สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอนของแผงบังแดด โดยใช้พืชใบแคบ และใบกว้าง

นายเอกรัชต์ ปานแร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THERMAL PERFORMANCES AND PM. 2.5 FILTRATION EFFICIENCY OF LIVING WALL WITH NARROW LEAF AND BROAD LEAF PLANT

Mr. Akarat Panrare

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Architecture
Department of Architecture
FACULTY OF ARCHITECTURE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอนของแผงบังแดดโดยใช้พืชใบแคบ และใบกว้าง
โดย	นายเอกรัชต์ ปานแร่
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารณี จารีมิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เอกรัชต์ ปานแร่ : สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอนของแผงบังแดดโดยใช้พืชใบแคบ และใบกว้าง. (THERMAL PERFORMANCES AND PM. 2.5 FILTRATION EFFICIENCY OF LIVING WALL WITH NARROW LEAF AND BROAD LEAF PLANT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นในการใช้ Living wall เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดักจับฝุ่นละออง PM2.5 ที่เป็นปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศ ศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์ในการบังแดดของพืชไม่ผลัดใบโดยเปรียบเทียบระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้างและช่วยในการลดความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งเป็นการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร และการลดอุณหภูมิภายนอกที่มีการติดตั้งแผงบังแดด แผงบังแดดและต้นพลูด่าง แผงบังแดดและต้นเศรษฐีเรือนนอก การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การลดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และการลดการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคาร

สำหรับฝุ่นขนาดเล็ก PM2.5 ที่เป็นปัญหาในพื้นที่ที่มีการจราจรคับคั่ง เมื่อติดตั้ง Living wall จะสามารถลดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ร้อยละ 17.96-20.95

Living wall สามารถลดการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคารได้ดี เมื่อติดตั้งในทิศตะวันตกจะสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารลงถึง 1.49-3.66 องศาเซลเซียส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิในช่วงบ่ายดีกว่าช่วงเช้า โดยลักษณะใบของต้นพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ส่งผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเนื่องจากค่า SC อยู่ในช่วง 0.05-6.06 ซึ่งไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานตลอดทั้งปี และการลดฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่อาคาร ยังคงให้ผลดีกว่าการติดตั้งแผงบังแดดเพียงอย่างเดียว

จากผลการทดลอง พบว่าพลูด่างสามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าถึงร้อยละ 11.08 โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี และมีค่าความหนาแน่นของพุ่มใบเท่ากับ 5.66 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเศรษฐีเรือนนอกที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าถึงร้อยละ 8.57 โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี และมีค่าความหนาแน่นของพุ่มใบเท่ากับ 2.4 จะพบว่าพลูด่างให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดจึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นพืชที่ปลูกในแผงบังแดดเพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....

6173580425 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD:

Akarat Panrare : THERMAL PERFORMANCES AND PM. 2.5 FILTRATION EFFICIENCY OF LIVING WALL WITH NARROW LEAF AND BROAD LEAF PLANT. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

This research focuses on the use of a living wall that acts as a dust collector, PM2.5, which is an air pollution problem. Study on the shading coefficient of evergreen plants by comparing narrow and broad leafy plants. Chlorophytum comosum was chosen for a narrow leafy plant and Epipremnum aureum was chosen for a broad leafy plant. Besides, a living wall reduces solar heat gain through a building façade which decreases the whole building energy consumption. The experimentation in this research consists of, the reduction of particulate matter, and the reduction of solar heat gain.

By the experimentation of the reduction of particulate matter, it appears that a living wall can reduce the amount of particle matter entering the building up to 17.96 – 20.95 %.

By the experimentation of the reduction of solar heat gain, it appears that a living wall can reduce the solar radiation as well. When installed in the west, it reduces an indoor temperature up to 1.49 – 3.66 °C, which is more effective in reducing afternoon temperatures than in the morning. The leaf characteristics of the plants used in this research did not affect the reduction of solar heat gain into the building because the SC value was in the range 0.05-6.06 which was not different. When considering the whole building energy consumption and reduction of particle matter entering the building, the living wall is still better than using only a sunshade.

From the experiment result, comparing of Epipremnum aureum, which can reduce the building energy consumption by 11.08% with a 1-year payback period and the bush density of 5.66, and Chlorophytum comosum, which can reduce the building energy consumption by 8.57% with a 1 year payback period and the bush density of 2.4, it appears that Epipremnum aureum has the better result to be considered for the living wall.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Architecture	Student's Signature ....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ทั้งมิตรภาพ ความรู้ และแรงบันดาลใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่ให้คำปรึกษาพร้อมชี้แนะแนวทางทีถูกต้องในการทำวิจัย ชี้ให้เห็นข้อบกพร่องผิดพลาด และข้อจำกัดของผู้เขียนที่ต้องพัฒนาตัวเองต่อไป รวมไปถึงกรรมการวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่าน ผศ.ดร วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน ที่วิพากษ์วิจารณ์วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้อย่างเข้มข้นจริงจังจนทำให้เห็นจุดอ่อนในการศึกษา ขอบคุณอาจารย์ประจำคณะสถาปัตยกรรมทุกท่าน ที่บ่มเพาะให้ผู้เขียนได้เกิดมุมมองใหม่ของงานด้านสถาปัตยกรรมที่เต็มไปด้วยรายละเอียดที่มากมาย ขอบคุณอาจารย์ภายนอกทุกท่านที่ทำหน้าเป็นวิทยากรรับเชิญที่สละเวลามาให้ความรู้ และมุมมอง และแนวคิดที่หลากหลายในการทำงานวิจัย โดยเฉพาะอาจารย์ จุลพร นันทพานิช ที่สร้างแรงบันดาลใจและแนวคิดบางสิ่งบางอย่างในการออกแบบด้านสถาปัตยกรรมกับผู้เขียน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาทุก ๆ ท่านที่ทำหน้าที่ได้อย่างไม่ขาดตกบกพร่อง ขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้องทุกคนที่ได้ร่วมศึกษา และเป็นส่วนหนึ่งของกำลังใจดีที่ทำให้ผู้เขียนสามารถผ่านทุกช่วงเวลามาได้ด้วยดี และที่สำคัญที่สุด ขอบคุณความรัก และความเชื่อมั่นจากครอบครัว พ่อ แม่ ภรรยา และบุตรชายของผู้เขียนทั้งสองคน

เอกรัชต์ ปานแร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค
บทคัดย่อภาษาไทย .... ค
.... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง
กิตติกรรมประกาศ .... จ
สารบัญ .... ฉ
สารบัญภาพ .... ซ
สารบัญตาราง .... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 หลักการของอาคารเขียว 9
2.2 ทิศทางการออกแบบอาคารตามมาตรฐานการออกแบบอาคาร WELL Building Standard เรื่อง การออกแบบแสงและทิวทัศน์สาหรับพื้นที่ทำงาน 12
2.3 ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคาร (OTTV) เกณฑ์การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (OTTV) 13
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร 20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 ตัวแปรในงานวิจัย 33
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย 33
3.3 การวิเคราะห์สถานที่ในการดำเนินการวิจัย 34
3.4 การทดลองเบื้องต้น 71
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง 75
4.1 เปรียบเทียบคุณภาพอากาศในแต่ละช่วงเวลา 75
4.3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 78
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 84
5.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัย 84
บรรณานุกรม 87
ประวัติผู้เขียน 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนผังงานวิจัย 6
ภาพที่ 2 แนวโน้มปริมาณ PM2.5 พ.ศ. 2554-2561 8
ภาพที่ 3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก 14
ภาพที่ 4 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบจุดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ 16
ภาพที่ 5 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง 17
ภาพที่ 6 สมการค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร 19
ภาพที่ 7 ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของรังสีอาทิตย์ 21
ภาพที่ 8 ลักษณะการไหลผ่านกระจกของคลื่นที่ความยาวต่างกัน 21
ภาพที่ 9 ลักษณะการไหลผ่านช่องเปิดของคลื่นรังสีเข้ามาในตัวอาคาร 22
ภาพที่ 10 แสดงลักษณะของพืชไม้เลื้อยที่มีลักษณะการเกาะเลื้อยที่ผิวผนังที่แตกต่างกัน 26
ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบรังสีความร้อนที่ผนังได้รับ ก่อนและหลังการติดตั้ง Green wall 27
ภาพที่ 12 การติดตั้ง Green wall ให้ใบพืชเอียงออกด้านนอก 28
ภาพที่ 13 การติดตั้ง Green wall แบบใช้พืชหลากหลายสายพันธุ์ผสมผสานกัน 29
ภาพที่ 14 ลักษณะของใบไม้ที่มีขนซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดจับฝุ่น โดยขนใบจะช่วยให้ฝุ่นละอองเกาะติดบริเวณผิวใบได้ดีขึ้น 30
ภาพที่ 15 ลักษณะของใบไม้ที่มีผิวมันเรียบซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดจับฝุ่นละออง 30
ภาพที่ 16 ตำแหน่งห้องทดลองที่ติดตั้งแผงบังแดด 34
ภาพที่ 17 แบบจำลองห้องติดตั้งแผงบังแดด 35
ภาพที่ 18 ลักษณะของห้องทดลอง 35
ภาพที่ 19 ลักษณะโครงสร้างเหล็ก 36
ภาพที่ 20 ลักษณะใบของต้นพลูด่าง 37

ภาพที่ 21 ลักษณะของใบต้นเศรษฐีเรือนนอก 38

ภาพที่ 22 ลักษณะแผงบังแแนวตั้ง...38

ภาพที่ 23 พื้นที่จำลองการติดตั้งต้นไม้จริง 39

ภาพที่ 24 พื้นที่เส้นรอบรูปใบพลูด่าง...40

ภาพที่ 25 พื้นที่เส้นรอบรูปใบเศรษฐีเรือนนอก 41

ภาพที่ 26 การติดตั้งโครงเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว เชื่อมติดด้วยตะแกรงเหล็ก 43

ภาพที่ 27 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า..43

ภาพที่ 28 ผังพื้นชั้น 1 ของอาคารกรณี Base Case...45

ภาพที่ 29 ผังพื้นชั้น 2-4 ของอาคารกรณี Base Case...46

ภาพที่ 30 ผังหลังคาของอาคารกรณี Base Case...47

ภาพที่ 31 รูปตัดของอาคารกรณี Base Case...48

ภาพที่ 32 ภาพแบบจำลอง 3 มิติ ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 49

ภาพที่ 33 การตั้งค่าแถบ Project ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 50

ภาพที่ 34 การตั้งค่า Cooling ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 54

ภาพที่ 35 การตั้งค่า Cooling ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 55

ภาพที่ 36 การสร้างแบบจำลองทางเลือก...56

ภาพที่ 37 ภาพแบบจำลอง 3 มิติ กรณีสร้างแผงบังแดด ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 68

ภาพที่ 38 การตั้งค่า SC กรณีติดตั้งแผงเปล่า ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 69

ภาพที่ 39 การตั้งค่า SC กรณีติดตั้งแผงพลูด่าง ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 69

ภาพที่ 40 การตั้งค่า SC กรณีติดตั้งแผงเศรษฐีเรือนนอก ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 70

ภาพที่ 41 ขั้นตอนการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1 70

ภาพที่ 42 อุณหภูมิภายนอกและภายในห้องจำลองช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ในแต่ละช่วงเวลา................72

ภาพที่ 43 ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องจำลองช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ในแต่ละช่วงเวลา...73

ภาพที่ 44 ปริมาณฝุ่นภายนอกและภายในห้องจำลองช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ในแต่ละช่วงเวลา 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 45 เปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นกับเวลา....75

ภาพที่ 46 *การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันอออก*....79

ภาพที่ 47 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศเหนือ....80

ภาพที่ 48 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันตก....81

ภาพที่ 49 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศใต้....82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร....................................23

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร 24

ตารางที่ 3 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)...........................25

ตารางที่ 4 การหาพื้นที่ใบทั้งหมด (พลูด่าง) 40

ตารางที่ 5 การหาพื้นที่ใบทั้งหมด (เศรษฐีเรือนนอก)...40

ตารางที่ 6 สรุปรายละเอียดของอาคารกรณี Base Case 50

ตารางที่ 7 สรุปการตั้งค่าลักษณะของอาคารกรณี Base Case...51

ตารางที่ 8 สรุปคุณสมบัติของพื้น ผนัง และหลังคาของอาคารกรณี Basecase 52

ตารางที่ 9 สรุปคุณสมบัติของช่องเปิดของอาคารกรณี Basecase 52

ตารางที่ 10 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ 52

ตารางที่ 11 รายละเอียดของกรณีทางเลือกต่าง ๆ...57

ตารางที่ 12 ข้อมูลค่า SC กรณีติดตั้งแผงเปล่า 59

ตารางที่ 13 ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นพลูด่าง...61

ตารางที่ 14 ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก 64

ตารางที่ 15 สรุปค่า SC ที่ใช้ในแต่ละกรณีทางเลือก...68

ตารางที่ 16 ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น 71

ตารางที่ 17 ความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละลองขนาดเล็ก อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศภายในและภายนอกของห้องทดลอง..76

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบค่า LAI ของแผงบังแดดที่ปลูกพลูด่าง หรือเศรษฐีเรือนนอก กับอุณหภูมิ ภายในอาคารที่ลดลง และปริมาณฝุ่นที่เข้าสู่ตัวอาคาร...78

ตารางที่ 19 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันออก 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศเหนือ....................................80

ตารางที่ 21 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันตก 81

ตารางที่ 22 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศใต้.......................................82

ตารางที่ 23 แสดงราคาของการติดตั้งแผงและค่าไฟฟ้าที่ลดลง...83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คุณภาพอากาศภายนอกอาคารที่มีมลพิษมากส่งผลให้ประชากรโลกได้รับผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นสาเหตุให้เสียชีวิตถึง 3.7 ล้านคนทั่วโลกในปี ค.ศ. 2012 เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โอโซน ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (WHO, 2014) หน่วยงาน European Environment Agency (EEA, 2014) ได้คาดการณ์ไว้ว่าในช่วงปี ค.ศ. 2012-2014 ประชากรในภูมิภาคยุโรปจะสัมผัสกับฝุ่นขนาด 10 ไมครอน ร้อยละ 50-63 และฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน ร้อยละ 85-91 ซึ่งเป็นปริมาณฝุ่นที่สูงกว่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนดมาตรฐานไว้ คือ สำหรับฝุ่นขนาด 10 ไมครอน มีค่าไม่เกิน 20 มคก./ลบ.ม. และฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน มีค่าไม่เกิน 10 มคก./ลบ.ม. ฝุ่นขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคือง สารเคมีบางชนิดอาจปนเปื้อนมากับฝุ่นและเข้าสู่ร่างกายไปพร้อมกัน เช่น Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) และโลหะหนัก (Riddle et al., 2009) เมื่อฝุ่นเข้าสู่ร่างกายแล้ว สามารถเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิต ทำให้เกิดการอักเสบหรืออาจทำให้เลือดตกตะกอนได้ (Seaton et al., 1995) ฝุ่นละอองขนาดใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีแหล่งกำเนิดมาจากควันจากไอเสียรถยนต์ (เบนซิน และดีเซล) การเผาไหม้และกระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม (Chow et al., 2006) อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมากเกิดจากการขนส่งและปฏิกิริยาเคมีที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง (Photochemical reaction) ที่อาจมีสารพิษ เช่น โลหะหนัก Polyaromatic Hydrocarbon (PAHs) Polychlorinated dibenzo-p-dioxide/Dibenzofuran (PCDD/Fs) และ Polychlorinated Biphenyl (PCB) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Dzierzanowski et al., 2011) มีงานวิจัยที่ศึกษาการนำพืชไม้เลื้อยมาปลูกติดผนัง เพื่อทำเป็น Green wall พบว่าช่วยลดพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกพืชได้ดี ช่วยเป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่อาคาร และช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียว ความหลากหลายทางชีวภาพในเขตเมือง (Alexandri and Jones, 2007, Chiquet et al., 2013, Dover, 2015, Jepson, 2016, Johnston and Newton, 2004) การปลูกพืชไว้บริเวณด้านข้างทางเท้าช่วยลดปริมาณได้ดี (Perini et al., 2017) วิธีการวัดปริมาณฝุ่นได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น คือ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝน ความเร็วลม พืชแต่ละชนิดมีศักยภาพในการลดฝุ่นได้แตกต่างกัน ทั้งลักษณะผิวใบ รูปร่างใบ ขนาดใบ (Dochinger, 1980, Bache, 1979, Wiman, 1985, Beckett et al, 2000, Feer-Smith et al., 2005, Ram et al., 2012) แต่อาจมีฝุ่นปนเปื้อนกลับสู่บรรยากาศเนื่องจาก ลม น้ำฝนที่ตกชะใบพืช ซึ่งปริมาณฝนที่ตกหนักจะส่งผลให้ฝุ่นหลุดออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากใบพืชได้มาก (Udeshika et al., 2018) โดยฝุ่นขนาดใหญ่จะหลุดออกจากใบพืชได้ง่ายที่สุด และพืชที่มีไขปกคลุมผิวใบหนาจะดักจับฝุ่นได้ดีกว่าพืชที่มีผิวใบเรียบลื่น

Living wall หรือ แผงบังแดดที่ใช้พืช จัดเป็นเปลือกอาคารประเภทหนึ่งที่สถาปนิกและผู้ออกแบบควรให้ความสนใจ หรือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการออกแบบอาคาร ที่พักอาศัยในปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับหลักการของอาคารเขียวที่ตอบรับกับสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดสภาวะ น่าสบาย โดยการผสมผสานองค์ความรู้จากการออกแบบอิงธรรมชาติ ให้กลมกลืนเข้ากับเทคโนโลยีสมัยใหม่ (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561) การประยุกต์ใช้พืชมาติดตั้งร่วมกับแผงบังแดด นอกจากช่วยกรองและลดปริมาณฝุ่นละอองที่จะฟุ้งกระจายเข้าสู่ตัวอาคาร รวมทั้งเป็นการสร้างสุนทรียภาพให้กับผู้ใช้อาคาร แล้วยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองอีกด้วยและแผงบังแดดยังสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

ปัจจุบันพบว่าในการออกแบบอาคารส่วนใหญ่นั้น สถาปนิกหรือผู้ออกแบบได้มีการนำกระจกแบบต่าง ๆ และแผงบังแดดมาช่วยในการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดของอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร เนื่องด้วยประเทศไทยมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ทำให้เกิดปัญหาการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารโดยผ่านแผงบังแดด และช่องเปิดของอาคารซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบาย การเลือกใช้กระจก หรือการติดตั้งแผงบังแดด (shading device) สามารถคำนวณหาค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอาทิตย์ออกเป็นค่าตัวเลข ซึ่งสามารถนำไปคำนวณ และประยุกต์ใช้ในการออกแบบได้จริง โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient ; SC) ของอุปกรณ์บังแดด และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient ; SHGC) ในกระจกเป็นค่าที่ปรากฏในสมการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมเข้าสู่อาคาร (Overall Thermal Transfer Value ; OTTV) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการออกแบบอาคารอาคารตามกฎกระทรวงฯ เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาการใช้พลังงานของอาคาร สำหรับใช้ในการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดของอาคาร ดังนั้นถ้าสามารถคำนวณหาค่าความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และค่าการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (SHGC) ที่ใช้ในการคำนวณของแผงบังแดดจากพืชเปรียบเทียบกับวัสดุกระจกแล้ว สถาปนิกหรือผู้ออกแบบสามารถ นำค่าที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการออกแบบ และกำหนดทิศทางการติดตั้งของแผงบังแดดโดยพืชรวมกับผนังกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการใช้ Living wall เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกรองฝุ่นละออง PM 2.5 ที่เป็นปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศ ศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์ในการบังแดดของพืชไม่ผลัดใบโดยเปรียบเทียบระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้างเพื่อช่วยในการลดความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน

อาคารซึ่งเป็นการลดการใช้พลังงานภายในอาคารและการลดอุณหภูมิภายนอกที่มีการติดตั้งแผงบังแดดที่ใช้พืช รวมถึงเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียว และเพิ่มสุนทรียภาพ ภายในและภายนอกให้กับอาคารชุมชนเมืองอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการเพิ่มแนวทางเลือกให้กับสถาปนิกและผู้ออกแบบรวมถึงเจ้าของโครงในการพิจารณาเลือกออกแบบเปลือกอาคารโดยการใช้แผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบเพราะว่าประเทศไทยอยู่ในทวีปเขตร้อนทำให้มีแดดตลอดทั้งปีและช่องเปิดอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองฝุ่นละอองภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารโดยแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้าง

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างใบแคบ และใบกว้าง

1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้าง โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient; SC) ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ

1.2.4 เปรียบประสิทธิผลในการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้าง ผ่านโปรแกรมจำลองพลังงาน (Visual DOE 4.1)

1.2.5 เพื่อนำเสนอแนวทาง รวมถึงเป็นทางเลือกในการออกแบบเปลือกอาคารโดยใช้แผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สามารถแบ่งขอบเขตการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาการกรองฝุ่นละลองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน โดยเปรียบเทียบระหว่างพืชสองชนิดและการศึกษาการลดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงบังแดดในการลดการใช้พลังงานในอาคาร

ส่วนที่ 1 คือ การศึกษาการกรองฝุ่นละลองขนาดเล็ก

1) ศึกษาช่องเปิดของอาคารเพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน โดยเลือกพืชพลูด่างที่เป็นพืชใบกว้างและเศรษฐีเรือนนอกที่เป็นพืชใบแคบ ได้จากการศึกษาข้อมูล และบทความทางด้านพฤกษศาสตร์โดยเป็นพืชท้องถิ่นมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละออง (ผศ.ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย, รศ.ดร.กัมปนาท ภักดีกุล, และ รศ.ดร.สุระ พัฒนเกียรติ, มาตรการระยะยาวเพื่อควบคุม

คุณภาพอากาศให้เหมาะสมโดยใช้พืชพรรณที่มีศักยภาพ ในการดักจับฝุ่นละอองในอากาศ ลงทุนน้อยแต่ได้ผลระยะยาว, https://en.mahidol.ac.th/images/Factsheet_EN_Thamarat.pdf.)

2) ศึกษาช่องเปิดของอาคารเพื่อติดตั้งแผงบังแดดกับผนังอาคารด้านหน้าที่มีช่องเปิดหันหน้าไปด้านทิศตะวันตกและศึกษาประสิทธิภาพการลดความร้อนผ่านแผงบังแดดโดยใช้ร่วมกับพืชใบแคบและใบกว้างซึ่งวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมภายใน ความเร็วลมภายนอก ระหว่างภายในอาคารเปรียบเทียบกับภายนอกอาคาร

ส่วนที่ 2 คือ การศึกษาการลดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

1) ศึกษาช่องอาคารปิดเพื่อหาประสิทธิภาพการลดการแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านแผงบังแดดโดยใช้ร่วมกับพืชไม่ผลัดใบ คือ พลูด่างเศรษฐีเรือนนอก โดยการวัดค่าเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) โดยการสร้างโดเมลจำลองในโปรแกรม Visual DOE ซึ่งเป็นหน้าต่างติดกระจกแบบไม่มีช่องเปิดขนาดอาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 12.50 x 12.50 ม. สูง 6.00 ม.

2) ศึกษาช่องอาคารปิดทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดโดยใช้ร่วมกับพืชไม่ผลัดใบโดยวิธีจำลองผ่านโปรแกรม Visual DOE 4.1 ในการจำลองผบกระทบที่เกิดขึ้นในการติดตั้งแผงบังแดดโดยพืชในทิศต่าง ๆ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

การกำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยรวมไปถึงกระบวนการโดยใช้การคำนวณค่า SC และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบและใบกว้างในการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร

1.4.1 การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านคุณลักษณะพืช และแผงบังแดดโดยพืชประเภทต่าง ๆ รวมถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติในการกรองฝุ่นของพืชไม้ประดับไม่ผลัดใบ เพื่อใช้ในการวิจัย

1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แผงบังแดดโดยพืช เป็นเปลือกอาคารเพื่อกรองฝุ่นละออง
2) ศึกษาทฤษฎีค่าความหนาแน่นของพุ่มใบ (Leaf Area Index, LAI) ของพืชที่มีผลต่อการลดปริมาณฝุ่นละอองเข้าสู่ภายในอาคาร
3) การจำลองห้องเพื่อใช้ในการทดลองเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นโดยผ่านแผงบังแดดที่ใช้พืชใบแคบ และใบกว้างจากสภาพภูมิอากาศจริง

1.4.2 การศึกษาแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยทำการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านช่องเปิดของอาคาร โดยผ่านแผงบังแดดโดยพืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้าง

1) ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2) ศึกษาทฤษฎีการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม้ประดับไม่ผลัดใบ

3) ศึกษาทฤษฎีค่าความหนาแน่นของพุ่มใบของพืชที่มีผลต่อการลดรังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่ภายในอาคาร

4) การจำลองห้องเพื่อใช้ในการทดลองเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการแผ่รังสีอาทิตย์ โดยผ่านแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้าง จากสภาพภูมิอากาศจริง

5) การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานะการณ์ (Visual DOE) เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงบังแดดใช้พืชไม้ประดับไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบและใบกว้างในการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

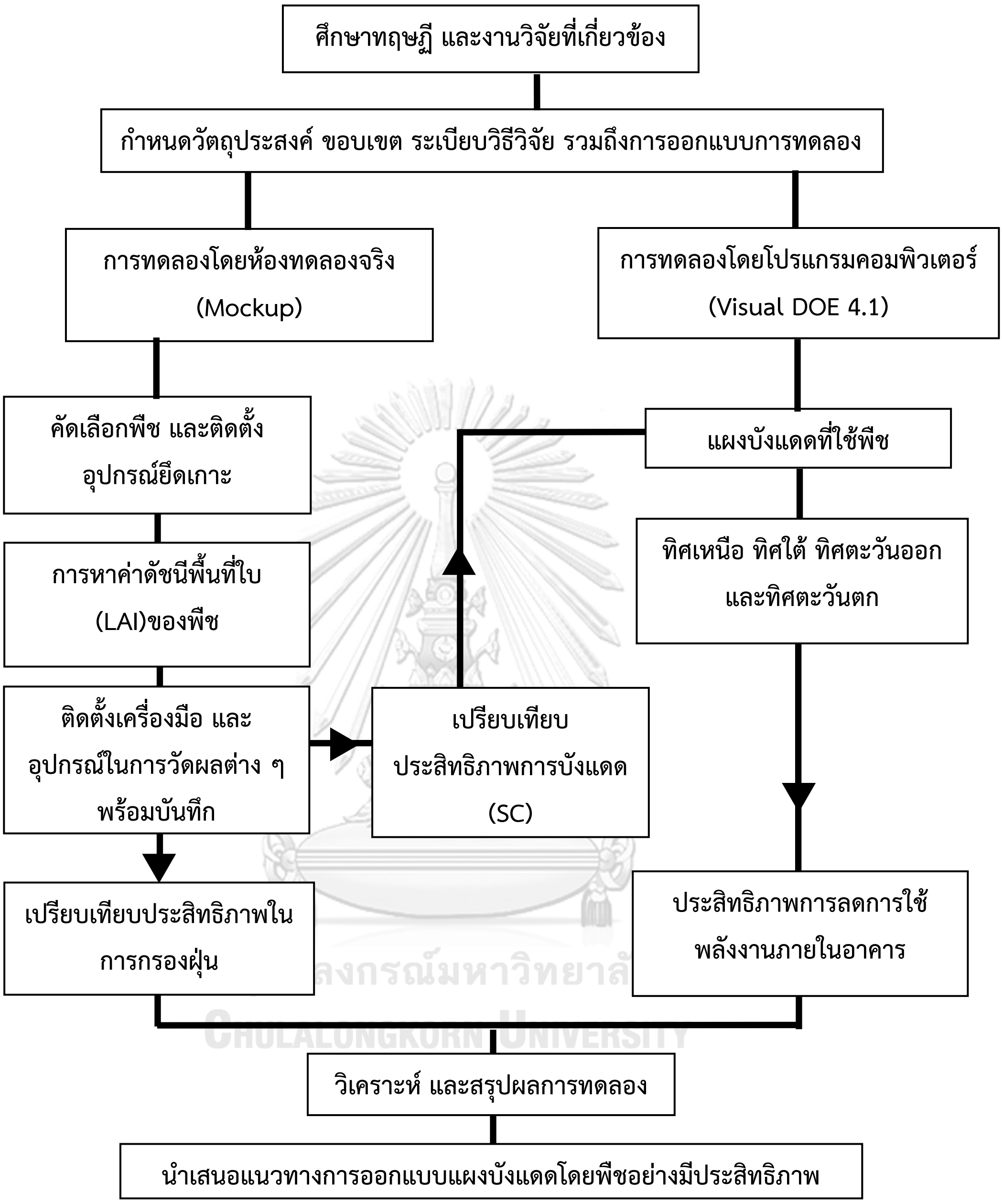
1.5.1 ผลประสิทธิภาพการกรอง และลดปริมาณฝุ่นละอองเข้าสู่ตัวอาคาร เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ไม่มีการติดตั้งแผงบังแดดกับอาคารที่ติดตั้งแผงบังแดดที่ปลูกพืชไม่ผลัดระหว่างใบกว้าง (พลูด่าง) และพืชใบแคบ (เศรษฐีเรือนนอก) และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณฝุ่น

1.5.2 ผลประสิทธิภาพการลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้น ระหว่างอาคารที่ไม่มีการติดตั้งแผงบังแดด กับอาคารที่ติดตั้งแผงบังแดดที่ปลูกพืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบกว้าง (พลูด่าง) หรือพืชใบแคบ (เศรษฐีเรือนนอก) และประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการปรับอากาศที่ลดลงในทิศต่าง ๆ

1.5.3 ผลประสิทธิภาพการลดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคาร เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดระหว่างอาคารที่ไม่มีการติดตั้งแผงบังแดด อาคารที่ติดตั้งแผนบังแดดที่ไม่ปลูกพืช อาคารที่ติดตั้งแผงบังแดดที่ปลูกพืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบกว้าง (พลูด่าง) หรือพืชใบแคบ (เศรษฐีเรือนนอก) และประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการปรับอากาศที่ลดลงในทิศต่าง ๆ

1.5.4 เพื่อเป็นแนวทางเลือกใช้แผงแดดโดยพืชไม่ผลัดใบในการ ออกแบบเปลือกอาคารอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ได้จากการทดลองแทนค่าในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Visual DOE 4.1)

แผนภูมิแสดงระเบียบวิธีวิจัย



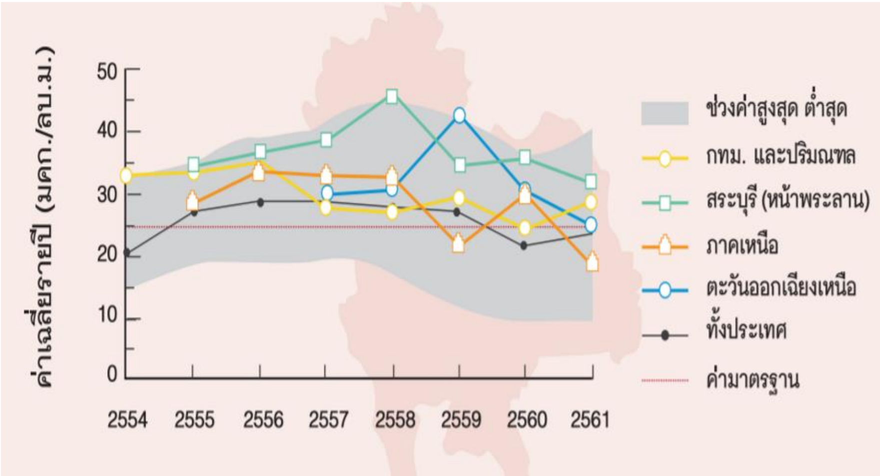
ภาพที่ 1 แผนผังงานวิจัย

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันสถานที่ในเขตเมืองมีพื้นที่สีเขียวลดลงอย่างมากเนื่องมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจทำให้มีการนำพื้นที่ป่า หรือพื้นที่ทางการเกษตรมาใช้ในการก่อสร้างอาคาร บ้านพักอาศัยซึ่งเป็นเหตุมาจากประชากรในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างมากและมีการกระจุกตัวเข้าทำงานในเขตเมืองทำให้ปัจจุบันมีการนำ อาคารเขียว Green Building หรือ นิเวศวิทยาคาร (ecological architect) เป็นแนวความคิดในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่มีรากฐานมาจากสถาปัตยกรรมยั่งยืนที่เกิดขึ้นมาในช่วงเวลาไม่เกิน 30-40 ปีที่ผ่านมา(อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561) สืบเนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานรวมไปถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก เกาะเมืองร้อน รวมถึงการแพร่กระจายของโรคที่เกิดจากสภาพอากาศ มลพิษทางอากาศ เนื่องจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากในเขตเมืองจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าในพื้นที่ชนบทเป็นเหตุมาจากความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากเครื่องปรับอากาศ ท่อไอเสียจากรถยนต์ และในเขตเมืองส่วนใหญ่ก่อสร้างด้วยปูนทำให้มีการดูดซับความร้อนได้สูงมากกว่าการนำวัสดุชนิดอื่นมาใช้ทำให้ในเขตเมืองอุณหภูมิสูงกว่าในชนบทถึง 6 องศาเซลเซียส (Loh, 2008) และช่วงต้นปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยเกิดปรากฏการณ์ฝุ่นปกคลุมอย่างหนาแน่น เป็นเหตุให้ทุกภาคส่วนตั้งแต่หน่วยงานรัฐ สื่อมวลชน และประชาชนควรคำนึงถึงต้นเหตุของมลพิษนั้นคือครั้งแรกที่เรื่องฝุ่น PM2.5 หรือชื่อเต็มคือ Particulate matter with diameter of less than 2.5 micron เป็นฝุ่นละอองขนาดจิ๋วที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เป็น 1 ใน 8 ตัววัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดฝุ่น PM2.5 คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ไอเสียรถยนต์ หรือการจราจร จากข้อมูลโดยกรมควบคุมมลพิษ การเผาไหม้น้ำมันดีเซลบวกกับการจราจรที่ติดขัด น่าจะเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุด
2. อากาศจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม และโรงไฟฟ้า การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล หรือเชื้อเพลิงที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะถ่านหิน
3. การเผาไหม้ในที่โล่ง และในที่ไม่โล่ง การเผาเศษวัสดุเหลือใช้ของภาคการเกษตรเพื่อเตรียมการเพาะปลูก การเผาป่า และการเผาขยะ
4. ความร้ายแรงของฝุ่น PM2.5 สามารถผ่านการกรองของขนจมูก และเข้าสู่ชั้นในสุดของปอดได้ ถึงจะไม่ได้เป็นอันตรายต่อร่างกายแบบเฉียบพลัน แต่ต้องใช้เวลาสะสมถึงจะส่งผลอันตรายของฝุ่น PM2.5 ยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางพาสารอื่น ๆ เข้าสู่ปอดด้วยการให้สารเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกาย เช่น สารก่อมะเร็ง สารโลหะหนัก เป็นต้น



***ภาพที่* 2** *แนวโน้มปริมาณ PM2.5 พ.ศ. 2554-2561*

ปกติแล้วฝุ่น PM2.5 จะเกิดขึ้นมากในช่วงที่เปลี่ยนฤดูกาล จากหน้าหนาวสู่หน้าร้อนในช่วงปลายฤดูหนาวของปีบริเวณความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนจะแผ่ลงมาปกคลุมเป็นระยะทำให้มรสุมตะวนออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนมีกำลังแรงขึ้น ประเทศไทยตอนบนจะมีอุณหภูมิลดลงโดยทั่วไป แต่มีบางช่วงความกดอากาศสูงที่แผ่ลงมาปกคลุมมีกำลังอ่อนลง หรือมีลมสงบประกอบกับมีการผกผันกลับของอุณหภูมิ (Inversion) ในระดับล่างส่งผลให้ระดับเพดานการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในระดับต่ำ การไหลเวียน และถ่ายเทของอากาศไม่ดีจึงทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง หมอก และควัน ในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นสภาพอากาศเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดฝุ่น PM2.5 หากเป็นช่วงเวลาที่ลมสงบนิ่งบรรดาสารพิษทั้งหลายก็จะถูกสะสมไว้ในชั้นบรรยากาศ แต่เมื่อถึงเวลาที่ลมร้อนเริ่มพัดมาฝุ่นเหล่านี้ก็จะถูกพัดให้ลอยสูงขึ้นและค่อยๆ จางหายไปในที่สุด ก่อนจะเกิดการสะสมใหม่เมื่อลมสงบ โดยงานวิจัยนี้อาศัยหลักการอาคารเขียว เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมร่วมถึงแนวทางการออกแบบอาคาร WELL Building Standard เป็นกรอบแนวทางในการศึกษารวมถึงเกณฑ์การใช้ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคารและทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคารมาช่วยสนับสนุนในการวิจัย ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1 หลักการของอาคารเขียว

หลักการของอาคารเขียว คือ การออกแบบให้ตอบรับกับสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดภาวะน่าสบาย ซึ่งเป็นหัวใจหลักของการออกแบบอาคารเขียว ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักดังต่อไปนี้

1. สอดคล้องกับสภาพอากาศ คือ การออกแบบให้ตอบสนองต่อสภาพอากาศ (climate responsiveness) การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างตกแต่งที่ให้อาคารน่าสบาย ไม่ร้อน ไม่หนาว ไม่ชื้น ไม่แห้งเกินไป (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2561)

2. ความน่าสบาย คือ การรักษาสภาวะน่าสบายของมนุษย์ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังต่อไปนี้

2.1 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal comfort) คือ สภาวะที่รู้สึกสบายและพึงพอใจ ไม่ร้อนและไม่เย็นจนเกินไปซึ่งเป็นความรู้สึกสบายต่อสภาพแวดล้อมเป็นผลมาจากพืชสามารถคายความชื้นทำให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิลดลง

2.2 คุณภาพอากาศภายใน (Indoor air quality : IAQ) คือ ภาวะที่อากาศภายในมีสิ่งเจือปนอยู่ โดยลักษณะทางกายภาพในส่วนของขนใบและผิวใบซึ่งมีสารเคลือบผิวอยู่ทำให้มีความสามารถในการดักจับฝุ่นขนาดเล็กในอากาศได้

3. การใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ การนำพลังงานธรรมชาติจากแหล่งต่าง ๆ มาแทนที่พลังงานสกปรกซึ่งเป็นสาเหตุในการทำลายสิ่งแวดล้อม พลังงานที่อาคารสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานจากพืชพันธุ์ (จากการกันแดด และการคายระเหยของน้ำเพื่อสร้างความเย็น) ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบด้วยวิธี passive ช่วยให้อาคารประหยัดพลังงานและเป็นพื้นฐานของบ้านอยู่สบายและยังมีเกณฑ์มาตรฐานการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำหรับการเตรียมความพร้อมการก่อสร้างและอาคารปรับปรุงใหม่ (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for Preparation of New Building Construction & Major Renovation) ความต้องการอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของทุกภาคส่วนของประเทศเริ่มจากนโยบายการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและกฎกระทรวงการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2552 จวบจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2556 สำนักผังเมืองกรุงเทพมหานครได้ออกกฎกระทรวงผังเมืองกรุงเทพมหานครฉบับใหม่ที่เห็นได้ชัดเจนว่าต้องการให้อาคารสิ่งปลูกสร้างใหม่ๆ ที่จะเกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครมีความเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม ทั้งด้านการประหยัดพลังงาน การประหยัดน้ำ การเพิ่มพื้นที่สีเขียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมสาหรับอาคารสร้างใหม่และอาคารปรับปรุงดัดแปลง: ช่วงการออกแบบ ประกอบไปด้วยหมวดการประเมินการออกแบบอาคารให้เป็นอาคารเขียว ได้แก่

1. ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape หรือ SL)

รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ดวงอาทิตย์อยู่ห่างโลกเป็นระยะทาง 150 ล้านตารางกิโลเมตร แต่สามารถส่งพลังงานลงมายังพื้นโลกได้ 420 บีทียู/ตารางฟุต/ชั่วโมง แม้ว่าพลังงานจะไม่สามารถส่งลงมาถึงพื้นผิวโลกได้ทั้งหมดเพราะการสูญเสียระหว่างการเดินทางและจากการสะท้อนในบรรยากาศก็ตาม แต่พลังงานที่ส่งมายังผิวโลกก็จะยังมีอยู่มาก ซึ่งปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกได้รับจะมากหรือน้อยต่างกัน ในแต่ละแห่ง ในแต่ละเวลานั้น ขึ้นอยู่กับระยะทางของความใกล้และไกลจากผิวโลกถึงดวงอาทิตย์ สภาพความแจ่มใสของท้องฟ้า มุมของแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังผิวโลก ระยะเวลาที่แสงแดดตกลงบนผิวโลก รวมถึงกำลังของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมา

อุณหภูมิของอากาศ (Air temperature) ผลที่ทำให้สภาพภูมิอากาศของโลกอบอุ่นนั้นมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยอุณหภูมิที่ตั้งของอาคารโดยรอบ ๆ จะขึ้นอยู่กับลักษณะลม ฟ้า อากาศ ซึ่งปัจจัยพื้นฐานในการศึกษาสภาพอากาศ (Weather) คืออุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน วัน และแม้กระทั่งรายชั่วโมง ดังนั้นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน (Daily mean temperature) จึงใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดนำมารวมกันแล้วหารสอง ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือน (Monthly mean temperature) จะใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละวัน รวมกันแล้วหารด้วยจำนวนวัน ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของปี (Yearly mean temperature) จะใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละเดือนรวมกันแล้วหารด้วยสิบสอง การหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้มุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน (กวีวัชร์ เสถียร, 2557)

ความชื้นและฝน (Humidity and precipitation) ความชื้น คือ ละอองไอน้ำในอากาศสามารถกล่าวได้หลายทาง แต่ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ คือ ความชื้นสัมพัทธ์และจุดที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์สามารถวัดได้จากอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำในอากาศกับจำนวนของไอน้ำสูงสุดที่อากาศในอุณหภูมินั้นสามารถอุ้มอยู่ได้ โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง อากาศจะมีความแห้งสนิท ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายถึง อากาศอยู่ที่จุดอิ่มตัว นั่นคือ ณ อุณหภูมินั้น ๆ อากาศจะไม่สามารถอุ้มไอน้ำอีกต่อไปได้ จึงกลั่นตัวเป็นฝน หมอก หรือน้ำค้าง

การเคลื่อนไหวของอากาศหรือลม (Air movement or wind) การเคลื่อนไหวของอากาศ ที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศและความแตกต่างของอุณหภูมิ เรียกว่า ลม ซึ่งลมหรือ

อากาศจะเคลื่อนที่ก็ต่อเมื่ออากาศที่มีอุณหภูมิสูงลอยตัวขึ้นแล้วอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้าไปแทนที่ เช่นเดียวกับอากาศที่มีความกดอากาศสูง จะไหลไปหาอากาศที่มีความกดอากาศต่ำที่มีน้ำหนักเบากว่า ทั้งนี้ในบริเวณที่มีความสูง ความหนาแน่นของอากาศจะลดลง ทำให้กระแสลมมีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ

การระเหย (Evaporation) เป็นกระบวนการที่น้ำในสถานะที่เป็นของเหลว แปรเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอน้ำหรือก๊าซ เรียกว่า การระเหย (Evaporation) กระบวนการระเหยน้ำเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีพลังงานถ่ายเทเข้าสู่พื้นผิว และความดันไอน้ำในอากาศจะต้องอยู่ต่ำกว่าค่าที่อิ่มตัว (e_s) การที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำนั้น จำเป็นต้องการพลังงานที่มากพอ เพื่อเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ ซึ่งพลังงานจำนวนนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะได้รับจากความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อากาศรอบ ๆ นั้นสูญเสียความร้อน (ความร้อนแฝง) และทำให้อุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่ต้องการให้น้ำ 1 กรัมระเหยกลายเป็นไอจะมีค่าเท่ากับ 600 แคลอรี่ และในทางกลับกันกระบวนการกลั่นตัวของน้ำทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนออกสู่อากาศรอบ ๆ จึงทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ทั้งนี้อัตราการระเหยน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ที่สำคัญจะมีอยู่สองปัจจัยคือ ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวที่พื้นผิวระเหย (เช่น ผิวน้ำ) กับความดันไอน้ำในอากาศและพลังงานที่ถ่ายเทมาสู่พื้นผิวระเหย (สุภาภรณ์ ศิริโสภณา และคณะ, 2552)

ที่ตั้งอาคาร (Site) การพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของที่ตั้งอาคาร มีความสำคัญในการปรับสภาพความเย็นภายในอาคารเป็นอย่างมาก โดยสภาพภูมิอากาศบริเวณอาคาร (Micro climate) และลักษณะที่ตั้งอาคารจะส่งผลโดยตรงต่อการวางแผนผังอาคารและกลุ่มอาคาร ส่วนภูมิประเทศและพืชพันธุ์รอบอาคารก็จะส่งผลกระทบโดยตรงกับความสบายแบบธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งการเพิ่มและลดความร้อนให้กับอากาศในบริเวณส่วนประกอบของที่ตั้ง (Site element) ที่เป็นส่วนช่วยปรับแต่งสภาวะแวดล้อมบริเวณอาคารที่เกี่ยวข้องกับความร้อน – เย็น (Thermal environment) ส่วนต้นไม้และพืชพันธุ์ต่าง ๆ จะช่วยเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงแดดเป็นไอน้ำและก๊าซอื่นๆ การหายใจพร้อมกับการคายความชื้นให้อากาศของต้นไม้ มีผลทำให้อากาศเย็นลง กลุ่มพืชที่หนาแน่นสามารถทำให้อุณหภูมิของอากาศในร่มลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป ใบที่หนาแน่นของต้นไม้จะช่วยบังแดดให้อาคารและบริเวณอาคารได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ต้นไม้ยังช่วยปรับทิศทางการเคลื่อนไหวของลมได้อีกด้วย ในบริเวณที่โล่ง ลักษณะไม้ที่ไม่ทิ้งใบสามารถเป็นแนวปะทะลมที่ดีได้ และในที่อากาศหนาวเย็นต้นไม้ผลัดใบเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มความแรงของแสงแดดในฤดูหนาว นอกจากนี้ ต้นไม้ยังช่วยในการกรองฝุ่น และซับเสียง สีของดอกไม้และใบไม้จะให้ความรู้สึกที่สดชื่นร่มเย็น (กวีวัชร์ เสถียร, 2557)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere หรือ EA)

เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดมาจากการใช้พลังงาน

3. คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality หรือ IE)

เพื่อยืนยันถึงสุขอนามัยที่ดีของผู้ใช้อาคารทางด้านความเหมาะสมของการระบายอากาศ

4. การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection หรือ EP)

เพื่อเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการขยะหรือเศษวัสดุเพื่อนากลับมาใช้ใหม่ ที่จะส่งผลกระทบต่อสถานที่ถมทิ้ง(Landfills) เมื่อเปิดใช้งานอาคารแล้ว

เพื่อจัดวางเครื่องระบายความร้อนของระบบปรับอากาศ ในตาแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนราคาญต่อสภาพแวดล้อมใกล้เคียงอาคาร

เพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนแสงของอาคารสู่สภาพแวดล้อมที่เกิดจากกระจกภายนอกอาคาร

2.2 ทิศทางการออกแบบอาคารตามมาตรฐานการออกแบบอาคาร WELL Building Standard เรื่อง การออกแบบแสงและทิวทัศน์สาหรับพื้นที่ทำงาน

WELL Building Standard มาตรฐานการออกแบบอาคาร (กระทรวงพลังงาน, 2553) ที่คำนึงถึงสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้อาศัย ซึ่งมาตรฐานนี้จะต้องมีการตรวจประเมินผลตรวจสอบประสิทธิภาพ และออกหนังสือรับรอง ดังนี้

1. อากาศ (Air)
2. แสงและทิวทัศน์ (Light)
3. สุขภาพทางด้านจิตใจ (Mind)

จากการออกแบบตามมาตรฐานของ WELL Building ซึ่งทำให้ลดความเป็นพิษของอากาศที่เข้าสู่ตัวอาคาร ลดแสงจากที่จ้าจากแสงแดดที่ส่องลงมาหรือเป็นการสะท้อนออกจากตัวอาคารในรูปการแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากเกณฑ์ดังกล่าวเป็นเกณฑ์ของอาคารเขียว WELL Building ซึ่งภาครัฐหรือองค์การนานาชาติด้านสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีการกำหนดเป็นมาตรฐานขึ้น โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการให้คะแนนตามรายการ (Checklist) หรือเรียกว่าแบบประเมินอาคาร ซึ่งปัจจุบันทั่วโลกได้พัฒนาแบบประเมินของตนเองออกมา เช่นในประเทศอังกฤษ ได้มีการพัฒนาแบบประเมินอาคารเขียวเรียกว่า BREEAM (Building Research Establishment’s Environmental Assessment Method)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หรือในประเทศสหรัฐอเมริกาก็มีหน่วยงาน The U.S. Green Building Council (USGBC) ได้พัฒนาแบบประเมินอาคารที่เรียกว่า LEED หรือ Leadership in Energy & Environmental Design

2.3 ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคาร (OTTV) เกณฑ์การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (OTTV)

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการกำหนดมาตรฐานในการพิจารณาการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยมีสมการคำนวณ (กระทรวงพลังงาน, 2552) ดังนี้

$$OTTV = (U_w)(1\text{-}wwr)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร – องศาเซลเซียส ($W/(m^2.°C)$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่ง หรือกระจก มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2.\ °C)$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นองศสเซลเซียส (°C)

SHGC = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR = ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

เมื่อพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ ของสมการจะพบว่า ในส่วนของตัวแปรของวัสดุประกอบอาคารที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อช่องเปิดอาคารคือค่า SC และค่า SHGC ซึ่งทั้งสองค่านี้ถือเป็นตัวแปรที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการในการควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคารได้โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแนวทางการออกแบบหรือหน้าที่ใช้สอยของตัวอาคาร

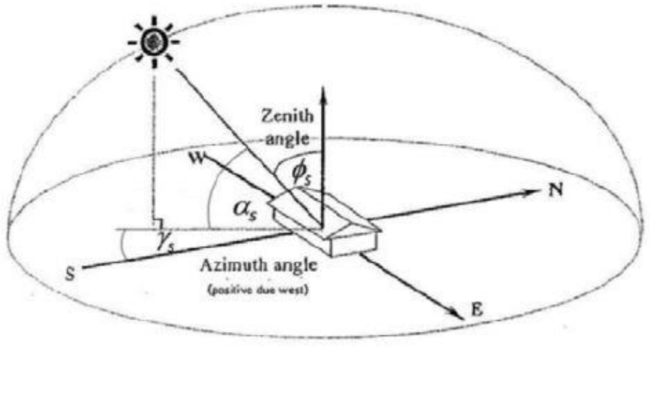
2.3.1 ทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient, SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง (กระทรวงพลังงาน, 2552) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดเกิดจากผล 2 ปัจจัยหลัก คือ

1. ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดด
2. รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

การคำนวณตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์กันแดด

การหาตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดดจะคำนึงถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใด ๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Altitude, α_s) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Azimuth, Y_s) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก (กระทรวงพลังงาน, 2552)



ภาพที่ 3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก (กระทรวงพลังงาน, 2552)

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดดของมุมต่าง ๆ ดังรูปที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามธรรมชาติจากทิศตะวันออก

ไปทิศตะวันตก และสามารถหาได้โดยการคำนวณหาเวลาสุริยะ (Solar Time) ซึ่งเป็นเวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงของดวงอาทิตย์ จากสมการต่อไปนี้

$$t_s = t_l - 4(L_{gs} - L_{gl}) + E_{qt}$$

เมื่อ t_s = เวลาสุริยะ

t_l = เวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{gs} = เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก

L_{gl} = เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณาสำหรับประเทศไทย ให้ใช้ค่าเท่ากับ 100.5 องศาตะวันออก

E_{qt} = สมการของเวลา (Equation of Time) หรือผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติ มีหน่วยเป็นนาที

โดยสมการของเวลา (Equation of Time, E_{qt}) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{qt} = 9.87 (\sin 2B) - 7.53(\cos B) - 1.5Z\sin B)$$

$$B = (360°) (j_d - 81) / 364$$

เมื่อ j_d = วันจูเลียน (Julian Date) คือ ลำดับที่ของวันในหนึ่งปี

เช่น 1 = วันที่ 1 มกราคม หรือ 150 = วันที่ 1 มิถุนายน เป็นต้น

นอกจากนี้ การคำนวณหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของมุมยกขึ้นหรือมุมเงยของดวงอาทิตย์ (Altitude, α_s) และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Azimuth, Y_s) ยังสามารถคำนวณจากสมการ

$$\sin\alpha_s = (\sin L_t)(\sin\delta) + (\cos L_t)(\cos\delta)(\cos\omega)$$

$$\sin Y_s = (\cos\delta)(\cos\omega) / (\cos\alpha_s)$$

เมื่อ L_t = เส้นรุ้ง (Latitude) ของตำแหน่งที่พิจารณา

เช่น กรุงเทพมหานครให้ใช้ค่าเท่ากับ 13.7 องศาเหนือ

δ = มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ หรือมุมเดคลิเนชั่น (Declination Angle) คือมุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตร มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์สำหรับวันจูเลียน (j_d) ใด ๆ หน่วยเป็นเรเดียน (rad) สามารถหาได้จากสมการ

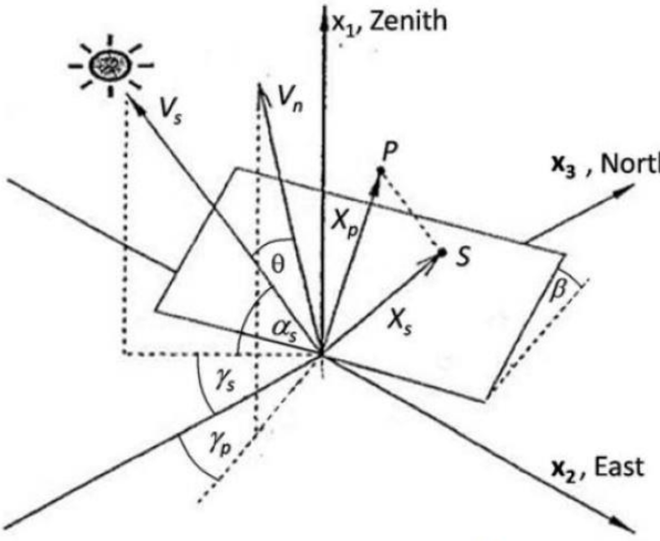
$$\delta = 23.45\sin [(360°)(284 + j_d) / 365]$$

ω = มุมแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก่อนหรือหลังเวลาเที่ยงสุริยะ (Solar Hour Angle) มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad) โดยหาได้จากสมการ

$$\omega = \pi (t_s + 12) / 12$$

2.3.2 การคำนวณรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

การคำนวณหารูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ทำมุมใด ๆ กับดวงอาทิตย์จะกำหนดระนาบและมุมต่าง ๆ ได้ ดังรูป



ภาพที่ 4 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบจุดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (กระทรวงพลังงาน, 2552)

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า แกนพิกัด X1, X2, X3 ถูกกำหนดด้วยเส้นซีนิธ (Zenith) ตะวันออกและทิศเหนือ โดยสำหรับเวคเตอร์แสดงทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวคเตอร์, V_s^x) และเวคเตอร์ของระนาบเอียง (V_n^x) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบเอียง สามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$V_s^x = \begin{bmatrix} \sin\alpha_s \\ -\cos\alpha_s \cdot \sin\gamma_s \\ -\cos\alpha_s \cdot \cos\gamma_s \end{bmatrix}$$

$$V_n^x = \begin{bmatrix} \cos\beta \\ -\sin\beta \cdot \sin\gamma_p \\ -\sin\beta \cdot \cos\gamma_p \end{bmatrix}$$

และเมื่อมุม θ คือมุมระหว่างเวคเตอร์ทั้ง 2 ให้คำนวณหาค่า cosθ จากสมการดังต่อไปนี้

$\cos\theta = (V_s^x , V_n^x)$

$= (\sin\alpha_s)(\cos\boldsymbol{\beta}) + (\sin\alpha_s)(\mathit{sin}Y_s)(\sin\boldsymbol{\beta})\ (\mathit{sin}Y_p) + (\cos\alpha_s)(\mathit{cos}Y_s)(\sin\boldsymbol{\beta})(\mathit{sin}Y_p)$

เมื่อ **β** = มุมเอียง (Inclination Angle) ของระนาบที่พิจารณา

Y_p = มุมอะซิมุทของระนาบที่พิจารณา (Azimuth of Surface)

$\cos\theta$ = โคซายน์ของมุมระหว่างระนาบที่พิจารรากับทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวคเตอร์)

การคำนวณหาริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตน์ที่ตกกระทบช่องเปิดของระนาบใด ๆ ที่ไม่มีการบังแดดของอุปกรณ์บังแดด สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{et\theta} = E_{es}\cos\theta + E_{ed}\,[(1+\cos\beta)/2]$$

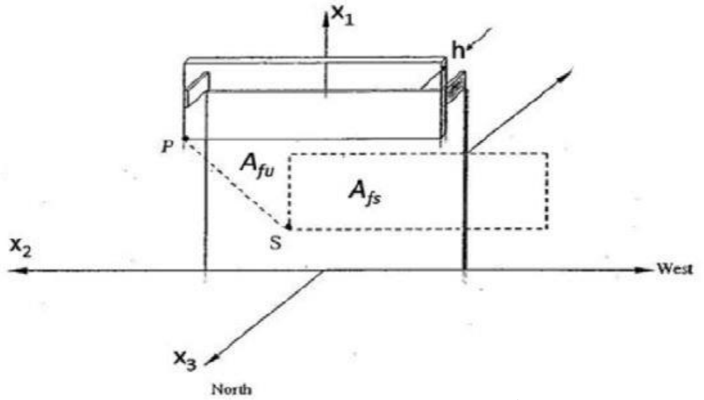
เมื่อ E_{et} = รังสีตรงของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

E_{ed} = รังสีกระจายของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

และเมื่ออุปกรณ์บังแดดได้บังรังสีดวงอาทิตย์ที่จะตกลงสู่ระนาบใด ๆ ของช่องเปิด จะสามารถคำนวณหาจุดที่เกิดเงาที่อยู่เหนือระนาบนั้น ๆ ตามตัวแปลในรูปที่ 2
โดยกำหนดให้ X_p เป็นเวคเตอร์แสดงพิกัดของจุด P ซึ่งอยู่เหนือระนาบที่พิจารณาและให้ระยะทางจากระนาบเอียงถึงจุด P เท่ากับ h และกำหนดให้ S เป็นเงาของจุด P ที่ตกลงบนระนาบที่พิจารณาเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ เวคเตอร์ X_s แสดงพิกัดของจุด S เวคเตอร์ X_s เวคเตอร์ X_p และเวคเตอร์ V_s^x มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$X_s = X_p - [(h\,V_s^x)/\cos\theta]$$

อย่างไรก็ตามเงาจะเกิดบนระนาบนั้น ๆ ก็ต่อเมื่อจุดที่เกิดเงาอยู่บนระนาบในขณะที่ดวงอาทิตย์หันหน้าเข้าสู่ระนาบนั้น ๆ ด้วย และเมื่อพิจารณาอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่างดังรูปด้านล่าง



ภาพที่ 5 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง

(กระทรวงพลังงาน, 2552)

จากรูปถ้าหน้าต่างหันไปทางทิศเหนือ จุด P คือจุดที่อยู่ที่มุมของอุปกรณ์บังแดด ถ้าพิกัดของจุด P แทนด้วย Xp พิกัดของจุด S หรือจุดเงาที่เกิดขึ้นบนระนาบของหน้าต่างอันเนื่องมาจากจุด P แทนด้วย Xs และ h คือระยะห่างของแผงบังแดดกับช่องเปิด จะทำให้เกิดพื้นที่ 2 ลักษณะ คือ

1. พื้นที่ A_{fs} คือพื้นที่ที่เกิดเงาบนช่องเปิด พื้นที่นี้จะไม่ได้รับรังสีตรง (Bean, E_{es}) จากดวงอาทิตย์ แต่จะได้รับอิทธิพลบางส่วนจากรังสีกระจาย (Diffuse, E_{ed})
2. พื้นที่ A_{fu} คือพื้นที่ที่ไม่เกิดเงาบนช่อง พื้นที่นี้จะได้รับอิทธิพลของทั้งรังสีตรง (Bean, E_{es}) และบางส่วนจากรังสีกระจาย (Diffuse, E_{ed})

สำหรับช่องเปิดที่ทำมุมเอียง และมีพื้นที่ที่ไม่ได้อยู่ใต้เงา (A_{fu}) จากที่ทั้งหมดของช่องเปิด (A_f) สามารถคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนช่องเปิด (E_{ew}) ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$E_{ew} = (A_{fu} / A_f)(E_{es})(\cos\theta) + (E_{ed})[(1+\cos\beta)/2]$$

2.3.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ภายนอกอาคาร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SC = E_{ew} / E_{et\theta}$$

เมื่อ E_{ew} = รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนช่องเปิดที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

$E_{et\theta}$ = รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนช่องเปิดที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์ของอุปกรณ์บังแดด (SC) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของผลรวมปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบหน้าต่างที่พิจารณาตลอดช่วงเวลาการใช้อาคารในแต่ละวันของวันอ้างอิง 4 วัน (21 มีนาคม, 22 มิถุนายน, 23 กันยายน และ 22 ธันวาคม) ต่อผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนช่องเปิดนั้น ๆ เสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีสามารถหาได้จากสมการ

$$(SC)_y = \left[\frac{\left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{21March} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{22June} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{23September} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{ew}\right)_{22December}}{\left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{21March} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{22June} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{23September} + \left(\sum_{h=i}^{n} E_{et\theta}\right)_{22December}} \right]$$

ภาพที่ 6 สมการค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (กระทรวงพลังงาน, 2552)

เมื่อ $(SC)_y$ = ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร

I = ชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก

รังสีตรง (E_{es}) และรังสีกระจาย (E_{ed}) ของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางต่อไปนี้

เนื่องจากงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบช่องเปิดเข้าภายในอาคารและแบบช่องปิดโดยใช้วัสดุเป็นกระจกเมื่อรังสีความร้อนเข้ามากระทบกับพื้นผิววัสดุที่มีลักษณะทึบตันจะทำให้วัสดุนั้นมีพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน โดยจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity, α) คือคุณสมบัติของการกักเก็บความร้อนที่เกิดจากรังสีความร้อนของวัสดุ คุณสมบัตินี้จะเป็นส่วนทำให้อุณหภูมิของวัสดุนั้น ๆ สูงขึ้น เช่น กระจกใส 3 มม. มีค่าความดูดซับรังสีความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 8 ที่มุมตกกระทบปกติ และการแต่งเติมสสารในเนื้อกระจกบางชนิดเพื่อประโยชน์ใช้สอยที่แตกต่างกัน จะทำให้กระจกมีค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนสูงขึ้น เมื่อโดนแดดอุณหภูมิกระจกก็จะสูงกว่ากระจกใส
2. ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity, β) คือคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อยเมื่อเกิดการตกกระทบ โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของวัสดุและมุมตกกระทบ (Incident Angle) ของรังสี โดยค่าการสะท้อนรังสีโดยทั่วไปของวัสดุชนิดกระจกจะไม่มีความแตกต่างกันมาก อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีการผลิตกระจกโฟลท (Float Glass Manufacturing Process) (สุนทร บุญญาธิการ, 2551) แต่ก็มีวัสดุกระจกบางประเภทที่ไม่ต้องการให้มีค่าการสะท้อนรังสีมากเกินไป เช่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

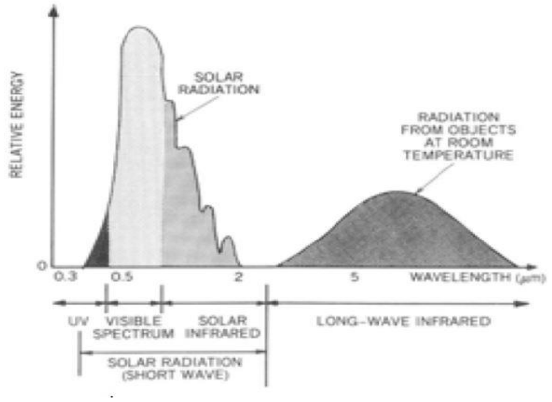
กระจกตัดเงา (Anti Reflective Glass) ซึ่งจะทำให้ค่าการส่องผ่านของกระจกเพิ่มมากขึ้น

3. ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (Tranmissivity, **τ**) คือคุณสมบัติของวัสดุที่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านวัสดุ จากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งโดยในรังสีความร้อนสามารถแยกสัดส่วนของรังสีได้หลายชนิด เช่น ค่าความส่งผ่านของแสงที่ตามองเห็น (Visible Transmittance) ค่าความส่งผ่านของรังสีไวโอเลต (UV Transmittance) หรือค่าความส่งผ่านรังสีรวม (Total Solar Transmittance) โดยในแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้การเลือกวัสดุต้องคำนึงถึงความสามารถในการยอมรับให้แสงส่องผ่านด้วย เช่น กระจกควรมีค่าความส่งผ่านของรังสีไวโอเลตไม่มากจนเกินไป

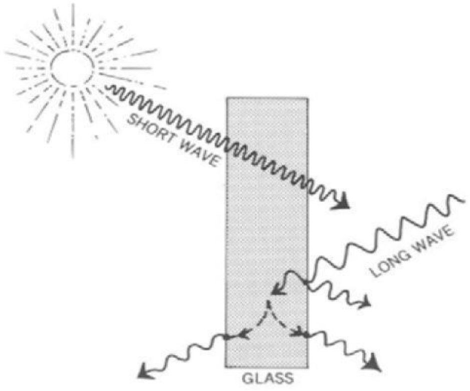
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร

ช่องเปิดเป็นส่วนที่มีค่าการต้านทานความร้อน (R) ต่ำที่สุดในส่วนประกอบของเปลือกอาคาร (Stein and Reynold, 1999:137) ดังนั้นช่องเปิดอาคารจึงถือเป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของอาคารในการปรับอากาศ โดยเฉพาะอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร สามารถแยกได้ 3 กรณี (ASHRAE, 2004; 30.0) คือ

1. การนำความร้อน และกากรพาความร้อน ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ
2. ผลรวมของรังสีคลื่นยาว (Net Long Wave) ซึ่งเป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2,500 นาโนเมตร ได้แก่ รังสีอินฟาเรดคลื่นยาว (Long-Wave Infrared) เป็นรังสีที่มีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ สามารถผ่านช่องกระจกออกไปได้ยาก
3. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave) เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 2,500 นาโนเมตร ส่วนมากจะเป็นรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ หรือจากการสะท้อนจากวัตถุโดยรอบ ซึ่งจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านช่องเปิดกระจกได้ง่าย รังสีคลื่นสั้นประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) แสงที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum) และรังสีอินฟาเรดคลื่นสั้น (Short-Wave Infrared)



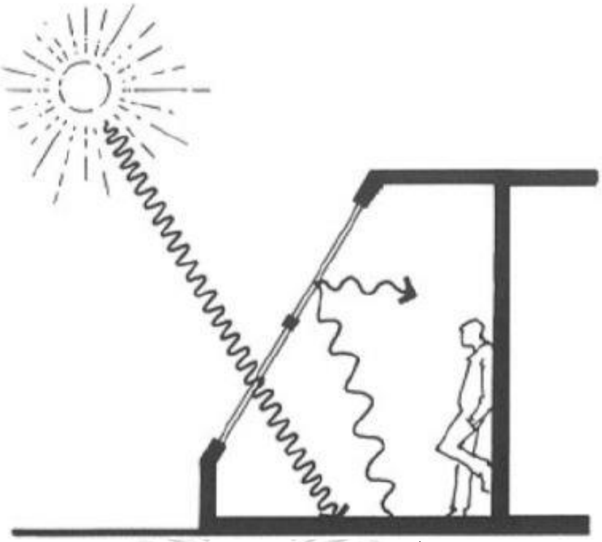
ภาพที่ 7 ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของรังสีอาทิตย์
(John et al., 1991)



ภาพที่ 8 ลักษณะการไหลผ่านกระจกของคลื่นที่ความยาวต่างกัน
(อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2554)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังนั้นเมื่อรังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นรังสีที่มีคลื่นสั้น สามารถทะลุทะลวงผ่านช่องเปิดอาคารเข้ามาภายในตัวอาคาร ตกกระทบและถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวภายในอาคาร แล้วได้สะท้อนออกมาในรูปแบบของรังสีคลื่นยาวที่มีพลังงานความร้อนอยู่ในตัวและสามารถทะลุไหลผ่านช่องเปิดออกไปนอกตัวอาคารได้ยากจึงเกิดเป็นความร้อนสะสมอยู่ในตัวอาคาร ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะการไหลผ่านช่องเปิดของคลื่นรังสีเข้ามาในตัวอาคาร
(อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2554)

การวัดค่าอุณหภูมิความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน (Mean Radiant Temperature, MRT) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนสามารถวัดได้จากการถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อน รวมถึงแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมขณะนั้น โดยสามารถวัดได้จากอุณหภูพื้นผิวของผนังด้านต่าง ๆ ในห้องกับตำแหน่งที่วัดค่า MRT โดยใช้มุมกระทำ (Solid Angle) ระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิว โดยจะได้ค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตาม ผลของอุณหภูมิต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์นั้น จะต้องวัดออกมาในรูปของ Operative Temperature ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิพื้นผิวต่าง ๆ โดยการวัดจะใช้ Globe Thermometer ที่เป็นโลหะทองแดงทรงกลม ทาสีดำด้าน ภายในใช้ Thermometer วัดค่าที่ได้ออกมาเป็น Operative Temperature ซึ่งมีผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์

2.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้านสามารถคำนวณโดยใช้วิธีต่อไปนี้

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ซึ่งใช้สูตรคำนวณ คือ

$$U = \frac{1}{R_T}$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ

- ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใด ๆ ซึ่งใช้สูตรคำนวณ คือ

$$R = \frac{\Delta x}{k}$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน, $m^2.K/W$

Δx คือ ความหนาของวัสดุ, m

K คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ, $W/m^2.K$

- ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารแต่ละด้านที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายชนิด

สำหรับผนังอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารจะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้าน

นอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านจากพื้นผิวด้านในของผนังอาคารไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านในของผนัง อาคาร ดังนั้นฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคารจึงถือว่ามีค่าความต้านทานความร้อน

- ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคาร ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคาร

ตารางที่ 1 *ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร*

	ผนังภายใน (R_i)	ผนังภายนอก (R_0)
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2.K/W$)	0.12	0.044

พื้นผิวของวัสดุที่ถูกใช้เป็นผนังอาคารโดยส่วนใหญ่ จะถือว่ามีการสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังทึบของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ(m^2.K/W)		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 mm	20 mm	100 mm
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

สำหรับกรณีพื้นผิวผนังทั่วไปให้ถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์ สะท้อนรังสี เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, 2553)

2.5 การวัดค่า AQI (Air Quality Index)

ดัชนีคุณภาพอากาศ ซึ่งประเทศไทยได้มีการนำค่าดัชนีมาใช้รายงานสภาพอากาศ และตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2561 ประเทศไทยมีการเพิ่มฝุ่นละออง PM2.5 เข้าไปในการคำนวณ AQI ด้วยเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศโดยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่ามาตรฐาน คือ ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม ต่อปี และไม่เกิน 2.5 ไมครอนมีค่ามาตรฐาน คือ ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม ต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ดัชนีคุณภาพอากาศที่คำนวณได้ของสารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าสูงสุดจะถูกใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้น ค่า AQI เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย มาตรฐานค่าความเข้มข้นของ PM2.5 แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน ซึ่งอยู่ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เราไม่สามารถนำตัวเลขของค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รายวัน หรือรายปีมาเทียบกันได้ เนื่องจากสารแต่ละตัวมีความอันตรายต่างกัน ค่าเฉลี่ยที่ปลอดภัยจึงต่างกัน

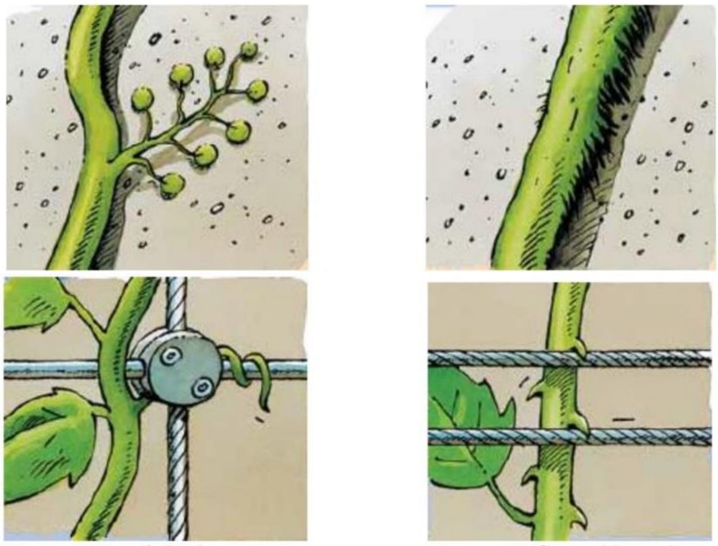
ตารางที่ 3 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
0 - 50	คุณภาพดี	ฟ้า	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51 - 100	คุณภาพปานกลาง	เขียว	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
101 - 200	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	เหลือง	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ หลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอก บุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกเป็นเวลานาน
201 - 300	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ส้ม	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ หลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอก บุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุควรจำกัดการออกกำลังกายภายนอก
มากกว่า 300	อันตราย	แดง	บุคคลทั่วไปหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอก สำหรับผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจควรอยู่ในอาคาร

Katia Perini et al., (2011) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบแผงบังแดดโดยพืชแบบต่าง ๆ ระหว่าง green wall, green façade และ living wall ในการลดอุณหภูมิภายในอาคาร และความเร็วลม พบว่า green wall = green façade < living wall สรุปได้ว่า living wall ลดอุณหภูมิและแรงลมได้ดีที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Buse Katana et al., (2015) งานวิจัยแผงบังแดดโดยพืชไม้เลื้อย Green Façade ถูกจัดว่าเป็นการลดการใช้พลังงานในอาคารตามมาตรฐานอาคารของอิตาลี (UNI 11235, 2015) โดย Green Façade มี 2 ระบบ คือไม้เลื้อยเกาะผนังอาคารโดยตรง และไม้เลื้อยที่เกาะเกี่ยวกับสลิง หรือ ลวด ที่ติดตั้งที่เปลือกอาคารสามารถลดเสียง ลดฝุ่น และยังมีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับปานกลาง

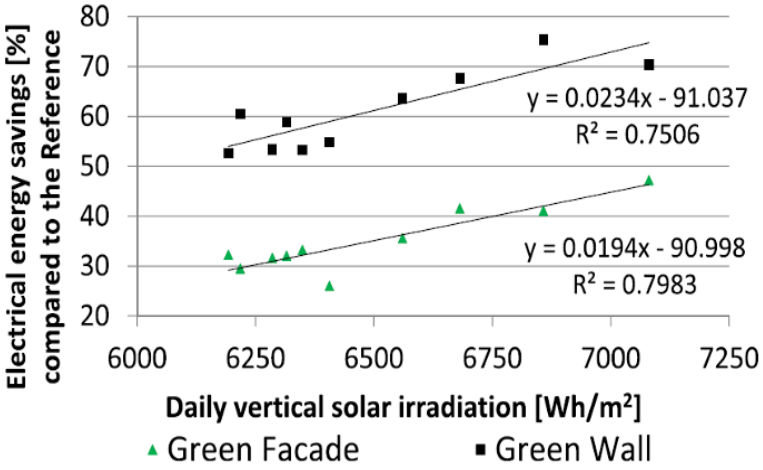


ภาพที่ 10 *แสดงลักษณะของพืชไม้เลื้อยที่มีลักษณะการเกาะเลื้อยที่ผิวผนังที่แตกต่างกัน*

(ก) พืชที่มีขาเป็นตุ่มเกาะผนัง (ข) พืชที่มีรากแขนงยึดเกาะผนัง

(ค) พืชที่หนวดเกาะเกี่ยวกับสลิง (ง) พืชที่มีหนามยึดเกาะกับสลิงหรือราวแขวน

Juli C. et al., (2017) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้ระบบการจัดสวนแนวตั้งในการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง green wall กับ green façade โดยมีงานวิจัยหลายๆงานที่นำ green wall (เป็นการปลูกไม้เลื้อยบนโครงลวดติดกับผนัง และมีช่องว่างระหว่างผิวอาคารกับแผงไม้เลื้อย และ green façade (มีวัสดุปลูก เช่น ดิน ขุยมะพร้าว ใส่ภาชนะแล้วปลูกพืชเป็นแผงยึดติดกับผนัง) ที่ใช้พืชหลากหลายชนิด ซึ่งพบว่าพืชที่มีพุ่มใบหนาจะทำให้ค่าผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายใน มีค่ามากการเว้นช่องอากาศใน green wall ทำให้ค่าผลต่างของอุณหภูมิภายนอก และภายในมีค่ามากกว่า green façade (5-20 °c) และยังพบว่า green wall สามารถช่วยประหยัดพลังงานในอาคารได้มากกว่า green façade ตามรูปที่ 17



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบรังสีความร้อนที่ผนังได้รับ ก่อนและหลังการติดตั้ง Green wall

จากการทดลองของ Katia และคณะในปี 2011 Buse และคณะในปี 2015 และ Juli และคณะในปี 2017 สามารถลดอุณหภูมิ ลดฝุ่นละออง โดยใช้พืชไม้เลื้อยเกาะผนังอาคาร ซึ่งพืชที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ใช้พืชชนิดพลูด่างเป็นตัวแทนของพืชพุ่มใบหนาและพืชชนิดเศรษฐีเรือนนอกเป็นตัวแทนของพืชใบแหลมซึ่งสามารถลดอุณหภูมิในกับตัวอาคารมากถึง 20 องศาเซลเซียส

Tabassom S., Mohammad B. (2017) ได้ทำการทดลองที่เปรียบเทียบระยะห่างจากผนังกับแผงบังแดดแบบ Living wall ที่ระยะห่าง 15 ซ.ม., 30 ซ.ม. จากผลที่ได้จากการทดลองพบว่าในการเลือกติดตั้งแผงบังแดดแบบ Living wall ที่ระยะ 30 ซ.ม. สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีกว่า ระยะห่างที่ 15 ซ.ม. เนื่องจากในตอนเช้าพืชปล่อยละอองน้ำออกมาส่งผลให้อุณหภูมิลดลง ดังนั้นระยะห่างระหว่างผนังกับแผงบังแดดมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิ

Qiuyu C. et al., (2019) ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ ที่ส่งผ่านเปลือกอาคารหรือแผงบังแดด แบบ Living wall โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความหนาแน่นของพุ่มใบพืช (Leaf Area Index, LAI) ที่แตกต่างกัน และการจำลองรังสีอาทิตย์ที่ทำมุมองศาต่าง ๆ กับแผงบังแดด Living wall จากการศึกษาพบว่ายิ่งใบพืชของแผงบังแดดทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังโดยผ่านบังแดดจะมีค่าน้อยกว่า รวมถึงถ้าค่าดัชนีความหนาของพุ่มใบพืชมาก ค่ารังสีอาทิตย์จะน้อยตามไปด้วย

จากการทดลองของ Tabassom และคณะในปี 2017 และ Qiuyu และคณะในปี 2019 ซึ่งปรับใช้ในการทดลองโดยตั้งแผงบังแดดตั้งห่างจากผนังของอาคาร เท่ากับ 30 เซนติเมตร ซึ่งตรงกับการทดลองของ Tabassom ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิได้และใช้พืชร่วมกับแผงบังแดดซึ่งงานวิจัยของ Qiuyu มีรังสีอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคารน้อยกว่า

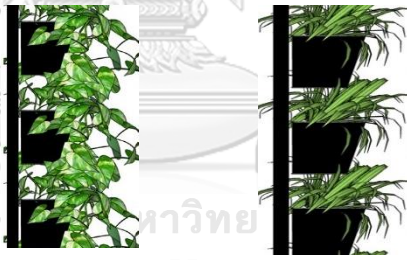
ในส่วนงานวิจัยในการใช้พืชในการดับจับฝุ่นละออง (Marc Ottel et al., 2010) ได้นำเสนอการทดลองเปรียบเทียบฝุ่นที่พบบนใบพืชไม้เลื้อย ที่อยู่ริมทางข้างถนนในเมือง กับในชนบท พบว่า

1. ในเขตเมืองมีฝุ่นติดที่ใบไม้เลื้อยมากกว่าในชนบท
2. ฝุ่นมีการยึดเกาะด้านบนของผิวใบมากกว่าด้านล่างของใบ
3. ธาตุองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างส่วนใหญ่เป็น เหล็กที่น่าจะมาจากการสึกหรอของเครื่องยนต์

ในช่วงเวลาต่อมา (Janne V. Räsänen et al., 2013) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบลักษณะของใบพืชแต่ละชนิดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นพบว่า

1. พืชใบแคบ (*Pinus sylvestris*) ที่มีลักษณะผิวเป็นขี้ผึ้ง (wax) เคลือบผิวใบจะสามารถดักจับฝุ่นได้ดีกว่าพืชใบกว้าง (*Betula pubescens, Betula Pendula, Tilia vulgaris*) ที่ลักษณะผิวใบไม่มีขี้ผึ้งเคลือบผิวใบอยู่
2. ถ้าพืชอยู่ในสภาวะแล้ง จะมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นได้ดีขึ้น เนื่องจากรูปากใบที่แคบลงช่วยลดการคายก๊าซ และน้ำจากกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงทำให้ฝุ่นที่ยึดเกาะอยู่ไม่หลุดออกจากผิวใบ

ข้อคิดที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือการติดตั้งกระถางพืช



ภาพที่ 12 การติดตั้ง Green wall ให้ใบพืชเอียงออกด้านนอก

การติดตั้งกระถางพืชกับแผงในลักษณะเอียงออกทำให้ผิวใบด้านบนของพืชสามารถสัมผัสกับละอองฝุ่นได้ดี ลักษณะการติดตั้งกระถางแบบนี้ จะทำให้ละอองฝุ่นไปติดอยู่ที่ด้านหลังของผิวใบ เมื่อพืชเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงมาก พืชจะคาย น้ำ (H_2O) และออกซิเจน (O_2) ออกมาทำให้ฝุ่นที่ติดด้านหลังใบหลุดออกไปได้

Udeshika Weerakkody et al., (2018) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ Living Wall ที่ใช้พืช 20 ชนิดเพื่อกรองฝุ่นจากพื้นที่ที่มีการจราจรคับคั่ง พบว่า

- พืชที่มีลักษณะใบเป็น “เข็ม” จับฝุ่น PM2.5 PM10 ได้ดีที่สุด มีฝุ่นติดที่ด้านบน และด้านล่างของผิวใบในปริมาณเท่าๆ กัน

- พืชที่มีลักษณะใบใหญ่ กว้าง จะมีฝุ่นติดที่ด้านบนมากกว่าด้านล่างของผิวใบ
- พืชที่มีลักษณะใบที่มีขน ก็สามารถดักจับฝุ่นได้ดี รองลงมาจากพืชที่มีลักษณะใบเป็น “เข็ม”
- ในฝุ่นมีธาตุหลัก ๆ ที่ปนเปื้อนมาคือ ธาตุเหล็ก (Fe) ที่เกิดจากการเสื่อมของรถยนต์และ แคลเซียม (Ca) จากฝุ่นดิน

ภาพที่ 13 การติดตั้ง Green wall แบบใช้พืชหลากหลายสายพันธุ์ผสมผสานกัน

งานวิจัยในประเทศไทยได้มี การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการจับฝุ่นละอองของพรรณไม้เลื้อย (พาสินี และคณะ, 2557) โดยใช้พืชพรรณไม้เลื้อยในการดักกรองฝุ่นจากท้องถนน โดยการทดลองใช้โครงแผงไม้เลื้อยที่มีขนาดกว้าง 0.80 เมตร สูง 1.50 เมตร จากนั้นนำพืชพรรณไม้เลื้อยที่มีคุณสมบัติทางกายภาพของใบที่แตกต่างกันมาทำการทดลองเปรียบเทียบ ผลการทดลอง พบว่า พรรณไม้เลื้อยที่มีลักษณะใบแตกต่างกันมีความสามารถแตกต่างกันตามการปกคลุม พืชที่มีลักษณะผิวใบที่สากมีขนปกคลุมสามารถดักจับฝุ่นละอองได้ดี ส่วนพืชที่มีผิวใบด้านและพืชผิวใบมันมีความสามารถในการดักจับฝุ่นได้น้อยกว่า และจากศึกษาวิจัยของ ผศ.ดร.ธรรมรัตน์ และคณะนำเสนอข้อมูลในการใช้พืชในการดักจับฝุ่นละออง พบว่า

- ไม้ยืนต้น หรือไม้พุ่มที่ใบมีผิวหยาบ หรือมีขนจะมีประสิทธิภาพมากกว่าผิวเรียบมัน
- ต้นไม้ที่ไม่ผลัดใบจะมีประสิทธิภาพดีกว่าไม้ผลัดใบ
- พืชที่มีผิวใบโดยรวมมากกว่าจะสามารถดักจับ ฝุ่นละอองได้มากกว่าพืชที่มีผิวใบน้อย ดังนั้น ต้นไม้ใหญ่ และไม้พุ่มที่มีใบขนาดเล็กจำนวน มาก จึงมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง สูงกว่าต้นไม้ที่มีใบขนาดใหญ่แต่มีจำนวนใบน้อย

จากการศึกษาสรุปได้ว่า ชนิดของใบพืชที่เหมาะสมในการดักจับฝุ่น ละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ใบพืชจะที่มีลักษณะ เรียวเล็ก ใบหยาบ มีขน การใช้พรรณพืชดักจับฝุ่นในพื้นที่เมือง จากงานวิจัยพบว่า ไม้เลื้อย เช่น ใบระบาด มี ศักยภาพในการทนทานต่อมลพิษทางอากาศ (Air

Pollution Tolerance Index : APTI) สามารถนำมาต่อยอดเพื่อใช้ในการดักจับฝุ่นในพื้นที่เมืองที่มีตึกสูงและ ถนนแคบได้ โดยทำเป็นสวนประดิษฐ์แนวตั้ง (Vertical Greenery Systems : VGSs) บนตึกและบริเวณรอบ ๆ ถนนในพื้นที่เมือง โดยมีประสิทธิภาพในการดักจับมลพิษได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถทำเป็นแผงกรองฝุ่นไม้เลื้อยใช้ตามบริเวณที่มีลมพัดฝุ่นเข้าอาคาร หน้าต่าง หรือรั้วบ้านตั้งติดถนน เพื่อช่วยกรองฝุ่นที่มีขนาดเล็ก ช่วยกรองฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการ ปลูกไม้พุ่มที่มีใบเล็กละเอียดช่วยเก็บฝุ่นได้มาก ถึงร้อยละ 60-80 ของพุ่มทั้งหมด (ผศ.ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย, รศ.ดร.กัมปนาท ภักดีกุล, และ รศ.ดร.สุระ พัฒนเกียรติ, มาตรการระยะยาวเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศให้เหมาะสมโดยใช้พืชพรรณที่มีศักยภาพ ในการดักจับฝุ่นละอองในอากาศ ลงทุนน้อยแต่ได้ผลระยะยาว, https://en.mahidol.ac.th/images/Factsheet_EN_Thamarat.pdf.)

ภาพที่ 14 ลักษณะของใบไม้ที่มีขนซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดจับฝุ่น โดยขนใบจะช่วยให้ฝุ่นละอองเกาะติดบริเวณผิวใบได้ดีขึ้น

ภาพที่ 15 ลักษณะของใบไม้ที่มีผิวมันเรียบซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดจับฝุ่นละอองน้อยกว่าใบไม้ที่มีขนเนื่องจากไม่มีตัวช่วยในการยึดเกาะ

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถนำต้นไม้มาลดปริมาณของฝุ่นและความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้แต่ต้นไม้แต่ละสายพันธุ์จะมีลักษณะของขนใบที่ช่วยดักจับฝุ่น อัตราการคายน้ำ

และการสังเคราะห์แสงต่างกันไปของแต่ละสายพันธุ์ทำให้งานวิจัยนี้ใช้ต้นไม้ 2 ชนิดในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณของฝุ่นและความร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ปัญหาการลดฝุ่นละลอง PM 2.5 และการลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารซึ่งส่วนของอาคารช่องเปิดและอาคารช่องปิด (โดยใช้อาคารช่องเปิดในการทดลองเรื่องฝุ่นละอองขนาดเล็ก ส่วนช่องปิดใช้ในการทดลองเรื่องการลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร) ตัวอาคารมี 4 ชั้น โดยจะติดแผงบังแดด แผงบังแดดร่วมกับพืช ระหว่างชั้นที่ 2 3 และ 4 เท่านั้น

ส่วนที่ 1 จัดทำห้องทดลองบริเวณใกล้สี่แยกไฟแดงที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้กระจกเป็นหน้าต่างที่สามารถเปิดปิดได้เมื่ออากาศเย็นหรือในช่วงฤดูหนาวนำอาคารนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการแผ่รังสีอาทิตย์ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบและใบกว้าง

เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างพืชใบแคบและใบกว้างโดยการทดลองจริงด้วยห้องทดลองจะสร้างขึ้นมา 1 ห้องทดลอง เพื่อที่จะสามารถทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการการบังแดด อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ ระหว่างใบแคบ และใบกว้าง โดยวันที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2563 ถึงวันที่ 5 มีนาคม 2563 โดยทำการวัดค่า อุณหภูมิ ความชื้น ค่ารังสีดวงอาทิตย์ และพักห้องทดลองพลังงานระหว่าง 1 วันเพื่อปรับสภาพห้องทดลอง และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ทดลอง การวัดค่าจากการทดลองด้วยห้องทดลองพลังงานจะทำการวัดในช่วงเวลาทำการที่มีการปรับอากาศจริงในอาคารทั่วไป คือช่วง 7.00 – 18.00 น. โดยจะทำการวัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติทุก ๆ 15 นาที

ส่วนที่ 2 จัดทำห้องทดลองบริเวณใกล้สี่แยกไฟแดงที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้กระจกเป็นหน้าต่างที่ไม่สามารถเปิดได้เพราะทำการเปรียบเทียบค่าการลดอุณหภูมิเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยจำลองเป็นอาคารสำนักงานที่เปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาทำงาน

เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบและใบกว้างที่ได้จากการคำนวณมาวิเคราะห์โดยโปรแกรม Visual Doe และคาดคะเนการใช้พลังงานของวัสดุประกอบช่องปิดของอาคารโดยเปรียบเทียบวัสดุประกอบช่องเปิด 2 ประเภท คืออุปกรณ์แผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบและใบกว้าง

การทดลองในส่วนนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิการใช้พลังงานในอาคารโดยอาศัยการแทนค่า SC ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบและใบกว้างที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้จากการห้องทดลองในสภาพภูมิอากาศจริงมาแทนค่าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ computer simulation, Visual Doe ด้านการวางทิศทางตัวอาคาร เพื่อหาประสิทธิของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบและใบกว้างที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร

3.1 ตัวแปรในงานวิจัย

3.1.1 ตัวแปรอิสระ

1) ห้องทดลองที่ไม่ได้ติดตั้งแผงบังแดด ห้องทดลองที่ติดตั้งแผงบังแดดที่ไม่มีพืช ห้องทดลองที่ติดตั้งแผงบังแดดที่ใช้พืชใบแคบ ห้องทดลองที่ตั้งแผงบังแดดที่ใช้พืชใบกว้าง

2) ชนิดของพืชไม่ผลัดใบ ที่มีลักษณะใบ และความหนาพุ่มใบที่แตกต่างกัน โดยติดตั้งกับแผงบังแดด

3.1.2 ตัวแปรตาม

1) อุณหภูมิภายนอก หน้าแผงบังแดด

2) อุณหภูมิภายในห้อง

3) ปริมาณการแผ่รังสีอาทิตย์ภายนอก หน้าแผงบังแดด

4) ปริมาณการแผ่รังสีอาทิตย์ภายใน หน้าห้องทดลอง

3.1.3 ตัวแปรควบคุม

1) ขนาดห้องทดลองที่ติดตั้งแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ

2) สถานที่ติดตั้งห้องทดลอง และแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ

3) ระยะความห่างของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบ กับห้องทดลอง

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเลือกสถานที่ติดตั้งห้องทดลอง พร้อมออกแบบพร้อมติดตั้งห้องทดลอง บริเวณสี่แยกไฟแดงที่มีการจราจรหนาแน่น

3.2.2 การคัดเลือกพืชไม่ผลัดใบ 2 ชนิดที่มีลักษณะใบที่แตกต่างกัน เป็นพืชท้องถิ่น ในเขตร้อนชื้น สามรถจัดหาได้ง่าย ต้องการการดูแลรักษาน้อย มีลักษณะเป็นพุ่มมีใบหนาแน่น

3.2.3 ติดตั้งแผงบังแดดแนวตั้ง สำหรับแขวนกระถางพืชไม่ผลัดใบ ประกอบเข้ากับด้านหน้าของห้องทดลอง หาค่าดัชนีความหนาแน่นของพุ่มใบ (LAI)

3.2.4 ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม เครื่องวัดปริมาณฝุ่น PM2.5 และเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์

3.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละออง เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบระหว่างพืชใบแคบ และใบกว้าง

3.2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ของแผงบังแดดที่ใช้พืชไม่ผลัดใบที่ได้จากการคำนวณไปใส่ในโปรแกรมจำลองสถานะการณ์ (Visaul DOE 4.1)

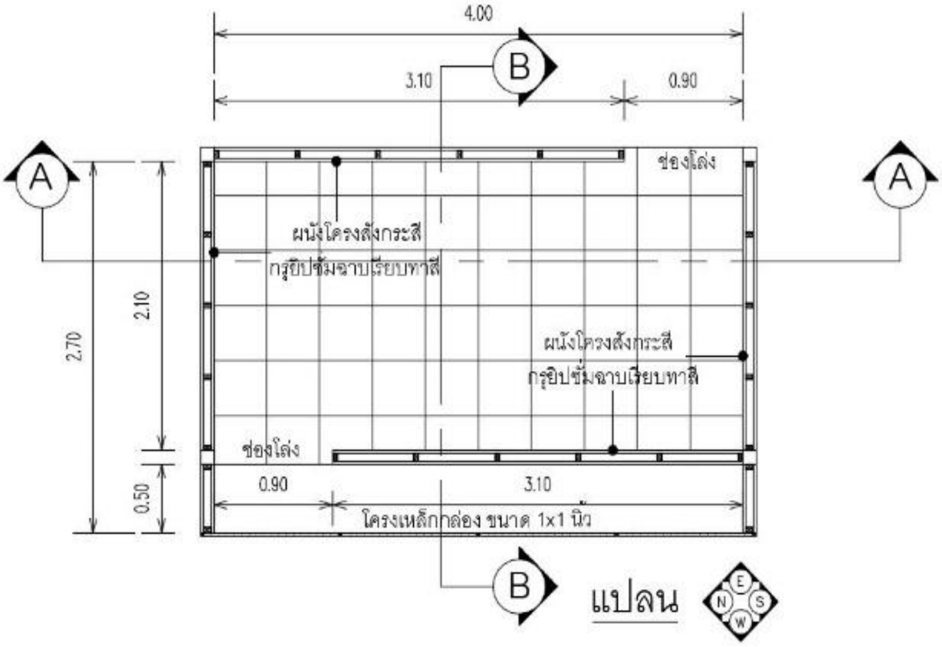
3.2.7 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

3.3 การวิเคราะห์สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

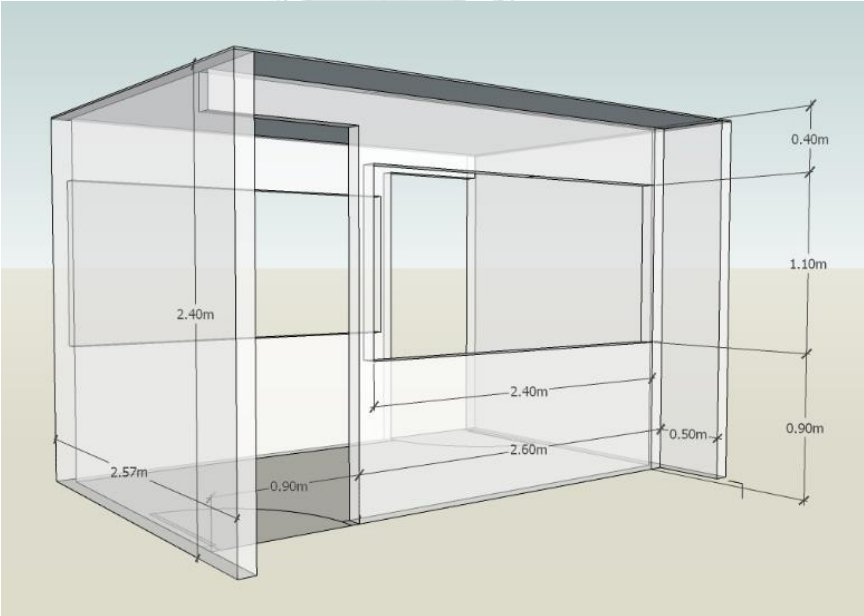
พื้นที่สำหรับการทดลองปลูกต้นไม้เป็นลักษณะเป็นพื้นที่จำลองห้องพร้อมติดตั้งแผงบังแดด โดยสถานที่ทำการติดตั้งห้องทดลองตั้งอยู่บริเวณสี่แยกไฟแดง ที่มีการจราจรหนาแน่น ตั้งอยู่ซอยรามคำแหง 39 สี่แยกศรีวรา ถนนรามคำแหง เขตวังทองหลาง กทม.

ภาพที่ 16 ตำแหน่งห้องทดลองที่ติดตั้งแผงบังแดด
(ละติจูดที่ 13°45’56.1”N ลองติจูดที่ 100°36’13.0”E สี่แยกศรีวรา ซอยรามคำแหง 39 ถนนรามคำแหง แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร)

- **การติดตั้งห้องทดลอง และวัสดุอุปกรณ์**



ภาพที่ 17 แบบจำลองห้องติดตั้งแผงบังแดด



ภาพที่ 18 ลักษณะของห้องทดลอง

1) ผนังภายในด้านทิศเหนือและทิศใต้ มีลักษณะเป็นโครงสังกะสีกรุยิปซั่ม 2 ด้าน ทาสีโดยมีความสูงจากพื้นถึงระดับฝ้า 2.40 เมตร

2) ผนังภายในด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก มีลักษณะเป็นโครงสังกะสีกรุยิปซั่ม 2 ด้าน ทาสีโดยมีความสูงจากพื้นถึงระดับฝ้า 2.40 เมตร ผนังแต่ละด้านเจาะช่องประตูขนาด 0.90 x 2.00 ม. และเจาะช่องหน้าต่างขนาด 1.10 x 2.10 ม.

3) ติดตั้งโครงเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว เชื่อมติดด้วยตะแกรงเหล็ก ขนาด 6x6 ซม. พร้อมทาสีกันสนิม

ภาพที่ 19 ลักษณะโครงสร้างเหล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- **การคัดเลือกพืชไม่ผลัดใบ**

1) ต้นพลูด่าง

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Epipremnum aureum*

ชื่อสามัญ: Devil's ivy, Golden pothos, Hunter's-robe

วงศ์: ARACEAE

ต้นพลูด่างเป็นพืชประเภทไม้อิงอาศัย เนื้อไม้อ่อน เลื้อยไปตามพื้นหรือมีรากเกาะพันกับต้นไม้ใหญ่หรือเสาหลักอื่น ๆ เมื่อแก่มีเนื้อไม้ กิ่งก้านสีเขียวถึงสีเขียวอ่อนอมเหลืองมักมีขีดตามยาวสีเหลืองหรือสีขาว ลักษณะใบ มีรูปร่างคล้ายไข่แกมรูปหัวใจ ปลายแหลม โคนเว้า ขอบเรียบ แผ่นใบหนาอวบน้ำ ผิวด้านบนด่างสีเขียวปนเหลือง

ภาพที่ 20 ลักษณะใบของต้นพลูด่าง

(ที่มา: ข้อมูลพันธุ์ไม้ ระบบฐานข้อมูลเกษตรดิจิทัล, 2017
https://data.addrun.org/plant/archives/266-epipremnum-aureum-linden-andre-g-s-bunting)

2) ต้นเศรษฐีเรือนนอก

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Chlorophytum comosum*

ชื่อสามัญ: St. Bernard's lily

วงศ์: LILIACEAE

ต้นเศรษฐีเรือนนอกเป็นไม้ล้มลุก อายุหลายปี มีเหง้าอยู่ใต้ผิวดิน แตกใบเป็นกอแน่น รากสะสมอาหารเป็นตุ้มสีขาว ลักษณะใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงเวียนสลับแน่น รูปขอบขนาน ปลายแหลม โคนใบแผ่เป็นกาบหุ้มลำต้น ขอบเรียบ ผิวด้านบนสีเขียวเป็นมัน มีแถบขาวบริเวณขอบใบ เมื่อใบยาวเต็มที่จะห้อยโค้งลง

ภาพที่ 21 ลักษณะของใบต้นเศรษฐีเรือนนอก
(ที่มา: ข้อมูลพันธุ์ไม้ระบบฐานข้อมูลเกษตรดิจิทัล, 2017
https://data.addrun.org/plant/archives/266-epipremnum-aureum-linden-andre-g-s-bunting)

จากการเลือกต้นไม้โดยจะเลือกใช้ต้นพลูด่างที่ช่วงอายุประมาณ 1.5 เดือน เศรษฐีเรือนนอกช่วงอายุประมาณ 2 เดือน เลือกต้นไม้ที่มีลักษณะใบสมบูรณ์ ไม่ขาด ต้นพืชไม่เป็นโรค

- **ติดตั้งแผงบังแดดแนวตั้ง**

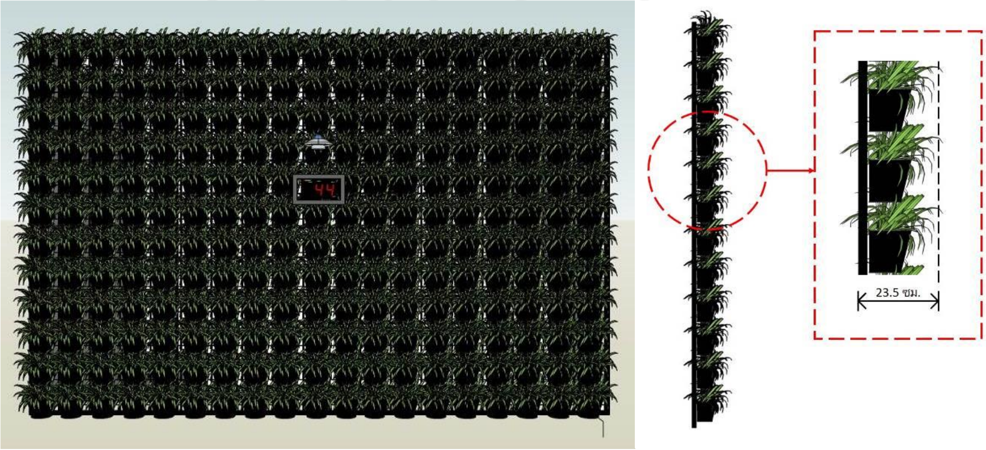
1) ติดตั้งต้นพลูด่างพร้อมกระถางปลูก จำนวน 240 กระถาง

2) ติดตั้งต้นเศรษฐีเรือนนอกพร้อมกระถางปลูก จำนวน 240 กระถาง

3) วัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ

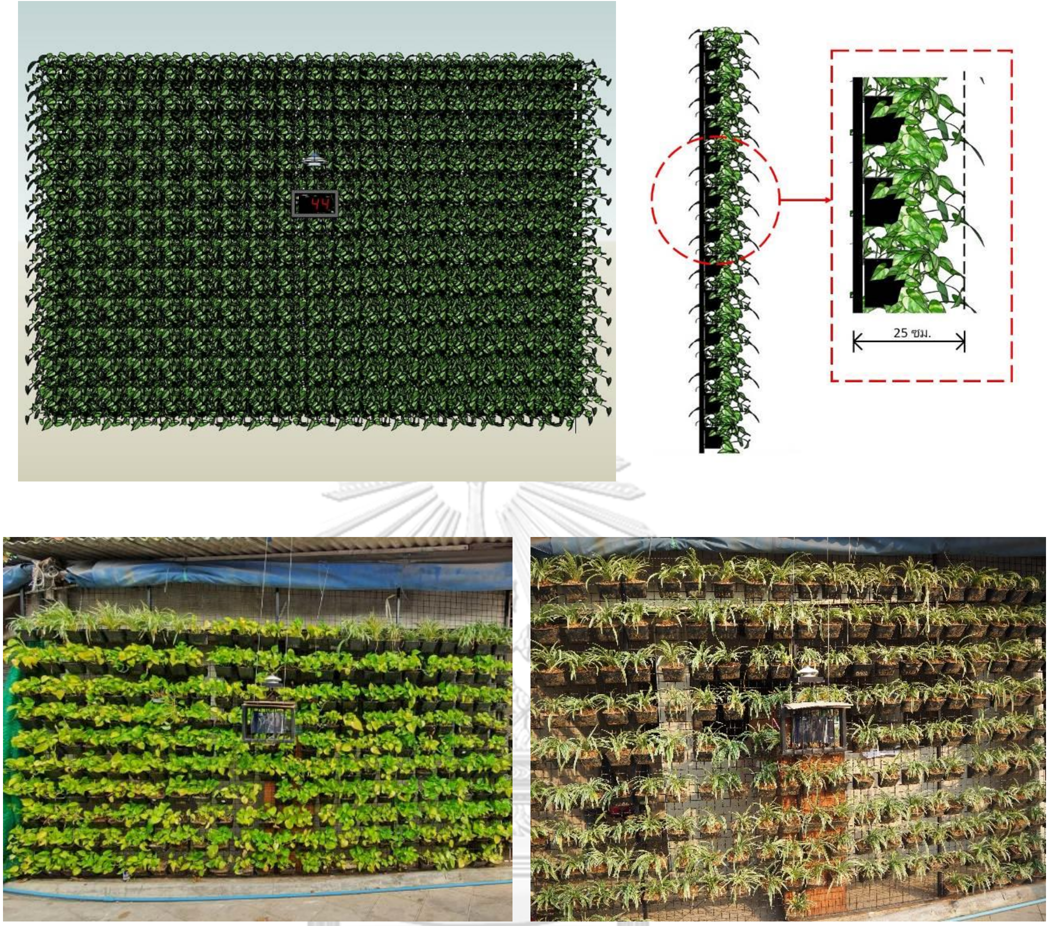
- ดินร่วน
- แกลบ
- ขุยมะพร้าว
- ติดตั้งต้นพลูด่างพร้อมกระถางปลูก จำนวน 240 กระถาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 22 ลักษณะแผงบังแนวตั้ง

- ติดตั้งต้นเศรษฐีเรือนนอกพร้อมกระถางปลูก จำนวน 240 กระถาง



ภาพที่ 23 พื้นที่จำลองการติดตั้งต้นไม้จริง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) **การหาความหนาแน่นของพุ่มใบของพืช (LAI : Leaf Area Index)** ของต้นพลูด่าง, เศรษฐีเรือนนอก

จากสูตร LAI คือ อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก โดยเป็นค่าที่แสดงขนาดของพืชบนพื้นที่ปลูกในการวัดค่า LAI สามารถวัดจาดกลุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ที่ทราบแน่นอนหรือหาจากพืชต้นเดียวแล้วคูณด้วยความหนาแน่นของพืชในพื้นที่

หลังจากที่ได้พันธุ์มา 2 ชนิด จึงทำการหาความหนาแน่นของพุ่มใบ โดยเลือกประยุกต์ใช้จากวิธีคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI : Leaf Area Index) ซึ่งเป็นวิธีคิดแบบ 3 มิติ ที่คิดเรื่องจำนวนชั้นของใบ เพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นของพุ่มใบที่ละเอียดมากขึ้นมาคำนวณความหนาแน่นของพุ่มใบของพันธุ์พืช 2 ชนิด บนพื้นที่โครงแผงกันแดดที่ส่งผลประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งคำนวณจากสูตรดังนี้

ตารางที่ 4 การหาพื้นที่ใบทั้งหมด (พลูด่าง)

ใบที่	**ขนาดพื้นที่ใบ (ตร.ม)**	**จำนวนใบ**	**พื้นที่xจำนวนใบ (ตร.ม.)**
1	0.012	5	0.062
2	0.007	11	0.080
3	0.004	16	0.075
รวม (จำนวนใบ/กระถาง)		**32**	**0.217**

ค่าความหนาแน่นของพุ่มใบ = $\frac{\text{พื้นที่ใบ x จำนวนใบ}}{\text{พื้นที่โครงแผงกันแดด}}$

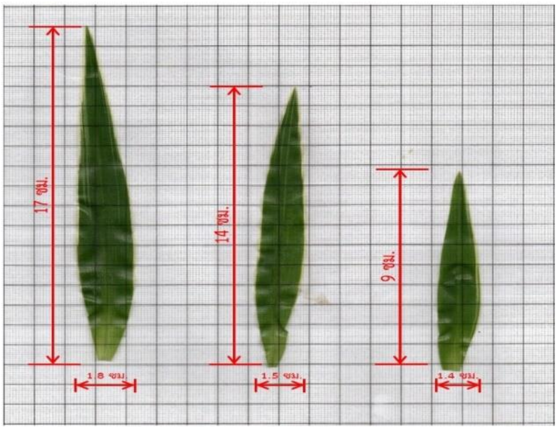
$= \frac{0.217 \times 240}{9.20}$

$= 5.66$

ภาพที่ 24 พื้นที่เส้นรอบรูปใบพลูด่าง

ตารางที่ 5 การหาพื้นที่ใบทั้งหมด (เศรษฐีเรือนนอก)

ใบที่	**ขนาดพื้นที่ใบ (ตร.ม)**	**จำนวนใบ**	**พื้นที่xจำนวนใบ (ตร.ม.)**
1	0.003	8	0.024
2	0.002	15	0.031
3	0.001	30	0.037
รวม (จำนวนใบ/กระถาง)		**53**	**0.092**



ภาพที่ 25 พื้นที่เส้นรอบรูปใบเศรษฐีเรือนนอก

$$\text{ค่าความหนาแน่นของพุ่มใบ (LAI)} = \frac{0.0092 \times 240 \text{ (กระถาง)}}{9.20 \text{ (ตร.ม.)}}$$

$$= 2.4$$

ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

1) เครื่องวัดปริมาณฝุ่น PM 2.5 SNDWAYB รุ่น SW-625B (Measuring range = 0 ~ 500ug / m3, Resolution = 1µg / m3, Performance Counters = 50% 0.3µm 98%> = 0.5µm, Operating condition = -10 ~ +60 &8451; 20% ~ 80% RH)

2) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ชนิดกระดุม

3) เครื่องวัดความเร็วลม Hot Wire Anemometer รุ่น GM8903

4) เครื่องวัดปริมาณแสง TENMARS รุ่น TM-201L

5) เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ Lutron SPM-1116SD Solar Power Meter

6) เครื่องวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ Pyranometer SP Lite2 Kipp & Zonen-Alat Ukur Radiasi Matahari

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เครื่องวัดปริมาณฝุ่น PM 2.5 ยี่ห้อ JEDTO รุ่น SW-625B

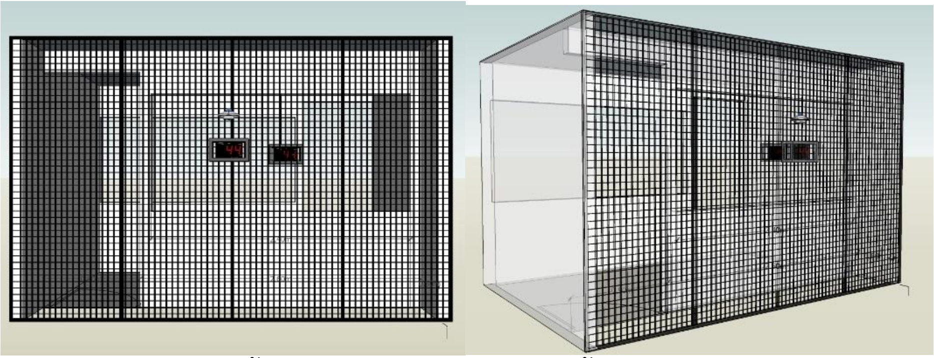
เครื่องวัดปริมาณแสง TENMARS รุ่น TM-201L

เครื่องวัดความเร็วลม Hot Wire Anemometer รุ่น GM8903

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ชนิดกระดุม ยี่ห้อ IBUTTON DATA LOGGER รุ่น DS-1921G

เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ Lutron SPM-1116SD Solar Power Meter

เครื่องวัดการแผ่รังสีอาทิตย์ Pyranometer SP Lite2 Kipp & Zonen-Alat Ukur Radiasi Matahari



ภาพที่ 26 การติดตั้งโครงเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว เชื่อมติดด้วยตะแกรงเหล็ก ขนาด 6x6 ซม. พร้อมทาสีกันสนิม หน้าห้องจำลอง

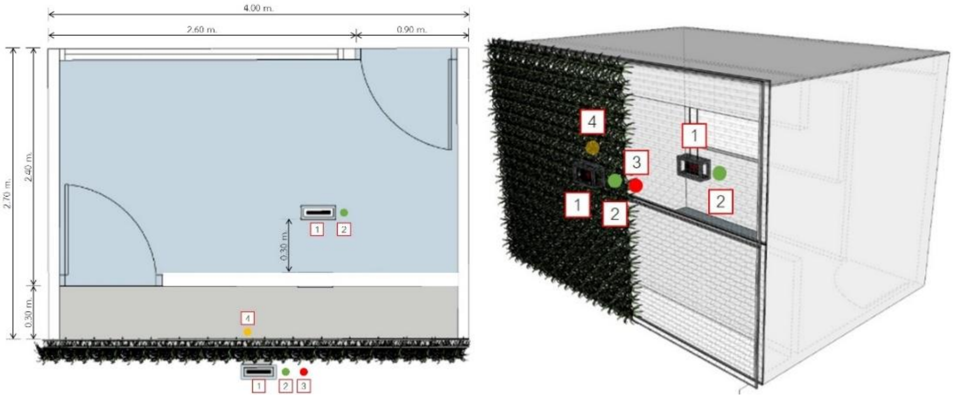
2) ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกผล และพืชสำหรับการทดลอง

- ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ IBUTTON DATA LOGGER รุ่น DS-1921G ภายในและภายนอกห้องจำลองให้อยู่ห่างจากผนัง 0.30 ม. และอยู่สูงจากพื้น 1.50 ม.

- ติดตั้งเครื่องวัดฝุ่น ยี่ห้อ SNDWAY รุ่น SW-625B ภายในและภายนอกห้องจำลองให้อยู่ห่างจากผนัง 0.30 ม. และอยู่สูงจากพื้น 1.50 ม.

- ติดตั้งโครงเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว เชื่อมติดด้วยตะแกรงเหล็ก ขนาด 6x6 ซม. พร้อมกับนอตยึดติดกับพื้นคอนกรีต จากนั้นนำกระถางพลูด่าง, เศรษฐีเรือนนอก พร้อมแขวน แขวนตามตะแกรงเหล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 27 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า

2) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) ในการทดลอง

การคำนวณหาค่า SC ที่ได้จากการติดตั้งเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ หาได้จากสมการ

$$SC = E_{ew} / E_{et\theta}$$

เมื่อ E_{ew} = รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนช่องเปิดที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

$E_{et\theta}$ = รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนช่องเปิดที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

SC_1 = สัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดที่ใช้พืชใบแคบ

SC_2 = สัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดที่ใช้พืชใบกว้าง

SC_3 = สัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดที่ไม่มีพืช

3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ Visual DOE 4.1

สำหรับขั้นตอนการใช้โปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

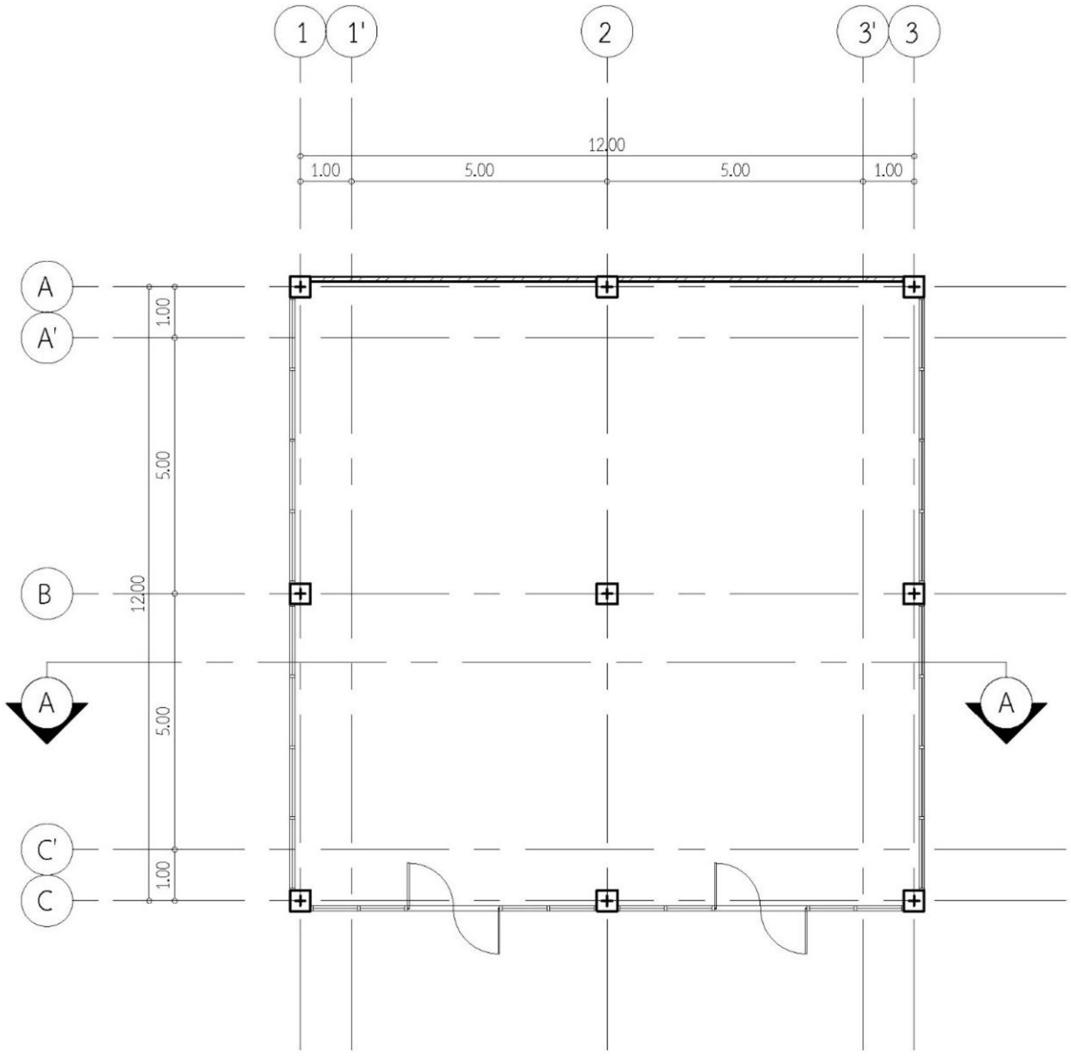
1. การสร้างแบบจำลองอาคารกรณี Base Case
2. การสร้างแบบจำลองอาคารกรณีทางเลือก
3. การจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

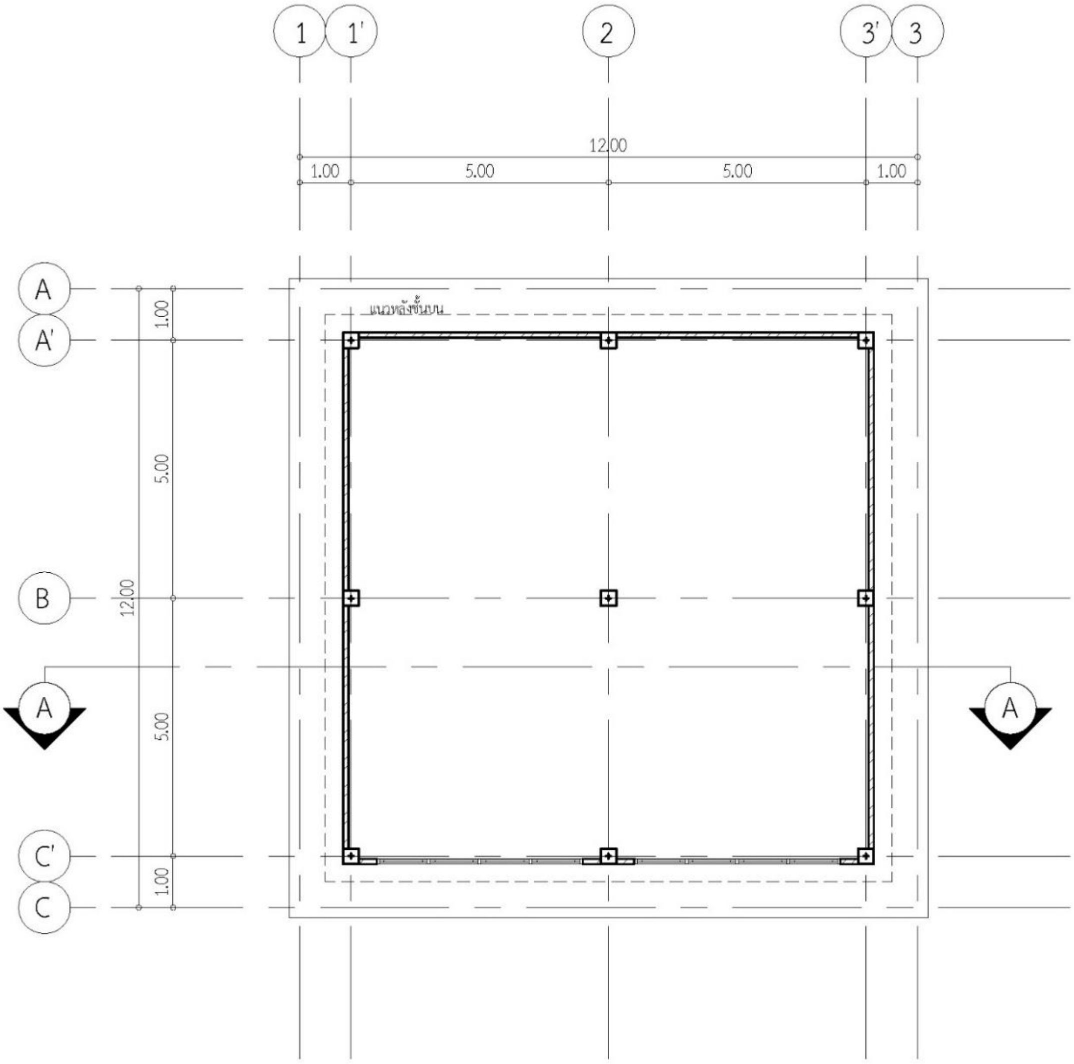
<u>การสร้างแบบจำลองกรณี Base Case</u>

เพื่อการคำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานของอาคาร ได้มีการกำหนดรูปแบบของอาคารที่จะทำการทดลอง โดยกำหนดให้เป็นอาคารสำนักงานสูง 4 ชั้น ขนาด 12 x 12 เมตร ซึ่งมีลักษณะรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส เนื่องจากรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสเป็นรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวภายนอกอาคารรวมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรูปทรงอื่นที่มีพื้นที่ใช้สอยภายในที่เท่ากัน ทำให้มีพื้นที่ผิวที่รับความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่น้อยที่สุด และประหยัดพลังงานที่สุด อีกทั้งในการทดลองหันช่องเปิดของอาคารไปทางทิศต่าง ๆ จะต้องทำการกำหนดพื้นที่ผิวของอาคารให้เป็นตัวแปรควบคุม รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งเป็นรูปทรงที่มีความกว้างและพื้นที่ผิวในแต่ละด้านที่เท่ากัน จึงเป็นรูปทรงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองครั้งนี้ โดยด้านหนึ่งของอาคารมีขนาดของช่องเปิดที่มากกว่าด้านอื่นเพื่อทำการติดตั้งแผงบังแดดแต่ละรูปแบบในด้านดังกล่าว และทดลองหันอาคารไปทางทิศต่าง ๆ เพื่อ

จำลองและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของแผงบังแดดแต่ละรูปแบบ และในแต่ละทิศทาง โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ Visual DOE 4.1

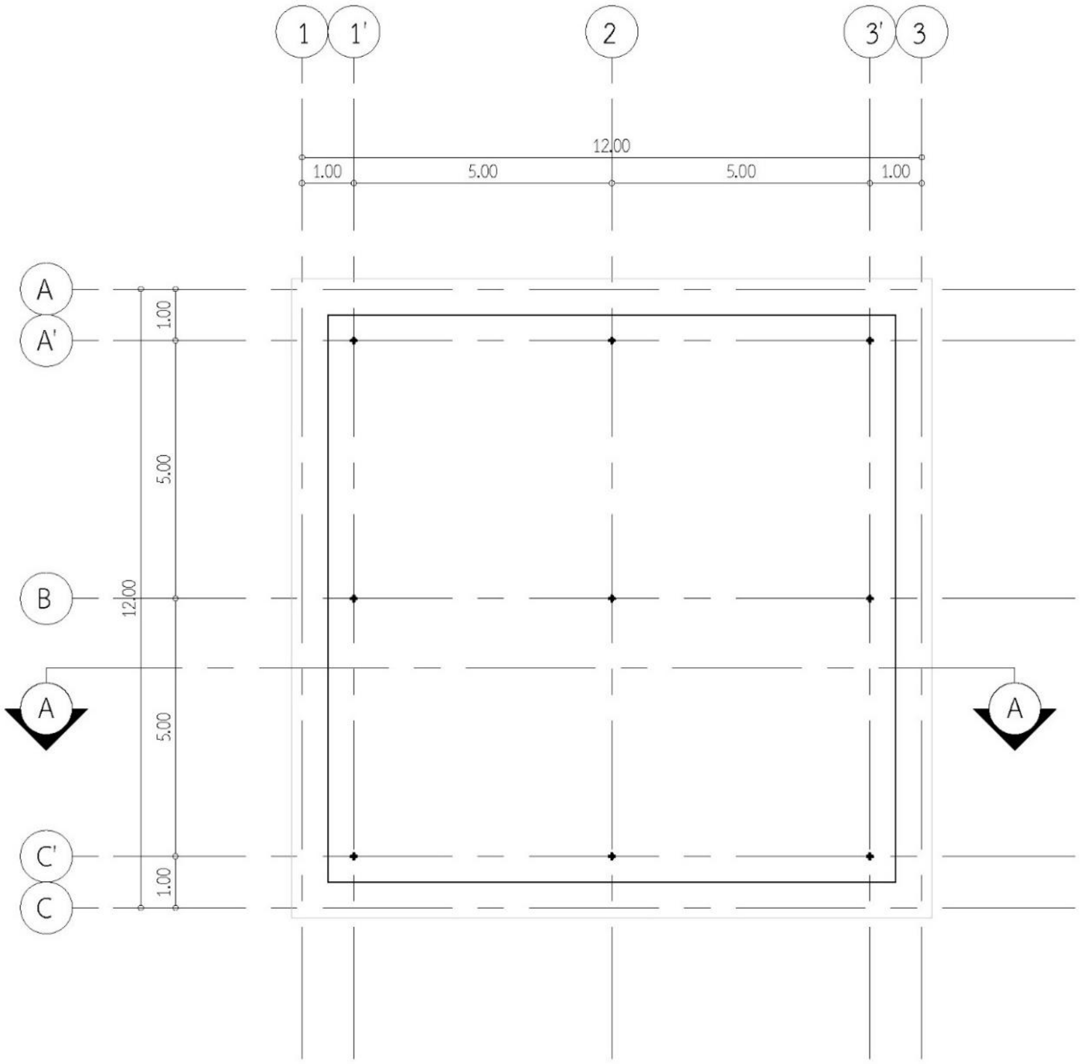


ภาพที่ 28 ผังพื้นชั้น 1 ของอาคารกรณี Base Case



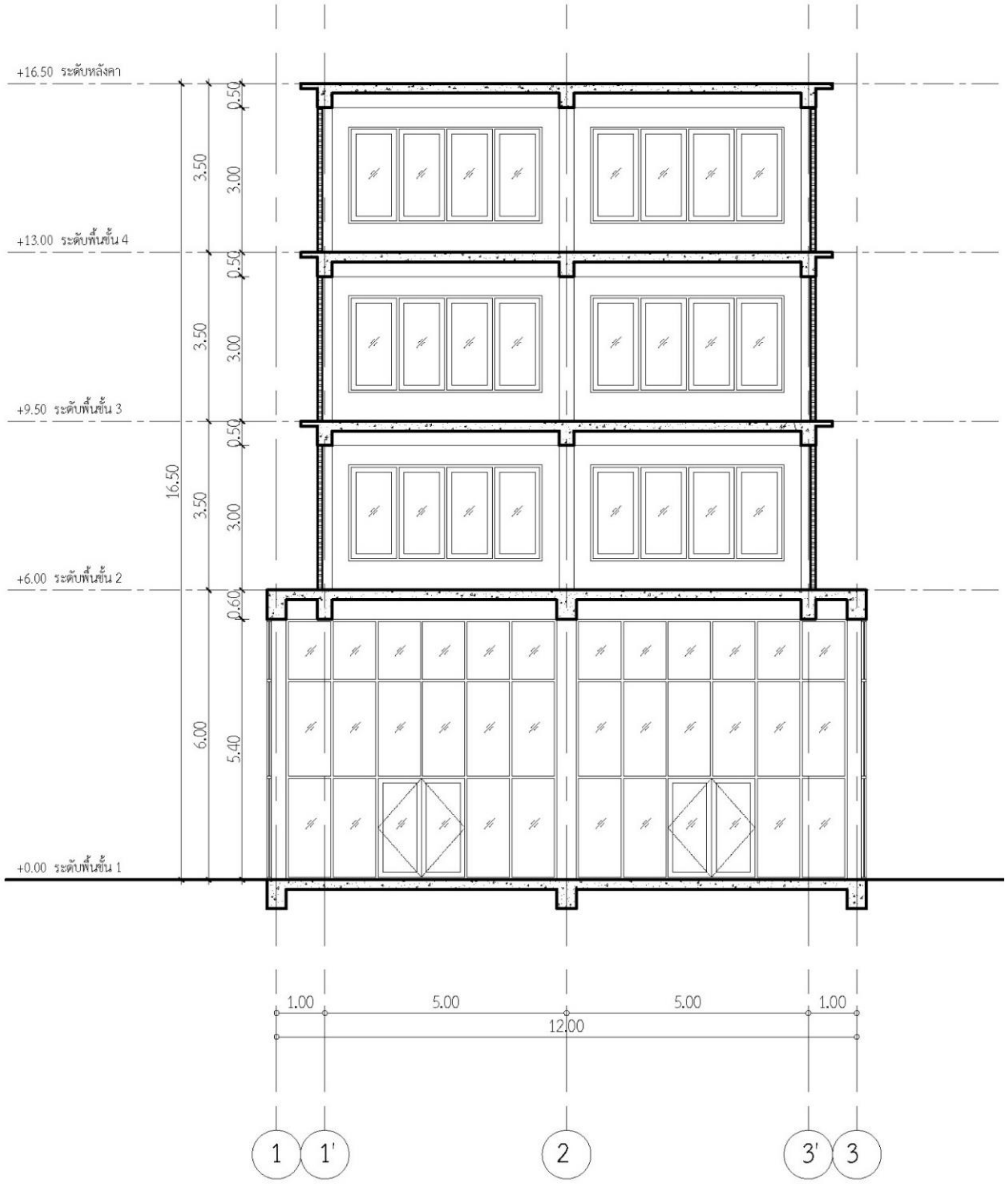
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 29 ผังพื้นชั้น 2-4 ของอาคารกรณี Base Case

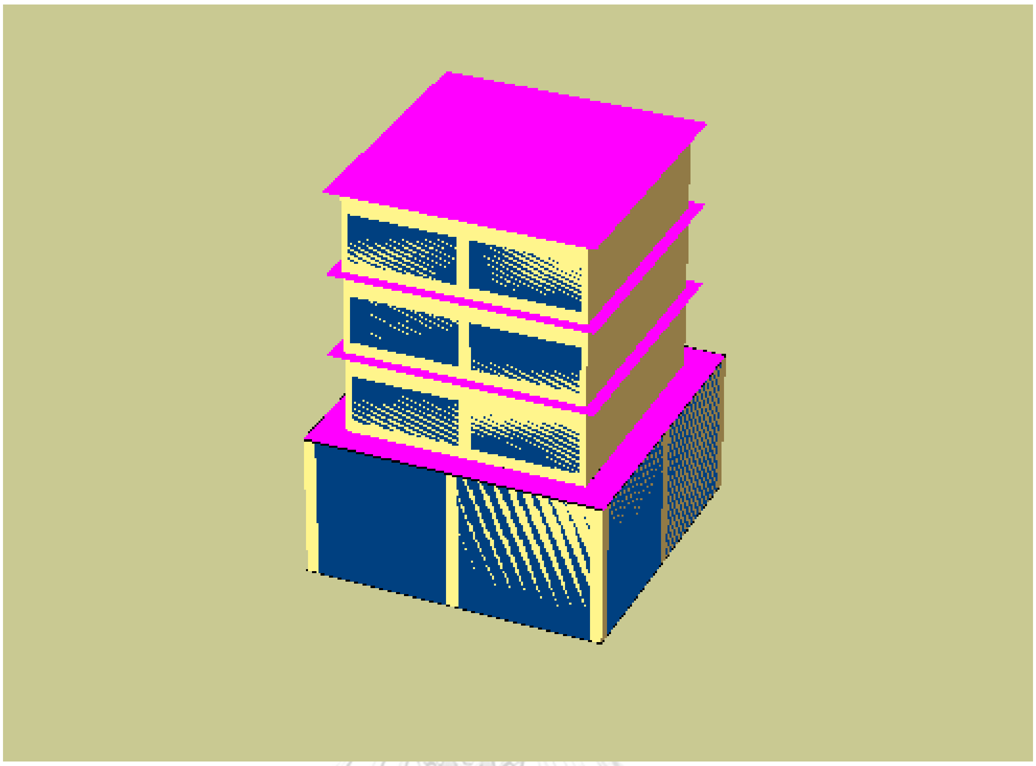


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 30 ผังหลังคาของอาคารกรณี Base Case

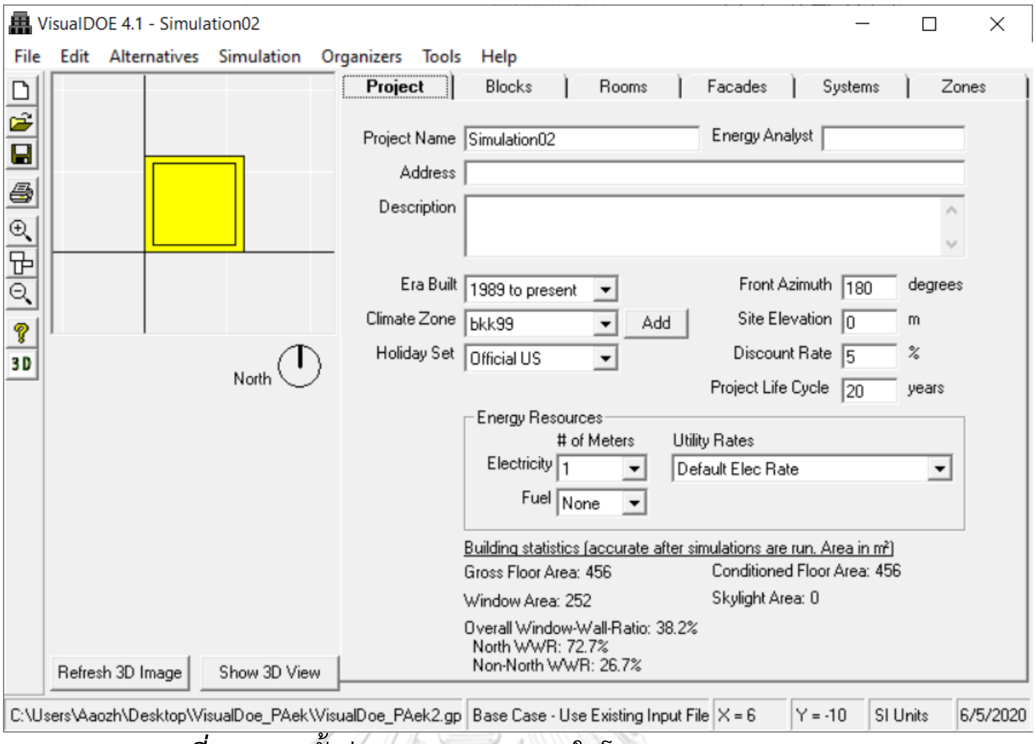


ภาพที่ 31 รูปตัดของอาคารกรณี Base Case



ภาพที่ 32 ภาพแบบจำลอง 3 มิติ ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 33 การตั้งค่าแถบ Project ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1

เพื่อให้การคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าที่สอดคล้องกับผลการทดลองภายในห้องทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ได้มีการกำหนดให้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร โดยใช้ไฟล์สภาพอากาศ bkk99 ภายใต้หัวข้อ Climate Zone นอกจากนี้ได้กำหนดให้แหล่งพลังงานมาจากพลังงานไฟฟ้าโดยใช้มิเตอร์ไฟฟ้าทั้งหมด 1 ตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6 สรุปรายละเอียดของอาคารกรณี Base Case

Gross Floor Area (m^2)	456 ตร.ม.
Conditioned Floor Area (m^2)	456 ตร.ม.
Window Area (m^2)	252 ตร.ม.
Overall Window-Wall Ratio	38.2 %

ในส่วนของการตั้งค่าลักษณะของอาคาร ได้แก่ รูปร่างของผังพื้น, ขนาดของผังพื้นแต่ละชั้น, ความสูงแต่ละชั้น และชนิดขององค์ประกอบอาคาร สามารถสรุปได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 7 สรุปการตั้งค่าลักษณะของอาคารกรณี Base Case

ระดับชั้น		**การตั้งค่า**	**หมายเหตุ**
ชั้นที่ 1	รูปร่างของผังพื้น	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	เพื่อให้แต่ละด้านมีพื้นที่ผิวรูปด้านเท่ากัน
	ขนาด	12.50 x 12.50 ม.	-
	ความสูง Floor to Floor	6.00 ม.	-
	ชนิดหลังคา	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 10 ซม. ติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 7.5 ซม.	-
	ชนิดพื้น	พื้นสมมุติ (ไม่กำหนดชนิด และความหนา)	-
	LPD	12 วัตต์/ตร.ม.	-
	EPD	12 วัตต์/ตร.ม.	-
ชั้นที่ 2 - 4	รูปร่างของผังพื้น	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	เพื่อให้แต่ละด้านมีพื้นที่ผิวรูปด้านเท่ากัน
	ขนาด	12.50 x 12.50 ม.	-
	ความสูง Floor to Floor	3.50 ม.	-
	ความสูงโพรงอากาศ	0.50 ม.	-
	ชนิดหลังคา	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 10 ซม. ติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 7.5 ซม.	-
	ชนิดฝ้าเพดาน	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด	-
	ชนิดพื้น	พื้นสมมุติ (ไม่กำหนดชนิด และความหนา)	-
	LPD	12 วัตต์/ตร.ม.	-
	EPD	12 วัตต์/ตร.ม.	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 สรุปคุณสมบัติของพื้น ผนัง และหลังคาของอาคารกรณี Basecase

Name	Type	Net Area (m^2)	U-Value (W/m^2-°C)	HC (kJ/ m^2-°C)	Absorptance
Conc 4 in., 3in. insulation., 30%	หลังคา	156.00	0.40	201.96	0.7
Simulated Slab	พื้น (ภายใน)	756.00	0.14	932.04	0.0
BrickWall10cm	ผนัง	408.00	2.55	155.81	0.7

ตารางที่ 9 สรุปคุณสมบัติของช่องเปิดของอาคารกรณี Basecase

Name	U-Value (W/m^2-°C)	SHGC	Tvis	Net Area (m^2)
Single Clear 6mm	6.168	0.815	0.881	252.00

จากกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ กำหนดให้อาคารประเภทสำนักงานต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD) สูงสุดไม่เกิน 14 W/m^2 ซึ่งภายในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดให้ใช้หลอดไฟชนิด LED (Light Emitting Diode) ซึ่งเมื่อออกแบบให้มีค่าการส่องสว่างได้ตามที่กฎกระทรวงฉบับที่ 55 จะทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD) ประมาณ 12 W/m^2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	14
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	18
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

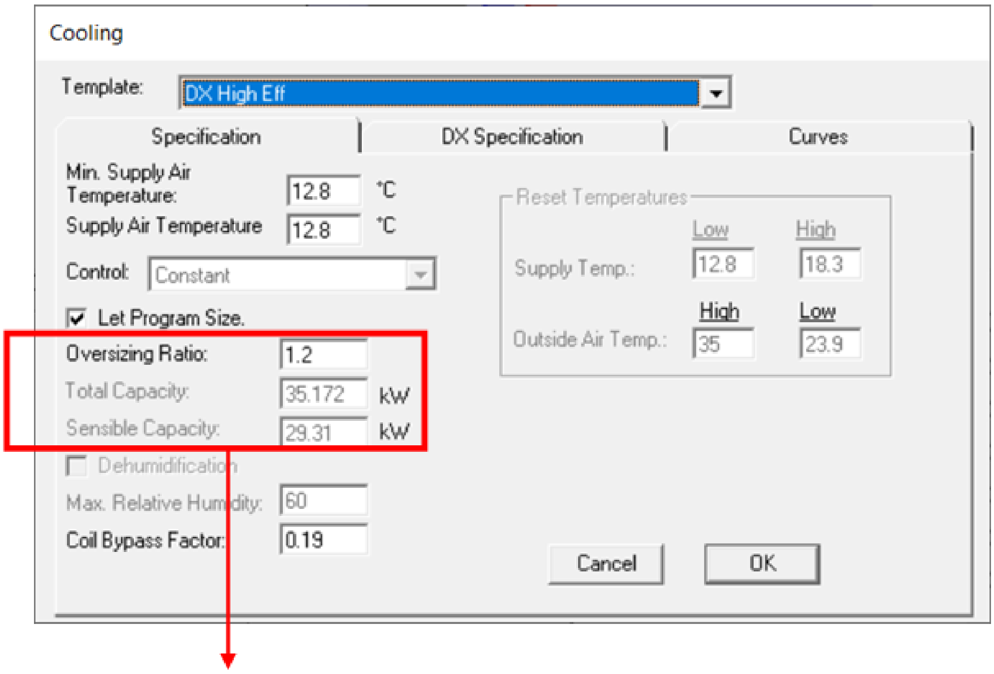
ในส่วนของระบบปรับอากาศได้มีการกำหนดให้ใช้เป็นระบบปรับอากาศแบบ Split Type เนื่องจากเป็นอาคารขนาดเล็กที่มีพื้นที่ไม่มาก ทำให้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งได้ทำการกำหนดการตั้งค่า ดังนี้

1. Type ได้กำหนดการตั้งค่าเป็น Residential System ซึ่งเป็นระบบแบบ Split Type ที่ประกอบด้วย ระบบพัดลม (Supply Fan), ระบบทำความเย็น (Cooling) และระบบทำความร้อน (Heating)
2. Return Air Path ได้กำหนดการตั้งค่าเป็น Through Space เพื่อกำหนดให้ส่วนดูดอากาศกลับตั้งอยู่ภายในห้อง ทำให้ไม่มีการใช้อากาศใหม่ (Fresh Air) ในการทำความเย็น

สำหรับการตั้งค่าพัดลมของระบบปรับอากาศได้มีการใช้ Template แบบ In EIR ซึ่งหมายความว่าตั้งค่าให้ประสิทธิภาพของพัดลมรวมเข้าไปกับแอร์ทั้งชุด หรือหมายถึงรวมทั้ง Compressor และ Supply Air อยู่ที่เดียวกัน

สำหรับการตั้งค่าระบบทำความเย็น (Cooling) ได้มีการกำหนดให้ใช้น้ำยาแอร์ในการทำความเย็นโดยใช้ Template รูปแบบ DX High Eff (ใช้น้ำยาแอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง) ซึ่งได้กำหนดให้ตัวโปรแกรมทำการคำนวณขนาดของระบบทำความเย็นแบบอัตโนมัติโดยสามารถมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ 20 % เพื่อเผื่อไว้สำหรับวันที่มีอากาศร้อนผิดปกติ หรือมีการใช้งานอาคารที่มากกว่าการออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อโปรแกรมทำการคำนวณขนาดของระบบทำความเย็นแล้วเสร็จ จะมีขนาดเท่ากับ 120,011.86 BTU/hr

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

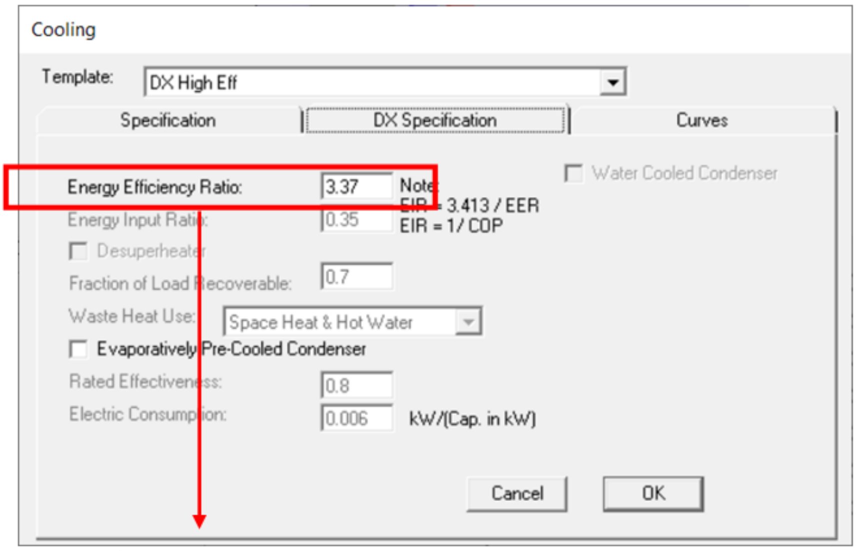


Total Capacity = 120011.86 BTU/hr

ภาพที่ 34 การตั้งค่า Cooling ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1

หลังจากนั้น ได้ทำการตั้งค่าประสิทธิภาพของ Condensing Unit (CDU) โดยกำหนดการตั้งค่าประสิทธิภาพของแอร์ในหน่วย EER (Energy Efiiciency Ratio) ให้มีค่าเท่ากับ 3.37 ซึ่งมีค่าเทียบเท่าแอร์เบอร์ 5 ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่า EER ประมาณ 11.5 kBtu/hr ต่อ 1 kW ซึ่งในหน่วย SI Unit จะต้องทำการแปลงค่า EER ให้เป็นหน่วย วัตต์ความร้อน/วัตต์ไฟฟ้า โดยนำค่า 11.5 หารด้วย 3.412 จะเท่ากับค่า EER = 3.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



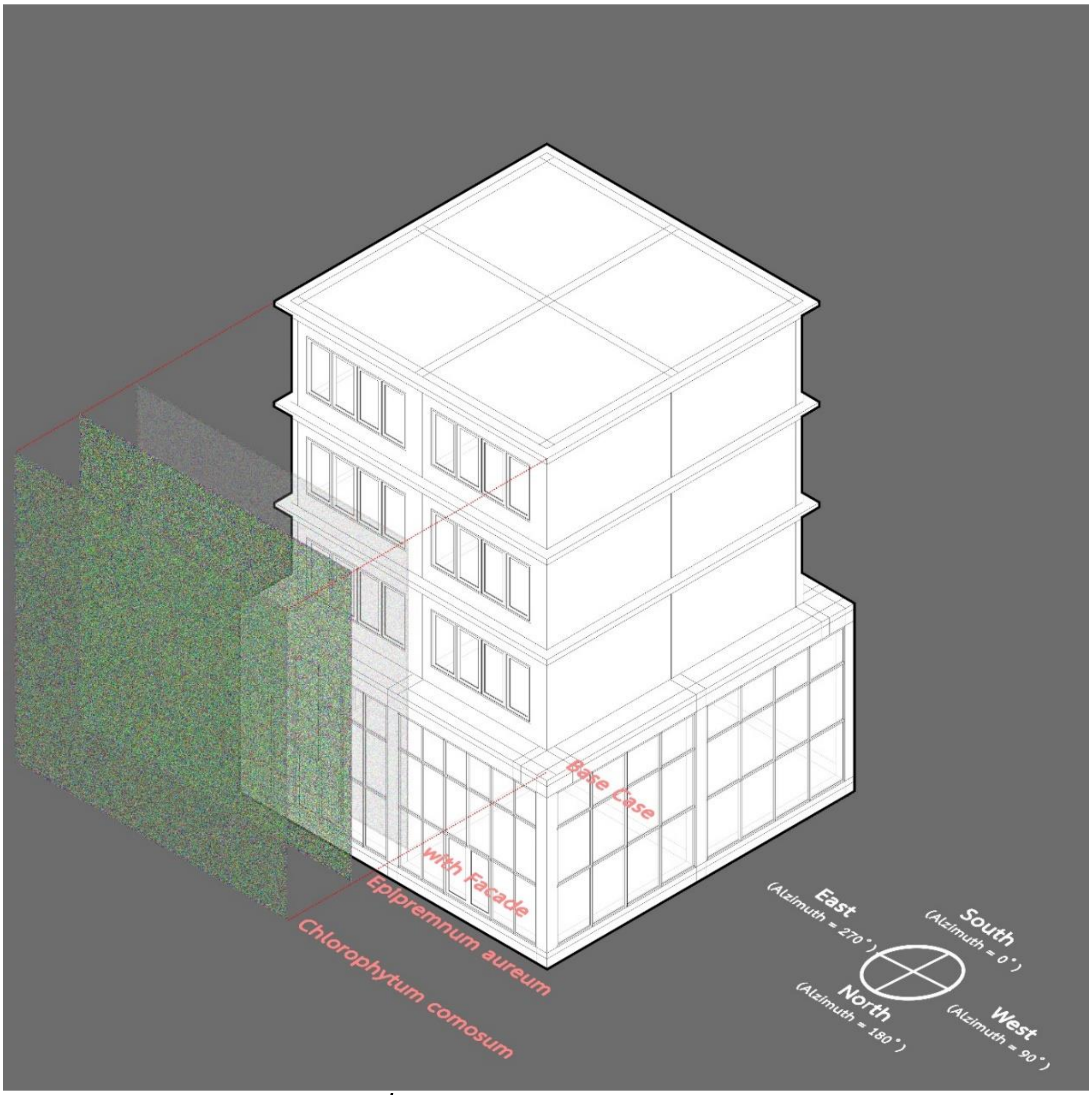
เทียบเท่าเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5

ภาพที่ 35 การตั้งค่า Cooling ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>การสร้างแบบจำลองกรณีทางเลือก</u>

สำหรับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกรณีทางเลือก ได้มีการสร้างทางเลือกที่มีการปรับแก้ไขการตั้งค่าในส่วนต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 16 กรณีทางเลือก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 36 การสร้างแบบจำลองทางเลือก

ตารางที่ 11 รายละเอียดของกรณีทางเลือกต่าง ๆ

ชื่อกรณีทางเลือก	รายละเอียด
Base Case Azimuth 270	อาคารกรณี Base Case โดยหันอาคารให้ด้านที่จะทำการติดตั้งแผงบังแดด หันไปทางทิศตะวันออก
Base Case Azimuth 180	อาคารกรณี Base Case โดยหันอาคารให้ด้านที่จะทำการติดตั้งแผงบังแดด หันไปทางทิศเหนือ
Base Case Azimuth 90	อาคารกรณี Base Case โดยหันอาคารให้ด้านที่จะทำการติดตั้งแผงบังแดด หันไปทางทิศตะวันตก
Base Case Azimuth 0	อาคารกรณี Base Case โดยหันอาคารให้ด้านที่จะทำการติดตั้งแผงบังแดด หันไปทางทิศใต้
With Facade Azimuth 270	ทำการติดตั้งแผงบังแดด โดยหันไปทางทิศตะวันออก
With Facade Azimuth 180	ทำการติดตั้งแผงบังแดด โดยหันไปทางทิศเหนือ
With Facade Azimuth 90	ทำการติดตั้งแผงบังแดด โดยหันไปทางทิศตะวันตก
With Facade Azimuth 0	ทำการติดตั้งแผงบังแดด โดยหันไปทางทิศใต้
Epipremnum aureum Azimuth 270	ทำการติดตั้งแผงต้นพลูด่าง โดยหันไปทางทิศตะวันออก
Epipremnum aureum Azimuth 180	ทำการติดตั้งแผงต้นพลูด่าง โดยหันไปทางทิศเหนือ
Epipremnum aureum Azimuth 90	ทำการติดตั้งแผงต้นพลูด่าง โดยหันไปทางทิศใต้
Epipremnum aureum Azimuth 0	ทำการติดตั้งแผงต้นพลูด่าง โดยหันไปทางทิศตะวันตก
Chlorophytum comosum Azimuth 270	ทำการติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก โดยหันไปทางทิศตะวันออก
Chlorophytum comosum Azimuth 270	ทำการติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก โดยหันไปทางทิศเหนือ
Chlorophytum comosum Azimuth 270	ทำการติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก โดยหันไปทางทิศใต้
Chlorophytum comosum Azimuth 270	ทำการติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก โดยหันไปทางทิศตะวันตก

สำหรับการตั้งค่าทิศทางของแผงบังแดดที่จะหันไปทางทิศต่าง ๆ จะทำการตั้งค่าโดยใช้ค่า Front Azimuth ที่อยู่ภายในแถบ Project โดยตั้งค่าตั้งแต่ 0, 90, 180, 270 เพื่อให้แผงบังแดดของอาคารหันไปทางทิศตะวันตก ทิศใต้ ทิศเหนือ และทิศตะวันออกตามลำดับ

ในส่วนของขั้นตอนการสร้างแผงบังแดดได้มีการตั้งค่าโดยใช้เครื่องมือ Edit->Exterior Shading ซึ่งได้ทำการสร้างแผงให้อยู่ทางด้านที่มีช่องเปิด โดยมีลักษณะยาวตามผนังทั้งด้าน และห่างจากผนังเป็นระยะ 50 ซม. โดยติดตั้งแผงสูงตั้งแต่ชั้น 2 ถึงหลังคา เพื่อทำการบังแดดให้แก่ช่องเปิดที่อยู่ตั้งแต่ชั้น 2-4 ทั้งหมด จากนั้นทำการกำหนดค่า SC ให้แก่แผงบังแดดที่สร้าง ซึ่งสามารถสรุปค่า SC ที่ใช้ในแต่ละแผงได้จากตารางดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 ข้อมูลค่า SC กรณีติดตั้งแผงเปล่า

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
27/01/63	12.00-13.00	22.93	43.78	0.52
	13.00-14.00	31.016	145.786	0.21
	14.00-15.00	334.26	802.37	0.42
	15.00-16.00	485.01	615	0.79
	16.00-17.00	118.633	408.803	0.29
28/01/63	12.00-13.00	32.357	89.557	0.36
	13.00-14.00	192.628	473.868	0.41
	14.00-15.00	434.971	696.508	0.62
	15.00-16.00	130.371	463.557	0.28
	16.00-17.00	180.54	331.557	0.54
29/01/63	12.00-13.00	44.1714	83.885	0.53
	13.00-14.00	63.714	118.393	0.54
	14.00-15.00	166.228	420.147	0.40
	15.00-16.00	255.528	518.885	0.49
	16.00-17.00	112.351	341.754	0.33
30/01/63	12.00-13.00	99.347	133.96	0.74
	13.00-14.00	248.31	376.36	0.66
	14.00-15.00	300.548	336.114	0.89
	15.00-16.00	200.674	268.229	0.75
	16.00-17.00	105.347	167.21	0.63
31/01/63	12.00-13.00	225.05	458.67	0.49
	13.00-14.00	416.933	697.154	0.60
	14.00-15.00	132.516	465.478	0.28
	15.00-16.00	120.014	398.31	0.30
	16.00-17.00	86.254	303.065	0.28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 (ต่อ) ข้อมูลค่า SC กรณีติดตั้งแผงเปล่า

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
2/02/63	12.00-13.00	33.516	156.241	0.21
	13.00-14.00	123.54	257.901	0.48
	14.00-15.00	321.547	617.564	0.52
	15.00-16.00	263.157	395.163	0.67
	16.00-17.00	244.391	350.263	0.70
	17.00-18.00	104.567	117.85	0.89
3/02/63	12.00-13.00	67.183	137.147	0.49
	13.00-14.00	49.766	214.541	0.23
	14.00-15.00	265.24	334.098	0.79
	15.00-16.00	244.34	383.475	0.64
	16.00-17.00	213.46	322.065	0.66
4/02/63	12.00-13.00	14.233	112.508	0.13
	13.00-14.00	32.216	149.196	0.22
	14.00-15.00	56.466	295.278	0.19
	15.00-16.00	41.65	406.278	0.10
	16.00-17.00	164.31	365.557	0.45
	17.00-18.00	94.35	167.639	0.56
			ค่า SC เฉลี่ย	**0.49**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 13 ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นพลูด่าง

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
5/02/63	12.00-13.00	16.05	105.213	0.15
	13.00-14.00	30.85	212.31	0.15
	14.00-15.00	105.033	405.09	0.26
	15.00-16.00	44.733	451.786	0.10
	16.00-17.00	221.42	411.03	0.54
6/02/63	12.00-13.00	18.216	132.393	0.14
	13.00-14.00	25.033	311.688	0.08
	14.00-15.00	52.816	438.7705	0.12
	15.00-16.00	106.55	459.573	0.23
	16.00-17.00	62.016	325.36	0.19
7/02/63	12.00-13.00	18.966	119.04	0.16
	13.00-14.00	27.8	126.343	0.22
	14.00-15.00	68.233	242.114	0.28
	15.00-16.00	47.916	392.278	0.12
	16.00-17.00	16.983	346.311	0.05
8/02/63	12.00-13.00	19.533	201.35	0.10
	13.00-14.00	30.716	321.885	0.10
	14.00-15.00	47.85	337.52	0.14
	15.00-16.00	73.3	356.983	0.21
	16.00-17.00	8.816	227.15	0.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 13 (ต่อ) ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นพลูด่าง

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
9/02/63	12.00-13.00	17.3	123.688	0.14
	13.00-14.00	26.516	303.065	0.09
	14.00-15.00	46.45	384.24	0.12
	15.00-16.00	49.9	363.163	0.14
	16.00-17.00	14.316	268.95	0.05
10/02/63	12.00-13.00	14.916	201.262	0.07
	13.00-14.00	33.55	380.016	0.09
	14.00-15.00	51.733	356.25	0.15
	15.00-16.00	61.966	357	0.17
	16.00-17.00	50.412	111.311	0.45
11/02/63	12.00-13.00	29.516	169.082	0.17
	13.00-14.00	27.116	341.183	0.08
	14.00-15.00	44.45	448.114	0.10
	15.00-16.00	136.487	248.163	0.55
	16.00-17.00	58.966	203.065	0.29
8/03/63	12.00-13.00	18.666	376.95	0.05
	13.00-14.00	21.383	581.35	0.04
	14.00-15.00	46.1	605.433	0.08
	15.00-16.00	95.9	619.133	0.15
	16.00-17.00	89.10	201.854	0.44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 13 (ต่อ) ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นพลูด่าง

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
9/03/63	12.00-13.00	15.083	122.09	0.12
	13.00-14.00	25.566	365.3	0.07
	14.00-15.00	45.85	55.483	0.83
	15.00-16.00	135.45	648.9	0.21
	16.00-17.00	52.183	640.7	0.08
10/03/63	12.00-13.00	17.016	121.033	0.14
	13.00-14.00	28.9	128.5	0.22
	14.00-15.00	51.566	245.15	0.21
	15.00-16.00	66.433	398.816	0.17
	16.00-17.00	43.066	352.083	0.12
			ค่า SC เฉลี่ย	**0.19**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
12/02/63	12.00-13.00	21.516	111.557	0.19
	13.00-14.00	28.2	284.918	0.10
	14.00-15.00	73.083	441.962	0.17
	15.00-16.00	307.65	491.377	0.63
	16.00-17.00	59.183	394.278	0.15
13/02/63	12.00-13.00	16.85	95.098	0.18
	13.00-14.00	26.9	227.442	0.12
	14.00-15.00	51.283	512.934	0.10
	15.00-16.00	216.98	533.466	0.41
	16.00-17.00	87.233	119.409	0.73
14/02/63	12.00-13.00	15.45	88.131	0.18
	13.00-14.00	14.86	127.22	0.12
	14.00-15.00	28.616	384.508	0.07
	15.00-16.00	192.933	592.114	0.33
	16.00-17.00	256.9	620.95	0.41
15/02/63	12.00-13.00	11.7	70.032	0.17
	13.00-14.00	13.016	254.75	0.05
	14.00-15.00	34.233	513.62	0.07
	15.00-16.00	398.083	660.409	0.60
	16.00-17.00	247.96	727.37	0.34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 (ต่อ) ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
16/02/63	12.00-13.00	11.5	76.557	0.15
	13.00-14.00	17.95	358.524	0.05
	14.00-15.00	68.6	613.819	0.11
	15.00-16.00	234.233	684.672	0.34
	16.00-17.00	179.33	677.901	0.26
17/02/63	12.00-13.00	18.633	193.033	0.10
	13.00-14.00	30.166	432.25	0.07
	14.00-15.00	57.116	574.85	0.10
	15.00-16.00	199.233	636.65	0.31
	16.00-17.00	120.783	577.483	0.21
18/02/63	12.00-13.00	27.5	121.6	0.23
	13.00-14.00	45.6	263.683	0.17
	14.00-15.00	43.266	252.766	0.17
	15.00-16.00	89.01	190.2	0.47
	16.00-17.00	180	203.016	0.89
28/02/63	12.00-13.00	52.2	99.466	0.52
	13.00-14.00	96.05	243.74	0.39
	14.00-15.00	119.5	310.983	0.38
	15.00-16.00	117.5	198.083	0.59
	16.00-17.00	140.25	169.184	0.83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 (ต่อ) ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
1/03/63	12.00-13.00	121.65	376.95	0.32
	13.00-14.00	66.75	581.35	0.11
	14.00-15.00	92.466	598	0.15
	15.00-16.00	207.833	619.133	0.34
	16.00-17.00	380.733	405.59	0.94
2/03/63	12.00-13.00	70.583	128.5	0.55
	13.00-14.00	86.4	245.15	0.35
	14.00-15.00	112	398.816	0.28
	15.00-16.00	390.44	410.09	0.95
	16.00-17.00	430.483	460.91	0.93
3/03/63	12.00-13.00	71.733	166.55	0.43
	13.00-14.00	84.366	378.25	0.22
	14.00-15.00	186.383	525.55	0.35
	15.00-16.00	170.36	183.49	0.92
	16.00-17.00	292.4	438.7	0.67
4/03/63	12.00-13.00	54.883	272.1	0.20
	13.00-14.00	71.533	483.166	0.15
	14.00-15.00	98.016	535.8	0.18
	15.00-16.00	180.09	185.06	0.97
	16.00-17.00	169.02	175.59	0.96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

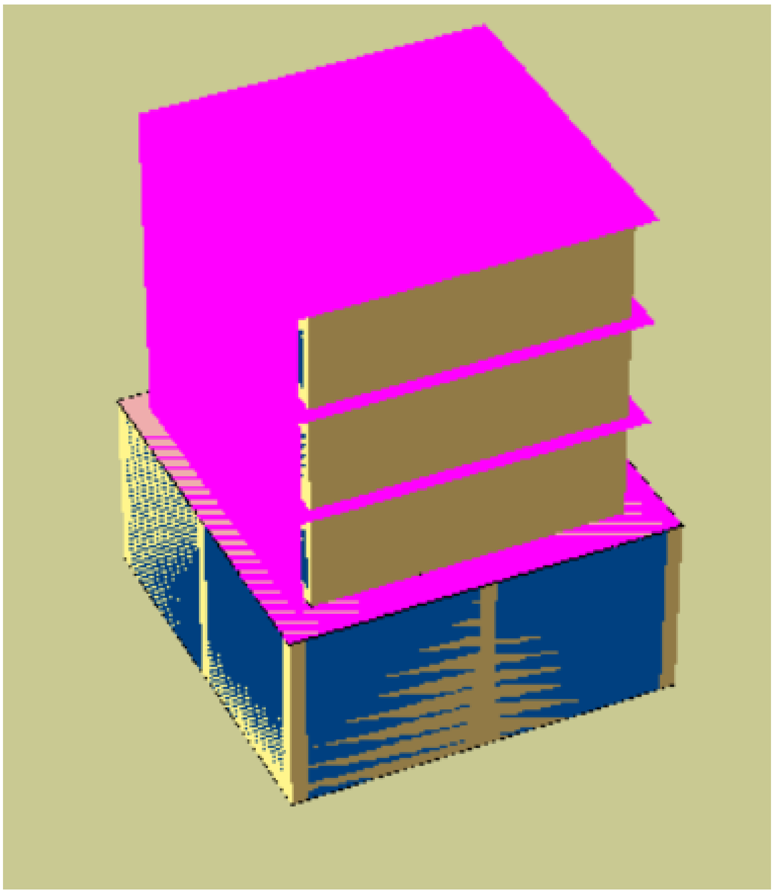
ตารางที่ 14 (ต่อ) ข้อมูลค่า SC ติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก

วันที่	เวลา	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)		SC
		ใน	นอก	
5/03/63	12.00-13.00	180.64	369.95	0.49
	13.00-14.00	249.34	549.95	0.45
	14.00-15.00	423.01	590.766	0.72
	15.00-16.00	427.34	517.93	0.83
	16.00-17.00	201.34	210.58	0.96
6/03/63	12.00-13.00	54.033	105.13	0.51
	13.00-14.00	60.2	134.6	0.45
	14.00-15.00	58.4	316.68	0.18
	15.00-16.00	328.05	446.083	0.74
	16.00-17.00	491.233	497.23	0.99
			ค่า SC เฉลี่ย	**0.35**

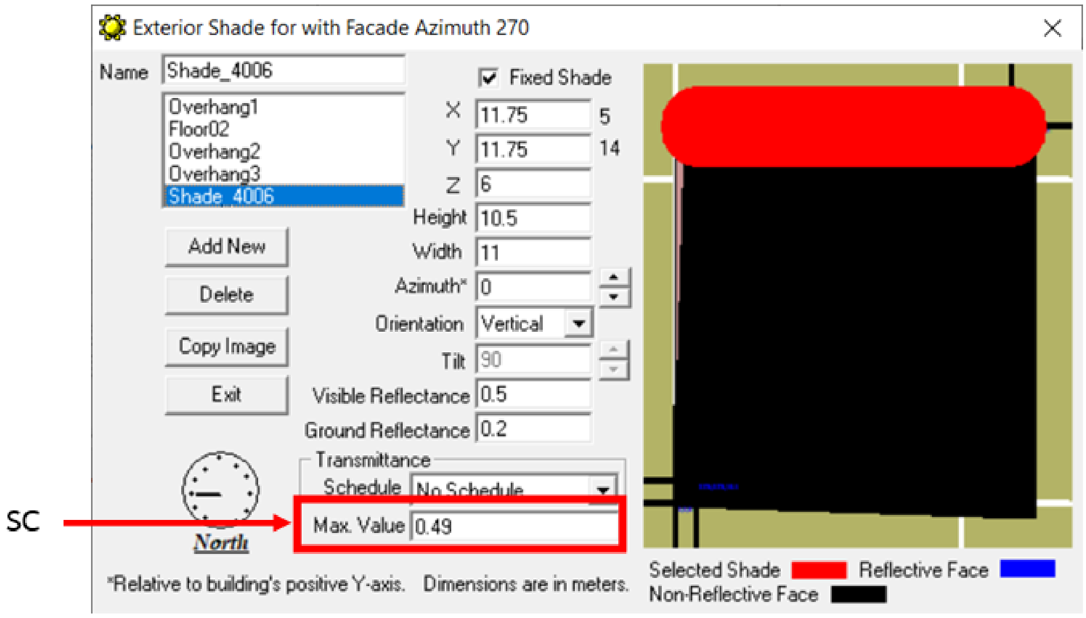
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 15 สรุปค่า SC ที่ใช้ในแต่ละกรณีทางเลือก

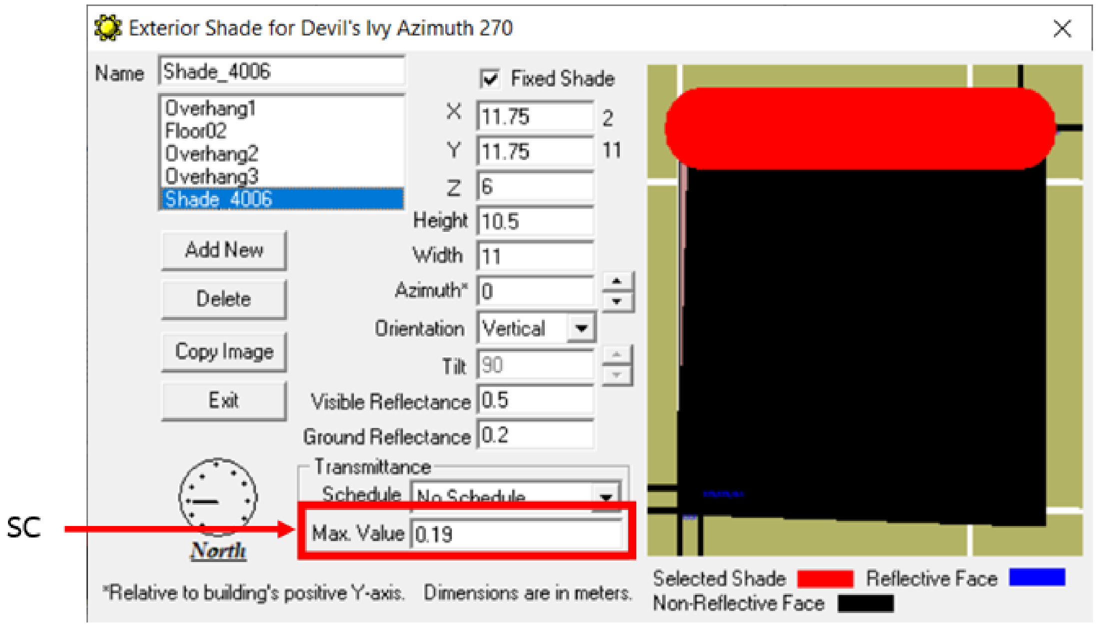
ชื่อกรณีทางเลือก	รายละเอียด	SC
Base Case	ไม่ติดตั้งแผง	-
With Facade	ติดตั้งแผงเปล่า	0.49
Devil's Ivy	ติดตั้งแผงต้นพลูด่าง	0.19
Chlorophytum comosum	ติดตั้งแผงต้นเศรษฐีเรือนนอก	0.35



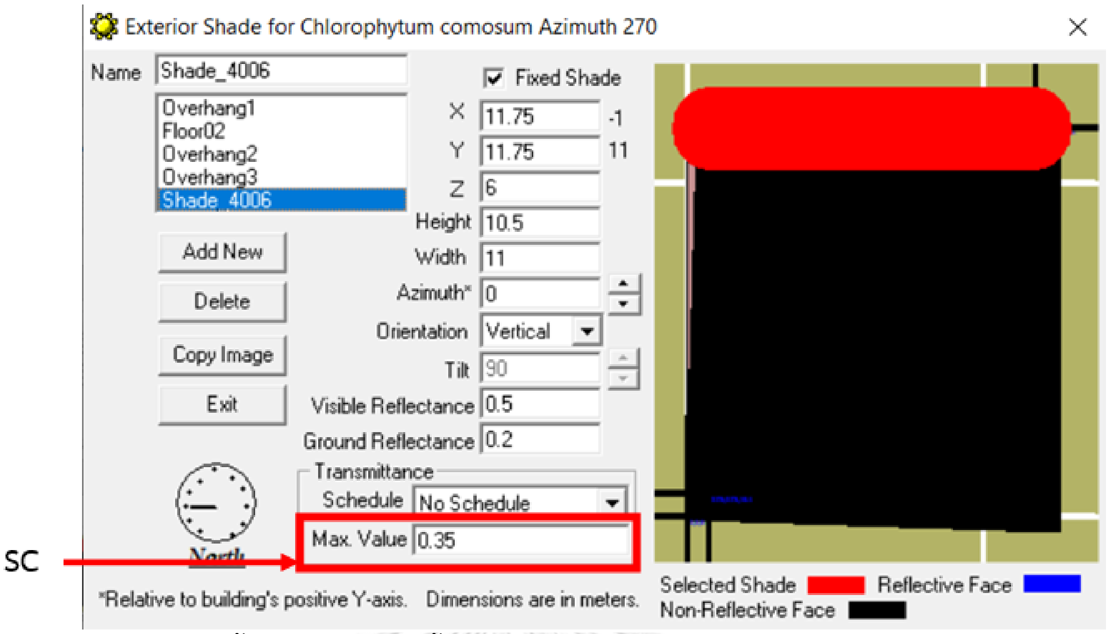
ภาพที่ 37 ภาพแบบจำลอง 3 มิติ กรณีสร้างแผงบังแดด ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1



ภาพที่ 38 การตั้งค่า SC กรณีติดตั้งแผงเปล่า ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1



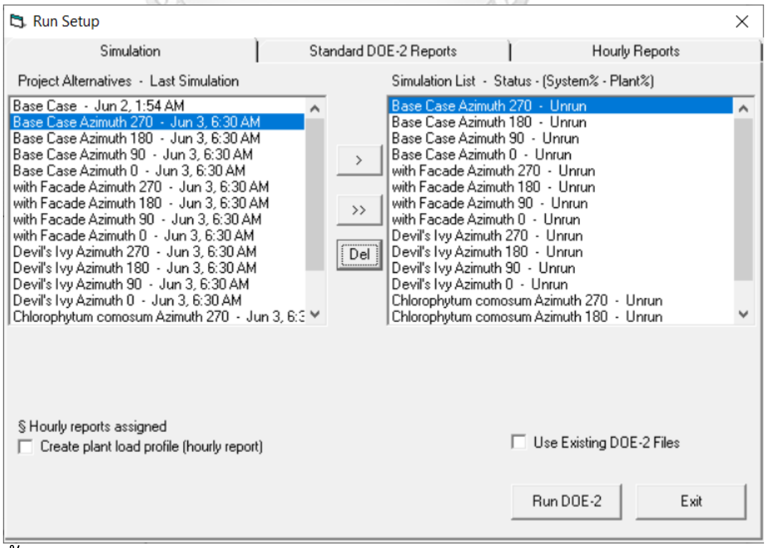
ภาพที่ 39 การตั้งค่า SC กรณีติดตั้งแผงพลูด่าง ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1



ภาพที่ 40 การตั้งค่า SC กรณีติดตั้งแผงเศรษฐีเรือนนอก ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1

<u>การจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร</u>

เมื่อทำการแบบจำลองอาคารกรณีทางเลือกทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารเพื่อทำการกำหนดกรณีทางเลือกที่จะรวมอยู่ในการจำลองครั้งนี้ ซึ่งเมื่อทำการจำลองแล้วเสร็จจะปรากฏผลการจำลองในรูปแบบแผนภูมิ และรายงาน



ภาพที่ 41 ขั้นตอนการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ภายในโปรแกรม Visual DOE 4.1

3.4 การทดลองเบื้องต้น

3.3.1 การติดตั้งต้นพลูด่าง และเศรษฐีเรือนนอกกับแผงบังแดด

เลือกใช้ต้นพลูด่าง (*Epipremnum aureum*) เป็นตัวแทนพืชใบกว้าง ที่มีจำนวนใบประมาณ 20-25 ใบ/กระถาง และต้นเศรษฐีเรือนนอก (*Chlorophytum comosum*) เป็นตัวแทนพืชใบแคบ ที่มีจำนวนใบประมาณ 30-35 ใบ/กระถาง ใช้เปลือกมะพร้าวสับและดินผสมใบก้ามปูเป็นวัสดุปลูก ในกระถางสี่เหลี่ยม ขนาด 8 x 11 x 8 ซม. ผูกยึดกระถางกับโครงคร่าวแผงบังแดดด้วยลวดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. ใช้ต้นพลูด่างหรือต้นเศรษฐีเรือนนอกจำนวน 240 ต้น ต่อชุดการทดลอง

3.3.2 การวัดฝุ่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

การวัดปริมาณฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยเปรียบเทียบ 4 ชุดการทดลอง 1) สภาวะห้องจำลองที่ไม่มีแผงบังแดด 2) ห้องจำลองที่ติดตั้งแผงบังแดด 3) ห้องจำลอง ที่ติดตั้งแผงบังแดด และปลูกต้นพลูด่าง และ 4) ห้องจำลองที่ติดตั้งแผงบังแดดและปลูกต้นเศรษฐีเรือนนอก โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในแต่ละชุดการทดลองเป็นเวลาต่อเนื่อง 3 วัน

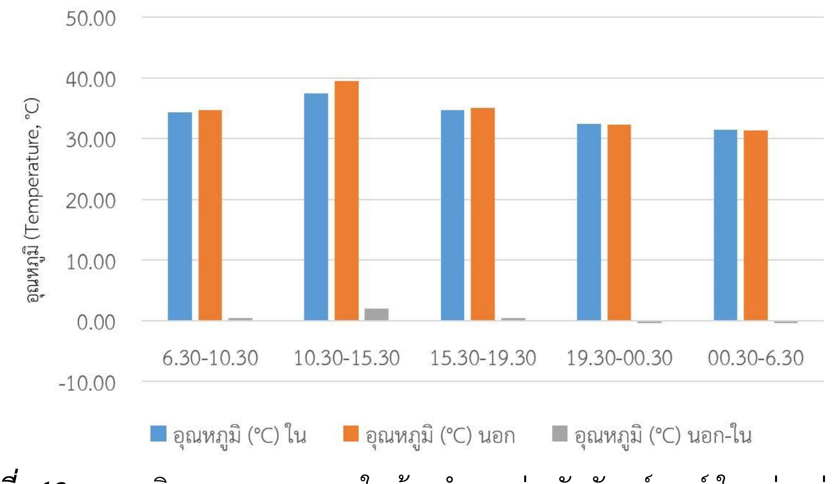
3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ SPSS รุ่น 17

ตารางที่ 16 ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น

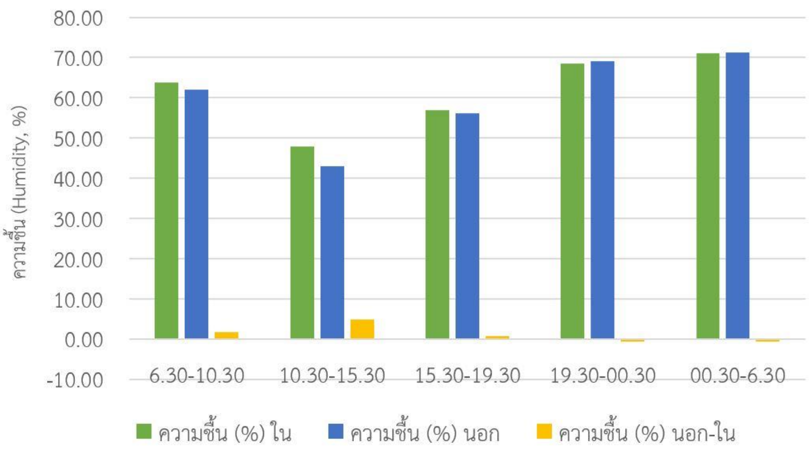
ชุดทดลอง	6.30 – 10.30 น.				10.30 – 15.30 น.			
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	ฝุ่น pm2.5 (ppm.)	ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	ฝุ่น pm2.5 (ppm.)	ความเร็วลม (m/s)
ไม่มีแผง	0.49[a]	-1.80[a]	17.30 [a]	0	1.99	-4.04[a]	11.09[a]	0
มีแผงบังแดดอย่างเดียว	1.24[b]	-1.22[a]	28.30[b]	0	2.14	-4.22[a]	14.09[a]	0
แผงบังแดดปลูกพลูด่าง	1.49[c]	-2.13[b]	35.63[c]	0	3.09	-8.00[b]	18.38[b]	0
แผงบังแดดปลูกเศรษฐีเรือนนอก	1.66[c]	-2.71[b]	32.40[c]	0	3.66	-6.11[c]	17.06[b]	0

หมายเหตุ : ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น คือ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝน ความเร็วลม และพืชแต่ละชนิดมีศักยภาพในการลดฝุ่นได้แตกต่างกัน โดยเฉพาะพืชที่ไม่ผลัดใบมี (Dochinger, 1980, Bache, 1979, Wiman, 1985, Beckett et al. , 2000, Feer-Smith et al., 2005, Ram et al., 2012) ในพื้นที่ทดลองเป็นบริเวณสี่แยกไฟแดงที่มีการจราจรคับคั่ง และมีฝุ่นฟุ้งกระจาย และเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาพบว่า ช่วงเวลาเนื่องจากช่วงเช้าเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิบรรยากาศค่อนข้างต่ำ และฝุ่นจะจมตัวลงสู่ด้านล่างซึ่งเป็นบริเวณที่จะสัมผัสกับมนุษย์ได้ ประกอบกับเกิดกิจกรรมที่สร้างฝุ่นละอองจากการจราจรที่เริ่มคับคั่ง แต่ช่วงเวลา15.30-19.30 น. เป็นช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงสุดของวัน (Panrare, 2015) มีผลต่างของปริมาณฝุ่นน้อยลงเพราะอากาศร้อนพยุงฝุ่นละอองให้ลอยตัวขึ้นไปในบรรยากาศชั้นสูง (Beckett et al, 2000, Feer-Smith et al., 2005) แต่หลังจาก 19.30 น. จนถึงรุ่งเช้า การจราจรจะเบาบางลง ส่งผลให้ปริมาณฝุ่นในบรรยากาศลดลงด้วย (Chow et al., 2006) ดังนั้นจึงเลือกเปรียบเทียบผลการติดตั้งแผงบังแดดที่ปลูกพืชเพื่อลดฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน ในช่วงเวลา 6.30-10.30 น. และ 10.30-15.30 น. ต่อไป การติดตั้งแผงบังแดดและแผงบังแดดที่ปล่อยฝุ่นเข้าสู่ตัวอาคารด้วยวิธีการทางกายภาพ สำหรับการติดตั้งแผงบังแดดอย่างเดียว และเป็น Biofilter เมื่อปลูกพืชร่วมด้วย เนื่องจากความเร็วลมในตารางมีค่าเท่ากับ 0 เพราะว่าความเร็วลมภายในและภายนอกมีความเร็วต่ำมากจนเครื่องมือที่ใช้วัดไม่มีประสิทธิภาพนการวัดความเร็วลมที่ต่ำทำให้ไม่นำความเร็วลมมาคำนวณในการทดลอง

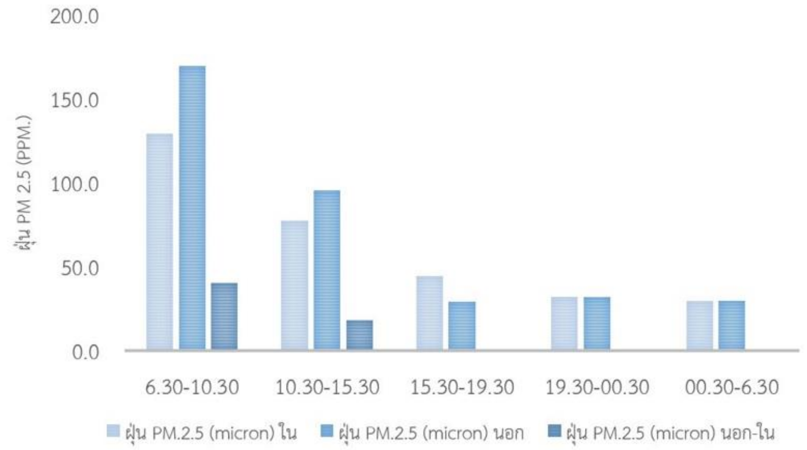


ภาพที่ 42 อุณหภูมิภายนอกและภายในห้องจำลองช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ในแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 43 ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในห้องจำลองช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ในแต่ละช่วงเวลา

	6.30-10.30 น.	10.30-15.30 น.	15.30-19.30 น.	19.30-0.30 น.	0.30-6.30 น.
จำนวนรถเฉลี่ย	2,883 [a]	2,174 [a]	2,650 [a]	826 [b]	545 [b]



ภาพที่ 44 ปริมาณฝุ่นภายนอกและภายในห้องจำลองช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ในแต่ละช่วงเวลา

ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งแผงบังแดดอย่างเดียวช่วยลดฝุ่นละอองได้บ้าง แต่การปลูกพืชร่วมด้วย สามารถช่วยลดปริมาณฝุ่นได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เพราะพืชช่วยลดความแรงของลมและใบพืชช่วยดักจับและกรองฝุ่นก่อนเข้าสู่ตัวอาคาร (Currie et al., 2008) พืชที่มีขนเล็ก ๆ ที่ผิวใบหรือมีผิวใบมีไขมันเคลือบหนา จะมีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นมากขึ้น (Beckett et al, 2000, Feer-Smith et al., 2005) การติดตั้งแผงบังแดดช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ โดยที่แผงบังแดดทำหน้าที่ให้ร่มเงากับตัวอาคาร และเมื่อปลูกพืชร่วมด้วยจะทำให้ลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้เนื่องจากได้ร่มเงาจากใบพืชเพิ่มเติมและได้ความชื้นจากการคายน้ำของพืชด้วย ทั้งพืชใบแคบ (เศรษฐีเรือนนอก) และใบกว้าง (พลูด่าง) ซึ่งเป็นพืชไม่ผลัดใบมีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอนไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้หากเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลให้นานขึ้นจนพืชแตกใบใหม่หรือแตกกอ

เพิ่มขึ้น ศักยภาพในการคายน้ำ และลดฝุ่นละอองเข้าสู่ตัวอาคารน่าจะเพิ่มขึ้นได้ ถ้าศึกษาดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มเติมอาจช่วยให้วิจารณ์กลไกการลดฝุ่น 2.5 ไมครอน และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดได้ชัดเจนมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
วิจารณ์ผลการทดลอง

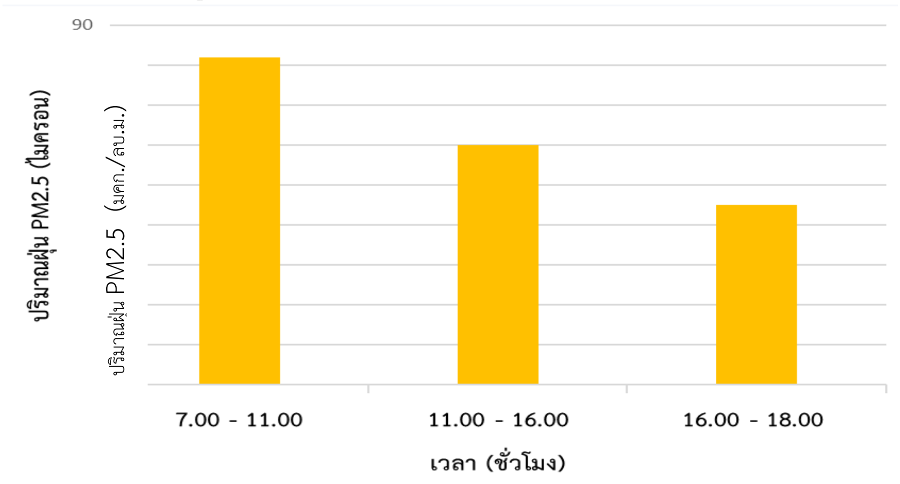
4.1 เปรียบเทียบคุณภาพอากาศในแต่ละช่วงเวลา

การเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ฝุ่นละลองขนาดเล็ก (PM2.5) อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ชุดข้อมูลถูกเก็บเป็นรายชั่วโมง(วันจันทร์ถึงวันอาทิตย์) และเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างภายในและภายนอกอาคาร แสดงความแตกต่างของช่วงเวลา 5 ช่วง คือ 7.00-11.00 น. 11.00-16.00 น. และ 16.00-18.00 น. ตามลำดับ โดยสังเกตจำนวนรถจะมีผลกระทบโดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นให้เพิ่มมากขึ้นซึ่งอุณหภูมิต่ำทำให้ปริมาณของฝุ่นเพิ่มสูงขึ้นและปริมาณของฝุ่นจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น คือ ช่วงเวลา 11.00-18.00 น. ความเข้มข้นของค่าฝุ่นละอองสูงขึ้นมักพบที่อุณหภูมิต่ำและแหล่งที่ปลดปล่อยฝุ่นละอองจำนวนมากมาจากการเผาไหม้ของรถยนต์ในเขตเมือง (Chow et al, 2006) ความเข้มข้นของค่าฝุ่นละอองลดลงเมื่อเวลา 13.00 น. ถึง 18.00 น. เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มการกระจายตัวของฝุ่นสู่ชั้นบรรยากาศถึงแม้จะมีจำนวนรถยนต์หนาแน่น

4.2 ผลของแผงบังแดดและแผงบังแดดที่ติดตั้งต้นไม้ต่อคุณภาพอากาศ

ความเข้มข้นของฝุ่นละลองขนาดเล็ก (PM2.5) อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากรูปที่ 45 แสดงผลการทดลองในอากาศโดยเปรียบเทียบระหว่างเวลา 7.00-11.00 11.00-16.00 และ 16.00-18.00 ซึ่งความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในของห้องทดลองแผงบังแดดและแผงบังแดดที่ติดตั้งต้นไม้สามารถลดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งสามารถเข้าสู่ห้องทดลองอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 45 เปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นกับเวลา

ช่วงเวลาเช้าตั้งแต่ 7.00-11.00 จะมีปริมาณของความชื้นในห้องทดลองสูงกว่าภายนอก เนื่องจากมีแผงกั้นอยู่ระหว่างห้องทดลองมีผลทำให้การระบายอากาศน้อยลงและปริมาณความชื้นของแผงบังแดดเปล่าจะน้อยกว่าแผงกั้นที่ติดตั้งต้นไม้เพราะว่าต้นไม้มีการสังเคราะห์แสงทำให้มีการคายน้ำทางใบจึงส่งผลให้มีความชื้นสูงกว่า จากตารางที่ 17 พบว่าความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละลองขนาดเล็ก อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกของห้องทดลองระหว่างเวลา 7.00-11.00 และ 11.00-16.00 เนื่องจากอนุภาคสามารถกลับสู่บรรยากาศเนื่องจากลมและฝนซึ่งปริมาณฝนตกหนักทำให้อนุภาคหลุดออกจากใบพืชได้ (Udeshika et al, 2018) ใบพืชที่มีสารเคลือบใบอยู่บนผิวชั้นนอกทำให้ดักจับฝุ่นได้ดีกว่าใบพืชลักษณะพื้นผิวเรียบ เมื่อติดตั้งแผงกั้นอุณหภูมิภายในและนอกห้องทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพราะว่าแผงบังแดดทำให้เกิดร่มเงากับอาคารและแผงบังแดดที่ประกอบด้วยพืชทำให้ห้องทดลองมีอุณหภูมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 17 ความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละลองขนาดเล็ก อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกของห้องทดลอง

สภาวะการทดลอง	7.00 - 11.00 น.				
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	ฝุ่นละลองขนาดเล็ก (ไมครอน)	แสง (ลักซ์)	SC (เปอร์เซ็นต์)
ไม่มีแผงบังแดด	-0.039^{ab}	0.68^{a}	17.30^{a}	41.08^{abc}	0.60^{abc}
แผงบังแดดเปล่า	-0.042^{ab}	0.11^{acb}	28.30^{a}	40.57^{abc}	0.44^{abc}
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	0.24^{c}	-0.39^{cd}	35.63^{a}	64.92^{c}	0.26^{c}
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	0.11^{abc}	-0.47^{cd}	32.40^{a}	37.84^{abc}	0.52^{abc}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 17 (ต่อ) ความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละลองขนาดเล็ก อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศภายในและภายนอกของห้องทดลอง

สภาวะ การทดลอง	11.00 – 16.00 น.				
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	ฝุ่นละลองขนาดเล็ก (ไมครอน)	แสง (ลักซ์)	SC (เปอร์เซ็นต์)
ไม่มีแผงบังแดด	0.96[a]	-1.39	11.09[a]	317.75[ab]	0.55[ab]
แผงบังแดดเปล่า	1.22[a]	-2.56	14.09[a]	351.33[abc]	0.46[ab]
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	1.29[a]	-2.26	18.38[a]	422.63[bcd]	0.17[c]
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	1.14[a]	-2.59	17.06[a]	460.60[cd]	0.35[d]

หมายเหตุ : ค่าความแตกต่างที่มีตัวอักษร หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

ความแตกต่างระหว่างพืชสองชนิดไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิในทั้งสองช่วงเวลาและในช่วงเวลา 11.00 ถึง 16.00 น. มีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องมาจากภายนอกอาคารทดลองเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ทางเท้าและถนนสาธารณะมีการสะสมความร้อนไว้ในช่วงเวลากลางวัน ความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายนอกและภายในของห้องทดลองมีค่าเป็นลบเนื่องจากด้านในอาคารมีการสะสมของความชื้นมากกว่าภายนอกเพราะว่าการถ่ายเทอากาศจะลดลงภายในห้องทดลอง ดังนั้นการติดตั้งแผงบังแดดที่ประกอบด้วยพืชมีความแตกต่างกันของความชื้นสัมพัทธ์อย่างมีนัยสำคัญ

การเลือกใช้พลูด่างหรือต้นเศรษฐีเรือนนอกมาติดตั้งเพื่อบังแดดให้กับอาคารให้ผลดีในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารและลดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กได้เป็นอย่างดี ดังแสดงผลใน ตารางที่ 18 พลูด่าง มีค่า LAI มากกว่าเศรษฐีเรือนนอกและส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลงได้มากกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างในการลดฝุ่นที่เข้าสู่ตัวอาคาร ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลในช่วง 6.30-10.30 น. และ 10.30-15.30 น. ให้ผลประสิทธิภาพในการลดฝุ่นไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบค่า LAI ของแผงบังแดดที่ปลูกพลูด่าง หรือเศรษฐีเรือนนอก กับอุณหภูมิภายในอาคารที่ลดลง และปริมาณฝุ่นที่เข้าสู่ตัวอาคาร

	Leaf area index (LAI)	6.30-10.30 น.		10.30-15.30 น.	
		อุณหภูมิภายในอาคารที่ลดลง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณฝุ่นเข้าสู่ตัวอาคารที่ลดลง (ร้อยละ)	อุณหภูมิภายในอาคารที่ลดลง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณฝุ่นเข้าสู่ตัวอาคารที่ลดลง (ร้อยละ)
ไม่มีแผงบังแดด	-	0.49	10.17	1.99	11.67
แผงบังแดดที่ปลูกพลูด่าง	5.66	1.49	20.95	3.09	19.35
แผงบังแดดที่ปลูกเศรษฐีเรือนนอก	2.42	1.66	19.06	3.66	17.96

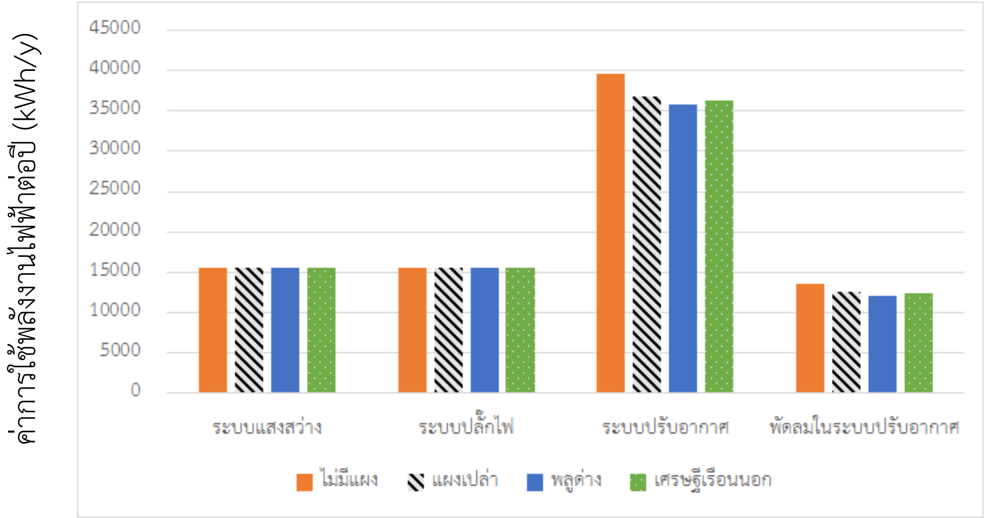
ประสิทธิภาพในประเด็นดังกล่าว มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของใบพืชอย่างมีนัยสำคัญ โดยดัชนีพื้นที่ใบที่มีค่ามากจะช่วยเพิ่มความร้อนหรือการดูดกลืนความร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากร่มเงาที่ได้จากใบพืชและการคายน้ำเนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพืช แต่ในงานวิจัยนี้ พบว่าค่า LAI ที่มากของต้นพลูด่างกลับส่งผลให้ผลการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและปริมาณฝุ่นไม่แตกต่างกับต้นเศรษฐีเรือนนอก แต่ให้ผลดีว่าการติดตั้งแผงบังแดดเพียงอย่างเดียว

4.3 การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี

จากการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี ของอาคารสำนักงาน 4 ชั้น ผ่านแบบจำลองโปรแกรม VisualDOE 4.1 โดยเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งแผงจำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1. ไม่ติดตั้งแผง 2. ติดตั้งแผงเปล่า 3. ติดตั้งแผงพลูด่าง 4. ติดตั้งแผงเศรษฐีเรือนนอก และทำการจำลองการติดตั้งแผงในทิศต่าง ๆ ของอาคาร เพื่อดูประสิทธิภาพของแผงบังแดดที่มีความสามารถในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ซึ่งได้ผลการคำนวณดังนี้

จากภาพที่ 46 แสดงการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ ดังนี้ ระบบแสงสว่าง ระบบปลั๊กไฟ ระบบปรับอากาศ และระบบพัดลมในเครื่องปรับอากาศจะเห็นว่าระบบที่มีการสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด คือ ระบบปรับอากาศซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเปล่ากับไม่มีแผงทำให้ทราบว่าการติดตั้งแผงบังแดดลดการสิ้นเปลืองพลังงานได้มากกว่า และเมื่อทำการเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเปล่ากับแผงกั้นที่ติดตั้งต้นไม้ทางทิศตะวันออก (ตารางที่ 19) ประมาณ 5.2-6.2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ทราบว่าสามารถลดพลังงานลดลงกว่าปกติคิดเป็น 3,869 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

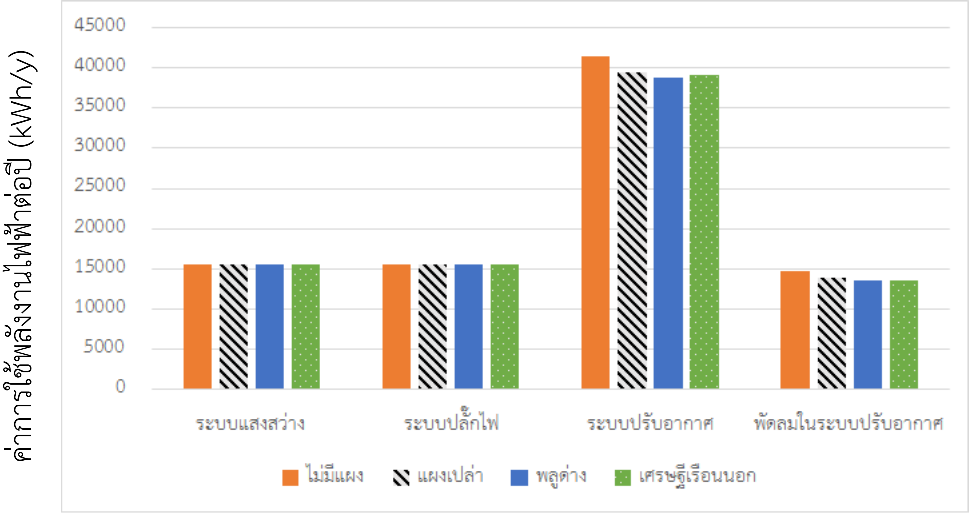


ภาพที่ 46 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันออก

ตารางที่ 19 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันออก

	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/y)					
	ระบบแสง	ระบบปลั๊กไฟ	ระบบปรับอากาศ	พัดลมในระบบปรับอากาศ	รวม	ร้อยละ
ไม่มีแผง	15,497	15,497	39,580	13,513	84,087	-
แผงเปล่า	15,497	15,497	36,801	12,498	80,293	- 4.51%
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	15,497	15,497	35,711	12,155	78,860	- 6.22%
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	15,497	15,497	36,328	12,340	79,662	- 5.26%

จากภาพที่ 47 การติดตั้งแผงบังแดดลดการสิ้นเปลืองพลังงานได้มากกว่าและเมื่อทำการเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเปล่ากับแผงบังแดดที่ติดตั้งต้นไม้ทางทิศเหนือประมาณ 3.8-4.2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ทราบว่าสามารถลดพลังงานลดลงกว่าปกติคิดเป็น 2,560 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

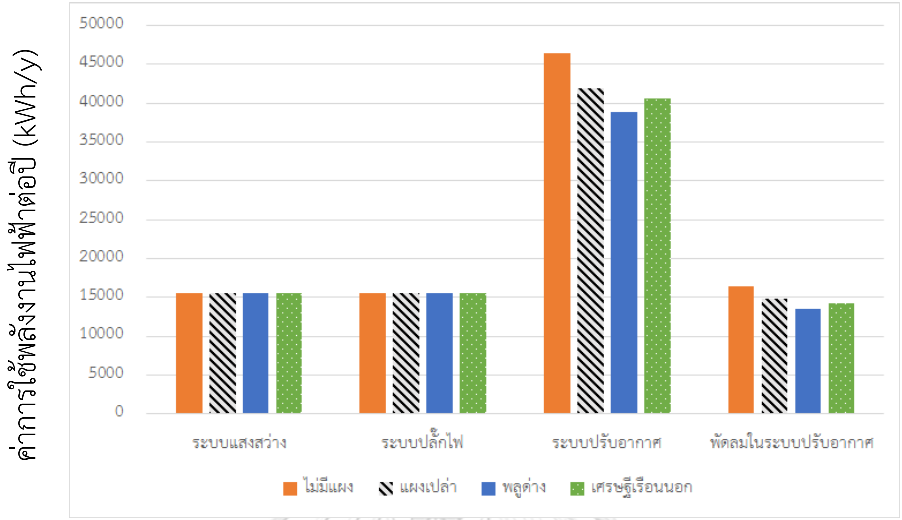


ภาพที่ 47 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศเหนือ

ตารางที่ 20 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศเหนือ

	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/y)					
	ระบบแสง	ระบบปลั๊กไฟ	ระบบปรับอากาศ	พัดลมในระบบปรับอากาศ	รวม	ร้อยละ
ไม่มีแผง	15,497	15,497	41,370	14,640	87,004	-
แผงเปล่า	15,497	15,497	39,481	13,876	84,351	- 3.05%
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	15,497	15,497	38,810	13,518	83,322	- 4.24%
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	15,497	15,497	39,129	13,613	83,736	- 3.76%

จากภาพที่ 48 เมื่อทำการเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเปล่ากับแผงกั้นที่ติดตั้งต้นไม้ทางทิศตะวันตกประมาณ 8.5-11 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ทราบว่าสามารถลดพลังงานลดลงกว่าปกติคิดเป็น 7,555 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยจะเห็นว่าทิศเหนือชนิดของแผงผังแดดจะส่งผลต่อการประหยัดพลังงานแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นกว่าทิศเหนือและทิศตะวันออก

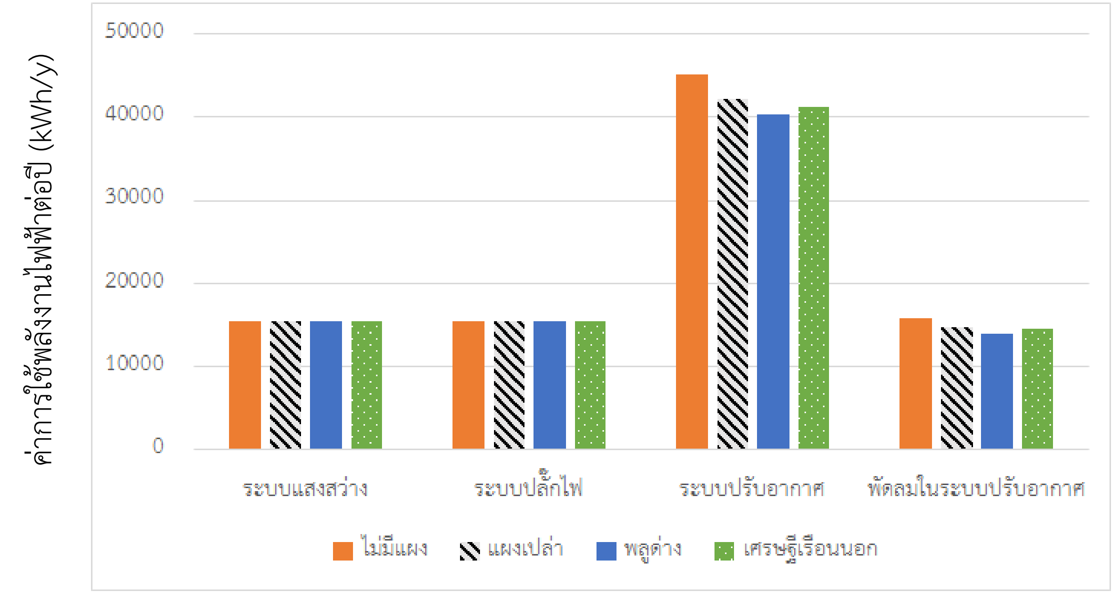


ภาพที่ 48 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันตก

ตารางที่ 21 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศตะวันตก

	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/y)					
	ระบบแสง	ระบบปลั๊กไฟ	ระบบปรับอากาศ	พัดลมในระบบปรับอากาศ	รวม	ร้อยละ
ไม่มีแผง	15,497	15,497	46,477	16,405	93,876	-
แผงเปล่า	15,497	15,497	41,909	14,769	87,672	- 6.61%
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	15,497	15,497	38,922	13,563	83,479	- 11.08%
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	15,497	15,497	40,562	14,277	85,833	- 8.57%

จากภาพที่ 49 เมื่อทำการเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเปล่ากับแผงกั้นที่ติดตั้งต้นไม้ทางทิศใต้ ประมาณ 5.7-7.2 เปอร์เซนต์ทำให้ทราบว่าสามารถลดพลังงานลดลงกว่าปกติคิดเป็น 4,808 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี



ภาพที่ 49 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศใต้

ตารางที่ 22 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี กรณีติดตั้งแผงทางทิศใต้

	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/y)					
	ระบบแสง	ระบบปลั๊กไฟ	ระบบปรับอากาศ	พัดลมในระบบปรับอากาศ	รวม	ร้อยละ
ไม่มีแผง	15,497	15,497	45,108	15,890	91,992	-
แผงเปล่า	15,497	15,497	42,189	14,739	87,922	- 4.42%
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	15,497	15,497	40,300	14,024	85,318	- 7.25%
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	15,497	15,497	41,337	14,421	86,752	- 5.70%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าส่วนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ ส่วนระบบปรับอากาศ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1. ส่วนทำความเย็น (Cooling) 2. ส่วนพัดลม (Fan) ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร ทำให้ระบบปรับอากาศมีภาระการทำความเย็นที่มากขึ้น โดยเมื่อหันช่องเปิดของอาคารไปทางทิศต่าง ๆ ปรากฏว่าทิศที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ ทิศตะวันตก รองลงมาคือ ทิศใต้ ทิศเหนือ และทิศตะวันออกตามลำดับ และกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารองลงมาคือ ส่วนแสงสว่าง และส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าดังกล่าวมีค่าคงที่เนื่องจากมีการกำหนดค่า LPD (Lighting Power Density) และค่า EPD (Equipment Power Density) ในแต่ละรูปแบบที่เท่ากัน ส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากันตามไปด้วย

สำหรับการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี ระหว่างการใช้แผงรูปแบบต่าง ๆ พบว่าแผงที่มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดได้แก่แผงพลูด่างซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ร้อยละ 4.24 -11.08 รองลงมาได้แก่แผงเศรษฐีเรือนนอกซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 3.76 -8.57 และแผงเปล่าซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ร้อยละ 3.05 – 6.61 โดยทิศที่มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือทิศตะวันตก รองลงมาคือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ตามลำดับ

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะเห็นว่าทิศที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคือ ทิศตะวันตกเพราะเป็นทิศที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากที่สุด (ธนากร, 2560) ส่งผลให้จำเป็นต้องติดตั้งแผงบังแดดในทิศนี้เพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารและจากการทดลองควรเลือกใช้ต้นพลูด่างเป็นต้นไม้ที่ติดตั้งอยู่บนแผงบังแดด เนื่องจากสามารถลดพลังงานไฟฟ้าสูงสุดถึงร้อยละ 11.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 23 แสดงราคาของการติดตั้งแผงและค่าไฟฟ้าที่ลดลง

	ค่าแผงบังแดด (บาท)	ค่าต้นไม้+ กระถาง (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ต่อปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
แผงเปล่า	34,428	-	25,550	1.2
แผงบังแดด + ต้นพลูด่าง	34,428	4,560	40,653	1
แผงบังแดด + ต้นเศรษฐีเรือนนอก	34,428	3,840	32,676	1

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากคุณภาพอากาศที่มีมลพิษในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจึงได้ดำเนินงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาโดยติดตั้งแผงบังแดด แผงบังแดดและต้นพลูด่าง แผงบังแดดและต้นเศรษฐีเรือนนอก ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะหากติดตั้งในทิศตะวันตก ซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในอาคารน้อยกว่าภายนอกอาคาร 1.49-3.66 องศาเซลเซียส ให้ผลการลดอุณหภูมิได้ดีในช่วงบ่ายมากกว่าช่วงเช้า ฝุ่นขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ที่เป็นปัญหาในพื้นที่ที่มีการจราจรคับคั่ง สามารถลดลงได้ด้วยการติดตั้งแผงบังแดดที่ปลูกต้นไม้ จากการทดลองพบว่าการติดตั้ง แผงบังแดดและต้นพลูด่าง แผงบังแดดและต้นเศรษฐีเรือนนอก ช่วยลดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ร้อยละ 17.96-20.95 ลักษณะใบของต้นพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ส่งผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเพราะค่า SC อยู่ในช่วง 0.05-6.06 ซึ่งไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานตลอดทั้งปีและการลดฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่อาคาร แต่ยังคงให้ผลดีกว่าการติดตั้งแผงบังแดดอย่างเดียว จากทฤษฎีอาคารเขียวซึ่งเป็นอาคารที่ใช้พืชลักษณะไม้เลื้อยยึดติดกับผนังอาคารหรือไม่ติดกับผนังอาคารโดยพืชอยู่ภายในกระถางซึ่งผนังอาคารแบบนี้ทำให้สามารถลดอุณหภูมิภายในตัวอาคารลงได้มากถึง 3.5 องศาเซลเซียสและยังสามารถช่วยลดปัญหาฝุ่นที่พัดเข้าสู่ตัวอาคารได้และจากการคำนวณเรื่องการลดค่าไฟฟ้าต่อปีจะเห็นว่าพืชชนิดพลูด่างให้ผลการทดลองดีที่สุดเนื่องจากใบของพลูด่างมีลักษณะใบกว้างและหนากว่าพืชชนิดเศรษฐีเรือนนอกที่เป็นพืชใบแคบทำให้แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาเย็นที่มีพลังงานแสงอาทิตย์มากซึ่งทำให้อาคารมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นใบของพลูด่างช่วยปกป้องแสงทำให้แสงของดวงอาทิตย์ไม่สัมผัสกับตัวอาคารส่งผลทำให้ตัวอาคารมีอุณหภูมิลดลงเมื่อเทียบกับอาคารที่ไม่มีแผงบังและต้นพลูด่าง จากผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของพุ่มใบโดยค่าความหนาแน่นของพุ่มของพืชชนิดพลูด่างเท่ากับ 5.66 และค่าความหนาแน่นของพุ่มของพืชชนิดเศรษฐีเรือนนอกเท่ากับ 2.4 เนื่องจากผลที่คำนวณทำให้ทราบว่าพลูด่างมีพุ่มใบที่หนาแน่นกว่าทำให้สมควรนำมาเป็นพืชที่ปลูกในแผงบังแดดเพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร

5.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น โดยการใช้แผงบังแดดโดยใช้พืชไม่ประเภทไม้ไม่ผลัดใบ สรุปผลการทดลองที่ได้พบว่า การติดตั้งแผงบังแดดโดยใช้พืช ได้แก่ต้นพลูด่าง และต้นเศรษฐีเรือนนอกนั้น มีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้จริงโดยอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐาน AQI (Air Quality Index) ดัชนีคุณภาพอากาศของสารมลพิษทางอากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) หรือเกณฑ์การประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร ของกรม

อนามัย สำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม และยังสามารถลดอุณหภูมิจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้ 1.49-3.66 องศาเซลเซียส ซึ่งจากอุณหภูมิที่ลดลงดังกล่าวนี้ ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานของอาคารที่ลดลงตามไปด้วย โดยจะเห็นได้จากผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมานี้ มีข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยในอนาคตต่อไปในเรื่องที่มีความเกี่ยวข้องกันนี้ พบว่า

5.1.1 ยังมีพืชอีกหลากหลายชนิดที่มีอยู่ในท้องถิ่นของแต่ละภูมิภาคของประเทศที่คาดว่าจะมีคุณสมบัติทางกายภาพ และมีค่า LAI (Leaf Area Index) ที่แตกต่างกัน รวมถึงมีประสิทธิภาพในการที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบแผงบังแดดโดยพืช เช่น หนวดปลาหมึก เพราะสามารถปลูกได้ง่าย และดูแลรักษาได้ง่ายไม่ต้องการน้ำมาก ที่สำคัญสามารถกรองฝุ่นได้ดี มรกตแดง มีลักษณะใบที่ใหญ่ และมีผิวมัน เป็นต้น

5.1.2 การศึกษาวัสดุ อุปกรณ์ในการใช้ทำแผงสำหรับติดตั้งพืช และระบบการรดน้ำให้กับพืช ซึ่งส่งผลสำคัญในเรื่องของน้ำหนักของตัวแผงบังแดด ราคาต้นทุน รวมถึงประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารอีกด้วย

5.1.3 การออกแบบในเรื่องของรูปแบบ และลักษณะของแผงบังแดด และการจัดสวนในรูปแบบของสวนแนวตั้ง และบูรณาการเข้ากับการออกแบบทางสถาปัตยกรรม ในเรื่องของทิศทางต่าง ๆ ในส่วนที่เป็นพื้นที่ผนังเปิดโล่ง หรือพื้นที่ผนังปิด เพื่อให้เกิดภาวะน่าสบาย และความสวยงามทางทัศนียภาพ รวมถึงความสามารถในการลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.1.4 การเจริญเติบโตของต้นไม้จะไม่สามารถควบคุมได้จะต้องมีการบำรุงรักษาและรดน้ำอย่างสม่ำเสมอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Alexandri, E., & Jones, P. (2007). Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithmfor describing the effect of green roofs on the built environment: comparison with experimental results. *Build. Environ*. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.004

Arkar C, Domjan S, Majkovič D, Šumi J, & Medved S. (2015). *Lightweight green roofs' thermal response under freezing conditions*: Energy Procedia

ASHRAE. (1994). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Standard*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE. (2007a). *Energy Standards for Buildings except Low-rise Residential Buildings.*

Standard. Atlanta, GA. USA.: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers.

ASHRAE. (2007b). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Standard*. Atlanta, GA. USA.: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers.

Bache, & D.H. (1979). Particle transport within plant canopies-I. A framework for analysis. *Atmos. Environ*. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981(79)90080-5

Beckett, K. P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., . (2000). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biol*. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x.

Chiquet, C., Dover, J.W., Mitchell, P.,. (2013). Birds and the urban environment: the value of green walls. *Urban Ecosyst*, 16, 453–462. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1007/s11252-012-0277-9

Chow, J. C., Watson, J.G., Mauderly, J.L., Costa, D.L., Wyzga, R.E., Vedal, S., Hidy, G.M., Altshuler, S.L., Marrack, D., Heuss, J.M., Wolff, G.T., Arden Pope III, C., Dockery,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

D.W.,. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. J. Air Waste Manage. Assoc., 56, 1368–1380. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1080/10473289.2006.10464545.

Dochinger, L. S. (1980). Interception of airborn particles by tree plantings. *J. Environ. Qual.*, 9, 265–268. Retrieved from http://dx.doi.org/10.2134/jeq1980.00472425000900020020x.

Dover, J. W. (2015). Green Infrastructure: Incorporating Plants and Enhancing Biodiversity in Buildings and Urban Environments. *Routledge, Stoke-on-Trent*, 120–282.

EEA. (2016). Air Quality in Europ 2016. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/publications/airquality-in-europe-2016

Feng, Y., Feng, Y., Feng, Q., Zhi, Z., Jiawei, Y.,. (2018). Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: A case study in Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, 39 (2018), 2043–2051.

Freer-Smith, P. H., Beckett, K.P., Taylor, G.,. (2005). Deposition velocities to Sorbus aria, Acer campestre, Populus deltoides × trichocarpa Beaupre, Pinus nigra and × Cupressocyparis leylandii for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environ. Pollut*, 133, 157–167. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.031.

Getter KL, Rowe DB, Andresen JA, & Wichman IS. (2011). Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern US climate. *Energy Build* 43:3548–3557.

Jepson, P. (2016). A rewilding agenda for Europe: creating a network of experimental reserves. Ecography. 39, 117–124. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1111/ecog.01602.

Johnston, J., Newton, J., . (2004). Building Green A Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. *Greater London Authority*, 121.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Jonathan A. (2003). *Vegetation Climate Interaction: How Vegetation Makes the Global Environment*. New York: Springer.

Juli_a Coma a, Gabriel P_erez a, Alvaro de Gracia b, Silvia Bur_es c, Miguel Urrestarazu d, & Luisa F. Cabeza a. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades, Contents lists available at ScienceDirect Building and Environment. *Building and Environment 111*, 111.

Katana, B., Gursu, D., Lin, J. V., Tapia, M. F., & Atan, T. (2015). GREEN FAÇADE SYSTEMS AS TECHNOLOGY OF REMOVING HEAT FROM INDOOR ENVIRONMENT.

Katia, P., Marc, O., Saverio, G. Adriano, M., Enrica, R. (2017). Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system. *Ecological Engineering*, 268–276.

Lei, W., Huili, G., Wenbo, L., Zhi, W., . (2015). Accumulation of particles on the surface of leaves during leaf expansion. *Science of the Total Environment.*, 420-434.

Liu K, M. J. (2005). *Performance evaluation of an extensive green roof 1*. Washington DC: Presentation at Green Rooftops for Sustainable Communities.

Loh., S. (2008). Living wall- a way to green the built environment. Retrieved from www.environmentdesignguide.com.au/media/TEC26.pdf

Marc Ottel, H. D. v. B., Alex L.A. Fraaij,. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls.

Marchi M., P. R. M., Marchettini N., Pulselli F. M., Bastianoni S.,. (2014). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*, 46–56.

Morau D, L. T., Garde F. . (2012). Performance evaluation of green roof for thermal protection of buildings in Reunion Island. *Energy Procedia*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Olivieri F, D.-P. C., D'orazio M, Neila J. (2013). Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy Build*, 63:61–14.

Panrare, A., Sohsalam, P., Tondee, T., . (2015). Constructed wetland for sewage treatment and thermal transfer reduction. *Energyprocedia*, 567-575.

Perini, K., Ottelé, M., Giulini, S., Magliocco, A., Roccotiello, E., . (2017). Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system. *Ecol. Eng*, 100, 268–276. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.032

Raji B, T. M., van den Dobbelsteen A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: a literature review. *Rene Sustain Energy Rev*, 45:610–623.

Ram, S. S., Majumder, S., Chaudhuri, P., Chanda, S., Santra, S.C., Maiti, P.K., Sudarshan, M., Chakraborty, A.,. (2012). Plant canopies: bio-monitor and trap for re-suspended dust particulates contaminated with heavy metals. Mitig. Adapt. *Strateg. Global Change* 499-508. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1007/s11027-012-9445-8.

Riddle, S. G., Robert, M.A., Jakober, C.A., Fine, P.M., Hays, M.D., Schauer, J.J., Hannigan, M.P.,. (2009). Source apportionment of fine airborne particulate matter during a severe winter pollution episode. *Environ. Sci. Technol.*, 43, 272–279.

Ryan J. L., C. M., Dieter F. H. . (2016). Particulate matter deposition on roadside plants and the importanceof leaf trait combinations. *Urban Forestry & Urban Greening 20* 249–253.

Saadatian O, S. K., Salleh E, Lim C, Riffat S, Saadatian E, et al. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renew Sustain Energy Rev*, 23:155–168.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Seaton, A., Godden, D., MacNee, W., Donaldson, K.,. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet 345*, 176–178. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(95)90173-6.

The American Society of Heating Refrigerating and Air-condition Engineers. (2001). *ASHRAE Handbook Fundamental (SI). Air Contaminants*. Atlanta: GA ASHRAE.

Udeshika, W., John, W. D., Paul, M., Kevin, R. (2018). Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics. *Science of the Total Environment.*, 1012–1024.

Udeshika W., J. W. D., Paul M., Kevin Reiling,. (2018). Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics.

WHO. (2014). WHO' s Ambient Air Pollution database - Update 2014 Data summary of the AAP database. Retrieved from http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/

Williamson, B., Mikhailova, I., Purvis, O., Udachin, V.,. (2004). SEM-EDX analysis in the source apportionment of particulate matter on Hypogymnia physodes lichen transplants around the Cu smelter and former mining town of Karabash, South Urals, Russia. Sci. . *Total Environ. 322*, 139–154. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.09.021.

Wilmers, F. (1990). Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energy and Buildings*, 15-16: 507-514.

Xiaowu, X., Zhenming, Z., Le, B., Li, M., Xinxiao, Y., Dengxing, F., Xiaoxiu L., . (2017). Influence of rainfall duration and intensity on particulate matter removal from plant leaves. *Science of the Total Environment. 609* 11–16.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2550a). โครงการบริหารศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน“เรื่องการออกแบบแสงและทิวทัศน์สาหรับพื้นที่ทางาน”.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2550b). ร่างพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ *2)* พ.ศ. *2550* กองฝึกอบรม กระทรวงพลังงานพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. *2550*.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ.

กวีวัชร์ เสถียร. (2557). การประเมินค่าการนำความร้อนของพืชผ่านอาคาร กรณีศึกษาพืชสายพันธุ์ม่านบาหลี (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,

ธนากร รัตนพันธุ์, มณีรัตน์ องค์วรรณดี, & ศิริมา ปัญญาเมธีกุล. (2560). การประเมินความสามารถของต้นไม้ประดับในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กในอาคาร Assessment of the Ability of Houseplants to Trap Indoor Particulate Matter. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 24 (23), 69-80.

ผศ.ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย, รศ.ดร.กัมปนาท ภักดีกุล, & รศ.ดร.สุระ พัฒนเกียรติ. มาตรการระยะยาวเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศให้เหมาะสมโดยใช้พืชพรรณที่มีศักยภาพ ในการดักจับฝุ่นละอองในอากาศ ลงทุนน้อยแต่ได้ผลระยะยาว. Retrieved from https://en.mahidol.ac.th/images/Factsheet_EN_Thamarat.pdf

พาสินี สุนากร, องอาจ ถาพรภาษี, & พัชริยา บุญกอแก้ว. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการจับฝุ่นละอองของ พรรณไม้เลื้อย Comparision of the Ability to Capture Airbourne Dusts of Climbing Plants. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ *15* ฉบับที่ *2* กรกฎาคม-ธันวาคม ประจำปี *2559*.

พาสินี สุนากร และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2552). สมรรถนะการป้องกันความร้อนของแผงกันแดดไม้เลื้อยในสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น. วารสารพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 50-64.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พาสินี สุนากร และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร (2554). การเพิ่มสมรรถนะในการลดการถ่ายเทความร้อนของแผงกันแดดไม้เลื้อยด้วยการระบายอากาศ Increasing Thermal Performance of Climbing Plant Shading by Adding Ventilation, วารสารวิจัยพลั งงาน ปี ที่ 8 ฉบับที่2554/1.

พาสินี สุนากร และ ทิพาพรรณ ศิริเวชฎา. (2554). *Vertical & Roof Garden*: สำนักพิมพ์ อมรินทร์. กรุงเทพมหานคร.

สถาบันอาคารเขียวไทย. (2552). เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย.

สุดสวาสดิ์ ศรีสถาปัตย์. (2530). การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2554). เอกสารประกอบการสอน *“Building Heat Transfer OTTV/RTTV ”*: กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรถกร ทองเพ็ชร. (2550). ผนังต้นไม้เพื่อปรับปรุงสภาวะทางอุณหภาพของอาคาร. (วิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร, อุปกรณ์ก่อสร้างที่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน 10 ชนิด. เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Akarat Panrae
วัน เดือน ปี เกิด	7 June 1974
สถานที่เกิด	Bangkok
ที่อยู่ปัจจุบัน	453 Soi 15 Rd. Ramkomheang 39, Wangtonglang, Bangkok

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University