การออกแบบแผงบังแดดเพื่อได้แสงธรรมชาติและประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว วี4 (LEED v4)

นางสาวรุจิเรจ อินทรเนตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHADING DESIGN FOR DAYLIGHT AND ENERGY PERFORMANCE IN BUILDING ACCORDING TO LEED v4

Miss Rujireg Intaranet

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบแผงบังแดดเพื่อได้แสงธรรมชาติและประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว วี4 (LEED v4)
โดย	นางสาวรุจิเรจ อินทรเนตร
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

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

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

รุจิเรจ อินทรเนตร : การออกแบบแผงบังแดดเพื่อได้แสงธรรมชาติและประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว วี4 (LEED v4) (SHADING DESIGN FOR DAYLIGHT AND ENERGY PERFORMANCE IN BUILDING ACCORDING TO LEED v4) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 108 หน้า.

การออกแบบโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบที่ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารจากการใช้แสงประดิษฐ์ลงได้ แต่ความสว่างจากแสงธรรมชาติที่นำเข้ามาใช้ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึง ในเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกณฑ์ในการประเมินแสงธรรมชาติ โดยได้นำเอาเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และเกณฑ์ Annual Daylight Exposure (ASE) มาใช้ ซึ่งทำให้การออกแบบเปลือกอาคารจะต้องมีความยุ่งยากซับซ้อน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้ตามเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และประเมินประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของรูปแบบแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ โดยรูปแบบแผงบังแดดที่ศึกษามีทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ แผงบังแดดแนวนอน แผงบังแดดแนวตั้ง และแผงบังแดดผสมแนวนอนและแนวตั้ง ที่ระยะยื่น 4 ระยะ คือ 50 100 150 และ 200 ซ.ม. ใช้กระจก 3 ชนิด คือ กระจกที่มีค่า VLT 71% 58% และ 35% และใช้สัดส่วน WWR 60 และ WWR 80 โดยห้องสำนักงานที่ใช้ในการจำลองมีขนาด 9 x 12 x 3 เมตร และหันหน้าต่างทั้งหมด 8 ทิศ จำลองแสงโดยโปรแกรม Daysim และจำลองพลังงานโดยโปรแกรม VisualDOE4.0 ผลการวิจัยพบว่าเมื่อติดตั้งแผงบังแดดจะทำให้มีกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ LEED v4 ทั้งหมด 135 กรณี จากทั้งหมด 576 กรณี และการหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงเป็นปริมาณน้อยนั้น สามารถมีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ได้โดยที่ไม่ต้องติดตั้งแผงบังแดด ในขณะที่ทิศอื่นจะต้องติดตั้งแผงบังแดดแบบแนวนอนหรือแบบผสมที่ระยะยื่นแตกต่างกันไปเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ แต่ทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงมากที่สุดนั้น การติดตั้งแผงบังแดดทุกรูปแบบไม่สามารถช่วยทำให้ผ่านเกณฑ์แสงสว่างธรรมชาติของ LEED v4 ได้เลย เมื่อนำกรณีที่ผ่านเกณฑ์มาจำลองการใช้พลังงานพบว่าเมื่อติดตั้ง Daylight dimmer หรือ อุปกรณ์หรี่ไฟอัตโนมัติตามปริมาณแสงธรรมชาติ จะสามารถประหยัดพลังงานจากการไม่ติดตั้ง Daylight dimmer ได้ในแต่ละกรณีใกล้เคียงกัน คือ 13.85-16.07% และกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer สามารถลดการใช้พลังงานจากอาคารอ้างอิง (Base Case) ได้ในทุกกรณี โดยสามารถลดได้ตั้งแต่ 0.47-16.85%

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5873362325 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: DAYLIGHT / SHADING DEVICE / ENERGY PERFORMANCE / LEED V4

RUJIREG INTARANET: SHADING DESIGN FOR DAYLIGHT AND ENERGY PERFORMANCE IN BUILDING ACCORDING TO LEED v4. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 108 pp.

Daylight credit in LEED v4 has changed the simulation option to use two new metrics, spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). The purpose of this research is to study the shading design and building envelope for daylight in building according to LEED v4 considering the sDA and ASE options and investigate the energy performance. The independent variables were: 1.Type of shading devices 2. The length of shading devices 3. Glass types 4. WWR 5. Window orientations. The simulation setting is in a 9x12x3 meters standard office room using DAYSIM. The results suggest that using shading devices can make 135 cases from 576 cases that daylight is enough for LEED v4's Daylight credit. The north-facing window and northeast-facing window can achieving fulfil the Daylight credit without using any shading devices. The west and southwest windows receive too much daylight that using every type and length of shading devices cannot help passing the Daylight credit in LEED v4. When using daylight dimmers, the buildings save energy by 13.85-16.07%. The energy savings from LEED base case are between 0.47-16.85%.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความรู้ ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ที่ร่วมเรียนด้วยกันสำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำ และขอบคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 3
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 เกณฑ์ LEED v4 หัวข้อ Daylight 6
2.2 การใช้แสงธรรมชาติ 8
2.3 การศึกษาเกี่ยวกับแผงบังแดด 11
2.4 การใช้กระจกในอาคารสำนักงาน 14
2.5 การใช้ Daylight dimmer 14
2.6 โปรแกรมในการจำลองแสงธรรมชาติ 14
บทที่ 3 วิธีวิจัย 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.1 กำหนดตัวแปรและค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลอง 16
3.2 การจำลองแสงธรรมชาติและเก็บข้อมูล 22
3.3 การจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคาร 22
3.4 วิเคราะห์ผล และสรุปผล 23
บทที่ 4 ผลการวิจัย 24
4.1 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติ 24
4.1.1 การพิจารณาตามปัจจัยสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง การใช้กระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นของแผงบังแดด 26
4.1.2 การพิจารณาตามทิศของหน้าต่าง 29
4.2 การประเมินการใช้พลังงาน 47
4.2.1 กรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Daylight dimmer 48
4.2.2 กรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer 53
4.2.3 เปรียบเทียบกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้ง Daylight dimmer 57
4.2.4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานกับ Base Case 64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 70
5.1 สรุปผลการวิจัย 70
5.1.1 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติ 70
5.1.2 การประเมินพลังงาน 74
5.1.3 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับการใช้พลังงาน 75
5.1.4 พิจารณาค่า OTTV 81
5.1.5 การนำไปใช้ในการออกแบบ 82
รายการอ้างอิง 95
ภาคผนวก 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ค่า OTTV และ RTTV สำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ 13

ตารางที่ 2 มุม HSA และ VSA ในทิศต่าง ๆ 18

ตารางที่ 3 ชนิดกระจกที่ใช้ในการวิจัย.....20

ตารางที่ 4 จำนวนกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA และ ASE ในแต่ละทิศ.....29

ตารางที่ 5 สรุปจำนวนที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ในแต่ละทิศ.....45

ตารางที่ 6 สรุปรูปแบบเปลือกอาคาร และแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ในแต่ละทิศ.....46

ตารางที่ 7 ลักษณะอาคารที่นำมาประเมินการใช้พลังงาน.....48

ตารางที่ 8 ลักษณะอาคาร Base Case 64

ตารางที่ 9 ผลการจำลองการใช้พลังงานอาคาร Base Case.....65

ตารางที่ 10 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดด ที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEEDv4 เรื่องDaylight.....73

ตารางที่ 11 สรุปผลการจำลองแสงสว่างและพลังงานของกรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight แยกตามแต่ละทิศ โดยเรียงลำดับการใช้พลังงานที่ลดลงจาก Base Case จากน้อยไปมาก.....76

ตารางที่ 12 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศเหนือ 83

ตารางที่ 13 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ85

ตารางที่ 14 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันออก.....87

ตารางที่ 15 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงใต้.....89

ตารางที่ 16 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศใต้ 90

ตารางที่ 17 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ..92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 คะแนนสำหรับพื้นที่ที่ได้รับแสงอย่างเพียงพอ ตามเกณฑ์ sDA 7

ภาพที่ 2 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....8

ภาพที่ 3 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ.....9

ภาพที่ 4 ตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ 10

ภาพที่ 5 มุม HSA และ มุม VSA ในการออกแบบแผงบังแดด.....11

ภาพที่ 6 ผังพื้นและรูปตัดแสดงระยะห้องสำนักงาน 16

ภาพที่ 7 ระยะยื่นของแผงบังแดด 19

ภาพที่ 8 สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา 5

แผนภูมิที่ 2 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) เมื่อไม่ใส่แผงบังแดด.....25

แผนภูมิที่ 3 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) เมื่อไม่ใส่แผงบังแดด 25

แผนภูมิที่ 4 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณาค่า WWR 26

แผนภูมิที่ 5 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจก.....27

แผนภูมิที่ 6 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณารูปแบบแผงบังแดด.....27

แผนภูมิที่ 7 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดด 28

แผนภูมิที่ 8 เปอร์เซ็นต์ของกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA และ ASE ในแต่ละทิศเมื่อใช้ WWR 60 และ WWR 80 30

แผนภูมิที่ 9 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....31

แผนภูมิที่ 10 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน 31

แผนภูมิที่ 11 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน 33

แผนภูมิที่ 12 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 13 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันออก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน 35

แผนภูมิที่ 14 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันออก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....35

แผนภูมิที่ 15 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....37

แผนภูมิที่ 16 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน 37

แผนภูมิที่ 17 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....39

แผนภูมิที่ 18 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....39

แผนภูมิที่ 19 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....41

แผนภูมิที่ 20 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน 41

แผนภูมิที่ 21 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันตก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน.....42

แผนภูมิที่ 22 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันตก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน....43

แผนภูมิที่ 23 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน....44

แผนภูมิที่ 24 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน....44

แผนภูมิที่ 25 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ....49

แผนภูมิที่ 26 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ....49

แผนภูมิที่ 27 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก....50

แผนภูมิที่ 28 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทาง ทิศตะวันออกเฉียงใต้....51

แผนภูมิที่ 29 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้....52

แผนภูมิที่ 30 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทาง ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ....53

แผนภูมิที่ 31 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทาง....54

แผนภูมิที่ 32 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ....54

แผนภูมิที่ 33 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก....55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 34 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทาง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ 55

แผนภูมิที่ 35 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ 56

แผนภูมิที่ 36 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทาง ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 57

แผนภูมิที่ 37 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ 58

แผนภูมิที่ 38 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ 58

แผนภูมิที่ 39 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 59

แผนภูมิที่ 40 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศ 59

แผนภูมิที่ 41 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก 60

แผนภูมิที่ 42 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก 60

แผนภูมิที่ 43 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 61

แผนภูมิที่ 44 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 61

แผนภูมิที่ 45 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ 62

แผนภูมิที่ 46 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 47 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 63

แผนภูมิที่ 48 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 63

แผนภูมิที่ 49 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ 65

แผนภูมิที่ 50 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 66

แผนภูมิที่ 51 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก.66

แผนภูมิที่ 52 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 67

แผนภูมิที่ 53 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้.....68

แผนภูมิที่ 54 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ.....68

แผนภูมิที่ 55 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA กับเปอร์เซ็นต์การลดการใช้พลังงานจาก Base Case 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านพลังงานและภาวะโลกร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้คนตระหนักถึงปัญหานี้และเกิดการใส่ใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้พลังงานมากขึ้น มีประเด็นมากมายที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบอาคารเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน การออกแบบโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารก็เป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบที่ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารจากการใช้แสงประดิษฐ์ลงได้ แต่ความสว่างจากแสงธรรมชาติที่นำเข้ามาใช้ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึง โดยต้องควบคุมปริมาณแสงที่เข้ามา และการกระจายแสงให้ทั่วถึงพื้นที่ภายในอาคารให้ได้ในระดับที่ต้องการ อีกทั้งแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาอาจจะทำให้เกิดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจกเข้ามาในอาคารที่มากเกินไปได้อีกด้วย ถ้าความร้อนเข้ามาได้มากเกินไปจะเป็นการเพิ่มการใช้พลังงานการทำความเย็นของอาคาร และยังสามารถก่อให้เกิดความไม่สบายตาจากปริมาณแสงที่มากเกินไปได้ จึงควรออกแบบให้แสงธรรมชาติส่องเข้ามาให้มีความสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ไม่สว่างมากหรือน้อยเกินไปเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี ซึ่งความสว่างที่เหมาะสมนั้นแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งานอาคาร

อาคารสำนักงานเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่ต้องการแสงธรรมชาติให้เข้ามาในอาคารได้มาก มีการศึกษาเกี่ยวกับแสงสว่างในสำนักงานพบว่าพนักงานส่วนใหญ่ชอบที่จะได้รับแสงธรรมชาติเวลาทำงานเพื่อให้รู้สึกถึงการมีสุขภาพที่ดีในการทำงาน (Baker, 2000) นอกจากนี้การออกแบบก่อสร้างอาคารสำนักงานให้ประหยัดพลังงาน หรือเป็นอาคารเขียวนั้น ทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าราคาเช่าต่อตารางเมตรของพื้นที่สำนักงานได้ (พรรณวดี มงคลเจริญ, 2556)

มีการจัดทำเกณฑ์การประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อมขึ้นในหลายประเทศ ซึ่งเกณฑ์ที่ได้รับความนิยมและใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกหนึ่งในนั้นคือเกณฑ์ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย U.S. Green Building Council (USGBC) โดยมีการปรับปรุงเรื่อยมาจนเป็นเวอร์ชั่นที่ 4 ในปีค.ศ. 2014 เนื่องจากเกณฑ์ LEED v4 Building Design + Construction (BD+C) สำหรับอาคารก่อสร้างใหม่ (New Construction) ที่ออกเกณฑ์มาใหม่นั้นมีการปรับปรุงจากเวอร์ชั่นเก่า LEED v2009 ในหลายเรื่อง โดยในเรื่อง Daylight ก็มีการเปลี่ยนแปลงกฎเกณฑ์จาก LEED v2009 เช่นกัน คือ เกณฑ์ LEED v2009 ในเรื่อง Daylight กำหนดเฉพาะเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ต้องได้รับแสงธรรมชาติและช่วงความสว่างของแสงที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ โดยไม่ได้กำหนดให้มีการจำลองแสงสว่างธรรมชาติตลอดทั้งปี

ซึ่งต่างจากเกณฑ์ LEED v4 ที่มีกฎเกณฑ์ที่กำหนดอย่างละเอียดมากขึ้นทำให้เกิดความยุ่งยากมากขึ้นในการออกแบบอาคารให้ผ่านเกณฑ์ (U.S. Green Building Council, 2013) โดยใน LEED v4 ได้นำเกณฑ์การคำนวณค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และค่า Annual Sunlight Exposure (ASE) มาใช้ ซึ่ง sDA เป็นเกณฑ์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี และ ASE เป็นเกณฑ์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงต่อปีไม่ให้มากเกินไป อันจะเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความไม่สบายทางสายตาและการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารที่มากเกินไปได้ โดยเกณฑ์ LEED v4 กำหนดให้พื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างจากแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์จะต้องมีความสว่างอย่างน้อย 300 lux เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 50% ของปี (sDA300/50%) ในพื้นที่อย่างน้อย 55% ของพื้นที่ใช้งานประจำ และสามารถมีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในพื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำเท่านั้นจึงจะผ่านเกณฑ์ (U.S. Green Building Council, 2014)

การศึกษาวิจัยเรื่องแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารส่วนใหญ่ศึกษาโดยการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีกำหนดวันและเวลาในการประเมิน เช่น ณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์ (2553) นุภาพ แย้มไตรพัฒน์ (2549) กฤติน อัศวชัย (2558) Sanati and Utzinger (2013) Wong and Istiadji (2004) โดยยังไม่มีผู้ทำการศึกษาอย่างแพร่หลายถึงประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติตลอดทั้งปีร่วมกับการใช้เกณฑ์ sDA และ ASE มาใช้ในการประเมินแสงธรรมชาติในอาคาร

จากที่กล่าวข้างต้น แสงธรรมชาติมีประโยชน์ต่อการใช้งานในอาคารสำนักงานจึงควรนำมาใช้ให้มากขึ้น และเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณแสงธรรมชาติจากเกณฑ์เวอร์ชั่นที่ผ่านมา ทำให้ต้องพิจารณาแนวทางในการควบคุมปริมาณแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคารให้มีความเหมาะสมเพียงพอตามเกณฑ์ จึงเกิดความสนใจในการออกแบบเปลือกอาคารและการใช้แผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight และทำการประเมินประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของอาคารที่ใช้แผงบังแดด โดยใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งคาดว่าผลการวิจัยจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบต่อไปได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบเปลือกอาคารและการออกแบบแผงบังแดดที่ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ให้เป็นไปตามเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight

1.2.3 เพื่อเสนอแนะรูปแบบเปลือกอาคาร และแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight และลดการใช้พลังงานได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารสำนักงานตามเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight โดยใช้เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และเกณฑ์ Annual Sunlight Exposure (ASE) มาเป็นมาตรวัดแสงธรรมชาติ

1.3.2 ศึกษาโดยใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

1.3.3 ศึกษาโดยใช้ตัวอย่างห้องของอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยโดยการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองหาค่าความสว่างที่เกิดขึ้นจากแสงธรรมชาติภายในอาคารประเภทสำนักงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 กำหนดตัวแปรและค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1.4.2.1 กำหนดลักษณะของห้องที่ใช้ในการจำลอง

1.4.2.2 กำหนดตัวแปรในงานวิจัย

1.4.2.3 โปรแกรมที่ใช้

1.4.3 ทำการจำลองผลและเก็บข้อมูล

1.4.4 ทำการจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคาร

1.4.5 วิเคราะห์ผล และสรุปผล

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

แสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA หมายถึง แสงธรรมชาติที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี ในพื้นที่อย่างน้อย 55%

แสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE หมายถึง แสงอาทิตย์ตรงที่มีความสว่างมีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี ในพื้นที่ไม่เกิน 10%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

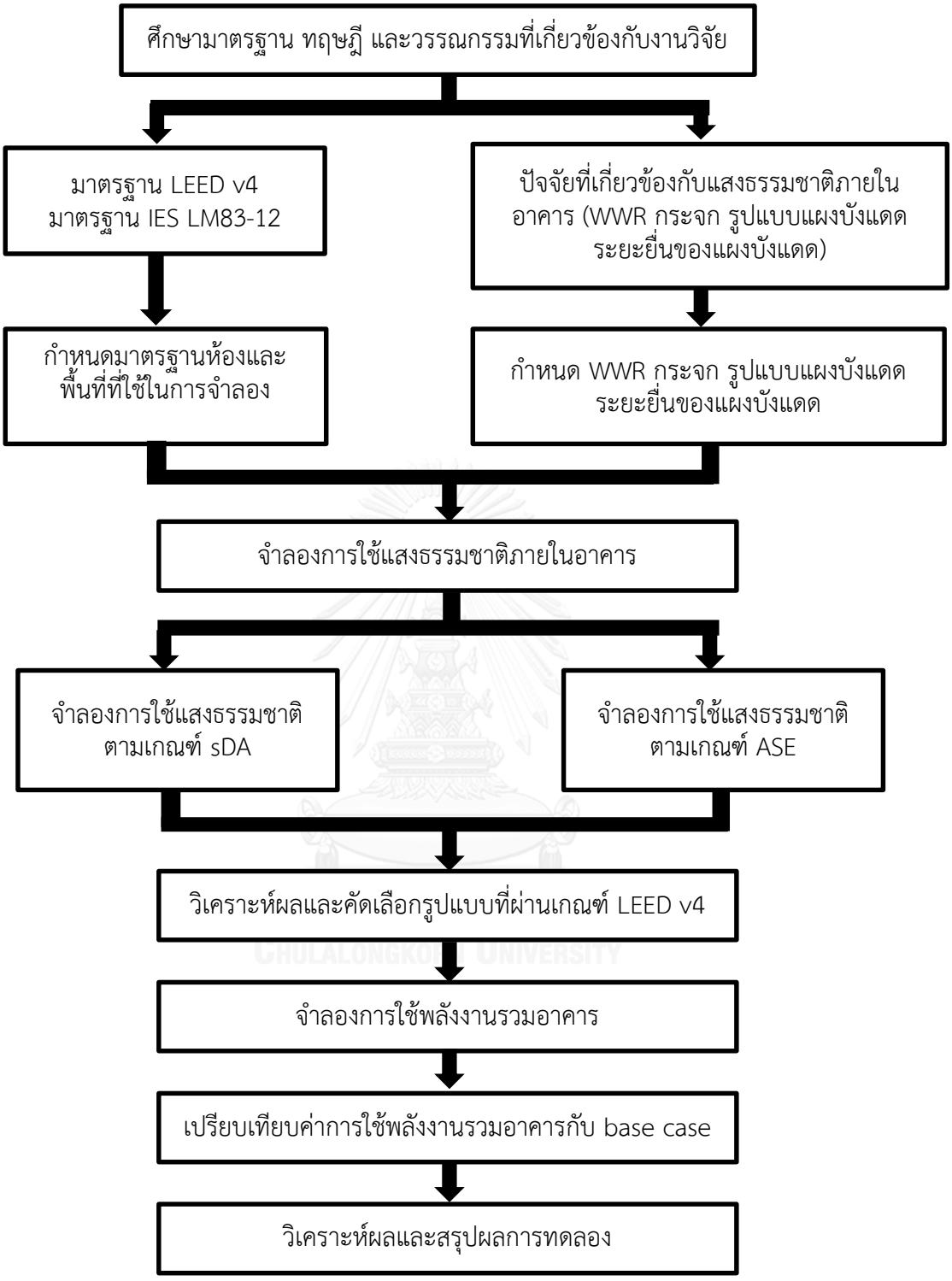
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงการออกแบบเปลือกอาคารและการออกแบบแผงบังแดดที่ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight

1.5.2 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ LEED v4ในเรื่อง Daylight

1.5.3 ทำให้ทราบถึงรูปแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight และลดการใช้พลังงานได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเปลือกอาคารและรูปแบบของแผงบังแดดที่ทำให้ได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight ทำให้ในการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนั้น ได้ศึกษาในเรื่องดังต่อไปนี้

2.1 เกณฑ์ LEED v4 หัวข้อ Daylight

2.2 การใช้แสงธรรมชาติ

2.3 การศึกษาเกี่ยวกับแผงบังแดด

2.4 การใช้ Daylight dimmer

2.5 โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองแสงธรรมชาติ

2.1 เกณฑ์ LEED v4 หัวข้อ Daylight

เกณฑ์ LEED หรือ Leadership in Energy and Environmental Design เป็นมาตรฐานสากลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย U.S. Green Building Council (USGBC) โดยมีการปรับปรุงเรื่อยมาจนเป็นเวอร์ชั่นที่ 4 แล้วในปี 2014 โดยที่เกณฑ์ LEED v4 for Building Design and Construction ที่ออกเกณฑ์มาใหม่นั้นมีการปรับปรุงจากเวอร์ชั่นเก่า LEED v2009 ในหลายเรื่อง หนึ่งในนั้น คือ เรื่อง Daylight

หัวข้อ Daylight ของ LEED v4 นั้น มีวิธีให้เลือกใช้ 3 ทางเลือก คือ ทางเลือกที่ใช้วิธีการจำลองแสงสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 ทางเลือก และทางเลือกที่ใช้วิธีที่วัดแสงในอาคารจริง 1 ทางเลือก (U.S. Green Building Council, 2014)

ทางเลือกที่ 1 เป็นวิธีการจำลองแสงด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้เกณฑ์ใหม่ 2 เกณฑ์ คือ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ควบคู่กันทั้งสองเกณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีใหม่ที่เพิ่มขึ้นจาก LEED เวอร์ชั่นก่อน

Spatial Daylight Autonomy (sDA)

เป็นเกณฑ์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี โดยเกณฑ์ LEED v4 กำหนดให้พื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างจากแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์จะต้องมีความสว่างที่อย่างน้อย 300 lux เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 50% ของปี (sDA300/50%) โดยเกณฑ์ LEED v4 นั้นกำหนดให้มีพื้นที่อย่างน้อย 55% ของพื้นที่ใช้งานประจำที่ต้องได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ดังตัวอย่างตารางกำหนดเกณฑ์ในเรื่อง Daylight ของ LEED v4 ในภาพที่ 1

Table 1. Points for daylit floor area: Spatial daylight autonomy

New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		*Healthcare*	
sDA (for regularly occupied floor area)	***Points***	***sDA (for perimeter floor area)***	***Points***
55%	2	75%	1
75%	3	90%	2

ภาพที่ 1 คะแนนสำหรับพื้นที่ที่ได้รับแสงอย่างเพียงพอ ตามเกณฑ์ sDA

(ที่มา : LEED v4 for Building Design and Construction)

Annual Sunlight Exposure (ASE)

เป็นเกณฑ์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงต่อปีไม่ให้มากเกินไป อันจะเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความไม่สบายทางสายตาและการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารที่มากเกินไปได้ โดยเกณฑ์ ASE นี้กำหนดให้สามารถมีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ซึ่งในเกณฑ์ LEED v4 กำหนดให้มีพื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำที่จะรับแสงอาทิตย์ตรงได้ตามเกณฑ์ ASE

ในการใช้เกณฑ์ sDA และ ASE นั้น LEED v4 ได้นำมาตรฐานตามเกณฑ์ IES LM 83-12 ซึ่งเป็นเกณฑ์ของ Illuminating Engineering Society ที่กำหนดวิธีการประเมินแสงธรรมชาติในอาคารโดยใช้เกณฑ์ sDA และ ASE มาประกอบ

ทางเลือกที่ 2 เป็นวิธีการจำลองแสงด้วยคอมพิวเตอร์ โดยวัดค่าความสว่างของพื้นที่ โดยกำหนดให้พื้นที่อย่างน้อย 75% ของพื้นที่ใช้งานประจำต้องมีความสว่างตั้งแต่ 300 lux – 3,000 lux ในเวลา 9.00 น. – 15.00 น. โดยทำการจำลอง 2 ครั้ง คือ ภายใน 15 วันหลังจากวันที่ 21 กันยายน และ ภายใน 15 วันหลังจากวันที่ 21 มีนาคม ที่มีท้องฟ้าโปร่ง โดยต้องใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศของที่ตั้งอาคารในการจำลอง

ทางเลือกที่ 3 เป็นวิธีวัดแสงจริง โดยวัดแสงในระดับความสูงของโต๊ะทำงาน ในเวลาระหว่าง 9.00 น. – 15.00 น. ทำการวัด 2 ครั้ง ห่างกันประมาณ 4 – 8 เดือน

2.2 การใช้แสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติ หรือ natural light คือ แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ โดยสามารถแบ่งแสงธรรมชาติออกเป็น 3 ประเภท คือ Sunlight Skylight และ Daylight

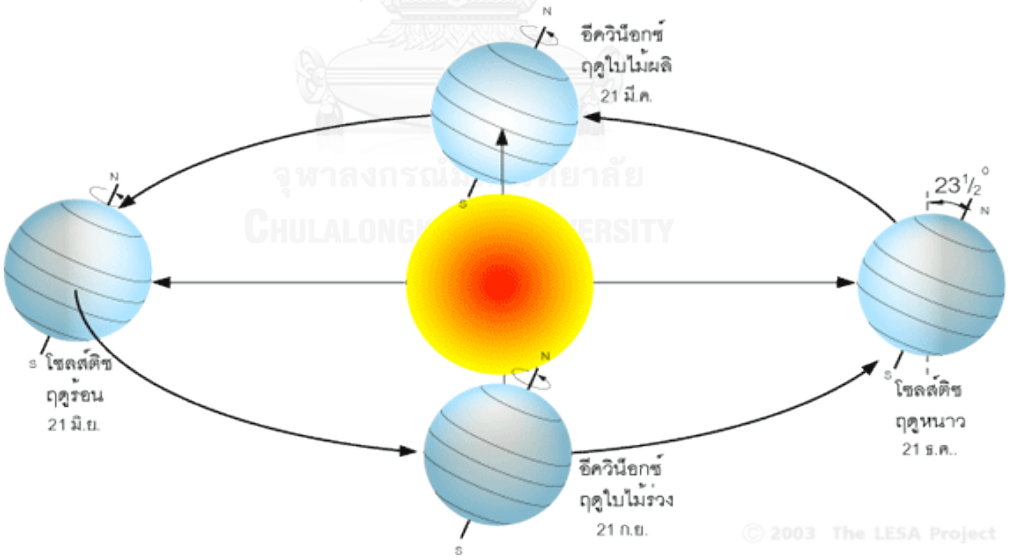
Sunlight คือ แสงอาทิตย์ตรงที่ส่องเข้ามาโดยที่ไม่สะท้อนกับสิ่งใด เป็นแสงที่มีความสว่างสูงมาก

Skylight คือ แสงจากท้องฟ้า ซึ่งเป็นแสงกระจายที่สะท้อนมาจากท้องฟ้าในทุกทิศทาง

Daylight หมายถึง แสงธรรมชาติทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตอนกลางวัน ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก ทั้งแสงโดยตรง (sunlight) และแสงกระจายต่าง ๆ ที่สะท้อนจากท้องฟ้า (skylight) สะท้อนจากพื้นดิน และวัตถุอื่น ๆ

เนื่องจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติของโลก จึงทำการศึกษาการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นลักษณะวงรี และหมุนรอบตัวเองในแนวแกนเหนือใต้ด้วย โดยที่แกนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉาก 23.5 องศา โลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลา 1 วัน และหมุนรอบดวงอาทิตย์ใช้เวลา 365 วัน

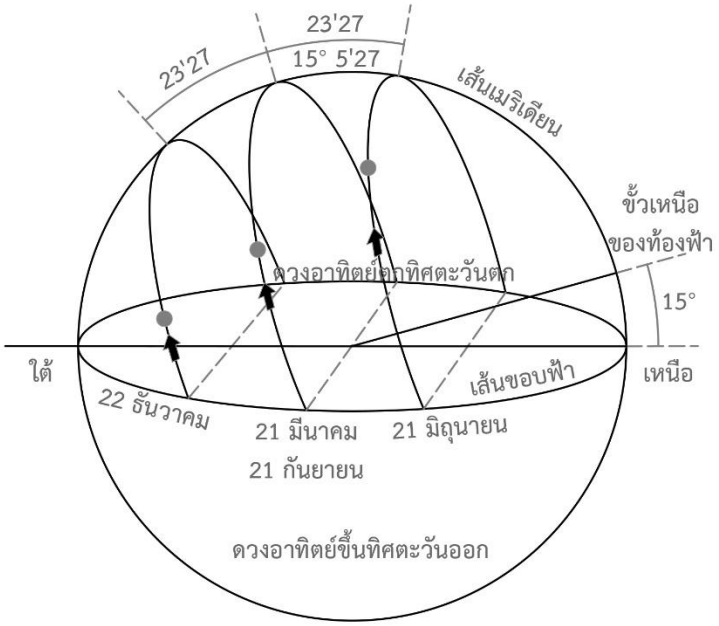


ภาพที่ 2 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

(ที่มา : http://thaiitteacher.no-ip.info/lesa/space/phenomenon/season/season.html)

การโคจรของโลกมีตำแหน่งสำคัญที่โลกจะมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด จะทำให้มีช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกันมากที่สุด เรียกว่า วันอายัน หรือ Solstice นั่นคือวันที่ 21 ธันวาคม ขั้วโลกเหนือจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้พื้นที่ในซีกโลกเหนือมี

ช่วงเวลากลางคืนยาวนานกว่ากลางวัน เรียกว่า เหมายัน หรือ Winter Solstice วันที่ 21 มิถุนายน ขั้วโลกเหนือจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้พื้นที่โลกในซีกโลกเหนือ มีช่วงเวลากลางวันยาวนานกว่ากลางคืน เรียกว่า ครีษมายัน หรือ Summer Solstice และวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้จะอยู่ห่างดวงอาทิตย์เท่ากัน เรียกว่า วิษุวัต หรือ Equinox ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 3 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ

(ที่มา : http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=1&chap=3&page=t1-3-infodetail06.html)

สำหรับประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 5 องศา ถึง 21 องศาเหนือ และลองติจูด 97 องศา ถึง 106 องศาตะวันออก กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่ละติจูด 13 องศาเหนือ

จากภาพที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ

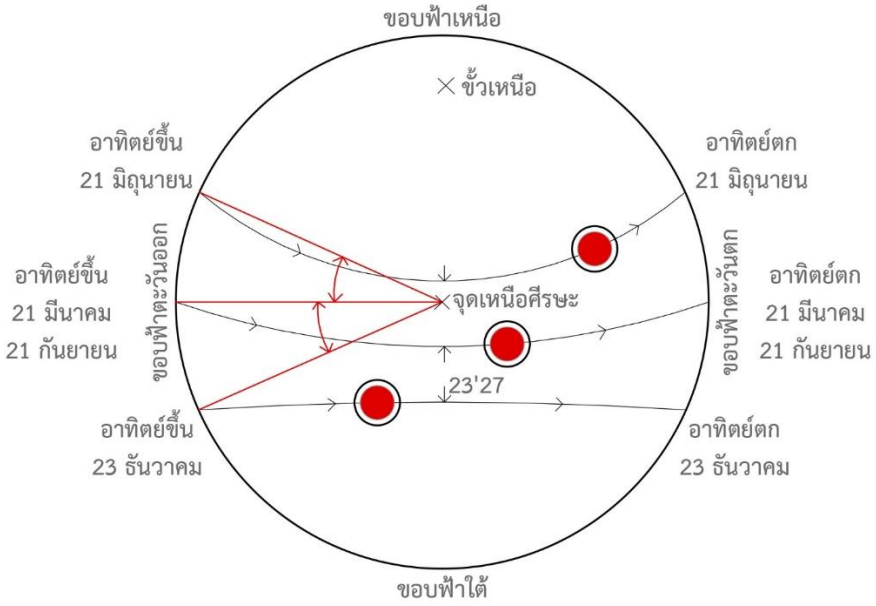
ในวันที่ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์จะโคจรในทางทิศใต้ของท้องฟ้า และอยู่ห่างจากขั้วโลกเหนือมากที่สุด ตอนเช้าจะเห็นดวงอาทิตย์จะขึ้นจากท้องฟ้าทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และตกทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนสูงที่สุดตอนเที่ยงวัน ดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากจุดเหนือศีรษะไปทางใต้ 38 องศา

ในวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน ดวงอาทิตย์ขึ้นจากขอบฟ้าตรงจุดตะวันออกพอดี และตกลงสู่ขอบฟ้าตรงจุดตะวันตกพอดี เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนสูงที่สุดตอนเที่ยงวัน ดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากจุดเหนือศีรษะไปทางใต้ 15 องศา

ในวันที่ 21 มิถุนายน ดวงอาทิตย์จะขึ้นจากขอบฟ้าทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และตกทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะห่างจากจุดเหนือศีรษะไปทางเหนือ 8 องศา

ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม กับวันที่ 21 กันยายน ดวงอาทิตย์จะขึ้นจากขอบฟ้าทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และมากกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงจะอยู่เหนือระนาบขอบฟ้า ซึ่งหมายถึง ดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือขอบฟ้านานกว่า 12 ชั่วโมง หรือหมายถึงช่วงเวลากลางวันจะยาวกว่ากลางคืน ระหว่างวันที่ 21 กันยายน กับ 21 มีนาคม เส้นรอบวงน้อยกว่าครึ่งหนึ่งจะอยู่เหนือระนาบขอบฟ้า หมายถึงช่วงเวลากลางวันจะน้อยกว่ากลางคืน

เมื่อเขียนเป็นผังการโคจรของดวงอาทิตย์ เมื่อผู้สังเกตการณ์นอนหงาย หันศีรษะไปทางทิศเหนือ จะได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ
(ที่มา : http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=1&chap=3&page=t1-3-infodetail07.html)

ดวงอาทิตย์จะโคจรอ้อมไปทางทิศใต้ในระยะเวลาที่นานกว่าทิศเหนือ โดยอ้อมไปทางทิศใต้ประมาณ 8 เดือน และอ้อมไปทางทิศเหนือประมาณ 4 เดือน

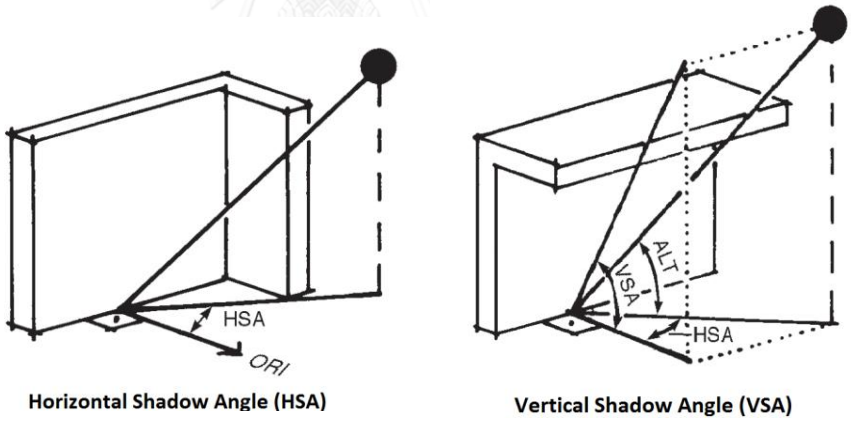
สำหรับการให้แสงธรรมชาติในอาคารนั้นโดยทั่วไปสัดส่วนของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงและลักษณะการกระจายแสงที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายใน โดยความลึกของห้องไม่ควรเกิน 2.5H เมื่อ H คือระดับสูงสุดของช่องเปิดจากพื้น (Egan & Olgyay, 2002) อีกทั้งสัดส่วนพื้นที่

หน้าต่างต่อพื้นที่ห้องไม่ควรมากเกินไป โดยสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ห้องควรใกล้เคียง 0.15 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ดีต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Minnesota Sustainable Housing Initiative, 2015)

2.3 การศึกษาเกี่ยวกับแผงบังแดด

สำหรับเรื่องแผงบังแดด งานวิจัยส่วนมากศึกษาโดยใช้แผงบังแดดรูปแบบหลักที่สามารถพบได้ทั่วไปมี 3 รูปแบบ คือ แผงบังแดดแนวนอน แผงบังแดดแนวตั้ง และแผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง (ณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์ (2553), นุภาพ แย้มไตรพัฒน์ (2549), Wong and Istiadji (2004), Sherif, Sabry, and Gadelhak (2012))

การออกแบบแผงบังแดด ควรออกแบบโดยการใช้มุมที่เกิดจากตำแหน่งโคจรของดวงอาทิตย์ ซึ่งมุมที่ใช้ในการออกแบบแผงบังแดด ได้แก่ มุม HSA (Horizontal Shadow Angle) คือ มุมในแนวพื้นราบระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ทำกับเส้นที่ลากตั้งฉากกับหน้าต่าง โดยมุม HSA จะใช้สำหรับออกแบบแผงบังแดดในแนวตั้ง และมุม VSA (Vertical Shadow Angle) คือ มุมในแนวตั้งระหว่างดวงอาทิตย์ที่ทำกับเส้นที่ลากตั้งฉากกับขอบล่างของหน้าต่าง ซึ่งมุม VSA จะใช้สำหรับออกแบบแผงบังแดดในแนวนอน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 มุม HSA และ มุม VSA ในการออกแบบแผงบังแดด
(ที่มา : http://www.ashutoshp.in/2012/04/the-paper-coauthored-with-anagh-been.html)

การศึกษาแผงบังแดดที่มีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร จากการวิจัยของ Wong and Istiadji (2004) ศึกษาเรื่องผลของการใช้แผงบังแดดที่มีต่อแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคารอยู่อาศัย โดยใช้แผงบังแดดรูปแบบแนวนอน และแนวนอนผสมแนวตั้ง พบว่าการใช้แผงบังแดดจะทำให้ลดการกระจายแสงในอาคารลงแต่จะทำให้ความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น โดยรูปแบบแผงบังแดดแบบแนวนอนผสมแนวตั้งสามารถลดการกระจายแสงได้มากที่สุด และทำให้มีความสม่ำเสมอของแสง

มากที่สุด Sherif et al. (2012) พบว่า แผงบังแดดสัดส่วนในแนวนอนมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งในเรื่องการนำแสงสว่างเข้ามาในอาคาร เรื่องการป้องกันความจ้า และการลดความร้อน จากการศึกษาของน้ำผึ้ง สายหงส์ และอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ (2550) ที่ศึกษาเรื่องแนวทางการออกแบบแสงสว่างในห้องเรียนสื่อผสม พบว่าการใช้แผงบังแดดภายในอาคารโดยปรับมุมของมู่ลี่เป็นมุม 30-60 องศา ช่วยให้เกิดความสบายตา และสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานได้ และการเพิ่มแผงบังแดดแนวนอนและหิ้งสะท้อนแสงสามารถทำให้แสงธรรมชาติส่องเข้ามาในอาคารได้ลึกขึ้นและแสงมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sanati and Utzinger (2013) ที่พบว่า การใช้หิ้งสะท้อนแสงทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในเรื่องปริมาณแสง และการกระจายแสงมากกว่าการไม่ใช้ และสามารถลดชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างลงได้

แผงบังแดดสามารถช่วยลดความจ้าของแสงที่เข้ามาได้ด้วย จากงานวิจัยของ Atzeria, Cappellettib, and Gasparella (2014) พบว่าการติดตั้งแผงบังแดดทั้งภายนอกและภายในสามารถลดความจ้าของแสงได้ และจากงานวิจัยของณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์ (2553) ที่ศึกษาแผงบังแดดรูปแบบแนวนอน แนวตั้ง และรูปแบบแนวนอนผสมแนวตั้ง และศึกษาระยะยื่นที่ระยะต่าง ๆ ตามมุม VSA พบว่าแผงบังแดดที่มีระยะยื่น 1 เมตร การใช้แผงบังแดดแนวนอนผสมแนวตั้งสามารถลดค่าแสงบาดตาที่เกิดขึ้นได้ในทุกทิศทางมากที่สุด และการใช้แผงบังแดดแนวนอนที่มุม VSA น้อย (ระยะยื่นมาก) การทดลองเพิ่มจำนวนแผงบังแดดแนวนอนแทนการยื่นของแผงบังแดด และการใช้ระแนงที่มีความทึบเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งสามปัจจัยเหล่านี้ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติมีค่าน้อยลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของกฤติน อัศวชัย (2558) ที่พบว่าแผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งมีประสิทธิภาพในการลดแสงบาดตาได้ดีกว่าแผงบังแดดแบบอื่นในสภาพท้องฟ้าเปิด

ในเรื่องแผงบังแดดที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร จากงานวิจัยของคมกฤช ชูเกียรติมั่น (2540) ที่วิจัยเรื่องการใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร ทำให้พบว่าการปรับปรุงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งภายในและภายนอกอาคาร ร่วมกับการปรับปรุงรูปแบบของแผงบังแดด ทำให้ได้รับแสงธรรมชาติเข้ามามากขึ้น จนสามารถลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ลงได้ถึง 44.5% เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Atzeria et al. (2014) ที่พบว่าการใช้แผงบังแดดสามารถลดการใช้พลังงานได้ โดยการใช้แผงบังแดดภายนอก จะทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารน้อยกว่าการใช้แผงบังแดดภายในอาคาร นอกจากนี้ จากงานวิจัยของรฐา จิตตวิสุทธิกุล และ จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์ (2557) พบว่า การติดตั้งแผงบังแดดที่มีระยะยื่นมากยิ่งทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่าแผงบังแดดที่มีระยะยื่นน้อย และการออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่ดีจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดด หรือค่า SC ต่ำ ความร้อนที่ผ่านเข้ามาจะน้อยลง เนื่องจากเมื่อรังสีอาทิตย์กระทบหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดด พื้นที่บริเวณที่เกิดเงาจะได้รับพลังงานจากรังสีกระจายเท่านั้น ในขณะที่บริเวณที่ไม่เกิดเงาจะได้รับพลังงานทั้งจากรังสีตรง และรังสีกระจาย ดังนั้น หากมีส่วนของพื้นที่เกิดเงาบนหน้าต่างมากเท่าใด ก็จะทำให้พลังงานรวมจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านเข้ามาได้น้อยลง (นุภาพ แย้มไตรพัฒน์, 2549)

นอกจากนี้การติดตั้งแผงบังแดดยังสามารถช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (overall thermal transfer value, OTTV) ได้ด้วย ซึ่งกฎหมายอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดให้ต้องมีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ทั้งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยแยกตามประเภทอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า OTTV และ RTTV สำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)
สถานศึกษา สำนักงาน	≤50	≤15
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	≤40	≤12
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	≤30	≤10

ที่มา : กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

สำหรับการติดตั้งแผงบังแดดนั้น ไม่ได้ก่อให้เกิดประโยชน์ที่เหมือนกันในทุกทิศ จากการศึกษาของ Atzeria et al. (2014) พบว่า การติดตั้งแผงบังแดดในบางทิศ ทำให้การใช้พลังงานแสงสว่างเพิ่มมากขึ้นได้เช่นกัน และจากการศึกษาของณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์ (2553) พบว่า ในทิศตะวันออกและทิศตะวันตกต้องใช้แผงบังแดดที่มีความทึบมากถึงจะสามารถทำให้ค่าความน่าจะเป็นของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (0.40) ได้

นอกจากนี้ การใช้แผงบังแดดนอกจากจะช่วยลดแสงที่เข้ามา และลดแสงบาดตาแล้ว แผงบังแดดยังเป็นสิ่งที่ลดการมองเห็นทัศนียภาพภายนอกหน้าต่างด้วย ซึ่งการมองเห็นทัศนียภาพด้านนอกก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกัน ประโยชน์ของการมองเห็นวิว คือ การช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อตา โดยเฉพาะกับผู้ที่ทำงานในสำนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานจะทำให้กล้ามเนื้อตาต้องทำงานอย่างหนักเนื่องจากจ้องจอคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน วิวของธรรมชาติสามารถช่วยเพิ่มความรู้สึกในแง่บวกที่ทำให้ช่วยลดความเครียดทางร่างกายได้ และสามารถช่วยให้คนที่กำลังเสียสมาธิกลับมามีสมาธิในการทำงานได้เร็วขึ้น อีกทั้งการมองเห็นวิวภายนอกสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ด้วย (California Energy Commission, 2003) นอกจากนี้เกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Quality Views ยังกำหนดให้อาคารต้องมีมุมมองที่เห็นทัศนียภาพภายนอกหน้าต่างกระจก 75% ของพื้นที่ที่มีคนใช้งานประจำ และต้องมองเห็นช่องเปิดที่เต็มความต่อเนื่องของช่องเปิด เพราะฉะนั้นการออกแบบแผงบังแดดจึงไม่ควรเลือกรูปแบบที่จะทำให้เกิดการบดบังทัศนียภาพภายนอกของหน้าต่าง

2.4 การใช้กระจกในอาคารสำนักงาน

จากการศึกษางานวิจัยของสวิชญา ดาวประกายมงคล (2552) ที่ได้ศึกษาแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ โดยได้ทำการกำหนดสำนักงานต้นแบบจากการสำรวจความคิดเห็นของสถาปนิกเกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงาน ทำให้ได้อาคารสำนักงานต้นแบบเป็นอาคารที่มีขนาด 36x28 เมตร หันด้านยาวไปทางทิศเหนือ-ใต้ สูง 30 ชั้น สูงชั้นละ 4 เมตร และมีค่า WWR 20 40 60 และ 80 โดยที่ไม่มีการติดตั้งแผงบังแดดพบว่า

กระจกลามิเนตสีเขียว VLT=71% SC=0.6 U=5.52 W/m^2k เป็นกระจกที่นิยมใช้ในอาคารสำนักงานเป็นจำนวนมากที่สุด แต่มีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้มีค่า OTTV สูงกว่าที่กฎหมายกำหนด คือ สูงกว่า 50 W/m^2 ในกรณีที่ WWR มากกว่า 20

กระจกลามิเนตอินซูเลตเขียวอมฟ้าเคลือบสาร very Low-E VLT=35% SC=0.24 U=1.56 W/m^2k เป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ทำให้มีค่า OTTV ต่ำกว่ากฎหมายกำหนดในทุกกรณี

กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low-E ใส่ก๊าซอาร์กอน VLT=58% SC=0.39 U=1.71 W/m^2k เป็นกระจกที่มีความคุ้มทุนทางเศรษฐกิจมากที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้ได้แนวทางในการกำหนดกระจกเพื่อเป็นตัวแปรในงานวิจัย

2.5 การใช้ Daylight dimmer

Daylight dimmer หรือ อุปกรณ์หรี่ไฟอัตโนมัติตามปริมาณแสงธรรมชาติ คือ อุปกรณ์หรี่ไฟอัตโนมัติที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์รับแสงธรรมชาติ โดยที่ถ้าเซ็นเซอร์รับแสงธรรมชาติที่ติดตั้งไว้ได้รับความสว่างตามที่กำหนดจะทำการหรี่หลอดไฟให้มีแสงน้อยลงหรือปิดหลอดไฟนั้นเพื่อให้มีการใช้ไฟฟ้าน้อยลงโดยอัตโนมัติ

การใช้ Daylight dimmer นั้นจะมีการตั้งค่าให้ใช้งานได้ในโปรแกรม VisualDOE 4.0 ในส่วนของ Daylight control ซึ่งจะมีการให้กำหนดตำแหน่งของเซ็นเซอร์รับแสงอาทิตย์ และตั้งค่าความสว่างที่ต้องการในการทำให้อุปกรณ์หรี่ไฟทำงาน

2.6 โปรแกรมในการจำลองแสงธรรมชาติ

โปรแกรมจำลองแสงธรรมชาติ Daysim เป็นโปรแกรมที่จำลองแสงโดยใช้ค่า Daylight Coefficients หรือค่าสัมประสิทธิ์ของแสงธรรมชาติมาจำลองร่วมกับข้อมูลอากาศของพื้นที่นั้น ๆ ทำให้ได้ผลที่แตกต่างกันไปในแต่ละที่ตั้งของอาคาร ซึ่งจากการศึกษาของ Reinhart and Walkenhorst

(2001) บอกได้ว่าโปรแกรม Daysim นั้นสามารถใช้จำลองแสงธรรมชาติตลอดทั้งปีได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องแม่นยำ

สรุปจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบถึงเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight ที่จะนำมาศึกษา และได้ทราบแนวทางในการกำหนดตัวแปรในงานวิจัย เช่น ลักษณะของแผงบังแดด ระยะยื่นของแผงบังแดด กระจกที่ใช้ เป็นต้น รวมทั้งทิศในการหันหน้าต่างที่จะได้รับแสงธรรมชาติไม่เท่ากันในแต่ละทิศ และสามารถเลือกโปรแกรมในการจำลองแสงธรรมชาติเป็นโปรแกรม DAYSIM ที่สามารถจำลองแสงธรรมชาติในเวลาตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมในการใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยโดยการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองหาค่าความสว่างที่เกิดขึ้นจากแสงธรรมชาติภายในอาคารประเภทสำนักงาน และจำลองการใช้พลังงานอาคาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

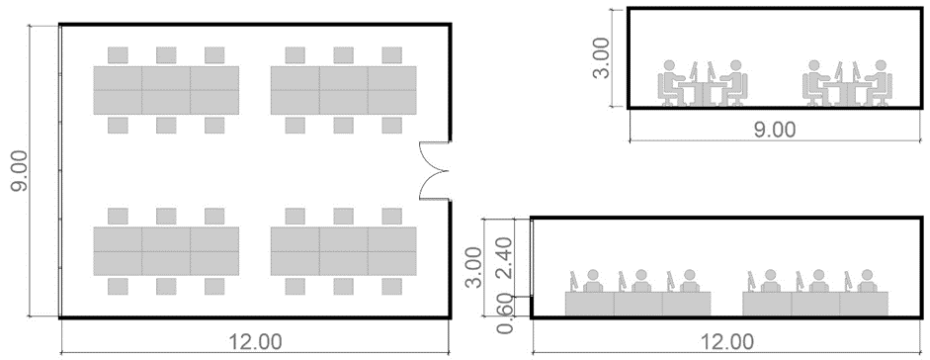
3.1 กำหนดตัวแปรและค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลอง

3.1.1 กำหนดลักษณะของห้องที่ใช้ในการจำลอง

ทำการวิจัยโดยใช้ห้องขนาดมาตรฐานในอาคารสำนักงานที่ผ่านเกณฑ์การประเมิน LEED ในประเทศไทย ที่มีพื้นที่ประมาณ 111 ตร.ม. ตามเกณฑ์ IES LM 83-12 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่กำหนดวิธีการประเมินแสงธรรมชาติในอาคารโดยใช้เกณฑ์ sDA และ ASE ที่เกณฑ์ LEED v4 ได้นำมาใช้

โดยได้เลือกอาคาร 3 อาคาร คือ อาคาร Sathorn Square (LEED Gold) ขนาด 9.50 x 11.00 x 3.00 เมตร อาคาร Park Ventures Ecoplex (LEED Platinum) ขนาด 8.80 x 12.00 x 3.00 เมตร และอาคาร AIA Capital Center (LEED Gold) ขนาด 11.00 x 12.30 x 3.00 เมตร

นำขนาดห้องสำนักงานขนาดเล็กของแต่ละอาคารมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อกำหนดขนาดห้องสำนักงานที่จะใช้ในการจำลอง คือ กว้าง 9.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผังพื้นและรูปตัดแสดงระยะห้องสำนักงาน

3.1.2 ตัวแปรในงานวิจัย

ตัวแปรต้น

- ทิศในการจำลอง ทั้งหมด 8 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
- ลักษณะของแผงบังแดด คือ แผงบังแดดแนวนอน แผงบังแดดแนวตั้ง และแผงบังแดดแบบผสมทั้งแนวนอนและแนวตั้ง (ณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์, 2553), (กนกวรรณ อุสันโน, 2539)
- ระยะยื่นของแผงบังแดด กำหนดระยะยื่นเริ่มต้นโดยใช้มุม HSA (Horizontal Shadow Angle) และมุม VSA (Vertical Shadow Angle) โดยใช้ที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร

ทำการหามุม HSA และมุม VSA ในแต่ละทิศโดยใช้วันที่ 21 มีนาคม ซึ่งเป็นวันที่ช่วงเวลากลางวันยาวเท่ากลางคืน วันที่ 21 มิถุนายน เป็นวันที่ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในทิศเหนือมากที่สุด และ 21 ธันวาคม เป็นวันที่ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในทิศใต้มากที่สุด ตั้งแต่เวลา 8:00น. – 17:00 น. โดยใช้วิธีการเปิดไฟล์ข้อมูลอากาศกรุงเทพมหานครในโปรแกรม Weather Tool เพื่อหาค่ามุมทั้งสอง ทำให้ได้ค่ามุม HSA และมุม VSA ดังตารางที่ 2 โดยที่ค่าที่เป็นสีน้ำเงิน คือ ค่ามุม HSA ที่น้อยที่สุดในแต่ละทิศ และสีแดง คือ ค่ามุม VSA ที่น้อยที่สุดในแต่ละทิศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 มุม HSA และ VSA ในทิศต่าง ๆ

ทิศ	วันที่	มุม	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	Min	Max	18.00
เหนือ	21 มีนาคม	HSA	96.3	101.2	108.5	122.3	156.1	-147.7	-119	-107	-100.3	-95.6			-91.7
		VSA	104.5	104.3	104.2	104.2	104.2	104.2	104.2	104.2	104.3	104.6			106.3
	21 มิถุนายน	HSA	70.6	70.8	68.6	60.1	24.7	-43.9	-64.5	-69.8	-70.9	-70.2	24.7	70.8	-68.1
		VSA	58.4	70	76.1	79.2	80.4	80.1	78.3	74.3	66.7	51.9	51.9	80.4	24.8
	21 ธันวาคม	HSA	120.4	127.6	138.1	153.5	174.2	-163.6	-145.4	-132.5	-123.8	-117.8			-113.7
		VSA	148.5	137.3	131.5	128.6	127.4	127.8	129.7	133.9	141.8	157.2			-174.9
ใต้	21 มีนาคม	HSA	-83.7	-78.8	-71.5	-57.7	-23.9	32.3	61	73	79.7	84.4	23.9	88.3	88.3
		VSA	75.5	75.7	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.7	75.4	73.7	75.8	73.7
	21 มิถุนายน	HSA	-109.4	-109.2	-111.4	-119.9	-155.3	136.1	115.5	110.2	109.1	109.8			111.9
		VSA	121.6	110	103.9	100.8	99.6	99.9	101.7	105.7	113.3	128.1			155.2
	21 ธันวาคม	HSA	-59.6	-52.4	-41.9	-26.5	-5.8	16.4	34.6	47.5	56.2	62.2	5.8	66.3	66.3
		VSA	31.5	42.7	48.5	51.4	52.6	52.2	50.3	46.1	38.2	22.8	22.8	52.6	-5.1
ตะวันออก	21 มีนาคม	HSA	6.3	11.2	18.5	32.3	66.1	122.3	151	163	169.7	174.4	6.3	174.4	178.3
		VSA	23.1	37.9	52.9	68.2	83.6	99.1	114.5	129.7	144.7	159.9	23.1	159.9	174
	21 มิถุนายน	HSA	-19.4	-19.2	-21.4	-29.9	-65.3	-133.9	-154.5	-159.8	-160.9	-160.2	19.2	160.2	-158.1
		VSA	29.8	43.7	57.7	71.6	85.5	99.5	113.4	127.4	141.3	155.3	29.8	155.3	169.5
	21 ธันวาคม	HSA	30.4	37.6	48.1	63.5	84.2	106.4	124.6	137.5	146.2	152.2	30.4	152.2	156.3
		VSA	19.8	35.3	51.5	68.3	85.5	102.8	119.9	136.4	152.3	167.5	19.8	167.5	-177.8
ตะวันตก	21 มีนาคม	HSA	-173.7	-168.8	-161.5	-147.7	-113.9	-57.7	-29	-17	-10.3	-5.6	5.6	173.7	-1.7
		VSA	156.9	142.1	127.1	111.8	96.4	80.9	65.5	50.3	35.3	20.6	20.6	156.9	6
	21 มิถุนายน	HSA	160.6	160.8	158.6	150.1	114.7	46.1	25.5	20.2	19.1	19.8	19.1	160.8	21.9
		VSA	150.2	136.3	122.3	108.4	94.5	80.5	66.6	52.6	38.7	24.7	24.7	150.2	10.5
	21 ธันวาคม	HSA	-149.6	-142.4	-131.9	-116.5	-95.8	-73.6	-55.4	-42.5	-33.8	-27.8	27.8	149.6	-23.7
		VSA	160.2	144.7	128.5	111.7	94.5	77.2	60.1	43.6	27.7	12.5	12.5	160.2	-2.2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในทิศเหนือ แสงแดดจะส่องเข้ามาได้เฉพาะในวันที่ 21 มิถุนายน โดยสังเกตจากค่ามุม HSA และ VSA ที่ไม่เกิน 90 องศา ค่ามุมที่ต่ำที่สุด คือ มุม VSA 51.9 องศา และมุม HSA 24.7 องศา

ในทิศใต้ แสงแดดจะส่องเข้ามาได้ในวันที่ 21 มีนาคม และ 21 ธันวาคม ค่ามุมที่ต่ำที่สุด คือ มุม HSA 5.8 องศาและ VSA 22.8 องศา

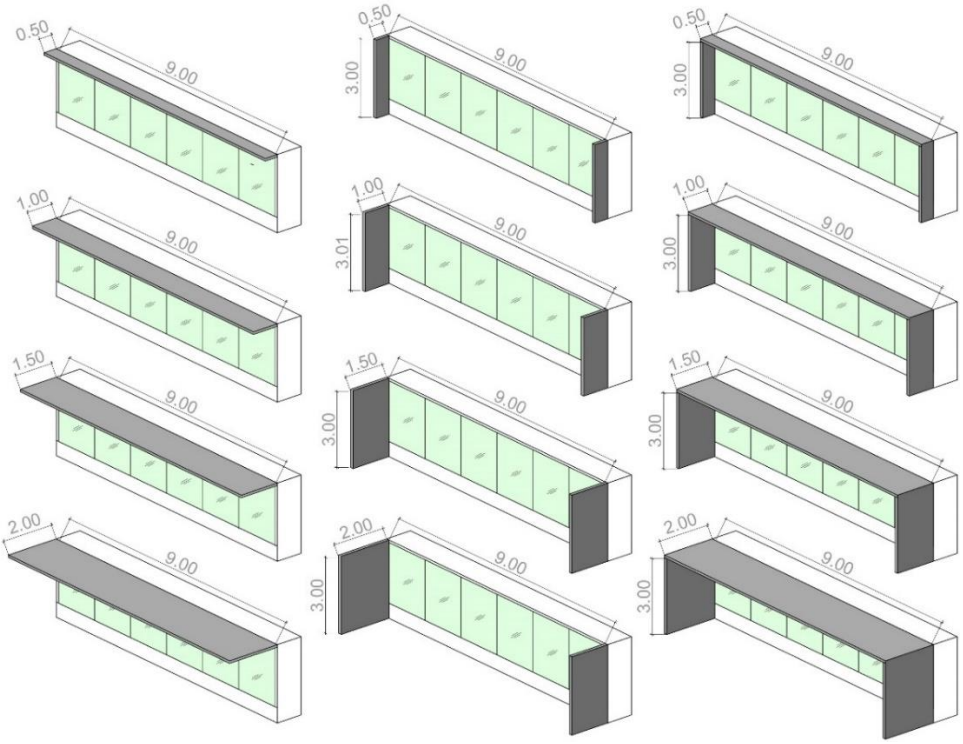
ในทิศตะวันออก แสงแดดส่องเข้ามาได้ในทุกวัน โดยค่ามุมที่ต่ำที่สุด คือ HSA 6.3 องศา และ VSA 19.8 องศา

ในทิศตะวันตก แสงแดดส่องเข้ามาได้ในทุกวันเช่นเดียวกับทิศตะวันออก ค่ามุมที่ต่ำที่สุด คือ HSA 5.6 องศาและ VSA 12.5 องศา

เลือกมุม HSA และ VSA จากตารางที่ 1 ที่ต่ำที่สุดมาใช้หาระยะยื่นของแผงบังแดดที่จะทำให้บังแดดได้ทั้งวัน ซึ่งมุม HSA ที่ต่ำที่สุดคือ 5.6 องศา เมื่อนำมาคิดระยะยื่นของแผงบังแดดแนวตั้ง จะได้ระยะยื่น 45.89 เมตร และมุม VSA ที่ต่ำที่สุด คือ 12.5 องศา เมื่อนำมาคิดระยะยื่นของแผงบังแดดแนวนอน จะทำให้ได้ระยะยื่น 10.82 เมตร

จากระยะยื่นที่พิจารณาจากมุม HSA และ VSA จะเห็นได้ว่ามีระยะยื่นที่มากเกินไป ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับแผงบังแดดบอกได้ว่าระยะยื่นของแผงบังแดดส่วนใหญ่ในท้องตลาดมีระยะไม่เกิน 2 เมตร และมีการศึกษาระยะยื่นของแผงบังแดดตั้งแต่ 0.50 – 2.00 เมตร (ณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์, 2553) (สักการ ราษีสุทธิ์, 2550) (กนกวรรณ อุสันโน, 2539)

จึงทำการกำหนดระยะยื่นของแผงบังแดด 0.5 เมตร 1.00 เมตร 1.50 เมตร และ 2.00 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ระยะยื่นของแผงบังแดด

โดยที่แผงบังแดดแนวตั้งที่ระยะยื่นที่มากที่สุดคือ 2.00 เมตร คิดเป็นมุม HSA 66.02 องศา สามารถบังแดดในทิศเหนือและทิศใต้ได้ในเวลา 8:00–11:00 น. และ 15:00–18:00 น. ในทิศตะวันออกได้ตั้งแต่เวลา 11:00 น. เป็นต้นไป และในทิศตะวันตกบังแดดได้จนถึงเวลา 14:00 น.

สำหรับแผงบังแดดแนวนอน ระยะยื่น 2.00 เมตร คิดเป็นมุม VSA 50.2 องศา สามารถทำให้บังแดดในทิศเหนือได้ทั้งวัน และบังแดดในทิศใต้ในวันที่ 21 มีนาคม ได้ทั้งวัน แต่วันที่ 21 ธันวาคมสามารถบังแดดได้ตั้งแต่เวลาประมาณ 10:00 น. – 14:00 น. ในทิศตะวันออกบังแดดได้ตั้งแต่ 10:00 น.เป็นต้นไป และทิศตะวันตกบังแดดได้ตั้งแต่ 8:00 – 15:00 น.

- กระจก 3 ชนิด ที่มีค่า VLT แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 จากงานวิจัยของสวิชญา ดาวประกายมงคล (2552)

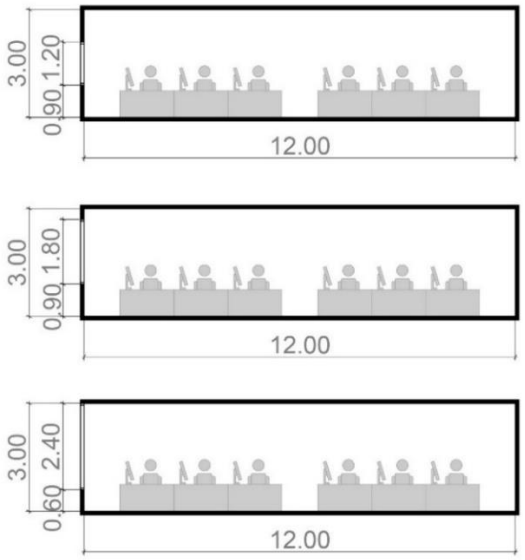
ตารางที่ 3 ชนิดกระจกที่ใช้ในการวิจัย

ชนิดกระจก	ค่า VLT
กระจกลามิเนตสีเขียว 6 mm Glass + 0.76 mm PVB + 6 mm Glass (U-Value 5.52 W/m^2.℃ SHGC 0.52 Exterior Reflectance 8%)	71%
กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low-E ใส่ก๊าซอาร์กอน 6 mm Glass + 0.76 mm PVB + 6 mm Glass with Low-E #4 + 12 mm Airspace (Argon) + 6 mm Glass (U-Value 1.46 W/m^2.℃ SHGC 0.34 Exterior Reflectance 9%)	58%
กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร very Low-E 6 mm Glass + 0.76 mm PVB + 6 mm Glass with Very Low-E #4 + 12 mm Airspace + 6 mm Glass with Very Low-E #5 (U-Value 1.56 W/m^2.℃ SHGC 0.21 Exterior Reflectance 7%)	35%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระจกลามิเนตสีเขียวเป็นกระจกที่นิยมใช้ในอาคารสำนักงานมากที่สุด กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low-E ใส่ก๊าซอาร์กอน เป็นกระจกที่มีความคุ้มทุนมากที่สุด และกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวอมฟ้าเคลือบสาร very Low-E เป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพลดความร้อนได้ดีที่สุด (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)

- Window-to-Wall Ratio 3 สัดส่วนที่แตกต่างกันชัดเจน คือ WWR 40 60 และ 80 ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง

ตัวแปรควบคุม

- ลักษณะและขนาดห้องสำนักงาน
- ค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลอง ที่ได้อ้างอิงจากเกณฑ์ IES LM 83-12 ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่ใช้ในเกณฑ์ LEED v4 (IES, 2012)
    - ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 10 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 8.00 น. – 18.00 น. เป็นเวลาทั้งปี รวมทั้งสิ้น 3,650 ชั่วโมง
    - แบ่งพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น Analysis Grid ห่างกัน 0.50 ม. สูงจากพื้น 0.80 ม.
    - ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน : พื้น 10% ผนัง 50% ฝ้าเพดาน 70%
    - ไฟล์ข้อมูลอากาศที่ใช้ คือ ไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพมหานคร

ตัวแปรตาม

- เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ sDA และ ASE

3.1.3 โปรแกรมที่ใช้

จำลองแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารตลอดทั้งปีโดยทำการขึ้นโมเดลอาคาร 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Ecotect และจำลองแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรม Daysim

จำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

3.2 การจำลองแสงธรรมชาติและเก็บข้อมูล

จำลองแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรม Daysim โดยการกำหนดตำแหน่งวัดค่าเหนือระดับพื้นห้อง 80 ซม. แต่ละตำแหน่งห่างกัน 50 ซม. เมื่อจำลองแล้วจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของเวลาในหนึ่งปีที่แต่ละตำแหน่งมีความสว่างผ่านเกณฑ์ที่กำหนด โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากการใช้รูปแบบแผงบังแดดและกระจกที่แตกต่างกันไปในแต่ละทิศ และวิเคราะห์หารูปแบบที่ทำให้พื้นที่ที่มีแสงสว่างผ่านตามเกณฑ์ sDA และ ASE ตามที่กำหนดในเกณฑ์ LEED v4

ค่า sDA จะคำนวณโดยการนำผลที่จำลองได้จากโปรแกรมซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เวลาที่แต่ละตำแหน่งวัดค่ามีค่าความสว่างผ่านตามที่กำหนด คือ 300 lux มานับจำนวนตำแหน่งที่ได้แสงสว่างอย่างน้อยตามที่กำหนดเป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี และคำนวณจำนวนตำแหน่งที่ได้แสงสว่างผ่านเกณฑ์จนได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ซึ่งต้องได้สัดส่วนของพื้นที่อย่างน้อย 55% จึงจะผ่านเกณฑ์ LEED v4 ดังสมการที่ 1

$$\frac{\text{จำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์}}{\text{จำนวนตำแหน่งวัดค่าทั้งหมด}} \times 100 \geq 55\% \qquad (1)$$

ค่า ASE จะคำนวณโดยการนำผลที่จำลองได้จากโปรแกรมซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เวลาที่แต่ละตำแหน่งที่ใช้วัดมีค่าความสว่างตามที่กำหนด คือ 1000 lux มานับจำนวนตำแหน่งที่เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งคิดเป็น 6.85% ต่อปี และคำนวณจำนวนตำแหน่งที่ได้แสงสว่างเป็นเวลาตามเกณฑ์ที่กำหนดจนได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ซึ่งต้องได้สัดส่วนของพื้นที่ไม่เกิน 10% จึงจะผ่านเกณฑ์ LEED v4 ดังสมการที่ 2

$$\frac{\text{จำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์}}{\text{จำนวนตำแหน่งวัดค่าทั้งหมด}} \times 100 \leq 10\% \qquad (2)$$

โดยการจะผ่านเกณฑ์ LEED v4 นั้นจำเป็นที่จะต้องผ่านทั้งเกณฑ์ sDA และ ASE ทั้งสองเกณฑ์ควบคู่กัน

3.3 การจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคาร

นำรูปแบบแผงบังแดดที่ทำให้เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ LEED v4 มาทำการจำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน

ทำการจำลองการใช้พลังงานรวมของ 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่ติดตั้ง Daylight dimmer และกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer ซึ่ง Daylight dimer คือ อุปกรณ์หรี่ไฟอัตโนมัติโดยการวัดปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร กรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer นั้นจะใช้การตั้งค่าในโปรแกรม

VisualDOE 4.0 โดยติดตั้งเซ็นเซอร์รับแสงธรรมชาติจำนวน 2 ตำแหน่ง ห่างจากหน้าต่าง 3 เมตร และสูงจากพื้น 0.8 เมตร และตั้งค่าความสว่างที่ 500 lux

จำลองการใช้พลังงานรวมของสำนักงาน Base Case ซึ่งเป็นห้องสำนักงานซึ่งมีขนาดเดียวกับห้องสำนักงานที่นำมาพิจารณา ซึ่งก็คือห้องสำนักงานมาตรฐาน ขนาดกว้าง 9.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร โดยที่มีลักษณะอ้างอิงตาม ASHRAE 90.1 2010

3.4 วิเคราะห์ผล และสรุปผล

การวิเคราะห์ผลจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติ และการประเมินการใช้พลังงานอาคาร การประเมินแสงธรรมชาติจะวิเคราะห์ผลของแต่ละตัวแปร คือ WWR ค่า VLT ของกระจก รูปแบบแผงบังแดด ระยะยื่นของแผงบังแดด และทิศของช่องเปิด ส่วนการประเมินการใช้พลังงานอาคาร วิเคราะห์ผลการจำลองโดยการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานรวมของกรณีที่ไม่ติดตั้ง Daylight dimmer กับกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer เพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานเมื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร และนำกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer มาเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับสำนักงาน Base Case เพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานอาคาร

การสรุปผลจะทำการสรุปการออกแบบเปลือกอาคารและรูปแบบแผงบังแดดทั้งหมดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และสรุปผลการประหยัดพลังงานของอาคารที่ใช้การออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ Daylight และคำนวณค่า OTTV หรือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร ของอาคารสำนักงานที่อ้างอิงจากงานวิจัยของสวิชญา ดาวประกายมงคล (2552) ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานขนาด กว้าง 28 เมตร ยาว 36 เมตร จำนวนชั้น 30 ชั้น สูงชั้นละ 4 เมตร ที่ใช้แผงบังแดดที่สามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ในแต่ละทิศได้มากที่สุด และจัดทำแนวทางสำหรับใช้ในการออกแบบโดยทำเป็นตารางสรุปรูปแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight ในแต่ละทิศ พร้อมทั้งปริมาณแสงธรรมชาติและประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของแต่ละกรณี

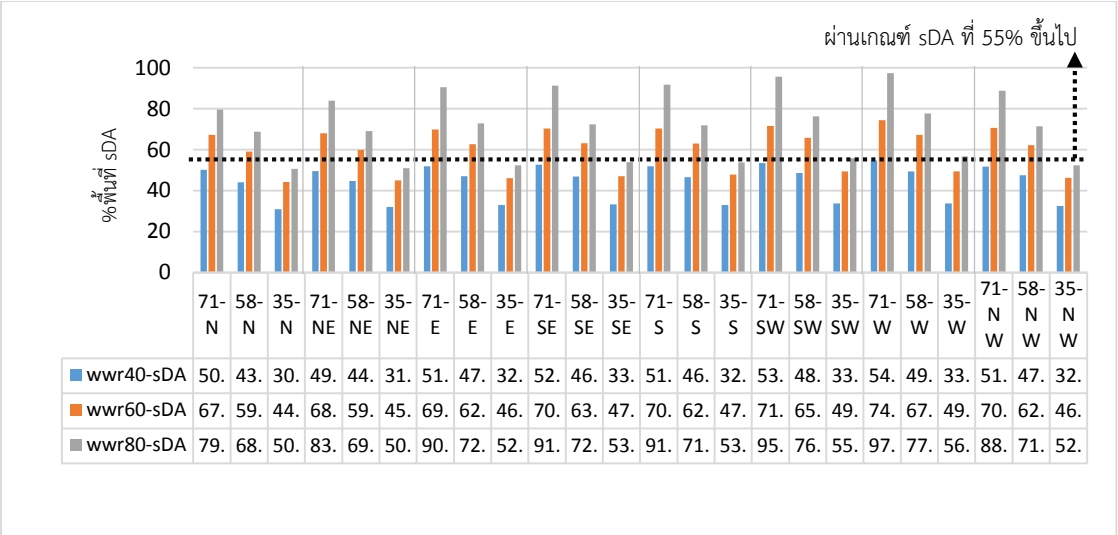
บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติ และการประเมินการใช้พลังงานอาคาร ในเรื่องการประเมินแสงธรรมชาติจะวิเคราะห์ผลของแต่ละตัวแปร คือ WWR ค่า VLT ของกระจก รูปแบบแผงบังแดด ระยะยื่นของแผงบังแดด และทิศของช่องเปิด โดยเมื่อได้รูปแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ LEED ในเรื่อง Daylight แล้วจึงนำกรณีที่ผ่านเกณฑ์ด้านแสงสว่างธรรมชาติเหล่านั้นมาจำลองการใช้พลังงานอาคาร โดยทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของกรณีที่ไม่ติดตั้ง Daylight dimmer กับกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer ซึ่งเป็นอุปกรณ์หรี่แสงไฟอัตโนมัติเมื่อได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาอย่างเพียงพอ เพื่อวิเคราะห์ผลจากการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร และนำกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer มาเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับสำนักงาน Base Case เพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานอาคาร

4.1 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติ

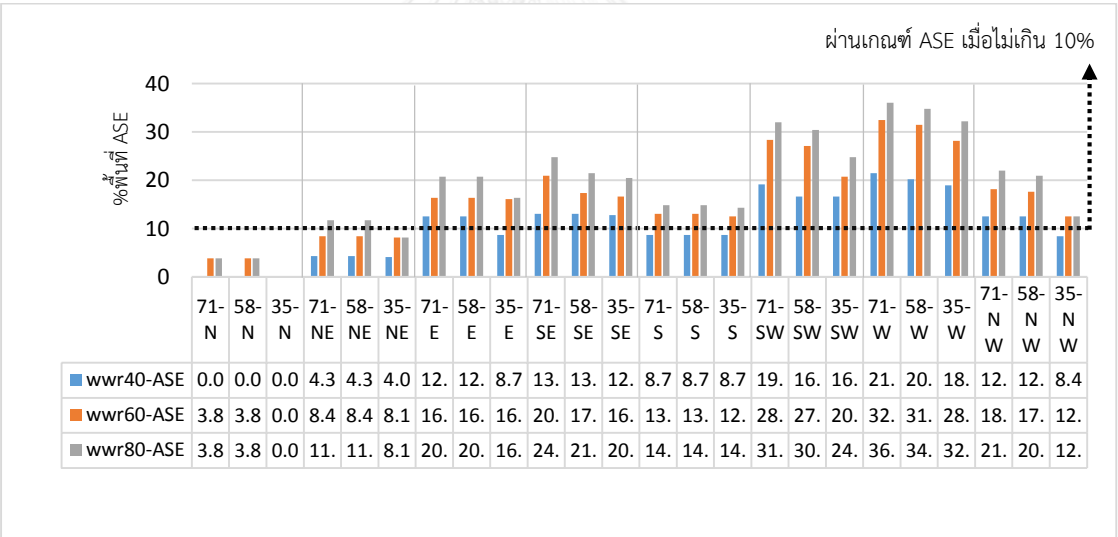
ผลจากการจำลองจะพิจารณาตามเกณฑ์ sDA และ ASE ซึ่ง sDA กำหนดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ภายในอาคารที่ได้รับแสงธรรมชาติที่มีความสว่างอย่างเพียงพอต่อปี คือ มีความสว่างอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี ในพื้นที่อย่างน้อย 55% โดยในที่นี้จะเรียกว่า แสงธรรมชาติที่ผ่านตามเกณฑ์ sDA และ ASE กำหนดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงต่อปีไม่ให้มากเกินไป คือ มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี ในพื้นที่ไม่เกิน 10% ในที่นี้จะเรียกว่า แสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE

จากการจำลองแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารโดยใช้สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง 3 สัดส่วน ใช้กระจก 3 ชนิดและหันทิศในการจำลองทั้งหมด 8 ทิศ โดยไม่ได้ใส่แผงบังแดด ได้ผลดังแสดงในแผนภูมิที่ 2-3



	71-N	58-N	35-N	71-NE	58-NE	35-NE	71-E	58-E	35-E	71-SE	58-SE	35-SE	71-S	58-S	35-S	71-SW	58-SW	35-SW	71-W	58-W	35-W	71-NW	58-NW	35-NW
wwr40-sDA	50.	43.	30.	49.	44.	31.	51.	47.	32.	52.	46.	33.	51.	46.	32.	53.	48.	33.	54.	49.	33.	51.	47.	32.
wwr60-sDA	67.	59.	44.	68.	59.	45.	69.	62.	46.	70.	63.	47.	70.	62.	47.	71.	65.	49.	74.	67.	49.	70.	62.	46.
wwr80-sDA	79.	68.	50.	83.	69.	50.	90.	72.	52.	91.	72.	53.	91.	71.	53.	95.	76.	55.	97.	77.	56.	88.	71.	52.

แผนภูมิที่ 2 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) เมื่อไม่ใส่แผงบังแดด



	71-N	58-N	35-N	71-NE	58-NE	35-NE	71-E	58-E	35-E	71-SE	58-SE	35-SE	71-S	58-S	35-S	71-SW	58-SW	35-SW	71-W	58-W	35-W	71-NW	58-NW	35-NW
wwr40-ASE	0.0	0.0	0.0	4.3	4.3	4.0	12.	12.	8.7	13.	13.	12.	8.7	8.7	8.7	19.	16.	16.	21.	20.	18.	12.	12.	8.4
wwr60-ASE	3.8	3.8	0.0	8.4	8.4	8.1	16.	16.	16.	20.	17.	16.	13.	13.	12.	28.	27.	20.	32.	31.	28.	18.	17.	12.
wwr80-ASE	3.8	3.8	0.0	11.	11.	8.1	20.	20.	16.	24.	21.	20.	14.	14.	14.	31.	30.	24.	36.	34.	32.	21.	20.	12.

แผนภูมิที่ 3 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) เมื่อไม่ใส่แผงบังแดด

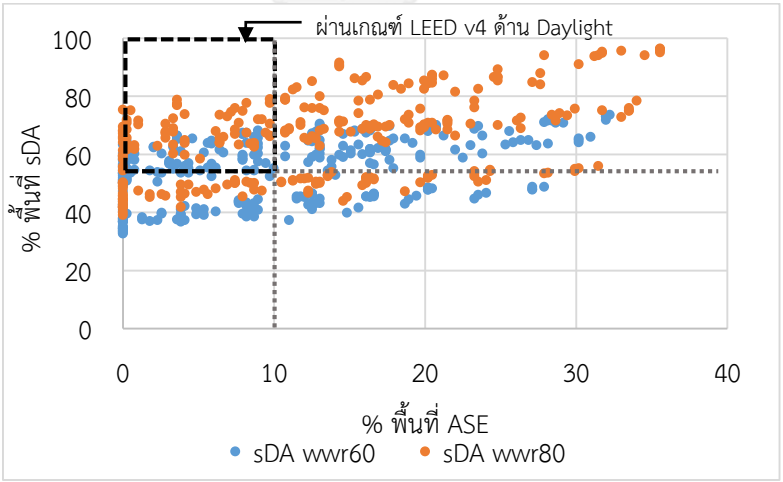
จากแผนภูมิที่ 2-3 พบว่ากรณีที่ใช้สัดส่วน WWR 40 มีบางกรณีที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ในพื้นที่ไม่เกิน 10% แต่ไม่มีกรณีใดเลยที่มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ได้ถึง 55% จึงไม่ผ่านเกณฑ์ LEED เลยเพราะฉะนั้น WWR 40 จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้จำลองในการใส่แผงบังแดดต่อไป เนื่องจาก WWR 40 มีพื้นที่กระจกน้อยเมื่อเทียบกับความลึกของห้อง ทำให้แสงสว่างเข้ามาได้ไม่ทั่วถึง และเมื่อใส่แผงบังแดดจะทำให้เปอร์เซ็นต์แสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ยิ่งลดน้อยลงอีก ดังนั้นจึงใช้ค่า WWR 2 สัดส่วน คือ WWR 60 และ WWR 80 ในการนำมาจำลองต่อไป

นอกจากนี้พบว่า เมื่อพิจารณาผลการจำลองแสงธรรมชาติของกรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งแผงบังแดด ในการใช้ WWR 60 และ WWR 80 จำนวนทั้งหมด 36 กรณี มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ ASE และ sDA ทั้งสองเกณฑ์จำนวน 6 กรณี ซึ่งเป็นกรณีที่อยู่ในทิศเหนือ 4 กรณี คือ การใช้ WWR 60 และ WWR 80 กับกระจก VLT 71 และ 58 และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 2 กรณี คือ การใช้ WWR 60 กับกระจก VLT 71 และ 58

จากการจำลองแสงธรรมชาติโดยใช้สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง 2 สัดส่วน คือ WWR 60 และ WWR 80 นำมาติดตั้งแผงบังแดด 3 รูปแบบ ระยะยื่น 4 ระยะ และใช้กระจก 3 ชนิด โดยจำลองใน 8 ทิศ คิดเป็นจำนวนทั้งหมด 576 กรณี ด้วยโปรแกรม Daysim ร่วมกับ Ecotect พบว่ามีจำนวนที่ผ่านทั้งเกณฑ์ sDA และ ASE ทั้งหมด 135 กรณี คิดเป็น 23% ของกรณีที่จำลองทั้งหมด และผลการจำลองของทุกกรณีแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

4.1.1 การพิจารณาตามปัจจัยสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง การใช้กระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นของแผงบังแดด

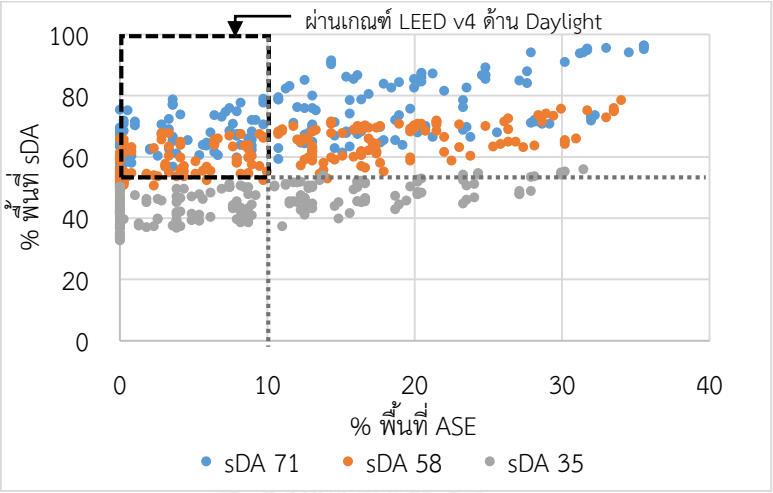
จากปัจจัยสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง การใช้กระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นของแผงบังแดด สามารถแยกพิจารณาได้ตามแต่ละปัจจัยได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณาค่า WWR

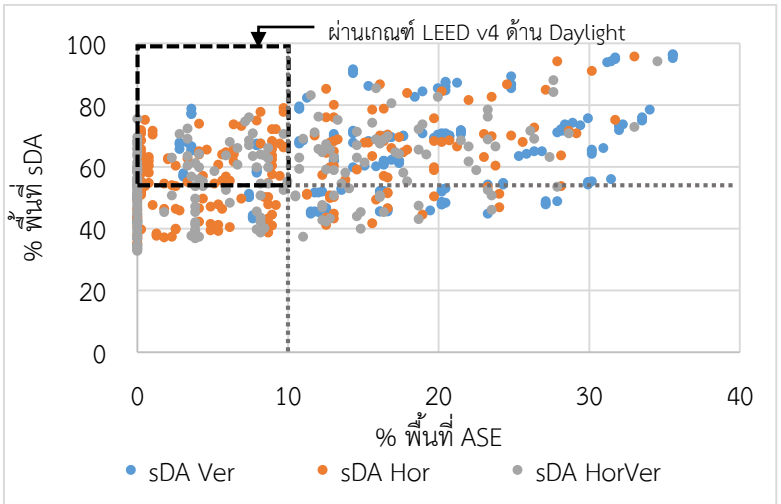
เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4 เห็นได้ว่าการที่เปิดพื้นที่หน้าต่างมากจะทำให้มีแสงธรรมชาติที่เข้ามาได้มาก และเข้ามาในพื้นที่ได้ลึกมากขึ้น ทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่าการเปิดพื้นที่หน้าต่างน้อย ซึ่งทำให้มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA มาก แต่การเปิดพื้นที่หน้าต่างมากก็ทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้แสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE เกิน 10 เปอร์เซ็นต์นั้นก็มากขึ้นด้วย ซึ่งคือ แสงที่เข้ามามีความจ้ามากขึ้น แต่เมื่อพิจารณา

ทั้งสองเกณฑ์ก็พบว่า WWR 80 ทำให้ผ่านทั้งสองเกณฑ์ได้มากกว่า WWR 60 โดย WWR 80 มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์จำนวน 71 กรณี จากกรณีที่ผ่านทั้งหมด 135 กรณี คิดเป็น 53% ของกรณีที่ผ่านทั้งหมด



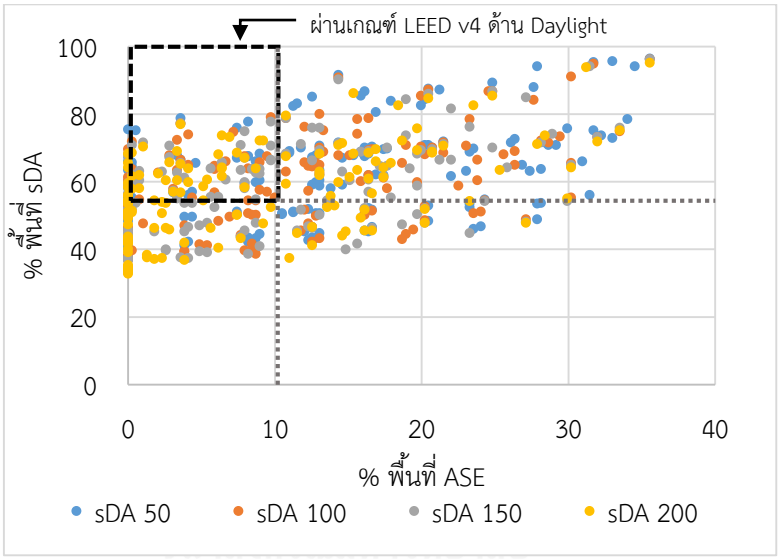
แผนภูมิที่ 5 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจก

เมื่อพิจารณากระจกที่ใช้พบว่ากระจกที่มีค่า VLT สูงจะทำให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มาก แสงอาทิตย์ตรงก็เข้ามาได้มากเช่นกัน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5 กระจกที่มีค่า VLT สูงทำให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้ในเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด ทำให้การใช้กระจกที่มีค่า VLT 71 มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ทั้งสองมากที่สุด อยู่ที่ 78 กรณี จาก 135 กรณี คิดเป็น 58% กระจก VLT 58 มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 57 กรณี คิดเป็น 42% กระจกที่มีค่า VLT 35 สามารถลดแสงอาทิตย์ตรงได้มากกว่ากระจกที่มีค่า VLT สูงกว่าก็จริง แต่แสงธรรมชาติก็เข้ามาได้น้อยมาก ทำให้การใช้กระจก VLT 35 ไม่สามารถทำให้ผ่านทั้งสองเกณฑ์พร้อมกันได้เลย กระจก VLT 35 จึงไม่ควรนำมาใช้ในอาคาร



แผนภูมิที่ 6 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณารูปแบบแผงบังแดด

เมื่อพิจารณารูปแบบแผงบังแดด จากแผนภูมิที่ 6 จะเห็นได้ว่าแผงบังแดดแบบแนวตั้งทำให้แสงเข้ามาได้มาก ทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ได้แสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่าแบบอื่น แต่แสงอาทิตย์ตรงเข้ามาได้มากกว่าเช่นกัน ทำให้มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์น้อยที่สุด คือ จำนวน 24 กรณี จาก 135 กรณี คิดเป็น 18% แผงบังแดดแบบแนวนอน และแบบผสมจะบังแสงอาทิตย์ตรงได้ดีกว่า ทำให้เปอร์เซ็นต์พื้นที่ได้แสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE นั้นต่ำกว่าแบบแนวตั้ง แต่การใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนนั้นทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ได้แสงธรรมชาติสูงกว่า ทำให้มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ทั้งสองเกณฑ์มากที่สุด คือมีจำนวน 58 กรณี คิดเป็น 43% และแผงบังแดดแบบผสมมีจำนวนที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์จำนวน 53 กรณี คิดเป็นเป็น 39% จากกรณีที่ผ่านทั้งหมด



แผนภูมิที่ 7 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA และ ASE เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดด

เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดด จากแผนภูมิที่ 7 เห็นได้ว่าระยะยื่น 200 ซม. ช่วยลดแสงอาทิตย์ตรงได้ดีที่สุด ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ต่ำที่สุด แต่ขณะเดียวกันก็ลดแสงธรรมชาติที่เข้ามาด้วย ทำให้มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ 38 กรณี คิดเป็น 28% ของกรณีที่ผ่านทั้งหมด การใช้ระยะยื่น 150 ซม. เป็นระยะยื่นที่ทำให้แสงธรรมชาติผ่านได้พอสมควรและลดแสงอาทิตย์ตรงได้ดี ทำให้มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์มากที่สุด คือ 40 กรณี คิดเป็น 30% ระยะยื่น 100 ซม. และ 50 ซม. ทำให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มากขึ้น แต่แสงอาทิตย์ตรงก็เข้ามาได้มากขึ้นเช่นกัน ทำให้มีกรณีผ่านทั้งสองเกณฑ์อยู่ที่ 31 กรณี และ 26 กรณี คิดเป็น 23% และ 19% ของกรณีที่ผ่านทั้งหมดตามลำดับ

จากแผนภูมิที่ 4-7 จะเห็นได้ว่าปัจจัยสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นของแผงบังแดด จะส่งผลต่อแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ LEED v4 ได้ไม่ชัดเจน คือ

กรณีที่ผ่านเกณฑ์มีลักษณะที่คละกันไปในแต่ละตัวแปร แต่ปัจจัยค่า VLT ของกระจกในแผนภูมิที่ 5 นั้นแสดงให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแสงธรรมชาติอย่างชัดเจน เห็นได้จากกรณีที่ผ่านเกณฑ์นั้นแยกแตกต่างกันตามค่า VLT และกระจก VLT 35 นั้นไม่ผ่านเกณฑ์อย่างเห็นได้ชัด

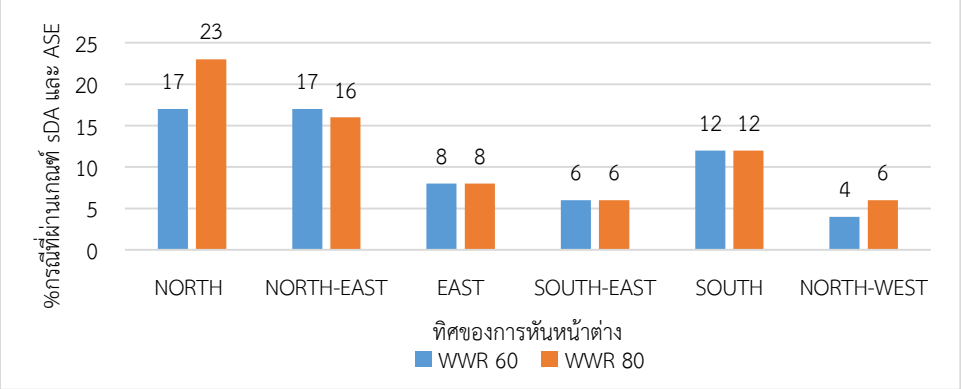
4.1.2 การพิจารณาตามทิศของหน้าต่าง

หากพิจารณาตามทิศของหน้าต่าง จะได้จำนวนกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 3 และพบว่าทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นทิศที่มีจำนวนกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์มากที่สุด นั่นคือเป็นทิศที่จะทำให้ผ่าน LEED v4 ในหมวด daylight ได้ง่ายกว่าทิศอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4 และแผนภูมิที่ 8-9 และทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตกนั้นเมื่อติดตั้งแผงบังแดดแล้วก็ยังไม่มีกรณีใดเลยที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์

ตารางที่ 4 จำนวนกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA และ ASE ในแต่ละทิศ

WWR	Orientation	เกณฑ์	กรณีที่ผ่านเกณฑ์ จาก 36 กรณี	กรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ จาก 36 กรณี
WWR60	north	sDA	17	17
		ASE	36	
	north east	sDA	17	17
		ASE	36	
	east	sDA	20	8
		ASE	18	
	south east	sDA	20	6
		ASE	16	
	south	sDA	20	12
		ASE	24	
	south west	sDA	22	0
		ASE	5	
	west	sDA	23	0
		ASE	0	
	north west	sDA	19	4
		ASE	17	
Total				64 จาก 288 กรณี
WWR80	north	sDA	23	23
		ASE	36	
	north east	sDA	24	16
		ASE	28	
	east	sDA	24	8

WWR	Orientation	เกณฑ์	กรณีที่ผ่านเกณฑ์ จาก 36 กรณี	กรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ จาก 36 กรณี
		ASE	14	
	South east	sDA	24	8
		ASE	10	
	south	sDA	24	12
		ASE	17	
	south west	sDA	24	0
		ASE	1	
	west	sDA	26	0
		ASE	0	
	north west	sDA	24	6
		ASE	13	
Total				71 จาก 288 กรณี



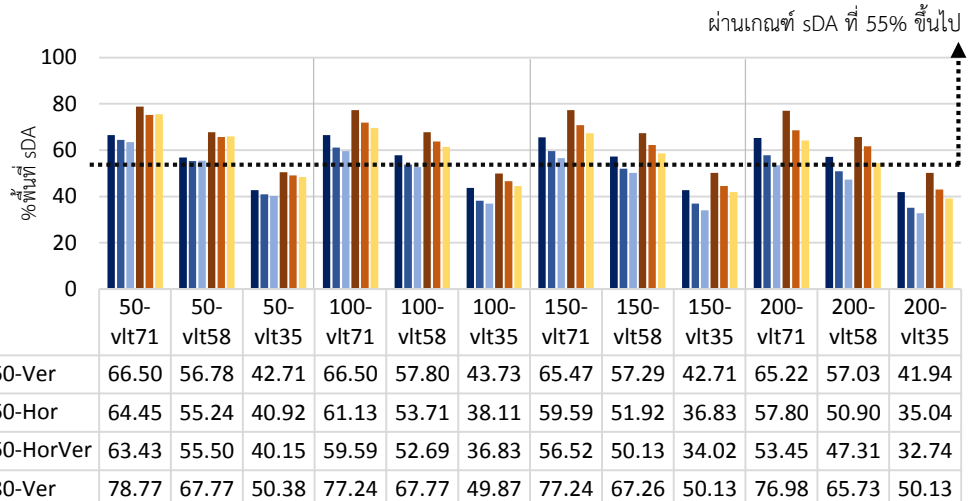
แผนภูมิที่ 8 เปอร์เซ็นต์ของกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA และ ASE ในแต่ละทิศเมื่อใช้ WWR 60 และ WWR 80

จากแผนภูมิที่ 8 จะเห็นว่าทิศที่มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์จำนวนมากที่สุด คือ ทิศเหนือ และสามารถเรียงลำดับทิศที่มีจำนวนกรณีที่ผ่านเกณฑ์จากมากไปน้อยได้ดังนี้ ทิศเหนือ > ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ > ทิศใต้ > ทิศตะวันออก > ทิศตะวันออกเฉียงใต้ > ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศที่ไม่มีจำนวนกรณีที่ผ่านเกณฑ์เลย คือ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงใต้

พิจารณาตามทิศของหน้าต่าง จะพิจารณาผลการจำลองแยกตามทิศได้ดังนี้

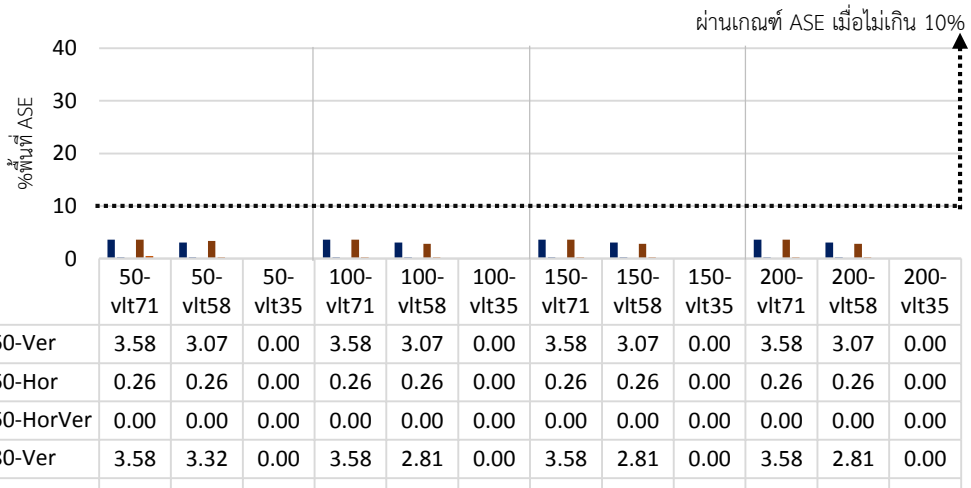
ทิศเหนือเป็นทิศที่ดวงอาทิตย์พาดผ่านน้อย เนื่องจากมีช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือเพียง 4 เดือน ทำให้มีปริมาณแสงอาทิตย์ตรงที่เข้ามาในทิศนี้น้อยกว่าทิศอื่น ๆ ทิศนี้จึงเป็นทิศที่เหมาะสมสำหรับการเปิดรับแสงธรรมชาติได้อย่างเต็มที่โดยที่ไม่มีแสงอาทิตย์ตรงเข้ามา และจากการจำลองขั้นต้นพบว่า ทั้งกรณี WWR 60 และ 80 เมื่อใช้กระจกที่มีค่า VLT71 และ 58 ทำให้ผ่านเกณฑ์

sDA และ ASE ได้โดยที่ไม่ต้องติดตั้งแผงบังแดด แต่การใส่แผงบังแดดก็ทำให้มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารได้ จึงจำลองกรณีที่มีการติดตั้งแผงบังแดดด้วย โดยได้ผลการจำลองดังแผนภูมิที่ 9-10



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	66.50	56.78	42.71	66.50	57.80	43.73	65.47	57.29	42.71	65.22	57.03	41.94
wwr60-Hor	64.45	55.24	40.92	61.13	53.71	38.11	59.59	51.92	36.83	57.80	50.90	35.04
wwr60-HorVer	63.43	55.50	40.15	59.59	52.69	36.83	56.52	50.13	34.02	53.45	47.31	32.74
wwr80-Ver	78.77	67.77	50.38	77.24	67.77	49.87	77.24	67.26	50.13	76.98	65.73	50.13
wwr80-Hor	75.19	65.73	49.10	71.87	63.68	46.55	70.84	62.15	44.50	68.54	61.64	42.97
wwr80-HorVer	75.45	65.98	48.34	69.57	61.38	44.50	67.26	58.57	41.94	64.19	54.48	39.13

แผนภูมิที่ 9 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	3.58	3.07	0.00	3.58	3.07	0.00	3.58	3.07	0.00	3.58	3.07	0.00
wwr60-Hor	0.26	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00
wwr60-HorVer	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wwr80-Ver	3.58	3.32	0.00	3.58	2.81	0.00	3.58	2.81	0.00	3.58	2.81	0.00
wwr80-Hor	0.51	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00	0.26	0.26	0.00
wwr80-HorVer	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

แผนภูมิที่ 10 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 9-10 เมื่อมีการติดตั้งแผงบังแดดเข้าไปพบว่ามีจำนวนที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ทั้งหมด 40 กรณี จากกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดทั้งหมด 72 กรณี คิดเป็น 56% โดยที่กรณีที่จำลองทั้งหมดผ่านเกณฑ์ ASE ทุกกรณี

เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังพบว่า WWR 80 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่า WWR 60 และกรณี WWR 80 มีพื้นที่ผ่านตามเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้กระจก VLT 35

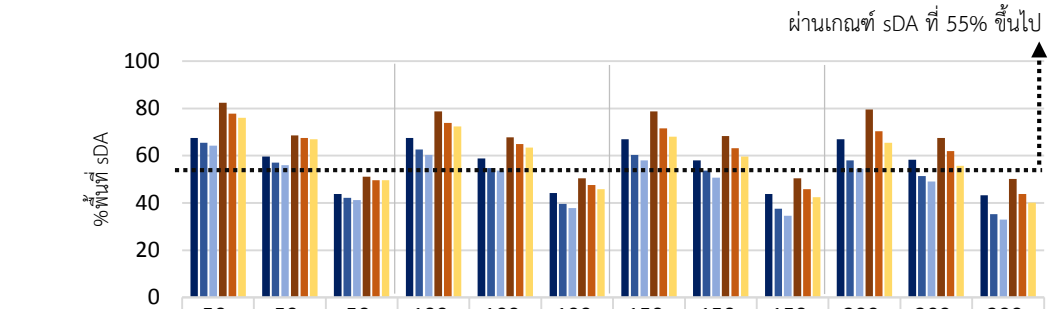
เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจกพบว่า กระจกที่มีค่า VLT สูง จะมีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่สูง โดยที่กระจก VLT 71 จะผ่านเกณฑ์ sDA เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้ร่วมกับ WWR 60 แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. ส่วนกระจก VLT 35 นั้นไม่มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA เลย

เมื่อพิจารณาแผงบังแดดพบว่า แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะทำให้มีกรณีที่ยังผ่านเกณฑ์ sDA ได้มากกว่าแผงบังแดดแบบอื่น โดยทำให้ผ่านเกณฑ์ได้ในทุกระยะยื่น ซึ่งนักออกแบบมักเข้าใจว่าแผงบังแดดแนวนอนเหมาะกับทิศเหนือ แต่แผงบังแดดแนวนอนและแบบผสมนั้นบังแสงที่เข้ามาได้มากเกินไปจึงไม่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดพบว่า ระยะยื่นที่มากขึ้นทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติน้อยลงเล็กน้อย ระยะยื่น 50 ซม. จะทำให้ได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้ร่วมกับกระจก VLT 35

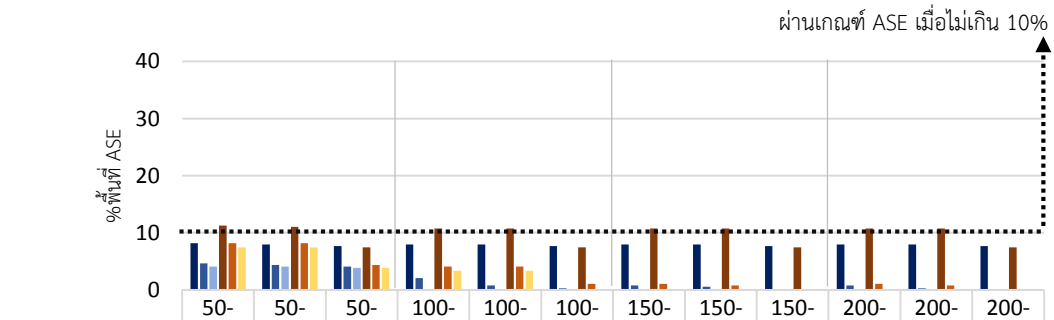
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นทิศที่ได้รับความสว่างจากแสงธรรมชาติมากขึ้นกว่าทิศเหนือและได้รับแสงอาทิตย์ตรงมากขึ้นเล็กน้อย ทำให้เมื่อใช้พื้นที่หน้าต่าง WWR 60 จะสามารถลดแสงอาทิตย์ตรงที่เข้ามาได้จนทำให้ผ่านเกณฑ์ทั้งสองได้โดยที่ไม่ต้องติดตั้งแผงบังแดด แต่เมื่อจำลองโดยการติดตั้งแผงบังแดดจะได้ผลดังแผนภูมิที่ 11-12



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	67.52	59.59	43.73	67.52	58.82	44.25	67.01	58.06	43.73	67.01	58.31	43.22
wwr60-Hor	65.47	57.03	42.20	62.66	54.73	39.64	60.36	53.71	37.60	58.06	51.41	35.29
wwr60-HorVer	64.19	56.01	41.18	60.36	53.71	37.85	58.06	50.64	34.53	54.48	49.10	32.99
wwr80-Ver	82.35	68.54	51.15	78.77	67.77	50.38	78.77	68.29	50.38	79.54	67.52	50.13
wwr80-Hor	77.75	67.52	49.62	73.91	64.96	47.57	71.61	63.17	45.78	70.33	61.89	43.73
wwr80-HorVer	75.96	67.01	49.62	72.38	63.43	45.78	68.03	59.59	42.46	65.47	55.75	40.15

แผนภูมิที่ 11 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	8.18	7.93	7.67	7.93	7.93	7.67	7.93	7.93	7.67	7.93	7.93	7.67
wwr60-Hor	4.60	4.35	4.09	2.05	0.77	0.26	0.77	0.51	0.00	0.77	0.26	0.00
wwr60-HorVer	4.09	4.09	3.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wwr80-Ver	11.25	11.00	7.42	10.74	10.74	7.42	10.74	10.74	7.42	10.74	10.74	7.42
wwr80-Hor	8.18	8.18	4.35	4.09	4.09	1.02	1.02	0.77	0.00	1.02	0.77	0.00
wwr80-HorVer	7.42	7.42	3.84	3.32	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

แผนภูมิที่ 12 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 11-12 มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ทั้งหมด 33 กรณี จาก 72 กรณี คิดเป็น 46% ของกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดทั้งหมด โดยจะเห็นได้ว่าเริ่มมีบางกรณีที่แสงอาทิตย์ตรงเกินกว่าเกณฑ์ ASE กำหนด

เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังพบว่า WWR 80 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่า WWR 60 และกรณี WWR 80 มีพื้นที่ผ่านตามเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้กระจก VLT 35 แต่เมื่อใช้พิจารณาเกณฑ์ ASE พบว่า WWR 80 ทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE ในกรณีที่ใช้ร่วมกับกระจก VLT 71 และ 58 และแผงบังแดดแบบแนวตั้ง

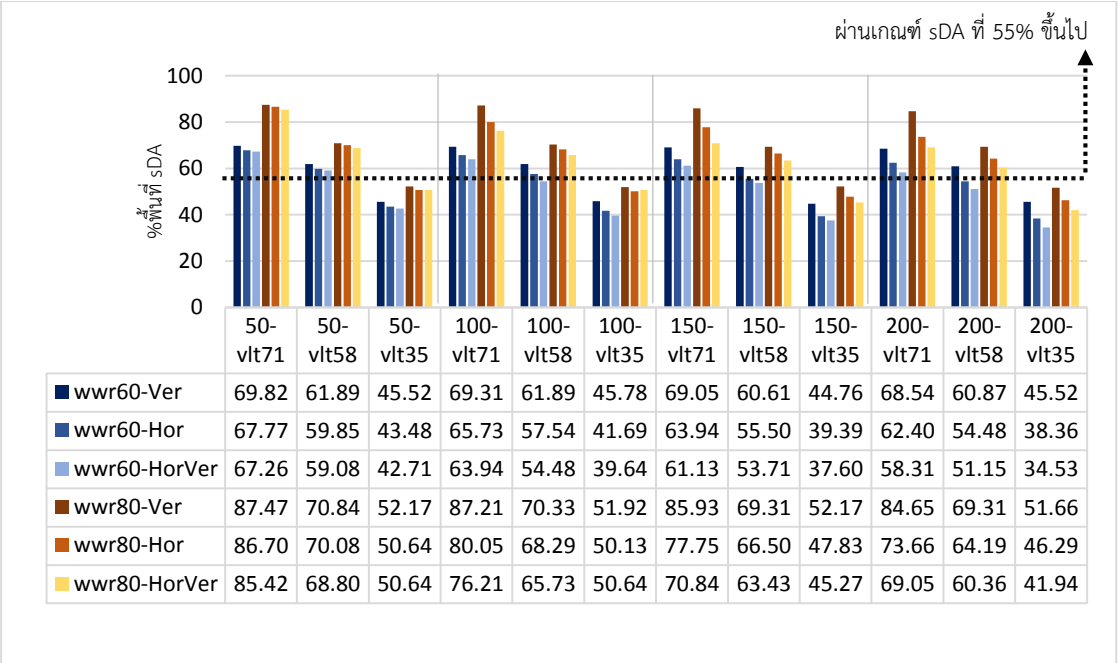
เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจกพบว่า กระจก VLT 71 จะผ่านเกณฑ์ sDA เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้ WWR 60 ร่วมกับแผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งที่มีระยะยื่น 200 ซม. กระจก VLT 58 มีพื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ sDA ลดน้อยลง กระจก VLT 35 ไม่ทำให้ผ่านเกณฑ์ sDA เลย นอกจากนี้กระจก VLT 71 และ 58 ทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้ WWR 80 กับแผงบังแดดแบบแนวตั้ง ส่วนกระจก VLT 35 ทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE ได้ในทุกกรณี

เมื่อพิจารณาแผงบังแดดพบว่าแผงบังแดดแบบแนวตั้งทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงตามเกณฑ์ sDA สูงกว่าแบบอื่น จึงทำให้ผ่านเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี แต่ก็ทำให้ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE สูงเช่นกัน จึงทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE เมื่อใช้ร่วมกับ WWR 80

เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดพบว่าระยะยื่นที่มากขึ้นทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติและแสงอาทิตย์ตรงน้อยลง ระยะยื่น 50 ซม.จะทำให้ได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี แต่ก็ทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE ในกรณีที่ใช้แผงบังแดดแนวตั้งกับ WWR 80

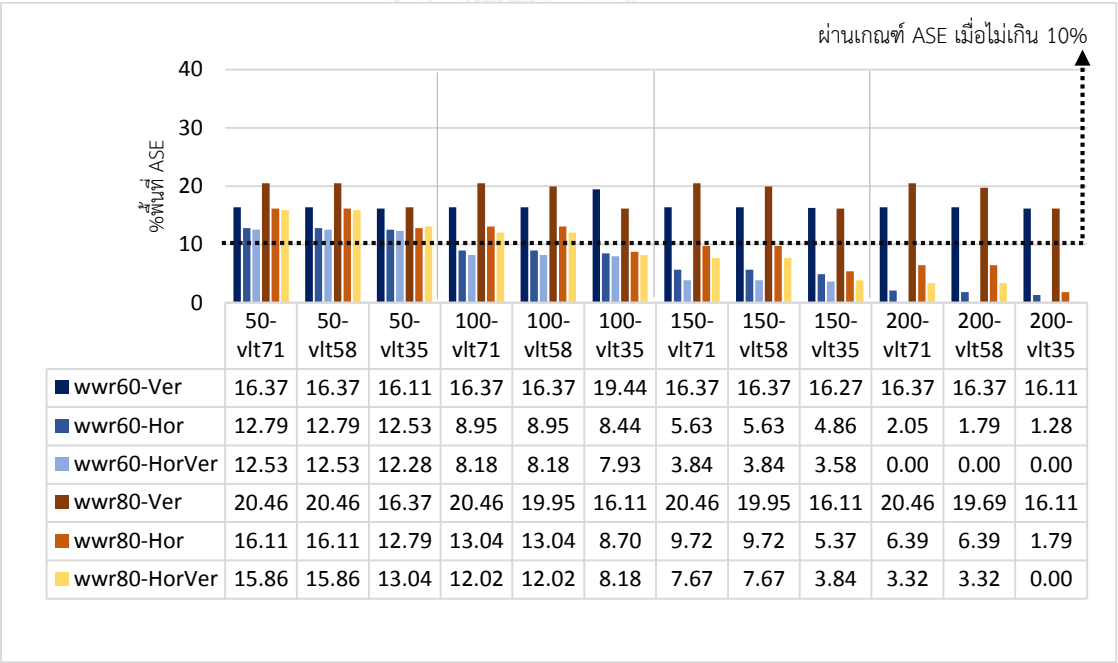
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทิศตะวันออกเป็นทิศที่ได้รับแสงธรรมชาติมากและได้รับแสงอาทิตย์ตรงอย่างมากในช่วงเวลาครึ่งวันแรก เนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตรงกับหน้าต่าง ทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ sDA สูง แต่จำเป็นต้องติดตั้งแผงบังแดดเพื่อลดแสงอาทิตย์ตรง โดยมีผลการจำลองดังแผนภูมิที่ 13-14



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	69.82	61.89	45.52	69.31	61.89	45.78	69.05	60.61	44.76	68.54	60.87	45.52
wwr60-Hor	67.77	59.85	43.48	65.73	57.54	41.69	63.94	55.50	39.39	62.40	54.48	38.36
wwr60-HorVer	67.26	59.08	42.71	63.94	54.48	39.64	61.13	53.71	37.60	58.31	51.15	34.53
wwr80-Ver	87.47	70.84	52.17	87.21	70.33	51.92	85.93	69.31	52.17	84.65	69.31	51.66
wwr80-Hor	86.70	70.08	50.64	80.05	68.29	50.13	77.75	66.50	47.83	73.66	64.19	46.29
wwr80-HorVer	85.42	68.80	50.64	76.21	65.73	50.64	70.84	63.43	45.27	69.05	60.36	41.94

แผนภูมิที่ 13 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันออก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	16.37	16.37	16.11	16.37	16.37	19.44	16.37	16.37	16.27	16.37	16.37	16.11
wwr60-Hor	12.79	12.79	12.53	8.95	8.95	8.44	5.63	5.63	4.86	2.05	1.79	1.28
wwr60-HorVer	12.53	12.53	12.28	8.18	8.18	7.93	3.84	3.84	3.58	0.00	0.00	0.00
wwr80-Ver	20.46	20.46	16.37	20.46	19.95	16.11	20.46	19.95	16.11	20.46	19.69	16.11
wwr80-Hor	16.11	16.11	12.79	13.04	13.04	8.70	9.72	9.72	5.37	6.39	6.39	1.79
wwr80-HorVer	15.86	15.86	13.04	12.02	12.02	8.18	7.67	7.67	3.84	3.32	3.32	0.00

แผนภูมิที่ 14 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันออก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 13-14 เมื่อติดตั้งแผงบังแดดแล้วมีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ทั้งสองอยู่ที่ 16 กรณี จาก 72 กรณี คิดเป็น 22% จากกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดทั้งหมด ซึ่งมีกรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE จำนวนมาก

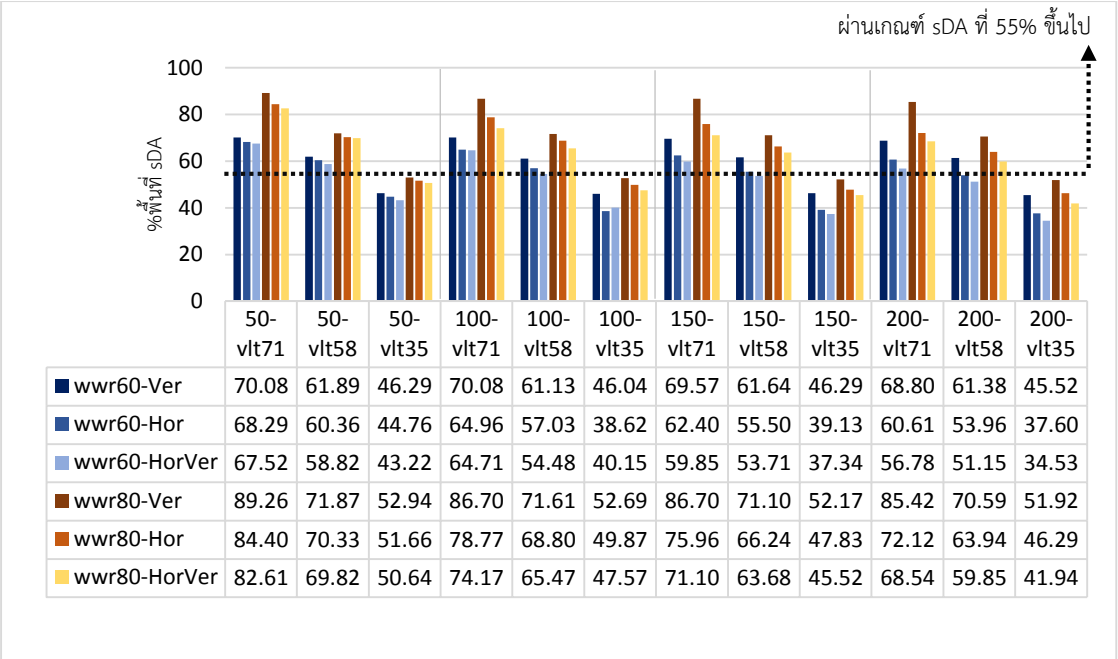
เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังพบว่า WWR 80 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่า WWR 60 เป็นอย่างมาก ทำให้ผ่าน sDA ในทุกกรณี และ WWR 80 ก็มีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE สูงกว่า WWR 60 เช่นกัน ทำให้ WWR 60 ผ่านเกณฑ์ ASE มากกว่า เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาทั้งสองเกณฑ์พบว่า WWR 80 และ WWR 60 มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์เท่ากัน

เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจกพบว่า กระจกที่มีค่า VLT สูง จะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่สูง และกระจก VLT 71 ผ่านเกณฑ์ sDA ทุกกรณี กระจก VLT 35 ไม่ผ่านเกณฑ์ sDA เลย แต่สำหรับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE นั้น กระจกแต่ละชนิดให้ผลที่ไม่ต่างกันมาก

เมื่อพิจารณาแผงบังแดดพบว่า แผงบังแดดแบบแนวตั้งทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA และพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตามเกณฑ์ ASE สูงกว่าแบบอื่น อีกทั้งแผงบังแดดแนวตั้งเป็นแผงบังแดดรูปแบบเดียวที่ทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE เลย แผงบังแดดแบบแนวนอน และแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง จะสามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE ได้ในกรณีที่ยื่นอย่างน้อย 100 ซม. เมื่อใช้ WWR 60 และยื่นอย่างน้อย 150 ซม. เมื่อใช้ WWR 80

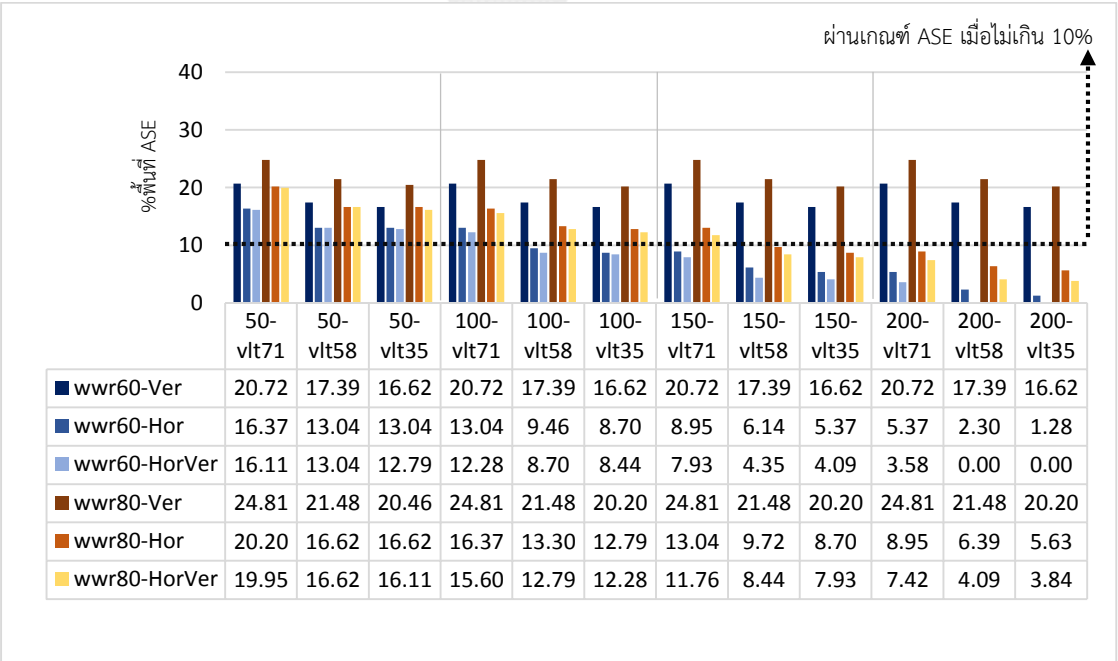
เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดพบว่า ระยะยื่นที่มากขึ้นทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA น้อยลง แต่สำหรับ ASE นั้น ระยะยื่นที่มากขึ้นจะทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ลดลงได้เฉพาะการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง การใช้แผงบังแดดแบบแนวตั้งระยะยื่นที่ต่างกันให้ผลไม่ต่างกัน

ทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นทิศที่ได้รับแสงธรรมชาติมากเช่นเดียวกับทิศตะวันออก แต่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงปริมาณมากกว่าทิศตะวันออกเนื่องจากหน้าต่างทำมุมไปทางทิศใต้มากขึ้นซึ่งเป็นทิศที่ดวงอาทิตย์โคจรผ่านในระยะเวลานาน ทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับ ASE มากขึ้น ผลการจำลองแสงเมื่อติดตั้งแผงบังแดดเป็นดังแผนภูมิที่ 15-16



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	70.08	61.89	46.29	70.08	61.13	46.04	69.57	61.64	46.29	68.80	61.38	45.52
wwr60-Hor	68.29	60.36	44.76	64.96	57.03	38.62	62.40	55.50	39.13	60.61	53.96	37.60
wwr60-HorVer	67.52	58.82	43.22	64.71	54.48	40.15	59.85	53.71	37.34	56.78	51.15	34.53
wwr80-Ver	89.26	71.87	52.94	86.70	71.61	52.69	86.70	71.10	52.17	85.42	70.59	51.92
wwr80-Hor	84.40	70.33	51.66	78.77	68.80	49.87	75.96	66.24	47.83	72.12	63.94	46.29
wwr80-HorVer	82.61	69.82	50.64	74.17	65.47	47.57	71.10	63.68	45.52	68.54	59.85	41.94

แผนภูมิที่ 15 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	20.72	17.39	16.62	20.72	17.39	16.62	20.72	17.39	16.62	20.72	17.39	16.62
wwr60-Hor	16.37	13.04	13.04	13.04	9.46	8.70	8.95	6.14	5.37	5.37	2.30	1.28
wwr60-HorVer	16.11	13.04	12.79	12.28	8.70	8.44	7.93	4.35	4.09	3.58	0.00	0.00
wwr80-Ver	24.81	21.48	20.46	24.81	21.48	20.20	24.81	21.48	20.20	24.81	21.48	20.20
wwr80-Hor	20.20	16.62	16.62	16.37	13.30	12.79	13.04	9.72	8.70	8.95	6.39	5.63
wwr80-HorVer	19.95	16.62	16.11	15.60	12.79	12.28	11.76	8.44	7.93	7.42	4.09	3.84

แผนภูมิที่ 16 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 15-16 การติดตั้งแผงบังแดดสามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ทั้งสองได้จำนวน 12 กรณี จากที่ติดตั้งแผงบังแดดทั้งหมด 72 กรณี คิดเป็น 17% ของกรณีทั้งหมด

เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังพบว่า WWR 80 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA และพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE สูงกว่า WWR 60 และ WWR 80 ผ่านเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้กระจก VLT 35

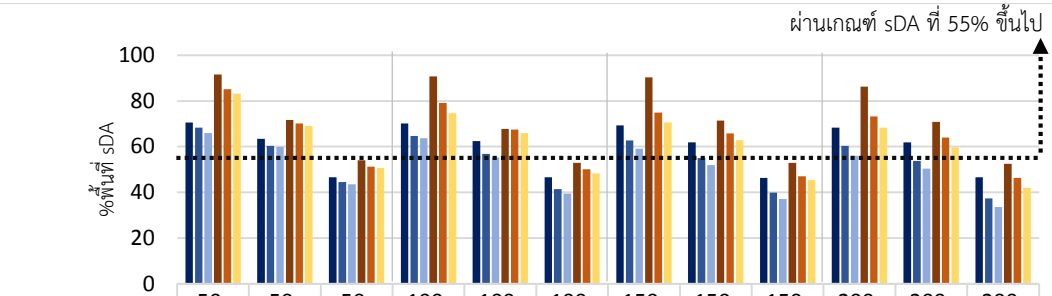
เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจกพบว่า กระจกที่มีค่า VLT สูง จะมีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่สูง กระจก VLT 71 ผ่านเกณฑ์ sDA เกือบทุกกรณี กระจก VLT 35 ไม่ผ่านเกณฑ์ sDA เลย ส่วนพื้นที่ตามเกณฑ์ ASE นั้นกระจก VLT ต่างกันให้ผลต่างกันไม่มาก กระจก VLT ต่ำกว่าจะมีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงน้อยกว่าเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาแผงบังแดดพบว่า แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ได้มากกว่าแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสม ตามลำดับ และแผงบังแดดแบบแนวตั้งทำให้ผ่านเกณฑ์ sDA ได้ทุกกรณี แต่สำหรับเกณฑ์ ASE นั้น แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ได้สูงกว่าแบบอื่นมาก แผงบังแดดแบบแนวตั้งจึงทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE เลย แต่แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมนั้นให้ผลต่างกันไม่มาก โดยแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมจะสามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE ได้เมื่อใช้ระยะยื่นอย่างน้อย 100 ซม. สำหรับ WWR 60 และระยะยื่นอย่างน้อย 150 ซม. สำหรับ WWR 80

เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดพบว่า ระยะยื่นที่มากขึ้นทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA น้อยลงเล็กน้อย แต่ระยะยื่นที่มากขึ้นจะทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ลดลงได้เฉพาะการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง การใช้แผงบังแดดแบบแนวตั้งระยะยื่นที่ต่างกันให้ผลไม่ต่างกัน เช่นเดียวกับทิศตะวันออก

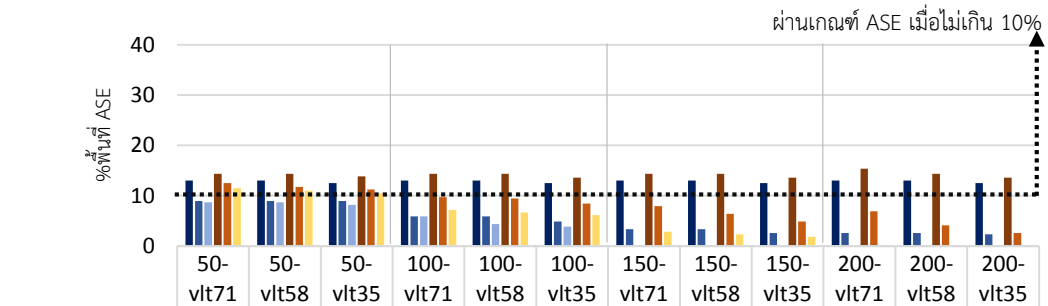
ระยะยื่น 50 ซม. ทำให้ผ่านเกณฑ์ sDA ทุกกรณี แต่ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE เลย ระยะยื่น 100 ซม. ทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE ได้เฉพาะกับแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมที่การใช้ WWR 60 ระยะยื่น 150 ซม. เริ่มทำให้การใช้ WWR 80 ผ่านเกณฑ์ ASE แต่ผ่านได้เฉพาะกับแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมเมื่อใช้ VLT 58 และระยะยื่น 200 ซม. ทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE ทุกกรณีที่ใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสม

ทิศใต้เป็นทิศที่ได้รับแสงธรรมชาติในปริมาณที่มากเนื่องจากการที่ประเทศไทยดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้เป็นระยะเวลานาน แต่แสงอาทิตย์ตรงจะเข้ามาได้น้อยลงในทิศนี้เมื่อเทียบกับทิศตะวันออกเฉียงใต้ แต่ก็ยังไม่น้อยพอที่จะทำให้ผ่านเกณฑ์จึงต้องติดตั้งแผงบังแดด เมื่อจำลองแสงแล้วได้ผลดังแผนภูมิที่ 17-18



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	70.59	63.43	46.55	70.08	62.40	46.55	69.31	61.89	46.29	68.29	61.89	46.55
wwr60-Hor	68.29	60.36	44.50	64.71	56.78	41.43	62.66	54.99	39.90	60.36	53.71	37.34
wwr60-HorVer	65.98	59.85	43.48	63.68	55.24	39.39	59.08	51.92	37.08	56.01	50.38	33.50
wwr80-Ver	91.56	71.61	53.96	90.79	67.77	52.94	90.28	71.36	52.94	86.19	70.84	52.43
wwr80-Hor	85.17	70.08	51.15	79.03	67.52	50.13	74.94	65.73	47.06	73.15	63.94	46.29
wwr80-HorVer	83.12	69.05	50.64	74.68	65.98	48.34	70.59	62.92	45.27	68.29	59.59	41.94

แผนภูมิที่ 17 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	13.04	13.04	12.53	13.04	13.04	12.53	13.04	13.04	12.53	13.04	13.04	12.53
wwr60-Hor	8.95	8.95	8.95	5.88	5.88	4.86	3.32	3.32	2.56	2.56	2.56	2.30
wwr60-HorVer	8.70	8.70	8.18	5.88	4.35	3.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wwr80-Ver	14.32	14.32	13.81	14.32	14.32	13.55	14.32	14.32	13.55	15.35	14.32	13.55
wwr80-Hor	12.53	11.76	11.25	9.72	9.46	8.44	7.93	6.39	4.86	6.91	4.09	2.56
wwr80-HorVer	11.51	11.00	10.49	7.16	6.65	6.14	2.81	2.30	1.79	0.00	0.00	0.00

แผนภูมิที่ 18 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 17-18 เมื่อติดตั้งแผงบังแดดทำให้มีจำนวนที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ทั้งหมด 24 กรณี จาก 72 กรณี คิดเป็น 33% จากกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดทั้งหมด

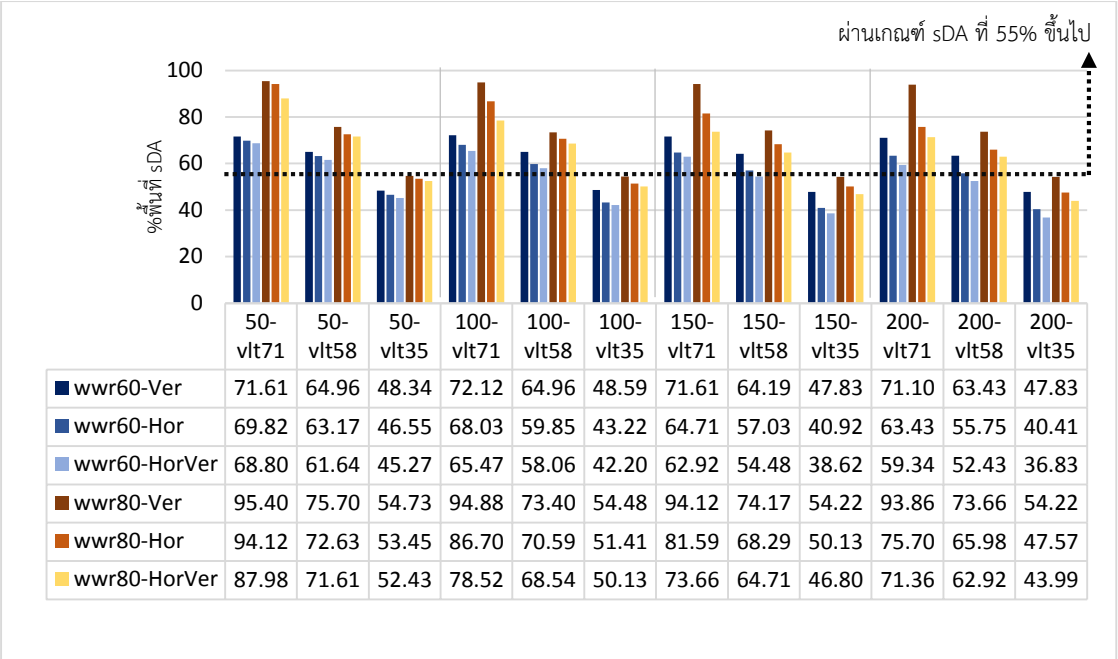
เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังพบว่า WWR 80 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่า WWR 60 เช่นเดียวกับทิศอื่น ๆ WWR 80 ผ่านเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี ยกเว้นกรณีที่ใช้กระจก VLT 35 แต่ผ่านเกณฑ์ ASE เฉพาะที่ใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ที่มีระยะยื่น 100 ซม. ขึ้นไป WWR 60 ผ่านเกณฑ์ sDA ทุกกรณีเฉพาะระยะยื่น 50-100 ซม.

เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจกพบว่า กระจกที่มีค่า VLT สูง จะมีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่สูง กระจก VLT 71 ผ่านเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี กระจก VLT 35 ไม่ผ่านเกณฑ์ sDA เลย ส่วนพื้นที่ตามเกณฑ์ ASE นั้นกระจก VLT ต่างกันมีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาแผงบังแดดพบว่า แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ได้มากกว่าแผงบังแดดแบบอื่น และทำให้ผ่านเกณฑ์ sDA ได้ทุกกรณี แต่แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ได้สูงกว่าแบบอื่นมาก จึงทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์ ASE เลย แต่แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมนั้นสามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE ได้ในทุกกรณี

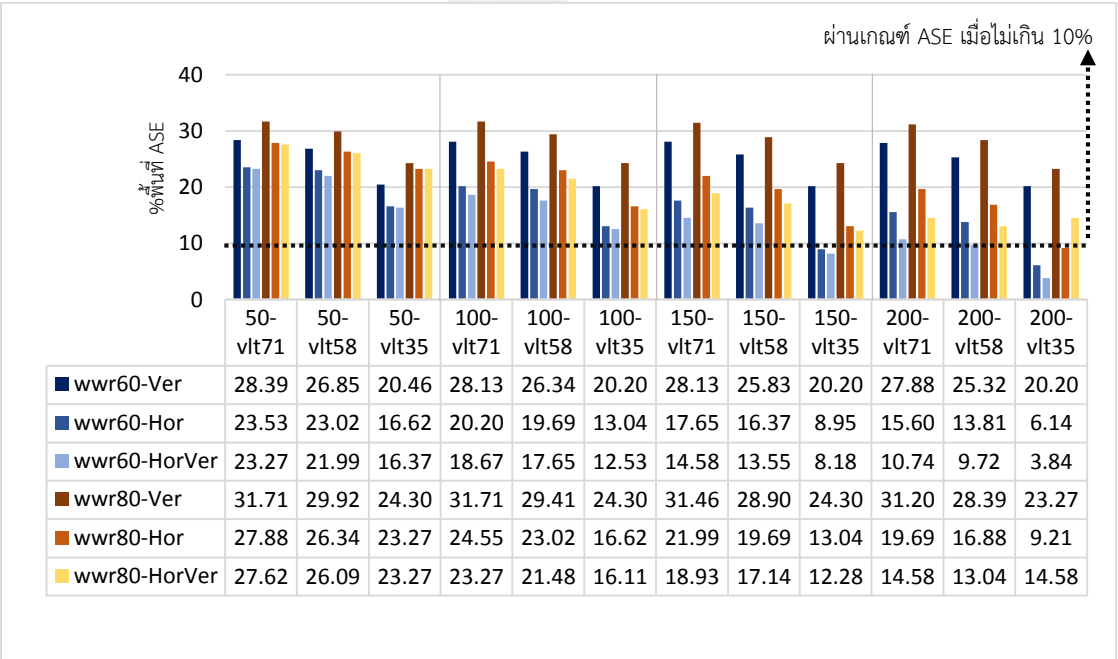
เมื่อพิจารณาระยะยื่นพบว่า ระยะยื่นที่ต่างกันทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ต่างกันเพียงเล็กน้อย ระยะยื่นที่มากขึ้นทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติน้อยลงเล็กน้อย แต่สำหรับเกณฑ์ ASE ระยะยื่นจะมีผลแตกต่างกันเฉพาะการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมเมื่อระยะยื่นมาก พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตามเกณฑ์ ASE ก็จะน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด

ทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นทิศที่ได้รับแสงโดยตรงมากขึ้นจากทิศใต้เนื่องจากหน้าต่างทำมุมไปทางทิศตะวันตกมากขึ้น ทำให้ทิศนี้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ได้รับแสงโดยตรงตามเกณฑ์ ASE สูงกว่าที่กำหนดเป็นอย่างมาก ทำให้ต้องติดตั้งแผงบังแดดเพื่อลดค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้แสงโดยตรง ASE ให้ต่ำลงตามที่เกณฑ์กำหนด โดยที่มีผลการจำลองดังแผนภูมิที่ 19-20



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	71.61	64.96	48.34	72.12	64.96	48.59	71.61	64.19	47.83	71.10	63.43	47.83
wwr60-Hor	69.82	63.17	46.55	68.03	59.85	43.22	64.71	57.03	40.92	63.43	55.75	40.41
wwr60-HorVer	68.80	61.64	45.27	65.47	58.06	42.20	62.92	54.48	38.62	59.34	52.43	36.83
wwr80-Ver	95.40	75.70	54.73	94.88	73.40	54.48	94.12	74.17	54.22	93.86	73.66	54.22
wwr80-Hor	94.12	72.63	53.45	86.70	70.59	51.41	81.59	68.29	50.13	75.70	65.98	47.57
wwr80-HorVer	87.98	71.61	52.43	78.52	68.54	50.13	73.66	64.71	46.80	71.36	62.92	43.99

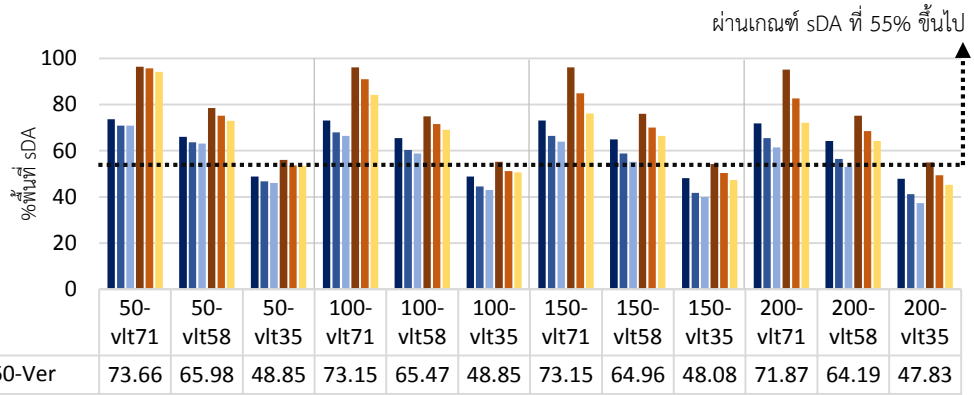
แผนภูมิที่ 19 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	28.39	26.85	20.46	28.13	26.34	20.20	28.13	25.83	20.20	27.88	25.32	20.20
wwr60-Hor	23.53	23.02	16.62	20.20	19.69	13.04	17.65	16.37	8.95	15.60	13.81	6.14
wwr60-HorVer	23.27	21.99	16.37	18.67	17.65	12.53	14.58	13.55	8.18	10.74	9.72	3.84
wwr80-Ver	31.71	29.92	24.30	31.71	29.41	24.30	31.46	28.90	24.30	31.20	28.39	23.27
wwr80-Hor	27.88	26.34	23.27	24.55	23.02	16.62	21.99	19.69	13.04	19.69	16.88	9.21
wwr80-HorVer	27.62	26.09	23.27	23.27	21.48	16.11	18.93	17.14	12.28	14.58	13.04	14.58

แผนภูมิที่ 20 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

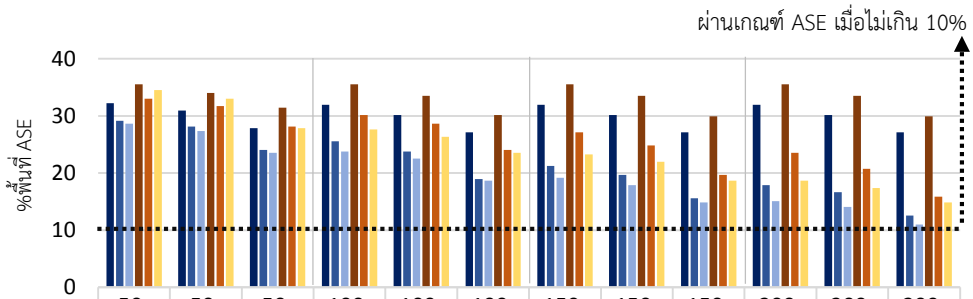
จากแผนภูมิที่ 19-20 พบว่ากรณีส่วนมากเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงจะมากเกินไปจนการติดตั้งแผงบังแดดก็ไม่สามารถช่วยให้ลดถึงเกณฑ์ได้ แต่ในบางกรณีสามารถลดเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้ ASE ให้ถึงเกณฑ์ได้แต่ก็ทำให้เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ลดลงจนต่ำกว่าเกณฑ์ด้วย ส่งผลให้ไม่มีกรณีใดที่ผ่านทั้งเกณฑ์ sDA และ ASE เลย



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	73.66	65.98	48.85	73.15	65.47	48.85	73.15	64.96	48.08	71.87	64.19	47.83
wwr60-Hor	70.84	63.68	46.80	68.03	60.36	44.50	66.50	58.82	41.69	65.47	56.52	41.18
wwr60-HorVer	70.84	63.17	46.04	66.50	58.82	42.97	63.94	55.24	39.90	61.38	52.94	37.34
wwr80-Ver	96.42	78.52	56.01	96.16	74.94	55.24	96.16	75.96	54.22	95.14	75.19	54.99
wwr80-Hor	95.65	75.19	53.71	91.05	71.61	51.15	84.91	70.08	50.38	82.61	68.54	49.36
wwr80-HorVer	94.12	72.89	53.45	84.14	69.05	50.64	76.21	66.50	47.31	72.12	64.19	45.27

แผนภูมิที่ 21 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันตก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

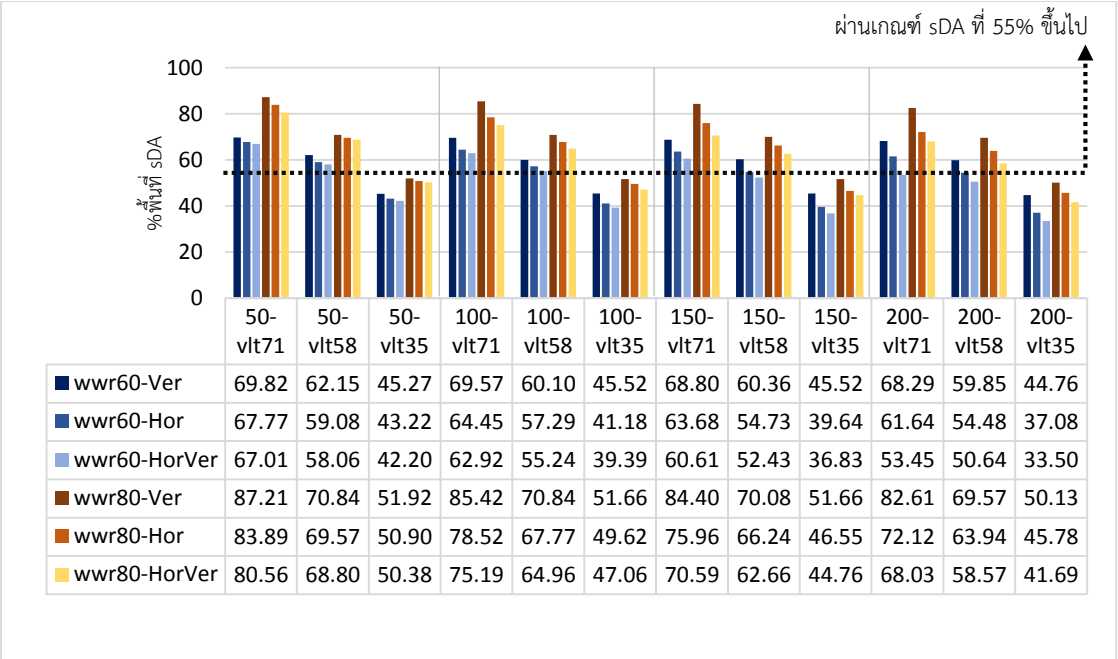


	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	32.23	30.95	27.88	31.97	30.18	27.11	31.97	30.18	27.11	31.97	30.18	27.11
wwr60-Hor	29.16	28.13	24.04	25.58	23.79	18.93	21.23	19.69	15.60	17.90	16.62	12.53
wwr60-HorVer	28.64	27.37	23.53	23.79	22.51	18.67	19.18	17.90	14.83	15.09	14.07	11.00
wwr80-Ver	35.55	34.02	31.46	35.55	33.50	30.18	35.55	33.50	29.92	35.55	33.50	29.92
wwr80-Hor	32.99	31.71	28.13	30.18	28.64	24.04	27.11	24.81	19.69	23.53	20.72	15.86
wwr80-HorVer	34.53	32.99	27.88	27.62	26.34	23.53	23.27	21.99	18.67	18.67	17.39	14.83

แผนภูมิที่ 22 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันตก เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

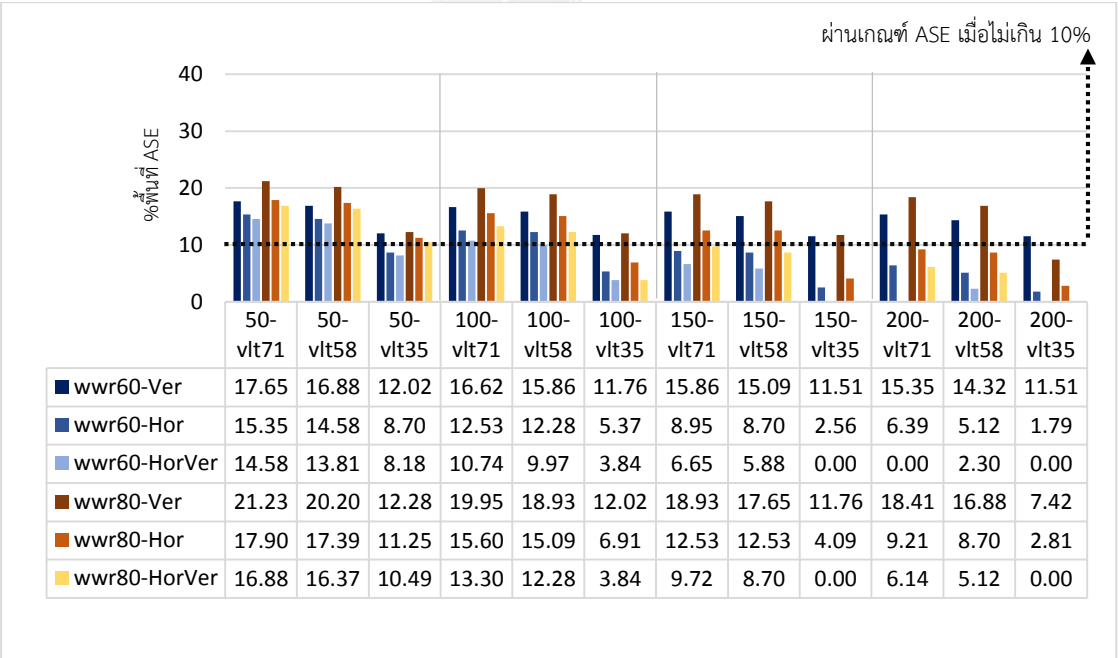
ทิศตะวันตกเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงในปริมาณที่มากเนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ตรงตำแหน่งพอดีหน้าต่าง ทำให้เมื่อใส่แผงบังแดดก็ไม่สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรง ASE ลดลงถึงเกณฑ์ที่กำหนดได้ ทำให้ไม่มีกรณีใดเลยที่ผ่านเกณฑ์ ASE ดังนั้นจึงไม่มีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์เลย ดังแสดงในแผนภูมิที่ 21-22

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือแสงอาทิตย์เริ่มเข้ามาได้น้อยลงกว่าทิศตะวันตกเนื่องจากหน้าต่างทำมุมไปทางทิศเหนือมากขึ้น แต่ยังคงต้องใช้แผงบังแดดเพื่อลดพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงให้ผ่านเกณฑ์ ASE โดยมีผลการจำลองการใส่แผงบังแดดดังแสดงในแผนภูมิที่ 23-24



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	69.82	62.15	45.27	69.57	60.10	45.52	68.80	60.36	45.52	68.29	59.85	44.76
wwr60-Hor	67.77	59.08	43.22	64.45	57.29	41.18	63.68	54.73	39.64	61.64	54.48	37.08
wwr60-HorVer	67.01	58.06	42.20	62.92	55.24	39.39	60.61	52.43	36.83	53.45	50.64	33.50
wwr80-Ver	87.21	70.84	51.92	85.42	70.84	51.66	84.40	70.08	51.66	82.61	69.57	50.13
wwr80-Hor	83.89	69.57	50.90	78.52	67.77	49.62	75.96	66.24	46.55	72.12	63.94	45.78
wwr80-HorVer	80.56	68.80	50.38	75.19	64.96	47.06	70.59	62.66	44.76	68.03	58.57	41.69

แผนภูมิที่ 23 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 300 Lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ต่อปี (sDA300/50%) ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน



	50-vlt71	50-vlt58	50-vlt35	100-vlt71	100-vlt58	100-vlt35	150-vlt71	150-vlt58	150-vlt35	200-vlt71	200-vlt58	200-vlt35
wwr60-Ver	17.65	16.88	12.02	16.62	15.86	11.76	15.86	15.09	11.51	15.35	14.32	11.51
wwr60-Hor	15.35	14.58	8.70	12.53	12.28	5.37	8.95	8.70	2.56	6.39	5.12	1.79
wwr60-HorVer	14.58	13.81	8.18	10.74	9.97	3.84	6.65	5.88	0.00	0.00	2.30	0.00
wwr80-Ver	21.23	20.20	12.28	19.95	18.93	12.02	18.93	17.65	11.76	18.41	16.88	7.42
wwr80-Hor	17.90	17.39	11.25	15.60	15.09	6.91	12.53	12.53	4.09	9.21	8.70	2.81
wwr80-HorVer	16.88	16.37	10.49	13.30	12.28	3.84	9.72	8.70	0.00	6.14	5.12	0.00

แผนภูมิที่ 24 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อใช้ค่า WWR ชนิดกระจก รูปแบบแผงบังแดด และระยะยื่นที่ต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 23-24 การใส่แผงบังแดดสามารถลดพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงให้ผ่านเกณฑ์ ASE แต่การใส่แผงบังแดดก็ทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติลดลงจนมีกรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์ sDA เช่นกัน ทำให้มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ทั้งสองเกณฑ์อยู่ 10 กรณี คิดเป็น 14% จากกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดทั้งหมด

เมื่อพิจารณาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังพบว่า WWR 80 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่า WWR 60 และ WWR 80 มีพื้นที่ผ่านตามเกณฑ์ sDA ในทุกกรณี ยกเว้นการใช้กระจก VLT 35 แต่ WWR 80 จะมีที่ผ่านเกณฑ์ ASE เฉพาะกรณีที่ใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนระยะยื่น 200 ซม. และแบบผสมที่ระยะยื่น 150 ซม. ขึ้นไป

เมื่อพิจารณาค่า VLT ของกระจกพบว่า กระจกที่มีค่า VLT สูง จะมีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่สูง กระจก VLT 35 ไม่มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA เลย แต่สำหรับเกณฑ์ ASE นั้น กระจก VLT 71 และ 58 มีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ได้ใกล้เคียงกัน แต่กระจก VLT 35 นั้นมีพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงน้อยกว่ากระจกทั้งสองอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาแผงบังแดดพบว่า แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA และพื้นที่ที่ได้แสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ได้มากกว่าแผงบังแดดแบบอื่น

เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดพบว่า ระยะยื่นที่ต่างกันให้ผลด้านแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย ระยะยื่นมากขึ้นจะมีพื้นที่ที่ได้แสงตามเกณฑ์ sDA น้อยลงเล็กน้อย แต่สำหรับเกณฑ์ ASE ระยะยื่นที่มากขึ้นจะลดพื้นที่ที่ได้แสงตรงลงได้ในกรณีที่ใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง

การแยกพิจารณาตามทิศ สามารถสรุปจำนวนกรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ในแต่ละทิศ และสามารถสรุปรูปแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ Daylight ได้ดังตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5 สรุปจำนวนที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ในแต่ละทิศ

Orientation	จำนวนที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์		รวม	จำนวนทั้งหมด	%ที่ผ่าน
	VLT 71	VLT 58			
North	23	17	40	72	55.56
North East	19	14	33	72	45.83
East	10	6	16	72	22.22
South East	6	6	12	72	16.67
South	14	10	24	72	33.33
South West	0	0	0	72	0.00
West	0	0	0	72	0.00
North West	6	4	10	72	13.89
Total	78	57	135	576	23.44

ทิศเหนือมีจำนวนที่ผ่านเกณฑ์ทั้งสองเกณฑ์มากที่สุด คือ 40 กรณี โดยเป็นจำนวนที่เกินครึ่งของจำนวนทั้งหมด ทิศตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์รองลงมา คือ 33 กรณี ทิศใต้มีจำนวนกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์เป็นลำดับต่อมา คือ 24 กรณี ลำดับต่อไป คือ ทิศตะวันออก 16 กรณี ทิศตะวันออกเฉียงใต้ 12 กรณี และทิศตะวันตกเฉียงเหนือมีกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์น้อยที่สุด คือ 10 กรณี โดยที่ทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ไม่มีจำนวนกรณีที่ผ่านเกณฑ์เลย คิดรวมกรณีที่ผ่านทั้งสองเกณฑ์ทั้งหมด 135 กรณีจากทั้งหมด 576 กรณี หรือคิดเป็น 23.44%

ตารางที่ 6 สรุปรูปแบบเปลือกอาคาร และแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ในแต่ละทิศ

ทิศ	WWR	VLT	รูปแบบแผงบังแดด	ระยะยื่น	จำนวนกรณี
North	60	71	Ver	50-200	4
			Hor	50-200	4
			HorVer	50-150	3
	60	58	Ver	50-200	4
			Hor	50	1
			HorVer	50	1
	80	71	Ver	50-200	4
			Hor	50-200	4
			HorVer	50-200	4
	80	58	Ver	50-200	4
			Hor	50-200	4
			HorVer	50-150	3
North East	60	71	Ver	50-200	4
			Hor	50-200	4
			HorVer	50-150	3
	60	58	Ver	50-200	4
			Hor	50	1
			HorVer	50	1
	80	71	Hor	50-200	4
			HorVer	50-200	4
	80	58	Hor	50-200	4
			HorVer	50-200	4
East	60	71	Hor	100-200	3
			HorVer	100-200	3
	60	58	Hor	100-150	2
	80	71	Hor	150-200	2
			HorVer	150-200	2
	80	58	Hor	150-200	2
			HorVer	150-200	2
South East	60	71	Hor	150-200	2

ทิศ	WWR	VLT	รูปแบบแผงบังแดด	ระยะยื่น	จำนวนกรณี
			HorVer	150-200	2
	60	58	Hor	100-150	2
	80	71	Hor	200	1
			HorVer	200	1
	80	58	Hor	150-200	2
			HorVer	150-200	2
South	60	71	Hor	50-200	4
			HorVer	50-200	4
	60	58	Hor	50-100	2
			HorVer	50-100	2
	80	71	Hor	100-200	3
			HorVer	100-200	3
	80	58	Hor	100-200	3
			HorVer	100-200	3
North West	60	71	Hor	150-200	2
			HorVer	150	1
	60	58	HorVer	100	1
	80	71	Hor	200	1
			HorVer	150-200	2
	80	58	Hor	200	1
			HorVer	150-200	2
Total					135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 การประเมินการใช้พลังงาน

เมื่อนำกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดและได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ LEED v4 จำนวน 135 กรณี และกรณีที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด ในทั้งหมด 6 ทิศที่ผ่านเกณฑ์ รวมเป็นทั้งหมด 159 กรณี มาจำลองการใช้พลังงานอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 โดยค่าพลังงานที่ได้จะเป็นการใช้พลังงานรวมรายปี ทำการจำลองใน 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Daylight dimmer และ กรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer ซึ่ง Daylight dimmer คือ อุปกร์ที่จะหรี่แสงไฟตามปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้ามา เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลของการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคาร Base Case ที่มีลักษณะอาคารตาม ASHRAE 90.1 2010 เพื่อประเมินผลการประหยัดพลังงาน

อาคารที่นำมาพิจารณานั้นมีลักษณะดังตารางที่ 7

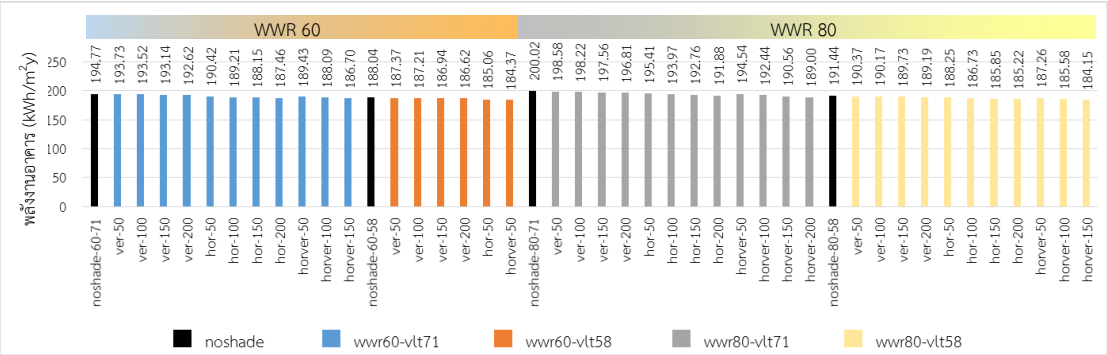
ตารางที่ 7 ลักษณะอาคารที่นำมาประเมินการใช้พลังงาน

หลังคา	Insulation entirely above deck ค่า U=0.36 W/m^{2}k
พื้น	Steel Joist ค่า U=1.986 W/m^{2}k
ผนัง	Steel-framed wall ค่า U=0.705 W/m^{2}k
กระจก	- VLT=71 SHGC=0.52 U=5.52 W/m^{2}k - VLT=58 SHGC=0.34 U=1.46 W/m^{2}k
WWR	- 60% - 80%
LPD	10.50 W/m^2
แผงบังแดด	- รูปแบบแนวนอน ระยะยื่น 50-200 ซม. - รูปแบบแนวตั้ง ระยะยื่น 50-200 ซม. - รูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 50-200 ซม.
Daylight Dimmer	500 Lux

4.2.1 กรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Daylight dimmer

ทำการจำลองการใช้พลังงานอาคารโดยที่ไม่ได้ติดตั้ง Daylight dimmer ซึ่งเป็นการจำลองการใช้พลังงานอาคารโดยที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

เมื่อนำผลการจำลองของกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดมาเปรียบเทียบกับการไม่ติดตั้งแผงบังแดด พบว่าแนวโน้มการใช้พลังงานจะไปในแนวทางเดียวกันในทุกทิศ นั่นคือการติดตั้งแผงบังแดดจะทำให้มีการใช้พลังงานในอาคารน้อยกว่าการไม่ติดตั้งแผงบังแดดในกรณีที่มี WWR เท่ากัน และใช้กระจกชนิดเดียวกัน อีกทั้งในกรณีที่ใช้แผงบังแดดแบบเดียวกัน เมื่อระยะยื่นของแผงบังแดดมากขึ้นการใช้พลังงานจะลดลง เนื่องจากการยื่นแผงบังแดดจะช่วยลดความร้อนที่เข้ามาในอาคารได้ จึงทำให้ลดการใช้พลังงานในอาคารได้ โดยที่ได้ผลการใช้พลังงานในแต่ละทิศดังนี้

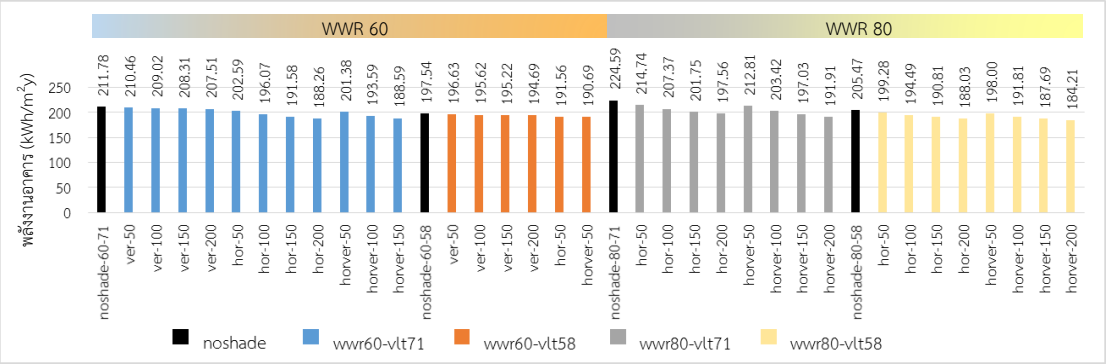


แผนภูมิที่ 25 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ

จากแผนภูมิที่ 25 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ จะมีการใช้พลังงานอยู่ที่ประมาณ 184-200 kWh/m^{2}y กรณีที่ไม่ใส่แผงบังแดดและกรณีที่ใส่แผงบังแดดแบบแนวตั้งมีการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่า WWR 60 และ WWR 80 มีการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน โดยที่ WWR 80 จะใช้มีการใช้พลังงานสูงสุดที่ 200 kWh/m^{2}y ซึ่งมากกว่า WWR 60 ที่มีการใช้พลังงานสูงสุดอยู่ที่ 195 kWh/m^2 เล็กน้อย สำหรับค่า VLT 71 มีการใช้พลังงานมากกว่า VLT 58 เล็กน้อย การใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งมีการใช้พลังงานน้อยกว่าแผงบังแดดรูปแบบอื่นเมื่อมีระยะยื่นเท่ากัน และระยะยื่นที่ต่างกันมีการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 150 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 184.15 kWh/m^{2}y

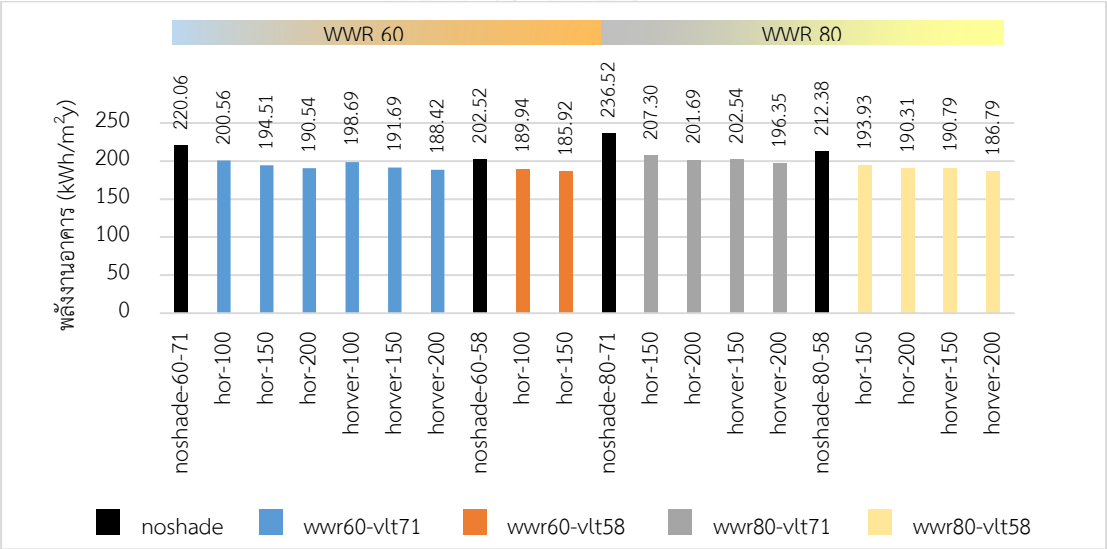
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 26 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 26 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การใช้พลังงานในอาคารจะมีค่าประมาณ 184-224 kWh/m^{2}y เริ่มมีความแตกต่างของการใช้พลังงานระหว่างกรณีที่ไม่ใส่แผงบังแดดและกรณีที่ใส่แผงบังแดดมากขึ้น

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่า WWR 80 .ใช้พลังงานมากกว่า WWR 60 เล็กน้อย การใช้กระจกค่า VLT 71 ใช้พลังงานสูงกว่ากระจก VLT 58 การใช้แผงบังแดดรูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งจะมีการใช้พลังงานน้อยกว่าการใช้แผงบังแดดรูปแบบอื่นเมื่อมีระยะยื่นที่เท่ากัน และระยะยื่นที่มากขึ้นจะใช้พลังงานน้อยลงเมื่อใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง สำหรับการใช้แผงบังแดดแบบแนวตั้ง ระยะยื่นที่เพิ่มขึ้นจะมีการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 184.21 kWh/m^{2}y



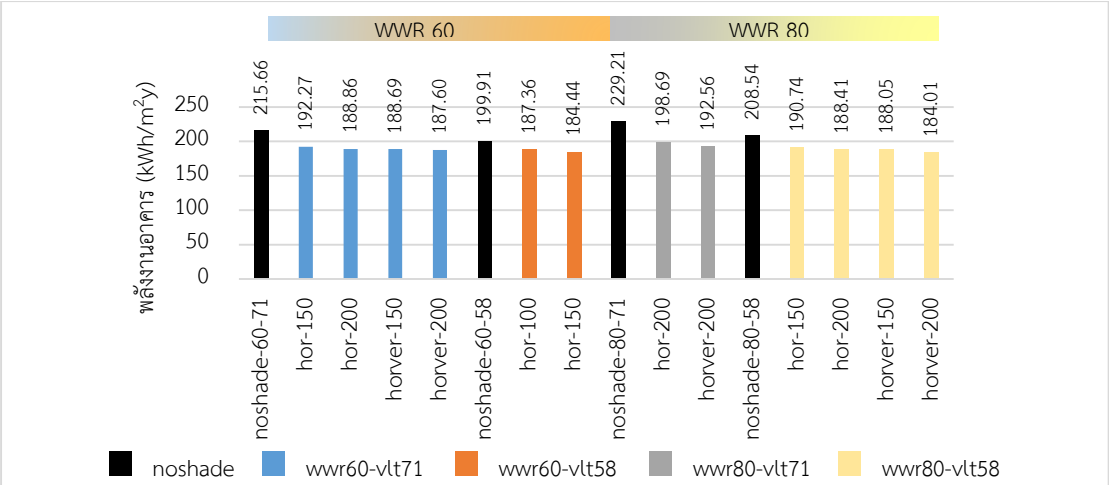
แผนภูมิที่ 27 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก

จากแผนภูมิที่ 27 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก มีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ประมาณ 186-237 kWh/m^{2}y การใส่แผงบังแดดมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่ากรณีที่ไม่ใส่แผงบังแดดอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่า สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 และ WWR 80 มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่การใช้ WWR 60 จะใช้พลังงานอยู่ในช่วง 186-220 kWh/m^2 ซึ่งน้อยกว่า WWR 80 ที่ใช้พลังงานอยู่ในช่วง 187-237 kWh/m^{2}y กระจกที่มีค่า VLT 71 มีการใช้พลังงานมากกว่ากระจกที่มีค่า VLT 58 เล็กน้อย รูปแบบแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบ

ผสมแนวนอนและแนวตั้งนั้นมีการใช้พลังงานต่างกันไม่มาก การใช้แผงบังแดดแบบผสมจะทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่าแบบแนวนอนเพียงเล็กน้อย และระยะยื่นของแผงบังแดดที่มากขึ้นจะทำให้ใช้พลังงานน้อยลง

กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่น 150 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 185.92 kWh/m^2y

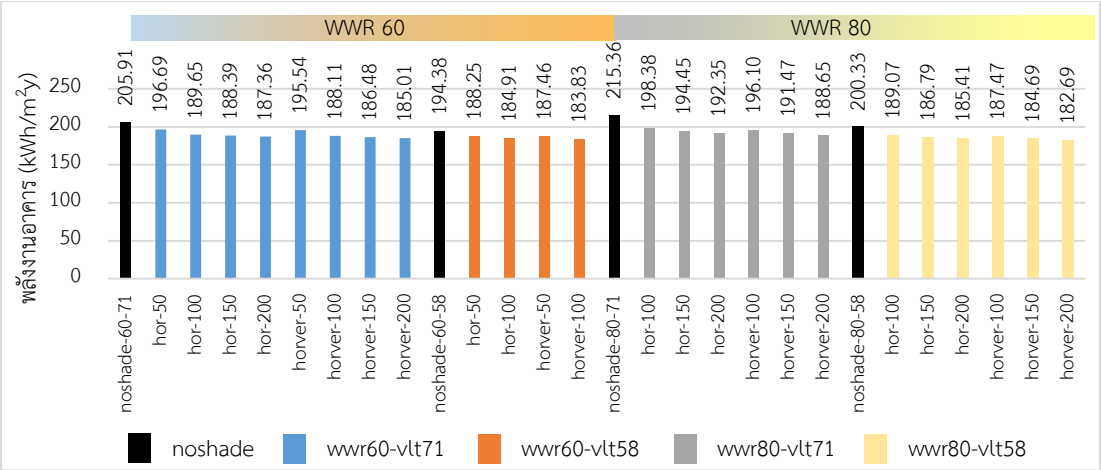


แผนภูมิที่ 28 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 28 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีการใช้พลังงานประมาณ 184-229 kWh/m^2y การใส่แผงบังแดดมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่ากรณีที่ไม่ใส่แผงบังแดด

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับทิศตะวันออก นั่นคือ กรณี WWR 60 ใช้พลังงานน้อยกว่า WWR 80 เล็กน้อย กระจกที่มีค่า VLT 71 มีการใช้พลังงานมากกว่ากระจกที่มีค่า VLT 58 เล็กน้อย รูปแบบแผงบังแดดมีผลต่อการใช้พลังงานไม่ต่างกันมาก และระยะยื่นที่มากขึ้นจะทำให้ใช้พลังงานน้อยลง

กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มี WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 184.01 kWh/m^2y



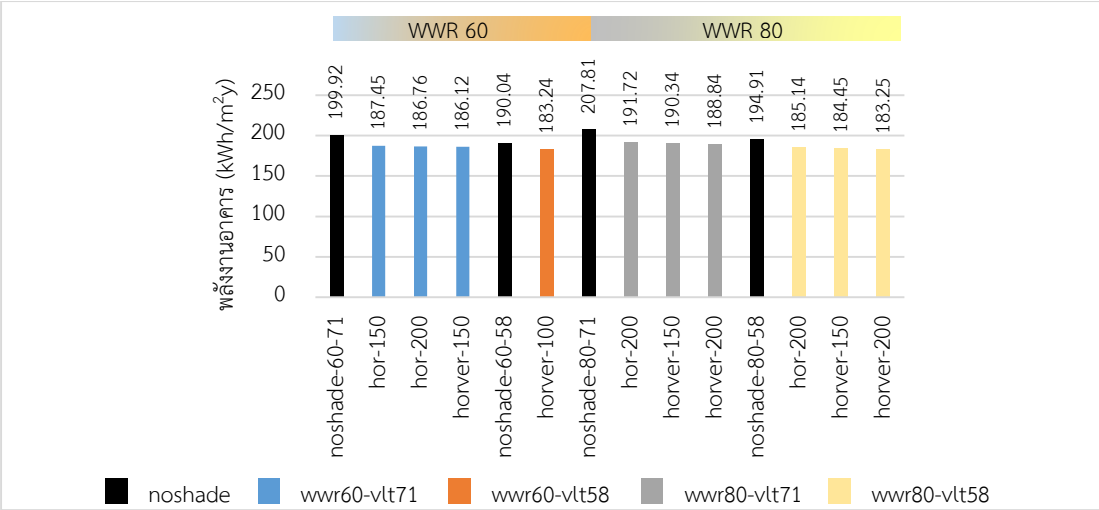
แผนภูมิที่ 29 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 29 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ มีค่าการใช้พลังงานประมาณ 183-215 kWh/m^2y เช่นเดียวกับทิศอื่น คือ การใส่แผงบังแดดทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใส่แผงบังแดด

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือ กรณี WWR 60 ใช้พลังงานน้อยกว่า WWR 80 เล็กน้อย กระจกที่มีค่า VLT 71 มีการใช้พลังงานมากกว่ากระจกที่มีค่า VLT 58 เล็กน้อย รูปแบบแผงบังแดดมีผลต่อการใช้พลังงานไม่ต่างกันมาก แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งทำให้ใช้พลังงานได้น้อยกว่าแผงบังแดดแบบแนวนอนเพียงเล็กน้อย และระยะยื่นที่มากขึ้นจะทำให้ใช้พลังงานน้อยลง

กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มี WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 182.69 kWh/m^2y

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 30 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

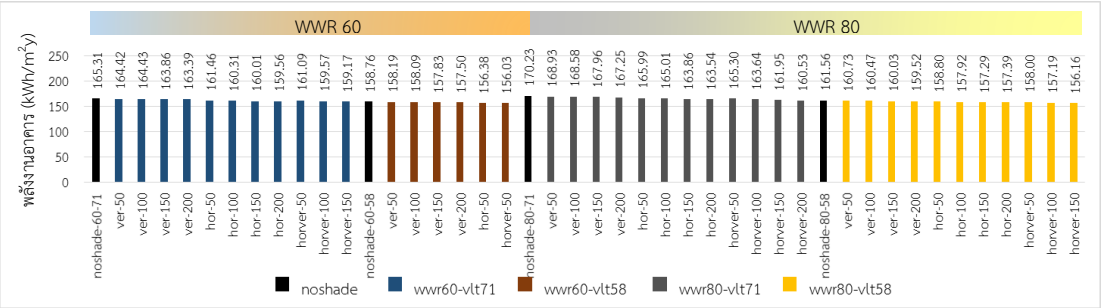
จากแผนภูมิที่ 30 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีการใช้พลังงานประมาณ 183-207 kWh/m^2y

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยเช่นเดียวกับทิศอื่น การใช้ WWR 80 และ 60 ให้ผลใกล้เคียงกัน WWR 60 ใช้พลังงานน้อยกว่า WWR 80 เล็กน้อย กระจกที่มีค่า VLT 71 มีการใช้พลังงานมากกว่ากระจกที่มีค่า VLT 58 เล็กน้อย การใช้แผงบังแดดสองรูปแบบให้ผลการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน และระยะยื่นที่มากขึ้นจะทำให้ใช้พลังงานน้อยลง

กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 183.24 kWh/m^2y

4.2.2 กรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer

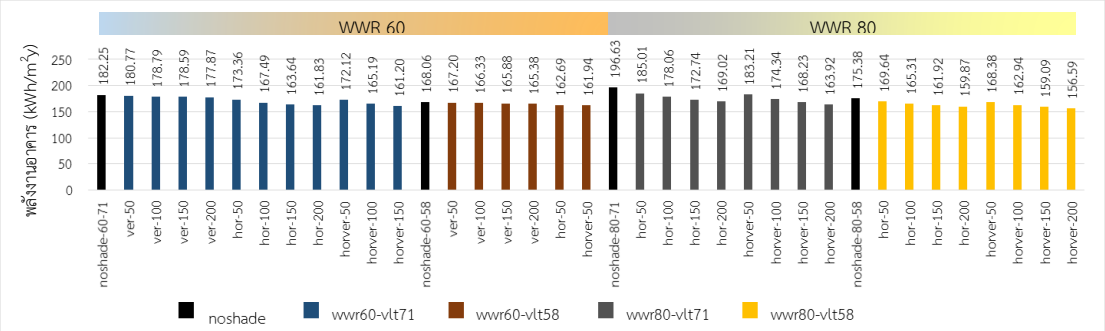
เมื่อติดตั้ง Daylight dimmer ทำให้เป็นการจำลองอาคารที่มีการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติภายในอาคาร โดยได้ติดเซ็นเซอร์รับแสงธรรมชาติ (daylight sensor) จำนวน 2 ตำแหน่ง ห่างจากหน้าต่าง 3 เมตร และตั้งค่าความสว่างที่ 500 lux มีการใช้พลังงานในอาคาร ดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 31 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทาง

จากแผนภูมิที่ 31 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ มีการใช้พลังงานประมาณ 156-170 kWh/m^{2}y แต่ละกรณีมีการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน

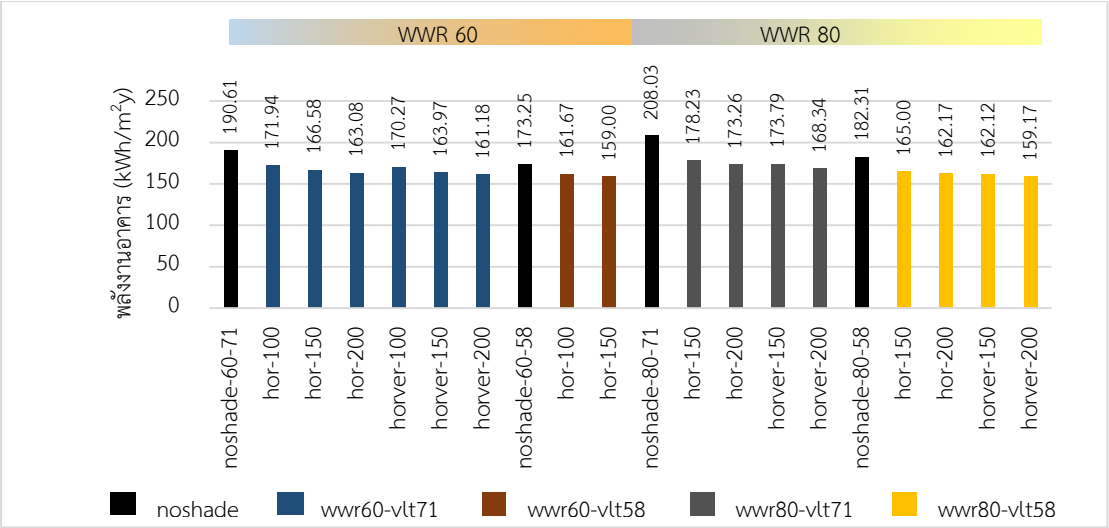
เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer คือ WWR 80 และ WWR 60 ใช้พลังงานใกล้เคียงกัน กระจก VLT 71 มีการใช้พลังงานมากกว่า VLT 58 เล็กน้อย กรณีที่ใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งมีการใช้พลังงานน้อยกว่าแบบอื่น ระยะยื่นของแผงบังแดดให้ผลไม่ต่างกัน กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 50 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 156.03 kWh/m^{2}y



แผนภูมิที่ 32 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 32 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การใช้พลังงานในอาคารจะมีค่าประมาณ 156-196 kWh/m^{2}y

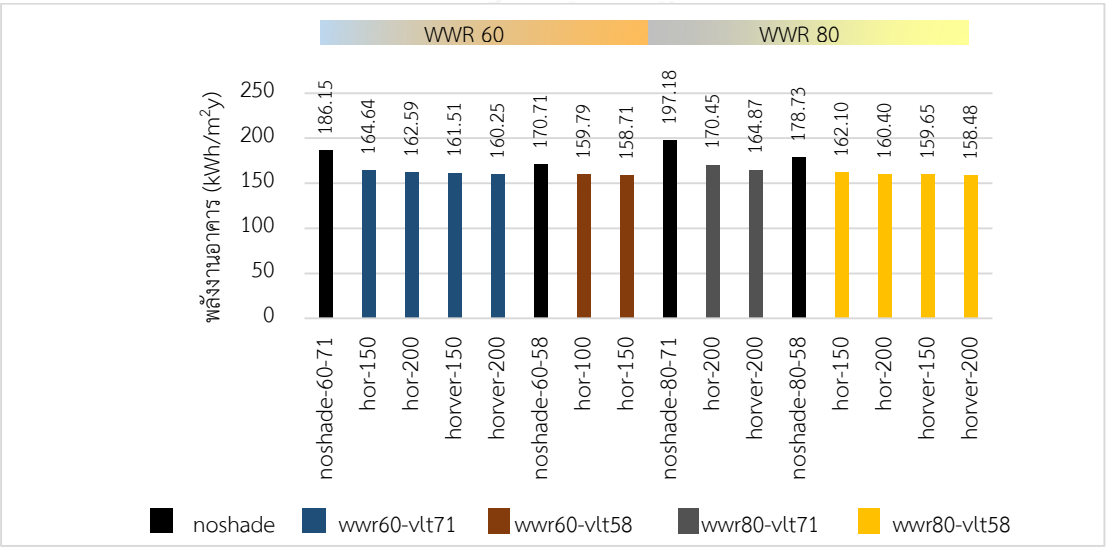
เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 156.59 kWh/m^{2}y



แผนภูมิที่ 33 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก

จากแผนภูมิที่ 33 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก มีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ประมาณ 159-208 kWh/m^2y

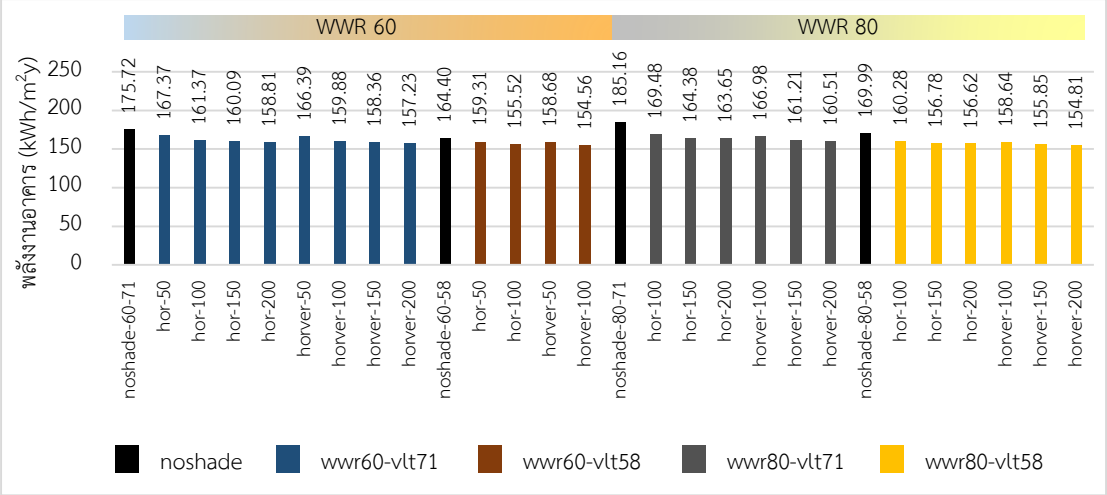
เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับทิศอื่น กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่น 150 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 159.00 kWh/m^2y



แผนภูมิที่ 34 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 34 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีการใช้พลังงานประมาณ 158-197 kWh/m^{2}y

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกัน กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer โดยมีการใช้พลังงาน 158.48 kWh/m^{2}y

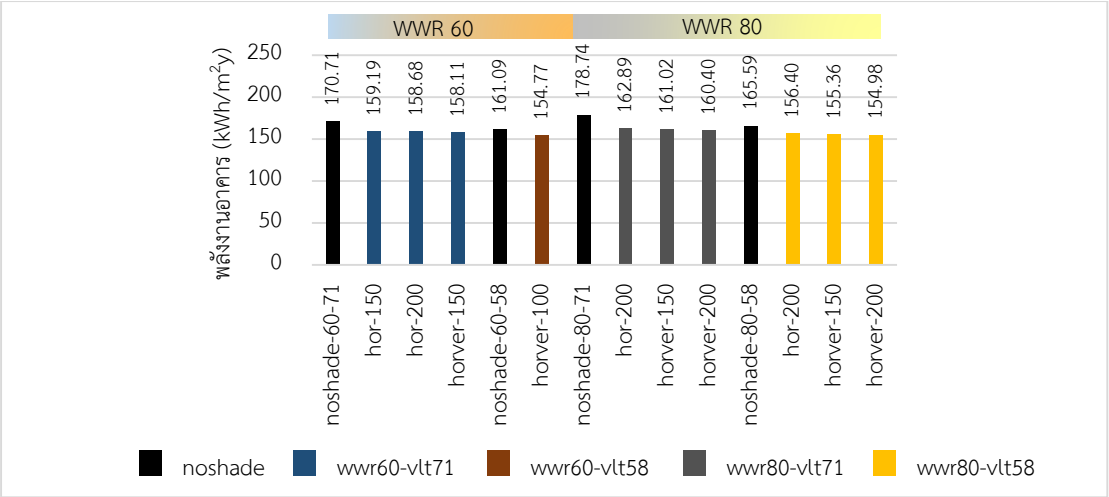


แผนภูมิที่ 35 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 35 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ มีการใช้พลังงานประมาณ 154-185 kWh/m^{2}y

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับกับทิศอื่น กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. โดยมีการใช้พลังงาน 154.56 kWh/m^{2}y

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 36 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

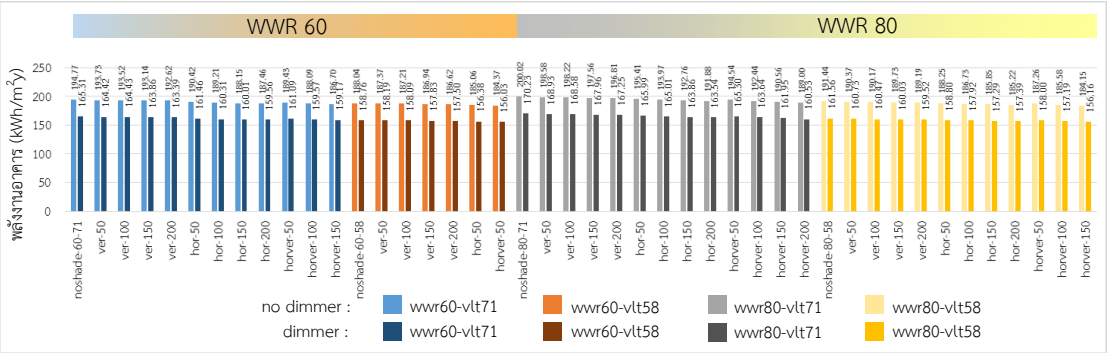
จากแผนภูมิที่ 36 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีการใช้พลังงานประมาณ 154-178 kWh/m^2y

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัย มีรูปแบบการใช้พลังงานเช่นเดียวกับทิศอื่น ๆ กรณีที่ทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ใส่ dimmer โดยมีการใช้พลังงาน 154.77 kWh/m^2y

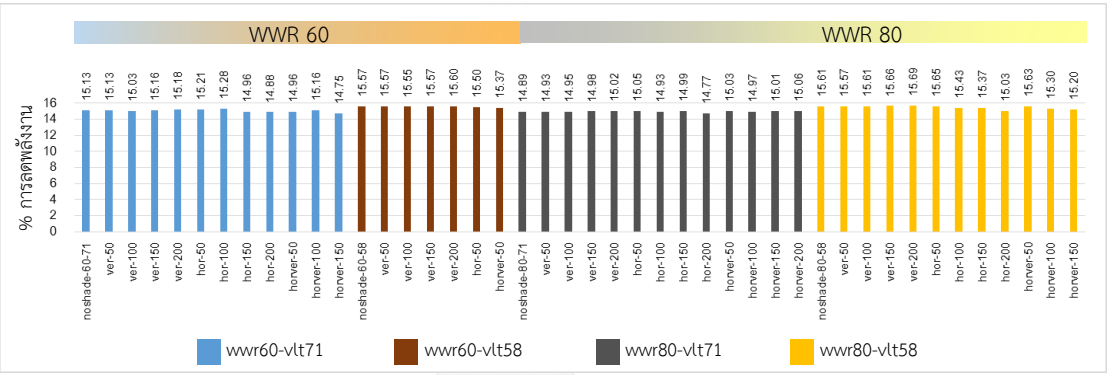
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.3 เปรียบเทียบกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้ง Daylight dimmer

เมื่อนำการจำลองการใช้พลังงานอาคารของกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer และไม่ติดตั้ง Daylight dimmer มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้แสงธรรมชาติในอาคารทำให้ลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ แต่ภาพรวมของการใช้พลังงานในแต่ละกรณีนั้นเป็นแนวโน้มที่ไม่ต่างกัน นั่นคือ การใช้แผงบังแดดที่ต่างกันให้ผลการใช้พลังงานที่ไม่ต่างกันมาก การใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งทำให้มีการใช้พลังงานน้อยที่น้อยกว่าแบบอื่น และระยะยื่นของแผงบังแดดที่มากขึ้นทำให้ใช้พลังงานน้อยลง และเมื่อติดตั้ง Daylight dimmer จะทำให้ใช้พลังงานลดลงได้โดยเฉลี่ยประมาณ 15%

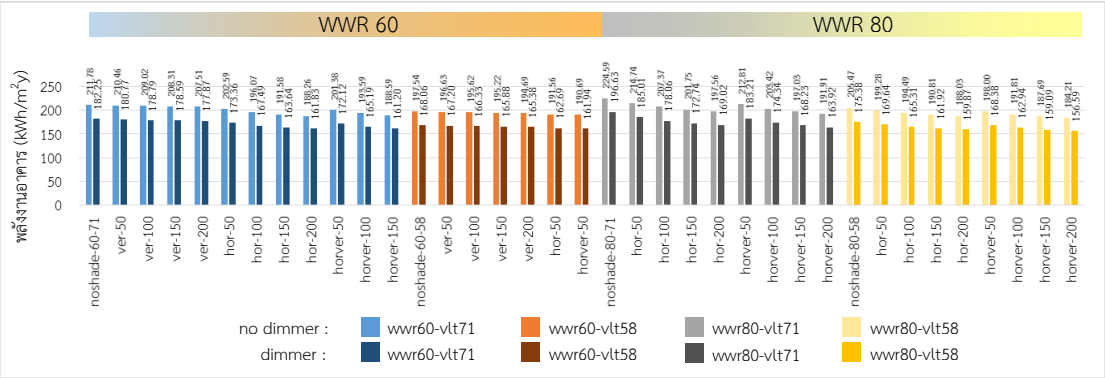


แผนภูมิที่ 37 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ

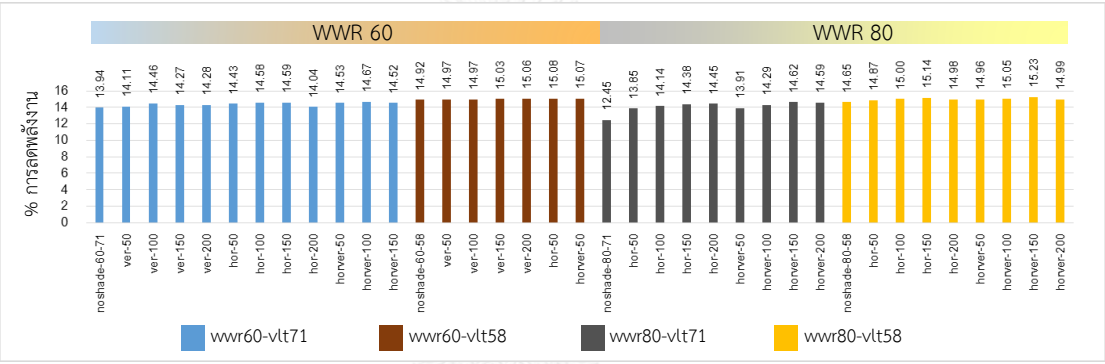


แผนภูมิที่ 38 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ

จากแผนภูมิที่ 37 และ 38 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ การติดตั้ง daylight dimmer ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ในทุกกรณี โดยในแต่ละกรณีนั้นมีผลต่างของการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 15% เนื่องจากทิศเหนือได้รับแสงอาทิตย์น้อยกว่าทิศอื่น ทำให้การใส่แผงบังแดด หรือไม่ใส่แผงบังแดด มีผลที่ไม่ต่างกันมาก กรณีที่ช่วยลดพลังงานลงได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 15.69%

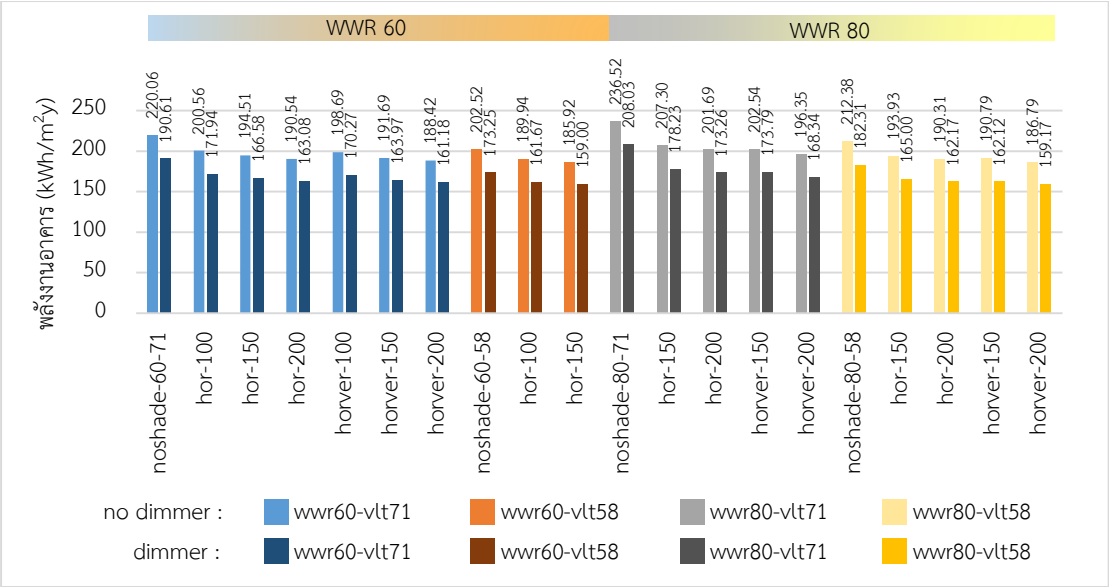


แผนภูมิที่ 39 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

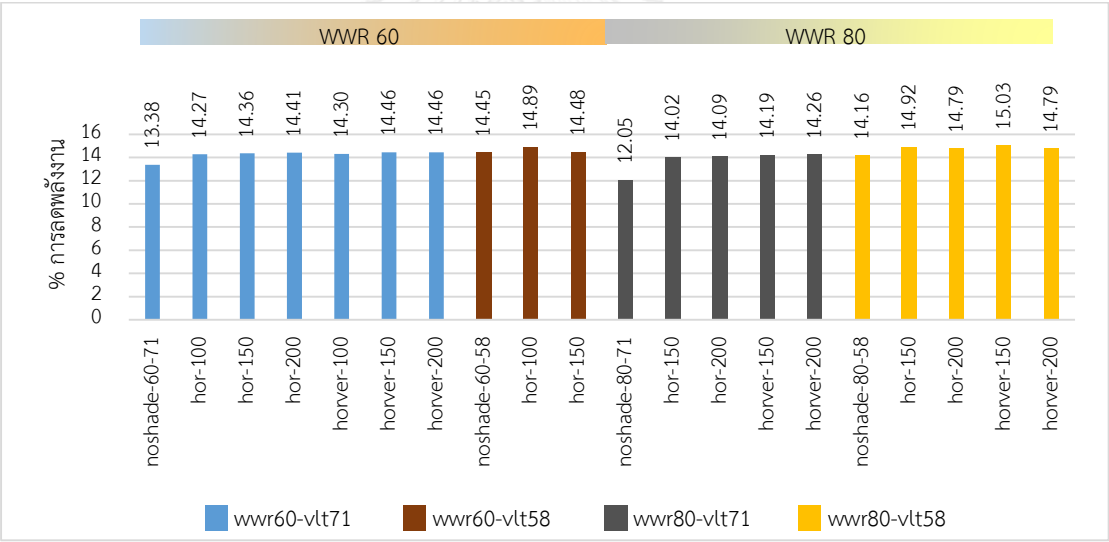


แผนภูมิที่ 40 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศ

จากแผนภูมิที่ 39 และ 40 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การติดตั้ง daylight dimmer ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ในทุกกรณี และมีผลการลดการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีที่มี WWR 80 และกระจก VLT 71 โดยที่ไม่ได้ใส่แผงบังแดด มีค่าการลดการใช้พลังงานจากกรณีที่ไม่ใส่ dimmer น้อยที่สุด เนื่องจากเป็นกรณีที่เปิดพื้นที่หน้าต่างมากและใช้กระจกที่ให้ความร้อนผ่านได้มาก เมื่อไม่มีแผงบังแดดมากันความร้อนทำให้ต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นมากขึ้น การใส่ dimmer จึงช่วยลดพลังงานได้น้อยที่สุด กรณีที่ช่วยลดพลังงานลงได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 150 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 15.23%



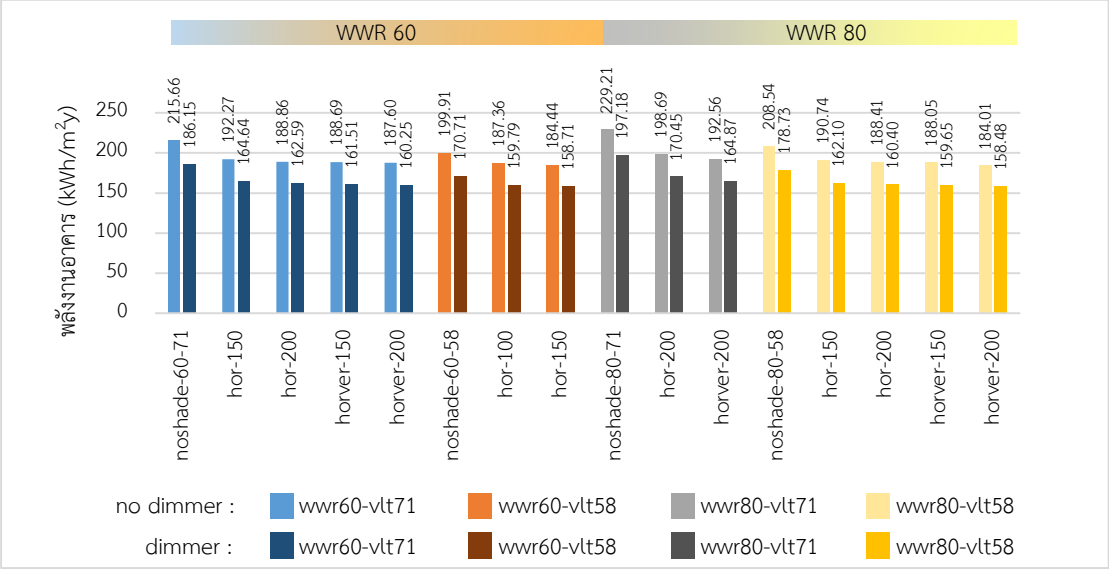
แผนภูมิที่ 41 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก



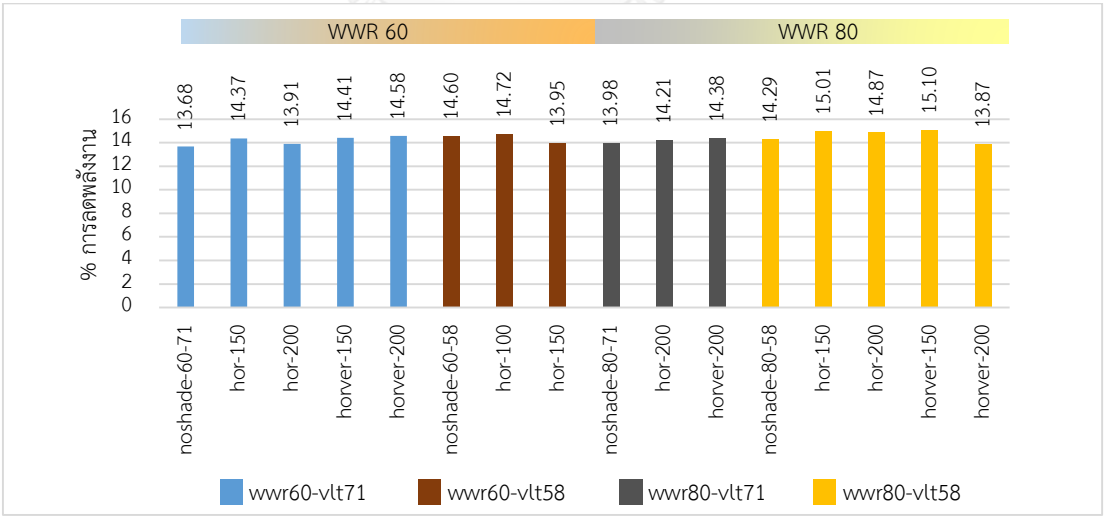
แผนภูมิที่ 42 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก

จากแผนภูมิที่ 41 และ 42 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก การติดตั้ง Daylight dimmer ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ในทุกกรณี โดยกรณีที่ไม่ใส่แผงบังแดดเมื่อติดตั้ง Daylight dimmer จะลดพลังงานได้น้อยกว่ากรณีที่ใส่แผงบังแดด เนื่องจากเมื่อไม่มีแผงบังแดดความสว่างจะเข้ามาได้มาก แต่ความร้อนก็เข้ามาได้มากเช่นกัน ทำให้การประหยัดพลังงานจากแสงสว่างธรรมชาติช่วยได้น้อยลงเมื่อมีการใช้พลังงานในการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้น เมื่อติดตั้งแผงบังแดดจึงทำให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น โดยที่ระยะยื่นของแผงบังแดดให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ระยะยื่นที่มากขึ้น

การใช้พลังงานจะลดลงเล็กน้อย กรณีที่ใช้ WWR 80 กับกระจก VLT 71 เป็นกรณีที่มีการใช้พลังงานในอาคารสูงที่สุด กรณีที่ใช้ WWR 80 กับกระจก VLT 58 จะช่วยลดพลังงานได้มากที่สุด เนื่องจากเป็นกรณีที่เปิดพื้นที่หน้าต่างให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มาก แต่ใช้กระจกที่ความร้อนผ่านได้น้อย ซึ่งกรณีที่ช่วยลดพลังงานลงได้มากที่สุด คือ กรณีที่มี WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 150 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 15.03%



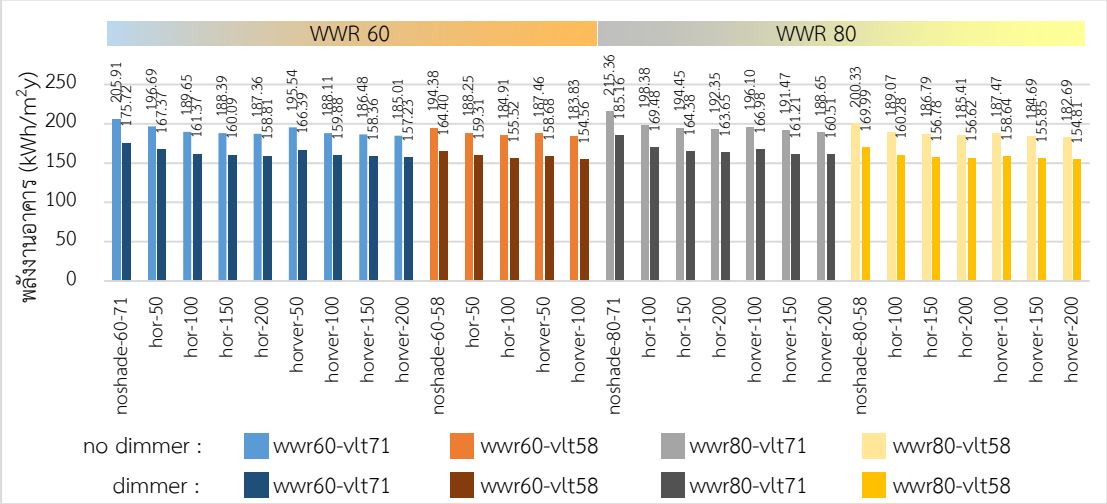
แผนภูมิที่ 43 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



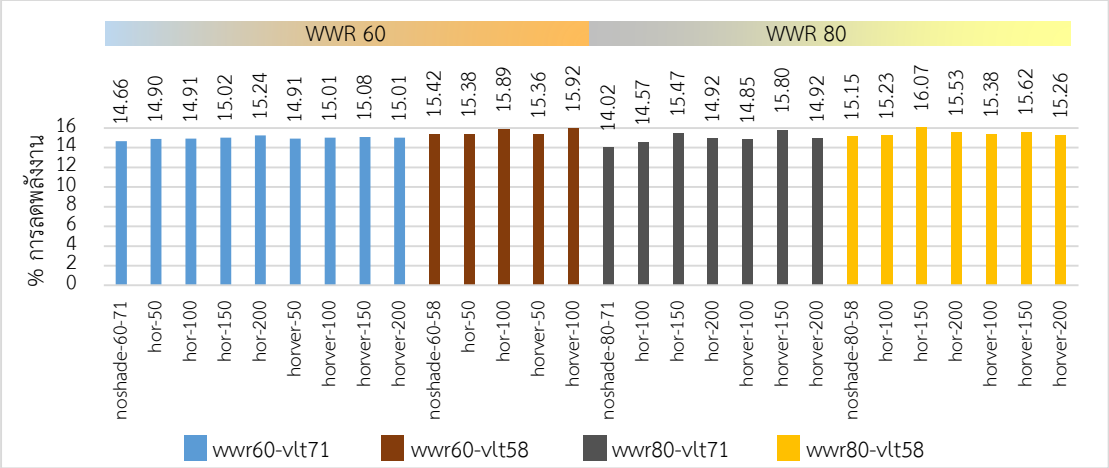
แผนภูมิที่ 44 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 43 และ 44 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ การติดตั้ง Daylight dimmer ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ในทุกกรณี และลดลงได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เมื่อ

พิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดจะพบว่า ในการใช้แผงบังแดดรูปแบบเดียวกัน ระยะยื่นที่มากขึ้นจะทำให้ลดการใช้พลังงานได้มากขึ้น กรณีที่ช่วยลดพลังงานลงได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 150 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 15.10%



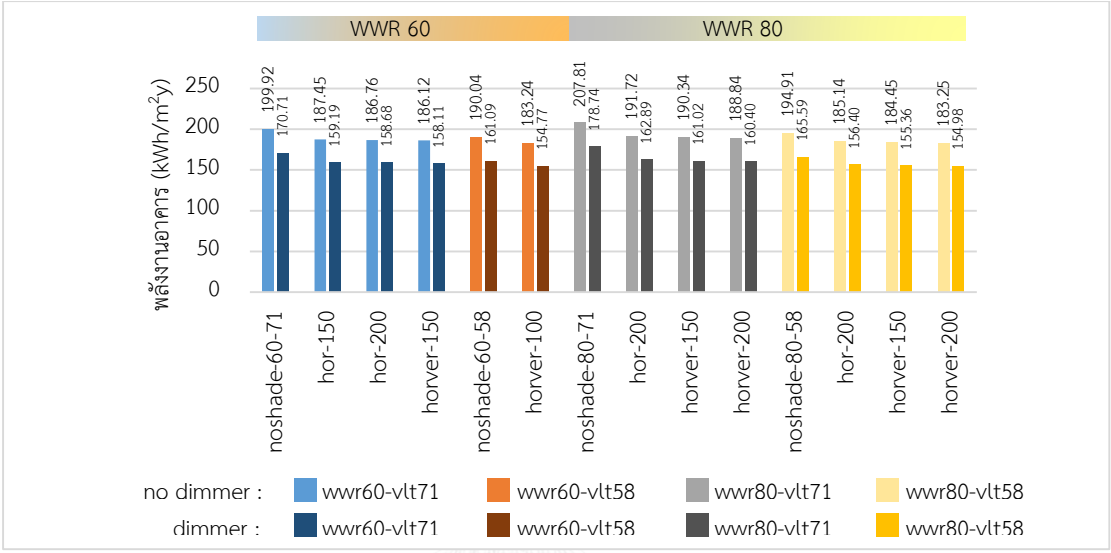
แผนภูมิที่ 45 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้



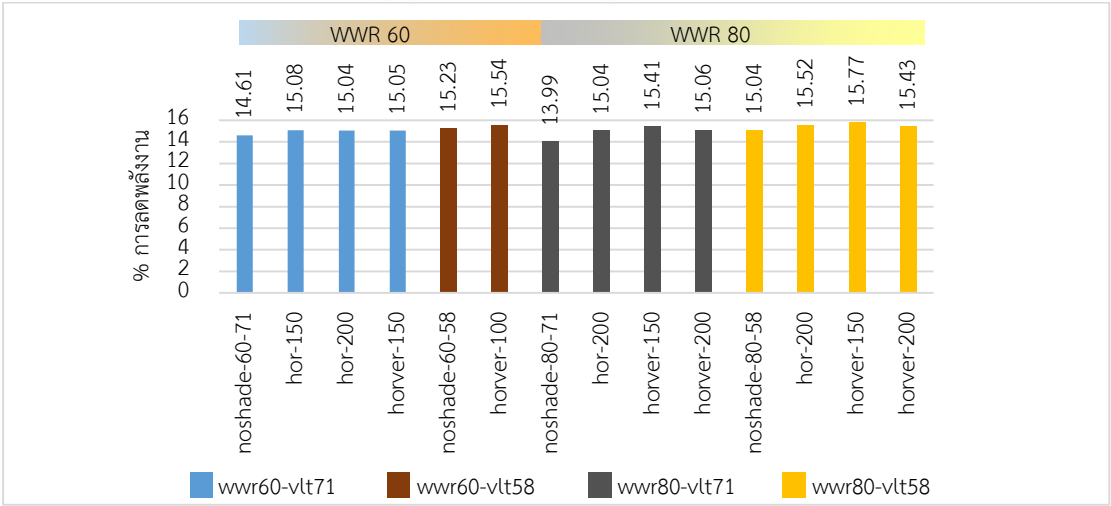
แผนภูมิที่ 46 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 45 และ 46 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ การติดตั้ง Daylight dimmer ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ในทุกกรณีเช่นเดียวกัน และเป็นทิศที่ลดพลังงานลงได้มากที่สุด ในกรณีที่ใช้ WWR 60 กับกระจก VLT 71 นั้น การใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่นที่มากขึ้นตั้งแต่ 50-200 ซม. สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้มากขึ้น แต่สำหรับกรณีอื่น ๆ เมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดจะพบว่า ระยะยื่นที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้มากขึ้น จนถึงระยะยื่น 200

ซม. ที่จะทำให้การลดการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่ลดลง หมายถึงเมื่อยื่นแผงบังแดดถึงระยะ 200 ซม. ก็ไม่ได้ใช้พลังงานน้อยลงกว่าระยะยื่น 150 ซม. มากนัก เนื่องจากเมื่อระยะยื่นมากแสงสว่างจะเข้ามาได้น้อยจนทำให้ต้องใช้พลังงานในการส่องสว่างมากขึ้น กรณีที่ช่วยลดพลังงานลงได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่น 150 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 16.07%



แผนภูมิที่ 47 ค่าการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ไม่ติดตั้งและติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 48 เปอร์เซ็นต์ผลต่างพลังงานที่ลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้ง daylight dimmer เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 47 และ 48 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ การติดตั้ง Daylight dimmer ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ในทุกกรณีเช่นเดียวกับทิศอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาระยะยื่นของแผงบังแดดพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับทิศใต้ คือ ระยะยื่นที่มากขึ้นจะลดพลังงานได้มากจนถึงระยะยื่น 200 ซม. ที่เปอร์เซ็นต์การลดการใช้พลังงานจะเริ่มน้อยลง กรณีที่ช่วยลดพลังงานลงได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 150 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 15.77%

สรุปจากการจำลองการใช้พลังงานของกรณีที่ไม่ติดตั้ง Daylight dimmer และกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer ได้ผลการจำลองแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งแต่ละกรณีนั้นมีการใช้พลังงานลดลงได้ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 15%

4.2.4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานกับ Base Case

อาคาร Base Case ใช้อาคารที่มีขนาดเดียวกับอาคารที่นำมาพิจารณา ซึ่งก็คือห้องสำนักงานมาตรฐาน ขนาดกว้าง 9.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร การที่ไม่ได้จำลองอาคารสำนักงานทั้งอาคารเนื่องจากการศึกษาด้านแสงธรรมชาติที่ผ่านมามีตัวแปรที่ส่งผลต่อแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารแตกต่างกันไป การจำลองเป็นห้องสำนักงานที่มีช่องเปิดด้านเดียว และปรับองศาการวางอาคารไปในแต่ละทิศจะสามารถศึกษาผลของแต่ละตัวแปรได้ชัดเจนมากกว่าการจำลองอาคารทั้งอาคารที่มีช่องเปิดพร้อมกัน 4 ด้าน

อาคาร Base Case นั้นมีลักษณะที่อ้างอิงตาม ASHRAE 90.1 2010 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะอาคาร Base Case

หลังคา	Insulation entirely above deck ค่า U=0.36 W/m^{2}k
พื้น	Steel Joist ค่า U=1.986 W/m^{2}k
ผนัง	Steel-framed wall ค่า U=0.705 W/m^{2}k
กระจก	U=6.81 W/m^{2}k SHGC=0.25
WWR	40%
LPD	10.50 W/m^2
HVAC	Variable Air Volume

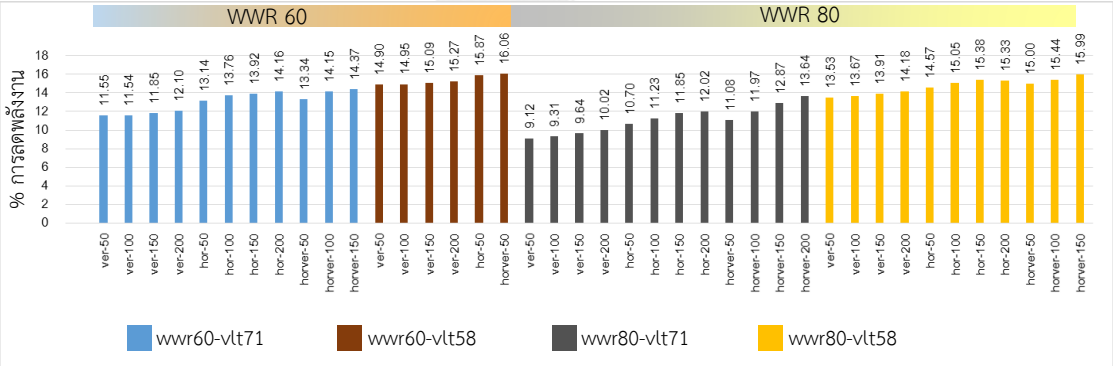
เมื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Base Case โดยการหมุนทิศการวางอาคารทั้งหมด 4 ทิศ และหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอาคาร จะได้ผลการใช้พลังงานอาคารในด้านต่าง ๆ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการจำลองการใช้พลังงานอาคาร Base Case

Orientation	Lighting (kWh/y)	Equipment (kWh/y)	Cooling (kWh/y)	Fans (kWh/y)	Total (kWh/y)
ทิศเหนือ	3,209	3,209	11,132	1,920	19,785
ทิศตะวันออก	3,209	3,209	11,599	2,003	20,391
ทิศใต้	3,209	3,209	11,257	1,996	19,978
ทิศตะวันตก	3,209	3,209	11,312	1,922	19,985
mean	3,209	3,209	11,325	1,960	20,028
kWh/m^2y	29.71	29.71	104.86	18.15	185.44

ค่าการใช้พลังงานของ Base Case ที่เฉลี่ยทั้ง 4 ทิศ อยู่ที่ 20,076 kWh/y ซึ่งเมื่อคิดเป็นการใช้พลังงานต่อพื้นที่แล้วจะได้ 185.44 kWh/m^2y

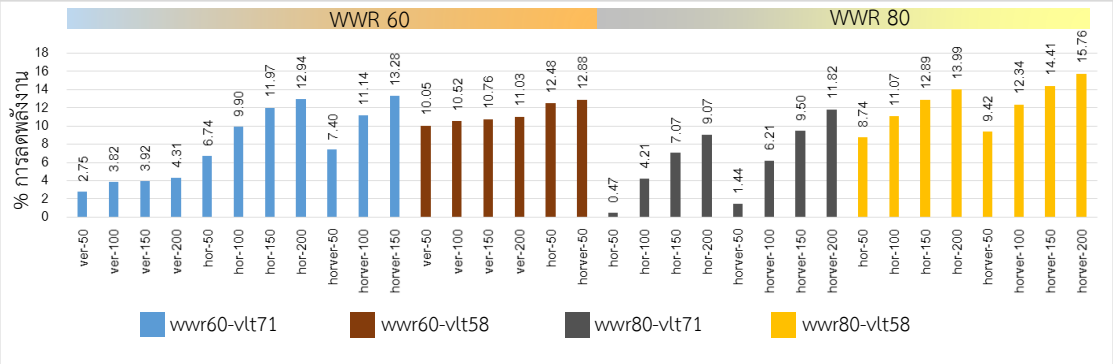
ทำการจำลองการใช้พลังงานของกรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ทั้งหมด 135 กรณี ที่มีการติดตั้ง Daylight dimmer และเปรียบเทียบผลการจำลองของ Base Case พบว่าทุกกรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight มีการใช้พลังงานน้อยลงจาก Base Case โดยสามารถแยกพิจารณาตามทิศได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 49 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ

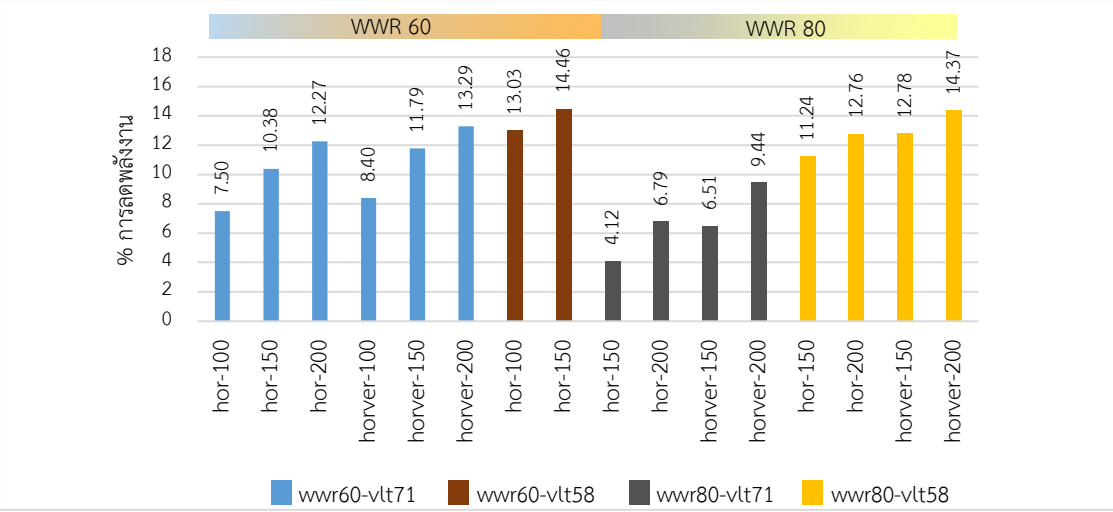
จากแผนภูมิที่ 49 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ การติดตั้ง Daylight dimmer ร่วมกับการใช้เปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ได้รับแสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ Daylight นั้นจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงจาก Base Case ได้ประมาณ 8-16 เปอร์เซ็นต์ การใช้แผงบังแดดแบบแนวตั้งจะลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้แผงบังแดดแบบอื่น และระยะยื่นที่มากขึ้นก็มีส่วนช่วยให้ใช้พลังงานน้อยลงจาก Base Case ได้ โดยที่กรณีที่ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า

VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 50 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 16.06%



แผนภูมิที่ 50 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

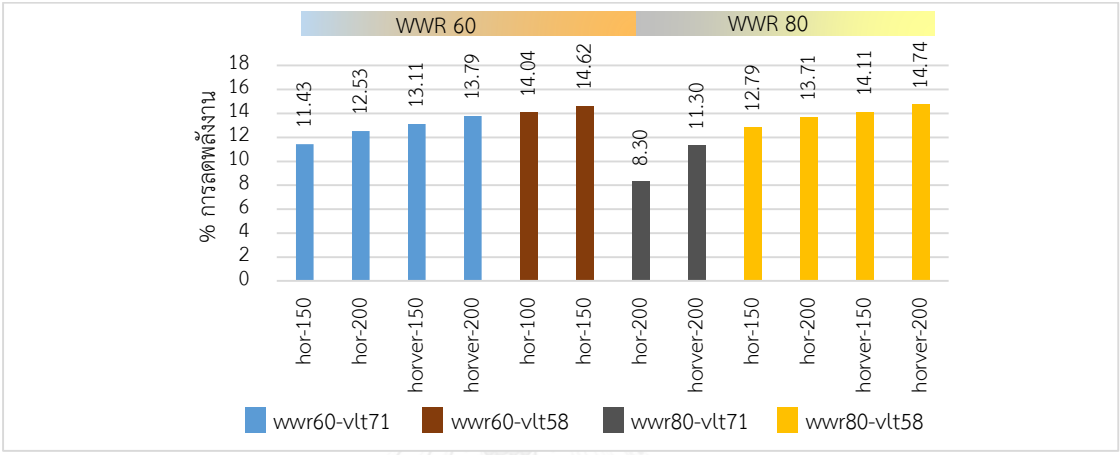
จากแผนภูมิที่ 50 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงจาก Base Case ได้ประมาณ 0.5-15 % โดยที่แผงบังแดดระยะยื่น 50 ซม. จะช่วยลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้น้อยที่สุด และระยะยื่นที่มากขึ้นของแผงบังแดดทำให้ลดการใช้พลังงานได้มากขึ้นเมื่อพิจารณาจากกรณีที่ใช้แผงบังแดดแบบเดียวกัน โดยที่กรณีที่ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 15.76%



แผนภูมิที่ 51 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก

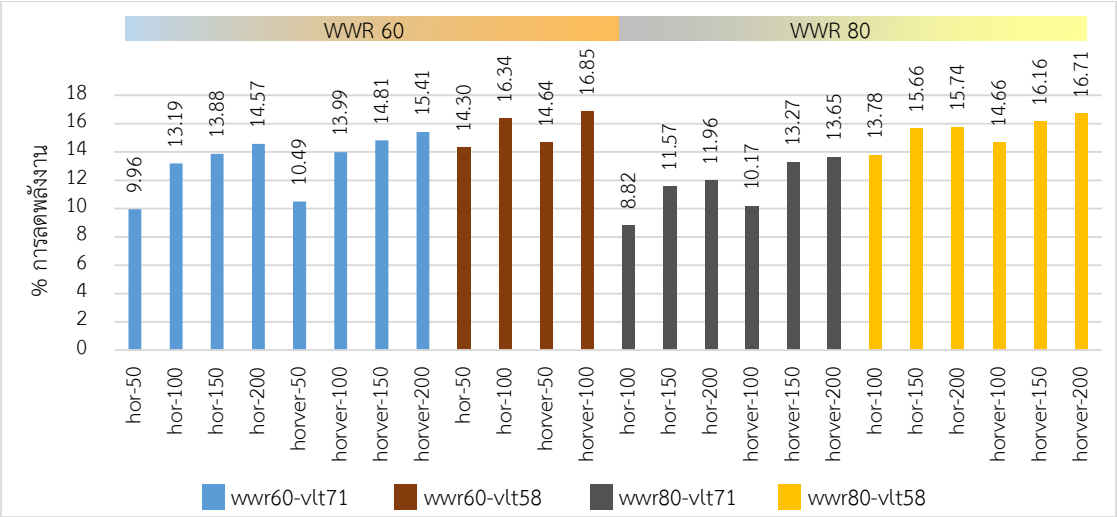
จากแผนภูมิที่ 51 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงจาก Base Case ได้ประมาณ 4-14% กรณีที่ใช้ WWR 80 กับกระจก VLT 71 จะลดการใช้พลังงาน

ได้น้อยกว่ากรณีอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากหน้าต่างหันไปทางทิศที่ได้รับแสงและความร้อนจากดวงอาทิตย์มาก การเปิดพื้นที่กระจกมากและใช้กระจก VLT สูงย่อมทำให้ได้รับความร้อนอย่างมาก ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้จึงสูงกว่ากรณีอื่น ระยะยื่นของแผงบังแดดที่มากขึ้นช่วยลดการใช้พลังงานได้ โดยที่กรณีที่ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่น 150 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 14.46%



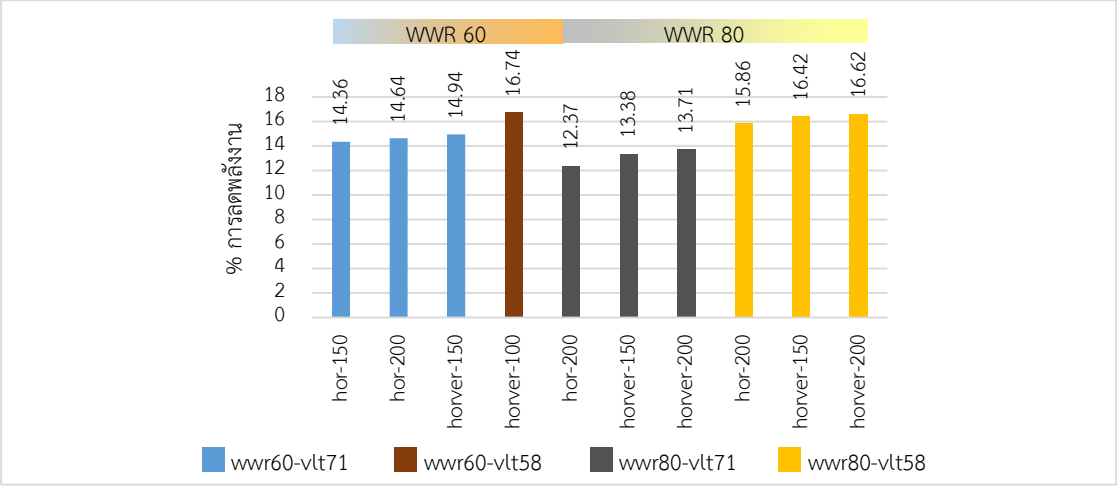
แผนภูมิที่ 52 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 52 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงจาก Base Case ได้ประมาณ 8-15% และกรณีที่ใช้ WWR 80 กับกระจก VLT 71 จะลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่ากรณีอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกันกับทิศตะวันออก การใช้แผงบังแดดรูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งช่วยลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากกว่าการใช้แผงบังแดดรูปแบบอื่นในกรณีที่ใช้สัดส่วนหน้าต่างและกระจกเดียวกัน ระยะยื่นของแผงบังแดดที่เพิ่มขึ้นช่วยลดการใช้พลังงานได้มากขึ้น โดยที่กรณีที่ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 14.74%



แผนภูมิที่ 53 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 53 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ จะสามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ลงได้ประมาณ 9-17% กรณีที่ใช้กระจก VLT 71 จะสามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้น้อยกว่ากรณีที่ใช้กระจก VLT 58 รูปแบบแผงบังแดดที่ใช้ คือ แผงบังแดดแบบแนวนอน และแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ให้ผลการใช้พลังงานที่ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากในทิศใต้แสงอาทิตย์จะส่องเข้ามาได้จากมุมด้านบน แผงบังแดดทั้งสองรูปแบบสามารถกันแสงอาทิตย์ในทิศนี้ได้ในลักษณะเดียวกัน แต่ระยะยื่นของแผงบังแดดที่มากขึ้นมีผลต่อการลดการใช้พลังงานได้มากขึ้น กรณีที่ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 16.85%



แผนภูมิที่ 54 ค่าสัดส่วนพลังงานที่ลดลงจาก Base Case เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 54 เมื่อหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จะสามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ลงได้ประมาณ 12-17% โดยที่กรณีที่มี WWR 80 กับกระจก VLT 71 จะลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่ากรณีอื่น ๆ เนื่องจากการใช้พื้นที่กระจกมากกับหน้าต่างชนิดที่ให้ความร้อนผ่านได้มากจะทำให้ต้องใช้พลังงานมากกว่ากรณีอื่น ๆ กรณีมี WWR 60 กับกระจก VLT 58 สามารถช่วยลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด เนื่องจากการใช้พื้นที่กระจกน้อยกับหน้าต่างที่ให้ความร้อนผ่านได้น้อยจะทำให้ใช้พลังงานน้อยตามไปด้วย รูปแบบแผงบังแดดที่ใช้มีผลต่างกันเล็กน้อย แผงบังแดดรูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่าแผงบังแดดแบบแนวนอนเล็กน้อย ถึงแม้ว่าจะใช้ระยะยื่นที่น้อยกว่าก็ตาม ทิศตะวันตกเฉียงเหนือเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงมากขึ้นกว่าทิศเหนือ ทำให้การใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งสามารถช่วยกันความร้อนที่เข้ามาได้มากกว่าแผงบังแดดแนวนอนอย่างเดียว อีกทั้งระยะยื่นของแผงบังแดดที่มากขึ้นมีผลต่อการลดการใช้พลังงานได้มากขึ้นด้วย กรณีที่ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 60 ใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 ร่วมกับการใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. โดยสามารถลดลงได้ 16.74%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การใช้แสงธรรมชาติในอาคารเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานของอาคารได้ แต่การใช้แสงธรรมชาติในอาคารนั้นควรมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ให้มีความสว่างที่ไม่มากเกินไปและไม่น้อยเกินไป โดยมีเกณฑ์ที่เป็นตัวกำหนดปริมาณการใช้แสงธรรมชาติให้มีความเหมาะสม คือ เกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight ซึ่งได้นำเกณฑ์ประเมินแสงธรรมชาติ 2 เกณฑ์มาใช้ คือ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ซึ่งเกณฑ์ sDA กำหนดว่าจะต้องมีความสว่างอย่างน้อย 300 lux เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 50% ของปี (sDA300/50%) ในพื้นที่อย่างน้อย 55% ของพื้นที่ใช้งานประจำ และ ASE กำหนดให้ได้รับแสงอาทิตย์ตรงที่มีความสว่างอย่างน้อย 1000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี (ASE1000,250) ในพื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ และต้องผ่านทั้ง 2 เกณฑ์จึงจะผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบเปลือกอาคารและการออกแบบแผงบังแดดที่ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้ตามเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight โดยใช้ห้องสำนักงานทั่วไปที่มีขนาด 9 x 12 x 3 เมตรในการจำลอง ศึกษาโดยใช้สัดส่วน WWR 60 และ WWR 80 กระจก 3 ชนิด คือ กระจกที่มีค่า VLT 71% 58% และ 35% รูปแบบแผงบังแดด 3 รูปแบบ คือ แผงบังแดดแนวนอน แผงบังแดดแนวตั้ง และแผงบังแดดผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 4 ระยะ คือ 50 100 150 และ 200 ซ.ม. และหันหน้าต่างทั้งหมด 8 ทิศ จำลองแสงโดยโปรแกรม Daysim เพื่อหากรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของรูปแบบแผงบังแดดที่ผ่านเกณฑ์ โดยการจำลองการใช้พลังงานโดยโปรแกรม VisualDOE4.0 เปรียบเทียบผลการใช้พลังงานของกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer หรือ อุปกรณ์หรี่ไฟอัตโนมัติตามปริมาณแสงธรรมชาติกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง Daylight dimmer เพื่อพิจารณาการใช้แสงธรรมชาติในการลดพลังงาน และเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานของกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer กับ Base Case ซึ่งมีลักษณะตาม ASHRAE 90.1 (2010) และจึงทำการพิจารณาด้านแสงธรรมชาติและด้านพลังงานควบคู่กัน โดยมีการสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติ

การกำหนดแสงธรรมชาติในอาคารโดยใช้เกณฑ์ sDA และ ASE ตามเกณฑ์ LEED v4 นั้นเป็นการกำหนดที่ต้องให้ได้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มากพอสมควร แต่ในขณะเดียวกันแสงอาทิตย์ตรงต้อง

เข้ามาได้น้อยด้วย ทำให้ต้องเลือกสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างและการใช้กระจกให้เหมาะสม โดยที่สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ทั้ง sDA และ ASE นั้น คือ WWR 80 และ WWR 60 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากเพียงพอในการทำให้ได้รับแสงธรรมชาติได้ถึงตามเกณฑ์ การใช้สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 40 นั้นไม่สามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ได้ เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่มีพื้นที่กระจกน้อยเมื่อเทียบกับความลึกของห้อง ทำให้แสงส่องเข้ามาได้น้อยจึงทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์

WWR 80 และ WWR 60 มีผลต่อแสงธรรมชาติที่เข้ามาได้ต่างกัน โดยที่การใช้ WWR 80 จะทำให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA สูงกว่าการใช้ WWR 60 และการใช้ WWR 80 ก็ทำให้มีกรณีที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE สูงกว่า WWR 60

สำหรับกระจกที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ทั้ง sDA และ ASE ได้ คือ กระจกที่มีค่า VLT 71 และ VLT 58 ซึ่งสามารถให้แสงธรรมชาติส่องเข้ามาได้มากเพียงพอ กระจกที่มีค่า VLT 35 ทำให้แสงผ่านเข้ามาได้น้อยเกินไปจนเมื่อติดตั้งแผงบังแดดก็จะยิ่งบดบังแสงที่ส่องเข้ามาทำให้ไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ กระจกที่มีค่า VLT 71 และ VLT 58 ทำให้ได้รับแสงธรรมชาติที่ต่างกัน กระจก VLT 71 จะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ที่สูงกว่ากระจก VLT 58 แต่การได้รับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE นั้นกระจกทั้งสองได้รับใกล้เคียงกัน

การติดตั้งแผงบังแดดสามารถลดปริมาณแสงอาทิตย์ตรงที่เข้ามาได้ เพราะฉะนั้นเมื่อติดตั้งแผงบังแดดแล้วจะสามารถช่วยลดพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงอาทิตย์ตรงและทำให้ผ่านตามเกณฑ์ ASE ได้มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการติดตั้งแผงบังแดดก็สามารถลดแสงธรรมชาติที่เข้ามาได้เช่นกัน ทำให้พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA นั้นน้อยลง

แผงบังแดดรูปแบบแนวตั้ง (vertical fin) จะทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA มากกว่าแผงบังแดดรูปแบบอื่น แผงบังแดดรูปแบบแนวนอน (overhang) และแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งได้รับแสงธรรมชาติใกล้เคียงกัน แต่รูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งได้รับน้อยกว่าเล็กน้อย สำหรับแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE นั้น แผงบังแดดรูปแบบแนวตั้งจะทำให้ผ่านเกณฑ์ ASE น้อยกว่าแผงบังแดดรูปแบบอื่น แผงบังแดดรูปแบบแนวนอน และแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งจะทำให้มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ ASE ได้ใกล้เคียงกัน

ระยะยื่นของแผงบังแดดมีผลต่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาแตกต่างกัน ระยะยื่นที่เพิ่มมากขึ้นจะบดบังแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามา ทำให้มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ได้น้อยลง จึงทำให้มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ sDA น้อยลง แต่ระยะยื่นที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้แสงอาทิตย์ตรงเข้ามาได้น้อยลงเช่นกัน ทำให้มีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ ASE ได้มากขึ้น

รูปแบบแผงบังแดดและระยะยื่นที่เหมาะสมนั้นจะแตกต่างกันไปตามแต่ละทิศ รูปแบบและระยะยื่นที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ในหมวด daylight และมีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติอย่างเพียงพอมากที่สุด เป็นดังนี้

ทิศเหนือได้รับปริมาณแสงอาทิตย์ตรงเพียงเล็กน้อยจึงสามารถออกแบบเปิดพื้นที่หน้าต่างให้มากได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องติดตั้งแผงบังแดด ควรใช้พื้นที่หน้าต่าง WWR 80 และใช้กระจกที่มีค่า VLT 71 เพื่อให้ได้ปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติสูงสุด

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือจะได้รับแสงธรรมชาติมากขึ้น ในกรณี WWR 60 จะไม่จำเป็นต้องใช้แผงบังแดด และควรใช้ค่ากระจก VLT 71 เนื่องจากรับแสงได้มากกว่า VLT 58 ส่วนกรณี WWR 80 จะต้องติดตั้งแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมที่ระยะยื่นอย่างน้อย 50 ซม.

ทิศตะวันออกได้รับแสงอาทิตย์ตรงอย่างมาก กรณี WWR 60 ให้ใช้กระจก VLT 71 กับแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสมที่ระยะยื่นอย่างน้อย 100 ซม. ส่วนกรณี WWR 80 ใช้ร่วมกับกระจก VLT 71 จะได้รับแสงมากกว่า VLT 58 และควบคู่กับการติดตั้งแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสม ที่ระยะยื่นอย่างน้อย 150 ซม.

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ได้รับแสงอาทิตย์ตรงอย่างมากเช่นกัน เมื่อมีพื้นที่หน้าต่าง WWR 60 ให้ใช้กับกระจกที่มีค่า VLT 71 ร่วมกับแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสม ที่ระยะยื่นอย่างน้อย 150 ซม. และกรณี WWR 80 ควรใช้กระจกที่มีค่า VLT 71 และแผงบังแดดแบบแนวนอนและแบบผสม ที่ระยะยื่น 200 ซม.

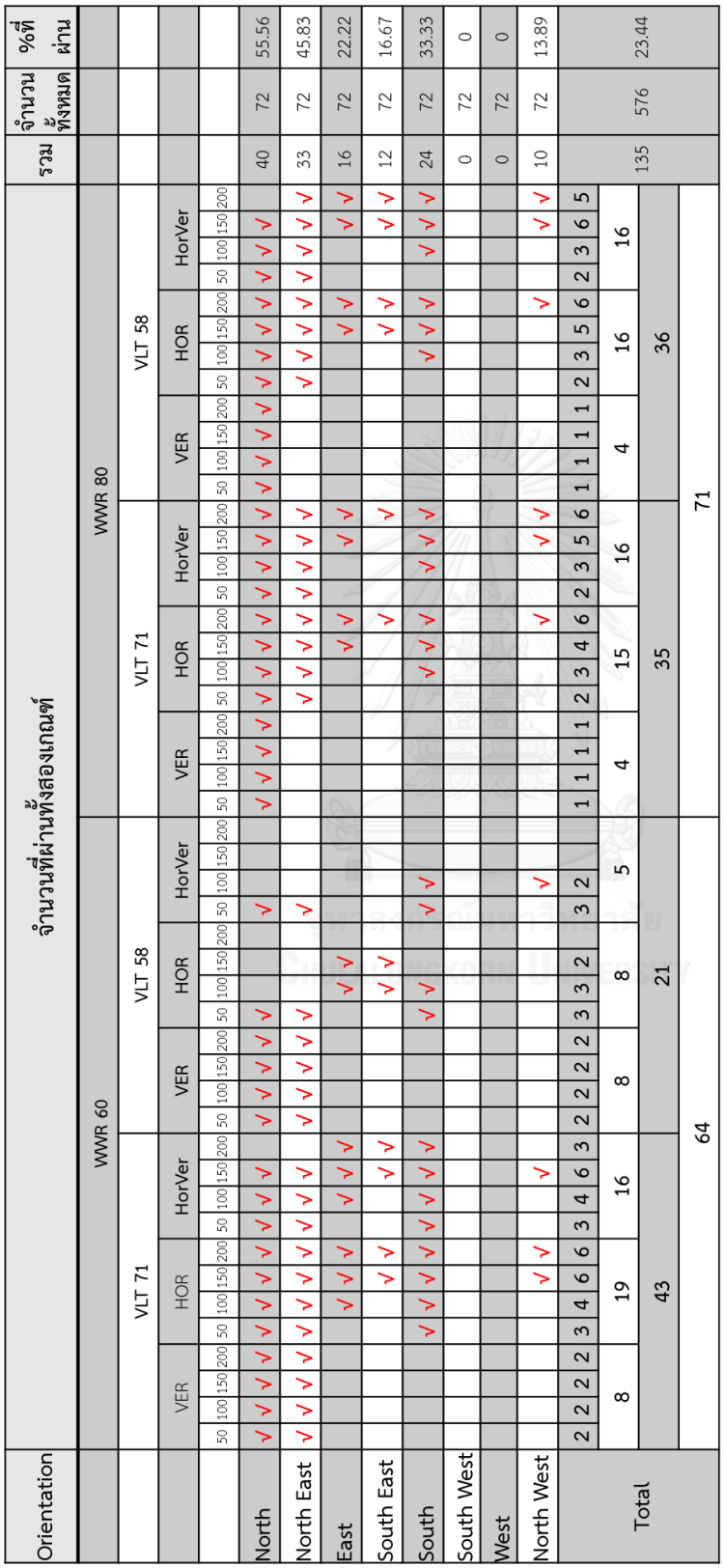
ทิศใต้ ได้รับแสงธรรมชาติมากแต่รับแสงอาทิตย์ตรงได้น้อย เมื่อเป็นกรณี WWR 60 สามารถใช้ร่วมกับกระจก VLT 71 ได้โดยใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนหรือแบบผสมที่ระยะยื่นอย่างน้อย 50 ซม. แต่เมื่อเป็นกรณี WWR 80 ใช้ร่วมกับกระจก VLT 71 และใช้แผงบังแดดแบบแนวนอนหรือแบบผสมที่ระยะยื่นอย่างน้อย 100 ซม.

ทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทั้งสองทิศเมื่อติดตั้งแผงบังแดดทุกรูปแบบและทุกระยะยื่นแล้วก็ยังไม่สามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ได้ เนื่องจากมีปริมาณแสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE เข้ามาในพื้นที่ได้มากเกินไป จึงควรเปิดพื้นที่หน้าต่างให้น้อยและใช้กระจก VLT 58 ในทิศนี้

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ กรณี WWR 60 ควรใช้กระจก VLT 71 และแผงบังแดดแบบแนวนอนหรือแบบผสมที่ระยะยื่น 150 ซม. และกรณี WWR 80 ใช้กับกระจก VLT 71 และแผงบังแดดแบบแนวนอนที่ระยะยื่น 200 ซม. หรือแบบผสมที่ระยะยื่นอย่างน้อย 150 ซม.

รูปแบบการออกแบบเปลือกอาคารและการใช้แผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight ทั้งหมดในแต่ละทิศ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 10 โดยกรณีที่ทำเครื่องหมายถูกสีแดง คือ กรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight

ตารางที่ 10 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดด ที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEEDv4 เรื่องDaylight



5.1.2 การประเมินพลังงาน

เมื่อนำกรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight ทั้งหมด 135 กรณีมาทำการจำลองการใช้พลังงานร่วมกับการติดตั้ง Daylight dimmer แล้วนำมาเปรียบเทียบกรณีที่ไม่ใช้ Daylight dimmer พบว่า กรณีที่ใส่ Daylight dimmer สามารถลดการใช้พลังงานจากกรณีที่ไม่ใส่ Daylight dimmer ได้ในแต่ละกรณีใกล้เคียงกัน คือ 13.85-16.07%

เมื่อนำกรณีที่ติดตั้ง Daylight dimmer มาเปรียบเทียบกับ Base Case ซึ่งเป็นห้องสำนักงานขนาดเดียวกัน คือ 9.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร โดยมีลักษณะที่อ้างอิงตาม ASHRAE 90.1 2010 คือ มี WWR 40 และใช้กระจกที่มีค่า U=6.81 W/m^2 SHGC=0.25 ผลการจำลองพบว่ากรณีที่ใส่ Daylight dimmer สามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้ในทุกกรณี โดยสามารถลดได้ตั้งแต่ 0.47-16.85% และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.04%

สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 และ WWR 60 นั้นให้ผลการลดค่าพลังงานจาก Base Case ได้ใกล้เคียงกัน

การใช้กระจกที่มีค่า VLT 58 จะทำให้ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากกว่าการใช้กระจก VLT 71

การติดตั้งแผงบังแดดทั้ง 3 รูปแบบ ช่วยลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้ใกล้เคียงกัน แต่แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้งจะทำให้มีกรณีที่ช่วยลดพลังงานได้ดีที่สุด อีกทั้งระยะยื่นที่แตกต่างกันก็ให้ผลการลดพลังงานที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน

สามารถสรุปแยกตามแต่ละทิศได้ดังนี้

ทิศเหนือ แต่ละกรณีสามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้โดยเฉลี่ย 13.15% โดยรูปแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ลดพลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด คือ กรณีที่มีสัดส่วน WWR 60 ใช้กระจกที่มี VLT 58 และใช้แผงบังแดดรูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ที่มีระยะยื่น 50 ซม.

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ละกรณีสามารถลดพลังงานจาก Base Case ได้โดยเฉลี่ย 9.02% กรณีที่มี WWR 80 ใช้กระจก VLT 58 และใช้แผงบังแดดรูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ที่มีระยะยื่น 200 ซม. เป็นกรณีที่ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด

ทิศตะวันออก แต่ละกรณีสามารถลดพลังงานจาก Base Case ได้โดยเฉลี่ย 10.57% โดยกรณีที่มี WWR 60 ใช้กระจก VLT 58 และใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่น 150 ซม. เป็นกรณีที่ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด

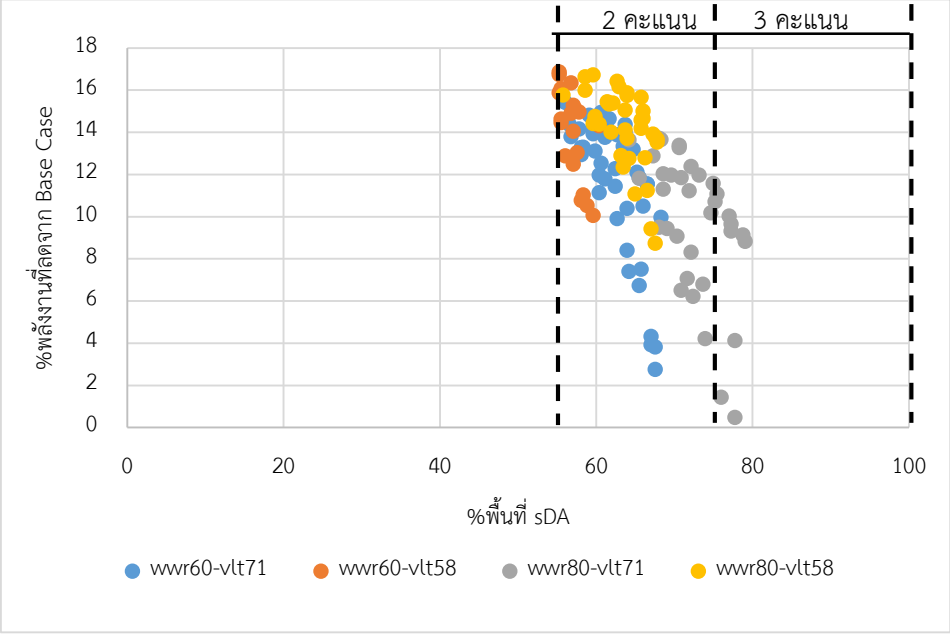
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ แต่ละกรณีสามารถลดพลังงานจาก Base Case ได้โดยเฉลี่ย 12.87% โดยกรณีที่มี WWR 80 ใช้กระจกที่มี VLT 58 และใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 200 ซม. เป็นกรณีที่ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด

ทิศใต้ แต่ละกรณีสามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้โดยเฉลี่ย 13.77% โดยกรณีที่มี WWR 60 ใช้กระจกที่มี VLT 58 และใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. เป็นกรณีที่ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุดในทิศนี้ และมากที่สุดในทุกกรณีด้วย

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แต่ละกรณีสามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้โดยเฉลี่ย 14.90% ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่มากที่สุด โดยกรณีที่มี WWR 60 ใช้กระจกที่มี VLT 58 และใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม. เป็นกรณีที่ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด

5.1.3 การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับการใช้พลังงาน

เมื่อพิจารณาด้านแสงธรรมชาติร่วมกับด้านพลังงาน พบว่ามีแนวโน้มว่ากรณีที่มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA ยิ่งมาก การลดพลังงานจาก Base Case ก็จะยิ่งน้อย ดังแผนภูมิที่ 55



แผนภูมิที่ 55 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA กับเปอร์เซ็นต์การลดการใช้พลังงานจาก Base Case

ในการหันหน้าต่างไปในทุกทิศ จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ส่วนใหญ่กรณีที่มีสัดส่วนหน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง WWR 80 กับการใช้กระจก VLT 71 จะเป็นกรณีที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA มากกว่ากรณีอื่น แต่ก็เป็นกรณีที่สามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้น้อยกว่ากรณีอื่นด้วยเช่นกัน

เกณฑ์ LEED v4 ด้าน Daylight ได้กำหนดการให้คะแนนเป็น 2 ช่วง ตามเกณฑ์ sDA คือ ถ้ากรณีที่มีพื้นที่ที่ได้แสงธรรมชาติตามเกณฑ์ sDA อย่างน้อย 55% จะได้รับ 2 คะแนน และถ้าได้พื้นที่ตามเกณฑ์ sDA อย่างน้อย 75% จะได้รับ 3 คะแนน โดยที่ทั้งสองกรณีต้องมีพื้นที่ตามเกณฑ์ ASE ไม่เกิน 10%

เมื่อพิจารณาตามคะแนนที่ได้ของด้านแสงธรรมชาติ พบว่ากรณีส่วนใหญ่จะได้รับคะแนนด้านแสงธรรมชาติในเกณฑ์ 2 คะแนน คือ มีพื้นที่ตามเกณฑ์ sDA มากกว่า 55% แต่ไม่ถึง 75% มีเพียงบางกรณีที่เกิน 75% โดยที่ทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงเหนือนั้นไม่มีกรณีที่มีพื้นที่ตามเกณฑ์ sDA ที่เกิน 75% เลย

จากแผนภูมิที่ 56 ทำให้เห็นว่าการทำคะแนน Daylight ให้ได้ 3 คะแนนนั้นเป็นเรื่องที่ยาก และกรณีที่ทำคะแนน Daylight ได้ 3 คะแนนนั้นจะมีกรณีที่ลดค่าพลังงานจาก Base Case ได้ต่ำกว่าการได้ 2 คะแนน ทำให้เห็นว่าการทำคะแนน Daylight 3 คะแนนนั้นอาจจะส่งผลเสียต่อการทำคะแนนด้านการประหยัดพลังงาน

คะแนนที่ได้ตามเกณฑ์ด้านแสงสว่างนั้นส่วนใหญ่จะได้รับคะแนนเท่ากัน ทำให้ควรต้องเปรียบเทียบควบคู่กับเกณฑ์ด้านอื่นที่สอดคล้องกัน นั่นคือด้านพลังงาน และควรเลือกใช้กรณีที่สามารถลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากกว่า

กรณีทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์แสงธรรมชาติ และนำมาจำลองการใช้พลังงาน จะได้ผลจากการจำลองด้านแสงสว่างและด้านพลังงานที่ลดลงจาก Base Case ได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สรุปผลการจำลองแสงสว่างและพลังงานของกรณีที่ผ่านเกณฑ์ Daylight แยกตามแต่ละทิศ โดยเรียงลำดับการใช้พลังงานที่ลดลงจาก Base Case จากน้อยไปมาก

กรณี	%พื้นที่ sDA	%พื้นที่ ASE	พลังงานอาคารเมื่อใส่ dimmer (kWh/m^2y)	%ที่ลดลงจาก Base Case
ทิศเหนือ				
n-wwr80-71-ver-50	78.77	3.58	168.93	9.12
n-wwr80-71-ver-100	77.24	3.58	168.58	9.31
n-wwr80-71-ver-150	77.24	3.58	167.96	9.64
n-wwr80-71-ver-200	76.98	3.58	167.25	10.02

กรณี	%พื้นที่ sDA	%พื้นที่ ASE	พลังงานอาคาร เมื่อใส่ dimmer (kWh/m^2y)	%ที่ลดลงจาก Base Case
n-wwr80-71-hor-50	75.19	0.51	165.99	10.70
n-wwr80-71-horver-50	75.45	0.00	165.30	11.08
n-wwr80-71-hor-100	71.87	0.26	165.01	11.23
n-wwr60-71-ver-100	66.50	3.58	164.43	11.54
n-wwr60-71-ver-50	66.50	3.58	164.42	11.55
n-wwr60-71-ver-150	65.47	3.58	163.86	11.85
n-wwr80-71-hor-150	70.84	0.26	163.86	11.85
n-wwr80-71-horver-100	69.57	0.00	163.64	11.97
n-wwr80-71-hor-200	68.54	0.26	163.54	12.02
n-wwr60-71-ver-200	65.22	3.58	163.39	12.10
n-wwr80-71-horver-150	67.26	0.00	161.95	12.87
n-wwr60-71-hor-50	64.45	0.26	161.46	13.14
n-wwr60-71-horver-50	63.43	0.00	161.09	13.34
n-wwr80-58-ver-50	67.77	3.32	160.73	13.53
n-wwr80-71-horver-200	64.19	0.00	160.53	13.64
n-wwr80-58-ver-100	67.77	2.81	160.47	13.67
n-wwr60-71-hor-100	61.13	0.26	160.31	13.76
n-wwr80-58-ver-150	67.26	2.81	160.03	13.91
n-wwr60-71-hor-150	59.59	0.26	160.01	13.92
n-wwr60-71-horver-100	59.59	0.00	159.57	14.15
n-wwr60-71-hor-200	57.80	0.26	159.56	14.16
n-wwr80-58-ver-200	65.73	2.81	159.52	14.18
n-wwr60-71-horver-150	56.52	0.00	159.17	14.37
n-wwr80-58-hor-50	65.73	0.26	158.80	14.57
n-wwr60-58-ver-50	56.78	3.07	158.19	14.90
n-wwr60-58-ver-100	57.80	3.07	158.09	14.95
n-wwr80-58-horver-50	65.98	0.00	158.00	15.00
n-wwr80-58-hor-100	63.68	0.26	157.92	15.05
n-wwr60-58-ver-150	57.29	3.07	157.83	15.09
n-wwr60-58-ver-200	57.03	3.07	157.50	15.27
n-wwr80-58-hor-200	61.64	0.26	157.39	15.33
n-wwr80-58-hor-150	62.15	0.26	157.29	15.38

กรณี	%พื้นที่ sDA	%พื้นที่ ASE	พลังงานอาคาร เมื่อใส่ dimmer (kWh/m^2y)	%ที่ลดลงจาก Base Case
n-wwr80-58-horver-100	61.38	0.00	157.19	15.44
n-wwr60-58-hor-50	55.24	0.26	156.38	15.87
n-wwr80-58-horver-150	58.57	0.00	156.16	15.99
n-wwr60-58-horver-50	55.50	0.00	156.03	16.06
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ				
ne-wwr80-71-hor-50	77.75	8.18	185.01	0.47
ne-wwr80-71-horver-50	75.96	7.42	183.21	1.44
ne-wwr60-71-ver-50	67.52	8.18	180.77	2.75
ne-wwr60-71-ver-100	67.52	7.93	178.79	3.82
ne-wwr60-71-ver-150	67.01	7.93	178.59	3.92
ne-wwr80-71-hor-100	73.91	4.09	178.06	4.21
ne-wwr60-71-ver-200	67.01	7.93	177.87	4.31
ne-wwr80-71-horver-100	72.38	3.32	174.34	6.21
ne-wwr60-71-hor-50	65.47	4.60	173.36	6.74
ne-wwr80-71-hor-150	71.61	1.02	172.74	7.07
ne-wwr60-71-horver-50	64.19	4.09	172.12	7.40
ne-wwr80-58-hor-50	67.52	8.18	169.64	8.74
ne-wwr80-71-hor-200	70.33	1.02	169.02	9.07
ne-wwr80-58-horver-50	67.01	7.42	168.38	9.42
ne-wwr80-71-horver-150	68.03	0.00	168.23	9.50
ne-wwr60-71-hor-100	62.66	2.05	167.49	9.90
ne-wwr60-58-ver-50	59.59	7.93	167.20	10.05
ne-wwr60-58-ver-100	58.82	7.93	166.33	10.52
ne-wwr60-58-ver-150	58.06	7.93	165.88	10.76
ne-wwr60-58-ver-200	58.31	7.93	165.38	11.03
ne-wwr80-58-hor-100	64.96	4.09	165.31	11.07
ne-wwr60-71-horver-100	60.36	0.00	165.19	11.14
ne-wwr80-71-horver-200	65.47	0.00	163.92	11.82
ne-wwr60-71-hor-150	60.36	0.77	163.64	11.97
ne-wwr80-58-horver-100	63.43	3.32	162.94	12.34
ne-wwr60-58-hor-50	57.03	4.35	162.69	12.48
ne-wwr60-58-horver-50	56.01	4.09	161.94	12.88

กรณี	%พื้นที่ sDA	%พื้นที่ ASE	พลังงานอาคาร เมื่อใส่ dimmer (kWh/m^2y)	%ที่ลดลงจาก Base Case
ne-wwr80-58-hor-150	63.17	0.77	161.92	12.89
ne-wwr60-71-hor-200	58.06	0.77	161.83	12.94
ne-wwr60-71-horver-150	58.06	0.00	161.20	13.28
ne-wwr80-58-hor-200	61.89	0.77	159.87	13.99
ne-wwr80-58-horver-150	59.59	0.00	159.09	14.41
ne-wwr80-58-horver-200	55.75	0.00	156.59	15.76
ทิศตะวันออก				
e-wwr80-71-hor-150	77.75	9.72	178.23	4.12
e-wwr80-71-horver-150	70.84	7.67	173.79	6.51
e-wwr80-71-hor-200	73.66	6.39	173.26	6.79
e-wwr60-71-hor-100	65.73	8.95	171.94	7.50
e-wwr60-71-horver-100	63.94	8.18	170.27	8.40
e-wwr80-71-horver-200	69.05	3.32	168.34	9.44
e-wwr60-71-hor-150	63.94	5.63	166.58	10.38
e-wwr80-58-hor-150	66.50	9.72	165.00	11.24
e-wwr60-71-horver-150	61.13	3.84	163.97	11.79
e-wwr60-71-hor-200	62.40	2.05	163.08	12.27
e-wwr80-58-hor-200	64.19	6.39	162.17	12.76
e-wwr80-58-horver-150	63.43	7.67	162.12	12.78
e-wwr60-58-hor-100	57.54	8.95	161.67	13.03
e-wwr60-71-horver-200	58.31	0.00	161.18	13.29
e-wwr80-58-horver-200	60.36	3.32	159.17	14.37
e-wwr60-58-hor-150	55.50	5.63	159.00	14.46
ทิศตะวันออกเฉียงใต้				
se-wwr80-71-hor-200	72.12	8.95	170.45	8.30
se-wwr80-71-horver-200	68.54	7.42	164.87	11.30
se-wwr60-71-hor-150	62.40	8.95	164.64	11.43
se-wwr60-71-hor-200	60.61	5.37	162.59	12.53
se-wwr80-58-hor-150	66.24	9.72	162.10	12.79
se-wwr60-71-horver-150	59.85	7.93	161.51	13.11
se-wwr80-58-hor-200	63.94	6.39	160.40	13.71
se-wwr60-71-horver-200	56.78	3.58	160.25	13.79

กรณี	%พื้นที่ sDA	%พื้นที่ ASE	พลังงานอาคาร เมื่อใส่ dimmer (kWh/m^2y)	%ที่ลดลงจาก Base Case
se-wwr60-58-hor-100	57.03	9.46	159.79	14.04
se-wwr80-58-horver-150	63.68	8.44	159.65	14.11
se-wwr60-58-hor-150	55.50	6.14	158.71	14.62
se-wwr80-58-horver-200	59.85	4.09	158.48	14.74
ทิศใต้				
s-wwr80-71-hor-100	79.03	9.72	169.48	8.82
s-wwr60-71-hor-50	68.29	8.95	167.37	9.96
s-wwr80-71-horver-100	74.68	7.16	166.98	10.17
s-wwr60-71-horver-50	65.98	8.70	166.39	10.49
s-wwr80-71-hor-150	74.94	7.93	164.38	11.57
s-wwr80-71-hor-200	73.15	6.91	163.65	11.96
s-wwr60-71-hor-100	64.71	5.88	161.37	13.19
s-wwr80-71-horver-150	70.59	2.81	161.21	13.27
s-wwr80-71-horver-200	68.29	0.00	160.51	13.65
s-wwr80-58-hor-100	67.52	9.46	160.28	13.78
s-wwr60-71-hor-150	62.66	3.32	160.09	13.88
s-wwr60-71-horver-100	63.68	5.88	159.88	13.99
s-wwr60-58-hor-50	60.36	8.95	159.31	14.30
s-wwr60-71-hor-200	60.36	2.56	158.81	14.57
s-wwr60-58-horver-50	59.85	8.70	158.68	14.64
s-wwr80-58-horver-100	65.98	6.65	158.64	14.66
s-wwr60-71-horver-150	59.08	0.00	158.36	14.81
s-wwr60-71-horver-200	56.01	0.00	157.23	15.41
s-wwr80-58-hor-150	65.73	6.39	156.78	15.66
s-wwr80-58-hor-200	63.94	4.09	156.62	15.74
s-wwr80-58-horver-150	62.92	2.30	155.85	16.16
s-wwr60-58-hor-100	56.78	5.88	155.52	16.34
s-wwr80-58-horver-200	59.59	0.00	154.81	16.71
s-wwr60-58-horver-100	55.24	4.35	154.56	16.85
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ				
nw-wwr80-71-hor-200	72.12	9.21	162.89	12.37
nw-wwr80-71-horver-150	70.59	9.72	161.02	13.38

กรณี	%พื้นที่ sDA	%พื้นที่ ASE	พลังงานอาคาร เมื่อใส่ dimmer (kWh/m^2y)	%ที่ลดลงจาก Base Case
nw-wwr80-71-horver-200	68.03	6.14	160.40	13.71
nw-wwr60-71-hor-150	63.68	8.95	159.19	14.36
nw-wwr60-71-hor-200	61.64	6.39	158.68	14.64
nw-wwr60-71-horver-150	60.61	6.65	158.11	14.94
nw-wwr80-58-hor-200	63.94	8.70	156.40	15.86
nw-wwr80-58-horver-150	62.66	8.70	155.36	16.42
nw-wwr80-58-horver-200	58.57	5.12	154.98	16.62
nw-wwr60-58-horver-100	55.24	9.97	154.77	16.74

5.1.4 พิจารณาค่า OTTV

เมื่อนำกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งแผงบังแดดมาคำนวณค่า OTTV หรือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร เมื่อใช้ WWR 80 และ WWR 60 กับกระจก VLT 71 และ VLT 58 โดยใช้อาคารสำนักงานที่อ้างอิงจากงานวิจัยของสวิชญา ดาวประกายมงคล (2552) ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานขนาด กว้าง 28 เมตร ยาว 36 เมตร จำนวนชั้น 30 ชั้น สูงชั้นละ 4 เมตร รวมความสูง 120 เมตร โดยหันอาคารด้านยาวไปทางทิศเหนือ-ใต้ ได้ค่า OTTV ดังนี้

- กรณี WWR 80 กับกระจก VLT 71 SHGC 0.52 มีค่า OTTV 92 W/m^2
- กรณี WWR 80 กับกระจก VLT 58 SHGC 0.34 มีค่า OTTV 55 W/m^2
- กรณี WWR 60 กับกระจก VLT 71 SHGC 0.52 มีค่า OTTV 71 W/m^2.
- กรณี WWR 60 กับกระจก VLT 58 SHGC 0.34 มีค่า OTTV 43 W/m^2

จะเห็นว่าทั้ง WWR 80 และ WWR 60 การใช้กระจก VLT 71 ทำให้มีค่า OTTV สูงมาก สูงเกินกว่ากฎหมายกำหนดสำหรับอาคารสำนักงาน คือ 50 W/m^2 แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้กระจก VLT 58 จะช่วยลดค่า OTTV ลงได้อย่างมาก จนทำให้การใช้ WWR 80 มีค่า OTTV เกิน 50 W/m^2 เล็กน้อย และ WWR 60 มีค่า OTTV ต่ำกว่า 50 W/m^2

เมื่อนำทั้ง 4 กรณีมาติดตั้งแผงบังแดดในแต่ละทิศ โดยใช้รูปแบบแผงบังแดดที่ทำให้ลดการใช้พลังงานจาก Base Case ได้มากที่สุด ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 5.1.2 นั่นคือ

- ทิศเหนือ ใช้แผงบังแดดรูปแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ที่มีระยะยื่น 50 ซม.
- ทิศตะวันออก ใช้แผงบังแดดแบบแนวนอน ระยะยื่น 150
- ทิศใต้ ใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 100 ซม.

- ทิศตะวันตก ไม่ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานเนื่องจากไม่ผ่านเกณฑ์ด้าน Daylight แต่ได้เลือกใช้แผงบังแดดแบบผสมแนวนอนและแนวตั้ง ระยะยื่น 150 ซม. ซึ่งเป็นรูปแบบที่ได้แสงธรรมชาติผ่านตามเกณฑ์ sDA และได้แสงอาทิตย์ตรงตามเกณฑ์ ASE ในปริมาณน้อย

เมื่อคำนวณค่า OTTV ของกรณีที่ติดตั้งแผงบังแดดดังกล่าว ได้ดังนี้

- กรณี WWR 80 กับกระจก VLT 71 SHGC 0.52 มีค่า OTTV 74 W/m^2
- กรณี WWR 80 กับกระจก VLT 58 SHGC 0.34 มีค่า OTTV 43 W/m^2
- กรณี WWR 60 กับกระจก VLT 71 SHGC 0.52 มีค่า OTTV 56 W/m^2.
- กรณี WWR 60 กับกระจก VLT 58 SHGC 0.34 มีค่า OTTV 33 W/m^2

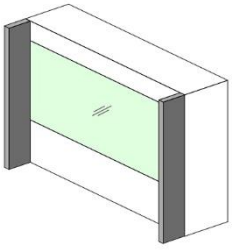
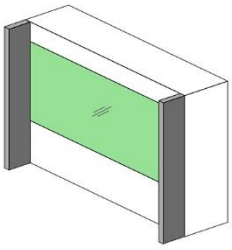
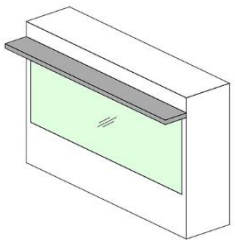
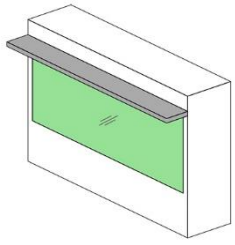
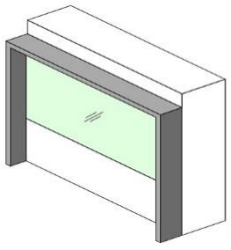
เมื่อใส่แผงบังแดดรูปแบบและระยะยื่นดังกล่าว ทำให้กรณีที่ใช้กระจก VLT 58 มีค่า OTTV ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

5.1.5 การนำไปใช้ในการออกแบบ

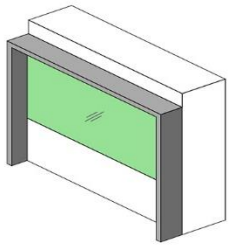
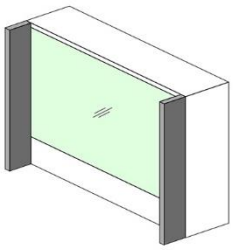
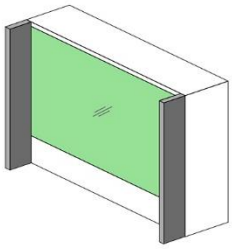
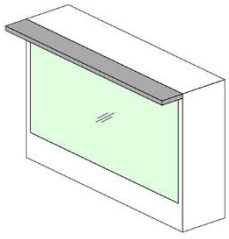
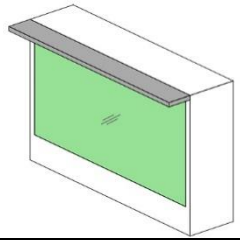
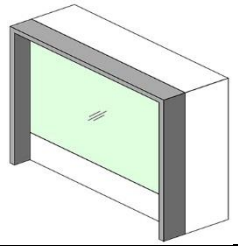
จากการวิจัยทำให้ได้แนวทางในการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดในทิศต่าง ๆ ให้ได้รับแสงธรรมชาติมีความสว่างผ่านตามเกณฑ์ LEED v4 ในเรื่อง Daylight ซึ่งในแต่ละทิศจะมีรูปแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่เหมาะสมแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 12-17 นอกจากนี้ผลการวิจัยสามารถบอกได้ว่าสามารถเปิดช่องเปิดในทิศเหนือได้มาก เนื่องจากช่องเปิดในทิศเหนือจะผ่านเกณฑ์ได้ง่ายกว่าทิศอื่น และไม่ควรเปิดช่องเปิดในทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้

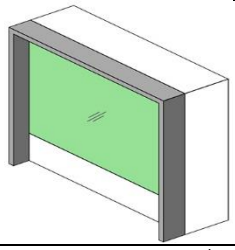
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศเหนือ

ทิศเหนือ							
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^{2}y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	50 100 150 200	66.5 66.5 65.5 65.2	3.6 3.6 3.6 3.6	164.4 164.4 163.9 163.4	11.5 11.5 11.8 12.1
	60	58	50 100 150 200	56.8 57.8 57.3 57.0	3.1 3.1 3.1 3.1	158.2 158.1 157.8 157.5	14.9 15.0 15.1 15.3
	60	71	50 100 150 200	64.5 61.1 59.6 57.8	0.3 0.3 0.3 0.3	161.5 160.3 160.0 159.6	13.1 13.8 13.9 14.2
	60	58	50	55.2	0.3	156.4	15.9
	60	71	50 100 150	63.4 59.6 56.5	0.0 0.0 0.0	161.1 159.6 159.2	13.3 14.2 14.4

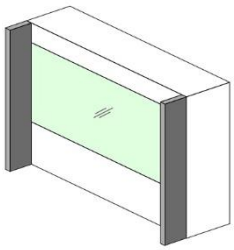
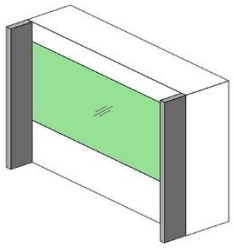
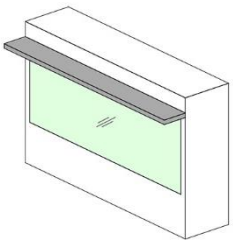
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

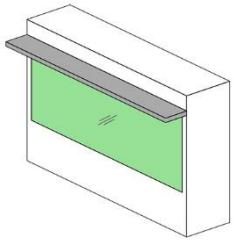
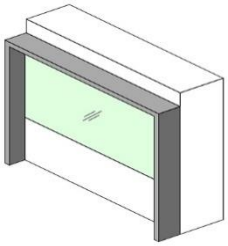
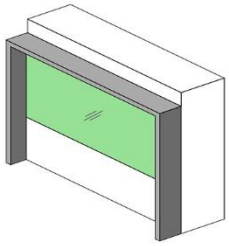
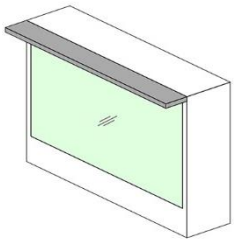
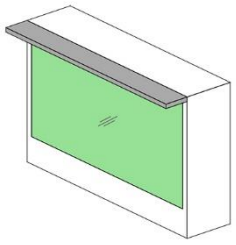
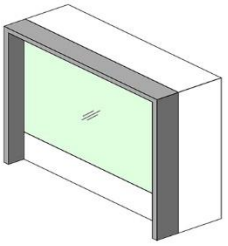
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^{2}y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	58	50	55.5	0.0	156.0	16.1*
	80	71	50 100 150 200	78.8 77.2 77.2 77.0	3.6 3.6 3.6 3.6	168.9 168.6 168.0 167.3	9.1 9.3 9.6 10.0
	80	58	50 100 150 200	67.8 67.8 67.3 65.7	3.3 2.8 2.8 2.8	160.7 160.5 160.0 159.5	13.5 13.7 13.9 14.2
	80	71	50 100 150 200	75.2 71.9 70.8 68.5	0.5 0.3 0.3 0.3	166.0 165.0 163.9 163.5	10.7 11.2 11.8 12.0
	80	58	50 100 150 200	65.7 63.7 62.1 61.6	0.3 0.3 0.3 0.3	158.8 157.9 157.3 157.4	14.6 15.0 15.4 15.3
	80	71	50 100 150 200	75.4 69.6 67.3 64.2	0.0 0.0 0.0 0.0	165.3 163.6 162.0 160.5	11.1 12.0 12.9 13.6

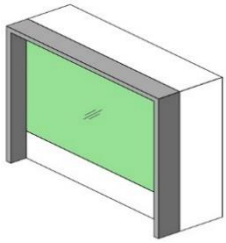
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	80	58	50 100 150	66.0 61.4 58.6	0.0 0.0 0.0	158.0 157.2 156.2	15.0 15.4 16.0

*เปอร์เซ็นต์พลังงานที่ลดลงจาก Base Case มากที่สุด

ตารางที่ 13 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

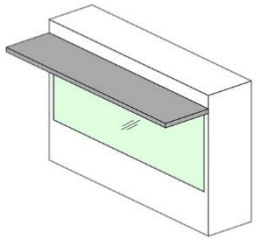
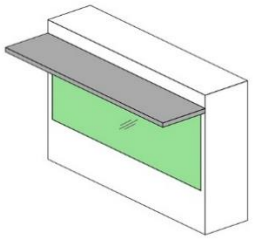
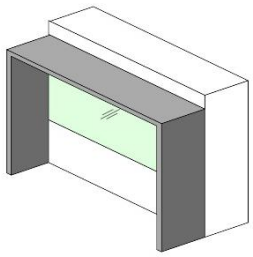
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ							
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	50 100 150 200	67.5 67.5 67.0 67.0	8.2 7.9 7.9 7.9	180.8 178.8 178.6 177.9	2.8 3.8 3.9 4.3
	60	58	50 100 150 200	59.6 58.8 58.1 58.3	7.9 7.9 7.9 7.9	167.2 166.3 165.9 165.4	10.0 10.5 10.8 11.0
	60	71	50 100 150 200	65.5 62.7 60.4 58.1	4.6 2.0 0.8 0.8	173.4 167.5 163.6 161.8	6.7 9.9 12.0 12.9

ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	58	50	57.0	4.3	162.7	12.5
	60	71	50 100 150	64.2 60.4 58.1	4.1 0.0 0.0	172.1 165.2 161.2	7.4 11.1 13.3
	60	58	50	56.0	4.1	161.9	12.9
	80	71	50 100 150 200	77.7 73.9 71.6 70.3	8.2 4.1 1.0 1.0	185.0 178.1 172.7 169.0	0.5 4.2 7.1 9.1
	80	58	50 100 150 200	67.5 65.0 63.2 61.9	8.2 4.1 0.8 0.8	169.6 165.3 161.9 159.9	8.7 11.1 12.9 14.0
	80	71	50 100 150 200	76.0 72.4 68.0 65.5	7.4 3.3 0.0 0.0	183.2 174.3 168.2 163.9	1.4 6.2 9.5 11.8

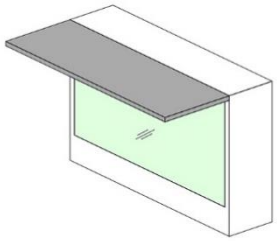
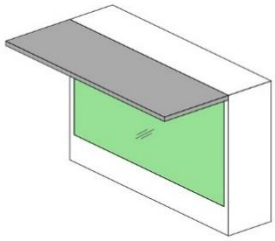
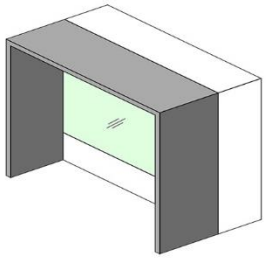
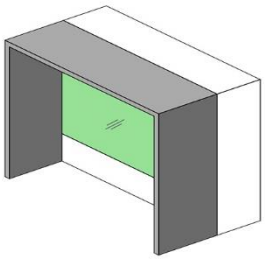
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	80	58	50 100 150 200	67.0 63.4 59.6 55.8	7.4 3.3 0.0 0.0	168.4 162.9 159.1 156.6	9.4 12.3 14.4 15.8*

*เปอร์เซ็นต์พลังงานที่ลดลงจาก Base Case มากที่สุด

ตารางที่ 14 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันออก

ทิศตะวันออก							
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	100 150 200	65.7 63.9 62.4	9.0 5.6 2.0	171.9 166.6 163.1	7.5 10.4 12.3
	60	58	100 150	57.5 55.5	9.0 5.6	161.7 159.0	13.0 14.5*
	60	71	100 150 200	63.9 61.1 58.3	8.2 3.8 0.0	170.3 164.0 161.2	8.4 11.8 13.3

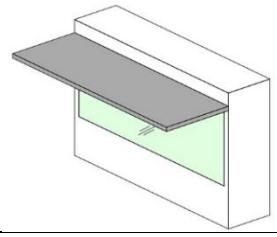
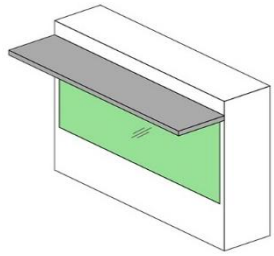
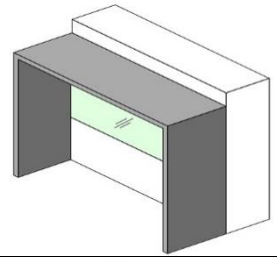
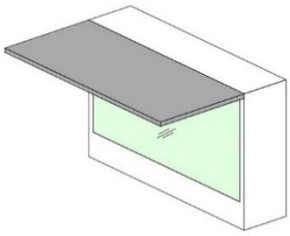
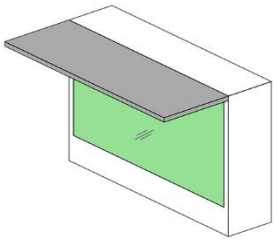
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

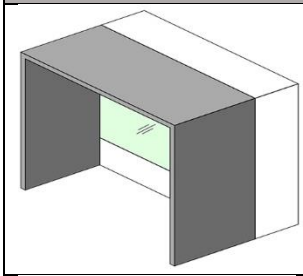
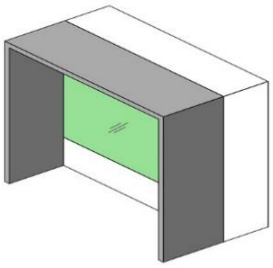
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	80	71	150 200	77.7 73.7	9.7 6.4	178.2 173.3	4.1 6.8
	80	58	150 200	66.5 64.2	9.7 6.4	165.0 162.2	11.2 12.8
	80	71	150 200	70.8 69.1	7.7 3.3	173.8 168.3	6.5 9.4
	80	58	150 200	63.4 60.4	7.7 3.3	162.1 159.2	12.8 14.4

*เปอร์เซ็นต์พลังงานที่ลดลงจาก Base Case มากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

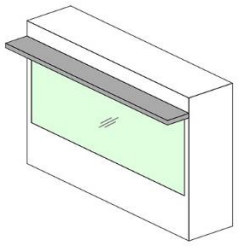
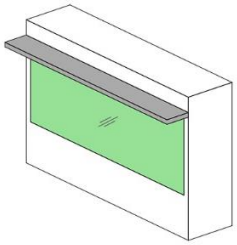
ตารางที่ 15 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงใต้

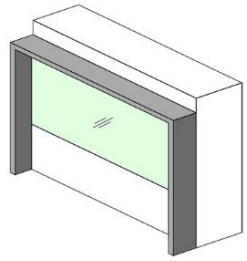
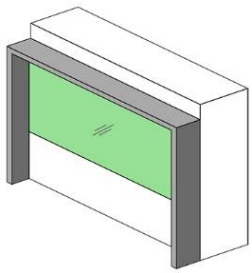
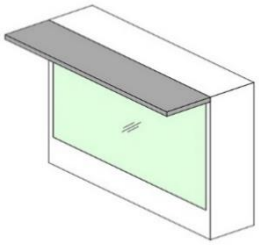
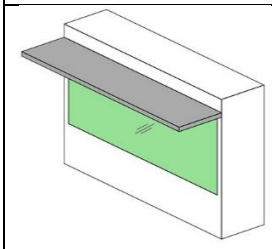
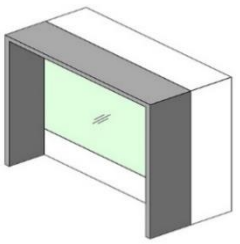
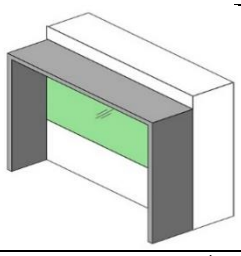
ทิศตะวันออกเฉียงใต้							
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	150 200	62.4 60.6	9.0 5.4	164.6 162.6	11.4 12.5
	60	58	100 150	57.0 55.5	9.5 6.1	159.8 158.7	14.0 14.6
	60	71	150 200	59.8 56.8	7.9 3.6	161.5 160.3	13.1 13.8
	80	71	200	72.1	9.0	170.5	8.3
	80	58	150 200	66.2 63.9	9.7 6.4	162.1 160.4	12.8 13.7

ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	80	71	200	68.5	7.4	164.9	11.3
	80	58	150 200	63.7 59.8	8.4 4.1	159.6 158.5	14.1 14.7*

*เปอร์เซ็นต์พลังงานที่ลดลงจาก Base Case มากที่สุด

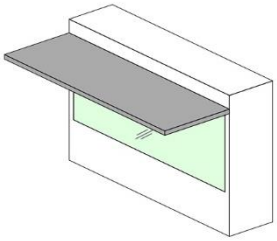
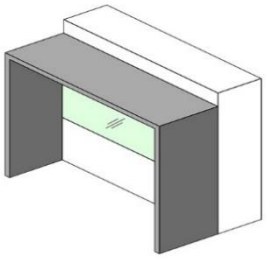
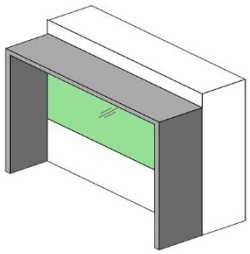
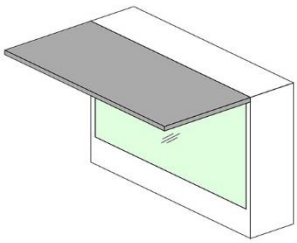
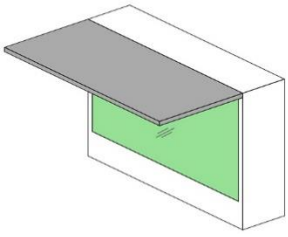
ตารางที่ 16 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศใต้

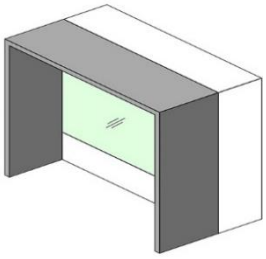
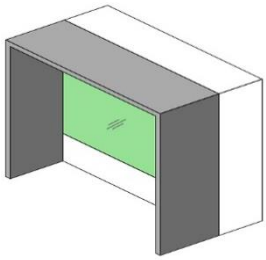
ทิศใต้							
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^2y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	50 100 150 200	68.3 64.7 62.7 60.4	9.0 5.9 3.3 2.6	167.4 161.4 160.1 158.8	10.0 13.2 13.9 14.6
	60	58	50 100	60.4 56.8	9.0 5.9	159.3 155.5	14.3 16.3

ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^{2}y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	50 100 150 200	66.0 63.7 59.1 56.0	8.7 5.9 0.0 0.0	166.4 159.9 158.4 157.2	10.5 14.0 14.8 15.4
	60	58	50 100	59.8 55.2	8.7 4.3	158.7 154.6	14.6 16.8*
	80	71	100 150 200	79.0 74.9 73.1	9.7 7.9 6.9	169.5 164.4 163.6	8.8 11.6 12.0
	80	58	100 150 200	67.5 65.7 63.9	9.5 6.4 4.1	160.3 156.8 156.6	13.8 15.7 15.7
	80	71	100 150 200	74.7 70.6 68.3	7.2 2.8 0.0	167.0 161.2 160.5	10.2 13.3 13.7
	80	58	100 150 200	66.0 62.9 59.6	6.6 2.3 0.0	158.6 155.9 154.8	14.7 16.2 16.7

*เปอร์เซ็นต์พลังงานที่ลดลงจาก Base Case มากที่สุด

ตารางที่ 17 สรุปแนวทางการออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้ผ่านเกณฑ์ LEED v4 เรื่อง Daylight และค่าการใช้พลังงาน เมื่อห้องมีขนาด 9x12 เมตร ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ							
ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^{2}y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	60	71	150 200	63.7 61.6	9.0 6.4	159.2 158.7	14.4 14.6
	60	71	150	60.6	6.6	158.1	14.9
	60	58	100	55.2	10.0	154.8	16.7*
	80	71	200	72.1	9.2	162.9	12.4
	80	58	200	63.9	8.7	156.4	15.9

ลักษณะแผงบังแดด	WWR	VLT	ระยะยื่น (cm)	% พื้นที่ sDA	% พื้นที่ ASE	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/m^{2}y)	% พลังงานที่ลดลงจาก Base Case
	80	71	150 200	70.6 68.0	9.7 6.1	161.0 160.4	13.4 13.7
	80	58	150 200	62.7 58.6	8.7 5.1	155.4 155.0	16.4 16.6

*เปอร์เซ็นต์พลังงานที่ลดลงจาก Base Case มากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ในส่วนของการศึกษาเรื่องแสงธรรมชาตินั้นได้พิจารณาเฉพาะเรื่องความสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องอื่นที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร ซึ่งการศึกษาเรื่องของการใช้แสงธรรมชาติในอาคารนั้นมีสิ่งที่ควรศึกษานอกจากเรื่องความสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร ยังมีเรื่องของความจ้าของแสงที่ควรคำนึงด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดการรบกวนการทำงานของผู้ใช้อาคารได้ โดยที่บางกรณีที่มีแสงสว่างที่ผ่านเกณฑ์แล้วแต่ก็อาจจะมีความจ้าที่มากเกินไปได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรพิจารณาเรื่องความจ้าของแสงเพิ่มเติมด้วย

ในการจำลองการใช้พลังงานนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานเฉพาะของห้องสำนักงานมาตรฐาน โดยที่ไม่ได้จำลองอาคารทั้งอาคาร ซึ่งในการทำงานจริงจำเป็นต้องมีการคำนวณการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร ในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรมีการจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานทั้งอาคารเพื่อให้ผลการจำลองที่เป็นจริงมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้มีการคำนวณค่า OTTV ของอาคารสำนักงานที่ใช้แผงบังแดดที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุดเท่านั้น โดยไม่ได้ศึกษาถึงการใช้แผงบังแดดกรณีอื่น ซึ่งกรณีที่ผ่าน

เกณฑ์ Daylight นั้นมีจำนวนหลายกรณี การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมถึงค่า OTTV ของอาคารที่มีการใช้แผงบังแดดกรณีอื่นด้วยเช่นกัน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องการประหยัดพลังงานอาคารโดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร โดยการติดตั้งอุปกรณ์หรี่ไฟอัตโนมัติตามปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามา หรือ Daylight Dimmer ซึ่งใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์รับแสงธรรมชาติ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีค่าต้นทุนในการติดตั้งที่ต้องเพิ่มเข้ามา ซึ่งงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาเรื่องงบประมาณและการลงทุนว่ามีการคุ้มทุนหรือไม่ เพราะฉะนั้นงานวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาเรื่องการลงทุนด้วยเพื่อศึกษาว่าการประหยัดพลังงานที่สามารถทำได้จากการใช้แสงธรรมชาตินั้นคุ้มค่ากับการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้หรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกวรรณ อุสันโน. (2539). รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน : การให้แสงสว่างธรรมชาติ และลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กฤติน อัศวชัย. (2558). ประสิทธิภาพการลดภาวะไม่สบายตาจากแผงบังแดดปรับองศากับช่องเปิดทิศใต้และทิศตะวันตก. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล., *20*, 106-116.

คมกฤช ชูเกียรติมั่น. (2540). การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์. (2553). การประเมินแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติของสำนักงานที่มีการติดตั้งแผงบังแดดภายนอก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

น้ำผึ้ง สายหงส์ และอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2550). แนวทางการออกแบบแสงสว่างในห้องเรียนสื่อผสม. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 5*(1), 67-81.

นุภาพ แย้มไตรพัฒน์. (2549). การจำลองสภาพการเกิดเงาบนหน้าต่างจากอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอนและแนวตั้งด้วยคอมพิวเตอร์. วิศวกรรมสาร มข., *33*(4), 391-402.

พรรณวดี มงคลเจริญ. (2556). ประโยชน์เชิงธุรกิจในการพัฒนาอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รฐา จิตตวิสุทธิกุล และ จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์. (2557). แนวทางการออกแบบกรอบอาคารสำนักงานโดยการบังแดดด้วยรูปทรงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในเขตร้อนชื้น. *JARS, 11*(1), 93-107.

สวิชญา ดาวประกายมงคล. (2552). แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.*255.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สักการ ราษีสุทธิ์. (2550). การศึกษาและวิจัยเพื่อจัดทำหลักเกณฑ์การประเมินการใช้แผงกันแดดกับอาคารเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. Paper presented at the การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

Atzeria, A., Cappellettib, F., & Gasparella, A. (2014). . Internal versus external shading devices performance in office buildings. *Energy Procedia, 45*, 463-472.

Baker, N. (2000). *We are all outdoor animals.* Paper presented at the 17th International Passive and Low Energy Architecture Conference (PLEA 2000), Cambridge, UK.

California Energy Commission. (2003). *Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*. California, USA.

Egan, M. D., & Olgyay, V. (2002). *Architectural Lighting*. New York: McGraw-Hill.

IES. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight (ASE).*

Minnesota Sustainable Housing Initiative. (2015). Window Area and Orientation. Retrieved 28 November, 2015, from http://www.mnshi.umn.edu/kb/scale/windowsa_o.html

Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Building, 33*, 683-697.

Sanati, L., & Utzinger, M. (2013). The effect of window shading design on occupant use of blinds and electric lighting. *Building and Environment, 64*, 67-76.

Sherif, A. H., Sabry, H. M., & Gadelhak, M. I. (2012). The impact of changing solar screen rotation angle and its opening aspect ratio on Daylight Availability in residential desert buildings. *Solar Energy, 86*, 3353-3363.

U.S. Green Building Council. (2013). *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*. Washington, DC.

U.S. Green Building Council. (2014). *LEED V4 for Building Design and Construction*. Washington, DC.

Wong, N. H., & Istiadji, A. D. (2004). Effect of external shading devices on daylighting penetration in residential buildings. *Lighting Res. Technol, 36*(4), 317-333.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ผลการจำลองแสงธรรมชาติของทุกกรณี โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ sDA และ ASE

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
เหนือ	Ver 50	VLT 71	66.50	3.58	78.77	3.58
เหนือ	Ver 50	VLT 58	56.78	3.07	67.77	3.32
เหนือ	Ver 50	VLT 35	42.71	0.00	50.38	0.00
เหนือ	Ver 50	VLT 71	66.50	3.58	77.24	3.58
เหนือ	Ver 50	VLT 58	57.80	3.07	67.77	2.81
เหนือ	Ver 50	VLT 35	43.73	0.00	49.87	0.00
เหนือ	Ver 50	VLT 71	65.47	3.58	77.24	3.58
เหนือ	Ver 50	VLT 58	57.29	3.07	67.26	2.81
เหนือ	Ver 50	VLT 35	42.71	0.00	50.13	0.00
เหนือ	Ver 50	VLT 71	65.22	3.58	76.98	3.58
เหนือ	Ver 50	VLT 58	57.03	3.07	65.73	2.81
เหนือ	Ver 50	VLT 35	41.94	0.00	50.13	0.00
เหนือ	Hor 50	VLT 71	64.45	0.26	75.19	0.51
เหนือ	Hor 50	VLT 58	55.24	0.26	65.73	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 35	40.92	0.00	49.10	0.00
เหนือ	Hor 50	VLT 71	61.13	0.26	71.87	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 58	53.71	0.26	63.68	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 35	38.11	0.00	46.55	0.00
เหนือ	Hor 50	VLT 71	59.59	0.26	70.84	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 58	51.92	0.26	62.15	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 35	36.83	0.00	44.50	0.00
เหนือ	Hor 50	VLT 71	57.80	0.26	68.54	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 58	50.90	0.26	61.64	0.26
เหนือ	Hor 50	VLT 35	35.04	0.00	42.97	0.00
เหนือ	Hor+Ver 50	VLT 71	63.43	0.00	75.45	0.00
เหนือ	Hor+Ver 50	VLT 58	55.50	0.00	65.98	0.00
เหนือ	Hor+Ver 50	VLT 35	40.15	0.00	48.34	0.00
เหนือ	Hor+Ver 100	VLT 71	59.59	0.00	69.57	0.00
เหนือ	Hor+Ver 100	VLT 58	52.69	0.00	61.38	0.00
เหนือ	Hor+Ver 100	VLT 35	36.83	0.00	44.50	0.00

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
เหนือ	Hor+Ver 150	VLT 71	56.52	0.00	67.26	0.00
เหนือ	Hor+Ver 150	VLT 58	50.13	0.00	58.57	0.00
เหนือ	Hor+Ver 150	VLT 35	34.02	0.00	41.94	0.00
เหนือ	Hor+Ver 200	VLT 71	53.45	0.00	64.19	0.00
เหนือ	Hor+Ver 200	VLT 58	47.31	0.00	54.48	0.00
เหนือ	Hor+Ver 200	VLT 35	32.74	0.00	39.13	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	67.52	8.18	82.35	11.25
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	59.59	7.93	68.54	11.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	43.73	7.67	51.15	7.42
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	67.52	7.93	78.77	10.74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	58.82	7.93	67.77	10.74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	44.25	7.67	50.38	7.42
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	67.01	7.93	78.77	10.74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	58.06	7.93	68.29	10.74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	43.73	7.67	50.38	7.42
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	67.01	7.93	79.54	10.74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	58.31	7.93	67.52	10.74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	43.22	7.67	50.13	7.42
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	65.47	4.60	77.75	8.18
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	57.03	4.35	67.52	8.18
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	42.20	4.09	49.62	4.35
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	62.66	2.05	73.91	4.09
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	54.73	0.77	64.96	4.09
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	39.64	0.26	47.57	1.02
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	60.36	0.77	71.61	1.02
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	53.71	0.51	63.17	0.77
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	37.60	0.00	45.78	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	58.06	0.77	70.33	1.02
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	51.41	0.26	61.89	0.77
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	35.29	0.00	43.73	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 50	VLT 71	64.19	4.09	75.96	7.42
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 50	VLT 58	56.01	4.09	67.01	7.42
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 50	VLT 35	41.18	3.84	49.62	3.84

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 100	VLT 71	60.36	0.00	72.38	3.32
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 100	VLT 58	53.71	0.00	63.43	3.32
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 100	VLT 35	37.85	0.00	45.78	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 150	VLT 71	58.06	0.00	68.03	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 150	VLT 58	50.64	0.00	59.59	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 150	VLT 35	34.53	0.00	42.46	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 200	VLT 71	54.48	0.00	65.47	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 200	VLT 58	49.10	0.00	55.75	0.00
ตะวันออกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 200	VLT 35	32.99	0.00	40.15	0.00
ตะวันออก	Ver 50	VLT 71	69.82	16.37	87.47	20.46
ตะวันออก	Ver 50	VLT 58	61.89	16.37	70.84	20.46
ตะวันออก	Ver 50	VLT 35	45.52	16.11	52.17	16.37
ตะวันออก	Ver 50	VLT 71	69.31	16.37	87.21	20.46
ตะวันออก	Ver 50	VLT 58	61.89	16.37	70.33	19.95
ตะวันออก	Ver 50	VLT 35	45.78	19.44	51.92	16.11
ตะวันออก	Ver 50	VLT 71	69.05	16.37	85.93	20.46
ตะวันออก	Ver 50	VLT 58	60.61	16.37	69.31	19.95
ตะวันออก	Ver 50	VLT 35	44.76	23.27	52.17	16.11
ตะวันออก	Ver 50	VLT 71	68.54	16.37	84.65	20.46
ตะวันออก	Ver 50	VLT 58	60.87	16.37	69.31	19.69
ตะวันออก	Ver 50	VLT 35	45.52	16.11	51.66	16.11
ตะวันออก	Hor 50	VLT 71	67.77	12.79	86.70	16.11
ตะวันออก	Hor 50	VLT 58	59.85	12.79	70.08	16.11
ตะวันออก	Hor 50	VLT 35	43.48	12.53	50.64	12.79
ตะวันออก	Hor 50	VLT 71	65.73	8.95	80.05	13.04
ตะวันออก	Hor 50	VLT 58	57.54	8.95	68.29	13.04
ตะวันออก	Hor 50	VLT 35	41.69	8.44	50.13	8.70
ตะวันออก	Hor 50	VLT 71	63.94	5.63	77.75	9.72
ตะวันออก	Hor 50	VLT 58	55.50	5.63	66.50	9.72
ตะวันออก	Hor 50	VLT 35	39.39	4.86	47.83	5.37
ตะวันออก	Hor 50	VLT 71	62.40	2.05	73.66	6.39
ตะวันออก	Hor 50	VLT 58	54.48	1.79	64.19	6.39
ตะวันออก	Hor 50	VLT 35	38.36	1.28	46.29	1.79

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ตะวันออก	Hor+Ver 50	VLT 71	67.26	12.53	85.42	15.86
ตะวันออก	Hor+Ver 50	VLT 58	59.08	12.53	68.80	15.86
ตะวันออก	Hor+Ver 50	VLT 35	42.71	12.28	50.64	13.04
ตะวันออก	Hor+Ver 100	VLT 71	63.94	8.18	76.21	12.02
ตะวันออก	Hor+Ver 100	VLT 58	54.48	8.18	65.73	12.02
ตะวันออก	Hor+Ver 100	VLT 35	39.64	7.93	50.64	8.18
ตะวันออก	Hor+Ver 150	VLT 71	61.13	3.84	70.84	7.67
ตะวันออก	Hor+Ver 150	VLT 58	53.71	3.84	63.43	7.67
ตะวันออก	Hor+Ver 150	VLT 35	37.60	3.58	45.27	3.84
ตะวันออก	Hor+Ver 200	VLT 71	58.31	0.00	69.05	3.32
ตะวันออก	Hor+Ver 200	VLT 58	51.15	0.00	60.36	3.32
ตะวันออก	Hor+Ver 200	VLT 35	34.53	0.00	41.94	0.00
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	70.08	20.72	89.26	24.81
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	61.89	17.39	71.87	21.48
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	46.29	16.62	52.94	20.46
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	70.08	20.72	86.70	24.81
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	61.13	17.39	71.61	21.48
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	46.04	16.62	52.69	20.20
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	69.57	20.72	86.70	24.81
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	61.64	17.39	71.10	21.48
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	46.29	16.62	52.17	20.20
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	68.80	20.72	85.42	24.81
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	61.38	17.39	70.59	21.48
ตะวันออกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	45.52	16.62	51.92	20.20
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	68.29	16.37	84.40	20.20
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	60.36	13.04	70.33	16.62
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	44.76	13.04	51.66	16.62
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	64.96	13.04	78.77	16.37
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	57.03	9.46	68.80	13.30
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	38.62	8.70	49.87	12.79
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	62.40	8.95	75.96	13.04
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	55.50	6.14	66.24	9.72
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	39.13	5.37	47.83	8.70

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	60.61	5.37	72.12	8.95
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	53.96	2.30	63.94	6.39
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	37.60	1.28	46.29	5.63
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 50	VLT 71	67.52	16.11	82.61	19.95
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 50	VLT 58	58.82	13.04	69.82	16.62
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 50	VLT 35	43.22	12.79	50.64	16.11
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 100	VLT 71	64.71	12.28	74.17	15.60
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 100	VLT 58	54.48	8.70	65.47	12.79
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 100	VLT 35	40.15	8.44	47.57	12.28
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 150	VLT 71	59.85	7.93	71.10	11.76
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 150	VLT 58	53.71	4.35	63.68	8.44
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 150	VLT 35	37.34	4.09	45.52	7.93
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 200	VLT 71	56.78	3.58	68.54	7.42
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 200	VLT 58	51.15	0.00	59.85	4.09
ตะวันออกเฉียงใต้	Hor+Ver 200	VLT 35	34.53	0.00	41.94	3.84
ใต้	Ver 50	VLT 71	70.59	13.04	91.56	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 58	63.43	13.04	71.61	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 35	46.55	12.53	53.96	13.81
ใต้	Ver 50	VLT 71	70.08	13.04	90.79	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 58	62.40	13.04	67.77	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 35	46.55	12.53	52.94	13.55
ใต้	Ver 50	VLT 71	69.31	13.04	90.28	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 58	61.89	13.04	71.36	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 35	46.29	12.53	52.94	13.55
ใต้	Ver 50	VLT 71	68.29	13.04	86.19	15.35
ใต้	Ver 50	VLT 58	61.89	13.04	70.84	14.32
ใต้	Ver 50	VLT 35	46.55	12.53	52.43	13.55
ใต้	Hor 50	VLT 71	68.29	8.95	85.17	12.53
ใต้	Hor 50	VLT 58	60.36	8.95	70.08	11.76
ใต้	Hor 50	VLT 35	44.50	8.95	51.15	11.25
ใต้	Hor 50	VLT 71	64.71	5.88	79.03	9.72
ใต้	Hor 50	VLT 58	56.78	5.88	67.52	9.46
ใต้	Hor 50	VLT 35	41.43	4.86	50.13	8.44

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ใต้	Hor 50	VLT 71	62.66	3.32	74.94	7.93
ใต้	Hor 50	VLT 58	54.99	3.32	65.73	6.39
ใต้	Hor 50	VLT 35	39.90	2.56	47.06	4.86
ใต้	Hor 50	VLT 71	60.36	2.56	73.15	6.91
ใต้	Hor 50	VLT 58	53.71	2.56	63.94	4.09
ใต้	Hor 50	VLT 35	37.34	2.30	46.29	2.56
ใต้	Hor+Ver 50	VLT 71	65.98	8.70	83.12	11.51
ใต้	Hor+Ver 50	VLT 58	59.85	8.70	69.05	11.00
ใต้	Hor+Ver 50	VLT 35	43.48	8.18	50.64	10.49
ใต้	Hor+Ver 100	VLT 71	63.68	5.88	74.68	7.16
ใต้	Hor+Ver 100	VLT 58	55.24	4.35	65.98	6.65
ใต้	Hor+Ver 100	VLT 35	39.39	3.84	48.34	6.14
ใต้	Hor+Ver 150	VLT 71	59.08	0.00	70.59	2.81
ใต้	Hor+Ver 150	VLT 58	51.92	0.00	62.92	2.30
ใต้	Hor+Ver 150	VLT 35	37.08	0.00	45.27	1.79
ใต้	Hor+Ver 200	VLT 71	56.01	0.00	68.29	0.00
ใต้	Hor+Ver 200	VLT 58	50.38	0.00	59.59	0.00
ใต้	Hor+Ver 200	VLT 35	33.50	0.00	41.94	0.00
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	71.61	28.39	95.40	31.71
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	64.96	26.85	75.70	29.92
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	48.34	20.46	54.73	24.30
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	72.12	28.13	94.88	31.71
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	64.96	26.34	73.40	29.41
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	48.59	20.20	54.48	24.30
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	71.61	28.13	94.12	31.46
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	64.19	25.83	74.17	28.90
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	47.83	20.20	54.22	24.30
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 71	71.10	27.88	93.86	31.20
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 58	63.43	25.32	73.66	28.39
ตะวันตกเฉียงใต้	Ver 50	VLT 35	47.83	20.20	54.22	23.27
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	69.82	23.53	94.12	27.88
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	63.17	23.02	72.63	26.34
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	46.55	16.62	53.45	23.27

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	68.03	20.20	86.70	24.55
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	59.85	19.69	70.59	23.02
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	43.22	13.04	51.41	16.62
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	64.71	17.65	81.59	21.99
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	57.03	16.37	68.29	19.69
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	40.92	8.95	50.13	13.04
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 71	63.43	15.60	75.70	19.69
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 58	55.75	13.81	65.98	16.88
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor 50	VLT 35	40.41	6.14	47.57	9.21
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 50	VLT 71	68.80	23.27	87.98	27.62
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 50	VLT 58	61.64	21.99	71.61	26.09
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 50	VLT 35	45.27	16.37	52.43	23.27
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 100	VLT 71	65.47	18.67	78.52	23.27
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 100	VLT 58	58.06	17.65	68.54	21.48
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 100	VLT 35	42.20	12.53	50.13	16.11
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 150	VLT 71	62.92	14.58	73.66	18.93
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 150	VLT 58	54.48	13.55	64.71	17.14
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 150	VLT 35	38.62	8.18	46.80	12.28
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 200	VLT 71	59.34	10.74	71.36	14.58
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 200	VLT 58	52.43	9.72	62.92	13.04
ตะวันตกเฉียงใต้	Hor+Ver 200	VLT 35	36.83	3.84	43.99	14.58
ตะวันตก	Ver 50	VLT 71	73.66	32.23	96.42	35.55
ตะวันตก	Ver 50	VLT 58	65.98	30.95	78.52	34.02
ตะวันตก	Ver 50	VLT 35	48.85	27.88	56.01	31.46
ตะวันตก	Ver 50	VLT 71	73.15	31.97	96.16	35.55
ตะวันตก	Ver 50	VLT 58	65.47	30.18	74.94	33.50
ตะวันตก	Ver 50	VLT 35	48.85	27.11	55.24	30.18
ตะวันตก	Ver 50	VLT 71	73.15	31.97	96.16	35.55
ตะวันตก	Ver 50	VLT 58	64.96	30.18	75.96	33.50
ตะวันตก	Ver 50	VLT 35	48.08	27.11	54.22	29.92
ตะวันตก	Ver 50	VLT 71	71.87	31.97	95.14	35.55
ตะวันตก	Ver 50	VLT 58	64.19	30.18	75.19	33.50
ตะวันตก	Ver 50	VLT 35	47.83	27.11	54.99	29.92

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ตะวันตก	Hor 50	VLT 71	70.84	29.16	95.65	32.99
ตะวันตก	Hor 50	VLT 58	63.68	28.13	75.19	31.71
ตะวันตก	Hor 50	VLT 35	46.80	24.04	53.71	28.13
ตะวันตก	Hor 50	VLT 71	68.03	25.58	91.05	30.18
ตะวันตก	Hor 50	VLT 58	60.36	23.79	71.61	28.64
ตะวันตก	Hor 50	VLT 35	44.50	18.93	51.15	24.04
ตะวันตก	Hor 50	VLT 71	66.50	21.23	84.91	27.11
ตะวันตก	Hor 50	VLT 58	58.82	19.69	70.08	24.81
ตะวันตก	Hor 50	VLT 35	41.69	15.60	50.38	19.69
ตะวันตก	Hor 50	VLT 71	65.47	17.90	82.61	23.53
ตะวันตก	Hor 50	VLT 58	56.52	16.62	68.54	20.72
ตะวันตก	Hor 50	VLT 35	41.18	12.53	49.36	15.86
ตะวันตก	Hor+Ver 50	VLT 71	70.84	28.64	94.12	34.53
ตะวันตก	Hor+Ver 50	VLT 58	63.17	27.37	72.89	32.99
ตะวันตก	Hor+Ver 50	VLT 35	46.04	23.53	53.45	27.88
ตะวันตก	Hor+Ver 100	VLT 71	66.50	23.79	84.14	27.62
ตะวันตก	Hor+Ver 100	VLT 58	58.82	22.51	69.05	26.34
ตะวันตก	Hor+Ver 100	VLT 35	42.97	18.67	50.64	23.53
ตะวันตก	Hor+Ver 150	VLT 71	63.94	19.18	76.21	23.27
ตะวันตก	Hor+Ver 150	VLT 58	55.24	17.90	66.50	21.99
ตะวันตก	Hor+Ver 150	VLT 35	39.90	14.83	47.31	18.67
ตะวันตก	Hor+Ver 200	VLT 71	61.38	15.09	72.12	18.67
ตะวันตก	Hor+Ver 200	VLT 58	52.94	14.07	64.19	17.39
ตะวันตก	Hor+Ver 200	VLT 35	37.34	11.00	45.27	14.83
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	69.82	17.65	87.21	21.23
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	62.15	16.88	70.84	20.20
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	45.27	12.02	51.92	12.28
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	69.57	16.62	85.42	19.95
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	60.10	15.86	70.84	18.93
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	45.52	11.76	51.66	12.02
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	68.80	15.86	84.40	18.93
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	60.36	15.09	70.08	17.65
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	45.52	11.51	51.66	11.76

ทิศ	แผงบังแดดและระยะยื่น (ซม.)	กระจก	WWR 60		WWR 80	
			%sDA	%ASE	%sDA	%ASE
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 71	68.29	15.35	82.61	18.41
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 58	59.85	14.32	69.57	16.88
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Ver 50	VLT 35	44.76	11.51	50.13	7.42
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	67.77	15.35	83.89	17.90
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	59.08	14.58	69.57	17.39
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	43.22	8.70	50.90	11.25
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	64.45	12.53	78.52	15.60
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	57.29	12.28	67.77	15.09
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	41.18	5.37	49.62	6.91
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	63.68	8.95	75.96	12.53
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	54.73	8.70	66.24	12.53
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	39.64	2.56	46.55	4.09
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 71	61.64	6.39	72.12	9.21
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 58	54.48	5.12	63.94	8.70
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor 50	VLT 35	37.08	1.79	45.78	2.81
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 50	VLT 71	67.01	14.58	80.56	16.88
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 50	VLT 58	58.06	13.81	68.80	16.37
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 50	VLT 35	42.20	8.18	50.38	10.49
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 100	VLT 71	62.92	10.74	75.19	13.30
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 100	VLT 58	55.24	9.97	64.96	12.28
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 100	VLT 35	39.39	3.84	47.06	3.84
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 150	VLT 71	60.61	6.65	70.59	9.72
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 150	VLT 58	52.43	5.88	62.66	8.70
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 150	VLT 35	36.83	0.00	44.76	0.00
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 200	VLT 71	53.45	0.00	68.03	6.14
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 200	VLT 58	50.64	2.30	58.57	5.12
ตะวันตกเฉียงเหนือ	Hor+Ver 200	VLT 35	33.50	0.00	41.69	0.00

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว รุจิเรจ อินทรเนตร เกิดเมื่อวันที่ 2 มกราคม พ.ศ.2535 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University