



การประเมินผลการประหยัต์พลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียว

โดย

นางสาววนาพร อนันต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประเมินผลการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียว

โดย

นางสาววนาพร อนันต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ASSESSMENT OF ENERGY SAVING IN A CLASSROOM
LOCATED IN GREEN MICROCLIMATE

BY

MISS WANAPORN ANAN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2019
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาววนาพร อนันต์

เรื่อง

การประเมินผลการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียว
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2563

ประธานกรรมการสอบ



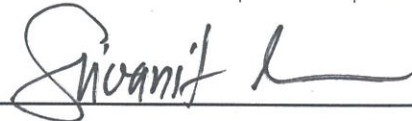
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานัส ศรีวินิช)

คณบดี



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาสาฬห์ สุวรรณฤทธิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียว
ชื่อผู้เขียน	นางสาวนาพร อนันต์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกอาคารต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนโดยการใช้แบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต วัตถุประสงค์ในการศึกษาคือ ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกอาคารต่อการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียนด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 วิเคราะห์การกระทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนภายใต้สภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต และเสนอแนวทางในการออกแบบห้องเรียนให้ลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับพื้นที่

ห้องเรียนกรณีศึกษาเป็นห้องเรียนแบบสตูดิโอในตึกคณะสถาปัตยกรรมและการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ขนาดพื้นที่ 545.9 ตารางเมตร กว้าง 14.20 เมตร ยาว 40.35 เมตร สูง 4.00 เมตร มีจำนวนผู้ใช้งาน 150 คน ช่วงเวลาใช้งาน 8.00 - 16.00 น มีการรั่วซึมอากาศผ่านการเปิดปิดประตู 0.4 ACH และการรั่วซึมอากาศผ่านกรอบหน้าต่าง 0.3 ACH ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีค่า 4.5 W/m² และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 5 ตันความเย็นจำนวน 2 เครื่อง และขนาด 4 ตันความเย็นจำนวน 3 เครื่อง ห้องเรียนดังกล่าวถูกสร้างเป็นแบบจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 มีการเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ และค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต เพื่อใช้เป็นข้อมูลสภาพอากาศสำหรับแบบจำลอง โดยแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW เพื่อใช้กับโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

ผลการศึกษาพบว่าสภาพอากาศของทั้งสองพื้นที่มีความแตกต่างกันโดยพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่าแต่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าพื้นที่คอนกรีต ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน ห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวจะประหยัดพลังงานมากกว่าห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่คอนกรีตอยู่ 28.1% – 49.0% โดยแนวทางการออกแบบที่มีการเพิ่มฉนวนหลังคาโพลียูรีเทนสามารถประหยัดพลังงานในดีที่สุดในพื้นที่สีเขียว 32.0% ในพื้นที่คอนกรีต 27.8% ห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวสามารถเพิ่มพื้นที่หน้าต่างได้มากกว่าห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่คอนกรีตถึง 4 เท่าของพื้นที่หน้าต่างเดิม ห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่คอนกรีตควรเพิ่มฉนวนกันความร้อนโพลียูรีเทนที่ผนังและหลังคาความหนา 1 นิ้วเป็นอย่างน้อย หรือใช้แนวทางการออกแบบลดพื้นที่หน้าต่างลง 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าต่างเดิมรวมกับการเพิ่มฉนวนหลังคาหนา 3 นิ้ว ถึงจะมีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศใกล้เคียงกับห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียว

คำสำคัญ: พื้นที่สีเขียว, พื้นที่คอนกรีต, พลังงานของระบบปรับอากาศ, ห้องเรียน, สภาพอากาศ

Thesis Title	ASSESSMENT OF ENERGY SAVING IN A CLASSROOM LOCATED IN GREEN MICROCLIMATE
Author	Miss Wanaporn Anan
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Sudaporn Sudprasert, Ph.D.
Academic Years	2019

ABSTRACT

This research studies the effect of outdoor microclimate on energy consumption of air conditioning system in the classroom. The building energy simulation program, Energy Plus 9.2.0 is used to analyze energy consumption in the air conditioning system in the classroom located in the green area and in the concrete area. The objectives of this research are to analyses the energy savings in the classroom located in the green and concrete areas and to propose the design guidelines to optimize energy consumption in different microclimate.

The classroom in this study is a studio classroom in the building of the Faculty of Architecture and Planning Thammasat University. The room area is 545.9 square meters, 14.20 x 40.35 m x 4.00 m. The maximum occupants are 150 during 8.00 - 16.00 hrs. The average air leaks through door openings are 0.4 ACH and through the window frames are 0.3 ACH. The average lighting intensity in the area is 4.5 W / m². There are 5 split-type air conditioners with the total capacity of 9 refrigerant Tons. The classrooms are constructed as an energy models in the Energy Plus program 9.2.0 to analyze the cooling energy. The air temperature, dew point temperature, relative humidity and solar radiation in the green area and in concrete area are collected and used as the weather data for the simulated model. The data file is converted into an epw weather file to use with the Energy Plus program 9.2.0

The results showed that the weather conditions in both areas are different. The green area has lower air temperature with higher relative humidity than that in the concrete area. The classrooms located in a green area consumes less energy than a classroom located in a concrete floor by 28.1% – 49. % . The class room in the green area with the polyurethane roof insulation shows highest energy savings, 32.0% in green area and 27.8% in concrete area. The classroom located in green area can have more window area than those located in concrete area by 4 times more than the previous area. The classrooms located in concrete areas should add at least 1 inch of polyurethane insulation to its walls and roofs to enhance energy savings. The classroom located in the concrete area can reduce the window area by 50 percent of the original window area together with installing 3-inch-thick roof insulation to achieve energy consumption equivalent to the classroom located in the green area.

Keywords: Green areas, Concrete area, Cooling energy, Classroom, Weather

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ของงานวิจัย ทั้งการให้ยืมอุปกรณ์ในงานวิทยานิพนธ์ ช่วยในการติดต่อประสานงานขอยืมอุปกรณ์ รวมถึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยแก่ผู้วิจัยในหลาย ๆ ครั้ง ทั้งเรื่องเกี่ยวกับงานวิจัยและในการใช้ชีวิตให้ผู้วิจัยสามารถผ่านปัญหาต่าง ๆ ได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ ที่เป็นกรรมการในการสอบและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัย การใช้อุปกรณ์ด้านพลังงาน และการเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำและตรวจสอบในการใช้โปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ช่วยให้เป็นประโยชน์ในวิทยานิพนธ์อย่างยิ่ง ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานัส ศรีวณิช ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำและคำปรึกษาในงานวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรม ENVI – met V4 ที่ช่วยในการสร้างความรู้ความสนใจให้ผู้วิจัยในการใช้โปรแกรม ENVI – met V4

ขอขอบคุณตัวแทนจากทาง HIOKI คุณชัชวาล กิมเท และคุณณณณ พิทักษ์โชติที่มีความอนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องมือวิเคราะห์และบันทึก Power Quality Analyzer (HIOKI PQ3100-94) ขอขอบคุณที่คอยประสานงาน รวมทั้งสละเวลาในการสอนผู้วิจัยทั้งการติดตั้งอุปกรณ์ การตั้งค่า รวมทั้งการใช้โปรแกรมสำหรับการอ่านข้อมูล ให้ผู้วิจัยได้เปิดรับความรู้ใหม่

ขอขอบคุณ คุณศุภณัฐ นามสร ช่างเทคนิคไฟฟ้า ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน คุณมณฑิชา รื่นสุข เจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับเอกสารในช่วงที่ทำวิทยานิพนธ์ คุณสุทัศน์ ศรีดี นักวิชาการคอมพิวเตอร์ที่คอยช่วยในการประสานงานให้ใช้คอมพิวเตอร์ของคณะทางระยะไกล

ขอขอบคุณ นางสาวประภัสสร แซ่มงคล ที่คอยสละเวลาในการสอนโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ในหลาย ๆ ครั้ง รวมถึงให้คำปรึกษาในการใช้โปรแกรมเมื่อผู้วิจัยเกิดปัญหาให้สามารถผ่านพ้นปัญหามาได้ ขอขอบคุณนางสาวณิชชากร กลิ่นเกล้าที่คอยให้คำแนะนำและเป็นพี่ปรึกษามาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัว และเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ทั้งเป็นที่ปรึกษาคอยเป็นกำลังใจในทุก ๆ ครั้งและผู้วิจัยต้องการคำแนะนำจกวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

นางสาววนาพร อนันต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 คำถามวิจัย	3
1.3 ตัวแปรในการวิจัย	3
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 สมมติฐานการวิจัย	4
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.9 นิยามศัพท์	5
1.10 กรอบแนวคิดการวิจัย	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การใช้พลังงานของอาคาร	7
2.1.1 การอนุรักษ์พลังงาน	7

2.1.2	ลักษณะการใช้พลังงานของอาคาร	9
2.1.3	มาตรการในการประหยัดพลังงานอาคาร	11
2.2	ระบบปรับอากาศ	13
2.2.1	ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ	14
2.2.2	ระบบหมุนเวียนอากาศ และแลกเปลี่ยนอากาศ	15
2.2.3	ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	16
2.3	ปัจจัยที่มีผลต่อภาระทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	17
2.3.1	ปัจจัยภายนอก (External Load)	17
2.3.2	ปัจจัยภายใน (Internal Load)	22
2.4	สภาพอากาศภายนอกอาคารกับการใช้พลังงาน	22
2.4.1	อิทธิพลของพื้นที่ที่เชื่อมต่อสภาพอากาศ	23
2.4.2	ผลกระทบของพื้นที่ที่เชื่อมต่ออุณหภูมิอากาศ	24
2.4.3	ผลกระทบของเกาะความร้อนในเมืองต่อการใช้พลังงาน	24
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
2.5.1	พื้นที่ที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน	25
2.5.2	ระบบปรับอากาศ	28
2.6	อาคารสถานศึกษา	28
บทที่ 3 วิธีการวิจัย		30
3.1	ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา	30
3.1.1	ตัวแปรต้น	30
3.1.2	ตัวแปรควบคุม	31
3.1.3	ตัวแปรตาม	32
3.2	ห้องเรียนกรณีศึกษา	33
3.2.1	กายภาพห้องเรียนกรณีศึกษา	34
3.2.2	ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	37
3.2.3	การรั่วซึมของอากาศ	40

3.2.4 จำนวนผู้ใช้งาน	45
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	45
3.3.1 ไฟล์สภาพอากาศ (Weather file)	46
3.3.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	47
3.3.3 อุปกรณ์วัดความเร็วลมและอุณหภูมิ	47
3.3.4 อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์	47
3.3.5 อุปกรณ์วัดการใช้ไฟฟ้า	47
3.4 การดำเนินการวิจัย	49
3.4.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลังงาน Energy Plus	50
3.4.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต	70
3.4.3 เสนอแนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต	77
3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล	84
3.5.1 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	84
3.5.2 การวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน	84
3.5.3 การวิเคราะห์แนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน	85
บทที่ 4 การศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม	86
4.1 การศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม ENVI - met V4	86
4.1.1 การสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENV – met V4	87
4.1.2 วิธีการที่พิจารณา	89
4.1.3 ผลการศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม ENVI met V4	90
4.2 การสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	92

4.2.1 การสร้างแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	93
4.2.2 วิธีการพิจารณา	94
4.2.3 ผลการศึกษาการสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ใน แบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	95
บทที่ 5 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือโปรแกรม	97
5.1 ข้อมูลสภาพอากาศ	97
5.2 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน	101
5.3 การพิสูจน์เชิงสถิติ Root Mean Square Error (RMSE)	103
บทที่ 6 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	105
6.1 เปรียบเทียบสภาพอากาศของสภาพแวดล้อมของพื้นที่สีเขียวและ พื้นที่คอนกรีต	105
6.1.1 อุณหภูมิอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต	105
6.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต	108
6.1.3 รังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต	108
6.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อภาระการทำความเย็นและการใช้ พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่	109
6.2.1 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อภาระการทำความเย็นของ ระบบปรับอากาศในห้องเรียน	109
6.2.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบ ปรับอากาศในห้องเรียน	114
6.3 ผลการศึกษาแนวทางในการออกแบบห้องเรียนเพื่อการประหยัดพลังงาน ของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน	117
6.3.1 แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวน	117
6.3.2 แนวทางการออกแบบช่องเปิดอาคารที่เป็นกระจก	121

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	128
7.1 ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกอาคารต่อการ ประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียนด้วย Energy Plus	128
7.2 วิเคราะห์ภาระการทำมาความเย็นของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน ภายใต้สภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกที่แตกต่างกัน	129
7.3 เสนอแนวทางในการออกแบบห้องเรียนให้ลดการใช้พลังงานที่เหมาะสม กับพื้นที่	129
7.3.1 แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนและลดพื้นที่หน้าต่าง	129
7.3.2 แนวทางในการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว	130
7.3.3 แนวทางในการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต	130
7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย	131
รายการอ้างอิง	133
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	140
ภาคผนวก ข	142
ภาคผนวก ค	145
ภาคผนวก ง	149
ภาคผนวก จ	151
ประวัติผู้เขียน	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารประเภทต่าง ๆ แบ่งตามระบบการใช้งาน	9
2.2 มาตรการและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน	13
2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศกับค่า EER	17
2.4 แสดงการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวง ประเภทอาคารสถานศึกษา	29
2.5 การระบายอากาศของสถานศึกษา (ASHRAE Standard 62.1-2013)	29
3.1 ข้อมูลกายภาพและการทำงานของห้องเรียน	34
3.2 ข้อมูลระบบปรับอากาศของห้อง สด. 303 ถึง สด. 307	38
3.3 แสดงการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมดของช่องเปิดและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ	42
3.4 แสดงการเปิดปิดประตูและอัตราการรั่วซึมของอากาศของห้องเรียน สด. 303 - สด. 306 และห้องเรียน สด. 307	45
3.5 ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่ประกอบใน Weather Data สำหรับใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	55
3.6 ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0	63
3.7 แสดงการตั้งค่ารายละเอียดระบบปรับอากาศและค่าการรั่วซึมเพิ่มเติมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	67
3.8 การเตรียมไฟล์สภาพอากาศของคำรังสีอาทิตย์	72
3.9 ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0	73
3.10 แสดงการตั้งค่ารายละเอียดระบบปรับอากาศและค่าการรั่วซึมอากาศเพิ่มเติมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ของห้องเรียนกรณีศึกษา ห้อง สด. 303 - สด. 306	76
3.11 ค่าวัสดุและฉนวนกันความร้อนที่ตั้งใน โปรแกรม OpenStudio 2.9.0	79
3.12 แสดงการตั้งค่ารายละเอียดค่าการรั่วซึมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	83
4.1 การตั้งค่าแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4	88
5.1 RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Energy Plus กับการวัดภาคสนาม	104
5.2 RMSE ของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Energy Plus กับการวัดภาคสนาม	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร	2
1.2 กรอบแนวคิดการวิจัย	6
2.1 ประเภทของอาคารจำแนกตามเกณฑ์ BEC	8
2.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคาร	10
2.3 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบมีท่อลม	16
2.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร	19
2.5 การรั่วซึมของอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศ	21
2.6 การคายน้ำและการระเหยน้ำ (Evapotranspiration)	24
2.7 การทำงานของ PAC SolarAire เปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศทั่วไป	28
3.1 ตำแหน่งห้องเรียนกรณีศึกษาที่ตั้งอยู่บนอาคาร	33
3.2 ผังห้องเรียนสตูดิโอ (ห้อง สด. 303 - สด. 307)	34
3.3 ผังและรูปด้านของห้องเรียนสตูดิโอ (ห้อง สด. 303 - สด. 306)	35
3.4 ผังและรูปด้านของห้องเรียนสตูดิโอ (ห้อง สด. 307)	35
3.5 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา	36
3.6 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา	36
3.7 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา	36
3.8 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา	37
3.9 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา	37
3.10 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา	39
3.11 แผนผังระบบปรับอากาศ ตำแหน่งคอยล์เย็นและคอมเพรสเซอร์	39
3.12 เมนเซอร์กิต เบรกเกอร์ ไฟฟ้าสามเฟสของระบบปรับอากาศ	39
3.13 แผนผังไฟฟ้าแสงสว่าง	40
3.14 ลักษณะดวงโคมที่ประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W จำนวน 3 หลอด	40
3.15 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น	48
3.16 อุปกรณ์วัดความเร็วลม	48
3.17 อุปกรณ์วัดความเร็วลม	48
3.18 อุปกรณ์ที่ใช้วัดการใช้ไฟฟ้า Power Quality Analyzer	49
3.19 ซอฟต์แวร์สำหรับการอ่านข้อมูล PQ One	49
3.20 การดำเนินการวิจัยการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0	51

3.21	ผังห้องสตูดิโอแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น	51
3.22	การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น	52
3.23	ชุดข้อมูลภายในไฟล์ EWP รายละเอียดตามตารางที่ 3.5	53
3.24	การเตรียมไฟล์สภาพอากาศก่อนการแก้ไขข้อมูลสภาพอากาศ	53
3.25	การแก้ไขข้อมูล Weather file ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล และใน Notepad	54
3.26	อุปกรณ์วิเคราะห์ไฟฟ้า HIOKI PQ3100 – 94	56
3.27	การติดตั้งอุปกรณ์กับเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์	57
3.28	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล PQ ONE	57
3.29	ขั้นตอนการทำงาน	57
3.30	ลำดับการทำงานของโปรแกรม	58
3.31	การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp	59
3.32	การตั้งค่า Thermal Zone	59
3.33	การระบุข้อมูลที่ตั้งและสภาพอากาศในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0	60
3.34	แผนภาพขั้นตอนการตั้งวัสดุโครงสร้างกรอบอาคาร	60
3.35	แผนภาพการสร้างวัสดุ (Materials)	61
3.36	แผนภาพการสร้างองค์ประกอบของอาคาร (Constructions)	61
3.37	แผนภาพระบุองค์ประกอบลงไปในแบบจำลอง (Constructions Sets)	62
3.38	การสร้างระบบปรับอากาศ	62
3.39	องค์ประกอบในระบบปรับอากาศ	63
3.40	โปรแกรมจำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0	68
3.41	การตั้งค่า Infiltration ใน Energy Plus Edit – IDF	68
3.42	การตั้งค่าระบบปรับอากาศใน Energy Plus Edit – IDF	69
3.43	การเลือกนำค่าที่ต้องการ (Output)	69
3.44	การดำเนินการวิจัยอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของห้องเรียน	70
3.45	การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม (ก) บริเวณพื้นที่สีเขียว (ข) พื้นคอนกรีต	71
3.46	การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp	73
3.47	แนวทางทางที่ 1.1 การเพิ่มฉนวนกันความร้อน	77
3.48	แนวทางทางที่ 1.2 การเพิ่มฉนวนกันความร้อน	78
3.49	แนวทางที่ 2.1 การออกแบบช่องเปิดอาคาร	80
3.50	แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดลดลง 50 เปอร์เซ็นต์	80
3.51	แนวทางที่ 2.2 การออกแบบช่องเปิดอาคาร	81
3.52	แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์	81
3.53	แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 75 เปอร์เซ็นต์	82
3.54	แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 3 เท่า	82

3.55	แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 4 เท่า	83
4.1	การศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม ENVI - met V4	86
4.2	การตั้งค่าขนาดของโดเมน และสถานที่ตั้งของอาคาร	87
4.3	โมเดลแบบจำลองสภาพแวดล้อมพื้นที่สีเขียว	87
4.4	การใส่ข้อมูลสภาพอากาศกรมอุตุนิยมวิทยาในส่วนของ ConfigWizard	88
4.5	วิธีในการพิจารณาการสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4	89
4.6	การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวระหว่างข้อมูลภาคสนามกับสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรม ENVI - met V4	90
4.7	การเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างแบบจำลองพลังงานที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวจากข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามกับข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรม ENVI - met V4	91
4.8	วิธีการศึกษาการสร้างร่มเงาในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	93
4.9	การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp ที่ใส่ Shading แทนร่มเงาต้นไม้	94
4.10	วิธีในการพิจารณาการสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	94
4.11	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศระหว่างแบบจำลองพลังงานที่แก้ไขค่ารังสีอาทิตย์กับแบบจำลองกรณีศึกษาที่สร้างร่มเงา (Shading) แทนต้นไม้	96
5.1	กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	99
5.2	กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	100
5.3	กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0	102
6.1	กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	106
6.2	กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำการวัดภาคสนามระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	107
6.3	กราฟเปรียบเทียบรังสีอาทิตย์ที่ทำการวัดภาคสนามระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	108
6.4	การใช้พลังงานในการลดความร้อนของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	110
6.5	การใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว	111

6.6 การใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีต	113
6.7 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	115
6.8 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต (แสดงข้อมูลรายชั่วโมงของวันที่ 19 ธันวาคม 2563)	116
6.9 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน	119
6.10 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนของแนวทางการออกแบบกรณีศึกษาที่รับสภาพอากาศของพื้นคอนกรีต	120
6.11 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบโดยการลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์	122
6.12 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนของแนวทางการออกแบบกรณีศึกษาที่รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว	123
6.13 แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	125
6.14 ร้อยละการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต	126

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (Climate change) ที่เห็นได้ชัดคือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานของอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ โดยเฉพาะบริบทของประเทศไทยที่มีสภาพอากาศอยู่ในเขตร้อนชื้น สภาพอากาศภายนอกมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร อาคารทั่วไปที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ พลังงาน 50 - 82 เปอร์เซ็นต์สูญเสียไปกับภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศ (Hani Hussain Sait, 2013) (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561) (Nattanee Thinate, 2017) (ณัฐฐา ตรีภูฏไทย, 2558) ภาพที่ 1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นแบ่งออกเป็นปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม รังสีอาทิตย์ อากาศร้อนที่รั่วเข้ามาภายในอาคาร และการระบายอากาศ เป็นต้น ปัจจัยภายใน ได้แก่ จำนวนผู้ใช้งาน ความร้อนจากหลอดไฟ ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น (เทพฤทธิ์ ทองชูบ, 2547) (ธนิต จินดาวณิก, 2546) เครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ในการลดความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และลดความร้อนแฝง (Latent heat) ทั้งที่มาจากปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในของอาคาร (นราธิป ทับทัน, 2552) เพื่อให้ผู้ใช้งานอาคารอยู่ในสภาวะที่รู้สึกสบาย (Thermal comfort)

การศึกษาผลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของอาคารเห็นได้จากการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat Island) รายงานผลกระทบของเกาะความร้อนเมืองแสดงให้เห็นการเพิ่มการใช้พลังงานทำความเย็น (cooling energy consumption) จาก 10 เปอร์เซ็นต์ เป็น 120 เปอร์เซ็นต์ และลดการใช้พลังงานความร้อน (heating energy consumption) จาก 3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 45 เปอร์เซ็นต์ (Xiaoma Li, 2019) ความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองที่มากขึ้นในหลายพื้นที่ก่อให้เกิดอุณหภูมิในเขตเมืองที่สูงขึ้นนำไปสู่การเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ พลังงานการใช้ไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศคือ 30 เปอร์เซ็นต์ - 50 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงฤดูร้อนของเมืองใหญ่ (Canbing Li, 2010) สังเกตได้ว่าปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ผลกระทบของพื้นที่สีเขียวที่มีต่ออุณหภูมิอากาศ พื้นที่สีเขียวในเมืองเช่น สวนสาธารณะ และต้นไม้สามารถทำให้สภาพแวดล้อมเย็นลงอย่างน้อยก็ระดับท้องถิ่น โดยเฉลี่ยแล้วสวนสาธารณะในเมืองจะ

เย็นกว่าประมาณ 1 °C เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่สีเขียว (non-green site) (Diana E. Bowler, 2010) พื้นที่สีเขียวมีศักยภาพในการลดอุณหภูมิอากาศในบริเวณนั้น ดังนั้นพื้นที่สีเขียวจึงมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ห้องเรียนเป็นพื้นที่ใช้งานในเวลากลางวันและจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศเนื่องจากมีผู้ใช้งานจำนวนมาก การศึกษาการใช้พลังงานอาคารเรียนพบว่า มีการใช้พลังงานไปกับระบบปรับอากาศ 68 เปอร์เซ็นต์ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 30 เปอร์เซ็นต์ ระบบอื่น ๆ 2 เปอร์เซ็นต์ (ปนิดา ตะสิทธิ์, 2560) การออกแบบมีลักษณะเฉพาะในด้านกายภาพเพื่อให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน จำนวนผู้ใช้งานภายในห้องเรียนที่มีจำนวนมาก จะเห็นได้ว่าห้องเรียนใช้พลังงานสูงโดยเฉพาะระบบปรับอากาศ มีโอกาสในการใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติน้อยกว่าบ้านพักอาศัยซึ่งเป็นสถานที่ส่วนบุคคล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของตัวแปรอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม รังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลงในพื้นที่สีเขียว รวมถึงช่วงเวลาการใช้งานห้องเรียน ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของห้องเรียน วิธีการศึกษา ได้แก่ การสร้างแบบจำลองพลังงานของห้องเรียนในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 และการสร้างไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศ โดยทั่วไปไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศเป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่วัดจากสถานีวัดสภาพอากาศแต่ในงานวิจัยนี้สร้างไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศจากค่าตัวแปรที่วัดได้ในพื้นที่สีเขียว และพื้นคอนกรีต (Concrete surface) แบบจำลองห้องเรียนที่สร้างขึ้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานภายใต้สภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต



ภาพที่ 1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร

1.2 คำถามวิจัย

สภาพอากาศในพื้นที่สีเขียวแตกต่างจากสภาพอากาศในพื้นที่คอนกรีตส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องเรียนอย่างไร

1.3 ตัวแปรในการวิจัย

1.3.1 ตัวแปรต้น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม รังสีอาทิตย์ ของสภาพอากาศในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต วัสดุกรอบอาคาร

1.3.2 ตัวแปรตาม ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ภายในและภายนอกห้องเรียน การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในการลดอุณหภูมิและความชื้น

1.3.3 ตัวแปรควบคุม ลักษณะกายภาพของห้องเรียน ทิศทางการวาง จำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ห้องเรียน การรั่วซึมของอากาศ อัตราการระบายอากาศ

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกอาคารต่อการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียนด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

1.4.2 วิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนภายใต้สภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

1.4.3 เสนอแนวทางในการออกแบบห้องเรียนให้ลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับพื้นที่

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 กรณีศึกษาคือห้องเรียนสตูดิโอ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ขนาดพื้นที่ประมาณ 545.9 ตารางเมตร เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่มีจำนวนผู้ใช้งานที่สูง และลักษณะการใช้งานที่หลากหลาย นำใช้เป็นห้องเรียนกรณีศึกษา

1.5.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานในการทำความเย็น และพลังงานในการลดความชื้นของเครื่องปรับอากาศด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 โดยในงานวิจัยทำการศึกษาเฉพาะการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศ ไม่ได้วิเคราะห์การใช้พลังงานรวม

1.5.3 ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาสถาณีตรวจวัดอากาศตอนเมืองปี 2562 และข้อมูลสภาพอากาศที่เป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตบริเวณอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

1.5.4 สภาพอากาศที่ทำการศึกษาคือสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต โดยได้นิยามพื้นที่สีเขียวในงานวิจัยเป็นพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยไม้ยืนต้นที่มีการให้ร่มเงาทั่วทั้งอาคาร โดยทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวใต้ต้นไม้ยืนต้นและพื้นที่คอนกรีตบนดาดฟ้าบริเวณอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1.6 สมมติฐานการวิจัย

สภาพอากาศในพื้นที่สีเขียวและในพื้นที่คอนกรีตมีความแตกต่างกันส่งผลต่อการใช้พลังงานในการประหยัดพลังงานที่แตกต่างกัน

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 ผู้ออกแบบอาคารและเจ้าของอาคารทราบถึงผลการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวโดยเปรียบเทียบกับห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่คอนกรีต

1.8.2 ผู้ออกแบบอาคารและเจ้าของอาคารสามารถประเมินระยะเวลาการคืนทุน (simple payback period) จากการลงทุนสร้างพื้นที่สีเขียวปกคลุมรอบอาคารจาก

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ผลประหยัดต่อปี}}$$

1.8.3 แนวทางการออกแบบห้องเรียนและพื้นที่ภายนอกเพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานในพื้นที่แตกต่างกัน

1.9 นิยามศัพท์

1.9.1 สภาพอากาศระดับจุลภาค (Microclimate) ในงานวิจัยหมายถึง สภาพอากาศของพื้นที่ขนาดเล็กเป็นส่วนหนึ่งของสภาพภูมิอากาศขนาดใหญ่ โดยสภาพอากาศระดับจุลภาคเป็นสภาพอากาศโดยรอบของอาคาร ซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงต่ออาคาร

1.9.2 พื้นที่สีเขียว (Green microclimate) ในงานวิจัยนี้หมายถึงพื้นที่โดยรอบอาคารที่ประกอบด้วยไม้ยืนต้นที่มีการให้ร่มเงา และส่งผลต่อปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ความเร็วลม รังสีอาทิตย์

1.9.3 พื้นคอนกรีต (Concrete surface) ในงานวิจัยนี้ให้หมายถึงพื้นที่ลาดแข็ง (Hardscape) รอบอาคารในระนาบนอน เช่น พื้น ที่มีวัสดุพื้นผิวที่มีความสามารถดูดซับความร้อนสูง ได้แก่ คอนกรีต กระเบื้องหินปูพื้น พื้นหินแกรนิต เป็นต้น และยังเป็นพื้นที่โล่งโดยรอบปราศจากร่มเงาปกคลุม

1.9.4 ภาระการทำความเย็น (Cooling load) การปรับอากาศเป็นการควบคุมอากาศในห้องโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในสภาวะที่กำหนดตามสภาวะน่า สามารถแบ่งลักษณะความร้อนและความชื้นที่เข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศได้เป็นสองลักษณะคือความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

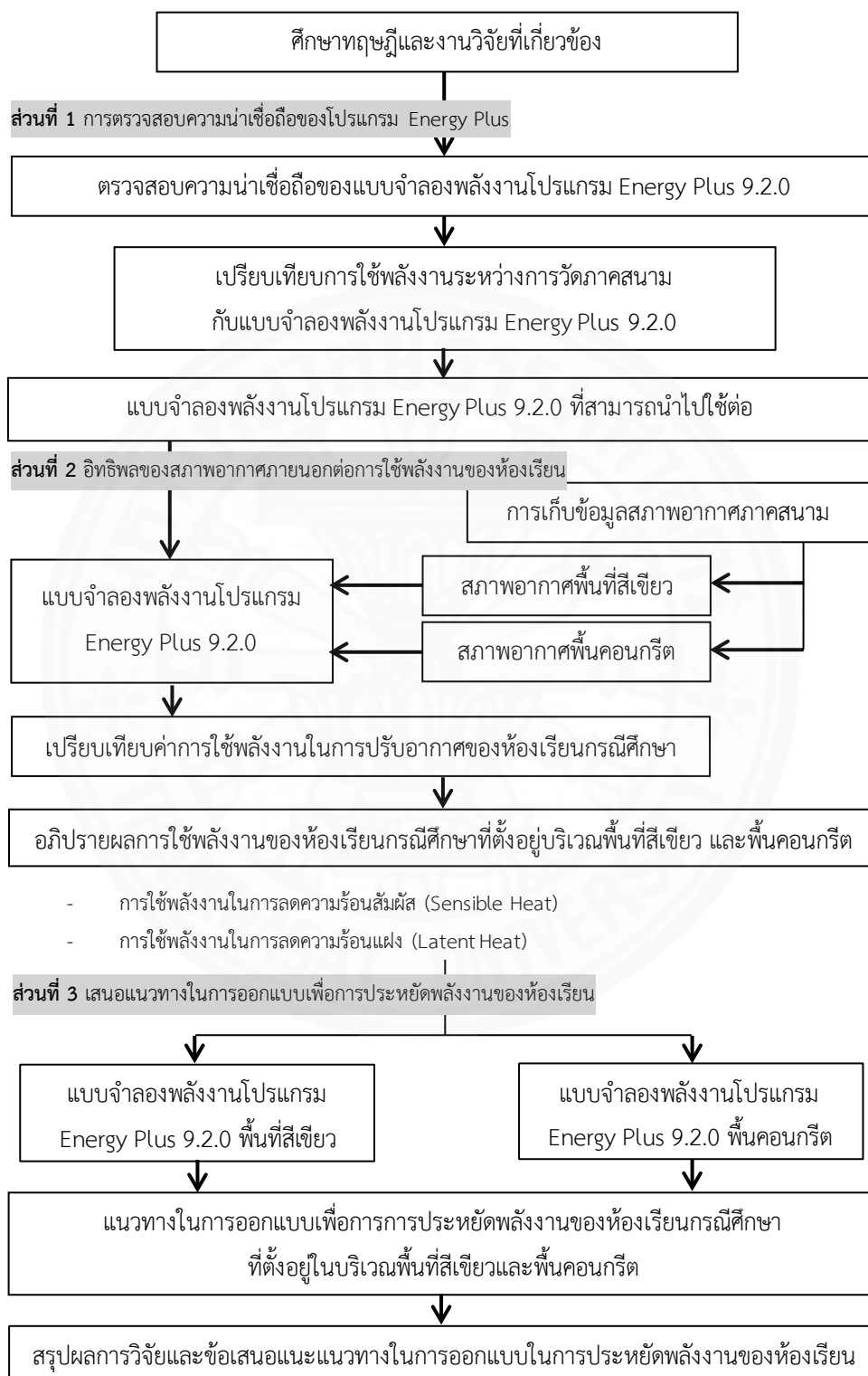
1.9.5 ความร้อนสัมผัส (Sensible heat load) คือ ความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสสาร สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้จากเทอร์โมมิเตอร์

1.9.6 ความร้อนแฝง (Latent heat load) คือ ความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร ไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้โดยเทอร์โมมิเตอร์

1.9.7 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) คือ การไหลของอากาศภายนอกเข้ามายังภายในอาคารที่เป็นพื้นที่ปรับอากาศ โดยไม่สามารถควบคุมได้ ผ่านรอยต่อ หรือช่องเปิด ความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศสามารถเป็นได้ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

1.9.8 การระบายอากาศ (Ventilation) คือการนำปริมาณอากาศภายนอกเข้ามาเพื่อแลกเปลี่ยนกับอากาศในพื้นที่อาคารที่มีการปรับอากาศ เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในพื้นที่ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานที่อยู่ในห้องปรับอากาศ หรือเพื่อสร้างความดันที่เป็นบวกให้กับห้องปรับอากาศ

1.10 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของสภาพอากาศภายนอกอาคาร ทั้ง อุณหภูมิ ความชื้น ของพื้นที่ที่มีบริบทแตกต่างกัน จะมีผลต่อการใช้พลังงานของพื้นที่ห้องเรียน รูปแบบสตูดิโอในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยแบ่งทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- 2.1 การใช้พลังงานของอาคาร
- 2.2 ระบบปรับอากาศ
- 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ
- 2.4 สภาพอากาศภายนอกอาคารกับการใช้พลังงาน
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.6 อาคารสถานศึกษา

2.1 การใช้พลังงานของอาคาร

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานในภาคอาคารค่อนข้างสูงคิดเป็น 17.6 เปอร์เซ็นต์ของ ความต้องการพลังงานรวมของประเทศ (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559) เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานอาคารทั้งด้านความปลอดภัยต่อการทำกิจกรรมประจำวันและความสะดวกสบายในการใช้งาน โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่มีการใช้ในภาคอาคารจะเป็น พลังงานไฟฟ้า นำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในส่วนของทำให้แสงสว่างภายในอาคาร การทำความเย็นของ ระบบปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ เป็นต้น เพื่อความต้องการในการใช้ชีวิตประจำวัน

2.1.1 การอนุรักษ์พลังงาน

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ภายใต้กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผน อนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 ภาคอาคารมีเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการ ใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (Building Energy Code, BEC) ช่วยให้แผนอนุรักษ์พลังงานบรรลุตาม เป้าหมาย เกณฑ์ Building Energy Code (BEC) ของไทย คือเกณฑ์มาตรฐานพลังงานขั้นต่ำในอาคาร ที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลง ซึ่งได้รับการบรรจุในกฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาด ของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.

2552 กระบวนการพลังงาน ประกอบด้วยการออกแบบระบบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร

ประเภทของอาคารที่แบ่งตามเกณฑ์ BEC ของไทย มีสมมติฐานในการแบ่งอาคารออกเป็น 3 กลุ่มตามช่วงเวลาการใช้งานอาคาร เนื่องจากระยะเวลาการใช้งานอาคารที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาจากภายนอกของอาคารที่แตกต่างกันได้ 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 อาคารสถานศึกษา สำนักงาน ใช้งานวันละ 9 ชั่วโมง (เวลา 8.00 – 17.00 น.) กลุ่มที่ 2 อาคารโรงแรมหรู ศูนย์การค้า สถานบริการ และอาคารชุมนุมคน ใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง (เวลา 10.00 – 22.00 น.) กลุ่มที่ 3 สถานพยาบาล อาคารชุด โรงแรม ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2.1 (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559)



ภาพที่ 2.1 ประเภทของอาคารจำแนกตามเกณฑ์ BEC. จาก *แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม*, โดย กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559, สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก http://www.eppo.go.th/images/Infomation_service/Publication/Publication/PDF/Architectural%20Guidebook.pdf

ดัชนีที่ใช้แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเทียบกับผลผลิต หรือ การใช้ประโยชน์ของอาคาร เรียกว่า ดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) ดัชนีการใช้พลังงานดังกล่าวจำเป็นต้องมีการสำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน และลักษณะการใช้

ประโยชน์ของอาคารแต่ละแห่งเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสม ทำให้ทราบถึงสถานการณ์การใช้พลังงาน และเกณฑ์ที่เหมาะสมของการใช้พลังงานต่อพื้นที่และอุปกรณ์ กำหนดเป้าหมายทิศทางที่ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) จากความสัมพันธ์การใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอย คือ ดัชนีการใช้พลังงานรวมของอาคาร (สมการที่ 2.1) (ปนิดา ตะสิทธิ์, 2560)

$$SEC = \text{พลังงานรวม (kWh/ปี)} / \text{พื้นที่ใช้สอย (m}^2\text{)}$$

(สมการที่ 2.1)

2.1.2 ลักษณะการใช้พลังงานของอาคาร

อาคารแต่ละประเภทมีสัดส่วนระบบการใช้งานพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามแต่ละประเภท สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสามารถแบ่งการใช้งานหลัก ๆ คือ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ ดังตารางที่ 2.1 แลภาพที่ 2.2 (อนิต จินตาวณิช, 2546), (ปนิดา ตะสิทธิ์, 2560)

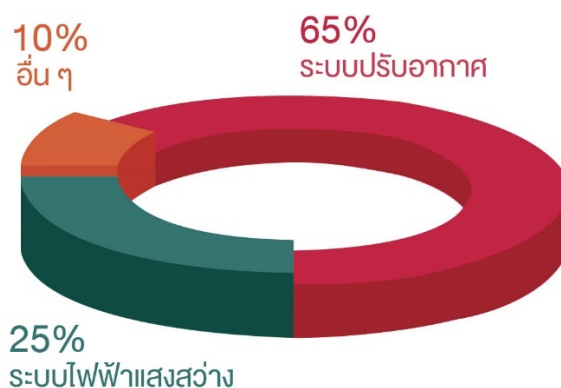
ตารางที่ 2.1

สัดส่วนเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารประเภทต่าง ๆ แบ่งตามระบบการใช้งาน

ประเภทอาคาร	ระบบปรับอากาศ	ระบบแสงสว่าง	ระบบอื่น ๆ
สำนักงาน*	50.0	25.0	25.0
โรงแรม*	61.0	15.3	23.7
ศูนย์การค้า*	60.0	25.0	15.0
สถานพยาบาล*	77.5	14.7	7.8
สำนักงาน**	63.0	25.0	12.0
สถานศึกษา**	47.0	38.0	15.0
สถานพยาบาล**	60.0	22.0	18.0

หมายเหตุ. * Lawrence Berkley Laboratory ที่ทำให้การพลังงานแห่งชาติ เรื่อง Energy Conservation in Commercial Building, 2528

**การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าบนอาคารหน่วยงาน ราชการ ศูนย์อนุรักษ์พลังงาน แห่งประเทศไทยร่วมกับการไฟฟ้านครหลวงและสำนักงบประมาณในปีงบประมาณ 2534



ภาพที่ 2.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคาร. ดัดแปลงจาก *คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*, โดย ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560, สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562 <http://new.2e-building.com/sites/default/files/2019-08/คู่มือ%20BEC.pdf>

ระบบปรับอากาศสามารถปรับสภาวะอากาศของพื้นที่เพื่อให้ผู้ใช้งานภายในอาคารรู้สึกสบายขึ้น ระบบปรับอากาศที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามต้องการเนื่องจากอุณหภูมิภายนอกมีสภาวะการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ระบบปรับอากาศจะใช้สารทำความเย็นช่วยในการดูดความร้อนจากภายในห้องไปทิ้งภายนอกห้อง โดยใช้คอมเพรสเซอร์ในการขับเคลื่อนสารทำความเย็น ระบบปรับอากาศปรับสภาวะภายในอาคารมีการใช้พลังงานส่งผลให้มีอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, มกป.)

การใช้พลังงานในการสร้างแสงสว่าง หลักการที่จะทำให้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีประสิทธิภาพสูง ต้องมีการทำความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่างว่ามีการใช้งานลักษณะใด ช่วงเวลาในการใช้ ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่นั้น ๆ เช่น ความสูงเพดาน ช่องเปิด เป็นต้น หลักการให้แสงสว่างคำนึงถึงจุดหมาย เพื่อให้การทำงานแต่ละประเภทดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยสร้างความปลอดภัย สร้างบรรยากาศที่เหมาะสม (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, มกป.) การใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคารมีผลต่อภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เข้าไปในดวงโคมนอกจากพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงสว่างแล้วยังเปลี่ยนเป็นความร้อนด้วย ดังนั้นหากมีการใช้แสงประดิษฐ์เป็นจำนวนมากก็จะเป็นภาระของระบบปรับอากาศ (ธนิต จินดาวณิก, 2546)

อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้สามารถทำงานได้ ซึ่งพลังงานที่เกิดจากการเปิดใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้เรียกว่า การใช้หรือการบริโภคพลังงานไฟฟ้า (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ, 2552) การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าให้ผลในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น ตู้เย็น พัดลม คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ การเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าควรเลือกขนาดที่เหมาะสม และที่จำเป็นต่อการใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพซึ่งออกโดยการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยคือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้ฉลากเบอร์ 5 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, มกป.)

สถานการณ์พลังงานในภาคอาคารพบว่าการใช้พลังงานตามสัดส่วนการใช้งานในอาคาร จากภาพที่ 2.2 พบว่า ระบบปรับอากาศ 65 เปอร์เซ็นต์ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 25 เปอร์เซ็นต์ และระบบอื่น ๆ 10 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2561) ดังนั้นการประหยัดพลังงานในอาคารส่วนใหญ่จึงควรมุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศ

2.1.3 มาตรการในการประหยัดพลังงานอาคาร

มาตรการและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร มาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยประกอบเป็น 6 ส่วน ได้แก่ ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร

1) ระบบกรอบอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof thermal transfer value, RTTV) ในส่วนที่มีการปรับอากาศในอาคาร ต้องมีค่าไม่เกินตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนด (ตารางที่ 2.2)

2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร ต้องให้ระดับความส่องสว่างเพียงพอต่อกิจกรรมและการใช้งานพื้นที่แต่ละประเภท และเป็นไปตามที่กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างที่ใช้ภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของอาคารมีค่าไม่เกินที่กฎกระทรวงฯ กำหนด (ตารางที่ 2.2)

3) ระบบปรับอากาศ ประเภทและขนาดของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคาร ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตัน ความ

เย็น เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงาน (การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552) (ตารางที่ 2.2)

4) อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคารต้องมีประสิทธิภาพขั้นต่ำและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนด

5) การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร การขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารตามที่กฎหมายกำหนด ที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ พิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ต้องมีค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารดังกล่าวต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารอ้างอิงที่มีพื้นที่ใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้าน เป็นแบบเดียวกันกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และมีค่าของระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศ เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละระบบ

6) การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร เมื่อมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร ให้ยกเว้นการนับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคาร ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคารมีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติ เพื่อส่องสว่างในอาคารตามแนวกรอบอาคาร ให้ถือว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างตามพื้นที่กรอบอาคาร โดยการออกแบบต้องเป็นไปตามเงื่อนไข คือ ต้องมีการแสดงว่ามีการออกแบบสวิตช์ที่สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้าส่องสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่าของความสูงของหน้าต่างในพื้นที่นั้น ๆ และ หน้าต่างตามแนวกรอบอาคารต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective shading coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่องผ่านแสงต่อความร้อน (Light to solar gain) มากกว่า 1.0 และต้องมีพื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

ตารางที่ 2.2

มาตรการและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

มาตรการและหลักเกณฑ์	ข้อกำหนด
ระบบปรับอากาศ*	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (วัดต่อตารางเมตร)
	สถานศึกษา สำนักงาน 50
	ศูนย์การค้า สถานบริการ 40
	โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด 30
	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (วัดต่อตารางเมตร)
	สถานศึกษา สำนักงาน 15 ศูนย์การค้า สถานบริการ 12 โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด 10
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง*	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัดต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
	สถานศึกษา สำนักงาน 14
	ศูนย์การค้า สถานบริการ 18
	โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด 12
ระบบปรับอากาศ**	เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก
	ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (วัตต์) ไม่เกิน 12,000
	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP (วัดต่อวัตต์) 3.22
	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (ปีที่ติดตั้งต่อชั่วโมงต่อวัตต์) 11

หมายเหตุ. *กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

**ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552

2.2 ระบบปรับอากาศ

การปรับอากาศ (Air conditioning system) คือ การปรับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อให้ได้มาซึ่งสภาวะที่ผู้ใช้งานรู้สึกสบายโดยการปรับอุณหภูมิและความชื้นจากอากาศภายนอกที่เข้ามา ให้ได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ รวมถึงการปรับสภาพอากาศให้มีความสะอาด มีการถ่ายเทหมุนเวียน

ของอากาศและระดับความชื้นที่เหมาะสม การใช้พลังงานปรับอากาศประกอบด้วย การลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

2.2.1 การทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

การปรับอากาศเป็นการควบคุมสภาวะอากาศในห้อง โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในสภาวะที่กำหนดตามสภาวะน่าสบาย สามารถแบ่งลักษณะความร้อนและความชื้นที่เข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศได้เป็นสองลักษณะคือ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) คือ ความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสสาร สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้จากเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนสัมผัส ความร้อนสัมผัสสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ ความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศได้ในทันที ได้แก่ การนำความร้อนและการพาความร้อนแบบที่สองเป็นความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีผลต่ออุณหภูมิห้องโดยตรงแต่จะทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวต่าง ๆ ในห้องสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิพื้นผิวสูงขึ้นจะเกิดการพาความร้อนจากพื้นผิวไปสู่อากาศที่อยู่รอบ ๆ สามารถคำนวณค่าปริมาณความร้อนที่มวลสารเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ ดังสมการที่ 2.2

$$h_s = mC\Delta T$$

(สมการที่ 2.2)

เมื่อ h_s = ปริมาณความร้อนสัมผัสของมวลสาร kJ

m = ปริมาณมวลสาร kg

C = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของมวลสารแต่ละชนิด $\text{kJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุที่มีมวล 1 kg มีอุณหภูมิสูงขึ้น $1\text{ }^{\circ}\text{C}$

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$

ความร้อนแฝง (Latent heat) คือ ความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร ไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้โดยเทอร์โมมิเตอร์ กิจกรรมใด ๆ ในห้องที่ทำให้เกิดเหงื่อหรือเกิดไอน้ำ ย่อมทำให้เกิดความร้อนแฝง เช่น การหายใจของคน การต้มน้ำ หรือมีผ้าเปียกอยู่ในห้อง เป็นต้น ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลสารใด ๆ เปลี่ยนสถานะดังสมการที่ 2.3

$$h_l = mL$$

(สมการที่ 2.3)

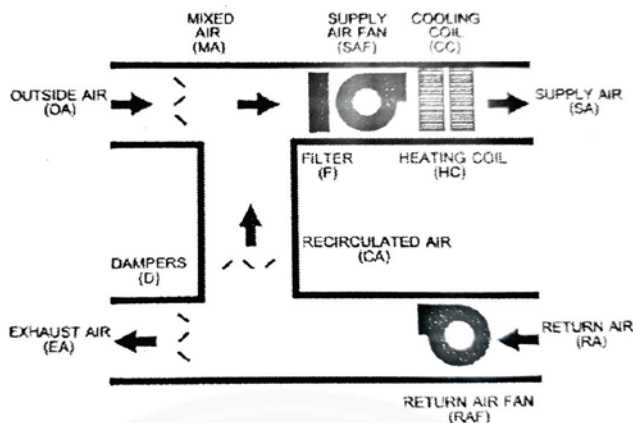
เมื่อ hl = ปริมาณความร้อนแฝงของมวลสาร kJ
 m = ปริมาณมวลสาร kg
 L = ความร้อนแฝงจำเพาะของการเปลี่ยนแปลงสถานะ kJg^{-1}

2.2.2 ระบบหมุนเวียนอากาศ และแลกเปลี่ยนอากาศ

ในระบบปรับอากาศส่วนสำคัญในการทำให้การควบคุมอุณหภูมิของระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ระบบหมุนเวียนอากาศ หากระบบหมุนเวียนอากาศที่ออกแบบและติดตั้งไม่ถูกต้อง อาจทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานหรือคุณภาพของอากาศที่ไม่เป็นตามต้องการ ระบบหมุนเวียนอากาศที่ใช้กันมีอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ แบบมีท่อส่งลม และแบบไม่มีท่อส่งลม

ระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสำหรับระบบปรับอากาศแบบไม่มีท่อส่งลม ระบบนี้จะอยู่ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) หรือติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศโดยอากาศภายในพื้นที่จะถูกพัดลมดูดหมุนเวียนมายังแผงคอยล์เย็น แล้วส่งกลับไปยังห้องปรับอากาศอีกครั้ง ส่วนการระบายอากาศเพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศภายในจะใช้พัดลมดูดระบายอากาศออกไปทิ้งยังนอกห้อง และมีการเติมอากาศใหม่โดยอาศัยการแทรกซึมของอากาศตามจุดต่าง ๆ เช่น ขอบประตู หน้าต่าง หรือการเปิด-ปิดประตู

ระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสำหรับระบบปรับอากาศแบบมีท่อส่งลม ระบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องส่งลมเย็นและระบบท่อส่งลมเย็น โดยอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศจะถูกพัดลมดูดหมุนเวียนมายังแผงคอยล์เย็นของเครื่องส่งลมเย็นผ่านทางท่อลมในขณะเดียวกันอากาศหมุนเวียนจะมีการเติมอากาศใหม่จากภายนอกมาผสมเข้าไปบางส่วนเพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศ แล้วส่งกลับไปยังห้องปรับอากาศ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบมีท่อลม. จาก ASHRAE, 2005b, p.27.2.

2.2.3 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Coefficient of Performance - COP) เป็นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปต่อปริมาณพลังงานของระบบโดยรวมที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนดังกล่าว มีหน่วยของพลังงานเป็นหน่วยเดียวกัน (watt/watt) (ASHRAE, 1993)

$$\text{COP} = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่สามารถดึงออก}}{\text{พลังงานที่ต้องการเพื่อดึงความร้อนออก}} \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

Energy Input Ratio (Energy Efficient Ratio: EIR) ส่วนกลับของ COP

$$\text{EIR} = \frac{\text{พลังงานที่ต้องการเพื่อดึงความร้อนออก}}{\text{พลังงานความร้อนที่เครื่องสามารถดึงออก}} \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

Energy Efficiency Ratio (EER) อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อทำความเย็น มีหน่วยในการเปรียบเทียบที่ต่างกัน (Btu/h/watt) (ASHRAE, 1993)

$$\text{EER} = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็น}}{\text{พลังงานที่ใช้}} \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

ตารางที่ 2.3

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศกับค่า EER

เบอร์	EER
1	6.6-7.6
2	7.6-8.6
3	8.6-9.6
4	9.6-10.6
5	10.6 ขึ้นไป

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อภาระทำความเย็นในระบบปรับอากาศ

การออกแบบอาคารประหยัดพลังงานจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดพลังงาน ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสามารถแบ่งออกเป็นปัจจัยภายนอกอาคาร ได้แก่ สภาพอากาศภายนอกอาคาร เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ ความเร็วลม รังสีอาทิตย์ ความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกรอบอาคาร การรั่วซึมของอากาศ การระบายอากาศ ส่วนปัจจัยภายในอาคาร ได้แก่ ความร้อนจากหลอดไฟ ความร้อนจากอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ความร้อนจากผู้ใช้งานในอาคาร

2.3.1 ปัจจัยภายนอก (External load)

อุณหภูมิอากาศ (Temperature) สามารถแบ่งเป็น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (air temperature หรือ dry-bulb temperature) อุณหภูมิกระเปาะแห้งสามารถวัดได้โดยการอ่านด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถวัดและอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าหรือสำลีชุบน้ำหุ้มอยู่ที่กระเปาะ ซึ่งอุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ เนื่องจากระบบปรับอากาศจะทำหน้าที่ในการปรับอุณหภูมิให้ตรงตามที่กำหนดไว้ อุณหภูมิอากาศเป็นความร้อนสัมผัส กระบวนการในการลดความร้อนสัมผัสภายในห้องส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552)

ความชื้นของอากาศ (Air humidity) ความชื้นในอากาศสามารถแบ่งเป็น ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity) คือ อัตราส่วนความหนาแน่นของไอน้ำต่อปริมาตรของอากาศ ณ เวลาหนึ่ง ๆ โดยความชื้นสัมบูรณ์มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ณ เวลาหนึ่ง ๆ ต่อปริมาตร

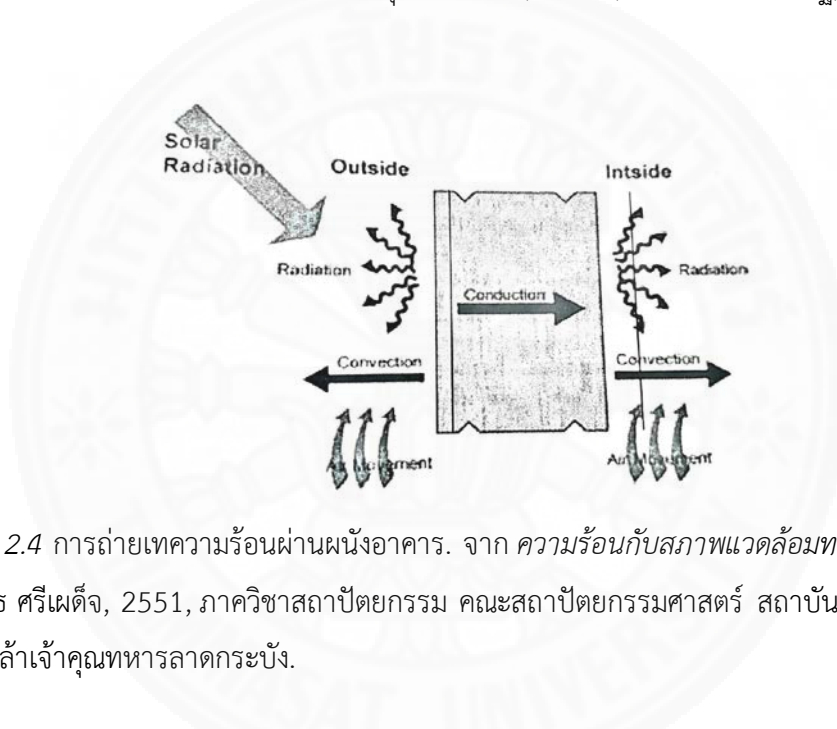
ไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ (100 %) ที่อุณหภูมินั้น หากอากาศในขณะนั้นมีปริมาณไอน้ำเท่ากับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้อากาศจะเกิดการควบแน่น (condensation) กลายเป็นหยดน้ำ โดยความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) (อวีรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552) อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีความสัมพันธ์กับความชื้น สามารถดูดซับความชื้นได้แตกต่างกัน อุณหภูมิอากาศที่สูงสามารถดูดซับความชื้นได้มาก ประเทศไทยเป็นประเทศร้อนชื้น การที่ระบบปรับอากาศนำอากาศจากภายนอกมาหมุนเวียนทำให้ความชื้นมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการลดความชื้นออกจากอากาศมากกว่าการลดอุณหภูมิของอากาศ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

ลม (Wind) ความเร็วลมภายนอกอาคารส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่รู้สึกได้ของผู้ใช้งานอาคาร การเคลื่อนที่ของลมมาจากความแตกต่างของความกดอากาศ หรือความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้ง 2 พื้นที่ ความกดอากาศเป็นผลมาจากอุณหภูมิ บริเวณที่ความกดอากาศต่ำเป็นบริเวณที่อากาศเบาบาง เป็นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่วนบริเวณที่ความกดอากาศสูงคืออากาศมีความหนาแน่นมากอากาศจะลอยตัวต่ำ ความกดอากาศสูงจึงมีอุณหภูมิต่ำ ลม หรืออากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพาความร้อน (Convection) ซึ่งมีผลต่ออาคาร (อวีรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552)

รังสีอาทิตย์ (Solar radiation) พลังงานที่เกิดจากดวงอาทิตย์แผ่ออกสู่อากาศในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีการเปลี่ยนพลังงานระดับโมเลกุลของสสารเป็นรังสีความร้อน โดยพลังงานที่แผ่ออกมาจะมีระดับและปริมาณขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่อรังสีความร้อนถูกสสาร เช่น วัสดุอาคาร รังสีความร้อนจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน เกิดเป็นการถ่ายเทความร้อน ดังนั้น วัสดุต่าง ๆ จะมีสมบัติเชิงรังสีของวัสดุ (Radiative properties of material) ได้แก่ ผิวการกระจายรังสี สมบูรณ์ (perfect diffuse surface) สภาพการแผ่รังสี (Emissivity) สภาพการดูดกลืนรังสี (Absorptivity) สภาพการสะท้อนรังสี (Absorptivity) สภาพการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) รังสีที่มีการตกกระทบบนวัตถุ รังสีบางส่วนจะถูกสะท้อน บางส่วนจะถูกดูดกลืน ส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่าน เกิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณพื้นผิวของวัตถุ (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

การถ่ายเทความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคาร (ภาพที่ 2.4) ความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกรอบอาคารมีผลต่อมีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานอาคาร **ระบบเปลือกอาคาร (Building envelope)** หมายถึงทุกส่วนของอาคารที่สัมผัสกับสภาพอากาศภายนอกอาคาร สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ วัสดุทึบแสง (Opaque) และวัสดุโปร่งแสง (Transparent) (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

การออกแบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอาคาร การถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) (พรรณฉวีรา ทิศวิภาต ศรีสุธาพรรณ และอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2556) เปลือกอาคารที่เป็นผนัง (Wall) วางตัวทางตั้งสามารถแบ่งออกเป็นผนังที่เป็นวัสดุทึบ และวัสดุโปร่ง ผนังที่เป็นวัสดุทึบจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) มีค่าต่ำช่วยลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ากรอบของอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร ผนังที่เป็นวัสดุโปร่งแสงอย่างกระจก รับเอารังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar radiation) เข้ามาในปริมาณที่มากและควบคุมได้ยาก ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารค่อนข้างมาก (ชัยยุทธ ศรีเผด็จ, 2542), (รวีช ครอบประเสริฐ, 2550)



ภาพที่ 2.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. จาก ความร้อนกับสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิจ, โดยชัยยุทธ ศรีเผด็จ, 2551, ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

คุณสมบัติวัสดุที่พิจารณาเกี่ยวกับความร้อน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของผนังและหลังคา ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนคือส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่าน กระจกหรือผนังโปร่งแสง

การระบายอากาศ (Ventilation) การนำอากาศภายนอกที่เป็นอากาศบริสุทธิ์ที่ดีกว่าเข้ามาแลกเปลี่ยนกับพื้นที่ภายใน เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานที่อยู่ในห้องปรับอากาศ การเติมอากาศภายนอกเข้ามาเป็นการเติมออกซิเจนในห้องเพื่อชดเชยจากการหายใจของผู้ใช้งาน และเพื่อใช้ในการเจือจางสิ่งสกปรกต่าง ๆ

ภายในห้อง ในการปรับอากาศ การนำเอาอากาศจากภายนอกที่บริสุทธิ์เข้ามาระบายและดูดอากาศเสียจากภายในออกไป พบว่าอากาศภายนอกที่นำเข้ามาจะมีอุณหภูมิและความชื้นที่สูงกว่าพื้นที่ภายในที่มีการปรับอากาศ การระบายอากาศด้วยการปรับอากาศขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของคน กลิ่น และความชื้น อัตราการระบายอากาศ ความต้องการอากาศบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับประเภทของพื้นที่ จำนวนคน และการทำงานในห้องนั้น ๆ

อัตราการระบายอากาศมีหน่วยเป็น $m^3h^{-1}คน^{-1}$ หรือจำนวนการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change) ต่อชั่วโมง

ACH/h = อัตราการระบายอากาศใน 1 ชั่วโมง/ปริมาตรห้อง

$$ACH/h = \frac{Q_i \times 3600}{V}$$

(สมการที่ 2.7)

คำนวณอัตราการระบายอากาศโดยการออกแบบช่องเปิด

$$Q_i = EA v$$

(สมการที่ 2.8)

เมื่อ Q_i = อัตราการระบายอากาศ (ลูกบาศก์เมตร ต่อวินาที)

E = effective of opening เป็นค่าปรับแก้

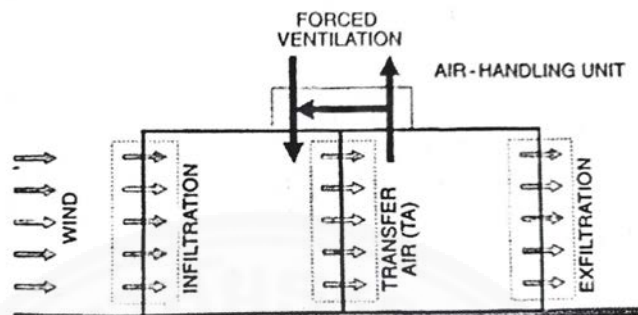
Door, Window; $E = 0.46$ / Louver, Fin; $E = 0.23$ / Jack roof; $E = 0.21$

A = พื้นที่ช่องเปิดทางเข้า (ตารางเมตร)

v = ความเร็วลมช่องเปิดทางลมเข้า (เมตรต่อวินาที)

การรั่วซึมของอากาศ (Air infiltration) อากาศภายนอกที่รั่วซึมเข้ามาภายในบ้านจะเพิ่มภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานถึง 25-40% ซึ่งการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่ภายในอาคารนั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศโดยเฉพาะสภาพลมและ Microclimates รอบอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, มกป) การไหลของอากาศภายนอกเข้ามายังภายในอาคารผ่านรอยต่อ หรือช่องเปิด โดยไม่สามารถควบคุมได้ สามารถผ่านทางการใช้งานประตูภายนอกอาคาร ส่วนการไหลของอากาศจากภายในออกไปภายนอกอาคารผ่านช่องเปิดที่มีลักษณะแบบเดียวกัน เป็นการรั่วซึมของอากาศในทิศทางกลับกัน (Exfiltration) การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และการรั่วซึมของอากาศในส่วนของเข้าและออกจากอาคารเกิดจากความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนการถ่ายเทอากาศคือการที่อากาศ

เคลื่อนที่จากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งภายในอาคาร (ปาริณี ศรีสุวรรณ, 2554) ความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศสามารถเป็นได้ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 การรั่วซึมของอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศ. จาก *ASHRAE handbook. Fundamentals*, โดย American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005.

การประเมินการรั่วซึมของอากาศในงานวิจัย คุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงเมื่อมีการใช้ระบบเติมอากาศภายนอก (ปาริณี ศรีสุวรรณ, 2554) สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการรั่วซึมอากาศ อัตราการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมดตามสมการที่ 2.9

$$AL_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n CL_i \times AL_i}{\sum_{i=1}^n CL_i}$$

(สมการที่ 2.9)

เมื่อ AL_{avg} = อัตราการรั่วซึมอากาศเฉลี่ย (ลิตรต่อวินาทีต่อเมตร)

CL_i = ความยาวของเส้นรอยรั่วของหน้าต่างหรือบานประตูที่ i (เมตร)

AL_i = อัตราการรั่วซึมอากาศของหน้าต่างหรือบานประตูที่ i (ลิตรต่อวินาทีต่อเมตร)

สมการที่ 2.10 แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศให้เป็นอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ

$$ACH = \frac{3.6Q_i}{V}$$

(สมการที่ 2.10)

เมื่อ Q_i = อัตราการรั่วซึมอากาศ (ลิตรต่อวินาที)

ACH = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ปริมาตรต่อชั่วโมง)

V = ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

2.3.2 ปัจจัยภายใน (Internal Load)

ความร้อนจากหลอดไฟ ความร้อนที่เกิดจากการใช้แสงสว่างในพื้นที่นั้น ๆ ความร้อนนี้เป็นความร้อนสัมผัส เป็นความร้อนที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ให้กับหลอดไฟ รวมถึงที่ใช้กับบัลลาสต์

ความร้อนจากอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นความร้อนจากอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องปรับอากาศ เช่น เครื่องใช้สำนักงานอย่างเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร อุปกรณ์ในห้องทดลอง ความร้อนจากอุปกรณ์เป็นได้ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์ (สภาวิศวกร, มกป)

ความร้อนจากผู้ใช้งานในอาคาร ที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศ มีกลไกของร่างกายในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อมเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ในขณะที่ผู้ใช้งานทำกิจกรรมต่าง ๆ ร่างกายจะมีกระบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolic) เพื่อให้ได้พลังงานในการทำกิจกรรมนั้น ๆ กระบวนการเผาผลาญอาหารทำให้เกิดความร้อนในร่างกาย ร่างกายจะมีกลไกการระบายความร้อนได้ 2 ทาง คือ การระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิร่างกายและอากาศรอบ ๆ เป็นความร้อนสัมผัส และการระบายความร้อนด้วยการระเหยของเหงื่อสู่อากาศรอบ ๆ ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนสถานะของน้ำที่ผิวหนังไปเป็นอากาศ ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เป็นความร้อนแฝง (สภาวิศวกร, มกป)

2.4 สภาพอากาศภายนอกอาคารกับการใช้พลังงาน

สภาพอากาศจะมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับภูมิภาค สิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น ซึ่งเป็นผลมาจากหลายปัจจัยทั้งความกดอากาศ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ จะทำให้แต่ละพื้นที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน การแบ่งสภาพภูมิอากาศจากขนาดของพื้นที่ที่สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ สภาพภูมิอากาศมหภาค (Macroclimate) คือ สภาพอากาศขนาดใหญ่ระดับภูมิภาค ส่วนสภาพภูมิอากาศระดับจุลภาค (Microclimate) คือ สภาพอากาศของพื้นที่ขนาดเล็ก เป็นส่วนหนึ่งของสภาพภูมิอากาศขนาดใหญ่ โดย โดยสภาพอากาศระดับจุลภาคจะมีผลกระทบต่ออาคารโดยตรง (อวีรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2552)

พื้นที่สีเขียว (Green space) คือพื้นที่กลางแจ้งกึ่งกลางแจ้งที่ถูกปกคลุมด้วยพืช เป็นพื้นที่ที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ พื้นที่สีเขียวจะปกคลุมด้วยหญ้า ไม้ยืนต้น หรือพืชชนิดอื่น ๆ พื้นที่สีเขียว

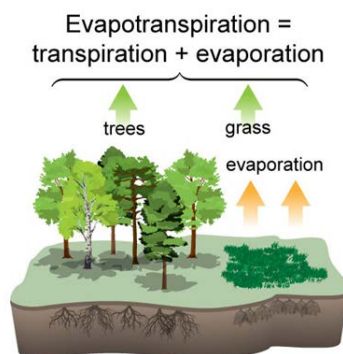
ในบริบทเมืองหรือนอกเมืองอาจจะอยู่ในรูปของสวนสาธารณะ พื้นที่สีเขียวคือสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารที่เป็นผลกระทบต่อสภาพอากาศระดับจุลภาค (Microclimate) พื้นที่สีเขียวสามารถลดอุณหภูมิโดยรอบของพื้นที่

2.4.1 อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อสภาพอากาศ

พื้นที่สีเขียวโดยเฉพาะต้นไม้มีอิทธิพลในการช่วยให้อุณหภูมิอากาศบริเวณโดยรอบลดลงได้จากการสร้างร่มเงา รวมถึงกระบวนการคายน้ำของพืช

พื้นที่สีเขียวสามารถสร้างร่มเงาได้ โดยเฉพาะไม้ยืนต้น ร่มเงาจากต้นไม้สามารถช่วยให้อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวลดลงโดยการลดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เข้ามาบริเวณอาคาร ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้ โดยตำแหน่งที่วางต้นไม้มีความสำคัญต่อการสร้างร่มเงาให้กับตัวอาคาร งานวิจัยผลกระทบของร่มเงาต้นไม้ต่อการวางผังเมืองในภูมิภาคอากาศร้อนแห้ง (Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions) (V.M.Gómez-Muñoz, 2009) ลักษณะภูมิอากาศที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มากเกินไปตลอดทั้งปี ผลของเงาต้นไม้ที่มีต่ออาคารช่วยลดภาระทางความร้อน ต้นไม้จึงมีผลประโยชน์ในสาขาเศรษฐศาสตร์พลังงาน ผลการทดลองในงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าต้นไม้ใหญ่สามารถให้ร่มเงาได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง จึงช่วยประหยัดพลังงานได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นมูลค่าทางเศรษฐกิจของต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่จึงมีมากกว่าสายพันธุ์ที่มีอายุน้อยกว่า จากงานวิจัย คุณค่าของร่มเงา การประเมินผลกระทบของต้นไม้ในเมืองต่อการใช้ไฟฟ้าในฤดูร้อน (The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use) (Geoffrey H. Donovan, 2009) กรณีศึกษาเป็นบ้านครอบครัวเดี่ยว 460 แห่ง ในเซคราเมนโต แคลิฟอร์เนีย ผลการศึกษาตำแหน่งของต้นไม้ทางด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ของบ้านลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงฤดูร้อน 185 kWh (5.2%) ในขณะที่ต้นไม้ทางทิศเหนือของบ้านจะเพิ่มการใช้ไฟฟ้า 55 kWh (1.5%) ในฤดูร้อน ดังนั้นจากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น ตำแหน่ง ทิศทางการวางต้นไม้รอบอาคารมีความสัมพันธ์กับร่มเงาที่เกิดขึ้น และส่งผลต่อการใช้พลังงานอาคาร

พื้นที่สีเขียวที่ประกอบด้วยพืชต่าง ๆ มีกระบวนการและความสามารถในการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration-ET: transpiration and evaporation) การระเหยของน้ำที่เกิดขึ้นมีผลต่ออากาศโดยรอบ ช่วยให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิลดลง (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 การคายน้ำและการระเหยน้ำ (Evapotranspiration). จาก *What is an Urban Heat Island*, โดย Amber Pariona, 2019, Climate Kids, สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2562 จาก <https://climatekids.nasa.gov/heat-islands/>

2.4.2 ผลกระทบของพื้นที่สีเขียวต่ออุณหภูมิอากาศ

พืชมีอิทธิพลในการช่วยให้พื้นที่เปิดโล่งภายนอกอาคารมีอุณหภูมิที่เย็นลง การเพิ่มพื้นที่ปกคลุมด้วยต้นไม้จาก 25 เปอร์เซ็นต์ เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ในสวนสาธารณะบริเวณพื้นที่ชายฝั่งของฮ่องกงสามารถลดความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองในตอนกลางวันอีก 5 °C (Giridharan, R., 2008) ผลกระทบของพื้นที่สีเขียวที่มีต่ออุณหภูมิอากาศ พื้นที่สีเขียวในเมืองเช่นสวนสาธารณะ และต้นไม้ สามารถทำให้สภาพแวดล้อมเย็นลงอย่างน้อยก็ระดับท้องถิ่น โดยเฉลี่ยแล้วสวนสาธารณะในเมืองจะเย็นกว่าประมาณ 1 °C เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่สีเขียว (non-green site) (Diana E. Bowler, 2010) ผลกระทบของพื้นที่สีเขียวของเมืองการ์ตาเฮียในประเทศแอลจีเรียมีลักษณะภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน นิยมปลูกต้นปาล์มรอบบ้าน จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่กลางแจ้งที่มีการปลูกต้นปาล์มอุณหภูมิลดลง 5 °C ถึง 10 °C เมื่อเปรียบเทียบกับสถานที่อื่น ๆ การดำรงอยู่ของต้นปาล์มรอบบ้านจะส่งผลที่ดีต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคโดยรอบบ้าน ช่วยป้องกันลมร้อน และทรายจากทะเลทราย (Hamida bencheikh, 2012)

2.4.3 ผลกระทบของเกาะความร้อนในเมืองต่อการใช้พลังงาน

การศึกษาวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกต่อการใช้พลังงานพบได้มากในการศึกษาเรื่องเกาะความร้อนเมือง อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างเขตเมืองและนอกเมืองเป็นที่มาของทฤษฎีเกาะความร้อนเมือง (Urban heat Island) มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานอาคาร สภาพอากาศและอุณหภูมิที่แตกต่างกันเกี่ยวข้องกับพื้นผิวของบริบทเมืองในแต่ละสภาพแวดล้อมที่ดูดซับและกักเก็บความร้อนได้ดี การพัฒนาพื้นที่เมืองส่งผลให้พื้นที่สีเขียวที่ทำหน้าที่ในการคายน้ำและการระเหยน้ำลดน้อยลง (Amber Pariona, 2019)

รายงานผลกระทบของเกาะความร้อนเมืองแสดงให้เห็นความแปรปรวนระหว่างเมืองพร้อมกับการเพิ่มการใช้พลังงานการทำความเย็น (cooling energy consumption) จาก 10 เพอร์เซ็นต์ เป็น 120 เพอร์เซ็นต์ และลดการใช้พลังงานความร้อน (heating energy consumption) จาก 3 เพอร์เซ็นต์ เป็น 45 เพอร์เซ็นต์ (Xiaoma Li, 2019) ความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองที่มากขึ้นในหลายพื้นที่ก่อให้เกิดอุณหภูมิในเขตเมืองที่สูงขึ้นนำไปสู่การเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ พลังงานการใช้ไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศคือ 30 เพอร์เซ็นต์ – 50 เพอร์เซ็นต์ ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงฤดูร้อนของเมืองใหญ่ (Canbing Li, 2010) จากงานวิจัยได้สำรวจความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบาร์เซโลนา (สเปน) เมืองชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ที่หนาแน่นและมีผลกระทบต่อความต้องการระบายความร้อนของอาคารที่พักอาศัย จากข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีอากาศในเมืองและนอกเมืองและการวัดภาคสนามบริเวณถนน ในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันถึง 4.3°C การจำลองด้วย Energy Plus บ่งชี้ว่าความเข้มข้นเกาะความร้อนเมืองจะเพิ่มภาระทำความเย็น (sensible cooling load) ของอาคารที่พักอาศัยประมาณ 18 เพอร์เซ็นต์ถึง 28 เพอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง (UHI intensity) ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ (amount of solar gains) และอุณหภูมิการทำความเย็น (cooling set point) (Agnese Salvati, 2017)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศระดับจุลภาค ผลของตัวแปรสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม รังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต ส่งผลอย่างไรต่อความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานของห้องเรียน ผู้ทำวิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งงานวิจัยออกเป็น พื้นที่สีเขียวกับการประหยัดพลังงาน ระบบปรับอากาศ ดังนี้

2.5.1 พื้นที่สีเขียวกับการประหยัดพลังงาน

จากงานวิจัย อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว (พิชามญชุ์ ลิ้มทองอิน, 2559) งานวิจัยเป็นการศึกษาอิทธิพลและเปรียบเทียบการจัดพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวที่จะส่งสภาพอากาศระดับจุลภาคและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว เสนอเป็นแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมเพื่อการประหยัดพลังงาน วิเคราะห์สภาพอากาศโดยการใช้

โปรแกรม ENVI-met V4 และวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม eQUEST 3.65 จากการจำลองสภาพระดับจุลภาคบริเวณรอบบ้านเดี่ยวในกรณีศึกษา ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมประกอบด้วย พื้นที่สีเขียวทั้งตำแหน่งและปริมาณของต้นไม้ วัสดุปกคลุมผิวพื้นที่เป็นไม้คลุมดินและกระเบื้องเซรามิก ส่วนของสีของผนังสีอ่อนและสีเข้มมีอิทธิพลต่อสภาพอากาศระดับจุลภาคกรณีศึกษาที่มีสภาพแวดล้อมเป็นไม้ยืนต้นรอบบ้าน 3 ต้น มีไม้ปกคลุมดินรวมถึงใช้ผนังสีอ่อนสามารถลดอุณหภูมิอากาศและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่อปริมาณการใช้พลังงานพบว่าไม้ยืนต้น 3 ต้นที่ปลูกรอบบ้านเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้การใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนวัสดุปกคลุมผิว มีผลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด

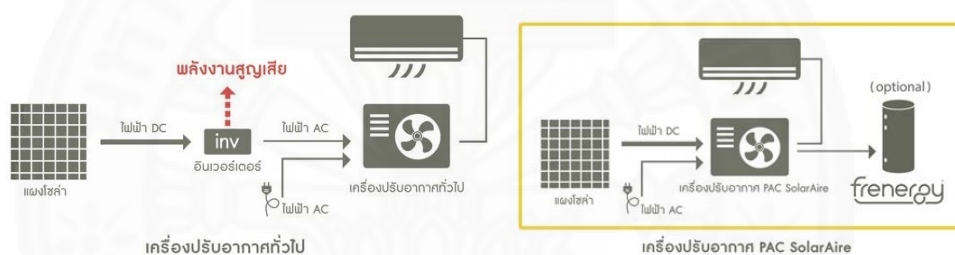
ผลกระทบของร่มเงาและการระเหยของต้นไม้ต่อการใช้พลังงานทำความเย็นของอาคาร (Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use) (Chun-Ming Hsieh, 2018) การใช้พลังงานความเย็นของอาคารเป็นประเด็นที่สำคัญในการวิจัยอาคาร เนื่องจากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการใช้พลังงานทางตรงทั้งหมดในเขตเมืองในปัจจุบัน การสร้างพื้นที่สีเขียวในเมืองเป็นมาตรการตอบโต้ที่มีประสิทธิภาพในการลดภาระการทำความเย็นของอาคาร เป้าหมายหลักของคือประเมินผลกระทบของเงาและการคายน้ำของต้นไม้ต่อการสร้างภาระทำความเย็น งานวิจัยนี้ศึกษาผลการทำความเย็นของต้นไม้รอบ ๆ อาคารและอิทธิพลของลักษณะต้นไม้ที่มีต่อการลดภาระการทำความเย็นเป็นการวัดเชิงปริมาณโดยใช้การวัดภาคสนามของลักษณะภูมิอากาศระดับจุลภาค และลักษณะของต้นไม้ เข้ากับแบบจำลอง Energy Plus การใช้พลังงานในอาคาร ผลกระทบของการระบายความร้อนของต้นไม้เนื่องจากเงาและการคายน้ำ สถานการณ์ที่ศึกษา 4 สถานการณ์ พัฒนาระบบพื้นฐานลักษณะต้นไม้ที่แตกต่างกันสำหรับการวัดอิทธิพลของต้นไม้ต่อการประหยัดพลังงานของอาคาร สถานการณ์ที่ 1 สภาพที่ไม่มีต้นไม้ สถานการณ์ที่ 2 สภาพต้นไม้ที่มีอยู่แล้วในกรณีศึกษาของเมืองหนานจิง สถานการณ์ที่ 3 มีเงาจากต้นไม้มากขึ้น สถานการณ์ที่ 4 การคายน้ำมากขึ้นของต้นไม้ ผลการจำลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเทียบสถานการณ์ที่ 1 ที่ไม่มีต้นไม้ และสถานการณ์ที่ 2 ที่เป็นต้นไม้เดิม สถานการณ์ที่ 2 สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ถึง 10.3 เปอร์เซ็นต์ สถานการณ์ที่ 3 ที่มีเงาจากต้นไม้มากขึ้น และสถานการณ์ที่ 4 ที่มีการคายน้ำมากขึ้น สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ 15.2 เปอร์เซ็นต์ และ 12.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับสถานการณ์ที่ 1

งานวิจัยศึกษาอาคารที่พักอาศัยประเภทอาคารสูงในเมือง การประเมินความร้อนและพลังงานของวัสดุรอบอาคารที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่เหนือหลังคาต้นไม้และด้านล่างหลังคาต้นไม้ (On high-rise residential buildings in an oasis-city: Thermal and energy assessment of different envelope materiality above and below tree canopy) (Julieta Balter, 2016)

เมืองที่ศึกษาคือเมืองเมนโดซา อาร์เจนตินา ตั้งอยู่ในพื้นที่กึ่งทะเลทรายและแห้งแล้ง บทความนี้ นำเสนอการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความสัมพันธ์กับความสบายในอาคารที่พักอาศัยสูงในเมืองที่มีลักษณะเป็นโอเอซิส ศึกษาประเด็นของกรอบอาคารและความสัมพันธ์กับความสบายภายใน โดยกำหนดกรอบอาคารเป็น 2 ประเภท อาคารมีลักษณะกรอบอาคารที่ดูทึบและโปร่งเบา และจากการที่กรอบอาคารสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันระหว่างตำแหน่งที่อยู่ใต้ต้นไม้และตำแหน่งที่อยู่เหนือต้นไม้ มีวัตถุประสงค์คือ 1) การวิเคราะห์สถานการณ์การใช้งานจริงของอพาร์ทเมนต์ชั้นต่าง ๆ (ด้านบนและด้านล่างของยอดไม้) ที่มีความแตกต่างของวัสดุกรอบอาคาร (กรอบอาคารที่หนาทึบและโปร่งบาง) โดยกำหนดให้อพาร์ทเมนต์ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง 2) พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ Energy Plus เทียบกับผลลัพธ์ของการวัดความร้อนจริงและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 3) จำลองพฤติกรรมทางความร้อนโดยไม่รวมพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัย วิเคราะห์ความแตกต่างของความร้อนที่เกี่ยวกับตำแหน่งความสูงของหน่วยอยู่อาศัย ผลกระทบของป่าไม้และอิทธิพลของกรอบอาคาร การประเมินผลลัพธ์ การเปรียบเทียบความร้อนตามความสูง หน่วยที่อยู่อาศัยใต้หลังคาต้นไม้มีสภาพทางความร้อนและพลังงานที่ดีกว่า ในฤดูร้อนอพาร์ทเมนต์ที่ตั้งอยู่ในฐานของอาคารจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าและอยู่ในช่วงที่สบาย สำหรับฤดูหนาวอพาร์ทเมนต์ด้านล่างหลังคาต้นไม้มีอากาศอุ่นกว่าเนื่องจากลดการสูญเสียความร้อนในตอนกลางคืน ส่วนของอาคารที่อยู่เหนือเรือนยอดต้นไม้ได้รับแสงแดดมากขึ้น และสัมพันธ์กับสภาพอากาศภายนอกที่รุนแรงมากขึ้น (การแผ่รังสีที่สูงและความเร็วลมที่สูงกว่า) มีปริมาณการใช้ HVAC มากขึ้น การเปรียบเทียบความร้อนตามวัสดุ ในฤดูร้อนอาคารที่มีความหนาทึบจะมีสภาพทางความร้อนและพลังงานที่ดีกว่าเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุกรอบอาคาร กรอบอาคารแบบโปร่งเบาที่ทำการวิเคราะห์ (เสาคอนกรีตปกคลุมด้วยกระจกลามิเนตหนา 6 มิลลิเมตร) มีพื้นที่ผิวที่โปร่ง 72 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูหนาวมีสภาพทางความร้อนที่มากกว่าอาคารที่ทึบ เนื่องจากกรอบอาคารที่โปร่งส่งผลให้ได้รับความร้อนตลอดทั้งวันทำให้ในตอนกลางคืนความร้อนถูกดูดซับไว้ในผนัง เกี่ยวกับความต้องการพลังงานสามารถแบ่งเป็น 2 แนวคิด ประการแรกรูปแบบของวัสดุกรอบอาคารและความสูงเมื่อความต้องการด้านอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้องการ HVAC ลดลง ประการที่สอง ผลลัพธ์สัมพันธ์กับอุณหภูมิภายใน จากสถานการณ์จำลองพลังงานในฤดูร้อน อาคารที่โปร่งต้องการพลังงานมากในการสร้างความเย็นในฤดูร้อน ส่วนในฤดูหนาว อาคารที่มีความหนาและทึบต้องให้พลังงานที่มากในการสร้างความร้อน ผลลัพธ์จะแตกต่างกันไปตามความสูง จะเห็นได้ว่าความต้องการอพาร์ทเมนต์ที่สูงและการใช้พลังงานที่น้อย อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานก็ต้องการความสบายทางอุณหภูมิโดยการใช้ HVAC กรอบอาคารจึงมีความสำคัญกว่าความสูงของอพาร์ทเมนต์

2.5.2 ระบบปรับอากาศ

การพัฒนา ระบบปรับอากาศที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตภัณฑ์ PAC SolarAire เครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกส่วน ใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงลดการสูญเสียพลังงานจากตัวแปลงไฟสลับระบบไฟฟ้าได้อัตโนมัติ PAC SolarAire ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด โดยไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์สามารถนำมาต่อเข้ากับเครื่องได้โดยตรง โดยไม่ต้องแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อน สามารถลดพลังงาน ลดการสูญเสียของกระแสไฟฟ้าในตัวแปลงไฟได้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรวมกับการใช้คอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถลดขนาดของโซลาร์เซลล์ลงได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องปรับอากาศยังสามารถนำไฟฟ้ากระแสสลับจากบ้านมาใช้ได้อัตโนมัติ (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 การทำงานของ PAC SolarAire เปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศทั่วไป. จาก PAC SolarAire ทำงานอย่างไร, โดย PAC regenerating energy, 2016, สืบค้นเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2562 จาก <http://www.pac.co.th/product-overview/pac-solaire/>

2.6 อาคารสถานศึกษา

กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธี ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 หากมีการก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร ที่มีขนาดพื้นที่ชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคารประเภทสถานศึกษามีข้อกำหนดไว้ดังตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 การระบายอากาศของสถานศึกษาตาม ASHRAE Standard 62.1

ตารางที่ 2.4

แสดงการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายกระทรวง ประเภทอาคารสถานศึกษา

มาตรการ	ข้อกำหนด	
	ระบบปรับอากาศ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร OTTV
	50 วัตต์ต่อตารางเมตร	15 วัตต์ต่อตารางเมตร
ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด	14 วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน
ระบบปรับอากาศ	ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (วัตต์)	ค่าประสิทธิภาพพลังงาน COP (วัตต์ต่อวัตต์)
	ไม่เกิน 8,000 มากกว่า 8,000 แต่ไม่เกิน 12,000	3.22-4.10 3.22-4.10

หมายเหตุ. จาก กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

ตารางที่ 2.5

การระบายอากาศของสถานศึกษา (ASHRAE Standard 62.1-2013)

ประเภทการใช้งาน	People outdoor	Area outdoor	Default Values		Air Class
	Air rate	Air rate	Occupant Density	Combined outdoor Air rate	
	R _p	R _a	#/100 m ²	cfm/p	
	cfm/p	cfm/ft ²			
ห้องเรียนแบบบรรยาย	7.5	0.06	65	8	1
หอประชุมบรรยายขนาดใหญ่	7.5	0.06	150	8	1
ห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย	10	0.18	25	17	2
ห้องปฏิบัติการงานไม้/งานโลหะ	10	0.18	20	19	2
ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	10	0.12	25	15	1
ศูนย์สื่อสาร	10	0.12	25	15	1
ห้องประชุมเอนกประสงค์	7.5	0.06	100	8	1

หมายเหตุ. จาก การคำนวณปริมาณการระบายอากาศตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1, โดย ดุล มณีวัฒนา, (มกป.), สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562 จาก <http://tmn.co.th/data/documents/Calculations-of-Ventilation-Rate-According-to-ASHRAE-Standard-62-1.pdf>

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตจะมีผลต่อการใช้พลังงานในห้องเรียนที่ใช้ระบบปรับอากาศ ด้วยวิธีการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างการใช้พลังงานของห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต โดยได้แบ่งการดำเนินการวิจัย ดังนี้

- 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา
- 3.2 ห้องเรียนกรณีศึกษา
- 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.4 การดำเนินการวิจัย
- 3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 ตัวแปรต้น

1) ข้อมูลสภาพอากาศ

ข้อมูลสภาพอากาศจะทำการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตเป็นอุณหภูมิอากาศ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ของพื้นที่ศึกษา 2 จุด คือพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ลักษณะของพื้นที่สีเขียวที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือพื้นที่ที่มีร่มเงาจากต้นไม้ มีส่วนของพื้นดินที่เป็นพื้นที่รองรับน้ำ สามารถได้รับความชื้นที่มาจากต้นไม้และจากพื้นดินในบริเวณนั้น ส่วนพื้นที่คอนกรีต มีลักษณะเป็นพื้นที่ลาดแข็ง (Hard scape) เลือกลงเก็บข้อมูลสภาพอากาศบริเวณพื้นที่ลาดฟ้าของคณะฯ ไม่มีร่มเงาจากตัวอาคาร

การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม โดยในงานวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลในเดือนธันวาคม อุปกรณ์ที่ทำการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที นำข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีคิดค่าเฉลี่ยเป็นข้อมูลรายชั่วโมง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างไฟล์สภาพอากาศ (Weather file) สำหรับใช้ในการจำลองในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

2) วัสดุกรอบอาคาร

วัสดุกรอบอาคารแบ่งเป็นวัสดุทึบแสงและวัสดุโปร่งแสง วัสดุทึบแสงตัวแปรต้นที่ศึกษาคือผนังคอนกรีต ได้ปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร โดยการติดตั้งฉนวนบริเวณผนัง การลดความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารจะช่วยให้ลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากงานวิจัยแนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ประเภทอาคารที่มีการปรับอากาศและวัสดุผนังเดิมเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน การติดตั้งฉนวนโพนัม การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารมีความเหมาะสมมากกว่าการติดตั้งภายในอาคาร ในเรื่องระยะเวลาการคืนทุนและในด้านการลดปริมาณความร้อน การเลือกใช้ฉนวน 3 นิ้วมีความเหมาะสมที่สุด ฉนวนโพนัม 3 นิ้วภายนอกพร้อมกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ค่า R-Value อยู่ที่ $13.82 \text{ m}^2\text{C/W}$ (กัญจน์ พิเชษฐศิลป์, 2545)

วัสดุกรอบอาคารที่เป็นส่วนของวัสดุโปร่งแสง กรอบอาคารที่เป็นกระจกมีผลต่อการใช้พลังงาน กระจกมีส่วนสำคัญในการส่งผ่านความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกมีสูงถึง 5 ถึง 10 เท่า เมื่อเทียบกับผนังทึบ (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553)

3.1.2 ตัวแปรควบคุม

1) ลักษณะกายภาพของห้องเรียน

ลักษณะกายภาพ ขนาดของห้องเรียน และทิศทางการวางของห้องเรียน จะมีการควบคุมให้เหมือนกัน ในขั้นตอนวิจัยส่วนที่สอง อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงภายในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ข้อมูลของกรณีศึกษาที่ใช้อยู่ในข้อ 3.2 ห้องเรียนกรณีศึกษา

2) การรั่วซึมของอากาศ

การรั่วซึมของอากาศที่เข้ามาภายในห้องกรณีศึกษาจะมีการควบคุมให้มีค่าที่เท่ากัน เนื่องจากห้องเรียนเป็นห้องเรียนกรณีศึกษาใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ที่

มีระบบหมุนเวียนอากาศแบบไม่มีท่อส่งลม ระบบปรับอากาศจึงไม่มีการระบายอากาศด้วยวิธีการเติมอากาศจากภายนอกอาคารที่เป็นระบบปรับอากาศแบบมีท่อส่งลมในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ อากาศจากภายนอกจึงสามารถผ่านเข้ามาภายในพื้นที่ปรับอากาศได้โดยวิธีการรั่วซึมของอากาศ (Air Infiltration) ผ่านทางทางรอยต่อของกรอบอาคารและช่องเปิด รวมถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานในการเปิดปิดประตูหน้าต่าง การประเมินการรั่วซึมของอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การรั่วซึมของอากาศผ่านรอยต่อของประตูและหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศผ่านทาง การเปิด-ปิดประตูและหน้าต่าง การคำนวณและการตั้งค่าการรั่วซึมของอากาศแสดงอยู่ในข้อ 3.2 ห้องเรียนกรณีศึกษา

3) จำนวนผู้ใช้งาน

ปริมาณของผู้ใช้งานในพื้นที่มีผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารและมีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ได้กำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานและความร้อนจากการทำงานของกิจกรรมที่เท่ากัน

3.1.3 ตัวแปรตาม

1) พลังงานที่ใช้ในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นจากทั้งในห้องและภายนอกห้อง โดยการเปรียบเทียบกันระหว่างห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีต ทั้งในขั้นตอนการวิจัยส่วนที่สอง อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงภายในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

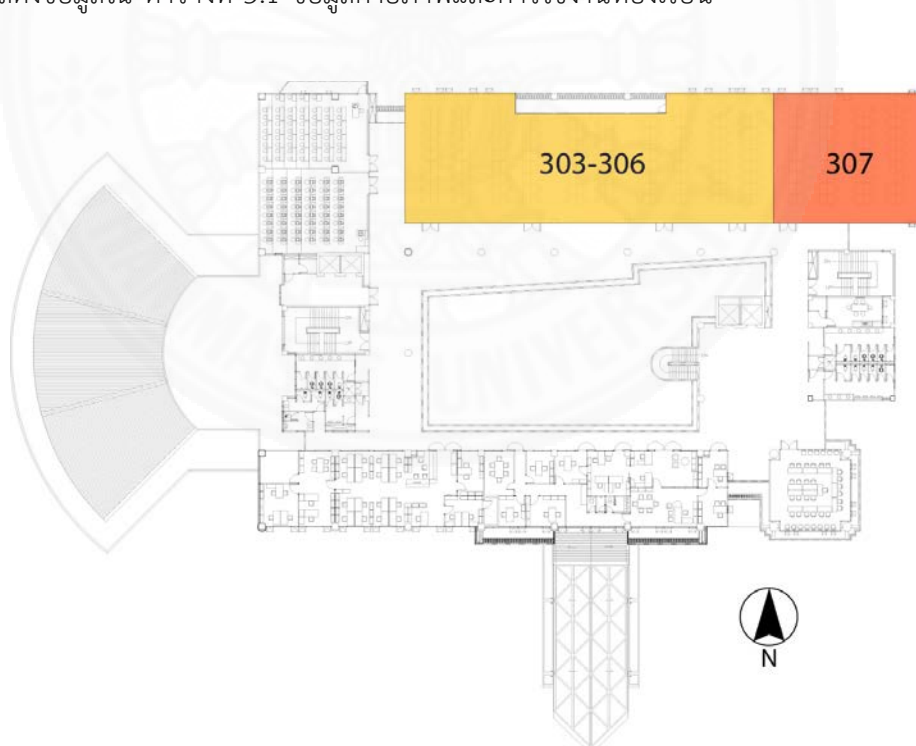
2) พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ โดยการเปรียบเทียบกันระหว่างห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีต ในขั้นตอนการวิจัยส่วนที่สาม เสนอ

แนวทางในการออกแบบห้องเรียนเพื่อการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

3.2 ห้องเรียนกรณีศึกษา

ห้องเรียนกรณีศึกษาเป็นห้องเรียนรูปแบบสตูดิโอ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วางตัวอยู่ทางทิศเหนือของอาคาร ห้องเรียนตั้งอยู่ที่ชั้น 3 ของอาคาร (ภาพที่ 3.1) ห้องเรียนมีการกันออกเป็น 2 ส่วน (ภาพที่ 3.2) ขนาดพื้นที่รวมประมาณ 780 ตารางเมตร ขนาดกว้าง 14.20 เมตร ความยาว 56.85 เมตร ส่วนที่ 1 (ภาพที่ 3.3) ตั้งแต่ห้อง สล. 303 ถึงห้อง สล. 306 กว้าง 14.20 เมตร ความยาว 40.35 เมตร ขนาดพื้นที่ 545.91 ตารางเมตร ส่วนที่ 2 (ภาพที่ 3.4) ห้อง สล. 307 กว้าง 14.20 เมตร ยาว 16.50 เมตร ขนาดพื้นที่ 234.3 ตารางเมตร เป็นห้องเรียนที่มีการใช้งานที่หลากหลาย สามารถใช้เป็นพื้นที่ทำงานของนักศึกษา ใช้เป็นพื้นที่ตรวจงานระหว่างอาจารย์และนักศึกษา หรือใช้เป็นพื้นที่นำเสนองาน สามารถรองรับนักศึกษาได้เป็นจำนวนมาก แสดงข้อมูลใน ตารางที่ 3.1 ข้อมูลกายภาพและการใช้งานห้องเรียน



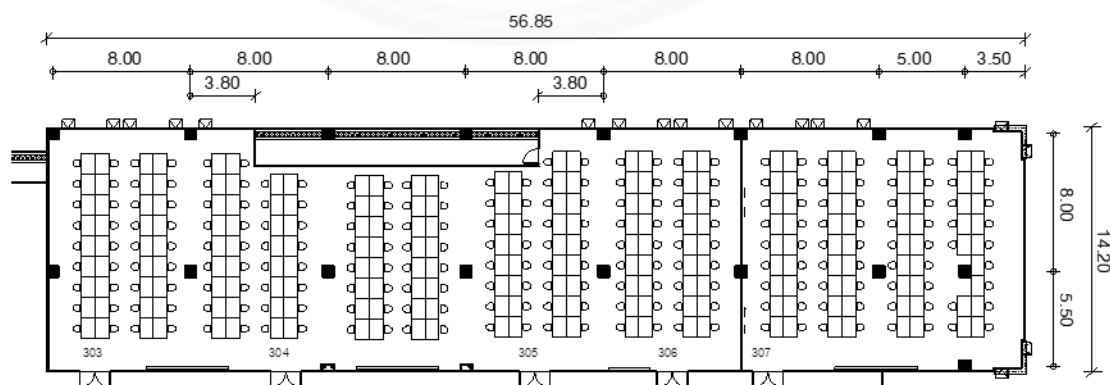
ภาพที่ 3.1 ตำแหน่งห้องเรียนกรณีศึกษาที่ตั้งอยู่บนอาคาร

ตารางที่ 3.1

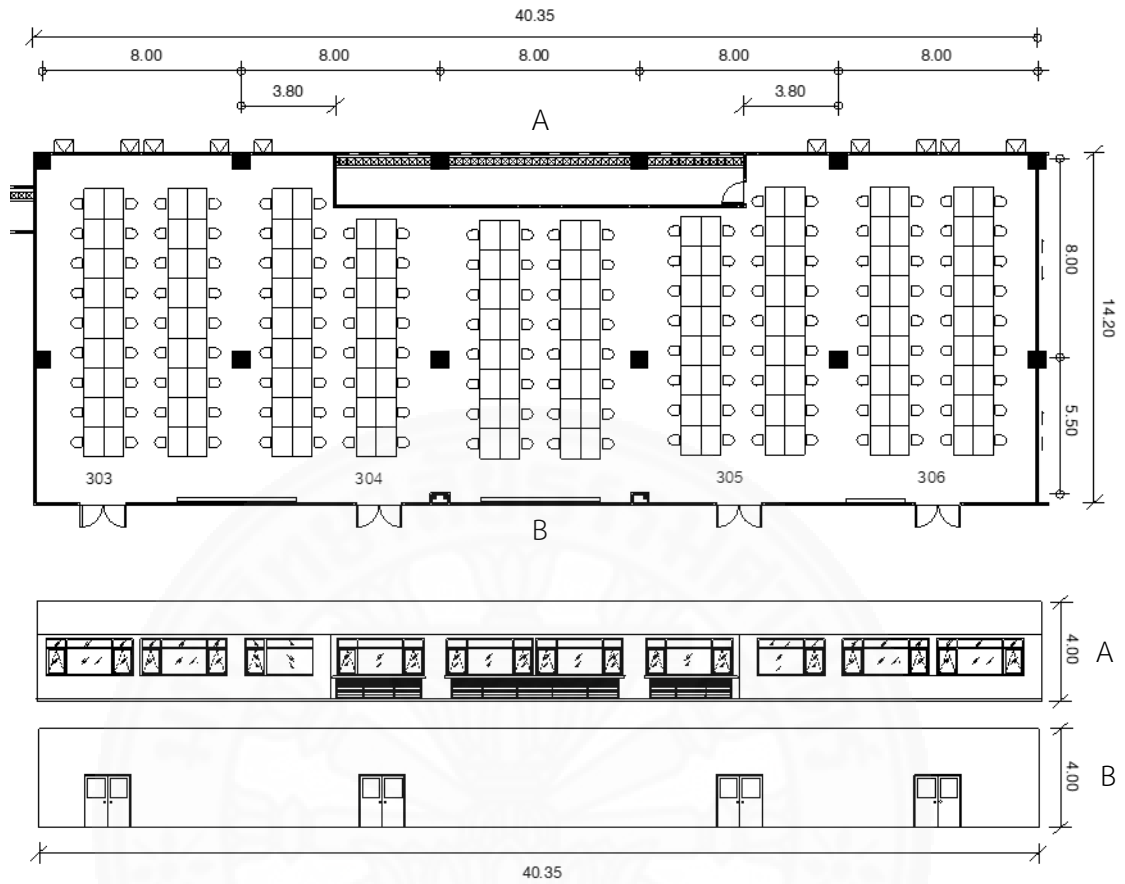
ข้อมูลกายภาพและการใช้งานห้องเรียน

หัวข้อ	ห้องที่ 1	ห้องที่ 2
ตำแหน่ง	ห้องชั้น 3 บริเวณทิศเหนือของอาคาร ห้อง สก. 303 ถึงห้อง สก. 306	ห้องชั้น 3 บริเวณทิศเหนือของอาคาร ห้อง สก. 307
ขนาดและพื้นที่	40.35 เมตร x 14.20 เมตร พื้นที่ 545.91 ตารางเมตร	16.50 เมตร x 14.20 เมตร พื้นที่ 234.30 ตารางเมตร
การใช้งาน	วันที่มีการเรียนการสอน วันจันทร์ วันอังคาร วันพฤหัสบดี วันศุกร์	วันที่มีการเรียนการสอน วันจันทร์ วันอังคาร วันพฤหัสบดี
ช่วงเวลาการใช้งาน	8.00 น. -16.00 น. (ถึง 0.00 น.)	8.00 น. -16.00 น. (ถึง 0.00 น.)
ระบบปรับอากาศ	ระบบปรับอากาศแบบ Split type จำนวน 5 เครื่อง	ระบบปรับอากาศแบบ Split type จำนวน 2 เครื่อง
ไฟฟ้าแสงสว่าง	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W 46 โคม โคมละ 3 หลอด จำนวน 138 หลอด	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W 19 โคม โคมละ 3 หลอด จำนวน 57 หลอด
การรั่วซึมของ อากาศผ่านกรอบ อาคาร	ACH ปริมาตร 0.3	0.2
การรั่วซึมของ อากาศผ่านการเปิด ปิดประตู	ต่อ ชั่วโมง 0.14	0.1
จำนวนผู้ใช้งาน	ประมาณ 150 คน	ประมาณ 50 คน
กระแสไฟฟ้า	380 V (ไฟ 3 เฟส)	

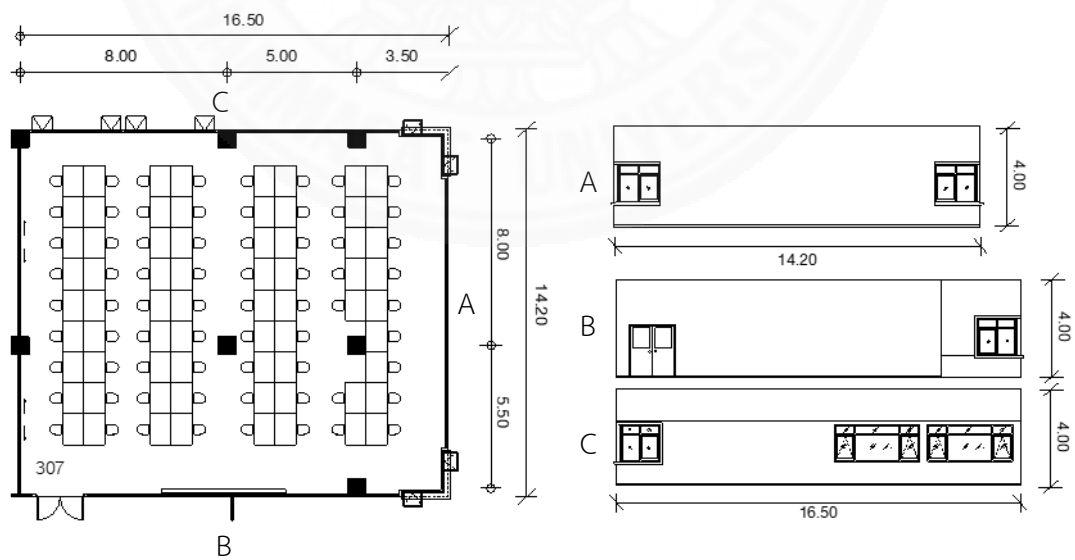
3.2.1 กายภาพห้องเรียนกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.2 ผังห้องเรียนสตูดิโอ (ห้อง สก. 303 ถึงห้อง สก. 307)

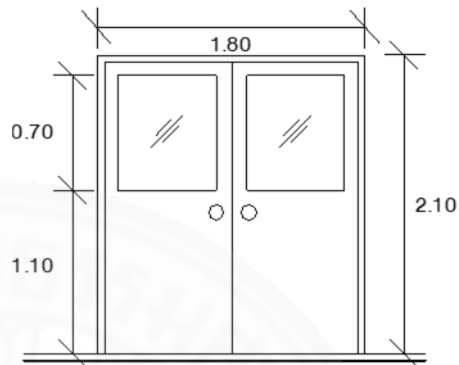


ภาพที่ 3.3 ผังและรูปด้านของห้องเรียนสตูดิโอ (ห้อง สก. 303 ถึงห้อง สก. 306)

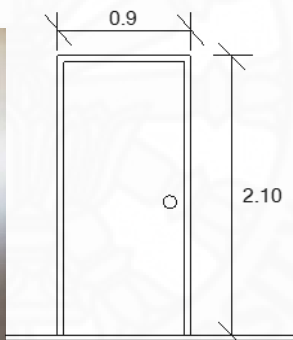


ภาพที่ 3.4 ผังและรูปด้านของห้องเรียนสตูดิโอ (ห้อง สก. 307)

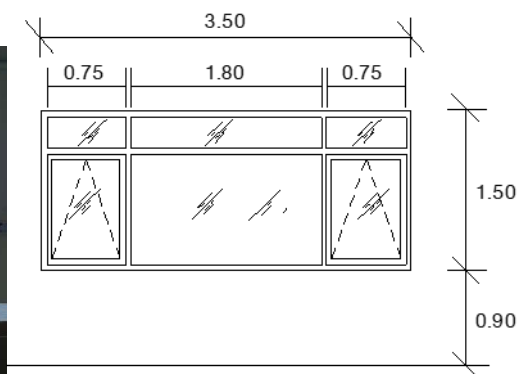
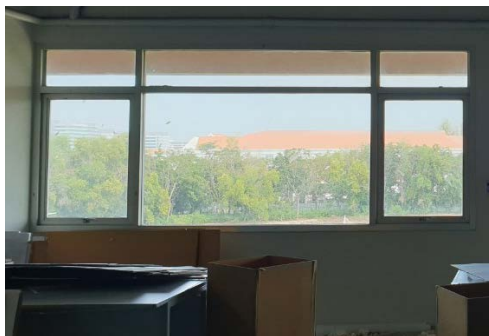
ลักษณะของช่องเปิดของห้องเรียนฝั่งทิศเหนือจะเป็นหน้าต่าง ส่วนฝั่งทิศใต้เป็นประตูที่เชื่อมกับทางเดินภายนอก โดยลักษณะประตูและหน้าต่างของทั้งสองห้องมีลักษณะเดียวกัน ตามรูปด้านในภาพที่ 3.3 และ 3.4 ขนาดของช่องเปิดแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 3.5 ถึงภาพที่ 3.9



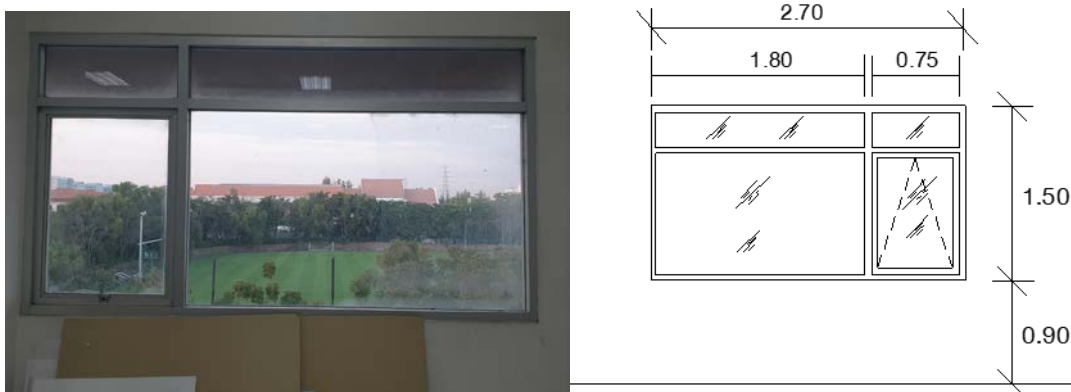
ภาพที่ 3.5 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.6 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.7 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.8 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.9 ช่องเปิดของห้องกรณีศึกษา

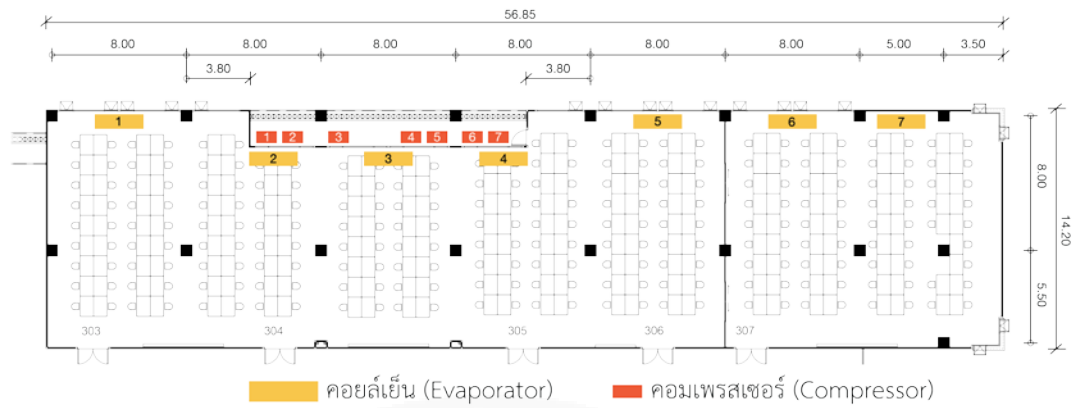
3.2.2 ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ระบบปรับอากาศของห้องเรียนกรณีศึกษาเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) ห้องเรียนสตูดิโอที่มีขนาดใหญ่มีจำนวนระบบปรับอากาศ 5 เครื่อง ห้องเรียนสตูดิโอขนาดเล็กมีระบบปรับอากาศจำนวน 2 เครื่อง ตำแหน่งการวางคอยล์เย็น (Evaporator) และคอยล์ร้อน (Compressor) แสดงตำแหน่งการติดตั้งตามภาพที่ 3.10 ส่วนรายละเอียดของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แสดงในตารางที่ 3.2 ข้อมูลระบบปรับอากาศของห้อง สด. 303 ถึงห้อง สด. 307

ตารางที่ 3.2

ข้อมูลระบบปรับอากาศของห้อง สถ. 303 ถึง สถ. 307

สถ.303-306						
ยี่ห้อ	CARRIER					
Model	CDU. 38RF	060SC	048SC	048SC	048SC	060SC
	FCU. 42VD	020DX	016DX	016DX	016DX	020DX
ตำแหน่งที่ติดตั้ง		1 / สถ. 303	2 / สถ. 304	3 / สถ. 304	4 / สถ. 305	5 / สถ. 306
Cooling Capacity	BTU/Hr.	60,000	48,000	48,000	48,000	60,000
	W	17585	14068	14068	14068	17585
แรงดันไฟฟ้า V/Ph/Hz		380/3/50				
Power Input		5564	4385	4385	4385	5564
COP.		10.8/3.415=3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
EER.		60000/5564 = 10.8	48000/4385 = 10.9	10.9	10.9	10.8
Indoor Air Flow Rate cfm. (m ³ /s)		2000 (0.943)	1600 (0.755)	1600	1600	2000
Type of Compressor		Scroll compressor				
Refrigerant Type		R - 407C				
สถ. 307						
ยี่ห้อ	CARRIER					
Model	CDU. 38RF	060SC			060SC	
	FCU. 42VD	020DX			020DX	
ตำแหน่งที่ติดตั้ง		6 / สถ. 307			7 / สถ. 307	
Cooling Capacity	BTU/Hr.	60,000				
	W	17585				
แรงดันไฟฟ้า V/Ph/Hz		380/3/50				
Power Input		5564				
COP.		10.8/3.415=3.2				
EER.		60000/5564 = 10.8				
Indoor Air Flow Rate		2000 (0.943 m ³ /s)				
Type of Compressor		Scroll compressor				
Refrigerant Type		R - 407C				



ภาพที่ 3.10 แผนผังระบบปรับอากาศ ตำแหน่งคอยล์เย็นและคอมเพรสเซอร์

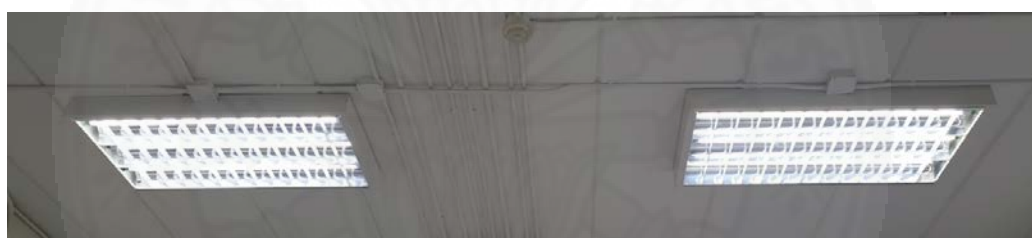
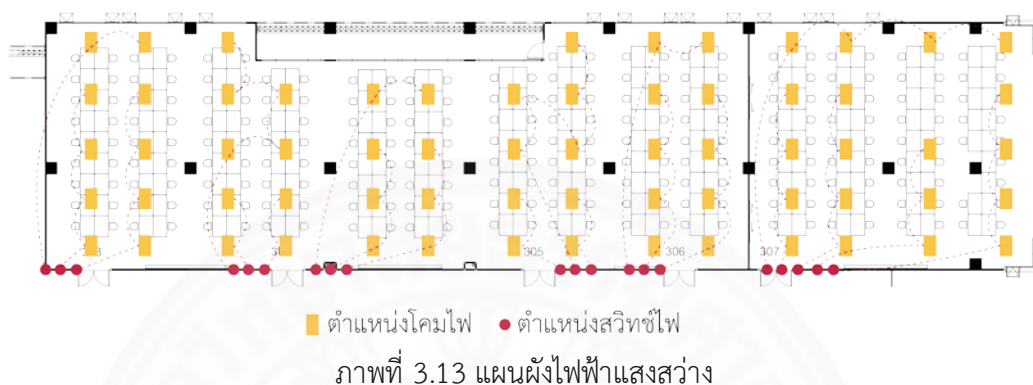


ภาพที่ 3.11 ระบบปรับอากาศห้องเรียนสตูดิโอ



ภาพที่ 3.12 เมนเซอร์กิต เบรกเกอร์ ไฟฟ้าสามเฟสของระบบปรับอากาศ

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ทำการติดตั้งในห้องเรียนสตูดิโอ สล. 303 - สล. 306 และห้องเรียนสตูดิโอ สล. 307 มีรูปแบบที่เหมือนกัน แสดงตำแหน่งการติดตั้งตามภาพที่ 3.13 และลักษณะของดวงโคมในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ลักษณะดวงโคมที่ประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W จำนวน 3 หลอด

3.2.3 การรั่วซึมของอากาศ

ห้องเรียนกรณีศึกษาเป็นห้องเรียนที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) ห้องเรียนกรณีศึกษาจึงมีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องเรียนกับอากาศภายนอกโดยการรั่วซึมอากาศ (Air infiltration) สามารถแบ่งการรั่วซึมของอากาศออกเป็น 2 ลักษณะ การรั่วซึมของอากาศผ่านรอยต่อของประตูและหน้าต่าง การรั่วซึมของอากาศผ่านทาง การเปิด-ปิดประตูและหน้าต่าง

1) การรั่วซึมของอากาศผ่านรอยต่อของประตูและหน้าต่าง

คำนวณหาอัตราการรั่วซึมอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมดของช่องเปิดจากสมการ 2.9

$$AL_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n CL_i \times AL_i}{\sum_{i=1}^n CL_i}$$

(สมการที่ 2.9)

เมื่อ AL_{avg} = อัตราการรั่วซึมอากาศเฉลี่ย (ลิตรต่อวินาทีต่อเมตร)

CL_i = ความยาวของเส้นรอยรั่วของหน้าต่างหรือบานประตู i (เมตร)

AL_i = อัตราการรั่วซึมอากาศของหน้าต่างหรือบานประตูที่ i (ลิตรต่อวินาทีต่อเมตร)

สมการที่ 2.10 แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศให้เป็นอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ

$$ACH = \frac{3.6Q_i}{V}$$

(สมการที่ 2.10)

เมื่อ Q_i = อัตราการรั่วซึมอากาศ (ลิตรต่อวินาที)

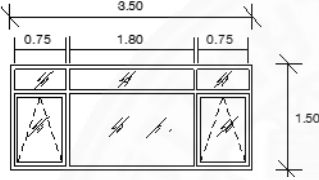
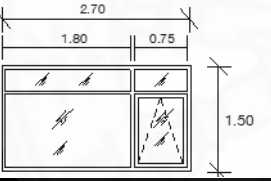
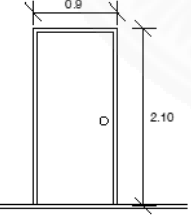

ACH = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ปริมาตรต่อชั่วโมง)

V = ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

ห้องเรียนกรณีศึกษา ทำการแบ่งออกเป็น 2 ห้องหลัก ๆ ห้องที่ 1 เป็นห้องที่มีลักษณะตามภาพที่ 3.4 ห้อง สด. 303 ถึงห้อง สด. 306 ส่วนห้องที่ 2 เป็นห้องที่มีลักษณะตามภาพที่ 3.5 คือห้อง สด. 307 การรั่วซึมอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วของช่องเปิด ข้อมูลจากงานวิจัยคุณภาพอากาศในอาคารที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงเมื่อมีการใช้ระบบเติมอากาศภายนอก โดยปาริณี ศรีสุวรรณ (ปาริณี ศรีสุวรรณ, 2554) ตารางที่ 3.3 แสดงการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมดของช่องเปิดและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

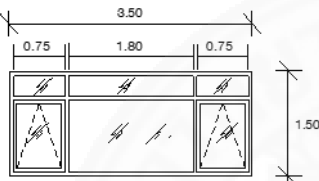
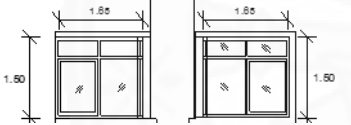
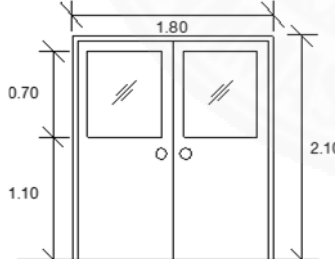
ตารางที่ 3.3

แสดงการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมดของช่องเปิดและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ปาริณี ศรีสุวรรณ, 2554)

ห้องเรียน สก. 303 - สก. 306					
รูปแบบประตูหน้าต่าง	อัตราการรั่วซึมอากาศเฉลี่ย (ลิตรต่อวินาทีต่อเมตร)	ความยาวเส้นรอยรั่วรวม (เมตร)	อัตราการรั่วซึมอากาศรวม (ลิตรต่อวินาที)	ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ACH ปริมาตรต่อชั่วโมง
1. หน้าต่างแบบบานกรอบอลูมิเนียม บานกระทุ้ง 2 บาน บานเปิดตาย 4 บาน จำนวน 8 ชุด ขนาดกว้าง 3.50 เมตร สูง 1.50 เมตร 	0.47	21.30			
2. หน้าต่างแบบบานกรอบอลูมิเนียม บานกระทุ้ง 1 บาน บานเปิดตาย 3 บาน จำนวน 2 ชุด ขนาดกว้าง 2.70 เมตร สูง 1.50 เมตร 	0.44	15.60			
3. ประตูออกไปส่วนระเบียงงานระบบ ประตูรอบไม้บานเปิดไม้ชนิด 1 บาน จำนวน 1 ชุด 	1.93	5.80	189.78	2180	0.31
4. ประตูออกไปส่วนระเบียงงานระบบ ประตูรอบไม้ และกรอบกระจก บานเปิดไม้ชนิด 2 บาน จำนวน 4 ชุด 	1.35	15.70			

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

แสดงการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยต่อความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมดของช่องเปิดและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ปาริณี ศรีสุวรรณ, 2554)

ห้องเรียน สท. 307					
รูปแบบประตูหน้าต่าง	อัตราการรั่วซึมอากาศเฉลี่ย (ลิตรต่อวินาที ต่อเมตร)	ความยาวเส้นรอยรั่วรวม (เมตร)	อัตราการรั่วซึมอากาศรวม (ลิตรต่อวินาที)	ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ACH ปริมาตรต่อชั่วโมง
1. หน้าต่างแบบบานกรอบอลูมิเนียม บานกระทุ้ง 2 บาน บานปิดตาย 4 บาน จำนวน 2 ชุด ขนาดกว้าง 3.50 เมตร สูง 1.50 เมตร 	0.47	21.30			
2. หน้าต่างมุมอาคารแบบบานกรอบอลูมิเนียม บานกระทุ้ง 2 บาน บานปิดตาย 4 บาน จำนวน 2 ชุด ขนาดกว้าง 2.70 เมตร สูง 1.50 เมตร 	0.48	10.16	50.965	937.2	0.196
4. ประตูออกไปส่วนระเบียบงานระบบ ประตูกรอบไม้ และกรอบกระจก บานเปิดไม้ชนิด 1 บาน จำนวน 4 ชุด 	1.35	15.70			

หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก คุณภาพอากาศที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงเมื่อมีการใช้ระบบเติมอากาศภายนอก, โดย ปาริณี ศรีสุวรรณ, 2554, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม.

2) การรั่วซึมของอากาศผ่านทาง การเปิด-ปิดประตูและหน้าต่าง

การรั่วซึมของอากาศผ่านการเปิดปิดของประตู ตามพฤติกรรมการใช้งานหาได้จาก การสำรวจการใช้งาน จำนวนการเปิดปิดประตูในหนึ่งชั่วโมง คำนวณจากอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านประตู ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (สมการที่ 3.1) และแปลงเป็นอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ (สมการที่ 2.10)

$$Q=A \times V$$

(สมการที่ 3.1)

เมื่อ Q = อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 A = พื้นที่ช่องเปิดที่อากาศไหลผ่าน (ตารางเมตร)
 V = ความเร็วที่ผ่านประตู (เมตรต่อวินาที)

แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศให้เป็นอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศ

$$ACH = \frac{3.6Q_i}{V}$$

(สมการที่ 2.10)

เมื่อ Q_i = อัตราการรั่วซึมอากาศ (ลิตรต่อวินาที)
 ACH = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ปริมาตรต่อชั่วโมง)
 V = ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

ทำการเก็บข้อมูลการเปิดปิดประตูของห้องเรียนสตูดิโอขนาดใหญ่ (ห้อง สด.303 - สด. 306) และห้องเรียนสตูดิโอขนาดเล็ก (สด. 307) เก็บข้อมูลเป็นจำนวนครั้งของการเปิด-ปิดประตู ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามตารางที่ 3.4 แสดงการเปิดปิดประตูและอัตราการรั่วซึมของอากาศของห้องเรียน สด. 303 - สด. 306 และห้องเรียน สด. 307

ตารางที่ 3.4

แสดงการเปิดปิดประตูและอัตราการรั่วซึมของอากาศของห้องเรียน สถ. 303 ถึง สถ. 306 และห้องเรียน สถ. 307

ห้องเรียน สถ. 303 - สถ. 306				
จำนวนครั้งการเปิดปิดประตูใน 1 ชั่วโมง	ความเร็วเฉลี่ยที่ผ่านประตู	อัตราการรั่วซึมอากาศรวม (ลบ.ม.ต่อวินาที) ต่อการเปิดปิดประตูใน 1 ครั้ง	ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ACH ปริมาตรต่อชั่วโมง
149 ครั้ง	$1/0.58 = 1.72$ เมตรต่อวินาที	$3.6 \times 1.72 = 6.192$ ลบ.ม.ต่อวินาที	2180	0.42
ห้องเรียน สถ. 307				
จำนวนครั้งการเปิดปิดประตูใน 1 ชั่วโมง	ความเร็วเฉลี่ยที่ผ่านประตู	อัตราการรั่วซึมอากาศรวม (ลิตรต่อวินาที) ต่อการเปิดปิดประตูใน 1 ครั้ง	ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)	ACH ปริมาตรต่อชั่วโมง
36 ครั้ง	$1/1.28 = 0.78$	$3.6 \times 0.78 = 2.8$ ลบ.ม.ต่อวินาที	937.2	0.11

3.2.4 จำนวนผู้ใช้งาน

จำนวนผู้ใช้งานและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในห้อง เป็นความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียน มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน กิจกรรมที่เกิดขึ้น ห้องเรียนกรณีศึกษามีผู้ใช้งานของทั้งสองห้องเรียนมีจำนวนไม่เท่ากัน โดยห้องเรียน สถ. 303 – สถ. 306 มีจำนวน 150 คน ส่วนห้องเรียน สถ. 307 มีจำนวนผู้ใช้งาน 50 คน ตามตารางที่ 3.1

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ไฟล์สภาพอากาศ (Weather file)

ไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัย แบ่งเป็น ข้อมูลไฟล์สภาพอากาศ .EPW ไฟล์สภาพอากาศที่ได้ข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ไฟล์สภาพอากาศจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลไฟล์สภาพอากาศ .EPW เป็น Weather File ที่สามารถค้นหาได้จาก <https://energyplus.net/weather> รูปแบบไฟล์ข้อมูล EPW เป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำลองพลังงานโปรแกรม EnergyPlus 9.2.0 สร้างโดยกระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกาเป็นรูปแบบไฟล์ข้อมูลที่สร้างขึ้นจากชุดข้อมูล TMY และข้อมูลนานาชาติอื่น ๆ

ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลสภาพอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีตอนเมือง ประจำปี 2562 ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบไปด้วย อุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) อุณหภูมิอากาศกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) ทิศทางลม (Wind Direction) ความเร็วลม (Wind Speed) ส่วนค่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) มีการคำนวณโดยใช้อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ดังสมการที่ 3.1 ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยากับข้อมูลที่ประกอบใน Weather Data สำหรับใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 แสดงในตารางที่ 3.5

$$T_d = T - \frac{(100 - RH)}{5}$$

(สมการที่ 3.1)

เมื่อ T_d = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Celsius)
 T = อุณหภูมิอากาศ (Celsius)
 RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

ได้นำข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยามาแปลงให้เป็นไฟล์ EPW เพื่อใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ทำการเปรียบเทียบการวัดการใช้พลังงานภาคสนาม ในการตรวจตรวจสอบความน่าเชื่อถือ (ส่วนที่หนึ่ง) และใช้ไฟล์สภาพอากาศ .EPW เป็นไฟล์พื้นฐานสำหรับแปลงข้อมูลที่ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตเพื่อใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ในการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตและในการเสนอแนวทางในการออกแบบห้องเรียนเพื่อการประหยัดพลังงาน (ส่วนที่สอง และส่วนที่สาม)

3.3.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อุปกรณ์สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ ยี่ห้อ Kestrel DROP (ภาพที่ 3.15) ในงานวิจัยนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามภายนอก แต่เนื่องด้วยตัวอุปกรณ์ไม่สามารถสัมผัสกับแสงแดดและฝนได้โดยตรง จึงต้องออกแบบตัวบังแดดและฝน อุปกรณ์มีช่วงการวัดอุณหภูมิ - 10 ถึง 50 องศาเซลเซียส ค่าความถูกต้องแม่นยำ ± 0.5 องศาเซลเซียส ค่า

ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส และช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องแม่นยำ ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ ค่าความละเอียด 0.1 เปอร์เซ็นต์

3.3.3 อุปกรณ์วัดความเร็วลมและอุณหภูมิ

อุปกรณ์วัดความเร็วลม และอุณหภูมิ Hot Wire Anemometer ยี่ห้อ Testo 435 (ภาพที่ 3.16) ในงานวิจัยใช้วัดความเร็วลมเพื่อเปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่สีเขียวที่อยู่ชั้นล่างและพื้นคอนกรีตบริเวณดาดฟ้า มีช่วงการวัดความเร็วลมอยู่ที่ 0 ถึง 20 เมตร/วินาที ค่าความละเอียด 0.01 เมตร/วินาที ช่วงการวัดอุณหภูมิ -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส ความถูกต้องแม่นยำ ± 0.2 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิ ที่อยู่ -25 ถึง 74.9 องศาเซลเซียส ± 0.4 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิ ที่อยู่ -50 ถึง -25.1 องศาเซลเซียส ค่าความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส

3.3.4 อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม Lutron SPM-1116SD (ภาพที่ 3.17) สามารถบันทึกข้อมูลแบบ Real time ด้วย SD Card ช่วงการวัด 0.0 ถึง 2000 W/m² ค่า Spectrum 400 ถึง 1100 nm

3.3.5 อุปกรณ์วัดการใช้ไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ใช้วัดการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ทำการวัดภาคสนาม ทำการติดตั้งเครื่อง HIOKI PQ3100-94 (ภาพที่ 3.18) เครื่องวิเคราะห์และบันทึก Power Quality Analyzer สามารถเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์สำหรับการอ่านข้อมูล PQ One (ภาพที่ 3.19) สามารถแสดงผลข้อมูลที่เก็บได้ในรูปแบบของกราฟ สามารถดูข้อมูลแนวโน้มกราฟ (Detailed Trend) ดูค่าแรงดัน (Volt – U [V]) และกระแส (Current – I [A]) ความถี่ของไฟฟ้า (Frequency – Freq [Hz]) ความไม่สมดุลของไฟฟ้า (Harmonics) กำลังไฟฟ้า (Power) พลังงานไฟฟ้า (Energy) สามารถนำค่าที่บันทึกผ่านซอฟต์แวร์ PQ One สามารถสร้างรีพอร์ต (Report)



ภาพที่ 3.15 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น



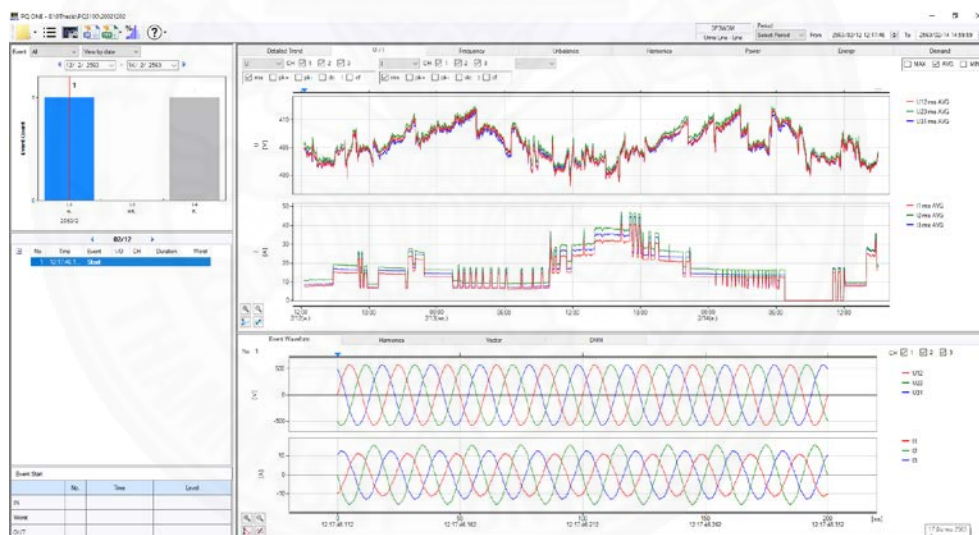
ภาพที่ 3.16 อุปกรณ์วัดความเร็วลม



ภาพที่ 3.17 อุปกรณ์วัดความเร็วลม



ภาพที่ 3.18 อุปกรณ์ที่ใช้วัดการใช้ไฟฟ้า Power Quality Analyzer. ดัดแปลงจาก POWER QUALITY ANALYZER PQ3100, โดย Hioki, สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2563, จาก https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=6387



ภาพที่ 3.19 ซอฟต์แวร์สำหรับการอ่านข้อมูล PQ One

3.4 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกที่แตกต่างกันจะมีผลอย่างไรต่อการใช้พลังงานของห้องเรียน รวมถึงการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิและลดความชื้นของระบบปรับอากาศ การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

3.4.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0

3.4.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

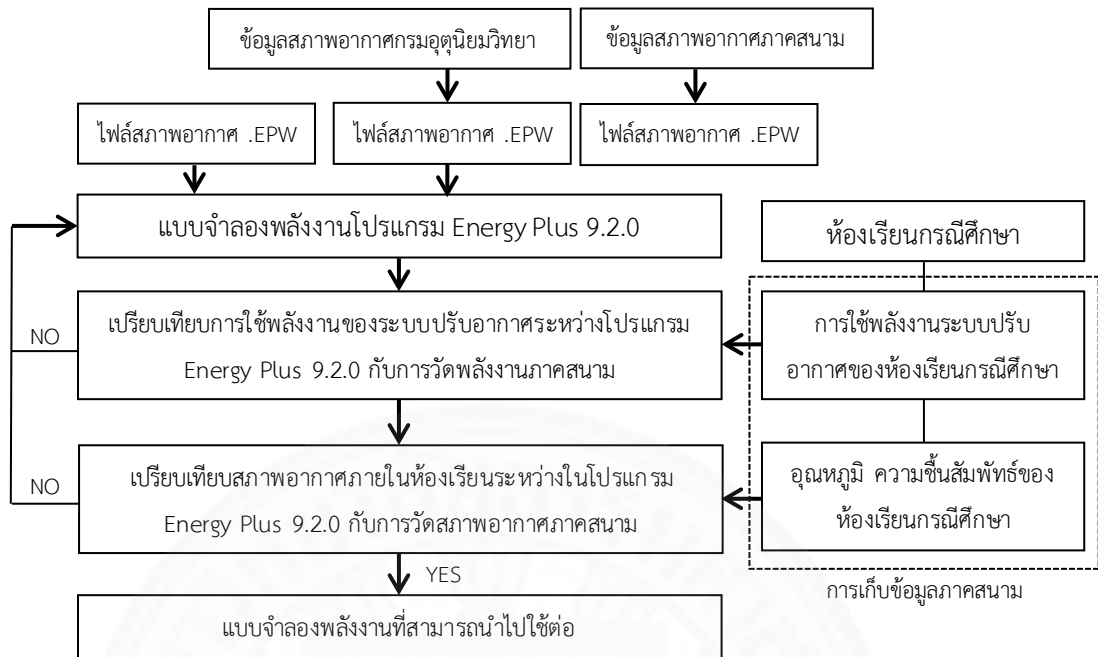
3.4.3 เสนอแนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

3.4.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการจำลองด้วยโปรแกรมทางพลังงาน Energy Plus 9.2.0 โดยใช้ชุดข้อมูลสภาพอากาศ 3 ชุดข้อมูล ในการตั้งค่าสภาพอากาศในแบบจำลองพลังงาน คือ ข้อมูลไฟล์สภาพอากาศ .EPW ที่เป็นไฟล์สภาพอากาศเบื้องต้น ข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาประจำปี 2562 และข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บข้อมูลภาคสนามรอบห้องเรียน

เปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลที่ทำกรเก็บภาคสนามและข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมแบบจำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0 โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้นในห้องเรียน และการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ดังภาพที่ 3.20 สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาย่อยได้ดังนี้

- 1) ข้อมูลสภาพอากาศและการเก็บข้อมูลสภาพอากาศห้องเรียน
- 2) การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียน
- 3) การวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

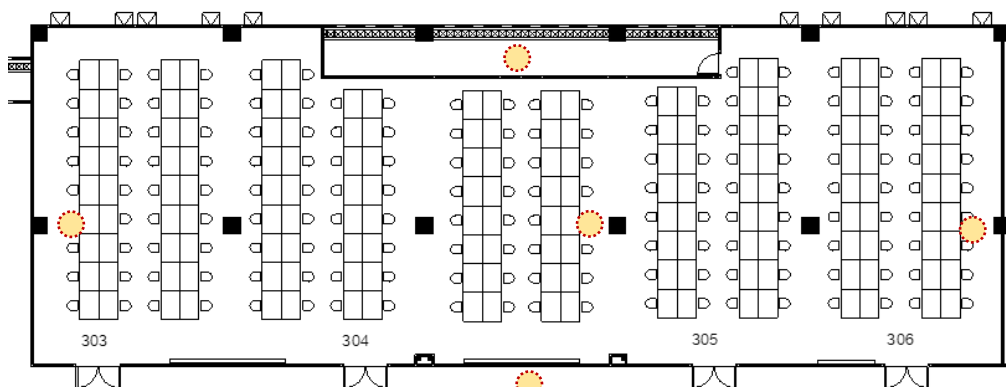


ภาพที่ 3.20 การดำเนินการวิจัยการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0

1) ข้อมูลสภาพอากาศและการเก็บข้อมูลสภาพอากาศห้องเรียน

(1) การเก็บข้อมูลสภาพอากาศห้องเรียน

การเก็บข้อมูลสภาพอากาศเพื่อการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศในห้องเรียน (สท. 303 ถึง สท. 306) โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเรียนและภายนอกห้องเรียนเพื่อเปรียบเทียบกับผลของอุณหภูมิและความชื้นของห้องเรียนจากโปรแกรมจำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0 ภาพที่ 3.21 และภาพที่ 3.22 แสดงตำแหน่งการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.21 ผังห้องสตูดิโอแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น



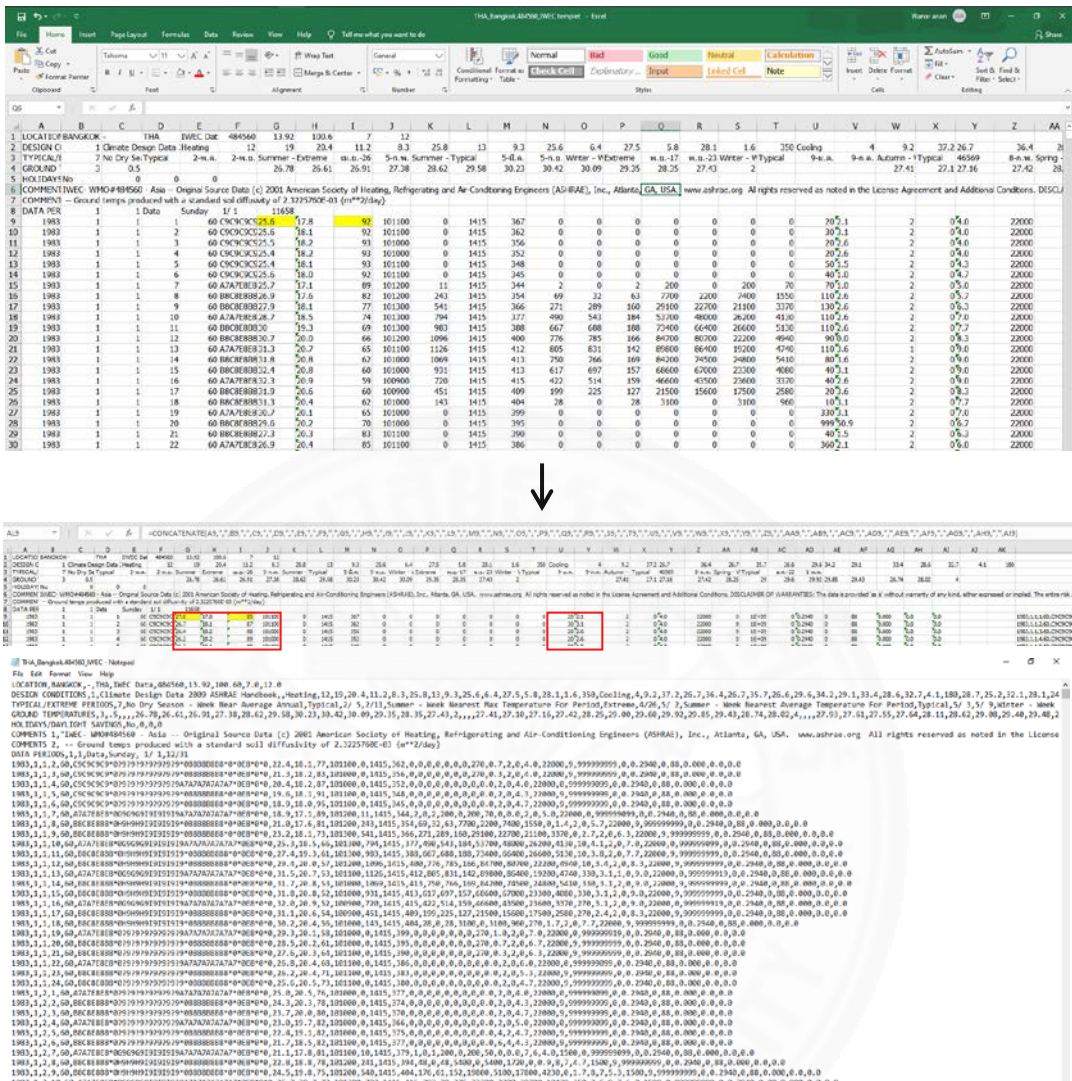
ภาพที่ 3.22 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น

(2) การเตรียมไฟล์สภาพอากาศเพื่อใช้ในแบบจำลองโปรแกรม Energy Plus

9.2.0

ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในส่วนที่หนึ่ง การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการจำลองด้วยโปรแกรมทางพลังงาน Energy Plus 9.2.0 จากที่กล่าวไว้ข้างต้นได้มีการใช้ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศ 3 ชุดข้อมูลในการตั้งค่าในแบบจำลองพลังงาน คือ ข้อมูลไฟล์สภาพอากาศ .EPW ข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาประจำปี 2562 และข้อมูลสภาพอากาศจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยการนำข้อมูลสภาพอากาศมาแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW

การสร้างไฟล์สภาพอากาศ (Weather file) ข้อมูลที่สร้าง Weather file ต้องเป็นข้อมูลรายชั่วโมง ข้อมูลที่ประกอบใน Weather file จะแสดงในตารางที่ 3.5 ประกอบด้วยชุดข้อมูล 35 ชุด โดยสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 7 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ เวลา (time) ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศภายนอก (air) รังสีอาทิตย์ (solar) แสงสว่าง (light) ลม (wind) สภาพท้องฟ้า (sky) และข้อมูลอื่น ๆ (Etc.) ตามภาพที่ 3.23 ส่วนข้อมูลที่จะทำการเปลี่ยนคือข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา การเปลี่ยนค่าใน Weather file ต้องระบุตำแหน่งให้ตรงกับข้อมูลนั้น ๆ และต้องจัดรูปแบบ (Format) ของทศนิยมให้เหมือนกัน ค่า Weather data ที่ใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ข้อมูลที่ใช้จะแสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งจะแสดงไว้ส่วนท้ายของตาราง สัญลักษณ์ที่แทนด้วย Y (Yes) แสดงถึงข้อมูลของ Weather data ที่ใช้ในโปรแกรมส่วนข้อมูลที่ไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณในโปรแกรมจะแทนด้วยสัญลักษณ์ N (No)



ภาพที่ 3.25 การแก้ไขข้อมูล Weather file ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล และใน Notepad

แก้ไขข้อมูลสภาพอากาศโดยนำข้อมูลสภาพอากาศที่ต้องการที่เป็นข้อมูลรายชั่วโมง มาใส่แทนที่ชุดข้อมูลที่ต้องการตามแต่ละตำแหน่ง (Position) ของชุดข้อมูลตามตารางที่ 3.5 เมื่อแก้ไขข้อมูลสภาพอากาศในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล นำชุดข้อมูลทั้ง 35 ชุด มารวมกันด้วย CONCATENATE [=CONCATENATE(A9,"",B9,"",C9.....)] แปลงเป็นไฟล์ข้อมูล EWP ตามภาพที่ 3.25 เพื่อใช้ในการจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

ตารางที่ 3.5

ข้อมูลประกอบใน Weather Data สำหรับใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

Group	Position	Format (example)	Data use in weather data	Unite	Use by Energy Plus	Weather Data 2019
Time	1	1983	Year	-	N	
	2	12	Month (1-12)	-	Y	
	3	1	Day (0-31)	-	Y	
	4	1	Hour (0-23)	-	Y	
	5	60	minute	-	N	
	6	-	datasource		N	
Air	7	34.0	dry_bulb_temperature	°C	Y	/
	8	26.6	dew_point_temperature	°C	Y	/
	9	65	relative_humidity	%	Y	/
	10	101200	atmospheric_pressure	Pa	Y	/
solar	11	11	extraterrestrial_horizontal_radiation	Wh/m ²	N	
	12	1415	extraterrestrial_direct_normal_radiation	Wh/m ²	N	
	13	344	horizontal_infrared_radiation_intensity_from_sky	Wh/m ²	Y	
	14	730	global_horizontal_radiation	Wh/m ²	N	
	15	640	direc_normal_radiation	Wh/m ²	Y	
	16	90	diffuse_horizontal_radiation	Wh/m ²	Y	
light	17	94600	global_horizontal_illuminance	lux	N	
	18	71700	direc_normal_illuminance	lux	N	
	19	28600	diffuse_horizontal_illuminance	lux	N	
	20	8510	zenith_illuminance	lux	N	
Wind	21	180	wind_direction (0-360)	degree	Y	/
	22	0.2	wind_speed	m/s	Y	/
Sky	23	2	total_sky_cover	tenths	N	
	24	0	opaque_sky_cover	tenths	N	
Etc.	25	8.0	visibility	km	N	
	26	22000	ceiling_height	m	N	
	27	0	present_weather_observation	-	Y	
	28	9999990 99	present_weather_codes	-	Y	
	29	0	precipitable_water	mm	N	
	30	0.2940	aerosol_optical_depth	thousandths	N	
	31	0	snow_depth	cm	Y	
	32	88	days_since_last_snow	-	N	
	33	0.000	albedo	-	N	
	34	0.0	liquid_precip_depth	mm	Y	
	35	0.0	liquid_precip_rate	Hour	N	

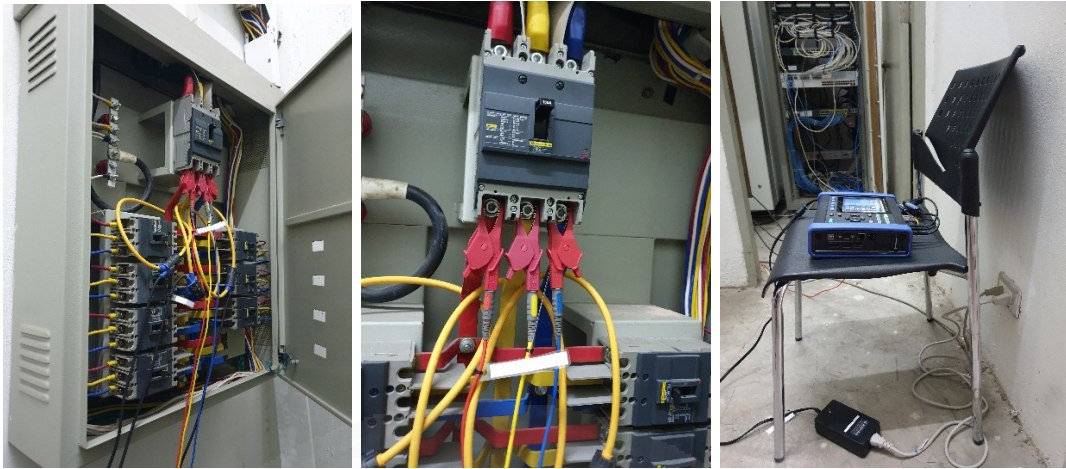
หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก การประยุกต์ผ่านสะท้อนความร้อนและปล่องรังสีอาทิตย์ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก, โดย ประภัสสร แซ่มงคล, 2561, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม.

2) การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียน

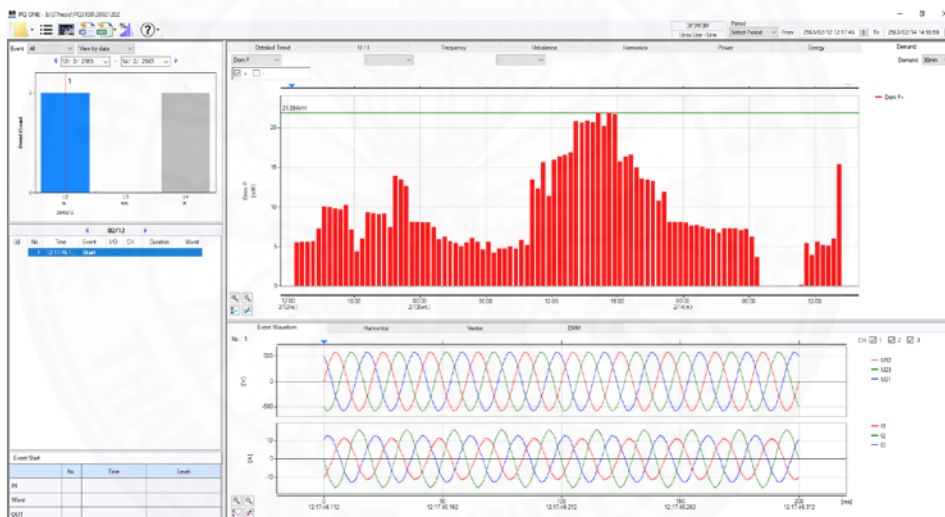
การเก็บข้อมูลภาคสนามการใช้พลังงานของห้องเรียน จากห้องเรียนกรณีศึกษาทำการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ไฟฟ้า HIOKI PQ3100 – 94 ที่ตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ของระบบปรับอากาศ เก็บข้อมูลการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ เป็นการวัดภาคสนามเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ขั้นตอนที่จะได้ข้อมูลการวัดภาคสนามสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ไฟฟ้า HIOKI PQ3100 – 94 ที่ตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ (ภาพที่ 3.27) 2) การตั้งค่าเครื่องเพื่อเก็บข้อมูล 3) การวิเคราะห์ข้อมูลโดย PQ ONE (ภาพที่ 3.28) ที่เป็นแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดจาก HIOKI Power Quality Analyzer บนคอมพิวเตอร์ สามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.hioki.com/en/support/versionup/detail/?downloadid=506> การตั้งค่าเครื่องเพื่อเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 วัน ให้บันทึกค่าทุก ๆ 1 นาที เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ผลที่ได้จากแบบจำลองพลังงานโดยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ซึ่งเป็นผลรายชั่วโมง



ภาพที่ 3.26 อุปกรณ์วิเคราะห์ไฟฟ้า HIOKI PQ3100 – 94



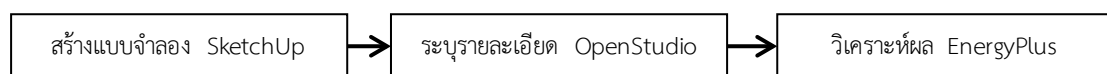
ภาพที่ 3.27 การติดตั้งอุปกรณ์กับเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์



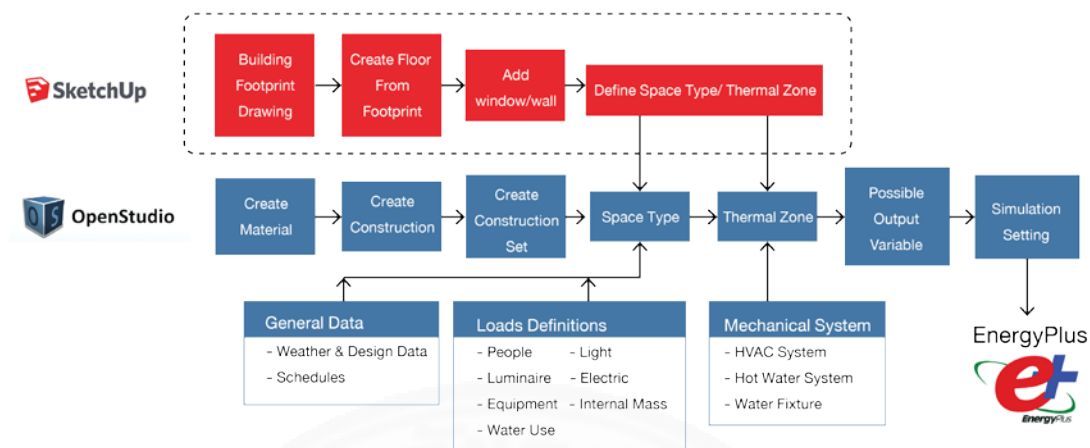
ภาพที่ 3.28 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล PQ ONE

3) การวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

การจำลองโปรแกรมคำนวณพลังงาน Energy Plus 9.2.0 แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ส่วน (ภาพที่ 3.31) คือส่วนที่สร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp 2017 ส่วนที่ระบุรายละเอียดในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0 และส่วนที่วิเคราะห์ผลในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 (ภาพที่ 3.29)



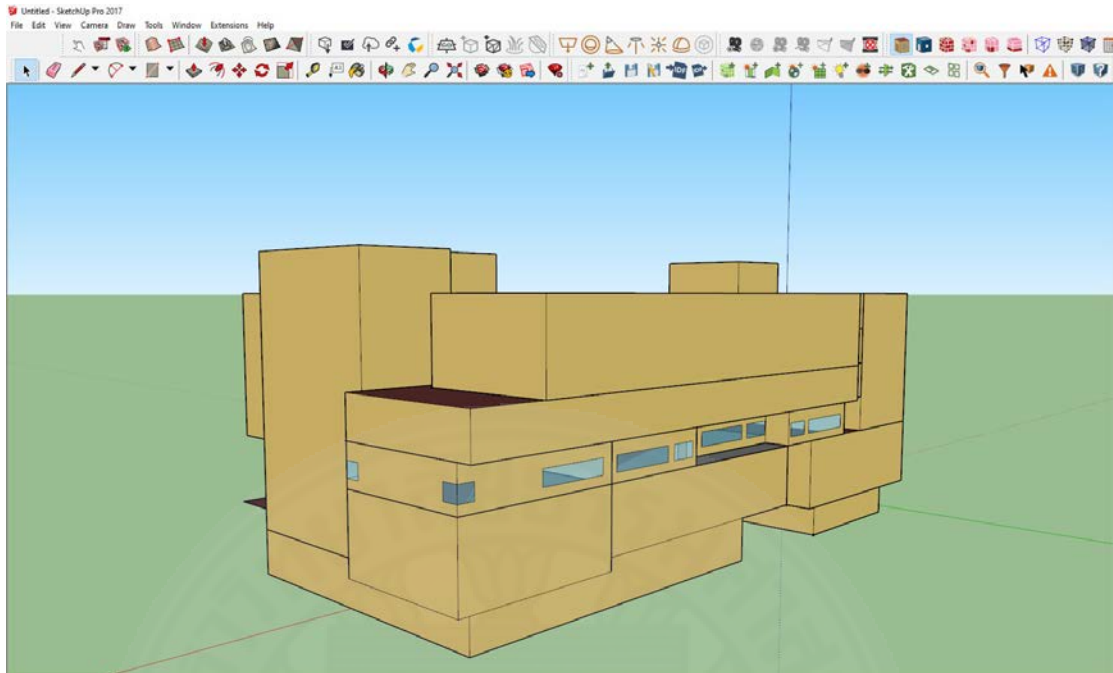
ภาพที่ 3.29 ขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 3.30 ลำดับการทำงานของโปรแกรม. ดัดแปลงจาก หลักสูตรฝึกอบรมการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ เรื่อง “โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ”, โดย โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารธุรกิจ, 2559, สืบค้นเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน 2562, จาก [http://dede-peeceb.bright-ce.com/document/\(Final\)%20BESM%20manual%2021_10_59.pdf](http://dede-peeceb.bright-ce.com/document/(Final)%20BESM%20manual%2021_10_59.pdf)

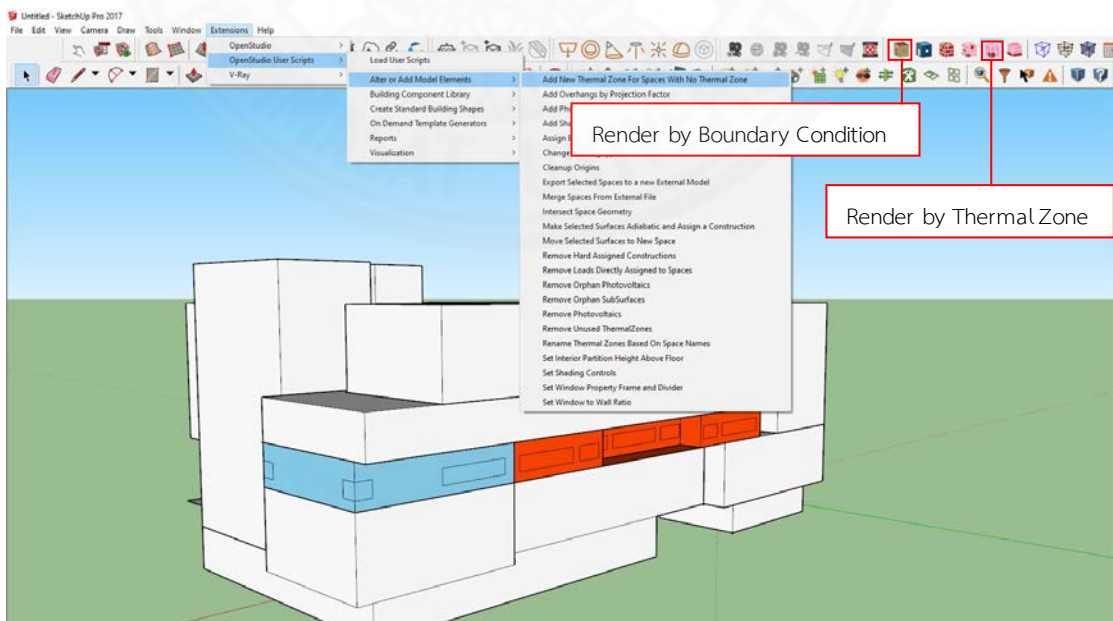
(1) การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp

โดยสร้างเป็นขนาดของห้องเรียนกรณีศึกษา ช่องเปิดของพื้นที่ (ข้อมูลกายภาพของห้องเรียนจะอยู่ในหัวข้อ 3.2 ห้องเรียนกรณีศึกษา) รวมถึงการตั้งค่าพื้นที่ใช้งาน (Space Type) โชนอุณหภูมิ (Thermal Zone) เมื่อสร้างแบบจำลองและตั้งพื้นที่ใช้งาน โชนอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วจะเป็นขั้นตอนในการระบุรายละเอียดในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0 (ภาพที่ 3.31)



ภาพที่ 3.31 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp

การตั้งค่า Thermal Zone เลือกโมเดลแบบจำลอง และไปที่แถบเครื่องมือ ด้านบน Extensions > OpenStudio User scripts > Alta or Add Model Elements > Add New Thermal Zone For Spaces With No Thermal Zone ตรวจสอบการตั้งค่า Thermal Zone ได้ที่ Toolbars > Render By Boundary Condition (ภาพที่ 3.32)

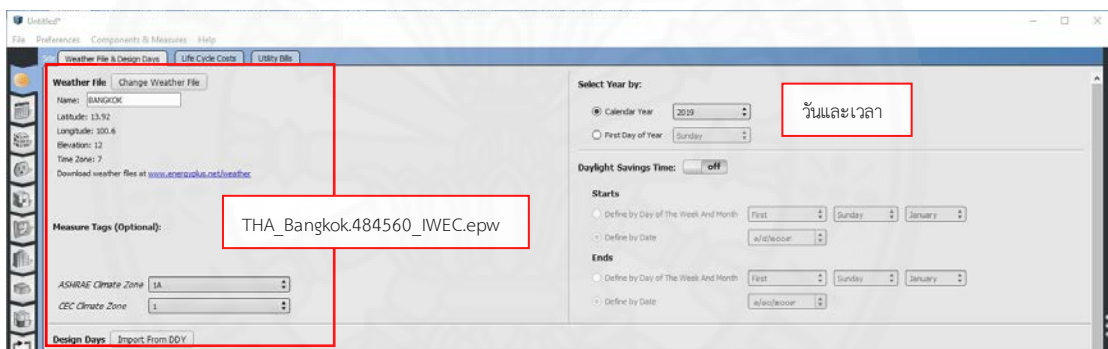


ภาพที่ 3.32 การตั้งค่า Thermal Zone

(2) การระบุรายละเอียดของแบบจำลองในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

จะเป็นส่วนของการตั้งค่ารายละเอียดต่าง ๆ ในแบบจำลอง ทั้งการตั้งค่าสภาพอากาศและที่ตั้งของกรณีศึกษา ช่วงเวลาการใช้งาน การตั้งค่าวัสดุโครงสร้างของกรอบอาคาร ภาระการทำความร้อนภายในอาคาร รายละเอียดข้อมูลของระบบปรับอากาศ เป็นต้น

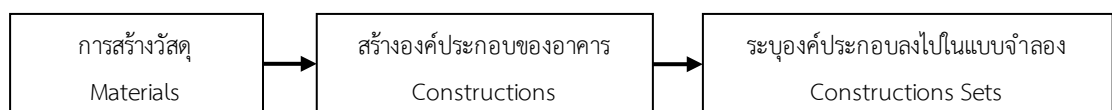
การตั้งค่าที่ตั้งและสภาพอากาศของโปรแกรม โดยที่ตั้งและข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สภาพอากาศจะมีผลต่อการใช้พลังงานของตัวอาคาร สามารถค้นหาชุดข้อมูลที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลสภาพอากาศของพื้นที่ได้ใน <https://energyplus.net/weather> ซึ่งจะมีข้อมูลที่แบ่งไว้ตามแต่ละภูมิภาค ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชุดข้อมูล EPW เป็นชุดข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในงานวิจัยในส่วนที่ 1 นี้ได้ใช้ไฟล์สภาพอากาศข้อมูลไฟล์สภาพอากาศ .EPW และไฟล์สภาพอากาศที่ทำการดัดแปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดอากาศ สถานีดอนเมือง ประจำปี 2562 ข้อมูลสภาพอากาศ แสดงวิธีการตั้งค่าตามภาพที่ 3.33



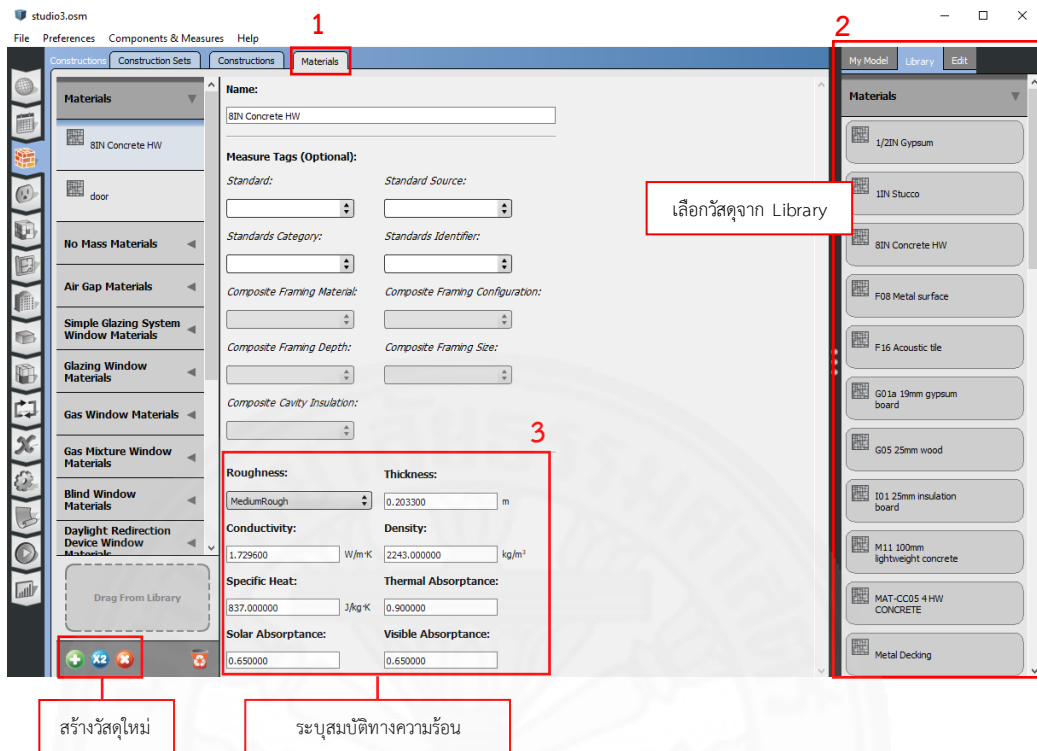
ภาพที่ 3.33 การระบุข้อมูลที่ตั้งและสภาพอากาศในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

ต่อมาเป็นการตั้งค่าวัสดุ โครงสร้างกรอบอาคารระบุลงไปแบบจำลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน การสร้างวัสดุ (Materials) > สร้างองค์ประกอบของอาคาร (Constructions) > ระบุองค์ประกอบลงไปแบบจำลอง (Constructions Sets) ตามภาพที่ 3.34

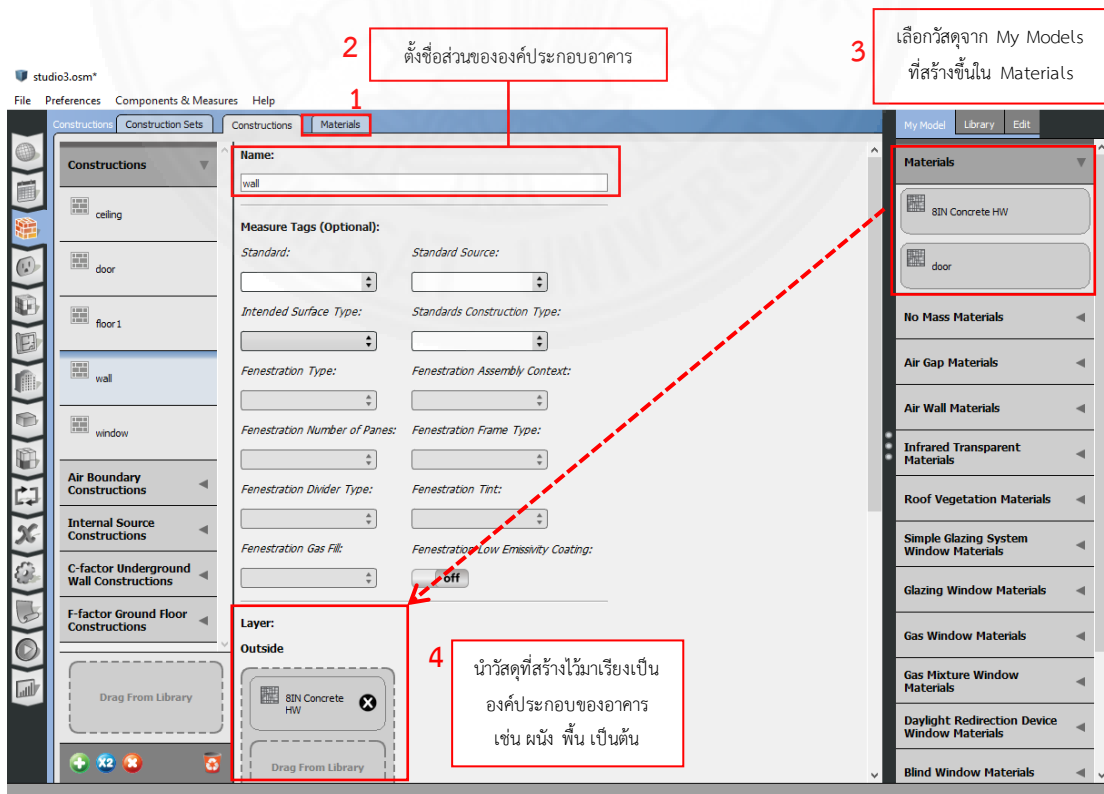
การสร้างวัสดุ (Materials) สามารถสร้างวัสดุใหม่ โดยการเลือกสัญลักษณ์ + ที่อยู่บริเวณด้านล่างขวา หรือดึงข้อมูลมาจาก Library ภาพที่ 3.35



ภาพที่ 3.34 แผนภาพขั้นตอนการสร้างวัสดุโครงสร้างกรอบอาคาร

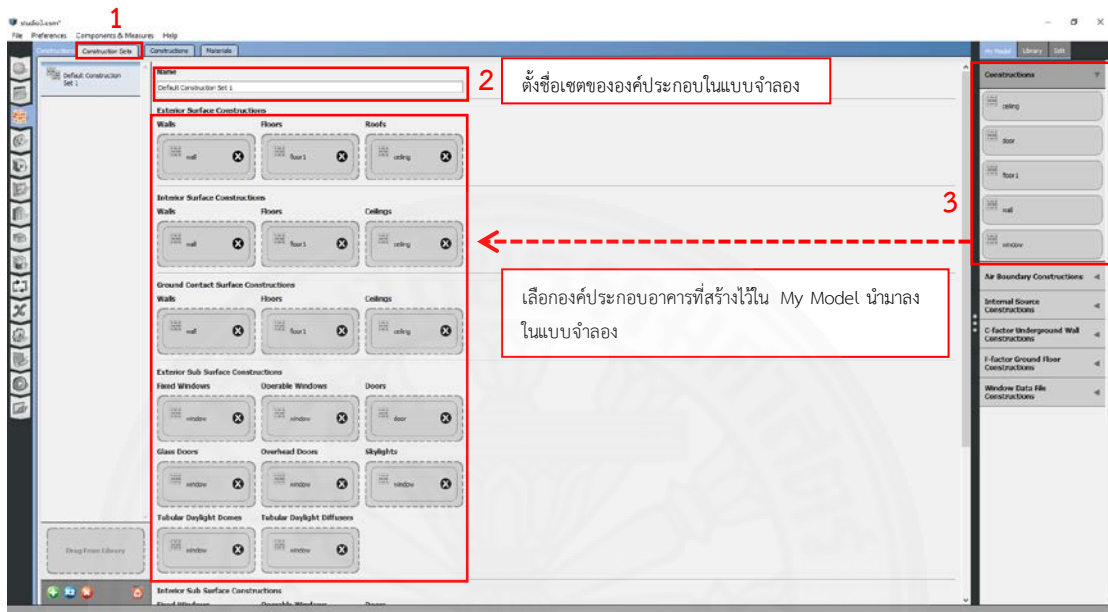


ภาพที่ 3.35 แผนภาพการสร้างวัสดุ (Materials)



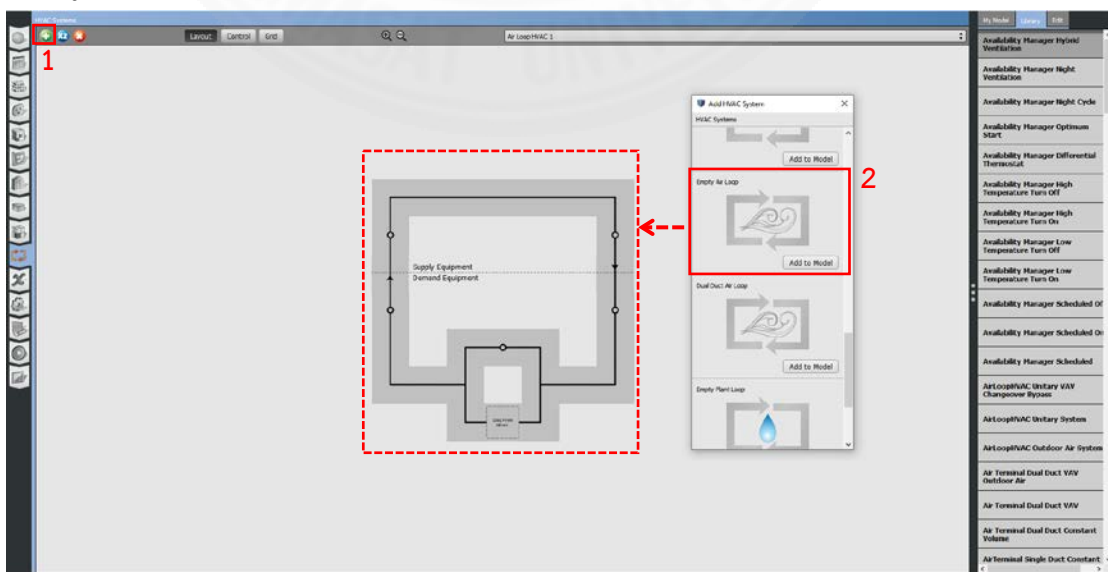
ภาพที่ 3.36 แผนภาพการสร้างองค์ประกอบของอาคาร (Constructions)

ส่วนของการสร้างองค์ประกอบอาคาร ได้แก่ ผนัง พื้น เพดาน หน้าต่าง ประตู โดยการตั้งชื่อองค์ประกอบอาคาร โดยเลือกวัสดุที่เคยสร้างในขั้นตอน Materials ที่อยู่ใน My Model ตามภาพที่ 3.36 และนำองค์ประกอบอาคารที่สร้างไว้มาใส่ในแบบจำลองในขั้นตอนระบุงค์ประกอบลงไปแบบจำลอง (Constructions Sets) ตามภาพที่ 3.37

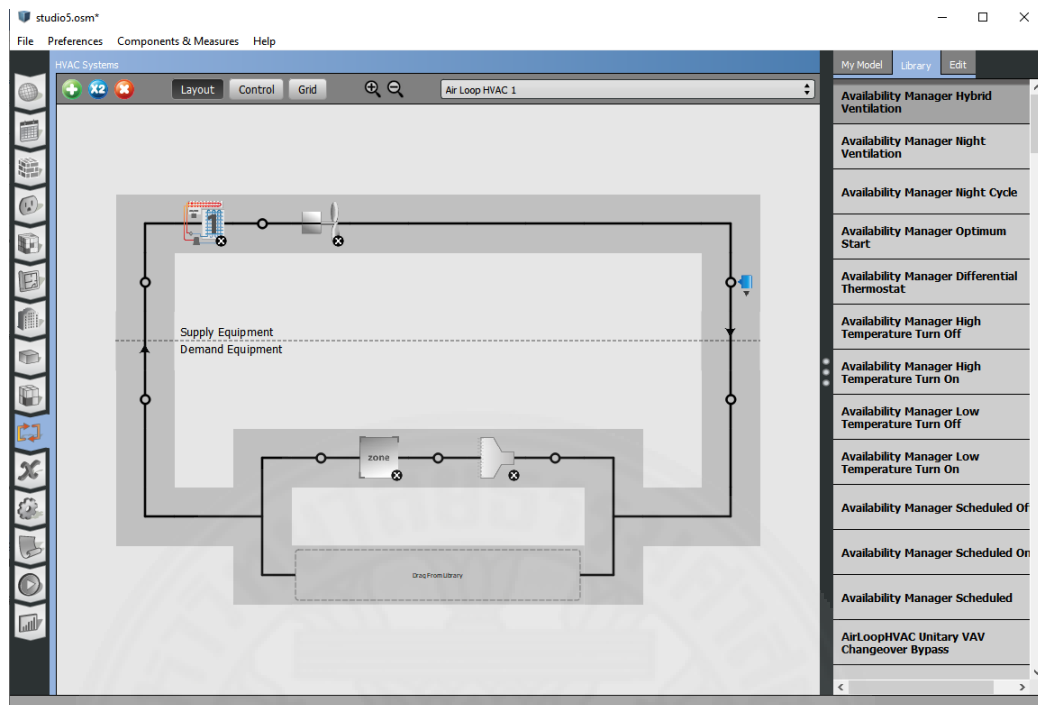


ภาพที่ 3.37 แผนภาพระบุงค์ประกอบลงไปในแบบจำลอง (Constructions Sets)

การสร้างระบบปรับอากาศในแบบจำลอง เริ่มจากเลือกสัญลักษณ์ + เลือกระบบปรับอากาศ (Add HVAC System) แบบ Empty Air Loop ตามภาพที่ 3.38 และตั้งค่าระบบปรับอากาศให้เป็นตามภาพที่ 3.39 โดยสามารถดูข้อมูลการตั้งค่าได้จากตารางที่ 3.7 ในส่วนของ HVAC เป็นการนำข้อมูลจาก Library มาประกอบเป็นระบบของ HVAC



ภาพที่ 3.38 การสร้างระบบปรับอากาศ



ภาพที่ 3.39 องค์ประกอบในระบบปรับอากาศ

การตั้งค่าส่วนของช่วงเวลาการใช้งาน เนื่องจากในช่วงเวลาการวัดภาคสนามได้มีมาตรการใช้งานนอกเวลาการใช้งานปกติ คือมีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ในห้องเรียนสตูดิโอ สด. 303 ถึง สด. 306 การตั้งค่าในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 จึงเป็นการใช้งานระบบปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง แต่มีจำนวนคนที่ใช้งานแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา แสดงการตั้งค่าในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

ข้อมูลการที่ใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

Site	Weather File & Design Day			
	Weather File THA_Bangkok.484560_IWEC.epw	Name	Bangkok	
Latitude		13.92		
Longitude		100.6		
Elevation		12		
Time Zone		7		
Measure Tags (Optional)		ASHRAE Climate Zone	1A	
		CEC Climate Zone	1	
Design Day THA_Bangkok.484560_IWEC.ddy				
	Select Year by	Calendar Year	2019	

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

Schedules				
Medium class room Activity				
Schedule Type	303-306	time	W/person	
ActivityLevel 13	lower Limit 80	0.00-12.00	50	
	Upper Limit 150	12.00-18.00	200	
		18.00-21.00	150	
		21.00-24.00	100	
	307	time	W/person	
	lower Limit 0	0.00-10.00	0	
	Upper Limit 150	10.00-18.00	150	
		18.00-24.00	0	
Medium class room Bldg Occ				
Schedule Type	303-306	time		
Fraction	lower Limit 0.00	0.00-12.00	0.00	
	Upper Limit 1.00	12.00-20.00	1.00	
		20.00-24.00	0.00	
	307	time		
	lower Limit 0.00	0.00-10.00	0.00	
	Upper Limit 1.00	10.00-12.00	0.50	
		12.00-18.00	1.00	
		18.00-24.00	0.00	
Medium class room ClgSetp				
Schedule Type	303-306	time	°C	
Temperature 37	lower Limit 26	0.00-24.00	26	
	Upper Limit 60			
	307	time	°C	
	lower Limit 26	0.00-8.00	60	
	Upper Limit 60	8.00-18.00	26	
		18.00-24.00	60	
Medium class room HtgSetp				
Schedule Type	lower Limit 0	time	°C	
Temperature 36	Upper Limit 4	0.00-24.00	4	
humidifying max				
Schedule Type	lower Limit 0	time	%	
Percent	Upper Limit 99	0.00-24.00	50	
Dehumidifying min				
Schedule Type	lower Limit 0	time	%	
Percent	Upper Limit 99	0.00-24.00	40	

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

	Medium class room Infil Quarter On 24 hr		
	Schedule Type	lower Limit 0.00	time
	Fraction	Upper Limit 1.00	0.00-24.00 1.00
	Medium class room Infil Quarter On open door		
	Schedule Type	303-306	time
	Fraction	lower Limit 0.00	0.00-12.00 0.50
		Upper Limit 1.00	12.00-18.00 1.00
			18.00-24.00 0.50
		307	time
		lower Limit 0.00	0.00-10.00 0.00
	Upper Limit 1.00	10.00-12.00 0.40	
		12.00-18.00 1.00	
		18.00-24.00 0.00	
	Medium class room Bldg Light		
	Schedule Type	303-306	time
	Fraction	lower Limit 0.00	0.00-6.00 1.00
		Upper Limit 1.00	6.00-8.00 0.00
			8.00-24.00 1.00
		307	time
		lower Limit 0.00	0.00-10.00 0.00
		Upper Limit 1.00	10.00-12.00 0.50
			12.00-18.00 1.00
			18.00-24.00 0.00
Construction	Materials		
	Concrete	Roughness: Medium Rough	Thickness: 0.2 m
		Conductivity: 1.72 W/m.K	Density: 2243 kg/m ³
		Specific Heat: 837 J/kg.K	Thermal Absorptance: 0.9
		Solar Absorptance: 0.65	Visible Absorptance: 0.65
	Soft wood	Roughness: Medium Rough	Thickness: 0.025 m
		Conductivity: 0.129 W/m.K	Density: 496 kg/m ³
		Specific Heat: 1630 J/kg.K	Thermal Absorptance: 0.9
		Solar Absorptance: 0.7	Visible Absorptance: 0.7

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

ข้อมูลการที่ใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

	Clear Glass (3 mm)	Thickness:	0.003 m
		Solar Transmittance At Normal Incidence:	0.837
		Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence:	0.075
		Visible Transmittance At Normal Incidence:	0.898
		Back Side Infrared Hemispherical Emissivity:	0.84
		Conductivity:	0.9 W/m.K
	Constructions		
	Wall	[Outside]: Concrete	
	Floor	[Outside]: Concrete	
	Ceiling	[Outside]: Concrete	
	Door	[Outside]: Soft wood	
	Window	[Outside]: Clear Glass (3 mm)	
Load	People Definitions		
	People per Space Floor Area:	303-306	3.4 m ² / person
		307	5.2 m ² / person
	Fraction Radiant:	0.3	
	Sensible Heat Fraction:	auto calculate	
	Carbon Dioxide Generation Rate:	0.000038 L/s.W	
	Lights Definitions		
	Watt Per Space Floor Area	303-306	4.5 W/m ²
		307	4.3 W/m ²
	HVAC	Empty Air Loop	
Coil Cooling DX Single Speed		1 Spd DX Clg Coil	
Fan Constant Volume		Fan Constant Volume	
Set point Manager Warmest Temperature and Flow		Warmest Zone Supply Temp and Reset	
Air Terminal Single Dust Uncontrolled		Diffuser	

(3) การวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

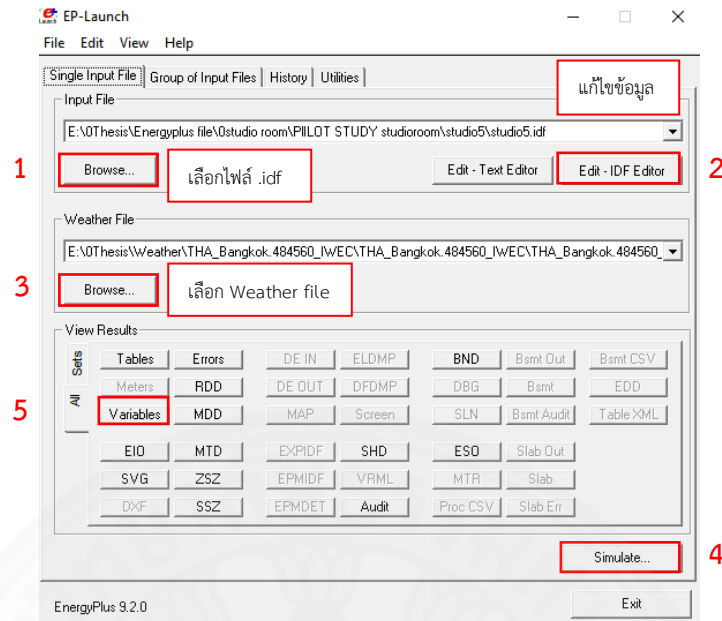
การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของพื้นที่ห้องเรียนกรณีศึกษา เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานของห้องเรียนระหว่างโปรแกรมจำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0 กับการวัดภาคสนาม จากภาพที่ 3.40 อธิบายการใช้งานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 โดยการนำไฟล์เข้าใน

โปรแกรม ภาพที่ 3.41 และภาพที่ 3.42 ทำการแก้ไขการตั้งค่าโดยเฉพาะการแก้ค่าการรั่วซึมของอากาศและการตั้งค่าระบบปรับอากาศ ภาพที่ 3.43 การเลือกข้อมูลที่ศึกษาให้แสดงออกมา (Output) แสดงรายละเอียดการตั้งค่าดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7

แสดงการตั้งค่ารายละเอียดระบบปรับอากาศและค่าการรั่วซึมเพิ่มเติมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

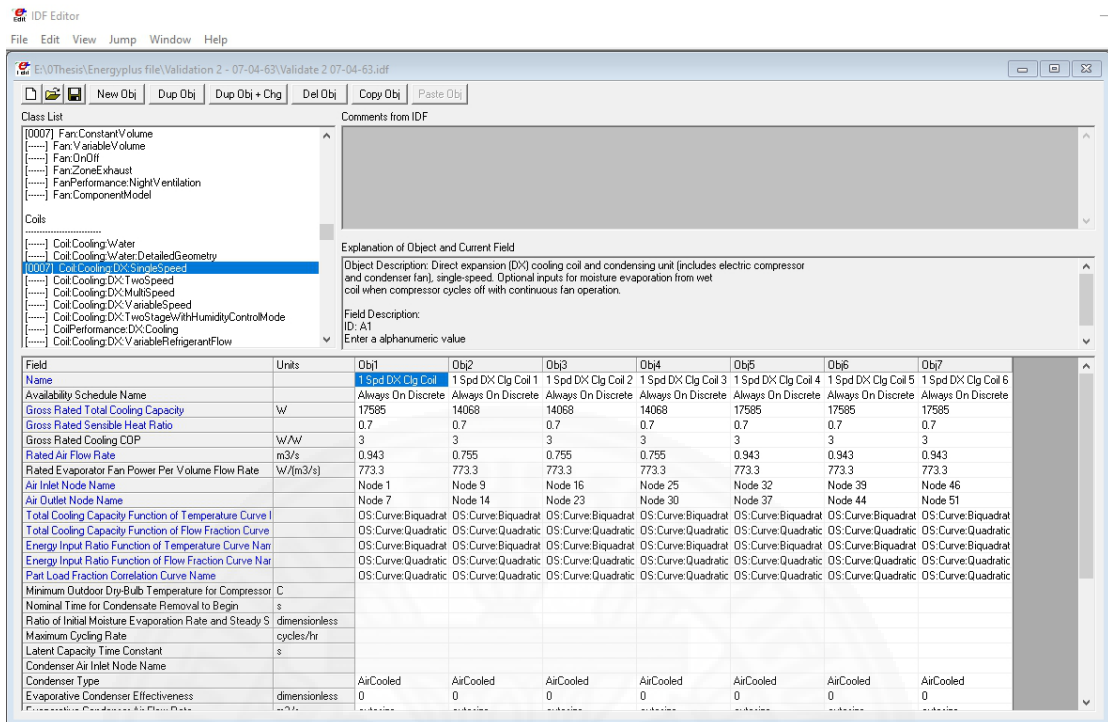
Zone Air Flow					
Zone Infiltration: Design Flow Rate	การรั่วซึมผ่านหน้าต่าง	ห้อง 303 - 306		0.3	
	ACH (1/h)	ห้อง 307		0.2	
	การรั่วซึมผ่านการเปิดปิดประตู	ห้อง 303 - 306		0.4	
	ACH (1/h)	ห้อง 307		0.1	
Coils					
Coils: Cooling: DX: Single Speed					
303 - 306	1	2	3	4	5
Gross Rate Total Cooling Capacity (W)	17585	14068	14068	14068	17585
Gross Rate Sensible Heat Ratio	0.7				
Gross Rate Cooling COP (W/W)	3				
Rated Air Flow Rate (m ³ /s)	0.943	0.755	0.755	0.755	0.943
Rated Evaporator Fan Power Per Volume Flow Rate (W/(m ³ /s))	773.3				
307	1		2		
Gross Rate Total Cooling Capacity (W)	17585				
Gross Rate Sensible Heat Ratio	0.7				
Gross Rate Cooling COP (W/W)	3				
Rated Air Flow Rate (m ³ /s)	0.943				
Rated Evaporator Fan Power Per Volume Flow Rate (W/(m ³ /s))	773.3				



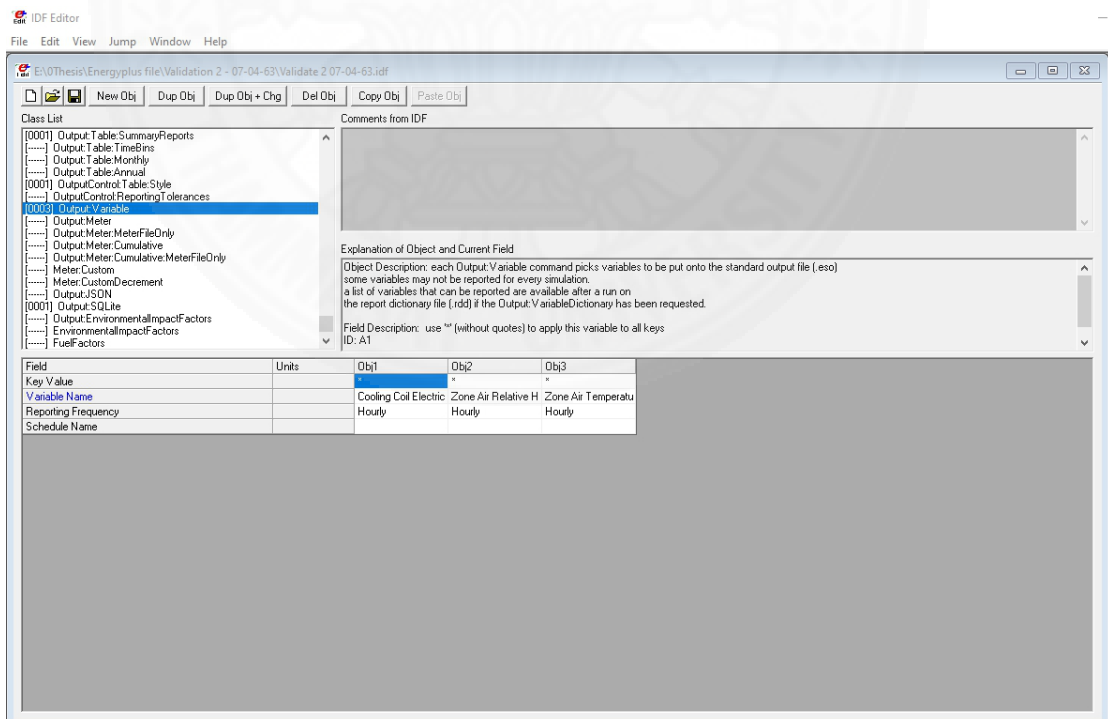
ภาพที่ 3.40 โปรแกรมจำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		303-24	303	307-24	307
Zone or ZoneList Name		Thermal Zone 303	Thermal Zone 303	Thermal Zone 307	Thermal Zone 307
Schedule Name		Office Infil Quarter C	Office Infil Quarter C	Office Infil Quarter C	Office Infil Quarter C
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s				
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2				
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2				
Air Changes per Hour	1/hr	0.31	0.4	0.2	0.1
Constant Term Coefficient		1	1	1	1
Temperature Term Coefficient					
Velocity Term Coefficient					

ภาพที่ 3.41 การตั้งค่า Infiltration ใน Energy Plus Edit – IDF



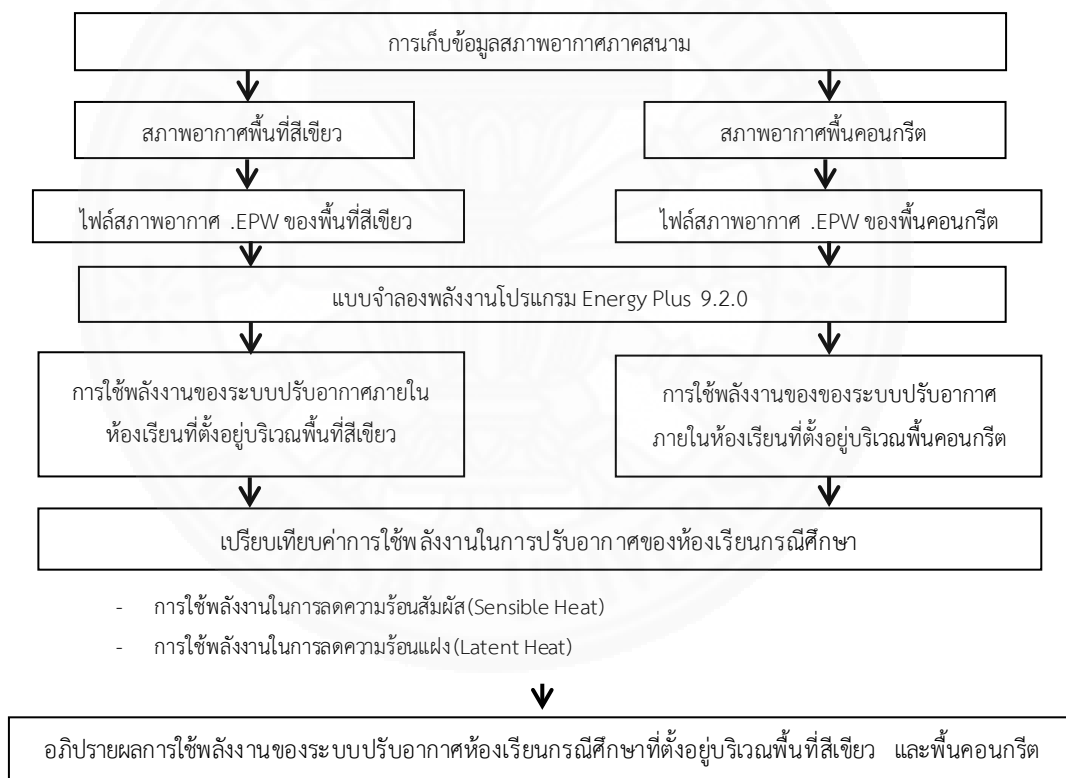
ภาพที่ 3.42 การตั้งค่าระบบปรับอากาศใน Energy Plus Edit – IDF



ภาพที่ 3.43 การเลือกนำค่าที่ต้องการ (Output)

3.4.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน

อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต สภาพอากาศที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิและการลดความชื้นของระบบปรับอากาศ การศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ได้แบ่งเป็น การศึกษาได้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม นำข้อมูลสภาพอากาศที่ได้นำไปแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW ใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน ดังภาพที่ 3.44



ภาพที่ 3.44 การดำเนินการวิจัยอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของห้องเรียน

1) การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามของพื้นที่การศึกษา

การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม พื้นที่การศึกษาที่ทำการเก็บข้อมูลมี 2 พื้นที่ คือพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต เป็นพื้นที่บริเวณภายนอกอาคารของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ระหว่างวันที่ 5 ธันวาคม 2562 ถึงวันที่ 19 ธันวาคม 2562 ตัวแปรด้านสภาพอากาศที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม ในส่วนของข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 7 วัน เป็นข้อมูลที่เก็บทุก ๆ 5 นาที ส่วนข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวกับพื้นที่คอนกรีต

ภาพที่ 3.45 การติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวบริเวณใต้ต้นไม้ และพื้นที่คอนกรีตบริเวณดาดฟ้า การเก็บข้อมูลภาคสนาม บริเวณพื้นที่สีเขียวเก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่ใต้ต้นไม้ ที่มีร่มเงา (ก) ส่วนบริเวณพื้นที่คอนกรีตทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศบริเวณดาดฟ้าของคณะฯ (ข) ความสูงของเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้น จะอยู่สูงจากพื้นประมาณ 1.40 เมตร



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.45 การเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม (ก) บริเวณพื้นที่สีเขียว (ข) พื้นที่คอนกรีต

การเตรียมไฟล์สภาพอากาศเพื่อใช้ในแบบจำลองโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 สภาพอากาศที่เป็นอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้างและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ที่ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ได้ข้อมูลที่ทำการเก็บทุก ๆ 5 นาที นำมาสร้างเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง เพื่อแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW เพื่อใช้ในโปรแกรมจำลองพลังงาน

Energy Plus 9.2.0 ส่วนข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ทำการแบ่งช่วงการเก็บข้อมูลเป็น 3 ช่วง ช่วงเช้า (9.00 น.) ช่วงเที่ยง (12.00 น.) และช่วงเย็น (15.00 น.) เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียว กับพื้นที่คอนกรีต โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 วินาที ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละช่วงเป็นช่วงละ 5 นาทีของค่ารังสีอาทิตย์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ทำการหาค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาและหาร้อยละค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นที่คอนกรีต ตามตารางที่ 3.8 การเตรียมไฟล์สภาพอากาศของค่ารังสีอาทิตย์ ให้ค่ารังสีอาทิตย์ในไฟล์สภาพอากาศ .EPW แบบเบื้องต้นเป็นตัวแทนของค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่คอนกรีต และนำร้อยละค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นที่คอนกรีตทำการแก้ไขค่ารังสีอาทิตย์ในไฟล์สภาพอากาศ .EPW เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่สีเขียว

ตารางที่ 3.8

การเตรียมไฟล์สภาพอากาศของค่ารังสีอาทิตย์

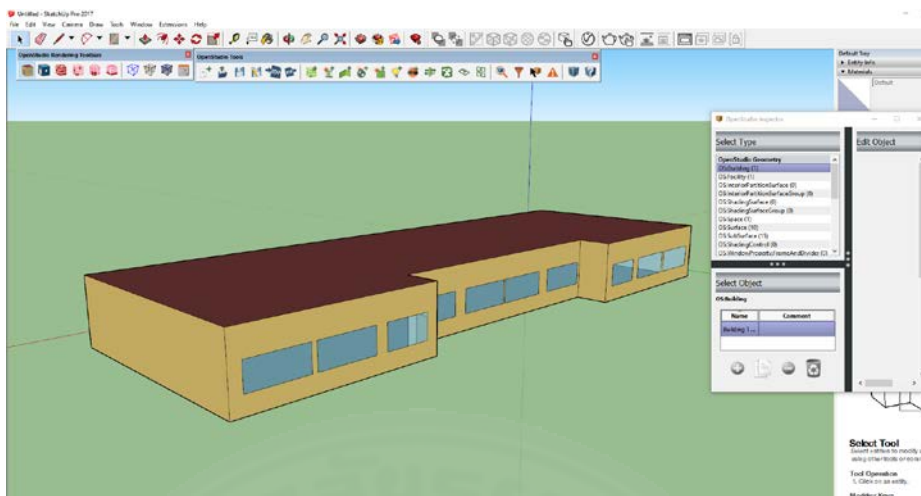
ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ (W/m ²)				ร้อยละค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นที่คอนกรีต
พื้นที่		พื้นที่สีเขียว	พื้นที่คอนกรีต	
ค่าเฉลี่ย	ช่วง 9.00 น.	26.7	398.6	6.7
	ช่วง 12.00 น.	39.7	661.5	6.0
	ช่วง 15.00 น.	30.8	336.1	9.1

2) การวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

นำข้อมูลจากการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ทำการแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW เพื่อใช้ในโปรแกรมจำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0 แบ่งขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเป็น 3 ขั้นตอน

(1) การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp

เริ่มจากการสร้างแบบจำลองพลังงานในโปรแกรม Sketch Up 2017 ที่มีการตั้งค่าสภาพของอาคารลักษณะเดียวกันกับการดำเนินการวิจัย ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Energy Plus เช่น วัสดุการก่อสร้าง จำนวนผู้ใช้งาน กิจกรรมที่เกิดขึ้น ลักษณะการรั่วซึมระบบปรับอากาศ แบบจำลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบการทำความเย็นระหว่างห้องเรียนที่ตั้งในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่สีเขียวและไม่มีพื้นที่สีเขียวปกคลุมจะใช้แบบจำลองแบบเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่ใช้ในการลดอุณหภูมิและความชื้น ดังภาพที่ 3.46



ภาพที่ 3.46 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp

(2) การระบุรายละเอียดแบบจำลองในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

การระบุรายละเอียด การระบุไฟล์สภาพอากาศใน OpenStudio 2.9.0 เป็นสภาพอากาศจากการวัดสภาพอากาศภาคสนามที่แปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW สำหรับใช้ในโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus 9.2.0 การตั้งค่าวัสดุอาคาร ช่วงเวลาการใช้งาน ผู้ใช้งานระบบปรับอากาศ แสดงตารางที่ 3.9 ระบุข้อมูลการตั้งรายละเอียดแบบจำลองในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

ตารางที่ 3.9

ข้อมูลการที่ใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

Site	Weather File & Design Day		
	Weather File THA_Bangkok.484560_IWEC.epw	Name	Bangkok
Latitude		13.92	
Longitude		100.6	
Elevation		12	
Time Zone		7	
Measure Tags (Optional)	ASHRAE Climate Zone	1A	
	CEC Climate Zone	1	
Design Day THA_Bangkok.484560_IWEC.ddy			
Select Year by	Calendar Year	2019	

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

Schedules	Medium class room Activity		
	Schedule Type ActivityLevel 13	303-306 lower Limit 80 Upper Limit 150	time 0.00-12.00 12.00-18.00 18.00-21.00 21.00-24.00
Medium class room Bldg Occ			
Schedule Type Fraction	303-306 lower Limit 0.00 Upper Limit 1.00	time 0.00-12.00 12.00-20.00 20.00-24.00	0.00 1.00 0.00
Medium class room ClgSetp			
Schedule Type Temperature 37	303-306 lower Limit 26 Upper Limit 60	time 0.00-24.00	°C 26
Medium class room HtgSetp			
Schedule Type Temperature 36	lower Limit 0 Upper Limit 4	time 0.00-24.00	°C 4
humidifying max			
Schedule Type Percent	lower Limit 0 Upper Limit 99	time 0.00-24.00	% 50
Dehumidifying min			
Schedule Type Percent	lower Limit 0 Upper Limit 99	time 0.00-24.00	% 40
Medium class room Infil Quarter On 24 hr			
Schedule Type Fraction	lower Limit 0.00 Upper Limit 1.00	time 0.00-24.00	1.00
Medium class room Infil Quarter On open door			
Schedule Type Fraction	303-306 lower Limit 0.00 Upper Limit 1.00	time 0.00-12.00 12.00-18.00 18.00-24.00	0.50 1.00 0.50
Medium class room Bldg Light			
Schedule Type Fraction	303-306 lower Limit 0.00 Upper Limit 1.00	time 0.00-6.00 6.00-8.00 8.00-24.00	1.00 0.00 1.00

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

Construction	Materials	
	Concrete	Roughness: Medium Rough
	Conductivity: 1.72 W/m.K	Density: 2243 kg/m ³
	Specific Heat: 837 J/kg.K	Thermal Absorptance: 0.9
	Solar Absorptance: 0.65	Visible Absorptance: 0.65
Soft wood	Roughness: Medium Rough	Thickness: 0.025 m
	Conductivity: 0.129 W/m.K	Density: 496 kg/m ³
	Specific Heat: 1630 J/kg.K	Thermal Absorptance: 0.9
	Solar Absorptance: 0.7	Visible Absorptance: 0.7
Clear Glass (3 mm)	Thickness: 0.003 m	Solar Transmittance At Normal Incidence: 0.837
	Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence: 0.075	Visible Transmittance At Normal Incidence: 0.898
	Back Side Infrared Hemispherical Emissivity: 0.84	Conductivity: 0.9 W/m.K
Constructions		
Wall	[Outside]: Concrete	
Floor	[Outside]: Concrete	
Ceiling	[Outside]: Concrete	
Door	[Outside]: Soft wood	
Window	[Outside]: Clear Glass (3 mm)	

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ข้อมูลการใช้ในการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio 2.9.0

Load	People Definitions		
	People per Space Floor Area:	303-306	3.4 m ² / person
	Fraction Radiant:	0.3	
	Sensible Heat Fraction:	auto calculate	
	Carbon Dioxide Generation Rate:	0.000038 L/s.W	
	Lights Definitions		
Watt Per Space Floor Area	303-306	4.5 W/m ²	
HVAC	Empty Air Loop		
	Coil Cooling DX Single Speed	1 Spd DX Clg Coil	
	Fan Constant Volume	Fan Constant Volume	
	Set point Manager Warmest Temperature and Flow	Warmest Zone Supply Temp and Reset	
	Air Terminal Single Dust Uncontrolled	Diffuser	

(3) การวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

การใช้โปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ใช้วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิและความชื้นของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีตเปรียบเทียบกันระหว่างทั้งสองพื้นที่ แก๊ซข้อมูลภายในโปรแกรม ปรับแก้การรั่วซึมของอากาศที่เข้ามาภายในห้องเรียน และการตั้งค่าขนาดของระบบปรับอากาศ ตั้งค่าตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10

แสดงการตั้งค่าง่ายละเอียดระบบปรับอากาศและค่าการรั่วซึมอากาศเพิ่มเติมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ของห้องเรียนกรณีศึกษา ห้อง สก. 303 – 306

Zone Air Flow: Zone Infiltration:	การรั่วซึมผ่านหน้าต่าง ACH (1/h)					0.3
Design Flow Rate	การรั่วซึมผ่านการเปิดปิดประตู ACH (1/h)					0.4
Coils: Cooling: DX: Single Speed						
303 - 306	1	2	3	4	5	
Gross Rate Total Cooling Capacity (W)	17585	14068	14068	14068	17585	
Gross Rate Sensible Heat Ratio	0.7					
Gross Rate Cooling COP (W/W)	3					
Rated Air Flow Rate (m ³ /s)	0.943	0.755	0.755	0.755	0.943	
Rated Evaporator Fan Power Per Volume Flow Rate (W/(m ³ /s))	773.3					

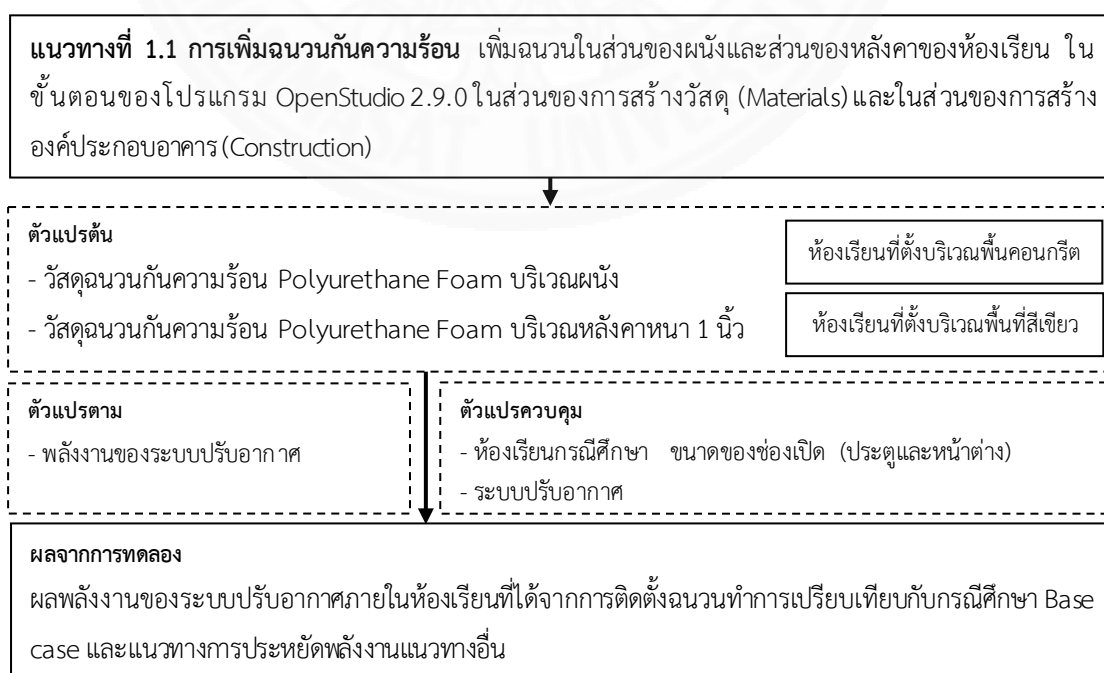
3.4.3 เสนอแนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

ส่วนที่สามของงานวิจัยเป็นการเสนอแนวทางในการออกแบบและเพื่อการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต แนวทางในการออกแบบเป็นการเพิ่มฉนวนกันความร้อนส่วนของผนังอาคารและฉนวนหลังคาและการออกแบบช่องเปิด

1) การติดตั้งฉนวน

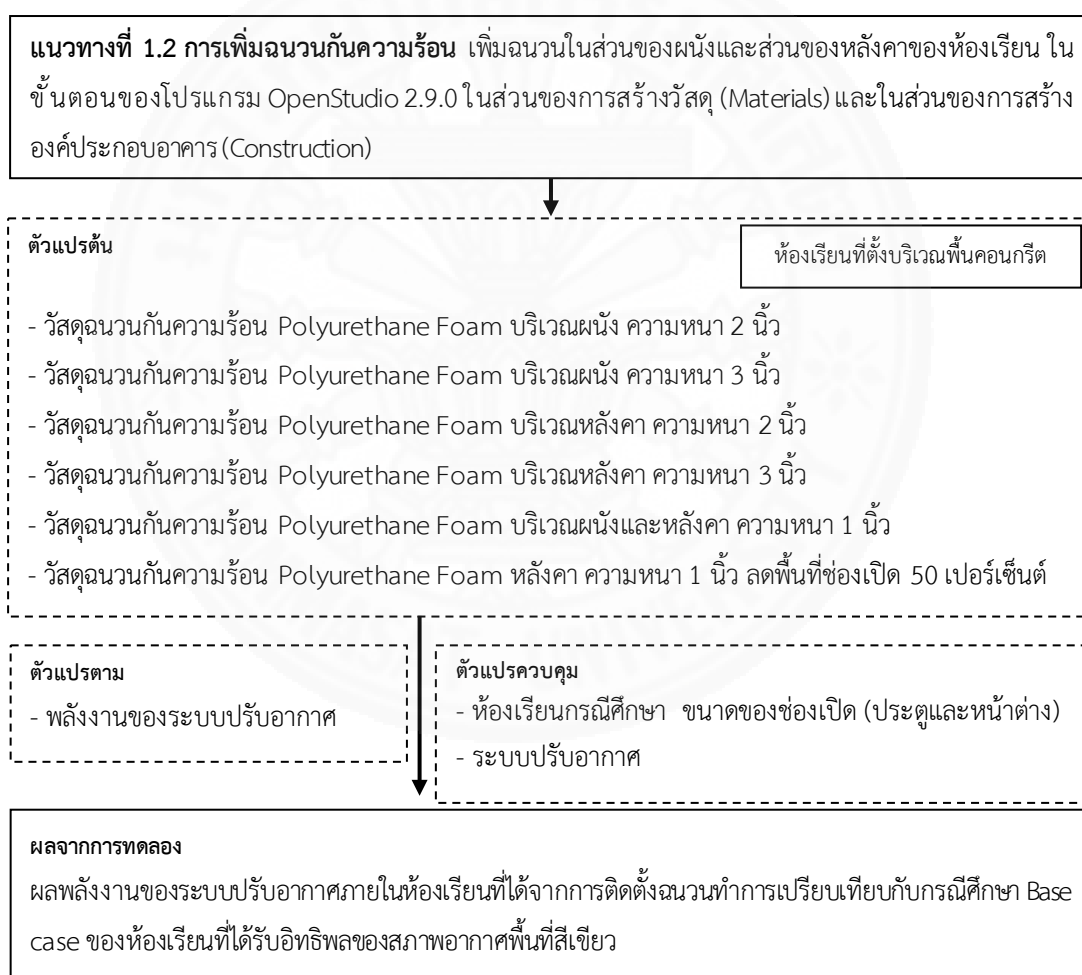
แนวทางการออกแบบผนังอาคารโดยการเพิ่มความต้านทานความร้อนให้สูง (R-Value) หรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมให้ต่ำ (U-Value) โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านนอก หรือการใช้ผนัง 2 ชั้นที่มีช่องว่างอากาศเพื่อกันความร้อนจากภายนอก

การแก้ไขวัสดุกรอบอาคารโดยการใช้ฉนวนกันความร้อน แก้ไขในส่วนของโปรแกรม Open Studio 2.9.0 ในขั้นตอนของการสร้างวัสดุ เพื่อแก้ไขตัววัสดุให้มีค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น หรือในส่วนของการสร้างองค์ประกอบของอาคาร ให้ห้องเรียนกรณีศึกษาของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตเป็นตัวแปรต้น การติดตั้งฉนวนที่จะเพิ่มไปในห้องเรียนกรณีศึกษาเป็นตัวแปรที่ควบคุม ทำการติดตั้งฉนวนมี 2 บริเวณ คือติดตั้งบริเวณผนังและหลังคา ตัวแปรตามที่ศึกษาคือพลังงานที่ใช้ในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง และพลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ดังภาพที่ 3.47



ภาพที่ 3.47 แนวทางที่ 1.1 การเพิ่มฉนวนกันความร้อน

การศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกอาคารต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตในสอง แสดงให้เห็นว่าห้องเรียนที่ตั้งบริเวณพื้นที่สีเขียวมีงานใช้พลังงานน้อยกว่าพื้นที่คอนกรีต (แสดงรายละเอียดในบทที่ 6 ผลการวิจัยและอภิปรายผล) กรณีศึกษาที่ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่คอนกรีตเป็นห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศภายนอกโดยตรงจึงได้มีแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตโดยการเพิ่มฉนวนให้มากที่สุดเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนกรณีศึกษาเบื้องต้นที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวตามภาพที่ 3.48 แนวทางที่ 1.2 การเพิ่มฉนวนกันความร้อน โดยตั้งค่ารายละเอียดวัสดุตามตารางที่ 3.11



ภาพที่ 3.48 แนวทางที่ 1.2 การเพิ่มฉนวนกันความร้อน

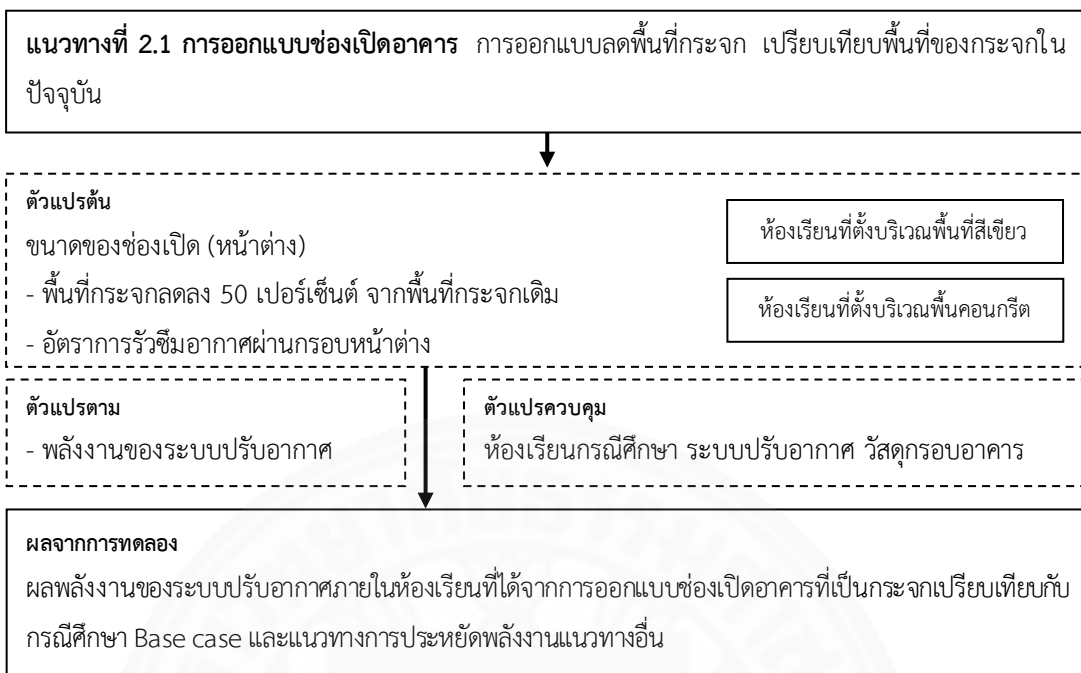
ตารางที่ 3.11

ค่าวัสดุและฉนวนกันความร้อนที่ตั้งใน โปรแกรม OpenStudio 2.9.0

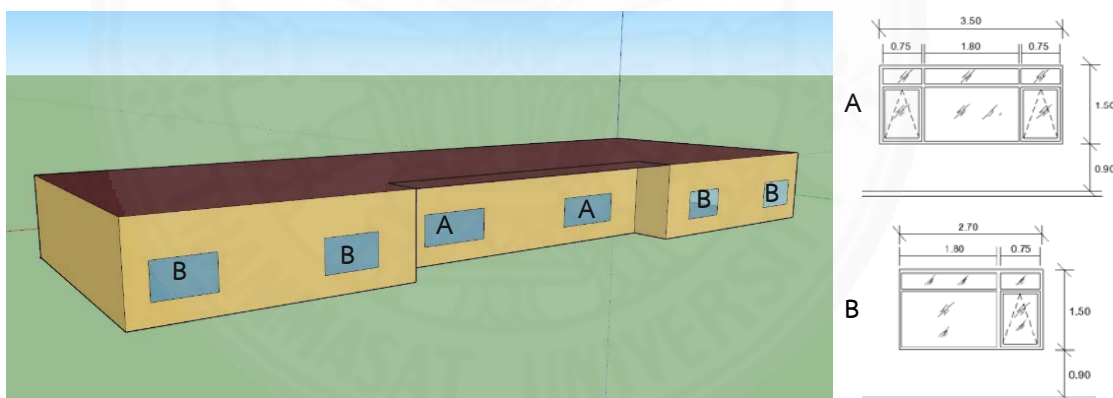
Construction	Materials	
Concrete	Roughness:	Medium Rough
	Thickness:	0.2 m
Polyurethane Foam	Conductivity:	1.72 W/m.K
	Density:	2243 kg/m ³
	Specific Heat:	837 J/kg.K
	Thermal Absorptance:	0.9
	Solar Absorptance:	0.65
	Visible Absorptance:	0.65
	Constructions	
Wall01	[Outside]: Concrete / Polyurethane Foam / Concrete	
Roof01	[Outside]: Concrete / Polyurethane Foam	

2) การออกแบบช่องเปิดอาคารที่เป็นกระจก

พื้นที่ช่องเปิดมีผลต่อความร้อนที่จะส่องผ่านเข้ามาภายในอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่ใช้ช่องเปิดเป็นกระจก เมื่อพื้นที่กระจกมาก ความร้อนที่ส่องผ่านเข้ามาก็จะมากขึ้นส่งผลต่อการใช้พลังงานอาคาร สามารถออกแบบโดยการลดพื้นที่กระจก กรณีศึกษาที่ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่สีเขียว ต้นไม้จะช่วยเป็นร่มเงา (Shading) ให้กับอาคารสามารถมีช่องเปิดได้มากกว่า ส่วนห้องเรียนที่ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่คอนกรีต ออกแบบโดยลดพื้นที่กระจกให้น้อยลง 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่กระจกเดิม ในแนวทางที่ 2.1 การออกแบบช่องเปิดอาคาร (ภาพที่ 3.49) โดยการปรับในการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp 2017 แสดงแบบจำลองแลพช่องเปิดที่ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์จากแบบจำลองอาคารเดิมดังภาพที่ 3.50

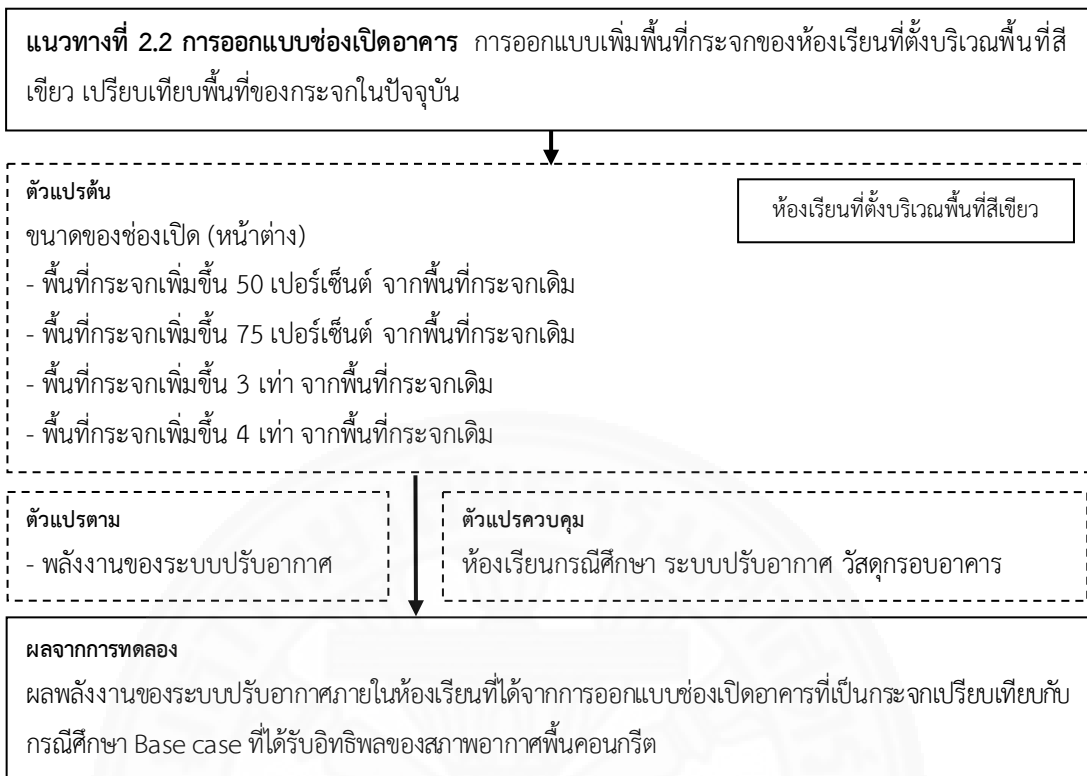


ภาพที่ 3.49 แนวทางที่ 2.1 การออกแบบช่องเปิดอาคาร



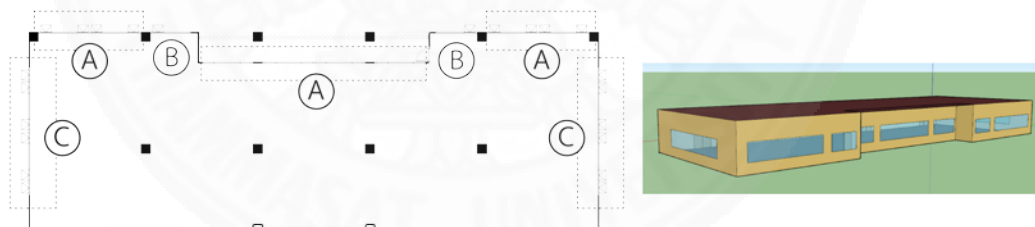
ภาพที่ 3.50 แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

กรณีศึกษาของห้องเรียนที่ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่สีเขียว มีต้นไม้จะช่วยเป็นร่มเงา (Shading) ให้กับอาคาร การศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกอาคารต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตในส่วนที่สอง แสดงให้เห็นว่าห้องเรียนที่ตั้งบริเวณพื้นที่สีเขียวมีงานใช้พลังงานน้อยกว่าพื้นที่คอนกรีต (แสดงรายละเอียดในบทที่ 6 ผลการวิจัยและอภิปรายผล) จึงออกแบบเพิ่มพื้นที่กระจกในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวตามภาพที่ 3.51 แนวทางที่ 2.2 การออกแบบช่องเปิดอาคาร และแสดงรายละเอียดของช่องเปิดตามภาพที่ 3.52 ถึง 3.55

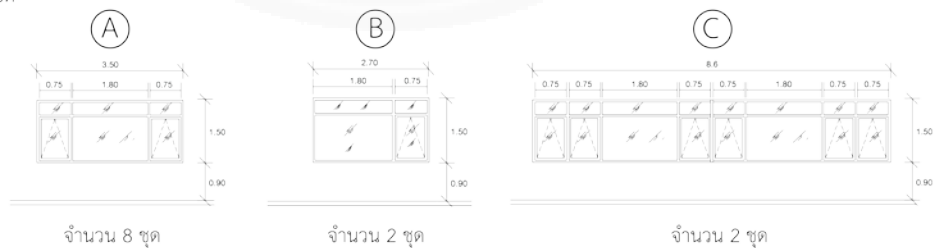


ภาพที่ 3.51 แนวทางที่ 2.2 การออกแบบช่องเปิดอาคาร

ตำแหน่งช่องเปิด

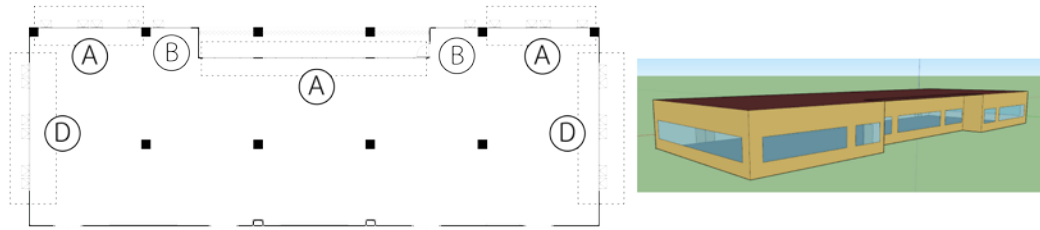


ลักษณะช่องเปิด

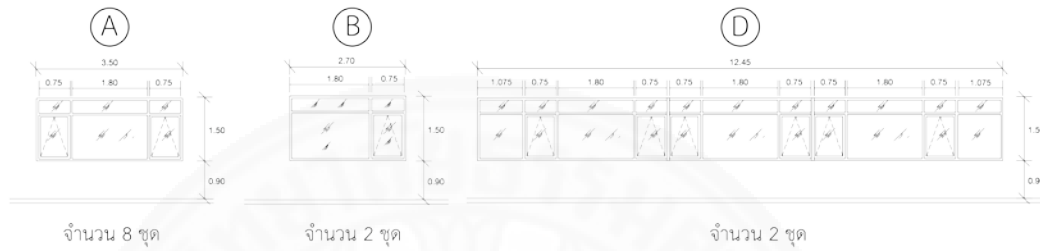


ภาพที่ 3.52 แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์

ตำแหน่งช่องเปิด

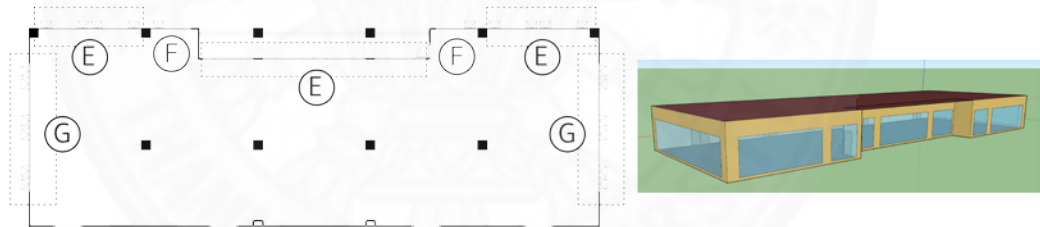


ลักษณะช่องเปิด



ภาพที่ 3.53 แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 75 เปอร์เซ็นต์

ตำแหน่งช่องเปิด

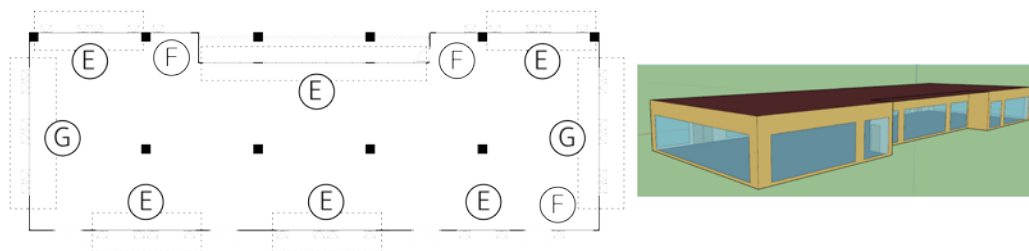


ลักษณะช่องเปิด

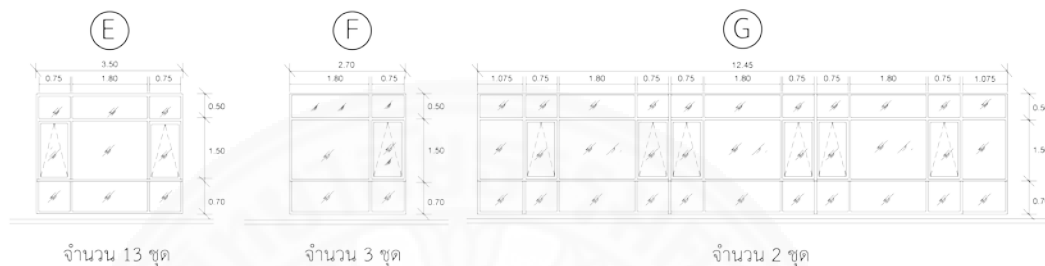


ภาพที่ 3.54 แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 3 เท่า

ตำแหน่งช่องเปิด



ลักษณะช่องเปิด



จำนวน 13 ชุด

จำนวน 3 ชุด

จำนวน 2 ชุด

ภาพที่ 3.55 แบบจำลองในโปรแกรม SketchUp และขนาดช่องเปิดเพิ่มขึ้น 4 เท่า

ขนาดช่องเปิดของหน้าต่างที่ลดลงและเพิ่มขึ้นของแบบจำลองกรณีศึกษา ส่งผลต่อค่าการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านกรอบหน้าต่าง โดยได้ปรับค่าการรั่วซึมอากาศในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 แสดงค่าการรั่วซึมอากาศของแต่ละกรณีศึกษาตามตารางที่ 3.12 แสดงการตั้งค่ารายละเอียดค่าการรั่วซึมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

ตารางที่ 3.12

แสดงการตั้งค่ารายละเอียดค่าการรั่วซึมในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

Zone Air Flow		
Zone Infiltration: Design Flow Rate ACH(1/h)	การรั่วซึมผ่านหน้าต่าง	การรั่วซึมผ่านการเปิดปิดประตู
พื้นที่กระจกลดลง 50 เปอร์เซ็นต์	0.24	0.4
พื้นที่กระจกเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์	0.40	
พื้นที่กระจกเพิ่มขึ้น 75 เปอร์เซ็นต์	0.44	
พื้นที่กระจกเพิ่มขึ้น 3 เท่า	0.54	
พื้นที่กระจกเพิ่มขึ้น 4 เท่า	0.68	

3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล

วิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของห้องเรียนที่อยู่ในพื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีต เปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงาน ด้วยโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0 วิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานจากการลงทุนการสร้างพื้นที่สีเขียว จากการดำเนินการวิจัยที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนตามการดำเนินการวิจัย คือ

3.5.1 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

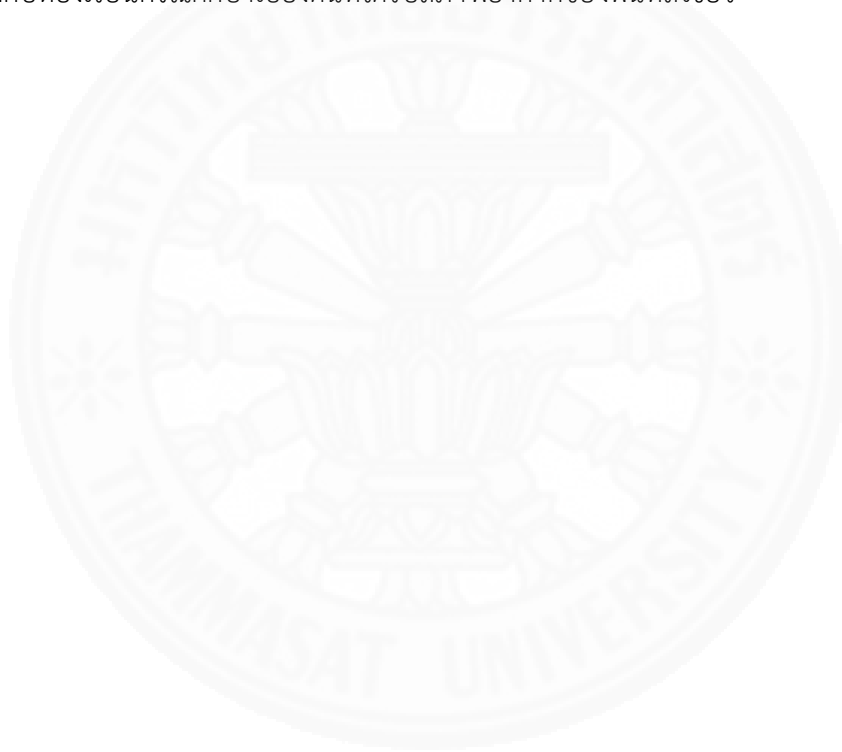
การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 แบ่งการวิเคราะห์ และประเมินออกเป็น 2 ส่วน เป็นการวิเคราะห์และประเมินสภาพอากาศภายในห้องเรียนที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 เทียบกับสภาพอากาศภาคสนามที่เก็บข้อมูลบริเวณห้องเรียนซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสภาพอากาศภายในห้องเรียน สด. 303 - สด. 306 และการวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับการวัดพลังงานภาคสนาม

3.5.2 การวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน

การวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตใช้สภาพอากาศจากการวัดภาคสนามมาวิเคราะห์พลังงานโดยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการลดความร้อน (ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง) ของระบบปรับอากาศ รวมถึงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีต

3.5.3 การวิเคราะห์แนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน

การวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวกับพื้นที่คอนกรีต แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวที่ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับห้องเรียนกรณีศึกษาเบื้องต้นที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีต และแนวทางในการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีตที่ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับห้องเรียนกรณีศึกษาเบื้องต้นที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว



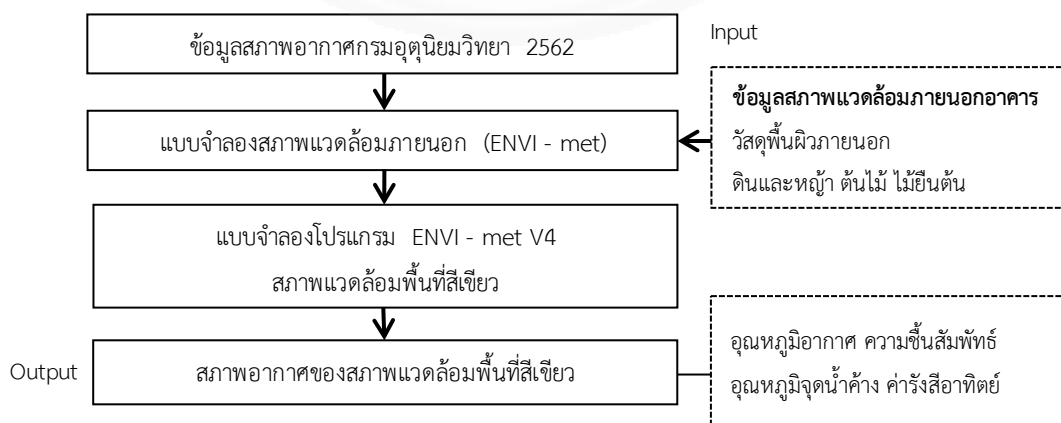
บทที่ 4

การศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาทดลองวิธีการใช้โปรแกรมแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม ENVI met V4 และการทดลองในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ในส่วนของการสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้

4.1 การศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม ENVI - met V4

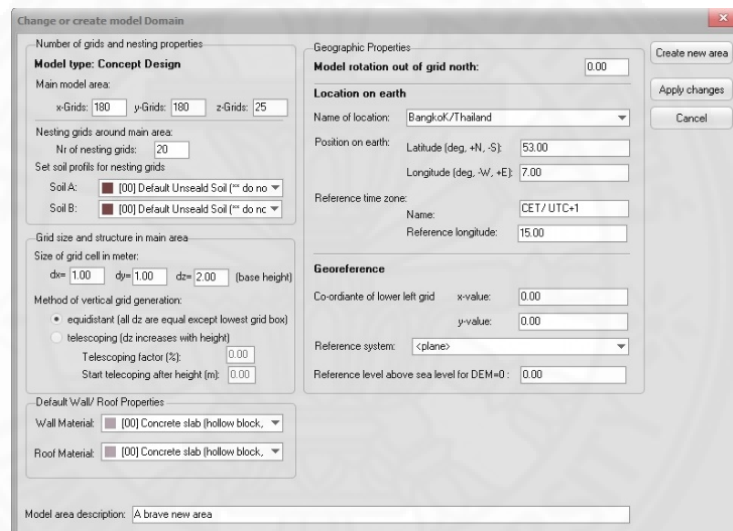
สภาพอากาศภายนอกอาคารนอกจากวิธีในการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามสามารถใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4 ในการจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้ได้ข้อมูลสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว เพื่อนำข้อมูลมาแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW (Weather file) ใช้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต จากที่กล่าวข้างต้นสภาพแวดล้อมที่ศึกษามี 2 ลักษณะ คือ พื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีต ในงานวิจัยนี้พื้นที่สีเขียวคือพื้นที่โดยรอบอาคารที่ประกอบด้วยไม้ยืนต้นที่มีการให้ร่มเงา ส่วนพื้นที่คอนกรีตคือ พื้นที่ลาดแข็ง (Hardscape) ที่มีวัสดุพื้นผิวที่มีความสามารถดูดซับความร้อนสูง ได้แก่ คอนกรีต เป็นพื้นที่โล่งโดยรอบปราศจากร่มเงาปกคลุมแสดงการศึกษาดังภาพที่ 4.1 สามารถแบ่งขั้นตอนของการตั้งค่าโปรแกรมการจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V.4 แบ่งขั้นตอนการศึกษาดังนี้



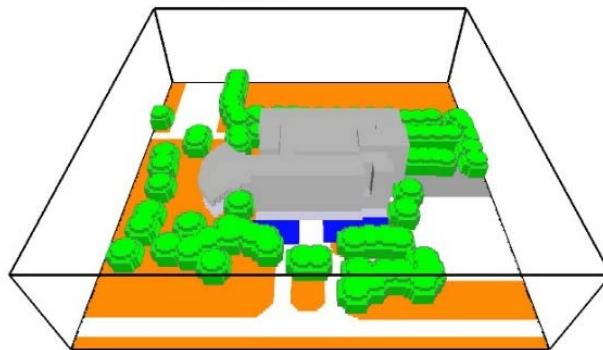
ภาพที่ 4.1 การศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม ENVI - met V4

4.1.1 การสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4

การสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เริ่มจากสร้างแบบจำลอง ส่วนของอาคาร (อาคารเรียนกรณีศึกษา) และสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เริ่มจากสร้างแบบจำลองใน Spaces และการตั้งค่าขนาดของโดเมน และสถานที่ตั้งของอาคาร ตามภาพที่ 4.2 สภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ วัสดุปูพื้นผิวภายนอกอาคารที่เป็นคอนกรีตและดิน รวมถึงต้นไม้ การจำลองสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่สีเขียว มีการใส่ต้นไม้ในแบบจำลอง (ภาพที่ 4.3) แสดงการตั้งค่าแบบจำลองภายนอกตามตารางที่ 4.1 การตั้งค่าแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4



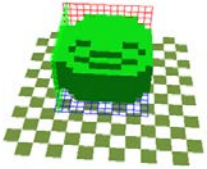
ภาพที่ 4.2 การตั้งค่าขนาดของโดเมน และสถานที่ตั้งของอาคาร



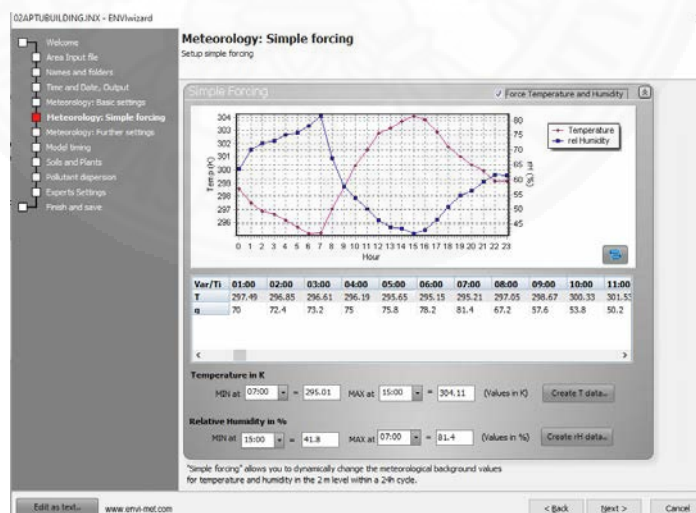
ภาพที่ 4.3 โมเดลแบบจำลองสภาพแวดล้อมพื้นที่สีเขียว

ตารางที่ 4.1

การตั้งค่าแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4

Buildings	Wall Material	[00] Concrete slab
	Roof Material	[00] Concrete slab
Vegetation		[K1] Koelreuteria paniculate
Soil and surface	Natural surfaces	[LO] Loamy Soil
	Roads and Pavements	[PG] Concrete Pavement Gray
		[GG] Dark Granit Pavement
		[WW] Deep Water

ภาพที่ 4.4 การนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ การจำลองสภาพอากาศในโปรแกรม ENVI - met V4 ในส่วนของ ConfigWizard ได้นำข้อมูลวันเวลาในการจำลองที่ตรงกับวันที่ทำการวัดภาคสนาม (19 ธันวาคม พ.ศ. 2562) ที่เป็นข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีดอนเมือง ทำการเฉลี่ย 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2558 - 2562) ของวันที่ทำการวัดภาคสนาม ข้อมูลสภาพอากาศที่ทำการเฉลี่ยคือข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นข้อมูลรายชั่วโมง 24 ชั่วโมง



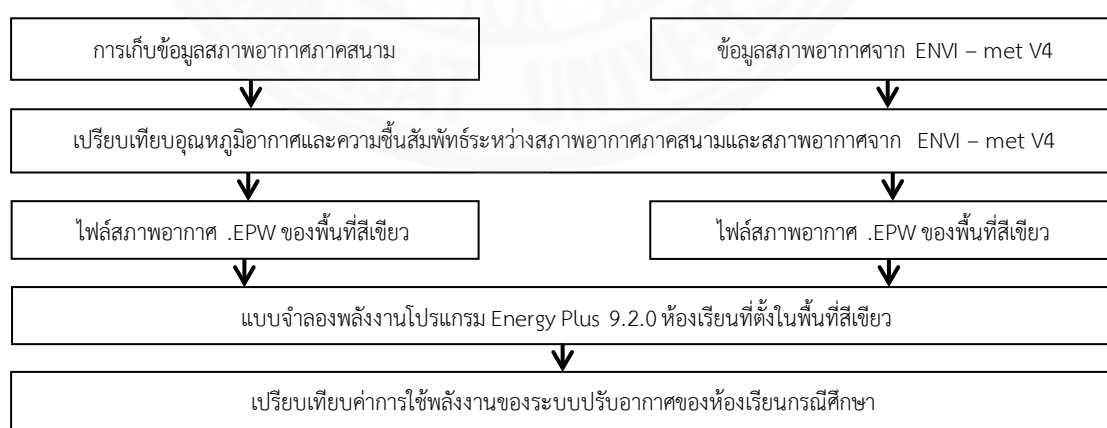
ภาพที่ 4.4 การใส่ข้อมูลสภาพอากาศกรมอุตุนิยมวิทยาในส่วนของ ConfigWizard

นำผลสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรม ENVI - met V4 เปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่ทำการวัดภาคสนาม ข้อจำกัดด้านเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม ENVI - met V4 จึงได้สภาพอากาศ 24 ชั่วโมง นำมาแปลงเป็นสภาพอากาศทั้งปีแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW เพื่อใช้ในโปรแกรม จำลองพลังงาน Energy Plus 9.2.0

เปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองระหว่างแบบจำลองอาคารโปรแกรม ENVI - met V4 เปรียบเทียบกับแบบจำลองโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 อาคารมีการตั้งค่าวัสดุอาคารแบบเดียวกันคือคอนกรีตความหนา 0.2 เมตร การตั้งค่าที่ต่างกันโปรแกรม ENVI - met V4 ได้สร้างสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเพื่อให้ได้สภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวภายนอกอาคารสำหรับใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ส่วนในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 มีการตั้งค่าเกี่ยวกับการใช้งานอาคาร ระบบปรับอากาศ การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานอาคาร

4.1.2 วิธีการที่พิจารณา

วิธีในการพิจารณาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการเปรียบเทียบสภาพอากาศระหว่างข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามกับสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI - met V4 ส่วนที่สองนำข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จาก ENVI - met V4 สร้างเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW เพื่อใช้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน กับแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม แสดงวิธีการพิจารณาเปรียบเทียบดังภาพที่ 4.5



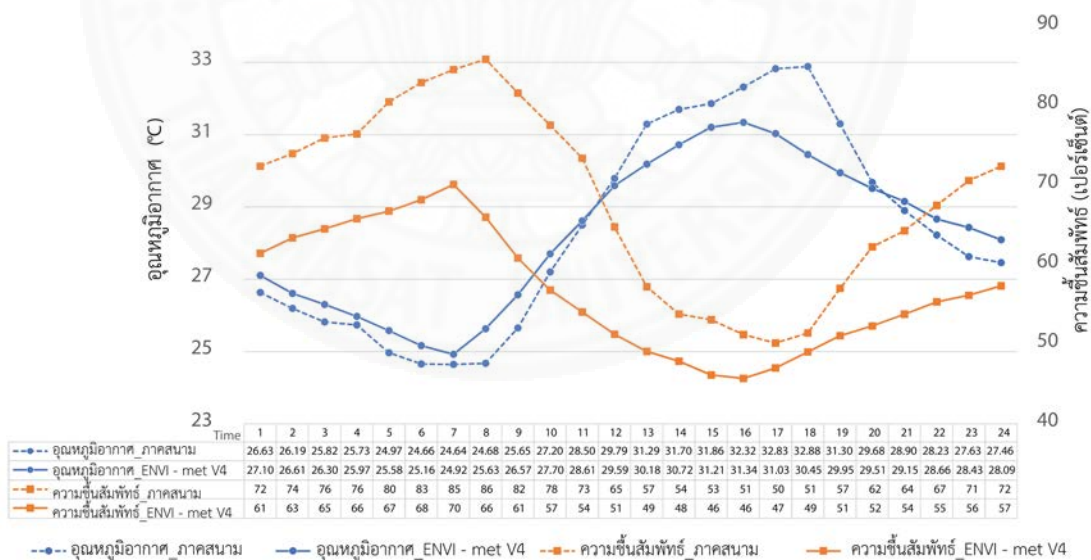
ภาพที่ 4.5 วิธีในการพิจารณาการสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ENVI - met V4

4.1.3 ผลการศึกษาสภาพอากาศภายนอกโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อม

ENVI met V4

1) ผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศ

ผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศของพื้นที่สีเขียวระหว่างสภาพอากาศที่ได้จากการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม (วันที่ 19 ธันวาคม 2563) กับสภาพอากาศที่ได้จากแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารโปรแกรม ENVI - met V4 ภาพที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวระหว่างการวัดภาคสนามกับจากโปรแกรม ENVI - met V4 อุณหภูมิอากาศจากข้อมูลภาคสนาม (เส้นประสีน้ำเงิน: อุณหภูมิอากาศ_ภาคสนาม) มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิอากาศจากโปรแกรม ENVI met V4 (เส้นเข้มสีน้ำเงิน: อุณหภูมิอากาศ_ENVI - met V4) โดยอุณหภูมิของสภาพอากาศภาคสนามมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จาก ENVI - met V4 โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 18.00 น. เท่ากับ 2.44 °C ความชื้นสัมพัทธ์จากข้อมูลภาคสนาม (เส้นประสีส้ม: ความชื้นสัมพัทธ์_ภาคสนาม) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าผลความชื้นสัมพัทธ์จากโปรแกรม ENVI - met V4 (เส้นเข้มสีส้ม: ความชื้นสัมพัทธ์_ENVI - met V4) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าอยู่ 2 เปอร์เซ็นต์ (เวลา 18.00 น.) ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ (เวลา 9.00 น.)

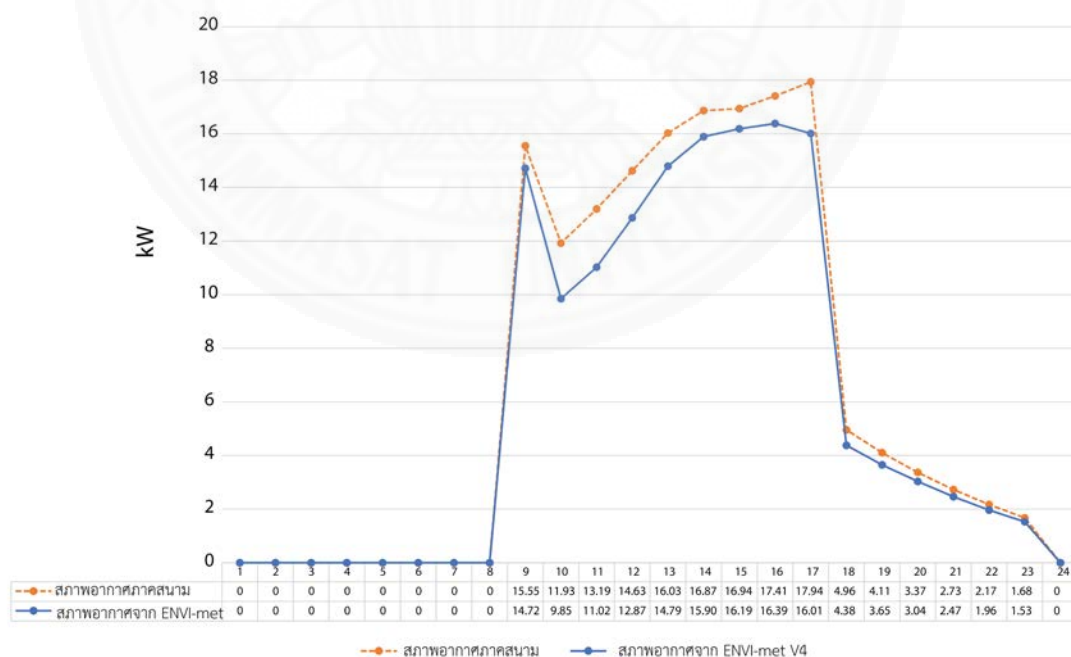


ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวระหว่างข้อมูลภาคสนามกับสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรม ENVI - met V4

2) ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวจากการวัดสภาพอากาศภาคสนามเปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรม ENVI - met V4 ภาพที่ 4.7 แบบจำลองที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศภาคสนาม (เส้นประสีน้ำเงิน: สภาพอากาศภาคสนาม) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน (ผลของวันที่ 19 ธันวาคม 2562) 159.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI - met V4 (เส้นเข็มสีส้ม: สภาพอากาศจาก ENVI - met V4) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ 144.76 กิโลวัตต์ชั่วโมง แบบจำลองพลังงานที่ได้รับสภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม มีค่าสูงกว่าการใช้พลังงานที่ได้จากของแบบจำลองที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศจาก ENVI - met V4 อยู่ 14.75 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าความแตกต่างคิดเป็น 9.25 เปอร์เซ็นต์ของแบบจำลองที่ใช้สภาพอากาศภาคสนาม

แบบจำลองพลังงานห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามมีค่าการใช้พลังงานที่สูงกว่าแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI - met V4 เนื่องจากสภาพอากาศที่ได้จากการวัดภาคสนามมีค่าที่สูงกว่าสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI - met V4



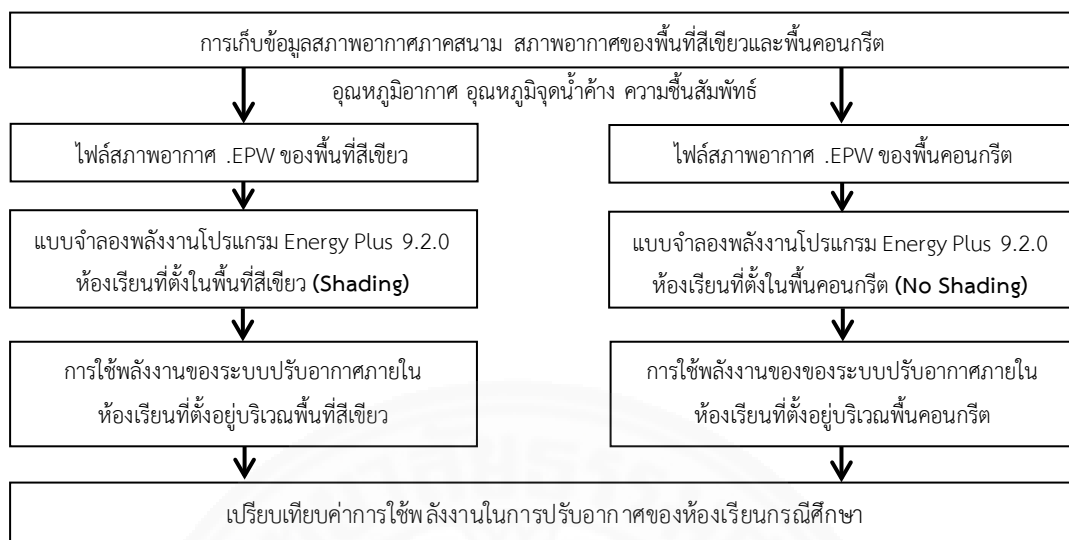
ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างแบบจำลองพลังงานที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวจากข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามกับข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากโปรแกรม ENVI - met V4

การศึกษาแบบจำลองพลังงานกรณีศึกษาที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการเก็บข้อมูลภาคสนามแทนการใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โปรแกรม ENVI – met V4 เนื่องจากสภาพอากาศเป็นสภาพอากาศจากการวัดในสภาพแวดล้อมจริงที่ส่งผลให้การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ใช้ข้อมูลการเก็บภาคสนามมีค่าสูงกว่าห้องเรียนที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม ENVI – met V4 กรณีศึกษาที่เหมาะสมในการนำแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารไปใช้คือกรณีศึกษาที่ศึกษาความแตกต่างของสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เช่น ความแตกต่างของพื้นที่สีเขียวภายนอก การศึกษาความแตกต่างของพันธุ์ไม้ การศึกษาพื้นที่สีเขียวทางตั้ง (Green wall)

4.2 การสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

งานวิจัยศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกอาคารของสภาพแวดล้อมพื้นที่สีเขียวที่มีลักษณะเป็นต้นไม้ยืนต้นและพื้นคอนกรีตที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน ได้ศึกษาอาคารที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว โดยจำลองให้อาคารได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวทั้งอาคารเสมือนกับอาคารตั้งในพื้นที่สีเขียวที่เป็นไม้ยืนต้น อาคารทั้งอาคารได้รับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียว ดังนั้นร่มเงาของต้นไม้ที่เกิดขึ้นกับอาคารจึงปกคลุมทั้งอาคาร

วิธีการศึกษาการสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ในขั้นตอนการปรับแก้ไฟล์สภาพอากาศ .EPW ทำการแก้ไขข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนค่ารังสีอาทิตย์ทำการเพิ่มร่มเงา (Shading) ในแบบจำลองที่เป็นกรณีศึกษาพื้นที่สีเขียว ส่วนแบบจำลองที่เป็นกรณีศึกษาที่เป็นพื้นคอนกรีตเป็นแบบจำลองที่ไม่มีต้นไม้จึงไม่เพิ่ม Shading เปรียบเทียบกับกรณีศึกษาแบบจำลองพลังงานที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม ขั้นตอนในการการเพิ่มร่มเงา (Shading) ทำการเพิ่มในการสร้างแบบจำลองในส่วนของโปรแกรม Sketch Up 2017 แสดงการศึกษาดังภาพที่ 4.8

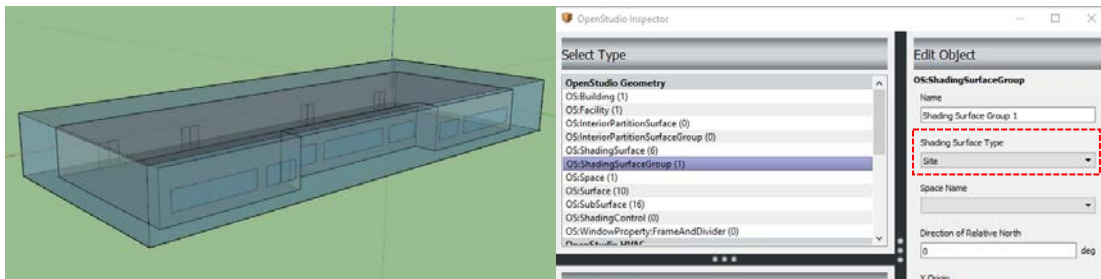


ภาพที่ 4.8 วิธีการศึกษาการสร้างร่วมเงาในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

4.2.1 การสร้างแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Sketch Up 2017 ทำการสร้างแบบจำลองกรณีศึกษาที่เป็นห้องเรียน เมื่อสร้างแบบจำลองห้องเรียนเรียบร้อยแล้วก็สร้าง Shading ที่เป็นตัวแทนของต้นไม้ที่เป็นสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ปกคลุมห้องเรียนกรณีศึกษา เลือกสร้างที่ New Shading Surface Group ทำการสร้าง Surface ที่เป็นร่วมเงาให้มีระยะห่างจากอาคารรอบด้านระยะ 1 เมตร ร่วมเงาที่เกิดจากต้นไม้ที่เป็นไม้ยืนต้นที่อยู่โดยรอบอาคารร่วมเงาจึงปกคลุมรอบอาคาร เมื่อสร้าง Surface ที่เป็นที่เป็น Shading แล้วให้กำหนดประเภทว่าร่วมเงาที่สร้างขึ้นเป็น Site หรือ Building ในกรณีศึกษานี้ เลือกเป็น Site เนื่องจากเป็นองค์ประกอบร่วมเงาที่ตั้งภายนอกอาคาร (เช่น อาคารใกล้เคียง ต้นไม้) (Farhang Tahmasebi, 2017)

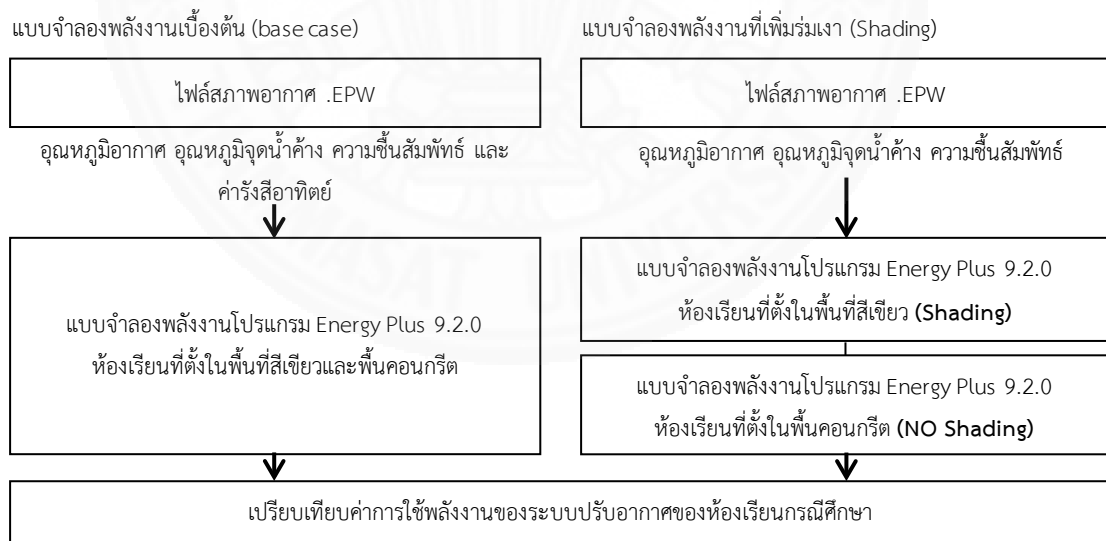
ภาพที่ 4.9 แบบจำลองพลังงาน ในการศึกษานี้ได้กำหนดร่วมเงาที่เกิดขึ้นเป็นร่วมเงาสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่เกิดจากต้นไม้ที่มีร่วมเงาเกิดขึ้นรอบอาคาร 1 เมตร กำหนดแค่ตัวแทนร่วมเงาที่เกิดจากไม้ยืนต้น โดยที่ไม่ได้ระบุชนิดของพันธุ์ไม้ วิเคราะห์ร่วมกับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวที่เป็นอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม



ภาพที่ 4.9 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp ที่ใส่ Shading แทนร่มเงาต้นไม้

4.2.2 วิธีการพิจารณา

วิธีในการพิจารณา ทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองพลังงานกรณีศึกษาที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศแก้ไขข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ และค่ารังสีอาทิตย์เทียบกับกรณีศึกษาแบบจำลองพลังงานที่เพิ่มร่มเงา (Shading) ในแบบจำลองพลังงานและใช้ไฟล์สภาพอากาศที่แก้ไขข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และความชื้นสัมพัทธ์ ดังภาพที่ 4.10



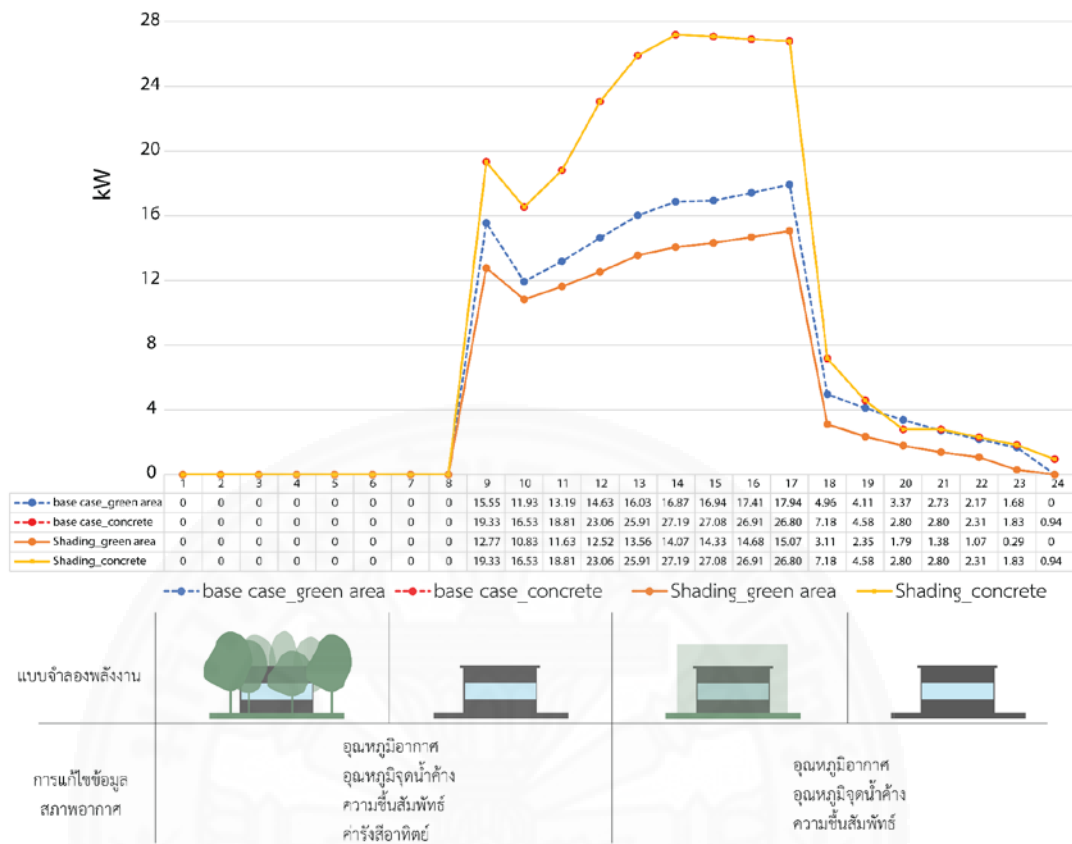
ภาพที่ 4.10 วิธีในการพิจารณาการสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

4.2.3 ผลการศึกษาการสร้างร่มเงา (Shading) แทนร่มเงาของต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

ภาพที่ 4.11 การศึกษาในวันที่ 19 ธันวาคม 2562 แบบจำลองพลังงานกรณีศึกษาที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศที่แก้ไขค่ารังสีอาทิตย์เปรียบเทียบกับแบบจำลองกรณีศึกษาที่สร้างร่มเงา (Shading) แทนต้นไม้ ผลการศึกษาในห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวทั้ง 2 กรณีศึกษามีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลาเป็นไปในทิศทางเดียวกันและพบว่าในห้องเรียนกรณีศึกษาที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศที่แก้ไขค่ารังสีอาทิตย์ (เส้นประสีน้ำเงิน: base case_green area) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 159.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวโดยการเพิ่มร่มเงา (Shading) ในแบบจำลอง (เส้นเข้มสีน้ำเงิน: Shading_green area) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 129.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยแบบจำลองห้องเรียนกรณีศึกษาที่ทำการแก้ไขข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์มีการใช้พลังงานสูงกว่าแบบจำลองที่สร้างร่มเงา (Shading) อยู่ 30.09 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าความแตกต่างคิดเป็น 18.86 เปอร์เซ็นต์ ส่วนห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีตทั้งสองกรณีศึกษา (เส้นประสีแดง: base case_concrete, เส้นเข้มสีเหลือง: Shading_concrete) ผลการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนมีค่าเท่ากัน

แบบจำลองกรณีศึกษาที่สร้างร่มเงา (Shading) แทนต้นไม้ที่มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่ำกว่าแบบจำลองที่แก้ไขข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามได้ทำการเก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่ใต้ต้นไม้ในสภาพแวดล้อมจริงของวันที่ 19 ธันวาคม 2562 จึงได้รับค่ารังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล ต่างกับกรณีที่สร้างร่มเงา (Shading) ที่ใช้ค่ารังสีอาทิตย์จากไฟล์สภาพอากาศ .EPW ที่สร้างโดยกระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกาเป็นรูปแบบไฟล์ข้อมูลที่สร้างขึ้นจากชุดข้อมูล TMY และข้อมูลนานาชาติอื่น ๆ โดยเป็นค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านร่มเงาที่สร้างขึ้นในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

กรณีศึกษาแบบจำลองกรณีศึกษาที่สร้างร่มเงา (Shading) แทนต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 จึงเลือกศึกษาแบบจำลองพลังงานกรณีศึกษาที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม เนื่องจากสภาพอากาศที่ใช้เป็นสภาพอากาศที่ได้จากการเก็บข้อมูลพื้นที่สภาพแวดล้อมจริงที่จะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ใช้ข้อมูลการเก็บภาคสนามมีค่าที่สูงกว่า



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศระหว่างแบบจำลองพลังงานที่แก้ไขค่ารังสีอาทิตย์กับแบบจำลองกรณีศึกษาที่สร้างร่มเงา (Shading) แทนต้นไม้

งานวิจัยจึงเลือกวิธีการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกจึงเลือกใช้วิธีการศึกษาแบบจำลองพลังงานห้องเรียนกรณีศึกษาที่ใช้สภาพอากาศภาคสนามที่ทำการแก้ไขข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ และค่ารังสีอาทิตย์แทนการศึกษาแบบจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนกรณีศึกษาที่ใช้สภาพอากาศภายนอกจากแบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารโปรแกรม ENVI – met V4 และแบบจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนกรณีศึกษาที่สร้างร่มเงา (Shading) แทนต้นไม้ในแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

บทที่ 5

ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือโปรแกรม

การแสดงผลของการศึกษาส่วนของการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลังงาน Energy Plus 9.2.0 (Validation) ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนกรณีศึกษาในอาคารเรียนที่ได้จากแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจากการวัดภาคสนาม แบบจำลองพลังงานโดยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ทำการทดสอบเปรียบเทียบโดยการใช้ 1) ไฟล์สภาพอากาศ .EPW เป็น Weather File ที่สามารถค้นหาได้จาก <https://energyplus.net/weather> 2) ไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา และ 3) ไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม ผลจากการดำเนินการวิจัยในส่วนที่หนึ่ง การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 จะทำการวิเคราะห์การเปรียบเทียบข้อมูลสภาพอากาศภายในห้องเรียนที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับข้อมูลจากการวัดสภาพอากาศภาคสนาม และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนระหว่างโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับการวัดการใช้พลังงานภาคสนามจากการใช้อุปกรณ์ในการวัดเครื่องวิเคราะห์ไฟฟ้า (Power Quality Analyzer) ที่แมนเซอร์กิต เบรกเกอร์ของระบบปรับอากาศ

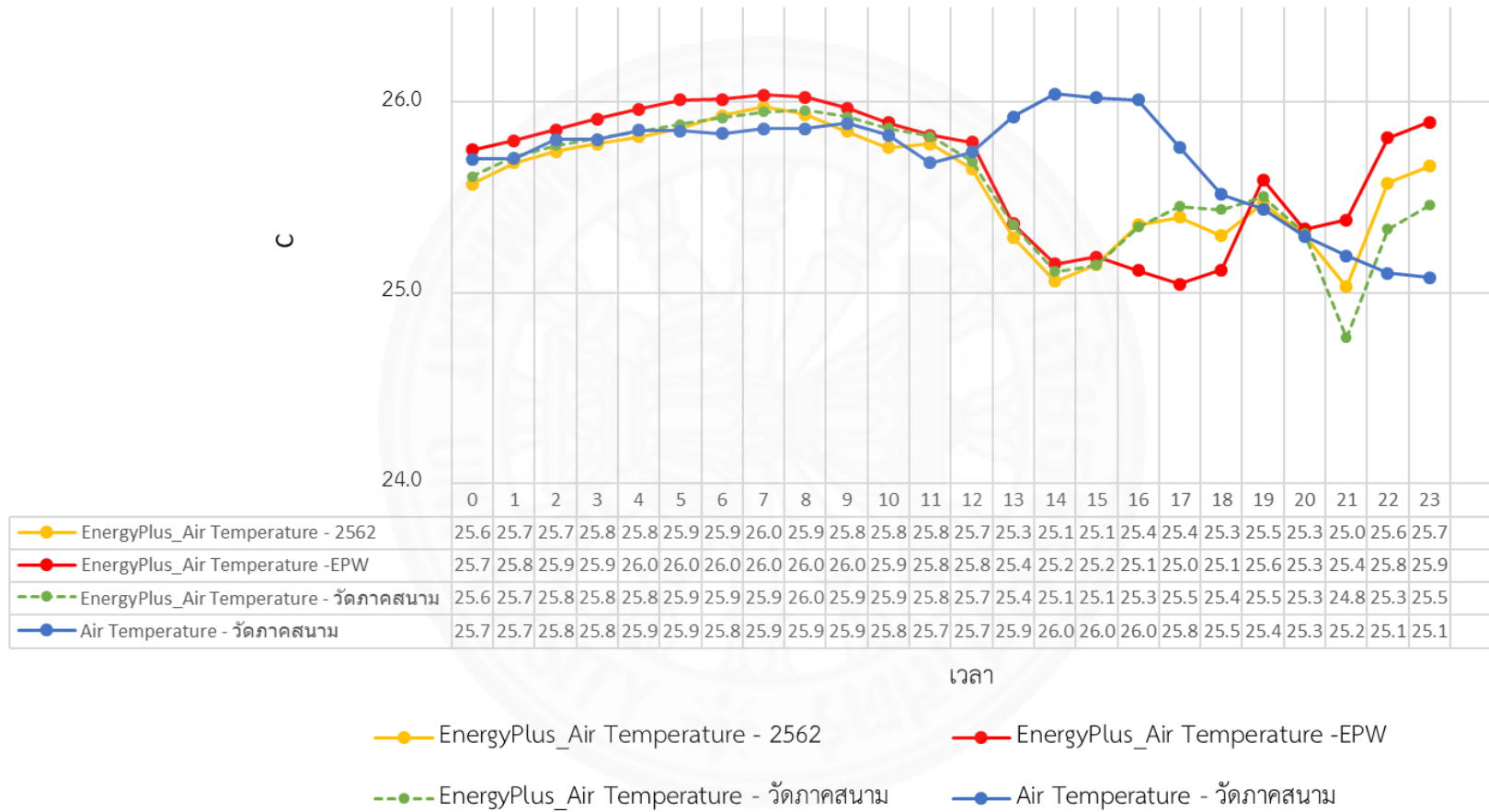
5.1 ข้อมูลสภาพอากาศ

การวิเคราะห์สภาพอากาศภายในห้องเรียนเป็นการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลสภาพอากาศจากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับข้อมูลการวัดภาคสนามโดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในบริเวณห้องเรียน จากการตั้งค่าในบทที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในห้องจากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 มีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ทำการวัดภาคสนาม ระยะเวลาการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 1 วัน แสดงเป็นข้อมูลรายชั่วโมง

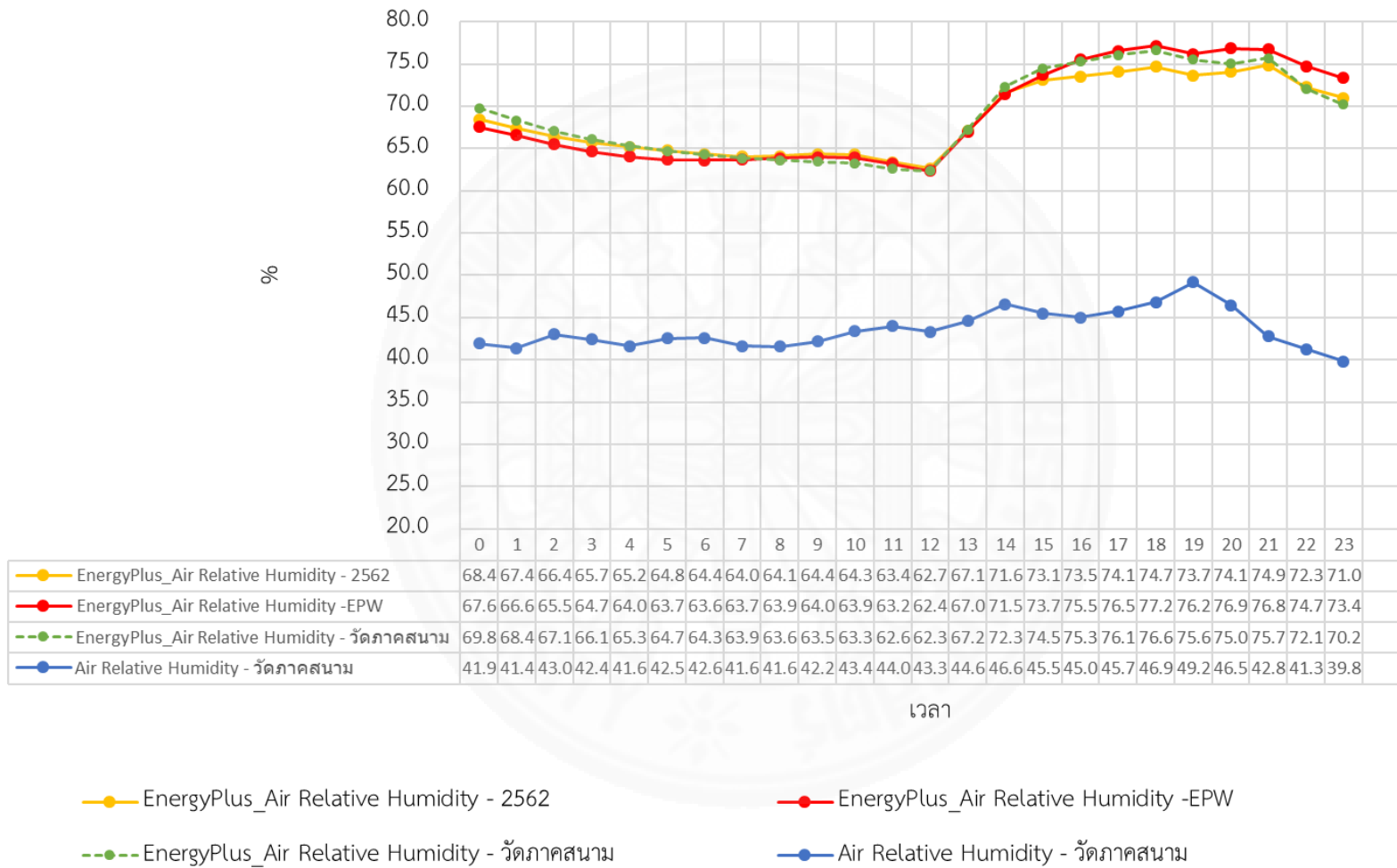
ภาพที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียนที่ทำการวัดภาคสนาม (สีน้าเงิน: Air Temperature - วัดภาคสนาม) เปรียบเทียบกับที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่เป็นไฟล์ .EPW (สีแดง: Air Temperature - EPW) ไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2562 (สีเหลือง: Air Temperature - 2562) ไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม (เส้นประสีเขียว: Air Temperature - วัดภาคสนาม)

อุณหภูมิอากาศมีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นช่วงเวลาตั้งแต่ 12.00 น. ถึง 18.00 น. ที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียนจากการวัดภาคสนามมีค่าสูงกว่า ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ทำการวัดภาคสนามเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้องเรียนที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ทุกกรณีศึกษา อุณหภูมิอากาศจากการวัดภาคสนามมีค่าต่างกันสูงกว่า 0.9 °C ถึง 1 °C ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 17.00 น.

ภาพที่ 52 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนจากการวัดภาคสนาม (สีน้ำเงิน: Air Relative Humidity - วัดภาคสนาม) เปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศนำเข้าไฟล์สภาพอากาศ .EPW (สีแดง: Air Relative Humidity - EPW) ไฟล์สภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2562 (สีเหลือง: Air Relative Humidity - 2562) และไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลจากการวัดภาคสนาม (เส้นประสีเขียว: Relative Humidity - วัดภาคสนาม) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนจากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 มีค่าแตกต่างกันอยู่เฉลี่ยประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดภาคสนามมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0



ภาพที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0



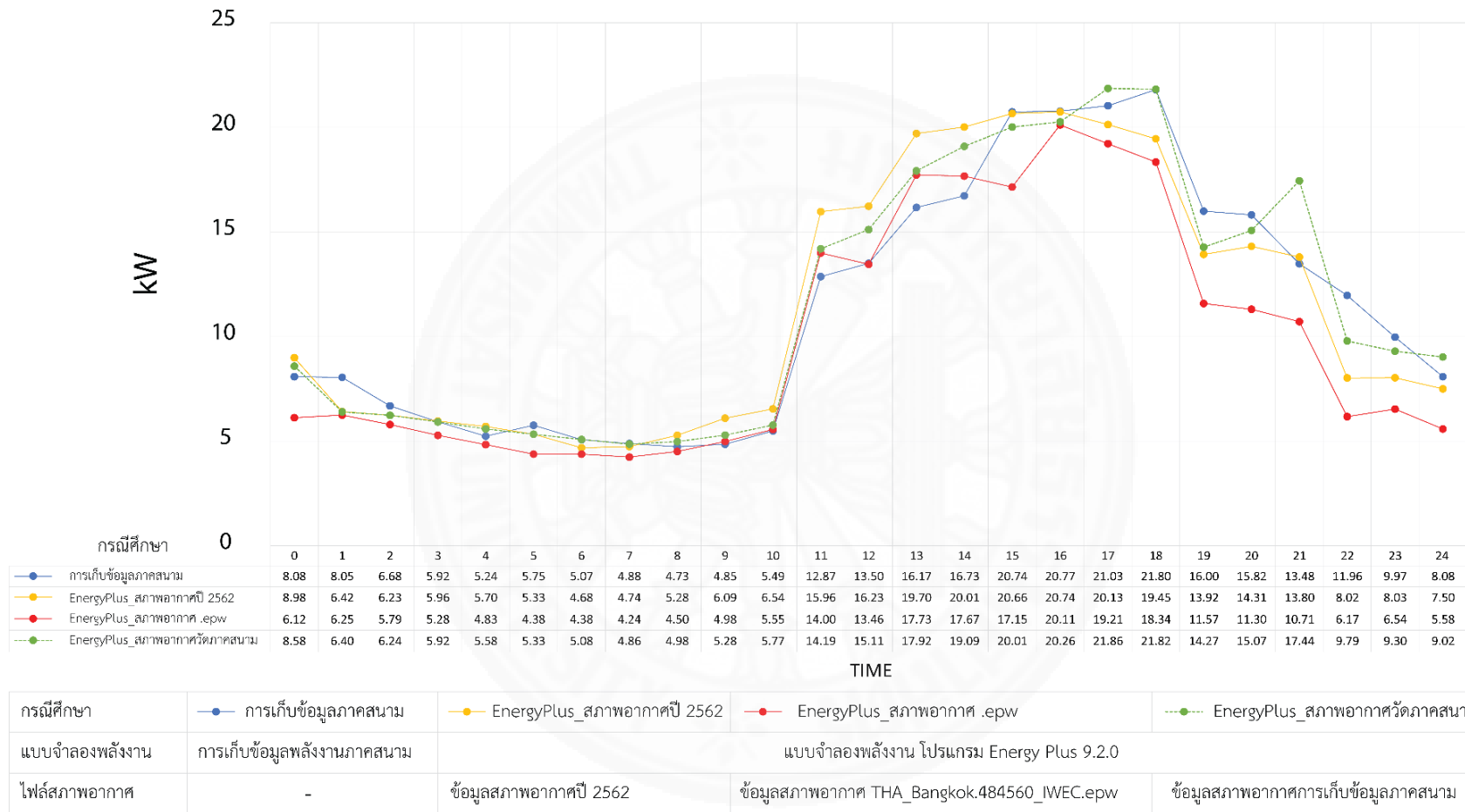
ภาพที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

5.2 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนระหว่างการเก็บข้อมูลภาคสนามกับค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 เป็นการเก็บข้อมูลระยะเวลา 1 วัน (19 ธันวาคม 2562) แสดงข้อมูลเป็นรายชั่วโมง ข้อมูลพลังงานของระบบปรับอากาศที่ทำการเก็บข้อมูลพลังงานภาคสนาม (สีน้ำเงิน: การเก็บข้อมูลภาคสนาม) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ 283.64 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดเท่ากับ 21.80 กิโลวัตต์อยู่ในช่วงเวลา 18.00 น. โดยทำการเปรียบเทียบกับพลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ได้ทำการนำเข้าไฟล์สภาพอากาศ .EPW (สีแดง: EnergyPlus_สภาพอากาศ .EPW) มีการใช้พลังงานเท่ากับ 245.84 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดเท่ากับ 20.11 กิโลวัตต์ อยู่ในช่วงเวลา 16.00 น. ไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (สีเหลือง: EnergyPlus_สภาพอากาศปี 2562) มีการใช้พลังงานเท่ากับ 284.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดเท่ากับ 20.74 กิโลวัตต์ อยู่ในช่วงเวลา 16.00 น. และไฟล์สภาพอากาศที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามรอบห้องเรียน (เส้นประสีเขียว: EnergyPlus_สภาพอากาศวัดภาคสนาม) มีการใช้พลังงานเท่ากับ 289.16 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดเท่ากับ 21.86 กิโลวัตต์ อยู่ในช่วงเวลา 17.00 น. ดังภาพที่ 5.3

แนวโน้มกราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนเป็นไปในทิศทางเดียวกันและแบบจำลองพลังงานจากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 และมีความใกล้เคียงกับข้อมูลพลังงานภาคสนาม ข้อมูลพลังงานภาคสนามมีค่าสูงกว่าแบบจำลองพลังงานที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศ .EPW (สีแดง) อยู่ 37.79 กิโลวัตต์ชั่วโมง ข้อมูลพลังงานภาคสนามมีค่าต่ำกว่าแบบจำลองพลังงานที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา (สีเหลือง) อยู่ 0.78 กิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองพลังงานที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม (เส้นประสีเขียว) ข้อมูลพลังงานภาคสนามมีค่าต่ำ 5.52 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในช่วงเวลาที่มีค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสูงสุดคือช่วงเวลา 18.00 น. ข้อมูลพลังงานระบบปรับอากาศจากการวัดภาคสนามมีการใช้พลังงานเท่ากับ 21.80 กิโลวัตต์ ใกล้เคียงกับแบบจำลองพลังงานที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม (เส้นประสีเขียว) คือ 21.82 กิโลวัตต์

ในภาพรวมการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศใน 1 วันของวันที่ 19 ธันวาคม 2562 ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานของระบบปรับอากาศภาคสนามกับแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 แบบจำลองพลังงานที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา (สีเหลือง) มีความใกล้เคียงกับข้อมูลพลังงานของระบบปรับอากาศภาคสนามมากที่สุด รองลงมาคือแบบจำลองพลังงานที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศจากการวัดภาคสนาม (เส้นประสีเขียว)



ภาพที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนระหว่างการวัดภาคสนามกับอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

5.3 การพิสูจน์เชิงสถิติ Root Means Square Error (RMSE)

การพิสูจน์เชิงสถิติ Root Means Square Error (RMSE) เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับการวัดภาคสนามโดยการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียน รวมถึงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน ซึ่งค่า error ที่ได้ควรเป็นค่าที่เข้าใกล้ 0 โดยใช้สมการในการคำนวณตามสมการที่ 5.1

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum (\text{prediction} - \text{actual})^2}$$

(สมการที่ 5.1)

จากสมการที่ 5.1 ได้แทนค่าผลที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ทั้งข้อมูลค่าสภาพอากาศ และค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเป็น prediction ส่วนค่าที่ได้จากการวัดภาคสนามแทนเป็นค่า actual เป็นการนำค่าที่ได้จากโปรแกรมลบกับค่าจากการวัดจริงภาคสนาม ค่าที่ได้จะมีทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ (+, -) นำค่าที่ได้มายกกำลังสองและบวกกันทั้งหมดหารด้วย n โดย n คือจำนวนที่ศึกษาแทนค่าเป็น 25 เป็นช่วงเวลา 0.00 ถึง 0.00 เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเฉลี่ย สุดท้ายเป็นการใส่รากที่สองเพื่อให้หน่วยค่า error เป็นหน่วยเดียวกับตัวแปรเดิมก่อนที่ยกกำลังสอง

จากตารางที่ 5.1 RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียน เปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 กับการวัดภาคสนาม ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องเรียนจากแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศข้อมูลสภาพอากาศที่วัดภาคสนามมีค่า error น้อยกว่าการใช้ไฟล์สภาพอากาศ .EPW และไฟล์สภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีค่า RMSE = 0.34 ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนแบบจำลองที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2562 มีค่า error น้อยที่สุด มีค่า RMSE = 24.75

ส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศข้อมูลสภาพอากาศที่วัดภาคสนามมีค่า RMSE = 1.32 ซึ่งมีค่า error น้อยสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ใช้ไฟล์สภาพอากาศ .EPW และไฟล์สภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2562 ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1

RMSE ของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Energy Plus กับการวัดภาคสนาม

	ไฟล์สภาพอากาศ Energy Plus		
	EPW	กรมอุตุนิยมวิทยาปี 2562	สภาพอากาศวัด ภาคสนาม
Air Temperature (°C)	0.43	0.37	0.34
Relative Humidity (%)	25.37	24.75	25.25

ตารางที่ 5.2

RMSE ของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Energy Plus กับการวัดภาคสนาม

	ไฟล์สภาพอากาศ Energy Plus		
	EPW	กรมอุตุนิยมวิทยาปี 2562	สภาพอากาศวัด ภาคสนาม
RMSE (kW)	2.40	1.79	1.32

บทที่ 6

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

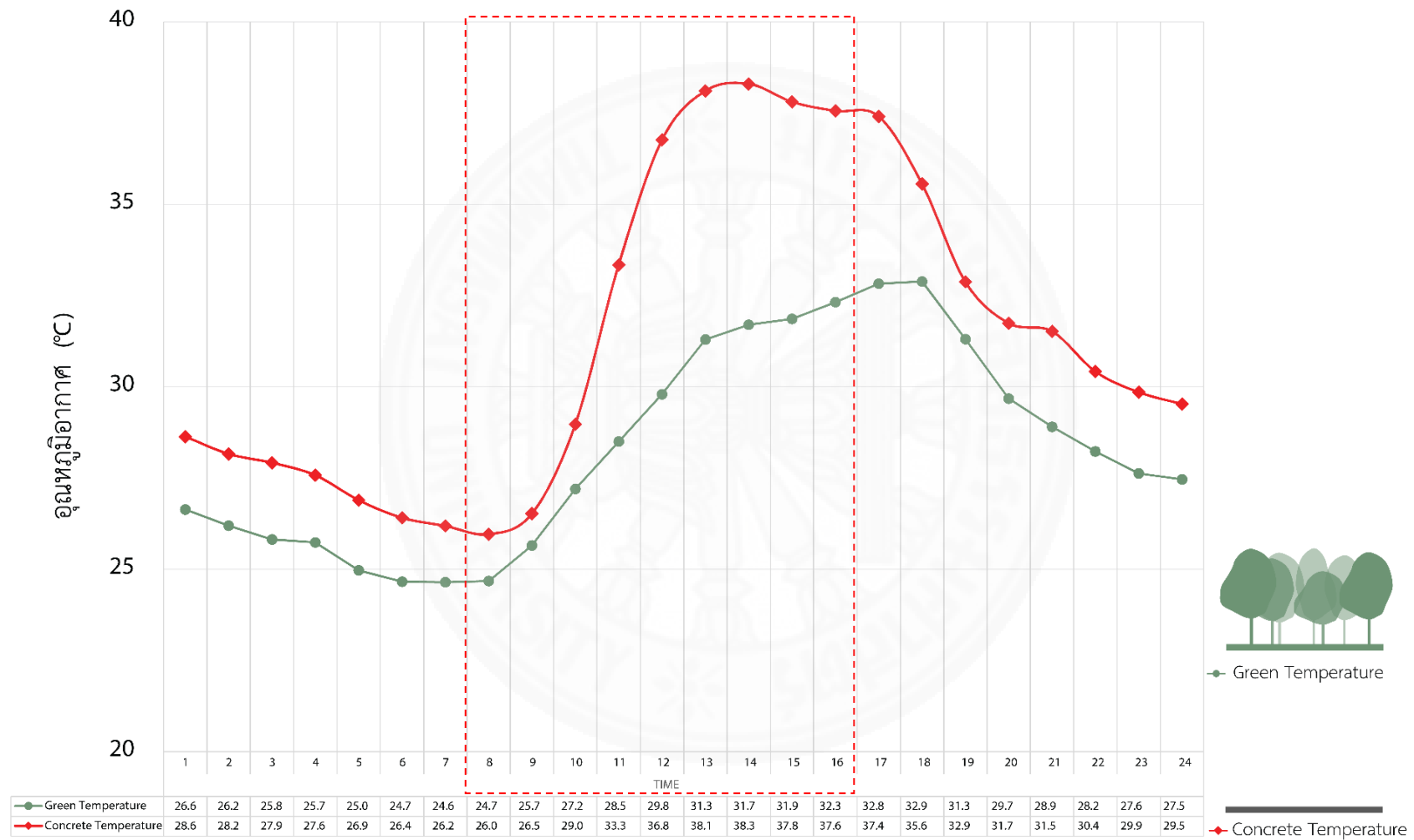
ผลการวิจัยและการอภิปรายผลเป็นการแสดงผลของการศึกษาส่วนของการเปรียบเทียบค่าสภาพอากาศจากการวัดภาคสนามระหว่างสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ผลของอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานในการลดความร้อนรวมของระบบปรับอากาศ และการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต และผลการเสนอแนวทางการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

6.1 เปรียบเทียบสภาพอากาศของสภาพแวดล้อมของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

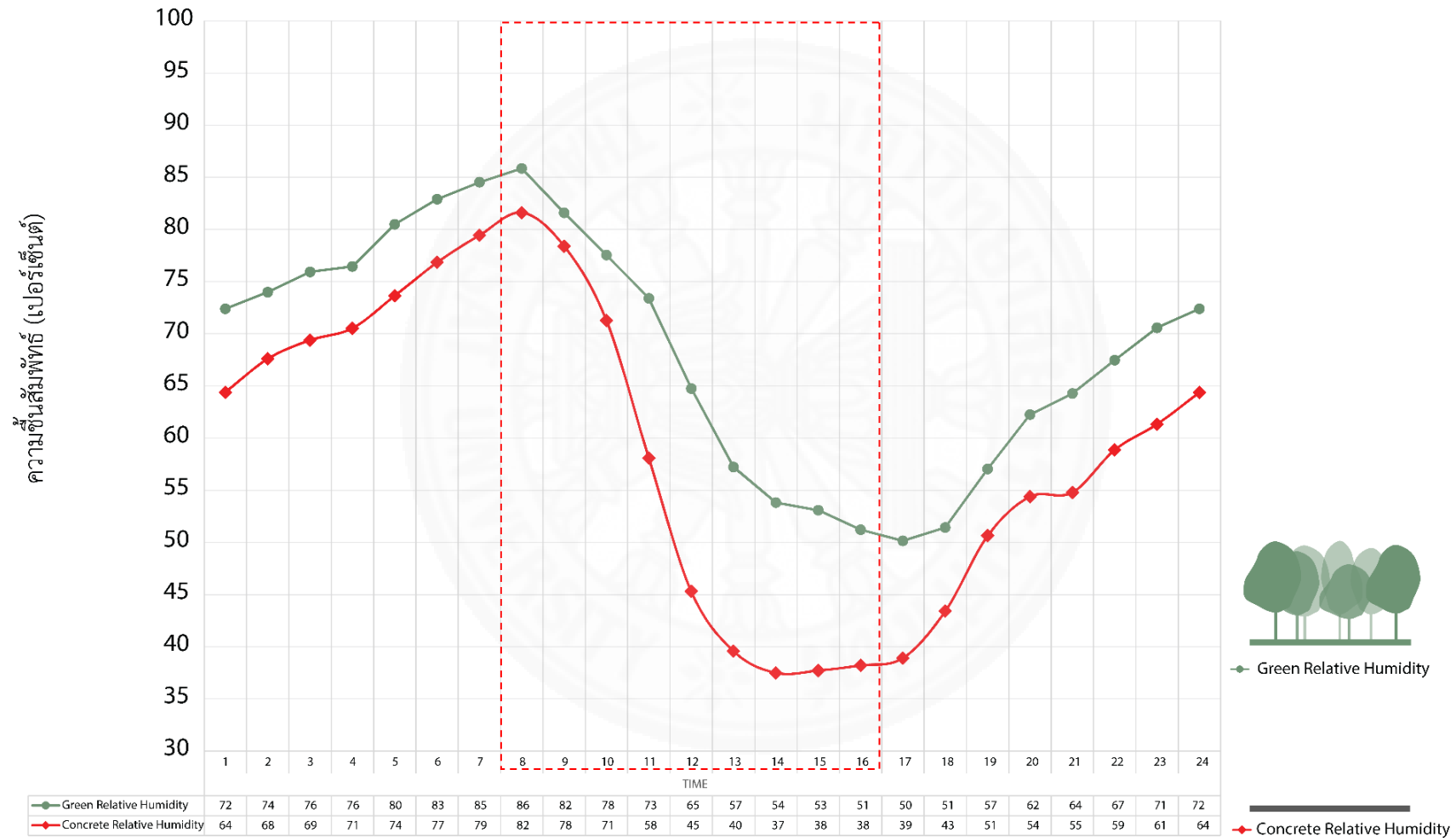
สภาพอากาศที่ได้จากการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนามของพื้นที่กรณีศึกษาที่เป็นพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ทำการเปรียบเทียบทั้งข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่ารังสีอาทิตย์ ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างสองพื้นที่ โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลของวันที่ 19 ธันวาคม 2562

6.1.1 อุณหภูมิอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตเป็นค่าที่เก็บข้อมูลภาคสนาม ภาพที่ 6.1 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศที่ทำกรวัดภาคสนามระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต อุณหภูมิอากาศของพื้นที่สีเขียว (สีเขียว: Green Temperature) ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศของพื้นที่คอนกรีต (สีแดง: Concrete Temperature) ตลอดทั้งวัน อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลาการใช้งานห้องเรียน เวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. พื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 26.17 °C พื้นที่คอนกรีตมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 30.13 °C พื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่คอนกรีตอยู่ 3.96 °C



ภาพที่ 6.1 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต



ภาพที่ 6.2 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำการวัดภาคสนามระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต

6.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต

ความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีตที่ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคสนาม ภาพที่ 6.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียว (สีเขียว: Green Relative Humidity) มีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่คอนกรีต (สีแดง: Concrete Relative Humidity) โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงเวลาการใช้งานห้องเรียน เวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. พื้นที่สีเขียวอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของพื้นที่คอนกรีต อยู่ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่สีเขียวมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่คอนกรีตอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์

6.1.3 รังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต

ค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีตที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 5 นาที ภาพที่ 6.3 พื้นที่สีเขียวมีค่ารังสีอาทิตย์ต่ำกว่าพื้นที่คอนกรีตตลอดทั้งวัน ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของพื้นที่สีเขียวเท่ากับ 32.5 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นที่คอนกรีตมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 465.4 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นที่สีเขียวมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่คอนกรีตอยู่ 432.9 วัตต์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 6.3 กราฟเปรียบเทียบรังสีอาทิตย์ที่ทำการวัดภาคสนามระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต

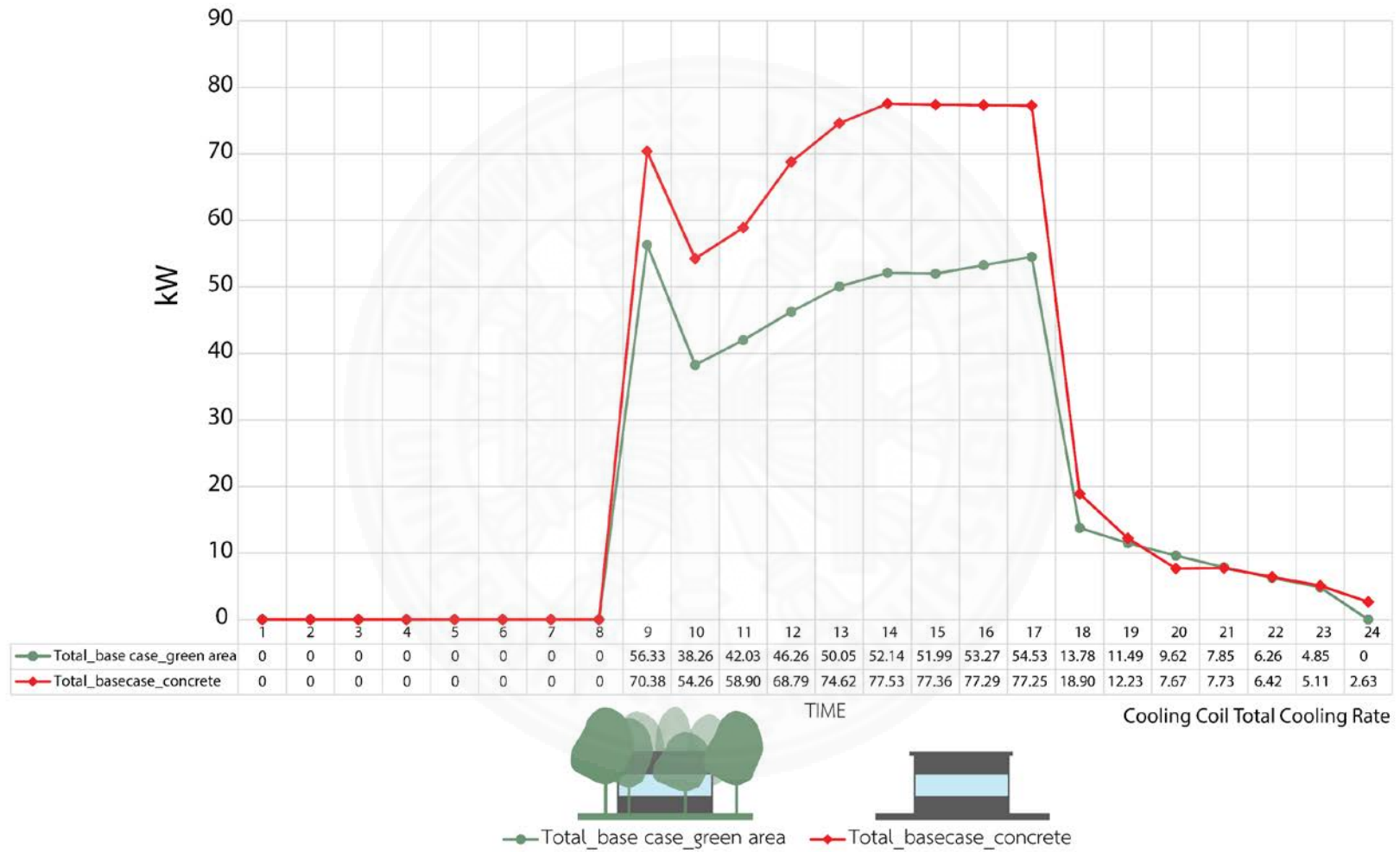
6.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนภายในห้องเรียน ทั้งความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) และการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่เปรียบเทียบกับระหว่างห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและอิทธิพลของสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีต โดยที่สภาพอากาศที่ใช้เป็นสภาพอากาศจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยตัวแปรทางสภาพอากาศที่ทำการเปลี่ยน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ และค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตได้ทำการแปลงเป็นไฟล์สภาพอากาศ .EPW สำหรับใช้ในโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

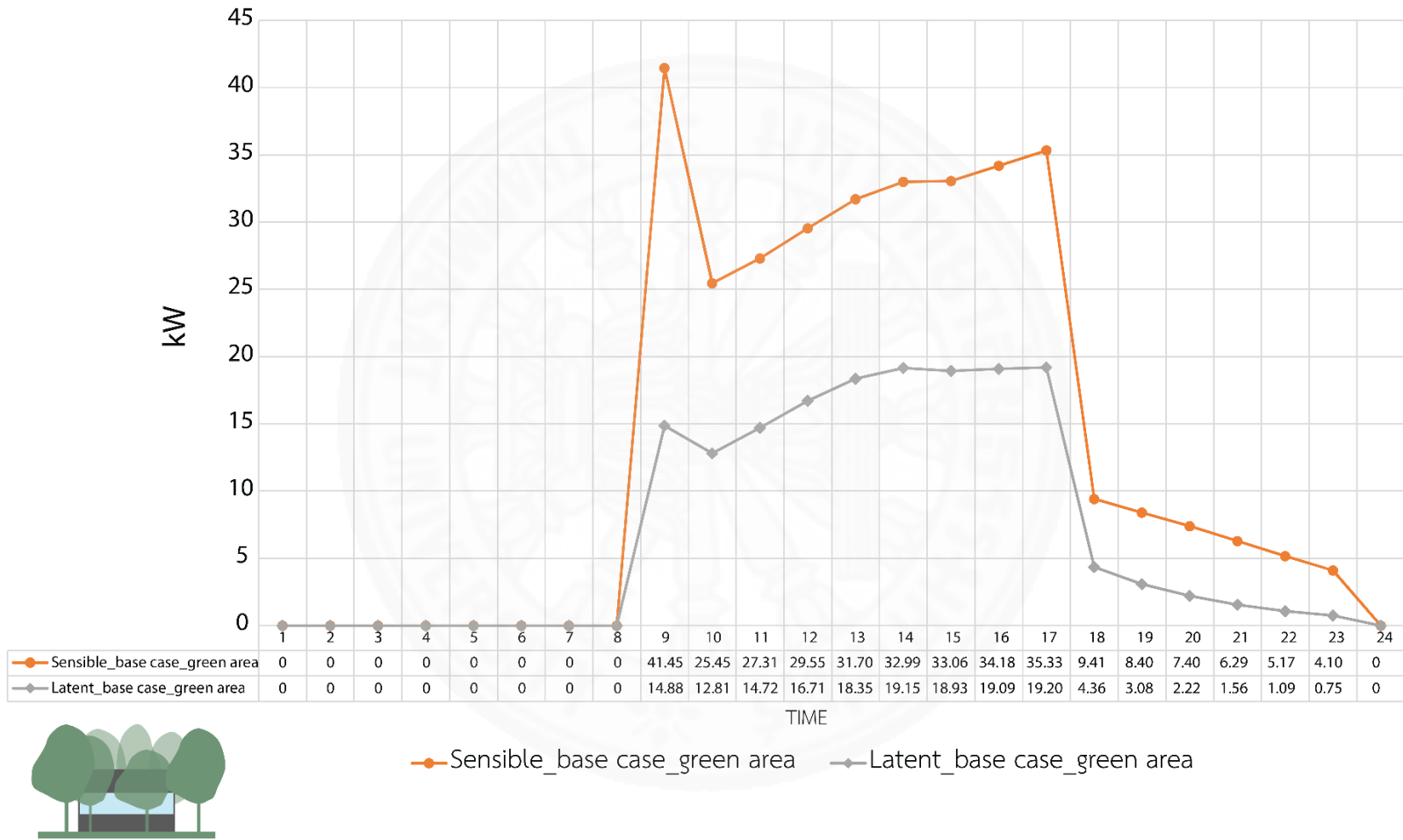
6.2.1 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในห้องเรียน

ภาระการทำความเย็นในการลดความร้อน (Total: Sensible + Latent) ของระบบปรับอากาศ ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงภายในห้องเรียนของวันที่ 19 ธันวาคม 2562 จากภาพที่ 6.4 การใช้พลังงานในการลดความร้อนของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ผลการใช้พลังงานในการลดความร้อนของระบบปรับอากาศที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว (สีเขียว: Total_base case_green area) เท่ากับ 498.70 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต (สีแดง: Total_base case_concrete) มีการใช้พลังงานในการลดความร้อนของระบบปรับอากาศเท่ากับ 697.10 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว (สีเขียว) ระบบปรับอากาศใช้พลังงานในการลดความร้อนต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต (สีแดง) อยู่ 198.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ภาพที่ 6.5 ห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวการใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสระบบปรับอากาศ (สีส้ม: Sensible_basecase_green area) เท่ากับ 331.79 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดในช่วงเวลา 9.00 น. เท่ากับ 41.45 กิโลวัตต์ การใช้พลังงานในการลดความร้อนแฝง (สีเทา: Latent_basecase_green area) เท่ากับ 166.91 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 17.00 น. เท่ากับ 19.20 กิโลวัตต์



ภาพที่ 6.4 การใช้พลังงานในการลดความร้อนของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต

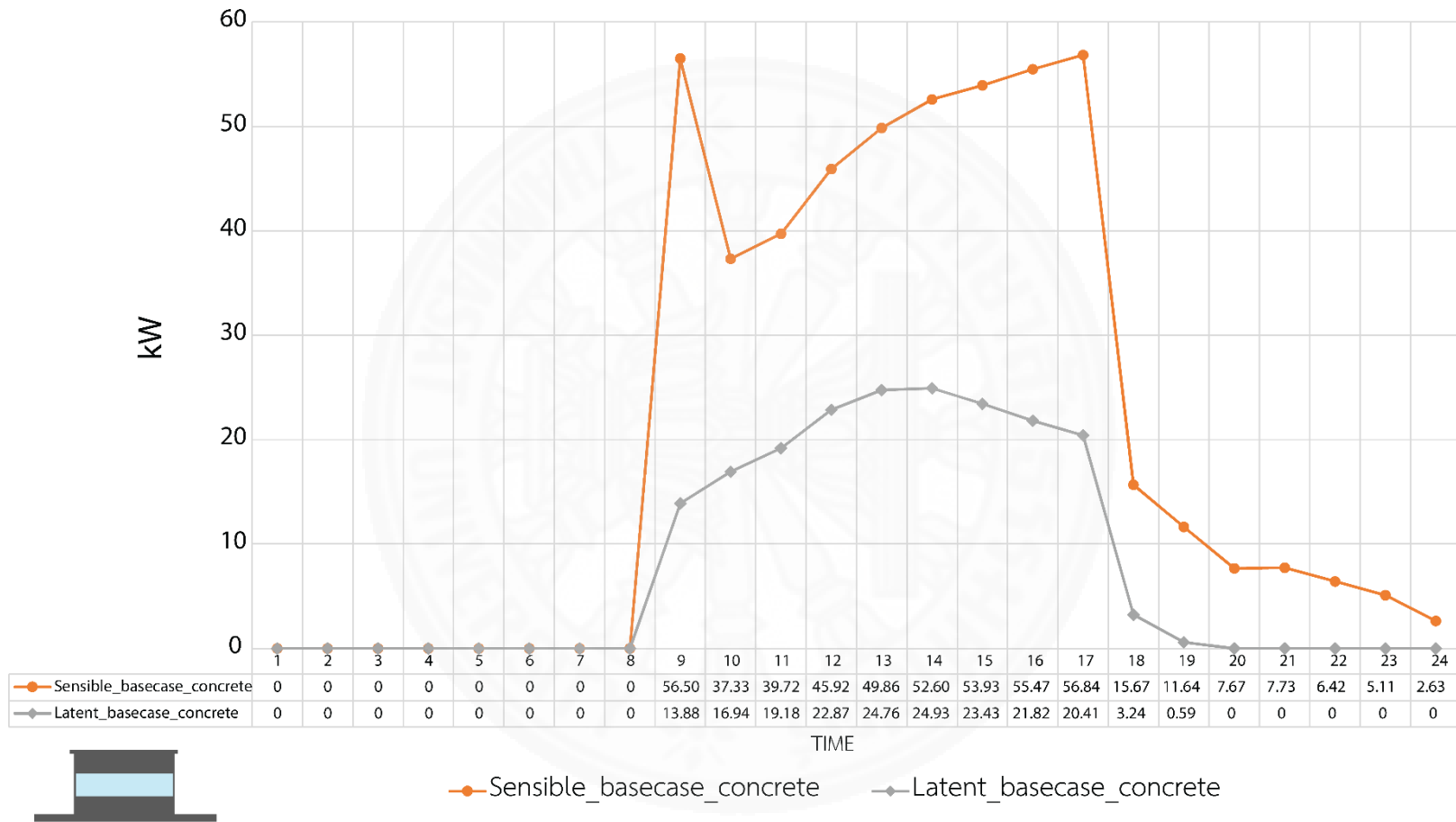


ภาพที่ 6.5 การใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว

ภาพที่ 6.6 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีต การใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสของระบบปรับอากาศ (สีส้ม: Sensible_basecase_concrete) เท่ากับ 505.03 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดในช่วงเวลา 17.00 น. เท่ากับ 26.84 กิโลวัตต์ การใช้พลังงานในการลดความร้อนแฝง (สีเทา: Latent_basecase_concrete) เท่ากับ 192.03 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00 น. เท่ากับ 24.93 กิโลวัตต์

ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของระบบปรับอากาศพบว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีตจะมีค่าการใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่สูงกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนสัมผัส (Sensible) ต่อการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Total: Sensible + Latent) ของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวกับห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีต พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนสัมผัสของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีต

ส่วนการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนแฝง (Latent) ต่อการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Total: Sensible + Latent) ของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวกับห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีต พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนแฝงของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีต



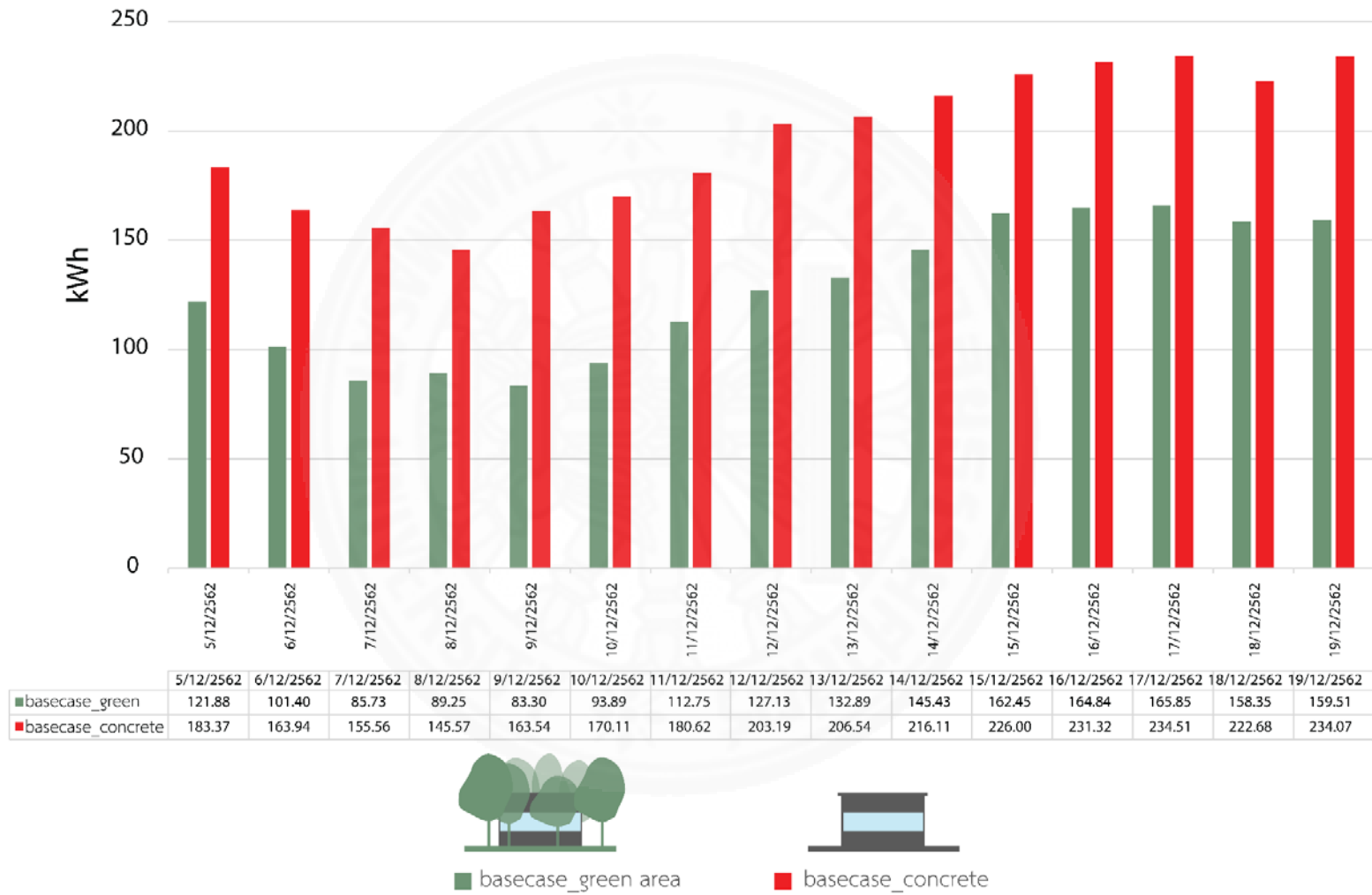
ภาพที่ 6.6 การใช้พลังงานในการลดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีต

6.2.2 อิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียน

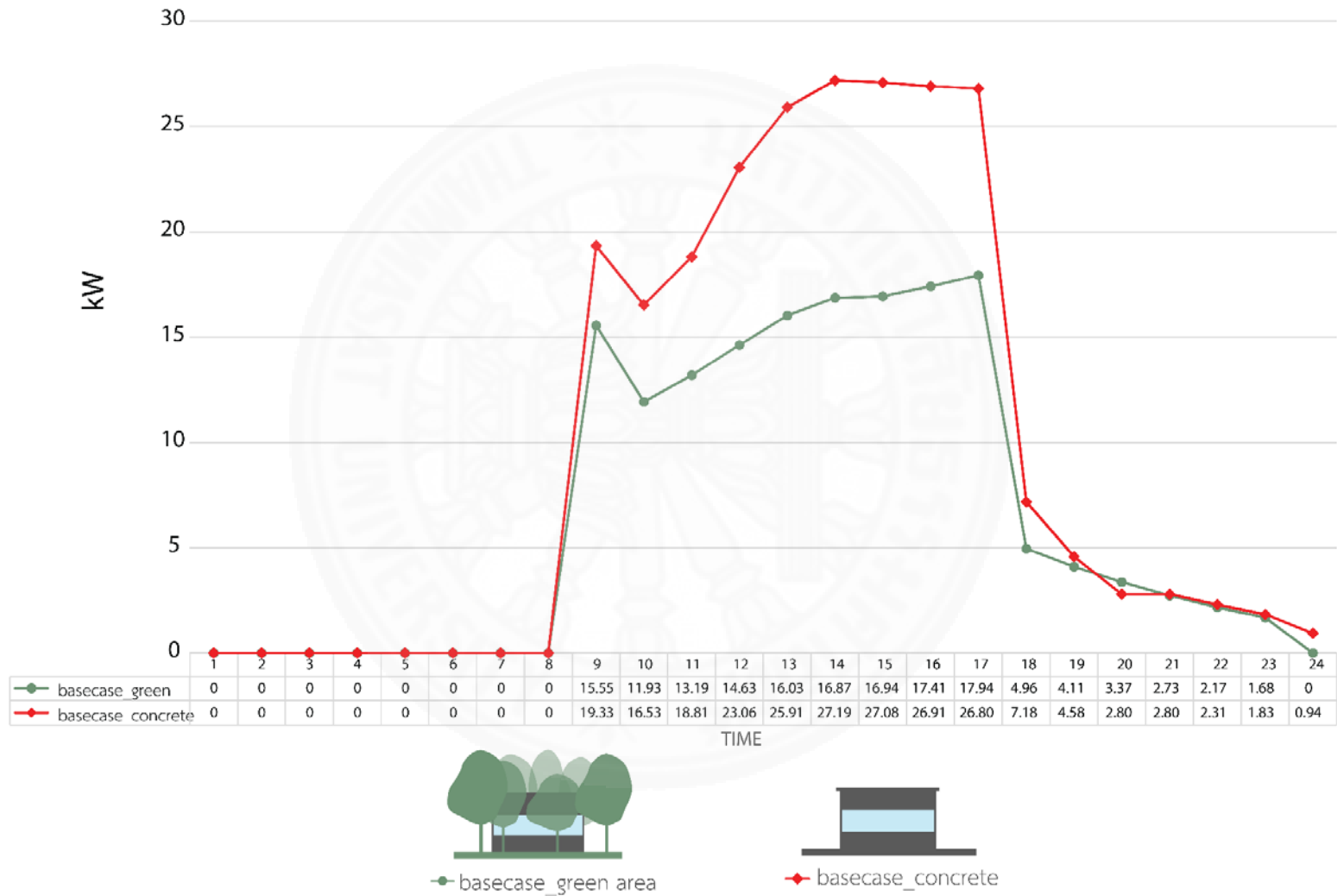
อิทธิพลของสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน ภาพที่ 6.7 ผลของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศเฉลี่ย 15 วัน ห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว (สีเขียว: basecase_green area) เฉลี่ย 126.98 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต (สีแดง: basecase_concrete) มีค่าเฉลี่ย 195.81 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว ค่าสูงสุดจากวันที่ 17 ธันวาคม 2562 เท่ากับ 165.85 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าต่ำสุดวันที่ 9 ธันวาคม 2562 เท่ากับ 83.30 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตค่าสูงสุดจากวันที่ 17 ธันวาคม 2562 เท่ากับ 234.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าต่ำสุดวันที่ 8 ธันวาคม 2562 เท่ากับ 145.57 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ภาพที่ 6.8 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต (รายชั่วโมง) เป็นข้อมูลการใช้พลังงานของวันที่ 19 ธันวาคม 2562 การใช้พลังงานห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 159.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 234.07 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวมีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศน้อยกว่าพื้นที่คอนกรีต 74.57 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าการใช้พลังงานสูงสุดของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวเท่ากับ 17.94 กิโลวัตต์ (เวลา 17.00 น.) ส่วนค่าสูงสุดของพื้นที่คอนกรีต เท่ากับ 27.19 กิโลวัตต์ (เวลา 14.00 น.)

ช่วงเวลาในการศึกษาจากภาพที่ 6.7 คือในระยะเวลา 15 วัน ห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตอยู่ 68.83 กิโลวัตต์ชั่วโมง รวมถึงการศึกษาในวันที่ 19 ธันวาคม 2563 พื้นที่สีเขียวก็มีการใช้พลังงานต่ำกว่าอยู่ 74.57 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นสภาพอากาศภายนอกห้องเรียนส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่แตกต่างกัน โดยห้องเรียนที่มีพื้นที่สีเขียวภายนอกอาคาร และได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีการใช้พลังงานน้อยกว่าหรือหมายความว่าพื้นที่สีเขียวมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานมากกว่าห้องเรียนที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวภายนอกอาคาร อย่างห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต



ภาพที่ 6.7 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต



ภาพที่ 6.8 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต (แสดงข้อมูลรายชั่วโมงของวันที่ 19 ธันวาคม 2562)

6.3 ผลการศึกษาแนวทางในการออกแบบห้องเรียนเพื่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน

แสดงผลการศึกษาแนวทางการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน โดยการเปรียบเทียบเทียบกันระหว่างห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต แนวทางการออกแบบที่ทำการศึกษาได้แก่ แนวทางในการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนทั้งบริเวณผนังและหลังคาของห้องเรียนกรณีศึกษา และแนวทางในการออกแบบช่องเปิดที่เป็นพื้นที่กระจก

6.3.1 แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวน

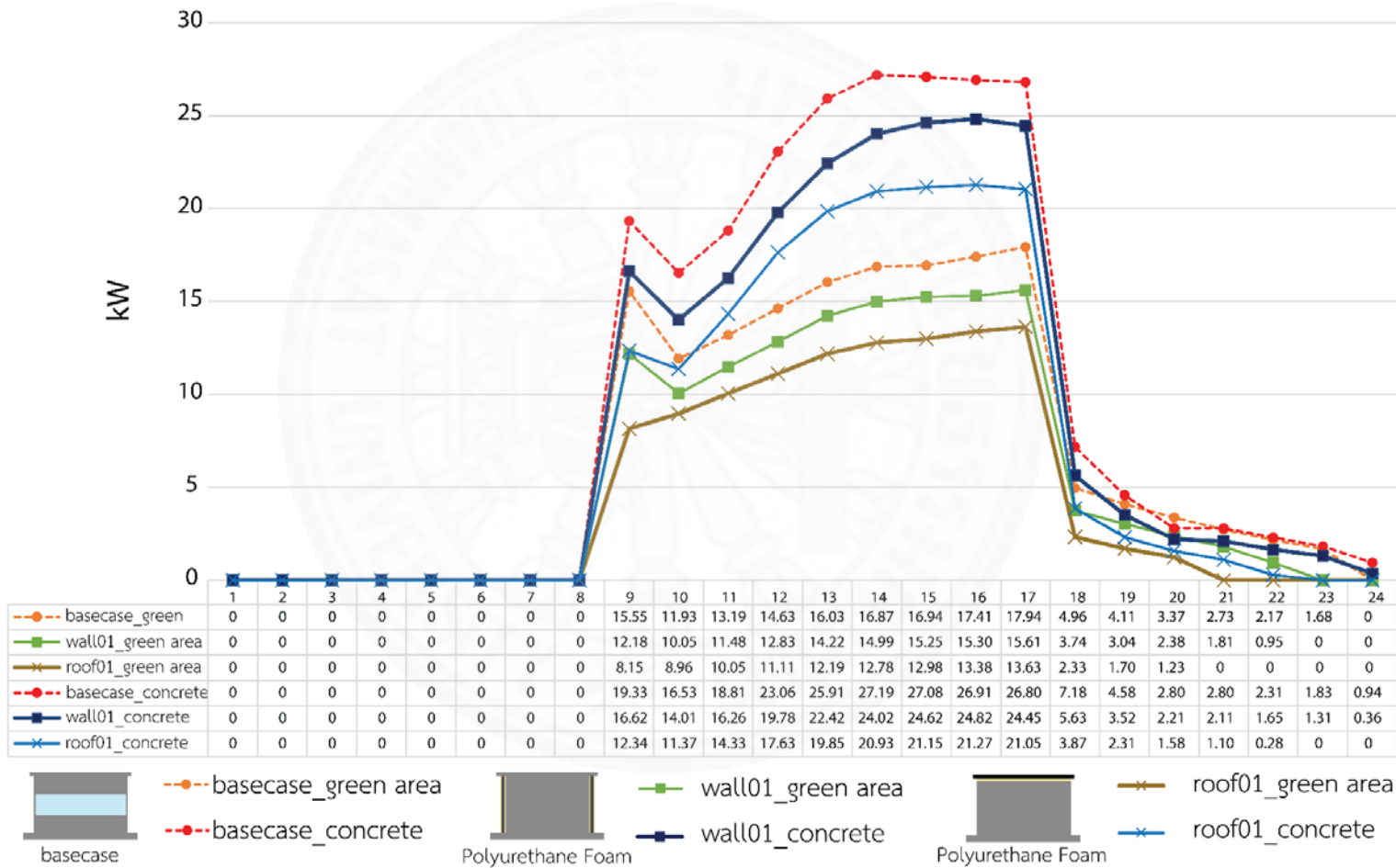
แสดงผลของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนังและฉนวนหลังคาของห้องเรียนกรณีศึกษา ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนการออกแบบ (Base case) และหลังการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต จากภาพที่ 6.9 การเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาก่อนการออกแบบทั้งที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว (เส้นประสีส้ม: basecase_green area) และห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นคอนกรีต (เส้นประสีแดง: basecase_concrete) กับแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณผนัง ที่เป็นฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane) (สีเขียว: wall01_green area, สีน้ำเงิน: wall01_concrete) และแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนโพลียูรีเทน (Polyurethane) บริเวณหลังคา (สีน้ำตาล: roof01_green area, สีฟ้า: roof01_concrete) ห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียว การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนก่อนการออกแบบ (เส้นประสีส้ม) เท่ากับ 159.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการออกแบบการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณผนัง (สีเขียว) เท่ากับ 133.82 กิโลวัตต์ชั่วโมง ประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศมากกว่าก่อนการออกแบบ (เส้นประสีส้ม) 25.69 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณหลังคา (สีน้ำตาล) เท่ากับ 108.49 กิโลวัตต์ชั่วโมง ประหยัดพลังงานมากกว่าก่อนการออกแบบ (เส้นประสีส้ม) 51.02 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นคอนกรีต ห้องเรียนกรณีศึกษาก่อนการออกแบบ (เส้นประสีแดง) เท่ากับ 234.07 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการออกแบบการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณผนัง (สีน้ำเงิน) เท่ากับ 203.80 กิโลวัตต์ชั่วโมง ประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศมากกว่าก่อนการออกแบบ (เส้นประสีแดง) 30.27 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนการเพิ่ม

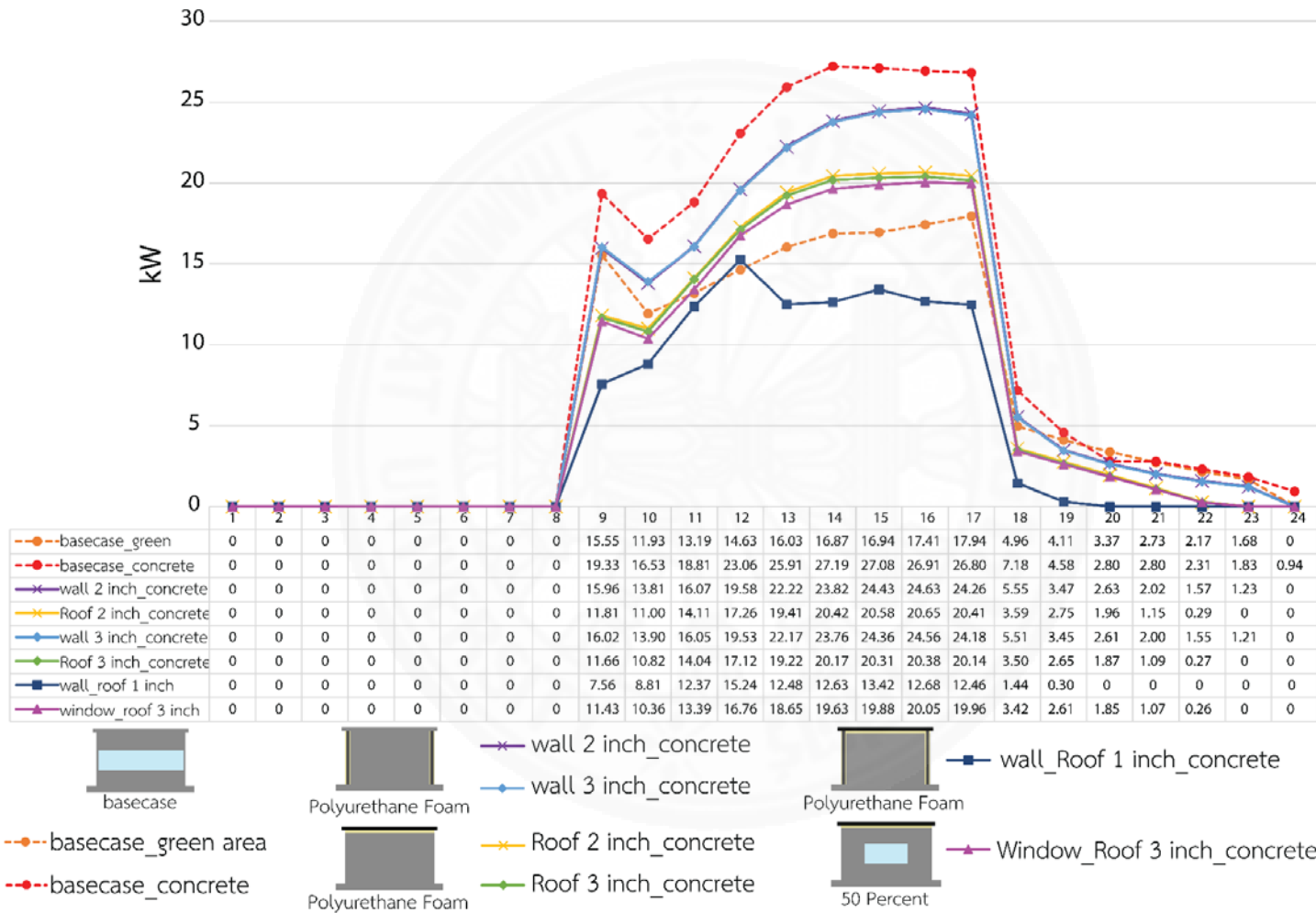
ฉนวนกันความร้อนบริเวณหลังคา (สีฟ้า) เท่ากับ 169.06 กิโลวัตต์ชั่วโมงประหยัดพลังงานมากกว่า ก่อนการออกแบบ (เส้นประสีแดง) 65.01 กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากการเปรียบเทียบกันของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีตการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณหลังคาความสามารถในการประหยัดพลังงานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาแนวทางการออกแบบห้องเรียน จากแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศได้มากกว่า ห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตเปรียบเทียบกับก่อนการออกแบบประหยัดพลังงาน 65.01 กิโลวัตต์ชั่วโมงซึ่งประหยัดมากกว่าห้องเรียนในแนวทางการออกแบบเดียวกันที่เปรียบเทียบกับก่อนการออกแบบ (51.02 กิโลวัตต์ชั่วโมง) จึงได้เพิ่มแนวทางการออกแบบห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตเพื่อการประหยัดพลังงานโดยทำการเปรียบเทียบกับห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว

ภาพที่ 6.10 แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตเปรียบเทียบกับห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว (เส้นประสีส้ม: basecase_green area) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 159.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแนวทางการออกแบบในการเพิ่มฉนวนกันความร้อนผนังหนา 2 นิ้ว (สีม่วงเข้ม: wall 2 inch_concrete) เท่ากับ 201.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง การเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนังหนา 3 นิ้ว (สีฟ้า: wall 3 inch_concrete) เท่ากับ 200.84 กิโลวัตต์ชั่วโมง การเพิ่มฉนวนหลังคาหนา 2 นิ้ว (สีเหลือง: roof 2 inch_concrete) เท่ากับ 165.37 กิโลวัตต์ชั่วโมง การเพิ่มฉนวนหลังคาหนา 3 นิ้ว (สีเขียว: roof 3 inch_concrete) เท่ากับ 163.24 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการเพิ่มฉนวนกันความร้อนผนังและหลังคาหนา 1 นิ้ว (สีน้ำเงิน: wall_roof 1 inch_concrete) เท่ากับ 109.38 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มฉนวนหลังคาหนา 3 นิ้ว (สีม่วงอ่อน: window_roof 3 inch_concrete) เท่ากับ 159.31 กิโลวัตต์ชั่วโมง เปรียบเทียบกรณีศึกษาในการออกแบบพบว่าแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนผนังและหลังคาหนา 1 นิ้ว (สีน้ำเงิน) ประหยัดพลังงานมากที่สุด และมีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่ำกว่าห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว (เส้นประสีส้ม) อยู่ 50.13 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางที่ประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศรองลงมาคือแนวทางการออกแบบโดยลดพื้นที่ช่องเปิด 50 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มฉนวนกันความร้อนหลังคา 3 นิ้ว (สีม่วงอ่อน) การใช้พลังงานต่ำกว่า (เส้นประสีส้ม) อยู่ 0.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง



ภาพที่ 6.9 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน

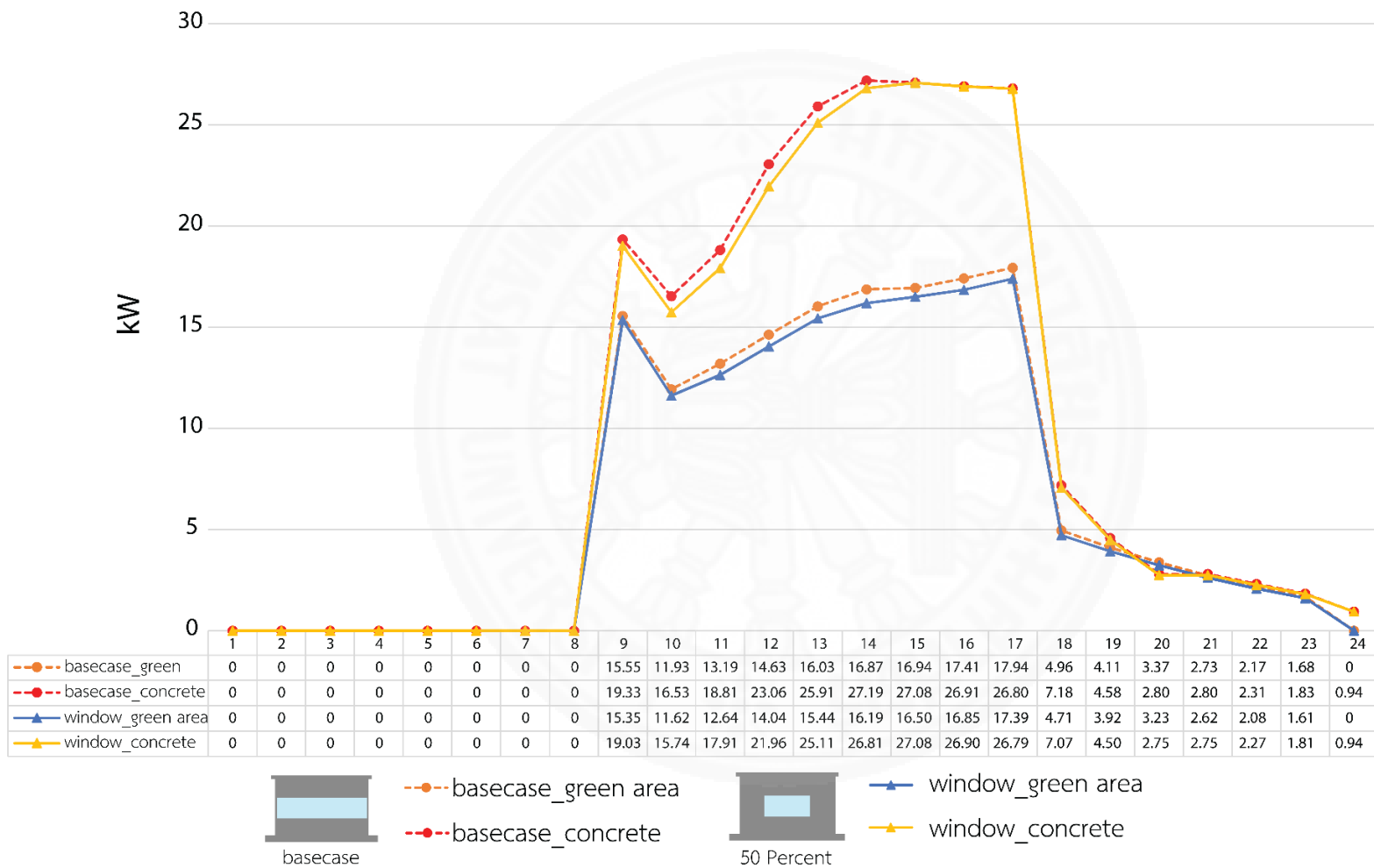


ภาพที่ 6.10 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนของแนวทางการออกแบบกรณีศึกษาที่รับสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีต

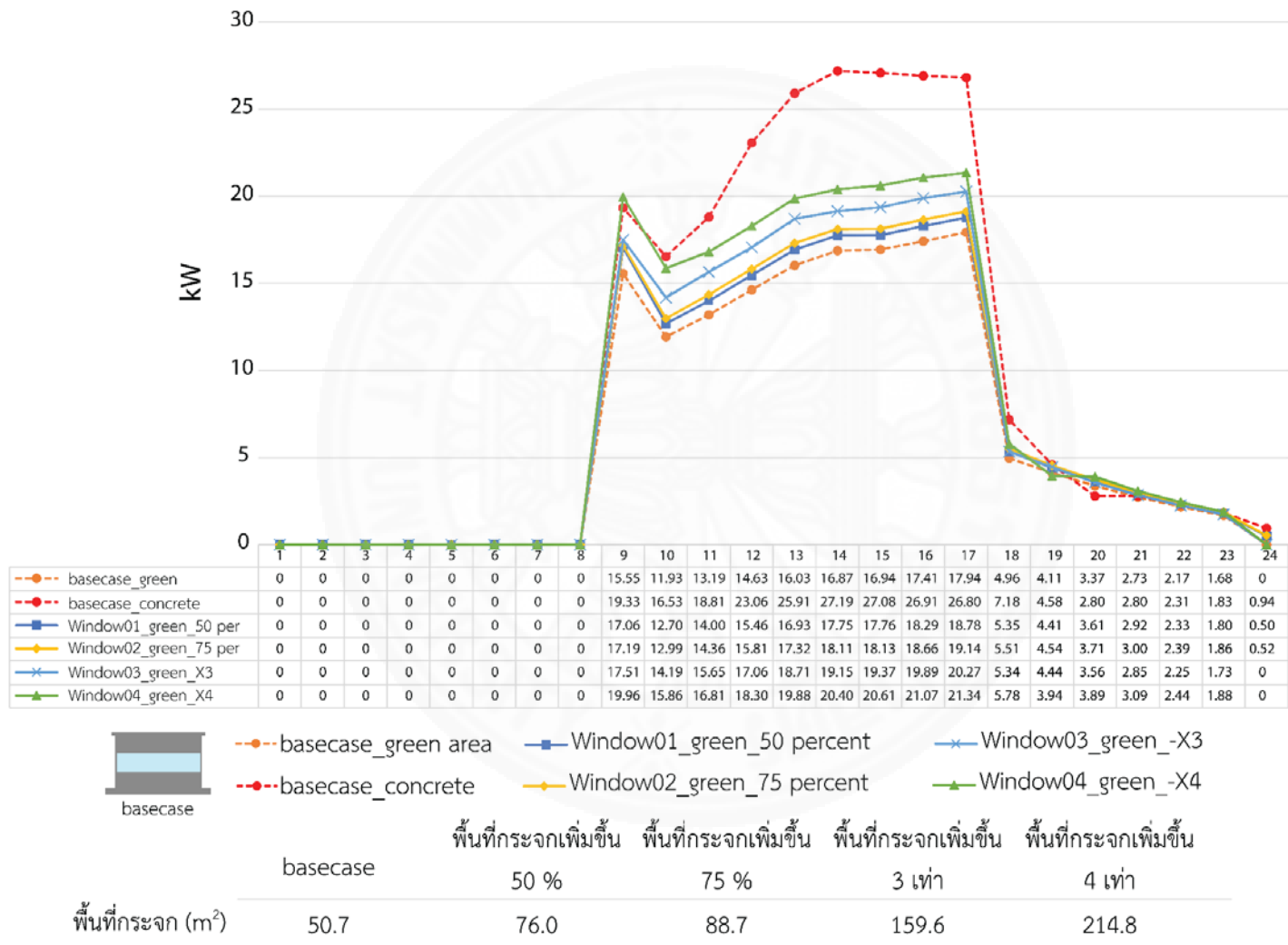
6.3.2 แนวทางการออกแบบช่องเปิดอาคารที่เป็นกระจก

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบ โดยการออกแบบลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่กระจกเดิม เปรียบเทียบกันระหว่างกรณี ก่อนการออกแบบและหลังการออกแบบลดพื้นที่กระจกของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว และพื้นที่คอนกรีต จากภาพที่ 6.11 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนแนวทางการออกแบบโดยพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์ที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว (สีฟ้า: window_green area) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 154.19 กิโลวัตต์ชั่วโมง เปรียบเทียบกับ ห้องเรียนก่อนการออกแบบประหยัดพลังงาน (เส้นประสีส้ม) 5.32 กิโลวัตต์ ส่วนห้องเรียนที่ได้รับ สภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต (สีเหลือง: window_concrete) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ เท่ากับ 229.40 กิโลวัตต์ชั่วโมง เปรียบเทียบกับห้องเรียนก่อนการออกแบบประหยัดพลังงาน (เส้นประสีแดง) 4.67 กิโลวัตต์ แนวทางการออกแบบโดยลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์มีส่วนช่วยใน การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ จากผลของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของ ห้องเรียนที่ทำการออกแบบแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศน้อยกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต จึงเพิ่ม กรณีศึกษาแนวทางการออกแบบเพิ่มพื้นที่กระจกของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว ทำการเปรียบเทียบกับห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต

จากแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว ผลการใช้ พลังงานระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน จากภาพที่ 6.12 ห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของ สภาพอากาศพื้นที่สีเขียวสามารถออกแบบเพิ่มพื้นที่กระจกได้มากกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของ ของพื้นที่คอนกรีต การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต (เส้นประสีแดง: basecase_concrete) เท่ากับ 234.07 กิโลวัตต์ชั่วโมง เปรียบเทียบกับแนวทางการ ออกแบบเพิ่มพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าต่างเดิม (สีฟ้า: window01_green_50 percent) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 169.63 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการ ออกแบบที่เพิ่มพื้นที่กระจก 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าต่างเดิม (สีเหลือง: window02_green_75 percent) มีการใช้พลังงานเท่ากับ 173.24 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มหน้าต่าง 3 เท่าของพื้นที่หน้าต่างเดิม (สีฟ้าอ่อน: window03_green_X3) มีการใช้พลังงานของระบบปรับ อากาศเท่ากับ 181.99 กิโลวัตต์ชั่วโมง แนวทางการออกแบบเพิ่มพื้นที่หน้าต่าง 4 เท่าของพื้นที่ หน้าต่างเดิม (สีเขียว: window04_green_X4) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ 195.23 กิโลวัตต์ชั่วโมง



ภาพที่ 6.11 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบโดยการลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์

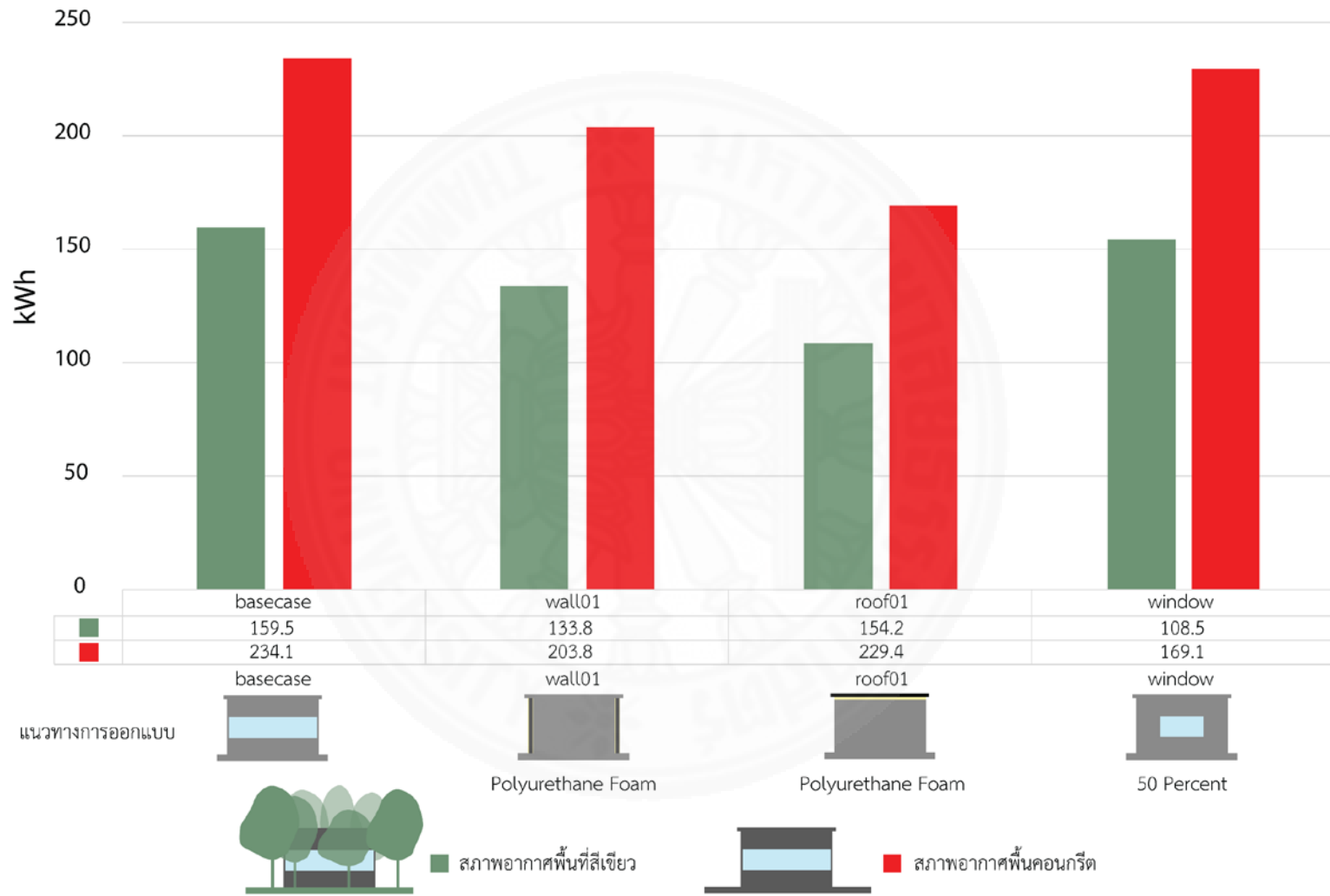


ภาพที่ 6.12 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนของแนวทางการออกแบบกรณีศึกษาที่รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียว

จากแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว ภาพที่ 6.12 ห้องเรียนสามารถทำการเพิ่มพื้นที่หน้าต่างได้สูงสุดคือแนวทางการออกแบบเพิ่มพื้นที่หน้าต่าง 4 เท่าของพื้นที่หน้าต่างเดิม การใช้พลังงานของกรณีศึกษาเพิ่มพื้นที่หน้าต่างเป็น 4 เท่าของพื้นที่หน้าต่างเดิม (สีเขียว) มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่ต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีตอยู่ 38.84 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวสามารถออกแบบเพิ่มพื้นที่กระจกได้มากกว่าพื้นที่คอนกรีตเนื่องจากห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวได้รับอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และมีร่มเงา (Shading) ของสภาพแวดล้อมของพื้นที่สีเขียวที่ปกคลุมอยู่รอบห้องเรียน

กรณีศึกษาแนวทางการออกแบบทั้งการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนและแนวทางการออกแบบช่องเปิดอาคารที่เป็นกระจก ภาพที่ 6.13 แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนหลังคาช่วยในการประหยัดพลังงานมากที่สุด รองลงมาคือแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณผนัง และจากภาพที่ 6.14 ร้อยละการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ที่ทำการเปรียบเทียบกับห้องเรียนกรณีศึกษา ก่อนการออกแบบของทั้งสองพื้นที่ ห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวที่มีแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนหลังคาประหยัดพลังงาน 32 เปอร์เซ็นต์ของห้องเรียนก่อนการออกแบบ ห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบติดตั้งฉนวนกันความร้อนผนังประหยัดพลังงาน 16.1 เปอร์เซ็นต์ของห้องเรียนก่อนการออกแบบ ส่วนห้องเรียนที่ได้รับการลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์ประหยัดพลังงาน 3.3 เปอร์เซ็นต์ของห้องเรียนก่อนการออกแบบ ส่วนห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตที่มีแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนหลังคาประหยัดพลังงาน 27.8 เปอร์เซ็นต์ของห้องเรียนก่อนการออกแบบ ห้องเรียนที่มีแนวทางการออกแบบโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนผนังประหยัดพลังงาน 12.9 เปอร์เซ็นต์ของห้องเรียนก่อนการออกแบบ ส่วนห้องเรียนที่ได้รับการลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์ประหยัดพลังงาน 2 เปอร์เซ็นต์ของห้องเรียนก่อนการออกแบบ

แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวสามารถเพิ่มพื้นที่หน้าต่างได้สูงสุด 4 เท่าของพื้นที่หน้าต่างเดิม โดยที่การใช้พลังงานมีค่าต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต ส่วนแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตควรทำการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังและหลังคาที่ความหนา 1 นิ้ว หรือเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ลดพื้นที่กระจกลง 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่กระจกเดิมร่วมกับการเพิ่มฉนวนกันความร้อนหลังคาความหนา 3 นิ้ว ถึงจะส่งผลให้การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว



ภาพที่ 6.13 แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต



ภาพที่ 6.14 ร้อยละการประหยัดพลังงานของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต

อภิปรายผลการศึกษาจากการศึกษาสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวเปรียบเทียบกับพื้นที่คอนกรีต พื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าพื้นที่คอนกรีตในทุกช่วงเวลา อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 8.00 น. ถึง 16.00 น. พื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่คอนกรีตอยู่ 3.96 °C ดังนั้นพื้นที่สีเขียวที่เป็นไม้ยืนต้นมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิอากาศต่ำกว่าพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่สีเขียวสอดคล้องกับงานวิจัย ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมประกอบด้วย พื้นที่สีเขียวทั้งตำแหน่งและปริมาณของต้นไม้ไม่มีไม้ปกคลุมดินรวมถึงใช้ผนังสีอ่อน สามารถลดอุณหภูมิอากาศและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด (พิชามญชุ์ ลีทองอิน, 2559) พืชมีอิทธิพลในการช่วยให้พื้นที่เปิดโล่งภายนอกอาคารมีอุณหภูมิที่เย็นลง (Giridharan, R., 2008) พื้นที่สีเขียวในเมืองเช่น สวนสาธารณะ และต้นไม้ สามารถทำให้สภาพแวดล้อมเย็นลง สวนสาธารณะในเมืองจะเย็นกว่าประมาณ 1 °C เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่สีเขียว (non-green site) (Diana E. Bowler, 2010)

ส่วนของการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกต่อการใช้พลังงาน เปรียบเทียบระหว่างห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวและได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวมีการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศในห้องเรียนมากกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีต ในระยะเวลาการศึกษา 15 วัน ห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตอยู่ 68.83 กิโลวัตต์ชั่วโมง ห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวสามารถประหยัดพลังงาน 28.1 เปอร์เซ็นต์ถึง 49.1 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยที่ทำการศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการประหยัดพลังงาน ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมพบว่าไม้ยืนต้น 3 ต้นที่ปลูกรอบบ้านเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้การใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนวัสดุปกคลุมผิว มีผลต่อการลดลงของปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด (พิชามญชุ์ ลีทองอิน, 2559) ผลกระทบของร่มเงาและการระเหยของต้นไม้ต่อการใช้พลังงานทำความเย็นของอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาที่ไม่มีต้นไม้ พบว่ากรณีศึกษาที่เป็นต้นไม้เดิมสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ถึง 10.3 เปอร์เซ็นต์ กรณีศึกษาที่เพิ่มเงาต้นไม้สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ 15.2 เปอร์เซ็นต์ และกรณีศึกษาที่เพิ่มการคายน้ำสามารถลดการใช้พลังงานได้ 12.4 เปอร์เซ็นต์ (Chun-Ming Hsieh, 2018) ในอาคารประเภทอาคารสูงพบว่าหน่วยที่อยู่อาศัยที่อยู่ใต้หลังคาต้นไม้ (tree canopy) มีสภาพทางความร้อนและพลังงานที่ดีกว่า ส่วนในการออกแบบกรอบอาคารเปรียบเทียบระหว่างกรอบอาคารทึบและกรอบอาคารโปร่ง ในฤดูร้อนอาคารที่มีความหนาทึบจะมีสภาพทางความร้อนและพลังงานที่ดีกว่า ในฤดูหนาวกรอบอาคารแบบโปร่งเบา มีสภาพทางความร้อนที่มากกว่าอาคารที่ทึบ เนื่องจากกรอบอาคารที่โปร่งส่งผลให้ได้รับความร้อนตลอดทั้งวัน ทำให้ตอนกลางคืนความร้อนถูกดูดซับไว้ในผนัง (Julietta Balter, 2016)

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนโดยการใช้โปรแกรม Energy Plus 9.2.0 ได้ทำการศึกษาระยะการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องเรียนกรณีศึกษาที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต เสนอแนวทางการออกแบบห้องเรียนให้ลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับพื้นที่ การศึกษาเพื่อการตอบวัตถุประสงค์ในงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อสามารถศึกษาต่อ ดังนี้

7.1 ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกอาคารต่อการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียนด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

7.2 วิเคราะห์การทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนภายใต้สภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

7.3 เสนอแนวทางในการออกแบบห้องเรียนให้ลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับพื้นที่

7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

7.1 ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกอาคารต่อการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศของห้องเรียนด้วยโปรแกรม Energy Plus 9.2.0

การศึกษาคืออิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกของพื้นที่รอบห้องเรียนต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวที่มีลักษณะของต้นไม้ใหญ่ที่สามารถสร้างร่มเงาได้ และพื้นที่คอนกรีตเป็นพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีร่มเงารวมถึงวัสดุที่ดูดซับความร้อนสูงอย่างคอนกรีต สภาพอากาศของทั้งสองพื้นที่มีความแตกต่างกันโดยพื้นที่สีเขียวจะมีอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่า มีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า รวมถึงความสามารถในการสร้างร่มเงาของต้นไม้ที่ส่งผลต่อค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวที่ต่ำกว่าสภาพอากาศของพื้นที่คอนกรีต ความแตกต่างของสภาพอากาศระหว่างสองพื้นที่ ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนกรณีศึกษา ห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต ดังนั้นการออกแบบและสร้างสภาพแวดล้อม

ภายนอกให้มีสภาพอากาศที่เย็นลง ทั้งโดยการปลูกต้นไม้เพื่อสร้างร่มเงา พื้นที่ปกคลุมภายนอกที่ปกคลุมด้วยวัสดุดูดซับความร้อนต่ำ การสร้างให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบเย็นลงหรือความชื้นเพิ่มขึ้น โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

7.2 วิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนภายใต้สภาพอากาศระดับจุลภาคภายนอกที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีตมีค่าที่สูงกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว เพื่อให้ระบบปรับอากาศทำความเย็นได้อุณหภูมิอากาศและความชื้นภายในห้องที่ตั้งไว้ ภาระในการทำความเย็นเพื่อลดความร้อนสัมผัสที่เป็นอุณหภูมิและการลดความร้อนแฝงซึ่งคือความชื้นที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียนพบว่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในการลดความร้อนสัมผัสสูงกว่าความร้อนแฝงทั้งในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต ในสัดส่วนอัตราความร้อนสัมผัส (Sensible) ต่อความร้อนทั้งหมด (Sensible + Latent) พบว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนที่ต่ำกว่าพื้นที่คอนกรีตเนื่องจากสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่าสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต ส่วนสัดส่วนอัตราความร้อนแฝง (Latent) ต่อความร้อนทั้งหมดพบว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนที่สูงกว่าพื้นที่คอนกรีตเนื่องจากสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต

7.3 เสนอแนวทางในการออกแบบห้องเรียนให้ลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับพื้นที่

แบ่งเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของพื้นที่คอนกรีต แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนและแนวทางการออกแบบโดยการลดช่องเปิดที่เป็นพื้นที่หน้าต่าง สามารถสรุปผลการวิจัย

7.3.1 แนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนและลดพื้นที่หน้าต่าง

จากผลการศึกษาแนวทางการออกแบบทั้งหมดระหว่างห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต พบว่าแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนหลังคาโพลียูรีเทน

(Polyurethane) มีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศมากที่สุดซึ่งในงานวิจัยได้ใช้ฉนวนหลังคาโพลียูรีเทน (Polyurethane) ความหนา 1 นิ้ว เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ก็มีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นแต่ราคาค่าก่อสร้างก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแนวทางการออกแบบการเพิ่มฉนวนพบว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีตมีความแตกต่างก่อนการออกแบบสูงกว่าห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว นั่นคือแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อออกแบบในห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นคอนกรีต ส่วนแนวทางในการออกแบบลดพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์จากค่าความแตกต่างก่อนการออกแบบพบว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวมีค่าที่สูงกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีต การออกแบบลดพื้นที่ช่องเปิดมีประสิทธิภาพกับห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว

7.3.2 แนวทางในการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว

จากผลการศึกษาแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว ที่มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่ำกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีต เมื่อเปรียบเทียบกับในการใช้พลังงานที่เท่ากันห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวสามารถที่จะเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดได้มากกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีต เนื่องจากห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวมีร่มเงา (Shading) ของต้นไม้จึงสามารถเปิดช่องเปิดได้มากกว่า การเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดที่เป็นกระจกสามารถช่วยให้เห็นสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่สีเขียวได้มากขึ้น ในกรณีที่ห้องเรียนกรณีอื่นที่มีพื้นที่ช่องเปิดที่เป็นกระจกสูงการได้รับอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวที่สามารถสร้างร่มเงาได้มีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ

7.3.3 แนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีต

จากผลการศึกษาแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีตที่มีใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสูงกว่าห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว จึงเพิ่มแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนเพื่อให้การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่ำกว่าห้องเรียนก่อนการออกแบบที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว พบว่าการเพิ่มความหนาฉนวนมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ยิ่งฉนวนมีความหนาสูงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศก็จะต่ำ ในกรณีศึกษาในงานวิจัยพบว่าแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน

Polyurethane ผนังและหลังคาที่มีความหนา 1 นิ้ว มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่ต่ำกว่าห้องเรียนก่อนการออกแบบที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว และแนวทางในการออกแบบโดยการลดพื้นที่ ช่องเปิดและพื้นฉนวนหลังคาหนา 3 นิ้วก็มีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่ต่ำกว่าห้องเรียนก่อนการออกแบบที่ได้รับสภาพอากาศพื้นที่สีเขียวเช่นกัน ที่ห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศพื้นคอนกรีตควรออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนเนื่องจากห้องเรียนได้รับอิทธิพลของสภาพอากาศที่อุณหภูมิที่สูง และค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงกว่าสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าและค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้รับการกรองจากร่มเงา (Shading) ของต้นไม้

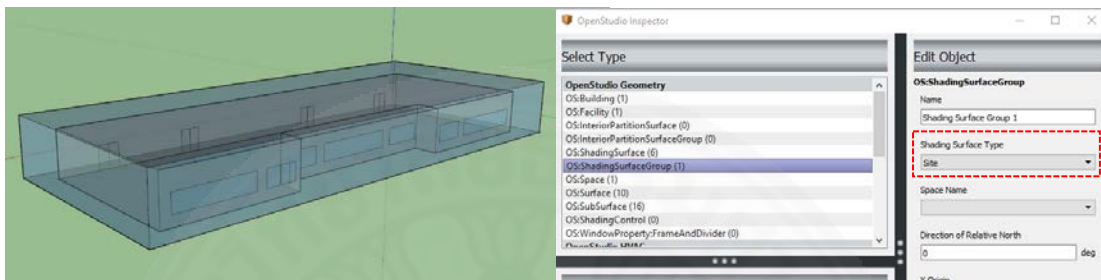
7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

7.4.1 ข้อจำกัดทางด้านเวลาและสภาวะโรคระบาด Covid 19 จึงได้ทำการศึกษาในฤดูหนาวของประเทศไทย คือช่วงเดือนธันวาคม เสนอให้มีการศึกษาเป็นฤดูกาลในแต่ละเดือน เนื่องจากสภาพอากาศของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของอุณหภูมิอากาศและความชื้นในอากาศของพื้นที่กรณีศึกษาพื้นที่สีเขียวกับพื้นคอนกรีต

7.4.2 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกอาคารจากการเก็บข้อมูลภาคสนามของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีต 2 พื้นที่กรณีศึกษาคือพื้นที่สีเขียวที่เป็นพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยไม้ยืนต้น และพื้นที่คอนกรีต ที่ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากพื้นที่สภาพแวดล้อมจริง เสนอแนะให้มีการศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกพื้นที่สีเขียวรูปแบบอื่น การศึกษาความหลากหลายของลักษณะพันธุ์ไม้ สามารถศึกษาโดยใช้แบบจำลองสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารโปรแกรม ENVI – met V4 เพื่อให้ได้ข้อมูลสภาพอากาศของแต่ละพื้นที่กรณีศึกษา

7.4.3 เสนอให้มีการศึกษาการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารต่อการใช้พลังงานอาคาร ขนาดของพื้นที่สีเขียวรวมถึงตำแหน่งในการวางไม้ยืนต้น เนื่องจากตำแหน่งในการวางของต้นไม้ส่งผลต่อร่มเงาที่พาดผ่านอาคาร พันธุ์ไม้ที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะการคายน้ำรวมถึงให้ร่มเงาที่แตกต่างกัน การผลัดใบของต้นไม้ (ในฤดูหนาว) ทั้งหมดนี้การออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารที่แตกต่างกัน เสนอแนะให้มีการศึกษาการใช้พลังงานของอาคารที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวในแต่ละฤดูกาลเนื่องจากการผลัดใบของต้นไม้ส่งผลให้อาคารมีการใช้พลังงานในแต่ละฤดูกาลไม่เท่ากัน

7.4.4 การศึกษาแบบจำลองพลังงานโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 สามารถศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองพลังงานโดยการสร้างร่มเงา (Shading) ของอาคารข้างเคียง หรือร่มเงาของต้นไม้ โดยวิธีการนี้สามารถศึกษาเชิงลึกถึงการระบุตำแหน่งของร่มเงาที่เกิดขึ้นภายนอกอาคารได้ ในกรณีที่ต้องการศึกษาตำแหน่ง ระยะและขนาดที่ทำให้เกิดร่มเงาที่เกิดขึ้นภายนอกอาคาร โดยจากการศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมพบว่ามีความแตกต่างกับวิธีที่ใช้ในงานวิจัยประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.9 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp ที่ใส่ Shading แทนร่มเงาต้นไม้

7.4.5 เสนอให้มีการวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงค่าก่อสร้างของแนวทางการออกแบบแต่ละแนวทางต่อผลการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ ทั้งในแนวทางการออกแบบโดยการเพิ่มฉนวนหรือช่องเปิดของห้องเรียนที่ได้รับสภาพอากาศของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีต

7.4.6 กรณีที่สามารถคำนวณค่าก่อสร้างของขนาดพื้นที่สีเขียว รวมถึงตำแหน่งทิศทางในการวางรอบอาคารต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ขนาดพื้นที่สีเขียวควรมีพื้นที่เท่าไรในราคาค่าก่อสร้างที่เหมาะสมต่อการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ

7.4.7 มาตรการการออกแบบระบบปรับอากาศของห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียว จากการศึกษาค่าก่อสร้างของห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวประหยัดพลังงานมากกว่าห้องเรียนที่ตั้งในพื้นที่คอนกรีต เสนอแนะให้มีการศึกษาถึงขนาดของระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารที่ตั้งในพื้นที่สีเขียวสามารถใช้ขนาดของระบบปรับอากาศที่เล็กกว่าพื้นที่คอนกรีตเป็นเท่าไร

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

ชัยยุทธ ศรีเผด็จ. (2551). *ความร้อนกับสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิจ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*

พรรณจิรา ทิศาวิภาต ศรีสุธาพรรณ และอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2556). *เทคนิคการออกแบบเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.*

สุนทร บุญญาธิการ. (2545). *เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*

เสริม จันทร์ฉาย. (2560). *รังสีอาทิตย์. นครปฐม : หน่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.*

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2552). *เทคโนโลยีสภาวะแวดล้อมในการออกแบบสถาปัตยกรรมในเขตร้อน-ชื้น. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.*

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2004). 62.1 User's Manual ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004. USA.

ASHRAE, 2005b, p.27.2.

บทความวารสาร

ธนิต จินดาวณิก. (2546). การประหยัดพลังงานในอาคาร: *วารสาร Engineering Today*, คอลัมน์พลังงาน&สิ่งแวดล้อม, ฉบับ ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 มีนาคม 2546.

นราธิป ทับทัน. (2552). *ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านเดี่ยว:*

วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, Vol 9 (2), 1-18.

- Agnese Salvati. (2017). Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate: Barcelona case study: *Energy and Buildings*, 146, 38-54.
- Canbing Li. (2010). An analysis of energy consumption caused by air temperature-affected accumulative effect of the air conditioning load: *Automation of Electric Power Systems*, 34(20), 30-33.
- Chun-Ming Hsieh. (2018). Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use: *Energy and Buildings*, 159, 382-397.
- Diana E. Bowler. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence: *Landscape and Urban Planning*, 97(3). 147-155.
- Geoffrey H. Donovan. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use: *Energy and Buildings*, 41(6), 662-668.
- Giridharan Renganathan. (2008). Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence: *Building and Environment*, 43(10), 1583-1595.
- Hamida bencheikh. (2012). The Effects of Green Spaces (Palme Trees) on the Microclimate in Arides Zones, Case Study: Ghardaia, Algeria: *Energy Procedia*, 18, 10-20.
- Hani H. Sait. (2013). Estimated Thermal Load and Selecting of Suitable Air-conditioning Systems for a Three Story Educational Building: *Procedia Computer Science*, 19, 636-645.

Julieta Balter. (2016). On high-rise residential buildings in an oasis-city: Thermal and energy assessment of different envelope materiality above and below tree canopy: *Energy and Buildings*, 113, 61-73.

Nattanee Thinate, Wongkot Wongsapai and Det Damrongsak. (2017). Energy Performance Study in Thailand Hospital Building: *Energy Procedia*, 141, 255-259.

V.M.Gómez-Muñoz. (2009). Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions: *Landscape and Urban Planning*, 94(3-4). 149-157.

Xiaoma Li. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings: *Energy*, 174, 407-419.

วิทยานิพนธ์

กัญจน์ พิเชษฐศิลป์, (2545). *แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ณัฐฐา ตระกูลไทย. (2558). *ผลกระทบจากสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ปนิดา ตะสิทธิ์. (2560). *การจัดการพลังงานในอาคารเรียน กรณีศึกษา อาคารเรียนรวมสังคมาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ประภัสสร แชมมงคล, (2561). *การประยุกต์ม่านสะท้อนความร้อนและปล่องรังสีอาทิตย์ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม.

ปาริณี ศรีสุวรรณ. (2554). *คุณภาพอากาศที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงเมื่อมีการใช้ระบบเติมอากาศภายนอก*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม.

พิชามญชุ์ ลีทองอิน. (2559). *อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวและวัสดุผิวภายนอกที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม

รวีช ควรรประเสริฐ. (2550). *การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาคอื่น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). *แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก http://www.eppo.go.th/images/Information_service/Publication/Publication/PDF/Architectural%20Guidebook.pdf

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2553). *คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553* สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2563, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pdf

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.(มกป.). *ระบบปรับอากาศ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Commercial\(PDF\)/Bay40%20Ventilation_Rev1.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Commercial(PDF)/Bay40%20Ventilation_Rev1.pdf)

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). *คู่มือเผยแพร่แนวทางการตรวจรับรองแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน* .

สืบค้นเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2562, จาก https://www.thaienergyauditor.org/attachments/view/?attach_id=223394

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (มกป.). *การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก <https://www.diw.go.th/km/power/pdf/06การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.pdf>

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (มกป.). *การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก <https://www.diw.go.th/km/power/pdf/03การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.pdf>

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (มกป.). *เครื่องใช้ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/home/home_appliances.html

คุณ มณีวัฒนา. (มกป.). *การคำนวณปริมาณการระบายอากาศตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก <http://tmn.co.th/data/documents/Calculations-of-Ventilation-Rate-According-to-ASHRAE-Standard-62-1.pdf>

เทพฤทธิ์ ทองซูป และเชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์. (2547). *การใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการคำนวณภาระการทำความเย็น จากการนำความร้อนผ่านผนัง*. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2562, จาก http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-9/09%20-%2008.pdf

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. (2552) *กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2562, จาก https://www.dede.go.th/download/energysaving58/20_2552.pdf

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. (2552). *ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อต้นความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16

พฤศจิกายน 2562, จาก http://www.lib.kmitl.ac.th/greenoffice_old/images/Law Environment/19.pdf

ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). *คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก <http://new.2ebuilding.com/sites/default/files/2019-08/คู่มือ%20BEC.pdf>

สภาวิศวกร. (มกป.). *ระบบปรับอากาศ ทำความเย็นระบายอากาศ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2562, จาก <http://www.coe.or.th>

Amber Pariona. (2019). *What is an Urban Heat Island?*. Climate Kids สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2562, จาก <https://climatekids.nasa.gov/heat-islands/>

Farhang Tahmasebi. (2017). *EnergyPlus Course | Presentation on Shading Devices in EnergyPlus*. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2563, จาก https://www.researchgate.net/publication/321341671_EnergyPlus_Course_Presentation_on_Shading_Devices_in_EnergyPlus

PAC regenerating energy. (2016). *PAC SolarAire ทำงานอย่างไร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2562, จาก <http://www.pac.co.th/product-overview/pac-solaraire/>

U.S. Department of Energy (DOE). (มกป.). *Weather Data*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://energyplus.net/weather>

ภาคผนวก



ตารางที่ 1

สภาพอากาศและการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศห้องเรียนที่ใช้สภาพอากาศจากโปรแกรม ENM - met V4

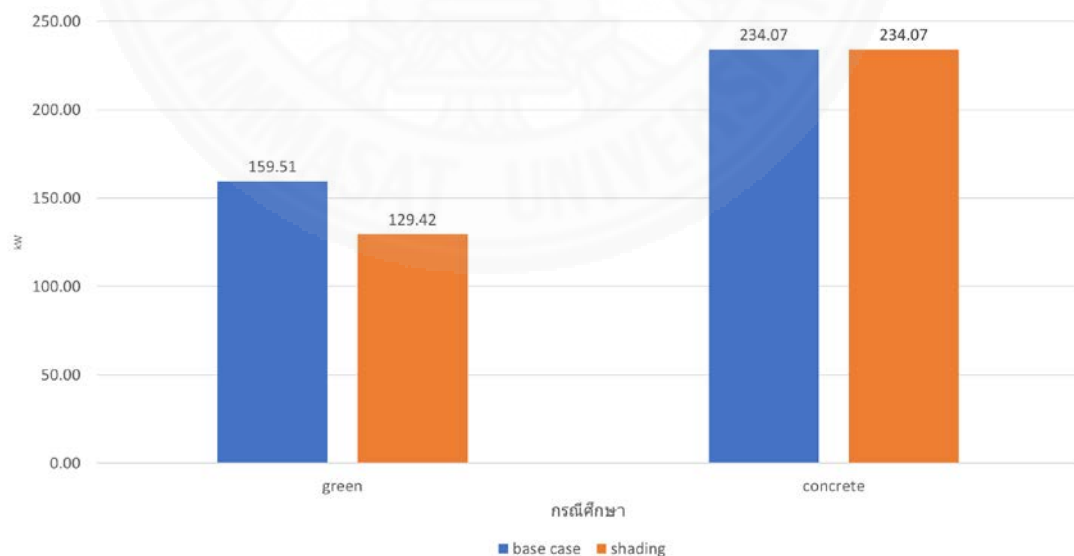
Time	พื้นที่สีเขียว				พื้นคอนกรีต			
	สภาพอากาศ		พลังงานของระบบปรับอากาศ (kW)		สภาพอากาศ		พลังงานของระบบปรับอากาศ (kW)	
	อุณหภูมิอากาศ EN VI met	ความชื้นสัมพัทธ์ EN VI met	base case	EN VI met	อุณหภูมิอากาศ EN VI met	ความชื้นสัมพัทธ์ EN VI met	basecase	ENVI_met
1	27.10	61	0	0	27.14	60	0	0
2	26.61	63	0	0	26.70	62	0	0
3	26.30	65	0	0	26.41	63	0	0
4	25.97	66	0	0	26.07	64	0	0
5	25.58	67	0	0	25.66	65	0	0
6	25.16	68	0	0	25.30	66	0	0
7	24.92	70	0	0	25.29	68	0	0
8	25.63	66	0	0	26.15	64	0	0
9	26.57	61	15.55	14.72	27.18	59	19.33	15.05
10	27.70	57	11.93	9.85	28.25	55	16.53	10.37
11	28.61	54	13.19	11.02	29.25	52	18.81	11.59
12	29.59	51	14.63	12.87	30.22	49	23.06	13.41
13	30.18	49	16.03	14.79	30.82	47	25.91	15.30
14	30.72	48	16.87	15.90	31.32	46	27.19	16.26
15	31.21	46	16.94	16.19	31.67	45	27.08	16.64
16	31.34	46	17.41	16.39	31.66	45	26.91	16.80
17	31.03	47	17.94	16.01	31.28	46	26.80	16.35
18	30.45	49	4.96	4.38	30.70	48	7.18	4.49
19	29.95	51	4.11	3.65	30.22	49	4.58	3.72
20	29.51	52	3.37	3.04	29.80	51	2.80	3.12
21	29.15	54	2.73	2.47	29.40	52	2.80	2.53
22	28.66	55	2.17	1.96	28.93	54	2.31	2.02
23	28.43	56	1.68	1.53	28.70	54	1.83	1.58
24	28.09	57	0	0	28.00	56	0.94	0
Total			159.51	144.76			234.07	149.22

ผลการศึกษาริธีการใช้โปรแกรม
ภาคผนวก ก

ตารางที่ 2

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศห้องเรียนกรณีศึกษาที่เพิ่มร่มเงา (Shading) ในแบบจำลอง Energy Plus 9.2.0

(kW)	base case_		Shading	
	base case_ green area	base case_ concrete	Shading_ green area	Shading_ concrete
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	15.55	19.33	12.77	19.33
10	11.93	16.53	10.83	16.53
11	13.19	18.81	11.63	18.81
12	14.63	23.06	12.52	23.06
13	16.03	25.91	13.56	25.91
14	16.87	27.19	14.07	27.19
15	16.94	27.08	14.33	27.08
16	17.41	26.91	14.68	26.91
17	17.94	26.80	15.07	26.80
18	4.96	7.18	3.11	7.18
19	4.11	4.58	2.35	4.58
20	3.37	2.80	1.79	2.80
21	2.73	2.80	1.38	2.80
22	2.17	2.31	1.07	2.31
23	1.68	1.83	0.29	1.83
24	0	0.94	0	0.94
total	159.5082414	234.0736145	129.4212993	234.073596



ภาพที่ 1 กราฟการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศห้องเรียนกรณีศึกษาที่เพิ่มร่มเงา (Shading) ในแบบจำลอง Energy Plus 9.2.0

ตารางที่ 1

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศภาคสนามวันที่ 28 มกราคม 2563 ถึง 17 กุมภาพันธ์ 2563

Time	อุณหภูมิอากาศ																				
	28/1/2019	29/1/2019	30/1/2019	31/1/2019	1/2/2019	2/2/2019	3/2/2019	4/2/2019	5/2/2019	6/2/2019	7/2/2019	8/2/2019	9/2/2019	10/2/2019	11/2/2019	12/2/2019	13/2/2019	14/2/2019	15/2/2019	16/2/2019	17/2/2019
0	28.0	27.6	27.1	26.8	26.2	26.7	27.2	27.6	27.7	27.7	28.0	28.0	28.0	28.3	29.2	29.4	29.0	29.4	28.5	28.9	27.5
1	27.5	27.2	26.9	26.2	25.8	26.5	27.0	27.2	27.3	27.3	27.6	27.7	27.7	27.8	28.9	29.0	28.9	28.9	28.3	28.4	27.3
2	26.9	27.0	26.5	26.1	25.6	26.1	26.7	26.9	26.9	26.6	27.2	27.3	27.3	27.4	28.7	28.6	28.7	28.5	27.9	28.1	26.9
3	26.2	26.6	26.2	25.8	25.5	25.8	26.4	26.6	26.5	26.3	26.8	27.0	27.1	27.0	28.6	28.2	28.5	28.1	27.5	27.4	26.5
4	25.8	26.2	25.8	25.4	25.2	25.6	26.1	26.4	26.2	26.2	26.5	26.6	26.7	26.7	28.4	28.0	28.3	27.8	27.0	26.8	26.1
5	25.3	25.9	25.6	25.1	24.9	25.3	25.7	26.2	25.9	26.2	26.4	26.3	26.6	26.5	28.3	27.8	27.9	27.6	26.6	26.7	26.0
6	25.1	25.8	25.5	24.9	24.9	25.1	25.6	26.1	25.7	26.1	26.4	26.1	26.4	26.4	28.2	27.8	27.7	27.5	26.4	26.6	26.1
7	25.4	26.0	25.6	24.9	25.1	25.2	25.6	26.1	25.9	26.2	26.5	26.3	26.7	26.3	28.3	27.8	28.0	27.5	26.5	26.7	26.4
8	25.8	26.3	26.1	25.1	25.5	25.7	26.2	26.7	26.7	26.9	27.2	27.0	27.0	26.7	28.6	28.0	28.7	28.2	27.1	27.4	27.2
9	26.4	27.2	26.8	25.7	26.3	26.6	28.2	27.7	27.9	27.9	28.3	27.8	27.5	27.5	29.1	29.2	29.9	29.1	27.9	28.1	28.2
10	27.3	28.2	27.8	26.2	27.1	28.0	29.8	29.0	28.8	29.6	29.2	28.8	28.6	28.4	29.9	31.3	31.7	30.0	28.7	28.9	29.3
11	28.7	28.9	28.9	27.3	27.9	28.9	31.4	30.0	30.0	30.6	30.1	29.6	29.6	29.1	29.9	31.7	32.7	31.1	30.0	30.1	30.4
12	29.5	29.6	29.8	28.1	28.5	29.5	31.9	31.0	30.8	31.0	30.9	30.2	30.2	29.6	31.6	32.2	33.3	32.1	31.1	30.9	31.9
13	30.1	30.1	30.4	28.6	29.1	30.0	32.8	32.6	31.8	31.5	31.4	30.7	30.7	30.1	32.0	32.8	33.9	32.5	31.4	31.6	32.9
14	31.2	30.4	30.9	29.1	29.5	30.3	33.2	33.6	32.0	31.7	32.0	31.2	31.2	31.0	32.3	33.0	34.3	32.9	31.9	31.9	33.2
15	31.9	30.4	30.8	29.5	29.8	30.4	33.1	33.1	31.9	32.2	32.1	31.4	31.3	31.1	32.4	33.5	34.7	32.6	32.1	31.9	33.6
16	31.5	30.6	30.8	29.5	29.9	30.3	33.0	31.9	31.3	32.4	32.2	31.4	31.2	30.8	32.5	32.7	34.4	32.1	32.2	31.9	33.5
17	32.0	30.3	30.3	28.9	29.8	30.0	32.7	31.3	30.9	32.4	31.8	31.0	30.8	30.7	32.7	32.1	34.0	31.5	31.8	31.5	34.8
18	30.8	30.0	29.7	28.4	29.3	29.4	31.4	30.3	30.3	31.6	31.3	30.5	30.0	30.4	32.7	31.1	33.4	30.8	31.2	30.8	34.2
19	29.6	29.4	29.5	27.8	28.8	28.8	30.4	29.3	29.4	29.7	30.6	29.9	29.5	30.1	32.1	30.7	32.7	30.1	30.4	30.2	32.7
20	28.9	28.7	28.9	27.4	28.3	28.4	29.8	28.7	28.9	29.3	29.8	29.5	29.1	30.4	31.5	30.6	31.7	29.7	29.9	29.4	31.0
21	28.5	28.3	28.3	27.1	27.8	28.1	28.9	28.4	28.5	28.8	29.2	29.0	29.0	30.3	31.2	30.2	31.3	29.3	29.6	29.0	30.4
22	28.1	27.9	27.9	26.6	27.4	27.8	28.4	28.1	28.3	28.6	28.9	28.7	28.8	30.0	30.2	29.8	30.6	29.1	29.4	28.3	30.0
23	27.8	27.6	27.3	26.2	27.0	27.5	27.8	27.9	28.1	28.3	28.4	28.3	28.6	29.5	29.8	29.2	29.7	28.8	29.2	27.8	29.7
Time	ความชื้นสัมพัทธ์																				
	28/1/2019	29/1/2019	30/1/2019	31/1/2019	1/2/2019	2/2/2019	3/2/2019	4/2/2019	5/2/2019	6/2/2019	7/2/2019	8/2/2019	9/2/2019	10/2/2019	11/2/2019	12/2/2019	13/2/2019	14/2/2019	15/2/2019	16/2/2019	17/2/2019
0	67	74	61	61	61	66	75	77	75	75	76	75	77	53	57	63	74	72	76	74	60
1	65	77	63	63	62	67	76	78	77	77	78	78	78	53	58	65	74	75	78	75	63
2	63	77	64	64	62	69	78	80	78	81	79	80	80	54	59	68	75	77	77	77	66
3	58	78	66	63	63	70	79	81	80	82	80	82	81	55	60	71	76	79	76	78	71
4	57	80	68	65	63	71	81	82	81	82	81	84	83	57	60	73	77	80	72	80	75
5	57	81	70	64	63	73	80	82	82	82	81	85	84	58	61	75	78	81	70	81	76
6	58	81	71	64	64	74	78	82	82	82	82	86	85	60	60	76	79	82	67	82	77
7	57	80	73	64	62	73	76	82	82	82	82	85	83	61	58	78	77	81	62	82	78
8	56	76	72	62	61	74	75	80	79	80	80	83	78	59	58	78	73	77	57	76	76
9	53	69	69	60	58	71	71	77	75	76	76	80	69	57	56	75	65	71	52	73	74
10	50	61	66	58	57	67	66	71	69	69	71	74	62	55	54	66	59	66	49	66	68
11	47	55	62	55	55	63	60	66	60	64	65	67	56	54	54	63	55	61	46	57	61
12	46	50	59	52	54	57	57	60	53	61	61	63	53	50	59	53	56	41	51	54	54
13	45	49	56	50	52	52	54	54	46	59	58	59	51	52	49	57	52	39	46	49	49
14	46	49	54	50	51	51	54	50	43	56	55	57	48	50	47	57	52	35	43	47	47
15	47	49	52	49	50	49	54	51	45	55	53	55	48	50	47	57	52	32	38	46	46
16	49	50	52	50	49	49	54	55	49	55	51	55	51	50	46	60	53	33	38	45	45
17	50	51	52	53	50	51	56	58	55	56	54	56	53	51	46	62	54	37	39	45	54
18	54	52	54	55	51	53	61	62	62	60	57	57	56	52	47	65	57	59	46	41	47
19	58	55	54	57	53	57	65	67	66	66	62	62	58	54	50	65	60	63	55	45	54
20	61	56	54	58	56	62	69	70	69	68	65	65	58	54	53	68	64	67	62	46	62
21	65	58	55	58	59	66	72	72	71	71	67	70	56	54	55	70	66	69	67	50	65
22	68	59	55	60	62	70	73	73	72	72	69	73	55	55	58	72	68	72	70	53	68
23	71	60	58	61	65	74	75	74	73	74	72	76	53	56	60	74	71	74	72	59	70

ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ
ภาคผนวก ข

ตารางที่ 2

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2562 (วันที่ 28 มกราคม 2562)

Time	อุณหภูมิอากาศ																					
	28/1/2019	29/1/2019	30/1/2019	31/1/2019	1/2/2019	2/2/2019	3/2/2019	4/2/2019	5/2/2019	6/2/2019	7/2/2019	8/2/2019	9/2/2019	10/2/2019	11/2/2019	12/2/2019	13/2/2019	14/2/2019	15/2/2019	16/2/2019	17/2/2019	
0	24.7	23.7	26.4	26.9	28	27.2	27	28	28.1	27.8	27.6	27.8	27.9	28	28.3	27.8	28.1	28.1	27.8	27.7	27.6	27.8
1	22.9	23.4	25.4	26.3	27.6	26.6	26.4	27.3	27.9	27.5	27.6	27.6	27.7	28	28.1	27.5	28	27.9	27.7	27.6	27.6	27.6
2	22.7	22.6	24.1	25.8	27.5	26.5	26.3	27.2	27.6	27.7	27.3	27.3	27.3	27.9	27.9	27.3	27.8	27.6	27.4	27.4	27.4	27.5
3	22.3	23.4	23.5	26.4	27.1	26.2	25.7	27.1	27.4	27.6	27.1	27	27.4	27.5	28.1	26.9	27.2	27.6	27.4	27.3	27.5	27.5
4	21.1	22.8	23.8	25.2	26.9	25.4	25.5	26.9	27	27.4	28.8	26.8	27.2	27.4	28	26.6	26.8	27.4	27.1	27.3	27.4	27.4
5	21.1	21.8	23.6	25.2	26.6	25.2	25.2	26.9	27.1	27.5	26.7	26.5	26.8	27.3	27.8	25.9	26.6	27.3	27	26.2	27.5	27.5
6	21	22.3	23.9	25.3	25.9	24.7	25.2	26.1	27	27.2	26.8	26.5	26.3	26.2	27.6	25.6	26.4	26.8	26.4	26.4	26.4	27.5
7	22.9	23.5	24.8	26.4	25.9	25.4	26.4	28	27.9	28.2	28	27.3	27	27.2	28.3	26.6	26.8	27.1	27.1	26.9	28.4	28.4
8	25.4	25.8	26.2	28.5	26.9	26.6	27.9	29.4	29.7	28.9	29.5	29	28.9	29.1	29.6	27.5	28.4	29.2	28.4	28.9	28.8	28.8
9	27.2	28.1	28.4	30.3	28.5	28.4	29.5	30.9	31.6	30.5	31.1	31.2	31.2	31.2	31.1	30.5	30.6	30.5	30.8	30.8	29.9	29.9
10	29.1	30.2	31	31.3	30.7	31.1	31.6	32.2	32.9	32.3	32.4	32.7	32.4	33.2	32.3	30.4	32.5	31.5	31.3	32.2	31.6	31.6
11	30.1	31.6	32	32.1	30.5	31.5	32.6	33.4	34	32.6	32.6	33.2	33.8	33.8	35	31.1	34.3	32.1	32.7	32	32.9	32.9
12	31.2	31.9	32.2	31.8	31.1	32.5	34.2	33.6	34.5	33.1	33.7	34.5	34.3	34.5	33.4	32	34.6	33.6	32.9	32.5	32.9	32.9
13	31.3	32.7	32.6	32.5	32.2	33.3	33.5	33.5	34.7	33.2	33.3	34.6	34.9	34.7	34.2	33.5	34.5	33.3	33.3	33.6	33	33
14	31.6	32.5	32.3	33.2	33	33.3	34.3	35.5	35.2	32.9	34	33.9	34.4	35	33.6	32.6	35.3	33.3	33.6	33	32.4	32.4
15	31.8	32.1	32.6	33.4	32.4	32.7	34.6	34.3	34.4	32.7	34.1	34.4	34.4	33.6	33.8	33.5	35.3	33.6	32.8	33	31.4	31.4
16	30.9	31.9	32	33.2	32.2	32.4	33.6	33.7	33.1	32	33.3	33.4	33.7	33.5	32.7	33.8	34.7	31.5	32.3	31.9	29.9	29.9
17	29.8	30.9	31.2	31.8	30.7	31	31.6	33	31.6	30.1	32.6	31.9	32.3	30.8	30.7	33.3	34.1	30.7	30.7	29.8	29	29
18	29	29.4	30	31.5	29.8	30.1	30.3	31.3	30	29.2	30.2	30.8	31.3	30.3	29.4	32.6	33.2	29.3	29.1	28.7	28.4	28.4
19	28.3	29	29.8	30.9	29.6	28.8	29.4	31	29.4	28.6	28.9	29.9	29.5	29.7	28.9	31.4	31.4	28.6	28.7	28.3	28.1	28.1
20	27.7	28.1	29.9	30.3	29.4	28.3	29.1	29.8	28.8	28.4	28.5	29	29	29.3	28.6	30.3	30.1	28.4	28.4	28.2	27.9	27.9
21	26.6	27.3	29	29.6	28.3	28.1	28.3	29.2	28.5	28.3	28.3	28.7	28.6	29.1	28.5	29.5	29.2	28.1	28.3	28	27.8	27.8
22	26.9	27.1	27.2	28.5	27.9	27.7	28.1	28.6	28.1	27.9	28	28.3	28.5	28.7	28.2	29.3	28.9	28.2	28.2	27.9	27.4	27.4
23	25.7	25.8	27.7	27.8	27.3	27.3	28.2	28.5	27.9	27.7	28.1	28.2	28.4	28.3	28	28.6	28.5	27.9	28	27.8	27.7	27.7
Time	ความชื้นสัมพัทธ์																					
	28/1/2019	29/1/2019	30/1/2019	31/1/2019	1/2/2019	2/2/2019	3/2/2019	4/2/2019	5/2/2019	6/2/2019	7/2/2019	8/2/2019	9/2/2019	10/2/2019	11/2/2019	12/2/2019	13/2/2019	14/2/2019	15/2/2019	16/2/2019	17/2/2019	
0	57	64	57	69	81	78	80	83	85	85	85	86	85	85	83	80	77	83	81	80	76	76
1	68	67	62	72	86	86	85	85	86	88	86	87	84	84	83	81	77	83	83	83	80	78
2	70	74	71	76	89	88	86	85	88	84	85	89	85	86	84	83	78	83	84	83	77	77
3	73	72	71	80	88	90	86	87	88	87	86	91	86	88	84	85	81	82	85	84	78	78
4	72	70	67	83	89	91	89	89	90	88	88	90	88	89	84	86	85	84	84	84	80	80
5	69	75	70	84	90	91	92	90	90	86	89	94	90	90	85	91	81	85	85	90	80	80
6	68	77	69	84	96	96	93	95	91	88	88	93	94	93	87	93	88	88	90	92	78	78
7	64	76	69	77	95	95	88	87	87	84	83	90	92	91	85	88	86	88	88	88	75	75
8	54	57	63	72	90	91	80	78	75	81	76	81	84	83	77	85	78	74	82	78	74	74
9	49	47	51	63	84	83	69	66	68	73	68	68	72	73	68	66	67	68	66	65	66	66
10	43	40	45	59	69	62	59	58	59	64	69	62	66	65	61	65	53	62	64	57	55	55
11	43	36	43	51	63	56	53	54	55	62	59	59	59	59	62	61	45	60	54	55	54	54
12	35	34	42	50	57	52	48	53	52	60	55	56	57	57	59	57	44	53	50	51	50	50
13	39	36	44	49	49	47	49	52	52	59	53	54	55	54	56	50	42	53	53	48	50	50
14	32	34	45	45	41	47	46	47	51	61	52	57	55	54	55	39	52	51	47	52	52	52
15	38	35	46	44	41	45	45	48	55	59	52	56	56	52	56	38	52	53	50	54	54	54
16	36	35	48	44	42	55	52	51	58	65	53	61	59	59	60	46	40	58	56	55	61	61
17	39	38	49	48	47	61	57	54	60	70	56	63	65	73	70	45	43	64	63	65	66	66
18	43	42	57	51	59	63	61	63	71	73	68	65	68	72	74	48	46	70	67	74	72	72
19	46	47	59	54	50	74	63	63	72	77	75	66	80	70	78	62	62	74	71	73	77	77
20	48	49	57	59	53	76	74	65	82	78	79	75	81	74	78	68	68	77	77	76	77	77
21	50	52	55	62	63	78	79	69	83	79	79	72	80	80	80	71	70	79	78	76	78	78
22	51	54	64	78	62	80	80	79	83	83	82	76	79	81	81	72	75	79	79	77	78	78
23	55	59	65	80	74	81	80	82	84	85	83	81	72	83	80	75	80	81	78	77	80	80

ตารางที่ 3

ผลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเรียนโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 เปรียบเทียบกับการวัดภาคสนาม

Time	EnergyPlus			Air Temperature - วัดภาคสนาม	EnergyPlus			Air Relative Humidity - วัด ภาคสนาม
	EnergyPlus_Air Temperature - 2562	EnergyPlus_Air Temperature - EPW	EnergyPlus_Air Temperature - วัดภาคสนาม		EnergyPlus_Air Relative Humidity - 2562	EnergyPlus_Air Relative Humidity - EPW	EnergyPlus_Air Relative Humidity - วัดภาคสนาม	
0	25.6	25.7	25.6	25.7	68.4	67.6	69.8	41.9
1	25.7	25.8	25.7	25.7	67.4	66.6	68.4	41.4
2	25.7	25.9	25.8	25.8	66.4	65.5	67.1	43.0
3	25.8	25.9	25.8	25.8	65.7	64.7	66.1	42.4
4	25.8	26.0	25.8	25.9	65.2	64.0	65.3	41.6
5	25.9	26.0	25.9	25.9	64.8	63.7	64.7	42.5
6	25.9	26.0	25.9	25.8	64.4	63.6	64.3	42.6
7	26.0	26.0	25.9	25.9	64.0	63.7	63.9	41.6
8	25.9	26.0	26.0	25.9	64.1	63.9	63.6	41.6
9	25.8	26.0	25.9	25.9	64.4	64.0	63.5	42.2
10	25.8	25.9	25.9	25.8	64.3	63.9	63.3	43.4
11	25.8	25.8	25.8	25.7	63.4	63.2	62.6	44.0
12	25.7	25.8	25.7	25.7	62.7	62.4	62.3	43.3
13	25.3	25.4	25.4	25.9	67.1	67.0	67.2	44.6
14	25.1	25.2	25.1	26.0	71.6	71.5	72.3	46.6
15	25.1	25.2	25.1	26.0	73.1	73.7	74.5	45.5
16	25.4	25.1	25.3	26.0	73.5	75.5	75.3	45.0
17	25.4	25.0	25.5	25.8	74.1	76.5	76.1	45.7
18	25.3	25.1	25.4	25.5	74.7	77.2	76.6	46.9
19	25.5	25.6	25.5	25.4	73.7	76.2	75.6	49.2
20	25.3	25.3	25.3	25.3	74.1	76.9	75.0	46.5
21	25.0	25.4	24.8	25.2	74.9	76.8	75.7	42.8
22	25.6	25.8	25.3	25.1	72.3	74.7	72.1	41.3
23	25.7	25.9	25.5	25.1	71.0	73.4	70.2	39.8

ตารางที่ 4

ผลพลังงานของระบบปรับอากาศห้องเรียนโปรแกรม Energy Plus 9.2.0 เปรียบเทียบกับการวัดภาคสนาม (วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563)

Time	การเก็บข้อมูลพลังงานภาคสนาม	EnergyPlus		
		สภาพอากาศ ปี 2562	สภาพอากาศ epw	สภาพอากาศที่วัดภาคสนาม
0	8.08	8.98	6.12	8.58
7	4.88	4.74	4.24	4.86
8	4.73	5.28	4.50	4.98
9	4.85	6.09	4.98	5.28
10	5.49	6.54	5.55	5.77
11	12.87	15.96	14.00	14.19
12	13.50	16.23	13.46	15.11
13	16.17	19.70	17.73	17.92
14	16.73	20.01	17.67	19.09
15	20.74	20.66	17.15	20.01
16	20.77	20.74	20.11	20.26
17	21.03	20.13	19.21	21.86
18	21.80	19.45	18.34	21.82
19	16.00	13.92	11.57	14.27
20	15.82	14.31	11.30	15.07
21	13.48	13.80	10.71	17.44
22	11.96	8.02	6.17	9.79
23	9.97	8.03	6.54	9.30
24	8.08	7.50	5.58	9.02

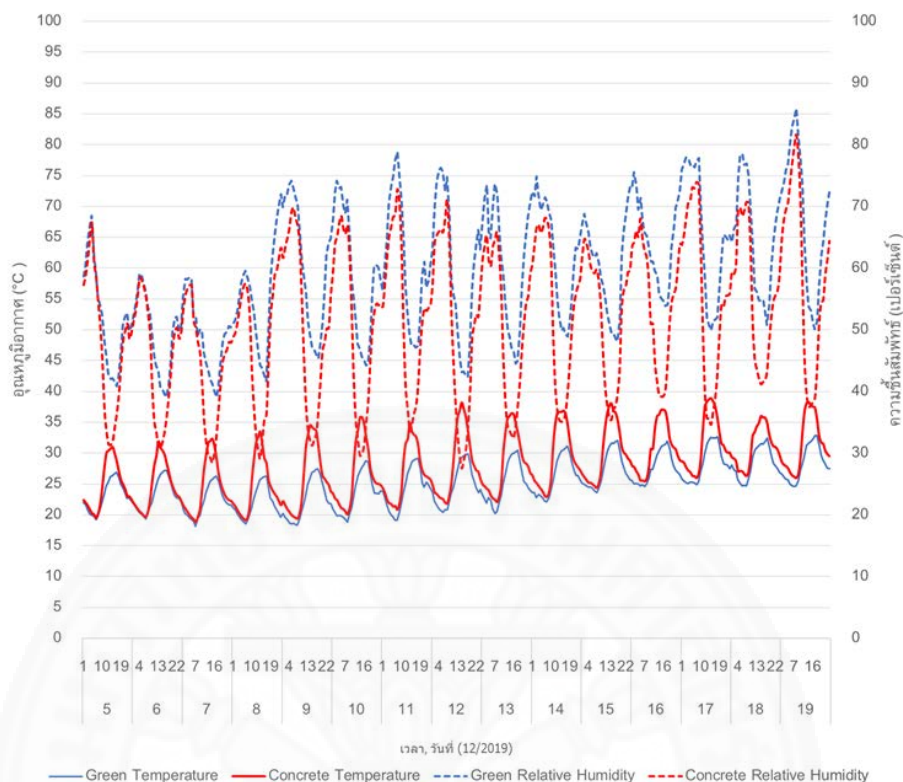
ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศต่อการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 1

แสดงอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่คอนกรีตจากการวัดภาคสนาม

TIME	Green		Concrete		Green		Concrete		Green		Concrete		Green		Concrete	
	T	RH	T	RH	T	RH	T	RH	T	RH	T	RH	T	RH	T	RH
1	22.03	59	22.38	57.24	20.21	70	22.20	62	23.30	68	24.96	61	25.78	76	28.69	64
2	21.63	60	21.96	58.87	19.65	72	21.56	63	22.53	71	24.63	63	25.47	77	28.43	65
3	20.83	64	21.47	61.50	19.23	72	20.93	65	21.97	73	24.23	65	25.22	78	27.71	68
4	20.22	67	20.83	64.70	18.73	74	20.48	66	22.79	66	23.94	61	25.08	78	27.19	71
5	19.91	69	20.28	67.33	18.54	74	20.00	69	22.28	65	23.14	60	25.33	77	26.92	71
6	19.83	62	20.03	61.09	18.61	73	19.71	70	20.89	70	22.67	63	25.33	77	26.33	73
7	19.22	59	19.48	58.56	18.43	71	19.52	68	20.19	74	22.44	65	25.22	76	26.27	73
8	19.97	56	20.21	54.57	18.33	70	19.36	67	20.49	72	22.07	66	24.91	77	25.98	74
9	20.87	54	21.76	50.69	19.33	67	20.23	64	21.83	66	22.88	62	25.41	78	26.60	74
10	22.26	52	24.53	45.28	20.49	61	22.43	55	23.23	62	24.94	56	26.88	70	28.83	64
11	23.34	48	27.69	37.32	21.93	59	26.72	46	25.12	59	30.12	46	28.34	64	33.46	51
12	24.58	46	30.07	32.53	23.36	56	31.04	38	26.78	54	33.25	38	29.98	58	36.34	40
13	25.44	43	30.42	31.42	24.88	51	32.99	34	28.31	50	35.50	35	31.55	52	38.34	36
14	26.15	42	30.76	31.35	25.96	49	34.52	32	29.16	49	36.03	34	32.13	51	38.73	36
15	26.38	42	30.98	31.91	26.90	47	34.19	31	29.86	47	36.48	33	32.58	50	38.93	35
16	26.94	42	29.88	34.23	27.08	47	33.90	32	29.97	46	36.33	32	32.44	51	38.40	37
17	26.73	41	28.62	36.49	27.38	46	33.60	33	30.31	45	34.79	34	32.51	52	37.57	39
18	26.08	42	26.97	39.58	27.52	45	31.10	37	30.47	45	33.32	38	32.68	52	35.82	43
19	24.97	47	25.63	44.27	26.39	48	28.34	42	28.89	50	31.46	42	31.34	56	33.45	49
20	24.33	51	24.91	48.18	25.16	51	26.33	47	26.82	57	29.62	47	29.56	62	31.59	54
21	23.66	52	24.14	49.74	23.72	56	25.87	48	25.44	63	28.58	51	28.30	65	31.29	54
22	22.73	53	23.07	50.99	22.39	62	25.30	50	25.03	66	28.31	54	28.14	65	30.43	55
23	22.75	50	22.97	48.53	21.93	64	24.84	50	24.45	68	27.83	55	28.04	65	30.08	56
24	22.31	51	22.51	49.50	21.82	65	23.79	56	24.01	71	26.77	59	27.53	65	30.08	56
1	21.78	52	21.91	51.29	21.01	68	23.46	59	23.61	72	26.42	61	28.08	64	29.33	59
2	21.32	54	21.44	52.93	20.35	72	22.67	64	23.66	72	25.54	64	27.30	66	29.14	59
3	20.84	56	20.95	55.53	19.83	74	22.37	65	22.83	75	25.16	67	27.05	67	28.73	60
4	20.37	59	20.51	58.43	19.94	73	21.68	67	23.34	72	24.67	67	25.71	74	27.06	69
5	20.11	59	20.23	58.01	19.84	73	21.09	68	23.15	69	24.23	66	25.07	78	27.12	70
6	19.78	57	19.83	56.93	19.61	70	20.93	66	22.72	70	23.73	66	24.73	79	27.04	68
7	19.33	56	19.68	55.39	19.33	69	20.51	66	22.18	72	23.06	68	24.77	77	26.63	68
8	20.40	54	20.52	52.58	18.81	71	20.06	67	22.13	71	23.93	68	24.73	77	26.39	71
9	21.40	53	22.48	49.38	20.00	66	20.98	62	22.85	69	23.60	66	25.71	75	26.88	71
10	21.98	49	25.38	40.92	21.26	58	22.92	53	23.99	68	25.78	62	27.26	70	29.18	64
11	23.29	46	28.00	35.18	22.88	55	28.12	42	25.67	64	31.14	49	29.28	63	32.74	52
12	24.80	44	29.53	33.42	24.60	52	31.94	35	27.24	59	34.71	41	30.53	57	33.43	45
13	25.81	43	31.88	30.89	26.25	48	33.63	32	28.75	55	36.47	37	30.88	56	34.35	44
14	26.64	41	30.92	30.91	27.02	47	35.79	30	29.79	52	36.70	35	31.13	55	34.86	42
15	26.87	40	30.40	31.83	27.80	46	35.83	30	30.41	50	36.70	35	31.61	55	36.02	41
16	27.18	40	29.72	33.51	28.19	45	34.74	31	30.58	50	36.91	35	31.49	55	35.79	42
17	27.23	39	28.30	35.98	28.79	44	32.51	35	30.92	49	36.38	37	31.98	53	35.77	42
18	26.36	41	26.93	39.22	28.56	44	30.66	38	31.13	49	34.59	40	32.47	51	34.93	43
19	25.13	45	25.49	43.12	26.72	49	27.58	45	29.95	51	32.03	45	31.28	54	33.04	48
20	23.97	50	24.47	47.38	24.71	56	26.26	50	28.54	56	29.99	50	29.48	60	31.81	52
21	23.13	52	23.70	49.82	23.54	60	25.47	53	27.21	60	28.82	54	28.37	65	31.13	55
22	22.69	52	23.16	50.31	23.48	60	25.08	54	26.38	63	28.17	56	27.98	67	31.01	56
23	22.68	50	22.88	48.54	23.41	60	25.01	54	26.35	63	27.70	57	27.49	69	30.58	56
24	22.12	51	22.23	49.66	23.89	58	24.79	54	25.58	65	27.23	58	26.93	71	29.69	59
1	20.97	55	21.48	53.33	23.78	56	24.34	54	25.14	67	26.59	62	26.63	72	28.63	64
2	20.24	58	20.98	55.58	22.87	60	23.55	57	24.97	69	26.13	65	26.19	74	28.16	68
3	19.88	58	20.45	56.64	21.69	65	22.50	61	24.73	67	25.65	64	25.82	76	27.92	69
4	19.57	59	19.88	57.21	20.54	71	23.89	66	24.68	66	26.23	63	25.73	76	27.58	71
5	19.26	58	19.53	57.22	20.03	73	21.76	67	24.53	63	25.18	60	24.97	80	26.89	74
6	18.89	52	19.27	51.39	19.72	75	21.31	68	24.28	62	24.95	59	24.66	83	26.41	77
7	18.13	52	18.83	50.33	19.18	77	21.43	69	23.96	62	24.64	59	24.64	85	26.18	79
8	19.58	49	19.70	47.98	20.13	79	20.83	73	23.64	62	24.36	60	24.68	86	25.96	82
9	19.85	50	20.88	46.35	19.55	75	21.73	71	24.28	61	25.09	58	25.65	82	26.53	78
10	21.09	50	24.09	41.52	21.93	71	24.03	64	25.49	58	26.95	54	27.20	78	28.98	71
11	22.34	46	27.50	35.28	23.52	65	28.74	50	26.98	57	30.88	46	28.50	73	33.34	58
12	23.57	45	29.74	31.72	25.23	57	31.58	41	28.62	55	34.16	41	29.79	65	36.77	45
13	24.68	44	31.68	29.53	26.73	52	32.27	37	30.27	53	36.39	38	31.29	57	38.11	40
14	25.52	42	32.03	29.23	27.73	49	34.91	34	31.10	51	37.63	36	31.70	54	38.30	37
15	25.72	41	32.33	28.45	28.59	47	33.58	35	31.64	50	38.10	35	31.86	53	37.81	38
16	26.10	40	31.11	30.15	28.90	48	33.01	36	31.56	50	36.93	37	32.32	51	37.56	38
17	26.33	39	29.04	33.04	29.07	47	32.67	38	31.90	49	36.60	38	32.83	50	37.41	39
18	25.43	41	26.64	37.32	29.23	47	31.34	41	32.10	48	35.43	40	32.88	51	35.56	43
19	24.23	44	25.08	41.42	27.46	52	28.69	47	30.70	52	33.40	44	31.30	57	32.88	51
20	23.12	48	24.02	44.86	25.23	59	27.19	51	28.54	62	31.03	53	29.68	62	31.74	54
21	22.37	49	23.20	46.04	24.54	61	26.48	53	27.70	66	30.11	56	28.90	64	31.52	55
22	21.90	50	22.67	46.79	25.33	57	26.24	53	26.76	69	29.77	57	28.23	67	30.42	59
23	21.60	51	22.36	47.98	24.93	58	25.98	54	26.18	71	29.15	59	27.63	71	29.85	61
24	21.58	50	22.34	47.92	24.18	61	25.68	54	25.66	73	28.78	60	27.46	72	29.53	64
1	21.18	51	21.79	49	23.61	63	24.78	58	25.64	73	27.96	63				
2	20.81	52	21.37	49	22.18	70	23.62	64	24.97	76	27.74	64				
3	20.19	53	20.76	51	21.53	74	23.36	65	25.09	73	27.08	66				
4	19.61	55	20.20	53	21.03	76	22.93	66	25.05	70	26.53	65				
5	19.26	58	19.73	55	20.71	76	22.68	66	24.67	71	25.56	68				
6	18.95	59	19.35	57	20.46	76	22.52	66	24.89	68	25.59	65				
7	18.57	60	19.10	57	20.86	72	21.88	68	24.65	66	25.42	63				
8	19.09	58	19.62	56	20.84	75	21.83	71	24.97	65	25.83	62				
9	20.03															



ภาพที่ 1 กราฟอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นคอนกรีตจากการวัดภาคสนาม วันที่ 5 ธันวาคม 2562 ถึงวันที่ 19 ธันวาคม 2562

การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ในงานวิจัย

1. ข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 นาที โดยแบ่งช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 5 นาที คือ 9.20 ถึง 9.25 น. 12.00 ถึง 12.05 น. และเวลา 15.30 ถึง 15.35 น.
2. นำมาหาเปอร์เซ็นต์ค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นคอนกรีต
3. ให้ข้อมูลสภาพอากาศจากไฟล์ .EPW เป็นสภาพอากาศของพื้นคอนกรีต ค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวได้จากการนำเปอร์เซ็นต์ค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นคอนกรีตมาคำนวณ

ตารางที่ 3.8

การเตรียมไฟล์สภาพอากาศของค่ารังสีอาทิตย์

ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ (W/m^2)		ร้อยละค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นคอนกรีต		
พื้นที่		พื้นที่สีเขียว	พื้นที่คอนกรีต	
ค่าเฉลี่ย	ช่วง 9.00 น.	26.7	398.6	6.7
	ช่วง 12.00 น.	39.7	661.5	6.0
	ช่วง 15.00 น.	30.8	336.1	9.1

ตารางที่ 4

ผลภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศของระบบปรับอากาศภายในห้องเรียนพื้นที่สีเขียวและ
พื้นคอนกรีต

Time	Cooling Coil Total Cooling Rate		Cooling Coil Sensible Cooling Rate		Cooling Coil Latent Cooling Rate	
	green area	concrete	green area	concrete	green area	concrete
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	56.33	70.38	41.45	56.50	14.88	13.88
10	38.26	54.26	25.45	37.33	12.81	16.94
11	42.03	58.90	27.31	39.72	14.72	19.18
12	46.26	68.79	29.55	45.92	16.71	22.87
13	50.05	74.62	31.70	49.86	18.35	24.76
14	52.14	77.53	32.99	52.60	19.15	24.93
15	51.99	77.36	33.06	53.93	18.93	23.43
16	53.27	77.29	34.18	55.47	19.09	21.82
17	54.53	77.25	35.33	56.84	19.20	20.41
18	13.78	18.90	9.41	15.67	4.36	3.24
19	11.49	12.23	8.40	11.64	3.08	0.59
20	9.62	7.67	7.40	7.67	2.22	0.00
21	7.85	7.73	6.29	7.73	1.56	0.00
22	6.26	6.42	5.17	6.42	1.09	0
23	4.85	5.11	4.10	5.11	0.75	0.00
24	0	2.63	0	2.63	0	0.00

ภาคผนวก ง

ผลการศึกษาแนวทางการออกแบบ

ตารางที่ 1

ผลของแนวทางการออกแบบเพิ่มจำนวนผนัง ฉนวนหลังคา และการลดพื้นที่ช่องเปิด 50 เปอร์เซ็นต์

Time	basecase		wall 1		dow 50 percent		roof1	
	green area	concrete	green area	concrete	green area	concrete	green area	concrete
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15.55	19.33	12.18	16.62	15.35	19.03	8.15	12.34
10	11.93	16.53	10.05	14.01	11.62	15.74	8.96	11.37
11	13.19	18.81	11.48	16.26	12.64	17.91	10.05	14.33
12	14.63	23.06	12.83	19.78	14.04	21.96	11.11	17.63
13	16.03	25.91	14.22	22.42	15.44	25.11	12.19	19.85
14	16.87	27.19	14.99	24.02	16.19	26.81	12.78	20.93
15	16.94	27.08	15.25	24.62	16.50	27.08	12.98	21.15
16	17.41	26.91	15.30	24.82	16.85	26.90	13.38	21.27
17	17.94	26.80	15.61	24.45	17.39	26.79	13.63	21.05
18	4.96	7.18	3.74	5.63	4.71	7.07	2.33	3.87
19	4.11	4.58	3.04	3.52	3.92	4.50	1.70	2.31
20	3.37	2.80	2.38	2.21	3.23	2.75	1.23	1.58
21	2.73	2.80	1.81	2.11	2.62	2.75	0	1.10
22	2.17	2.31	0.95	1.65	2.08	2.27	0	0.28
23	1.68	1.83	0	1.31	1.61	1.81	0	0
24	0	0.94	0	0.36	0	0.94	0	0
Total	159.51	234.07	133.82	203.80	154.19	229.40	108.49	169.06
Percent			16.10	12.93	3.33	2.00	31.98	27.77

ตารางที่ 2

ผลของแนวทางการออกแบบเพิ่มจำนวนผนัง ฉนวนหลังคา และการลดพื้นที่ช่องเปิด 50 เปอร์เซ็นต์

(วันที่ 5 ธันวาคม 2562 ถึง 19 ธันวาคม 2562)

	basecase		Wall 1		window 5 percent		roof 1	
	green area	concrete	green area	concrete	green area	concrete	green area	concrete
5/12/2562	121.88	183.37	104.81	154.18	119.62	179.34	70.38	109.57
6/12/2562	101.40	163.94	87.81	139.45	99.58	160.76	53.72	99.41
7/12/2562	85.73	155.56	72.99	131.41	84.10	151.98	43.13	96.32
8/12/2562	89.25	145.57	74.67	123.29	87.42	142.26	49.23	93.69
9/12/2562	83.30	163.54	69.77	135.80	80.72	158.96	45.52	104.06
10/12/2562	93.89	170.11	81.20	143.23	90.99	165.16	53.46	108.79
11/12/2562	112.75	180.62	97.20	152.58	111.23	176.30	64.71	115.52
12/12/2562	127.13	203.19	105.07	168.68	123.70	197.51	78.35	132.06
13/12/2562	132.89	206.54	114.24	171.89	132.33	201.60	83.07	134.99
14/12/2562	145.43	216.11	123.60	185.66	142.45	211.67	90.96	147.66
15/12/2562	162.45	226.00	136.03	196.12	158.39	222.13	107.10	157.77
16/12/2562	164.84	231.32	141.26	198.35	160.65	226.90	110.29	161.75
17/12/2562	165.85	234.51	140.57	204.10	160.02	229.56	113.57	169.56
18/12/2562	158.35	222.68	132.03	188.84	153.15	218.95	106.08	156.21
19/12/2562	159.51	234.07	133.82	203.80	154.19	229.40	108.49	169.06

ตารางที่ 3

ผลของแนวทางการออกแบบเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดของห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลสภาพอากาศพื้นที่สีเขียว

Time	basecase		เพิ่มพื้นที่กระจก 50 เปอร์เซ็นต์	เพิ่มพื้นที่กระจก 75 เปอร์เซ็นต์	เพิ่มพื้นที่กระจก 3 เท่า	เพิ่มพื้นที่กระจก 4 เท่า
	green area	concrete	Case_green_ window 50 percent	Case_green_ window 75 percent	Case_green_ window 06- X3	Case_green_ window 07-X4
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	15.55	19.33	17.06	17.19	17.51	19.96
10	11.93	16.53	12.70	12.99	14.19	15.86
11	13.19	18.81	14.00	14.36	15.65	16.81
12	14.63	23.06	15.46	15.81	17.06	18.30
13	16.03	25.91	16.93	17.32	18.71	19.88
14	16.87	27.19	17.75	18.11	19.15	20.40
15	16.94	27.08	17.76	18.13	19.37	20.61
16	17.41	26.91	18.29	18.66	19.89	21.07
17	17.94	26.80	18.78	19.14	20.27	21.34
18	4.96	7.18	5.35	5.51	5.34	5.78
19	4.11	4.58	4.41	4.54	4.44	3.94
20	3.37	2.80	3.61	3.71	3.56	3.89
21	2.73	2.80	2.92	3.00	2.85	3.09
22	2.17	2.31	2.33	2.39	2.25	2.44
23	1.68	1.83	1.80	1.86	1.73	1.88
24	0	0.94	0.50	0.52	0	0
Total	159.51	234.07	169.63	173.24	181.99	195.23

ตารางที่ 4

ผลของแนวทางการออกแบบห้องเรียนที่ได้รับอิทธิพลสภาพอากาศพื้นที่คอนกรีต

Time	basecase		จำนวนผนัง 2 นิ้ว	จำนวนหลังคา 2 นิ้ว	จำนวนผนัง 3 นิ้ว	จำนวนหลังคา 3 นิ้ว	จำนวนผนัง และหลังคา 1 นิ้ว	พื้นที่กระจกลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวนหลังคา 3 นิ้ว
	green area	concrete	Wall 2" concrete	Roof 2" concrete	Wall 3" concrete	Roof 3" concrete	Roof_Wall 1" concrete	Window50per+roof3
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15.55	19.33	15.96	11.81	16.02	11.66	7.56	11.43
10	11.93	16.53	13.81	11.00	13.90	10.82	8.81	10.36
11	13.19	18.81	16.07	14.11	16.05	14.04	12.37	13.39
12	14.63	23.06	19.58	17.26	19.53	17.12	15.24	16.76
13	16.03	25.91	22.22	19.41	22.17	19.22	12.48	18.65
14	16.87	27.19	23.82	20.42	23.76	20.17	12.63	19.63
15	16.94	27.08	24.43	20.58	24.36	20.31	13.42	19.88
16	17.41	26.91	24.63	20.65	24.56	20.38	12.68	20.05
17	17.94	26.80	24.26	20.41	24.18	20.14	12.46	19.96
18	4.96	7.18	5.55	3.59	5.51	3.50	1.44	3.42
19	4.11	4.58	3.47	2.75	3.45	2.65	0.30	2.61
20	3.37	2.80	2.63	1.96	2.61	1.87	0	1.85
21	2.73	2.80	2.02	1.15	2.00	1.09	0	1.07
22	2.17	2.31	1.57	0.29	1.55	0.27	0	0.26
23	1.68	1.83	1.23	0	1.21	0	0	0
24	0	0.94	0	0	0	0	0	0
Total	159.51	234.07	201.25	165.37	200.84	163.24	109.38	159.31

ภาคผนวก จ
ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 1

ข้อมูลระบบปรับอากาศของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ห้อง สท. 303 ถึงห้อง สท. 307

START UP REPORT AIR CONDITIONING SYSTEM						
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต						
ตำแหน่งที่ติดตั้ง	กระแสไฟฟ้า (Amp.)			แรงดันไฟฟ้า	LOW	HI
	L1	L2	L3	V / Ph / Hz	PSIG	PSIG
สตูดิโอสถาปัตย์ ปี 2 303	7.4	9.5	8.6	380/3/50	75	270
สตูดิโอสถาปัตย์ ปี 2 306	7.4	9.5	8.6	380/3/50	75	270
สตูดิโอสถาปัตย์ ปี 2 307	7.4	9.5	8.6	380/3/50	70	270
สตูดิโอสถาปัตย์ภายในปี 2 304	6.5	7.2	7.1	380/3/50	75	265
สตูดิโอสถาปัตย์ภายในปี 2 304	6.5	6.8	7.4	380/3/50	70	260
สตูดิโอ ปี 1 305	7.2	8.2	8.7	380/3/50	70	250
สตูดิโอ ปี 1 307	7.8	9.5	9.3	380/3/50	75	260

Physical Data

Description	Type	Fancoil Unit - Floor / Ceiling Type (R-407C)											
Model	Outdoor	38RF											
	Indoor	42VE											
Cooling Capacity *	W.	018SC	025SC	030SC	033SC	033SCT	036BSC	036SC	040BSC	040SC	048SC	060SC	
	Btu/hr.	006	008	010	0101	0101	012	012	014	014	016DX	020DX	
Power Supply	V./Ph./Hz	220/1/50			380/3/50			220/1/50		380/3/50			
Power Input	W.	1,734	2,291	2,724	3,003	3,003	3,282	3,282	3,653	3,653	4,385	5,564	
COP.	W./W.	3.23											
EER.	(Btu/hr./W.)	11.02											
Current (RLA) **	Amp.	7.64	10.96	13.04	14.37	4.80	15.70	5.25	17.48	5.84	8.70	9.50	
Indoor Air Flow Rate	CFM	800	800	1,000	1,000	1,000	1,200	1,200	1,400	1,400	1,600	2,000	
Dimension (Outdoor unit)	Height	635		740		890							
	Width	905				1,095							
	Depth	330			435				500				
Dimension (Indoor unit)	Height	620											
	Width	1,278	1,678			245			1,770		275		2,170
	Depth	245											
Net Weight	Outdoor	53	56	75	85	85	98	98	112	112	118	137	
	Indoor	54	58	63	63	63	65	65	69	69	77	81	
Type of Compressor		Scroll compressor											
Refrigerant Type		R-407C											
Connecting Pipe	Liquid	3/8											
	Suction	5/8			3/4				7/8				
	Drain	3/4											

RATING CONDITION : Outdoor Ambient Temperature 95 F, Saturated Suction Temperature 45 F

RLA - Rated Load Amps.

LRA - Lock Rotor Amps.

ภาพที่ 1 ข้อมูลของเครื่องระบบปรับอากาศ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนาพร อนันต์
วันเดือนปีเกิด	23 เมษายน พ.ศ. 2539
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2560: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประสบการณ์ทำงาน	2562 นักศึกษาฝึกงาน ศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน (The Research and Innovation for Sustainability Center - RISC) บริษัท แมกโนเลีย ควอลิตี้ ดีเวล็อป เมนต์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด