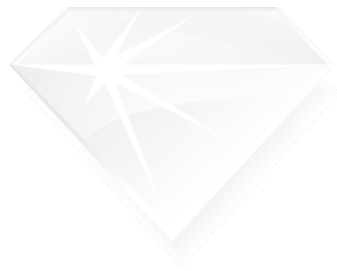


รูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสักราดเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัย

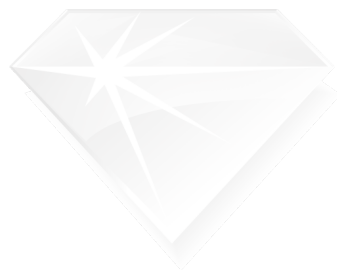
PATTERN OF FELT PLANT PANELS VERTICAL GARDEN FOR HEAT RESISTANCE
IN RESIDENTIAL BUILDING



**BANGKOK
UNIVERSITY**
THE CREATIVE UNIVERSITY

รูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาดเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัย

PATTERN OF FELT PLANT PANELS VERTICAL GARDEN FOR HEAT RESISTANCE
IN RESIDENTIAL BUILDING



BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

วดีภรณ์ อิมอาเทศ

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2566

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน

เรื่อง รูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาดเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัย

ชื่อผู้วิจัย วดีภรณ์ อิ่มอาเทศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย



ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก)

ดร.ภิรมย์ แจ่มใส

กรรมการสอบ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

ดร.ภฤศมน คำมะสอน

กรรมการสอบ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

รองศาสตราจารย์มาณพ สิริปัญญากิจ

กรรมการสอบ
(อาจารย์ประจำหลักสูตร)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์

วดีภรณ์ อิ่มอาเทศ. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน),
กรกฎาคม 2567, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

รูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสักหลาดเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัย (65 หน้า)

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.ภณณ คำมะสอน

บทคัดย่อ

ปัญหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันมีผลกระทบต่ออาคารที่พักอาศัยและคุณภาพชีวิตของผู้ใช้ สวนแนวตั้ง (Vertical Garden) เป็นการใช้พืชเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัยช่วยเกิดสภาวะน่าสบายและเป็นสถาปัตยกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันมีรูปแบบการจัดสวนแนวตั้งที่หลากหลาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแบบสักหลาด (Felt panel green wall) เพื่อลดความร้อนภายในอาคารที่พักอาศัย โดยมุ่งเน้นไปที่ชนิดและปริมาณของต้นไม้เป็นเปอร์เซ็นต์การติดตั้งเพื่อประโยชน์ทางด้านประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สมเหตุสมผลที่สุด พืชที่ใช้ในการทดลองคือ พลูด่าง (Pothos aureus) ซึ่งแบ่งเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้ 1) การติดตั้งแผงสักหลาดโดยมีพลูด่างครอบคลุมทั้งแผง 100% 2) การติดตั้งแผงสักหลาดโดยมีพลูด่าง 70% ของแผง 3) การติดตั้งแผงสักหลาดโดยมีพลูด่าง 50% ของแผง ผลจากการทดลองนี้พบว่า การติดตั้งแผงสักหลาดโดยมีพลูด่าง 100% ลดอุณหภูมิได้ 3.5 องศาเซลเซียส และการติดตั้งที่มีแผงสักหลาดโดยมีพลูด่าง 70% ลดอุณหภูมิได้ 2.0 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับแผงสักหลาดโดยมีพลูด่าง 50% จากการทดลองแผงต้นไม้สักหลาดมีคุณสมบัติในการลดอุณหภูมิภายนอกที่เข้าสู่อาคารที่พักอาศัยรวมถึงเป็นแนวทางที่มีประโยชน์ในการพัฒนาและใช้งานในอนาคต

คำสำคัญ: สวนแนวตั้ง, รูปแบบการจัดสวนแนวตั้ง, การลดอุณหภูมิ, อาคารที่พักอาศัย,
แผงต้นไม้สักหลาด

Oimarted, W. M.Arch. (Interior Architecture), July 2024, Graduate School,
Bangkok University.

Pattern of Felt Plant Panels Vertical Garden for Heat Resistance in Residential
Building (65 pp.)

Thesis Advisor: Rudsamon Kammasorn, Ph.D

ABSTRACT

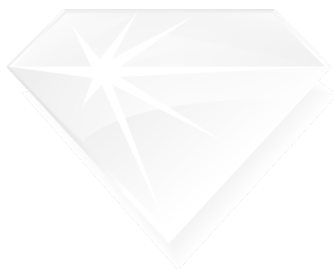
The continuous rise in temperatures today significantly impacts both residential buildings and the quality of life of their inhabitants. Vertical gardens serve as a means to reduce indoor temperatures in residential buildings, promoting comfort and environmentally friendly architecture. There are various patterns of vertical gardens available today. This research aims to study an unconventional pattern called the "Felt panel green wall" to reduce heat within residential buildings. The focus is on the type and quantity of plants installed as a percentage for optimal efficiency and cost-effectiveness. The experimental plant used is the Golden Pothos (*Pothos aureus*), divided into three patterns: 1) Installation of felt panels with 100% coverage of Golden Pothos. 2) Installation of felt panels with 70% coverage of Golden Pothos. 3) Installation of felt panels with 50% coverage of Golden Pothos. results from this experiment indicate that installing felt panels with 100% coverage of Golden Pothos reduces the temperature by 3.5 degrees Celsius, while installation with 70% coverage reduces the temperature by 2.0 degrees Celsius compared to panels with 50% coverage. From the experiment, it is evident that panels with Golden Pothos have the property of reducing external temperatures entering residential buildings, providing a beneficial guideline for future development and utilization.

*Keywords: Vertical Garden, Pattern of Vertical Garden, Temperature Reduction,
Residential, Felt Panel Green Wall*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดเพื่อการเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้ การสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยเฉพาะ ดร.ภฤศมน คำมะสอน และ รศ.มาณพ ศิริภิญโญกิจ ที่ให้คำแนะนำ และสนับสนุนตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย และผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณลัญฉกร บุญถิ้อ ที่ช่วยเหลือทางด้านสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

วดีภรณ์ อิ่มอาเทศ



**BANGKOK
UNIVERSITY**
THE CREATIVE UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการศึกษา	1
1.2 ขอบเขตและข้อจำกัดในงานวิจัย	2
1.3 คำถามงานวิจัย	2
1.4 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
1.5 สมมุติฐานการทดลอง	2
1.6 วิธีดำเนินการศึกษา	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 ทฤษฎีความร้อน	5
2.2 การกันความร้อน (Passive design)	22
2.3 กรณีศึกษา (Case study)	31
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	35
3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย	35
3.2 คัดเลือกพื้นที่ไม่ที่ใช้ในการทดลอง	36
3.3 ขั้นตอนกำหนดรูปแบบการทดลอง	41
3.4 ขั้นตอนการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	52
4.1 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการวิจัย	59
5.2 ข้อเสนอแนะจากผลวิจัย	60

สารบัญ (ต่อ)

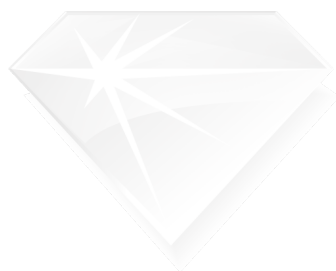
บรรณานุกรม

หน้า

61

ประวัติเจ้าของผลงาน

65



**BANGKOK
UNIVERSITY**

THE CREATIVE UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1: ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติย้อนหลังอุณหภูมิสูงสุดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2562 – พ.ศ. 2566	11
ตารางที่ 2: ตารางแสดงระดับค่า PMV ที่ใช้แทนความรู้สึกต่างๆ	19
ตารางที่ 3: ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ	23
ตารางที่ 4: ตารางพันธุ์พืชที่ความเหมาะสมสำหรับการทำสวนแนวตั้งประเภท Interior wall	37
ตารางที่ 5: ตัวแปรควบคุมในการทดลอง	48
ตารางที่ 6: การแบ่งจำแนกสถานการณ์และชนิดของวัสดุในการทดสอบ	48
ตารางที่ 7: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 1 ในเวลา 13.15 นาฬิกา	53
ตารางที่ 8: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 2 ในเวลา 11.15 นาฬิกา	54
ตารางที่ 9: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 3 ในเวลา 11.15 นาฬิกา	55
ตารางที่ 10: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 4 ในเวลา 13.15 นาฬิกา	56
ตารางที่ 11: ตารางราคาแผงสีกหลาดตามท้องตลาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้	58
ตารางที่ 12: ตารางราคาต้นทุนวัสดุต่างตามท้องตลาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการแบ่งต้นทุนไม้เป็น %	58

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1: แสดงการเปรียบเทียบความเข้มรังสีรวมของประเทศไทยกับของประเทศอื่น	6
ภาพที่ 2: แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	7
ภาพที่ 3: แสดงแผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ	8
ภาพที่ 4: แสดงแผนที่อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเดือน เมษายน พ.ศ. 2559	10
ภาพที่ 5: แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ	13
ภาพที่ 6: แสดงการถ่ายเทความร้อนในห้องใต้หลังคาที่เกิดจากการแผ่รังสี การนำความร้อน และการพาความร้อน	15
ภาพที่ 7: แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ	16
ภาพที่ 8: แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารแต่ละทิศ	18
ภาพที่ 9: ภาพแสดงสวนแนวตั้งโดยใช้แผ่น Felt	28
ภาพที่ 10: ภาพตัวอย่างบล็อกดินเผาสำหรับปลูกต้นไม้ในแนวตั้ง	28
ภาพที่ 11: ภาพตัวอย่างสวนแนวตั้งแบบใช้กระถาง	29
ภาพที่ 12: ภาพตัวอย่างสวนแนวตั้งแบบผนังไม้เลื้อย	30
ภาพที่ 13: EmQuartier – Bangkok, Thailand	31
ภาพที่ 14: สวนแนวตั้ง Fieldter Cafe อำเภอเมืองสระแก้ว	32
ภาพที่ 15: สวนแนวตั้ง ตึกเอ็มไพร์ทาวเวอร์ (Empire Tower)	32
ภาพที่ 16: One Central Park, Sydney, Australia	33
ภาพที่ 17: Singapore Changi Airport, Singapore	34
ภาพที่ 18: ตารางการคัดเลือกพืชที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	39
ภาพที่ 19: ต้นพุดต่าง	40
ภาพที่ 20: แสดงแปลนพื้นที่ในการศึกษาในสภาวะเดิม	41
ภาพที่ 21: ภาพแสดงพื้นที่ภายนอกในการศึกษาในสภาวะเดิม	42
ภาพที่ 22: ภาพแสดงพื้นที่ภายในในการศึกษาในสภาวะเดิม	42
ภาพที่ 23: ภาพแสดงแปลนพื้นที่ในการศึกษา (กั้นห้องทดลอง)	43
ภาพที่ 24: ภาพแสดงทิศทางการวางห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสักราดอย่างเดียว	44
ภาพที่ 25: ภาพแสดงทิศทางการวางห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสักราดที่มีต้นไม้	44
ภาพที่ 26: ภาพแสดงรูปตัดห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสักราดและแสดงตำแหน่งระยะการวางเครื่องวัดอุณหภูมิ	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 27: ภาพแสดงแผงปลูกต้นไม้สักหลาด (Felt panel)	46
ภาพที่ 28: อุปกรณ์ Netatmo Urban Weather Station	47
ภาพที่ 29: ภาพแสดงการกำหนดตัวแปรในการทดลอง	48
ภาพที่ 30: ภาพแสดงแปลนพื้นที่ใน Scenario 1 ติดตั้งแผงสักหลาดเพียงอย่างเดียว	49
ภาพที่ 31: ภาพแสดง Scenario 1 ติดตั้งแผงสักหลาดเพียงอย่างเดียว	49
ภาพที่ 32: ภาพแสดงแปลนพื้นที่ใน Scenario 2 ติดตั้งแผงสักหลาดและต้นไม้ เต็มแผง 100%	50
ภาพที่ 33: ภาพแสดง Scenario 2 ติดตั้งแผงสักหลาดและต้นไม้เต็มแผง 100%	50
ภาพที่ 34: ภาพแสดง Scenario 3 ติดตั้งแผงสักหลาดและต้นไม้เต็มแผง 70%	51
ภาพที่ 35: ภาพแสดง Scenario 4 ติดตั้งแผงสักหลาดและต้นไม้เต็มแผง 50%	51
ภาพที่ 36: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 1	53
ภาพที่ 37: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 2	54
ภาพที่ 38: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 3	55
ภาพที่ 39: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 4	56
ภาพที่ 40: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอกทั้ง 4 Scenario	57
ภาพที่ 41: กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ภายในอาคารและภายนอกอาคารทั้ง 4 Scenario	57

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการศึกษา

ข้อมูลจากองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization) มีรายงานว่า อุณหภูมิโลกจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในปี 2023 และคาดว่าปี 2024 จะเป็นปีที่ร้อนที่สุดอีกปีหนึ่งและยังมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (World Meteorological Organization, 2023) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นให้มีการคิดนวัตกรรมในการลดอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่น่าสบาย หนึ่งในวิธีการคือ การใช้เครื่องปรับอากาศ แต่การใช้เครื่องปรับอากาศมีผลกระทบต่อสภาพอากาศภายนอกซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาความร้อนขึ้นอีกด้วย

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับรังสีอาทิตย์อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี ความร้อนจากรังสีอาทิตย์เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในอาคาร โดยเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบลงมายังพื้นผิวรอบ ๆ อาคาร จะเกิดการสะท้อนความร้อนไปยังผนังของอาคาร และเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคารเพิ่มขึ้น เมื่อในปี พ.ศ. 2562 เกิดวิกฤตโควิด-19 ซึ่งมีนโยบายหลักในเรื่องของการทำงานที่บ้าน (Work from home) ทำให้ความจำเป็นในการทำงานที่บ้านเพิ่มขึ้น ดังนั้นการจัดการสภาพแวดล้อมในที่อยู่อาศัยเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากการลดความร้อนเข้าสู่อาคารที่พักอาศัยแล้ว ยังมีการลดการใช้พลังงานและสร้างสภาพแวดล้อมที่น่าสบายให้กับผู้อยู่อาศัยด้วย

ในปัจจุบันมีการใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารที่พักอาศัยแม้ว่าฉนวนกันความร้อนจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้ดี แต่วัสดุที่ใช้นั้นมักมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ สวนแนวตั้งเป็นสถาปัตยกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความนิยมในสมัยนี้ นอกจากนี้การสร้างสวนแนวตั้งยังช่วยลดการสะท้อนของรังสีแสงอาทิตย์และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การประหยัดพลังงานและยังช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับพื้นที่จำกัดอีกด้วย (Jain, 2016) เนื่องจากการทำสวนแนวตั้งนั้นมีรูปแบบที่หลากหลายผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแบบสักระยะเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัยและเป็นแนวทางในการออกแบบการติดตั้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ศึกษาต่อในอนาคตรวมถึงการนำสวนแนวตั้งไปใช้เพื่อช่วยเสริมสร้างให้เกิดสภาวะที่น่าสบายภายในอาคารที่พักอาศัย

1.2 ขอบเขตและข้อจำกัดในงานวิจัย

1.2.2 ศึกษาทำการรวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการป้องกันความร้อนเข้าสู่ที่พักอาศัยโดยใช้พืชพรรณ

1.2.2 ศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาด (Felt plant panels vertical garden) ซึ่งเน้นไปที่รูปแบบการติดตั้งและประมาณของต้นไม้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยพืชที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ พลูด่าง (Pothos aureus)

1.2.3 ศึกษาและทดสอบต้นไม้ที่เหมาะสมในการนำมาใช้จัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาดในการลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัย

1.2.4 ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของสวนแนวตั้ง 3 รูปแบบ คือ การติดตั้งแผงสีกหลาดโดยมีพลูด่างครอบคลุมทั้งแผง 100% การติดตั้งแผงสีกหลาดโดยมีพลูด่าง 70% ของแผง การติดตั้งแผงสีกหลาดโดยมีพลูด่าง 50% ของแผง

1.3 คำถามงานวิจัย

1.3.1 รูปแบบการจัดสวนแนวตั้งที่ลดความร้อนได้ดีมีลักษณะอย่างไร

1.3.2 การจัดสวนแนวตั้งแบบสีกหลาดมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัยได้มากน้อยเพียงใด

1.4 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.4.1 เพื่อศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาด (Felt Panel Vertical Garden) เพื่อลดความร้อนภายในอาคารที่พักอาศัย

1.4.2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความแตกต่างในการลดอุณหภูมิอากาศของสวนแนวตั้งแผงสีกหลาด (Felt Panel Vertical Garden) ในแต่ละรูปแบบและปริมาณของต้นไม้

1.4.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบเพื่อลดปัญหาความร้อนภายในที่พักอาศัยด้วยสวนแนวตั้งแผงสีกหลาด (Felt Panel Vertical Garden)

1.5 สมมุติฐานการทดลอง

สวนแนวตั้ง (Vertical garden) สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัยได้ดี ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ใช้ การจัดวาง วัสดุที่ใช้ทำสวนแนวตั้ง ทิศทางตำแหน่งของสวนแนวตั้ง รวมถึงความหนาแน่นของพืช ระบบน้ำและสภาพอากาศ

1.5.1 สวนแนวตั้ง (Vertical garden) ชนิดแผงสีกหลาด (Felt panel) สามารถเป็นทางเลือกในการออกแบบเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัย

1.5.2 รูปแบบการจัดสวนแนวตั้ง (Pattern of Vertical garden) และการแบ่งต้นไม้เป็นเปอร์เซ็นต์มีผลต่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารที่อยู่อาศัย

1.6 วิธีดำเนินการศึกษา

การดำเนินการศึกษานี้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลโดยใช้เอกสารเพื่อการค้นคว้า (Documentary Research) ได้แก่ บทความ หนังสือ งานวิจัย วิทยานิพนธ์ มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเว็บไซต์ของหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ ภายในประเทศและต่างประเทศ และงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ได้แก่ การวัดค่าอุณหภูมิก่อนและหลังติดตั้งสวนแนวตั้งและวัสดุที่ใช้เปรียบเทียบ (Comparative study) รวมถึง การจัดเรียงต้นไม้และสรุปผลการทดลอง ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์เพื่อช่วยให้เข้าใจถึงปัญหาต่าง ๆ และสามารถศึกษาความหลากหลายรูปแบบของการจัดสวนแนวตั้งด้วยสักราดเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัยที่เหมาะสมและเป็นส่วนตัวเลือกที่ช่วยเสริมสร้างให้เกิดสภาวะน่าสบาย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ศึกษาและรู้ถึงผลเสียจากความร้อนที่สามารถส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารที่พักอาศัยตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารเป็นสุข (The Sook Building Standard) เพื่อให้ผู้ใช้อาคารมีปฏิสัมพันธ์เชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ

1.7.2 ได้ศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแบบสักราด ที่มุ่งเน้นไปที่ชนิดและปริมาณของต้นไม้เป็นเปอร์เซ็นต์การติดตั้งเพื่อประโยชน์ทางด้านประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สมเหตุสมผลที่สุด

1.7.3 เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจในการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยสวนแนวตั้งรวมถึงแนวทางการออกแบบ (Design guidelines) ของการติดตั้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ศึกษาต่อไปในอนาคต

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 สวนแนวตั้งแผงสักราด (Felt Panel Vertical Garden) หมายถึง การจัดสวนในลักษณะแนวตั้งโดยใช้แผงที่ทำจากสักราด (felt) เป็นฐานหรือโครงสร้างสำหรับปลูกต้นไม้ แผงสักราดนี้มักจะมีช่องหรือกระเปาะสำหรับใส่ดินและปลูกต้นไม้ ซึ่งทำให้การปลูกต้นไม้ในแนวตั้งเป็นเรื่องง่ายและสะดวก

1.8.2 สวนแนวตั้ง (Vertical Garden) หมายถึง การจัดสวนโดยการปลูกพืชในลักษณะแนวตั้งบนพื้นผิวต่าง ๆ เช่น กำแพง อาคาร หรือโครงสร้างแนวตั้งอื่น ๆ แทนการปลูกในแนวราบแบบทั่วไป การจัดสวนแนวตั้งช่วยประหยัดพื้นที่และสามารถสร้างบรรยากาศสีเขียวในพื้นที่ที่มีพื้นที่จำกัด เช่น ในเมืองใหญ่ หรือภายในอาคาร

1.8.3 ฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation) วัสดุหรือระบบที่ใช้ในการลดการสูญเสียความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งมักใช้ในการสร้างเพื่อปรับปรุงความสบายของอาคารหรือโครงสร้างต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

1.8.4 สภาวะน่าสบายทางความร้อน (Thermal Comfort) หมายถึง สภาวะที่บุคคลรู้สึกพึงพอใจและไม่รู้สึกหนาวหรือร้อนเกินไปในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการรวมกันของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการรับรู้ทางความร้อนของร่างกาย

1.8.5 ค่า PMV (Predicted Mean Vote) เป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินความน่าสบายเชิงอุณหภูมิของผู้คนในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยค่า PMV ถูกพัฒนาขึ้นโดย P.O. Fanger และใช้ในมาตรฐานสากล

1.8.6 ค่า PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินความสบายในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อน โดยปกติจะใช้งานที่มีการออกแบบหรือวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงเงื่อนไขที่ทำให้ผู้ใช้รู้สึกไม่สะดวกสบาย ค่า PPD จะบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้ที่รู้สึกไม่พอใจหรือไม่สะดวกในเงื่อนไขความร้อนที่กำหนดไว้

1.8.7 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศกับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรองรับได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์บ่งบอกถึงระดับความอึดตัวของไอน้ำในอากาศ

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีความร้อน

ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นหนึ่งสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในอาคาร รังสีดวงอาทิตย์ปล่อยพลังงานในอัตรา 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ต่อวินาที (World Energy Council, 2013) เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบมายังพื้นผิวรอบ ๆ อาคารจะเกิดการสะท้อนความร้อนไปยังผนังอาคาร และเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารภายในอาคารทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น (Arminda & Kamaruddin, 2021)

นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนของประชากรอย่างรวดเร็วและการกักเก็บความร้อนในโครงสร้างอาคารในเมืองรวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การขนส่ง การทำความร้อน การปรับอากาศของอาคาร การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ในช่วงกลางวัน ตึกสูงและพื้นคอนกรีตในเมืองจะดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ เมื่อถึงเวลากลางคืนและอุณหภูมิลดลง วัสดุเหล่านี้จะปล่อยความร้อนออกมา นอกจากนี้อาคารสูงยังขัดขวางการไหลเวียนของลม ทำให้การถ่ายเทความร้อนในเมืองเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้เมืองมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Effect) (Parker, 2010) หรือที่เรียกว่าเป็นปรากฏการณ์การสะสมความร้อน (Yang, Qian, Song, & Zheng, 2016) จากผลกระทบดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจการปรับปรุงคุณภาพสภาวะน่าสบายในอาคาร

2.1.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

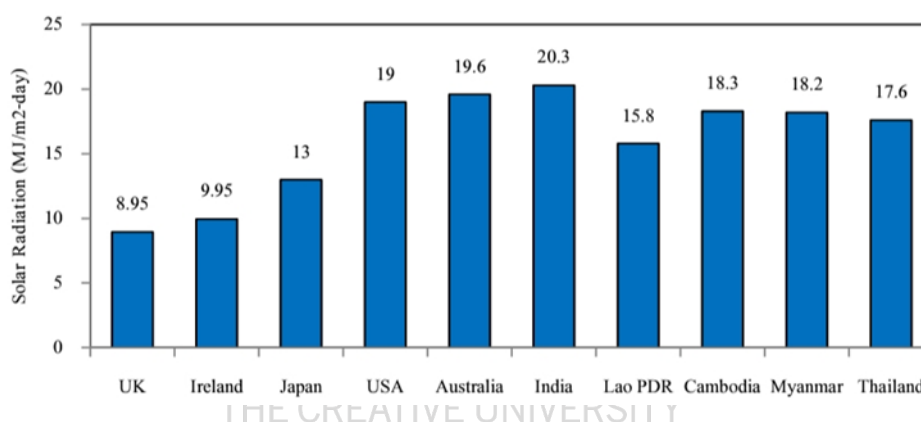
ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม พบว่าการกระจายความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดในช่วงเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม โดยมีค่าความเข้มอยู่ระหว่าง 20 ถึง $24 \text{ MJ/m}^2\text{-วัน}$ และค่าเฉลี่ยรายวันตลอดทั้งปีพบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี รวมถึงบางส่วนของภาคกลาง เช่น จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 19 ถึง $20 \text{ MJ/m}^2\text{-วัน}$

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ทำการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-วัน}$ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับหลายประเทศ ดังที่แสดงในรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ย

ต่อปี พบว่า บริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18-20 MJ/m²-วัน จะอยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ซึ่งประกอบด้วยจังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง ดังที่แสดงในภาพที่ 1

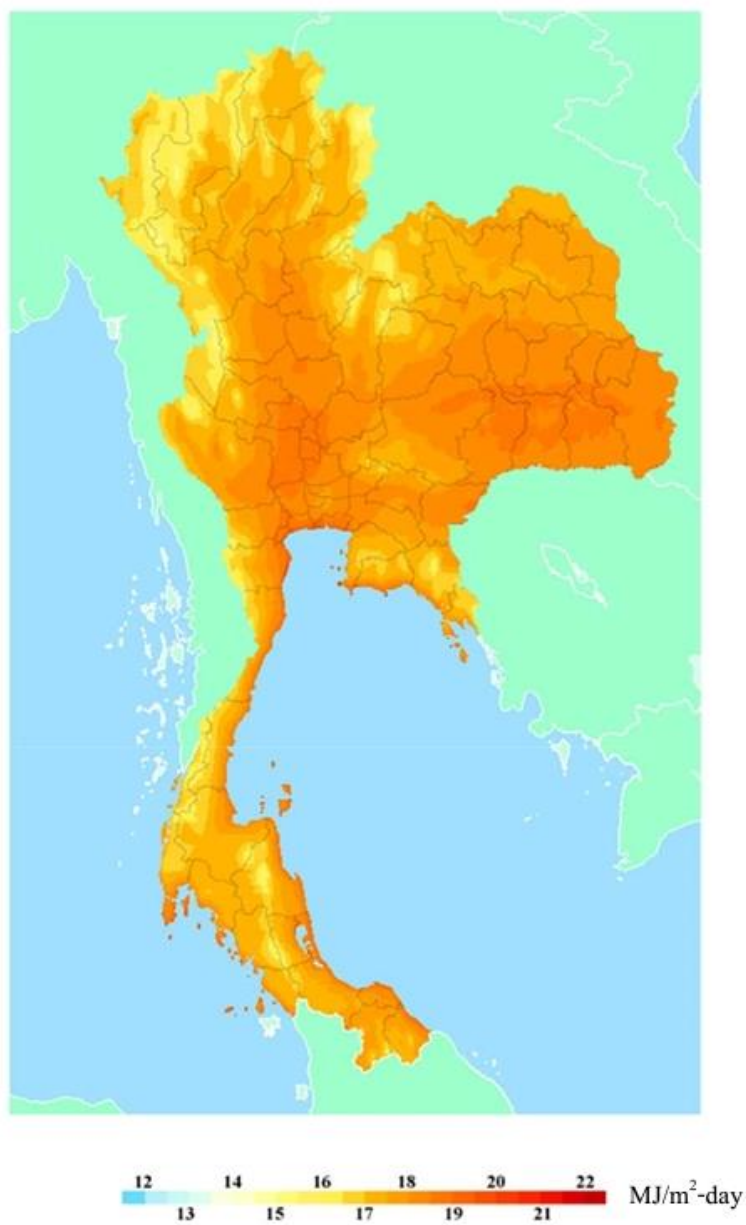
ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะกระจายลดหลั่นกันไปทางทิศเหนือ ตะวันออก และตะวันตกของประเทศตามแนวเทือกเขาตะนาวศรี โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ในภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตก และภาคใต้ แถบติดชายแดนประเทศพม่า ซึ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในบริเวณนี้จะแปรผันอยู่ในช่วง 16-21 MJ/m²-วัน

ภาพที่ 1: แสดงการเปรียบเทียบความเข้มรังสีรวมของประเทศไทยกับของประเทศอื่น



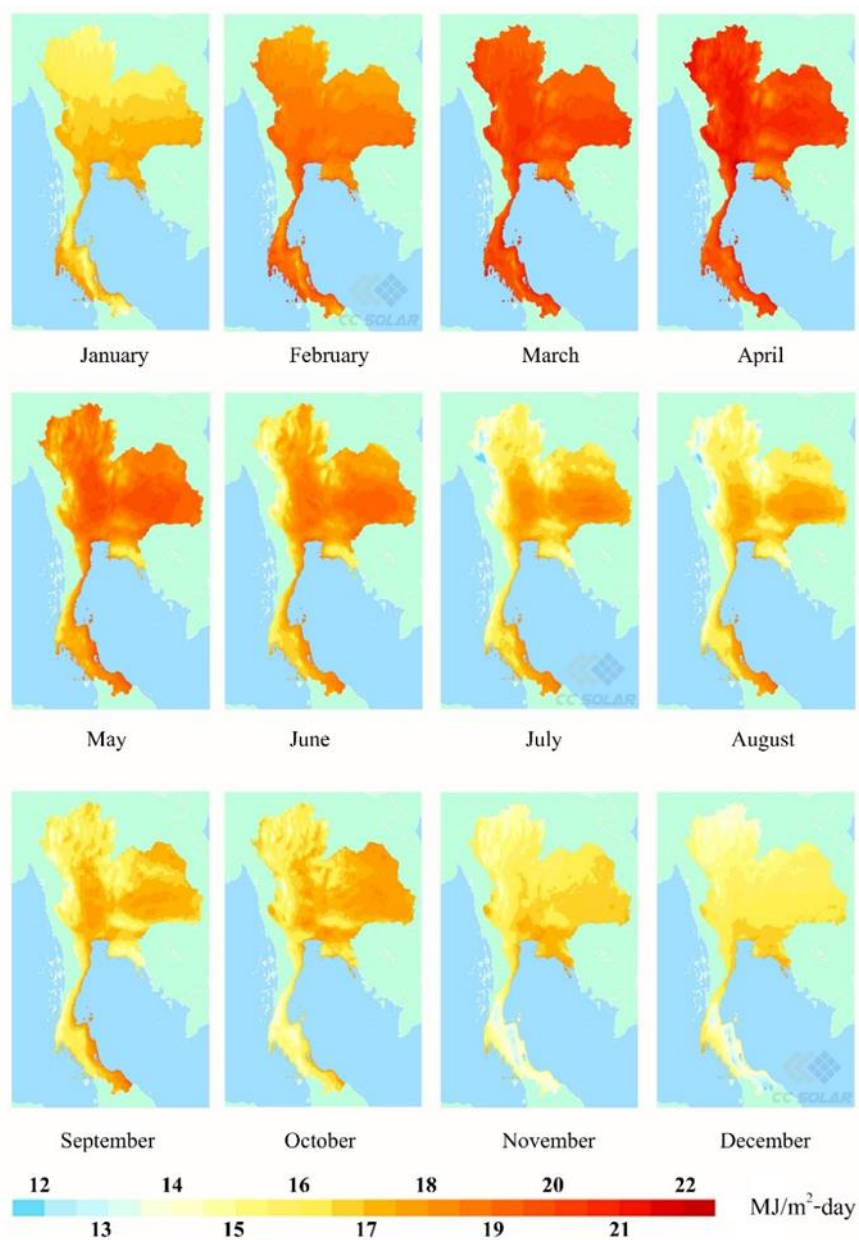
ที่มา: เสริม จันทรฉาย. (2561). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. สืบค้นจาก <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11494.pdf>

ภาพที่ 2: แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย



ที่มา: เสริม จันทรฉาย. (2561). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. สืบค้นจาก <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11494.pdf>

ภาพที่ 3: แสดงแผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ



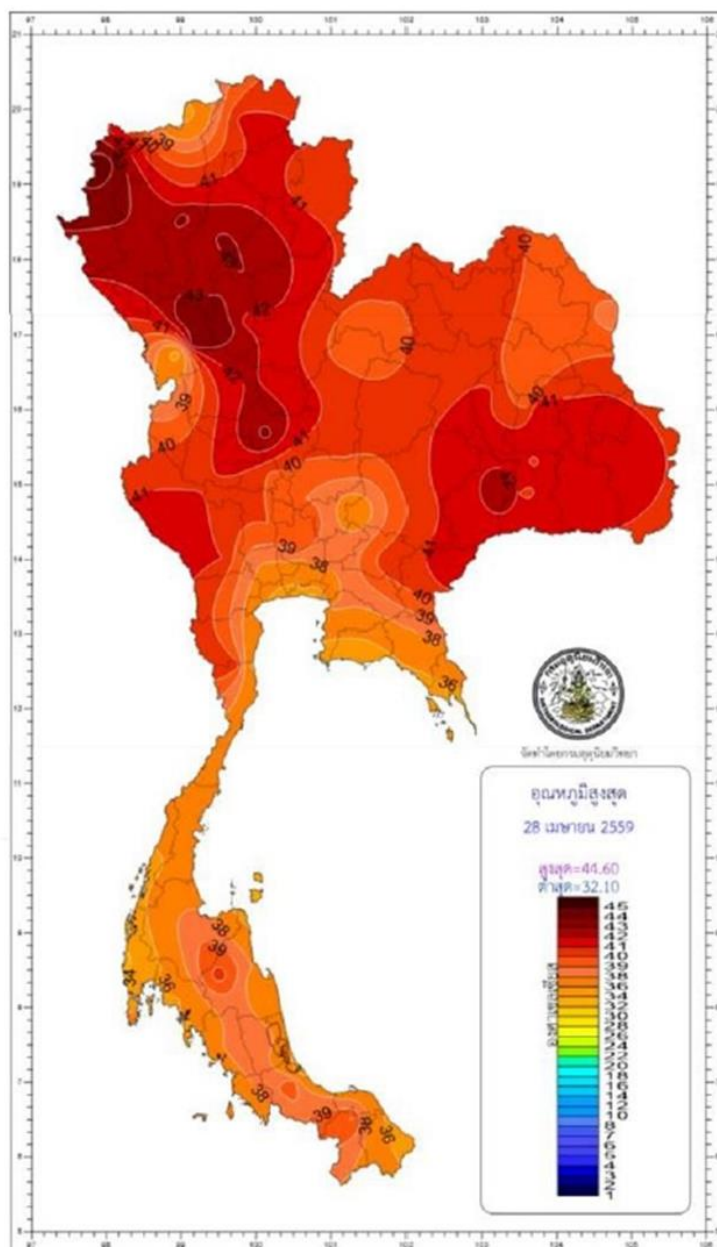
ที่มา: เสริม จันทรฉาย. (2561). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. สืบค้นจาก <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11494.pdf>

2.1.2 อุณหภูมิอากาศในประเทศไทย

อุณหภูมิอากาศเกิดจากการแผ่รังสีอาทิตย์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน วัน หรือแม้กระทั่งรายชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป ในช่วงเวลาเที่ยงวัน จะอยู่สูงเหนือขอบฟ้ามากที่สุด รังสีอาทิตย์จะตกกระทบผิวโลกเป็นมุมฉากจึงมีความเข้มของแสงสูง ทำให้เวลาเที่ยงมีอุณหภูมิอากาศสูง เวลาเช้าและเย็นรังสีอาทิตย์จะอยู่ใกล้ขอบฟ้า แสงตกกระทบเป็นมุมเฉียง ความเข้มของแสงน้อยกว่าเวลาเที่ยงวัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบเดือน เกิดจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ เนื่องจากโลกทำมุม 23.5 องศากับแนวระนาบการหมุนของโลก จึงทำให้แต่ละในช่วงเวลาของปีได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเกิดเป็นฤดูกาลต่าง ๆ

ในช่วงฤดูร้อนปี พ.ศ. 2559 ตั้งแต่วันที่ 2 มีนาคม 2559 ประเทศไทยมีอากาศร้อนอบอ้าว หลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเดือนเมษายน มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจนและร้อนจัดทางตอนบนและบางพื้นที่ในภาคใต้ สาเหตุมาจากหย่อมความกดอากาศต่อเนื่องจากความร้อนปกคลุมประเทศไทย ตอนบนและบางพื้นที่ในภาคใต้ เมื่อวันที่ 26-27 เมษายน 2559 ส่งผลทำให้วันที่ 28 เมษายน 2559 อุณหภูมิอากาศร้อนสูงสุด 44.6 องศาเซลเซียสทางตอนเหนือของประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งสูงกว่าสถิติเดิมของไทยที่เคยวัดได้ 44.5 เมื่อวันที่ 27 เมษายน 2503 ตั้งแต่เริ่มมีการบันทึกข้อมูล ในปี 2494

ภาพที่ 4: แสดงแผนที่อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเดือน เมษายน พ.ศ. 2559



ที่มา: กรมอนามัย. (2563). แนวทางการเฝ้าระวังและสื่อสารเตือนภัย ด้านสาธารณสุขรองรับผลกระทบต่อสุขภาพ. สืบค้นจาก https://hia.anamai.moph.go.th/web-upload/12xb1c83353535e43f224a05e184d8fd75a/m_magazine/35644/2910/file_download/91f0534b3c54ba2c83f041c794bf476a.pdf

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลสถิติย้อนหลังอุณหภูมิสูงสุดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2562 – พ.ศ. 2566 ที่ผ่านมานั้น พบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2566 มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติในทุกเดือนและหลายพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงสุดทำ ลายสถิติเดิม และมีอุณหภูมิสูงสุดของประเทศไทย 44.6 องศาเซลเซียส อำเภอเมือง จังหวัดตาก ในวันที่ 15 เมษายน 2566 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 1: ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติย้อนหลังอุณหภูมิสูงสุดของประเทศไทยปี พ.ศ. 2562 – พ.ศ. 2566

อันดับ	สถานีอุตุนิยมวิทยา	อุณหภูมิ	วันที่/เดือน/ปี
1	อำเภอเมือง จังหวัดตาก	44.6 องศาเซลเซียส	15 เมษายน 2566
2	อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	44.2 องศาเซลเซียส	18 เมษายน 2562
3	อำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน	43.5 องศาเซลเซียส	21 เมษายน 2563
4	อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	42.6 องศาเซลเซียส	27 เมษายน 2565
5	อำเภอเมือง จังหวัดตาก	42.4 องศาเซลเซียส	21 มีนาคม 2564

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). *พยากรณ์สภาพอากาศ*. สืบค้นจาก <https://www.tmd.go.th/forecast/forecastWeather>

2.1.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) คือพลังงานที่ถ่ายโอนระหว่างบริเวณที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยจะไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า มีกลไกหลักสามประเภทที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ การนำความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการพาความร้อน (Rohsenow, Cho, & Hartnett, 1998) การถ่ายเทความร้อนจำแนกออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1) การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลาง โดยความร้อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเคลื่อนที่ไปยังวัตถุเดียวกันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หรือจากวัตถุหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอีกวัตถุหนึ่งที่สัมผัสทางกายภาพที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า กระบวนการนำความร้อนเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลและเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนพลังงานจากโมเลกุลที่มีพลังงานมากกว่าไปยังโมเลกุลที่มีพลังงานน้อยกว่า การนำความร้อนสามารถเกิดได้ทั้งของแข็งของเหลว และก๊าซ (Rohsenow et al., 1998) แต่จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในของแข็ง โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity)

ของวัสดุ นั้น วัสดุที่นำความร้อนได้ดี เช่น โลหะ หิน และคอนกรีต จะมีค่าสภาพการนำความร้อนสูง ในทางตรงกันข้าม วัสดุที่มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ เช่น โยแก้วและฉนวนกันความร้อน จะช่วยลดการนำความร้อนได้ดี ปัญหาการนำความร้อนในอาคาร เช่น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ แสงอาทิตย์ การแผ่รังสี ลม และการเก็บความร้อนในผนัง พื้นรวมถึงฝ้าเพดาน (Kusuda, 1977)

2) การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซ เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ได้และมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น โดยเมื่อสารได้รับความร้อน มันจะขยายตัวทำให้ความหนาแน่นลดลง และสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ก็จะเคลื่อนที่มาแทนที่ การนำความร้อนนี้เป็นกระบวนการที่เรียกว่าการถ่ายเทความร้อน การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) และการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural Convection) (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 1996) ปัญหาการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนที่เกี่ยวข้องกับอาคาร เช่น การพาความร้อนเข้าและผ่านผนังโพรง การพาความร้อนระหว่างบานหน้าต่างกระจก การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศผ่านผนังด้านนอก และ การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนภายในฉนวนที่มีรูพรุน

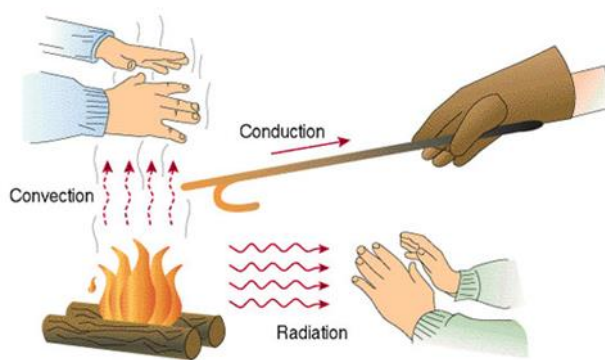
3) การแผ่รังสี (Radiation Heat transfer) เป็นการส่งผ่านความร้อนในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) โดยไม่อาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน รังสีความร้อนมีลักษณะเหมือนกับแสงที่มองเห็นได้ รังสีเอกซ์ และคลื่นวิทยุ แตกต่างกันที่ความยาวคลื่นและแหล่งกำเนิด ตาของเราสามารถมองเห็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 0.39 ถึง 0.78 ไมโครเมตร ซึ่งเรียกว่าช่วงแสงที่มองเห็นได้ คลื่นวิทยุมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1×10^3 ถึง 2×10^{10} ไมโครเมตร รังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1×10^{-5} ถึง 2×10^{-2} ไมโครเมตร ในขณะที่รังสีความร้อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.1 ถึง 100 ไมโครเมตร (Rohsenow et al., 1998)

การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีตัวกลางที่ยอมให้รังสีผ่านเข้ามา การแผ่ความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะสุญญากาศ ตัวอย่างเช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทผ่านสุญญากาศมาถึงโลก อาคารต่าง ๆ จะได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation) โดยบางส่วนของรังสีจะถูกดูดซับและบางส่วนจะสะท้อนออกมา ส่วนที่ถูกดูดซับจะทำให้อุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้น และวัสดุเหล่านั้นจะถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ด้วยการแผ่รังสี การพาความร้อน และการนำความร้อนภายในตัวมันเอง

การดูดกลืนรังสีของวัสดุขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผิววัสดุในการดูดซับรังสี หรือที่เรียกว่า สภาพการดูดกลืน (Absorptivity) วัสดุทั่วไปไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมด โดยมีบางส่วนที่สะท้อนออกไป ซึ่งเรียกว่า สภาพการสะท้อน (Reflectivity) หากวัตถุสะท้อนรังสีได้

ทั้งหมด จะมีค่าสภาพการสะท้อนเท่ากับ 1 ความสามารถในการแผ่รังสีของวัสดุจะบอกในรูปของสภาพการแผ่รังสี (Emissivity) การแผ่รังสีของวัสดุจะแปรตามอุณหภูมิและสภาพการแผ่รังสีของผิววัสดุนั้น ๆ

ภาพที่ 5: แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ



ที่มา: วิกีพีเดีย. (2567). การถ่ายเทความร้อน (Heat-transmittance). สืบค้นวันที่ 8 มีนาคม 2567 จาก <https://th.m.wikipedia.org/wiki/ไฟล์:Heat-transmittance-means1.jpg>

4) การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Radiation of the sun) ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังโลก โดยรังสีบางชนิด เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และรังสีคอสมิก จะถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศของโลก แต่พลังงานของดวงอาทิตย์ส่วนหนึ่งที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาได้คือ รังสี UV, แสงที่มองเห็นได้ (แสง VIS) และรังสีอินฟราเรด (Infrared) ทั้งสามส่วนนี้คือสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ที่เข้ามาสู่โลก ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและการเสื่อมสภาพของวัตถุจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ รังสีเหล่านี้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบกับวัตถุแตกต่างกันออกไปคือ

4.1) รังสี UV คือรังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีนี้อยู่ในแสงอาทิตย์และความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 300-400 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อรังสี UV ตกกระทบพื้นผิวของวัตถุ มันจะไม่ทำให้เกิดความร้อน แต่จะทำให้วัตถุนั้นเกิดการเสื่อมสลายหรือกัดกร่อน

4.2) แสง VIS แสงนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 410-722 นาโนเมตร เมื่อแสง VIS ตกกระทบพื้นผิวของวัตถุ มันจะเปลี่ยนจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย

4.3) รังสี IR คือ รังสีอินฟราเรด รังสีนี้มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 724-2,500 นาโนเมตร ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อรังสี IR ตกกระทบพื้นผิวของวัตถุ มันจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมาก

ทั้งสามชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมดวงอาทิตย์ที่เข้ามาสู่โลก มีคุณสมบัติและผลกระทบต่างกันในการทำให้วัตถุเกิดความร้อนและเสื่อมสภาพ (ภคินัย ทองทิพย์พร, 2544)

2.1.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Heat Transfer Through The Building Envelope)

มนุษย์ใช้เวลามากกว่า 90% ในอาคาร การออกแบบอาคารเพื่อให้มีสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่สะดวกสบายต่อผู้อยู่อาศัยจึงมีความสำคัญ เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับการก่อสร้าง เช่น การใช้แสงสว่างและการปรับอากาศ อาจส่งผลกระทบทำให้เกิดความร้อนเข้าสู่อาคาร (Harish, Singh, Kumar, Doshi, & Sant, 2022)

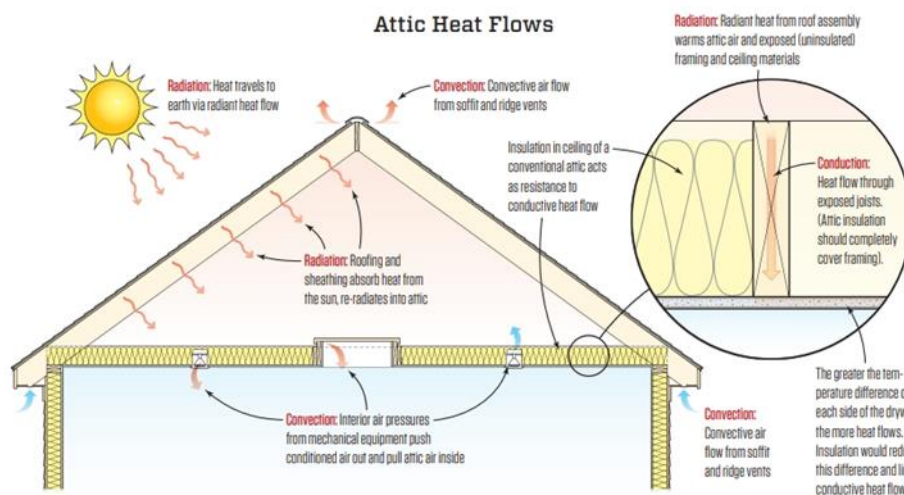
ความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี (DeKorne, 2019) เช่น ดังภาพที่ 6 วิธีการถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีที่เกิดขึ้นในส่วนของหลังคาห้องใต้หลังคา ดังนี้

1) การแผ่รังสี (Radiation) วัสดุผนังหลังคาดูดซับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อวัสดุเหล่านั้นร้อนขึ้น พวกมันจะปล่อยความร้อนออกมาในรูปแบบของการแผ่รังสีเข้าสู่ห้องใต้หลังคา ทำให้อากาศและโครงสร้างที่อยู่ภายในห้องใต้หลังคาร้อนขึ้นตามไปด้วย

2) การนำความร้อน (Conduction): การนำความร้อนจะถูกจำกัดโดยฉนวนกันความร้อนที่อยู่บนเพดาน ยิ่งมีฉนวนมากก็ยิ่งมีความต้านทานต่อการนำความร้อนสูง

3) การพาความร้อน (Convection): การพาความร้อนช่วยให้ห้องใต้หลังคาเย็นลงโดยการเคลื่อนย้ายอากาศผ่านช่องลมระบายที่ขอบและสันหลังคา ในขณะที่ความดันอากาศภายในห้องเคลื่อนย้ายอากาศผ่านรูในเพดาน

ภาพที่ 6: แสดงการถ่ายเทความร้อนในห้องใต้หลังคาที่เกิดจากการแผ่รังสี การนำความร้อน และการพาความร้อน



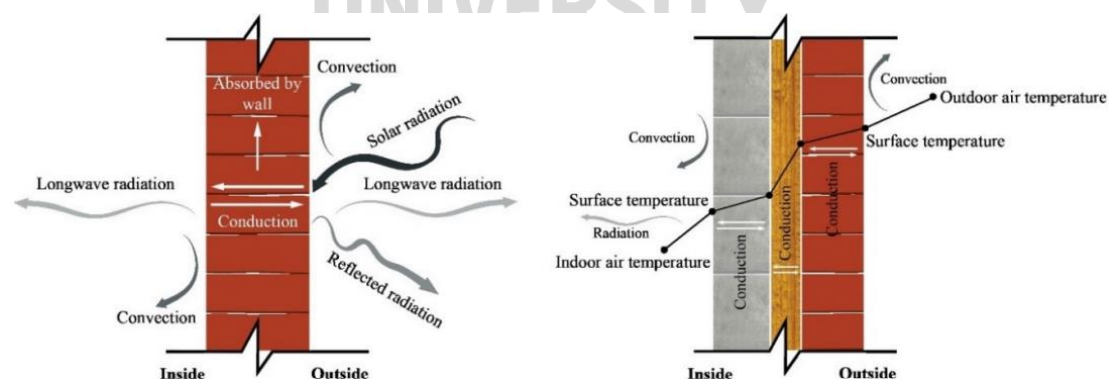
ที่มา: DeKorne, C. (2019). *Heat transfer through buildings*. Retrieved from https://www.jlconline.com/training-the-trades/heat-transfer-through-buildings_o

ความร้อนที่อยู่ภายในอาคารมาจากแหล่งกำเนิดความร้อน 2 ส่วน หลักๆ คือ ความร้อนจากภายนอก และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Internal Heat Gain) เป็นการสร้างความร้อนภายในอาคารจากกิจกรรมภายในต่าง ๆ เช่น การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องทำความร้อน เครื่องปรับอากาศ การใช้งานคอมพิวเตอร์ การทำอาหาร และคนอยู่ในอาคาร เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อความร้อนที่สร้างขึ้นในอาคารโดยตรง และความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain) เกิดขึ้นจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยส่วนใหญ่เป็นความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ การแปรปรวนของอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนผ่านผกผันความร้อนและหน้าต่าง การแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมที่ร้อน และอุปกรณ์ที่สร้างความร้อนภายนอกอาคาร เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความร้อน หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า (Kusuda, 1977) ถ้าความร้อนที่รับเข้ามามากกว่าที่สูญเสียออกไป จะทำให้อาคารร้อนขึ้น จึงต้องการแหล่งความเย็นเข้ามาทำให้เกิดสภาวะน่าสบายสำหรับผู้ใช้อาคาร หากความร้อนที่สูญเสียออกไปมากกว่าความร้อนที่รับเข้ามา อาจเนื่องจากอากาศภายนอกที่เย็นกว่าจะทำให้อาคารเย็นลง ส่วนนี้อาจต้องการความร้อนเข้ามาทำให้เกิดความสบายในการอยู่อาศัยเช่นเดียวกัน

ผนังอาคารโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ผนังทึบ และ ผนังกระจก ซึ่งผนังทั้งสองนี้มีการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน

1) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ (Heat transfer on solid wall) รังสีอาทิตย์เมื่อตกกระทบบนผิวภายนอกของผนังในช่วงกลางวัน บางส่วนของความร้อนจะถูกปล่อยไปยังสภาพแวดล้อมภายนอก และส่วนอื่นจะถูกดูดซึมและส่งผ่านวัสดุ ผิวภายในของผนังจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศในห้องและผิวอื่น ๆ ผ่านการพาและการแผ่รังสี กระบวนการเหล่านี้จะควบคุมอุณหภูมิของอากาศในร่มเย็นและมีผลต่อความสบายทางความร้อนในอาคาร อัตราการและทิศทางการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านเปลือกอาคารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การได้รับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิในร่มเย็น อุณหภูมิภายนอก คุณสมบัติทางเทอมฟิสิกส์ของวัสดุ และพื้นที่ผิวที่ถูกเปิดเผย คุณสมบัติทางเทอมฟิสิกส์ของวัสดุที่มีผลต่ออัตราการส่งความร้อน ได้แก่ ความหนา การนำความร้อน ความจุความร้อน ความต้านทานความร้อน การส่งความร้อน และลักษณะผิว นอกจากนี้ ความหนาของวัสดุยังมีผลต่อความจุในการเก็บรักษาความร้อนของผนัง และการได้รับและสูญเสียความร้อนผ่านผนังยังมีผลต่อการได้รับและสูญเสียความร้อนผ่านผนังและควรพิจารณาในการออกแบบเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานด้วย (Jannat, Hussien, Abdullah, & Cotgrave, 2020)

ภาพที่ 7: แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ



ที่มา: Jannat, N., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A. (2020). A comparative simulation study of the thermal performances of the building envelope wall materials in the tropics. *Sustainability*, 12(12), 4892.

2) การถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างอาคาร (Heat transfer through building windows) การก่อสร้างอาคารที่โปร่งใส เช่น หน้าต่าง เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนกระจกหน้าต่าง รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนที่ตกกระทบจะถูกส่งผ่านบานกระจกหน้าต่างภายในพื้นที่ภายในอาคาร และส่วนที่เหลือจะสะท้อนจากพื้นผิวของหน้าต่าง บานกระจก พลังงานบางส่วนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านจะถูกกระจกหน้าต่างดูดซับ ส่งผลให้อุณหภูมิของกระจกเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิกระจกที่เพิ่มขึ้น ความร้อนจะไหลไปทั้งภายในและภายนอก โดยการพาความร้อนภายในกระจก และจากนั้นโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีที่ทั้งสองด้านและพื้นผิวของบานกระจก นอกเหนือจากผนังและหลังคาภายนอกแล้ว หน้าต่างยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของเปลือกอาคาร ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นที่ในอาคารและพื้นที่กลางแจ้ง โดยทั่วไปกระจกหน้าต่างจะบางกว่าและโปร่งใสมากกว่าเมื่อเทียบกับผนังภายนอก ดังนั้นรังสีแสงอาทิตย์จึงทะลุผ่านหน้าต่างได้ง่าย ในความเป็นจริง การควบคุมความร้อนที่เพิ่มขึ้นหรือการสูญเสียของพื้นที่ทำความร้อนหรือเครื่องปรับอากาศในอาคาร (Harish et al., 2022) กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในบานกระจกหน้าต่างประกอบด้วย

- 2.1) การสะท้อน การดูดกลืน และการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงและแบบกระจาย
- 2.2) การนำและการพาความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดซับกับอากาศโดยรอบ
- 2.3) การนำและการพาความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ในอาคารและพื้นที่กลางแจ้ง
- 2.4) การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีกับพื้นผิวภายในขององค์ประกอบอื่น ๆ และด้วยแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และแหล่งความร้อนอื่น ๆ

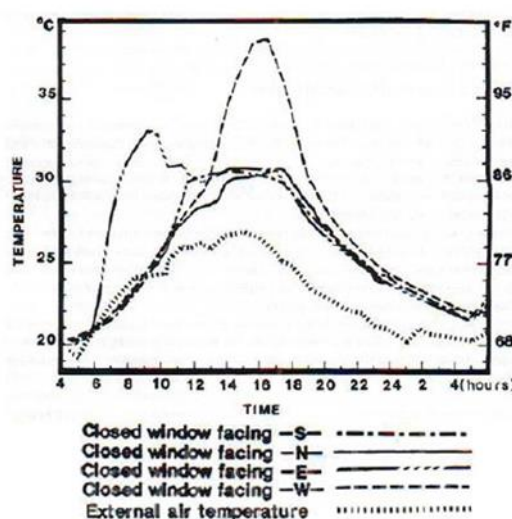
นอกจากนี้ การวางตำแหน่งของอาคารมีผลต่ออุณหภูมิของผนังอาคารด้วยเช่นกัน (Baruch, 1994) จากการศึกษาของ Givoni Baruch ที่แสดงในภาพที่ 9 พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดประมาณ 26 องศาเซลเซียส ผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ ที่ไม่มีหน้าต่างและไม่มีการบังแดด จะมีอุณหภูมิผนังอาคารภายในแตกต่างกัน

ผนังอาคารด้านในที่มีหน้าต่างหรือการบังแดดทิศตะวันออกมีอุณหภูมิสูงประมาณ 33 องศาเซลเซียส ในช่วงเช้า

ผนังอาคารด้านในที่มีหน้าต่างหรือการบังแดดทิศตะวันตกมีอุณหภูมิสูงประมาณ 38 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่าย

ผนังอาคารด้านในที่มีหน้าต่างหรือการบังแดดทิศใต้และทิศเหนือ อุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่างกันมากตลอดทั้งวัน มีอุณหภูมิสูงประมาณ 30 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 8: แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารแต่ละทิศ



ที่มา: Baruch, G. (1994). *Passive low energy cooling of buildings*. Dallas, TX: John Wiley & Sons.

เมื่อความร้อนจากดวงอาทิตย์แผ่ผ่านสุญญากาศมายังโลก รังสีจะตกกระทบพื้นผิวรอบ ๆ อาคาร และสะท้อนเข้าสู่ผนังอาคาร ผนังที่ได้รับความร้อนจะถ่ายเทและสะสมความร้อนไว้ ความร้อนนี้จะถูกนำเข้าสู่ภายในผนัง ทำให้ผิวภายในร้อนขึ้น อากาศร้อนซึ่งเบาและหนาแน่นต่ำจะลอยตัวขึ้น ทำให้อากาศเย็นหมุนเวียนเข้ามาแทนที่ เกิดการพาความร้อนและเพิ่มอุณหภูมิภายในอาคาร ผนังที่ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์มากที่สุดในช่วงบ่ายคือผนังด้านทิศตะวันตก

2.1.5 สภาวะน่าสบายทางความร้อน (Thermal Comfort) หมายถึงสภาวะที่บุคคลรู้สึกสบายทางร่างกายโดยไม่รู้สึกหนาวหรือร้อนเกินไป ซึ่งสภาวะนี้เป็นผลมาจากการประสานกันของปัจจัยหลายอย่างทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและส่วนบุคคล (Fanger, 1970) ปัจจัยหลักที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายมี 4 ปัจจัยด้วยกัน คือ

1) อุณหภูมิของอากาศ (Temperature) อุณหภูมิของอากาศรอบตัวคนมีผลต่อความรู้สึกสบาย ร่างกายของมนุษย์มีอุณหภูมิคงที่ที่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงเกินไป ร่างกายต้องขับเหงื่อและการไหลเวียนของเลือดไปที่ผิวหนังเพื่อระบายความร้อน เมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำเกินไป ร่างกายต้องการเพิ่มความร้อนภายใน เช่น การสั่นและการไหลเวียนเลือดไปที่แกนกลางเพื่อรักษาความอบอุ่น อุณหภูมิของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะช่วยให้คนรู้สึกสบายและมีประสิทธิภาพ

ในการทำงาน นอกจากนี้ยังช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับสภาพแวดล้อมทางความร้อนในอาคาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายอยู่ระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียส โดยใช้ PMV และ PPD ในการประเมินความสบายทางความร้อน ซึ่งค่า PMV ที่ใกล้เคียง 0 (เช่น -0.5 ถึง +0.5) แสดงถึงสภาวะที่น่าสบาย และ ค่า PPD ที่ต่ำแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่รู้สึกไม่สบายในระดับต่ำ (Fanger, 1970)

1.1) ค่า PMV (Predicted Mean Vote) เป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินความน่าสบายเชิงอุณหภูมิของผู้คนในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยค่า PMV ถูกพัฒนาขึ้นโดย P.O. Fanger และใช้ในมาตรฐานสากล เช่น ASHRAE Standard 55 และ ISO 7730 เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกสบายหรือไม่สบายของคนกลุ่มหนึ่งในสภาพอุณหภูมิที่กำหนด ระดับค่า PMV ที่ใช้แทนความรู้สึกต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2: ตารางแสดงระดับค่า PMV ที่ใช้แทนความรู้สึกต่างๆ

PMV	Thermal sensation
-3	Cold
-2	Cool
-1	Slightly cool
0	Neutral
+1	Slightly warm
+2	Warm
+3	Hot

ที่มา: Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill.

1.2) ค่า PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินความสบายในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อน โดยปกติจะใช้งานที่มีการออกแบบหรือวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงเงื่อนไขที่ทำให้ผู้ใช้รู้สึกไม่สะดวกสบาย ค่า PPD จะบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้ที่รู้สึกไม่พอใจหรือไม่สะดวกในเงื่อนไขความร้อนที่กำหนดไว้ ตามทฤษฎีที่พัฒนาโดย P.O. Fanger เกี่ยวกับความสบายทางความร้อน ค่า PPD (Predicted Percentage Dissatisfied)

ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10% ซึ่งหมายถึงส่วนน้อยของผู้ใช้ที่รู้สึกไม่พอใจหรือไม่สะดวกในสภาพแวดล้อมความร้อนที่กำหนดไว้ในอาคารหรือพื้นที่ที่กำหนด การประเมินนี้มักใช้กับการออกแบบระบบที่จะช่วยลดความไม่สะดวกในการทำงานหรือใช้ชีวิตประจำวันในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนสูง โดยมีการคำนวณค่า PPD จากตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้น และอัตราการถ่ายเทความร้อนของร่างกาย เพื่อให้ได้ค่า PPD ที่ต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สำหรับผู้ใช้งานทั้งหมด

2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสภาวะน่าสบายทางความร้อนโดยตรง ซึ่งมีผลต่อความรู้สึกของมนุษย์ต่อสภาพแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์สูงช่วยลดการระเหยของเหงื่อจากผิวหนัง ซึ่งช่วยเพิ่มความสบายในสภาพอากาศร้อน ในทางกลับกัน ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำอาจทำให้คนรู้สึกเย็นเนื่องจากการระเหยของเหงื่อจะเร็วขึ้นในสภาพอากาศที่แห้งและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ในการประเมินสภาพแวดล้อมทางความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์มักถูกพิจารณาเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ร่วมมือกับอุณหภูมิอากาศในการประเมินสภาพน่าสบาย ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 สภาวะน่าสบายทางความร้อนเกิดขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงประมาณ 30-60%. อย่างไรก็ตาม ความรู้สึกของความสบายยังขึ้นอยู่กับการรับรู้ของอุณหภูมิอากาศด้วย จากการศึกษาและงานวิจัยเรื่องความถูกต้องของ ISO-PMV ในการคาดการณ์คะแนนความสบายในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิประจำวัน มีการตรวจสอบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วง 40-60% เป็นที่พึงพอใจสำหรับส่วนใหญ่ของคน แต่ก็มีงานวิจัยที่แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วง 30-70% ยังสามารถให้ความสบายได้ (Humphreys & Nicol, 2002)

3) การไหลเวียนของอากาศ (Air Movement) มีบทบาทสำคัญในการสร้างสภาวะน่าสบายทางความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่อุณหภูมิอากาศสูง การเคลื่อนที่ของอากาศช่วยระบายความร้อนจากร่างกายผ่านการระเหยของเหงื่อ และการเพิ่มความเย็นด้วยการพาความร้อนออกจากร่างกาย การไหลเวียนของอากาศที่เพียงพอจะช่วยลดความรู้สึกอึดอัดที่เกิดจากอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง การเคลื่อนที่ของอากาศจะช่วยลดความรู้สึกของความร้อนและความเหนียวเหนอะหนะจากเหงื่อ

4) การแผ่รังสี (Radiant Temperature) หมายถึงอุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนที่แผ่ออกมาจากพื้นผิวต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น ผนัง พื้น หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ความร้อนนี้สามารถมีผลอย่างมากต่อการรับรู้ความร้อนของมนุษย์และความสบายทางความร้อน การออกแบบอาคารและสภาพแวดล้อมให้มีการควบคุมการแผ่รังสีที่เหมาะสม เช่น การใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง การติดตั้งฉนวนกันความร้อน หรือการใช้กระจกที่มีคุณสมบัติด้านการแผ่รังสี จะช่วยสร้างสภาวะน่าสบายทางความร้อน

2.1.7 มาตรฐานอาคารเป็นสุข (The SOOK Building Standard) เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่จัดทำโดยสถาบันอาคารเขียวไทย (Thai Green Building Institute - TGBI) เพื่อส่งเสริมการออกแบบและการก่อสร้างอาคารที่ไม่เพียงแต่ประหยัดพลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเน้นการสร้างสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารด้วย (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2565)

1) หมวด BN1 ความเชื่อมโยงสัมพันธ์กับธรรมชาติ (Biophillic) มุ่งเน้นการออกแบบและก่อสร้างอาคารที่เชื่อมโยงกับธรรมชาติ เพื่อส่งเสริมสุขภาพกายและจิตใจของผู้ใช้งานอาคาร และเป็นการนำธรรมชาติเข้ามาในอาคาร ใช้พืชพรรณ วัสดุธรรมชาติ และการออกแบบที่มีการมองเห็นธรรมชาติ เพื่อให้ผู้ใช้งานรู้สึกใกล้ชิดกับธรรมชาติหรือสร้างพื้นที่สีเขียวภายในและรอบ ๆ อาคาร เพื่อสร้างบรรยากาศที่ผ่อนคลายและลดความเครียดได้ รวมถึงการใช้แสงธรรมชาติออกแบบให้แสงธรรมชาติส่องเข้ามาในอาคารมากที่สุด เพื่อประหยัดพลังงานและส่งเสริมสุขภาพที่ดี

2) หมวด AD4 ความงามและการออกแบบ (Beauty & Design) โดยมาตรฐานนี้ส่งเสริมการออกแบบที่คำนึงถึงความสวยงาม ความประณีต และประสบการณ์ทางสายตาที่สร้างความสุขให้กับผู้ใช้อาคาร การออกแบบตามมาตรฐานนี้จะรวมถึงการใช้วัสดุและองค์ประกอบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีคุณภาพดี โดยให้ความสำคัญกับการสร้างบรรยากาศที่น่าอยู่และสวยงาม ซึ่งจะช่วยส่งเสริมสุขภาพจิตและความสุขของผู้ใช้อาคาร นอกจากนี้ยังเน้นการออกแบบที่เชื่อมโยงกับธรรมชาติและสภาพแวดล้อมโดยรอบ เช่น การใช้พืชพรรณ การจัดสวน และการออกแบบพื้นที่ให้ได้รับแสงธรรมชาติอย่างเพียงพอ มาตรฐานนี้เป็นส่วนหนึ่งของความพยายามในการสร้างอาคารที่ยั่งยืนและดีต่อสิ่งแวดล้อม

3) หมวด EE1 ความน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) โดยมุ่งเน้นการออกแบบและก่อสร้างอาคารที่ส่งเสริมสภาวะอยู่สบายสำหรับผู้ใช้งาน โดยการควบคุมและจัดการอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของผู้คน มีข้อกำหนด การออกแบบเพื่อความน่าสบายตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 2013 หรือ EN 15251:2007 หรือมีการออกแบบพื้นที่ไม่ปรับอากาศโดยคำนึงถึงการป้องกันความร้อนการระบายอากาศตามธรรมชาติโดยมีการสอวัดประสิทธิภาพของอาคารด้วยการวัดค่าจริงจากอาคารเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จและมีการทำแบบสอบถามประเมินความน่าสบายของผู้ใช้อาคาร โดยให้มีผู้ใช้อาคารประจำรู้สึกในเขตน่าสบาย (ค่า PMV ระหว่าง -1 และ +1) เป็นจำนวนอย่างน้อย 75% ของผู้ใช้อาคารประจำทั้งหมด

2.2 การกันความร้อน (Passive design)

การกันความร้อนเป็นองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานและสร้างความสบายให้กับผู้อยู่อาศัย การใช้วัสดุฉนวนที่เหมาะสมเป็นปัจจัยในการออกแบบที่ดีสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นและทำความร้อนได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน)

2.2.1 ฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation)

ฉนวนกันความร้อน คือ วัสดุหรือวิธีการที่ใช้ในการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างสองพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่างกัน วัสดุฉนวนมีคุณสมบัติที่ทำให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไปได้ยาก ซึ่งช่วยในการรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ต้องการทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว การทำงานของฉนวนกันความร้อนมีดังนี้

1) ลดการนำความร้อน (Thermal Conduction) วัสดุฉนวนมีโครงสร้างที่เป็นฟองอากาศหรือช่องว่างเล็ก ๆ ที่ทำให้การนำความร้อนผ่านวัสดุเป็นไปได้ยาก เช่น โฟม โพลียูรีเทน และไฟเบอร์กลาส และ ฟองอากาศหรือช่องว่างในวัสดุจะลดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

2) ลดการพาความร้อน (Thermal Convection) ฉนวนกันความร้อนจะช่วยลดการพาความร้อนซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศภายในวัสดุ โดยการสร้างสิ่งกีดขวางที่ทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศลดลง

3) ลดการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) วัสดุฉนวนบางชนิด เช่น ฉนวนสะท้อนความร้อน จะมีพื้นผิวที่สามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ดี ทำให้ความร้อนไม่สามารถแผ่ผ่านวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ฉนวนแต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านทานความร้อนไม่เท่ากัน ฉนวนที่ดีคือ ฉนวนที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าสำคัญที่ใช้วัดความสามารถนี้คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือค่า K (Thermal Conductivity) ถ้าค่า K ยิ่งต่ำ นั่นหมายความว่าฉนวนชนิดนั้นสามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่า

ตารางที่ 3: ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ

วัสดุ	ค่า K (วัตต์/เมตร องศาเซลเซียส)
โฟมโพลียูรีเทน	0.023
โฟมแผ่น (โพลีสไตรีน)	0.031
ฉนวนใยแก้ว	0.035
ไม้อัด	0.123
แผ่นยิปซัม	0.191

ที่มา: Cheer System. (ม.ป.ป.). *คุณลักษณะของฉนวนกันความร้อน*. สืบค้นจาก

<https://www.cheersystem.com/index.php/2016-09-20-21-09-09>

ในการเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน ควรพิจารณาหลายปัจจัยเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เช่น ความสามารถในการป้องกันความร้อน (R-Value) ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน การเปลี่ยนรูปร่างเมื่อได้รับความร้อน การกันน้ำและความชื้น การทนต่อแมลงและเชื้อรา ความปลอดภัยต่อสุขภาพ การเสื่อมสภาพ และการบำรุงรักษา การพิจารณาเหล่านี้จะช่วยให้เลือกวัสดุฉนวนกันความร้อนได้ตรงตามความต้องการและเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานมากที่สุด ชนิดของฉนวนกันความร้อนมีดังนี้

- 1) วัสดุฉนวนอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil) มีค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของผิวอลูมิเนียมต่ำ มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูงทนความร้อนได้ดี ไม่ติดไฟ และไม่ลามไฟ ไม่ฉีกขาดง่าย
- 2) วัสดุฉนวนแบบโฟม (Polyurethane) หรือเรียกว่า โฟม PU เป็นฉนวนที่กันความร้อนและเก็บความเย็นได้ดี มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ รองรับน้ำหนักกดทับได้ดี มีคุณสมบัติด้านเสียงที่ดี
- 3) วัสดุฉนวนใยแก้ว (Microfiber) ประกอบด้วยเส้นใยไฟเบอร์เล็ก ๆ มีประสิทธิภาพทนความร้อนสูง ช่วยลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคารได้มาก และป้องกันความชื้นสูง มีน้ำหนักเบา ทนทาน ไม่เสื่อมสภาพ
- 4) วัสดุฉนวนใยหิน (Mineral Wool) มีคุณสมบัติในการกันความร้อนและดูดซับเสียงได้เป็นอย่างดี ไม่ติดไฟ ใช้สำหรับการติดตั้งใต้หลังคาบ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน

5) อนุวไนเซลลูโลส (Cellulose) เป็นอนุวไนกันความร้อนที่ผลิตจากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ มีค่าการกันความร้อนและเสียงที่ดี และยังช่วยรักษาสีแวตลอมอีกด้วย

6) แคมเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate) เป็นอนุวไนที่เหมาะสมกับงานอุตสาหกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติไม่ทำให้เกิดการสันดาป ป้องกันไฟ ไม่มีสารพิษ ด้านทานความร้อนและทนไฟ

7) เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) ทำจากแร่ไมก้า มีลักษณะเป็นเกล็ดคล้ายกระเจกเป็นผงนำไปผสมกับซีเมนต์ หรือทรายจะได้คอนกรีตที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ สามารถหล่อเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้

8) เซรามิคโค้ตติ้ง (Ceramic Coating) เป็นอนุวไนสีสะท้อนความร้อนได้ดี มีคุณสมบัติช่วยป้องกันความร้อนที่ผิวอาคารโดยตรง

2.2.2 การลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยต้นไม้ (Decreasing temperature by plants) ต้นไม้ช่วยลดความร้อนได้หลายวิธี เช่น การสร้างร่มเงาที่ช่วยลดการสะสมความร้อนจากแสงแดด การระบายความร้อนผ่านการระเหยอากาศ และการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านการระบายน้ำของต้นไม้เอง

ต้นไม้มีความสามารถในการคายน้ำซึ่งสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศในฤดูร้อนได้ แต่ในบางกรณีการมีต้นไม้อาจทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น ในพื้นที่ที่มีหลังคาต้นไม้กระจัดกระจายรังสีสามารถเข้าถึงและทำให้พื้นผิวดินร้อนขึ้น ในเวลาเดียวกันหลังคาอาจลดการผสมในชั้นบรรยากาศเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเย็นเข้าถึงพื้นที่ ในกรณีนี้ ร่มเงาและการคายน้ำของต้นไม้อาจไม่ชดเชยอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมที่ลดลง การปกคลุมด้วยหลังคาใบไม้สามารถลดอุณหภูมิอากาศช่วงกลางวันได้ในช่วงระดับ 0.04°C ถึง 0.2°C ต่อการเพิ่มขึ้นของการปกคลุมหลังคาใบไม้ 1 เปอร์เซ็นต์.

ต้นไม้ยังช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารโดยการลดอุณหภูมิและร่มเงาให้กับอาคารในฤดูร้อนและป้องกันลมพัดในช่วงฤดูหนาว อย่างไรก็ตาม ยังสามารถเพิ่มการใช้พลังงานโดยการร่มเงาอาคารในช่วงฤดูหนาว และอาจเพิ่มหรือลดการใช้พลังงานโดยการบล็อกลมพัดในฤดูร้อน ดังนั้น การวางแผนต้นไม้ที่เหมาะสมใกล้อาคารเป็นสิ่งสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารให้มากที่สุด เมื่อการใช้พลังงานของอาคารลดลง การปล่อยมลพิษจากโรงไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย (Nowak, 2002)

จากงานวิจัยหลังคาเขียวและเย็นช่วยลดผลกระทบจากความร้อนในเมืองในเขตนครหลวงชิคาโก ของ Ashish Sharma พบว่า หลังคาสีเขียวหรือหลังคาเย็นสามารถลดผลกระทบเกาะความร้อนในเมืองได้อย่างมากโดยการลดอุณหภูมิหลังคาลง 3 ถึง 4 องศาเซลเซียส หลังคาที่เป็นจะช่วยลดอุณหภูมิได้ดีกว่าเล็กน้อย และมักจะถูกกว่าในการติดตั้งและบำรุงรักษา แต่ต้นไม้บนหลังคา

สีเขียวเป็นที่ยู่ออาศัยและยังสามารถกำจัดมลพิษทางอากาศออกจากชั้นบรรยากาศได้อีกด้วย หลังคาสีเขียวอาจมีประโยชน์มากที่สุดในพื้นที่ที่มีอาคารหนาแน่นที่สุด ตัวอย่างเช่น การครอบคลุมหลังคาเขียวเพียง 25% สามารถลดผลกระทบจากเกาะความร้อนในเมืองได้มากถึง 2 องศาเซลเซียส ในพื้นที่เชิงพาณิชย์ที่สร้างขึ้นมากที่สุดในเมือง หากหลังคาทั้งหมดในพื้นที่เหล่านี้เป็นหลังคาสีเขียว อุณหภูมิจะลดลง 8.3 องศาเซลเซียส (Sharma et al., 2016)

University of California Agriculture and Natural Resources (UCANR) รายงานว่าเงาของต้นไม้สามารถลดอุณหภูมิพื้นดินได้ถึง 20-45°F (11-25°C) และช่วยบดบังแสงจากดวงอาทิตย์และช่วยปกป้องผู้คนจากการสัมผัสโดยตรงแสงแดดซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความรู้สึกไม่สบายจากความร้อน (Emmanuel, 2005) พื้นที่ที่ได้รับเงาของต้นไม้จะมีการสะสมความร้อนน้อยกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับเงา เนื่องจากต้นไม้ช่วยลดการสะท้อนและดูดซับความร้อนจากแสงแดด

2.2.3 การลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยสวนแนวตั้ง (Decreasing temperature by Vertical gardens)

สวนแนวตั้ง (Vertical gardens) เป็นวิธีที่น่าสนใจในการลดความร้อนในอาคารและมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ 5-10 องศาเซลเซียส โดยสวนแนวตั้งสามารถสร้างได้ทั้งภายนอกอาคาร (Outdoor) และภายในอาคาร (Indoor) ในที่พักอาศัยที่มีพื้นที่จำกัด (Binabid, 2010) และยังช่วยลดอุณหภูมิในอาคารได้โดยตรงผ่านการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์และการระบายความร้อนผ่านการคายน้ำของพืช สวนแนวตั้งสามารถลดอุณหภูมิได้ดีขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ใช้ การจัดวาง วัสดุที่ใช้ทำสวนแนวตั้ง ทิศทางตำแหน่งของสวนแนวตั้ง รวมถึงความหนาแน่นของพืช ระบบน้ำและสภาพอากาศ (Jain, 2016)

จากงานวิจัยการจัดสวนแนวตั้งโดยใช้แผ่นสักหลาด (Felt Panels) ซึ่งนำพื้นฐานมาจากแบบจำลองที่พัฒนาโดยแพทริคนักพฤกษศาสตร์ชาวฝรั่งเศส โดยใช้ผ้าสักหลาด (Felt) ที่ทำด้วยวัสดุ polyamide ที่เป็นวัสดุที่ไม่ผูก ร้อนย่อยสลาย แต่ละแผ่นมีขนาด 50 x 80 ซม. และมีช่องใส่ของ 24 ช่อง ติดตั้งในบ้านพักในเขตเทศบาลเมืองรัฐเซาเปาโล ประเทศบราซิล ระหว่างวันที่ 19 มกราคม ถึง 2 กุมภาพันธ์ 2563 พบว่า ลดความร้อนโดยเฉลี่ยสูงถึง 8.71 องศาเซลเซียส (Oyama, Pagliarini, Buschieri, dos Santos, & Castilho, 2021)

จากงานวิจัยผลกระทบทางอุณหภูมิของระบบสวนแนวตั้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตรวจสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบสวนแนวตั้งในสภาพอากาศร้อนและชื้นโดยใช้กระบวนการทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศภายในด้วยพารามิเตอร์ รวมถึงระยะห่างระหว่างระบบสวนแนวตั้งและผิวผนัง ใช้กล่องสามอันเป็นห้องขนาดเล็ก ๆ สองกล่องมีผนังระบบ (Living Walls) หรือผนังระบบ (Green Facades) และกล่องหนึ่งไม่มีพืชใด ๆ ในระบบสวนแนวตั้งใช้พืช (Blue Trumpet Vine) และบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวันที่มีแสงแดดสามวันในเดือนเมษายน

พ.ศ. 2556 การวิเคราะห์ผลแสดงให้เห็นว่าผนังมีชีวิตและผนังระบบ green facades ลดอุณหภูมิในอากาศภายในได้ถึง 4.0 องศาเซลเซียสและ 3.0 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผนังระบบ (Living Walls) และผนังระบบ (Green Facades) ลดอุณหภูมิช่องว่างลิกลง 8.0 องศาเซลเซียสและ 6.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ (Safikhani, Abdullah, Ossen, & Baharvand, 2014)

งานวิจัยการสำรวจประสิทธิภาพทางความร้อนของผนังสีเขียวเมื่อเปรียบเทียบกับผนังเปล่าของอาคารที่มีความสูงสองชั้นในสภาพภูมิอากาศชื้นในช่วงฤดูร้อน สำหรับการวัดเชิงทดลอง ได้ใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นในการเก็บข้อมูลเรียลไทม์ จากนั้นได้ทำการจำลองอาคารในโปรแกรม EnergyPlus เพื่อยืนยันผลการทดลอง ผลการวิจัยพบว่าอาคารที่มีผนังสีเขียวมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ผนังสีเขียวสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ถึง 9% และลดระดับความชื้นสัมพัทธ์ได้ 32% นอกจากนี้ ยังได้ใช้ซอฟต์แวร์ ENVI-met เพื่อประเมินผลกระทบของผนังสีเขียวต่ออากาศโดยรอบ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิหน้าผนังสีเขียวต่ำกว่าส่วนของผนังที่ไม่มีพืชปกคลุมเล็กน้อย การลดอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้คือ 0.36°C ที่เวลา 12.00 น. ซึ่งถือว่าไม่มากนัก จากสรุปผลจากงานวิจัยนี้ได้ว่า สวนแนวตั้งมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลกระทบต่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกมีเพียงเล็กน้อย (Daemei, Shafiee, Chitgar, & Asadi, 2021)

จากการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบพื้นที่เขียวขลิบนหลังคาที่กว้างขวางในสภาพอากาศเขตร้อน การทำให้อาคารมีพื้นที่สีเขียวเป็นหนึ่งในมาตรการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำนักงานอุทยานแห่งชาติ (NParks) ได้เปิดตัวโครงการสีเขียวบนตึกสูงเพื่อส่งเสริมการปลูกพืชบนอาคารเพื่อสำรวจประโยชน์ทางความร้อน ได้ทำการวัดและทดลองก่อนและหลังการติดตั้ง พบว่าหลังคาสีเขียวมีอุณหภูมิพื้นผิวต่ำกว่าหลังคาเปลือยที่ไม่มีพืชปกคลุม โดยเฉพาะบริเวณที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น มีการพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดถึง 18°C อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของดินที่ปลูกพืชสามารถสูงกว่าอุณหภูมิของหลังคาเปลือยได้เมื่อดินแห้งมาก ในบริเวณที่มีพืชปกคลุมเบาบาง อุณหภูมิสูงสุดที่บันทึกได้ในช่วงกลางวันสูงถึง 73.4 °C และอุณหภูมิอากาศที่ 300 มม.เหนือพื้นผิวดินสามารถถึง 40 °C ปัญหานี้ยังรุนแรงขึ้นเนื่องจากความเร็วลมที่ลดลงหลังการวัดความชื้นในดินเมื่อระบบหลังคาสีเขียวมีพืชปกคลุมหนาแน่นจะช่วยรักษาอุณหภูมิของดินให้ต่ำกว่าหลังคาเปลือย การไหลของความร้อนผ่านโครงสร้างหลังคาลดลงอย่างมากจากการติดตั้งระบบหลังคาสีเขียว โดยสามารถหยุดการรับความร้อนได้มากกว่า 60% ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบหลังคาสีเขียวจะแตกต่างกันไปตามประเภทของพืช พื้นที่ที่มีการปกคลุมด้วยพืชอย่างหนาแน่นจะมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่า (Hien, Yok, & Yu, 2007)

จากงานวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพทางอุณหภูมิของสวนแนวตั้งในอาคารสำนักงานและผลกระทบจากพารามิเตอร์อากาศต่อประสิทธิภาพทางอุณหภูมิของสวนแนวตั้ง วัตถุประสงค์

การศึกษาคือการประยุกต์ใช้สวนแนวตั้งในตึกสำนักงาน โมเดลของสวนแนวตั้งได้รับการตรวจสอบด้วยชุดเครื่องมือการวัดที่วัดพารามิเตอร์อากาศและประสิทธิภาพทางอุณหภูมิตามผนังหน้าต่างและผนังหน้าต่างที่มีพืชปกคลุม การวัดทำเพื่อแสดงให้เห็นว่าชั้นพืชบนผนังหน้าต่างสามารถลดอุณหภูมิผิวภายในของผนังหน้าต่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าเฉลี่ยเป็น 2.1 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิผิวภายในของผนังหน้าต่างที่มีพืชปกคลุมก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ความต้านทานทางอุณหภูมิตามประสิทธิภาพของชั้นพืชลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของสวนแนวตั้งได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศรอบ ๆ (Widiastuti, Prianto, & Budi, 2016)

จากงานวิจัยสวนแนวตั้งเพื่อลดความร้อนในอาคาร ได้ศึกษาการจัดสวนแนวตั้ง 3 รูปแบบแบบเคลื่อนย้ายได้ แบบติดตั้งภายในผนังอาคารแบบถาวร และแบบติดตั้งภายนอกอาคารแบบถาวร งานวิจัยนี้ได้เน้นพืชสวนครัวที่มีคุณสมบัติในการป้องกันแมลง และวัสดุผ้ากระสอบที่ได้จากธรรมชาตินำมาติดตั้งทำสวนแนวตั้งและให้น้ำระบบอัตโนมัติตั้งเวลาได้อย่างน้อย 7 วัน จากการทดลองสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ 2.8 – 3.6 องศาเซลเซียส (จุฬาลักษณ์ ไพบูลย์ฟุ้งเฟื่อง, กฤษณก สุทัศน์ ณ อยุธยา, พรชัย จิตติวสุรัตน์, ชัชชติภัช เดชจิมณี และ พรชัย ชันทะวงศ์, 2559)

2.2.4 สวนแนวตั้ง (Vertical Garden)

เป็นแนวคิดที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ และเพิ่มความสวยงามให้กับสิ่งแวดล้อม สามารถสร้างได้ทั้งภายนอกอาคาร (Outdoor) และในพื้นที่อาคาร (Indoor) ซึ่งมีการพัฒนาและปรับปรุงเป็นแนวคิดและนวัตกรรมใหม่ๆ สวนแนวตั้ง หมายถึง การปลูกต้นไม้บนผนัง การจัดชั้นวาง การจัดไม้แขวน และปลูกไม้เลื้อยเกาะคลุมผนังหรือกำแพง สามารถแบ่งประเภทของสวนแนวตั้งได้เป็น 4 ประเภท ตามลักษณะของวัสดุในการปลูกต้นไม้และลักษณะของการปลูกต้นไม้ได้ดังนี้

- 1) การสร้างผนังสำหรับปลูกต้นไม้โดยใช้แผ่นผ้าหรือแผ่น Felt เป็นรูปแบบหนึ่งของการทำสวนแนวตั้งที่นับเป็นนวัตกรรมในการใช้พื้นที่ในระนาบเดียวกัน และถือเป็นหลักการอย่างหนึ่งของการสร้างสวนแนวตั้งตามแบบของ Patrick Blanc การใช้แผ่น Felt เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการน้ำและสารอาหารของพืชได้อย่างเหมาะสม และเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการสร้างสวนแนวตั้งในพื้นที่ที่มีขอบเขตในการใช้พื้นที่และน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร (เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม, 2562)

ภาพที่ 9: ภาพแสดงสวนแนวตั้งตั้งโดยใช้แผ่น Felt



ที่มา: เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม. (2562). Vertical garden: พื้นที่สีเขียวแห่งอนาคตของเมือง. วารสาร
สิ่งแวดล้อม, 17(2), 46-49.

2) การทำผนังสำหรับปลูกต้นไม้ลงไปโดยใช้วัสดุน้ำหนักเบาแต่สามารถให้รากยึดเกาะได้ (Panel System) โดยการทำโครงสร้างเป็นบล็อกหรือช่องสำหรับสวมกระถางให้ติดอยู่บนผนัง หรืออาจเป็นบล็อกคอนกรีตหรือดินเผา มีช่องใส่ต้นไม้และเจาะรูระบายให้น้ำไหลผ่านลงมาเดินระบบน้ำหยดให้ผ่านแต่ละบล็อกตามระยะที่เหมาะสม รูปแบบนี้เหมาะกับพื้นที่ที่ไม่มีโครงสร้างให้ยึดบล็อก

ภาพที่ 10: ภาพตัวอย่างบล็อกดินเผาสำหรับปลูกต้นไม้ในแนวตั้ง



ที่มา: พาสินี สุนากร. (2561). บล็อกดินเผาสำหรับปลูกต้นไม้ในแนวตั้ง. สืบค้นจาก <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=49219>

3) การใช้ไม้กระถางเป็นการตกแต่งสวนแนวตั้งที่น่าสนใจ โดยใช้ภาชนะต่าง ๆ เช่น กระถางดินเผา กระจกไม้ ถ้วย ขวดน้ำ หรือวัสดุเหลือใช้ เพื่อปลูกต้นไม้ ซึ่งสามารถจัดวางในระดับที่สูงต่าง ๆ เช่น ทำเป็นชั้นบันไดหรือซ้อนเหลื่อมกัน เพื่อเพิ่มมิติและความน่าสนใจให้กับสวนแนวตั้ง

ภาพที่ 11: ภาพตัวอย่างสวนแนวตั้งแบบใช้กระถาง



ที่มา: Kittipong. (2561). 6 ไอเดียประหยัดพื้นที่ 'จัดสวนแนวตั้ง' เพิ่มความสดชื่นด้วยพื้นที่สีเขียวมุมโปรด. สืบค้นจาก <https://www.naibann.com/6-idea-garden-tiny-space/>

4) ผนังไม้เลื้อย (Trellis and Climbers) เป็นสวนแนวตั้งพื้นฐานโดยการปลูกไม้เลื้อยในดินบนพื้นหรือกระบะปลูก จากนั้นปล่อยให้พืชเลื้อยขึ้นไปบนผนังหรือโครงยึดเกาะจนเต็มแผงสามารถใช้เป็นแผงกันแดดหรือผนังอาคารได้ การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ไม้ โครงสร้างสามารถปรับแต่งด้วยโครงไม้ที่มีน้ำหนักเบาโดยการเว้นระยะจากผนังประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันความชื้นและปัญหาการยึดเกาะของรากไม้ ผนังไม้เลื้อยสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดี

ภาพที่ 12: ภาพตัวอย่างสวนแนวตั้งแบบผนังไม้เลื้อย



ที่มา: บ้านและสวน. (2565 ก). *กำแพงไม้เลื้อย เพิ่มสีเขียวลดความร้อน*. สืบค้นจาก <https://www.baanlaesuan.com/24023/ideas/garden-ideas/green-wall-2>

2.2.5 การวางแผนจัดสวนแนวตั้ง (Planning for the Vertical Garden)

การวางแผนรวมถึงการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม สภาพอากาศในพื้นที่ท้องถิ่น การเลือกใช้พืชที่เหมาะสม การติดตั้งโครงสร้างรวมถึงการระบบการให้น้ำในการช่วยให้พืชเติบโตอย่างเหมาะสม สวนแนวตั้งสามารถสร้างขึ้นได้ทุกที่โดยที่ความสำเร็จขึ้นอยู่กับตัวเลือกชนิดพันธุ์พืชที่เหมาะสมกับสภาพที่เหมาะสม (Jain, 2016) สวนแนวตั้งประกอบด้วย ดังนี้

- 1) พืช การเลือกพืชเป็นเรื่องขึ้นอยู่กับสภาพแสงและพื้นที่ที่เหมาะสม ขนาด สี ลักษณะการเจริญเติบโต
- 2) เมทริกซ์การปลูกพืช สำหรับรากพืชตั้งต้นและยึดอยู่กับพื้นผิวตั้งฉาก สามารถเป็นอินทรีย์ เช่น ดิน หรือเป็นอนินทรีย์เช่นพลาสติกหรือใยเส้น
- 3) ระบบน้ำ เพื่อให้พืชได้รับน้ำและสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม
- 4) ฉากกันน้ำ เพื่อป้องกันการเปียกฝ้ายของอาคารจากความชื้น
- 5) โครงสร้าง เพื่อรองรับน้ำหนักโครงสร้างของระบบสวนแนวตั้งไปยังผนังอาคาร
- 6) การให้แสงสว่าง เพื่อให้พืชได้รับแสงอย่างเพียงพอเพื่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและส่งเสริมพฤติกรรมการเจริญเติบโตอย่างธรรมชาติ การให้แสงสว่างสามารถเป็นจากแหล่งธรรมชาติ (แสงแดด) หรือแหล่งเทียม (เช่น โคมไฟเมทัลฮาไลด์ โคมไฟเพรสเซอร์ และไฟ LED)

2.3 กรณีศึกษา (Case study)

2.3.1 การออกแบบสวนแนวตั้งกลางห้าง EmQuartier

ตั้งอยู่ในย่านสุขุมวิทของกรุงเทพมหานคร เป็นหนึ่งในห้างสรรพสินค้าที่โดดเด่น ด้วยการออกแบบพื้นที่สีเขียวในรูปแบบสวนแนวตั้ง (Vertical Garden) ซึ่งออกแบบโดยนักพฤกษศาสตร์ชื่อดังชาวฝรั่งเศส Patrick Blanc โครงการนี้เป็นการจัดสวนแนวตั้งรูปแบบ “โคมระย้าป่าฝน” ที่มีความยาว 100 เมตร ประกอบด้วยเฟิร์นและพืชเขตร้อนที่ใช้พืชเขตร้อนหลากหลายชนิด ที่สามารถเติบโตได้ดีในสภาพอากาศของกรุงเทพฯ โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสวยงามและเสน่ห์ให้กับพื้นที่ภายในห้าง พืชที่ใช้ในสวนแนวตั้งช่วยกรองอากาศ และเพิ่มความสดชื่นรวมถึงช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด และยังช่วยลดความร้อนในอาคารทำให้ลดการใช้พลังงานสำหรับการทำความเย็น

ภาพที่ 13: EmQuartier – Bangkok, Thailand



ที่มา: Porntiwa. (2563). 10 โปรเจกต์ “สวนแนวตั้ง” สุดชิค เพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ชุมชนเมือง. สืบค้นจาก <https://www.buildernews.in.th/archdesign-cate/36444>

2.3.2 สวนแนวตั้ง Fieldter Cafe อำเภอเมืองสระแก้ว (ผู้วิจัย)

มีการจัดสวนแนวตั้งประเภทใช้แผ่นผ้าหรือแผ่น Felt โดยใช้แผงสีกหลาดและมีการติดตั้งแผงสีกหลาดโดยการสร้างโครงเหล็กห่างจากผนังก่ออิฐ ประมาณ 10-20 cm. และปิดด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ดมีการให้น้ำ โดยการติดตั้งชุดพ่นหมอกให้ความชื้นแก่พืช พืชพรรณที่ใช้เป็นพืชผักสวนครัวหลากหลายชนิด และปลูกด้วยดินลงในแผงสีกหลาด สวนแนวตั้งแผงสีกหลาดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมบรรยากาศภายในบริเวณร้านให้มีพื้นที่สีเขียวและลดความร้อนภายในบริเวณร้าน

ภาพที่ 14: สวนแนวตั้ง Fieldter Cafe อำเภอเมืองสระแก้ว



ที่มา: ผู้วิจัย

2.3.3 สวนแนวตั้ง ดิกเอ็มไพร์ทาวเวอร์ (Empire Tower) ถนนสาทร กรุงเทพมหานคร
เป็นการจัดสวนแนวตั้งบนผนัง (Living Wall) โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร ทำให้ลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และพื้นที่สีเขียวช่วยให้พนักงานรู้สึกผ่อนคลาย มีสุขภาพจิตที่ดีขึ้นส่งเสริมภาพลักษณ์ขององค์กรในด้านความยั่งยืนและการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 15: สวนแนวตั้ง ดิกเอ็มไพร์ทาวเวอร์ (Empire Tower)



ที่มา: พี แอนด์ เอ็น ฮอร์ติคัลเจอร์. (2567). สวนแนวตั้ง Empire Tower สาทร. สืบค้นจาก <https://www.one2trees.com/album/10364/สวนแนวตั้ง-empire-tower-สาทร>

2.3.4 One Central Park, Sydney, Australia

One Central Park ประกอบไปด้วยตึกสองอาคารที่สูง คือ อาคารที่ 1 สูง 33 ชั้น และอาคารที่ 2 สูง 16 ชั้น มีการ ออกแบบโดยทีมสถาปนิกชื่อดังคือ Jean Nouvel และ Patrick Blanc โครงการนี้เป็นหนึ่งในต้นแบบของการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการสร้างสวนแนวตั้งบนตึกสูง โดยมีผนังตึกที่ใช้เป็นพื้นที่เพาะปลูกพืช ที่นี้มีการใช้พืชต่าง ๆ เช่น ไม้เฟิร์น และพืชชนิดต่าง ๆ ที่ช่วยลดการสัมผัสกับรังสีแสงและร้อนจากแสงแดดได้ดี

ภาพที่ 16: One Central Park, Sydney, Australia



ที่มา: The Ateliers Jean Nouvel. (2014). *One Central Park*. Retrieved from <https://www.archdaily.com/551329/one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc>

2.3.5 Singapore Changi Airport, Singapore สวนแนวตั้งที่สนามบินชางเก้ เป็นหนึ่งในแหล่งท่องเที่ยวที่น่าสนใจในสิงคโปร์ที่มีลักษณะเด่นด้านการใช้พืชแนวตั้งเพื่อต้อนรับนักท่องเที่ยวและผู้ใช้บริการในสนามบิน ซึ่งเป็นภาพลักษณ์ที่เน้นความสวยงามและความสะอาดของสิ่งแวดล้อมในเมืองใหญ่ของสิงคโปร์ สวนแนวตั้งที่นี่มีการใช้พืชต่าง ๆ ที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่จำกัดของสนามบิน เช่น พืชอวบน้ำ และพืชอื่น ๆ ที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงได้บ่อย มีการดูแลรักษาสวนเป็นระบบเพื่อให้สวนแนวตั้งมีการเจริญเติบโตและดูเพียงพอตลอดเวลา มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างภาพลักษณ์ของสิงคโปร์ที่เป็นเมืองที่ใช้ชีวิตอย่างยั่งยืนและเขียวสะอาด

ภาพที่ 17: Singapore Changi Airport, Singapore



ที่มา: Design Makes A Better Life. (ม.ป.ป.). 7 สถาปัตยกรรมที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก. สืบค้น
จาก <https://dsignsomething.com/2019/04/16/7-สถาปัตยกรรมที่มีน้ำเป้/>

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจากสถานที่จริง (Experimental research) การศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแบบสัทิลาดเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัย กล่าวคือ เป็นการทดลองคุณสมบัติการลดอุณหภูมิของวัสดุและรูปแบบการจัดสวนแนวตั้งสัทิลาด โดยทดลองในสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกัน เพื่อประเมินคุณสมบัติการลดอุณหภูมิ การวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวแปรทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ ความร้อนจากภายนอก ชนิดของวัสดุ และ สภาพแวดล้อม

ขั้นตอนการวิจัยกำหนดขึ้นเพื่อศึกษา 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1) ประเด็นคุณลักษณะการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยสวนแนวตั้งชนิดสัทิลาด (Felt panel Vertical garden) 2) ประเด็นการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดสวนแนวตั้งชนิดสัทิลาด (Felt panel Vertical garden)

ทั้งนี้ในส่วนของวิธีดำเนินการวิจัยสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ประกอบด้วยขั้นตอนการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัย การกำหนดตัวแปรชี้วัดและเชื่อมโยงตัวแปร การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนในการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1.1 คัดเลือกพันธุ์ไม้ที่ใช้ในการทดลอง

เป็นขั้นตอนการเลือกพืชพรรณ ที่สามารถพบได้ง่ายในประเทศไทย กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพืชประเภท Interior wall ซึ่งเป็นการนำพืชพรรณเข้ามาปลูกภายในอาคารโดยใช้ระบบสวนแนวตั้ง ซึ่งมีลักษณะเป็นกำแพงหรือแผงที่ติดตั้งพืชบนโครงสร้างแนวตั้งภายในห้องหรือพื้นที่ในอาคาร และสามารถปลูกได้ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical Climate)

3.1.2 ขั้นตอนกำหนดรูปแบบการทดลอง

เป็นขั้นตอนในการศึกษาถึงความพร้อมด้านสถานที่ กำหนดขนาดห้องทดลอง และออกแบบการปลูกสวนแนวตั้งให้เหมาะสมกับรูปแบบการทดลอง

3.1.3 ขั้นตอนการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

ในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือในการวัดผลการวิจัยในเบื้องต้นก่อนทำการทดลอง การวางตำแหน่งเครื่องมือในการวัดผลการทดลอง และรายละเอียดปลีกย่อยถึงระยะเวลาในการทดลอง โดยขั้นตอนการติดตั้งระบบและขั้นตอนการทดลอง

3.1.4 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดอุณหภูมิในการทดลองโดยกำหนดหัวข้อในการเปรียบเทียบดังนี้

- 1) เก็บข้อมูลอุณหภูมิชุดการทดลองที่มีแผงสักลาดอย่างเดียว
- 2) เก็บข้อมูลอุณหภูมิชุดการทดลองที่มีแผงสักลาดและต้นไม้เต็มแผง 100%
- 3) เก็บข้อมูลอุณหภูมิชุดการทดลองที่มีแผงสักลาดและต้นไม้เต็มแผง 70%
- 4) เก็บข้อมูลอุณหภูมิชุดการทดลองที่มีแผงสักลาดและต้นไม้เต็มแผง 50%

3.1.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลโดยอาศัยการเปรียบเทียบจากตาราง แผนภูมิ เพื่อตอบคำถามของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้เพื่อสรุปผลเป็นแนวทางในการเลือกใช้รูปแบบสวนแนวตั้งแก้ปัญหาการลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัย

3.1.6 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทาง

นำผลที่ได้มาสรุปวิเคราะห์เปรียบเทียบ ทดสอบสมมติฐานงานวิจัย หาข้อสรุปเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการออกแบบสวนแนวตั้ง และการทำวิจัย รวมถึงอธิบายข้อผิดพลาดต่าง ๆ ในงานวิจัย

3.2 คัดเลือกพันธุ์ไม้ที่ใช้ในการทดลอง

ความสำเร็จของสวนแนวตั้งขึ้นอยู่กับทางเลือกพืช (Francis & Lorimer, 2011) พืชที่เหมาะสมสำหรับสวนแนวตั้งนั้นไร้ขอบเขต พืชแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมและลักษณะโครงสร้างของแต่ละประเภท การเลือกพืชที่นำมาใช้ทำสวนแนวตั้งควรเลือกรูปแบบให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่และความสะดวกในการดูแลรักษา หากบริเวณที่ทำสวนแนวตั้งได้รับแสงแดดจัด ควรปลูกพรรณไม้ที่ชอบแสงแดดเต็มวัน ทนแล้งได้ หากอยู่ในที่ร่ม ควรเลือกพรรณไม้ที่ทนร่ม ชอบความชื้นมาก (บ้านและสวน, 2565 ข)

พืชประเภท Interior wall เป็นการนำพืชพรรณเข้ามาปลูกภายในอาคารโดยใช้ระบบสวนแนวตั้ง (Ranchana, Vasudevan, Vinodh, Benny, Samyuktha, & Gowtham, 2023) ซึ่งมีลักษณะเป็นกำแพงหรือแผงที่ติดตั้งพืชบนโครงสร้างแนวตั้งภายในห้องหรือพื้นที่ในอาคารสามารถนำมาใช้ในการทำสวนแนวตั้งประเภท Living walls ได้

ตารางที่ 4: ตารางพันธุ์พืชที่เหมาะสมสำหรับการทำสวนแนวตั้งประเภท Interior wall

Botanical name	Common name	Family
Interior Wall		
<i>Philodendron</i>	Lacy tree philodendron, Selloum, Horsehead philodendron	Araceae
<i>Epipremnum</i>	Golden pothos, Ceylon creeper, Hunter's robe, Ivy arum, House plant, Money plant, Silver vine, Solomon Islands ivy, Marble queen, Taro vine	Araceae
<i>Aeschynanthus</i>	Lipstick plant	Gesneriaceae
<i>Columnea</i>	Flying goldfish plant	Gesneriaceae
<i>Saintpaulia</i>	African violet	Gesneriaceae
<i>Begonia</i>	Wax begonia, Begonia	Begoniaceae
<i>Nephrolepis</i>	Fishbone fern, Tuberous sword fern, Tuber ladder fern, Erect sword fern, Narrow sword fern, Ladder fern, Herringbone fern	Nephrolepidaceae
<i>Pteris</i>	Chinese brake, Chinese ladder brake, Ladder brake	Pteridaceae
Many species of <i>Peperomia</i>	Radiator plant	Piperaceae

ที่มา: Ranchana, P., Vasudevan, V., Vinodh, S., Benny, E., Samyuktha, C., & Gowtham, K. (2023). Green wall: A recuperative strategy for urban life style. *The Pharma Innovation*, 12(5), 2929-2937.

3.2.1 คุณสมบัติของพืชที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิ

พืชมีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม พืชช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในอากาศ และสร้างออกซิเจน (O₂) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการรักษาคุณภาพอากาศ และพืชช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวในท้องถิ่นเมือง ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิด้านล่างของเมืองและส่งผลให้ปรับสภาพอากาศให้ดีขึ้น

ทำให้เกิดความร้อนและสลายตาในบริเวณนั้นด้วย รังสีอาทิตย์ที่พืชดูดซับนั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ความร้อนที่เกินจะถูกระบายออกมาพร้อมกับการคายน้ำผ่านใบของพืช คุณสมบัติของพืชที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิ มีดังนี้

1) การสังเคราะห์แสงของพืช เป็นกระบวนการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ได้แก่ แสงสว่าง อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ธาตุอาหาร และปริมาณน้ำที่พืชได้รับ

2) การคายน้ำของพืช เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อพืช ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช ได้แก่ ชนิดของพืช อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของน้ำในดิน ลม แสงสว่าง

3) ความหนาแน่นของพุ่มใบ ความหนาแน่นของพุ่มใบมีผลต่อความสามารถในการลดปริมาณความร้อนของพืช พืชที่มีใบหนาแน่นมากจะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นใบได้มากกว่าพืชที่มีใบหนาแน่นน้อย

จากงานวิจัยการลดอุณหภูมิผนังอาคารทึบโดยการจัดเรียงพืชคลุมผิวพื้นที่ข้างอาคารเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิผนังอาคารทึบโดยการจัดเรียงพืชคลุมผิวพื้นที่ข้างอาคาร จากงานวิจัยนี้สามารถลดอุณหภูมิผนังอาคารทึบได้เฉลี่ย 2.0 องศาเซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงฤดูร้อนเฉลี่ย 3.2 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้มีการคัดเลือกพืชที่นิยมปลูกประดับอาคารจากพืช 12 ชนิด ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย คัดเลือกตามเกณฑ์ เนื่องจากการทดลองต้องใช้พืชเป็นจำนวนมาก พืชต้องง่ายต่อการเพาะพันธุ์เพื่อลดต้นทุนในส่วนการขยายพันธุ์ได้และเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตเร็ว รวมถึงทนต่อการแปรปรวนของสภาพแวดล้อมได้ดี (พัทจารี เพชรสลับศรี, 2561)

ภาพที่ 18: ตารางการคัดเลือกพืชที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ชนิดของพืช	เกณฑ์การคัดเลือก					
	การขยายพันธุ์พืช	อัตราการใช้ปุ๋ย	ทนต่อสภาพแวดล้อม	การผลัดใบ	การดูแลรักษา	รวมคะแนน
หมากผู้หมากเมีย	10	7.5	10	10	10	47.5
เศรษฐีเรือนนอก	10	7.5	7.5	10	10	45
เศรษฐีเรือนใน	10	7.5	7.5	10	10	45
วาสนา	10	7.5	7.5	10	10	45
กาบหอยแครง	10	10	7.5	10	10	47.5
ชบา	10	10	5	10	10	45
เข็มญี่ปุ่น	10	5	5	10	10	40
กระดุมทองไม้เลื้อย	10	10	7.5	10	10	47.5
พุทธรักษา	10	5	5	10	10	40
พลูด่าง	10	10	10	10	10	50
หนวดปลาหมึกแคระ	10	5	7.5	10	10	42.5
หุปลาส่อน	10	10	5	10	10	45

ที่มา: พัทจารี เพชรสลัศรี. (2561). การลดอุณหภูมิผนังอาคารที่บดโดยการจัดเรียงพืชคลุมผิวพื้นข้างอาคาร (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาการเกษตร). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จากภาพที่ 18 มีเกณฑ์การคัดเลือกพืชดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกที่ 1 การขยายพันธุ์พืช เป็นการคัดเลือกที่มีความสำคัญ เนื่องจากการทำสวนแนวตั้งต้องใช้พืชพรรณจำนวนมาก การเพาะพันธุ์ได้ง่ายทำให้ลดต้นทุนในส่วนของการขยายพันธุ์ได้

เกณฑ์การคัดเลือกที่ 2 อัตราการใช้ปุ๋ยของพืช มีผลในการวิจัยเนื่องจากการเพาะพันธุ์เองบางส่วน จึงเลือกพืชที่มีการเจริญเติบโตไว

เกณฑ์การคัดเลือกที่ 3 ทนต่อสภาพแวดล้อม พืชที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองต้องเป็นพืชที่ทนต่อการแปรปรวนของสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกสภาพแวดล้อม

เกณฑ์การคัดเลือกที่ 5 การดูแลรักษา การเลือกพืชที่ดูแลรักษาง่ายจะประหยัดค่าเวลาและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาพืชได้

จากผลการคัดเลือกพบว่า ต้นพลูด่าง (Golden pothos) เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองมากที่สุด (พัทจารี เพชรสลัศรี, 2561) ในการทดลองนี้ใช้ต้นพลูด่างทั้งหมด 132 ต้น

3.2.2 ข้อมูลเบื้องต้นของพืชที่ใช้ในการทดลอง

ต้นพลูด่าง ชื่อวิทยาศาสตร์ Epipremnum aureum ชื่อสามัญ Devil, silvy, Golden Pothos, Hunter's robe พลูด่าง เป็นหนึ่งในไม้ประดับที่ได้รับความนิยมสูงสำหรับการปลูกพืชในห้องคอนโด และภายในบ้าน เพราะเป็นไม้ขนาดเล็กที่ไม่ต้องดูแลมากเกินไป และเป็นพืชที่สามารถปรับตัวกับสภาพอากาศในประเทศไทยได้ดี เฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่มีความชื้นสูง เช่น ภูมิภาคร้อนชื้น และสามารถปลูกได้ทั้งในที่ที่มีแสงรำไรและแสงปานกลาง พลูด่างไม่ต้องการการรดน้ำมากมายเพียงพอที่จะรักษาความชื้นในดินและใบของพืช ซึ่งเหมาะสำหรับสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงอย่างประเทศไทย สามารถปลูกได้ทั้งในน้ำและในดิน ซึ่งเพิ่มความสะดวกในการดูแลและเลือกสถานที่ปลูกตามความต้องการ รวมถึง พลูด่างมีการเติบโตที่ไม่แน่นอนเกินไป ทำให้มีความหรูหราและเรียบง่ายในการจัดสวนภายในหรือนอกบ้านได้

ภาพที่ 19: ต้นพลูด่าง



ที่มา: Nouveauraw AmieSue. (n.d.). *Golden Pothos Plant | Care Difficulty-Easy*. Retrieved from <https://nouveauraw.com/indoor-plants/varieties/pothos-golden-pothos-plant/>

คุณลักษณะของต้นพลูด่าง ใบของต้นพลูด่างมีขนาดใหญ่และเป็นรูปร่างแบนหรือเรียบ ใบเดี่ยว เรียงสลับ กว้าง 5-30 เซนติเมตร ยาว 7-45 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนใบเว้า

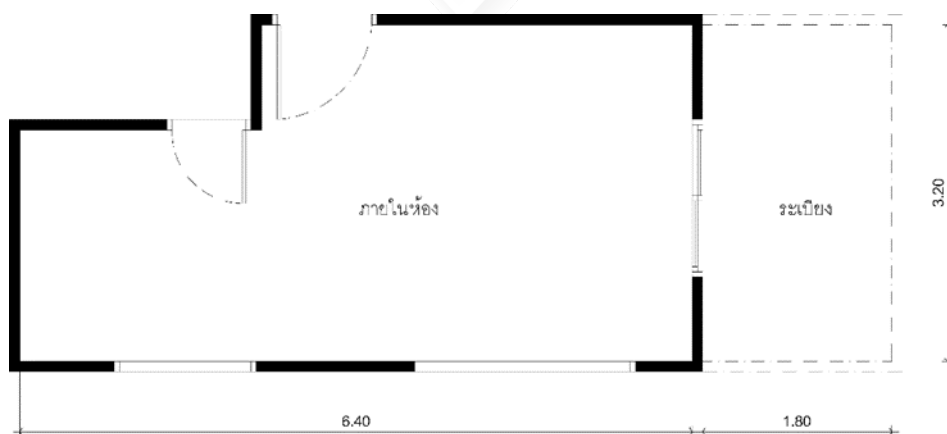
แผ่นใบหนาวบน้ำ สีของใบมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม โดยมักจะเป็นเขียวอ่อนในบริเวณกลางและเขียวเข้มขึ้นไปทางขอบใบ (พัทจารี เพชรสลัศรี, 2561)

3.3 ขั้นตอนกำหนดรูปแบบการทดลอง

3.3.1 การคัดเลือกพื้นที่ใช้ในการศึกษา

การเลือกพื้นที่ในการศึกษา ควรพิจารณาตำแหน่งและทิศการติดตั้งสวนแนวตั้ง (Dunnett & Kingsbury, 2008) ทิศที่เหมาะสมกับการวิจัยสวนแนวตั้งคือทิศใต้ที่ดูดซับความร้อนต่อเนื่องตลอดทั้งวัน และมีอุณหภูมิสูงขึ้นตลอดระยะเวลาาน งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในพื้นที่พักอาศัย ในพื้นที่อาศัยนี้ได้รับผลกระทบเรื่องความร้อนเข้าสู่อาคาร เนื่องจากหันหน้าไปทางทิศใต้ที่ดูดซับร้อนตลอดทั้งวัน จึงเป็นเหตุผลในการเลือกพื้นที่นี้เพื่อดำเนินงานวิจัย พื้นที่การศึกษาในงานวิจัยนี้มีพื้นที่ขนาด 24 ตรม.

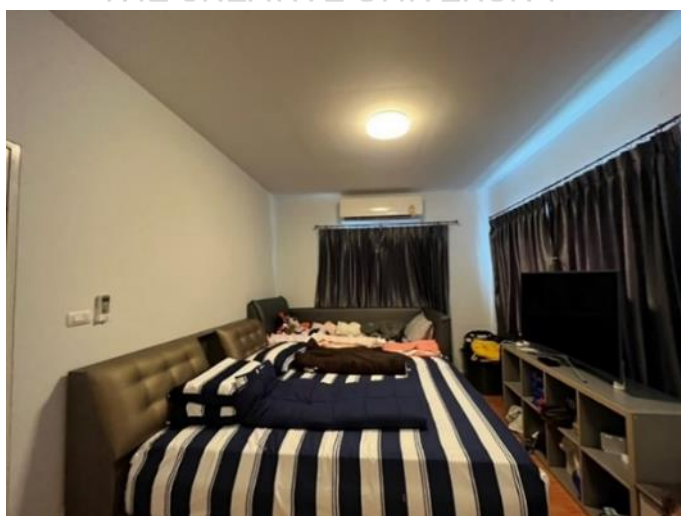
ภาพที่ 20: แสดงแปลนพื้นที่ในการศึกษาในสภาวะเดิม



ภาพที่ 21: ภาพแสดงพื้นที่ภายนอกในการศึกษาในสภาวะเดิม



ภาพที่ 22: ภาพแสดงพื้นที่ภายในในการศึกษาในสภาวะเดิม



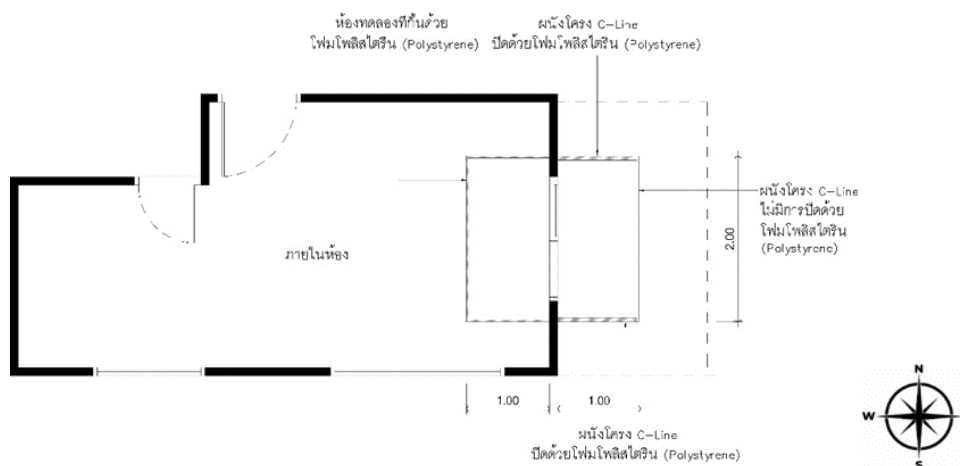
3.3.2 รูปแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการกั้นห้องด้วยโพลีโพลีสไตรีน (Polystyrene) เพื่อควบคุมลมที่มีผลต่ออุณหภูมิ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากชุดการทดลองในห้องจำลองขนาด 2.00 x 2.00 x 2.00 เมตร โครงทำด้วยโครง C-Line และปิดด้วยโพลีโพลีสไตรีน (Polystyrene) ความหนา 25 mm. (ดังภาพที่ 22) ห้องทดลองหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลของ (Dunnett & Kingsbury, 2008) พื้นที่ที่หันหน้าไปทางทิศใต้มักจะได้รับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน และทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายนอกและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองตั้งแต่วันที่ 31 มีนาคม 2567 – 5 เมษายน 2567 ทดสอบในสภาวะคล้ายคลึงกันและไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ ดังนี้ โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์

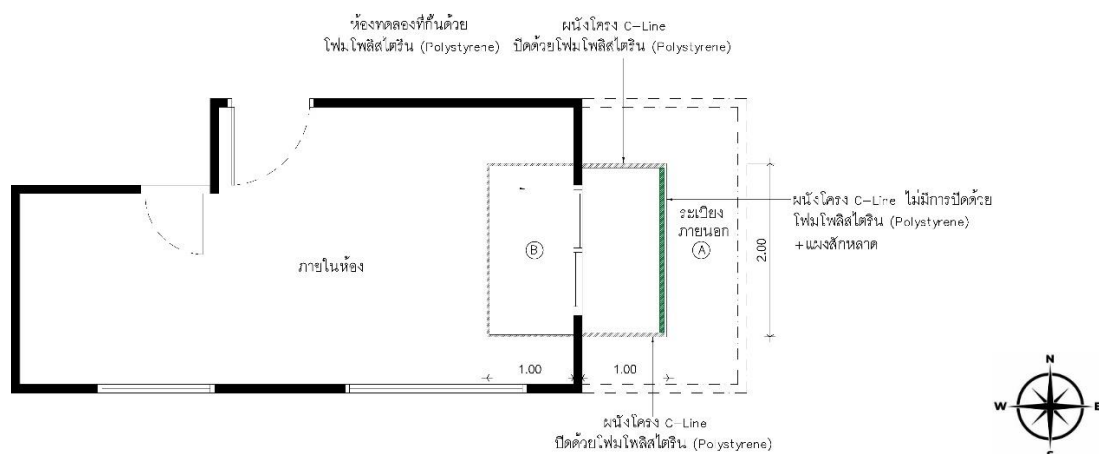
- 1) ชุดการทดลองที่มีแผงสีกหลาดอย่างเดียว
- 2) ชุดการทดลองที่มีแผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 100%
- 3) ชุดการทดลองที่มีแผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 70%
- 4) ชุดการทดลองที่มีแผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 50%

งานวิจัยนี้มีการใช้มาตรฐาน ISO 7726 อ้างถึงวิธีการวัดและประเมินความสะดวกสบายที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและความชื้นภายในอาคาร (International Organization for Standardization, 1998) เครื่องมือที่ใช้เก็บอุณหภูมิในการทดลองนี้คือ Thermometer Smart Indoor Air Quality Monitor ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสภาพอากาศ 2 ชิ้น เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ระดับเสียง ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเมื่อเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ไม่ปลอดภัย เครื่องตรวจวัดแล้วแจ้งเตือนให้เราทำการถ่ายเทอากาศภายในบ้าน

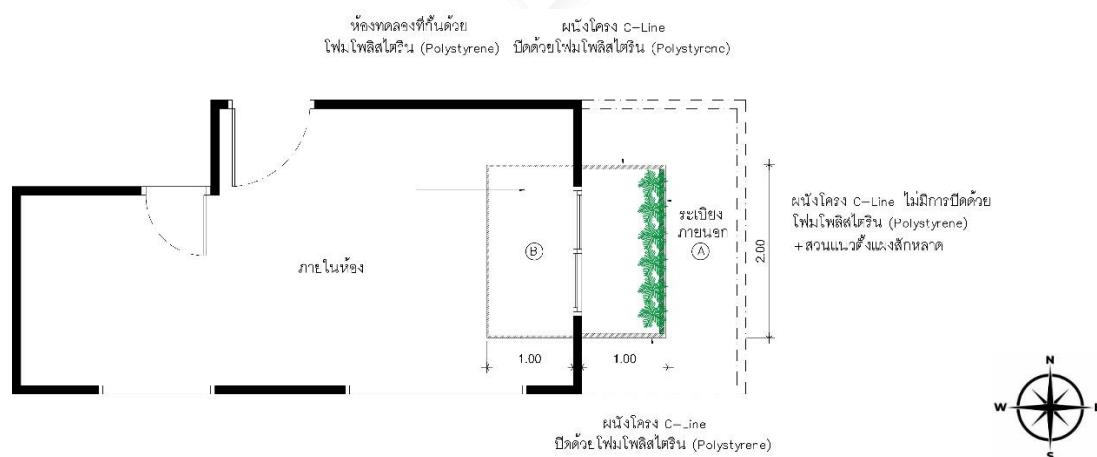
ภาพที่ 23: ภาพแสดงแปลนพื้นที่ในการศึกษา (กั้นห้องทดลอง)



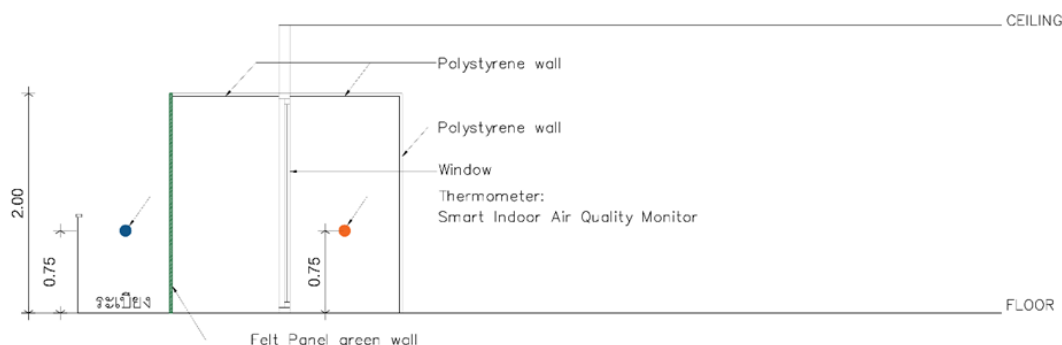
ภาพที่ 24: ภาพแสดงทิศทางการวางห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสีกหลายอย่างเดียว



ภาพที่ 25: ภาพแสดงทิศทางการวางห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสีกหลายที่มีต้นไม้



ภาพที่ 26: ภาพแสดงรูปตัดห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสีกหลาดและแสดงตำแหน่งระยะการวางเครื่องวัดอุณหภูมิ



3.4 ขั้นตอนการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

3.4.1 ชนิดของวัสดุ รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

สวนแนวตั้งแผงสีกหลาด (Felt plant panels vertical garden) เป็นระบบที่อาศัยการนำผ้าสีกหลาดที่ทำจาก โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีความแข็งแรง ทนทาน และมีความยืดหยุ่นสูง สามารถทนต่อการสึกหรอและการฉีกขาดได้ดี เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในแผงปลูกต้นไม้ที่ทำจากผ้าสีกหลาดสีเขียว รวมถึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยการนำมาเย็บเป็นช่องต่อเนื่องกันตลอดทั้งผืน เพื่อเป็นช่องปลูกต้นไม้ต่าง ๆ ตามต้องการ การทำสวนแนวตั้งด้วยแผงสีกหลาดนั้นเป็นวิธีที่ดีในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด และถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับการปลูกพืชทั้งในแนวตั้ง (Vertical Garden) และแนวนอน (Horizontal Garden) สวนแนวตั้งแผงสีกหลาดสามารถดำเนินการด้วยวิธีที่ยั่งยืนด้วยตนเองผ่านการให้น้ำแบบกึ่งไฮโดรโปนิคส์และระบบจ่ายน้ำแบบอัตโนมัติจึงง่ายต่อการบำรุงรักษา โดยการลดอุณหภูมิจะสามารถเพิ่มขึ้นด้วยการใช้พืชที่ได้จากการศึกษาเกณฑ์กันคัดเลือกพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ในงานวิจัยนี้ใช้แผงสีกหลาดทั้งหมด 16 หน่วย โดยแผงสีกหลาด 1 หน่วย มีขนาด 50 x 50 cm. ดังภาพที่ 26

ชนิดของพืชที่ใช้บนสวนแนวตั้ง (Vertical garden) การเลือกพืชที่นำมาใช้ทำสวนแนวตั้งควรเลือกรูปแบบให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่และความสะดวกในการดูแลรักษา งานวิจัยนี้ได้เลือก พืชต่าง ในการทำสวนแนวตั้ง โดยผ่านการคัดเลือกพืชที่ช่วยลดอุณหภูมิที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจากงานวิจัยลดอุณหภูมิผนังอาคารทึบ (พัทจารี เพชรสลัปศรี, 2561) พืชต่าง เป็นพืชตระกูล Araceae ซึ่งเป็นพืชจัดอยู่ในประเภท Interior wall เป็นการนำพืชพรรณเข้ามาปลูกภายในอาคารโดยใช้ระบบสวนแนวตั้ง (Ranchana et al., 2023)

ภาพที่ 27: ภาพแสดงแผงปลุกต้นไม้สักหลาด (Felt panel)



3.4.2 เครื่องมือใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือวิจัยที่เป็นเอกสารและเครื่องมือวิจัยที่เป็นอุปกรณ์

1) เครื่องมือวิจัยที่เป็นเอกสาร

จากวัตถุประสงค์และขั้นตอนของการวิจัยที่ต้องการศึกษาต้องมีเครื่องมือวิจัยเพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบจดบันทึก

แบบจดบันทึก (Survey Form) เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพในการวิจัย ซึ่งนักวิจัยใช้ในการบันทึกข้อมูลและสังเกตการณ์ในสถานที่จริง

2) เครื่องมือวิจัยที่เป็นอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลภูมิในการทดลองนี้คือ Thermometer Smart Indoor Air Quality Monitor ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสภาพอากาศ 2 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ระดับเสียง ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเมื่อเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ไม่ปลอดภัย เครื่องตรวจวัดแล้วแจ้งเตือนให้เราทำการถ่ายเทอากาศภายในบ้าน

ภาพที่ 28: อุปกรณ์ Netatmo Urban Weather Station



ที่มา: Netatmo. (n.d.). *Smart Home Weather Station*. Retrieved from <https://www.netatmo.com/en-gb/weather/weatherstation>

3.4.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือแบบจดบันทึก เพื่อทำการสำรวจรายละเอียดพื้นฐานเกี่ยวกับการบันทึก เช่น วัน เวลาในการบันทึก แบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

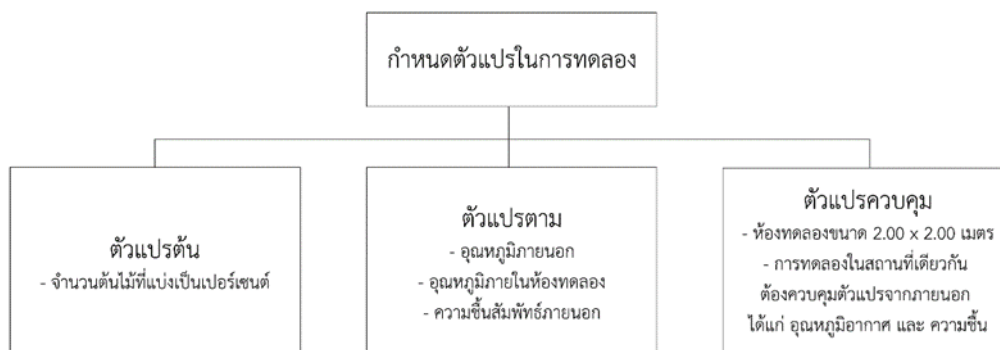
ส่วนที่ 1 ขนาด กว้าง ยาว สูง ของห้องทดลอง และชนิดของวัสดุ

ส่วนที่ 2 อุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิภายในห้องทดลองหลังติดตั้งแผงสวนแนวตั้ง

3.4.4 การกำหนดตัวแปร ตัวแปรที่ทำการเก็บข้อมูล มีดังนี้

- 1) อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (Out side Air temperature)
- 2) อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (Inside Air temperature)
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร (Outside Relative Humidity)
- 4) ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร (Inside Relative Humidity)

ภาพที่ 29: ภาพแสดงการกำหนดตัวแปรในการทดลอง



ตารางที่ 5: ตัวแปรควบคุมในการทดลอง

ตัวแปรควบคุม	รายละเอียด
สภาพแวดล้อมทางกายภาพ	- ขนาดห้องทดลอง 2.00 x 2.00 เมตร ความสูง 2.00 เมตร - ปิดประตูและหน้าต่าง - ไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศในระหว่างการทดลอง
ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล	- เก็บข้อมูลในวันที่ไม่มีฝนตกหรืออากาศแปรปรวน

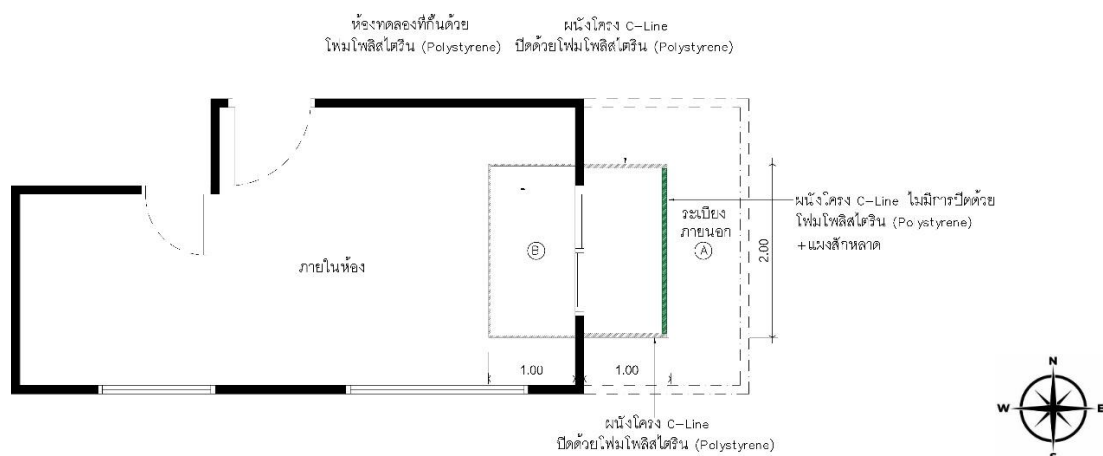
3.4.5 การจำลองสถานการณ์ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดลอง ตั้งแต่วันที่ 31 มีนาคม 2567 – 5 เมษายน 2567 โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์ (Scenario) ทดสอบในสภาวะคล้ายคลึงกัน ดังนี้

ตารางที่ 6: การแบ่งจำแนกสถานการณ์และชนิดของวัสดุในการทดสอบ

สถานการณ์ (Scenario)	ชนิดวัสดุในการทดสอบ
Scenario 1	แผงสีกหลาดเพียงอย่างเดียว
Scenario 2	แผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 100%
Scenario 3	แผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 70%
Scenario 4	แผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 50%

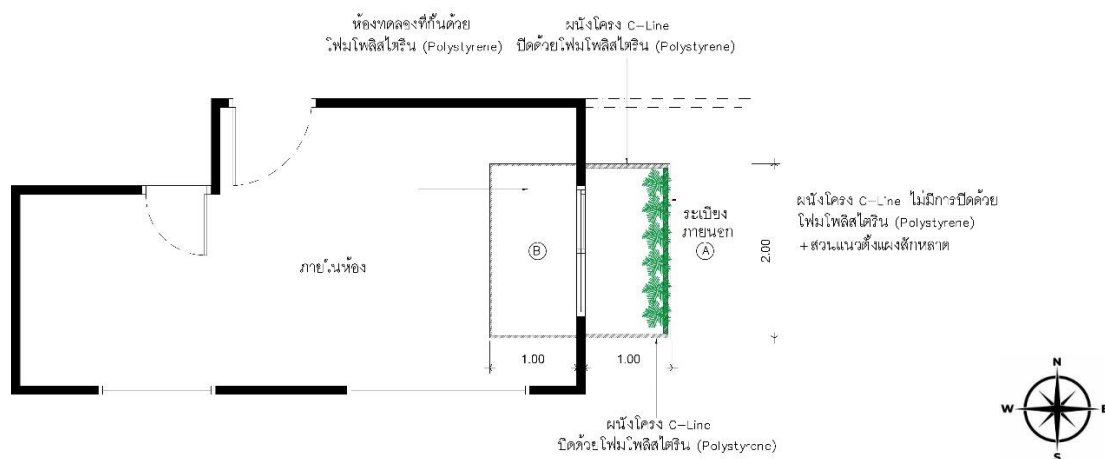
ภาพที่ 30: ภาพแสดงแผนพื้นที่ใน Scenario 1 ติดตั้งแผงสักราดเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 31: ภาพแสดง Scenario 1 ติดตั้งแผงสักราดเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 32: ภาพแสดงแปลนพื้นที่ใน Scenario 2 ติดตั้งแผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 100%



ภาพที่ 33: ภาพแสดง Scenario 2 ติดตั้งแผงสีกหลาดและต้นไม้เต็มแผง 100%



ภาพที่ 34: ภาพแสดง Scenario 3 ติดตั้งแผงผักปลอดและต้นไม้เต็มแผง 70%



ภาพที่ 35: ภาพแสดง Scenario 4 ติดตั้งแผงผักปลอดและต้นไม้เต็มแผง 50%



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษารูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแบบสัทิลาดเพื่อลดความร้อนภายในที่อยู่อาศัย โดยมุ่งเน้นไปที่ชนิดและปริมาณของต้นไม้เป็นเปอร์เซ็นต์การติดตั้งเพื่อประโยชน์ทางด้านประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สมเหตุสมผลที่สุด งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 4 สถานการณ์ เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบโดยกำหนดหัวข้อในการเปรียบเทียบดังนี้

1. เปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกอาคารในแต่ละชุดการทดลอง
2. เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารในแต่ละชุดการทดลอง
3. เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารในแต่ละชุดการทดลอง
4. เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารในแต่ละชุดการทดลอง

ข้อจำกัดของระยะเวลาในการวิจัย

การวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากชุดการทดลองทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดการทดลองทำการเก็บข้อมูล ชุดละ 1 วัน โดยเริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 31 มีนาคม 2567 – 5 เมษายน 2567 ดังนั้นผลการวิจัยที่ได้จึงเป็นข้อมูลเฉพาะช่วงเวลาดังกล่าวเท่านั้นไม่ครอบคลุมตลอดปี

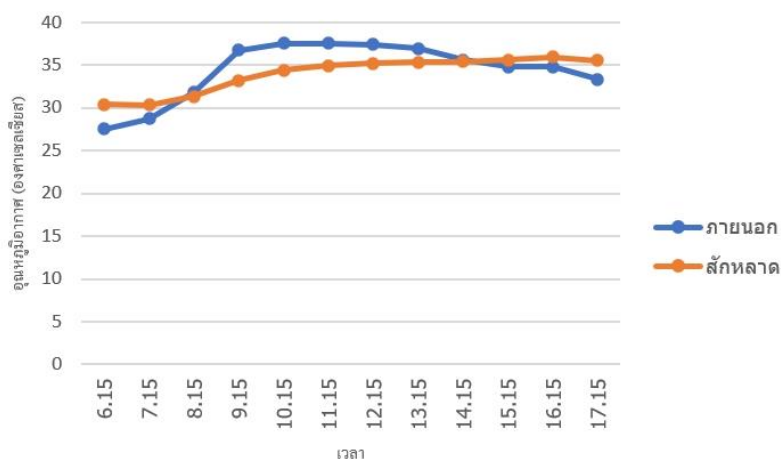
ข้อจำกัดในการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการกันห้องเป็นห้องทดลอง เนื่องจากลมเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้น

4.1 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก

ภาพที่ 36: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 1

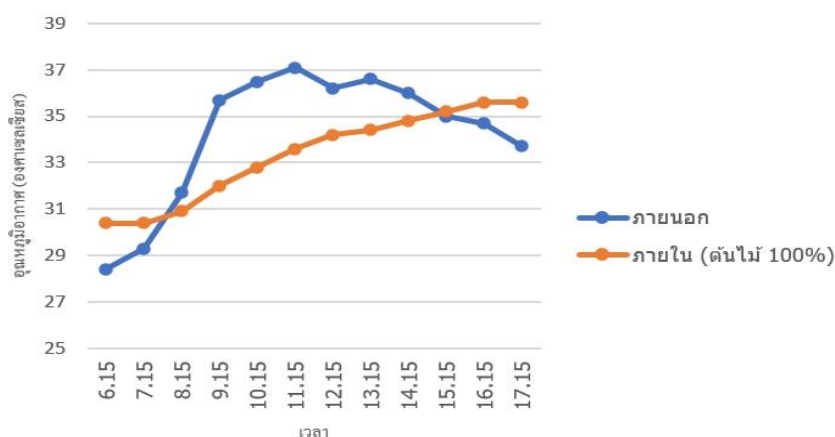


ตารางที่ 7: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 1 ในเวลา 13.15 นาฬิกา

ผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 1			
เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก	อุณหภูมิอากาศ ภายใน	ค่าประสิทธิภาพ ในการลดอุณหภูมิ
13.15	36.9 องศาเซลเซียส	35.3 องศาเซลเซียส	1.6 องศาเซลเซียส

จากการทดลองในห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสัปดาห์เพียงอย่างเดียว (Scenario 1) ในช่วงเวลา 13.15 นาฬิกา มีอุณหภูมิภายนอกสูงเฉลี่ย 36.9 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้นที่ 62% และภายในห้องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.3 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 61% แผงสัปดาห์สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้ 1.6 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 37: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 2

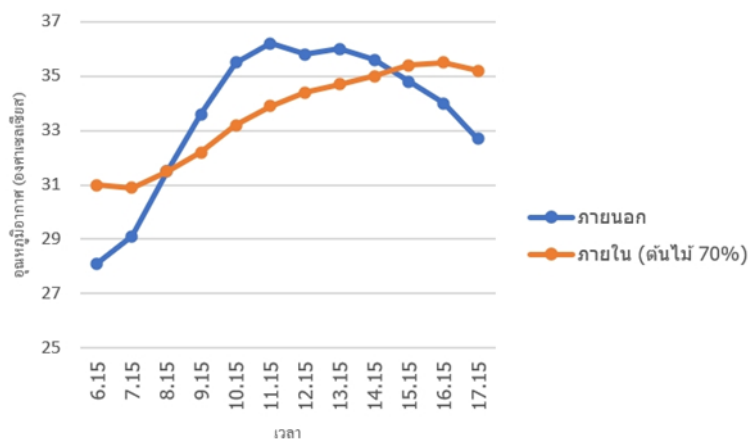


ตารางที่ 8: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 2 ในเวลา 11.15 นาฬิกา

ผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 2			
เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก	อุณหภูมิอากาศ ภายใน	ค่าประสิทธิภาพ ในการลดอุณหภูมิ
11.15	37.1 องศาเซลเซียส	33.6 องศาเซลเซียส	3.5 องศาเซลเซียส

จากการทดลองในห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสีกหลาดและต้นไม้ 100% (Scenario 2) ในช่วงเวลา 11.15 นาฬิกา มีอุณหภูมิภายนอกสูงเฉลี่ย 37.1 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่ 66% และภายในห้องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.6 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่ 65% แผงสีกหลาดสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้ 3.5 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 38: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 3

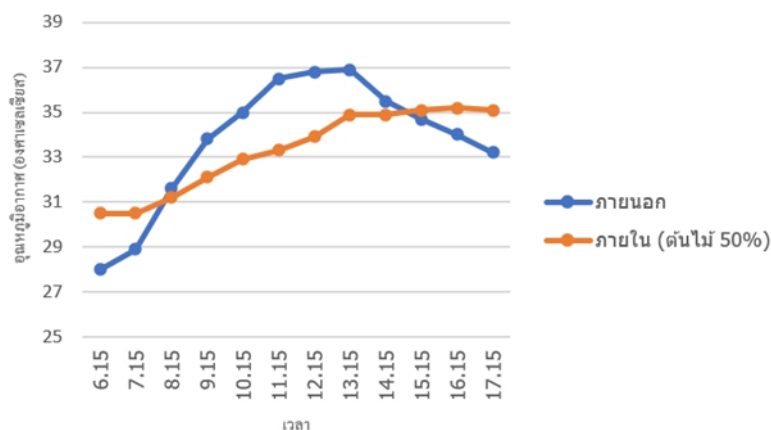


ตารางที่ 9: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 3 ในเวลา 11.15 นาฬิกา

ผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 3			
เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก	อุณหภูมิอากาศ ภายใน	ค่าประสิทธิภาพ ในการลดอุณหภูมิ
11.15	36.2 องศาเซลเซียส	33.9 องศาเซลเซียส	2.3 องศาเซลเซียส

จากการทดลองในห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสีกหลาดและต้นไม้ 70% (Scenario 3) ในช่วงเวลา 11.15 นาฬิกา มีอุณหภูมิภายนอกสูงเฉลี่ย 36.2 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่ 69% และภายในห้องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.9 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่ 64% แผงสีกหลาดสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้ 2.3 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 39: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอก Scenario 4

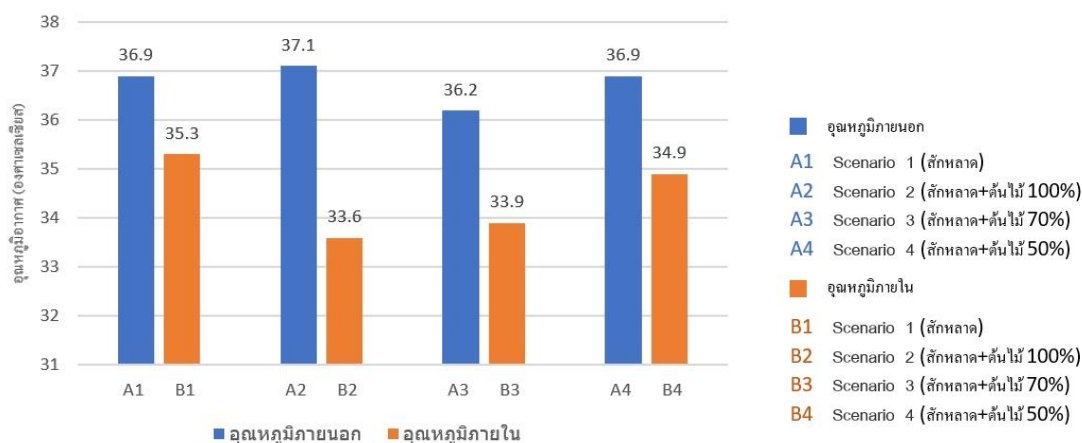


ตารางที่ 10: แสดงผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 4 ในเวลา 13.15 นาฬิกา

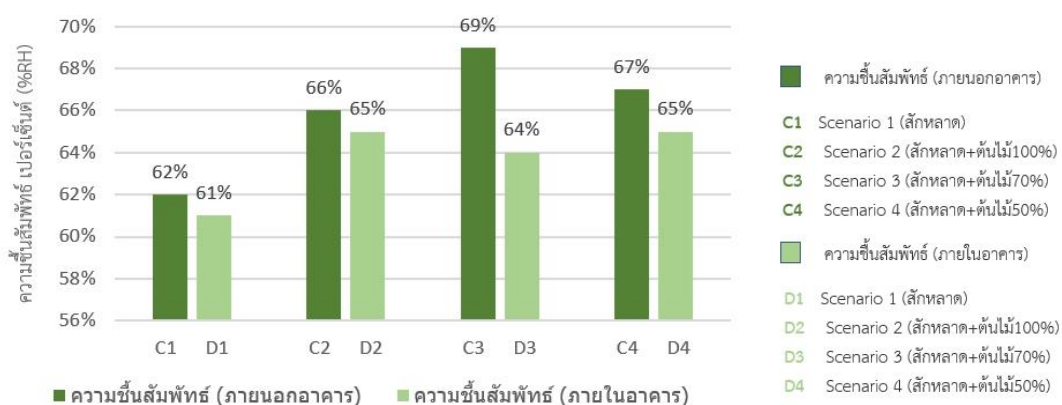
ผลการวัดอุณหภูมิในสถานการณ์ที่ 4			
เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก	อุณหภูมิอากาศ ภายใน	ค่าประสิทธิภาพ ในการลดอุณหภูมิ
13.15	36.9 องศาเซลเซียส	34.9 องศาเซลเซียส	2.0 องศาเซลเซียส

จากการทดลองในห้องทดลองที่ติดตั้งแผงสีกหลาดและต้นไม้ 50% (Scenario 4) ในช่วงเวลา 13.15 นาฬิกา มีอุณหภูมิภายนอกสูงเฉลี่ย 36.9 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่ 67% และภายในกล่องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34.9 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่ 65% แผงสีกหลาดสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้ 2.0 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 40: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอกทั้ง 4 Scenario



ภาพที่ 41: กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ภายในอาคารและภายนอกอาคารทั้ง 4 Scenario



จากการศึกษาและงานวิจัยเรื่องความถูกต้องของ ISO-PMV ในการคาดการณ์คะแนนความสบายในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิประจำวัน มีการตรวจสอบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วง 40-60% เป็นที่พึงพอใจสำหรับส่วนใหญ่ของคน แต่ก็มีงานวิจัยที่แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วง 30-70% ยังสามารถให้ความสบายได้เช่นกัน (Humphreys & Nicol, 2002)

4.1.2 ผลการคำนวณต้นทุนในการทำสวนแนวตั้งแผงสีกหลายที่เป็นต้นไม้เป็นเปอร์เซ็นต์
ในการทดลองนี้ ใช้แผงสีกหลายทั้งหมด 16 หน่วย และใช้ต้นไม้ในการทดลองทั้งหมด 132 ต้น
แบ่งต้นไม้ตาม % ได้ดังนี้

ตารางที่ 11: ตารางราคาแผงสีกหลายตามท้องตลาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้

วัสดุ	จำนวน	ราคาแผงสีกหลายตามท้องตลาด
แผงสีกหลาย 9 Pockets (ขนาด 50 x 50 cm.)	1	80 บาท
แผงสีกหลาย 9 Pockets (ขนาด 50 x 50 cm.)	16	1,280 บาท

ตารางที่ 12: ตารางราคาต้นทุนพลูต่างตามท้องตลาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการแบ่งต้นไม้เป็น %

ปริมาณต้นไม้ (%)	ราคาต้นทุนพลูต่างตามท้องตลาด	รวม
ต้นพลูต่าง 100% (132 ต้น)	15 บาท / ต้น	1,980 บาท
ต้นพลูต่าง 70% (92 ต้น)	15 บาท / ต้น	1,380 บาท
ต้นพลูต่าง 50% (66 ต้น)	15 บาท / ต้น	990 บาท

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทำงานที่บ้านได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้การจัดการสภาพแวดล้อมในที่อยู่อาศัยกลายเป็นเรื่องสำคัญ ความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่พักอาศัยสามารถส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและทราบถึงผลเสียจากความร้อนที่มีต่อผู้ใช้อาคารที่พักอาศัยตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารเป็นสุข (The Sook Building Standard) โดยเน้นการออกแบบอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ผู้ใช้งานรู้สึกใกล้ชิดกับธรรมชาติและสร้างพื้นที่สีเขียวภายในและรอบ ๆ อาคาร ทำให้รู้สึกผ่อนคลายและลดความเครียดได้ ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาวิธีการลดความร้อนภายในอาคาร โดยใช้สวนแนวตั้งแผงสีกหลาด เพื่อช่วยลดการสะท้อนของรังสีแสงอาทิตย์และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงลดความร้อนภายในอาคารที่พักอาศัย วิธีการนี้เป็นแนวทางในการออกแบบและติดตั้งสวนแนวตั้งเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต และช่วยเสริมสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคารที่พักอาศัยได้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองใช้สวนแนวตั้งแผงสีกหลาดเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัย โดยใช้ต้นพลูด่าง ดิน และแผงสีกหลาด พบว่า แผงสีกหลาดที่มีต้นไม้ 100% สามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุดที่ 3.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่า รวมถึงความชื้นจากการรดน้ำต้นไม้ ทำให้ช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามากระทบต่ออาคารที่พักอาศัยโดยตรง กระบวนการคายน้ำของพืชยังช่วยการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ นอกจากนี้การใช้ดินในการปลูกต้นพลูด่าง ดินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสภาวะแวดล้อม เนื่องจากดินมีความสามารถในการดูดซับความร้อนสูง เมื่อดินได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการระเหยน้ำที่สะสมอยู่ภายในดิน การระเหยนี้จะช่วยลดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยรอบ ทำให้สภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิลดลง (เกษประทุม, 2543) และเมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิในห้องทดลองติดตั้งแผงสีกหลาดและต้นไม้ 70% และ 50% สามารถลดอุณหภูมิได้เทียบเท่ากับที่ 2.0 องศาเซลเซียส เนื่องจากการจัดรูปแบบต้นไม้ในแบบต่าง ๆ มีผลต่อการลดอุณหภูมิ กล่าวคือ การวางต้นไม้แบบสลับทำให้มีพื้นที่ใบมากขึ้นในการระเหยน้ำ ซึ่งเพิ่มความชื้นในอากาศและช่วยลดอุณหภูมิรอบ ๆ พื้นที้นั้น และช่วยให้ผนังอาคารได้รับร่มเงาในหลายจุด ลดการสะสมความร้อนในผนังและทำให้อาคารเย็นลง ดังนั้นสามารถเลือกใช้รูปแบบการจัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาดต้นไม้ 50% ที่สามารถลดอุณหภูมิได้เทียบเท่าการจัดสวนแนวตั้งแผงสีกหลาดต้นไม้ 70% เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดสวนแนวตั้ง

จากผลการทดลองที่ติดตั้งแผงสักลาดเพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ 1.6 องศาเซลเซียส เนื่องจากไม่มีพืชช่วยในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorption) ส่งผลทำให้ อุณหภูมิภายในห้องทดลองสูงกว่าภายในห้องทดลองที่มีแผงต้นไม้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการได้ศึกษาและรู้ถึงผลเสียจากความร้อนที่สามารถส่งผลกระทบต่อต่าง ๆ ต่อ ผู้ใช้อาคารที่พักอาศัยตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารเป็นสุข (The sook building standard) และมี วัตถุประสงค์เพื่อให้อาคารที่พักอาศัยมีคุณภาพความเป็นอยู่ที่ดีและมีความน่าสบาย ผลจาก การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงข้อดีและการเลือกใช้รูปแบบของการจัดสวนแนวตั้งที่สามารถลดอุณหภูมิ ความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่พักอาศัยลดลงได้จริง และเป็นตัวเลือกที่นำมาช่วยเสริมสร้างทำให้เกิด สภาวะน่าสบายในอาคารที่พักอาศัย ความชื้นที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคาร รวมถึง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สมเหตุสมผลที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะจากผลวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาระยะเวลาในการทดลองและวัดอุณหภูมิ รวมถึงช่วงเวลา เพื่อให้ผลสรุปที่แม่นยำและชัดเจนกว่านี้ หรือตัวแปรอื่นๆ ต่อการวัดค่าอุณหภูมิในครั้งนี้

จะเห็นได้ว่าสวนแนวตั้งแผงสักลาด มีคุณสมบัติในการลดอุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัย รวมถึงแผงต้นไม้สักลาดยังให้ความสวยงามสบายตาและสามารถจัดสวนได้ในพื้นที่จำกัดและที่สำคัญ ต้นไม้ยังสามารถเพิ่มออกซิเจนในอากาศทำให้ผู้ที่อาศัยภายในอาคารรู้สึกสดชื่น

สามารถนำไปอ้างอิงเป็นแนวทางในการเลือกใช้สวนแนวตั้งแบบสักลาดที่เหมาะสมกับ ทิศทางที่ตั้งอาคาร หากสามารถเลือกใช้ได้เหมาะสม นอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิความร้อนที่เข้ามาใน อาคารแล้วยังเป็นตัวช่วยให้เกิดภาวะน่าสบายอีกด้วย

สามารถเลือกใช้รูปแบบการติดตั้งต้นไม้ที่แบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อประโยชน์ทางด้านประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สมเหตุสมผลที่สุด

เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจในการลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยสวนแนวตั้ง รวมถึงแนวทางการออกแบบ (Design guidelines) ของการติดตั้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ศึกษาต่อใน อนาคต

บรรณานุกรม

- กรมอนามัย. (2563). แนวทางการเฝ้าระวังและสื่อสารเตือนภัย ด้านสาธารณสุขรองรับผลกระทบต่อสุขภาพ. สืบค้นจาก https://hia.anamai.moph.go.th/web-upload/12xb1c83353535e43f224a05e184d8fd75a/m_magazine/35644/2910/file_download/91f0534b3c54ba2c83f041c794bf476a.pdf.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). พยากรณ์สภาพอากาศ. สืบค้นจาก <https://www.tmd.go.th/forecast/forecastWeather>.
- จุฬาลักษณ์ ไพบูลย์ฟุ้งเฟื่อง, กฤษณก สุทัศน์ ณ อยุธยา, พรชัย จิตติวสุรัตน์, ชัชชติภักษ์ เดชจิรมณี และ พรชัย ชันทะวงศ์. (2559). การจัดสวนแนวตั้งเพื่อการลดความร้อนในอาคาร. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 (หน้า 149-159). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- ณัฐกานต์ เกษประทุม. (2543). พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บ้านและสวน. (2565 ก). กำแพงไม้เลื้อย เพิ่มสีเขียวลดความร้อน. สืบค้นจาก <https://www.baanlaesuan.com/24023/ideas/garden-ideas/green-wall-2>.
- บ้านและสวน. (2565 ข). สวนแนวตั้ง สวยได้แม้เนื้อที่จำกัด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.
- พัทธจารี เพชรสลับริ. (2561). การลดอุณหภูมิผนังอาคารที่บดบังโดยการจัดเรียงพืชคลุมผิวพื้นข้างอาคาร (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พาสินี สุนากร. (2561). บล็อกดินเผาสำหรับปลูกต้นไม้ในแนวตั้ง. สืบค้นจาก <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=49219>.
- พี แอนด์ เอ็น ฮอร์ตติคัลเจอร์. (2567). สวนแนวตั้ง Empire Tower สาทร. สืบค้นจาก <https://www.one2trees.com/album/10364/สวนแนวตั้ง-empire-tower-สาทร>.
- ภักนัย ทองทิอัมพร. (2544). ฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 49(157), 21-22.
- วิกิพีเดีย. (2567). การถ่ายเทความร้อน (Heat-transmittance). สืบค้นวันที่ 8 มีนาคม 2567 จาก <https://th.m.wikipedia.org/wiki/ไฟล์:Heat-transmittance-means1.jpgg>.
- เสริม จันท์ฉาย. (2561). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. สืบค้นจาก <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11494.pdf>.

- Arminda, W., & Kamaruddin, M. (2021). Heat transfer through building envelope materials and their effect on indoor air temperatures in tropics. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(2), 403-410.
- Baruch, G. (1994). *Passive low energy cooling of buildings*. New York: John Wiley & Sons.
- Cheer System. (ม.ป.ป.). คุณลักษณะของฉนวนกันความร้อน. สืบค้นจาก <https://www.cheersystem.com/index.php/2016-09-20-21-09-09>.
- Daemei, A. B., Shafiee, E., Chitgar, A. A., & Asadi, S. (2021). Investigating the thermal performance of green wall: Experimental analysis, deep learning model, and simulation studies in a humid climate. *Building and environment*, 205, 108201.
- DeKorne, C. (2019). *Heat transfer through buildings*. Retrieved from https://www.jlconline.com/training-the-trades/heat-transfer-through-buildings_o.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland, OR: Timber press.
- Emmanuel, R. (2005). *An urban approach to climatesensitive design: Strategies for the tropics*. London: Spon Press.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Francis, R. A., & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. *Journal of environmental management*, 92(6), 1429-1437.
- Harish, V. S. K. V., Singh, N. K., Kumar, A., Doshi, K., & Sant, A. V. (2022). Fundamentals of energy transfer in buildings. In *Renewable Energy Integration with Building Energy Systems* (pp. 1-13). London: CRC Press.
- Hien, W. N., Yok, T. P., & Yu, C. (2007). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, 42(1), 25-54.
- Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and buildings*, 34(6), 667-684.

- Incropera, F. P., Dewitt, D., Bergman, T., & Lavine, A. (1996). *Fundamentals of Heat and mass transfer*. New York: Wiley.
- International Organization for Standardization. (1998). *ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*. Geneva: Distributed through American National Standards Institute.
- Jain, R., & Janakiram, T. (2016). Vertical gardening: A new concept of modern era. In N.L. Patel, S.L. Chawla and T.R. Ahlawat (Eds.), *Commercial horticulture* (pp. 527-536). New Delhi, India: New India Publishing Agency.
- Jannat, N., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A. (2020). A comparative simulation study of the thermal performances of the building envelope wall materials in the tropics. *Sustainability*, 12(12), 4892.
- Kittipong. (2561). 6 ไอเดียประหยัดพื้นที่ ‘จัดสวนแนวตั้ง’ เพิ่มความสดชื่นด้วยพื้นที่สีเขียวมุมโปรด. สืบค้นจาก <https://www.naibann.com/6-idea-garden-tiny-space/>.
- Kusuda, T. (1977). Fundamentals of building heat transfer. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 82(2), 97-106.
- Netatmo. (n.d.). *Smart home weather station*. Retrieved from <https://www.netatmo.com/en-gb/weather/weatherstation>.
- Nouveauraw AmieSue. (n.d.). *Golden pothos plant | Care difficulty-easy*. Retrieved from <https://nouveauraw.com/indoor-plants/varieties/pothos-golden-pothos-plant/>.
- Nowak, D. J. (2002). *The effects of urban trees on air quality*. Retrieved from https://www.nrs.fs.fed.us/units/urban/local-resources/downloads/Tree_Air_Qual.pdf.
- Oyama, L. S., Pagliarini, M. K., Buschieri, C. M., dos Santos, P. L. F., & de Castilho, R. M. M. (2021). Vertical gardens: Manufacturing materials proposal. *Research, Society and Development*, 10(7), e41510716709-e41510716709.
- Parker, D. E. (2010). Urban heat island effects on estimates of observed climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 123-133.
- Porntiwa. (2563). 10 โปรเจกต์ “สวนแนวตั้ง” สุดชิค เพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ชุมชนเมือง. สืบค้นจาก <https://www.buildernews.in.th/archdesign-cate/36444>.

- Ranchana, P., Vasudevan, V., Vinodh, S., Benny, E., Samyuktha, C., & Gowtham, K. (2023). Green wall: A recuperative strategy for urban life style. *The Pharma Innovation*, 12(5), 2929-2937.
- Rohsenow, W., Cho, Y., & Hartnett, J. (1998). *Handbook of heat transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R., & Baharvand, M. (2014). Thermal impacts of vertical greenery systems. *Environmental and Climate Technologies*, 14(1), 5-11.
- Sharma, A., Conry, P., Fernando, H. J. S., Hamlet, A. F., Hellmann, J. J., & Chen, F. (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters*, 11(6), 064004.
- Widiastuti, R., Prianto, E., & Budi, W. S. (2016). Performance evaluation of vertical gardens. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 5, 13-20.
- World Energy Council. (2013). *World Energy Resources: 2013 Survey*. Retrieved from <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-resources-2013-survey>.
- Yang, L., Qian, F., Song, D. X., & Zheng, K. J. (2016). Research on urban heat-island effect. *Procedia engineering*, 169, 11-18.

ประวัติเจ้าของผลงาน

ชื่อ-นามสกุล

วดีภรณ์ อิ่มอาเทศ

อีเมล

Wdp.131210@gmail.com

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาออกแบบภายใน

ประสบการณ์ทำงาน



**BANGKOK
UNIVERSITY**
THE CREATIVE UNIVERSITY