยตารางกิโลเมตร เช่น ในระดับภูมิภาคหรือประเทศ ทำให้การปรับเปลี่ยนสภาพอากาศระดับมหภาคเป็นไปได้ยาก ส่วนสภาพอากาศระดับจุลภาคเป็นสภาพอากาศของพื้นที่ขนาดเล็กที่ส่งผลกระทบต่ออาคารโดยตรง การควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศดังกล่าวจึงสามารถทำได้ง่ายด้วยการปรับปรุงสภาพแวดล้อม (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552, น. 19) ตัวแปรทางสภาพอากาศที่นำมาพิจารณามี 5 ตัวแปร ดังนี้

2.2.1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

อุณหภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิภายนอก หมายถึง ระดับความร้อนหรือความเย็นของอากาศที่สามารถบอกค่าได้เป็นตัวเลข โดยมีสาเหตุมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศเป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากสภาพแวดล้อม ทำให้มีปัจจัยทางสภาพแวดล้อมหลายอย่างที่ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศแปรเปลี่ยนตลอดเวลา เช่น สภาพของท้องฟ้า (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541, น. 34) ตำแหน่งที่ตั้ง พืชพรรณและวัสดุปกคลุมพื้นผิว (ตรึงใจ บุรณสมภพ, 2539, น. 24)

อุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์กับความต้องการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในรูปแบบของสมการสมมาตรเชิงเส้นและไม่สมมาตรเชิงเส้นตามภาพที่ 2.2 สาเหตุเกิดจากอุณหภูมิอากาศมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิภายในอาคาร ทำให้ผู้ใช้งานในอาคารสามารถรับรู้ถึงความไม่สบาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพึ่งพาระบบปรับอากาศ (Kamarulzaman, et al., 2016) นอกจากนี้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิภายในอาคารเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยการนำความร้อนผ่านระบบเปลือกอาคาร เช่น หากอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น 1°C ความต้องการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเขตพื้นที่เมืองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-4 (Akbari et al., 2001, p. 295)



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์เชิงทางเลือกระหว่างอุณหภูมิอากาศและการใช้พลังงาน. ดัดแปลงจาก *Climate Change and Energy Demand in Buildings* (น. 29), โดย M. A. Brown, M. Cox, B. Staver, และ P. Baer, 2014, สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน 2560, จาก <http://aceee.org/files/proceedings/2014/data/papers/3-736.pdf>

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ เวลาหนึ่งต่อปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ที่อุณหภูมินั้น (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ, 2552, น. 24) เมื่ออากาศมีปริมาณไอน้ำเท่ากับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ (ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าร้อยละ 100) อากาศจะอิ่มตัวและไม่สามารถอุ้มน้ำได้อีก ทำให้เกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นฝน หมอก หรือน้ำค้าง (ตรึงใจ บุรณสมภพ, 2539, น. 24) ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าร้อยละ 0 คือ อากาศแห้ง

2.2.3 รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

รังสีดวงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานแสง ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นผิวโลกจะมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ เวลาใน 1 วัน ฤดูกาล ภูมิทัศน์ระดับท้องถิ่นและสภาพอากาศระดับจุลภาค (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2013)

2.2.3.1 ประเภทของรังสี

(1) รังสีตรง (Direct Solar Radiation)

รังสีตรง หมายถึง รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องตรงมาที่พื้นผิวโลก (ภาพที่ 2.3) รังสีตรงจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ทำให้เมื่อมีวัตถุมาขวางกั้นรังสีตรง จะเกิดเงาของวัตถุนั้น ๆ เงาจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงรังสีตรง ในพื้นที่ที่มีแดดหรือช่วงฤดูร้อน รังสีตรงจะมีสัดส่วนถึงร้อยละ 70-80 ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด (Aeron Systems, 2015)

(2) รังสีกระจาย (Diffuse Solar Radiation)

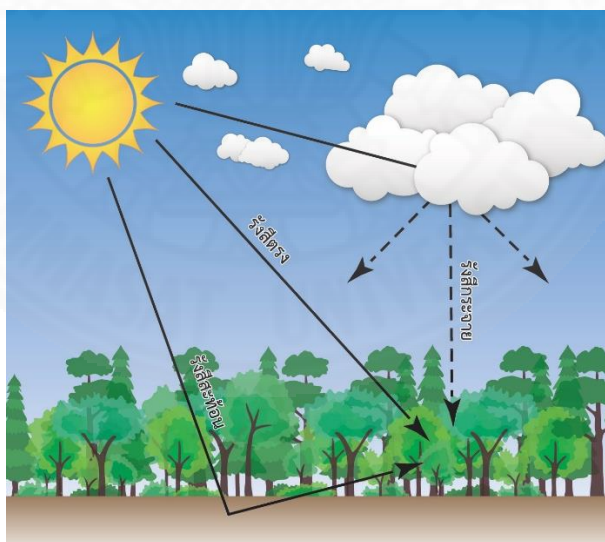
รังสีกระจาย หมายถึง รังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดการสะท้อน หักเหและกระจัดกระจายกับอนุภาคและโมเลกุลในชั้นบรรยากาศของโลก ก่อนที่จะตกกระทบลงบนพื้นผิวโลก (ภาพที่ 2.3) ซึ่งหมายความว่าหากมีมลภาวะในอากาศมาก ปริมาณของรังสีกระจายก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การเคลื่อนที่ของรังสีกระจายไม่มีทิศทางที่แน่นอน จึงส่งผลให้ไม่มีเงาของวัตถุเกิดขึ้น

(3) รังสีสะท้อน (Reflect Solar Radiation)

รังสีสะท้อน หมายถึง รังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อนุภาคของอากาศ เช่น พื้นดิน ภูเขา บ้าน แหล่งน้ำ (ภาพที่ 2.3) ปริมาณของรังสีสะท้อนจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ

(4) รังสีแห่งโลก (Global Solar Radiation)

รังสีแห่งโลก หมายถึง ผลรวมของรังสีตรง รังสีกระจายและรังสีสะท้อน โดยปริมาณของรังสีสะท้อนมักจะมีสัดส่วนน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรังสีดวงอาทิตย์ประเภทอื่น ๆ ยกเว้นในภูมิภาคที่ถูกปกคลุมด้วยหิมะ จะมีปริมาณของรังสีสะท้อนร้อยละ 15 จากรังสีแห่งโลก (Aeron Systems, 2015)



ภาพที่ 2.3 รังสีดวงอาทิตย์. ดัดแปลงจาก รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation), โดย วิชาญ นาคทอง, 2559, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2560, จาก <https://ienergyguru.com/2016/03/รังสีจากดวงอาทิตย์-solar-radiation/>

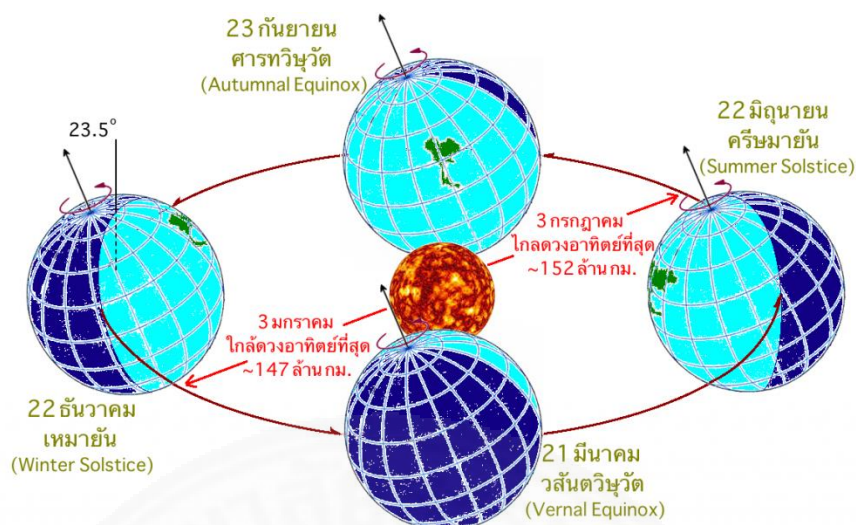
2.2.3.2 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ทำให้โลกมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันใน 1 ปี ช่วงที่ใกล้ที่สุด (147 ล้านกิโลเมตร) ประมาณต้นเดือนมกราคม ขณะที่ช่วงที่ไกลที่สุด (152 ล้านกิโลเมตร) ประมาณต้นเดือนกรกฎาคม การโคจรเป็นรูปวงรีของโลกดังกล่าวไม่ได้มีผลต่อการเกิดฤดูกาล แต่การที่แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.5° กับเส้นตั้งฉากของระนาบวงโคจรของโลก (ตำแหน่งของขั้วโลกเหนือหรือขั้วโลกใต้หันเข้าหาดวงอาทิตย์) เป็นเหตุให้เกิดฤดูกาล เนื่องจากตำแหน่งพื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของโลกรับแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2558) ดังภาพที่ 2.4

(1) **วันครีษมายัน (Summer Solstice)** ซึ่งตรงกับช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายน เป็นวันที่แกนหมุนของโลกชี้เข้าหาดวงอาทิตย์ (ตำแหน่งของขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์) โดยดวงอาทิตย์จะขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางเหนือมากที่สุดและตกทางทิศตะวันตกเฉียงไปทางเหนือมากที่สุด ประเทศที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรได้รับแสงอาทิตย์มากและมีช่วงเวลากลางวันยาวที่สุดในรอบปี ดังนั้นจึงเกิดเป็นฤดูร้อนในซีกโลกเหนือ ขณะที่ประเทศในซีกโลกใต้จะได้รับแสงอาทิตย์น้อยกว่าและมีช่วงเวลากลางคืนยาวนานที่สุด ทำให้เกิดฤดูหนาวในซีกโลกใต้

(2) **วันวิษุวัต (Equinox)** เป็นวันที่มีช่วงเวลากลางวันกับช่วงเวลากลางคืนเท่ากันในทุกพื้นที่ทั่วโลก เนื่องจากแกนหมุนของโลกไม่ได้ชี้เข้าหาหรือชี้ออกจากดวงอาทิตย์ ใน 1 ปี วันวิษุวัตจะเกิดขึ้นสองครั้ง คือ วันที่ 20-21 มีนาคม เรียกว่า วันวสันตวิษุวัต หรือวันเริ่มต้นฤดูใบไม้ผลิ (Vernal Equinox) และวันที่ 22-23 กันยายน เรียกว่า วันศารทวิษุวัต หรือวันเริ่มต้นฤดูใบไม้ร่วง (Autumnal Equinox)

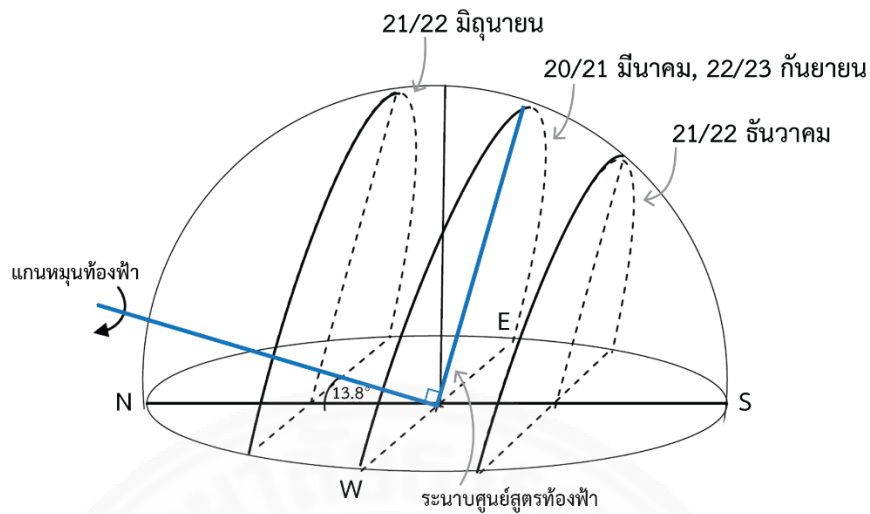
(3) **วันเหมยยัน (Winter Solstice)** ซึ่งตรงกับช่วงวันที่ 21-22 ธันวาคม เป็นวันที่แกนหมุนของโลกชี้ออกจากดวงอาทิตย์ (ตำแหน่งของขั้วโลกใต้หันเข้าหาดวงอาทิตย์) โดยดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางใต้มากที่สุดและตกทางทิศตะวันตกเฉียงไปทางใต้มากที่สุด ทำให้ประเทศที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรเกิดฤดูหนาว ขณะที่ประเทศทางซีกโลกใต้จะเกิดฤดูร้อน



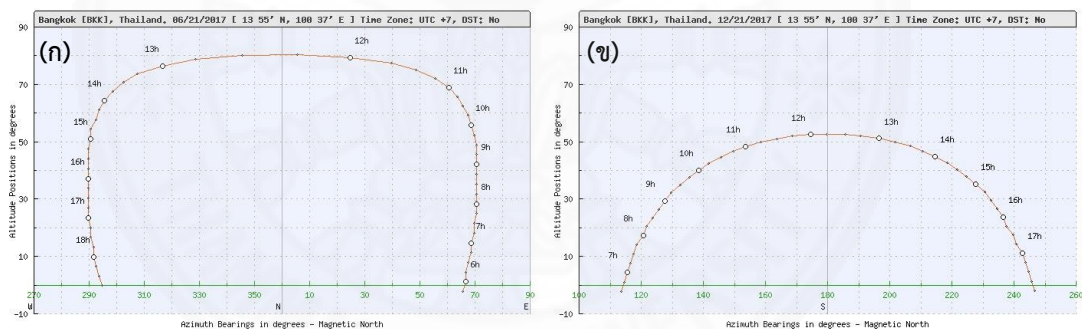
ภาพที่ 2.4 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์. จาก *ฤดูกาลและการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์*, โดย วฤทธิ มิตรธรรมศิริ, 2557, สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.sc.mahidol.ac.th/usr/?p=400>

ระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าทำมุมตั้งฉากกับแกนหมุนท้องฟ้า และแกนหมุนดังกล่าวทำมุมกับระนาบพื้นเท่ากับละติจูดของพื้นที่ตำแหน่งนั้น ๆ บนโลก ดังนั้นระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์จึงขึ้นกับตำแหน่งละติจูด ภาพที่ 2.5 แสดงทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของกรุงเทพมหานครที่ละติจูดประมาณ 13.8 องศาเหนือ (เสริม จันทร์ฉาย, 2557) ในช่วงฤดูร้อน (วันครีษมายัน) ดวงอาทิตย์จะอ้อมทางทิศเหนือ และมีมุมเงย¹มาก เช่น 80° ณ เวลา 12.00 น. ตามภาพที่ 2.6ก ตรงกันข้ามกับช่วงฤดูหนาว (วันเหมายัน) ที่ดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ และมีมุมเงยน้อย เช่น ประมาณ 50° ณ เวลา 12.00 น. ตามภาพที่ 2.6ข

¹ มุมเงย หรือมุมแอลติจูด (Altitude Angle) คือ การวัดมุมของวัตถุที่อยู่สูงจากระนาบพื้น (อวีรุทธ์ ศรีสุธาพรณ, 2552, น. 65)



ภาพที่ 2.5 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของกรุงเทพมหานคร. ดัดแปลงจาก *รังสีอาทิตย์*, โดย เสริม จันทร์ฉาย, 2557, สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก http://phy.sc.su.ac.th/book/solar_book.pdf



ภาพที่ 2.6 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของกรุงเทพมหานคร (ก) วันศรีษมายัน (ข) วัน เหมายัน. ดัดแปลงจาก *SunPosition Calculator*, ม.ป.ป., สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก <http://sunposition.info/sunposition/spc/locations.php#1>

2.2.4 ลม (Wind)

ลม หมายถึง อากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ หรือความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ โดยอากาศจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง (อากาศหนาแน่น) ไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ (อากาศเบาบาง) หรือเคลื่อนที่จากบริเวณที่ อุณหภูมิอากาศต่ำไปสู่บริเวณที่อุณหภูมิอากาศสูง (อวีรุทธ์ ศรีสุธาพรณ, 2552, น. 31)

2.3 พื้นที่สีเขียว

2.3.1 ความหมายของพื้นที่สีเขียว

พื้นที่สีเขียว (Green Space) หมายถึง พื้นที่กลางแจ้งและกึ่งกลางแจ้งที่มีขอบเขตที่ดินทั้งหมดหรือบางส่วนที่ถูกปกคลุมด้วยพันธุ์พืชบนดินที่ซึมน้ำได้หรืออาจมีสิ่งก่อสร้างอยู่ด้วย และควรมีไม้ยืนต้นเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืน โดยพื้นที่สีเขียวอาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่ทำให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งในด้านการพักผ่อนหย่อนใจ หรือการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมของชุมชนเมือง พื้นที่สีเขียวอาจมีได้หลายรูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ธรรมชาติ พื้นที่สีเขียวเพื่อบริการ พื้นที่สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม พื้นที่สีเขียวริมเส้นทางสัญจรและพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [สผ.ทส.], 2548) พื้นที่สีเขียวอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า พื้นที่ตาต่ออ่อน (Softscape)

2.3.2 ประเภทของพืชพรรณ

พืชพรรณเป็นสิ่งมีชีวิตหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอและตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (เดชา บุญค้ำ, 2554, น. 78) โดยประเภทของพืชพรรณสามารถจำแนกตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

2.3.2.1 การจำแนกพืชพรรณตามฤดูกาล (Seasonal)

(1) ไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen Plants) เป็นพืชที่มีใบอยู่ตลอดทั้งปี ทำให้เรือนยอดของพืชดังกล่าวมีสีเขียวข่มต่อเนื่องตลอดทั้งปีด้วยเช่นกัน ไม้ไม่ผลัดใบสามารถขึ้นกระจายได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (ศิริลักษณ์ วงส์พิเชษฐ, ม.ป.ป., น. 2)

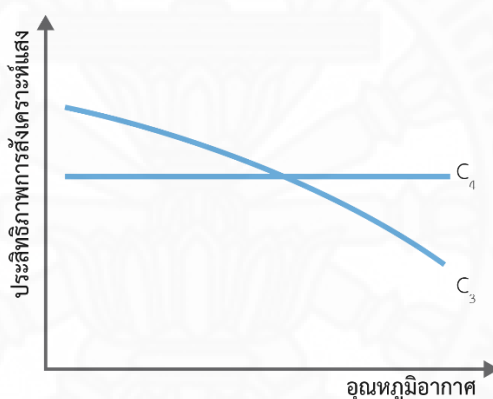
(2) ไม้ผลัดใบ (Deciduous Plants) เป็นพืชที่ผลัดใบตามฤดูกาล โดยจะผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม - มีนาคม) ใบจึงร่วงหล่นเป็นจำนวนมาก จากนั้นพืชจะผลิใบอ่อนใหม่ในช่วงต้นฤดูฝน ทำให้ลักษณะเรือนยอดของพืชดูเขียวข่มไม่แตกต่างจากไม้ไม่ผลัดใบ ไม้ผลัดใบสามารถพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทยยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงใต้ (จันทบุรีและตราด) (ศิริลักษณ์ วงส์พิเชษฐ, ม.ป.ป., น. 2)

2.3.2.2 การจำแนกพืชพรรณตามการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

การสังเคราะห์แสงของพืชเป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีที่อยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ พลังงานนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตของพืช การสังเคราะห์แสงของพืชแบ่งเป็น 2 ชั้น ประกอบด้วย ปฏิกิริยาแสง (Light

Reaction) ซึ่งเป็นการนำพลังงานแสงมาสร้าง NADPH และ ATP และการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Fixation) โดยนำ NADPH และ ATP ที่ได้มาเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นน้ำตาล (ศุภณัฐ ไพโรหกุล, 2555, น. 46-49)

(1) พืช C₃ สามารถพบได้ในพืชทั่วไป รวมทั้งข้าวและถั่วเหลือง โดยเป็นพืชที่มีระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวัฏจักรคัลวิน (Calvin Cycle) เพียงอย่างเดียว สารอินทรีย์ตัวแรกที่ได้จากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ฟอสโฟกลีเซอเรต (Phosphoglycerate, PGA) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม อย่างไรก็ตามในวันที่มีอากาศร้อนจัด พืช C₃ จะลดการคายน้ำด้วยการปิดปากใบเป็นส่วนใหญ่ ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศผ่านเข้ามาทางปากใบได้น้อย รวมถึงออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงไม่สามารถปล่อยออกสู่บรรยากาศได้ ด้วยเหตุนี้พืช C₃ จึงมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลงตามภาพที่ 2.7

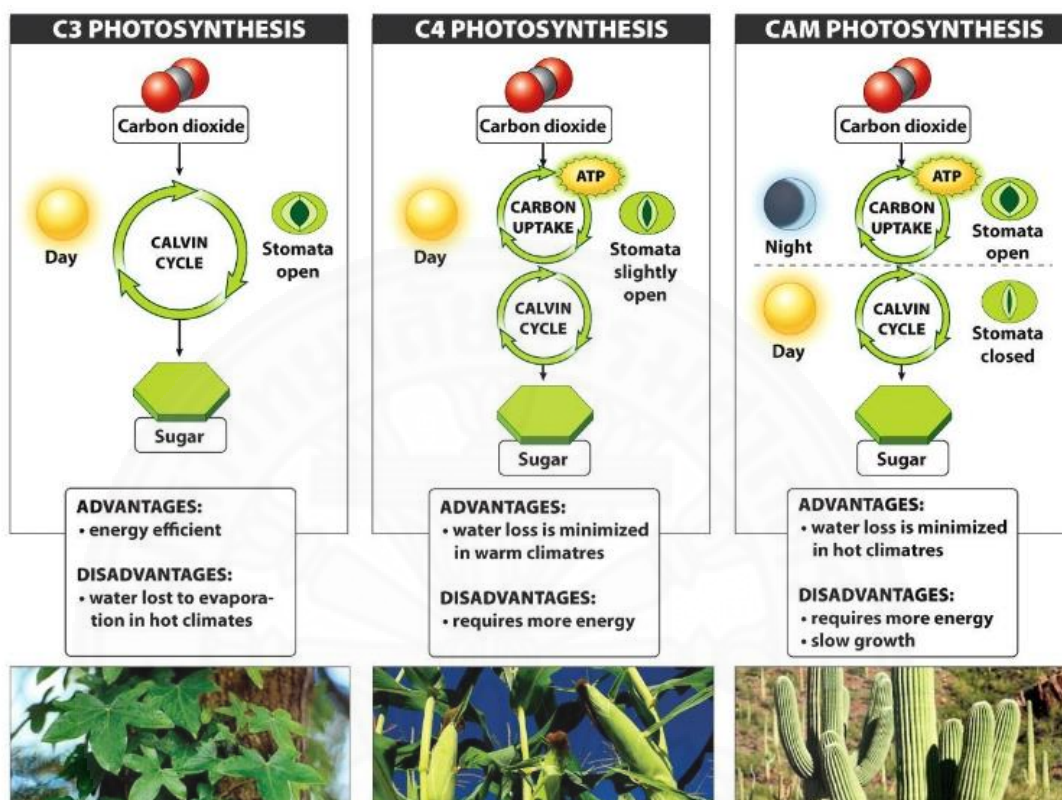


ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงกับอุณหภูมิอากาศของพืช C₃ และ C₄. ดัดแปลงจาก *BIOLOGY for high school students* (น.75), โดย จิรัชย์ เจนพาณิชย์, 2552, กรุงเทพฯ : บুমคิลเลอร์ไลน์.

(2) พืช C₄ เช่น ข้าวโพด อ้อย ข้าวฟ่าง และพืชตระกูลหญ้าในเขตร้อน จะปรับตัวให้เข้ากับสภาวะร้อนและแห้งแล้ง กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงมีความแตกต่างไปจากพืช C₃ โดยจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ วิธี Hatch-Slack Pathway และวัฏจักรคัลวิน สารอินทรีย์ตัวแรกเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม เรียกว่า ออกซาโลแอซีเตต (Oxaloacetate, OAA)

(3) พืช CAM เป็นพืชในเขตร้อนจัด เช่น กระบองเพชร สับปะรด ป่าน ว่าน และหางจระเข้ กลไกในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช CAM จะมีความคล้ายคลึงกับพืช C₄ กล่าวคือ มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 2 ครั้งเช่นกัน แต่วิธี Hatch-Slack Pathway จะเกิด

ในช่วงเวลากลางคืนเท่านั้น เนื่องจากพืชเหล่านี้จะเปิดปากใบเฉพาะเวลากลางคืน ขณะที่กลางวันจะปิดปากใบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ



ภาพที่ 2.8 ความแตกต่างของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM. จาก *Photosynthesis*, โดย J. Kono, n.d., สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2560, จาก <https://www.studyblue.com/#flashcard/view/12245986>

2.3.2.3 การจำแนกพืชพรรณตามการจัดภูมิทัศน์

การจำแนกพืชพรรณตามการจัดภูมิทัศน์ แบ่งเป็น 4 ประเภท โดยมีรายละเอียดดังนี้ (เอื้อมพร วิสมหมาย และคณะ, 2551)

(1) **ไม้ยืนต้น (Trees)** เป็นพันธุ์ไม้ที่มีลำต้นใหญ่ เจริญเติบโตตั้งตรง มีความสูงได้มากกว่า 6 เมตร ไม่ยึดเกาะกับวัสดุใด ๆ แตกกิ่งก้านสาขาบริเวณยอด ลักษณะของเนื้อไม้ยืนต้นมีทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง เช่น แดง สัก ประดู่ นนทรี จามจุรี มะขาม

(2) **ไม้พุ่ม (Shrubs)** เป็นพันธุ์ไม้ที่มีเนื้อไม้แข็ง แต่มีขนาดเล็กกว่าไม้ยืนต้น การแตกกิ่งก้านจะอยู่เหนือระดับผิวดินไม่มากนัก ทำให้มีลักษณะเป็นกอหรือพุ่ม ความสูงของไม้พุ่มมักจะไม่เกิน 6 เมตร เช่น ชบา แก้ว เข็ม

(3) **ไม้คลุมดิน (Ground Cover)** เป็นพันธุ์ไม้พุ่มเตี้ย สูงประมาณ 0.30 เมตร เจริญเติบโตในแนวราบตามผิวดิน ทำให้สามารถปกคลุมผิวดินได้ง่าย ไม้คลุมดินไม่จำเป็นต้องได้รับการดูแลมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับพืชประเภทอื่น เช่น กระจุดทอง ผกากรองเลื้อย

(4) **ไม้เลื้อย (Vines)** เป็นพันธุ์ไม้ที่ต้องการวัสดุสำหรับยึดเกาะในการเจริญเติบโต มีอวัยวะในการเกี่ยวยึด ถ้าหากไม่มีวัสดุสำหรับยึดเกาะ ไม้เลื้อยก็จะทอดยอดไปตามพื้นดิน เช่น พวงชมพู กระจับปี่

2.3.3 บทบาทของพื้นที่สีเขียว

พืชพรรณมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศด้วยการสร้างร่มเงา (Shading) และการคายระเหย (Evapotranspiration) (Akbari et al, 2001, p. 302) ในช่วงกลางวัน การสร้างร่มเงาจะมีบทบาทสำคัญในการลดอุณหภูมิอากาศและพลังงานมากกว่าการคายระเหย ขณะที่ช่วงกลางคืน พืชยังคงสามารถคายระเหยเพื่อลดอุณหภูมิอากาศได้เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้พืชก็มีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น การสร้างภาชนะน้ำสลาย การลดความเข้มของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Intensity) และการปรับปรุงคุณภาพของอากาศจากการลดหมอกควัน (Smog)

2.3.3.1 การสร้างร่มเงา

การสร้างร่มเงาจากใบของไม้ยืนต้นสามารถลดทอนรังสีจากดวงอาทิตย์ที่กำลังตกกระทบกับพื้นผิวต่าง ๆ เช่น ผนังและกระจกของอาคาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวนั้น ๆ มีค่าลดต่ำลง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ตำแหน่งการวางของไม้ยืนต้นต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การปลูกไม้ยืนต้นทางทิศตะวันตกและทิศใต้ของอาคาร (Donovan & Butry, 2009, p. 667) ยิ่งไปกว่านั้นร่มเงาของไม้ยืนต้นสามารถลดแสงจ้า รวมทั้งสกัดกั้นแสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้าและสภาพแวดล้อมข้างเคียง อย่างไรก็ตามในเวลากลางคืน ไม้ยืนต้นจะเป็นตัวขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากอาคารและผิวดินคืนสู่ท้องฟ้าและสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่า

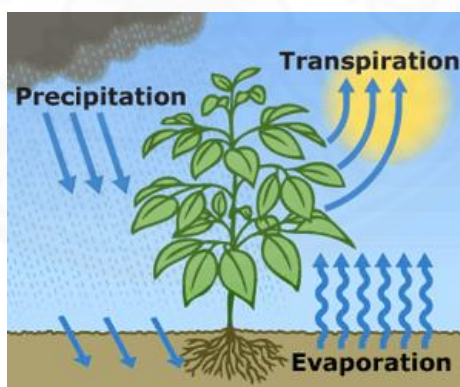
ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสร้างร่มเงาของไม้ยืนต้น คือ รูปทรงและความหนาแน่นของใบ รูปทรงอาจมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากกว่าความหนาแน่นของใบ (Heisler, 1986, อ้างถึงใน Akamphon & Akamphon, 2014, p. 19) รูปทรงของไม้ยืนต้น

ควรมีขนาดของทรงพุ่มที่ใหญ่ เพื่อให้เกิดพื้นที่ของร่มเงามาก ส่วนความหนาแน่นของใบสามารถพิจารณาได้จากค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index, LAI) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวใบ (ตารางเมตร) ต่อพื้นที่ดินใต้เรือนยอดที่ปกคลุม (ตารางเมตร) ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมักจะเพิ่มขึ้นในระยะที่พืชมีการเจริญเติบโต และจะมีค่าคงที่เมื่อพืชเจริญเติบโตที่จะผลิตส่วนสืบพันธุ์ได้ (สำเร็จ ปานอุทัย และคณะ, ม.ป.ป. น. 2)

2.3.3.2 การคายระเหย

การคายระเหย หมายถึง ปริมาณการสูญเสียน้ำของพืชให้กับอากาศ โดยเป็นผลรวมระหว่างการระเหยน้ำ (Evaporation) ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำจากผิวดินที่อยู่บริเวณใกล้เคียงพืช รวมถึงน้ำค้างหรือละอองน้ำที่มีอยู่บนลำต้นและใบของพืช กับกระบวนการคายน้ำของพืช (Transpiration) ตามภาพที่ 2.9 (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, ม.ป.ป.) ทั้งนี้การคายน้ำก็เป็นส่วนหนึ่งของน้ำที่ระเหยเช่นกัน

(1) การระเหยน้ำ คือ การเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวให้กลายเป็นไอ การเปลี่ยนสถานะดังกล่าวจำเป็นต้องใช้พลังงาน ซึ่งเรียกว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent Heat of Vaporization) ในการสลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ โดยรังสีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหนึ่งทางธรรมชาติที่สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนสถานะ (วิชวุฒิก์ แต่สมบัติ, 2555, น. 4-2)



ภาพที่ 2.9 การคายระเหย. จาก *Evapotranspiration-The Water Cycle*, โดย USGS Water Science, n.d., สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก <https://water.usgs.gov/edu/water-cycleevapotranspiration.html>

(2) การคายน้ำ คือ การสูญเสียน้ำของพืชสู่บรรยากาศภายนอกในรูปของไอน้ำ โดยน้ำจะระเหยจากทางปากใบ (Stomata) เมื่อปากใบเปิดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซกับอากาศ กลไก

ดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการลำเลียงน้ำจากรากสู่ยอดภายในท่อไซเล็ม (Xylem) หรือเรียกว่า แรงดึงจากการคายน้ำ (Transpiration Pull) การคายน้ำของพืชคิดเป็นร้อยละ 10 ของความชื้นในอากาศ อีกร้อยละ 90 มาจากมหาสมุทร ทะเลและแหล่งน้ำ (USGS Water Science, n.d.)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคายน้ำของพืชมีทั้งจากองค์ประกอบของพืชและจากสิ่งแวดล้อม โดยองค์ประกอบของพืชที่ต้องคำนึง ประกอบด้วย ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ การจัดเรียงตัวของใบ ขนาดและรูปร่างของใบ โครงสร้างภายในใบ รวมถึงอัตราส่วนของรากต่อลำต้น ส่วนปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการคายน้ำของพืช (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี , 2557) มีรายละเอียดดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นและปากใบของพืชเปิด น้ำจะระเหยออกจากปากใบได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิอากาศ 20-30°C ที่อัตราการคายน้ำจะสูง (Moore et al., 2003 อ้างถึงใน Bareja, 2013) แต่ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงหรือต่ำกว่านี้ ปากใบจะแคบลง ทำให้มีอัตราการคายน้ำลดลงด้วย เนื่องจากพืชต้องป้องกันการสูญเสียน้ำ

2. ความชื้น เมื่อความชื้นในอากาศมีค่าสูง ปากใบมีแนวโน้มที่จะปิด และจำกัดอัตราการคายน้ำของพืช เนื่องจากอากาศมีปริมาณน้ำมากแล้ว ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นในอากาศลดลง ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำในอากาศและในใบก็จะมีค่ามากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงเกิดการคายน้ำเพิ่มขึ้น

3. ลม การเคลื่อนที่ของอากาศ หรือกระแสลมที่พัดผ่านใบของพืช ส่งผลให้ความกดอากาศที่บริเวณผิวใบลดลง รวมถึงพาความชื้นของอากาศบริเวณนั้นไปด้วย น้ำจากปากใบจึงสามารถระเหยออกสู่อากาศได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามหากลมแรงมาก รูปร่างปากใบของพืชอาจปิดเพื่อต้องการลดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ

4. สภาพน้ำในดิน การเปิดปิดของปากใบมีความสัมพันธ์กับน้ำในดินมากกว่าน้ำในใบของพืช เมื่อน้ำในดินลดลง หรือมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลให้พืชดูดน้ำน้อย พืชจะสังเคราะห์กรดแอบไซซิก (Abscisic Acid, ABA) เพื่อให้รูปร่างปากใบปิด การคายน้ำก็จะลดลง

5. ความเข้มของแสง ความเข้มของแสงมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ พืชที่มีความสัมพันธ์กับการคายน้ำ อัตราการคายน้ำของพืชจะสูงในเวลากลางวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความเข้มของแสงมาก ตรงกันข้ามกับเวลากลางคืน หรือช่วงที่มีความเข้มของแสงน้อย อัตราการคายน้ำก็จะลดลงเนื่องจากรูปร่างปากใบแคบ

2.3.3.3 การปรับเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วลม

พืชพรรณมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของอากาศ รวมทั้งการเพิ่มและลดของความเร็วม โดยทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศบริเวณรอบอาคารได้

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง ขนาด ความสูง ลักษณะกิ่งก้าน ลักษณะใบ ความหนาแน่นใบ และระยะห่างระหว่างพืช (สุตสวาสต์ ศรีสถาปัตยกรรม, 2545, น. 28) ดังนั้นการเลือกและจัดสวนประกอบทางภูมิสถาปัตยกรรมจึงจำเป็นต้องทำอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อการลดลง (การต้านลม) หรือเพิ่มขึ้นของกระแสลมมากเกินไป

2.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและอุณหภูมิอากาศ

การปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ โดยศักยภาพของพื้นที่สีเขียวจะมีประสิทธิภาพอย่างชัดเจน เมื่อสภาพอากาศในพื้นที่แห่งนั้นมีค่าอุณหภูมิอากาศสูงและค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ความเย็นที่เกิดขึ้นจากพื้นที่สีเขียวขึ้นอยู่กับปริมาณของพื้นที่สีเขียวและประเภทของพืชพรรณ เช่น ไม้ยืนต้น สวนหลังคา เป็นต้น Perini and Magliocco (2014) พบว่า ประเภทของพืชพรรณที่เป็นพื้นที่สีเขียวบนพื้นดินจะสามารถลดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวโดยรอบได้ดีกว่าสวนหลังคา ณ ระดับ 1.6 เมตรจากพื้นดิน ขณะที่สวนหลังคานี้จะมีประสิทธิภาพในการลดภาระการทำความเย็นภายในอาคารมากกว่า เพราะรังสีจากดวงอาทิตย์ไม่ได้สัมผัสหลังคาโดยตรง สำหรับปริมาณของพื้นที่สีเขียว หากมีปริมาณมาก (เป็นพื้นที่สีเขียวบนพื้น 37,900 ตารางเมตร และสวนหลังคา 42,000 ตารางเมตรภายในพื้นที่ทั้งหมด 48,000 ตารางเมตร) จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ 3.5°C และอุณหภูมิผิวโดยรอบ 20°C เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีต้นไม้ การปลูกต้นไม้ที่มีความสูง 10 เมตรและมีความหนาแน่นของพุ่มใบมากก็จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากกว่าไม้คลุมดิน (Chen, 2009) นอกจากนี้ไม้คลุมดินยังต้องการน้ำในการเจริญเติบโตมาก จึงอาจไม่คุ้มค่านักเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการลดของอุณหภูมิอากาศ (Shashua-Bar et al., 2011, อ้างถึงใน Yahia & Johansson, 2014, p. 2) จากการวัดภาคสนามภายในพื้นที่สีเขียวที่มีร่มเงามากในบริเวณเขตที่ดินของบ้านพักอาศัยในประเทศมาเลเซียของ Misni (2013) พบว่าอุณหภูมิอากาศสามารถลดได้ 4°C เช่นเดียวกับฐิติพร นาคลดดา (2550) ที่พบว่าการจัดภูมิสถาปัตยกรรมให้มีร่มเงามากที่มีไม้ยืนต้น 2-3 ต้นภายในเขตที่ดินของบ้านพักอาศัยขนาด 50-70 ตารางวา จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศในช่วงกลางวันได้เฉลี่ยประมาณ 2.27°C ส่วน Berry et al. (2013) ได้วัดอุณหภูมิอากาศที่อยู่ระหว่างอาคารและต้นไม้ ร่มเงาด้านไม้สามารถลดอุณหภูมิอากาศโดยรอบประมาณ 1°C และอุณหภูมิผิวของผนังได้ 9°C เมื่อตำแหน่งของต้นไม้ที่ปลูกอยู่ใกล้ผนังและความสูงของต้นไม้มีความเหมาะสม เนื่องจากต้นไม้จะลดปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามา สุตสวาสต์ ศรีสถาปัตยกรรม (2545) ได้กล่าวถึงค่าของอุณหภูมิใต้ต้นไม้ที่ต่ำกว่าบริเวณกลางแจ้งโดยเฉลี่ย 10°C เมื่อวัดที่ระดับความสูง 0.9 เมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่งานวิจัยอีกชิ้น (Duarte et al., 2015) การลดลงของอุณหภูมิอากาศจะอยู่ที่ประมาณ $1-3^{\circ}\text{C}$ ภายใต้เรือนไม้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและอุณหภูมิของดินด้วย

2.4 วัสดุผิวภายนอก

2.4.1 ความหมายของวัสดุผิวภายนอก

วัสดุผิวภายนอก (Surface) หมายถึง พื้นผิวโดยรอบนอก รวมถึงระบบเปลือกอาคาร โดยสามารถจำแนกวัสดุผิวเป็น 2 ประเภท คือ แนวระนาบนอน และแนวระนาบตั้ง พื้นผิวโดยรอบ เช่น ถนน และหลังคาของอาคารเป็นวัสดุผิวที่มีลักษณะระนาบนอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลจากการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผนังและรั้วของอาคารที่เป็นวัสดุผิวระนาบตั้ง นอกจากนี้พื้นผิวภายนอกอาคารในเชิงภูมิสถาปัตยกรรมสามารถเรียกได้ว่าวัสดุคาดแข็ง (Hardscape)

2.4.2 คุณสมบัติของวัสดุผิวภายนอก

2.4.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

(1) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลของวัสดุ 1 หน่วยมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 หน่วย ความจุความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็น Btu/lb°F สำหรับระบบอังกฤษและ kJ/kgK สำหรับระบบเมตริก (“Thermal Properties of Materials,” n.d.) วัสดุที่มีความจุความร้อนจำเพาะสูงจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนในปริมาณมากเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุให้สูงขึ้น แต่ความร้อนก็จะสะสมในวัสดุนานมากด้วยเช่นกัน (อวีรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552, น. 99)

(2) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity: K) คือ อัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนด้วยการนำความร้อนของวัสดุ ซึ่งส่งผ่านความร้อนจากโมเลกุลของวัสดุที่มีระดับพลังงานสูงกว่าไปสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่า (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์, ม.ป.ป.) สัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีหน่วยเป็น Btu/h ft°F สำหรับระบบอังกฤษและ W/m°C (W/mK) สำหรับระบบเมตริก (“Thermal Properties of Materials,” n.d.)

(3) ค่าความหนาแน่น (Density) คือ มวลของวัสดุต่อ 1 หน่วยปริมาตร ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น lb/ft³ สำหรับระบบอังกฤษและ kg/m³ สำหรับระบบเมตริก วัสดุที่มีความหนาแน่นมากมักเก็บความร้อนได้มาก (“Thermal Properties of Materials,” n.d.)

(4) ค่าความจุความร้อนโดยปริมาตร (Volumetric Heat Capacity) คือ ปริมาตรความร้อนที่ต้องใช้ในการทำให้อุณหภูมิของวัสดุต่อ 1 หน่วยปริมาตร สูงขึ้น 1 องศา ความจุความร้อนโดยปริมาตรเท่ากับผลคูณของความจุความร้อนจำเพาะกับความหนาแน่น จึงมีหน่วยเป็น Btu/ft³°F สำหรับระบบอังกฤษและ kJ/m³K สำหรับระบบเมตริก (“ความจุความร้อนโดยปริมาตร,” ม.ป.ป.)

(5) **ค่าความต้านทานความร้อน (Resistance: R)** คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และเป็นส่วนกลับของค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance) มีหน่วยเป็น $\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$ สำหรับระบบอังกฤษและ $\text{m}^2\text{K/W}$ สำหรับระบบเมตริก หากมีค่าความต้านทานความร้อนสูง หมายความว่า วัสดุมีความสามารถป้องกันความร้อนได้ดี (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ, 2552, น. 97)

(6) **ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Coefficient of Heat Transmission: U)** คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วยเป็น $\text{Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ สำหรับระบบอังกฤษและ $\text{W/m}^2\text{K}$ สำหรับระบบเมตริก หากวัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมาก วัสดุจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนได้มาก หรือไม่มีความเป็นฉนวน

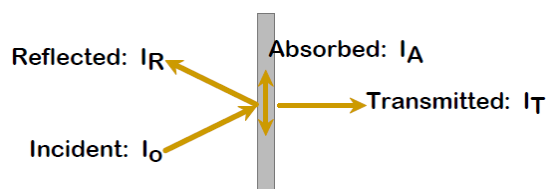
2.4.2.2 คุณสมบัติของผิววัสดุที่ส่งผลต่อการแผ่รังสีความร้อน

(1) **ค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน (Transmittivity)** คือ คุณสมบัติของผิววัสดุที่เกิดขึ้นเฉพาะตัวกลางโปร่งแสง ซึ่งยอมให้รังสีดวงอาทิตย์ทะลุผ่าน

(2) **ค่าการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity)** คือ คุณสมบัติของผิวและเนื้อวัสดุที่สามารถดูดซับรังสีดวงอาทิตย์หรือกักเก็บความร้อนไว้ โดยวัสดุที่มีสีเข้มจะดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ได้มากกว่าวัสดุที่มีสีอ่อน

(3) **ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity)** คือ คุณสมบัติของผิววัสดุที่สามารถสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ โดยวัสดุที่มีผิวมัน ผิวเรียบ หรือสีอ่อนจะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดี

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์กระทบลงบนพื้นผิวของวัสดุแล้ว วัสดุจะดูดซับ สะท้อนกลับ และส่งผ่านรังสีความร้อน (ภาพที่ 2.10) โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน ค่าการดูดซับรังสีความร้อนและค่าการสะท้อนรังสีความร้อนเป็นไปตามสมการที่ 2.4 และ 2.5 (“สมบัติเชิงแสงของวัสดุ,” ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน ค่าการดูดซับรังสีความร้อนและค่าการสะท้อนรังสีความร้อน. จาก *สมบัติเชิงแสงของวัสดุ*, ม.ป.ป., สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2560, จาก <http://physics.science.cmu.ac.th/courses/210351/Large%205.pdf>

$$I_O = I_T + I_A + I_R \quad (2.4)$$

$$\frac{I_T}{I_O} + \frac{I_A}{I_O} + \frac{I_R}{I_O} = T + A + R = 1 \quad (2.5)$$

เมื่อ I_O	คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบลงวัสดุ
T	คือ ค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน
A	คือ ค่าการดูดซับรังสีความร้อน
R	คือ ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน

(4) **ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)** คือ คุณสมบัติของเนื้อวัสดุที่แผ่รังสีความร้อนของวัสดุที่อุณหภูมิใด ๆ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 วัตถุดำ (Blackbody) ซึ่งเป็นวัตถุทางอุดมคติ มีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 1 (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นวภัทรา หนูนาค, ม.ป.ป.)

(5) **ค่าอัลบิโด (Albedo หรือ Solar Reflectance)** คือ ตัวชี้วัดพลังงานแสงอาทิตย์อย่างหนึ่ง โดยเป็นสัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสะท้อนออกจากพื้นผิว มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สีดำจะมีค่าอัลบิโดเท่ากับ 0 (U.S. Green Building Council, n.d.)

2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผิวภายนอกและอุณหภูมิอากาศ

วัสดุผิวเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นผิวในแนวระนาบที่สามารถรับรังสีดวงอาทิตย์ได้สูง ทำให้อุณหภูมิผิว (Surface Temperature) ของวัสดุพื้นแต่ละชนิดมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลให้สภาพแวดล้อมดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุผิว เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน ค่าการดูดซับรังสีความร้อน ทั้งนี้ของวัสดุมีผลต่อการดูดซับแสง สีเข้ม สีปานกลางและสีอ่อนจะมีค่าการดูดซับรังสีความร้อน 0.9 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ ดังนั้นวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือมีค่าการดูดซับรังสีความร้อนต่ำ ก็จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของทั้งพื้นที่สีเขียวและวัสดุพื้นผิวภายนอก งานวิจัยของ Shahidan et al. (2012) พบว่า ปริมาณของต้นไม้ ความหนาแน่นของพุ่มใบ และวัสดุผิวเย็น เช่น พื้นยางมะตอยที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ พื้นคอนกรีตที่มีรูพรุน หรือพื้นที่มีการสะท้อนรังสีความร้อนสูง เป็นปัจจัย 3 ชนิดที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศของพื้นที่เขตเมือง ซึ่งได้ทำการจำลองและวัดภาคสนามในเมืองปูตราจายา ประเทศมาเลเซีย โดยปรับเปลี่ยนพื้นที่เมืองภายในแบบจำลองด้วยการเพิ่มปริมาณต้นไม้อีกร้อยละ 50 เพิ่มค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเป็น 9.7 และเพิ่มค่าการสะท้อนของวัสดุเป็น

0.8 ทำให้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยลดลง 2.7°C ขณะที่ Skelhorn et al. (2014) ปรับเปลี่ยนปริมาณของพื้นที่สีเขียวร้อยละ 20 ให้แทนที่ด้วยยางมะตอย ซึ่งมีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนค่อนข้างต่ำ อุณหภูมิอากาศจึงเพิ่มขึ้น 3.2°C ในพื้นที่ชานเมืองแมนเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียว วัสดุผิวภายนอกและพลังงาน

การประหยัดพลังงานเป็นตัวแปรหนึ่งที่ได้รับอิทธิพลจากการมีพื้นที่สีเขียวและวัสดุพื้นผิว และยังมีความสัมพันธ์ต่อสภาพอากาศระดับจุลภาค การประหยัดพลังงานสามารถคิดเป็นจำนวนเงินได้ ดังที่ Akbari et al. (1997) คำนวณการประหยัดพลังงานจากการศึกษาภาคสนามบ้าน 2 หลัง พบว่า ร่มเงาต้นไม้สามารถช่วยประหยัดพลังงานในการทำความเย็นได้ร้อยละ 30 โดยคิดการใช้พลังงานในการทำความเย็นเฉลี่ยเป็นรายวันประมาณ 3.6 และ 4.8 kWh ของบ้านแต่ละหลัง และในช่วงที่มีความต้องการการใช้พลังงานสูงสามารถประหยัดได้ร้อยละ 24 และ 42 (0.6 และ 0.8 kWh) นอกจากนี้ Akbari et al. (2001) ได้คำนวณหาปริมาณพลังงานที่ลดลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวเย็น โดยใช้โปรแกรมจำลอง DOE-2 ซึ่งมีรูปแบบการคำนวณ 2 วิธี คือ วิธีทางตรงและวิธีทางอ้อม วิธีทางตรงจะจำลองอาคารที่มีหลังคาสีเข้มและอ่อน และสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และไม่มีต้นไม้ ขณะที่วิธีทางอ้อมจะต้องปรับแก้ฐานข้อมูลอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม เนื่องจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนไป ผลที่ได้จากการจำลอง คือ พลังงานในการทำความเย็นลดลงร้อยละ 20 ในพื้นที่เขตเมือง คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้มากกว่า 10 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ส่วนผลการศึกษาของ Pandit and Laband (2010) พบว่า ร่มเงาต้นไม้มีความสัมพันธ์ต่อการลดการใช้พลังงานในฤดูร้อน ตรงกันข้ามกับฤดูหนาวที่การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการมีร่มเงาทำให้อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำ นอกจากนี้ Akbari (2002) พบว่า การปลูกต้นไม้ในเมืองสามารถช่วยลดการใช้พลังงานการทำความเย็นและความร้อนได้ร้อยละประมาณ 25 การศึกษาของ Shahidan et al. (2012) ซึ่งทำในเรื่องเดียวกัน พบว่า การปรับเปลี่ยนปริมาณของต้นไม้ ความหนาแน่นของพุ่มใบ และวัสดุผิวเย็นในพื้นที่เขตเมืองตามที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถลดภาระการทำความเย็นได้ร้อยละ 29 ขณะเดียวกันกาญจนา สิริภัทรวิช (2541) ศึกษาคุณสมบัติของเงาและพุ่มใบของชนิดต้นไม้ในการควบคุมการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยต้นจามจุรี และต้นพิทูลสามารถลดพลังงานการทำความเย็นได้ร้อยละ 11.88 และ 13.52 รวมถึงลดการใช้พลังงานโดยรวมไปร้อยละ 13.85 และ 15.63 ต่อปี เมื่อเทียบกับผนังที่ไม่มีการบังเงาจากต้นไม้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า พื้นที่สีเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นไม้ และวัสดุผิวภายนอกมีส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ ซึ่งนำไปสู่การประหยัดพลังงานภายในอาคาร นอกจากนี้ยังมีผลต่อเนื้ออีก 2 ปัจจัยจากการมีพื้นที่สีเขียวและวัสดุพื้นผิว คือ คุณภาพอากาศที่ดีขึ้นและช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด เช่น โรงงาน ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	ตัวแปรต้น					ตัวแปรตาม			วิธีวิจัย		พื้นที่ศึกษา			
	ต้นไม้	พืชคลุมดิน	วัสดุพื้นผิว	น้ำ	ลม	อุณหภูมิอากาศ	การประหยัดพลังงาน	CO ₂	คุณภาพอากาศ	วัดภาคสนาม	จำลอง	พื้นที่เมือง	ที่อยู่อาศัย	ห้องจำลอง
Shahidan et al. (2012)														
Misni (2013)														
Berry et al. (2013)														
Skelhom et al. (2014)														
Akbari et al. (1997)														
Akbari et al. (2001)														
Pandit & Laband (2010)														
Akbari (2002)														

2.6 โปรแกรมแบบจำลอง

2.6.1 โปรแกรมแบบจำลองสภาพอากาศ

โปรแกรมแบบจำลองสภาพอากาศเป็นการนำพีชพรรณจากการจัดภูมิทัศน์ในท้องถิ่นมาใช้ในการคำนวณ เพื่อให้ผลการคำนวณมีปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของโปรแกรมแบบจำลองสภาพอากาศ ได้แก่ VUCM (Vegetated Urban Canopy Model), CTTC (Cluster Thermal Time Constant), STEVE (Screening Tool for Estate Environment and Evaluation) และ ENVI-met โดยโปรแกรม VUCM ซึ่งใช้สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมและอุตุนิยมวิทยาในระดับกลาง (Mesoscale) คำนึงถึงกระบวนการทางกายภาพ เช่น การถ่ายเทรังสี

ความร้อนภายในถนนที่มีลักษณะที่เป็นหุบเหว (Street Canyon) และการนำความร้อนของพื้นผิว ลักษณะของแบบจำลองในโปรแกรม VUCM เป็นองค์ประกอบของรูปแบบเมืองอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยอาคารที่ต้องกำหนดขนาดของสัดส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างของถนน (Aspect Ratio) และพืชที่ระบุค่าความหนาแน่นพุ่มใบ ส่วนโปรแกรม CTTC สามารถประเมินผลกระทบทางสภาพอากาศของต้นไม้ที่มีผลต่อการออกแบบเมือง โดยอุณหภูมิอากาศในกลุ่มพื้นที่ที่สนใจ (Cluster) จะถูกคำนวณผ่านความร้อนที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดภายนอก กลุ่มพื้นที่ในโปรแกรม CTTC นี้มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่งที่อยู่ระหว่างอาคาร เช่น ถนน ลาน (Duarte, 2016, pp. 126-127) โปรแกรม STEVE เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้รับความนิยมจากสถาปนิกและนักวางผังเมือง โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมเสริม (Plug-in) ของโปรแกรม SketchUp โดยใช้สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดในจุดของพื้นที่ที่สนใจ อุณหภูมิอากาศนี้จะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ เช่น พืช พื้นผิว อาคาร ผลลัพธ์จากการคำนวณถูกนำเสนอรวมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) เรียกว่า ArcGIS (Hien et al., 2012, p. 197)

2.6.1.1 โปรแกรม ENVI-met

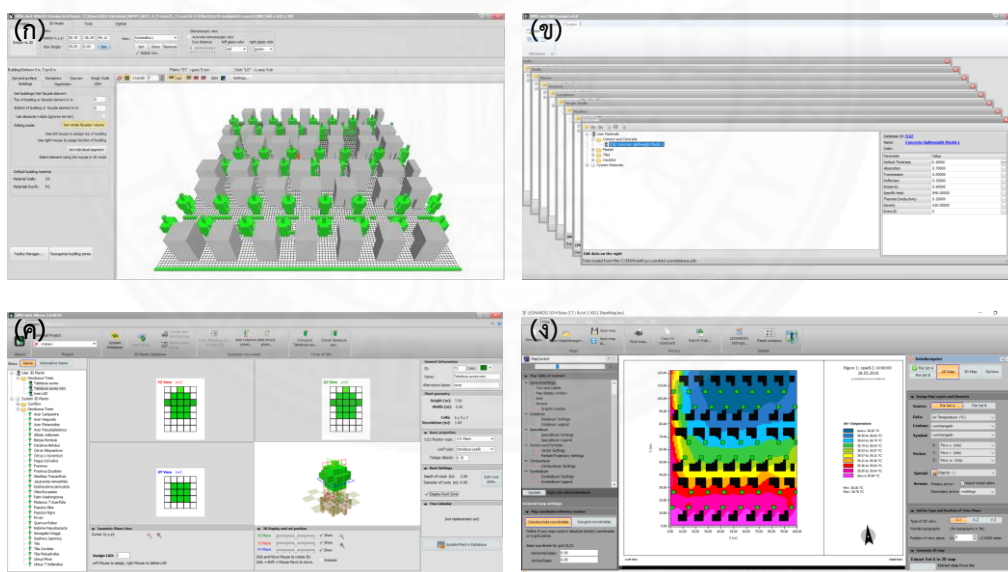
งานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาผลกระทบของพืชพรรณต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคนิยมใช้โปรแกรม ENVI-met ในการประเมิน เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวเป็นหนึ่งในแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาจุลภาคที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับพื้นที่เมืองมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรแกรม ENVI-met V4 แต่การใช้โปรแกรมนี้จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพจำนวนมาก โปรแกรม ENVI-met สามารถจำลองอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และความสมดุลของรังสีดวงอาทิตย์ (Radiation Balance) ในพื้นที่เมืองที่มีความละเอียด 0.5-10 เมตร พืชพรรณที่ใช้ในแบบจำลองนี้จำเป็นต้องระบุค่าความหนาแน่นพุ่มใบ (Leaf Area Density, LAD) เพื่อแสดงถึงสรีรวิทยาของพืช แทนที่ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Duarte, 2016, pp. 130-131) โดยค่าความหนาแน่นพุ่มใบและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีความสัมพันธ์ดังสมการ 2.6 (Yahia & Johansson, 2014, p. 5)

$$LAI = \sum_{i=1}^n LAD_i \times dz \quad (2.6)$$

เมื่อ LAI	คือ	ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ
LAD	คือ	ค่าความหนาแน่นพุ่มใบ (m^2/m^3)
n	คือ	จำนวนชั้น (Layer) ของความสูงพืช

dz คือ ความหนาของชั้น หรือความสูงของพืชหารด้วย n (m)

โปรแกรม ENVI-met ที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ENVI-met V4 ซึ่งได้รับการปรับปรุงและพัฒนาจาก ENVI-met 3.1 เช่น สามารถใส่ค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงในข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศ การสร้างไม้ยืนต้นในรูปแบบของสามมิติ นอกจากนี้ในโปรแกรม ENVI-met V4 ยังมีเครื่องมือ เช่น Spaces, Manage Database, Albero, ConfigWizard และ Leonardo เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง ประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ โดย Spaces ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง (ภาพที่ 2.11ก) Manage Database เป็นเครื่องมือสร้างข้อมูลนำเข้าของวัสดุที่ใช้ และพืชที่มีลักษณะเป็นสองมิติ (ภาพที่ 2.11ข) ขณะที่ Albero เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างไม้ยืนต้นที่มีลักษณะเป็นสามมิติ (ภาพที่ 2.11ค) ConfigWizard เป็นฐานข้อมูลสภาพอากาศเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งจะกล่าวต่อไป ส่วน Leonardo ใช้แสดงผลลัพธ์ของสภาพอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ได้จากการจำลอง (ภาพที่ 2.11ง) เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างเครื่องมือในโปรแกรม ENVI-met V4 (ก) Spaces (ข) Manage Database (ค) Albero และ (ง) Leonardo

2.6.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4

การจำลองแบบจำลองภูมิอากาศในโปรแกรม ENVI-met V4 จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้อง เพื่อให้ข้อมูลนำเข้า (Input data) ของโปรแกรมอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสภาพอากาศแบบเดียวกับพื้นที่ศึกษา หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ผลการจำลองและข้อมูลสภาพอากาศที่วัดได้ในสถานที่จริงจะต้องมีความคล้ายคลึงกัน (Gusson, 2016) ตัวแปรของสภาพอากาศที่งานวิจัยส่วนใหญ่นำมาใช้เปรียบเทียบนี้ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature, MRT) การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรมดังกล่าวจะพิจารณาจากความสอดคล้องทางสถิติ 3 ค่า ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ The Coefficient of Determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) และ Index of Agreement (d) ค่าความสอดคล้องทางสถิติที่ดีควรมีค่า R^2 และ d ใกล้ 1 ส่วน RMSE มีค่าใกล้ 0 รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณ RMSE และ d แสดงในสมการที่ 2.7 และ 2.8

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2.7)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| - |O'_i|)^2} \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ P_i	คือ ค่าจากแบบจำลองที่ i
O_i	คือ ค่าจากการวัดภาคสนามที่ i
n	คือ จำนวนชั่วโมง
P'_i	คือ ผลต่างของค่าจากแบบจำลองที่ i และค่าเฉลี่ยของค่าจากการวัดภาคสนาม
O'_i	คือ ผลต่างของค่าจากการวัดภาคสนามที่ i และค่าเฉลี่ยของค่าจากการวัดภาคสนาม

ตารางที่ 2.2 แสดงถึง ค่าความสอดคล้องทางสถิติของอุณหภูมิอากาศระหว่างผลการจำลองและพื้นที่จริงในงานวิจัยที่ผ่านมา โดย R^2 มีค่าระหว่าง 0.69 – 0.97 RMSE มีค่าระหว่าง 0.66 – 1.89 และ d มีค่าระหว่าง 0.60 – 0.98 นอกจากนี้งานวิจัยบางชิ้นใช้ค่าทางสถิติอื่น ในการเปรียบเทียบผลการจำลองและพื้นที่จริง เช่น งานวิจัยของ Srivanit and Hokao (2013) ซึ่งใช้ค่า Mean Difference ด้วยวิธีทางสถิติ Paired T-Test ผลจากการคำนวณผ่านโปรแกรมทาง

สถิติ พบว่า ค่า P-Value (Sig.) ของอุณหภูมิอากาศมีค่า 0.545 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ (0.05) ดังนั้นอุณหภูมิอากาศระหว่างการจำลองและการวัดภาคสนามไม่ได้มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2

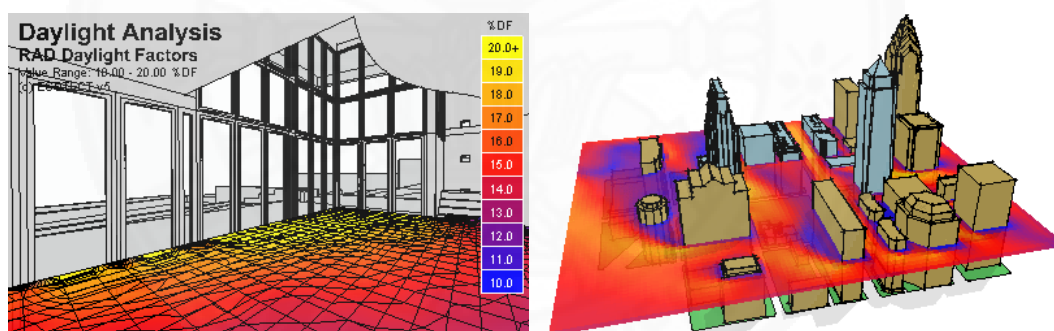
ค่าความสอดคล้องทางสถิติของอุณหภูมิอากาศระหว่างผลการจำลองและพื้นที่จริง

ชื่อผู้วิจัยและปีที่ทำการวิจัย	ประเทศ	R ²	RMSE	d
Salata et al. (2016)	อิตาลี	0.88	1.89	0.91
Lee et al. (2016)	เยอรมนี	0.85	0.66	0.95
Wang et al. (2016)	แคนาดา	0.69	-	-
Duarte et al. (2015)	บราซิล	-	1.61	0.85
Taleghani et al. (2015)	เนเธอร์แลนด์	-	1.00	-
Jänicke et al. (2015)	เยอรมนี	0.87	1.39	-
Qaid and Ossen (2015)	มาเลเซีย	0.69	1.82	0.60
Ghaffarianhoseini et al. (2015)	มาเลเซีย	0.96	-	-
Middel et al. (2014)	อเมริกา	-	1.74	0.98
Müller et al. (2014)	เยอรมนี	0.97	-	-
Elnabawi et al. (2014)	อียิปต์	0.94	-	-
Yang et al. (2012)	จีน	0.94	1.01	0.97

2.6.2 โปรแกรมแบบจำลองการใช้พลังงาน

โปรแกรมแบบจำลองการใช้พลังงานถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาทางเลือกในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน ปัจจุบันโปรแกรมเหล่านี้ได้รับการพัฒนาให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น นำเสนอทางเลือกในการออกแบบได้หลากหลาย และไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานในบางโปรแกรม โปรแกรมที่มีใช้งานมากที่สุดในประเทศไทย คือ โปรแกรม BEC ที่ถูกจัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพลังงานต่าง ๆ ตามประกาศกระทรวงพลังงาน โปรแกรม BEC จะประเมินได้เพียงผลเบื้องต้นของอาคาร แต่วิธีการใช้งานมีความซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกรอกข้อมูล (ชานิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558, น. 50) นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ Ecotect EnergyPlus VisualDOE และ eQUEST

Ecotect เป็นโปรแกรมสามมิติสำหรับจำลอง และวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยจะคำนวณผลเบื้องต้นของการใช้พลังงานของอาคารจากการใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศในแต่ละท้องถิ่นนั้น ๆ รวมถึงมีความสามารถในการจำลองแสงแดดหรือรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารผ่านช่องเปิด แสดงเส้นทางการเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า และความสัมพันธ์ระหว่างแสงแดดกับเงาของอาคารในแต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกตลอดช่วงเวลา (ทูปล์ส ซอฟท์, ม.ป.ป.) การประเมินด้านแสงแดดของโปรแกรม Ecotect จึงได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับ เนื่องจากนำเสนอเป็นภาพกราฟิกสามมิติ ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจตามภาพที่ 2.12 (Ziger/Snead Architects, 2008) ขณะที่โปรแกรม EnergyPlus VisualDOE และ eQUEST ซึ่งมีพื้นฐานการคำนวณมาจากโปรแกรม DOE สามารถคำนวณผลการใช้พลังงานของอาคารจากการใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศได้อย่างละเอียดมากกว่า อย่างไรก็ตาม โปรแกรม EnergyPlus มีรูปแบบการป้อนข้อมูลและผลลัพธ์จากประมวลผลอยู่ในรูปข้อความตัวหนังสือ (Text File) ทำให้อาจยากต่อการใช้งาน (เฉลิมพล ถนอมกลาง, 2556, น. 38) ส่วนโปรแกรม VisualDOE และ eQUEST จะถูกพัฒนาให้มีระบบของกราฟิก (GUI) ในการสร้างแบบจำลองและการประมวลผลเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน (ปกป้อง ปัดทวิคองคา, 2555, น. 20)



ภาพที่ 2.12 การประเมินด้านแสงแดดของโปรแกรม Ecotect. จาก *ECOTECT (Building Performance Simulation Software)*, โดย Ziger/Snead Architects, 2008, สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.zigersnead.com/current/blog/post/ecotect-building-performance-simulation-software/08-05-2008/1307/>

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

บทนี้เป็น การนำเสนอวิธีการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการวิจัย ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย การจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 และ eQUEST 3.65 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาแนวโน้มปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่เปลี่ยนแปลงภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น เมื่อมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกของพื้นที่เขตพักอาศัย โดยใช้โปรแกรม ENVI-met V4 ที่สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้ความเย็นของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวได้ และใช้โปรแกรม eQUEST 3.65 สำหรับวิเคราะห์ด้านพลังงาน ขั้นตอนการวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง (ภาพที่ 3.1)

3.1.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4

ผู้วิจัยสำรวจกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัยภายในโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่ง เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 โดยแบบจำลองดังกล่าว (กรณีตั้งต้น) มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับพื้นที่เขตพักอาศัยที่สำรวจมา รวมถึงใช้ข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้กับพื้นที่เขตพักอาศัยมากที่สุด การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จะพิจารณาจากความสอดคล้องทางสถิติทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ R^2 , RMSE, d และ Mean Difference หากกรณีตั้งต้นยังไม่มีความสอดคล้องกับสถานที่จริง ข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศ โดยเฉพาะอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ จะถูกปรับค่า เพื่อให้ผลลัพธ์ของสภาพอากาศจากการจำลองมีความคล้ายคลึงกับสถานที่จริง เมื่อกรณีตั้งต้นมีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องแล้ว แบบจำลองนี้จะถูกดำเนินการต่อด้วยการปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอก ซึ่งเรียกว่า กรณีศึกษา

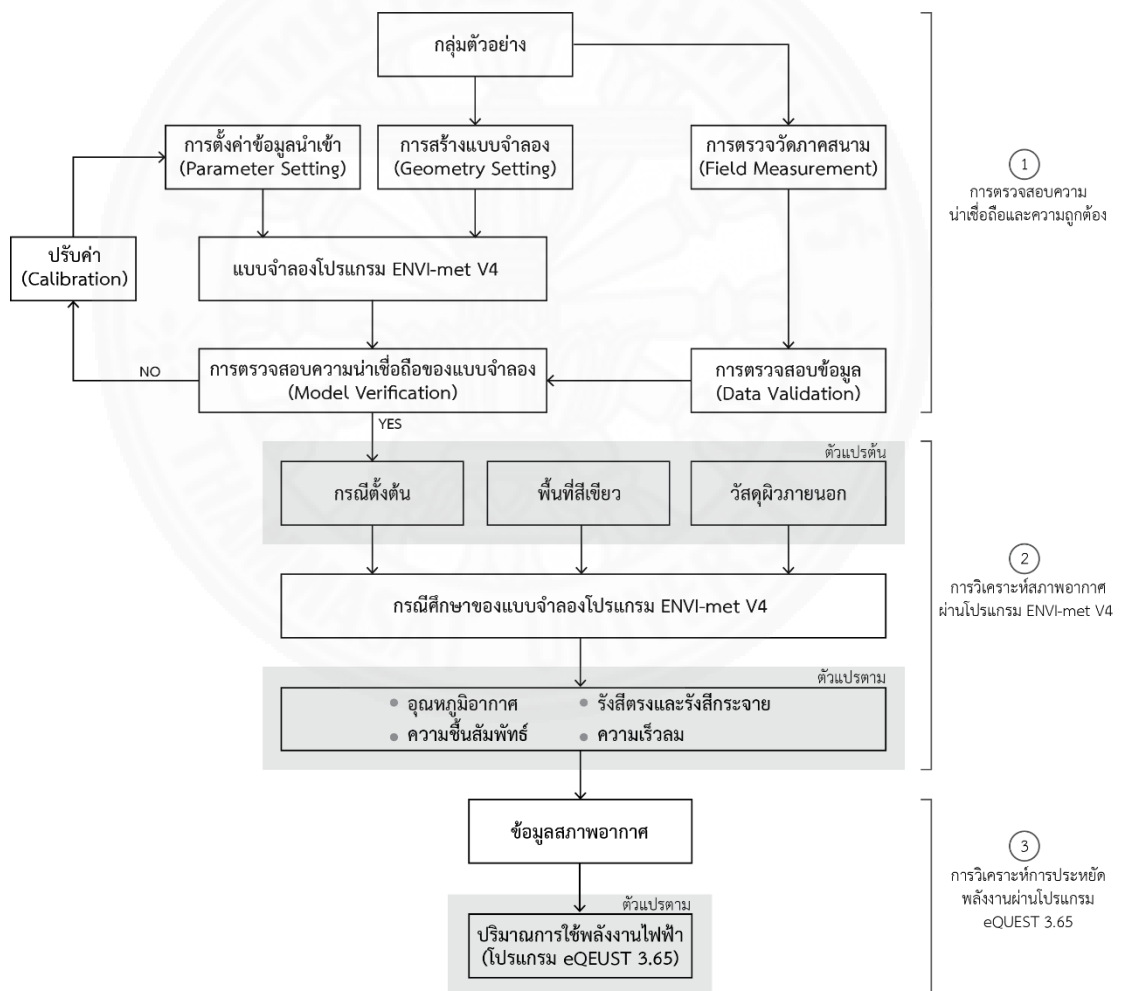
3.1.2 การวิเคราะห์สภาพอากาศผ่านโปรแกรม ENVI-met V4

กรณีศึกษาที่มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกนำมาจำลองผ่านโปรแกรม ENVI-met V4 เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ของสภาพอากาศที่เกิดขึ้น ผลลัพธ์ของสภาพอากาศ

ที่นำไปใช้ต่อในโปรแกรม eQUEST 3.65 คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลม

3.1.3 การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานผ่านโปรแกรม eQUEST 3.65

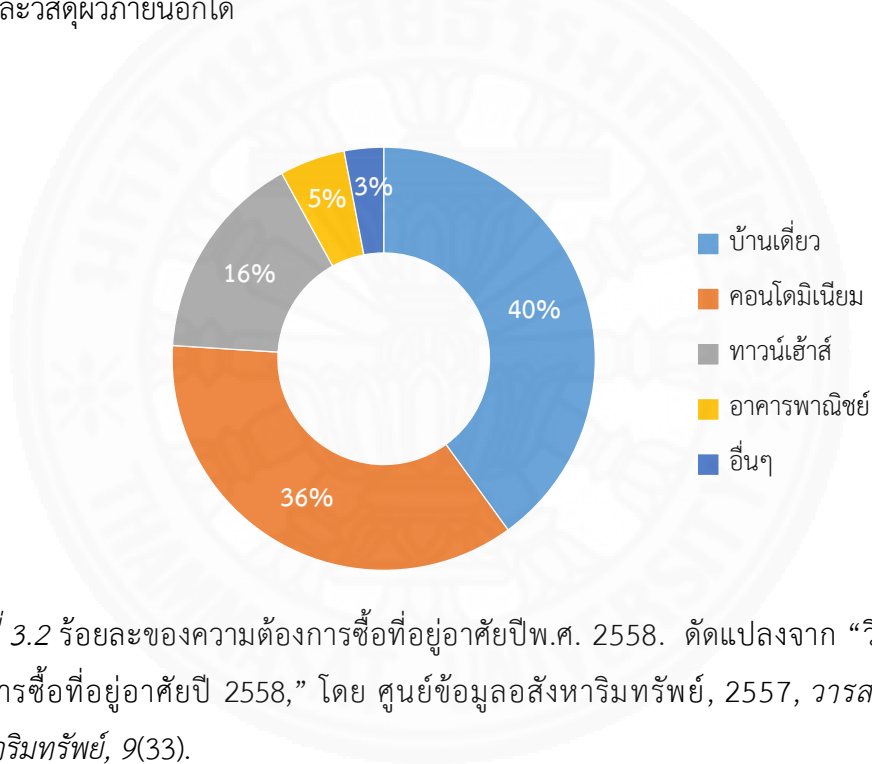
แบบจำลองในโปรแกรม eQUEST 3.65 ถูกสร้างสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับกรณีศึกษาที่สร้างในโปรแกรม ENVI-met V4 รวมทั้งนำข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI-met V4 ในกรณีศึกษาต่าง ๆ มาสร้างเป็นข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม eQUEST 3.65 จากนั้นจึงสามารถคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งปีได้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากอาคารประเภทที่อยู่อาศัยใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาประจำปีพ.ศ. 2557 มากเป็นลำดับที่สอง รองจากภาคอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัยจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศได้ ตามภาพที่ 3.2 พบว่า บ้านเดี่ยวเป็นที่อยู่อาศัยที่มีความต้องการซื้อสูงสุดในปีพ.ศ. 2558 นอกจากนี้บ้านเดี่ยวมีพื้นที่รอบข้างภายในแปลงที่ดิน เนื่องจากอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 9 เมตรต้องมีระยะห่างจากแนวเขตที่ดิน 2 เมตรตามกฎหมายฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) ข้อที่ 50 (กระทรวงมหาดไทย, 2543) พื้นที่ที่ห่างจากแนวเขตที่ดินนี้จึงสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกได้



ภาพที่ 3.2 ร้อยละของความต้องการซื้อที่อยู่อาศัยปีพ.ศ. 2558. ดัดแปลงจาก “วิเคราะห์ความต้องการซื้อที่อยู่อาศัยปี 2558,” โดย ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์, 2557, วารสารศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์, 9(33).

ประชากรที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นพื้นที่เขตพักอาศัยที่มีบ้านเดี่ยว 2 ชั้น โดยมีลักษณะตามรายละเอียดดังนี้

(1) พื้นที่ใช้สอยภายในบ้านเดี่ยว 2 ชั้นแต่ละหลังมีขนาดไม่เกิน 200 ตารางเมตร และมีราคาประมาณ 3 - 10 ล้านบาท

(2) แปลงที่ดินมีขนาดไม่น้อยกว่า 50 ตารางวา แต่ไม่เกิน 60 ตารางวา (แปลงที่ดินที่มีเนื้อที่อย่างน้อย 50 ตารางวา เป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดสรรที่ดินเพื่อที่อยู่อาศัยและพาณิชย์กรรมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2550 (กรมที่ดิน, 2550))

ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่มเพื่อใช้ในการสำรวจและเก็บข้อมูล โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) กลุ่มตัวอย่างเป็นพื้นที่เขตพักอาศัยที่มีบ้านเดี่ยว 2 ชั้นภายในโครงการหมู่บ้านจัดสรร เพื่อให้พื้นที่เขตพักอาศัยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการตรวจวัดสภาพอากาศน้อยที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

- (1) พื้นที่เขตพักอาศัยที่มีผู้อยู่อาศัยอยู่น้อย หรือไม่มี
- (2) พื้นที่เขตพักอาศัยที่ไม่ยื่นต้นมีขนาดเล็ก หรือไม่มี
- (3) บ้านเดี่ยวภายในพื้นที่เขตพักอาศัยที่ยังไม่ได้รับการต่อเติม

กลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัยตั้งอยู่ในเขตสายไหม ซึ่งเป็นพื้นที่ชานเมืองของกรุงเทพมหานคร ภูมิอากาศทั่วไปของกรุงเทพมหานครตามการจำแนกภูมิอากาศแบบเคิปเปน (Köppen Climate Classification)² เป็นภูมิอากาศร้อนชื้นสลับแห้ง (Tropical Wet-Dry Climate, AW) หรือเรียกว่าภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Tropical Savanna Climate) โดยมีฤดูฝนและฤดูแล้งอย่างชัดเจน ภูมิอากาศลักษณะนี้แตกต่างจากภูมิอากาศแบบชื้นตลอดเวลา เพราะมีน้ำฝนตลอดปีน้อยกว่า (“การจำแนกภูมิอากาศแบบเคิปเปน,” ม.ป.ป.)

3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

3.3.1 ตัวแปรต้น

3.3.1.1 พื้นที่สีเขียว ประกอบด้วย ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม โดยพื้นที่สีเขียวทั้งสองประเภทนี้ถูกกำหนดให้มีค่าการสะท้อนรังสีของใบที่ 0.2 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น (Default) ของโปรแกรม ENVI-met V4 ส่วนค่าอื่น ๆ ของพื้นที่สีเขียวที่ใช้ในแบบจำลองสรุปในตารางที่ 3.1

(1) **ไม้ยืนต้น** มี 2 ประเภท คือ ต้นไม้ขนาดทรงพุ่ม 3 เมตร สูง 6 เมตร (ภาพที่ 3.3ก) ซึ่งใช้ในกรณีตั้งต้น และต้นไม้ขนาดทรงพุ่ม 5 เมตร สูง 7 เมตรสำหรับกรณีศึกษา (ภาพที่ 3.3ข) โดยทั้ง 2 ต้นนี้เป็นไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen Plant) และเป็นพืชประเภท C₃ ต้นไม้ที่ใช้ในกรณีตั้งต้นเป็นตัวแทนของต้นไม้ที่เริ่มปลูกไม่นาน ขณะที่ต้นไม้ที่ใช้ในกรณีศึกษาเป็นตัวแทน

² การจำแนกภูมิอากาศแบบเคิปเปนเป็นหนึ่งในระบบการแบ่งเขตภูมิอากาศที่ใช้กันกว้างขวางที่สุด ซึ่งถูกเผยแพร่โดยดร.วลาดีเมียร์ เคิปเปน (Wladimir Köppen) ในปีค.ศ. 1918 การจำแนกดังกล่าวจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปีหรือรายเดือนเป็นเกณฑ์ แต่ไม่ได้พิจารณาข้อมูลความกดอากาศ ทิศทางลมและพายุ (“การแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิปเปน,” ม.ป.ป.)

ของต้นไม้ที่เจริญเติบโตเต็มที่ ทำให้ขนาดรูปทรงของต้นไม้ และค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีความแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ศักยภาพการให้ความเย็นของต้นไม้ทั้งสองประเภทจึงมีความแตกต่างกัน ความหนาแน่นของพุ่มใบที่ระดับต่าง ๆ ของต้นไม้ 2 ต้นนี้ถูกนำเสนอในตารางที่ 3.2 ผ่านการสร้างจาก Albero ซึ่ง เป็นเครื่องมือหนึ่งในโปรแกรม ENVI-met V4

(2) **ไม้พุ่ม** มี 2 ประเภท คือ ไม้พุ่มขนาดใหญ่ สูง 1.8 เมตร และไม้พุ่มขนาดเล็ก สูง 0.5 เมตร โดยไม้พุ่มขนาดใหญ่ เช่น โมก จะนิยมปลูกริมรั้วเพื่อบังสายตาจากคนภายนอก ไม้พุ่มขนาดเล็ก เช่น โคลงเคลงเลื้อย ปลูกเพื่อประดับตกแต่ง และแสดงขอบเขตระดับพื้นที่

ตารางที่ 3.1

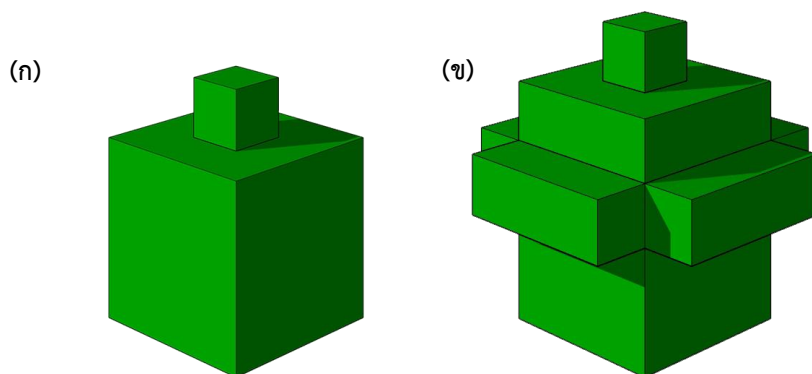
พื้นที่สีเขียวและวัสดุปกคลุมผิวพื้น (ไม้คลุมดิน) ที่ใช้ในโปรแกรม ENVI-met V4

	ขนาด (ม.)	สูง (ม.)	ค่าดัชนีพื้นที่ ผิวใบ	ค่าความ หนาแน่นพุ่มใบ	ค่าการสะท้อน รังสีของใบ
ไม้ยืนต้น (กรณีตั้งต้น)	3	6	1.2 ⁿ	0.3 ⁿ	0.2 ⁿ
ไม้ยืนต้น (กรณีศึกษา)	5	7	3.5	0.2/0.7/1.2	0.2 ⁿ
ไม้พุ่มขนาดใหญ่	1	1.8	4	2.22	0.2 ⁿ
ไม้พุ่มขนาดเล็ก	1	0.5	0.15 ⁿ	0.3 ⁿ	0.2 ⁿ
ไม้คลุมดิน	-	0.05	0.015 ⁿ	0.3 ⁿ	0.2 ⁿ

หมายเหตุ. (1) จาก 40 ต้นไม้ยอดฮิตที่ไม่เคยตกเทรนด์, โดย บ้านและสวน, 2559, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2560, จาก <http://www.baanlaesuan.com/34440/ideas/garden-ideas-1/40-plants/>

(2) จาก Nparks Flora & Fauna Web, n.d., สืบค้นเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2560, จาก <https://florafaunaweb.nparks.gov.sg/>

ⁿ หมายถึง ค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ENVI-met V4



ภาพที่ 3.3 ไม้ยืนต้นที่ใช้ในแบบจำลอง (ก) ต้นไม้ขนาดทรงพุ่ม 3 เมตร สูง 6 เมตร และ (ข) ต้นไม้ขนาดทรงพุ่ม 5 เมตร สูง 7 เมตร

ตารางที่ 3.2

ค่าความหนาแน่นของพุ่มใบที่ระดับต่าง ๆ ของไม้ยืนต้น

	ไม้ยืนต้น (กรณีตั้งต้น)	ไม้ยืนต้น (กรณีศึกษา)
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 1 ม.	0	0
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 2 ม.	0	0
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 3 ม.	0.3	0.7
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 4 ม.	0.3	0.7
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 5 ม.	0.3	1.2
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 6 ม.	0.3	0.7
ค่าความหนาแน่นพุ่มใบที่ระดับ 7 ม.	0	0.2
ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	1.2	3.5

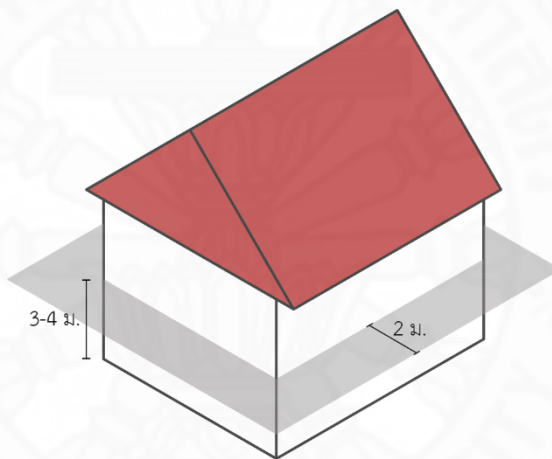
3.3.1.2 วัสดุผิวภายนอก ประกอบด้วย วัสดุปกคลุมผิวพื้นรอบบ้านเดี่ยว และสีของผนังบ้านเดี่ยวที่สนใจ รวมทั้งบ้านข้างเคียง

(1) วัสดุปกคลุมผิวพื้น ได้แก่ ไม้คลุมดิน และกระเบื้องเซรามิก โดยหญ้านวลน้อยเป็นไม้คลุมดินชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกในแปลงที่ดินของบ้าน เพื่อปกคลุมหน้าดิน หญ้าชนิดนี้ถูกกำหนดให้มีความสูง 5 เซนติเมตรจากพื้นดินในแบบจำลอง (ตารางที่ 3.1) ส่วนกระเบื้องเซรามิก จะถูกใช้แทนที่ในกรณีศึกษาที่ไม่ได้ปลูกไม้คลุมดิน รายละเอียดคุณสมบัติของกระเบื้องนี้แสดงดังตารางที่ 3.3

(2) ผนัง ที่ใช้ในแบบจำลองเป็นผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนเรียบ โดยสีของผนังภายนอกมี 2 ชนิด คือ สีอ่อน และสีเข้ม ขณะที่ผนังภายในบ้านจะใช้เพียงสีอ่อน สีอ่อนจะมีค่าการดูดซับรังสี 0.4 และค่าการสะท้อนรังสี 0.6 ตรงกันข้ามกับสีเข้มที่มีค่า 0.9 และ 0.1 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.3)

3.3.2 ตัวแปรตาม

3.3.2.1 สภาพอากาศระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยว ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลม ตัวแปรทางสภาพอากาศทั้ง 5 ตัวแปรนี้คำนวณได้จากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 โดยเป็นค่าเฉลี่ยที่ห่างจากตัวบ้าน 2 เมตร และสูงจากระดับพื้นดิน 3-4 เมตร (กึ่งกลางของความสูงบ้าน) ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งค่าเฉลี่ยสภาพอากาศระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยว

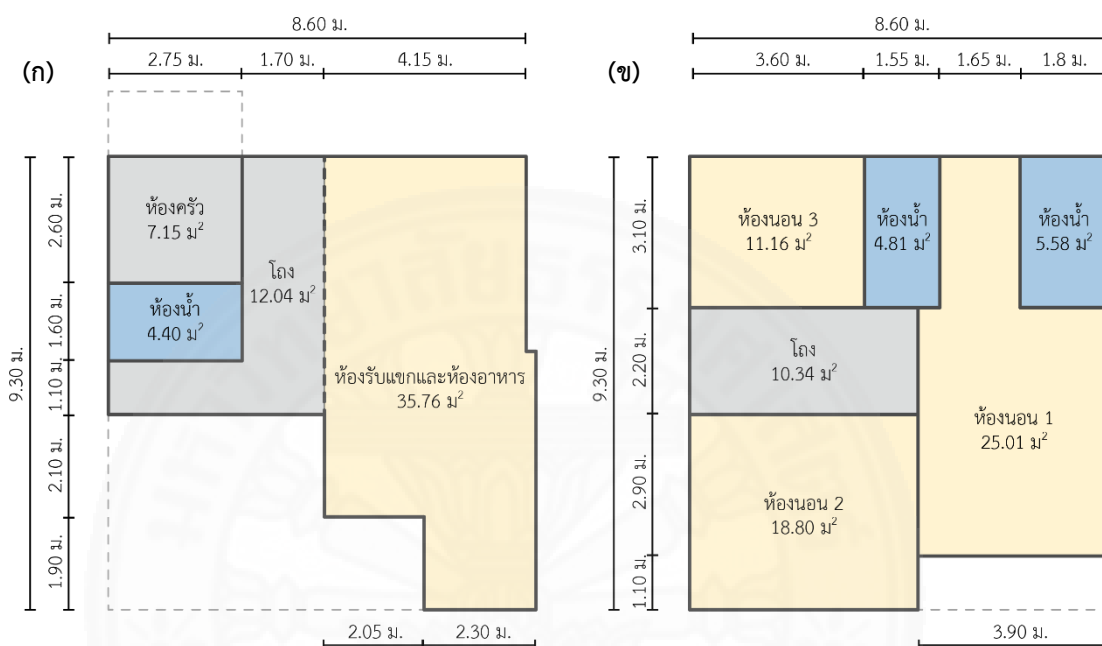
3.3.2.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (kWh) คำนวณได้จากโปรแกรม eQUEST 3.65 โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่โปรแกรม ENVI-met V4 จำลองกรณีศึกษาแต่ละกรณี เพื่อคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร แล้วส่งผลต่อการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

3.3.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่

3.3.3.1 ผังโครงการหมู่บ้านจัดสรร เป็นกลุ่มตัวอย่างหนึ่งที่ถูกเลือกแบบเจาะจงตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น พื้นที่เขตพักอาศัยส่วนหนึ่งของผังโครงการมีลักษณะการจัดวางตัวบ้านที่หนาแน่น หรือเป็นไปตามขั้นต่ำของกฎหมาย

3.3.3.2 การวางตำแหน่งบ้าน ตำแหน่งของบ้านเดี่ยวอยู่กึ่งกลางพื้นที่เขตพักอาศัย โดยมีหน้าบ้านหันไปทางทิศใต้

3.3.3.3 ลักษณะของแบบบ้าน บ้านเดี่ยวที่อยู่กลางพื้นที่เขตพักอาศัยมีขนาด 165 ตารางเมตร (ภาพที่ 3.5) ตั้งอยู่ในแปลงที่ดินขนาด 51 ตารางวา พื้นที่ใช้สอยนับรวมพื้นที่เฉลียง ลานซักล้าง และพื้นที่จอดรถด้วย



ภาพที่ 3.5 ผังพื้นของบ้านเดี่ยวที่ใช้ในแบบจำลอง (ก) ชั้น 1 และ (ข) ชั้น 2

3.3.3.4 วัสดุผิวภายนอก ประกอบด้วย ชนิดของวัสดุปกคลุมผิวพื้นโดยรอบบ้านเดี่ยว เช่น ถนน สีและชนิดของหลังคาบ้านเดี่ยว รายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง ENVI-met V4 แสดงดังตารางที่ 3.3

(1) **วัสดุปกคลุมผิวพื้น** ที่ใช้ในแบบจำลองมี 2 ประเภท ได้แก่ กระเบื้องแกรนิต และพื้นคอนกรีต โดยกระเบื้องแกรนิตใช้ในพื้นที่เฉลียงหน้าบ้าน ส่วนพื้นคอนกรีตใช้สำหรับลานซักล้าง พื้นที่จอดรถ ทางเท้าสาธารณะ และถนน

(2) **หลังคา** ใช้กระเบื้องหลังคาคอนกรีตพร้อมทั้งติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) เพื่อกันความร้อน สีของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตเป็นสีกลาง ทำให้มีค่าการดูดซับรังสี 0.5

3.3.3.5 พื้นที่ปรับอากาศเฉพาะห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร และห้องนอน มีพื้นที่รวม 90.73 ตารางเมตร โดยห้องรับแขกและห้องอาหารมีขนาด 35.76 ตารางเมตร ส่วนห้องนอน 1 ห้องนอน 2 และห้องนอน 3 มีพื้นที่ 25.01 18.80 และ 11.16 ตารางเมตรตามลำดับ ในแต่ละห้อง

จะใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split System Single Zone DX) ที่มีฉลากเบอร์ 5 (EER = 11)

3.3.3.6 เวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ในห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร และห้องนอน ตามตารางที่ 3.4

3.3.3.7 ทิศทางและความเร็วลม ที่ใช้ในโปรแกรม ENVI-met V4 กำหนดให้มีทิศทางมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ (192 องศา) และมีความเร็วลมที่ 3.19 เมตรต่อวินาที ณ ระดับ 10 เมตรเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 3.3

วัสดุผิวภายนอกที่ใช้ในโปรแกรม ENVI-met V4

	ความหนา (ม.)	Transmission	Absorption	Reflection	Emissivity	Albedo	Specific Heat (J/kgK)	Conductivity (w/mK)	Density (kg/m ³)	Volumetric Heat Capacity
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.05	0	0.5	0.5	0.9	-	790 ⁿ	0.993 ⁿ	2400 ⁿ	-
ฉนวนใยแก้ว	0.15	0	0.05	0.95	0.04	-	960 ⁿ	0.038 ⁿ	16 ⁿ	-
คอนกรีตมวลเบา	0.08	0	0.7	0.3	0.9	-	840	0.2	620	-
ปูนฉาบ	0.01	0	0.4	0.6	0.84	-	840 ⁿ	0.72 ⁿ	1860 ⁿ	-
			0.9	0.1	0.85					
กระเบื้องเซรามิก	-	-	-	-	0.85	0.5	1050 ^ข	2.04 ^ข	2285 ^ข	2.40
กระเบื้องแกรนิต	-	-	-	-	0.9	0.4	-	4.61	-	2.35
พื้นคอนกรีต	-	-	-	-	0.9	0.5	-	1.63	-	2.08

หมายเหตุ. ⁿ หมายถึง จาก ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร แต่ระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552, 2552, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2560, จาก <http://download.asa.or.th/03media/04law/eca/ma52-02.pdf>

^ข หมายถึง จาก “Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces (น. 97),” โดย X. Yang, L. Zhao, M. Bruse, และ Q. Meng, 2013, *Building and Environment*, 60.

ตารางที่ 3.4

เวลาการใช้งานในห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร และห้องนอน

	วัน	เวลา
ห้องนั่งเล่น และห้องอาหาร	วันจันทร์-วันศุกร์	18.00 น. – 22.00 น.
	วันเสาร์-วันอาทิตย์, วันหยุด	08.00 น. – 21.00 น.
ห้องนอน	วันจันทร์-วันศุกร์	22.00 น. – 06.00 น.
	วันเสาร์-วันอาทิตย์, วันหยุด	21.00 น. – 07.00 น.

หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว (น. 49), โดย ญัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม, 2558, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.4.1 เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ (Microclimate Instruments)

ชุดเครื่องมือวัดสภาพอากาศที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้รับคำแนะนำจากมาตรฐาน ISO 7726 (1998) และหนังสือคู่มือ ASHRAE (2001) โดยชุดเครื่องมือประกอบด้วย เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ Lutron WBGT-2010SD ซึ่งเป็นเครื่องวัดแบบดิจิตอล และเครื่องมือวัดความเร็วลม Lutron AM-4224SD ที่เป็นเครื่องวัดความเร็วลมแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Hot Wire Anemometer) ทั้งนี้ในการศึกษาได้ตั้งค่าให้เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศบันทึกข้อมูลทุก 1 วินาทีและเครื่องมือวัดความเร็วลมบันทึกทุก 10 วินาทีในรูปแบบของ Excel ตามภาพที่ 3.6 และภาพที่ 3.7

3.4.2 โปรแกรม ENVI-met V4

โปรแกรม ENVI-met V4 เป็นโปรแกรมคำนวณแบบจำลองสามมิติที่ถูกพัฒนาตั้งแต่ปีค.ศ. 1998 โดย Michael Bruse เพื่อจำลองความสัมพันธ์ของพื้นผิว พืชพรรณ และอากาศในสภาพอากาศระดับจุลภาค โดยเฉพาะการวิเคราะห์ผลกระทบของพื้นที่สีเขียว เนื่องจากโปรแกรมนี้อาจคำนวณอัตราการคายระเหยของพื้นที่สีเขียวได้ การแสดงผลนำเสนอผลลัพธ์ได้หลากหลาย เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ทั้งในรูปแบบของสองมิติและสามมิติ



ภาพที่ 3.6 ชุดเครื่องมือวัดสภาพอากาศ

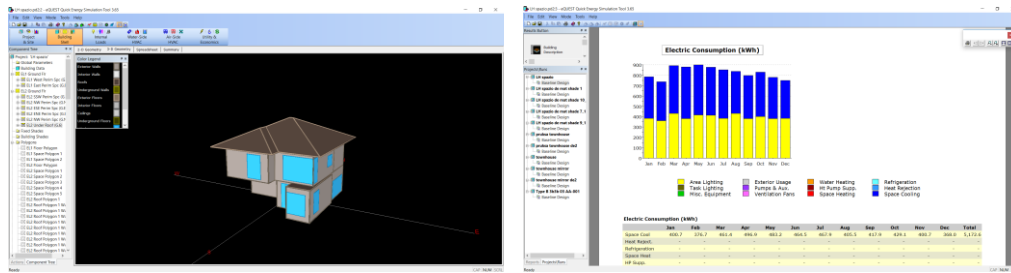
Place	Date	Time	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit		
1	3/6/2016	10:01:17	27.1	WBGT Temp C	64.6	%RH C	30.9	TA Temp C	31.6	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.4	DP Temp C
2	3/6/2016	10:01:18	27.1	WBGT Temp C	64.6	%RH C	30.9	TA Temp C	31.6	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.4	DP Temp C
3	3/6/2016	10:01:19	27.1	WBGT Temp C	64.6	%RH C	30.9	TA Temp C	31.6	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.4	DP Temp C
4	3/6/2016	10:01:20	27.1	WBGT Temp C	64.5	%RH C	30.9	TA Temp C	31.7	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.4	DP Temp C
5	3/6/2016	10:01:21	27.1	WBGT Temp C	64.4	%RH C	30.9	TA Temp C	31.7	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.3	DP Temp C
6	3/6/2016	10:01:22	27.1	WBGT Temp C	64.4	%RH C	30.9	TA Temp C	31.7	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.3	DP Temp C
7	3/6/2016	10:01:23	27.1	WBGT Temp C	64.4	%RH C	30.9	TA Temp C	31.7	TG Temp C	25.3	WET Temp C	23.3	DP Temp C
8	3/6/2016	10:01:24	27.1	WBGT Temp C	64.3	%RH C	30.9	TA Temp C	31.7	TG Temp C	25.2	WET Temp C	23.3	DP Temp C
9	3/6/2016	10:01:25	27	WBGT Temp C	64.2	%RH C	30.9	TA Temp C	31.7	TG Temp C	25.2	WET Temp C	23.3	DP Temp C
10	3/6/2016	10:01:26	27	WBGT Temp C	64.2	%RH C	30.9	TA Temp C	31.8	TG Temp C	25.2	WET Temp C	23.3	DP Temp C

อุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิ อุณหภูมิ อุณหภูมิ อุณหภูมิ

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างของข้อมูลจากเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ

3.4.3 โปรแกรม eQUEST 3.65

โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารใช้ระบบกราฟิกทั้งในการสร้างแบบจำลองและการประมวลผล โดยอาศัย DOE-2.2 ในการคำนวณ ทำให้สามารถหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงได้ง่ายมากขึ้น โดยโปรแกรมนี้นำค่าการถ่ายเทความร้อนที่มาจากผู้ใช้งาน ระยะเวลาการใช้งาน องค์ประกอบเปลือกอาคารต่าง ๆ เช่น ผนัง และอื่น ๆ มาคำนวณ โปรแกรม eQUEST 3.65 ได้รับการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 ทำให้มีความน่าเชื่อถือและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง (James J. Hirsch & Associates (JJH), 2004)



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างโปรแกรม eQUEST 3.65

3.4.4 โปรแกรม Element

โปรแกรม Element เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างและแก้ไขฐานข้อมูลสภาพอากาศตลอดปีที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองด้านพลังงานอาคาร พัฒนาโดย Big Ladder Software และ Rocky Mountain Institute ตัวแปรของข้อมูลสภาพอากาศจะถูกปรับเปลี่ยนไปตามความสัมพันธ์ในแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) และสมการของรังสีดวงอาทิตย์ ฐานข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรมนี้สามารถแปลงเป็นไฟล์นามสกุล .epw เพื่อใช้ในโปรแกรม EnergyPlus และ .bin สำหรับโปรแกรม DOE-2 หรือ eQUEST

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure (kPa)	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [W/m ²]	Normal Solar [W/m ²]	Diffuse Solar [W/m ²]	Wind Speed [m/s]
2005/01/01 @ 00:00:00	23.33	19.44	101.25	69.92	17.56	0	0	0	1.03
2005/01/01 @ 01:00:00	22.22	19.44	101.25	77.51	18.12	0	0	0	0.51
2005/01/01 @ 02:00:00	21.11	19.44	101.25	85.88	18.67	0	0	0	0.51
2005/01/01 @ 03:00:00	20.56	18.89	101.25	85.67	18.09	0	0	0	0
2005/01/01 @ 04:00:00	19.44	18.33	101.25	90.08	17.8	0	0	0	0
2005/01/01 @ 05:00:00	18.89	18.33	101.25	84.92	18.08	0	0	0	0
2005/01/01 @ 06:00:00	18.89	17.78	101.25	89.93	17.22	0	0	0	0
2005/01/01 @ 07:00:00	21.11	18.89	101.25	81.34	17.81	89.4	31.55	64.04	1.54
2005/01/01 @ 08:00:00	23.33	20	101.25	73.96	18.45	271.29	290.22	160.69	2.57
2005/01/01 @ 09:00:00	25.56	20.56	101.25	63.92	18.24	488.96	542.59	185.15	4.12
2005/01/01 @ 10:00:00	27.22	21.67	101.25	61.66	19.24	665.62	683.5	191.11	3.6
2005/01/01 @ 11:00:00	29.44	22.78	101.25	56.84	20.01	683.5	683.5	153.87	3.6
2005/01/01 @ 12:00:00	31.67	23.89	101.25	52.63	20.82	683.5	683.5	138.2	3.09
2005/01/01 @ 13:00:00	31.67	23.89	101.25	52.63	20.82	683.5	683.5	165.97	3.09
2005/01/01 @ 14:00:00	31.67	23.89	101.25	52.63	20.82	618.3	683.5	167.16	3.09
2005/01/01 @ 15:00:00	32.22	23.89	101.25	50.25	20.58	422.72	514.2	159.68	3.09
2005/01/01 @ 16:00:00	31.11	23.33	101.25	52.16	20.16	198.74	223.98	126.66	2.57
2005/01/01 @ 17:00:00	30	23.33	101.25	57.29	20.65	28.39	0	28.39	1.54
2005/01/01 @ 18:00:00	29.44	22.78	101.25	56.84	20.01	0	0	0	1.03
2005/01/01 @ 19:00:00	28.33	22.78	101.25	62.5	20.5	0	0	0	0.51
2005/01/01 @ 20:00:00	27.78	22.22	101.25	62.08	19.87	0	0	0	0.51
2005/01/01 @ 21:00:00	26.67	22.22	101.25	68.34	20.37	0	0	0	0

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างโปรแกรม Element

3.4.5 โปรแกรมทางสถิติ

โปรแกรมทางสถิติ เช่น โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science) โปรแกรม R Commander เป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและมีความ

น่าเชื่อถือ ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมทางสถิติในการทดสอบวิธีทางสถิติ Paired T-Test เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม ENVI-met V4

3.5 การจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

3.5.1 การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

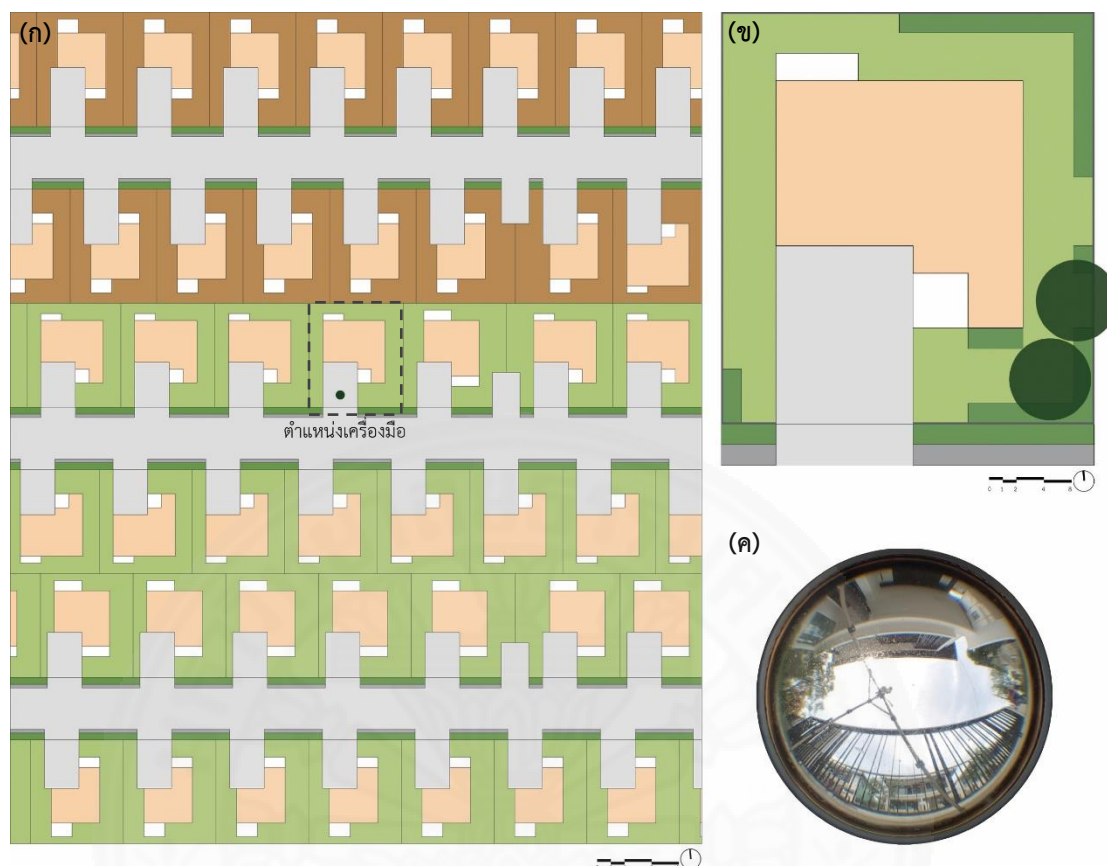
การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 มี 2 กลุ่ม ประกอบด้วยข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริงของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะสำรวจในสถานที่จริงเพื่อเก็บข้อมูล และตรวจวัดสภาพอากาศในระดับจุลภาค และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เป็นข้อมูลสภาพอากาศในระดับมหภาค

3.5.1.1 ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจริงของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลสภาพแวดล้อมจริงของกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัยมีทั้งหมด 2 ส่วน ได้แก่ การสำรวจพื้นที่เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 ให้ใกล้เคียงกับสถานที่จริง และการตรวจวัดสภาพอากาศภายในกลุ่มตัวอย่าง

(1) การสำรวจพื้นที่

ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างที่ได้สำรวจตามภาพที่ 3.10ก ถูกแบ่งเป็นพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอก พื้นที่สีเขียวภายในพื้นที่เขตพักอาศัยมีทั้งในพื้นที่สาธารณะ เช่น ไม้พุ่มเตี้ยบริเวณทางเท้า และในแปลงที่ดิน ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนบุคคล แปลงที่ดินแต่ละแปลงจัดพื้นที่สีเขียวในลักษณะเดียวกัน (ภาพที่ 3.10ข) ประกอบด้วย ต้นไม้ยืนต้น 2 ต้น ไม้พุ่มบริเวณริมรั้วบ้าน และปลูกไม้คลุมดินเต็มพื้นที่ ขณะที่วัสดุผิวภายนอกแบ่งออกเป็นภายในบริเวณพื้นที่สาธารณะ และเขตแปลงที่ดิน วัสดุผิวในบริเวณพื้นที่สาธารณะ คือ เขตทางที่มีความกว้าง 9 เมตร ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดสรรที่ดินเพื่อที่อยู่อาศัยและพาณิชย์กรรม กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2550 (กรมที่ดิน, 2550) โดยมีความกว้างของผิวจราจรที่ใช้วัสดุเป็นคอนกรีต 6 เมตร และทางเท้าด้านละ 1.5 เมตรที่ประกอบด้วยทางเท้าคอนกรีตและไม้พุ่มเตี้ย สำหรับวัสดุผิวภายในแปลงที่ดินจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของบ้านเดี่ยวนั้น ๆ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างของพื้นที่เขตพักอาศัยมีบ้านเดี่ยว 3 แบบ ได้แก่ บ้านที่มีพื้นที่ใช้สอยอยู่ที่ 136 164 และ 165 ตารางเมตร (นับรวมพื้นที่เฉลียง ลานซักล้าง และพื้นที่จอดรถ) บนแปลงที่ดิน 50-60 ตารางวา โดยชนิดและสีของวัสดุที่ใช้สำหรับผนัง เฉลียง ลานซักล้าง และพื้นที่จอดรถของบ้านทั้ง 3 แบบจะมีลักษณะเดียวกัน คือ ผนังบ้านมีสีอ่อน เฉลียงปูด้วยกระเบื้องแกรนิต สำหรับลานซักล้างและพื้นที่จอดรถเป็นพื้นคอนกรีต แต่ขนาดพื้นที่ของวัสดุผิวอาจมีความแตกต่างกัน



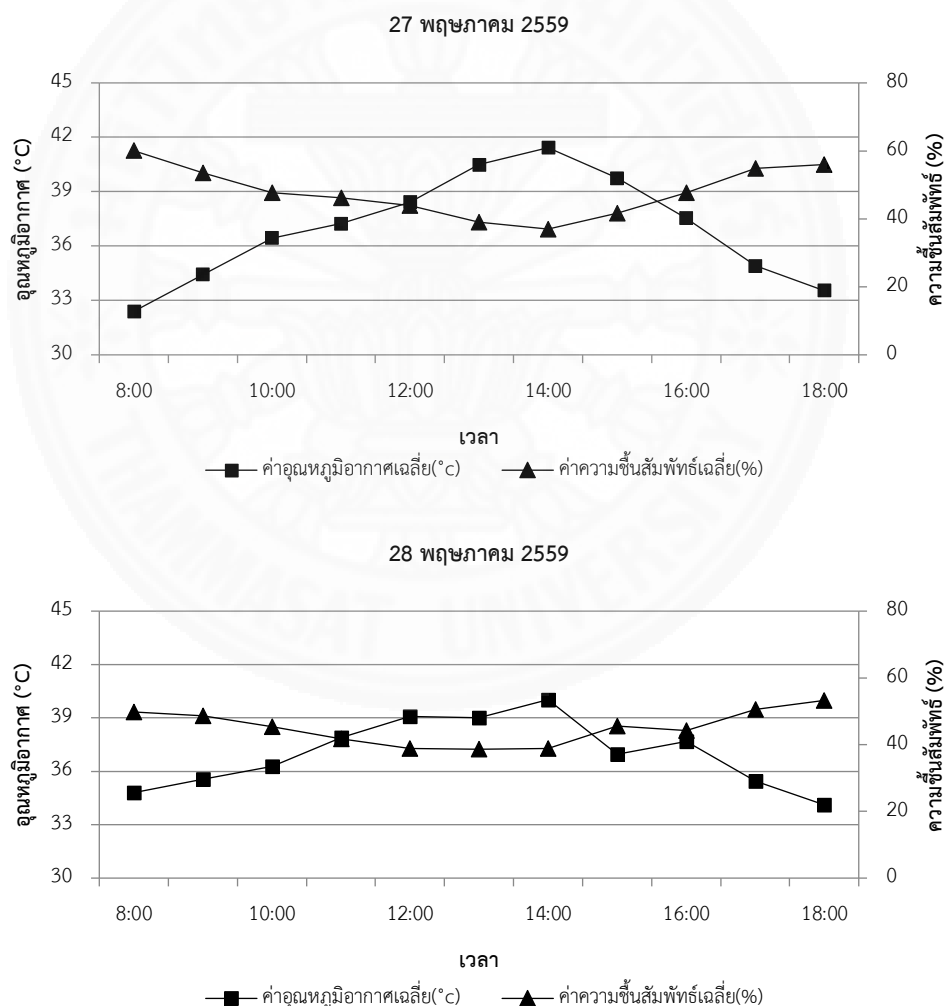
ภาพที่ 3.10 ลักษณะของกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัย (ก) ผังโครงการ (ข) แปลงที่ดินของบ้านเดี่ยวภายในกลุ่มตัวอย่าง และ (ค) ภาพเลนส์ตาปลา ณ ตำแหน่งที่ตั้งเครื่องวัดสภาพอากาศ

(2) การตรวจวัดสภาพอากาศ

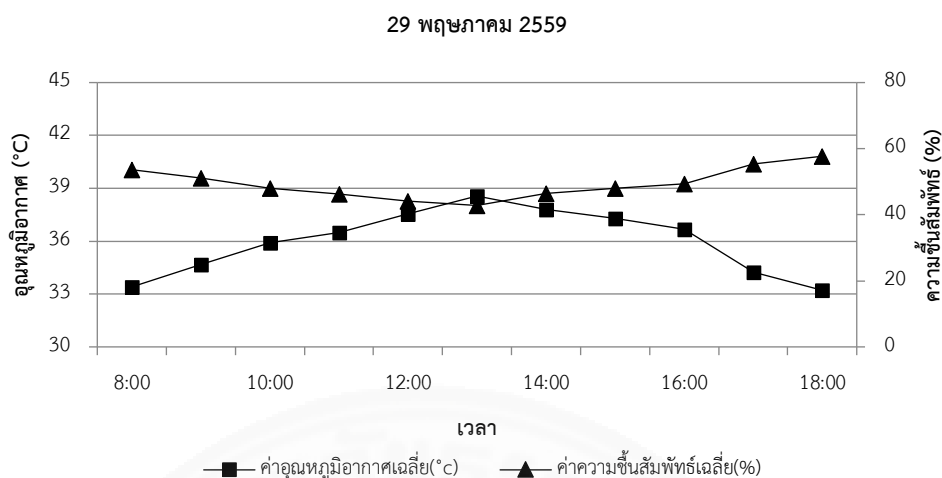
การเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างใช้ชุดเครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศในการวัดอุณหภูมิของอากาศ ความชื้น และความเร็วลม โดยติดตั้งเครื่องมือในพื้นที่กลางแจ้ง และมีความสูงที่ระดับ 1.5 เมตรจากพื้นดินภายในแปลงที่ดินที่อยู่บริเวณใจกลางของพื้นที่เขตพักอาศัย ลักษณะสภาพแวดล้อมที่วางเครื่องมือเป็นไปตามภาพที่ 3.10ค การตรวจวัดเริ่มตั้งแต่วันที่ 08.30 น.-18.30 น. ในวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึง 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 รวมเป็นเวลาทั้งหมด 3 วัน ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงฤดูร้อนตามฤดูกาลของประเทศไทย ทำให้สามารถเป็นตัวแทนของช่วงที่มีอากาศร้อนได้

จากภาพที่ 3.11 เมื่อพิจารณาข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บได้จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 วัน ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ในวันที่ 27 - 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 มีแนวโน้มของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ไปในทิศทางเดียวกัน แม้ว่าวันที่ 27 จะมีอุณหภูมิอากาศโดยรวมสูงกว่าก็ตาม โดยในวันที่ 27 มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด

และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดอยู่ที่ 41.43°C และร้อยละ 37 ในช่วงเวลาประมาณ 14.00 น. เช่นเดียวกันกับวันที่ 28 ที่มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดและค่าความชื้นต่ำสุด 40.03°C และร้อยละ 38.82 ขณะที่วันที่ 29 มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด 38.56°C และค่าความชื้นต่ำสุดร้อยละ 42.81 ที่เวลา 13.00 น. ซึ่งมีความแตกต่างจากวันอื่น เนื่องจากวันที่ 29 เป็นวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก จึงส่งผลให้มีรังสีดวงอาทิตย์น้อยลงกว่าปกติ ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้ง 3 วันตั้งแต่เวลา 08.30 น.-18.30 น. มีค่าใกล้เคียงกัน 37.69°C 37.42°C และ 36.46°C ตามลำดับ สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 46.12 43.92 และ 48.26 ตามลำดับเช่นกัน ข้อมูลสภาพอากาศระดับจุลภาคนี้อาจใช้ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4



ภาพที่ 3.11 อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงของกลุ่มตัวอย่างในวันที่ 27 - 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2559



ภาพที่ 3.11 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงของกลุ่มตัวอย่างในวันที่ 27 - 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

3.5.1.2 การเตรียมข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

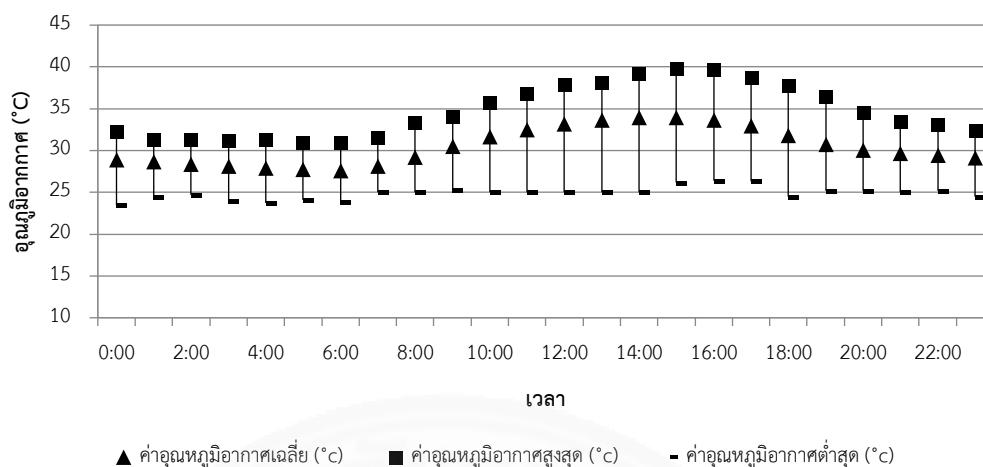
ข้อมูลสภาพอากาศระดับมหภาคที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วและทิศทางของลม ซึ่งถูกวัดที่ระดับความสูง 10 เมตร จากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดอากาศดอนเมือง สาเหตุที่ใช้ข้อมูลจากสถานีแห่งนี้เนื่องจากเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับพื้นที่กลุ่มตัวอย่างมากที่สุด ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาเฉลี่ยย้อนหลัง 6 ปีในแต่ละเดือน และเลือกข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยเฉพาะเดือนพฤษภาคมและมิถุนายนเท่านั้น เพราะวันที่ตรวจวัดสภาพอากาศของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในช่วง 2 เดือนนี้ โดยข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยเป็นข้อมูลนำเข้าอย่างหนึ่งในโปรแกรม ENVI-met V4

(1) อุณหภูมิอากาศ

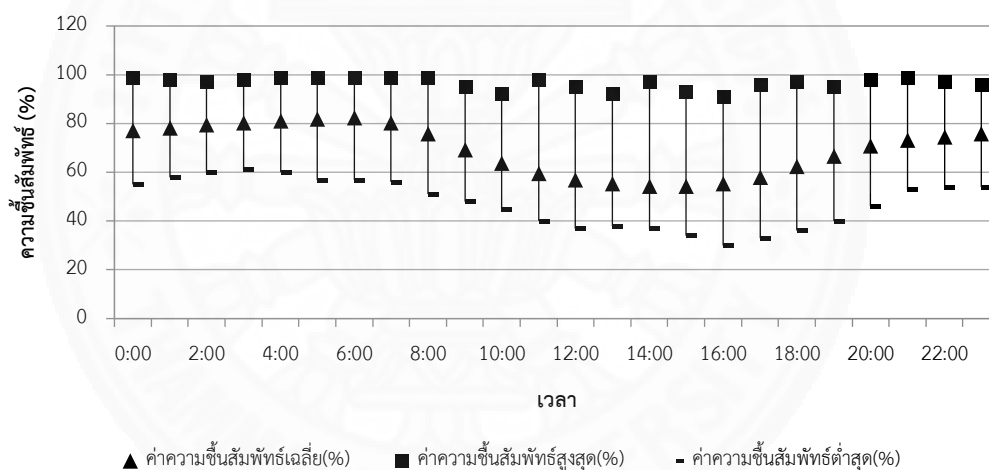
ภาพที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน โดยอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีค่าสูงสุดประมาณ 33.97°C อยู่ในช่วงเวลา 14.00 น.-15.00 น. ขณะที่ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 23.5°C ในช่วงเวลา 23.00 น.-00.00 น.

(2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ผกผันกับอุณหภูมิอากาศ หมายความว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศมีค่าสูง ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าต่ำในเวลาเดียวกัน ค่าของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 54.36 ในเวลา 14.00 น.-15.00 น. ตามภาพที่ 3.13



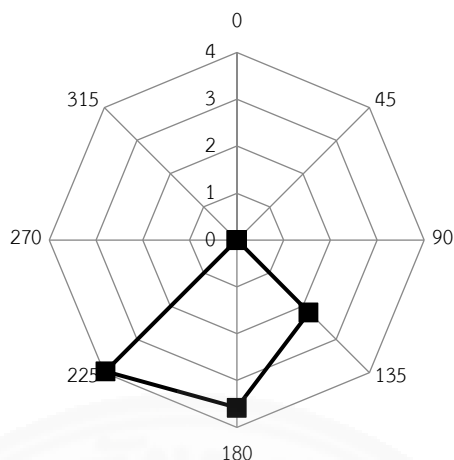
ภาพที่ 3.12 อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ. 2554-2559.



ภาพที่ 3.13 ความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ. 2554-2559.

(3) ความเร็วและทิศทางลม

ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ.2554-2559 มีค่าประมาณ 11.50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 3.19 เมตรต่อวินาที โดยทิศทางของลมมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งทำมุมกับทิศใต้มาทางทิศตะวันตก 12 องศา หรือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 192 องศา ทั้งสองค่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของความเร็วและทิศทางลมในโปรแกรม ENVI-met V4 แสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ความเร็วและทิศทางลมในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ปีพ.ศ. 2554-2559.

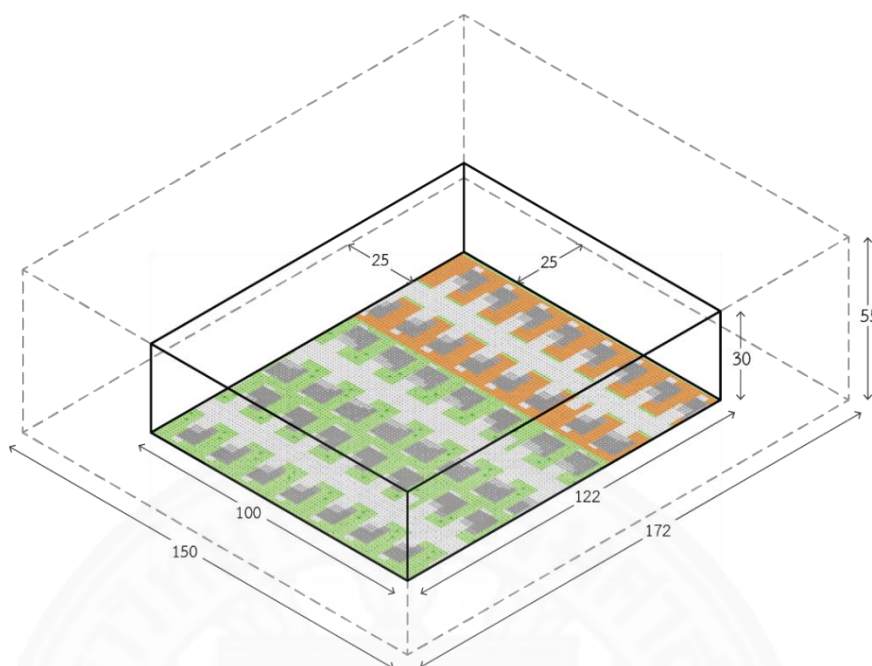
3.5.2 การนำเข้าแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

การนำเข้าแบบจำลองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การสร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่าง และการตั้งค่าข้อมูลนำเข้า

3.5.2.1 การสร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่าง

การสร้างแบบจำลองทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างจำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดของพื้นที่เขตพักอาศัย ขนาดพื้นที่ของบ้านเดี่ยว ความสูงของบ้านเดี่ยว ลักษณะของพืชพรรณ และวัสดุพื้นผิวภายนอกที่ใช้ เพื่อให้ผลที่ได้จากการจำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

แบบจำลองกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัยมีทิศทางหมุนจากทิศเหนือมายังทิศตะวันตก 5 องศา และมีขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของแบบจำลอง (Domain) ในโปรแกรม ENVI-met V4 100x122x30 ช่อง และเลือกใช้ช่องตารางกริด (Resolution Grid) ขนาด 1x1x2 เมตร ดังนั้นพื้นที่จริงของพื้นที่เขตพักอาศัยแห่งนี้มีขนาด 100x122x60 เมตร จากขนาดของแบบจำลองดังกล่าว ได้เพิ่มจำนวนของช่องตารางกริด (Nesting Grid) ทั้ง 4 ด้าน จำนวนด้านละ 25 ช่อง (25 เมตร) เพื่อเผื่อระยะระหว่างแบบจำลองกับทางลมเข้า (Inlet) ให้มีความเหมาะสม เช่นเดียวกับช่องตารางกริดในแนวตั้งที่เพิ่มจำนวน 25 ช่อง (25 เมตร) ดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 การกำหนดค่าของขนาดแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

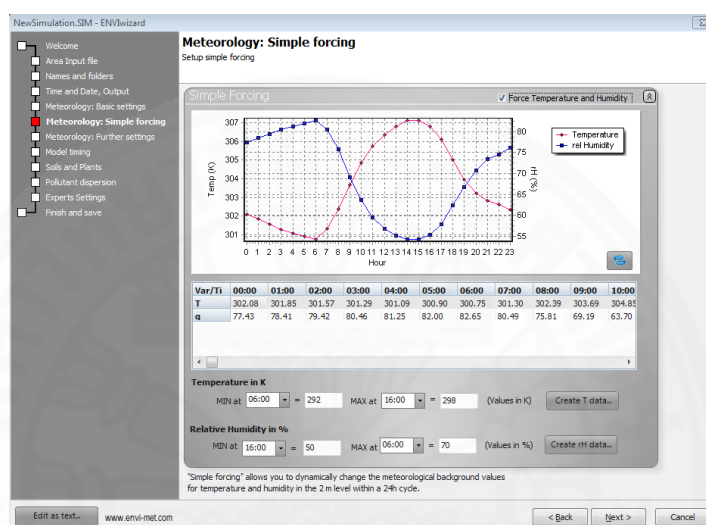
ขนาดพื้นที่ของบ้านเดี่ยวทั้ง 3 แบบในแบบจำลอง ENVI-met V4 ถูกสร้างให้ใกล้เคียงกับขนาดพื้นที่จริงของบ้านเดี่ยวที่ไปสำรวจมากที่สุด โดยบ้านที่มีพื้นที่ใช้สอยอยู่ที่ 136 164 และ 165 ตารางเมตร จะมีขนาดพื้นที่ในแบบจำลอง 134 160 และ 173 ตารางเมตร ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโปรแกรม ENVI-met V4 ใช้ตารางกริดเป็นพื้นฐานในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งช่องตารางกริดที่ใช้ในแบบจำลองนี้มีขนาด 1x1x2 เมตร ทำให้มีข้อจำกัดเกิดขึ้น ส่วนความสูงของบ้านในแบบจำลองจะเท่ากับ 7 เมตรสำหรับบ้านที่มีพื้นที่ใช้สอย 136 และ 164 ขณะที่บ้านที่มีพื้นที่ใช้สอย 165 ตารางเมตรมีความสูง 8 เมตร

พื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ใช้ในแบบจำลองมีทั้งค่าเริ่มต้นจากโปรแกรม (Projectdatabase) และข้อมูลที่สร้างโดยผู้วิจัย (Userdatabase) ด้วยการใช้เครื่องมือ Manage Database และ Albero โดยพื้นที่สีเขียวประกอบด้วยไม้คลุมดิน ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้น ซึ่งมีลักษณะตามที่ได้กล่าวไปในข้อ 3.3.1.1 อย่างไรก็ตามมีเพียงไม้พุ่มสูง 0.5 เมตรที่ปลูกบริเวณทางเท้าในทุกกรณีทั้งกรณีตั้งต้นและกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นสิ่งที่ทางโครงการหมู่บ้านจัดสรรนิยม ส่วนชนิดของวัสดุผิวภายนอกที่ปกคลุมผิวดิน หลังคา และผนังเป็นไปตามข้อ 3.3.1.2

3.5.2.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้า

การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือ ConfigWizard (ภาพที่ 3.16) โดยข้อมูลนำเข้าในการจำลองโปรแกรม ENVI-met V4 ประกอบด้วย ตำแหน่งที่ตั้ง

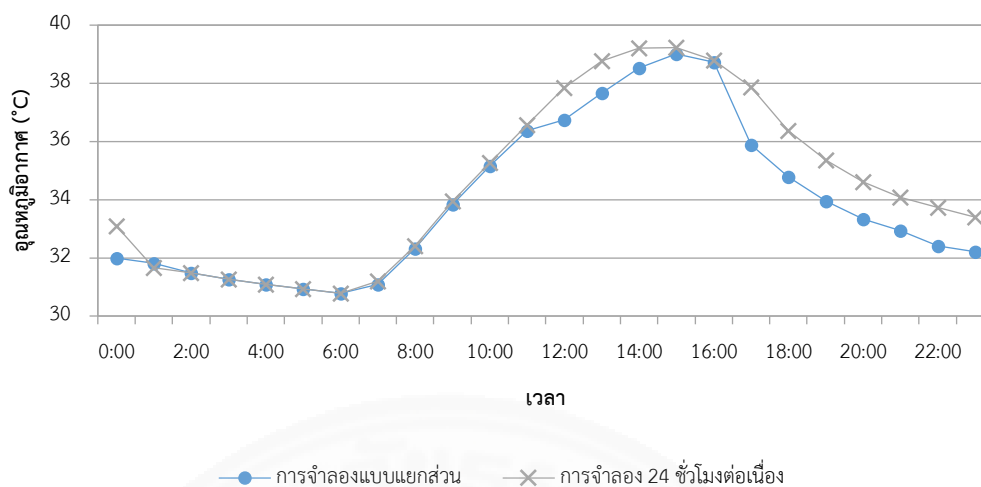
ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งอยู่ที่ละติจูด 13.91 ลองจิจูด 100.65 วันและเวลาที่ต้องการจะจำลองตรงกับวันที่ตรวจวัดภาคสนาม (28 พฤษภาคม พ.ศ. 2559) และข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่เป็นค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 6 ปีของเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ข้อมูลสภาพอากาศนี้คือ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รวมถึงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน รายละเอียดข้อมูลสภาพอากาศแสดงดังภาพที่ 3.12 - 3.14



ภาพที่ 3.16 เครื่องมือ ConfigWizard ในการตั้งค่าข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมง

3.5.3 ข้อจำกัดในการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4

การจำลองสภาพอากาศระดับจุลภาคใน 1 วันของแต่ละกรณีศึกษาในโปรแกรม ENVI-met V4 ใช้ระยะเวลาในการจำลองต่อเนื่องอย่างน้อย 1 สัปดาห์ต่อคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง แต่งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดจากข้อกำหนดในการใช้งานคอมพิวเตอร์ของห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องแบ่งเวลา 24 ชั่วโมงเป็น 5 ส่วน ส่วนละ 5-6 ชั่วโมง เพื่อจำลองในคอมพิวเตอร์ 5 เครื่องต่อกรณีศึกษา 1 กรณี สภาพอากาศระดับจุลภาคที่ได้จากการจำลองแบบแยกส่วนจึงมีความคลาดเคลื่อนจากการจำลองต่อเนื่องเล็กน้อย ดูในภาพที่ 3.17 ซึ่งนำเสนอการจำลองอุณหภูมิอากาศใน 1 วัน



ภาพที่ 3.17 การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 2 รูปแบบ

3.6 การจำลองในโปรแกรม eQUEST 3.65

3.6.1 การเตรียมข้อมูลสภาพอากาศ

ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในโปรแกรม eQUEST 3.65 เป็นข้อมูลที่ได้จากการจำลองกรณีศึกษาในโปรแกรม ENVI-met V4 ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลมใน 1 วัน (24 ชั่วโมง) ตัวแปรทางสภาพอากาศทั้ง 5 ตัวนี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ห่างจากตัวบ้าน 2 เมตร และสูงจากระดับพื้นดิน 3-4 เมตรตามข้อ 3.3.2.1 โดยจะถูกแปลงเป็นฐานข้อมูลสภาพอากาศไฟล์นามสกุล .bin ด้วยโปรแกรม Element

การสร้างฐานข้อมูลสภาพอากาศจำเป็นต้องใส่ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงทั้งปี (8,760 ชั่วโมง) แต่ข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI-met V4 มีเพียง 24 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จากโปรแกรม ENVI-met V4 กับอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จากฐานข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร³ ด้วยการสร้างสมการเส้นตรง ขณะที่ค่ารังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลมจะถูกใช้ซ้ำทุก 24 ชั่วโมง เมื่อใส่ค่าของตัวแปรทางสภาพอากาศ 5 ตัวแปรตลอดทั้งปีในโปรแกรม Element (ภาพที่ 3.18) จะส่งผลให้ตัวแปรทางสภาพอากาศอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) ความหนาแน่นของอากาศ (Density of Air) เอนทัลปีจำเพาะ (Specific

³ ฐานข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร THA_Bangkok.484560_IWEC เป็นค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่พ.ศ. 2538 – 2548 ซึ่งสามารถหาได้จากโปรแกรม EnergyPlus

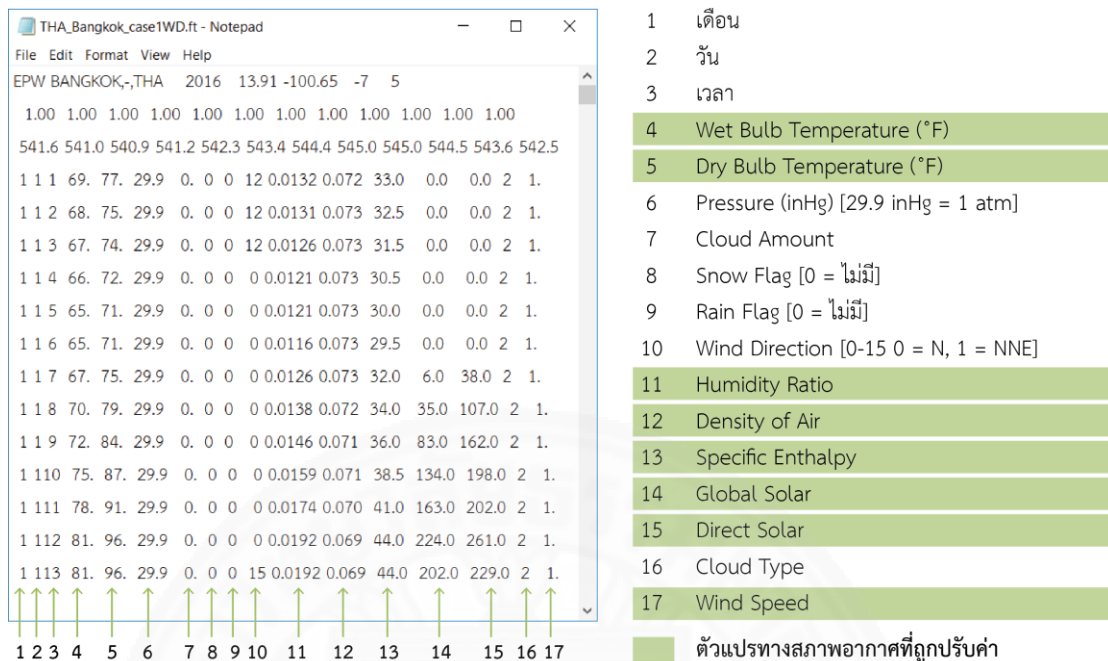
Enthalpy) และรังสีแห่งโลก (Global Solar Radiation) เปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ตามแผนภูมิไซโครเมตริกและสมการของรังสีดวงอาทิตย์ดังภาพที่ 3.19

Date/Time	Dry Bulb Temperature [F]	Wet Bulb Temperature [F]	Atmospheric Pressure [atm]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [F]	Global Solar [BTU/ft2]	Normal Solar [BTU/ft2]	Diffuse Solar [BTU/ft2]	Wind Speed [mph]
2016/01/01 @ 00:00:00	79	69	1	60.77	64.34	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 01:00:00	76	69	1	70.66	65.82	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 02:00:00	75	68	1	70.3	64.71	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 03:00:00	73	66	1	69.54	62.5	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 04:00:00	72	65	1	73.28	63.03	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 05:00:00	72	65	1	69.14	61.38	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 06:00:00	76	68	1	66.81	64.21	5	38	6	1.15
2016/01/01 @ 07:00:00	81	71	1	61.66	66.93	37	120	11.8	1.15
2016/01/01 @ 08:00:00	85	73	1	56.84	68.01	92	183	15.66	1.15
2016/01/01 @ 09:00:00	88	75	1	55.12	69.99	149	216.67	21.24	1.15
2016/01/01 @ 10:00:00	92	78	1	53.98	72.97	183	216.67	27.9	1.15
2016/01/01 @ 11:00:00	96	81	1	52.93	76.96	216.67	216.67	46.14	1.15
2016/01/01 @ 12:00:00	96	81	1	52.93	76.96	216.67	216.67	43.67	1.15
2016/01/01 @ 13:00:00	96	81	1	52.93	76.96	188	216.67	35.65	1.15
2016/01/01 @ 14:00:00	97	81	1	50.74	75.7	132	180	18.27	1.15
2016/01/01 @ 15:00:00	95	80	1	52.52	74.9	75	129	12.23	1.15
2016/01/01 @ 16:00:00	93	79	1	54.41	74.12	23	55	7	1.15
2016/01/01 @ 17:00:00	92	78	1	53.98	72.97	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 18:00:00	90	77	1	56	72.2	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 19:00:00	89	76	1	55.57	71.05	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 20:00:00	87	75	1	57.72	70.32	0	0	0	1.15
2016/01/01 @ 21:00:00	86	75	1	60.44	70.73	0	0	0	1.15



ภาพที่ 3.18 ฐานข้อมูลสภาพอากาศในโปรแกรม Element

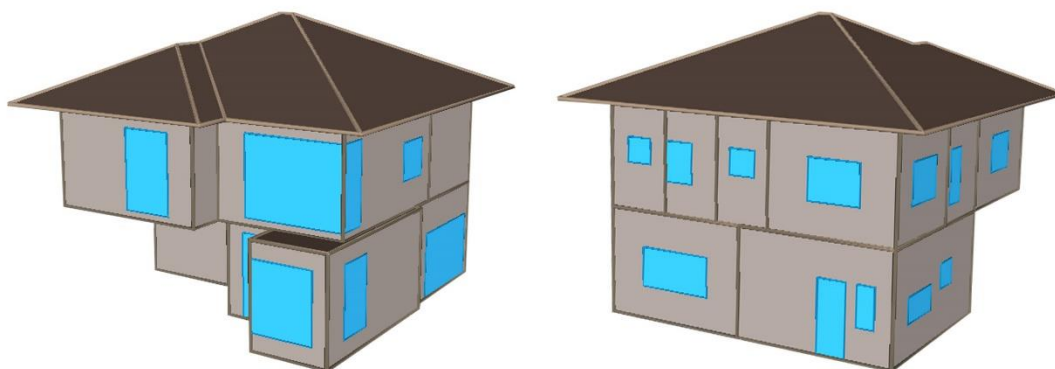
การแปลงฐานข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม Element เป็นไฟล์นามสกุล .bin ส่งผลให้ค่าของตัวแปรทางสภาพอากาศ 5 ตัวแปร (อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลม) มีความคลาดเคลื่อนจากค่าเดิมของข้อมูลสภาพอากาศที่คำนวณผ่านโปรแกรม ENVI-met V4 เล็กน้อย สาเหตุเกิดจากการใช้หน่วยวัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ฐานข้อมูลสภาพอากาศไฟล์นามสกุล .bin ใช้หน่วยวัด US Customary Unit ขณะที่ข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI-met V4 ใช้หน่วยวัดเมตริก นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากการปัดค่าทศนิยมของอุณหภูมิอากาศเป็นจำนวนเต็ม และความเร็วลมที่ถูกกำหนดให้มีขั้นต่ำที่ 0.51 เมตรต่อวินาที หรือ 1 น็อต (Knot) ในไฟล์นามสกุล .bin



ภาพที่ 3.19 ฐานข้อมูลสภาพอากาศไฟล์นามสกุล .bin

3.6.2 การนำเข้าแบบจำลอง

แบบจำลองที่สร้างในโปรแกรม eQUEST 3.65 มีความแตกต่างจากโปรแกรม ENVI-met V4 เนื่องจากแบบจำลองในโปรแกรม eQUEST 3.65 สามารถสร้างได้เฉพาะบ้านที่สนใจ และสภาพแวดล้อมข้างเคียงที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมเท่านั้น บ้านเดี่ยวดังกล่าว (ภาพที่ 3.20) ซึ่งตั้งอยู่ใจกลางของกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัย มีขนาด 165 ตารางเมตร ผังพื้นของบ้านเดี่ยวแสดงในภาพที่ 3.5 โดยค่าอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (Window to Wall Ratio, WWR) ทางด้านทิศใต้ ซึ่งเป็นหน้าบ้าน มีค่าร้อยละ 28.85 ขณะที่ผนังทางทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศตะวันออกมีอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 13.23 12.34 และ 20.49 ตามลำดับ ส่วนสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านกรณีศึกษา คือ บ้านเดี่ยวข้างเคียง 4 หลังและต้นไม้ ที่ถูกสร้างด้วยการใช้เครื่องมือ Building Shade ในโปรแกรม eQUEST 3.65 เครื่องมือนี้จะสร้างแผ่นสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ และใช้พิกัด X Y Z ในการกำหนดตำแหน่งของแผ่น



ภาพที่ 3.20 แบบจำลองบ้านเดี่ยวในโปรแกรม eQUEST 3.65

องค์ประกอบของเปลือกอาคารในบ้านกรณีศึกษา ได้แก่ หลังคา ผนังทึบ และ ผนังโปร่งแสง จำเป็นต้องระบุค่าของวัสดุที่ใช้จริงตามกลุ่มตัวอย่าง คุณสมบัติของวัสดุหลังคาและ ผนังทึบเป็นไปตามตารางที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- (1) ชนิดหลังคาของบ้านเป็นกระเบื้องหลังคาคอนกรีตพร้อมติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 15 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $0.044 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- (2) วัสดุผนังทึบที่ใช้คอนกรีตมวลเบาฉาบปูนเรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $0.412 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- (3) ผนังโปร่งแสงหรือหน้าต่างของบ้านใช้กระจกเงาตัดแสงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ 0.62 (ณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม, 2558)

การจำลองบ้านกรณีศึกษาในงานวิจัยจะพิจารณาเพียงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ กำหนดตารางการใช้งานเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ห้องนั่งเล่น ห้องอาหาร และห้องนอนตามข้อ 3.3.3.5 และ 3.3.3.6 ขณะที่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนถูกควบคุมไว้ โดยกำหนดปริมาณการใช้แสงสว่างภายในบ้านตามค่าเริ่มต้นตามโปรแกรม eQUEST 3.65 และไม่มีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านกรณีศึกษา

บทที่ 4

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้น

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของแบบจำลองกรณีตั้งต้นสามารถพิจารณาจากความสอดคล้องทางสถิติของข้อมูลสภาพอากาศจากการวัดภาคสนามและผลลัพธ์จากการจำลองในโปรแกรม ENVI-met V4 จากนั้นจะนำกรณีตั้งต้นมาปรับเปลี่ยนเป็นกรณีศึกษา ในบทนี้จึงประกอบด้วย ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของเครื่องมือ การนำเข้าแบบจำลองกรณีตั้งต้น ผลการจำลองกรณีตั้งต้น ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้น และแบบจำลองกรณีศึกษา 16 กรณี

4.1 ขั้นตอนการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของเครื่องมือ

โปรแกรม ENVI-met V4 ที่ใช้ในการจำลองหาค่าของสภาพอากาศที่เกิดขึ้น จะต้องมีความสอดคล้องกับสถานที่จริง เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือและถูกต้องของโปรแกรม ผู้วิจัยจึงลงสำรวจในสถานที่จริงของกลุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจวัดข้อมูลสภาพอากาศ ขั้นตอนของการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรมมีดังนี้

4.1.1 สร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัยให้มีความใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมในสถานที่จริงมากที่สุด พร้อมทั้งตั้งค่าข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาสถาบันตรวจวัดอากาศดอนเมือง ขั้นตอนนี้จึงสามารถเรียกได้ว่าเป็นการจำลองกรณีตั้งต้น

4.1.2 นำผลลัพธ์ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการจำลองกรณีตั้งต้นในโปรแกรม ENVI-met V4 มาเปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่ตรวจวัดภาคสนามด้วยการใช้ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 , RMSE, d และ Mean Difference ซึ่งใช้วิธีการทางสถิติ Paired T-Test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสภาพอากาศ

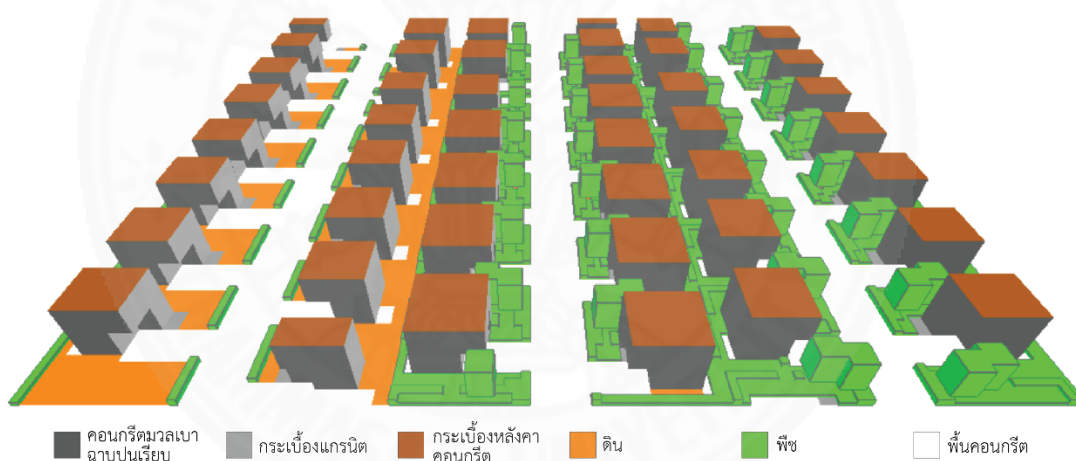
4.1.3 ปรับค่าในกรณีตั้งต้นด้วยการปรับเปลี่ยนข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศ เพื่อให้สภาพอากาศที่ได้จากการจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดที่สามารถยอมรับได้

4.1.4 นำแบบจำลองกรณีตั้งต้น ซึ่งมีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องแล้ว มาใช้สำหรับการทำวิจัยในขั้นต่อไป โดยปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกตามกรณีที่ต้องการศึกษา

4.2 การนำเข้าแบบจำลองกรณีตั้งต้น

4.2.1 การสร้างแบบจำลองกรณีตั้งต้น

กรณีตั้งต้นของกลุ่มตัวอย่างพื้นที่เขตพักอาศัยภายในโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่ไปสำรวจถูกจำลองตามผังโครงการและแปลงที่ดินของบ้านแต่ละหลังดังภาพที่ 3.10ก และ 3.10ข อย่างไรก็ตามแปลงที่ดินของบ้านบางหลังยังเป็นพื้นดินอยู่ เนื่องจากทางโครงการยังไม่ได้เริ่มปลูกพืชพรรณในวันที่ลงภาคสนาม ส่วนขนาดของแบบจำลอง และบ้านเดี่ยวในกรณีตั้งต้นเป็นไปตามข้อ 3.5.2.1 พืชพรรณที่ใช้ ประกอบด้วย ไม้คลุมดิน ไม้พุ่มขนาดเล็กสูง 0.5 เมตร ซึ่งปลูกบริเวณทางเท้าและภายในแปลงที่ดิน และต้นไม้ขนาดทรงพุ่ม 3 เมตร สูง 6 เมตร (ภาพที่ 3.3ก) ขณะที่วัสดุผิวภายนอกมีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ คอนกรีตมวลเบาฉาบปูนเรียบ กระเบื้องแกรนิต กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องแกรนิต พื้นคอนกรีต และดิน ลักษณะของแบบจำลองกรณีตั้งต้นจึงเป็นไปตามภาพที่ 4.1



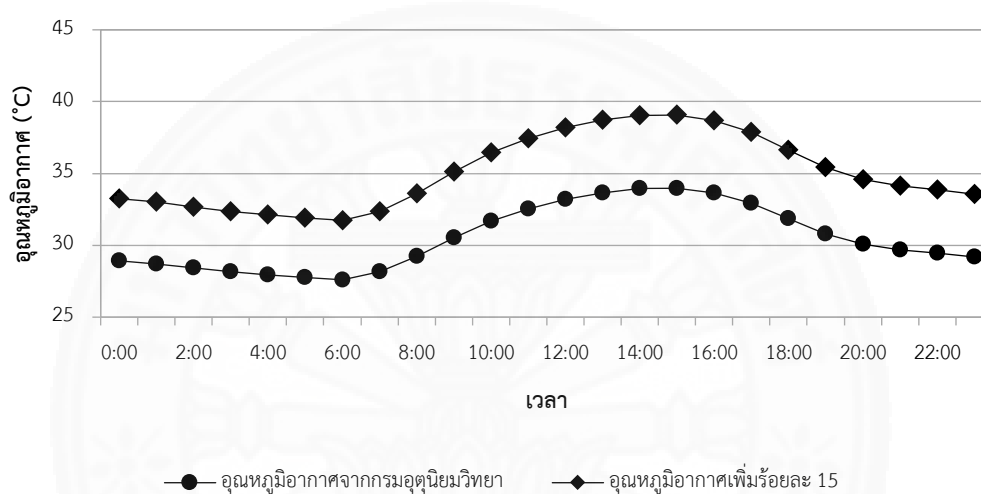
ภาพที่ 4.1 แบบจำลองสามมิติในโปรแกรม ENVI-met V4

4.2.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าในกรณีตั้งต้น

ข้อมูลนำเข้าของตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มตัวอย่าง และวันที่ต้องการจำลองในกรณีตั้งต้นเป็นตามรายละเอียดในข้อ 3.5.2.2 ระยะเวลาในการจำลองเท่ากับ 11 ชั่วโมง โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 08.00 น. เป็นต้นไป ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับการตรวจวัดภาคสนาม ส่วนข้อมูลนำเข้าสภาพอากาศที่ใช้มีเพียงทิศทางและความเร็วลมที่คงค่าเดิมจากกรมอุตุนิยมวิทยา ขณะที่อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จะถูกปรับค่าเพื่อให้เป็นข้อมูลนำเข้าของกรณีตั้งต้น 3 กรณี ดังนี้

4.2.2.1 กรณีตั้งต้น 1 ใช้ข้อมูลนำเข้าของอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ จากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดอากาศตอนเมือง ค่าของข้อมูลเหล่านี้ได้กล่าวไปแล้วในข้อ 3.5.1.2

4.2.2.2 กรณีตั้งต้น 2 ใช้ข้อมูลนำเข้าของอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นจากกรมอุตุนิยมวิทยา ร้อยละ 15 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.2 ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ใช้ค่าเดิมที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา

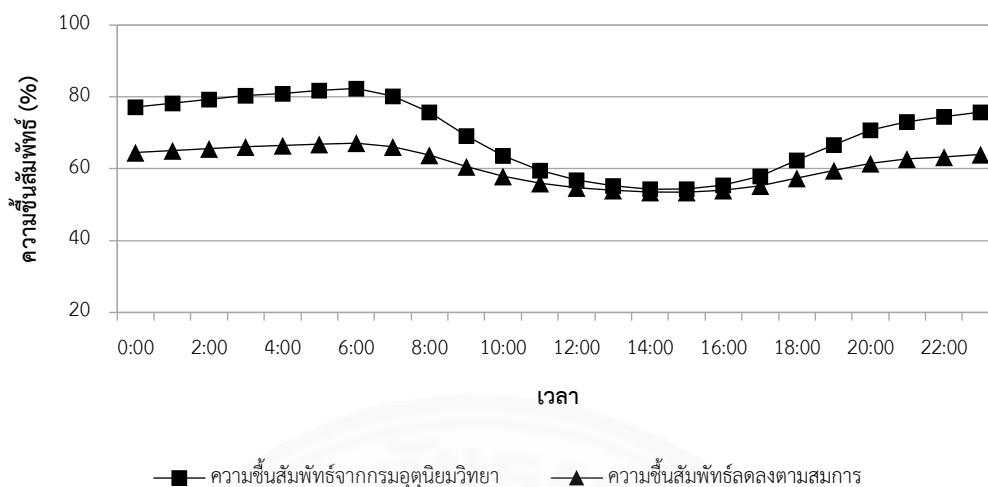


ภาพที่ 4.2 ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศในกรณีตั้งต้น

4.2.2.3 กรณีตั้งต้น 3 ใช้ข้อมูลนำเข้าของอุณหภูมิอากาศเช่นเดียวกับกรณีตั้งต้น 2 คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 จากกรมอุตุนิยมวิทยา ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ถูกปรับค่าให้ลดลงด้วยการสร้างสมการเส้นตรง 4.1 เพื่อหาความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดจากภาคสนาม (ภาพที่ 4.3) เนื่องจากแนวโน้มของความชื้นสัมพัทธ์จากกรมอุตุนิยมวิทยาและการวัดภาคสนามมีความแตกต่างกันมาก

$$y = 0.4798x + 27.473 \quad (4.1)$$

เมื่อ x คือ ความชื้นสัมพัทธ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา
 y คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีตั้งต้น 3



ภาพที่ 4.3 ข้อมูลนำเข้าความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีตั้งต้น

4.3 ผลการจำลองกรณีตั้งต้น

การจำลองกรณีตั้งต้นทั้ง 3 กรณี ซึ่งมีการปรับค่าข้อมูลนำเข้าของสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ข้อมูลสภาพอากาศจากการจำลองแตกต่างกัน ผลลัพธ์ข้อมูลสภาพอากาศที่นำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสอดคล้องระหว่างการวัดภาคสนามและแบบจำลอง คือ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ณ ระดับ 1.5 เมตร

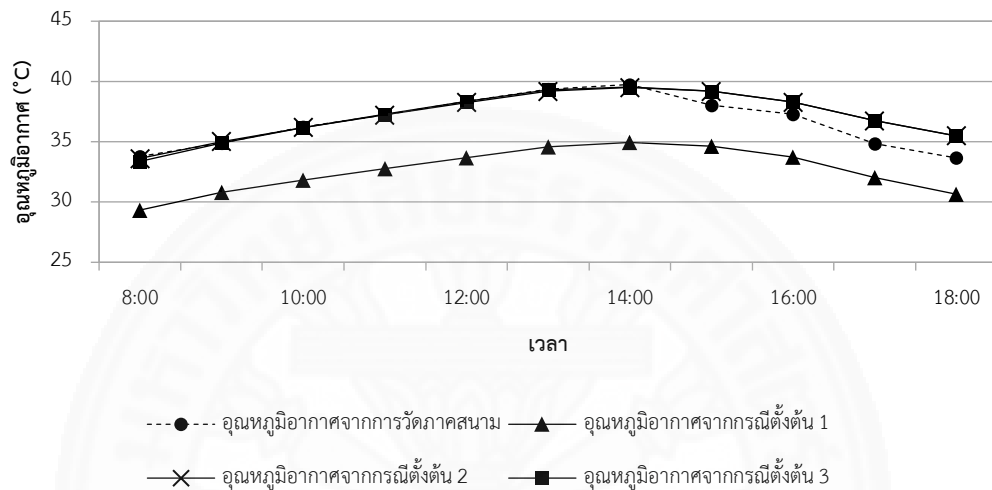
4.3.1 อุณหภูมิอากาศ

จากภาพที่ 4.4 แสดงถึง ผลของอุณหภูมิอากาศจากการจำลองและการวัดภาคสนาม โดยอุณหภูมิอากาศจากกรณีตั้งต้น 1 มีแนวโน้มต่ำกว่าการวัดภาคสนาม ขณะที่กรณีตั้งต้น 2 และ 3 มีอุณหภูมิอากาศสอดคล้องกับการวัดภาคสนามมากกว่า ถึงแม้ว่าค่าอุณหภูมิอากาศในช่วงบ่ายถึงเย็น (หลัง 14.00 น. เป็นต้นไป) แตกต่างจากการวัดภาคสนาม ทั้งนี้อุณหภูมิอากาศของกรณีตั้งต้น 2 และ 3 ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งหมายความว่า การปรับค่าข้อมูลนำเข้าของความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีตั้งต้น 2 และ 3 ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศมีความแตกต่างกันในการจำลอง

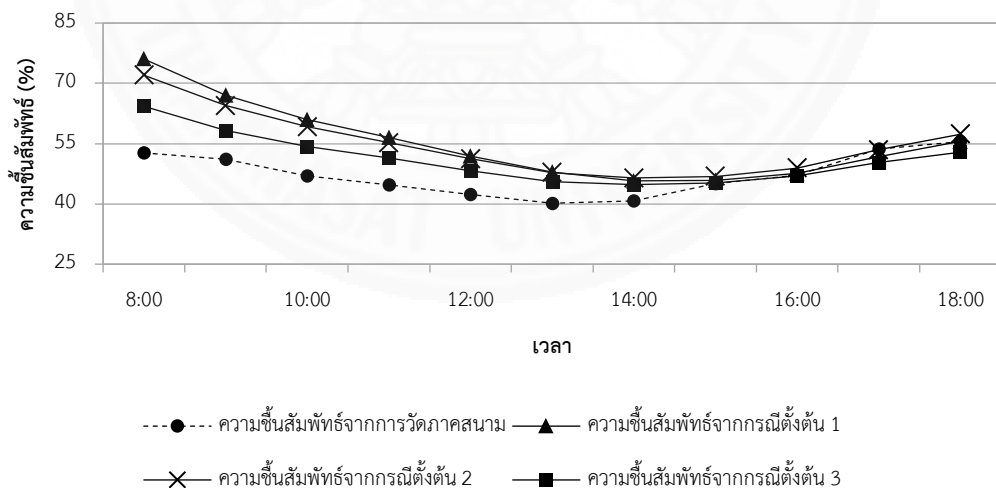
4.3.2 ความชื้นสัมพัทธ์

จากการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการจำลองในกรณีตั้งต้นและการวัดภาคสนาม (ภาพที่ 4.5) พบว่า กรณีตั้งต้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์สอดคล้องกับการวัดภาคสนามมากที่สุด คือ กรณีตั้งต้น 3 อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเช้ามีความแตกต่างอย่างชัดเจน

เนื่องจากความชันของกราฟ ความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดภาคสนามมีความชันต่ำ ขณะที่ในช่วงเย็น ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกัน กรณีติดตั้ง 1 และ 2 มีผลการจำลองของความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน ทั้งที่ใช้ข้อมูลนำเข้าความชื้นสัมพัทธ์ชุดเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้อมูลนำเข้าของอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 ของกรณีติดตั้ง 2 ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง



ภาพที่ 4.4 ผลการจำลองอุณหภูมิอากาศของกรณีติดตั้ง 3 กรณีและการวัดภาคสนาม



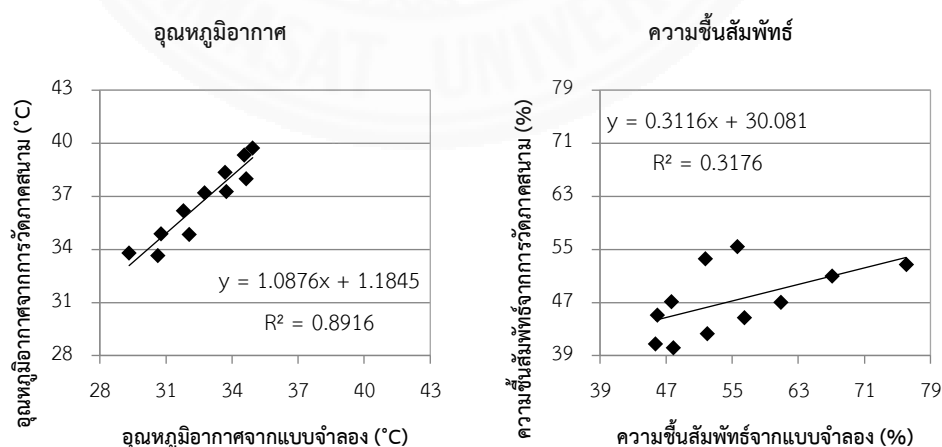
ภาพที่ 4.5 ผลการจำลองความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีติดตั้ง 3 กรณีและการวัดภาคสนาม

4.4 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้น

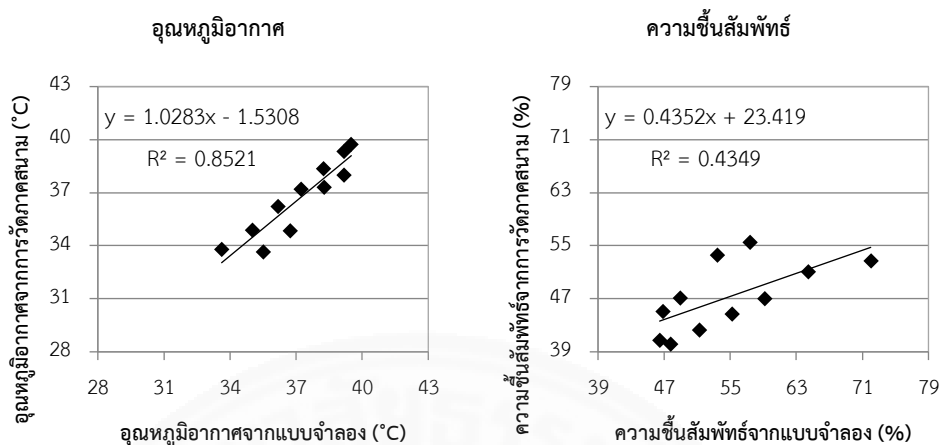
การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของกรณีตั้งต้นสามารถพิจารณาจากความสอดคล้องทางสถิติของข้อมูลค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการวัดภาคสนาม กับผลลัพธ์ของการจำลองใน ENVI-met V4 ด้วยการใช้ค่าความสอดคล้องทางสถิติทั้ง 4 ค่า คือ R^2 , RMSE, d และ Mean Difference ซึ่งต้องมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่ดี

4.4.1 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ The Coefficient of Determination (R^2)

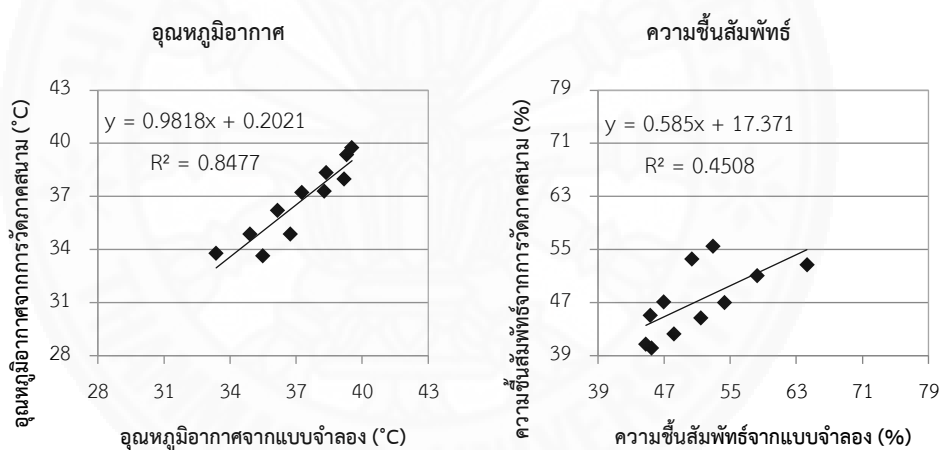
จากการจำลองกรณีตั้งต้นทั้ง 3 กรณี พบว่า ค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 ของอุณหภูมิอากาศในกรณีตั้งต้น 1 2 และ 3 มีค่า 0.8916 0.8521 และ 0.8477 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 – 4.8) โดยกรณีตั้งต้น 1 นี้มี R^2 เข้าใกล้ค่า 1 มากที่สุด ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิอากาศจากการจำลองในกรณีตั้งต้น 1 มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศจากการวัดภาคสนามสูง แม้ว่าค่าของอุณหภูมิอากาศจะต่ำกว่าการวัดภาคสนามก็ตามดังภาพที่ 4.4 อย่างไรก็ตามกรณีตั้งต้น 2 และ 3 ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยตามตารางที่ 2.2 (หน้า 33) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าความสอดคล้องทางสถิติ R^2 0.3176 0.4349 และ 0.4508 ในกรณีตั้งต้นที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 – 4.8) ซึ่งมีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำหากเทียบกับค่า R^2 ของอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากมีการกระจายตัวของข้อมูล กรณีที่มีค่า R^2 ของความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ กรณีตั้งต้น 3 ซึ่งมีข้อมูลนำเข้าของความชื้นสัมพัทธ์ลดลงตามสมการที่ 4.1



ภาพที่ 4.6 R^2 ของกรณีตั้งต้น 1 (ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา)



ภาพที่ 4.7 R^2 ของกรณีตั้งต้น 2 (ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 และความชื้นสัมพัทธ์คงที่)



ภาพที่ 4.8 R^2 ของกรณีตั้งต้น 3 (ข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 และความชื้นสัมพัทธ์ลดลงตามสมการที่ 4.1)

4.4.2 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ Root Mean Square Error (RMSE)

ค่าความสอดคล้องทางสถิติ RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการจำลองกับการวัดภาคสนามนำเสนอในตารางที่ 4.1 โดยค่า RMSE ควรมีค่าเข้าใกล้ 0 กรณีตั้งต้น 2 เป็นกรณีที่มีความใกล้เคียงกับการวัดภาคสนามในด้านอุณหภูมิอากาศ ซึ่งมีค่า RMSE 0.923 ขณะที่ กรณีตั้งต้น 3 มีค่า RMSE ของความชื้นสัมพัทธ์ใกล้ 0 มากที่สุด คือ 5.881 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งกรณีตั้งต้น 2 และ 3 พบว่า กรณีตั้งต้น 3 มีค่า RMSE ของอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 0.929 ซึ่งมีความแตกต่างกับกรณีตั้งต้น

2 เพียงเล็กน้อย (0.006) และยังคงอยู่ในช่วงค่า RMSE ของงานวิจัยตามตารางที่ 2.2 (หน้า 33) แต่ค่า RMSE ของความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีตั้งต้น 2 และ 3 มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นกรณีตั้งต้น 3 จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 4.1

RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

	อุณหภูมิอากาศ	ความชื้นสัมพัทธ์
กรณีตั้งต้น 1	4.101	10.927
กรณีตั้งต้น 2	0.923	9.490
กรณีตั้งต้น 3	0.929	5.881

หมายเหตุ. ค่า RMSE ควรมีค่าเข้าใกล้ 0

4.4.3 ค่าความสอดคล้องทางสถิติ Index of Agreement (d)

ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงค่าความสอดคล้องทางสถิติ d ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการจำลองกับการวัดภาคสนาม กรณีตั้งต้น 3 มีค่า d ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 0.943 และ 0.657 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 กรณี นอกจากนี้ยังคงอยู่ในช่วงค่า d 0.60 – 0.98 ของงานวิจัยตามตารางที่ 2.2 (หน้า 33) สำหรับในกรณีตั้งต้น 2 มีค่า d ของอุณหภูมิอากาศสูงเช่นเดียวกับกรณีตั้งต้น 3 แต่ค่า d ของความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างต่ำ กรณีตั้งต้น 2 จึงไม่สอดคล้องกับการวัดภาคสนามในด้านความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 4.2

d ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

	อุณหภูมิอากาศ	ความชื้นสัมพัทธ์
กรณีตั้งต้น 1	-0.184	0.302
กรณีตั้งต้น 2	0.941	0.354

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

d ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

	อุณหภูมิอากาศ	ความชื้นสัมพัทธ์
กรณีตั้งต้น 3	0.943	0.657

หมายเหตุ. ค่า *d* ควรมีค่าเข้าใกล้ 1

4.4.4 ค่า Mean Difference

การหาค่า Mean Difference หรือผลต่างของค่าเฉลี่ยจากการจำลองกับการวัดภาคสนามสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีทางสถิติ Paired T-Test ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป กำหนดสมมติฐานในการทดสอบ 2 ชุด ดังนี้

(1) สมมติฐานด้านอุณหภูมิอากาศ

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (อุณหภูมิอากาศจากการจำลองไม่แตกต่างจากการวัดภาคสนาม)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (อุณหภูมิอากาศจากการจำลองแตกต่างจากการวัดภาคสนาม)

(2) สมมติฐานด้านความชื้นสัมพัทธ์

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (ความชื้นสัมพัทธ์จากการจำลองไม่แตกต่างจากการวัดภาคสนาม)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (ความชื้นสัมพัทธ์จากการจำลองแตกต่างจากการวัดภาคสนาม)

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของงานวิจัยนี้ต้องการให้เกิดการยอมรับ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ เพื่อให้ผลลัพธ์จากการจำลองและการวัดภาคสนามไม่แตกต่างกัน ผลทดสอบทางสถิติตามตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศจากการวัดภาคสนามกับการจำลองในกรณีตั้งต้น 2 และ 3 มีค่า P-Value (Sig.) 0.083 และ 0.090 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หมายความว่า อุณหภูมิอากาศจากการจำลองกรณีตั้งต้น 2 และ 3 ไม่แตกต่างจากการวัดภาคสนาม ส่วนค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์จากการวัดภาคสนามกับการจำลองในกรณีตั้งต้น 1 2 และ 3 มีค่า P-Value (Sig.) 0.008 0.002 และ 0.021 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หมายความว่า ความชื้นสัมพัทธ์จากการจำลองกรณีตั้งต้นทั้ง 3 กรณีแตกต่างจากการวัดภาคสนามอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.4.5 ผลสรุป

จากการพิจารณาค่าความสอดคล้องทางสถิติทั้ง 4 ค่า พบว่า กรณีตั้งต้น 3 ซึ่งถูกปรับค่าข้อมูลนำเข้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 จากกรมอุตุนิยมวิทยาและความชื้นสัมพัทธ์

ลดลงตามสมการที่ 4.1 เป็นกรณีที่มีผลการจำลองของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์สอดคล้องกับการวัดภาคสนามมากกว่าอีก 2 กรณี โดยมีค่า R^2 , RMSE, d และ P-Value (Sig.) ของอุณหภูมิอากาศ 0.8477 0.929 0.943 และ 0.090 ตามลำดับ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์มีค่า R^2 , RMSE, d และ P-Value (Sig.) เท่ากับ 0.4508 5.881 0.657 และ 0.021 ตามลำดับ แม้ว่าค่า P-Value (Sig.) ของความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 ก็ตาม ค่าดังที่กล่าวมามีความใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่ดีตามที่กำหนด ดังนั้นกรณีตั้งต้น 3 จึงนำมาปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอก เพื่อสร้างแบบจำลองกรณีศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.3

การทดสอบ Paired T-Test ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
อุณหภูมิอากาศ	กรณีตั้งต้น 1	4.042	0.725	0.219	3.555	4.529	18.490	10	0.000
	กรณีตั้งต้น 2	-0.480	0.827	0.249	-1.036	0.075	-1.926	10	0.083
	กรณีตั้งต้น 3	-0.474	0.838	0.253	-1.037	0.089	-1.875	10	0.090
ความชื้นสัมพัทธ์	กรณีตั้งต้น 1	-7.896	7.922	2.389	-13.218	-2.574	-3.306	10	0.008
	กรณีตั้งต้น 2	-7.542	6.040	1.821	-11.600	-3.484	-4.141	10	0.002
	กรณีตั้งต้น 3	-3.841	4.671	1.408	-6.979	-0.703	-2.727	10	0.021

หมายเหตุ. ค่านัยความสำคัญ (Significant) เท่ากับ 0.05

4.5 แบบจำลองกรณีศึกษา 16 กรณี

เมื่อกรณีตั้งต้น 3 ได้รับการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องแล้ว ลักษณะทางกายภาพและข้อมูลนำเข้าของกรณีตั้งต้นนี้จะนำมาใช้ต่อยอดในการสร้างแบบจำลองกรณีศึกษา แต่องค์ประกอบของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกจะถูกปรับเปลี่ยนเป็น 16 รูปแบบสำหรับแต่ละกรณีศึกษา จากนั้นจึงนำกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณีไปคำนวณหาผลลัพธ์ของสภาพอากาศระดับจุลภาค

ที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอก โดยผลลัพธ์ของสภาพอากาศระดับจุลภาคใช้ในการจำลองในโปรแกรม eQUEST 3.65 ต่อไป เพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

4.5.1 การสร้างแบบจำลองกรณีศึกษา

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองกรณีศึกษา ได้แก่ ขนาดของพื้นที่เขตพักอาศัย ขนาดพื้นที่และความสูงของบ้านเดี่ยว มีลักษณะสอดคล้องกับกรณีตั้งต้น 3 ตามข้อ 4.2.1 แต่พื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกของแต่ละกรณีมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.4 โดยพื้นที่สีเขียวที่ใช้ในกรณีศึกษาถูกแบ่งเป็น 4 ประเภท คือ ไม้พุ่ม (ทั้งไม้พุ่มขนาดเล็กและใหญ่) และไม้ยืนต้นที่ปลูกภายในแปลงที่ดินของแต่ละหลัง รวมถึงไม้พุ่ม (เฉพาะไม้พุ่มขนาดเล็ก) และไม้ยืนต้นที่ปลูกบริเวณทางเท้าสาธารณะ ส่วนวัสดุผิวภายนอกของแบบจำลองกรณีศึกษา ประกอบด้วย หลังคา ผนัง เกลียง ลาน ซักล้าง พื้นที่จอดรถ ทางเท้าสาธารณะ และถนน ใช้ชนิดของวัสดุตามข้อ 3.3.3.4 ขณะที่วัสดุผิวภายนอกที่เป็นตัวแปรต้นมี 2 ประเภท คือ สีของผนังภายนอก และวัสดุปกคลุมผิวพื้น ประกอบด้วย ไม้คลุมดิน และพื้นกระเบื้องเซรามิก

ตารางที่ 4.4

แบบจำลองกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	พื้นที่สีเขียว				วัสดุผิวภายนอก		
	ไม้พุ่ม		ไม้ยืนต้น		วัสดุปกคลุมผิวพื้น		สีของผนังภายนอก
	แปลงที่ดิน	พื้นที่สาธารณะ	แปลงที่ดิน (ต้น)	พื้นที่สาธารณะ	ไม้คลุมดิน	กระเบื้องเซรามิก	
1	√	√	2	-	√	-	สีอ่อน
2	√	√	2	-	√	-	สีเข้ม
3	-	√	0	-	√	-	สีอ่อน
4	-	√	0	-	√	-	สีเข้ม
5*	√	√	0	-	√	-	สีอ่อน
6*	√	√	0	-	√	-	สีเข้ม
7	-	√	1	-	√	-	สีอ่อน

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

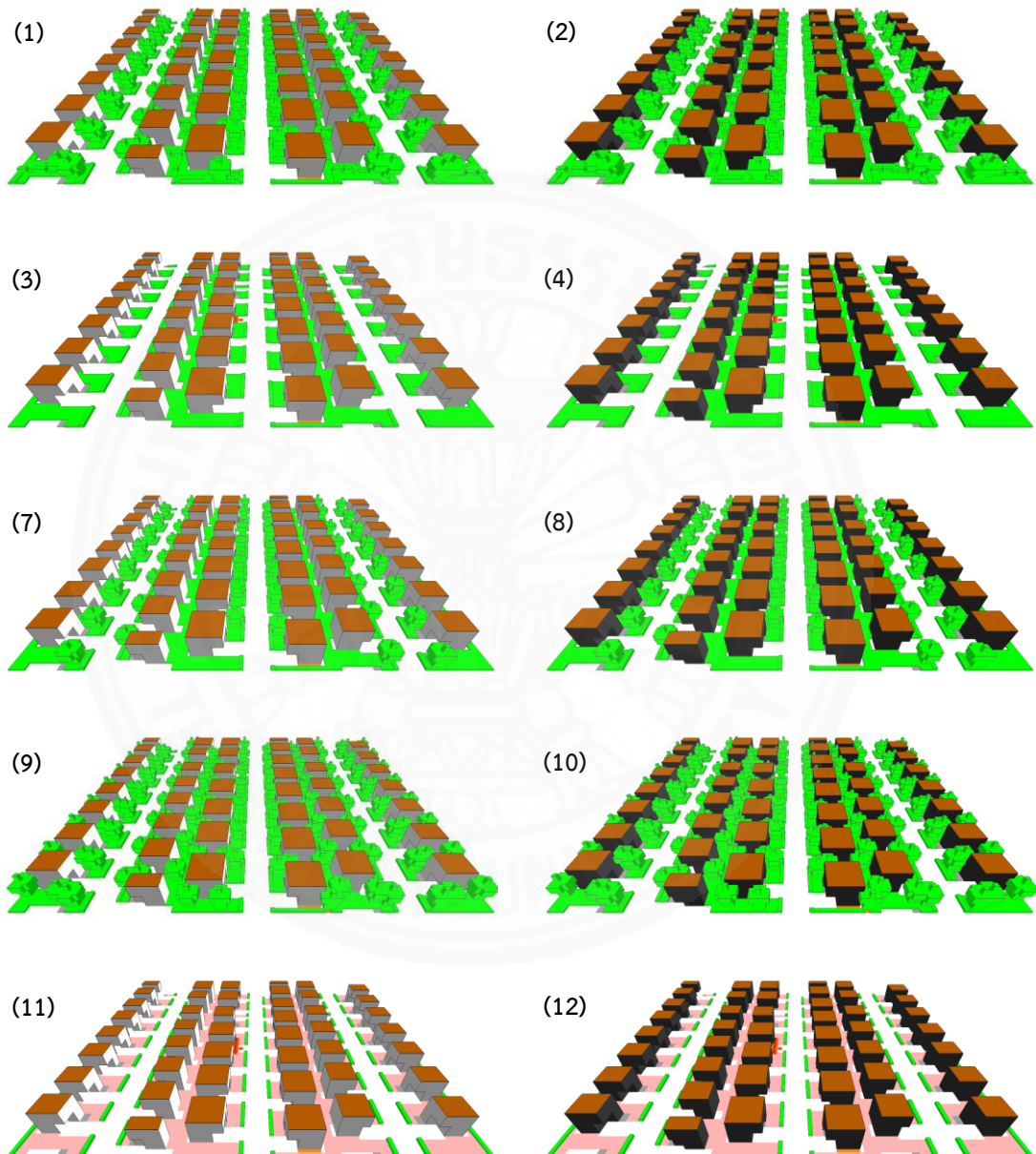
แบบจำลองกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	พื้นที่สีเขียว				วัสดุผิวภายนอก		
	ไม้พุ่ม		ไม้ยืนต้น		วัสดุปกคลุมผิวพื้น		สีของผนังภายนอก
	แปลงที่ดิน	พื้นที่สาธารณะ	แปลงที่ดิน (ต้น)	พื้นที่สาธารณะ	ไม้คลุมดิน	กระเบื้องเซรามิก	
8	-	√	1	-	√	-	สีเข้ม
9	-	√	3	-	√	-	สีอ่อน
10	-	√	3	-	√	-	สีเข้ม
11	-	√	0	-	√	√	สีอ่อน
12	-	√	0	-	-	√	สีเข้ม
13*	√	√	0	-	-	√	สีอ่อน
14*	√	√	0	-	-	√	สีเข้ม
15	-	√	1	-	-	√	สีอ่อน
16	-	√	1	-	-	√	สีเข้ม
17	-	√	3	-	-	√	สีอ่อน
18	-	√	3	-	-	√	สีเข้ม
19	-	√	0	√	-	-	สีอ่อน
20	-	√	0	√	√	√	สีอ่อน

หมายเหตุ. * กรณีศึกษา 5 6 13 และ 14 ไม่ได้นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากผลการจำลองมีความแปรปรวน

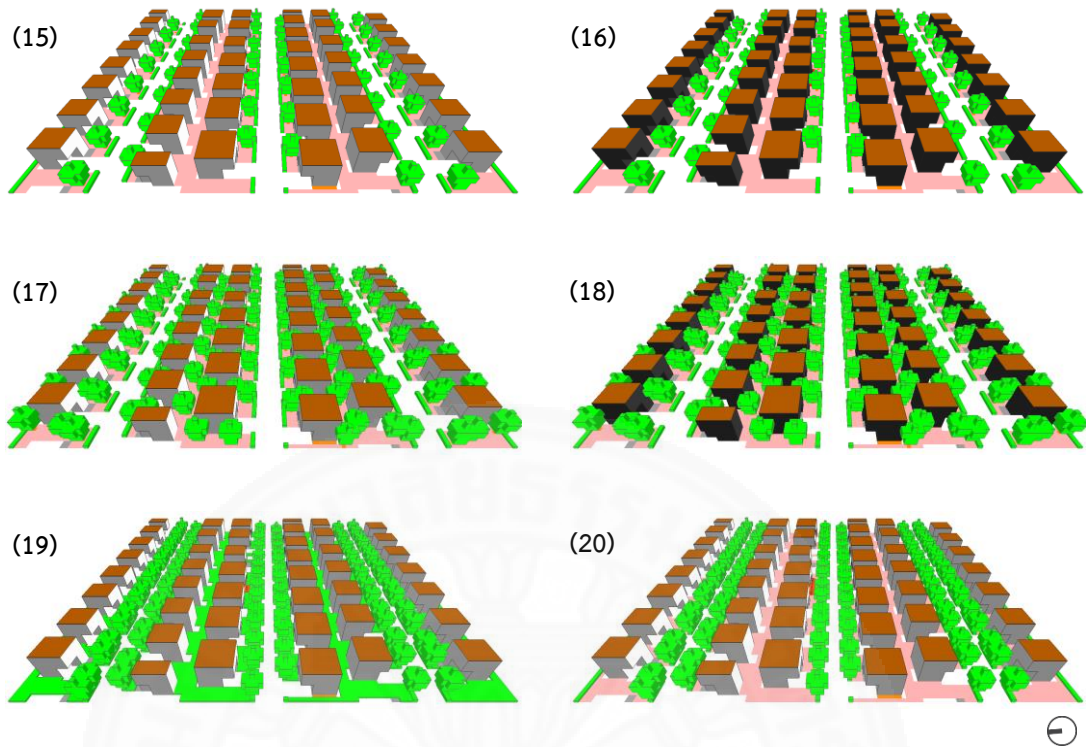
แบบจำลองกรณีศึกษาที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพอากาศระดับจุลภาคในโปรแกรม ENVI-met V4 มีทั้งหมด 16 กรณี โดยแต่ละกรณีมีการจัดสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 4.4 แต่ตำแหน่งของไม้พุ่มและไม้ยืนต้นถูกกำหนดให้มีตำแหน่งเดียวกัน กล่าวคือ ไม้พุ่มปลูกล้อมรอบแปลงที่ดิน ไม้ยืนต้นจำนวน 1 และ 2 ต้น ปลูกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้น ปลูกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 2 ต้น และปลูกทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 1 ต้น กรณีศึกษา 19 และ 20 ปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้น บนทางเท้าของพื้นที่ส่วนกลาง โดยตำแหน่งของไม้ยืนต้นอยู่บริเวณหน้าแปลงที่ดินของกรณีศึกษา ภาพที่ 4.9 แสดงแบบจำลองสามมิติในโปรแกรม

ENVI-met V4 ของกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณี โดยกรณีศึกษา 1 และ 2 นำเสนอการจัดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สีเขียวและวัสดุปกคลุมผิวพื้นในลักษณะเดียวกับโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็ฯกลุ่มตัวอย่าง



ภาพที่ 4.9 แบบจำลองสามมิติของกรณีศึกษา 16 กรณีในโปรแกรม ENVI-met V4

() หมายถึง กรณีศึกษา



ภาพที่ 4.9 (ต่อ) แบบจำลองสามมิติของกรณีศึกษา 16 กรณีในโปรแกรม ENVI-met V4
() หมายถึง กรณีศึกษา

4.5.2 การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าในกรณีศึกษา

การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าของตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มตัวอย่าง วันที่ที่ต้องการจำลอง และข้อมูลสภาพอากาศในกรณีศึกษา ใช้ข้อมูลประเภทเดียวกับกรณีตั้งต้น 3 ดังข้อ 4.2.2 ส่วนระยะเวลาในการจำลองเท่ากับ 24 ชั่วโมง (1 วัน) รายละเอียดข้อมูลนำเข้าสรุปในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ข้อมูลนำเข้าในกรณีศึกษา 16 กรณี

ข้อมูลนำเข้า	
ตำแหน่งที่ตั้ง	ละติจูด 13.91 ลองจิจูด 100.65
วันที่จำลอง	28 พฤษภาคม พ.ศ. 2559
ระยะเวลาที่จำลอง	24 ชั่วโมง
เวลาที่เริ่มต้นจำลอง	00.00 น.

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ข้อมูลนำเข้าในกรณีศึกษา 16 กรณี

ข้อมูลนำเข้า	
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย	308.23 K (35.08°C)
ความเร็วลมที่ระดับ 10 เมตร	3.19 เมตรต่อวินาที
ทิศทางลม	192 องศา



บทที่ 5

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

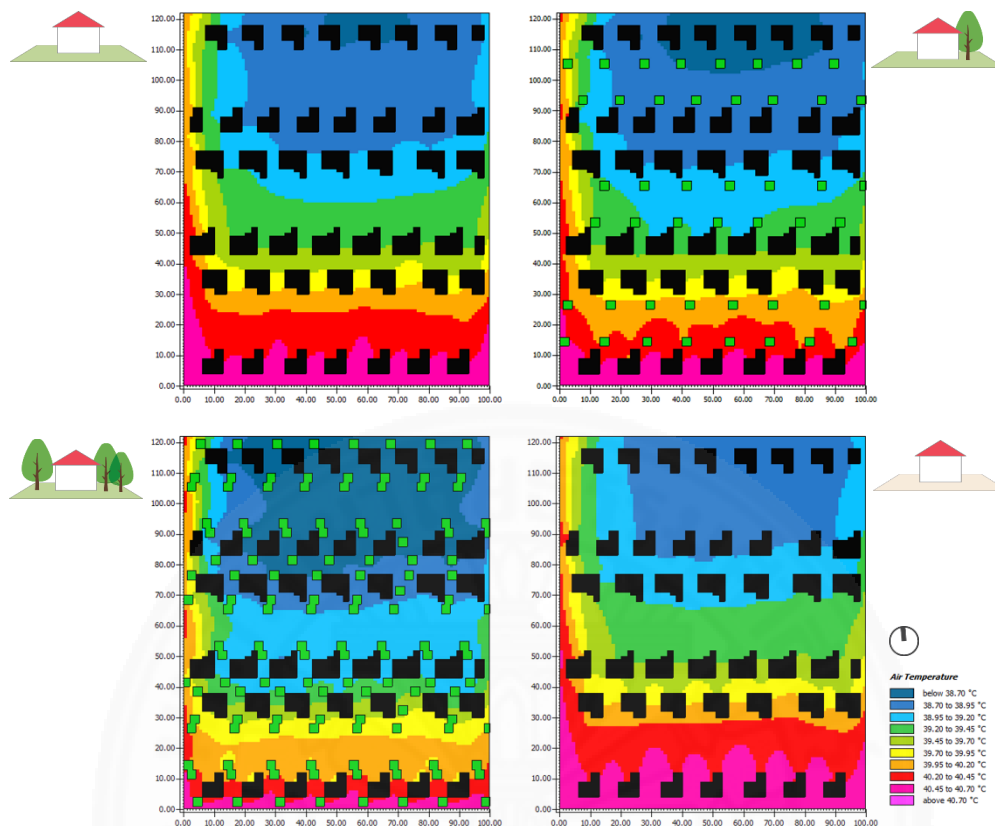
5.1 ผลการจำลองสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI-met V4

อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกในแต่ละกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณีส่งผลให้เกิดสภาพอากาศที่แตกต่างบริเวณรอบบ้านเดี่ยว ตัวแปรของข้อมูลสภาพอากาศที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลม ซึ่งแสดงในพื้นที่เขตพักอาศัย และเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงบริเวณพื้นที่รอบบ้าน 2 เมตร ณ ระดับความสูงจากพื้นดิน 3 - 4 เมตรใน 1 วัน (ภาพที่ 3.4) ตัวแปรทั้ง 5 ตัวนี้จะใช้ในการสร้างข้อมูลสภาพอากาศในโปรแกรม eQUEST 3.65 ต่อไป

5.1.1 อุณหภูมิอากาศ

5.1.1.1 พื้นที่เขตพักอาศัย

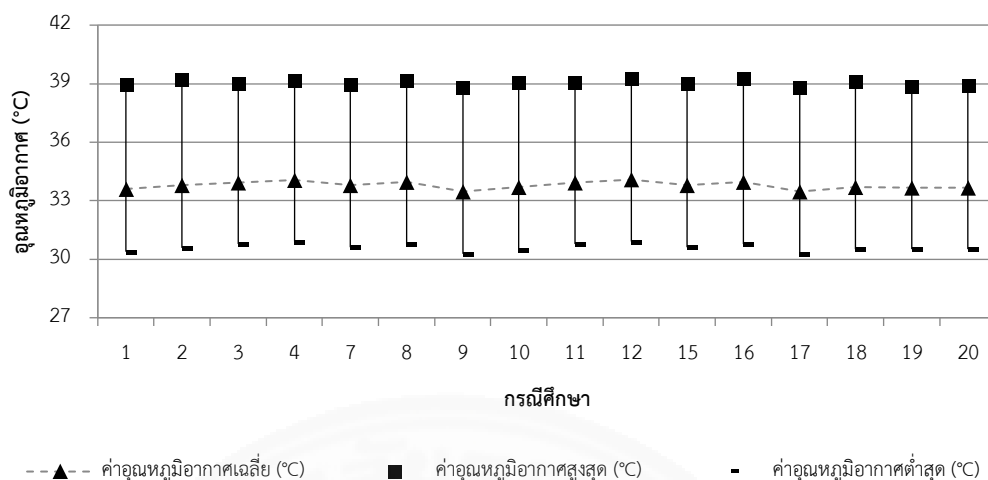
ตัวอย่างการจำลองอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ในพื้นที่เขตพักอาศัยแสดงในภาพที่ 5.1 พื้นที่เขตพักอาศัยบริเวณทิศใต้ของทั้ง 4 กรณีจะมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากในช่วงเวลา 14.00 น.-15.00 น. กระแสลมที่มาจากทิศใต้จะพาอากาศร้อนเข้ามาแทนที่อากาศเย็นภายในพื้นที่ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศจากการจำลองทั้ง 4 กรณี พบว่า กรณีศึกษา 11 มีค่าอุณหภูมิอากาศโดยรวมสูงที่สุด รองลงมา คือ กรณีศึกษา 3 7 และ 9 ตามลำดับ ทั้งนี้สาเหตุมาจากกรณีศึกษา 11 ใช้กระเบื้องเซรามิกแทนไม้คลุมดิน ทำให้ไม่มีการคายระเหยของพืช ถึงแม้ว่าค่าอัลบิโดของกระเบื้องเซรามิกที่ใช้ (0.5) อยู่ในระดับปานกลางก็ตาม การปลูกไม้คลุมดินเพียงอย่างเดียวในกรณีศึกษา 3 ส่งผลให้พื้นที่เขตพักอาศัยมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่ากรณีศึกษา 11 แต่ไม่มากเท่ากับกรณีศึกษา 7 และ 9 ที่ปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 และ 3 ต้นในแต่ละแปลงที่ดิน ต้นไม้จึงมีศักยภาพในการสร้างความเย็นมากกว่าไม้คลุมดิน



ภาพที่ 5.1 ผลการจำลองอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.-15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน

5.1.1.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน

อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยวที่อยู่ใจกลางของพื้นที่เขตพักอาศัยจากกรณีศึกษา 16 กรณี (ภาพที่ 5.2) มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด และค่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดในแต่ละกรณีไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 34°C 39°C และ 30.5°C ตามลำดับ จากค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดของกรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษา 12 ซึ่งใช้กระเบื้องเซรามิกแทนไม้คลุมดินและมีสีผนังบ้านที่เข้ม เป็นกรณีที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดถึง 39.27°C ในช่วงเวลา 14.00 น.-15.00 น. ขณะที่กรณีศึกษาที่มีค่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดประมาณ 30.28°C ในช่วงเวลา 05.00 น.-06.00 น. คือ กรณีศึกษา 9 กรณีศึกษาดังกล่าวมีรูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวเป็นไม้คลุมดินพร้อมไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้น รวมทั้งใช้ผนังบ้านสีอ่อน

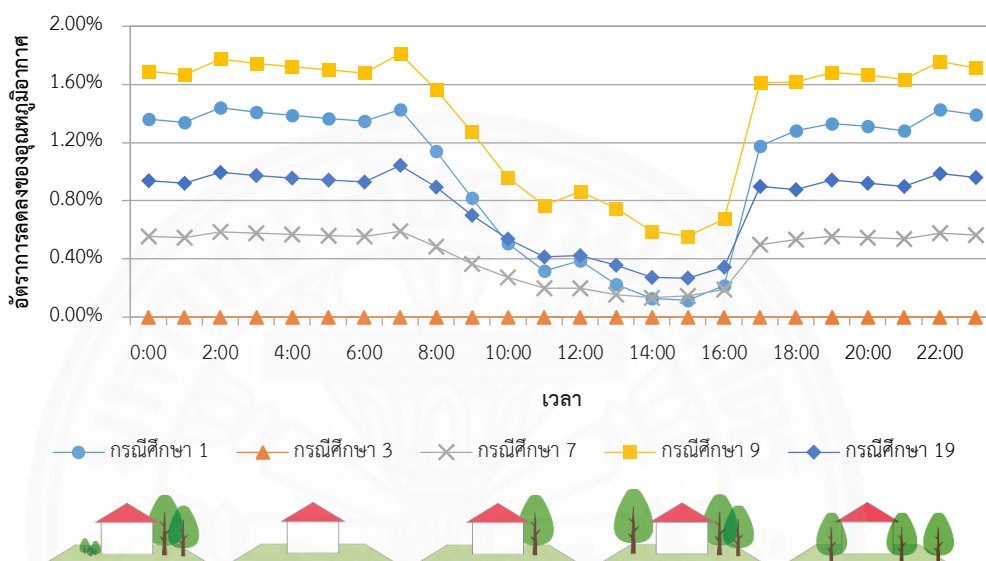


ภาพที่ 5.2 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของอุณหภูมิอากาศใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา

(1) อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่ออุณหภูมิอากาศ

พื้นที่สีเขียวส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศโดยรอบบ้านด้วยการสร้างร่มเงาในช่วงกลางวันและการคายระเหยทั้งกลางวันและกลางคืน จากภาพที่ 5.3 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศระหว่างปริมาณพื้นที่สีเขียวที่แตกต่างกันของกรณีศึกษา 1 3 7 9 และ 19 ภายใต้เงื่อนไขที่มีการใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน กรณีศึกษา 3 เป็นกรณีที่ไม่มียีนต้น ขณะที่กรณีศึกษาอีก 4 กรณีมีปริมาณของมียีนต้น ตำแหน่งการปลูกมียีนต้นและการเลือกใช้ไม้พุ่มที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงใช้ค่าอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษา 3 เป็นตัวตั้งต้นในการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ๆ เพื่อหาอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศ ($\Delta T = [T_{\text{กรณีศึกษา 3}} - T_{\text{กรณีศึกษาอื่น ๆ}}] / T_{\text{กรณีศึกษา 3}}$) อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 00.00 น.-07.00 น. และ 17.00 น.-00.00 น. มีค่าสูง ตรงข้ามกับช่วงเวลา 07.00 น.-17.00 น. ที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศน้อย แม้จะมีการสร้างร่มเงาจากพืชแล้วก็ตาม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการคายน้ำจากใบของมียีนต้นขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมที่ไม่สูงเกินไป ถ้าอุณหภูมิอากาศดังกล่าวมีค่าสูงมาก พืชจะเปิดรูปากใบแคบลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในช่วงเวลากลางคืน พืชจึงสามารถสร้างความเย็นด้วยการคายน้ำได้ดีกว่า ปริมาณของพื้นที่สีเขียวมีความสัมพันธ์กับการลดลงของอุณหภูมิอากาศโดยกรณีศึกษา 9 ซึ่งปลูกมียีนต้นจำนวน 3 ต้นภายในแปลงที่ดิน มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศสูงสุดอย่างน้อยร้อยละ 0.56 ณ เวลา 15.00 น. ถัดมา คือ กรณีศึกษา 1 ที่มีมียีนต้นจำนวน 2 ต้นพร้อมปลูกไม้พุ่มขนาดใหญ่และขนาดเล็ก แต่ในช่วงเวลา 10.00 น.-17.00 น. อุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษา 1 มีอัตราการลดลงน้อยกว่ากรณีศึกษา 19 ซึ่งปลูกมียีนต้นบนทางเท้าสาธารณะ (มีบริเวณหน้าแปลงที่ดินของบ้านที่ศึกษาจำนวน 3 ต้น) สาเหตุอาจเป็นเพราะไม้พุ่มสกัดกั้นความร้อน

ไม่ให้ออกจากพื้นที่ แต่ถ้าปลูกเพียงไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้น อุณหภูมิอากาศทุกช่วงเวลาจะสอดคล้องกับกรณีศึกษา 9 กรณีศึกษาที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศมากที่สุดเป็นอันดับสาม คือ กรณีศึกษา 19 ส่วนกรณีศึกษา 7 ที่มีไม้ยืนต้นเพียง 1 ต้นมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศน้อยที่สุด โดยมีค่าน้อยร้อยละ 0.13 ณ เวลา 14.00 น.

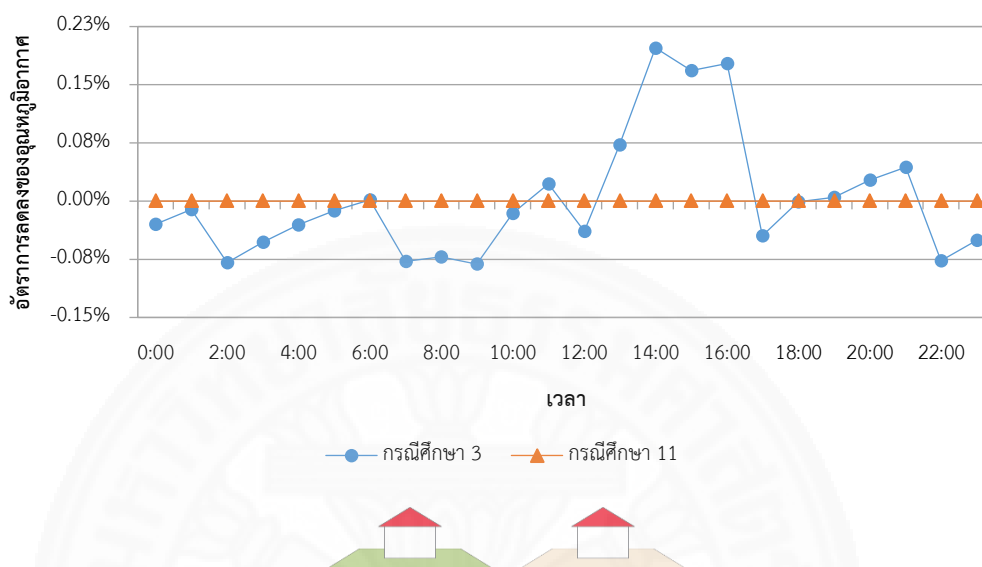


ภาพที่ 5.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

(2) อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ต่ออุณหภูมิอากาศ

การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ ได้แก่ ไม้คลุมดิน และกระเบื้องเซรามิก มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศเพียงเล็กน้อย ภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อนตามภาพที่ 5.4 เมื่อพิจารณากรณีศึกษา 11 ที่ใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่เป็นกระเบื้องเซรามิก ซึ่งเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 3 ที่ใช้ไม้คลุมดิน ($\Delta T = [T_{\text{กรณีศึกษา 11}} - T_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / T_{\text{กรณีศึกษา 11}}$) พบว่า อุณหภูมิอากาศลดลงจากการใช้ไม้คลุมดินเป็นระยะเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง โดยช่วงเวลา 13.00 น.-16.00 น. จะเป็นช่วงที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศสูงสุด แต่การใช้ไม้คลุมดินก็ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศเช่นกัน (14 ชั่วโมงที่เหลือ) เช่น 02.00 น. 07.00 น. อย่างไรก็ตามผลการทดสอบทางสถิติ Paired T-Test (หน้า 147) พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในช่วง 1 วันจากการเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ทั้ง 2 ประเภทมีค่า P-Value (Sig.) 0.747 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 หมายความว่า อุณหภูมิอากาศจากการเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ทั้ง 2 ประเภทนี้

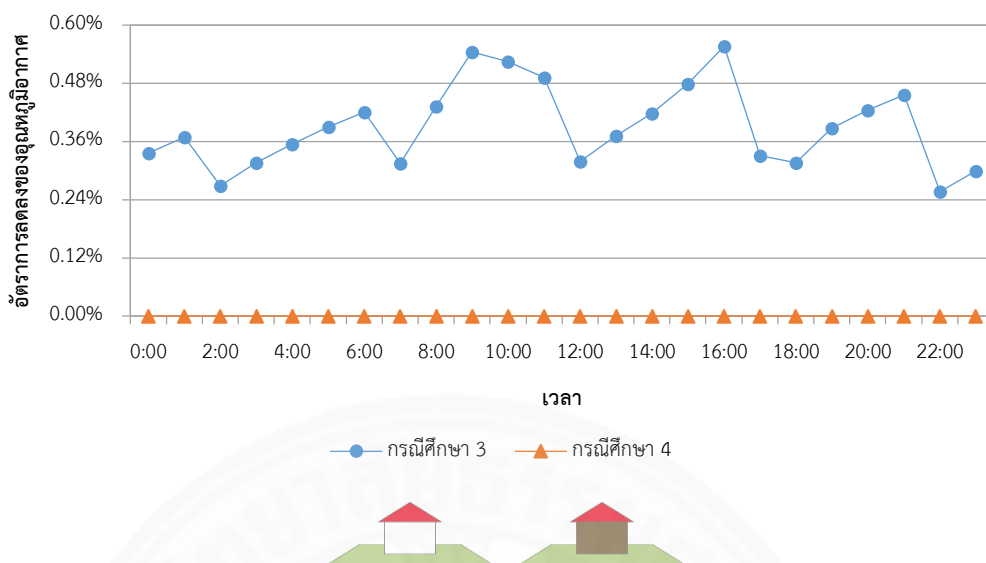
ไม่แตกต่างกัน สาเหตุอาจเป็นเพราะกระเบื้องเซรามิกที่เลือกใช้และไม้คลุมดินมีการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในปริมาณใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 5.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิก ภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

(3) อิทธิพลของสีผนังต่ออุณหภูมิอากาศ

สีผนังเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิอากาศ ภาพที่ 5.5 แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศระหว่างผนังสีเข้มกับผนังสีอ่อนภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่ใช้ไม้คลุมดิน โดยพิจารณาจากกรณีศึกษา 4 ที่เป็นผนังสีเข้มเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 3 ที่มีผนังสีอ่อน ($\Delta T = [T_{\text{กรณีศึกษา 4}} - T_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / T_{\text{กรณีศึกษา 4}}$) การใช้ผนังสีอ่อนสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากกว่าการใช้ผนังสีเข้มตลอดทั้งวัน อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศจากการใช้ผนังสีอ่อนมีค่าสูงและต่ำเป็นช่วง ๆ ช่วงเวลา 15.00 น.-16.00 น. เป็นเวลาที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศมากที่สุดประมาณร้อยละ 0.56 ขณะที่ช่วงเวลา 21.00 น.-22.00 น. จะมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศต่ำประมาณร้อยละ 0.26

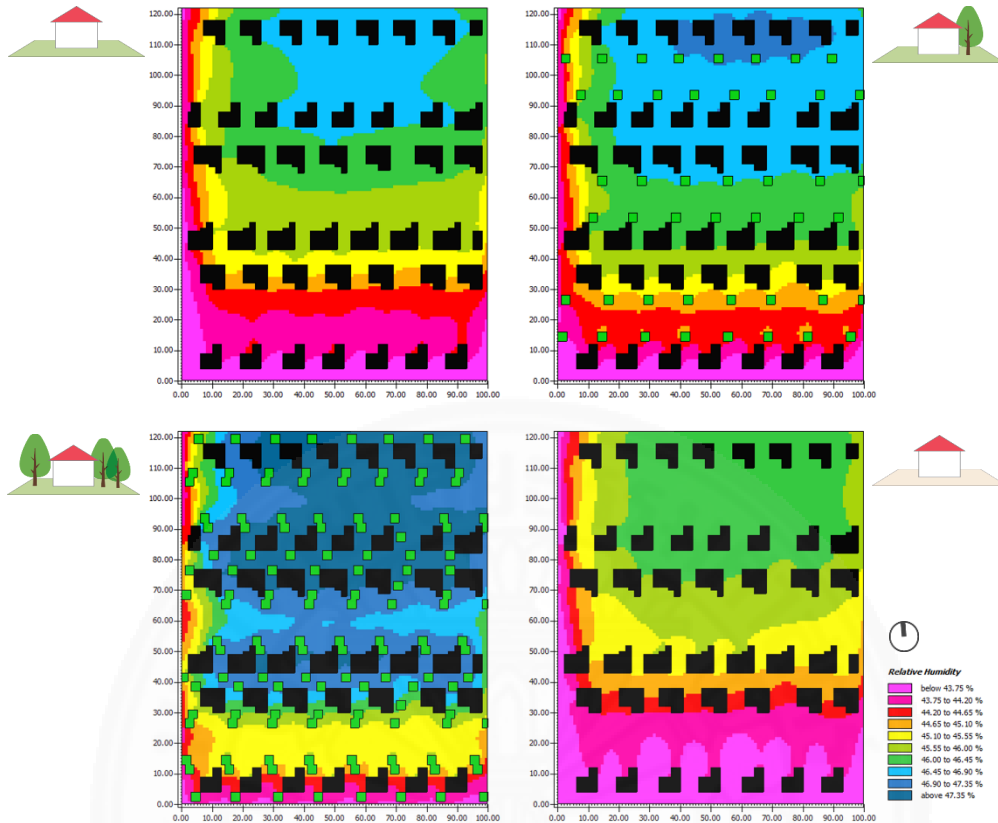


ภาพที่ 5.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

5.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์

5.1.2.1 พื้นที่เขตพักอาศัย

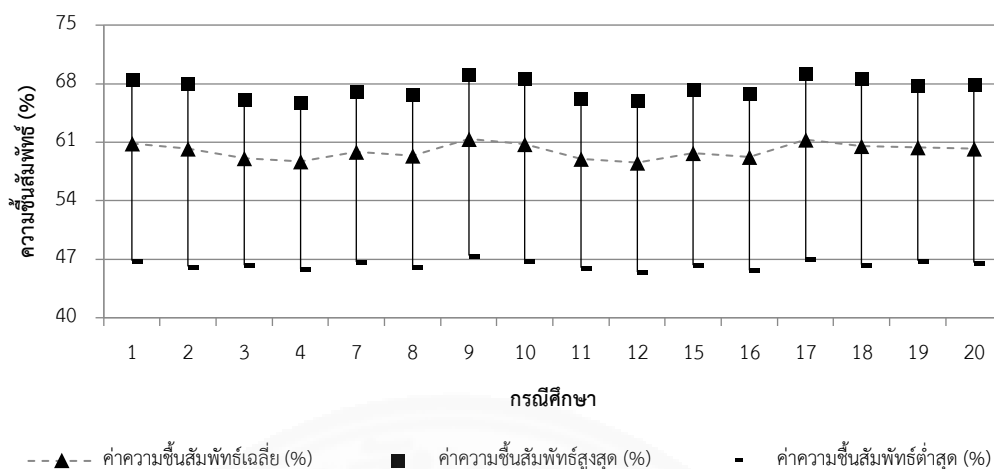
ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศในเชิงผกผัน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูง ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าต่ำ ภาพที่ 5.6 เป็นตัวอย่างการจำลองความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ในพื้นที่เขตพักอาศัย โดยพื้นที่เขตพักอาศัยบริเวณทิศใต้ของทั้ง 4 กรณีมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากบริเวณนี้มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงตามข้อ 5.1.1.1 จากการจำลองทั้ง 4 กรณี พบว่า กรณีศึกษา 11 มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุด รองลงมา คือ กรณีศึกษา 3 7 และ 9 ตามลำดับ สาเหตุที่กรณีศึกษา 9 มีความชื้นสัมพัทธ์สูง เพราะมีการคายระเหยจากต้นไม้เป็นจำนวนมาก ขณะที่กรณีอื่นมีปริมาณของพื้นที่สีเขียวน้อยกว่า ทำให้อัตราการคายระเหยของพืชพรรณลดลงไปด้วย



ภาพที่ 5.6 ผลการจำลองความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.-15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน

5.1.2.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน

ความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว ซึ่งอยู่กลางพื้นที่เขตพักอาศัย (ภาพที่ 5.7) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดประมาณร้อยละ 60 67.5 และ 46 ตามลำดับจากกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณี โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และต่ำสุดจะเกิดในช่วงเวลา 06.00 น.-07.00 น. และ 14.00 น.-15.00 น. การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละกรณีสามารถแบ่งแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมากกว่า อุณหภูมิอากาศ กรณีศึกษาที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดร้อยละ 69.19 คือ กรณีศึกษา 17 ที่มีรูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมเป็นกระเบื้องเซรามิกแทนไม้คลุมดิน ผนังบ้านสีอ่อน และไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้น ขณะที่กรณีศึกษา 12 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิก และมีสีผนังบ้านที่เข้ม มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดร้อยละ 45.46 ซึ่งมีความสอดคล้องเชิงผกผันกับค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดในช่วงเวลาเดียวกันดังข้อ 5.1.1.2

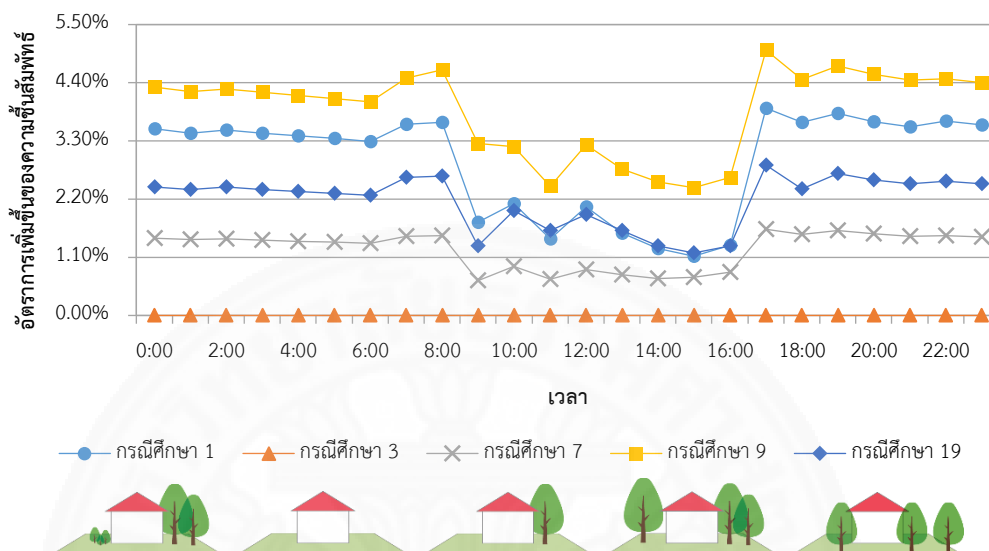


ภาพที่ 5.7 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา

(1) อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความชื้นสัมพัทธ์

พื้นที่สีเขียวส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์รอบบ้านจากการคายระเหย เนื่องจากน้ำที่ระเหยออกจากปากใบเพิ่มปริมาณน้ำในอากาศให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการคายน้ำของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่นด้วย ภาพที่ 5.8 แสดงให้เห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณพื้นที่สีเขียวที่แตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน โดยเปรียบเทียบกรณีศึกษา 1 7 9 และ 19 กับกรณีศึกษา 3 ที่ไม่ได้ปลูกไม้ยืนต้น ($\Delta RH = [RH_{\text{กรณีศึกษาอื่น}} - RH_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / RH_{\text{กรณีศึกษา 3}}$) อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงในช่วงเย็นถึงรุ่งเช้า (17.00 น.-08.00 น.) มากกว่าในช่วงกลางวัน (08.00 น.-17.00 น.) สาเหตุเกิดจากความสามารถในการคายน้ำของพืช แม้ว่าในช่วงกลางวันมีความชื้นน้อย ซึ่งส่งผลต่อการคายน้ำของพืช แต่อุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมอาจมีอิทธิพลต่อการคายน้ำมากกว่าความชื้นในอากาศทำให้พืชลดการสูญเสียน้ำออกจากปากใบ เมื่อพิจารณาปริมาณของพื้นที่สีเขียวในแต่ละกรณี พบว่าปริมาณของพื้นที่สีเขียวมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ โดยกรณีศึกษา 9 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นภายในแปลงที่ดิน มีอัตราเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดอย่างน้อยร้อยละ 2.44 ถัดมา คือ กรณีศึกษา 1 ที่มีไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นพร้อมปลูกไม้พุ่มขนาดใหญ่และขนาดเล็กอันดับสามเป็นกรณีศึกษา 19 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นบนทางเท้าสาธารณะ โดยบริเวณหน้าแปลงที่ดินของบ้านที่ศึกษามีจำนวน 3 ต้น อย่างไรก็ตามกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 19 ไม่มีความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์มากนักในช่วงกลางวัน ส่วนกรณีศึกษา 7 ที่มีไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศน้อยที่สุด ขั้นต่ำร้อยละ 0.66 ลักษณะดังกล่าวนี้คล้ายกับอัตราการลดลงของ

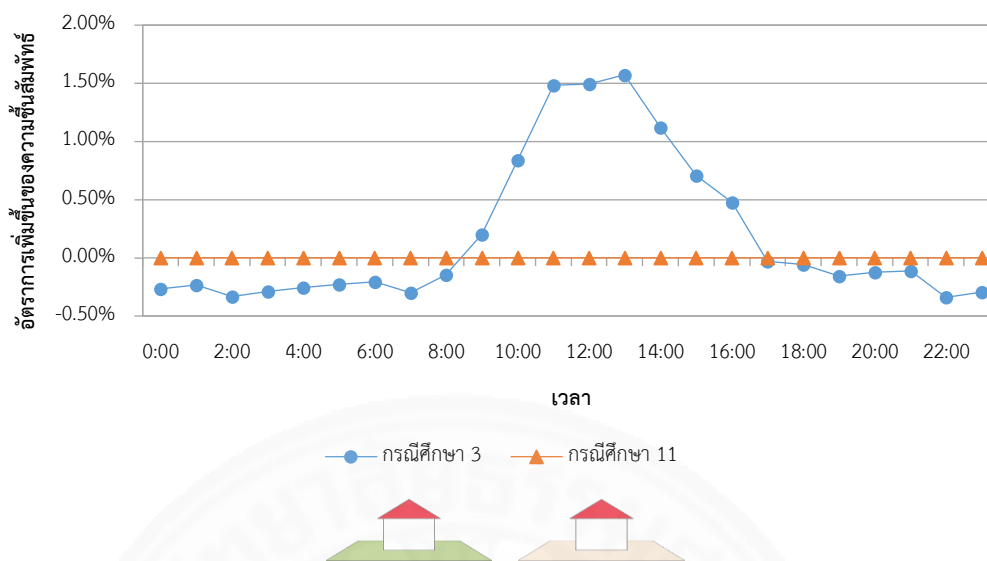
อุณหภูมิอากาศเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกัน



ภาพที่ 5.8 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง)

(2) อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ต่อความชื้นสัมพัทธ์

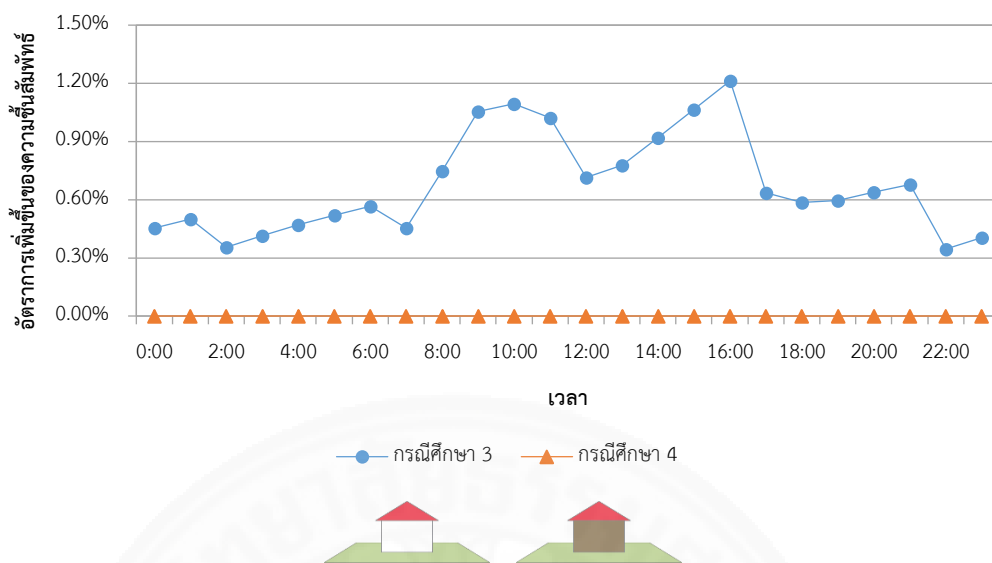
การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ระหว่างไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิก ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ จากภาพที่ 5.9 กรณีศึกษา 3 เป็นกรณีที่ใช้ไม้คลุมดิน โดยเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 11 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิก ($\Delta RH = [RH_{\text{กรณีศึกษา 3}} - RH_{\text{กรณีศึกษา 11}}] / RH_{\text{กรณีศึกษา 11}}$) อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์จากการใช้ไม้คลุมดินมีค่าสูงในช่วงกลางวัน ตั้งแต่เวลา 09.00 น.- 16.00 น. (8 ชั่วโมง) เนื่องจากไม้คลุมดินมีความสามารถในการคายน้ำจากปากใบ โดยค่าความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดระหว่างไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิกอยู่ที่ร้อยละ 1.57 ณ เวลา 13.00 น. อย่างไรก็ตามในเวลาที่เหลืออีก 16 ชั่วโมง ซึ่งอยู่ช่วงกลางคืน การใช้ไม้คลุมดินจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าการใช้กระเบื้องเซรามิก



ภาพที่ 5.9 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีสึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิก ภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง)

(3) อิทธิพลของสีผนังต่อความชื้นสัมพัทธ์

การใช้สีผนังสีอ่อนส่งผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับการลดลงของอุณหภูมิอากาศตามที่ได้กล่าวไป ดังนั้นภาพที่ 5.10 จึงมีความคล้ายคลึงกับภาพที่ 5.5 ด้วยเช่นกัน อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีสึกษา 3 ที่ใช้ผนังสีอ่อน ซึ่งเปรียบเทียบกับกรณีสึกษา 4 ที่ใช้ผนังสีเข้ม ($\Delta RH = [RH_{กรณีสึกษา 3} - RH_{กรณีสึกษา 4}] / RH_{กรณีสึกษา 4}$) มีค่าสูงและต่ำเป็นช่วง ๆ โดยช่วงเวลา 15.00 น.-16.00 น. เป็นเวลาที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุดถึงร้อยละ 1.21 ขณะที่อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าต่ำในช่วงเวลา 21.00 น.- 22.00 น. ประมาณร้อยละ 0.35

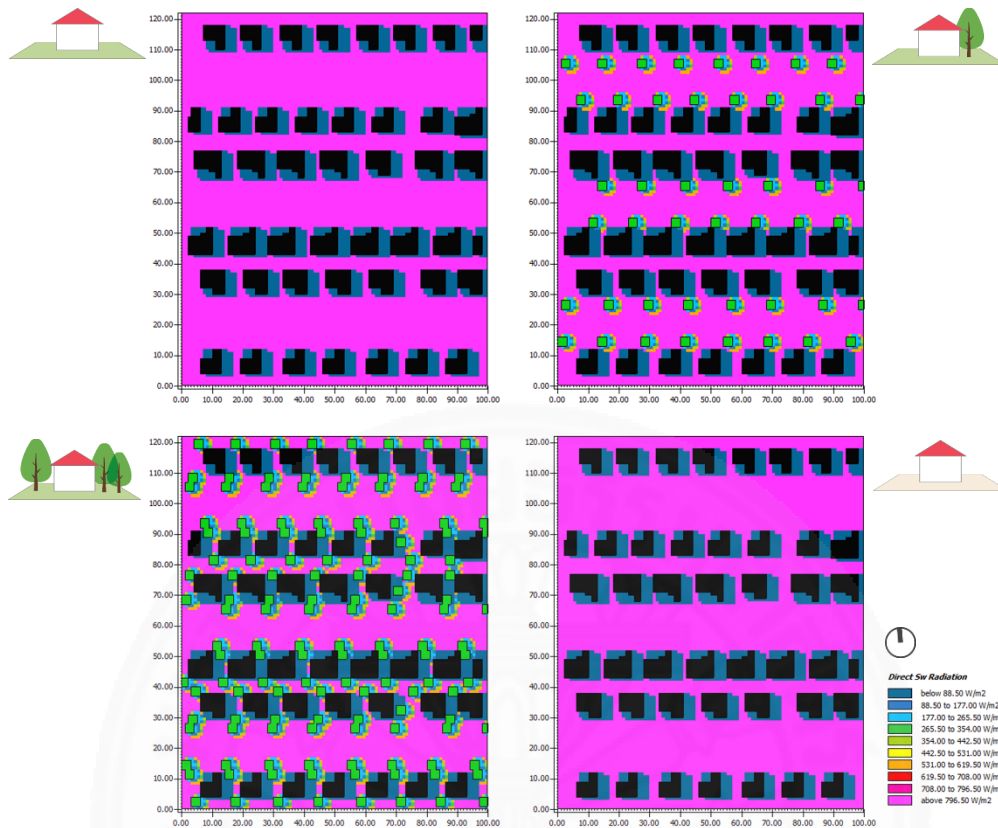


ภาพที่ 5.10 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง)

5.1.3 รังสีตรง

5.1.3.1 พื้นที่เขตพักอาศัย

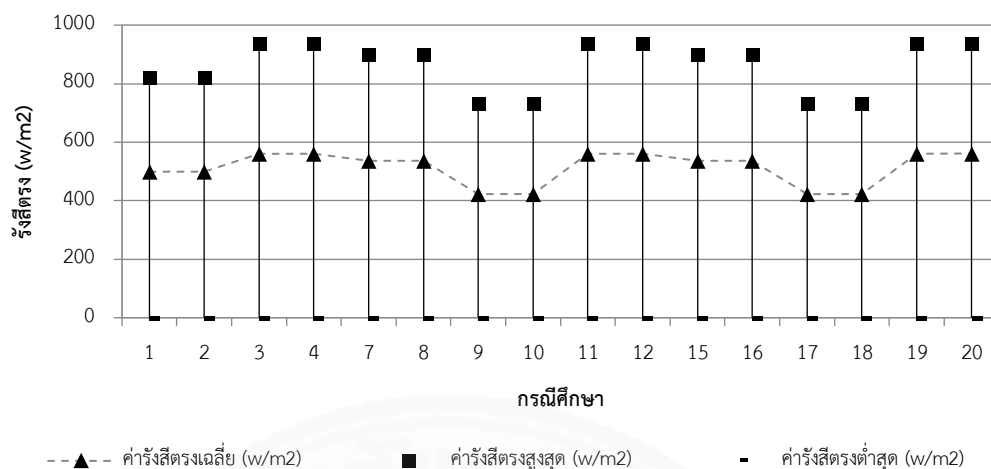
ตัวอย่างการจำลองรังสีตรงของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ในพื้นที่เขตพักอาศัยตามภาพที่ 5.11 พบว่า บริเวณพื้นที่ที่เกิดร่มเงาจากบ้านเดี่ยวแต่ละหลังมีค่ารังสีตรงเท่ากับ 0 W/m^2 เนื่องจากบ้านเดี่ยว ซึ่งเป็นวัตถุทึบแสง ช่วยบดบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องตรงมาจากทิศตะวันตก (เวลา 15.00 น.) ขณะที่บริเวณอื่นที่ไม่มีร่มเงาจากวัตถุหรือพื้นที่เปิดโล่ง เช่น ถนน มีค่ารังสีตรงสูงถึง 987 W/m^2 ที่ระดับ 3 เมตรจากพื้นดิน พื้นที่เขตพักอาศัยในกรณีศึกษา 3 และ 11 มีค่ารังสีตรงในลักษณะเดียวกัน เพราะทั้ง 2 กรณีนี้ไม่มีร่มเงาที่ช่วยบดบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ยกเว้นร่มเงาจากบ้านเดี่ยว ส่วนกรณีศึกษา 7 และ 9 มีร่มเงาของไม้ยืนต้น ซึ่งเป็นวัตถุโปร่งแสง ไม้ยืนต้นจึงช่วยกรองรังสีตรงให้ลดลงก่อนที่รังสีตรงจะตกลงพื้นที่บริเวณดังกล่าว



ภาพที่ 5.11 ผลการจำลองรังสีตรงของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.-15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน

5.1.3.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน

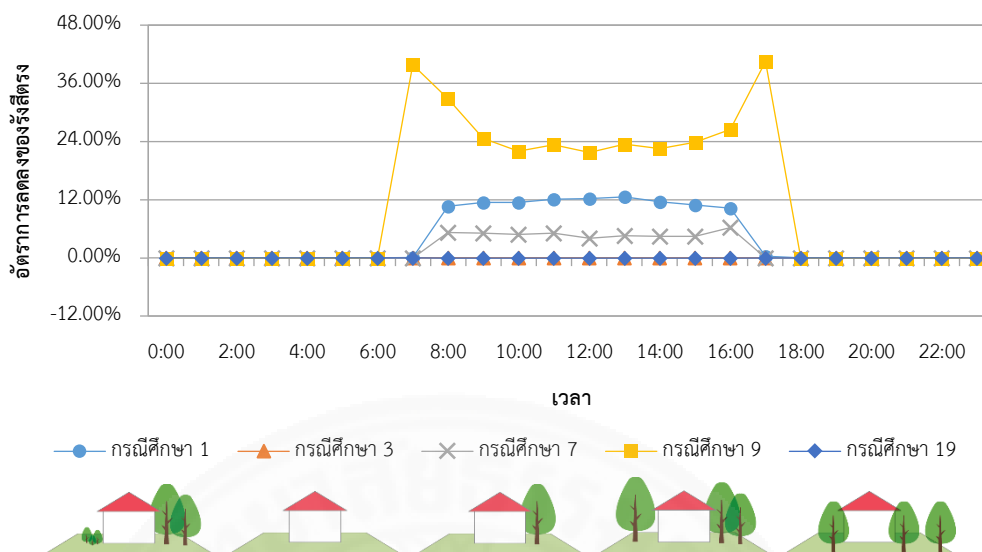
รังสีตรงรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว ซึ่งอยู่กลางพื้นที่เขตพักอาศัย (ภาพที่ 5.12) มีค่ารังสีตรงต่ำสุด คือ 0 W/m^2 ในช่วงเวลากลางคืน 18.00 น.-06.00 น. เนื่องจากไม่มีรังสีจากดวงอาทิตย์ ค่ารังสีตรงเฉลี่ยของกรณีศึกษา 16 กรณีมีค่าอยู่ในช่วง $193 \text{ W/m}^2 - 258 \text{ W/m}^2$ ส่วนค่ารังสีตรงสูงสุดเกิด ณ เวลา 12.00 น. โดยกรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 มีค่ารังสีตรงมากถึง 936 W/m^2 เนื่องจากไม่มีร่มเงาของไม้ยืนต้นในการลดทอนรังสี อย่างไรก็ตามหากไม้ยืนต้นไม่ได้ปลูกในตำแหน่งใกล้ตัวบ้านดังกรณีศึกษา 19 และ 20 ที่ปลูกไม้ยืนต้นบนทางเท้าสาธารณะของโครงการหมู่บ้าน ร่มเงาของไม้ยืนต้นก็ไม่อาจลดทอนรังสีตรงบริเวณรอบบ้าน 2 เมตรได้เช่นกัน กรณีศึกษา 19 และ 20 จึงมีค่ารังสีตรง 936 W/m^2 กรณีศึกษาที่มีค่ารังสีตรง ณ เวลา 12.00 น. น้อยที่สุด คือ กรณีศึกษา 9 10 17 และ 18 สาเหตุเกิดจากการปลูกไม้ยืนต้นรอบบ้านจำนวน 3 ต้น ทำให้มีการลดทอนค่ารังสีตรงเหลือประมาณ 732 W/m^2



ภาพที่ 5.12 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของรังสีตรงใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา

(1) อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อรังสีตรง

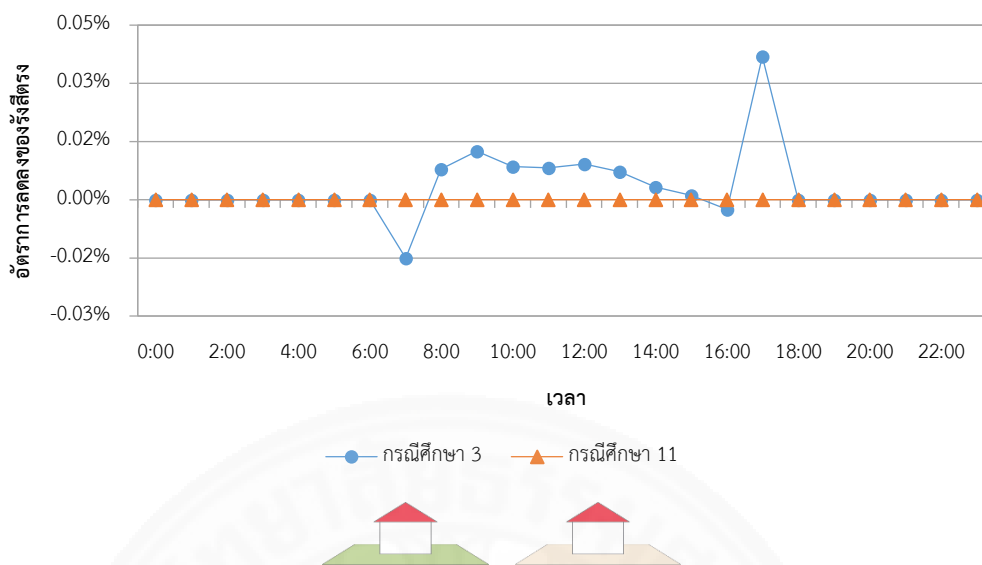
พื้นที่สีเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ยืนต้น มีบทบาทสำคัญในการลดทอนรังสีตรงตามที่ได้กล่าวไปแล้ว ตำแหน่งการปลูกและจำนวนของไม้ยืนต้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนรังสีตรงมากขึ้น ภาพ 5.13 นำเสนออัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน โดยเปรียบเทียบกรณีศึกษา 3 ที่ไม่ได้ปลูกไม้ยืนต้นกับกรณีศึกษาอื่น ($\Delta DIR = [DIR_{\text{กรณีศึกษา 3}} - DIR_{\text{กรณีศึกษาอื่น}}] / DIR_{\text{กรณีศึกษา 3}}$) กรณีศึกษา 9 มีอัตราการลดลงของรังสีตรงมากกว่าร้อยละ 20 และสามารถมีค่าสูงสุดได้ถึงร้อยละ 40 ในเวลา 07.00 น. และ 17.00 น. เนื่องจากมีการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน กรณีศึกษาที่มีอัตราการลดลงของรังสีตรงมากเป็นอันดับสอง คือ กรณีศึกษา 1 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นพร้อมปลูกไม้พุ่มขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยมีค่าประมาณอย่างน้อยร้อยละ 10 ส่วนกรณีศึกษา 7 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้น มีการลดลงของรังสีตรงมากกว่าร้อยละ 5 ขึ้นไป ขณะที่กรณีศึกษา 19 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นบนทางเท้าสาธารณะ ไม่สามารถลดทอนรังสีตรงบริเวณรอบบ้านระยะ 2 เมตรได้ เนื่องจากตำแหน่งที่ปลูกห่างจากตัวบ้านค่อนข้างมาก



ภาพที่ 5.13 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

(2) อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ต่อรังสีตรง

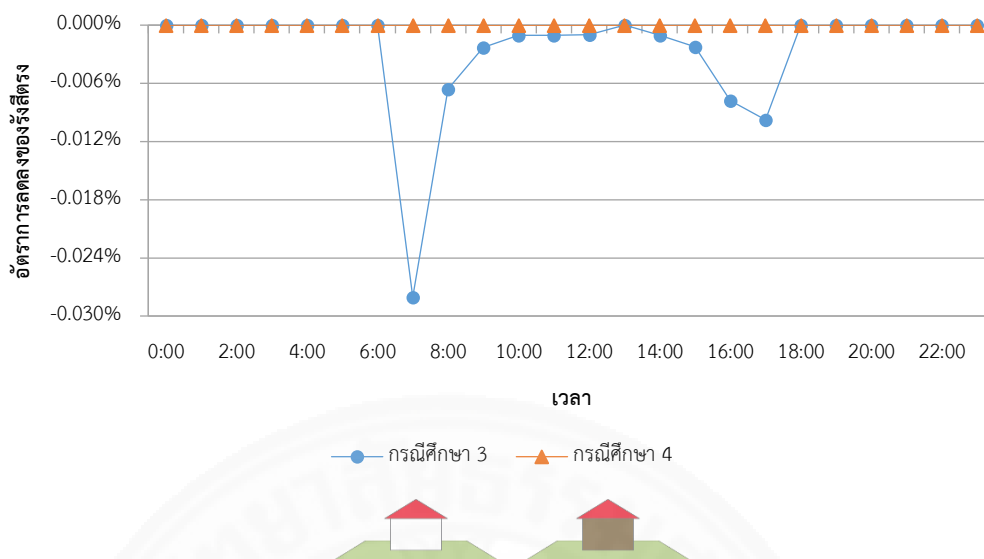
การเลือกใช้ไม้คลุมดินหรือกระเบื้องเซรามิกส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีตรงภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อนไม่มากนักตามภาพที่ 5.14) อิทธิพลจากการใช้ไม้คลุมดินในกรณีศึกษา 3 ซึ่งถูกเปรียบเทียบกับกระเบื้องเซรามิกในกรณีศึกษา 11 ($\Delta DIR = [DIR_{\text{กรณีศึกษา 11}} - DIR_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / DIR_{\text{กรณีศึกษา 11}}$) สามารถลดทอนรังสีตรงได้ในช่วงเวลา 07.00 น.-17.00 น. โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลา 16.00 น.-17.00 น. ที่มีอัตราการลดลงของรังสีตรงประมาณร้อยละ 0.03-0.04 ในทางตรงกันข้าม ไม้คลุมดินมีผลต่อการลดลงของรังสีตรงน้อยกว่ากระเบื้องเซรามิกในช่วงเวลา 06.00 น.-07.00 น. ซึ่งเป็นชั่วโมงแรกในการส่องแสงของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 5.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

(3) อิทธิพลของสีผนังต่อรังสีตรง

สีผนังมีอิทธิพลต่อรังสีตรงค่อนข้างน้อย ภาพที่ 5.15 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน ซึ่งเปรียบเทียบกรณีศึกษา 4 ที่มีผนังสีเข้มกับกรณีศึกษา 3 ที่มีผนังสีอ่อน ($\Delta DIR = [DIR_{\text{กรณีศึกษา 4}} - DIR_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / DIR_{\text{กรณีศึกษา 4}}$) การเลือกใช้ผนังสีเข้มสามารถลดรังสีตรงได้มากกว่าการใช้ผนังสีอ่อนประมาณร้อยละ 0.002 ช่วงเวลา 06.00 น.-07.00 น. และเวลา 15.00 น.-17.00 น. เป็นช่วงที่มีค่าความแตกต่างของรังสีตรงจากการใช้ผนังสีอ่อนและเข้มสูง โดยมีค่าประมาณร้อยละ 0.02-0.03 และร้อยละ 0.01-0.02 ตามลำดับ สาเหตุที่ผนังสีเข้มสามารถลดรังสีตรงได้มากกว่าอาจเกิดจากความสามารถในการดูดซับความร้อนของสีเข้มที่มากกว่าสีอ่อน

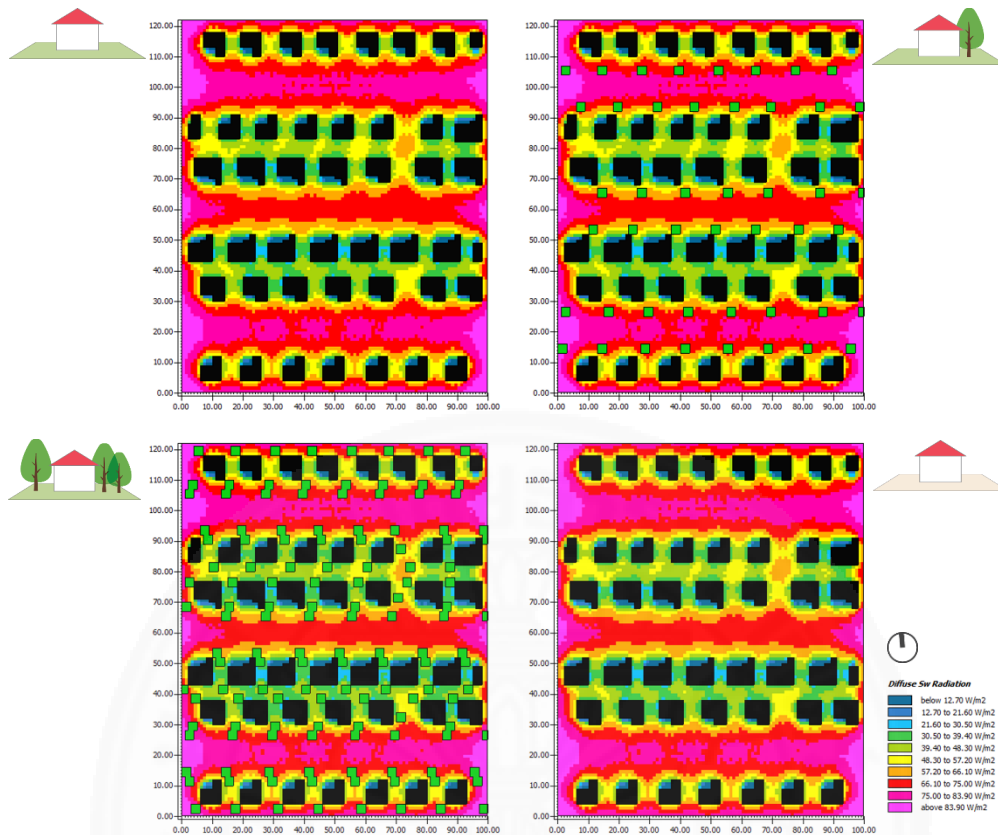


ภาพที่ 5.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีตรงของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

5.1.4 รังสีกระจาย

5.1.4.1 พื้นที่เขตพักอาศัย

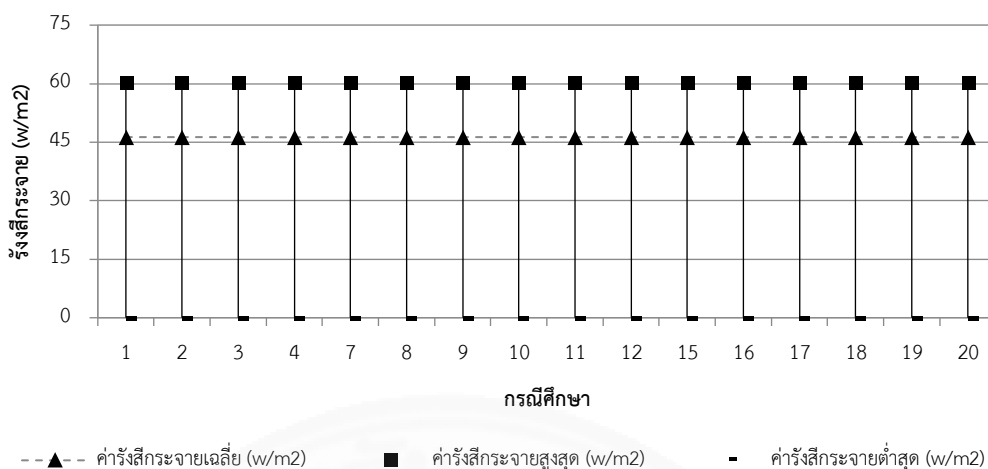
ภาพที่ 5.16 แสดงถึงตัวอย่างผลการจำลองรังสีกระจายภายในพื้นที่เขตพักอาศัยของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ลักษณะของรังสีกระจายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 14.00 น.-15.00 น. ของทั้ง 4 กรณีมีลักษณะเช่นเดียวกัน โดยบริเวณถนนจะมีค่ารังสีกระจายสูง เนื่องจากถนนคอนกรีตมีค่าความจุความร้อนน้อย ทำให้ไม่อาจกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก รังสีดังกล่าวบางส่วนจึงสะท้อนกลับออกไป ขณะที่บริเวณพื้นที่รอบบ้านเดี่ยวแต่ละหลังมีค่ารังสีกระจายต่ำ แม้ว่ากรณีศึกษา 3 และ 11 ใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่แตกต่างกัน สาเหตุเกิดจากคุณสมบัติของวัสดุปกคลุมผิวพื้นระหว่างไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิกมีความใกล้เคียงกัน เช่น ค่าการดูดซับรังสี



ภาพที่ 5.16 ผลการจำลองรังสีกระจายของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.–15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน

5.1.4.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน

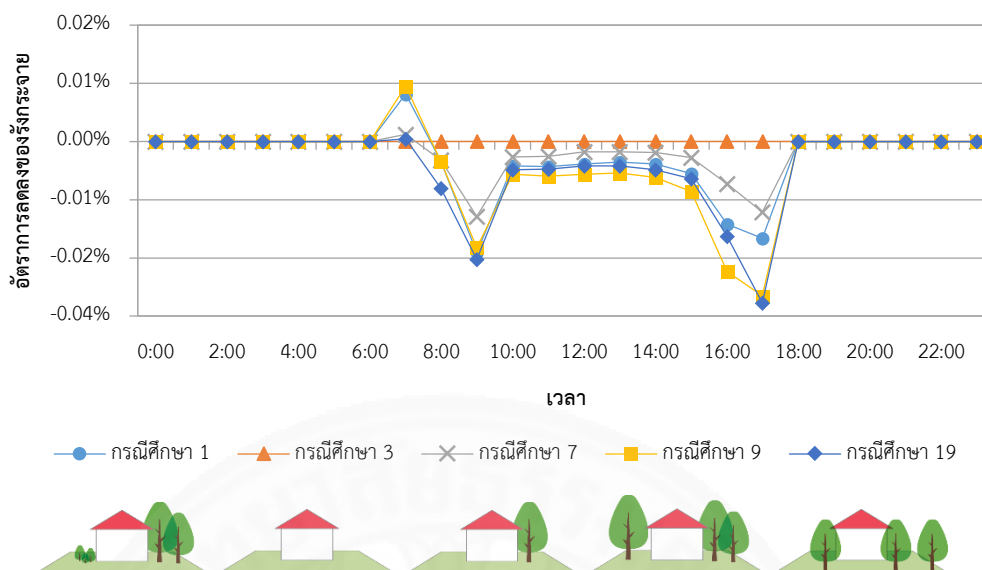
รังสีกระจายรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว ซึ่งอยู่กลางพื้นที่เขตพักอาศัย มีความสอดคล้องกับรังสีตรง กล่าวคือ มีค่ารังสีกระจายต่ำสุด 0 W/m² ในช่วงเวลากลางคืน 18.00 น.-06.00 น. เนื่องจากยังไม่มีรังสีจากดวงอาทิตย์ และมีค่ารังสีกระจายสูงสุด ณ เวลา 12.00 น. อย่างไรก็ตามค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงในแต่ละกรณีไม่มีความแตกต่าง แม้ว่ามีรูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันก็ตาม ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้จากค่ารังสีกระจายเฉลี่ยที่มีค่า 21.20 W/m² และค่ารังสีกระจายสูงสุด 60.38 W/m² ในทุกกรณีศึกษาดังภาพที่ 5.17



ภาพที่ 5.17 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของรังสีกระจายใน 1 วันจำแนกตามกรณีศึกษา

(1) อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อรังสีกระจาย

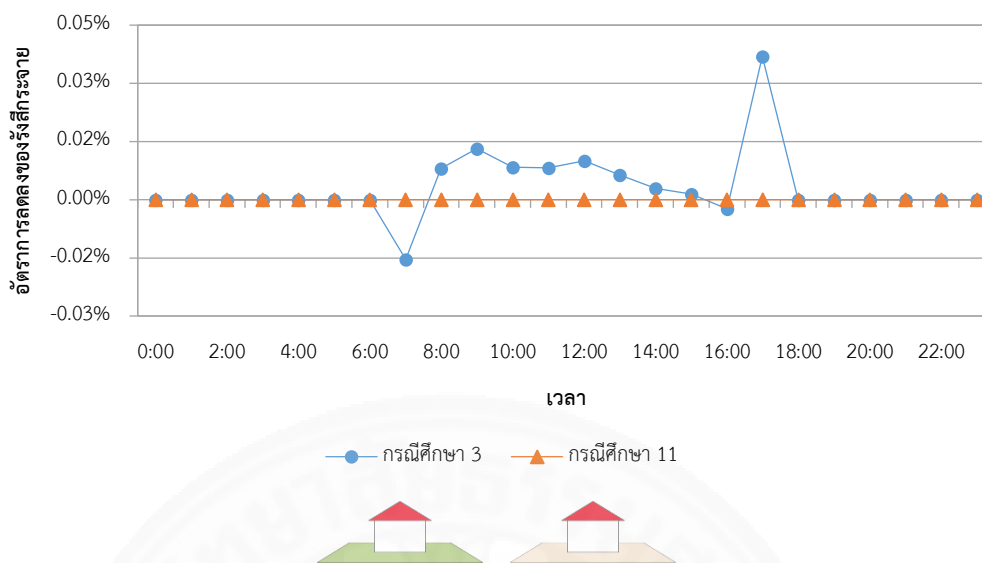
พื้นที่สีเขียวส่งผลต่อรังสีกระจายไม่มากนัก เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน โดยเปรียบเทียบกรณีศึกษา 3 กับกรณีศึกษาที่ปลูกไม้ยืนต้น ($\Delta DIF = [DIF_{\text{กรณีศึกษา 3}} - DIF_{\text{กรณีศึกษาอื่น ๆ}}] / DIF_{\text{กรณีศึกษา 3}}$) มีค่าสูงสุดเพียงร้อยละ 0.03 ในกรณีศึกษา 19 ตามภาพที่ 5.18 กรณีศึกษา 1 7 9 และ 19 ที่มีไม้ยืนต้นในแบบจำลอง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของรังสีกระจายทุกช่วงเวลาในช่วงกลางวัน ยกเว้นเวลา 07.00 น. ที่สามารถลดรังสีกระจายได้ประมาณร้อยละ 0.01 ในกรณีศึกษา 1 และกรณีศึกษา 9 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้น และ 3 ต้นตามลำดับ



ภาพที่ 5.18 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

(2) อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ต่อรังสีกระจาย

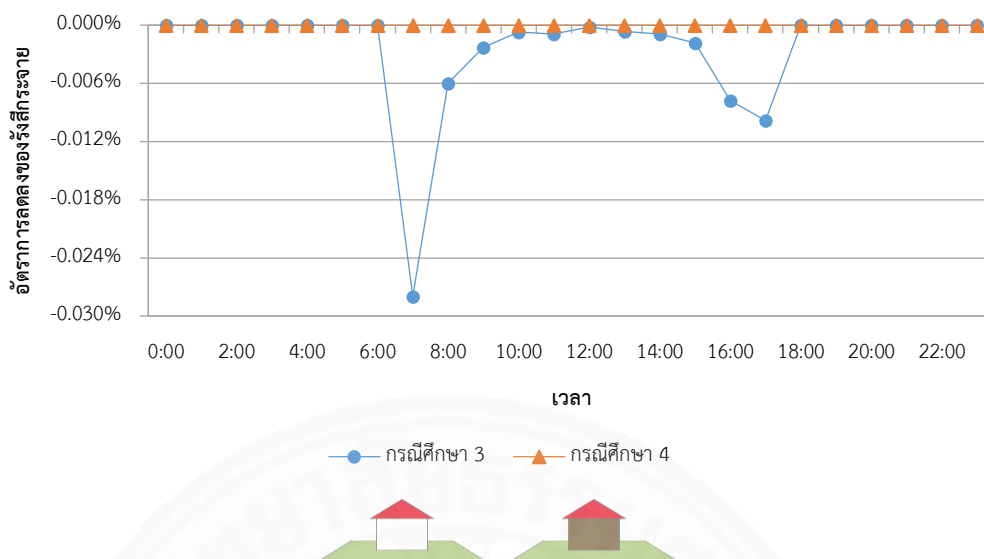
อัตราการเปลี่ยนแปลงของรังสีกระจายจากการเลือกใช้ไม้คลุมดินหรือกระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อนมีค่าแตกต่างกันน้อยมากตามภาพที่ 5.19 การใช้ไม้คลุมดินในกรณีศึกษา 3 ซึ่งถูกเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 11 ($\Delta DIF = [DIF_{\text{กรณีศึกษา 11}} - DIF_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / DIF_{\text{กรณีศึกษา 11}}$) สามารถลดรังสีกระจายได้ในช่วงเวลา 07.00 น.-17.00 น. โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลา 16.00 น.-17.00 น. ที่มีอัตราการลดลงของรังสีตรงประมาณร้อยละ 0.03-0.04 แต่ในช่วงเวลา 06.00 น.-07.00 น. ไม้คลุมดินมีผลต่อการลดลงของรังสีกระจายน้อยกว่ากระเบื้องเซรามิก อย่างไรก็ตามผลการทดสอบทางสถิติ Paired T-Test (หน้า 147) พบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีกระจายใน 1 วันระหว่างกรณีศึกษา 3 และ 11 มีค่า P-Value (Sig.) 0.162 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 หมายความว่า รังสีกระจายจากการเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ทั้ง 2 ประเภทนี้ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อัตราการลดลงของรังสีกระจายมีลักษณะเช่นเดียวกับอัตราการลดลงของรังสีตรงในภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.19 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิก ภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

(3) อิทธิพลของสีผนังต่อรังสีกระจาย

การเลือกใช้สีผนังเข้มหรืออ่อนมีผลต่อค่ารังสีกระจายไม่มากนัก อัตราการเปลี่ยนแปลงของรังสีกระจายจากการใช้สีผนังภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน โดยเปรียบเทียบกรณีศึกษา 4 กับกรณีศึกษา 3 ($\Delta DIF = [DIF_{\text{กรณีศึกษา 4}} - DIF_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / DIF_{\text{กรณีศึกษา 4}}$) พบว่า ผนังสีเข้มสามารถลดรังสีกระจายได้มากกว่าผนังสีอ่อน ในช่วงเวลา 06.00 น.-07.00 น. และ เวลา 15.00 น.-17.00 น. เป็นช่วงที่มีค่าความแตกต่างของรังสีกระจายจากการใช้ผนังสีอ่อนและเข้มสูง โดยมีค่าประมาณร้อยละ 0.02-0.03 และร้อยละ 0.01-0.02 ตามลำดับ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เกิดจากการดูดซับรังสีของสีเข้มที่มากกว่าสีอ่อน ซึ่งมีลักษณะเดียวกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของรังสีตรง (ภาพที่ 5.15) แต่ผลการทดสอบทางสถิติ Paired T-Test (หน้า 148) แสดงให้เห็นถึง ค่าเฉลี่ยรังสีกระจายใน 1 วันระหว่างกรณีศึกษา 3 และ 4 มีค่า P-Value (Sig.) 0.328 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 หมายความว่า รังสีกระจายจากการเลือกใช้สีผนัง 2 แบบไม่แตกต่างกัน

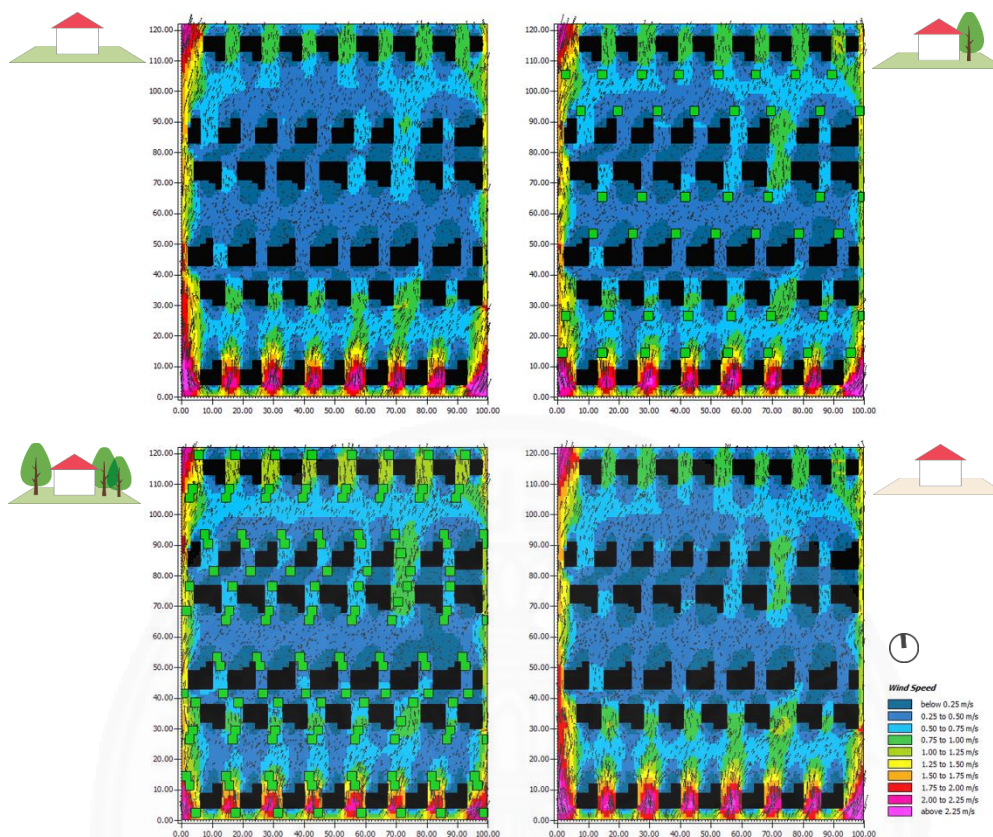


ภาพที่ 5.20 อัตราการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

5.1.5 ความเร็วลม

5.1.5.1 พื้นที่เขตพักอาศัย

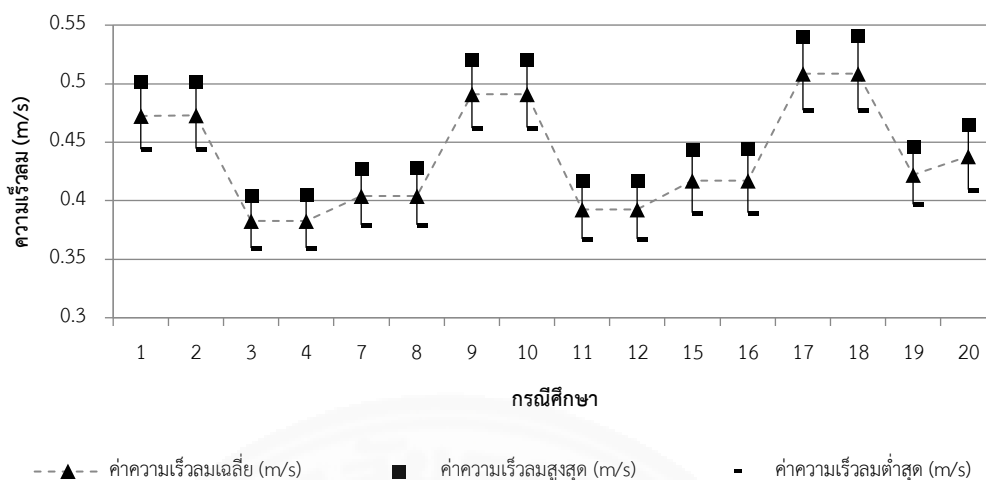
ตัวอย่างผลการจำลองความเร็วลมของพื้นที่เขตพักอาศัยกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 (ภาพที่ 5.21) โดยกำหนดทิศทางลมมาจากทางทิศใต้ พบว่า พื้นที่เขตพักอาศัยบริเวณทิศใต้ของทั้ง 4 กรณีมีค่าความเร็วลมสูง เนื่องจากลมถูกบีบเข้าสู่พื้นที่ระหว่างบ้านเดี่ยวแต่ละหลัง บริเวณถนนเส้นแรก (นับจากทิศใต้) ในกรณีศึกษา 3 และ 11 กระแสลมยังคงมีความเร็วลมสูงอยู่ แต่เมื่อผ่านพื้นที่ระหว่างบ้านเดี่ยวไปยังถนนเส้นกลาง ความเร็วลมมีค่าลดลง ขณะที่บริเวณถนนเส้นแรกของกรณีศึกษา 7 และ 9 มีความเร็วลมน้อยกว่าอีก 2 กรณี เนื่องจากมีไม้ยืนต้นขวางทางลม อย่างไรก็ตามพื้นที่ระหว่างบ้านเดี่ยวที่อยู่บนถนนเส้นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีศึกษา 9 กลับมีความเร็วลมสูงกว่ากรณีศึกษา 3 และ 11 สาเหตุเกิดจากไม้ยืนต้นบิบบังลมให้แคบ ความเร็วลมจึงมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5.21 ผลการจำลองความเร็วลมของกรณีศึกษา 3 7 9 และ 11 ณ เวลา 14.00 น.-15.00 น. ที่ระดับ 3 เมตรเหนือพื้นดิน

5.1.5.2 ค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่รอบบ้าน

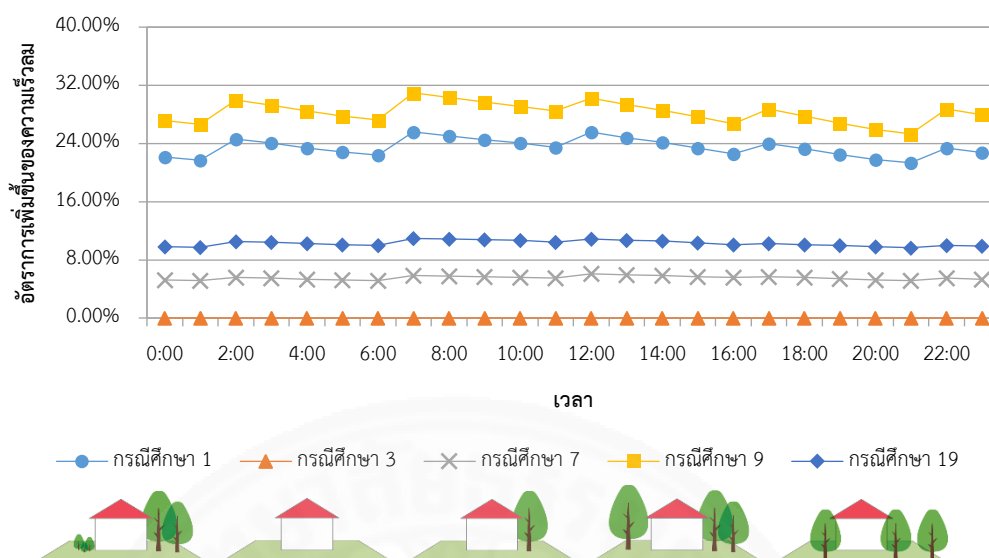
ความเร็วลมรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว ซึ่งอยู่กลางพื้นที่เขตพักอาศัย มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณีดังภาพที่ 5.22 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมใน 1 วันมีค่าสูงและค่าต่ำเป็นช่วง ๆ โดยค่าความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วงเวลา 16.00 น.-17.00 น. และ 10.00 น.-11.00 น. กรณีศึกษาที่มีความเร็วลมสูงสุด 0.54 m/s คือ กรณีศึกษา 17 และ 18 ที่มีรูปแบบของสภาพแวดล้อมเป็นพื้นที่กระเบื้องเซรามิก และไม่ย่นต้นจำนวน 3 ต้น ขณะที่กรณีศึกษา 3 และ 4 มีความเร็วลมต่ำสุดประมาณ 0.36 m/s การจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษาทั้ง 2 นี้ใช้ไม้คลุมดิน และปลูกไม้ย่นต้นจำนวน 3 ต้น



ภาพที่ 5.22 ค่าเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุดของความเร็วลมใน 1 วันจำแนกตามกรมศึกษา

(1) อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อความเร็วลม

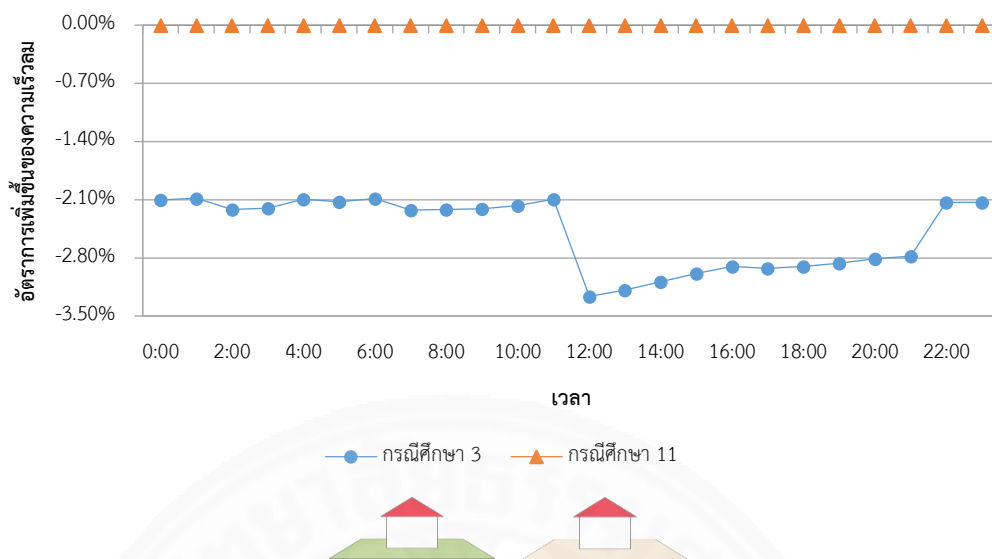
พื้นที่สีเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ยืนต้น เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของลมด้วยการสร้างความกดอากาศต่ำหรือความกดอากาศสูงบริเวณรอบบ้าน นอกจากนี้ ตำแหน่งการปลูกและปริมาณของไม้ยืนต้นก็มีผลต่อความเร็วลมเช่นกัน เนื่องจากสามารถกำหนดช่องลมให้แคบ ภาพที่ 5.23 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมของกรมศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน ซึ่งเปรียบเทียบกับกรมศึกษาที่มีไม้ยืนต้นกับกรมศึกษา 3 ($\Delta WS = [WS_{\text{กรมศึกษาอื่น } 1} - WS_{\text{กรมศึกษา 3}}] / WS_{\text{กรมศึกษา 3}}$) ความเร็วลมในแต่ละกรมศึกษามีค่าไม่แตกต่างกันมากนักใน 1 วัน กรมศึกษา 9 ที่มีไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้น มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมมากกว่าร้อยละ 25 ถัดมา คือ กรมศึกษา 1 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นพร้อมปลูกไม้พุ่มขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีค่ามากกว่าร้อยละ 20 ส่วนอัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมของกรมศึกษา 19 ที่ปลูกไม้ยืนต้นบนทางเท้าสาธารณะมีค่าประมาณร้อยละ 10 ขณะที่อันดับสุดท้ายเป็นการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นในแปลงที่ดินแต่ละแปลงในกรมศึกษา 7 ที่สามารถเพิ่มความเร็วลมได้ประมาณร้อยละ 5.50



ภาพที่ 5.23 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง)

(2) อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นต่อความเร็วลม

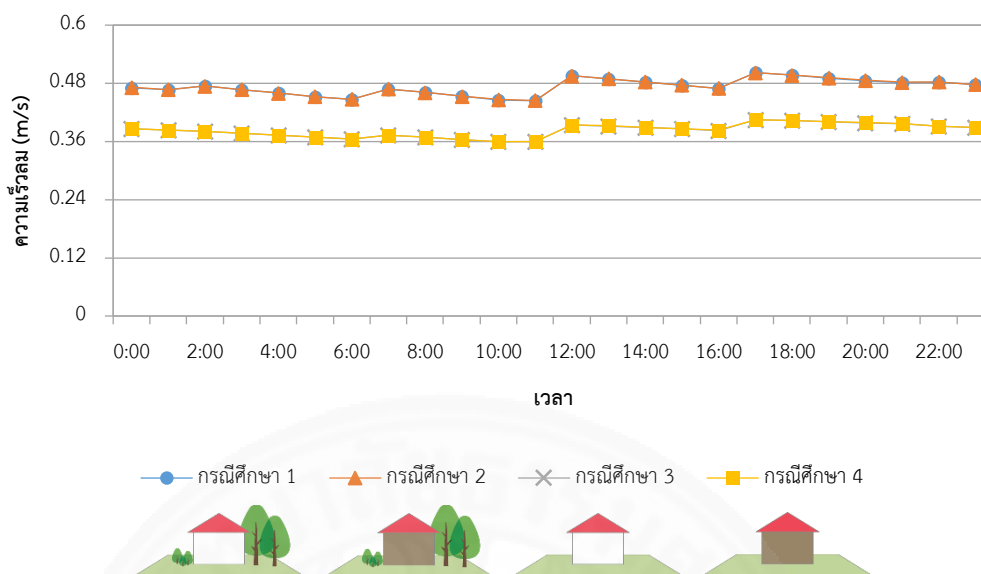
การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นมีความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม เมื่อพิจารณากรณีศึกษา 3 ที่ใช้ไม้คลุมดินเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 11 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิกตามภาพที่ 5.24 ($\Delta WS = [WS_{\text{กรณีศึกษา 3}} - WS_{\text{กรณีศึกษา 11}}] / WS_{\text{กรณีศึกษา 11}}$) พบว่าการใช้ไม้คลุมดินส่งผลต่อการลดลงของความเร็วลม โดยมีค่าความแตกต่างจากกระเบื้องเซรามิกถึงร้อยละ 3.26 ณ เวลา 12.00 น. สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดจากค่าความหยาบของผิว (Surface Roughness) ของไม้คลุมดินที่มีค่ามากกว่ากระเบื้องเซรามิก ทำให้เกิดความต้านทานในการเคลื่อนที่ของอากาศ



ภาพที่ 5.24 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้ค้ำลมดินและกระเบื้องเซรามิก ภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง)

(3) อิทธิพลของสีผนังต่อความเร็วลม

สีผนังไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลม เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 5.25 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมรายชั่วโมงของกรณีศึกษา 1 ที่ใช้ผนังสีอ่อนและกรณีศึกษา 2 ที่ใช้ผนังสีเข้มมีค่าเท่ากันทุกช่วงเวลา เช่นเดียวกับกรณีศึกษา 3 ที่ใช้ผนังสีอ่อนและกรณีศึกษา 4 ที่ใช้ผนังสีเข้มก็มีความเร็วลมเท่ากัน



ภาพที่ 5.25 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมของกรณีศึกษา 1 2 3 และ 4

5.2 ผลการจำลองปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากโปรแกรม eQUEST 3.65

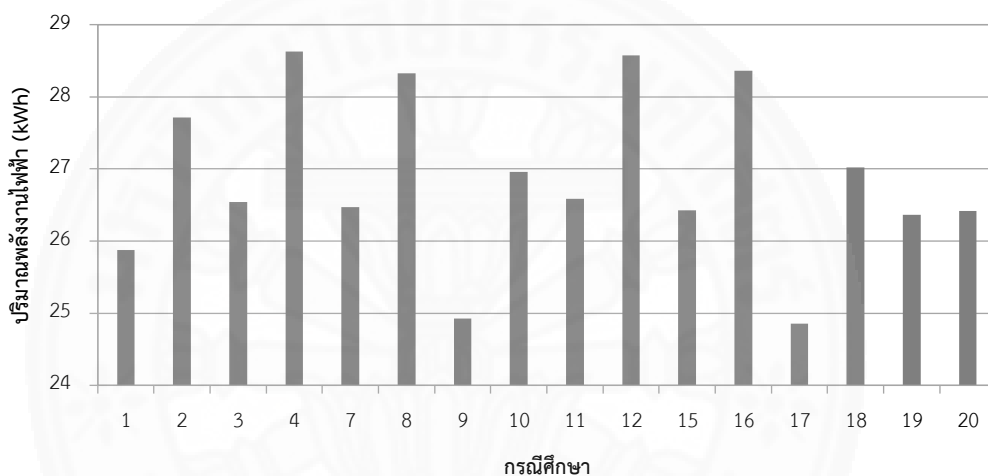
ผลการจำลองของข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI-met V4 ของกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณีตามที่ได้กล่าวไป นำมาแปลงเป็นฐานข้อมูลสภาพอากาศ เพื่อเข้าสู่โปรแกรม eQUEST 3.65 โปรแกรมนี้คำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในแบบจำลองบ้านเดี่ยวในกรณีศึกษาทั้งหมดภายใต้ฐานข้อมูลสภาพอากาศ

5.2.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

5.2.1.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อวันถูกพิจารณา ณ วันที่ 28 พฤษภาคม เนื่องจากฐานข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้จำลองในโปรแกรม eQUEST 3.65 ของวันที่ 28 พฤษภาคม มีค่าสภาพอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม ENVI-met V4 ขณะที่ค่าสภาพอากาศของวันอื่นในฐานข้อมูลสภาพอากาศเกิดจากการหาความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงกับฐานข้อมูลสภาพอากาศกรุงเทพมหานครเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2538-2548) จากภาพที่ 5.26 พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 28 พฤษภาคมของกรณีศึกษา 17 มีค่าน้อยที่สุด (24.85 kWh) อย่างไรก็ตามกรณีศึกษา 17

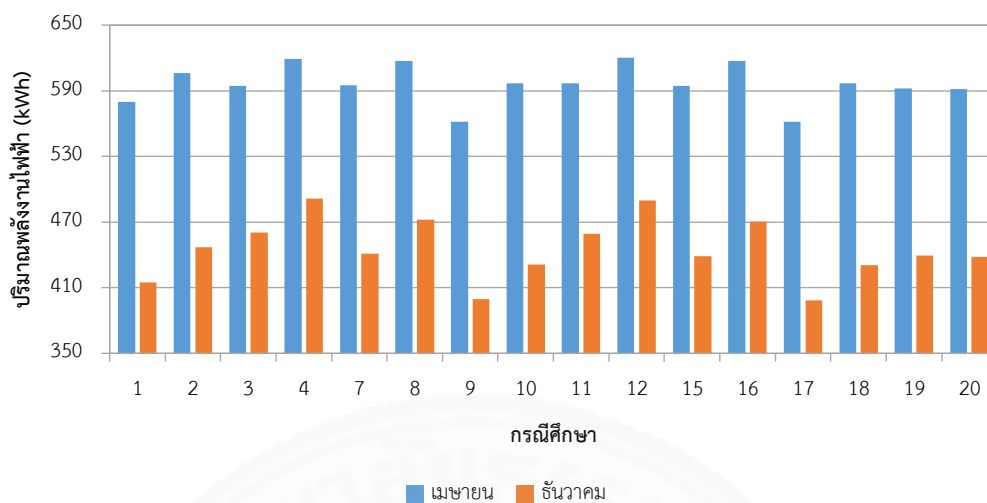
มีความแตกต่างจากกรณีศึกษา 9 เพียงร้อยละ 0.29 ทั้งสองกรณีนี้มีรูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นและผนังสีอ่อน แต่มีความแตกต่างของการเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้น โดยกรณีศึกษา 9 ใช้ไม้คลุมดิน ส่วนกรณีศึกษา 17 ใช้กระเบื้องเซรามิก ด้วยเหตุนี้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวจึงมีค่าแตกต่างเล็กน้อย กรณีศึกษาที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึง 28.63 kWh คือ กรณีศึกษา 4 ซึ่งมีรูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมเป็นผนังสีเข้มและไม้คลุมดิน โดยกรณีศึกษา 12 ก็มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับกรณีศึกษา 4 ด้วยเช่นกันประมาณ 28.58 kWh เนื่องจากการจัดสภาพแวดล้อมเป็นผนังสีเข้มและกระเบื้องเซรามิก



ภาพที่ 5.26 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ณ วันที่ 28 พฤษภาคม

5.2.1.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน

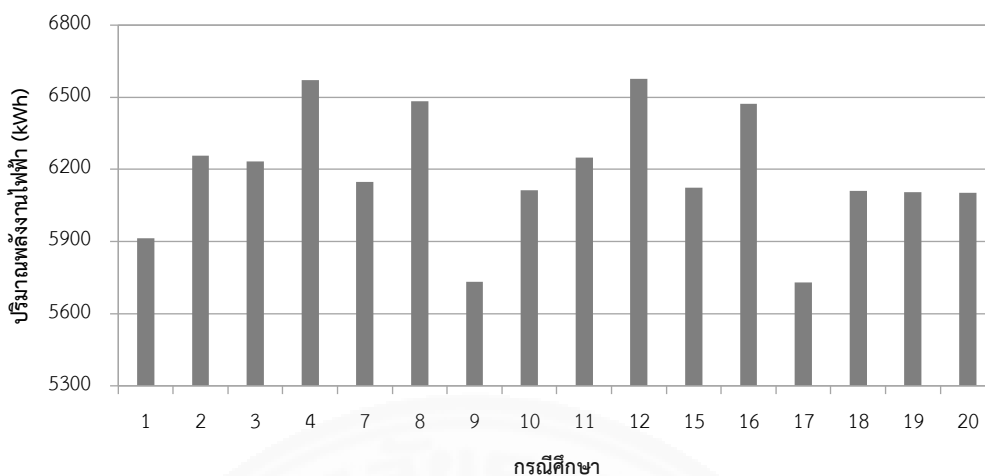
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเดือนเมษายนและเดือนธันวาคมมีค่าความแตกต่างสูงสุด เนื่องจากเดือนเมษายนมีอากาศร้อนมากที่สุด ตรงข้ามกับเดือนธันวาคมที่มีอากาศเย็นมากที่สุด ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงมีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิอากาศด้วย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาทั้ง 16 กรณีในเดือนเมษายน (ภาพที่ 5.27) พบว่า กรณีศึกษา 12 ใช้พลังงานไฟฟ้ามากถึง 620.20 kWh ขณะที่กรณีศึกษา 17 ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 561.73 kWh ส่วนในเดือนธันวาคม กรณีศึกษาที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากและน้อยที่สุด คือ กรณีศึกษา 4 (491.59 kWh) และกรณีศึกษา 17 (398.71 kWh) ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดในเดือนเมษายนมีค่าน้อยกว่าในเดือนธันวาคม



ภาพที่ 5.27 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเดือนเมษายน และเดือนธันวาคม

5.2.1.3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี

จากภาพที่ 5.28 พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศรวมใน 1 ปีมีค่าความแตกต่างระหว่างกรณีศึกษามากถึง 846.60 kWh โดยกรณีศึกษาที่ใช้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดประมาณ 5,730.87 kWh คือ กรณีศึกษา 17 ซึ่งมีรูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้น พื้นกระเบื้องเซรามิก และผนังสีอ่อน ขณะที่กรณีศึกษา 12 ที่มีเพียงพื้นกระเบื้องเซรามิก และใช้ผนังสีเข้ม ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 6,577.46 kWh แต่เมื่อได้เปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน กรณีศึกษา 12 ใช้พลังงานไฟฟ้ามากเป็นอันดับสอง รองจากกรณีศึกษา 4



ภาพที่ 5.28 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปี

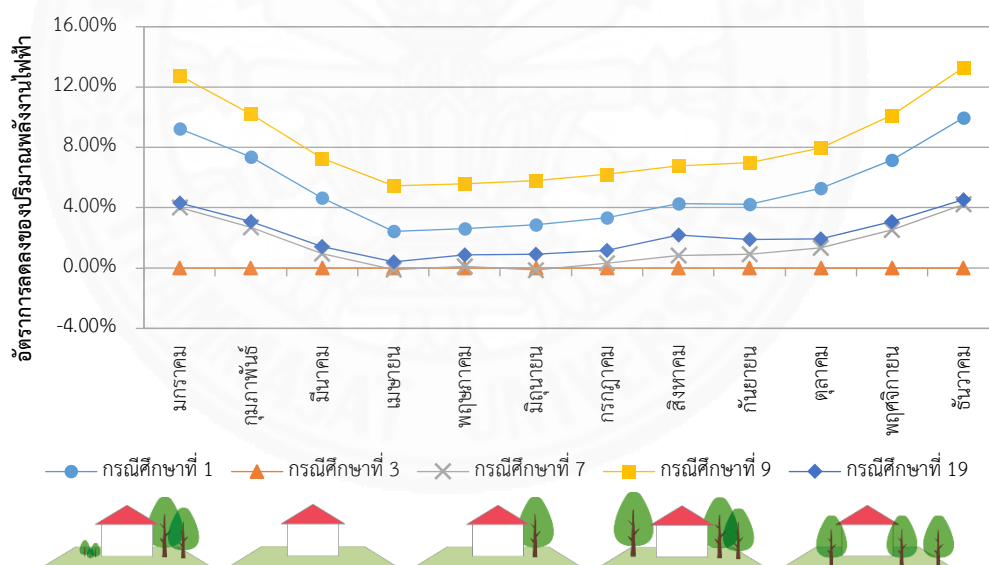
5.2.2 อัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

5.2.2.1 อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

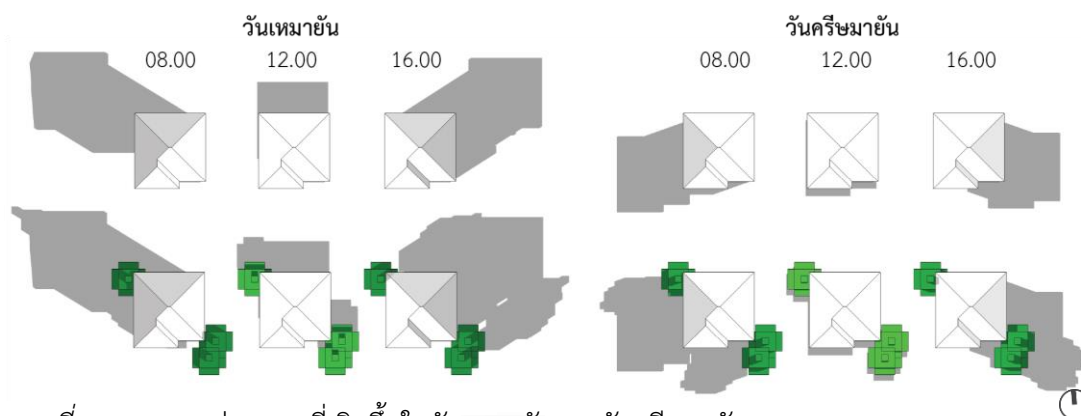
พื้นที่สีเขียว โดยเฉพาะไม้ยืนต้น มีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ภาพที่ 5.29 แสดงถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างกรณีศึกษา 3 ที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวกับกรณีศึกษาอื่นที่มีพื้นที่สีเขียว ($\Delta\text{ENERGY} = [\text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 3}} - \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษาอื่น ๆ}}] / \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 3}}$) กรณีศึกษา 9 มีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดประมาณร้อยละ 5 ขึ้นไป โดยมีการจัดสภาพแวดล้อมของพื้นที่สีเขียวเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นปลูกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และ 1 ต้นทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของบ้าน ถัดมา คือ กรณีศึกษา 1 ที่มีรูปแบบการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ไม้พุ่มขนาดใหญ่และขนาดเล็ก กรณีศึกษาดังกล่าวสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าร้อยละ 2 ส่วนกรณีศึกษา 19 สามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอันดับสาม (มากกว่าร้อยละ 0.40) ด้วยการปลูกไม้ยืนต้นบนทางเท้าสาธารณะของโครงการหมู่บ้าน ขณะที่กรณีศึกษา 7 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ เป็นกรณีที่มีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนเมษายนและเดือนมิถุนายนที่ไม่มีความแตกต่างจากกรณีศึกษา 3

เมื่อพิจารณาฤดูกาลและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละกรณีที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกัน พบว่า เดือนที่มีอากาศเย็น เช่น มกราคม ธันวาคม มีอัตราการลดลง

ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากถึงร้อยละ 13.28 ของกรณีศึกษา 9 ตรงข้ามกับเดือนที่มีอากาศร้อนจัด เช่น เมษายน พฤษภาคม อัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าน้อย สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดจากมุมเงยของดวงอาทิตย์ตามภาพที่ 2.5 และ 5.30 ในช่วงฤดูหนาว (วันเพ็ญมาลัย) ดวงอาทิตย์มีมุมเงยต่ำและมีทิศทางอ้อมใต้ ไม้ยืนต้นที่ปลูกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของบ้านจึงมีประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และสามารถสร้างร่มเงาให้แก่ผนังได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 3 ที่ไม่มีไม้ยืนต้น โดยมีผลต่างรวมของพื้นที่เงาบนผนังทุกด้านอยู่ที่ 197 ช่องตารางกริด (ตารางที่ 5.1) ช่วงเช้าในฤดูหนาว ไม้ยืนต้นสามารถบังเงาให้ผนังได้มากกว่าช่วงเวลาอื่น นอกจากนี้ฤดูหนาวยังเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการคายระเหยของพืช อย่างไรก็ตามในช่วงฤดูร้อน (วันศรีษมาลัย) ดวงอาทิตย์มีค่าของมุมเงยมากและอ้อมไปทางทิศเหนือเล็กน้อย ทำให้ไม้ยืนต้นที่ปลูกรอบบ้านไม่อาจสกัดกั้นรังสีความร้อนได้มากเท่าช่วงฤดูหนาว ผลต่างรวมของพื้นที่เงาบนผนังทุกด้านระหว่างกรณีศึกษา 3 กับกรณีศึกษา 9 รวมในฤดูร้อนมีจำนวน 130 ช่องตารางกริด โดยช่วงบ่าย ไม้ยืนต้นจะให้ร่มเงาแก่ผนังมากกว่าช่วงเวลาอื่น



ภาพที่ 5.29 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่มีปริมาณพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)



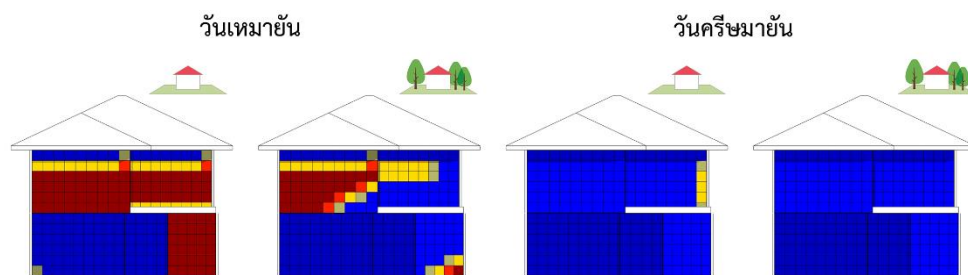
ภาพที่ 5.30 เงา 3 ช่วงเวลาที่เกิดขึ้นในวันพฤหัสบดีและวันศุกร์

ตารางที่ 5.1

พื้นที่เงาที่ทอดลงบนผนังของบ้านเดี่ยว 4 ด้าน

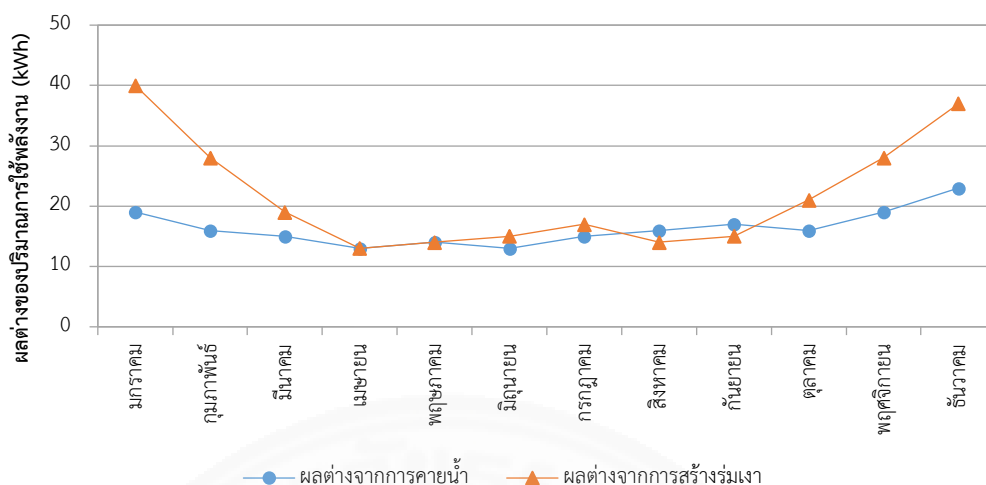
ทิศทางของบ้าน	เวลา 08.00-09.00 น.			เวลา 12.00-13.00 น.			เวลา 16.00-17.00 น.			
	กรณี ไม่มีไม้ยื่นต้น	กรณี ไม้ยื่นต้น 3 ต้น	ผลต่าง	กรณี ไม่มีไม้ยื่นต้น	กรณี ไม้ยื่นต้น 3 ต้น	ผลต่าง	กรณี ไม่มีไม้ยื่นต้น	กรณี ไม้ยื่นต้น 3 ต้น	ผลต่าง	
วันพฤหัสบดี	ทิศใต้	92	150	58	108	120	12	68	68	0
	ทิศตะวันออก	81	152	71	161	209	48	206	208	2
	ทิศเหนือ	201	201	0	204	204	0	204	204	0
	ทิศตะวันตก	217	223	6	202	202	0	154	154	0
	ผลรวม	591	726	135	675	735	60	632	634	2
วันศุกร์	ทิศใต้	205	210	5	210	210	0	207	207	0
	ทิศตะวันออก	112	114	2	221	221	0	214	214	0
	ทิศเหนือ	46	47	1	170	172	2	47	119	72
	ทิศตะวันตก	219	221	2	227	228	1	139	184	45
	ผลรวม	582	592	10	828	831	3	607	724	117

หมายเหตุ. พื้นที่เงาบนผนังเกิดจากบ้านข้างเคียงและไม้ยื่นต้น โดยนับจากจำนวนของช่องตารางกริดที่เกิดเงา ซึ่งถูกแบ่งบนผนังทุกด้าน ด้วยโปรแกรมเสริม SunHour ในโปรแกรม SketchUp



ภาพที่ 5.31 ตัวอย่างของพื้นที่เงาบนผนังบ้านทิศใต้ ณ. เวลา 08.00 น. ในวันเหมาเย็นและวันครีษมายัน

จากที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 พืชมีบทบาทสำคัญในการคายระเหยและการสร้างร่มเงา ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำควมเย็นของเครื่องปรับอากาศ เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 บทบาทของพืช (ภาพที่ 5.32) โดยหาผลต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างกรณีที่ไม่มีไม้ยืนต้น (กรณีศึกษา 3) และมีไม้ยืนต้น 3 ต้น (กรณีศึกษา 9) พบว่า การคายระเหยของพืชส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการลดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากกรณีที่ไม่ได้ปลูกต้นไม้มากกว่า 13 kWh ขึ้นไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนที่มีอากาศเย็นที่สามารถลดลงได้สูงสุด 23 kWh เนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการคายระเหย ส่วนการสร้างร่มเงาให้แก่ผนังบ้านเดี่ยวของไม้ยืนต้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกรณีที่ไม่ได้ปลูกต้นไม้ในฤดูหนาว ซึ่งดวงอาทิตย์มีมุมเงยต่ำและอ่อนได้ เช่น มกราคมที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 40 kWh แต่ในเดือนอื่น ๆ เช่น เมษายน สิงหาคม การสร้างร่มเงาจากการปลูกไม้ยืนต้น 3 ต้นในกรณีศึกษา 9 ไม่แตกต่างจากการคายระเหยมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปี การคายระเหยมีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกรณีที่ไม่มีไม้ยืนต้นประมาณร้อยละ 3.16 ขณะที่การสร้างร่มเงาอยู่ที่ประมาณร้อยละ 4.17 ดังนั้นการสร้างเงาของพืชจึงมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าการคายน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและจำนวนของไม้ยืนต้นด้วย



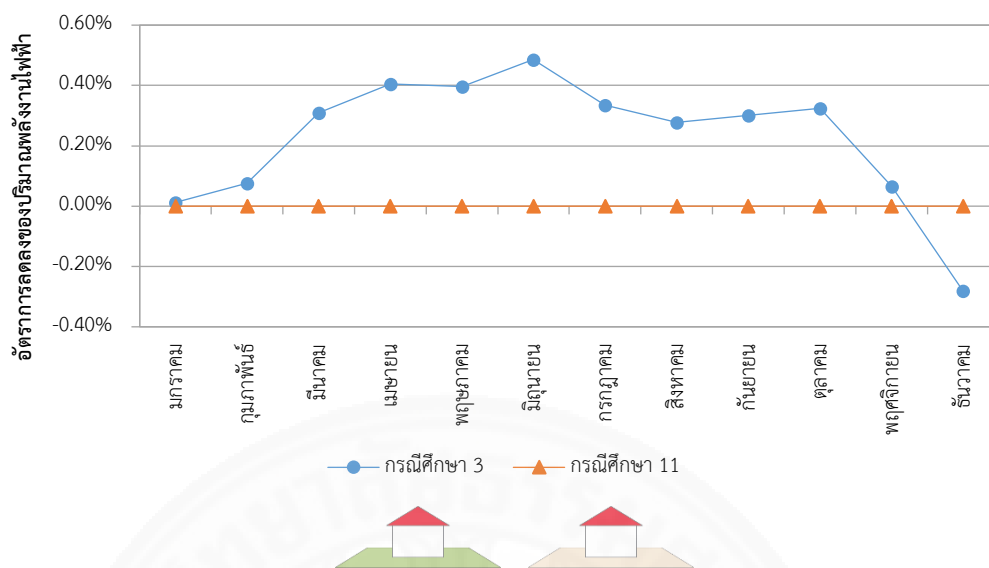
ภาพที่ 5.32 ผลต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการคายน้ํและการสร้างร่ํงเงงระหว่างกรณีที่ไม่ม่มีไม้ย่ํนต้นและมีไม้ย่ํนต้น 3 ต้น

5.2.2.2 อิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

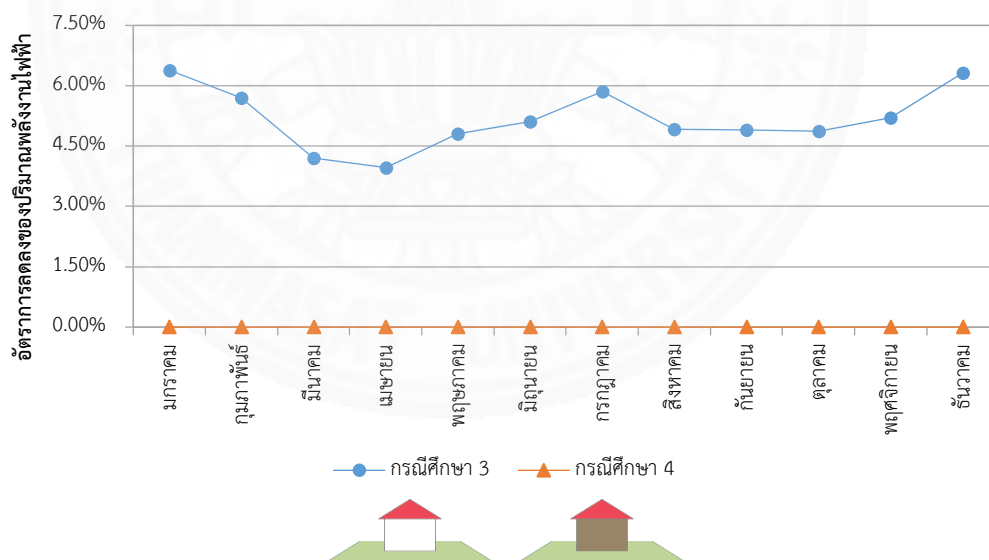
วัสดุปกคลุมผิวพื้นระหว่างไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิกมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อนไม่มากนัก เพราะอัตราการลดลงมีค่าไม่ถึงร้อยละ 1 จากภาพที่ 5.33 พบว่า การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นไม้คลุมดินในกรณีศึกษา 3 ส่งผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 11 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิก ($\Delta\text{ENERGY} = [\text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 11}} - \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 11}}$) โดยลดลงได้มากถึงร้อยละ 0.49 ในเดือนมิถุนายน อย่างไรก็ตามเฉพาะเดือนธันวาคมที่การใช้ไม้คลุมดินมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้กระเบื้องเซรามิก

5.2.2.3 อิทธิพลของสีผนังต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

สีผนังอ่อนและเข้มส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คลุมดิน เนื่องจากสีมีความสามารถในการดูดซับความร้อน เมื่อพิจารณากรณีศึกษา 3 ที่ใช้ผนังสีอ่อนเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 4 ที่ใช้ผนังสีเข้มตามภาพที่ 5.34 ($\Delta\text{ENERGY} = [\text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 4}} - \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 3}}] / \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 4}}$) แสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้สีอ่อนมีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้น้อยร้อยละ 3.97 ในเดือนเมษายน และสามารถลดได้สูงสุดที่ร้อยละ 6.39 ในเดือนมกราคม สาเหตุที่สีอ่อนสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าสีเข้มเกิดจากสีอ่อนสามารถสะท้อนความร้อนได้มาก และดูดซับความร้อนได้น้อย



ภาพที่ 5.33 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คูลุมดินและกระเบื้องเซรามิกภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังสีอ่อน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)



ภาพที่ 5.34 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ใช้ผนังสีอ่อนและเข้มภายใต้เงื่อนไขไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ไม้คูลุมดิน (+ คือ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลง และ - คือ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นสรุปผลการวิจัยโดยแยกตามวัตถุประสงค์ และข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลและเปรียบเทียบรูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยวที่ตั้งในพื้นที่เขตพักอาศัยชานเมืองใน 1 วัน (28 พฤษภาคม) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในบ้านเดี่ยว รวมทั้งเสนอแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในพื้นที่แปลงที่ดินของบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน ขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4 โดยพิจารณาจากความสอดคล้องของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างพื้นที่เขตพักอาศัยที่สำรวจภาคสนามกับแบบจำลองกรณีตั้งต้นด้วยการใช้ค่าความสอดคล้องสถิติ 4 ค่า ได้แก่ R^2 RMSE d และ Mean Difference ช่วงที่ 2 การวิเคราะห์สภาพอากาศระดับจุลภาคผ่านโปรแกรม ENVI-met V4 ของแบบจำลองกรณีศึกษา 16 กรณีที่ถูกปรับเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกจากแบบจำลองกรณีตั้งต้น ผลลัพธ์ของสภาพอากาศระดับจุลภาคประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจาย และความเร็วลม นำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลสภาพอากาศเพื่อใช้ในการจำลองพลังงาน และช่วงที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศผ่านโปรแกรม eQUEST 3.65 โดยใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศข้างต้น ในการหาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เปลี่ยนแปลง เพื่อพิจารณาถึงแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมในการประหยัดพลังงาน

6.1.1 รูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาค

6.1.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศระดับจุลภาค

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศระดับจุลภาค ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง รังสีกระจายและความเร็วลมสามารถพิจารณาจากการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงสุด 4 อันดับแรก ได้แก่ กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 ($\Delta WEATHER = [WEATHER_{\text{กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12}} - WEATHER_{\text{กรณีศึกษาอื่น ๆ}}] / WEATHER_{\text{กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12}}$) กรณีศึกษาดังกล่าวมีลักษณะการจัดสภาพแวดล้อมภายนอกบ้านเดี่ยวที่คล้ายคลึงกัน คือ ไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่มีความแตกต่างของการใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นและสีของผนัง โดยกรณีศึกษา 3 จะใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน กรณีศึกษา 4 ใช้ไม้คลุมดินและผนังสีเข้ม ส่วนกรณีศึกษา 11 ใช้พื้นกระเบื้องเซรามิกและผนังสีอ่อน กรณีศึกษา 12 ใช้พื้นกระเบื้องเซรามิกและผนังสีเข้ม โดยแต่ละกรณีมีการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ด้วยการเพิ่มตัวแปรด้านพื้นที่สีเขียว ได้แก่ ไม้ยืนต้นจำนวน 1 และ 3 ต้นรอบบ้าน 2 ต้นพร้อมไม้พุ่มและ 3 ต้นบนทางเท้า รวมถึงการเปลี่ยนตัวแปรด้านวัสดุปกคลุมผิวพื้นและสีผนังภายนอก เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นรอบบ้าน ทำให้กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 7 8 15 และ 16 ตามลำดับ เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 4 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน ทำให้กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 9 10 17 และ 18 ตามลำดับ เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นบนทางเท้า ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 11 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 19 และ 20 ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนวัสดุปกคลุมผิวพื้นจากไม้คลุมดินเป็นกระเบื้องเซรามิก ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 4 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 11 และ 12 ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนสีผนังภายนอกจากสีอ่อนเป็นสีเข้ม ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 11 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 4 และ 12 ตามลำดับ





(1) อุณหภูมิอากาศ

ผลการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศใน 1 วันมากที่สุด คือ การปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.105-1.363) ถัดมาเป็นการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม (ร้อยละ 0.781-0.970) ส่วนตัวแปรอันดับสี่และอันดับห้าเป็นการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นข้างบ้านและการเลือกใช้สีผนังเป็นสีอ่อน ซึ่งส่งผลต่อการลดลง

ของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 0.356-0.426 และ 0.394-0.419) ขณะที่การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ 2 ชนิดระหว่างไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศน้อยมาก ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1

อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่ออุณหภูมิอากาศใน 1 วัน

กรณีศึกษา		อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศ					
		พื้นที่สีเขียว				วัสดุปกคลุมผิวพื้น	สีผนังภายนอก
		ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**		
 กรณีศึกษา 3	ค่าสูงสุด	0.590%	1.439%	1.811%	1.042%	0.081%	-0.257%
	ค่าต่ำสุด	0.134%	0.116%	0.556%	0.267%	-0.198%	-0.560%
	ค่าเฉลี่ย	0.426%	0.970%	1.363%	0.748%	-0.006%	-0.395%
 กรณีศึกษา 4	ค่าสูงสุด	0.533%	1.269%	1.589%		0.088%	0.557%
	ค่าต่ำสุด	0.085%	-0.084%	0.321%		-0.251%	0.257%
	ค่าเฉลี่ย	0.359%	0.781%	1.117%		-0.031%	0.394%
 กรณีศึกษา 11	ค่าสูงสุด	0.577%		1.781%	1.020%	0.198%	-0.251%
	ค่าต่ำสุด	0.161%		0.640%	0.345%	-0.081%	-0.610%
	ค่าเฉลี่ย	0.424%		1.358%	0.761%	0.006%	-0.420%
 กรณีศึกษา 12	ค่าสูงสุด	0.522%		1.560%		0.250%	0.606%
	ค่าต่ำสุด	0.094%		0.402%		-0.088%	0.250%
	ค่าเฉลี่ย	0.356%		1.105%		0.031%	0.419%
สรุปอันดับตัวแปรที่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศ		4	2	1	3	6	5

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง





(2) ความชื้นสัมพัทธ์

ผลการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วัน มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งตรงข้ามกับการลดลงของอุณหภูมิอากาศที่มีค่าของตัวแปร 2 ชุดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อันดับของตัวแปรที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์และการลดลงของอุณหภูมิอากาศมีลักษณะเดียวกัน โดยตัวแปรอันดับแรก คือ การปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณร้อยละ 3.426-3.938) ถัดมาเป็นการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม (ร้อยละ

ละ 2.663-2.988) ขณะที่ตัวแปรอันดับสุดท้าย คือ การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นไม้คลุมดิน (ร้อยละ 0.134-0.201) อย่างไรก็ตามตัวแปรด้านวัสดุปกคลุมผิวพื้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดมากกว่าตัวแปรด้านสีผนังภายนอก ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2

อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วัน

กรณีศึกษา		อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์					
		พื้นที่สีเขียว				วัสดุปกคลุมผิวพื้น	สีผนังภายนอก
		ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**		
 กรณีศึกษา 3	ค่าสูงสุด	1.629%	3.919%	5.016%	2.841%	0.341%	-0.344%
	ค่าต่ำสุด	0.657%	1.121%	2.416%	1.182%	-1.549%	-1.198%
	ค่าเฉลี่ย	1.270%	2.988%	3.938%	2.203%	-0.134%	-0.651%
 กรณีศึกษา 4	ค่าสูงสุด	1.534%	3.557%	4.593%		0.309%	1.213%
	ค่าต่ำสุด	0.548%	0.742%	1.988%		-1.665%	0.346%
	ค่าเฉลี่ย	1.164%	2.663%	3.522%		-0.201%	0.655%
 กรณีศึกษา 11	ค่าสูงสุด	1.579%		4.894%	2.805%	1.573%	-0.376%
	ค่าต่ำสุด	0.499%		2.370%	1.265%	-0.340%	-1.265%
	ค่าเฉลี่ย	1.229%		3.878%	2.161%	0.134%	-0.718%
 กรณีศึกษา 12	ค่าสูงสุด	1.473%		4.454%		1.693%	1.281%
	ค่าต่ำสุด	0.392%		1.858%		-0.308%	0.378%
	ค่าเฉลี่ย	1.115%		3.426%		0.201%	0.723%
สรุปอันดับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์		4	2	1	3	6	5

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง





(3) รังสีตรง

ผลการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม 3 อันดับแรกที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของรังสีตรงใน 1 วัน มีความแตกต่างอย่างชัดเจน ขณะที่ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม 3 อันดับท้ายส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของรังสีตรงใกล้เคียงกัน ตัวแปรอันดับแรก คือ การปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (อัตราการลดลงของรังสีตรงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 24.634) ถัดมาเป็นการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม (ร้อยละ 11.108) ส่วนตัวแปร 3 อันดับท้าย ได้แก่ การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นไม้คลุมดิน (ร้อยละ 0.007) การเลือกใช้สี

ผนังเป็นสีเข้ม (ร้อยละ 0.003) และการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นในพื้นที่ส่วนกลางของโครงการหมู่บ้านจัดสรร (ร้อยละ -0.010) ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3

อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อรังสีตรงใน 1 วัน

กรณีศึกษา		อัตราการลดลงของรังสีตรง					
		พื้นที่สีเขียว				วัสดุปกคลุมผิวพื้น	สีผนังภายนอก
		ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**		
 กรณีศึกษา 3	ค่าสูงสุด	6.235%	12.573%	40.499%	0.000%	0.015%	0.028%
	ค่าต่ำสุด	-0.014%	0.011%	21.794%	-0.033%	-0.037%	0.000%
	ค่าเฉลี่ย	4.537%	11.107%	24.633%	-0.009%	-0.007%	0.003%
 กรณีศึกษา 4	ค่าสูงสุด	6.237%	12.574%	40.502%		0.006%	0.000%
	ค่าต่ำสุด	-0.012%	0.006%	21.794%		-0.035%	-0.028%
	ค่าเฉลี่ย	4.537%	11.108%	24.634%		-0.006%	-0.003%
 กรณีศึกษา 11	ค่าสูงสุด	6.232%		40.504%	0.002%	0.037%	0.019%
	ค่าต่ำสุด	-0.014%		21.794%	-0.031%	-0.015%	0.000%
	ค่าเฉลี่ย	4.536%		24.634%	-0.010%	0.007%	0.003%
 กรณีศึกษา 12	ค่าสูงสุด	6.232%		40.505%		0.035%	0.000%
	ค่าต่ำสุด	-0.012%		21.795%		-0.006%	-0.019%
	ค่าเฉลี่ย	4.536%		24.634%		0.006%	-0.003%
สรุปอันดับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การลดรังสีตรง		3	2	1	6	4	5

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง





(4) รังสีกระจาย

ผลการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของรังสีกระจายใน 1 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรด้านพื้นที่สีเขียว เนื่องจากรังสีกระจายเป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อน และหักเหกับอนุภาคในอากาศ วัตถุทึบแสงหรือโปร่งแสง เช่น บ้าน ไม้ยืนต้น จึงไม่สามารถลดทอนรังสีกระจายได้เหมือนกับรังสีตรง แต่พื้นผิวมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรังสีกระจายมากกว่าด้วยการดูดซับรังสี ตัวแปรอันดับแรกคือ การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นไม้คลุมดิน (อัตราการลดลงของรังสีกระจายเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.007) ถัดมาเป็นการเลือกใช้สีผนังเป็นสีเข้ม (ร้อยละ 0.004) ส่วนตัวแปรอันดับสุดท้าย คือ

การปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นในพื้นที่ส่วนกลางของโครงการหมู่บ้านจัดสรร (ร้อยละ -0.010) ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4

อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อรังสีกระจายใน 1 วัน

กรณีศึกษา		อัตราการลดลงของรังสีกระจาย					
		พื้นที่สีเขียว				วัสดุปกคลุมผิวพื้น	สีผนังภายนอก
		ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**		
 กรณีศึกษา 3	ค่าสูงสุด	0.001%	0.010%	0.011%	0.001%	0.015%	0.028%
	ค่าต่ำสุด	-0.015%	-0.023%	-0.032%	-0.033%	-0.037%	0.000%
	ค่าเฉลี่ย	-0.005%	-0.008%	-0.010%	-0.010%	-0.007%	0.003%
 กรณีศึกษา 4	ค่าสูงสุด	0.001%	0.006%	0.008%		0.007%	0.000%
	ค่าต่ำสุด	-0.015%	-0.021%	-0.027%		-0.035%	-0.028%
	ค่าเฉลี่ย	-0.004%	-0.007%	-0.009%		-0.006%	-0.003%
 กรณีศึกษา 11	ค่าสูงสุด	0.002%		0.008%	0.002%	0.037%	0.020%
	ค่าต่ำสุด	-0.016%		-0.032%	-0.031%	-0.015%	0.000%
	ค่าเฉลี่ย	-0.005%		-0.010%	-0.010%	0.007%	0.004%
 กรณีศึกษา 12	ค่าสูงสุด	0.002%		0.006%		0.035%	0.000%
	ค่าต่ำสุด	-0.016%		-0.030%		-0.007%	-0.020%
	ค่าเฉลี่ย	-0.005%		-0.009%		0.006%	-0.004%
สรุปอันดับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การลดรังสีกระจาย		3	4	5	6	1	2

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า





เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

(5) ความเร็วลม

ผลการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมใน 1 วัน มีความแตกต่างอย่างชัดเจน ยกเว้นตัวแปรด้านสีผนังภายนอกที่ไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลม ตัวแปรอันดับแรก คือ การปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (อัตราการเพิ่มขึ้นของความความเร็วลมเฉลี่ยประมาณร้อยละ 28.272-29.506) ถัดมาเป็นการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม (ร้อยละ 23.472-23.484) ขณะที่ตัวแปรอันดับสุดท้าย คือ การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นกระเบื้องเซรามิก (ร้อยละ 2.567-2.569) ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5

อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อความเร็วลมใน 1 วัน

กรณีศึกษา		อัตราการเพิ่มขึ้นความเร็วลม					วัสดุปกคลุม ผิวพื้น	สีผนังภายนอก
		พื้นที่สีเขียว						
		ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**			
	ค่าสูงสุด	6.079%	25.592%	30.971%	10.942%	3.374%		
	ค่าต่ำสุด	5.151%	21.348%	25.321%	9.674%	2.128%		
	ค่าเฉลี่ย	5.528%	23.472%	28.272%	10.272%	2.569%		
	ค่าสูงสุด	6.077%	25.603%	30.994%		3.374%		
	ค่าต่ำสุด	5.159%	21.384%	25.375%		2.123%		
	ค่าเฉลี่ย	5.533%	23.484%	28.301%		2.567%		
	ค่าสูงสุด	6.969%		32.614%	12.479%	-2.083%		
	ค่าต่ำสุด	5.640%		26.088%	10.678%	-3.264%		
	ค่าเฉลี่ย	6.217%		29.478%	11.490%	-2.505%		
	ค่าสูงสุด	6.969%		32.627%		-2.078%		
	ค่าต่ำสุด	5.645%		26.135%		-3.264%		
	ค่าเฉลี่ย	6.219%		29.506%		-2.503%		
สรุปอันดับตัวแปรที่ส่งผลต่อการเพิ่มความเร็วม		4	2	1	3	5		

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

6.1.1.2 การเปรียบเทียบการจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา

การจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา 16 กรณีส่งผลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาสามารถพิจารณาจากการนำกรณีศึกษาอื่น มาเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา 12 เพื่อให้ทราบถึงการจัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระดับจุลภาค ($\Delta\text{WEATHER} = [\text{WEATHER}_{\text{กรณีศึกษา 12}} - \text{WEATHER}_{\text{กรณีศึกษาอื่น}}] / \text{WEATHER}_{\text{กรณีศึกษา 12}}$) เนื่องจากกรณีศึกษา 12 ซึ่งมีลักษณะของสภาพแวดล้อมเป็นกระเบื้องเซรามิก ผนังสีเข้มและไม่มีพื้นที่สีเขียว มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงที่สุด

(1) อุณหภูมิอากาศ

อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศสูงสุด (เวลา 15.00 น.) ต่ำสุด (เวลา 06.00 น.) และค่าเฉลี่ยใน 1 วันจากการจัดสภาพแวดล้อม 16 กรณีตามตารางที่ 6.6 พบว่ากรณีศึกษา 9 ที่มีการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน

มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดที่ประมาณร้อยละ 1.782 ส่วนกรณีศึกษาที่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ กรณีศึกษา 12 ซึ่งไม่มีพื้นที่สีเขียว กระเบื้องเซรามิก และผนังสีเข้ม (ร้อยละ 0.00)

การปลูกไม้ยืนต้นในปริมาณมากและตำแหน่งใกล้บ้านมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศรอบบ้านได้มาก อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับการใช้สีผนังด้วย จากตารางที่ 6.6 การจัดสภาพแวดล้อมที่มีไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นอยู่บนทางเท้าของพื้นที่ส่วนกลางและใช้ผนังสีอ่อน (กรณีศึกษา 19 และ 20, ร้อยละ 1.169-1.176) สามารถลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยได้มากกว่าการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้านและใช้ผนังสีเข้ม (กรณีศึกษา 10 และ 18, ร้อยละ 1.105-1.148) เช่นเดียวกันกับกรณีศึกษาที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวและใช้ผนังอ่อน (กรณีศึกษา 3 และ 11, ร้อยละ 0.419-0.425) มีอุณหภูมิอากาศลดลงมากกว่ากรณีศึกษาที่มีไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นข้างบ้านและใช้ผนังสีเข้ม (กรณีศึกษา 8 และ 16, ร้อยละ 0.356-0.390)

ตารางที่ 6.6

การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศใน 1 วัน

	วัสดุปกคลุม ผิวพื้น	สีผนัง ภายนอก	พื้นที่สีเขียว				
			ไม่มี	ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**
อุณหภูมิอากาศสูงสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	0.697%	0.843%	0.812%	1.249%	0.962%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	0.529%	0.690%		1.166%	0.873%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	0.220%	0.305%	0.136%	0.540%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	0.094%		0.402%	
อุณหภูมิอากาศต่ำสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	0.423%	0.975%	1.766%	2.095%	1.349%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	0.421%	0.949%		2.024%	1.310%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	0.003%	0.482%	1.145%	1.402%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	0.451%		1.304%	
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	(3) 0.425%	(7) 0.849%	(1) 1.391%	(9) 1.782%	(19) 1.169%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	(11) 0.419%	(15) 0.841%		(17) 1.771%	(20) 1.176%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	(4) 0.031%	(8) 0.390%	(2) 0.812%	(10) 1.148%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	(12) 0.000%	(16) 0.356%		(18) 1.105%	

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

() หมายถึง กรณีศึกษา

(2) ความชื้นสัมพัทธ์

การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (เวลา 07.00 น.) ต่ำสุด (เวลา 15.00 น.) และค่าเฉลี่ยใน 1 วันระหว่างกรณีศึกษา 16 กรณี พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยขึ้นอยู่กับปริมาณของพื้นที่สีเขียวเป็นสำคัญ เนื่องจากพื้นที่สีเขียวมีบทบาทในการคายระเหย โดยกรณีศึกษาที่มีจำนวนของไม้ยืนต้น 2-3 ต้นทั้งการปลูกรอบบ้านและบนทางเท้า อยู่ใน 8 อันดับแรกที่สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้มากประมาณร้อยละ 2.870-4.830 ขณะที่กรณีศึกษาที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวจากไม้ยืนต้น (กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12) มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 0.000-0.858 ทำให้อยู่ใน 4 อันดับสุดท้าย นอกจากนี้การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นไม้คลุมดินสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์จากการคายระเหยได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นกรณีศึกษาที่ใช้ไม้คลุมดินมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมากกว่าการใช้กระเบื้องเซรามิก ซึ่งเปรียบเทียบจากกรณีศึกษาที่มีพื้นที่สีเขียวและสีผนังเหมือนกัน เช่น กรณีศึกษา 8 ที่ใช้ไม้คลุมดินมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 1.368 ขณะที่กรณีศึกษา 16 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิกมีค่าร้อยละ 1.115

กรณีศึกษาที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงที่สุดประมาณร้อยละ 4.830 คือ กรณีศึกษา 9 ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน ตรงข้ามกับกรณีศึกษา 12 ที่จัดสภาพแวดล้อมไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่ใช้กระเบื้องเซรามิกและผนังสีเข้ม สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยได้น้อยที่สุดร้อยละ 0.00 ดูตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7

การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 วัน

	วัสดุปกคลุม ผิวพื้น	สีผนัง ภายนอก	พื้นที่สีเขียว				
			ไม่มี	ไม่ย่นต้น 1 ต้น	ไม่ย่นต้น 2 ต้น*	ไม่ย่นต้น 3 ต้น	ไม่ย่นต้น 3 ต้น**
ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	0.186%	1.680%	3.814%	4.684%	2.800%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	0.486%	1.937%		4.843%	3.035%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	-0.266%	1.144%	3.109%	3.874%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	1.365%		4.048%	
ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	1.847%	2.578%	2.988%	4.307%	3.051%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	1.133%	1.773%		3.530%	2.412%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	0.774%	1.392%	1.522%	2.777%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	0.500%		1.913%	
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	(3) 0.858%	(7) 2.139%	(1) 3.872%	(9) 4.830%	(19) 3.080%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	(11) 0.723%	(15) 1.961%		(17) 4.629%	(20) 2.900%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	(4) 0.201%	(8) 1.368%	(2) 2.870%	(10) 3.730%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	(12) 0.000%	(16) 1.115%		(18) 3.426%	

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

() หมายถึง กรณีศึกษา

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

(3) รังสีตรง

การออกแบบสภาพแวดล้อม 16 กรณีมีผลต่อรังสีตรงสูงสุด (เวลา 12.00 น.) ต่ำสุด (เวลา 07.00 น) และค่าเฉลี่ยใน 1 วัน อัตราการลดลงของรังสีตรงขึ้นอยู่กับปริมาณและตำแหน่งของพื้นที่สีเขียว โดยกรณีศึกษาที่มีการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ย่นต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (กรณีศึกษา 9 10 17 และ 18) สามารถลดรังสีตรงได้ร้อยละ 24.631-24.639 ทำให้อยู่ใน 4 อันดับแรก ส่วนกรณีศึกษาที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว (กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12) อยู่ในอันดับที่ 11-14 ซึ่งมีอัตราการลดลงของรังสีตรงประมาณร้อยละ -0.003-0.006 ขณะที่กรณีศึกษา 2 อันดับสุดท้ายที่มีการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ย่นต้นจำนวน 3 ต้นในพื้นที่ส่วนกลางของโครงการหมู่บ้านจัดสรร (กรณีศึกษา 19 และ 20) เพิ่มรังสีตรงประมาณร้อยละ 0.005-0.013

กรณีศึกษาที่มีอัตราการลดลงของรังสีตรงเฉลี่ยสูงที่สุดประมาณร้อยละ 24.639 คือ กรณีศึกษา 10 ซึ่งปลูกไม้ย่นต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน ใช้ไม้คลุมดินและผนังสีเข้ม

เนื่องจากไม้คลุมดินและผนังสีเข้มมีความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อนมากกว่ากระเบื้องเซรามิก และผนังสีอ่อน ส่วนกรณีศึกษา 20 ซึ่งจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นบนทางเท้าของพื้นที่ส่วนกลาง กระเบื้องเซรามิกและผนังสีอ่อน เป็นกรณีที่รังสีตรงเฉลี่ยลดน้อยที่สุดร้อยละ -0.013 อยู่ในตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8

การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของรังสีตรงใน 1 วัน

	วัสดุปกคลุมผิวพื้น	สีผนังภายนอก	พื้นที่สีเขียว				
			ไม่มี	ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**
รังสีตรงสูงสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	0.009%	4.058%	12.268%	21.801%	0.005%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	0.000%	4.048%		21.794%	-0.005%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	0.010%	4.059%	12.268%	21.802%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	4.049%		21.795%	
รังสีตรงต่ำสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	-0.034%	-0.032%	-0.024%	39.792%	-0.034%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	-0.019%	-0.017%		39.799%	-0.017%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	-0.006%	-0.004%	0.000%	39.807%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	0.002%		39.810%	
รังสีตรงเฉลี่ย	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	(3) 0.004%	(7) 4.541%	(1) 11.110%	(9) 24.636%	(19) -0.005%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	(11) -0.003%	(15) 4.533%		(17) 24.631%	(20) -0.013%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	(4) 0.006%	(8) 4.543%	(2) 11.113%	(10) 24.639%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	(12) 0.000%	(16) 4.536%		(18) 24.634%	

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลุกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลุกบนทางเท้า

() หมายถึง กรณีศึกษา

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

(4) รังสีกระจาย

การเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษา 16 กรณีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสีกระจายสูงสุด (เวลา 12.00 น.) ต่ำสุด (เวลา 07.00 น.) และเฉลี่ยใน 1 วัน อัตราการลดลงของรังสีกระจายขึ้นอยู่กับวัสดุปกคลุมผิวและสีผนัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้คลุมดินและผนังสีเข้มที่สามารถดูดซับรังสีความร้อนได้มากกว่ากระเบื้องเซรามิกและผนังสีอ่อน การไม่มีไม้ยืนต้นหรือมีปริมาณน้อยก็ส่งผลต่ออัตราการลดลงของรังสีกระจายด้วยเช่นกัน ทำให้กรณีศึกษา 4 ซึ่งมีการจัดสภาพแวดล้อมไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่ใช้ไม้คลุมดินและผนังสีเข้ม มีอัตราการลดลงของรังสีกระจายเฉลี่ย

ประมาณร้อยละ 0.006 ในทางตรงกันข้าม กรณีศึกษาที่สามารถลดรังสีกระจายเฉลี่ยน้อยที่สุด ประมาณร้อยละ -0.014 คือ กรณีศึกษา 20 โดยสภาพแวดล้อมรอบบ้านมีลักษณะเป็นไม้ยืนต้น จำนวน 3 ต้นที่ปลูกบนทางเท้าของพื้นที่ส่วนกลาง ใช้กระเบื้องเซรามิกและมีผนังสีอ่อน ดูในตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9

การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของรังสีกระจายใน 1 วัน

	วัสดุปกคลุม ผิวพื้น	สีผนัง ภายนอก	พื้นที่สีเขียว				
			ไม่มี	ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**
รังสีกระจายสูงสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	0.010%	0.007%	0.005%	0.003%	0.005%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	0.000%	-0.003%		-0.006%	-0.006%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	0.010%	0.008%	0.005%	0.004%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	-0.002%		-0.005%	
รังสีกระจายต่ำสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	-0.035%	-0.034%	-0.025%	-0.024%	-0.035%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	-0.020%	-0.018%		-0.012%	-0.017%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	-0.007%	-0.006%	-0.001%	0.001%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	0.002%		0.006%	
รังสีกระจายเฉลี่ย	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	(3) 0.003%	(7) -0.002%	(1) -0.005%	(9) -0.007%	(19) -0.007%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	(11) -0.004%	(15) -0.009%		(17) -0.014%	(20) -0.014%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	(4) 0.006%	(8) 0.002%	(2) 0.000%	(10) -0.003%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	(12) 0.000%	(16) -0.005%		(18) -0.009%	

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

() หมายถึง กรณีศึกษา

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

(5) ความเร็วลม

อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมสูงสุด (เวลา 17.00 น.) ต่ำสุด (เวลา 11.00 น.) และเฉลี่ยใน 1 วันจากสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา 16 กรณี พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมขึ้นอยู่กับปริมาณและตำแหน่งของไม้ยืนต้น โดยกรณีศึกษาที่ปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2-3 ต้นรอบบ้านอยู่ใน 6 อันดับแรกที่สามารถเพิ่มความเร็วมเฉลี่ยได้มากถึงประมาณร้อยละ 20.345-29.506 แต่กรณีศึกษาที่ปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นบนทางเท้าของพื้นที่ส่วนกลาง (กรณีศึกษา 19 และ 20) อยู่ในอันดับ 7 และ 8 ซึ่งเพิ่มความเร็วมเฉลี่ยประมาณร้อยละ 7.479-11.458 ส่วน

กรณีศึกษาที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวกลับมีผลต่อการลดลงของความเร็วลมเฉลี่ยร้อยละ 0.00-2.533 นอกจากนี้การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นกระเบื้องเซรามิกสามารถเพิ่มความเร็วลมได้มากกว่าไม้คลุมดิน เนื่องจากกระเบื้องเซรามิกมีค่าความหยาบของผิวน้อยกว่าไม้คลุมดิน ดังนั้นกรณีศึกษาที่ใช้กระเบื้องเซรามิกมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมเฉลี่ยมากกว่าไม้คลุมดิน ซึ่งเปรียบเทียบจากกรณีศึกษาที่มีพื้นที่สีเขียวและสีผนังเหมือนกัน

กรณีศึกษาที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุดประมาณร้อยละ 29.506 คือ กรณีศึกษา 18 ที่มีการจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน ใช้กระเบื้องเซรามิกและผนังสีเข้ม ส่วนกรณีศึกษา 3 ซึ่งจัดสภาพแวดล้อมไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่ใช้ไม้คลุมดินและผนังสีอ่อน มีความเร็วลมเฉลี่ยลดลงมากที่สุดร้อยละ 2.533

ตารางที่ 6.10

การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมใน 1 วัน

	วัสดุปกคลุมผิวพื้น	สีผนังภายนอก	พื้นที่สีเขียว				
			ไม่มี	ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**
ความเร็วลมสูงสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	-2.947%	2.571%	20.356%	24.911%	6.963%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	-0.024%	6.497%		29.738%	11.553%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	-2.922%	2.598%	20.392%	24.955%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	6.524%		29.782%	
ความเร็วลมต่ำสุด	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	-2.196%	3.156%	20.780%	25.685%	7.979%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	-0.102%	6.003%		29.845%	11.442%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	-2.098%	3.257%	20.902%	25.830%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	6.105%		29.995%	
ความเร็วลมเฉลี่ย	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	(3) -2.533%	(7) 2.855%	(1) 20.345%	(9) 25.023%	(19) 7.479%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	(11) -0.029%	(15) 6.186%		(17) 29.440%	(20) 11.458%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	(4) -2.503%	(8) 2.891%	(2) 20.393%	(10) 25.089%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	(12) 0.000%	(16) 6.219%		(18) 29.506%	

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลุกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลุกบนทางเท้า

() หมายถึง กรณีศึกษา

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

6.1.2 รูปแบบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ





6.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีลักษณะเช่นเดียวกับข้อ 6.1.1 กล่าวคือ ใช้กรณีศึกษาที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงที่สุด 4 อันดับแรก ได้แก่ กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 มาเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ($\Delta\text{ENERGY} = [\text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12}} - \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษาอื่น}}] / \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12}}$) ทั้ง 4 กรณีเป็นการจัดสภาพแวดล้อมภายนอกบ้านเดี่ยวที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่มีการเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นและสีของผนังที่แตกต่างกัน โดยแต่ละกรณีมีการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ด้วยการเพิ่มตัวแปรด้านพื้นที่สีเขียว ได้แก่ ไม้ยืนต้นจำนวน 1 และ 3 ต้นรอบบ้าน 2 ต้นพร้อมไม้พุ่มและ 3 ต้นบนทางเท้า รวมถึงการเปลี่ยนตัวแปรด้านวัสดุปกคลุมผิวพื้นและสีผนังภายนอก เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นรอบบ้าน ทำให้กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 7 8 15 และ 16 ตามลำดับ เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 4 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน ทำให้กรณีศึกษา 3 4 11 และ 12 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 9 10 17 และ 18 ตามลำดับ เมื่อปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นบนทางเท้า ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 11 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 19 และ 20 ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนวัสดุปกคลุมผิวพื้นจากไม้คลุมดินเป็นกระเบื้องเซรามิก ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 4 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 11 และ 12 ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนสีผนังภายนอกจากสีอ่อนเป็นสีเข้ม ทำให้กรณีศึกษา 3 และ 11 มีการจัดสภาพแวดล้อมเหมือนกรณีศึกษา 4 และ 12 ตามลำดับ

ผลการจัดสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน 1 ปีมากที่สุด คือ การปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (อัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 6.998-8.281) ตัวแปรอันดับสองและอันดับสามเป็นการเลือกใช้สีผนังเป็นสีอ่อนและการปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 2 ต้นรอบบ้านพร้อมไม้พุ่ม ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 5.005-5.158 และ 4.787-5.106) ส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นเป็นไม้คลุมดิน (ร้อยละ 0.079-0.240) ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11

อิทธิพลของตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน 1 ปี

กรณีศึกษา		อัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็น					
		พื้นที่สีเขียว				วัสดุปกคลุม ผิวพื้น	สีผนังภายนอก
		ไม้ยืนต้น 1 ต้น	ไม้ยืนต้น 2 ต้น*	ไม้ยืนต้น 3 ต้น	ไม้ยืนต้น 3 ต้น**		
 กรณีศึกษา 3	ค่าสูงสุด	4.209%	9.958%	13.281%	4.534%	0.281%	-4.129%
	ค่าต่ำสุด	-0.126%	2.429%	5.452%	0.413%	-0.488%	-6.824%
	ค่าเฉลี่ย	1.374%	5.106%	8.029%	2.059%	-0.241%	-5.439%
 กรณีศึกษา 4	ค่าสูงสุด	3.937%	9.046%	12.289%		0.386%	6.388%
	ค่าต่ำสุด	0.244%	2.028%	3.546%		-0.243%	3.965%
	ค่าเฉลี่ย	1.370%	4.787%	6.998%		-0.079%	5.158%
 กรณีศึกษา 11	ค่าสูงสุด	4.400%		13.181%	4.553%	0.486%	-3.922%
	ค่าต่ำสุด	0.420%		5.876%	0.895%	-0.281%	-6.651%
	ค่าเฉลี่ย	1.970%		8.281%	2.325%	0.240%	-5.269%
 กรณีศึกษา 12	ค่าสูงสุด	4.122%		12.093%		0.242%	6.236%
	ค่าต่ำสุด	0.488%		3.763%		-0.388%	3.774%
	ค่าเฉลี่ย	1.600%		7.082%		0.079%	5.005%
สรุปอันดับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การลดการใช้พลังงาน		5	3	1	4	6	2

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลูกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลูกบนทางเท้า

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

6.1.2.2 การเปรียบเทียบการจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา

การจัดสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษา 16 กรณีส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน 1 ปีแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาอื่นกับกรณีศึกษา 12 ($\Delta\text{ENERGY} = [\text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 12}} - \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษาอื่น}}] / \text{ENERGY}_{\text{กรณีศึกษา 12}}$) เนื่องจากกรณีศึกษา 12 ซึ่งมีการจัดสภาพแวดล้อมเป็นกระเบื้องเซรามิก ผนังสีเข้มและไม่มีพื้นที่สีเขียว มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงสุด ทั้งนี้การเปรียบเทียบกรณีศึกษาจะทำให้ทราบถึงการจัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงสุดในเดือนเมษายน ต่ำสุดในเดือนธันวาคม และผลรวมใน

1 ปีระหว่างกรณีศึกษา 16 กรณีแสดงดังตารางที่ 6.12 เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1 ปี พบว่า กรณีศึกษา 17 ซึ่งจัดสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน กระเบื้องเซรามิกและผนังสีอ่อน มีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมสูงที่สุดร้อยละ 12.871 ส่วนกรณีศึกษา 12 ที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่ใช้กระเบื้องเซรามิกและผนังสีเข้ม มีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมน้อยที่สุด

การลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าผลรวมขึ้นอยู่กับปริมาณและตำแหน่งของพื้นที่สีเขียวเป็นสำคัญ โดยกรณีศึกษาที่มีไม้ยืนต้นจำนวน 3 ต้นรอบบ้าน (กรณีศึกษา 9 10 17 และ 18) สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมได้มาก อย่างไรก็ตามสีผนังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเช่นกัน ซึ่งเห็นได้จากกรณีศึกษาที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว แต่ใช้ผนังสีอ่อน (กรณีศึกษา 3 และ 11, ร้อยละ 5.005-5.233) มีการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่ากรณีศึกษาที่ปลูกไม้ยืนต้นจำนวน 1 ต้นข้างบ้านและมีผนังสีเข้ม (กรณีศึกษา 8 และ 16, ร้อยละ 1.447-1.600) ส่วนวัสดุปกคลุมผิวพื้นมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมบ้างเล็กน้อย โดยในกรณีศึกษาที่มีพื้นที่สีเขียว การใช้กระเบื้องเซรามิกสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่าไม้คลุมดิน เช่น กรณีศึกษา 15 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิก มีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมร้อยละ 6.876 ขณะที่กรณีศึกษา 7 ซึ่งใช้ไม้คลุมดิน มีค่าร้อยละ 6.535 อย่างไรก็ตามกรณีศึกษาที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว การใช้ไม้คลุมดินลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่ากระเบื้องเซรามิก เช่น กรณีศึกษา 3 ที่ใช้ไม้คลุมดิน มีอัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมร้อยละ 5.233 ตรงข้ามกับกรณีศึกษา 11 ที่ใช้กระเบื้องเซรามิก มีค่าร้อยละ 5.005

ตารางที่ 6.12

การเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่มีผลต่ออัตราการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศใน 1 ปี

	วัสดุปกคลุม ผิวพื้น	สีผนัง ภายนอก	พื้นที่สีเขียว				
			ไม่มี	ไม่มีต้น 1 ต้น	ไม่มีต้น 2 ต้น*	ไม่มีต้น 3 ต้น	ไม่มีต้น 3 ต้น**
เมษายน	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	4.164%	4.064%	6.492%	9.389%	4.560%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	3.774%	4.178%		9.428%	4.635%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	0.207%	0.450%	2.231%	3.745%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	0.488%		3.763%	
ธันวาคม	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	5.954%	9.912%	15.319%	18.444%	10.218%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	6.218%	10.344%		18.579%	10.487%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	-0.388%	3.564%	8.678%	11.949%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	0.000%	3.958%		12.093%	
ผลรวมใน 1 ปี	ไม้คลุมดิน	สีอ่อน	(3) 5.233%	(7) 6.535%	(1) 10.072%	(9) 12.842%	(19) 7.185%
	กระเบื้องเซรามิก	สีอ่อน	(11) 5.005%	(15) 6.876%		(17) 12.871%	(20) 7.214%
	ไม้คลุมดิน	สีเข้ม	(4) 0.079%	(8) 1.447%	(2) 4.862%	(10) 7.071%	
	กระเบื้องเซรามิก	สีเข้ม	(12) 0.000%	(16) 1.600%		(18) 7.082%	

หมายเหตุ. * หมายถึง ปลุกพร้อมไม้พุ่ม

** หมายถึง ปลุกบนทางเท้า

() หมายถึง กรณีศึกษา

เครื่องหมาย - แสดง ทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการเปลี่ยนแปลง

6.2 แนวทางในการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

6.2.1 พื้นที่สีเขียว

พื้นที่สีเขียวเป็นการลงทุนระยะยาวที่ดีสำหรับการปรับเปลี่ยนสภาพอากาศและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศด้วยการสร้างร่มเงาและการคายระเหย นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมในชุมชนได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้พื้นที่สีเขียวควรคำนึงถึงประเภท ตำแหน่งการปลูก และปริมาณของพืชพรรณ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.2.1.1 ประเภทพืชพรรณ

ไม้ยืนต้นเป็นประเภทพืชพรรณที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าไม้พุ่ม เนื่องจากไม้ยืนต้นสามารถลดทอนรังสีดวงอาทิตย์ และสร้างร่มเงาให้แก่พื้นที่ข้างเคียงได้มากกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปทรงและความหนาแน่นของใบ ขณะที่การปลูกไม้พุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้พุ่มขนาดใหญ่ อาจสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ออกจากพื้นที่ ซึ่งปลูกไม้พุ่มล้อมรอบ

6.2.1.2 ตำแหน่งการปลูก

ตำแหน่งการปลูกของไม้ยืนต้นควรอยู่บริเวณรอบบ้าน โดยเฉพาะทางทิศใต้ โดยการปลูกไม้ยืนต้นใกล้ตัวบ้านจะทำให้มีร่มเงาพาดผ่านบนผนังบ้านได้มาก ซึ่งส่งผลให้ความร้อนที่เข้าสู่บ้านลดลง ส่วนตำแหน่งของไม้ยืนต้นทางทิศใต้จะมีประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูหนาวได้เป็นอย่างดี เพราะมุมเงยของดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ

6.2.1.3 ปริมาณของพืชพรรณ

ความแตกต่างของสภาพอากาศและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับปริมาณหรือจำนวนของไม้ยืนต้นอย่างชัดเจน ถ้าไม้ยืนต้นมีปริมาณมาก อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีตรง ความเร็วลมและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก็เปลี่ยนแปลงมากด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามปริมาณของไม้ยืนต้นที่ปลูก ขึ้นอยู่กับขนาดของแปลงที่ดินของบ้านแต่ละหลัง

6.2.2 วัสดุปกคลุมผิวพื้น

การเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นระหว่างไม้คลุมดินกับกระเบื้องเซรามิกที่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขึ้นอยู่กับพื้นที่สีเขียว หากสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านไม่มีไม้ยืนต้น การใช้ไม้คลุมดินจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่ากระเบื้องเซรามิก ตรงข้ามกับสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านที่มีไม้ยืนต้น การใช้กระเบื้องเซรามิกจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่าไม้คลุมดิน ความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการเลือกใช้วัสดุปกคลุมผิวพื้นระหว่าง 2 ชนิดไม่ได้แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุมีความใกล้เคียงกัน

6.2.3 สีผนัง

สีผนังเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ การใช้ผนังสีอ่อนหรือสีที่มีค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์น้อย มีผลต่อปริมาณความร้อนที่รับเข้าสู่ผนังต่ำลง ด้วยเหตุนี้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการใช้ผนังสีอ่อนจึงมีค่าน้อยกว่าการใช้ผนังสีเข้ม

6.3 ข้อเสนอแนะการวิจัยในครั้งต่อไป

6.3.1 การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกใช้ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ควรพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงจุดคุ้มทุนที่เกิดขึ้นระหว่างการลงทุนในการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมสำหรับการประหยัดพลังงาน และการคืนทุนของค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้า

6.3.2 การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภายในพื้นที่เขตพักอาศัยควรตรวจวัดในวันที่เป็นตัวแทนของฤดูฝนและฤดูหนาวเพิ่มเติมด้วย เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล รวมทั้งทำให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด นอกจากนี้การเก็บข้อมูลสภาพอากาศควรมีเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ เรียกว่า ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) โดยค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการตรวจวัด จะใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ซึ่งนำมาเป็นค่าอ้างอิงในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของโปรแกรม ENVI-met V4 ต่อไป

6.3.3 การวางตำแหน่งบ้านและตำแหน่งการปลูกของไม้ยืนต้นเป็นส่วนสำคัญในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ งานวิจัยนี้กำหนดตำแหน่งบ้านและตำแหน่งการปลูกของไม้ยืนต้นเป็นตัวแปรควบคุม โดยกำหนดหน้าบ้านหันทางทิศใต้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรวางตำแหน่งบ้านในทิศทางอื่น และปลูกของไม้ยืนต้นให้มีความสัมพันธ์กับการวางตำแหน่งบ้าน เพื่อเปรียบเทียบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะลดลงแตกต่างจากผลการวิจัยนี้หรือไม่

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- จิรัชย์ เจนพาณิชย์. (2552). *BIOLOGY for high school students*. กรุงเทพฯ: บুমคัลเลอร์ไลน์.
- เดชา บุญค้ำ. (2554). *การวางผังบริเวณและงานบริเวณ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตริงใจ บุรณสมภพ. (2539). *การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- ศุภณัฐ ไพโรทกุล. (2555). *Essential Biology*. กรุงเทพฯ: ธนาเพรส.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 3*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุดสวาสดิ์ ศรีสถาปัตยกรรม. (2545). *การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2542). *เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2552). *เทคโนโลยีสถานะแวดล้อมในการออกแบบสถาปัตยกรรมในเขตร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- เอี่ยมพร วิสมหมาย, ศศิยา ศิริพานิช, อลิศรา มีนะกะนิษฐ, และ ณิชฎู พิษกรรม. (2540). *พรรณไม้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมภูมิสถาปนิกประเทศไทย.

บทความวารสาร

- ชนิกานต์ ยัมประยูร. (2558). แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำหรับประเทศไทย. *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาฯ*, 64(2015), หน้า 49-65. สืบค้นจาก http://www.arch.chula.ac.th/ejournal/files/article/108_20160106153647_PB.pdf

- พันธุ์ระวี กองบุญเทียม, และ วุฒิกานต์ ปุระพรหม. (2558). แนวทางการลดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมขนาดเล็กจากอิทธิพลองค์ประกอบระนาบพื้น. หน้าจั่ว ว่าด้วยสถาปัตยกรรม การออกแบบและสภาพแวดล้อม, 29(0), หน้า 321-334. สืบค้นจาก <http://www.tci-thaijo.org/index.php/NAJUA-Arch/article/view/44257/36624>
- รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. (2558). นโยบายด้านการใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยของประเทศไทยและระดับสากล. วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์, 81(เม.ย.-มิ.ย.), หน้า 27-33. สืบค้นจาก <http://www.ghbhomecenter.com/journal/fileupload/1522Jun15DT1fR8.27-33.pdf>
- ศูนย์ข้อมูลพลังงานสีเขียว. (2557). วิเคราะห์ความต้องการซื้อที่อยู่อาศัยปี 2558. วารสารศูนย์ข้อมูลพลังงานสีเขียว, 9(33).

วิทยานิพนธ์

- กัมปนาท กระภูชย์. (2546). แนวทางการสร้างแบบประเมินอาคารปรับอากาศเพื่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- กาญจนา สิริภัทรวิช. (2541). การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- เฉลิมพล ถนอมกลาง. (2556). การจำลองประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- ฐิติพร นาคลดา. (2550). แนวทางการออกแบบการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในบ้านพักอาศัยด้วยองค์ประกอบทางภูมิสถาปัตยกรรม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- ณัฐธำมพร อินทร์พรหม. (2558). การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

- ถนอมศักดิ์ พิระพัฒน์พงษ์. (2551). *การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในคันดิน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- ปกป้อง ปัตทวิคองคา. (2555). *อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยต่อการใช้พลังงานในอาคาร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- รวีช คารประเสริฐ. (2550). *การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาคอื่น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- เลิศลักษณ์ วุฒิสวรรณ. (2544). *การลดอุณหภูมิวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารโดยวิธีการระเหย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- วิชัย เหล่าพาณิชย์กุล. (2550). *ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- วิชัย อธิวิธิตกุล. (2539). *อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- ศุภฤกษ์ แก้วสิงห์. (2552) *การสร้างสภาพแวดล้อมเพื่อการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา บ้านพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ วิทยาเขตบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). *เครื่องใช้ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2559, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/home/home_appliances.html
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). *ระบบแสงสว่าง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม 2559, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/building/build_lighting.html

- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (ม.ป.ป.). *คำจำกัดความ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน 2560, จาก <http://www.dnp.go.th/Research/watershade/vocab.html>
- กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). *สถานการณ์พลังงานและการใช้พลังงานต่อสิ่งแวดล้อม*. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.thailandenergyeducation.com/assets/media/A002.pdf>
- กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). *การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.diw.go.th/km/power/pdf/06การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.pdf>
- การจำแนกภูมิอากาศแบบเคิป์เพิน. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2560, จาก <http://geographical.weebly.com/>
- การแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิป์เพิน. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2560, จาก http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/geology/4/index_ch_4-4.htm
- ความจุความร้อนโดยปริมาตร. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2560, จาก http://www.neutron.rmutphysics.com/physics-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1390&Itemid=55
- ทูลัส ซอฟท์. (ม.ป.ป.). *Autodesk Ecotect Analysis*. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.twoplussoft.com/Autodesk+Ecotect+Analysis/index.html#tab-0>
- บ้านและสวน. (2559). *40 ต้นไม้ยอดฮิตที่ไม่เคยตกเทรนด์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2560, จาก <http://www.baanlaesuan.com/34440/ideas/garden-ideas-1/40-plants/>
- ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552. (2552). สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2560, จาก <http://download.asa.or.th/03media/04law/eca/ma52-02.pdf>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และ นวภัทรา หนูนาถ. (ม.ป.ป.). *Emissivity / สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4304/emissivity-สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และ นิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). *Thermal conductivity / ค่าการนำความร้อน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2560, จาก

- <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0564/thermal-conductivity-ค่าการนำความร้อน>
- เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.smartblock.in.th/about.php?id=3>
- วฤทธิ มิตรธรรมศิริ. (2557). *ฤดูกาลและการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.sc.mahidol.ac.th/usr/?p=400>
- วิชาญ นาคทอง. (2559). *รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2560, จาก <https://ienergyguru.com/2016/03/รังสีจากดวงอาทิตย์-solar-radiation/>
- วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. (2555). *เอกสารประกอบการสอน วิชา 02207311 อุทกวิทยาทางวิศวกรรม*. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2560, จาก http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Wisuwat/!!02207311_Eng-Hydrology_Final-all_2557.pdf
- ศิริลักษณ์ วงศ์พิเชษฐ. (ม.ป.ป.). *ป่าไม่ผลัดใบ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2560, จาก <http://stouonline.stou.ac.th/courseware/courses/agriculture/content/modules/Agriculture%20module5.pdf>
- ศิริลักษณ์ วงศ์พิเชษฐ. (ม.ป.ป.). *ป่าไม่ผลัดใบ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2560, จาก <http://stouonline.stou.ac.th/courseware/courses/agriculture/content/modules/Agriculture%20module6.pdf>
- สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2558). *22 ธันวาคม วันเพ็ญขึ้นกลางคืนยาวนานที่สุดในรอบปี*. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.narit.or.th/index.php/pr-news/2371-22-december-2558-winter-solstice>
- สมบัติเชิงแสงของวัสดุ. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2560, จาก <http://physics.science.cmu.ac.th/courses/210351/Large%205.pdf>
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). *ความหมายของพื้นที่สีเขียว*. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2559, จาก http://www.onep.go.th/urban/plant/green_area.php
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2553). *แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://www.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/ee-20yr-final.pdf>

- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2553). *ระบบกรอบอาคาร. คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน* (อาคาร) พ.ศ. 2553, สืบค้นเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2559, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pdf
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2553). *ระบบปรับอากาศ. คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน* (อาคาร) พ.ศ. 2553, สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2559, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_14.pdf
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). *คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2559, จาก <http://www.2e-building.com/images/userfiles/files/GuideLine%20BEC57.pdf>*
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). *แผนอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2558 - 2579. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2559, จาก http://www.eppo.go.th/encon/EEP2015/EEP2015_FG.pdf*
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2558. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มีนาคม 2559, จาก <http://www.eppo.go.th/info/cd2015/Energy%20Statistics%20of%20Thailand%202015.pdf>*
- สำเร็จ ปานอุทัย, ออาหาร บุญเสนอ, พงศ์ธร บรรณโสภิชัย, โสภา ศิริไพพรรณ, พันธุ์ศักดิ์ วงศ์สูง, สุวัฒน์ จันทวิวงศ์, . . . สุกันท์ พิงกุล. (ม.ป.ป.). *รายงานผลงานวิจัยการประเมินค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน 2560, จาก <http://portal.dnp.go.th/DNP/FileSystem/download?uuid=0145a350-58a7-408c-84c3-8ac8e83b4e45.pdf>*
- เสริม จันทร์ฉาย. (2557). *รังสีอาทิตย์. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2560, จาก http://phy.sc.su.ac.th/book/solar_book.pdf*

Books

Duarte, D. H. S. (2016). Vegetation and climate-sensitive public places. In R. Emmanuel (Ed.), *Urban climate challenges in the tropics: rethinking planning and design opportunities* (pp. 111-162). New Jersey: Imperial College Press.

Articles

Akamphon, S., & Akamphon, K. (2014). Cost and benefit tradeoffs in using a shade tree for residential building energy saving. *EnvironmentAsia*, 7(1), 19-24.

Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116, Supplement 1, S119–S126.
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)

Akbari, H., Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Hanford, J. W. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings*, 25(2), 139–148.
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01003-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01003-1)

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)

Berry, R., Livesley, S. J., & Aye, L. (2013). Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and Environment*, 69, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.009>

Brown, M. A., Cox, M., Staver, B., & Bear, P. (2014). Climate Change and Energy Demand in Buildings. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2014*, 26-38. Retrieved from <http://aceee.org/files/proceedings/2014/data/papers/3-736.pdf>

Chen, Z., Krarti, M., Zhai, Z., Meng, Q., & Zhao, L. Sensitive analysis of landscaping effects on outdoor thermal environment in a residential community of hot-humid area in China. *The seventh International Conference on Urban Climate, (29 June – 3 July 2009)*. Retrieved from

http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/376133-4-090524215855-002.pdf

- Donovan, G. H., & Butry, D. T. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy and Buildings*, 41(6), 662–668. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.002>
- Duarte, D. H. S., Shinzato, P., Gusson, C. dos S., & Alves, C. A. (2015). The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, 14, 224–239. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>
- Elnabawi, M. H., Hamza, N., & Dudek, S. (2015). Numerical modelling evaluation for the microclimate of an outdoor urban form in Cairo, Egypt. *HBRC Journal*, 11(2), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.03.004>
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 87, 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>
- Gusson, C. S., & Duarte, D. H. S. (2016). Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 169, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.001>
- Heldens, W., Heiden, U., Esch, T., & Dech, S. (2010). *Potential of hyperspectral data for urban micro climate analysis. Hyperspectral 2010 Workshop, 17–19 March 2010 (ESA SP-683, May 2010)*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/224991178_Potential_of_hyperspectral_data_for_urban_micro_climate_analysis
- Hien, W. N., Ignatius, M., Eliza, A., Jusuf, S. K., & Samsudin, R. (2012). Comparison of STEVE and ENVI-met as temperature prediction models for Singapore context. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 3(3), 197-209.

- Jänicke, B., Meier, F., Hoelscher, M.-T., & Scherer, D. (2015). Evaluating the Effects of Façade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment. *Advances in Meteorology*, 2015, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2015/747259>
- Kamarulzaman, N., Wan Abdullah Zawawi, N. A., & Mohammed, N. I. (2016). Effect of landscape density in a residential area on thermal performance in a tropical climate. *MATEC Web of Conferences*, 66, 00044. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20166600044>
- Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148, 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>
- Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, 122, 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>
- Misni, A. (2013). Modifying the Outdoor Temperature around Single-Family Residences: The Influence of Landscaping. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 105, 664–673. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.069>
- Müller, N., Kuttler, W., & Barlag, A.-B. (2014). Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1–2), 243–257. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0890-4>
- Pandit, R., & Laband, D. N. (2010). Energy savings from tree shade. *Ecological Economics*, 69(6), 1324–1329. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.01.009>
- Perini, K., & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 495–506. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003>

- Qaid, A., & Ossen, D. R. (2015). Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimates in hot, humid regions. *International Journal of Biometeorology*, 59(6), 657–677. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0878-5>
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, R., & de Lieto Vollaro, A. (2016). Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data. *Sustainable Cities and Society*, 26, 318–343. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.07.005>
- Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. (2012). An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment*, 58, 245–257. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.012>
- Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>
- Srivanit, M., & Hokao, K. (2013). Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. *Building and Environment*, 66, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012>
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 114, 2–19. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046>
- Yahia, M. W., & Johansson, E. (2014). Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria—The example of residential spaces with detached buildings. *Landscape and Urban Planning*, 125, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.014>

Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 60, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>

Electronic Media

Aeron Systems. (2015). *Types of Solar Radiation*. Retrieved June 30, 2017, from <http://www.aeronsystems.com/types-of-solar-radiation/>

Bareja, B. G. (2013). *Environmental Factors Affecting Transpiration: Light, Relative Humidity, Temperature, Water, Wind*. Retrieved June 1, 2017, from <http://www.cropsreview.com/factors-affecting-transpiration.html>

Big Ladder Software. (n.d.). *Elements*. Retrieved May 16, 2017, from <http://bigladdersoftware.com/projects/elements/>

Bruse, M. (2013). *ENVI-met model homepage*. Retrieved February 24, 2016, from <http://www.envi-met.com>.

Climate: Thailand. (n.d.). Retrieved April 24, 2017, from <https://en.climate-data.org/country/202/>

EnergyPlus. (n.d.). *Weather Data Download - Bangkok 484560 (IWECE)*. Retrieved December 10, 2016, from https://energyplus.net/weather-location/asia_wmo_region_2/THA/THA_Bangkok.484560_IWECE

James J. Hirsch & Associates (JJH). 2004. *eQUEST Training Workbook*. Retrieved December 22, 2016, from <http://doe2.com/download/equest/eQuestTrainingWorkbook.pdf>

Kono, J. (n.d.). *Photosynthesis*. Retrieved June 12, 2017, from <https://www.studyblue.com/#flashcard/view/12245986>

Nparks Flora & Fauna Web. (n.d.). Retrieved March 16, 2017, from <https://florafaunaweb.nparks.gov.sg/>

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2013). *Solar Radiation Basics*. Retrieved July 8, 2017, from <https://energy.gov/eere/energybasics/articles/solar-radiation-basics>

- SunPosition Calculator*. (n.d.). Retrieved July 8, 2017, from <http://sunposition.info/sunposition/spc/locations.php#1>
- Thermal Properties of Materials*. (n.d.). Retrieved July 15, 2017, from <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/thermal-properties-materials>
- U.S. Green Building Council. (n.d.). *Albedo*. Retrieved June 20, 2016, from <http://www.leeduser.com/glossary/term/6823>
- USGS Water Science. (n.d.). *Evapotranspiration-The Water Cycle*. Retrieved July 8, 2017, from <https://water.usgs.gov/edu/watercycleevapotranspiration.html>
- Ziger/Snead Architects. (2008). *ECOTECT (Building Performance Simulation Software)*. Retrieved July 8, 2017, from <http://www.zigersnead.com/current/blog/post/ecotect-building-performance-simulation-software/08-05-2008/1307/>



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
สภาพอากาศระดับจุลภาคใน 1 วัน

ตารางที่ ก.1

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว (°C)

เวลา	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
0:00	31.58	31.74	32.01	32.12	31.84	31.96	31.47	31.66	32.00	32.11	31.83	31.96	31.48	31.67	31.71	31.71
1:00	31.39	31.57	31.82	31.94	31.64	31.78	31.29	31.49	31.81	31.93	31.65	31.80	31.31	31.51	31.52	31.53
2:00	31.03	31.17	31.49	31.57	31.30	31.41	30.93	31.08	31.46	31.54	31.28	31.38	30.92	31.07	31.17	31.15
3:00	30.84	30.99	31.28	31.38	31.10	31.22	30.73	30.91	31.26	31.36	31.09	31.20	30.73	30.91	30.97	30.96
4:00	30.67	30.83	31.10	31.21	30.92	31.05	30.56	30.75	31.09	31.20	30.92	31.05	30.57	30.76	30.80	30.80
5:00	30.51	30.70	30.94	31.06	30.76	30.91	30.41	30.61	30.93	31.05	30.77	30.91	30.43	30.64	30.65	30.65
6:00	30.38	30.57	30.79	30.92	30.62	30.77	30.28	30.49	30.79	30.92	30.63	30.78	30.30	30.52	30.51	30.52
7:00	30.66	30.81	31.11	31.21	30.92	31.04	30.54	30.71	31.08	31.18	30.90	31.02	30.53	30.69	30.78	30.77
8:00	31.95	32.15	32.32	32.46	32.16	32.33	31.82	32.04	32.30	32.45	32.14	32.31	31.80	32.02	32.03	32.02
9:00	33.56	33.81	33.84	34.02	33.71	33.92	33.41	33.67	33.81	34.01	33.69	33.91	33.37	33.66	33.60	33.56
10:00	34.98	35.23	35.15	35.34	35.06	35.27	34.82	35.09	35.15	35.36	35.05	35.28	34.80	35.09	34.97	34.93
11:00	36.25	36.50	36.37	36.55	36.30	36.50	36.09	36.35	36.38	36.59	36.29	36.52	36.08	36.36	36.22	36.20
12:00	36.59	36.76	36.73	36.85	36.66	36.80	36.42	36.61	36.72	36.86	36.63	36.78	36.36	36.57	36.58	36.52
13:00	37.58	37.78	37.67	37.81	37.61	37.77	37.39	37.60	37.70	37.86	37.62	37.80	37.38	37.61	37.53	37.53
14:00	38.47	38.70	38.52	38.68	38.47	38.65	38.29	38.54	38.60	38.78	38.53	38.73	38.32	38.58	38.41	38.45
15:00	38.96	39.22	39.00	39.19	38.94	39.15	38.78	39.06	39.07	39.27	39.00	39.24	38.82	39.12	38.90	38.93
16:00	38.64	38.94	38.72	38.94	38.65	38.89	38.46	38.78	38.79	39.02	38.72	38.98	38.52	38.86	38.59	38.63
17:00	35.47	35.66	35.89	36.01	35.71	35.86	35.32	35.52	35.88	36.00	35.70	35.85	35.30	35.51	35.57	35.55
18:00	34.35	34.54	34.79	34.90	34.61	34.76	34.23	34.44	34.79	34.92	34.61	34.76	34.25	34.47	34.49	34.49
19:00	33.50	33.70	33.95	34.08	33.76	33.92	33.38	33.60	33.95	34.09	33.77	33.93	33.40	33.63	33.63	33.64
20:00	32.91	33.11	33.34	33.48	33.16	33.33	32.79	33.02	33.35	33.50	33.18	33.35	32.82	33.06	33.04	33.06
21:00	32.53	32.75	32.96	33.11	32.78	32.96	32.42	32.66	32.97	33.13	32.80	32.99	32.46	32.71	32.66	32.69
22:00	31.97	32.10	32.43	32.51	32.24	32.34	31.86	32.01	32.40	32.49	32.22	32.32	31.85	32.00	32.11	32.09
23:00	31.77	31.93	32.22	32.32	32.04	32.16	31.67	31.84	32.21	32.30	32.03	32.14	31.67	31.84	31.91	31.91

ตารางที่ ก.2

ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว (%)

เวลา	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
0:00	65.21	64.71	62.98	62.70	63.90	63.54	65.70	65.13	63.15	62.83	64.02	63.63	65.74	65.11	64.52	64.62
1:00	65.54	65.00	63.35	63.04	64.26	63.87	66.04	65.42	63.50	63.15	64.36	63.92	66.05	65.36	64.86	64.94
2:00	67.20	66.77	64.92	64.69	65.86	65.56	67.70	67.20	65.14	64.89	66.04	65.72	67.82	67.28	66.50	66.67
3:00	67.39	66.90	65.14	64.87	66.07	65.72	67.89	67.33	65.33	65.04	66.22	65.84	67.97	67.35	66.70	66.83
4:00	67.55	67.01	65.33	65.02	66.25	65.86	68.05	67.43	65.50	65.16	66.37	65.95	68.09	67.41	66.86	66.96
5:00	67.71	67.13	65.52	65.18	66.42	66.00	68.20	67.55	65.67	65.29	66.53	66.06	68.22	67.48	67.03	67.11
6:00	67.87	67.26	65.71	65.34	66.61	66.15	68.37	67.67	65.85	65.43	66.69	66.19	68.36	67.57	67.20	67.26
7:00	68.51	68.05	66.12	65.82	67.10	66.75	69.09	68.55	66.32	65.99	67.27	66.90	69.19	68.67	67.84	68.00
8:00	67.42	66.76	65.04	64.56	66.03	65.48	68.06	67.35	65.14	64.61	66.10	65.52	68.07	67.32	66.76	66.84
9:00	63.55	62.72	62.45	61.80	62.86	62.14	64.48	63.51	62.32	61.62	62.63	61.86	64.55	63.46	63.27	63.17
10:00	57.41	56.61	56.22	55.61	56.75	56.07	58.02	57.22	55.75	55.08	56.34	55.59	57.72	56.84	57.33	56.91
11:00	53.80	53.10	53.03	52.49	53.39	52.81	54.32	53.59	52.25	51.65	52.68	52.03	53.80	53.00	53.88	53.12
12:00	55.22	54.70	54.11	53.72	54.58	54.16	55.85	55.33	53.31	52.89	53.85	53.38	55.31	54.73	55.14	54.37
13:00	52.14	51.59	51.34	50.95	51.73	51.29	52.76	52.19	50.55	50.10	50.98	50.48	52.19	51.56	52.17	51.41
14:00	48.81	48.21	48.19	47.76	48.53	48.04	49.41	48.79	47.66	47.19	48.00	47.47	48.95	48.29	48.83	48.33
15:00	46.82	46.16	46.30	45.82	46.64	46.10	47.42	46.73	45.98	45.46	46.27	45.69	47.07	46.33	46.85	46.56
16:00	46.93	46.16	46.32	45.76	46.70	46.09	47.53	46.73	46.10	45.52	46.41	45.76	47.22	46.36	46.93	46.73
17:00	57.11	56.56	54.96	54.61	55.85	55.45	57.72	57.12	54.98	54.61	55.84	55.41	57.67	57.04	56.52	56.52
18:00	59.07	58.50	56.99	56.65	57.86	57.44	59.53	58.89	57.02	56.67	57.90	57.45	59.40	58.71	58.35	58.36
19:00	60.78	60.20	58.55	58.20	59.49	59.06	61.31	60.67	58.64	58.22	59.51	59.03	61.24	60.52	60.11	60.12
20:00	61.84	61.23	59.65	59.28	60.57	60.11	62.38	61.70	59.73	59.29	60.59	60.07	62.29	61.52	61.18	61.18
21:00	62.57	61.92	60.42	60.01	61.32	60.83	63.11	62.38	60.48	60.01	61.33	60.77	63.01	62.19	61.92	61.90
22:00	64.59	64.19	62.31	62.09	63.25	62.97	65.09	64.62	62.52	62.28	63.42	63.12	65.20	64.69	63.89	64.05
23:00	64.87	64.41	62.61	62.36	63.54	63.22	65.37	64.84	62.80	62.52	63.69	63.34	65.44	64.86	64.17	64.30

ตารางที่ ก.3

ค่าเฉลี่ยรังสีตรงรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว (W/m²)

เวลา	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
0:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7:00	118.74	118.71	118.75	118.72	118.75	118.71	71.47	71.45	118.73	118.71	118.73	118.71	71.46	71.45	118.75	118.73
8:00	338.08	338.06	378.44	378.42	358.65	358.63	254.25	254.23	378.47	378.45	358.67	358.65	254.27	254.25	378.48	378.49
9:00	510.55	510.52	576.67	576.65	547.08	547.07	434.40	434.39	576.74	576.72	547.16	547.14	434.43	434.42	576.80	576.88
10:00	623.55	623.54	703.97	703.96	669.98	669.98	548.68	548.67	704.03	704.01	670.03	670.02	548.71	548.70	704.01	704.07
11:00	637.38	637.37	724.88	724.87	687.78	687.77	555.88	555.87	724.94	724.92	687.83	687.82	555.92	555.91	724.92	724.98
12:00	821.94	821.94	936.78	936.78	898.85	898.84	732.62	732.61	936.87	936.87	898.94	898.93	732.69	732.68	936.82	936.92
13:00	723.83	723.83	827.93	827.93	790.05	790.05	633.26	633.26	827.99	827.98	790.11	790.10	633.31	633.30	827.97	828.03
14:00	670.81	670.80	758.87	758.86	725.55	725.55	587.67	587.66	758.89	758.88	725.58	725.58	587.70	587.68	758.92	758.95
15:00	506.81	506.80	568.86	568.85	543.66	543.65	433.49	433.47	568.87	568.85	543.68	543.66	433.50	433.49	568.90	568.92
16:00	365.27	365.23	406.99	406.95	381.61	381.57	299.24	299.21	406.98	406.93	381.61	381.57	299.25	299.22	407.07	407.08
17:00	171.79	171.77	172.44	172.42	172.46	172.44	102.60	102.59	172.50	172.48	172.53	172.50	102.63	102.62	172.50	172.56
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ก.4

ค่าเฉลี่ยรังสีกระจายรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว (W/m²)

เวลา	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
0:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7:00	19.82	19.81	19.82	19.81	19.82	19.81	19.82	19.81	19.82	19.81	19.81	19.81	19.81	19.81	19.82	19.81
8:00	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13	38.13
9:00	48.85	48.85	48.84	48.84	48.85	48.85	48.85	48.85	48.85	48.84	48.85	48.85	48.85	48.85	48.85	48.86
10:00	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.41	55.42
11:00	58.67	58.67	58.67	58.67	58.67	58.67	58.67	58.67	58.67	58.67	58.68	58.67	58.68	58.68	58.67	58.68
12:00	60.38	60.38	60.38	60.38	60.38	60.38	60.38	60.38	60.38	60.38	60.39	60.39	60.39	60.39	60.38	60.39
13:00	59.35	59.35	59.35	59.35	59.35	59.35	59.35	59.35	59.35	59.35	59.36	59.36	59.36	59.36	59.35	59.36
14:00	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92
15:00	49.67	49.67	49.67	49.67	49.67	49.67	49.68	49.67	49.67	49.67	49.67	49.67	49.68	49.68	49.67	49.68
16:00	39.65	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.65	39.64	39.64	39.63	39.64	39.64	39.65	39.65	39.65	39.65
17:00	22.86	22.85	22.85	22.85	22.86	22.85	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.86	22.87	22.86	22.86	22.87
18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ก.5

ค่าเฉลี่ยความเร็วลมรายชั่วโมงบริเวณรอบบ้านเดี่ยว (m/s)

เวลา	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
0:00	0.47	0.47	0.39	0.39	0.41	0.41	0.49	0.49	0.39	0.39	0.42	0.42	0.51	0.51	0.42	0.44
1:00	0.47	0.47	0.38	0.38	0.40	0.40	0.49	0.49	0.39	0.39	0.41	0.41	0.50	0.50	0.42	0.43
2:00	0.47	0.47	0.38	0.38	0.40	0.40	0.49	0.49	0.39	0.39	0.41	0.41	0.51	0.51	0.42	0.43
3:00	0.47	0.47	0.38	0.38	0.40	0.40	0.49	0.49	0.39	0.38	0.41	0.41	0.50	0.50	0.42	0.43
4:00	0.46	0.46	0.37	0.37	0.39	0.39	0.48	0.48	0.38	0.38	0.40	0.40	0.50	0.50	0.41	0.42
5:00	0.45	0.45	0.37	0.37	0.39	0.39	0.47	0.47	0.38	0.38	0.40	0.40	0.49	0.49	0.41	0.42
6:00	0.45	0.45	0.37	0.37	0.38	0.38	0.46	0.47	0.37	0.37	0.39	0.39	0.48	0.48	0.40	0.41
7:00	0.47	0.47	0.37	0.37	0.39	0.39	0.49	0.49	0.38	0.38	0.41	0.41	0.51	0.51	0.41	0.43
8:00	0.46	0.46	0.37	0.37	0.39	0.39	0.48	0.48	0.38	0.38	0.40	0.40	0.50	0.50	0.41	0.42
9:00	0.45	0.45	0.36	0.36	0.38	0.38	0.47	0.47	0.37	0.37	0.40	0.40	0.49	0.49	0.40	0.42
10:00	0.45	0.45	0.36	0.36	0.38	0.38	0.46	0.46	0.37	0.37	0.39	0.39	0.48	0.48	0.40	0.41
11:00	0.44	0.44	0.36	0.36	0.38	0.38	0.46	0.46	0.37	0.37	0.39	0.39	0.48	0.48	0.40	0.41
12:00	0.50	0.50	0.39	0.39	0.42	0.42	0.51	0.51	0.41	0.41	0.44	0.44	0.53	0.53	0.44	0.46
13:00	0.49	0.49	0.39	0.39	0.42	0.42	0.51	0.51	0.40	0.41	0.43	0.43	0.53	0.53	0.43	0.45
14:00	0.48	0.48	0.39	0.39	0.41	0.41	0.50	0.50	0.40	0.40	0.43	0.43	0.52	0.52	0.43	0.45
15:00	0.48	0.48	0.39	0.39	0.41	0.41	0.49	0.49	0.40	0.40	0.42	0.42	0.51	0.51	0.43	0.44
16:00	0.47	0.47	0.38	0.38	0.40	0.40	0.49	0.49	0.39	0.39	0.42	0.42	0.50	0.50	0.42	0.44
17:00	0.50	0.50	0.40	0.40	0.43	0.43	0.52	0.52	0.42	0.42	0.44	0.44	0.54	0.54	0.45	0.47
18:00	0.50	0.50	0.40	0.40	0.43	0.43	0.51	0.51	0.41	0.41	0.44	0.44	0.53	0.53	0.44	0.46
19:00	0.49	0.49	0.40	0.40	0.42	0.42	0.51	0.51	0.41	0.41	0.44	0.44	0.53	0.53	0.44	0.46
20:00	0.49	0.49	0.40	0.40	0.42	0.42	0.50	0.50	0.41	0.41	0.43	0.43	0.52	0.52	0.44	0.46
21:00	0.48	0.48	0.40	0.40	0.42	0.42	0.50	0.50	0.41	0.41	0.43	0.43	0.51	0.52	0.44	0.45
22:00	0.48	0.48	0.39	0.39	0.41	0.41	0.50	0.50	0.40	0.40	0.42	0.42	0.52	0.52	0.43	0.44
23:00	0.48	0.48	0.39	0.39	0.41	0.41	0.50	0.50	0.40	0.40	0.42	0.42	0.51	0.51	0.43	0.44

ภาคผนวก ข
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ ข.1

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศรายเดือนและผลรวม (kWh)

เดือน	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
มกราคม	445.77	477.28	491.23	524.75	471.55	504.24	428.62	462.04	491.29	523.96	469.68	502.37	428.43	461.71	470.10	469.54
กุมภาพันธ์	424.61	449.80	458.38	486.04	445.93	473.47	411.62	438.29	458.73	485.74	443.55	472.02	411.17	437.88	444.29	443.81
มีนาคม	509.59	536.72	534.44	557.88	529.33	553.16	495.49	525.71	536.11	558.12	528.33	552.62	495.34	525.66	526.87	526.78
เมษายน	579.94	606.37	594.38	618.92	595.00	617.41	561.97	596.97	596.80	620.20	594.29	617.18	561.73	596.87	591.92	591.46
พฤษภาคม	562.99	591.60	577.99	607.14	577.26	604.64	545.75	580.53	580.29	608.30	576.11	604.50	545.53	580.68	572.86	572.88
มิถุนายน	541.34	573.10	557.22	587.24	557.92	585.21	524.86	559.64	559.94	588.54	556.51	585.62	525.00	559.93	552.07	552.39
กรกฎาคม	553.07	587.41	572.07	607.67	570.25	604.20	536.46	573.85	574.00	608.77	567.88	603.59	536.22	573.78	565.33	565.26
สิงหาคม	465.18	490.95	486.01	511.17	481.90	508.25	453.10	480.52	487.37	512.06	479.03	507.71	453.16	480.70	475.28	475.54
กันยายน	471.73	496.95	492.54	517.92	488.07	513.89	458.08	487.16	494.03	518.98	485.77	512.98	458.14	487.36	483.26	483.51
ตุลาคม	491.96	517.93	519.35	545.96	512.43	540.86	477.97	507.58	521.04	547.29	510.59	539.86	478.15	507.89	509.32	509.72
พฤศจิกายน	454.12	482.34	489.10	515.99	476.80	504.68	439.51	468.88	489.42	515.80	474.40	503.47	439.27	468.69	473.93	473.77
ธันวาคม	414.68	447.20	460.54	491.59	441.15	472.24	399.37	431.18	459.24	489.69	439.04	470.31	398.71	430.47	439.65	438.34
รวม	5914.97	6257.64	6233.25	6572.27	6147.59	6482.26	5732.81	6112.36	6248.26	6577.46	6125.19	6472.23	5730.87	6111.63	6104.89	6102.99

ตารางที่ ข.2

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศรายชั่วโมงในวันที่ 28 พฤษภาคม (kWh)

เวลา	กรณีศึกษา 1	กรณีศึกษา 2	กรณีศึกษา 3	กรณีศึกษา 4	กรณีศึกษา 7	กรณีศึกษา 8	กรณีศึกษา 9	กรณีศึกษา 10	กรณีศึกษา 11	กรณีศึกษา 12	กรณีศึกษา 15	กรณีศึกษา 16	กรณีศึกษา 17	กรณีศึกษา 18	กรณีศึกษา 19	กรณีศึกษา 20
0:00	0.92	0.98	0.95	1.02	0.94	1.01	0.88	0.95	0.95	1.02	0.94	1.01	0.88	0.95	0.94	0.94
1:00	0.87	0.92	0.92	0.98	0.89	0.97	0.85	0.90	0.92	0.98	0.89	0.94	0.85	0.90	0.89	0.89
2:00	0.85	0.89	0.87	0.92	0.86	0.91	0.81	0.87	0.87	0.92	0.86	0.91	0.81	0.87	0.86	0.86
3:00	0.80	0.84	0.84	0.89	0.84	0.88	0.79	0.82	0.84	0.89	0.84	0.88	0.79	0.82	0.82	0.82
4:00	0.78	0.82	0.82	0.86	0.80	0.86	0.77	0.80	0.82	0.87	0.80	0.85	0.77	0.80	0.80	0.80
5:00	0.77	0.80	0.78	0.84	0.78	0.81	0.75	0.78	0.78	0.84	0.78	0.81	0.75	0.78	0.78	0.78
6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7:00	0.89	0.93	0.89	0.94	0.90	0.95	0.84	0.92	0.89	0.94	0.90	0.95	0.84	0.92	0.90	0.90
8:00	1.08	1.19	1.12	1.22	1.14	1.23	1.04	1.18	1.12	1.22	1.13	1.22	1.04	1.18	1.10	1.10
9:00	1.44	1.62	1.49	1.73	1.50	1.68	1.38	1.58	1.49	1.73	1.49	1.71	1.37	1.58	1.51	1.50
10:00	1.49	1.68	1.54	1.73	1.54	1.73	1.43	1.60	1.53	1.73	1.53	1.72	1.43	1.60	1.55	1.55
11:00	1.48	1.60	1.50	1.63	1.51	1.63	1.43	1.58	1.49	1.62	1.50	1.62	1.39	1.57	1.51	1.50
12:00	1.51	1.61	1.52	1.63	1.53	1.63	1.42	1.59	1.52	1.63	1.52	1.63	1.42	1.59	1.54	1.53
13:00	1.52	1.65	1.52	1.67	1.53	1.66	1.47	1.59	1.52	1.66	1.53	1.66	1.47	1.59	1.53	1.53
14:00	1.52	1.65	1.52	1.66	1.53	1.62	1.48	1.59	1.52	1.66	1.53	1.66	1.48	1.59	1.53	1.53
15:00	1.48	1.54	1.47	1.54	1.48	1.54	1.39	1.52	1.47	1.54	1.48	1.55	1.39	1.52	1.45	1.48
16:00	1.19	1.23	1.21	1.25	1.19	1.26	1.15	1.20	1.22	1.25	1.19	1.26	1.15	1.21	1.19	1.19
17:00	1.03	1.04	1.05	1.06	1.03	1.07	1.01	1.03	1.05	1.06	1.03	1.07	1.00	1.03	1.03	1.03
18:00	0.92	0.96	0.95	0.95	0.96	0.96	0.91	0.93	0.95	0.95	0.96	0.96	0.91	0.96	0.96	0.96
19:00	0.87	0.91	0.89	0.89	0.90	0.90	0.86	0.87	0.89	0.89	0.90	0.90	0.86	0.91	0.87	0.90
20:00	1.35	1.48	1.42	1.58	1.39	1.51	1.28	1.41	1.42	1.58	1.40	1.52	1.28	1.42	1.40	1.40
21:00	1.18	1.28	1.23	1.38	1.21	1.32	1.11	1.23	1.23	1.35	1.21	1.32	1.11	1.23	1.22	1.22
22:00	1.00	1.08	1.07	1.16	1.05	1.14	0.97	1.04	1.07	1.16	1.05	1.14	0.97	1.04	1.03	1.03
23:00	0.93	1.00	0.99	1.07	0.98	1.05	0.91	0.97	0.99	1.07	0.98	1.05	0.91	0.97	0.96	0.96
รวม	25.87	27.71	26.54	28.63	26.47	28.52	24.93	26.96	26.59	28.58	26.43	28.36	24.85	27.02	26.36	26.42

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบทางสถิติ Paired T-Test

ตารางที่ ค.1

การทดสอบ Paired T-Test ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศจากกรณีศึกษา 3 และ 11 เพื่อพิจารณาอิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ต่ออุณหภูมิอากาศ

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
กรณีศึกษา 3 และ 11	-.00208	.03120	.00637	-.01526	.01109	-.327	23	.747

หมายเหตุ. คำนัยความสำคัญ (Significant) เท่ากับ 0.05

ตารางที่ ค.2

การทดสอบ Paired T-Test ของค่าเฉลี่ยรังสีกระจายจากกรณีศึกษา 3 และ 11 เพื่อพิจารณาอิทธิพลของวัสดุปกคลุมผิวพื้นที่ต่อรังสีกระจาย

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
กรณีศึกษา 3 และ 11	-.00083	.00282	.00058	-.00203	.00036	-1.446	23	.162

หมายเหตุ. คำนัยความสำคัญ (Significant) เท่ากับ 0.05

ตารางที่ ค.3

การทดสอบ Paired T-Test ของค่าเฉลี่ยรังสีกระจายจากกรณีศึกษา 3 และ 4 เพื่อพิจารณาอิทธิพลของสีผนังต่อรังสีกระจาย

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
กรณีศึกษา 3 และ 4	.00042	.00204	.00042	-.00045	.00128	1.000	23	.328

หมายเหตุ. คำนัยความสำคัญ (Significant) เท่ากับ 0.05

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพิชามญชุ์ ลีทองอิน
วันเดือนปีเกิด	4 กุมภาพันธ์ 2536
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2560: ทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทวิจัย ทั่วไปสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	พิชามญชุ์ ลีทองอิน, ดารณี จารีมิตร, และ มานัส ศรีวณิช. (2560). การเปรียบเทียบและการ ตรวจสอบความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองภูมิอากาศจุลภาคภายนอกอาคารใน ENVI- met V4 กับการตรวจวัดภาคสนาม : การศึกษาทดลองพื้นที่เขตพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว. <i>Built Environment Research Associates Conference BERAC8</i> , มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.