การประเมินประสิทธิภาพแสงธรรมชาติและการใช้พลังงาน จากการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงาน ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ลีด เวอร์ชัน 4.0

นายศิรวิชญ์ รงควิลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF DAYLIGHT AND ENERGY PERFORMANCE OF LIGHTSHELF IN OFFICE BUILDINGS ACCORDING TO LEED VERSION 4.0

Mr. Sirawit Rongkavilit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพแสงธรรมชาติและการใช้พลังงาน จากการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงาน ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ลีด เวอร์ชัน 4.0
โดย	นายศิรวิชญ์ รงควิลิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศิรวิชญ์ รงควิลิต : การประเมินประสิทธิภาพแสงธรรมชาติและการใช้พลังงาน จากการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงาน ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ลีด เวอร์ชัน 4.0. (EVALUATION OF DAYLIGHT AND ENERGY PERFORMANCE OF LIGHTSHELF IN OFFICE BUILDINGS ACCORDING TO LEED VERSION 4.0) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอแนวทางการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารสำนักงาน โดยการลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ ด้วยการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง และประเมินผลโดยใช้ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug Tools, Honeybee Tools ในการจำลองผล โดยมีตัวแปร คือ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร องศาฝ้าเพดาน 0 องศา 15 องศา และ 30 องศา สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และ 100% ตำแหน่งทิศที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้ง 8 ทิศ และการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในระยะยื่นขนาด 0.30 เมตร โดยจำลองกับห้องภายในอาคารสำนักงาน กว้าง 9 เมตร ลึก 12 เมตร และสูง 3 เมตร ซึ่งผลการวิจัย ทุกกรณีศึกษามีค่า sDA ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ส่วนค่า ASE มีกรณีศึกษาที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งการมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มากขึ้น ทำให้แสงสามารถเข้าสู่ภายในอาคารได้น้อยลง ส่งผลให้ค่า sDA และ ASE ลดลง การมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดานที่มากขึ้น ทำให้ค่า sDA และ ASE เพิ่มขึ้น องศาของฝ้าเพดานที่เพิ่มขึ้น ช่วยในการกระจายแสงเข้าสู่ภายในอาคาร มีผลให้ค่า sDA เพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งต่อค่า ASE สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่มากขึ้น ทำให้ค่า sDA และ ASE เพิ่มขึ้น ตำแหน่งทิศของช่องเปิด ทำให้แต่ละทิศมีค่า sDA และ ASE แตกต่างกันจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน ทิศที่สามารถใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกได้มีประสิทธิภาพในการลดค่า ASE ให้สามารถผ่านเกณฑ์ได้ทุกกรณีศึกษา คือทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ จะเกิดประสิทธิภาพในบางกรณีศึกษา และทิศที่หิ้งสะท้อนแสงภายนอกไม่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ได้แก่ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งไม่มีกรณีศึกษาใดผ่านเกณฑ์ โดยหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้น ส่วนทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นมา จากนั้นทำการวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า ASE และจากกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ เพื่อจำลองผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability) ก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายในและจำลองผลการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VisualDOE ซึ่งผลการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ในทุกสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังและทิศที่ติดตั้ง สามารถลดการเกิดแสงบาดตาได้เล็กน้อย ส่วนผลการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากขึ้นตามระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และตามสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่มากขึ้น รวมถึงตำแหน่งทิศที่ติดตั้ง

สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2561	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6173351025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: LIGHTSHELF, OFFICE BUILDINGS, SPATIAL DAYLIGHT AUTONOMY (sDA), ANNUAL SUNLIGHT EXPOSURE (ASE), ENERGY CONSUMPTION

Sirawit Rongkavilit : EVALUATION OF DAYLIGHT AND ENERGY PERFORMANCE OF LIGHTSHELF IN OFFICE BUILDINGS ACCORDING TO LEED VERSION 4.0. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

This research aims to develop a guideline for improving the efficiency of natural light and reducing energy consumption from artificial light in the office building by using lightshelf. Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE) were evaluated according to LEED V4. Rhinoceros - Grasshopper - Ladybug Tools and Honeybee Tools were used to simulate the sDA and ASE. The variables are the length of the external lightshelf (0.30 m., 0.60 m. and 0.90 m.), installed position (0.50 m. and 1.00 m.) below the ceiling, degrees of ceiling (0 degrees, 15 degrees and 30 degrees), window to wall ratio (60% and 100%), the direction where the lightshelf installed and the presence of 0.30 m. internal lightshelf. The size of the case study office room is 9 m. width, 12 m. length and 3 m. height. From the results, the sDA value can pass the LEED V4 criteria for all cases, but the ASE value can pass in some cases. Increasing the length of the external lightshelf results in a decrease of sDA and ASE. Appropriated installed position can increase the sDA and ASE value. Degrees of ceiling results in an increase of the sDA, but not the ASE. Increasing of window to wall ratio results in an increase of sDA and ASE value, allowing more natural light into the room. North and northeast are the most effective directions for using external lightshelf. Northwest, south and southeast are effective only in some cases. East, west and southwest are not effective as no cases can pass the LEED V4 criteria. After installing the internal lightshelf, northwest, south, southeast, east and southwest directions have more cases passing the LEED V4 criteria. Focusing on the ASE value and the cases that can pass the LEED V4 criteria, daylight glare probability (DGP) is used in this research to evaluate the glare of before and after installation of the lightshelf. Both external and internal lightshelf can decrease the DGP values. The difference of WWR and window orientations can affect the DGP value and also the energy consumption simulated by VisualDOE. External lightshelf can help reduce the cooling energy consumption.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Architecture	Student's Signature .....
Academic Year:	2018	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย รวมถึงตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตั้งแต่เริ่มทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาให้ข้อมูลสนับสนุนที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณดนู กตัญญุตานันท์ ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองผลการวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุน คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆที่ร่วมเรียนด้วยกัน สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ศิรวิชญ์ รงควิลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

สารบัญแผนภูมิ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 คำถามในการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.5 ขอบเขตของการศึกษา 4

1.6 ระเบียบวิธีการศึกษา 4

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น 7

2.2 การออกแบบหิ้งสะท้อนแสง 10

2.3 การประเมินคุณภาพแสงสว่าง 19

2.4 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร 26

บทที่ 3 วิธีวิจัย 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย 32
3.2 จำลองผลแสงธรรมชาติเพื่อหาค่า sDA และ ASE ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight..... 37
3.3 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด และทำการจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools 39
3.4 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด กำหนดตัวแปรในการจำลองผลการใช้พลังงาน และทำการจำลองผลการใช้พลังงาน ด้วยใช้โปรแกรม VisualDOE 40
3.5 วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผล การประเมินผลค่า sDA และ ASE ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP) และผลการใช้พลังงาน..... 42
บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 44
4.1 ผลการประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight..... 44
4.1.1 พิจารณาเฉพาะระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 45
4.1.2 พิจารณาเฉพาะระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 45
4.1.3 พิจารณาเฉพาะองศาของฝ้าเพดาน..... 46
4.1.4 พิจารณาเฉพาะสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 47
4.1.5 พิจารณาเฉพาะตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก..... 47
4.1.5.1 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ 49
4.1.5.2 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 51
4.1.5.3 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก..... 52
4.1.5.4 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 55
4.1.5.5 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้..... 58
4.1.5.6 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 61
4.1.5.7 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.5.8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 66
4.2 การประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) 71
4.2.1 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ 71
4.2.2 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 74
4.2.3 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก 76
4.2.4 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 79
4.2.5 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ 81
4.2.6 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 84
4.2.7 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก 87
4.2.8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 89
4.3 การประเมินผลการใช้พลังงาน 92
4.3.1 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ 92
4.3.2 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 93
4.3.3 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก 93
4.3.4 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 94
4.3.5 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ 95
4.3.6 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 95
4.3.7 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก 96
4.3.8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 98
5.1 สรุปผลการวิจัย 99
5.1.1 ผลการประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.2 ผลการประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) 105
5.1.3 ผลการประเมินผลการใช้พลังงาน 108
5.2 ข้อเสนอแนะ 110
บรรณานุกรม 112
ภาคผนวก 115
ภาคผนวก ก ผลการจำลองแสงธรรมชาติ เพื่อหาค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ของกรณีศึกษาทั้งหมด 624 กรณี 116
ภาคผนวก ข ผลการจำลองผลการใช้พลังงานของกรณีศึกษาทั้งหมด 64 กรณี 129
ประวัติผู้เขียน 132

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight 3

ตารางที่ 2 สรุปวัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

ตารางที่ 3 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามทางเลือกที่ 1 20

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยการวัดค่าความสว่างของพื้นที่ ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามทางเลือกที่ 2 21

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยวิธีการวัดแสงจริง ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามทางเลือกที่ 3 21

ตารางที่ 6 ระดับค่าของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ 22

ตารางที่ 7 ระดับคะแนนที่ได้ในหัวข้อ Optimized Energy Performance ตามเกณฑ์ LEED V4.. 28

ตารางที่ 8 ค่า OTTV และ RTTV ตามกฎหมายอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน 31

ตารางที่ 9 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับทำการจำลองผลค่า sDA และ ASE 35

ตารางที่ 10 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับทำการจำลองผลค่า sDA และ ASE หลังจากเพิ่มตัวแปรต้น คือ หิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 36

ตารางที่ 11 สรุปตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการพิจารณา 37

ตารางที่ 12 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับการจำลองผลการเกิดแสงบาดตา 39

ตารางที่ 13 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับการจำลองผลการใช้พลังงาน 41

ตารางที่ 14 สรุปตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการจำลองผลการใช้พลังงาน 41

ตารางที่ 15 สรุปจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ..... 48

ตารางที่ 16 สรุปจำนวนกรณีศึกษาและระดับคะแนนที่ได้รับตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ 49

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ในแต่ละทิศก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 69

ตารางที่ 18 สรุปจำนวนกรณีศึกษาและระดับคะแนนที่ได้รับตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ 70

ตารางที่ 19 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 71

ตารางที่ 20 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 73

ตารางที่ 21 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 74

ตารางที่ 22 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 75

ตารางที่ 23 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 76

ตารางที่ 24 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 78

ตารางที่ 25 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 79

ตารางที่ 26 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 80

ตารางที่ 27 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 81

ตารางที่ 28 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 83

ตารางที่ 29 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 30 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 85

ตารางที่ 31 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 87

ตารางที่ 32 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 88

ตารางที่ 33 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 89

ตารางที่ 34 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 90

ตารางที่ 35 สรุปกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ 101

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ กรณีไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT) 106

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก กรณีไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT) 106

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก กรณีติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT) 107

ตารางที่ 39 สัดส่วนการลดลงของผลการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ ในแต่ละช่วงของการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การเพิ่มระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ตามกรณีศึกษาในแต่ละทิศ 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 เปรียบเทียบแสงสว่างที่เข้าสู่ภายในอาคารระหว่างการไม่ติดตั้ง และติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง 2

รูปที่ 2 รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง 2

รูปที่ 3 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ 8

รูปที่ 4 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ 9

รูปที่ 5 สภาพท้องฟ้าแต่ละลักษณะ 10

รูปที่ 6 ระดับความสว่างของสภาพท้องฟ้าแต่ละลักษณะ 10

รูปที่ 7 รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง 11

รูปที่ 8 รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร 11

รูปที่ 9 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 ธันวาคม ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีรูปทรงต่างกัน 12

รูปที่ 10 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีรูปทรงต่างกัน 12

รูปที่ 11 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มิถุนายน ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีรูปทรงต่างกัน 13

รูปที่ 12 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน 14

รูปที่ 13 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดเฉลี่ยทั้งปี ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน 14

รูปที่ 14 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน เมื่อไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 15 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน เมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.50 เมตร 15

รูปที่ 16 เปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดเฉลี่ยทุกช่วงเวลา ระหว่างกรณีศึกษาพื้นฐาน กรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และกรณีที่มีการติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายใน 16

รูปที่ 17 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดเฉลี่ยทั้งปี ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระดับความสูงในการติดตั้งต่างกัน 16

รูปที่ 18 รูปแบบฝ้าเพดานที่สัมพันธ์กับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร 17

รูปที่ 19 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีลักษณะพื้นผิวที่มีความกระจายแสง 18

รูปที่ 20 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น.ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีลักษณะพื้นผิวที่มีความมันวาว 18

รูปที่ 21 ลักษณะวัสดุพื้นผิวแบบกระจายแสงและสะท้อนแสง 19

รูปที่ 22 ลำดับขั้นตอนของการทำงานและความเชื่อมโยงของโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools 23

รูปที่ 23 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools ในการประเมินผล Spatial Daylight Autonomy (sDA) Annual Sunlight Exposure (ASE) 24

รูปที่ 24 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools ในการประเมินผล แสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) 25

รูปที่ 25 การเชื่อมโยงข้อมูลส่วนต่างๆของโปรแกรม VisualDOE 29

รูปที่ 26 การประมวลผลข้อมูลของโปรแกรม DOE-2 30

รูปที่ 27 หน้าหลักของโปรแกรม VisualDOE 30

รูปที่ 28 ผังพื้นและรูปตัดห้องสำนักงานที่ทำการศึกษา 33

รูปที่ 29 รูปแบบกรณีศึกษา – ระยะยื่นภายนอกอาคารของหิ้งสะท้อนแสง 33

รูปที่ 30 รูปแบบกรณีศึกษา – ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 31 รูปแบบกรณีศึกษา – องศาของฝ้าเพดาน 34

รูปที่ 32 รูปแบบกรณีศึกษา – สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (Window-to-Wall Ratio) 35

รูปที่ 33 รูปแบบกรณีศึกษา – หลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 36

รูปที่ 34 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools ในการจำลองผลค่า sDA และ ASE 38

รูปที่ 35 ตำแหน่งในการวัดค่าแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP) 39

รูปที่ 36 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools ในการจำลองผลค่า Daylight Glare Probability, DGP 40

รูปที่ 37 โปรแกรม VisualDOE 42

รูปที่ 38 ผลการจำลองค่า sDA และ ASE กับอาคารสำนักงาน 1 ชั้น ขนาดกว้าง 30.00 เมตร ยาว 36.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร 104

รูปที่ 39 การใช้งานหิ้งสะท้อนแสงร่วมกับการใช้แผงกันแดดทางตั้ง 111

รูปที่ 40 การออกแบบรูปทรงให้อาคารบังเงาให้ตัวเอง 111

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 สรุปวิธีการวิจัย 43
แผนภูมิที่ 2 พิจารณาเฉพาะระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก จากกรณีไม่ติดตั้ง ระยะยื่น 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร 45
แผนภูมิที่ 3 พิจารณาเฉพาะระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน ระยะ 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร 45
แผนภูมิที่ 4 พิจารณาเฉพาะองศาฝ้าเพดาน 0 องศา 15 องศา และ 30 องศา 46
แผนภูมิที่ 5 พิจารณาเฉพาะสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และ 100% 47
แผนภูมิที่ 6 พิจารณาเฉพาะตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกทั้ง 8 ทิศ 47
แผนภูมิที่ 7 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ 49
แผนภูมิที่ 8 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ 50
แผนภูมิที่ 9 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 51
แผนภูมิที่ 10 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 51
แผนภูมิที่ 11 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก 52
แผนภูมิที่ 12 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก 53
แผนภูมิที่ 13 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 53
แผนภูมิที่ 14 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 54
แผนภูมิที่ 15 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 55
แผนภูมิที่ 16 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 55
แผนภูมิที่ 17 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 56
แผนภูมิที่ 18 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 57

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 19 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้..... 58
แผนภูมิที่ 20 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้..... 58
แผนภูมิที่ 21 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร..... 59
แผนภูมิที่ 22 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร..... 60
แผนภูมิที่ 23 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 61
แผนภูมิที่ 24 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 61
แผนภูมิที่ 25 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 62
แผนภูมิที่ 26 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร 63
แผนภูมิที่ 27 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก..... 64
แผนภูมิที่ 28 ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก 64
แผนภูมิที่ 29 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร..... 65
แผนภูมิที่ 30 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร..... 66
แผนภูมิที่ 31 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 66
แผนภูมิที่ 32 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 67
แผนภูมิที่ 33 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร..... 68
แผนภูมิที่ 34 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร..... 68
แผนภูมิที่ 35 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ..... 92
แผนภูมิที่ 36 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ..... 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 37 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก 93
แผนภูมิที่ 38 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้..... 94
แผนภูมิที่ 39 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ 95
แผนภูมิที่ 40 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้..... 95
แผนภูมิที่ 41 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก 96
แผนภูมิที่ 42 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 97
แผนภูมิที่ 43 ค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ จากการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร กรณีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% 108
แผนภูมิที่ 44 ค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ จากการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร กรณีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

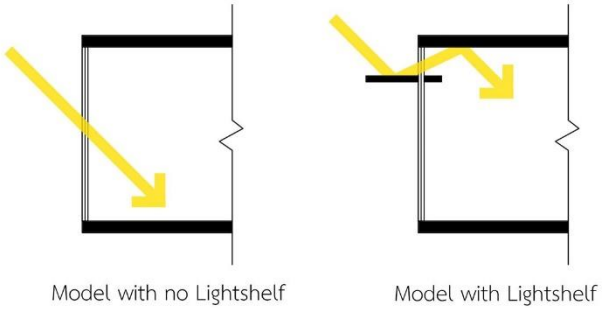
สภาวะโลกร้อนในปัจจุบันที่ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น และปัญหาด้านพลังงานทำให้มีการให้ความสำคัญและใส่ใจในผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ การออกแบบอาคารในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญกับการลดการใช้พลังงาน เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และใช้ประโยชน์จากพลังงานธรรมชาติให้มากที่สุด โดยเฉพาะการออกแบบอาคารให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานหรืออาคารเขียว ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าราคาเช่าต่อตารางเมตรของอาคารสำนักงาน (พรรณวดี มงคลเจริญ, 2556)

การลดการใช้พลังงานภายในอาคารมีหลายวิธี โดยวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจคือการลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์โดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร โดยเฉพาะในอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารสูง ที่ต้องการมองเห็นวิวได้รอบด้าน และได้รับแสงธรรมชาติตลอดวัน แต่ในการใช้งานจริงกลับต้องติดตั้งม่านกันแดด ทำให้ไม่สามารถจะเปิดช่องเปิดเพื่อรับแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเปลือกอาคารไม่สามารถป้องกันปริมาณแสงที่มากเกินไป เป็นผลให้เกิดความไม่สบายตากับผู้ใช้อาคาร นอกจากนี้ความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร ยังเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ซึ่งแม้การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารจะสามารถลดการใช้พลังงานในการใช้แสงประดิษฐ์ได้ แต่อาจทำให้ผลการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารสูงขึ้นได้

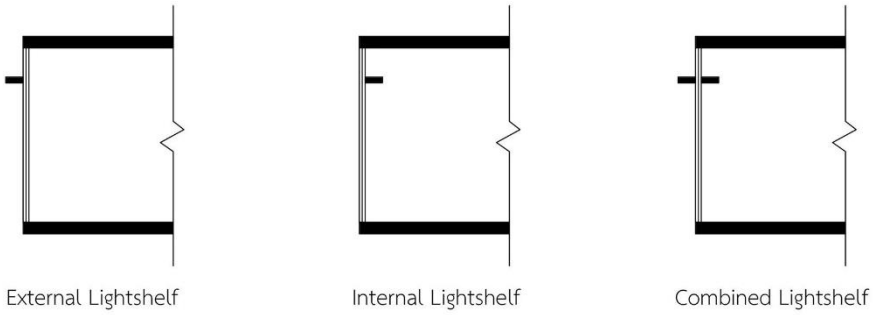
สำหรับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร วิธีการหนึ่งที่สามารถควบคุมทิศทางแสงและปริมาณแสงที่เข้ามารวมถึงสามารถป้องกันรังสีอาทิตย์ได้ คือ การใช้หิ้งสะท้อนแสง ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ นอกจากนี้หิ้งสะท้อนแสงยังช่วยลดพื้นที่การรับแสงโดยตรงและยังช่วยกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของอาคาร (วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549) เป็นการลดการใช้แสงประดิษฐ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงการใช้หิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงานสูง เพื่อเพิ่มแสงธรรมชาติและลดการใช้พลังงาน

นอกจากนี้การออกแบบหิ้งสะท้อนแสง ยังมีผลโดยตรงกับรูปลักษณ์ภายนอกของอาคาร เพราะหิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคารจะเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคาร และมีผลต่อความงามของอาคาร ซึ่งในปัจจุบันความงามของอาคารเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบ ซึ่งอาคารแต่ละอาคารจะมีการสร้างเอกลักษณ์และลักษณะเด่นให้เป็นจุดสังเกตและเป็นที่จดจำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1 เปรียบเทียบแสงสว่างที่เข้าสู่ภายในอาคารระหว่างการไม่ติดตั้ง และติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง



รูปที่ 2 รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง

ปัจจุบันในหลายประเทศต่างมีการจัดทำเกณฑ์การประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งเกณฑ์หนึ่งที่ได้รับความนิยม ได้แก่ เกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา หรือเกณฑ์ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) โดยมีการพัฒนาจนในปัจจุบันเป็นเวอร์ชันที่ 4 ในปี ค.ศ.2014 โดยในเกณฑ์ LEED เวอร์ชันที่ 4 ได้เพิ่มวิธีการศึกษาถึงคุณภาพและปริมาณในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร โดยใช้เกณฑ์ประเมินผลแสงธรรมชาติ ได้แก่ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี โดยต้องได้รับแสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี โดยต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 55% ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ดังกล่าว และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี โดยกำหนดให้พื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ สามารถมีความสว่างเกิน 1,000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งการมีค่า ASE ที่มากเกินไป จะเป็นผลทำให้เกิดแสงบาดตาได้ (U.S. Green Building Council, 2014) ซึ่งทั้ง 2 เกณฑ์กำหนดให้ทำการจำลองในช่วงเวลา 8:00-18:00 น. โดยหากมีค่า sDA ตั้งแต่ 55% ขึ้นไป จะได้รับคะแนนจากเกณฑ์ LEED V4 2 คะแนน และหากมีค่าตั้งแต่ 75% ขึ้นไป จะได้รับคะแนนจากเกณฑ์ LEED V4 3 คะแนน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงการใช้แผงกันแดดในรูปแบบต่างๆที่เหมาะสมตามแต่ละทิศ ร่วมกับการใช้ค่า sDA และ ASE ในการประเมินผล (รุจิเรจ อินทรเนตร, 2558) แต่ยังไม่มีผู้ศึกษาถึงการใช้ค่า sDA และ ASE ในการประเมินผลร่วมกับการใช้หิ้งสะท้อนแสง

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight
(ที่มา : LEED V4, U.S. Green Building Council, 2014)

ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ ตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA)			
New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
sDA (for regularly occupied floor area)		**sDA (for perimeter floor area)**	
55%	**2 points**	**75%**	**1 points**
75%	**3 points**	**90%**	**2 points**

จากทั้งหมดข้างต้น การใช้ค่า sDA และ ASE ในการประเมินผลการใช้หิ้งสะท้อนแสง คาดว่าจะสามารถเป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารสำนักงาน ลดพื้นที่การรับแสงตรง ซึ่งทำให้เกิดความไม่สบายตากับผู้ใช้งานภายในอาคารจากแสงบาดตา และทำให้อาคารสามารถเปิดช่องเปิดเพื่อมองวิวทิวทัศน์ภายนอกได้ รวมถึงส่งผลในการลดการใช้พลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 คำถามในการวิจัย

การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดพื้นที่การรับแสงตรง มีผลในการลดใช้พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศของอาคาร รวมถึงสามารถใช้ศักยภาพในการเป็นอาคารสูง ในการมองเห็นวิวได้รอบด้าน และสามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้ตลอดวัน โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งม่านกันแดดจริงหรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ได้รูปแบบของการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร สามารถช่วยลดพื้นที่การรับแสงโดยตรงให้กับอาคาร ทำให้อาคารสามารถเปิดช่องเปิดเพื่อมองวิวทิวทัศน์ภายนอกได้ รวมถึงส่งผลในการลดการใช้พลังงานรวมของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.4.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในลักษณะต่างๆ ที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

1.4.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่นำเข้ามาใช้ภายในอาคาร การเกิดแสงบาดตา และผลการใช้พลังงาน ก่อนและหลังจากการใช้หิ้งสะท้อนแสงในลักษณะต่างๆ

1.4.3 เพื่อเสนอแนะรูปแบบการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ลดพื้นที่การรับแสงโดยตรง ลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ และสามารถใช้ศักยภาพของอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารสูง ซึ่งมองเห็นวิวได้รอบด้าน และใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้ตลอดวัน รวมถึงการส่งเสริมความงามให้กับอาคาร

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติ โดยใช้เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) เป็นตัวประเมินตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

1.5.2 ศึกษาโดยการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools และ โปรแกรม VisualDOE

1.5.3 ศึกษากับรูปแบบเปลือกอาคารที่ผ่านตามค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV คือค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ผ่านผนังเข้ามาต่อ 1 ตารางเมตร) ตามประกาศกระทรวงพลังงาน

1.5.4 ศึกษากับขนาดมาตรฐานของพื้นที่ทำงานในอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร ในช่วงเวลา 8:00-18:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาการใช้อาคารสำนักงาน

1.5.5 ในการจำลองการใช้พลังงาน ไม่มีการปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (Lighting Power Density, LPD) จากการที่อาคารได้รับแสงธรรมชาติมากขึ้นหรือน้อยลงหลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง

1.5.6 การศึกษาไม่มีปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารมาเกี่ยวข้อง เช่น อาคารข้างเคียง แสงสะท้อนจากแหล่งอื่นๆ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.6 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.6.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยเกี่ยวข้อง

- 1.6.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น
- 1.6.1.2 การออกแบบหิ้งสะท้อนแสง
- 1.6.1.3 การประเมินคุณภาพแสงสว่าง
- 1.6.1.4 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร

1.6.2 กำหนดกรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.6.2.1 กำหนดลักษณะและขนาดห้องของอาคารสำนักงานกรณีศึกษา
- 1.6.2.2 กำหนดตัวแปรและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองแสงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.6.3 จำลองผลแสงธรรมชาติเพื่อหาค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

1.6.4 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด และทำการจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools

1.6.5 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด กำหนดตัวแปรในการจำลองผลการใช้พลังงาน และทำการจำลองผลการใช้พลังงาน ด้วยใช้โปรแกรม VisualDOE

1.6.6 วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผล การประเมินผลค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) และผลการใช้พลังงาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

1.7.2 สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร โดยส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการลดการเกิดแสงบาดตา และผลการใช้พลังงานจากการเพิ่มภาระของระบบปรับอากาศ จากความร้อนของรังสีอาทิตย์

1.7.3 เป็นแนวทางของการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในปัจจุบัน และสามารถใช้ศักยภาพของอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารสูง ซึ่งมองเห็นวิวได้รอบด้าน และใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้ตลอดวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 สรุปวัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1.	- เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในลักษณะต่างๆ ที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight	- จำลองแสงด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools และวิเคราะห์ผลการจำลองแสงธรรมชาติ โดยใช้ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ประเมินกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight	- สามารถออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้มีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight
2.	- เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่นำเข้ามาใช้ภายในอาคาร การเกิดแสงบาดตา และผลการใช้พลังงาน ก่อนและหลังจากการใช้หิ้งสะท้อนแสงในลักษณะต่างๆ	- จำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools และจำลองผลการใช้พลังงานรวมของอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE	- สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร โดยส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการลดการเกิดแสงบาดตา และผลการใช้พลังงานจากการเพิ่มภาระของระบบปรับอากาศจากความร้อนจากรังสีอาทิตย์
3.	- เพื่อเสนอแนะรูปแบบการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ลดพื้นที่การรับแสงโดยตรง ลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ และสามารถใช้ศักยภาพของอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารสูง ซึ่งมองเห็นวิวได้รอบด้าน และใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้ตลอดวัน รวมถึงการส่งเสริมความงามให้กับอาคาร	- วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผลความแตกต่างจากการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง องศาของฝ้าเพดาน ทิศในการติดตั้ง และสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของแสงที่เข้ามาในอาคาร และผลกระทบต่อผลการใช้พลังงานรวมของอาคาร	- เป็นแนวทางของการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในปัจจุบัน และสามารถใช้ศักยภาพของอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารสูง ซึ่งมองเห็นวิวได้รอบด้าน และใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้ตลอดวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง คาดว่าจะสามารถเป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ช่วยลดพื้นที่การรับแสงโดยตรงให้กับอาคาร ลดการเกิดแสงบาดตา ส่งเสริมความงามให้กับอาคารและทำให้อาคารสามารถเปิดช่องเปิดเพื่อมองวิวทิวทัศน์ภายนอกได้ รวมถึงส่งผลในการลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น

2.2 การออกแบบหิ้งสะท้อนแสง

2.3 การประเมินคุณภาพแสงสว่าง

2.4 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น

2.1.1 คุณสมบัติและชนิดของแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติ คือ แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงเพียงแหล่งเดียว คือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ แสงที่ส่องมาโดยตรงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน แสงที่สะท้อนจากดวงจันทร์ในเวลากลางคืน ซึ่งแสงธรรมชาติที่เราสามารถใช้ประโยชน์ได้ ประกอบไปด้วยแสงในรูปแบบต่างๆ ได้แก่

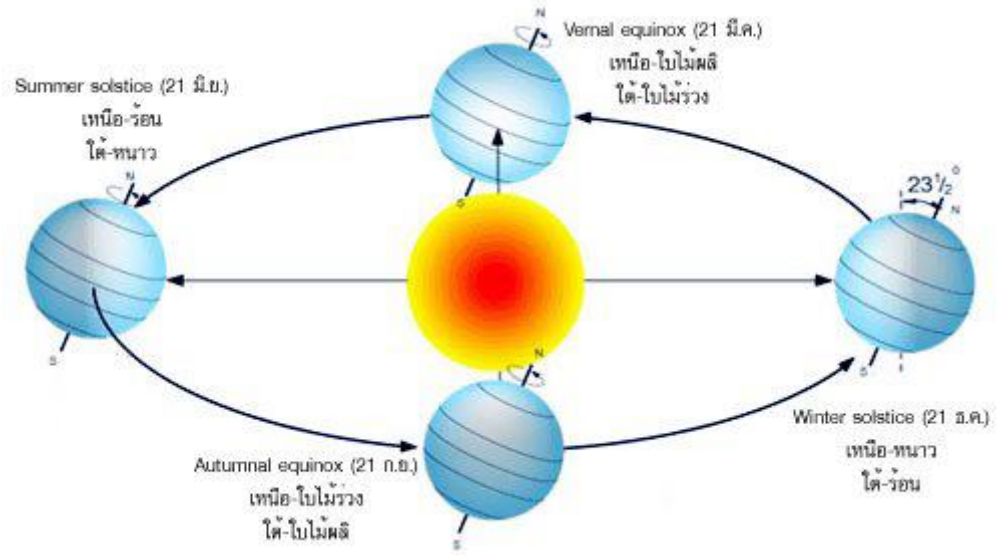
1. แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Sunlight) คือ แสงที่นับว่าเป็นแสงธรรมชาติอย่างแท้จริง เพราะเป็นแสงที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ไม่มีการผสมกับแสงหรือรังสีหรือได้รับการสะท้อนกลับใดๆทั้งสิ้น เป็นแสงสว่างที่มีค่าความส่องสว่างที่สูงมาก จึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน

2. แสงสะท้อนจากท้องฟ้า (Skylight) คือ แสงที่มีการกระจัดกระจายอยู่ในบรรยากาศ ทำให้ท้องฟ้าเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม

3. แสงกลางวัน (Daylight) คือ แสงที่ได้รับการผสมระหว่างแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงสะท้อนจากท้องฟ้าและได้รับการผสมร่วมกับแสงและรังสีอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศทั่วไป เป็นแสงที่เราได้รับและใช้อยู่เป็นประจำทุกวัน เนื่องจากการหมุนของโลก การเคลื่อนตัวของเมฆ การเคลื่อนตัวของสิ่งต่างๆบนพื้นผิวโลก ในท้องฟ้า และบรรยากาศ รวมทั้งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จึงทำให้แสงนี้เป็นแสงที่มีความสว่างและอุณหภูมิสีที่ต่างออกไปตลอดวัน เป็นแสงที่เหมาะกับการนำมาใช้งานภายในอาคาร

4. แสงสะท้อนจากพื้นผิว (Reflected Light) เป็นแสงธรรมชาติที่เกิดจากการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวต่างๆ เป็นแสงที่เราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ภายในอาคารได้ เช่น หิ้งสะท้อนแสง ซึ่งมีการใช้หลักการของแสงสะท้อนเช่นกัน

โลกมีการหมุนรอบตัวเองในแนวแกนเหนือใต้ โดยทำมุมกับเส้นตั้งฉาก 23.5 องศา และใช้เวลา 1 วันในการหมุนรอบตัวเอง มีการโคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ ในลักษณะเป็นวงรี โดยใช้เวลา 365 วันในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งการหมุนรอบตัวเองของโลกและโคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้โลกมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ และมีการทำมุมกับดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลาของวันและของปี ดังรูปที่ 3

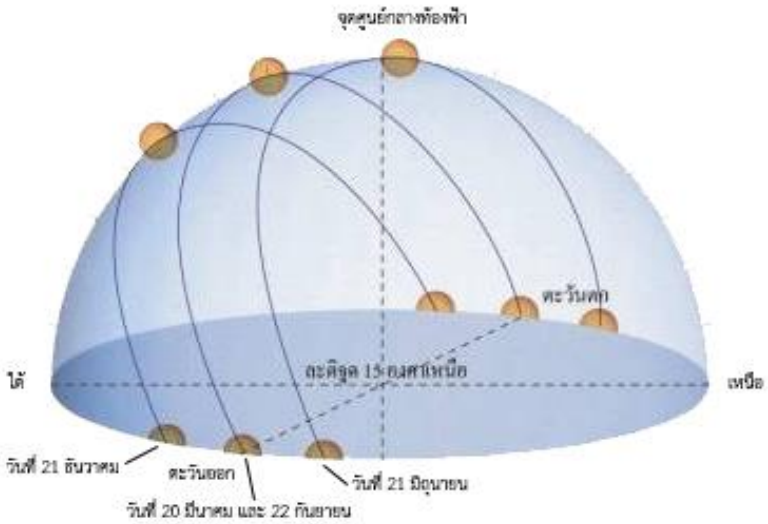


รูปที่ 3 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

(ที่มา : https://www.scimath.org/article-earthscience/item/2148-season609, 9 มิ.ย. 62)

จากการทำมุมกับดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของวันและของปี ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงแตกต่างกันไป เป็นผลให้ผลการจำลองแสงในแต่ละทิศและช่วงเวลาของปีมีความแตกต่างกัน โดยวันที่ 21-22 มิถุนายน เป็นวันครีษมายัน (Summer Solstice) โลกจะหันซีกโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้เรามองเห็นดวงอาทิตย์อยู่ค่อนไปทางทิศเหนือ ดวงอาทิตย์ขึ้นเร็วตกช้า เวลากลางวันยาวกว่ากลางคืน วันที่ 22 - 23 กันยายน เป็นวันศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox) ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงทิศตะวันออกและตกตรงทิศตะวันตกพอดี มีช่วงกลางวันและกลางคืนเป็นเวลายาวเท่ากัน วันที่ 20 - 21 ธันวาคม เป็นวันเหมายัน (Winter Solstice) โลกหันซีกโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้เรามองเห็นดวงอาทิตย์อยู่ค่อนไปทางทิศใต้ ดวงอาทิตย์ขึ้นช้าตกเร็ว เวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน และ วันที่ 20 - 21 มีนาคม (Vernal Equinox) ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงทิศตะวันออกและตกตรงทิศตะวันตกพอดี กลางวันและกลางคืนเป็นเวลายาวเท่ากัน

สำหรับประเทศไทย ตั้งอยู่ในตำแหน่งละติจูดระหว่าง 5 องศาเหนือ ถึง 21 องศาเหนือ และลองติจูดระหว่าง 97 องศาตะวันออก ถึง 106 องศาตะวันออก และกรุงเทพมหานครอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด 15 องศาเหนือ จึงมีตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลาของวันและปี ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ
(ที่มา : http://tawasau.ftu.ac.th/almustofa/archives/10, 9 มิ.ย. 62)

2.1.2 สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้าส่งผลโดยตรงต่อระดับความสว่าง (Illuminance) เนื่องจากเป็นตัวกลางในการเดินทางของแสง โดยสภาพท้องฟ้าสามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะ สำหรับการวัดค่าแสงหรือการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่

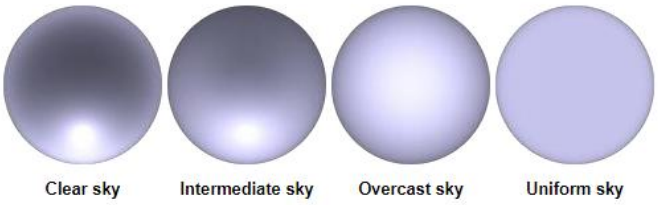
1. สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงสะท้อนจากท้องฟ้า โดยขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นหลัก ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้งขึ้นอยู่กับมุม Azimuth และมุมระดับความสูงของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้ ทำให้มีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่างหรือด้านตรงข้ามดวงอาทิตย์

2. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Intermediate Sky) เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีหมอกปกคลุม ความสว่างจึงลดลงต่ำกว่าสภาพท้องฟ้าโปร่งเพียงเล็กน้อย

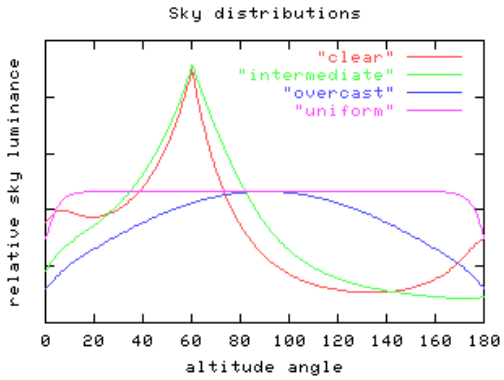
3. สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม ทำให้ไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ มีระดับความสว่างที่แตกต่างกันตามระดับความสูง โดยที่ตำแหน่งสูงสุดของท้องฟ้า จะมีระดับความสว่างมากกว่าความสว่างที่ส่องบนพื้นผิวในแนวราบประมาณ 3 เท่า

4. สภาพท้องฟ้าอุดมคติ (Uniform Sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีความส่องสว่างสม่ำเสมอ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูง หรือพื้นผิวแนวราบ

โดยมีลักษณะของสภาพท้องฟ้า และระดับความสว่าง ดังรูปที่ 5 และมีระดับความสว่างดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 สภาพท้องฟ้าแต่ละลักษณะ
(ที่มา : https://www.new-learn.info/packages/clear/visual/daylight/sun_sky/sky_types.html, 19 ม.ค. 62)



รูปที่ 6 ระดับความสว่างของสภาพท้องฟ้าแต่ละลักษณะ
(ที่มา : https://www.new-learn.info/packages/clear/visual/daylight/sun_sky/sky_types.html, 19 ม.ค. 62)

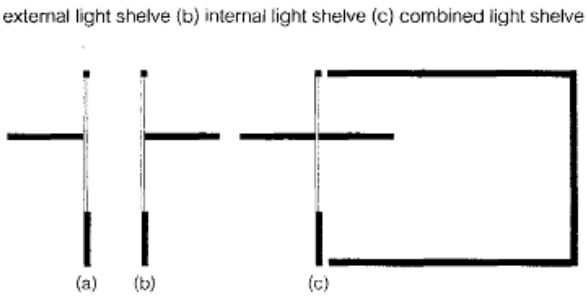
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 การออกแบบหิ้งสะท้อนแสง

แสงธรรมชาติของประเทศไทยมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ซึ่งนำความร้อนเข้ามาสู่ภายใน จึงไม่ควรนำมาใช้โดยตรง แต่ควรนำมาใช้ในทางอ้อม โดยให้แสงจากดวงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนหรือหักเหก่อนเข้าสู่ภายในอาคาร (อาวุธ สีรสรรค์ศักดิ์, 2548) ดังเช่นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารโดยการใช้หิ้งสะท้อนแสง ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางแสงและปริมาณแสงที่เข้ามารวมถึงสามารถป้องกันรังสีอาทิตย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ลดพื้นที่การรับแสงโดยตรงให้กับอาคาร ซึ่งมีผลให้ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารลดลง และยังช่วยกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของอาคารได้ (วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549) รวมถึงทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อปริมาณแสง และการกระจายแสงมากกว่า (Sanati & Utzinger, 2013)

นอกจากนี้การเป็นอาคารสูงที่ต้องการมองเห็นวิวได้รอบด้าน และได้รับแสงธรรมชาติตลอดวัน แต่ในการใช้งานจริงกลับต้องติดตั้งม่านกันแดด ทำให้ไม่สามารถจะเปิดช่องเปิดเพื่อรับแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเปลือกอาคารไม่สามารถจะป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ และปริมาณแสงที่เข้ามาในปริมาณที่มากเกินไป เป็นผลให้เกิดความไม่สบายตากับผู้ใช้อาคาร

2.2.1 รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง



รูปที่ 7 รูปแบบทั่วไปของหิ้งสะท้อนแสง
(ที่มา : Robbins, C., L., 1986)

จากรูปที่ 7 รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง สามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบ (Robbins, 1986) ดังรูปที่ 7 ได้แก่

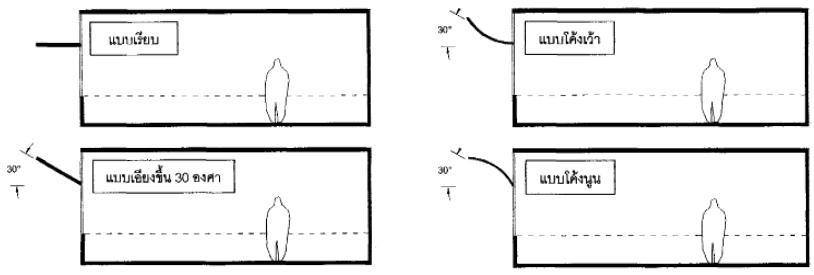
1. หิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (External Light Shelf)
2. หิ้งสะท้อนแสงภายในอาคาร (Internal Light Shelf)
3. หิ้งสะท้อนแสงแบบผสม (Combined Light Shelf)

หิ้งสะท้อนแสงภายนอกมีลักษณะในการยื่นออกจากตัวอาคาร ช่วยในการบังแดดและการสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคาร ดังนั้นในการออกแบบจึงมีตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง ระยะยื่นจากช่องเปิด ตำแหน่งและความสูงในการติดตั้ง องศาของฝ้าเพดาน รวมถึงวัสดุพื้นผิว เช่นเดียวกับหิ้งสะท้อนแสงภายในที่ช่วยในการกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของอาคาร แต่นำความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น

โดยหิ้งสะท้อนแสงและแผงกันแดดในประเทศไทย จะนิยมใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงภายนอก เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจะไม่สามารถเข้ามายังพื้นที่ภายในได้ (อารุธ สีรสรรค์ศักดิ์, 2548) หรือหิ้งสะท้อนแสงแบบผสม โดยที่หิ้งสะท้อนแสงภายในมีพื้นที่น้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง



รูปที่ 8 รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

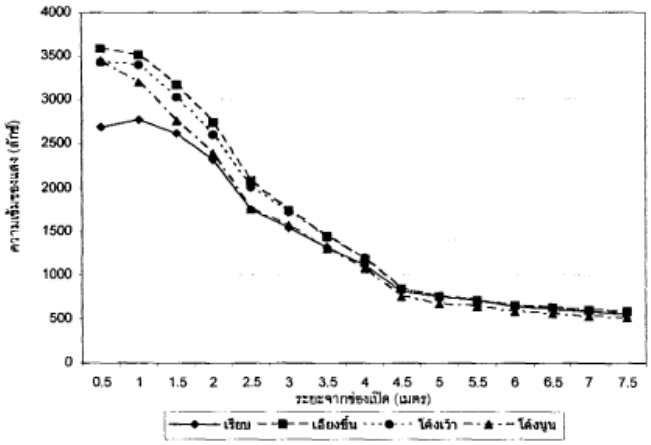
จากการศึกษารูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร 4 รูปทรง ดังรูปที่ 8 ได้แก่

1. แบบเรียบ มีคุณสมบัติในการใช้แสงธรรมชาติได้ดีที่สุด และสามารถกันแสงตรงได้มากที่สุดในทุกช่วงเวลา แต่ไม่มีคุณสมบัติในการกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของอาคาร และใช้งานดีเมื่อดวงอาทิตย์อ้อมทางใต้

2. แบบโค้งเว้า มีคุณสมบัติในการกระจายแสงสู่ส่วนลึกของห้องได้ดีที่สุด แม้กันแสงตรงได้ไม่ดีเท่ากับแบบเรียบ แต่คุณภาพของแสงที่เกิดขึ้นดีกว่าแบบเรียบ และใช้งานได้ดีในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อ้อมเหนือ

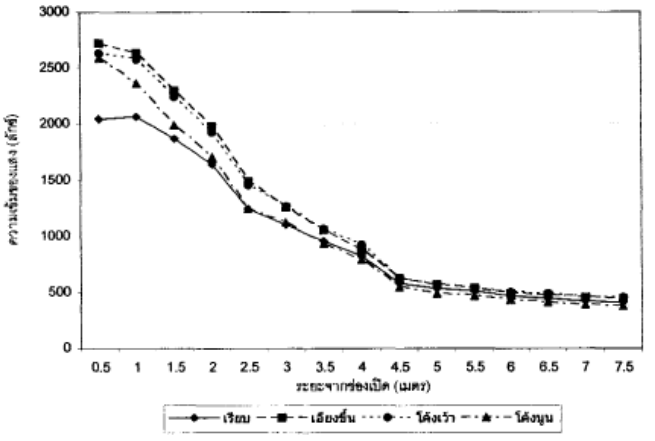
3. แบบเอียงขึ้น 30 องศา มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแบบโค้งเว้า

4. แบบโค้งนูน ไม่มีคุณสมบัติในการกันแสงตรง และสะท้อนแสงสู่ส่วนลึกของห้อง จึงเป็นรูปแบบที่ไม่เหมาะในการทำหิ้งสะท้อนแสง

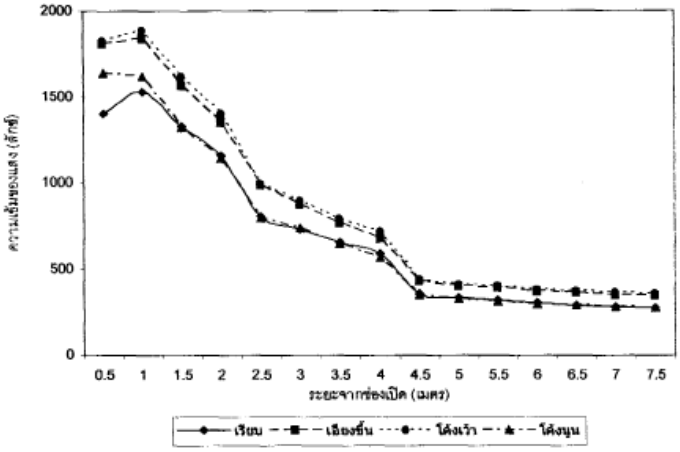


รูปที่ 9 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 ธันวาคม
ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีรูปทรงต่างกัน
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน
ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีรูปทรงต่างกัน
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)



รูปที่ 11 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มิถุนายน
ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีรูปทรงต่างกัน
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

จากผลงานวิจัยของ วรภัทร อังสนันรัตนา ดังรูปที่ 9 10 และ 11 หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบเรียบช่วยลดความเข้มแสงได้ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ แต่ไม่มีคุณสมบัติในการกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของอาคาร แต่แบบโค้งเว้า มีคุณสมบัติในการกระจายแสงสู่ส่วนลึกของห้องได้ดีที่สุด แม้จะกันแสงตรงได้ไม่ดี

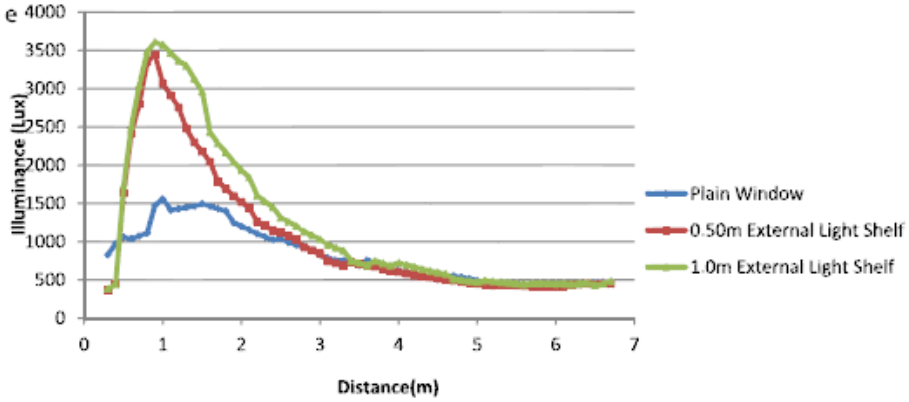
มีการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของแสงภายในห้องที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีลักษณะโค้งเว้าและหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบเอียงขึ้น ซึ่งสามารถกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของห้องได้มาก แต่ก็ทำให้แสงบริเวณใกล้กับช่องเปิดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบเรียบ (Freewan, 2010)

นอกจากนี้ปัจจัยในด้านความยากง่ายในการผลิตรวมถึงการติดตั้ง หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบเรียบเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสม เนื่องจากมีความง่ายและสะดวกในการผลิตและการก่อสร้าง รวมถึงให้ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างใกล้เคียงกันกับแบบอื่นๆด้วยเช่นกัน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

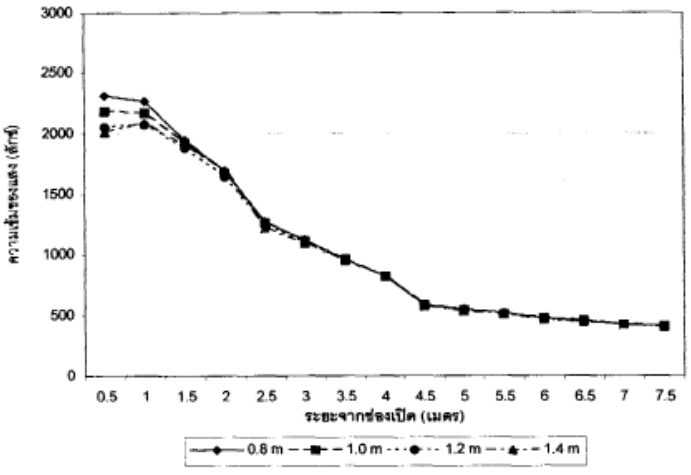
ส่วนหิ้งสะท้อนแสงภายใน รูปทรงโค้งเว้าจะสามารถลดปริมาณความเข้มแสงสูงสุดลง ส่งผลให้คุณภาพของแสงเพิ่มขึ้นจากกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีความเหมาะสมแก่การนำไปใช้มากที่สุด ซึ่งการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน เป็นเพียงการช่วยกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกได้มากขึ้น โดยเฉพาะในปัจจุบัน การออกแบบอาคารสำนักงานให้เป็นอาคารเขียวเน้นที่การลดใช้พลังงานรวมของอาคาร แม้การนำแสงเข้ามาในอาคารมาก จะช่วยลดการใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคาร แต่มีข้อควรระวังในการเกิดแสงจ้าซึ่งทำให้เกิดความไม่สบายตากับผู้ใช้อาคาร

2.2.3 ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก



รูปที่ 12 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน
(ที่มา : Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)

จากรูปที่ 12 งานวิจัยของ Warrier, G.A. และ Raphael, B. แสดงถึงหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 1.00 เมตร สามารถนำแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่าหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.50 เมตร ในช่วงระยะความลึกของห้องที่ 1.00 เมตร ถึง 3.50 เมตร โดยในช่วง 3.50 เมตร เป็นต้นไป ปริมาณแสงไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แสดงให้เห็นว่าการมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สามารถนำแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้ลึกมากขึ้นในช่วง 1.00 เมตร ถึง 3.50 เมตร เท่านั้น

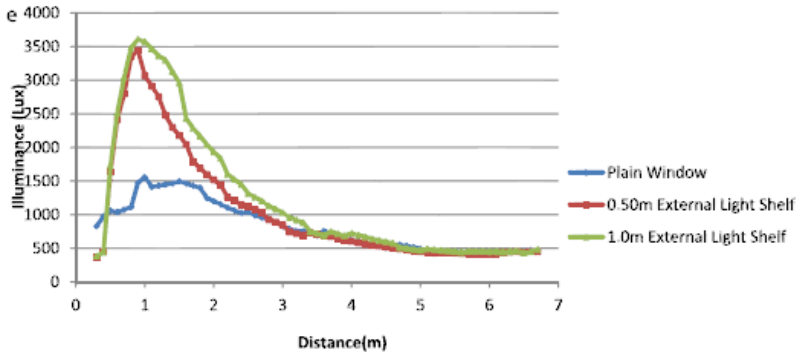


รูปที่ 13 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดเฉลี่ยทั้งปี ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

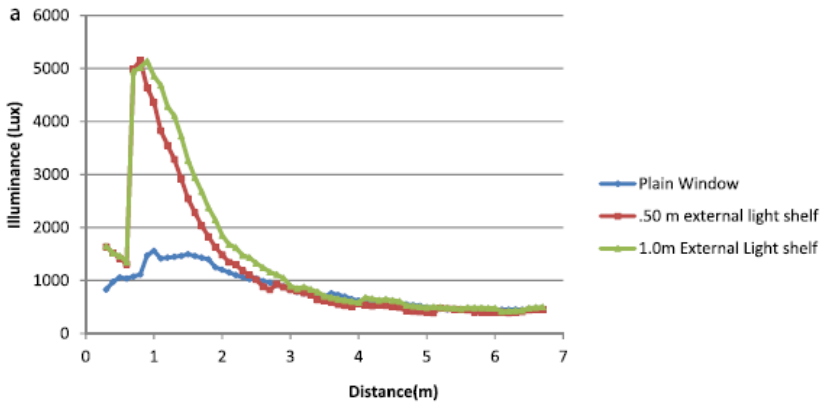
จากรูปที่ 13 งานวิจัยของ วรภัทร อังสนันรัตนา แสดงให้เห็นว่าระยะยื่นจากช่องเปิดของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มของแสงลดลง เพราะเป็นส่วนที่บดบังปริมาณแสงที่เข้าสู่ภายในให้ลดน้อยลงไปด้วย โดยระยะยื่น 1.20 เมตร และ 1.40 เมตร จะให้ผลความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน ระยะยื่น 1.20 เมตร จึงมีความเหมาะสมและสามารถลดต้นทุนในการผลิตและในการก่อสร้างได้มาก ซึ่งหากต้องการลดค่าใช้จ่ายลงไปอีก

นอกจากนี้ ระยะยื่น 1.00 เมตรเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งและการก่อสร้างที่เหมาะสม และเหมาะสำหรับการปรับใช้กับอาคารสูงที่ไม่ต้องการระยะยื่นมากเกินไป ซึ่งเป็นผลให้บำรุงรักษาอาคารได้ยาก เช่น การทำความสะอาดกระจกเปลือกอาคาร เป็นต้น

2.2.4 ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายใน

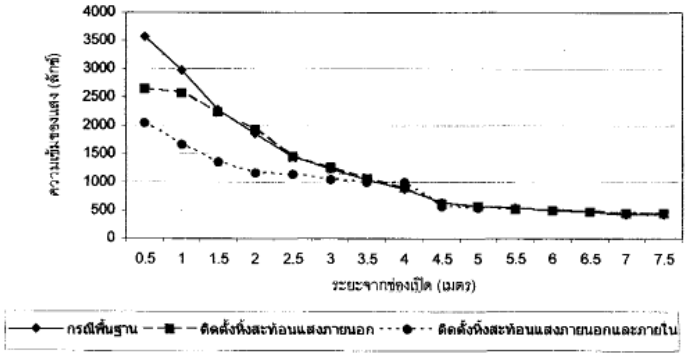


รูปที่ 14 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน เมื่อไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน
(ที่มา : Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)



รูปที่ 15 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นจากช่องเปิดต่างกัน เมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.50 เมตร
(ที่มา : Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)

จากรูปที่ 14 และ 15 จากงานวิจัยของ Warrier, G.A. และ Raphael, B. แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความเข้มของแสงภายในที่ได้รับ เมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน โดยส่งผลให้ความเข้มของแสงในช่วงระยะห่าง 1.00 เมตร ถึง 3.00 เมตร จากช่องเปิด มีความเข้มของแสงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 12 ที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน

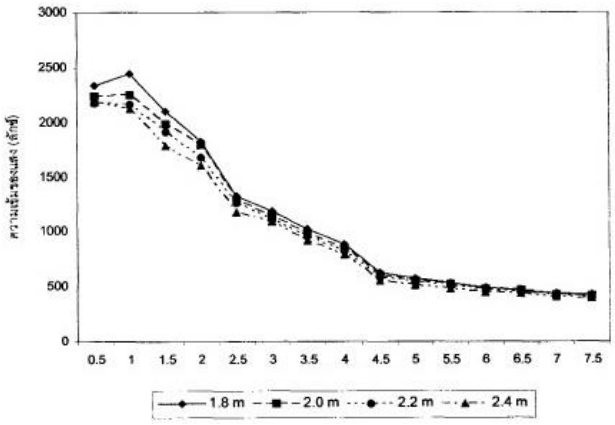


รูปที่ 16 เปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดเฉลี่ยทุกช่วงเวลา ระหว่างกรณีศึกษาพื้นฐาน กรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และกรณีที่มีการติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายใน
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

เช่นเดียวกับรูปที่ 16 จากงานวิจัยของวรภัทร อังสนันรัตนา แสดงถึงความเข้มของแสงในช่วงระยะห่าง 0.50 เมตร ถึง 3.50 เมตร จากช่องเปิด มีความเข้มของแสงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน ดังนั้นการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน สามารถช่วยลดความเข้มแสงที่มากเกินไปในบริเวณที่ใกล้กับช่องเปิด ที่อาจทำให้เกิดแสงบาดตาได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.5 ตำแหน่งและความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง



รูปที่ 17 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดเฉลี่ยทั้งปี ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระดับความสูงในการติดตั้งต่างกัน
(ที่มา : วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

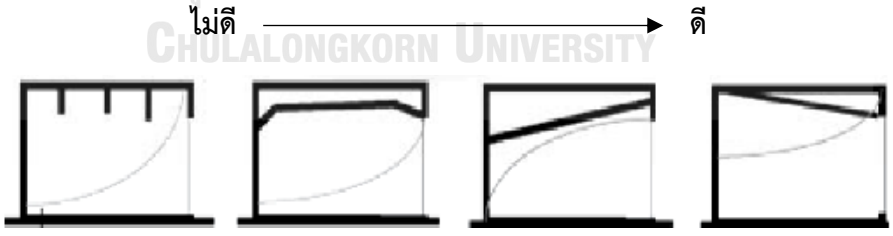
จากรูปที่ 17 เมื่อศึกษาระยะความสูงในการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน คือ 1.80 เมตร 2.00 เมตร 2.20 เมตร และ 2.40 เมตรเมื่อระดับความสูงของหิ้งสะท้อนแสงลดต่ำลง จะส่งผลให้ความเข้มของแสงเพิ่มมากขึ้น คือแสงสามารถเข้าสู่ภายในได้มากขึ้น เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงร่วมกับฝ้าเพดาน เพราะหิ้งสะท้อนแสงจะเป็นตัวสะท้อนแสงไปยังฝ้าเพดานเพื่อให้กระจายแสงต่อไป นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านความสะดวกในการใช้งาน โดยควรติดตั้งที่ระดับความสูงที่อยู่เหนือกว่าระดับสายตา และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ เพื่อให้พื้นที่ที่อยู่ใต้หิ้งสะท้อนแสงยังสามารถใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงการติดตั้งในระดับความสูงที่ต่ำเกินไป สามารถก่อให้เกิดความไม่สบายต่อสายตาของผู้ใช้อาคาร จากแสงสะท้อนจากหิ้งสะท้อนแสงที่สะท้อนเข้ามา รวมถึงเกิดการบังสายตาในการมองไปยังวิวทิวทัศน์ภายนอกอาคาร ซึ่งเป็นจุดขายสำคัญของอาคารสำนักงานในปัจจุบัน

โดยหากห้องของอาคารสำนักงานมีความสูงที่ 3.00 เมตร ระยะในการติดตั้งที่เหมาะสม คือ 2.00 เมตร จากพื้นห้องขึ้นไป เพื่อไม่ให้เกิดการบังสายตาของผู้ใช้งานภายในอาคาร โดยความสูงที่ระยะประมาณ 2.20 เมตร จะส่งผลให้ความสม่ำเสมอของความสว่างและคุณภาพแสงดีที่สุด (ชัยวัฒน์ มุตติศานต์, 2548)

2.2.6 องศาของฝ้าเพดาน

รูปแบบของฝ้าเพดานมีผลต่อการนำแสงสว่างเข้ามาในอาคารโดยการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร โดยการออกแบบฝ้าเพดานจะส่งผลต่อปริมาณของแสงธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคารแตกต่างกัน รวมถึงการใช้วัสดุและลักษณะของพื้นผิว (ชนินทร์ กุลสุรกิจ, 2557) โดยงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการประยุกต์ใช้หิ้งสะท้อนแสงกับการออกแบบแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบการทำงานในอาคาร ซึ่งแผงสะท้อนแสงที่พื้นผิวมีการสะท้อนแสงลักษณะกระเจิงแสง (Spread Reflection) ติดตั้งที่ระดับความสูง 2.75 เมตร มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะความลึกของแสงที่ส่องผ่านเข้ามาทางช่องเปิดที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบ เพิ่มขึ้น 1.70 เมตร ในทิศเหนือ และ 1.75 เมตร ในทิศใต้ (ไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม, 2553)

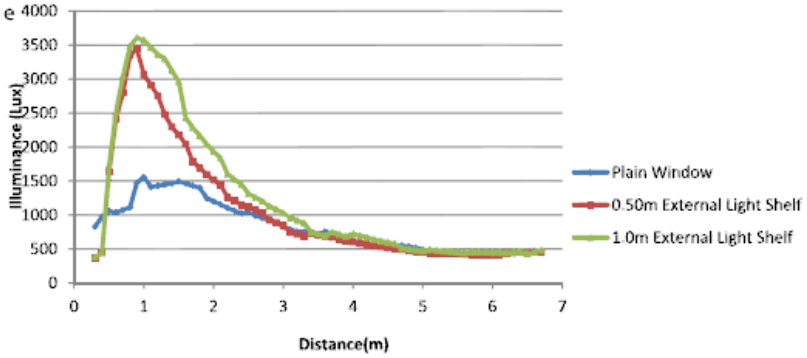
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 18 รูปแบบฝ้าเพดานที่สัมพันธ์กับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร
(ที่มา : Robbins, C., L., 1986)

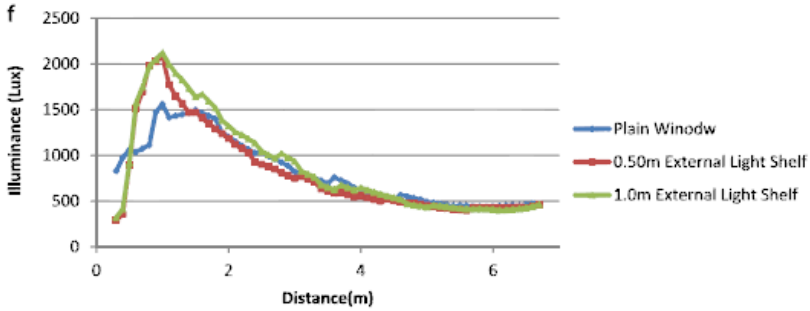
รูปที่ 18 รูปแบบของฝ้าเพดานที่เอียงขึ้นจากช่องเปิด จะช่วยเพิ่มความลึกของแสงภายในห้อง ได้มากกว่าฝ้าเพดานแบบเรียบที่ไม่มีการเอียง โดยควรเลือกติดตั้งฝ้าเพดานที่ส่งผลต่อการสะท้อนของแสงเข้าสู่ภายในห้อง ที่ระยะ 1.00-2.00 เมตร จึงจะเหมาะสมที่สุด โดยวัดจากตำแหน่งช่องเปิดเข้ามาภายในห้องสำนักงาน เพราะส่งผลให้ความสม่ำเสมอของแสงมีค่ามากที่สุด (วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)

2.2.7 วัสดุของหิ้งสะท้อนแสง



รูปที่ 19 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีลักษณะพื้นผิวที่มีความกระจายแสง

(ที่มา : Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)



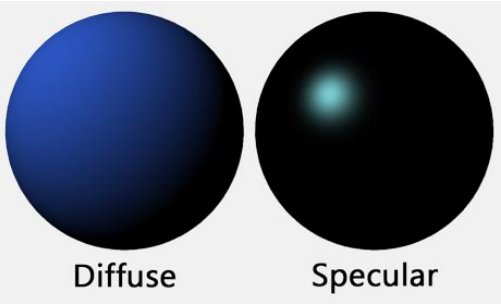
รูปที่ 20 ความเข้มของแสงที่ระยะต่างๆจากช่องเปิดในวันที่ 21 มีนาคม เวลา 12.00 น.ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง ของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีลักษณะพื้นผิวที่มีความมันวาว

(ที่มา : Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะยื่น 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร ของหิ้งสะท้อนแสง และพื้นผิวของวัสดุที่นำมาใช้เป็นหิ้งสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน คือ กรณีศึกษาดังรูปที่ 19 ใช้แผ่นอลูมิเนียม มีลักษณะพื้นผิวที่มีความกระจายแสง (Diffuse) มีค่าการสะท้อนแสง 80% ส่วนกรณีศึกษาดังรูปที่ 20 ใช้แผ่นกระจกสะท้อนแสง มีลักษณะพื้นผิวที่มีความมันวาว (Specular) มีค่าการสะท้อนแสง 95% มีปริมาณแสงสว่างที่กระจายเข้าสู่ภายในห้องช่วงความลึกที่ 0.00-4.00 เมตร ที่แตกต่างกัน โดยกรณีศึกษาดังรูป 19 ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นหิ้งสะท้อนแสง สามารถนำแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่ากรณีศึกษาดังรูป 20 ที่ใช้แผ่นกระจกสะท้อนแสง ส่วนในช่วงความลึกที่ 4.00 เมตรเป็นต้นไปนั้นไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (Warrier & Raphael, 2017)

วัสดุที่ใช้ในการผลิตหิ้งสะท้อนแสง แบ่งได้ตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ แบบใช้งานถาวร เช่น คอนกรีต อะลูมิเนียม โพลีคาร์บอเนต เป็นต้น และแบบใช้งานชั่วคราว ได้แก่ ยิปซั่มบอร์ด แผงอลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดที่มีลักษณะพื้นผิวต่างกัน เช่น พื้นผิวขรุขระ พื้นผิวเรียบ หรือพื้นผิวมีความมันวาว ต่างทำให้มีค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน และมีผลทำให้มีการกระจายแสงที่แตกต่างกันได้ ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ลักษณะวัสดุพื้นผิวแบบกระจายแสงและสะท้อนแสง
(ที่มา : https://clara.io/learn/user-guide/lighting_shading/materials/material_types/webgl_materials, 29 มี.ค. 62)

2.3 การประเมินคุณภาพแสงสว่าง

2.3.1 การประเมินคุณภาพแสงสว่าง โดยใช้เกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

เกณฑ์ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) เป็นเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของประเทศสหรัฐอเมริกา พัฒนาขึ้นมาโดย United States Green Building Council – USGBC ซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยปัจจุบันได้รับการพัฒนาและปรับปรุงมาจนเป็นเวอร์ชันที่ 4 ในปี ค.ศ. 2014 และเวอร์ชัน 4.1 ในปี ค.ศ. 2019 โดยในส่วนเกณฑ์ LEED V4 for Building Design and Construction มีหัวข้อเฉพาะที่เกี่ยวกับการประเมินคุณภาพแสงสว่างในหัวข้อ Daylight ซึ่งอยู่ในส่วนหัวข้อย่อย Indoor Environment Quality โดยมีทางเลือกสำหรับการประเมินทั้งหมด 3 ทางเลือก ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.1.1 ทางเลือกที่ 1 จำลองแสงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ในการประเมิน

เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) เป็นเกณฑ์กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี โดยคิดสัดส่วนระหว่างจำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์ส่วนด้วยจำนวนตำแหน่งวัดค่าทั้งหมด โดยต้องได้รับแสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี โดยต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 55% ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ดังกล่าว

$$\frac{\text{จำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์}}{\text{จำนวนตำแหน่งทั้งหมด}} \times 100 \geq 55\%$$

นอกจากนี้เกณฑ์ LEED V4 ยังได้มีการกำหนดคะแนนที่จะได้รับ หากสามารถมีสัดส่วนพื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ ตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามทางเลือกที่ 1
(ที่มา : LEED V4, U.S. Green Building Council, 2014)

ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ ตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA)			
New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
sDA (for regularly occupied floor area)		**sDA (for perimeter floor area)**	
55%	**2 points**	**75%**	**1 points**
75%	**3 points**	**90%**	**2 points**

เกณฑ์ Annual Sunlight Exposure (ASE) เป็นเกณฑ์ที่กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี โดยต้องมีการควบคุมไม่ให้มากเกินไป ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดแสงบาดตาได้ โดยคิดสัดส่วนระหว่างจำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์ส่วนด้วยจำนวนตำแหน่งวัดค่าทั้งหมด ซึ่งกำหนดให้พื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ สามารถมีความสว่างเกิน 1,000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี

$$\frac{\text{จำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์}}{\text{จำนวนตำแหน่งทั้งหมด}} \times 100 \leq 10\%$$

การวิเคราะห์และประเมินผลโดยใช้เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และAnnual Sunlight Exposure (ASE) กำหนดให้ตำแหน่งหรือกริดที่ใช้ในการวัดค่า มีขนาดไม่เกิน 600 ตารางมิลลิเมตร และสูงจากพื้นห้อง 760 มิลลิเมตร โดยไม่นับรวมเครื่องใช้ภายในห้อง เฟอร์นิเจอร์ และแผงกั้นห้องชั่วคราว โดยเมื่อจำลองแล้วจะได้ค่าความสว่างที่วัดได้บริเวณตำแหน่งนั้นๆ ก่อนทำการรวบรวมข้อมูลของแต่ละกรณีศึกษามาวิเคราะห์

นอกจากนี้เกณฑ์ LEED V4 ยังได้นำมาตรฐาน IES LM 83-12 ของ Illuminating Engineering Society ที่กำหนดวิธีการประเมินโดยใช้เกณฑ์ sDA และ ASE มาประกอบ โดยมีตัวแปรสำคัญที่ต้องอ้างอิง ได้แก่

- ระยะเวลาในการวิเคราะห์ คือ 10 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 8.00 น. - 18.00 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 3,650 ชั่วโมง
- ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน ได้แก่ พื้น 10% ผนัง 50% และฝ้าเพดาน 70% ตามมาตรฐาน IES LM 83-12 สำหรับการจำลองแสงภายในอาคาร ซึ่งหากอาคารที่ออกแบบมีค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในแตกต่างออกไปจากมาตรฐานดังกล่าว ให้ทำการจำลองตามค่านั้นๆ
- ไฟล์ข้อมูลอากาศ ใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศมาตรฐานของกรุงเทพมหานคร *THA_Bangkok.484560_IWEC*

2.3.1.2 ทางเลือกที่ 2 จำลองแสงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการวัดค่าความสว่างของพื้นที่

โดยกำหนดให้พื้นที่อย่างน้อย 75% ของพื้นที่ที่ใช้งานประจำ ต้องมีความสว่างตั้งแต่ 300 lux – 3,000 lux ในเวลา 9.00 น. - 15.00 น. โดยทำการจำลอง 2 ครั้ง ได้แก่ ภายใน 15 วัน หลังจากวันที่ 21 กันยายน และภายใน 15 วัน หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โดยจำลองในสภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปกคลุม และใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศของสถานที่ตั้ง โดยมีเกณฑ์การประเมินคะแนนที่จะได้รับดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยการวัดค่าความสว่างของพื้นที่ ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามทางเลือกที่ 2
(ที่มา : LEED V4, U.S. Green Building Council, 2014)

ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ โดยการวัดค่าความสว่างของพื้นที่			
New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
75%	**1 points**	**75%**	**1 points**
90%	**2 points**	**90%**	**2 points**

2.3.1.3 ทางเลือกที่ 3 วัดแสงจริง

เป็นวิธีการวัดแสงจริงในอาคารที่สร้างแล้วเสร็จ และยังไม่มีเครื่องใช้รวมถึงเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ โดยต้องมีความสว่างตั้งแต่ 300 lux – 3,000 lux โดยทำการวัดในช่วงเวลา 9.00 น. - 15.00 น. โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมควรทำการวัดทุก 1 ชั่วโมง โดยสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 14 ตารางเมตร จะวัดเป็นตารางทุกระยะห่างไม่เกิน 3 เมตรของผังพื้น ส่วนกรณีพื้นที่ที่มีขนาดเล็กกว่า 14 ตารางเมตร จะทำการวัดเป็นตารางทุกระยะ 90 เซนติเมตร โดยมีเกณฑ์การประเมินคะแนนที่จะได้รับดังตารางที่ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนของพื้นที่อาคารที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยวิธีการวัดแสงจริง ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามทางเลือกที่ 3
(ที่มา : LEED V4, U.S. Green Building Council, 2014)

ระดับคะแนนที่ได้ จากสัดส่วนพื้นที่อาคารที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ โดยวิธีการวัดแสงจริง			
New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
75%	**2 points**	**75%**	**1 points**
90%	**3 points**	**90%**	**2 points**

2.3.2 การประเมินผลการเกิดแสงบาดตา

แสงบาดตา คือ แสงหรือความสว่างที่ส่องเข้ามาในดวงตาของผู้มองเห็นโดยตรง ซึ่งแสงหรือความสว่างนั้นอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาหรือทำให้เกิดอุปสรรคต่อการมองเห็นของผู้มองเห็น หรือสูญเสียความสามารถในการมองเห็นชั่วขณะ โดยแสงบาดตาสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

2.3.2.1 แสงบาดตาที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ (Disability Glare) เป็นผลทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง ในอาคารสำนักงานอาจเกิดกรณีนี้ได้ จากการรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์

2.3.2.2 แสงบาดตาที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา (Discomfort Glare) เป็นผลทำให้เกิดความรำคาญ แต่ไม่ถึงกับทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง

วิธีการประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติมีหลายวิธี วิธีการหนึ่งคือ การประเมินความน่าจะเป็นของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Jan Wienold และ Jens Christoffersen ในปี ค.ศ.2006 โดยอ้างอิงจากความน่าจะเป็นของจำนวนคนที่ถูกแสงบาดตารบกวน ซึ่งไม่ได้เป็นการวัดสภาวะสบายตาจากแสงบาดตาเท่านั้น (ณัฏฐ์จิรา สมิดาสุตานันท์, 2553) โดยมีระดับการวัดค่าของแสงบาดตาแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่

1. ปกติ ไม่รู้สึก (Imperceptible Glare)
2. เริ่มรู้สึกไม่สบายตา (Perceptible Glare)
3. แสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare)
4. แสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare)

ระดับค่า การประเมินความน่าจะเป็นของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight glare probability, DGP) แสดงดังตารางที่ 6

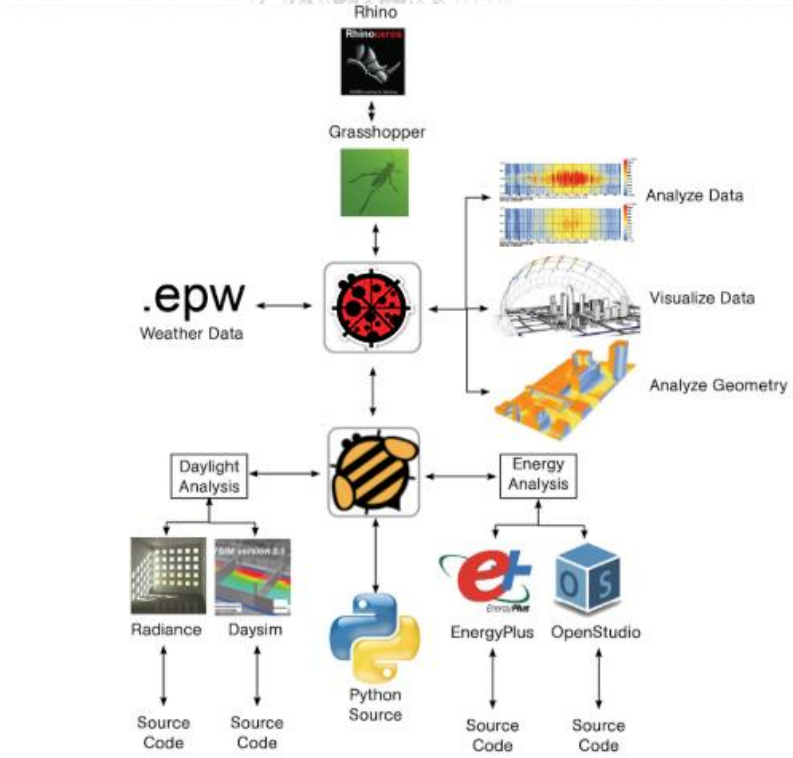
ตารางที่ 6 ระดับค่าของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ

ระดับค่าของแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight glare probability, DGP Level)	
ปกติ ไม่รู้สึก (Imperceptible Glare)	DGP < 0.35
เริ่มรู้สึกไม่สบายตา (Perceptible Glare)	0.35 ≤ DGP < 0.40
แสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare)	0.40 ≤ DGP < 0.45
แสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare)	DGP ≥ 0.45

2.3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองแสงธรรมชาติ

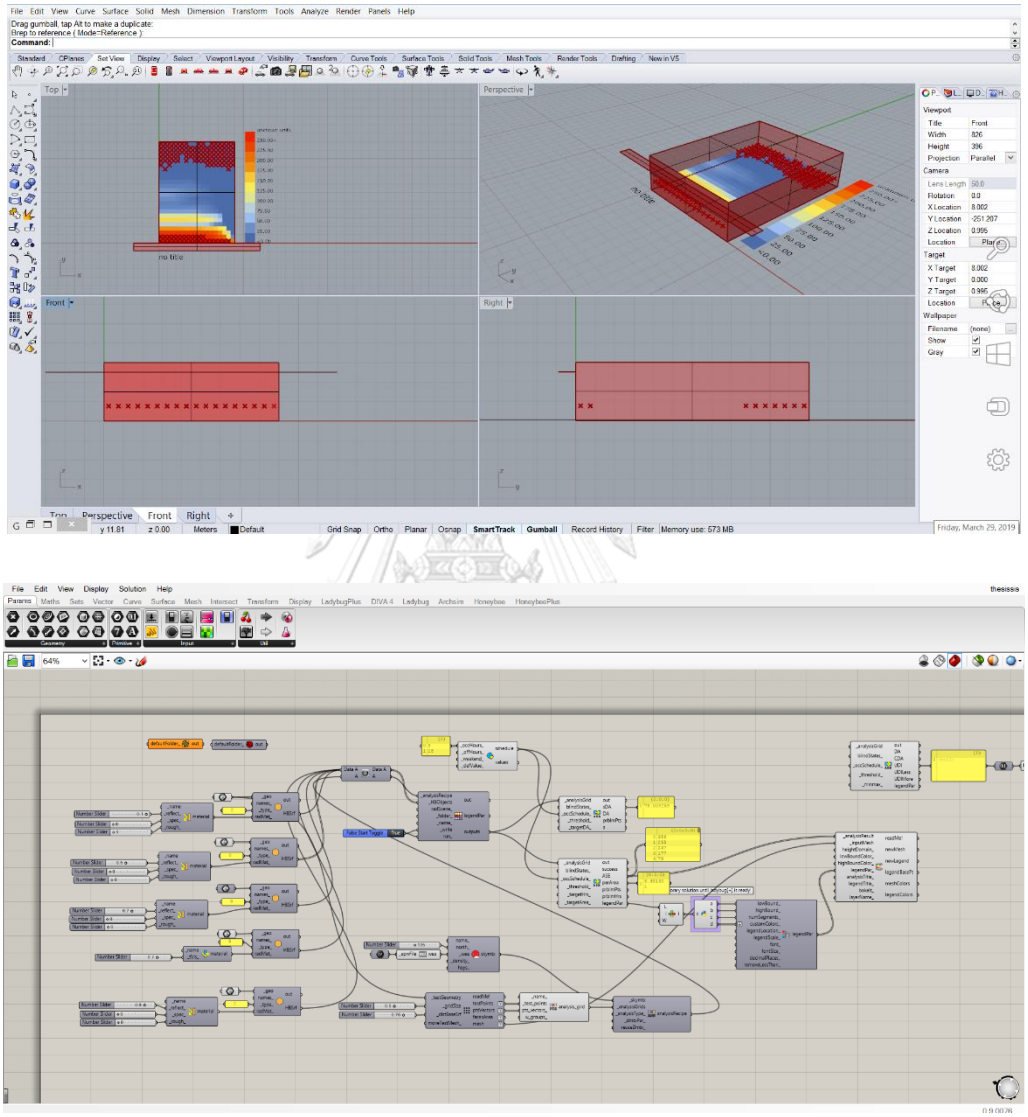
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองแสงธรรมชาติ ในปัจจุบันมีหลายโปรแกรม เช่น โปรแกรม DesignBuilder โปรแกรม Insight360 for Revit โปรแกรม DIVA for Rhino และโปรแกรม Honeybee for Grasshopper ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ โดยทำการสร้างโมเดล 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Rhinoceros ซึ่ง พัฒนาขึ้นโดย Robert McNeel & Associates โดยมี Grasshopper เป็นโปรแกรมเสริมของ Rhinoceros ในการช่วยเขียนภาษาโปรแกรมเชิงทัศน์ (Visual Programming Language) ทำให้ Rhinoceros สามารถสร้างโมเดลที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ใช้ Ladybug Tools และ Honeybee Tools ซึ่งเป็นโปรแกรมชุดเครื่องมือส่วนเสริม ที่ใช้ป้อนคำสั่งกับ Grasshopper ในการจำลองแสงและพลังงาน สำหรับการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Ghobad, 2018) โดยโปรแกรมแต่ละส่วนมีลำดับขั้นตอนของการทำงานและความเชื่อมโยง ดังรูปที่ 22

Ladybug Tools และ Honeybee Tools ได้รับการพัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ.2013 โดยเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับผู้ออกแบบในการช่วยวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่ง Ladybug เป็นคำสั่งเกี่ยวกับการวิเคราะห์สภาพอากาศ ส่วน Honeybee มีคำสั่งที่หลากหลาย โดยมี engines ต่างๆ เช่น โปรแกรม Radiance โปรแกรม Daysim และโปรแกรม EnergyPlus เป็นส่วนประกอบในการทำงาน โดยทั้ง 2 โปรแกรม ได้แก่ Radiance และ Daysim เป็นโปรแกรมในการจำลองแสงธรรมชาติ ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและได้รับการยอมรับความถูกต้องของผลการจำลอง จึงสามารถยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ในการจำลองผลแสงธรรมชาติได้ (Roudsari & Park, 2013)

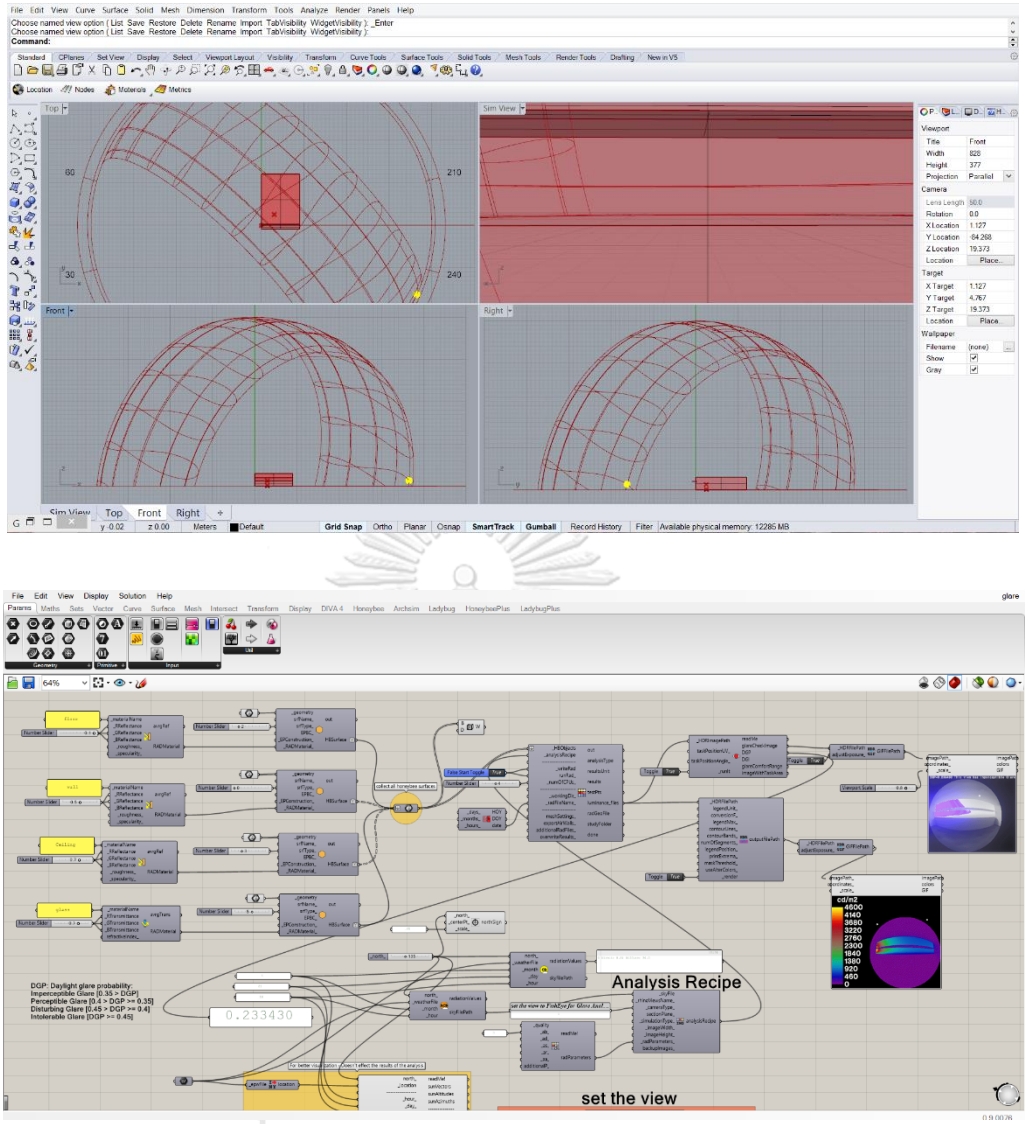


รูปที่ 22 ลำดับขั้นตอนของการทำงานและความเชื่อมโยงของโปรแกรม
Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools
(ที่มา : https://github.com/mostaphaRoudsari/honeybee/wiki , 8 ก.ค. 62)

งานวิจัยนี้ใช้ชุดเครื่องมือ Ladybug Tools และ Honeybee Tools เวอร์ชัน Plus ในการคำนวณค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) และใช้ Ladybug Tools และ Honeybee Tools เวอร์ชัน Legacy ในการประเมินผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) โดย สามารถแสดงผลได้ทั้งเป็นค่าสัดส่วนและแผนภาพ ดังรูปที่ 23 และ 24



รูปที่ 23 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools ในการประเมินผล Spatial Daylight Autonomy (sDA) Annual Sunlight Exposure (ASE)



รูปที่ 24 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools ในการประเมินผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP)

2.4 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

2.4.1 เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

อาคารเขียว (Green Building) หมายถึงอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ในอนาคต ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้มีการพัฒนาของการก่อสร้างอาคาร ยิ่งในปัจจุบันจำนวนประชากรของโลกก็มีจำนวนเพิ่มขึ้นสูงขึ้น ส่งผลให้ในอนาคต อาคารพักอาศัย และอาคารสาธารณะต่างๆ มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีหลักเกณฑ์เพื่อเป็นมาตรฐาน ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีเกณฑ์การประเมินที่แตกต่างกันออกไป เช่น หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา (LEED : Leadership in Energy and Environmental Design) เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย (TREES : Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) เป็นต้น

หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา (LEED : Leadership in Energy and Environmental Design) เป็นหลักเกณฑ์การประเมินที่พัฒนาโดย USGBC (The U.S. Green Building Council) เพื่อรับรองว่าอาคารนั้นได้รับการออกแบบให้เป็นอาคารเขียว โครงการต่างๆ ในปัจจุบันนำไปเป็นจุดขายในการแสวงผลประโยชน์ทางการตลาดโดยเฉพาะอาคารสำนักงาน ที่เน้นเรื่องการพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ Sustainability อาคารเขียวจะต้องมีความรับผิดชอบในการรักษาสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ (Natural Environment) สามารถใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดวงจรอายุอาคาร (Building life cycle) รวมถึงช่วยลดผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของผู้ใช้อาคาร (Human Health)

ในปัจจุบันเกณฑ์ LEED ได้โดยปัจจุบันได้รับการพัฒนาและปรับปรุงมาจนเป็นเวอร์ชันที่ 4 ในปี ค.ศ. 2014 มีการแบ่งประเภทของการรับรองสิ่งก่อสร้างเป็น 7 ประเภท ได้แก่

1. LEED-NC : New (Commercial) Construction & Renovation
2. LEED-EBOM : Existing Building Operation & Maintenance
3. LEED-CI : Commercial Interior Project
4. LEED-CS : Core & Shell Project
5. LEED-H : Homes, Multi-family Residence
6. LEED School, Retail, Healthcare, Hospitality, Warehouse
7. LEED-ND : Neighborhood Development

เกณฑ์ LEED เวอร์ชันที่ 4 จะแบ่งการประเมินออกเป็น 8 หัวข้อ ได้แก่

1. Integrative Process กระบวนการแบบบูรณาการ
2. Location & Transportation ที่ตั้งโครงการและการเดินทางเข้าถึงโครงการ
3. Sustainable Site ความยั่งยืนของสถานที่ตั้งอาคาร
4. Water Efficiency ประสิทธิภาพในการใช้น้ำทั้งภายในและภายนอกอาคาร

5. Energy and Atmosphere การใช้พลังงานภายในอาคารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

6. Materials and Resources การใช้วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้างอาคาร

7. Indoor Environmental Quality คุณภาพของสภาพแวดล้อมโดยรวมภายในอาคาร

8. Innovation in Design + Regional Priority นวัตกรรมในการออกแบบ และการออกแบบที่คำนึงถึงท้องถิ่น

โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญในหัวข้อที่ 5 คือ Energy and Atmosphere ในส่วนหัวข้อย่อย Minimum Energy Performance และหัวข้อที่ 7 Indoor Environment Quality ในส่วนหัวข้อย่อย Daylight ดังที่ได้กล่าวไปดังหัวข้อที่ผ่านมา

Minimum Energy Performance เป็นข้อบังคับของเกณฑ์ LEED ในส่วน Energy and Atmosphere โดยในส่วนนี้สามารถทำให้ได้คะแนนการประเมินจากเกณฑ์ LEED เพิ่ม โดย หัวข้อ Minimum Energy Performance มีทั้งหมด 3 ทางเลือก ได้แก่

ทางเลือกที่ 1 การจำลองผลการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร

ทางเลือกที่ 2 ออกแบบตามมาตรฐาน ASHRAE 50% Advanced Energy Design

ทางเลือกที่ 3 ออกแบบตามมาตรฐาน Advanced Building Core Performance

งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับทางเลือกที่ 1 คือ **การจำลองผลการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร**โดยบังคับผลการใช้พลังงานรวมของ**อาคารที่ทำการออกแบบใหม่ต้องลดลงจากเดิม 5%** อาคารที่ทำการปรับปรุงใหม่ลดลงจากเดิม 3% และสำหรับอาคารที่ต้องการออกแบบเฉพาะเปลือกอาคารและส่วนที่เป็นแกนบริการของอาคาร (Core & Shell) ต้องลดลงจากเดิม 2%

ขั้นตอนในการประเมิน ต้องทำการจำลองผลการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้งหมด 2 ครั้ง ได้แก่

1. Baseline คือ จำลองอาคารโดยการตั้งค่าต่างๆ ตามมาตรฐาน (ASERAE, 2010)

2. Proposed คือ จำลองอาคารตามที่ทำการออกแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึงกรณีศึกษาหิ้งสะท้อนแสงที่คัดเลือกมาทำการจำลองพลังงาน

ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 มีข้อกำหนดสำหรับการตั้งค่าโปรแกรมต่างๆ สำหรับทำการจำลองผล เช่น โปรแกรมในกลุ่ม EnergyPlus BLAST และ DOE-2 ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ โปรแกรม VisualDOE ในกลุ่ม DOE-2 โดยมีข้อกำหนด คือ

- จำลองรายชั่วโมงทั้งหมด 8,760 ชั่วโมง ต่อปี
- ในแต่ละชั่วโมงการใช้งาน สามารถตั้งค่าอุปกรณ์ระบบต่างๆ ให้แตกต่างกันได้
- จำลองผล โดยการแบ่งเป็นโซนการปรับอากาศและโซนการใช้สอยต่างๆได้

ซึ่งงานวิจัยนี้ ให้ความสำคัญกับแสงสว่างที่เข้าสู่ภายในห้องที่ทำการศึกษา ดังนั้นในการจำลองผลการใช้พลังงาน จึงทำการจำลองเฉพาะส่วนของห้องที่ทำการศึกษาเท่านั้น โดยทำการตั้งค่าต่างๆ ในส่วนกรณีที่ศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงในลักษณะต่างๆ (Proposed) เช่นเดียวกับ กรณีศึกษาที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง (Baseline) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านการใช้พลังงาน

นอกจากนี้การลดใช้พลังงานตาม Minimum Energy Performance และหากออกแบบได้มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาตรฐาน ASERAE 90.1.2010 ยังสามารถทำคะแนนในหัวข้อ Optimized Energy Performance ได้ดังตารางที่ 7

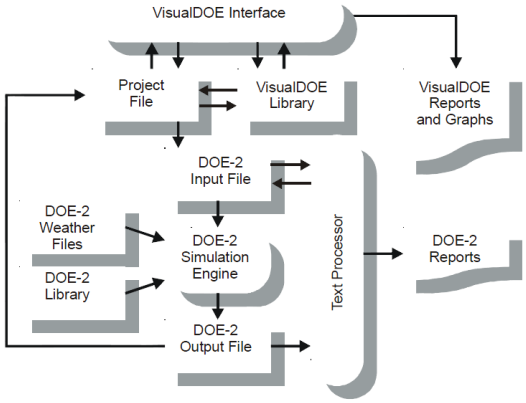
ตารางที่ 7 ระดับคะแนนที่ได้ในหัวข้อ Optimized Energy Performance ตามเกณฑ์ LEED V4
(ที่มา : LEED V4, U.S. Green Building Council, 2014)

New Construction	Major Renovation	Core and Shell	Points (except Schools, Healthcare	Points Healthcare	Points School
6%	4%	3%	**1**	3	1
8%	6%	5%	**2**	4	2
10%	8%	7%	**3**	5	3
12%	10%	9%	**4**	6	4
14%	12%	11%	**5**	7	5
16%	14%	13%	**6**	8	6
18%	16%	15%	**7**	9	7
20%	18%	17%	**8**	10	8
22%	20%	19%	**9**	11	9
24%	22%	21%	**10**	12	10
26%	24%	23%	**11**	13	11
29%	27%	26%	**12**	14	12
32%	30%	29%	**13**	15	13
35%	33%	32%	**14**	16	14
38%	36%	35%	**15**	17	15
42%	40%	39%	**16**	18	16
46%	44%	43%	**17**	19	-
50%	48%	47%	**18**	20	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองผลการใช้พลังงาน

โปรแกรมในการจำลองผลการใช้พลังงาน สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้หลายกลุ่ม เช่น โปรแกรมในกลุ่ม EnergyPlus เช่น โปรแกรม Open Studio, Design Builder เป็นต้น โปรแกรมในกลุ่ม BLAST และโปรแกรมในกลุ่ม DOE-2 เช่น โปรแกรม eQuest, VisualDOE เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมแต่ละกลุ่มต่างมีระบบการทำงานที่แตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม VisualDOE ซึ่งเป็นโปรแกรมในกลุ่ม DOE-2 พัฒนาขึ้นโดย Lawrence Berkeley National Laboratory's Simulation Research Group สำหรับกระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน โดยสามารถคำนวณผลการใช้พลังงานและข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง รวมถึงเครื่องใช้ต่างๆภายในอาคาร โดยมีการเชื่อมโยงข้อมูลส่วนต่างๆของโปรแกรมดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 การเชื่อมโยงข้อมูลส่วนต่างๆของโปรแกรม VisualDOE
(ที่มา : https://www.researchgate.net/publication/258246511_VisualDOE_--_A_Green_Design_Tool , 21 มิ.ย. 62)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โปรแกรม DOE-2 มี BDL Processor ในการอ่านข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนเข้าสู่โปรแกรม โดยมีการประมวลผลข้อมูลการทำงานของโปรแกรมประกอบด้วย 3 โปรแกรมรอง ดังรูปที่ 26 ได้แก่

1. Loads คำนวณเกี่ยวกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากสภาพอากาศ ดวงอาทิตย์ ตารางการใช้งานอาคาร ระบบแสงสว่าง เป็นต้น

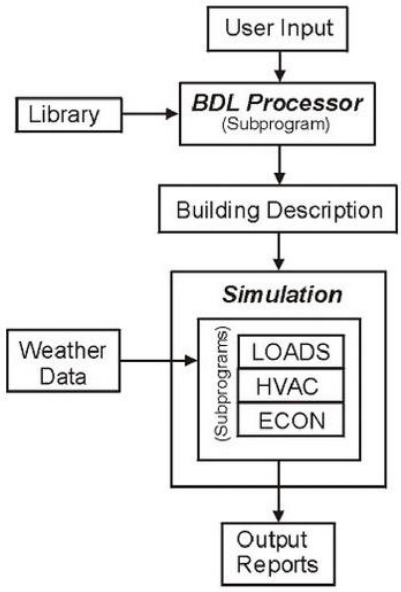
2. HVAC ประกอบไปด้วย 2 โปรแกรมย่อย ได้แก่

    2.1 Plant คำนวณเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้งานของ Boilers, Chillers, Cooling Towers เป็นต้น และคำนวณเกี่ยวกับเชื่อเพลิงและปริมาณไฟฟ้าที่ใช้

    2.2 Systems คำนวณเกี่ยวกับอุปกรณ์ในส่วน Air-side เช่น Fans, Coils เป็นต้น

3. ECON คำนวณเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานในอาคาร

โปรแกรม VisualDOE ผู้ใช้ต้องมีการป้อนข้อมูลอากาศ (Weather Data) ของ US National Weather Service ซึ่งมีข้อมูลอากาศของประเทศและเมืองต่างๆ รวมถึงข้อมูลในส่วน Library ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุองค์ประกอบของอาคาร ได้แก่ ผนัง พื้น กระจก เป็นต้น



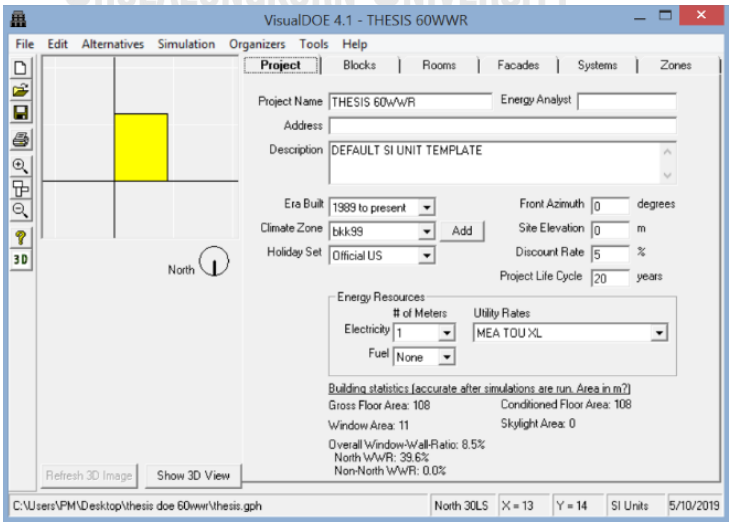
รูปที่ 26 การประมวลผลข้อมูลของโปรแกรม DOE-2

(ที่มา : https://slideplayer.com/slide/14343321/, 21 มิ.ย. 62)

หน้าหลักของโปรแกรม VisualDOE ประกอบด้วย 6 หัวข้อย่อยสำหรับป้อนข้อมูล ได้แก่

1. Project สำหรับป้อนข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโครงการ เช่น ข้อมูลอากาศ ตำแหน่งทิศ เป็นต้น
2. Blocks สำหรับการสร้างรูป 3 มิติ ของอาคาร และข้อมูลวัสดุพื้น ผนัง ฝ้า หลังคา ของอาคาร
3. Rooms สำหรับการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับประเภทการใช้งาน ระบบแสงสว่างภายใน
4. Facades สำหรับป้อนข้อมูลเกี่ยวกับเปลือกอาคาร ช่องเปิดและส่วนทึบ
5. Systems สำหรับป้อนข้อมูลเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ
6. Zones สำหรับป้อนข้อมูลเกี่ยวกับการหมุนเวียนของอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 27 หน้าหลักของโปรแกรม VisualDOE

2.4.3 ค่า OTTV และ RTTV

ค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value) หรือค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร และ ค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) หรือค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร ตามกฎหมายอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ได้มีการกำหนดให้มีการคำนวณทั้ง 2 ค่าดังกล่าว โดยมีการกำหนด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า OTTV และ RTTV ตามกฎหมายอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
(ที่มา : พระราชบัญญัติการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552)

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

การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาคาร ซึ่งสามารถช่วยป้องกันแสงในทางตรง สามารถช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารได้ หากการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ทำหน้าที่คล้ายกับแผงกันแดดภายนอกอาคาร

สรุปจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในหัวข้อทฤษฎีเกี่ยวกับทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น การออกแบบหิ้งสะท้อนแสง การประเมินคุณภาพแสงสว่างโดยใช้เกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ทำให้ทราบถึงรายละเอียดจากผลการศึกษาที่ผ่านมา และทำให้สามารถกำหนดตัวแปรต้นในการวิจัย รวมถึงตัวแปรควบคุมต่างๆ เพื่อทำการจำลองแสงธรรมชาติ โดยใช้โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools เพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ในเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และทำการจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) เพื่อประเมินผลการลดการเกิดแสงบาดตา รวมถึงจำลองผลการใช้พลังงาน ด้วยโปรแกรม VisualDOE ก่อนและหลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานหิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงาน ร่วมกับการประเมินผลแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ในประเทศไทย โดยมีเพียงการประเมินผลร่วมกับการใช้แผงกันแดดในรูปแบบต่างๆเท่านั้น (รุจิเรจ อินทรเนตร, 2558)

บทที่ 3
วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการเพิ่มศักยภาพการใช้งานแสงธรรมชาติแนวทางในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารสำนักงาน ลดพื้นที่การรับแสงตรง ซึ่งทำให้เกิดความไม่สบายตากับผู้ใช้งานภายในอาคารจากแสงบาดตา และทำให้อาคารสามารถเปิดช่องเปิดเพื่อมองวิวทิวทัศน์ภายนอกได้ รวมถึงส่งผลในการลดการใช้พลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนในการวิจัยมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่

3.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 กำหนดลักษณะและขนาดห้องของอาคารสำนักงานกรณีศึกษา

3.1.2 กำหนดตัวแปรและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองแสงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2 จำลองผลแสงธรรมชาติเพื่อหาค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

3.3 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด และทำการจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools

3.4 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด กำหนดตัวแปรในการจำลองผลการใช้พลังงาน และทำการจำลองผลการใช้พลังงาน ด้วยใช้โปรแกรม VisualDOE

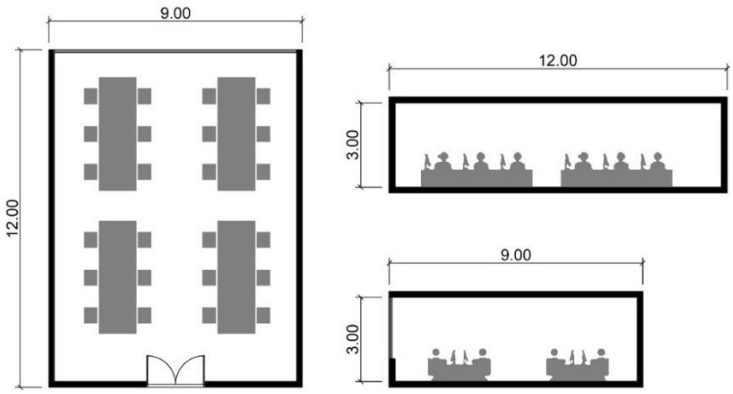
3.5 วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผล การประเมินผลค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) และผลการใช้พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 กำหนดลักษณะและขนาดห้องของอาคารสำนักงานกรณีศึกษา

ทำการศึกษากับขนาดมาตรฐานของพื้นที่ทำงานในอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร โดยสัดส่วนของอาคารที่ทำการศึกษา คือ **กว้าง 9.00 เมตร ลึก 12.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร** ดังรูปที่ 28 จากการหาค่าเฉลี่ยจากกอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร 3 อาคาร ได้แก่ อาคาร Sathorn Square ขนาดกว้าง 9.50 เมตร ลึก 11.00 เมตร สูง 3.00 เมตร อาคาร Park Venture ขนาดกว้าง 8.80 เมตร ลึก 12.00 สูง 3.00 เมตร และอาคาร AIA Capital Center ขนาดกว้าง 11.00 เมตร ลึก 12.30 เมตร สูง 3.00 เมตร (รุจิเรจ อินทรเนตร, 2558)



รูปที่ 28 ผังพื้นและรูปตัดห้องสำนักงานที่ทำการศึกษา

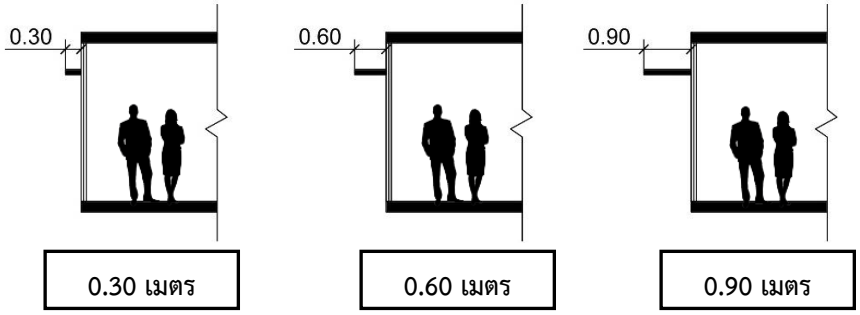
3.1.2 กำหนดตัวแปรและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1.2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ รูปแบบและรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน องศาของฝ้าเพดาน สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด

3.1.2.1.1 รูปแบบและรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง และระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง

จากงานวิจัยของวรภัทร อังสนันรัตนา หิ้งสะท้อนแสงและแผงกันแดดในประเทศไทย จะนิยมใช้เป็น**หิ้งสะท้อนแสงแบบติดตั้งภายนอกอาคาร** เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจะไม่สามารถเข้ามายังพื้นที่ภายในได้ หรือแบบผสมที่หิ้งสะท้อนแสงภายในมีพื้นที่น้อย

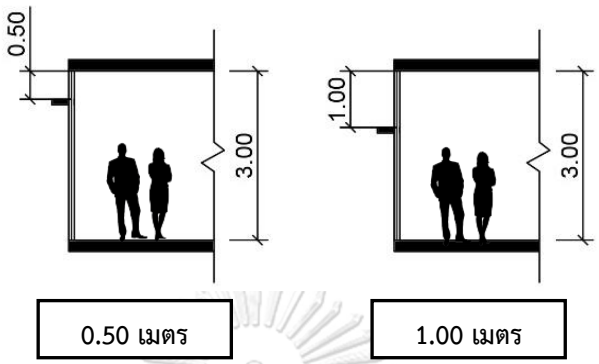
รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด คือ **ชนิดแบบเรียบ** เนื่องจาก**มีคุณสมบัติในการกันแสงตรงมากที่สุดในทุกช่วงเวลาตลอดปี ช่วยลดปริมาณความเข้มแสงลงได้สูงสุด** แม้จะกระจายแสงเข้าสู่ส่วนลึกของห้องได้ไม่ดีเท่ากับแบบโค้งเว้า แต่ลดความร้อนแต่เข้าสู่ภายในห้องในมากที่สุด และเป็นรูปทรงที่ง่ายต่อการผลิตและติดตั้ง โดยในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก จากเปลือกอาคาร จำนวน 3 ระยะยื่น ได้แก่ **0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร** ดังรูปที่ 29 โดยอ้างอิงจากขนาดของวัสดุที่ใช้ในประเทศไทย เช่น แผ่นอลูมิเนียม เป็นต้น



รูปที่ 29 รูปแบบกรณีศึกษา – ระยะยื่นภายนอกอาคารของหิ้งสะท้อนแสง

3.1.2.1.2 ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน

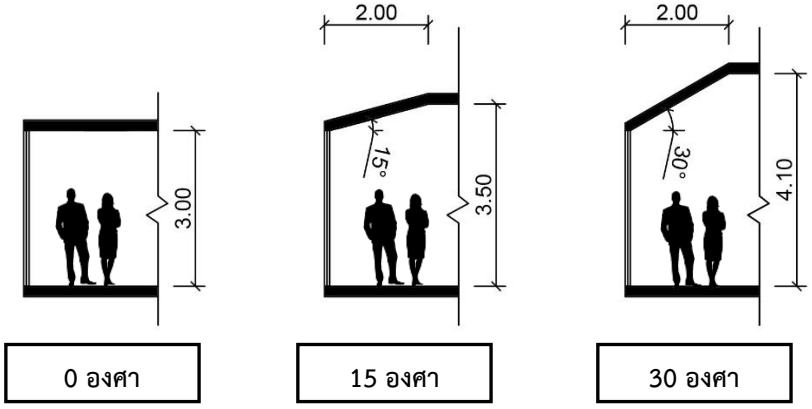
หากอาคารสำนักงานมีความสูงของห้องที่ 3.00 เมตร ระยะในการติดตั้งที่เหมาะสม คือ 2.00 เมตรจากพื้นห้องขึ้นไป เพื่อไม่ให้เกิดการบังสายตาของผู้ใช้งานภายในอาคาร โดยเลือกศึกษาระยะในการติดตั้ง 2 ระยะ ได้แก่ **0.50 เมตร และ 1.00 เมตร** จากฝ้าเพดาน ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 รูปแบบกรณีศึกษา – ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน

3.1.2.1.3 องศาของฝ้าเพดาน

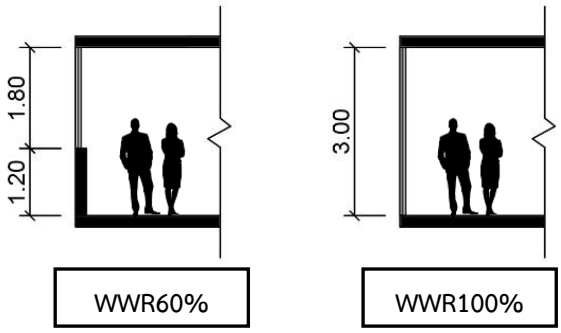
รูปแบบฝ้าเพดานที่เอียงขึ้นจากช่องเปิด สามารถช่วยเพิ่มความลึกของแสงได้มากกว่าฝ้าเพดานแบบเรียบ (ชนินทร์ กุลสุรกิจ, 2557) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาองศาของฝ้าเพดาน ได้แก่ **0 องศา 15 องศา และ 30 องศา** ดังรูปที่ 31 ซึ่งการเพิ่มองศาของฝ้าเพดาน ทำให้มีข้อจำกัดสำหรับอาคารที่มีระดับพื้นถึงพื้น (Floor to Floor) ต่ำ โดยระยะในการเอียง 1.00 - 2.00 เมตร จากช่องเปิด ส่งผลให้การกระจายแสงมีความสม่ำเสมอมากที่สุด (วรภัทร อังสนันรัตนา, 2549)



รูปที่ 31 รูปแบบกรณีศึกษา – องศาของฝ้าเพดาน

3.1.2.1.4 สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (Window-to-Wall Ratio)

มีความสำคัญกับการออกแบบอาคารสำนักงานในปัจจุบัน หลายอาคารมีจุดขายที่ทำให้มูลค่าราคาเช่าสูงขึ้น คือ การที่มีหน้าต่างที่สูงจากพื้นถึงเพดานหรือการมี WWR100% จึงเลือกเป็นหนึ่งในกรณีศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกสัดส่วนทั้งสิ้น 2 สัดส่วน ได้แก่ **WWR60% และ WWR100%** ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 รูปแบบกรณีศึกษา – สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (Window-to-Wall Ratio)

3.1.2.1.5 ตำแหน่งทิศของช่องเปิด

ความแตกต่างของตำแหน่งทิศของช่องเปิด มีผลต่อผลการศึกษาจากความแตกต่างของทิศทางของแสงจากดวงอาทิตย์ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาหิ้งสะท้อนแสงที่ติดตั้งกับช่องเปิดทางทิศต่างๆ ได้แก่ **ทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้**

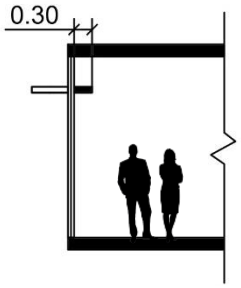
จากตัวแปรต้นทั้งหมด ได้แก่ รูปแบบและรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสง ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน องศาของฝ้าเพดาน สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด สามารถสรุปกรณีศึกษาทั้งหมดได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับทำการจำลองผลค่า sDA และ ASE

<table>
<tr><th>ระยะยื่นของ
หิ้งสะท้อนแสงภายนอก</th><th>ระยะติดตั้ง
ต่ำจากฝ้า</th><th>องศาฝ้า</th><th>WWR</th><th>ตำแหน่งทิศ
ของช่องเปิด</th></tr>
<tr><td>ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง
(Base case)</td><td>-</td><td rowspan="2">0 องศา
15 องศา
30 องศา</td><td rowspan="2">60%
100%</td><td rowspan="2">เหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก
ตะวันออกเฉียงเหนือ
ตะวันออกเฉียงใต้
ตะวันตกเฉียงเหนือ
ตะวันตกเฉียงใต้</td></tr>
<tr><td>ยื่น 0.30 เมตร
ยื่น 0.60 เมตร
ยื่น 0.90 เมตร</td><td>0.50 เมตร
1.00 เมตร</td></tr>
<tr><td colspan="5">กรณีศึกษา รวมทั้งหมด 336 กรณี</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภายหลังจากทำการวิจัยโดยการจำลองผลแสงธรรมชาติ ค่า sDA และ ASE ในเบื้องต้น กับกรณีศึกษาทั้งหมด 336 กรณีแล้วนั้น มีกรณีศึกษาที่มีค่า ASE ที่ใกล้เคียงและมีแนวโน้มในการผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หลายกรณีศึกษา จึงทำการวิจัยเพิ่มโดยการเพิ่มตัวแปรต้น ด้วยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในอาคาร เป็นลักษณะ**หิ้งสะท้อนแสงภายในแบบเรียบ ขนาด 0.30 เมตร** ดังรูปที่ 33 เพื่อลดความเข้มของแสงลง (Warrier, G.A., Raphael, B., 2017) โดยสรุปกรณีศึกษาได้ดังตารางที่ 10



รูปที่ 33 รูปแบบกรณีศึกษา – หลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

ตารางที่ 10 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับทำการจำลองผลค่า sDA และ ASE หลังจากเพิ่มตัวแปรต้น คือ หิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	**ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้า**	**หิ้งสะท้อนแสงภายใน**	**องศาฝ้า**	**WWR**	**ตำแหน่งทิศของช่องเปิด**
ไม่ติดตั้ง (Base case)	-	-	0 องศา 15 องศา 30 องศา	60% 100%	เหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันตกเฉียงใต้
ยื่น 0.30 เมตร ยื่น 0.60 เมตร ยื่น 0.90 เมตร	0.50 เมตร 1.00 เมตร	ไม่ติดตั้ง ติดตั้ง (0.30 เมตร)			
กรณีศึกษา รวมทั้งหมด 624 กรณี					

3.1.2.2 กำหนดตัวแปรควบคุมในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ชนิดกระจก ช่วงเวลาในการศึกษา ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง และตำแหน่งหรือกริดที่ใช้ในการวัดค่า

3.1.2.2.1 ชนิดกระจก

ในการศึกษาชนิดกระจก มีค่าที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ ค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VLT) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณแสงส่องผ่านของกระจกแต่ละชนิด โดย**กระจกลามิเนตสีเขียว** ซึ่งมีค่า **VLT 71%, SHGC= 0.52, U-Value = 5.52 W/m^{2}K** เป็นชนิดกระจกที่นิยมใช้ในอาคารสำนักงานมากที่สุด (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552) จึงเลือกใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้

3.1.2.2.2 ช่วงเวลาในการศึกษา

จากเกณฑ์กำหนดมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่ใช้ในเกณฑ์ LEED V4 กำหนดให้ทำการศึกษาในช่วงเวลา **8:00 น. - 18:00 น. ระยะเวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาทั้งปี** (IES LM 83-12)

3.1.2.2.3 ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน

กำหนดให้ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน ได้แก่ **พื้น ผนัง และฝ้าเพดาน โดยมีค่า 10% 50% และ 70% ตามลำดับ** (IES LM 83-12, 2012)

3.1.2.2.4 ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง

กำหนดให้ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวของหิ้งสะท้อนแสง **มีค่า 80% ตามลำดับ** จากการกำหนดให้แผ่นอลูมิเนียมเป็นวัสดุของหิ้งสะท้อนแสง (Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)

3.1.2.2.5 ตำแหน่งหรือกริดที่ใช้ในการวัดค่า

กำหนดให้ตำแหน่งหรือกริดที่ใช้ในการวัดค่า **มีขนาดไม่เกิน 600 ตารางมิลลิเมตร และสูงจากพื้นห้อง 760 มิลลิเมตร** (LEED V4, USGBC, 2013)

จากตัวแปรควบคุมทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สรุปตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการพิจารณา

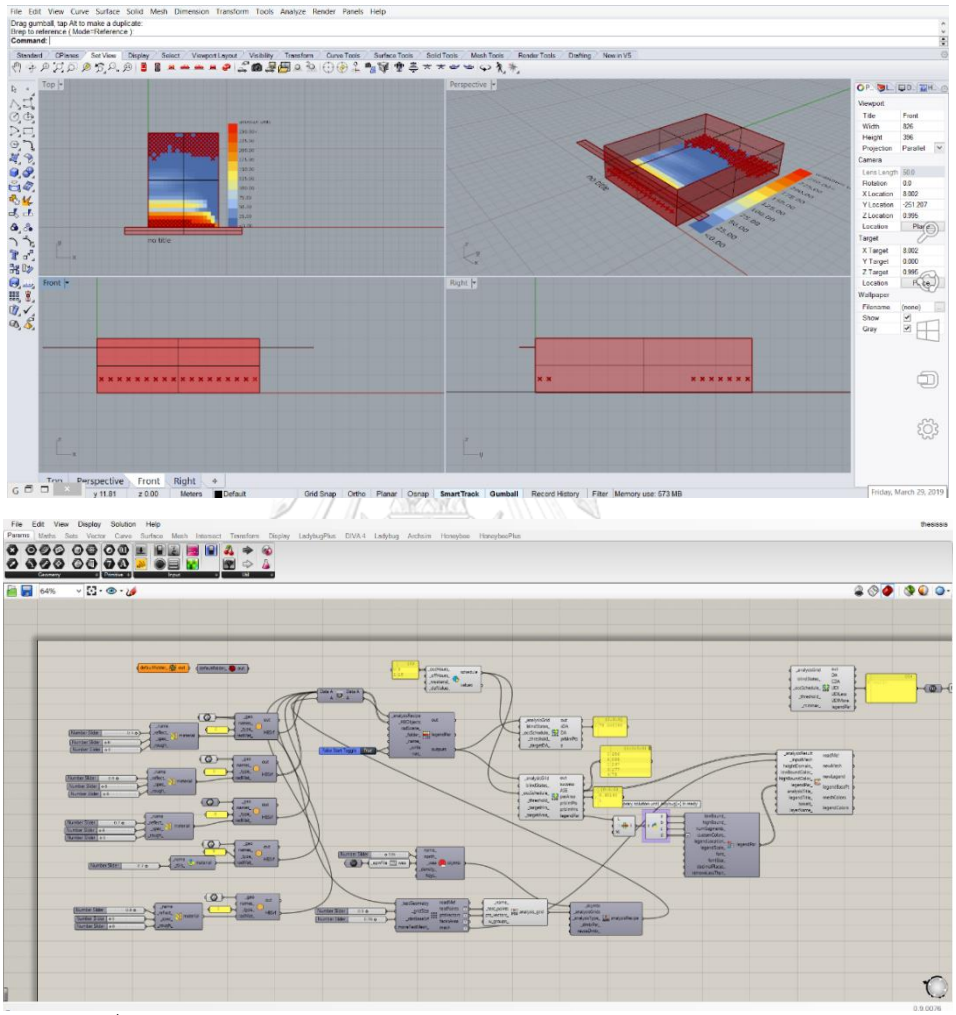
ตัวแปร	ค่าที่ใช้
ชนิดกระจก	กระจกลามิเนตเขียว VLT 71%, SHGC= 0.52, U-Value = 5.52 W/m^{2}K (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)
ช่วงเวลาในการศึกษา	8:00 น. – 18:00 น. (IES LM 83-12, 2012)
ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน	พื้น 10% ผนัง 50% ฝ้าเพดาน 70% (IES LM 83-12, 2012)
ค่าการสะท้อนแสงของหิ้งสะท้อนแสง	80% (Aluminum Panel) (Warrier, G.A., Raphael, B., 2017)
ตำแหน่งหรือกริดที่ใช้ในการวัดค่า	ไม่เกิน 600 ตารางมิลลิเมตร และสูงจากพื้นห้อง 760 มิลลิเมตร (LEED V4, USGBC, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 จำลองผลแสงธรรมชาติเพื่อหาค่า sDA และ ASE ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

การจำลองแสงธรรมชาติใช้การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Rhinoceros ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับสร้างโมเดล 3 มิติ โดยมี Grasshopper เป็นโปรแกรมเสริมที่ช่วยให้ Rhinoceros สามารถสร้างโมเดลที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้น และใช้ Ladybug, Honeybee Tools ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือส่วนเสริมของ Grasshopper สำหรับป้อน

คำสั่งในการจำลองผล โดยในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อทำการจำลองแสงธรรมชาติ ซึ่งมีการตั้งค่าตัวแปรต่างๆตามหัวข้อข้างต้น โดยหลังจากจำลองผลจะได้ค่าสัดส่วนของเวลาที่แต่ละตำแหน่งมีความสว่าง โดยมีความแตกต่างตามกรณีศึกษาแต่ละกรณี ซึ่งชุดคำสั่งของ Ladybug, Honeybee Tools สำหรับการจำลองผลค่า sDA และ Annual ASE จะอยู่ใน **Ladybug และ Honeybee เวอร์ชัน Plus** โดยมีรายละเอียดในการกรอกและเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆ ภายในโปรแกรม ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools ในการจำลองผลค่า sDA และ ASE

การวิเคราะห์และประเมินผลโดยใช้ค่า sDA และ ASE โดยเมื่อจำลองแล้วจะได้ค่าความสว่างที่วัดได้บริเวณตำแหน่งนั้นๆ ก่อนทำการรวบรวมข้อมูลของแต่ละกรณีศึกษามาวิเคราะห์เพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยต้องผ่านทั้งค่า sDA และ ASE ทั้ง 2 ค่า

ค่า sDA จะคำนวณโดยคิดสัดส่วนระหว่างจำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์ คือต้องได้รับแสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี โดยตามเกณฑ์ LEED V4 ต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 55% ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามข้อกำหนดดังกล่าว โดยคิดเฉพาะช่วงเวลา 8:00 น. - 18:00 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 3,650 ชั่วโมง

ค่า ASE จะคำนวณโดยคิดสัดส่วนระหว่างจำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์ คือกำหนดให้พื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ สามารถมีความสว่างเกิน 1,000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี โดยคิดเฉพาะช่วงเวลา 8.00 น. - 18.00 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 3,650 ชั่วโมง

3.3 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด และทำการจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper– Ladybug, Honeybee Tools

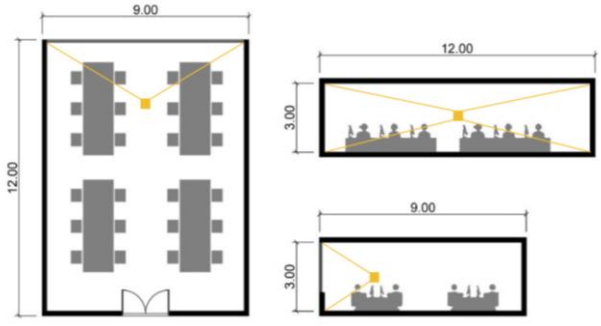
หลังจากทำการจำลองผลแสงธรรมชาติ ค่า sDA และ ASE กับกรณีศึกษาทั้งหมด 624 กรณีแล้ว ทำการคัดเลือกผลจากกรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight คือมีค่า sDA และ ASE ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด และจากตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อค่า ASE ซึ่งบ่งบอกถึงการรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และเป็นผลโดยตรงต่อการเกิดแสงบาดตา จากผลการจำลองในขั้นตอนที่ 3.2 ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด โดยจำนวนกรณีศึกษาที่คัดเลือกมาทำการจำลองผลการเกิดแสงบาดตา สรุปได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับการจำลองผลการเกิดแสงบาดตา

ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	หิ้งสะท้อนแสงภายใน	WWR	ตำแหน่งทิศของช่องเปิด
ไม่ติดตั้ง (Base Case)	-	60% 100%	เหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันตกเฉียงใต้
ยื่น 0.90 เมตร	ไม่ติดตั้ง ติดตั้ง (0.30 เมตร)		
กรณีศึกษา รวมทั้งหมด 48 กรณี			

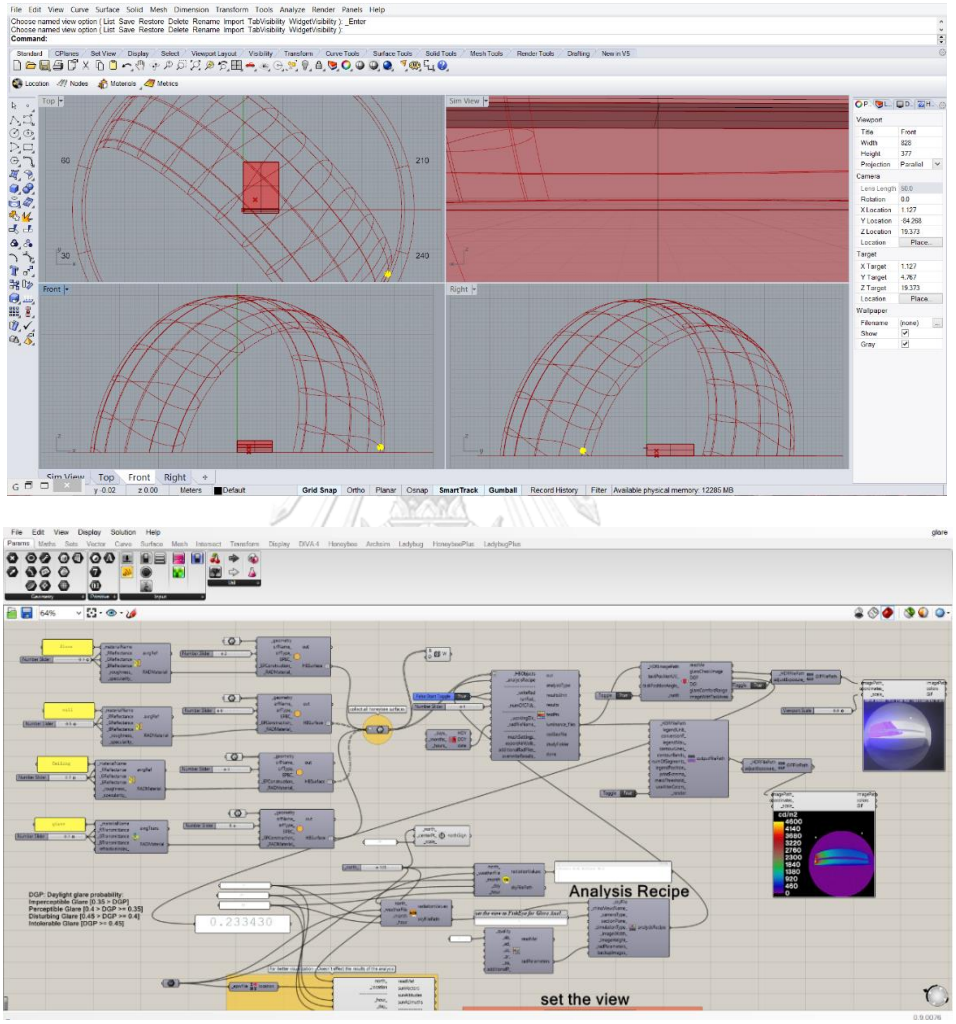
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ กำหนดให้ตำแหน่งในการวัดค่าภายในห้องสำนักงาน ดังรูปที่ 35 โดยห่างจากช่องเปิด 3.00 เมตร และสูงจากพื้น 1.50 เมตร จากตำแหน่งระดับสายตาคนระหว่างนั่งทำงาน



รูปที่ 35 ตำแหน่งในการวัดค่าแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP)

การจำลองผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP) เพื่อประเมินคุณภาพของแสงที่เข้าสู่ภายในอาคาร ทำการจำลองด้วยโปรแกรม Rhinoceros และใช้ Ladybug, Honeybee Tools ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือสำหรับป้อนคำสั่งให้กับ Grasshopper สำหรับการจำลองผล เช่นเดียวกับการจำลองค่า sDA และ ASE โดยชุดคำสั่งของ Ladybug, Honeybee Tools สำหรับการจำลองผลค่า DGP จะอยู่ใน **Ladybug และ Honeybee เวอร์ชัน Legacy** โดยมีรายละเอียดในการกรอกและเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆ ภายในโปรแกรม ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools ในการจำลองผลค่า Daylight Glare Probability, DGP

3.4 คัดเลือกผลจากกรณีศึกษาทั้งหมด กำหนดตัวแปรในการจำลองผลการใช้พลังงาน และทำการจำลองผลการใช้พลังงาน ด้วยใช้โปรแกรม VisualDOE

ภายหลังจากทำการวิจัยโดยการจำลองผลแสงธรรมชาติ เพื่อศึกษาค่า sDA และ ASE กับกรณีศึกษาทั้งหมด 624 กรณีแล้วนั้น ได้ทำการคัดเลือกกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ และจากตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า sDA และ ASE ที่

ส่งผลต่อผลการใช้พลังงาน ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง โดยมีจำนวนกรณีศึกษาที่คัดเลือกมาทำการจำลองผลการใช้พลังงาน ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สรุปรูปแบบกรณีศึกษาสำหรับการจำลองผลการใช้พลังงาน

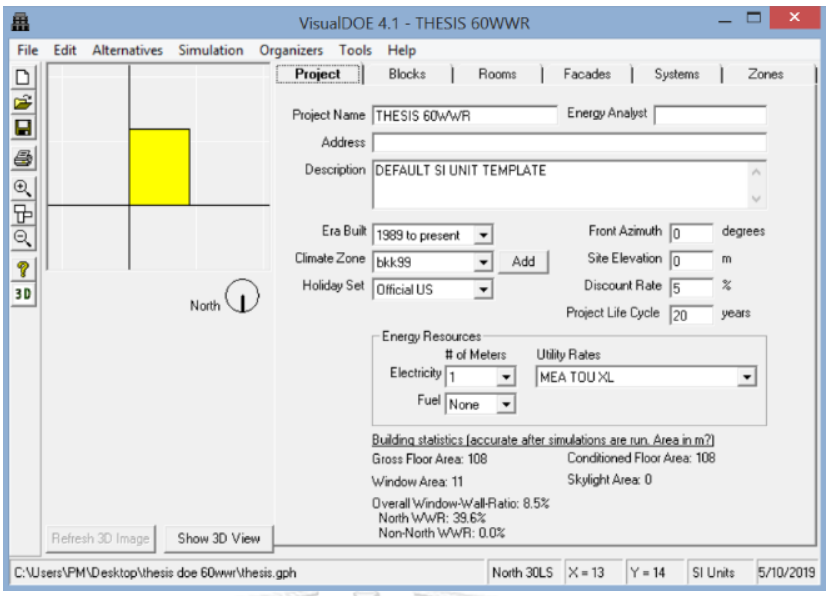
ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	WWR	ตำแหน่งทิศของช่องเปิด
ไม่ติดตั้ง (Base case)	60% 100%	เหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันตกเฉียงใต้
ยื่น 0.30 เมตร ยื่น 0.60 เมตร ยื่น 0.90 เมตร		
กรณีศึกษา รวมทั้งหมด 60 กรณี		

ในการจำลองผลการใช้พลังงาน ทำการจำลองด้วยโปรแกรม VisualDOE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยสามารถจำลองปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และผลการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยมีการตั้งค่าตัวแปรควบคุมต่างๆเช่นเดียวกับขั้นตอนการจำลองแสง และมีการตั้งค่าเพิ่มเติมต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สรุปตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการจำลองผลการใช้พลังงาน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้
หลังคา (พื้นชั้นบน)	คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่หนา 0.20 เมตร U-Value = 0.21 W/m^2k
พื้น	คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่หนา 0.20 เมตร. U-Value = 2.88 W/m^2k
ผนัง	ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูนหนา 0.10 เมตร U-Value = 0.21 W/m^2k
กระจก	กระจกลามิเนต VLT = 71% SHGC = 0.52, U = 5.52 W/m^2k
ช่วงเวลาในการศึกษา (Occupancy/Schedules)	8:00 น. – 18:00 น. (IES LM 83-12, 2012)
ค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (Lighting Power Density, LPD)	12.00 Watt/m^2 (ASHRAE 90.1, 2007)
ระบบปรับอากาศ	Residential System (Split Type) (ทำการจำลองเฉพาะส่วนห้องสำนักงานที่ทำการศึกษา โดยถือว่าเป็นสำนักงานขนาดเล็ก ติดตั้งเครื่องปรับอากาศระบบ Split Type เพื่อไม่ต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นในการตั้งค่าระบบปรับอากาศ เช่น Chiller, Pump และ Cooling Tower)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



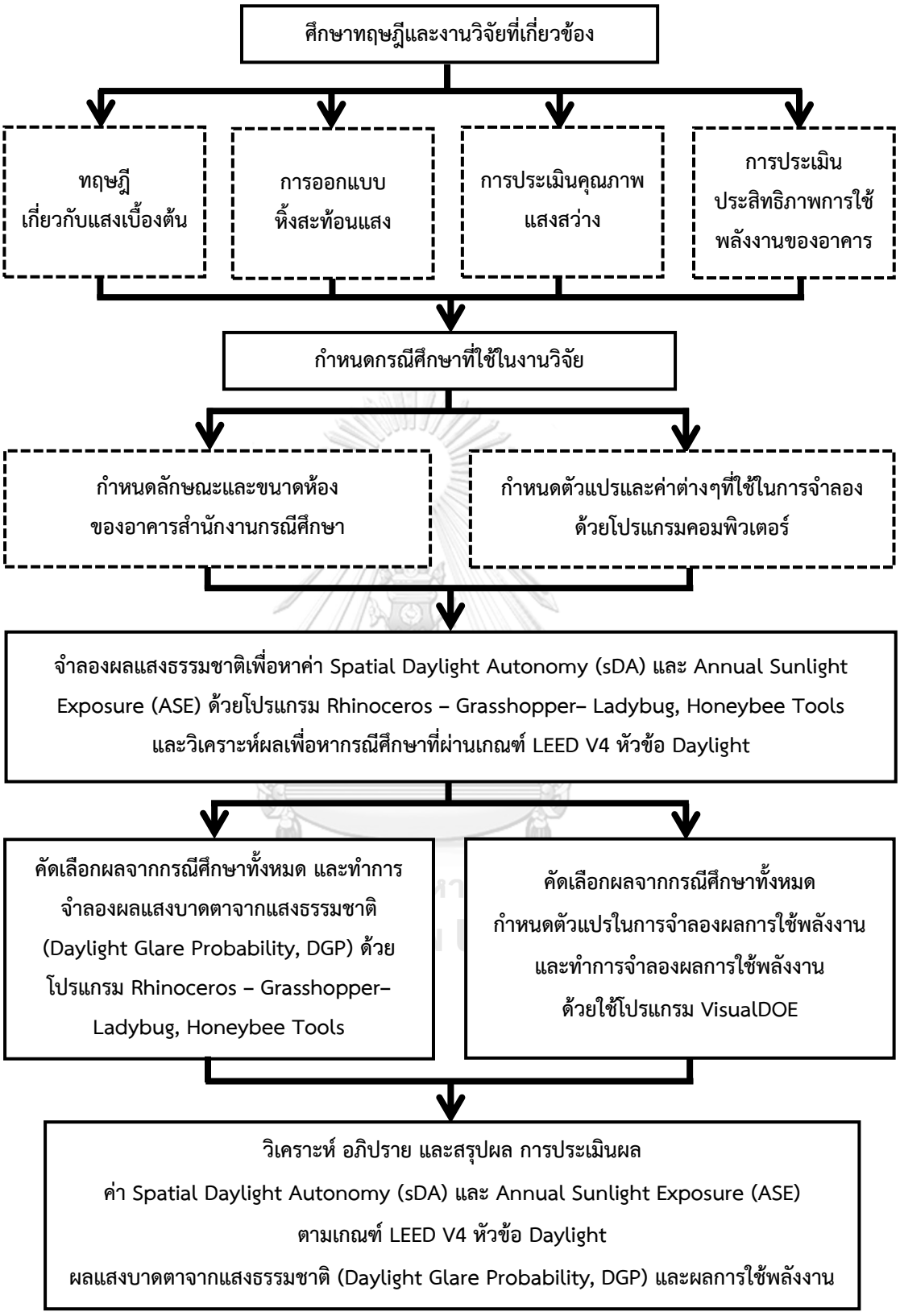
รูปที่ 37 โปรแกรม VisualDOE

3.5 วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผล การประเมินผลค่า sDA และ ASE ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ผลแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP) และผลการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ผลการวิจัย วิเคราะห์จากความแตกต่างของการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก องศาของฝ้าเพดาน และสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของแสงที่เข้ามาในอาคาร และทำการสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงสำหรับอาคารสำนักงาน เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยจัดทำเป็นตารางเพื่อแสดงระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง องศาของฝ้าเพดาน สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด รวมถึงค่า sDA และ ASE

การวิเคราะห์และสรุปผลจากการจำลองผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP) โดยสรุประยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด รวมถึงผลจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อผลการเกิดแสงบาดตา และแสดงเป็นแผนภูมิแสดงช่วงเวลาของการเกิดแสงบาดตารายปี (Annual Glare Chart)

ส่วนการวิเคราะห์และสรุปผลจากการจำลองผลการใช้พลังงาน ทำการสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงสำหรับอาคารสำนักงาน จากกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยสรุประยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานของอาคารและประสิทธิภาพของแต่ละกรณีศึกษา โดยแสดงเป็นแผนภูมิค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 1 สรุปวิธีการวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

4.1 การประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

4.2 การประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP)

4.3 การประเมินผลการใช้พลังงาน

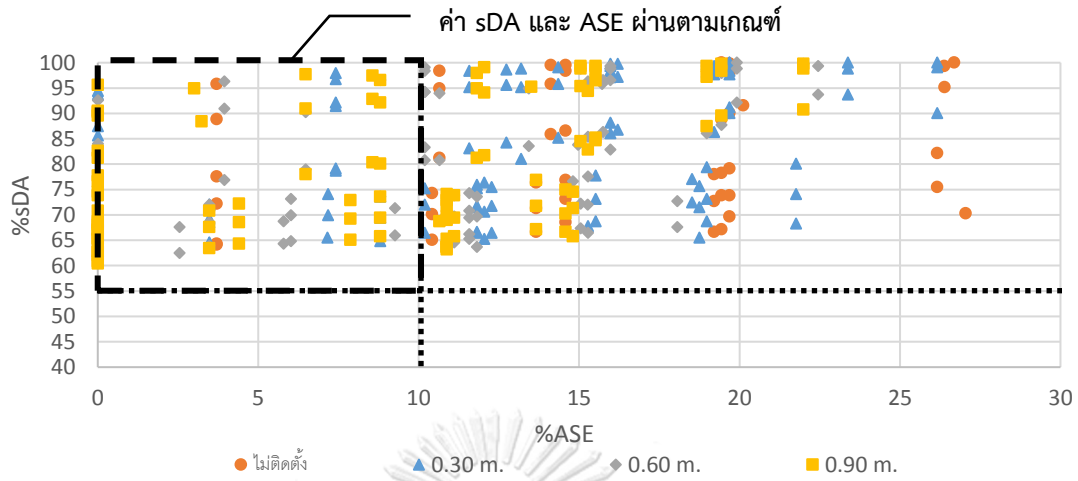
4.1 ผลการประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

ผลการจำลองค่า sDA และ ASE จำลองผลด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools เวอร์ชัน Plus โดยพิจารณาค่า sDA โดยคิดสัดส่วนระหว่างจำนวนตำแหน่งวัดค่าที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight คือต้องได้รับแสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี โดยต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 55% ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ดังกล่าว ส่วนค่า ASE กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี โดยกำหนดให้พื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ สามารถมีความสว่างเกิน 1,000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี เทียบกับจำนวนตำแหน่งที่วัดค่าทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการจำลองแสงธรรมชาติ โดยมีตัวแปรในการศึกษา ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน องศาของฝ้าเพดาน สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิด กรณีศึกษาทั้งหมดมีค่า sDA ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด แต่มีจำนวนกรณีศึกษาที่มีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight เพียง 120 กรณี จากกรณีศึกษาทั้งหมด 336 กรณี ซึ่งถ้าคิดเฉพาะกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก มีกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 114 กรณี จากกรณีศึกษาทั้งหมด 288 กรณี โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลการวิจัยออกเป็นการพิจารณาตามแต่ละตัวแปร ดังนี้

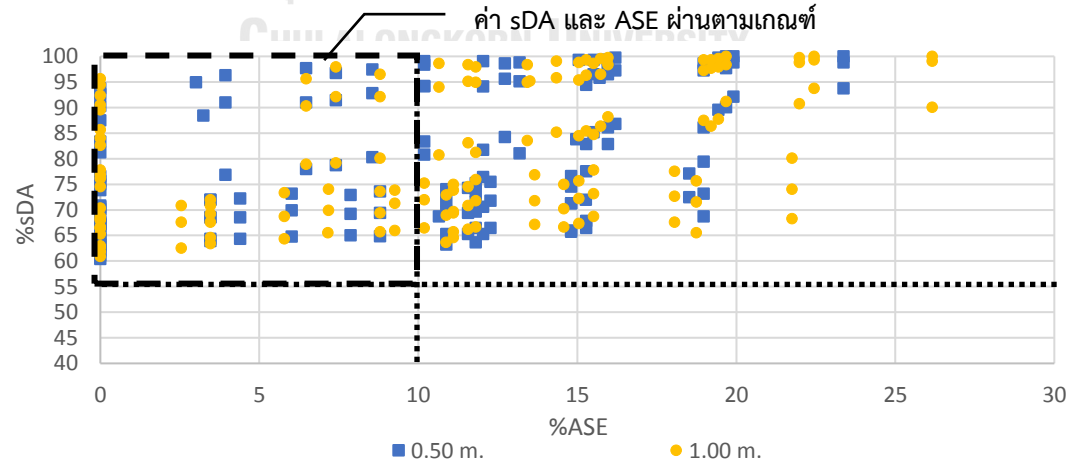
4.1.1 พิจารณาเฉพาะระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก



แผนภูมิที่ 2 พิจารณาเฉพาะระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก
จากกรณีไม่ติดตั้ง ระยะยื่น 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร

จากแผนภูมิที่ 2 กรณีศึกษาทั้งหมดมีค่า sDA ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทั้งหมด ส่วนค่า ASE การมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มาก มีแนวโน้มที่ทำให้มีผลค่า ASE ผ่านเกณฑ์ได้มากขึ้น จากกรณีศึกษาทั้งหมด 48 กรณี ที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก จะมีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ 6 กรณี โดยหากมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ตามระยะยื่นต่างๆ คือ 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร ระยะยื่นละ 96 กรณี รวมทั้งสิ้น 288 กรณี จะมีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์เป็นจำนวน 30 37 และ 48 กรณี ตามลำดับ

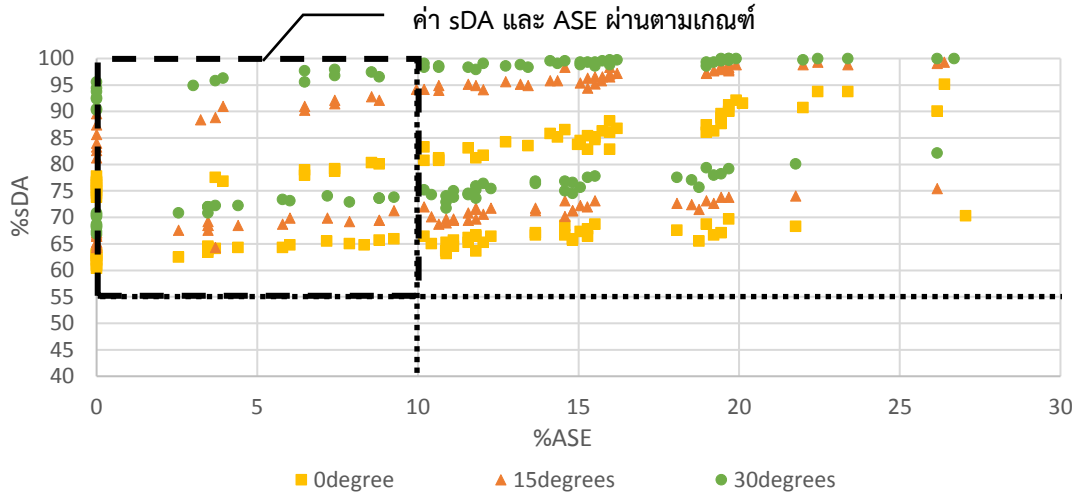
4.1.2 พิจารณาเฉพาะระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน



แผนภูมิที่ 3 พิจารณาเฉพาะระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน ระยะ 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร

จากแผนภูมิที่ 3 พิจารณาเฉพาะระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร โดยระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดานที่มากขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มทั้งค่า sDA และ ASE เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์ลดลง โดยกรณีศึกษาทั้งหมดมีค่า sDA ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ทั้งหมด ส่วนค่า ASE ตามระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร ระยะละ 144 กรณี รวมทั้งสิ้น 288 กรณี มีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ 61 และ 54 กรณี ตามลำดับ

4.1.3 พิจารณาเฉพาะองศาของฝ้าเพดาน

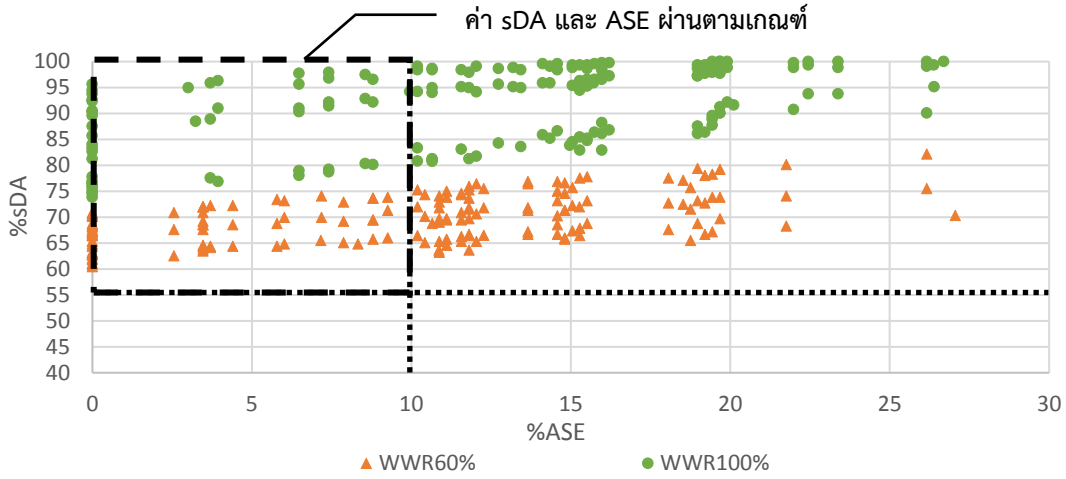


แผนภูมิที่ 4 พิจารณาเฉพาะองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา 15 องศา และ 30 องศา

จากแผนภูมิที่ 4 พิจารณาเฉพาะองศาของฝ้าเพดาน กรณีศึกษาทั้งหมดมีค่า sDA ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ทั้งหมด โดยจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามขนาดองศาของฝ้าเพดานที่มากขึ้นเช่นกัน ส่วนค่า ASE จากกรณีศึกษาทั้งหมด 112 กรณี ของแต่ละขนาดองศาของฝ้าเพดาน รวมทั้งสิ้น 336 กรณี โดยมีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์จากองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา 15 องศา และ 30 องศา เป็นจำนวนอย่างละ 40 กรณี เท่าๆกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างขององศาฝ้าเพดาน จะส่งผลต่อค่า sDA เท่านั้น แต่ไม่ส่งผลต่อค่า ASE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.4 พิจารณาเฉพาะสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง



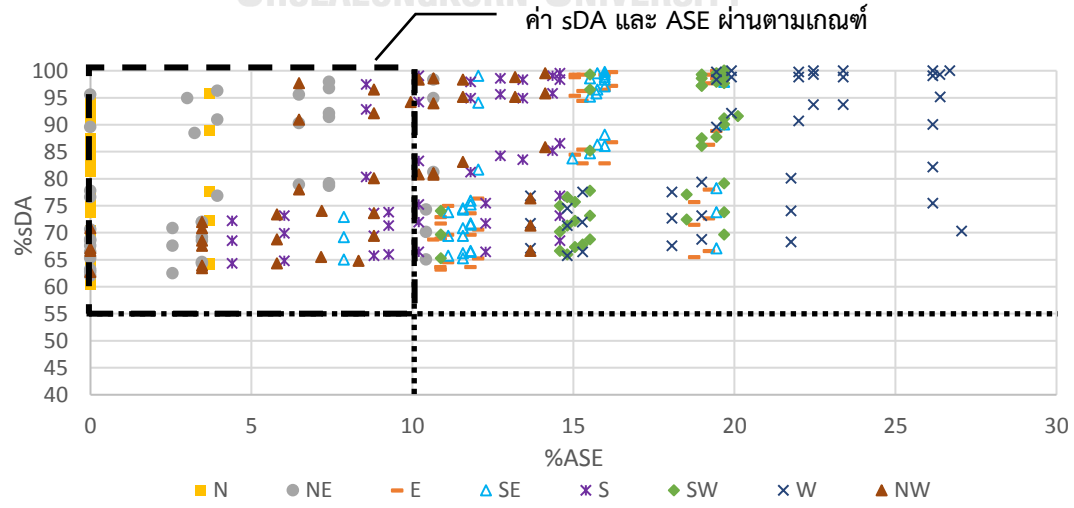
แผนภูมิที่ 5 พิจารณาเฉพาะสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และ 100%

จากแผนภูมิที่ 5 กรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่า sDA สูงกว่า 75% ทั้งหมด ทำให้สามารถทำคะแนนจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ถึง 3 คะแนน ส่วนกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่า sDA อยู่ในช่วง 55% ถึง 80%

ส่วนค่า Annual Sunlight Exposure (ASE) มีกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ผ่านตามเกณฑ์ จำนวน 72 กรณี จากทั้งหมด 168 กรณี และกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์จำนวน 49 กรณี จากทั้งหมด 168 กรณี ซึ่งการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่มาก ทำให้มีค่า ASE สูงขึ้นตามไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.5 พิจารณาเฉพาะตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก



แผนภูมิที่ 6 พิจารณาเฉพาะตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกทั้ง 8 ทิศ

จากแผนภูมิที่ 6 ตำแหน่งทิศของช่องเปิดทั้งหมด 8 ทิศ ทิศละ 42 กรณีศึกษา โดยช่องเปิดทางทิศเหนือมีค่า sDA และ ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ทุกกรณีศึกษาทั้งกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ส่วนกรณีศึกษาในทิศอื่นๆ ได้แก่ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ 36 กรณี 25 กรณี 15 กรณี และ 3 กรณีตามลำดับ จากกรณีศึกษาทิศละ 42 กรณี แบ่งเป็นสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จำนวนทิศละ 18 กรณี ที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และ 3 กรณีที่ไม่มีการติดตั้ง และสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% จำนวนทิศละ 18 กรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และ 3 กรณีที่ไม่มีการติดตั้ง ส่วนทิศตะวันออก ตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ ไม่มีกรณีศึกษาใดที่ผ่านเกณฑ์ สรุปจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 สรุปจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ

ทิศ	WWR60% ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	WWR100% ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	WWR60% ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	WWR100% ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก
เหนือ	3	3	18	18
ตะวันออกเฉียงเหนือ	-	-	18	18
ตะวันออก	-	-	-	-
ตะวันออกเฉียงใต้	-	-	3	-
ใต้	-	-	12	3
ตะวันตกเฉียงใต้	-	-	-	-
ตะวันตก	-	-	-	-
ตะวันตกเฉียงเหนือ	-	-	18	6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

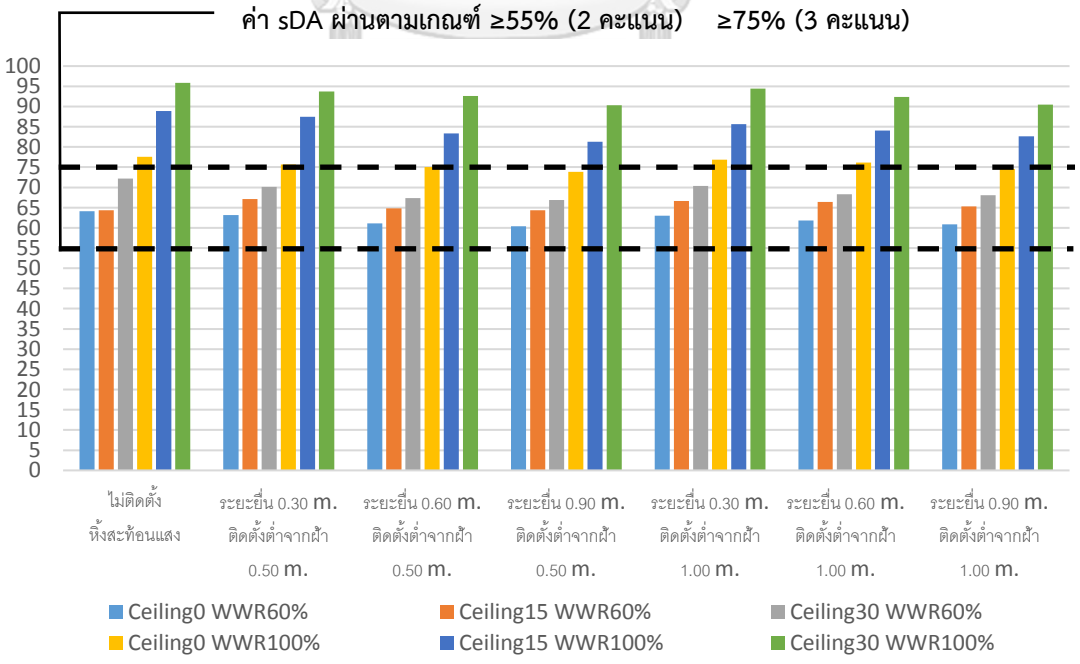
นอกจากนี้การผ่านเกณฑ์ sDA และ ASE ยังส่งผลต่อผลคะแนนที่จะได้รับจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยหากมีค่า sDA ในช่วง 55%-75% จะได้รับคะแนน 2 คะแนน และหากมีค่า sDA ตั้งแต่ 75% ขึ้นไปจะได้รับคะแนน 3 คะแนน โดยต้องมีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ คือ น้อยกว่า 10% ด้วยเช่นกัน โดยสรุปผลคะแนนที่ได้รับของกรณีศึกษาในแต่ละทิศ จากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 สรุปจำนวนกรณีศึกษาและระดับคะแนนที่ได้รับตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ

ทิศ	WWR60% 2 คะแนน	WWR60% 3 คะแนน	WWR100% 2 คะแนน	WWR100% 3 คะแนน
เหนือ	18	-	2	16
ตะวันออกเฉียงเหนือ	18	-	-	18
ตะวันออก	-	-	-	-
ตะวันออกเฉียงใต้	3	-	-	-
ใต้	12	-	-	3
ตะวันตกเฉียงใต้	-	-	-	-
ตะวันตก	-	-	-	-
ตะวันตกเฉียงเหนือ	18	-	-	6

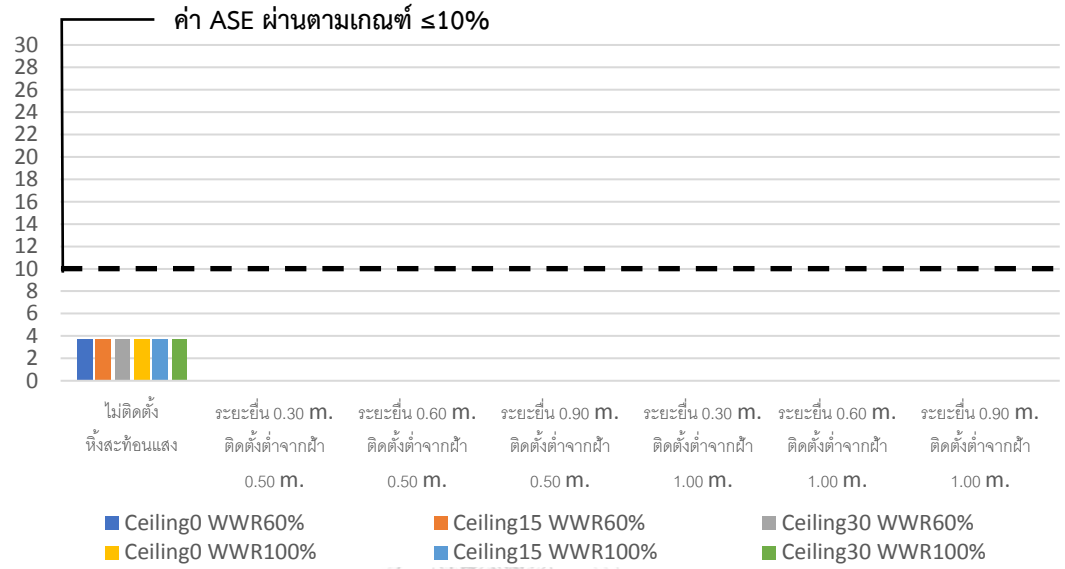
จากตารางที่ 16 ผลคะแนนที่ได้จากกรณีศึกษาในแต่ละทิศ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อระดับคะแนนที่จะได้รับ โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% จึงสามารถทำคะแนนได้ถึง 3 คะแนน ส่วนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% สามารถทำคะแนนได้เพียง 2 คะแนนเท่านั้น โดยจากผลที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละทิศ จึงทำการพิจารณารายละเอียดค่า sDA และค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดของแต่ละทิศดังแผนภูมิที่ 7-34

4.1.5.1 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 7 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ

จากแผนภูมิที่ 7 ค่า sDA สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยการมีพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีผลค่า sDA มากกว่า 75% ในทุกกรณีศึกษา ยกเว้นเมื่อมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา ทั้งติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร ซึ่งมีค่า sDA น้อยกว่า 75% ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ทุกกรณีศึกษา มีค่า sDA อยู่ในช่วง 60-75%



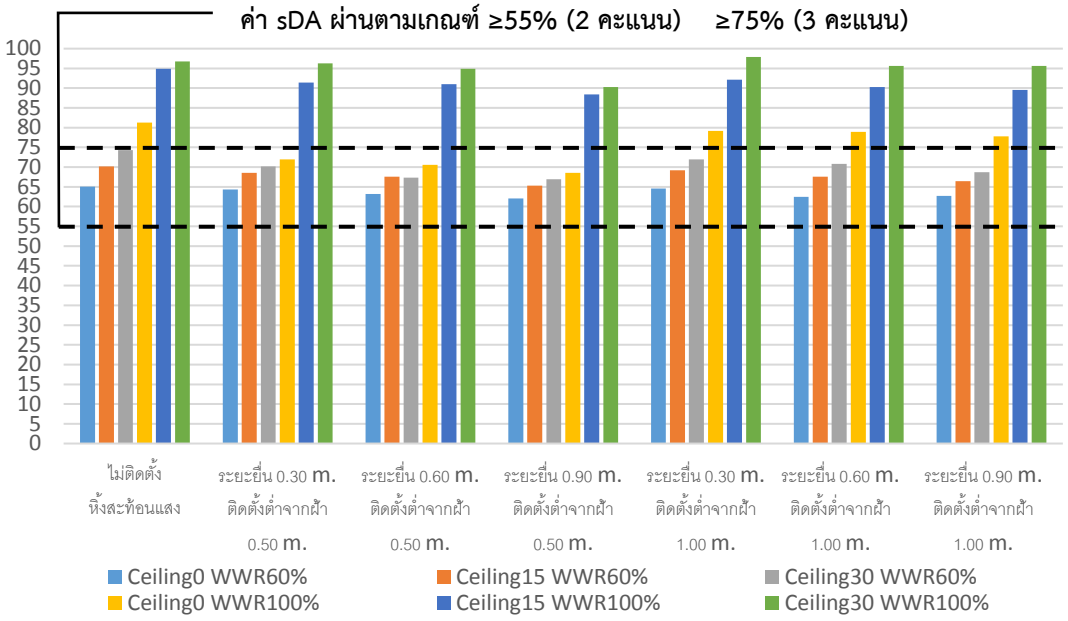
แผนภูมิที่ 8 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ

จากแผนภูมิที่ 8 ค่า ASE สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยเมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ทำให้ค่า ASE เท่ากับ 0% ได้ในทุกกรณีศึกษา

จากแผนภูมิที่ 7 และ 8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้งติดตั้งและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ยกเว้นเมื่อมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา ทั้งติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร รวมถึงทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ด้วย ที่ได้รับคะแนน 2 คะแนน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

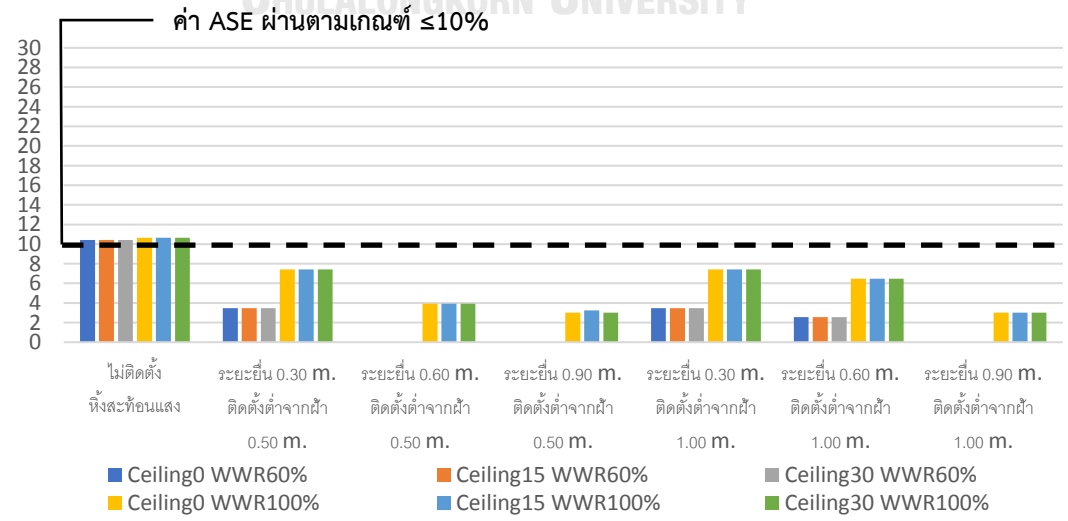
4.1.5.2 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 9 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 9 ผลค่า sDA สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยกรณีที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ในทุกระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร และกรณีที่มีระยะติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร มีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 15 องศา และ 30 องศา ส่วนกรณีศึกษาอื่นๆ ที่มีผลค่า sDA อยู่ในช่วง 60-75% เท่านั้น ได้แก่ ทุกกรณีเมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

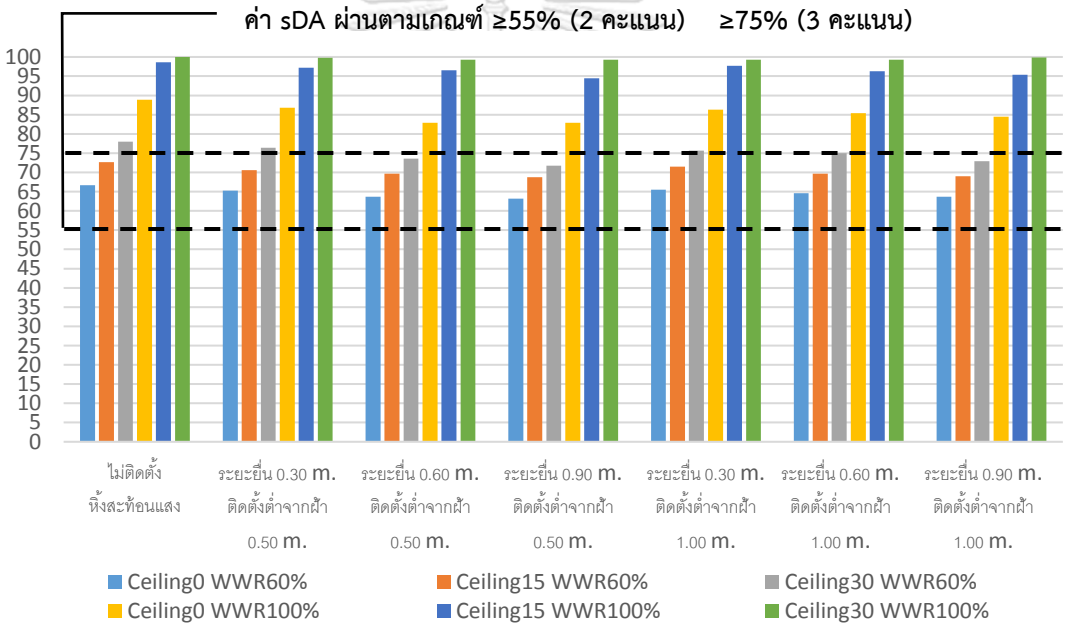


แผนภูมิที่ 10 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 10 ค่า ASE กับกรณีศึกษาทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษา ที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก โดยกรณีศึกษาที่ไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้คือกรณีที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก

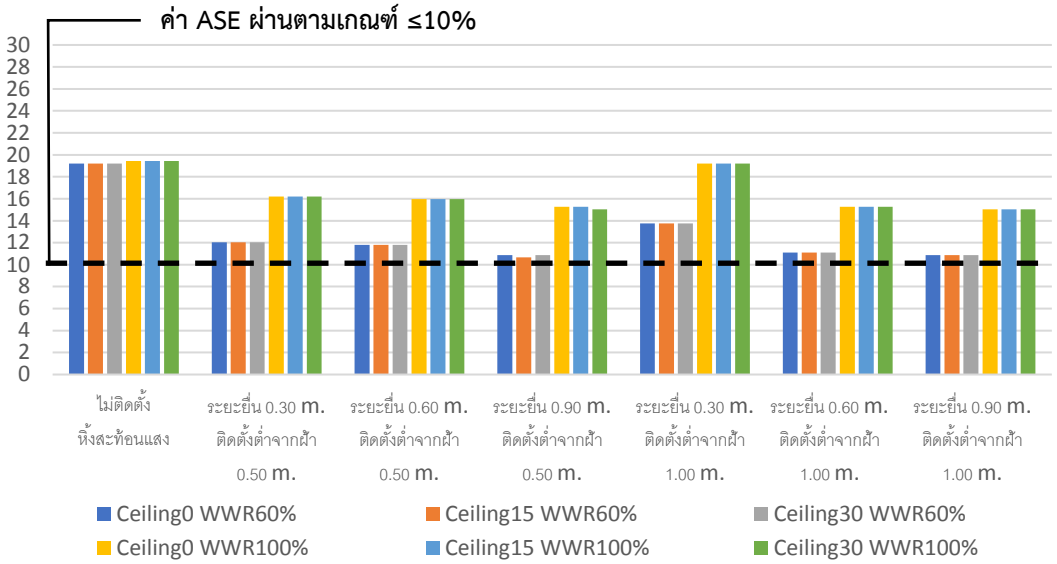
จากแผนภูมิที่ 9 และ 10 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ในทุกระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีระยะติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร รวมถึงกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และกรณีที่มีระยะติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร เมื่อมีองศาของฝ้าเพดาน 15 องศา และ 30 องศา ส่วนกรณีอื่นๆที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ได้รับคะแนน 2 คะแนน

4.1.5.3 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก



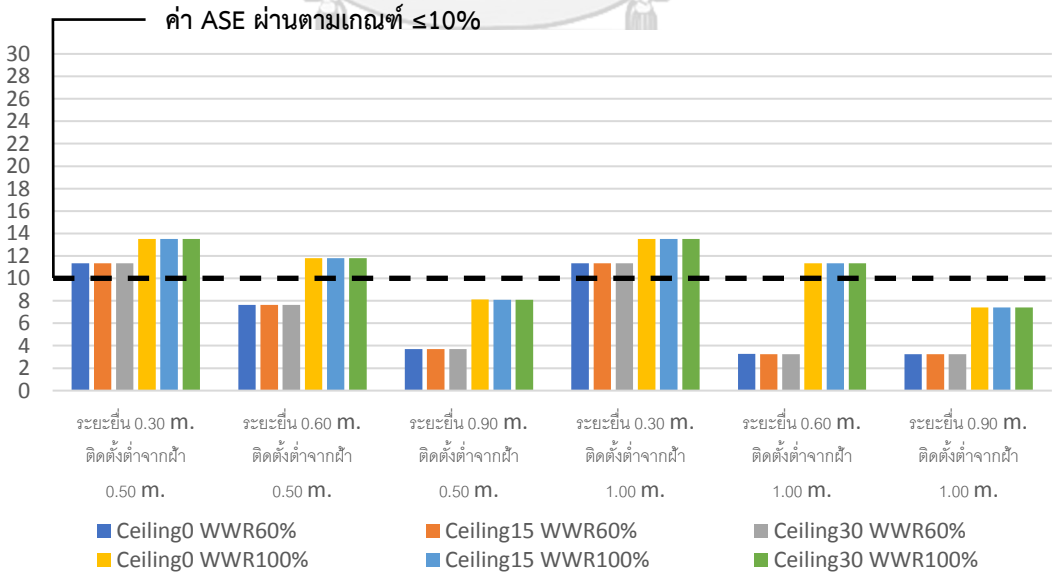
แผนภูมิที่ 11 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก

จากแผนภูมิที่ 11 ผลค่า sDA สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จะมีค่า sDA มากกว่า 75% ได้เมื่อมีองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา และไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกหรือติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ในระยะยื่น 0.30 เมตร โดยติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร รวมถึงกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร และติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร ส่วนกรณีอื่นๆ คือกรณีที่มีองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา และ 15 องศา ในทุกระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และกรณีที่มีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา เมื่อมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร มีค่า sDA อยู่ในช่วง 60-75%



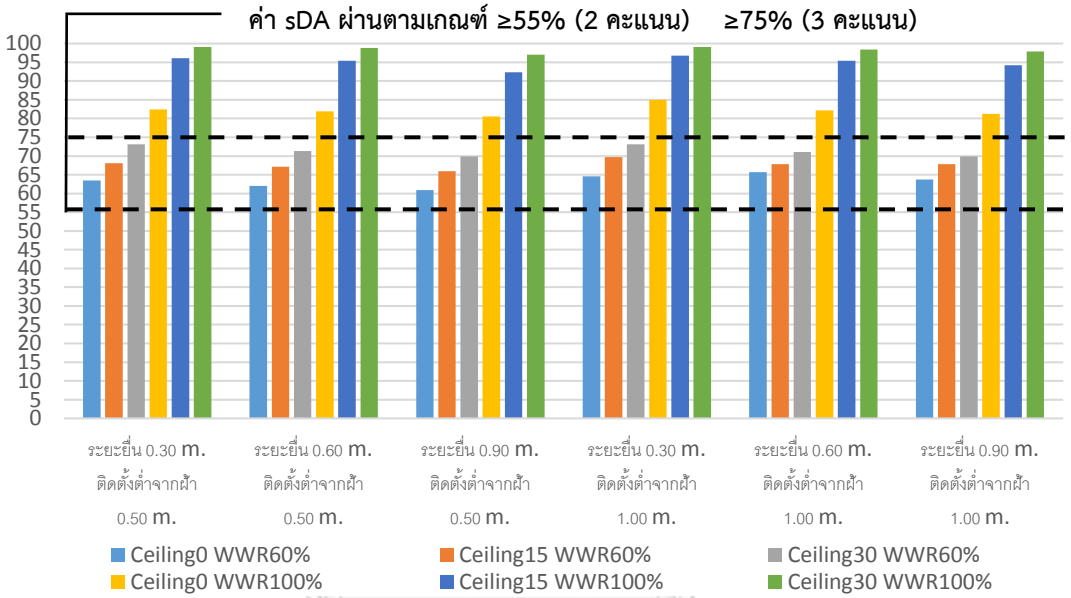
แผนภูมิที่ 12 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก

จากแผนภูมิที่ 12 ค่า ASE กับกรณีศึกษาทางทิศตะวันออก ไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ขนาด 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร ทั้งมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และ 100% มีความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์เนื่องจากมีค่า ASE มากกว่า 10% เล็กน้อย จึงทำการวิจัยต่อโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ในทุกกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกกับช่องเปิดทางทิศตะวันออก โดยคาดหวังผลให้กรณีที่มีความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์ สามารถผ่านเกณฑ์ได้ โดยได้ผลการศึกษา ดังแผนภูมิที่ 13



แผนภูมิที่ 13 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 13 เมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร เพิ่ม ทำให้ค่า Annual Sunlight Exposure (ASE) ลดลงได้ 3-7% ในแต่ละกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight จากแผนภูมิที่ 4.13 คือกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ขนาด 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% รวมถึงกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ขนาด 0.90 เมตร เมื่อมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่า ASE ลดลงน้อยกว่า 10% โดยหลังจากที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ร่วมกับการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ทำให้มีกรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์เพิ่มมาได้ทั้งหมด 15 กรณี จากที่ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน ไม่มีกรณีศึกษาใดผ่านเกณฑ์



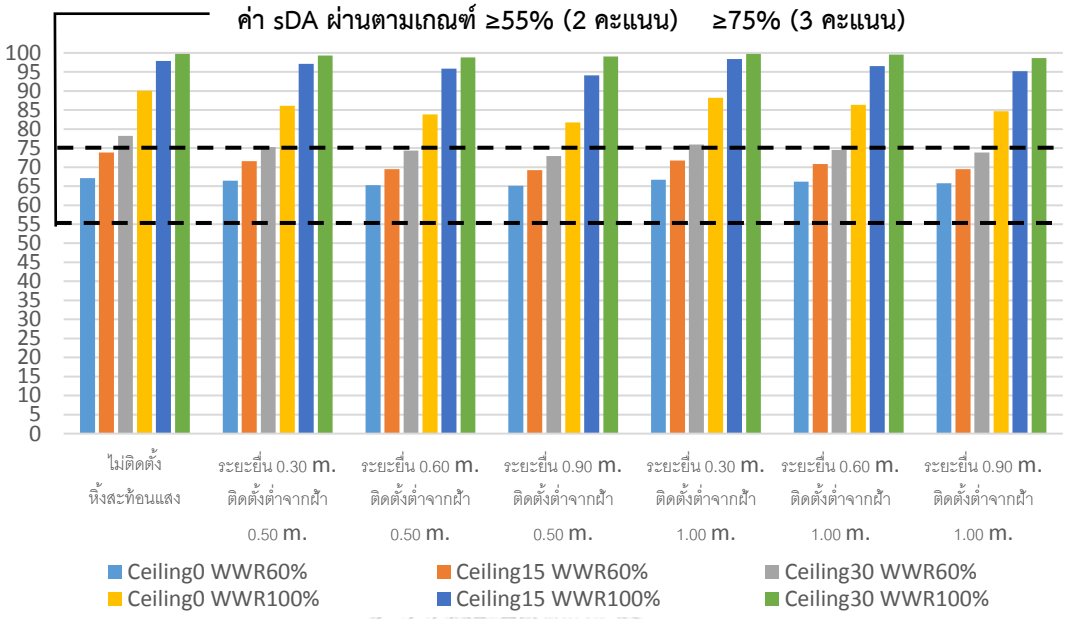
แผนภูมิที่ 14 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากค่า ASE ที่ลดลง ทำให้มีกรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ จึงทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบหลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร กับค่า sDA โดยได้ผลดังแผนภูมิที่ 14 โดยแต่ละกรณีศึกษามีค่า sDA ลดลงไปทั้งหมด 1-2% ทำให้กรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เมื่อมีองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา และไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก หรือติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกในระยะยื่น 0.30 เมตร โดยมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร หรือติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกในระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร โดยมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร ที่มีค่า sDA มากกว่า 75% ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน มีค่า sDA ลดลงมาอยู่ในช่วง 70-75% แต่ผลค่า sDA ที่ลดลง ทำให้ค่า ASE ลดลงจนสามารถผ่านเกณฑ์ได้เช่นกัน

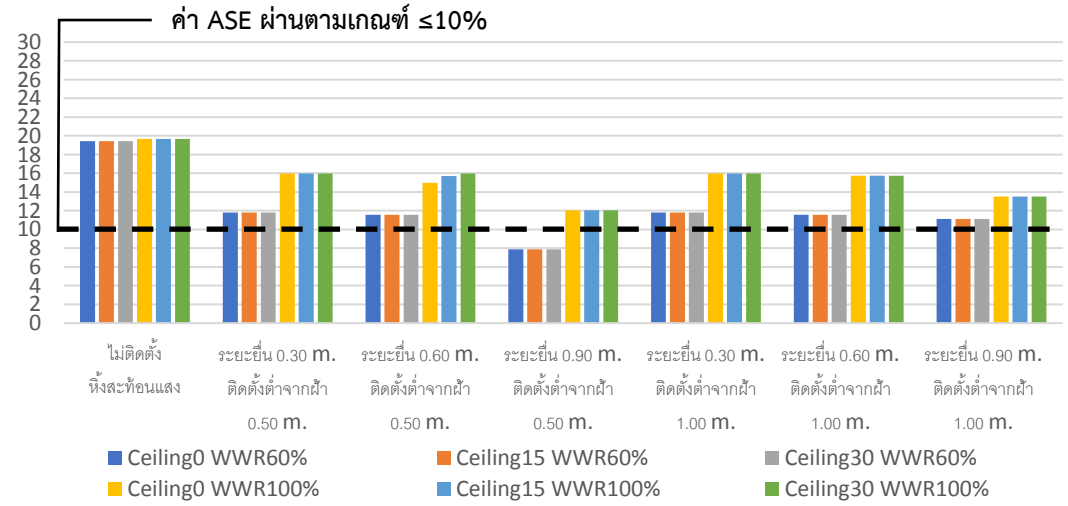
จากแผนภูมิที่ 13 และ 14 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ขนาด 0.90 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีที่ได้รับคะแนน 2 คะแนน คือ ทุกกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

4.1.5.4 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



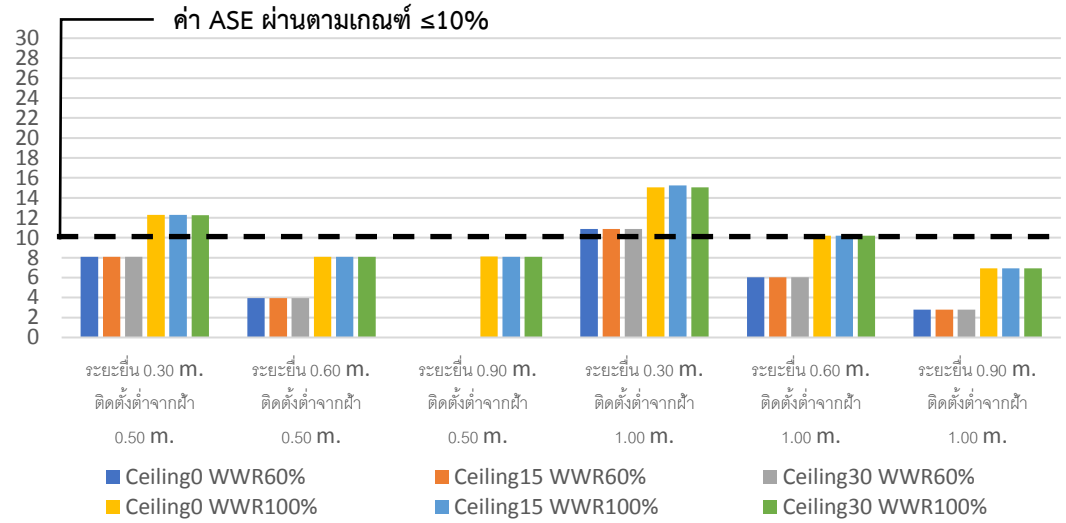
แผนภูมิที่ 15 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 15 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่า sDA ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษา โดยกรณีที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือ ทุกกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้งติดตั้งและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จะมีค่า sDA มากกว่า 75% ได้ เมื่อไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก หรือเมื่อติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.30 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา ส่วนกรณีอื่นๆ ได้แก่ กรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร มีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา และ 15 องศา และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75%



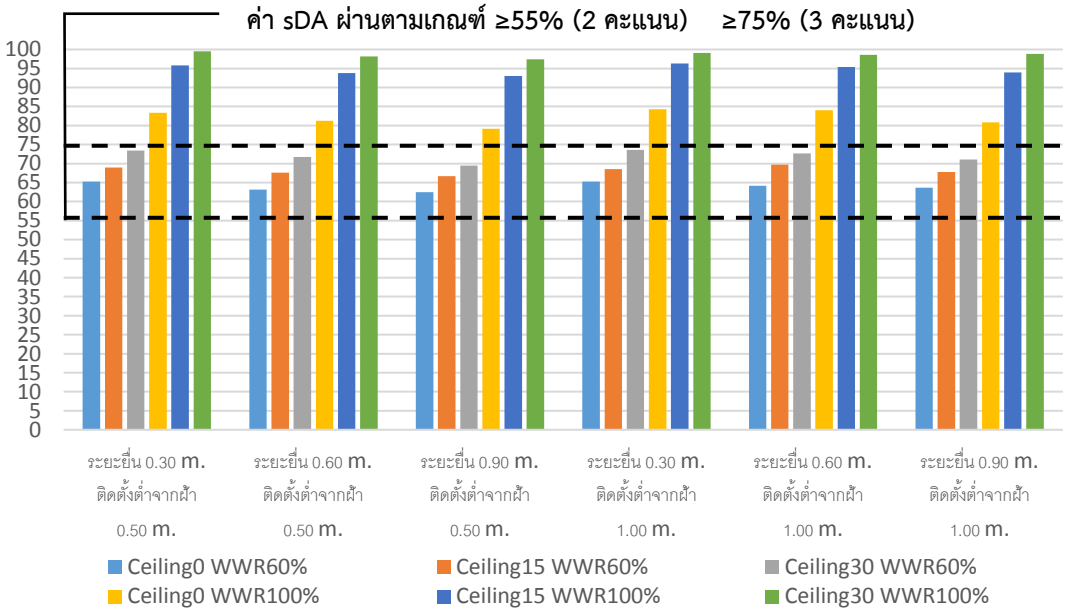
แผนภูมิที่ 16 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 16 กรณีศึกษาที่มีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ คือ กรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จำนวน 3 กรณี และได้รับคะแนน 2 คะแนน โดยมีกรณีศึกษาที่มีความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์ คือ กรณีอื่นๆที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เนื่องจากมีค่า ASE อยู่ในช่วง 11-12% จึงทำการวิจัยโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร กับทุดกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก กับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้โดยได้ผลการวิจัยดังแผนภูมิที่ 17



แผนภูมิที่ 17 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 17 หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ทำให้มีกรณีศึกษาที่มีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight จาก 3 กรณีดังตารางที่ 4.17 เพิ่มเป็น 24 กรณี โดยมีค่า ASE ลดลง 3-8% ตามแต่ละกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เมื่อมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร และมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เมื่อมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% จะผ่านเกณฑ์ได้ ในกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.60 เมตร เมื่อมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตรและกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร เมื่อมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร

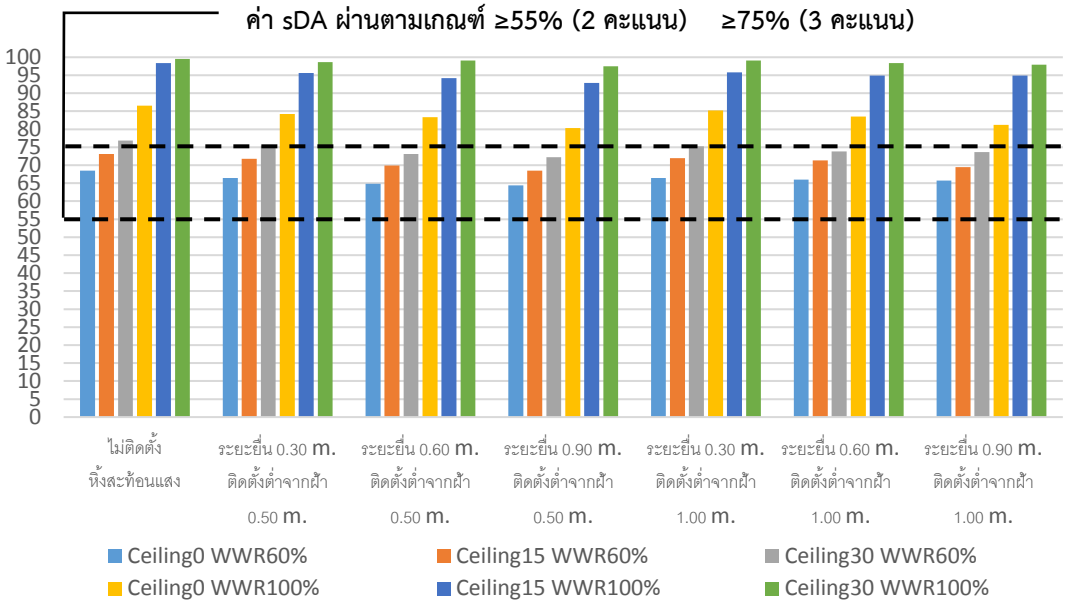


แผนภูมิที่ 18 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 18 ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ลดลง 1-2% จากก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน โดยกรณีที่ยังคงมีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือ ทุกกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา ที่ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน มีค่า sDA มากกว่า 75% มีค่า sDA ลดลงอยู่ในช่วง 60-75%

จากแผนภูมิที่ 17 และ 18 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.60 เมตร เมื่อติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร ทั้งติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร ส่วนกรณีที่ได้รับคะแนน 2 คะแนน คือ กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ทุกกรณียกเว้นกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร และติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร ซึ่งไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้

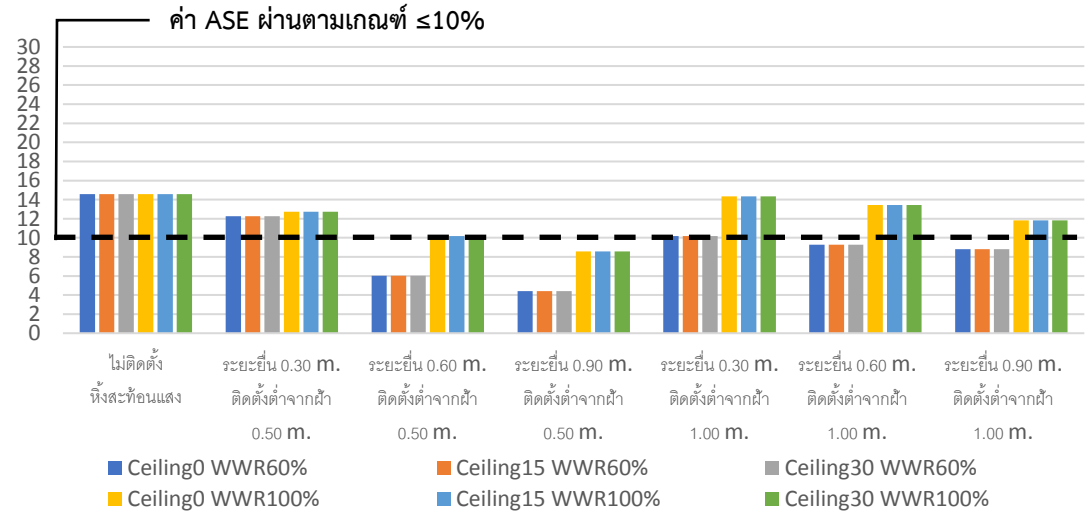
4.1.5.5 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 19 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 19 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ มีค่า sDA ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือ ทุกกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้งกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จะมีค่า sDA มากกว่า 75% ได้ เมื่อไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา รวมถึงกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร เมื่อมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา ส่วนกรณีที่สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา และ 15 องศา ได้ผลค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

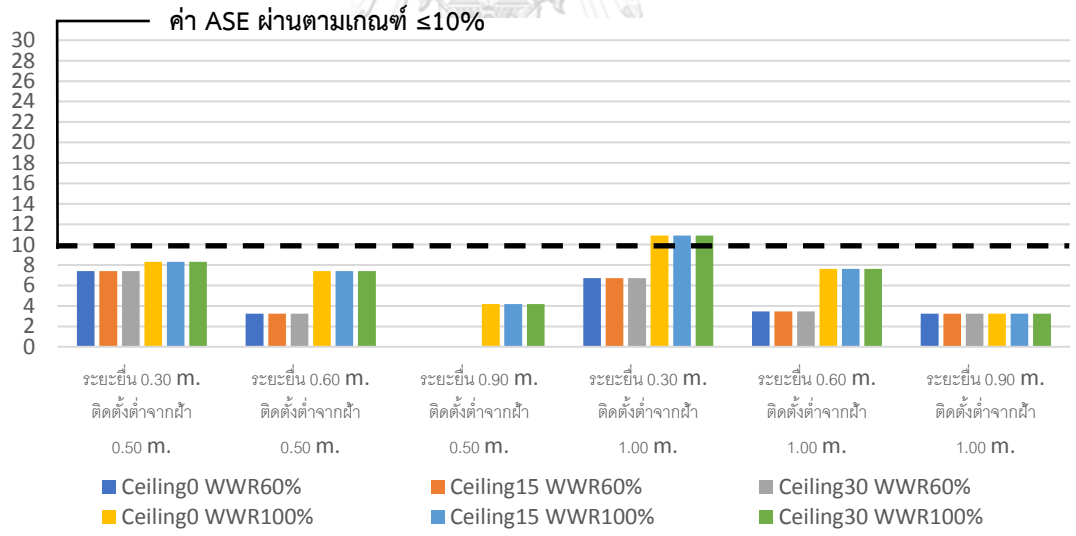


แผนภูมิที่ 20 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 20 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ที่มีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ มีจำนวนทั้งหมด 15 กรณี ได้แก่ กรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.60 เมตร ทั้งมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.90 เมตร ทั้งมีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% โดยได้รับคะแนน 2 คะแนน

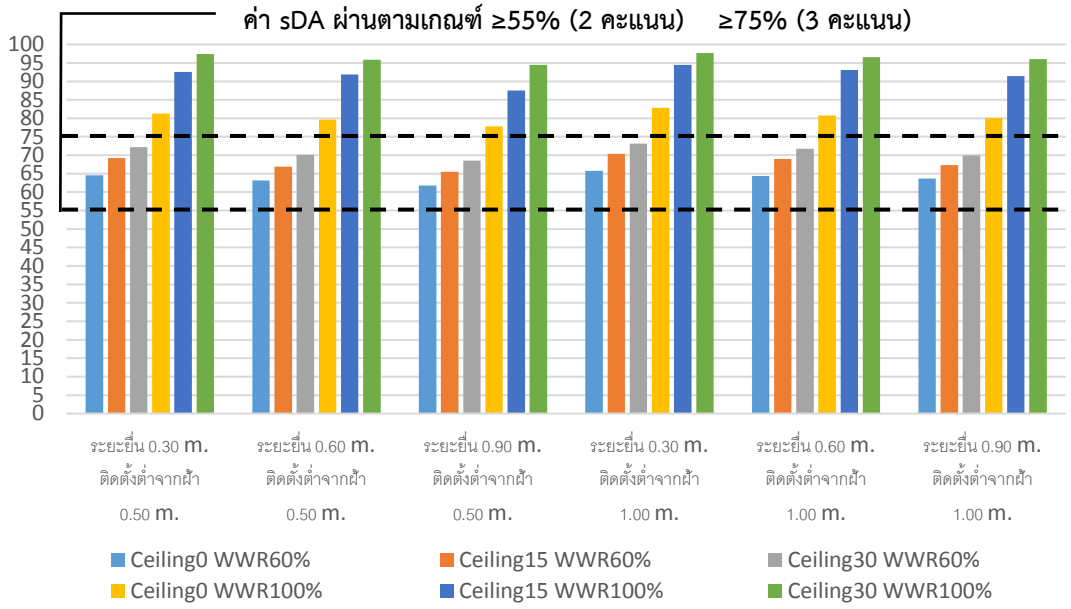
กรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.90 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้งหมด 3 กรณี ที่สามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน

นอกจากนี้มีกรณีศึกษาที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.60 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% กรณีศึกษาที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% รวมถึงกรณีศึกษาที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ที่มีความเป็นไปได้ในการมีค่า ASE ผ่านเกณฑ์ จึงทำการวิจัยโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร กับทุกกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก กับช่องเปิดทางทิศใต้ โดยได้ผลการวิจัยดังแผนภูมิที่ 21



แผนภูมิที่ 21 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 21 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ หลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ส่งผลให้มีจำนวนกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ทั้งหมด 33 กรณี จากเดิมที่ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน มีจำนวนกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์เพียง 15 กรณี โดยกรณีศึกษาที่ยังคงไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ คือกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.30 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้งหมด 3 กรณี

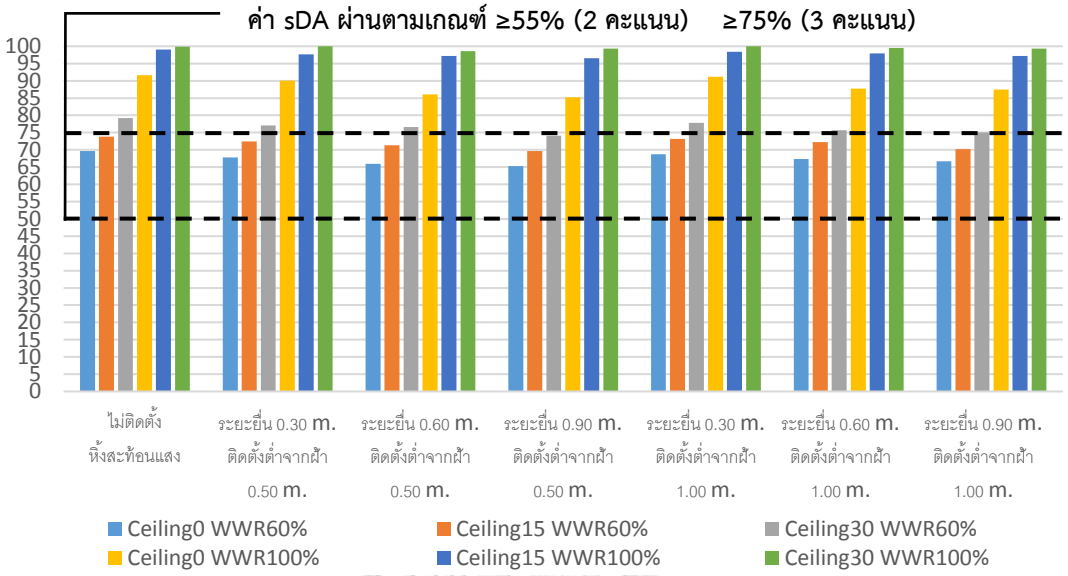


แผนภูมิที่ 22 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 22 หลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ทำให้กรณีที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่า sDA ต่ำกว่า 75% ทุกกรณี จากที่ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน กรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา จำนวน 2 กรณี มีค่า sDA มากกว่า 75% ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ยังคงมีค่า sDA มากกว่า 75% ทั้งหมด

จากแผนภูมิที่ 21 และ 22 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือทุกกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ยกเว้นกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร และติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ทุกกรณีศึกษา สามารถผ่านเกณฑ์ได้ทั้งหมด และได้รับคะแนน 2 คะแนน ส่วนกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร และติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร ไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้

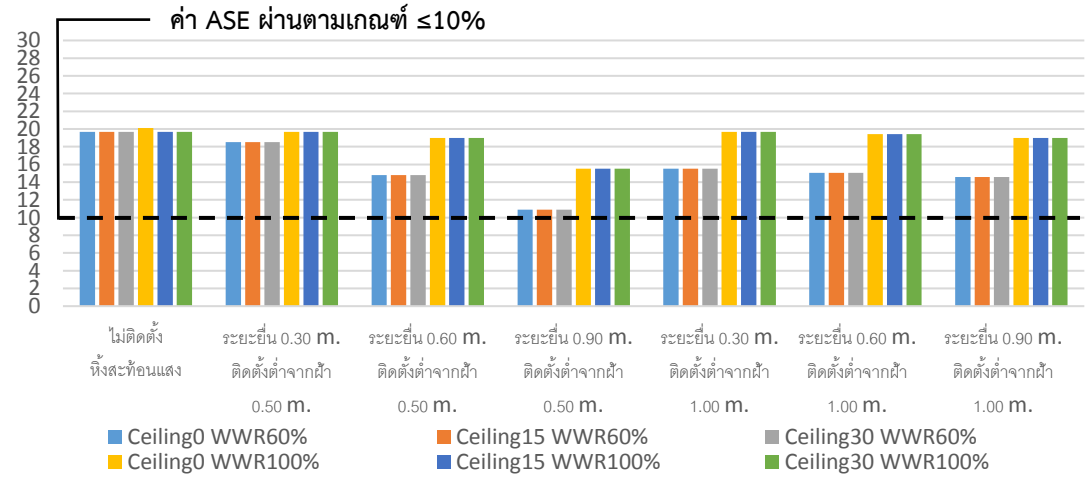
4.1.5.6 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



แผนภูมิที่ 23 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

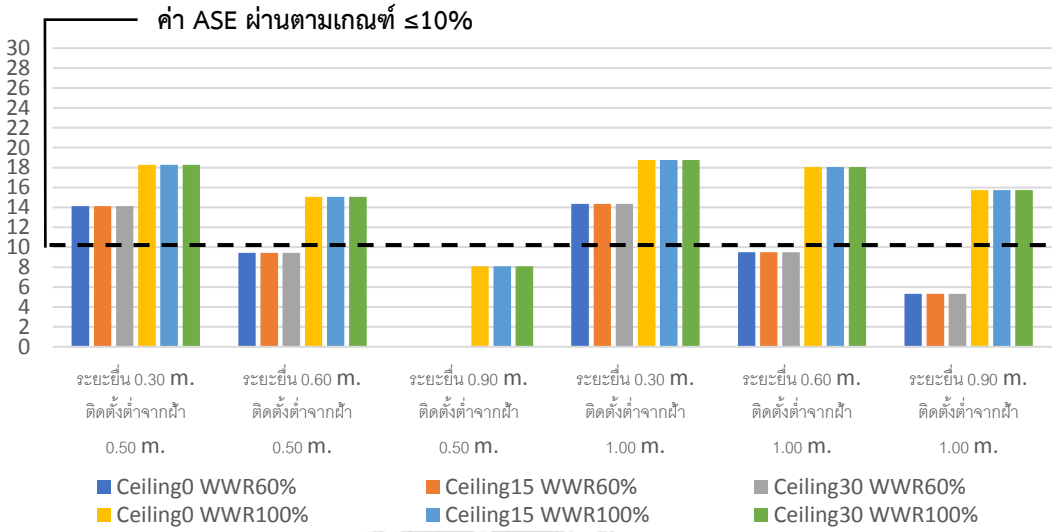
จากแผนภูมิที่ 23 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือ ทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เมื่อมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา ทั้งกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก หรือติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เมื่อติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร และกรณีที่หิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร เมื่อติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร ส่วนกรณีศึกษาที่มีผลค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75% คือ ทุกกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา และ 15 องศา ทั้งกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 24 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

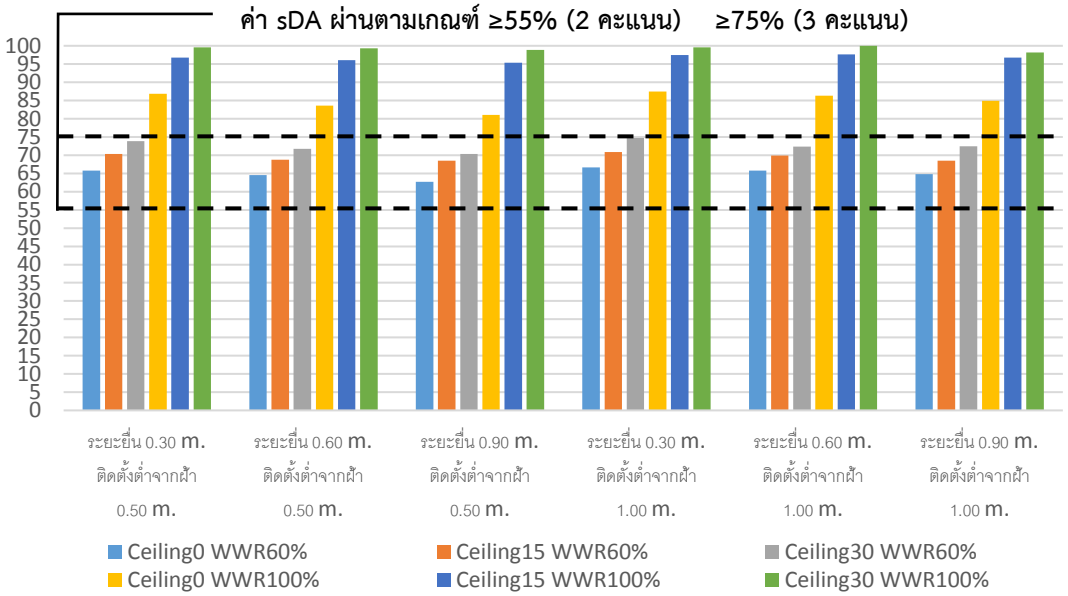
จากแผนภูมิที่ 24 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไม่มีกรณีศึกษาใดที่สามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ โดยมีกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ที่มีแนวโน้มในการผ่านเกณฑ์ได้ โดยมีค่า ASE 10.88% จึงทำการวิจัยต่อโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ในทุกกรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศระวันตกเฉียงใต้ที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก เพื่อหากรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ โดยได้ผลการศึกษา ดังแผนภูมิที่ 25



แผนภูมิที่ 25 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้
หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 25 เมื่อติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร มีผลให้ค่า Annual Sunlight Exposure (ASE) ของทุกกรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้มีค่าลดลง และทำให้กรณีศึกษาที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.60 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% รวมถึงกรณีศึกษามีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% โดยมีจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 15 กรณี จากการที่ไม่มีกรณีศึกษาใดผ่านเกณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



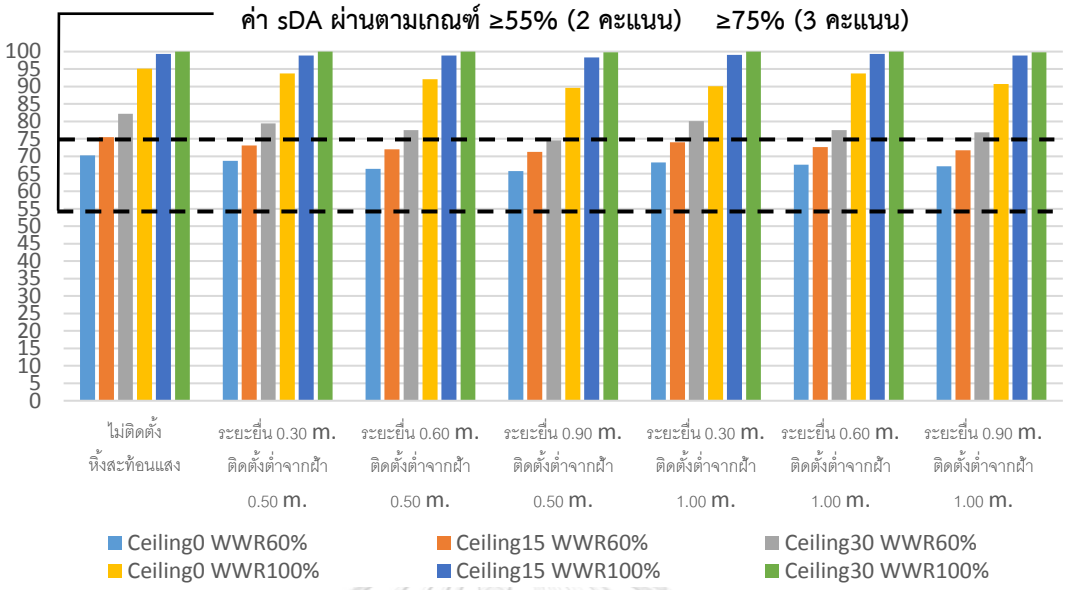
แผนภูมิที่ 26 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้
หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 26 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ยังคงสามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่ยังคงมีผลค่า sDA มากกว่า 75% คือทุกกรณีศึกษาที่มีค่าสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นผนัง 60% ที่มีผลค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75% โดยค่า sDA ทุกกรณีศึกษาลดลง 1-4% ทำให้กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เมื่อมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา และติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกมีระยะยื่น 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เมื่อติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 1.00 เมตร และกรณีที่หิ้งสะท้อนแสงภายนอกมีระยะยื่น 0.30 และ 0.60 เมตร เมื่อติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร ที่เคยมีค่า sDA สูงกว่า 75% มีค่า sDA ลดลงมาจนน้อยกว่า 75%

จากแผนภูมิที่ 25 และ 26 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร ติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร ทั้งติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จะได้รับคะแนน 2 คะแนน ส่วนกรณีอื่นๆ ไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

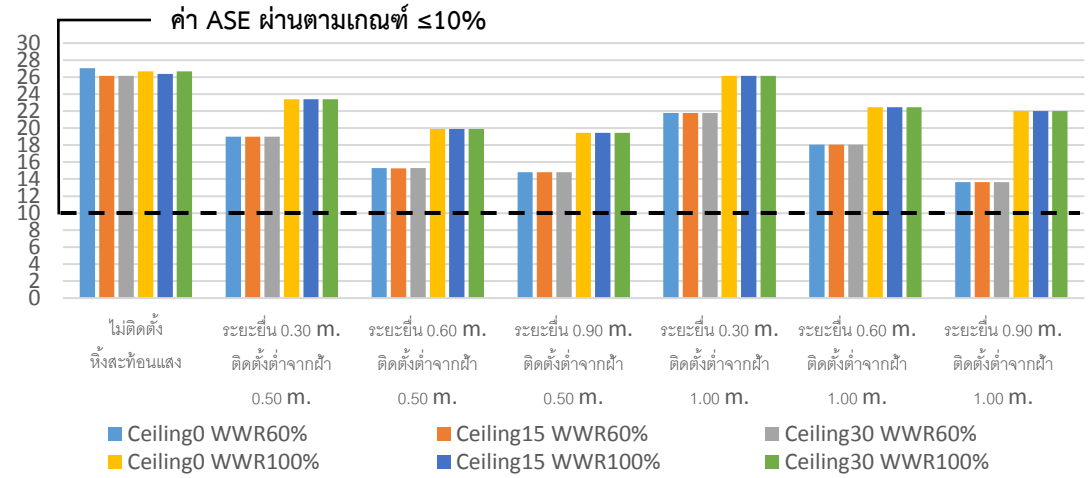
4.1.5.7 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 27 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก

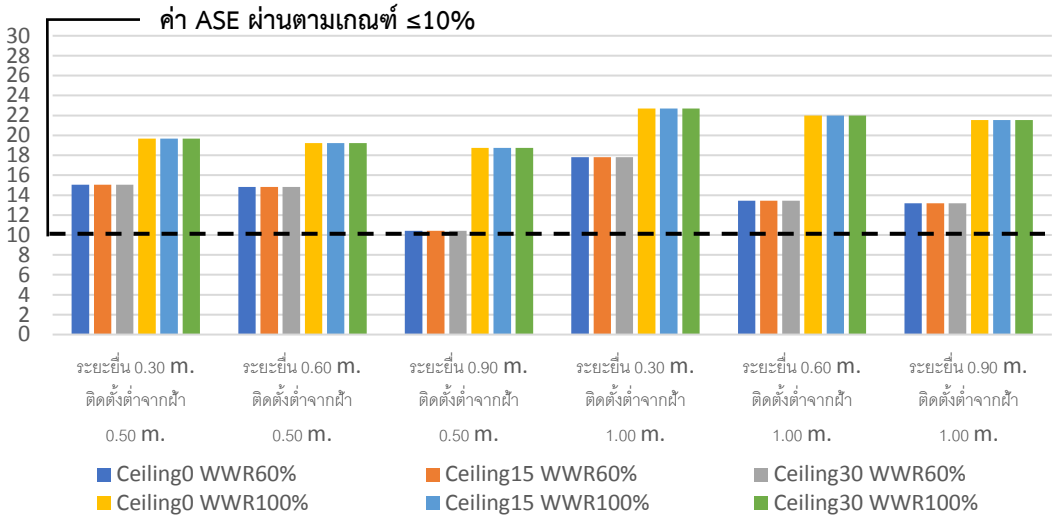
จากแผนภูมิที่ 27 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% ได้แก่ ทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่ามากกว่า 75% ได้ ในกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 15 องศา และ 30 องศา ส่วนในกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก จะมีค่า sDA มากกว่า 75% ได้ในกรณีที่มีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา ทุกกรณีศึกษา ยกเว้นกรณีที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร และติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร ส่วนกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร มีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 0 องศา และ 15 องศา มีค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 28 ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก

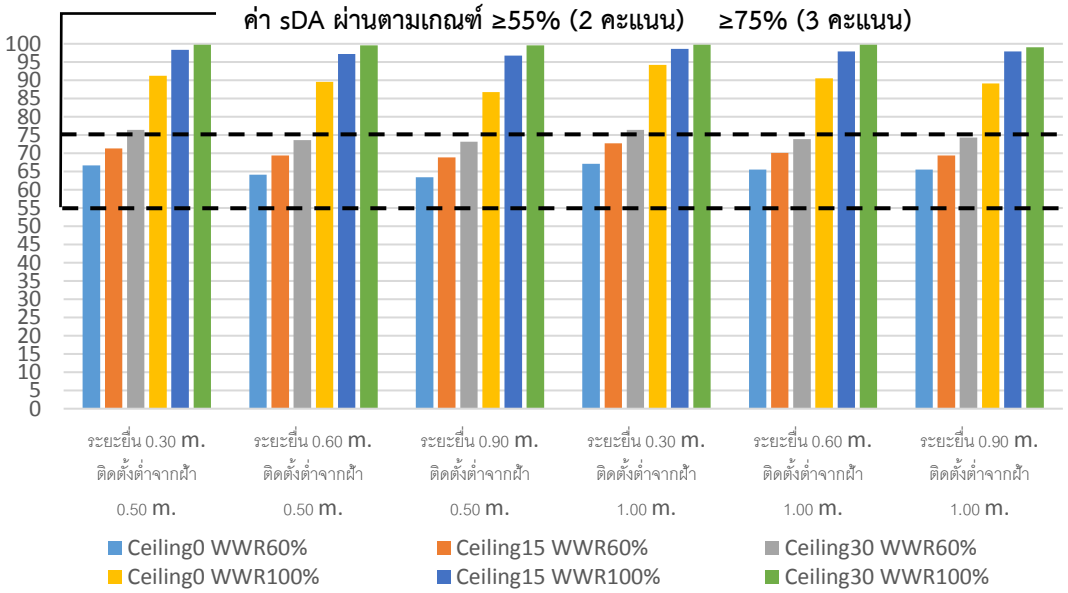
จากแผนภูมิที่ 28 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก ไม่มีกรณีศึกษาใดที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ซึ่งกรณีศึกษาที่มีแนวโน้มในการผ่านเกณฑ์ได้มากที่สุด คือ กรณีศึกษาที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร เมื่อมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จึงทำการวิจัยต่อโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ในทุกกรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก เพื่อหากรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ โดยได้ผลการศึกษา ดังแผนภูมิที่ 29



แผนภูมิที่ 29 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 29 หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก ยังคงไม่มีกรณีศึกษาใดที่สามารถมีค่า ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ โดยมีกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.90 เมตร มีระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% สามารถมีค่า ASE ลดลงมาใกล้เคียงกับความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์มากที่สุด แต่ยังคงไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

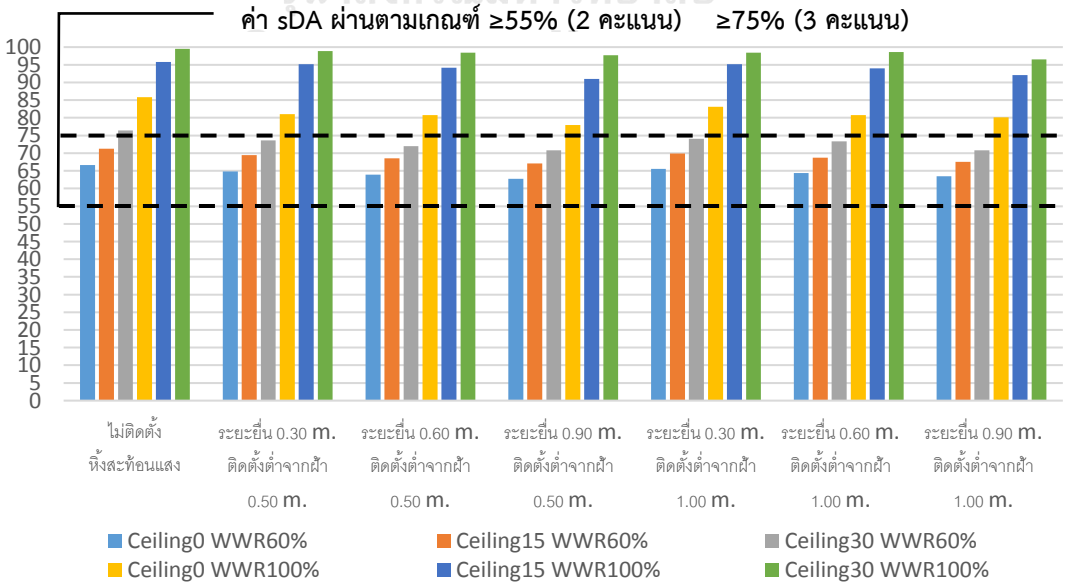


แผนภูมิที่ 30 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 30 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ยังคงมีค่าผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษา โดยทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่า sDA มากกว่า 75% ส่วนทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75% ทำให้กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และมีขนาดองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา มีค่า sDA ลดลงต่ำกว่า 75% จากก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ที่มากกว่า 75%

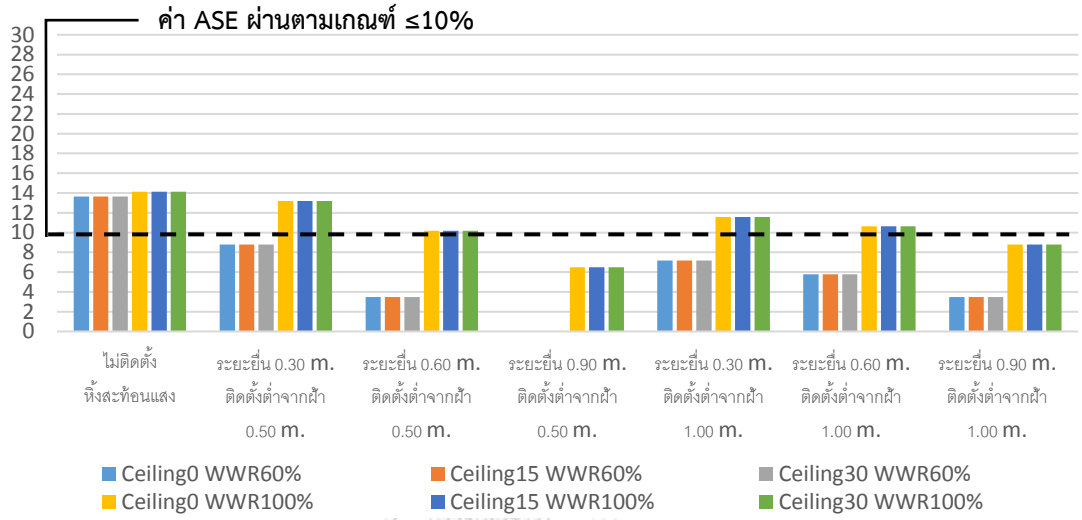
4.1.5.8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 31 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 31 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ในทุกกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีผลค่า sDA มากกว่า 75% ได้แก่ ทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้งกรณีที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่า sDA มากกว่า 75% ในกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีองศาของฝ้าเพดาน 30 องศา ส่วนในกรณีที่มีพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ทุกกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก มีค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75%

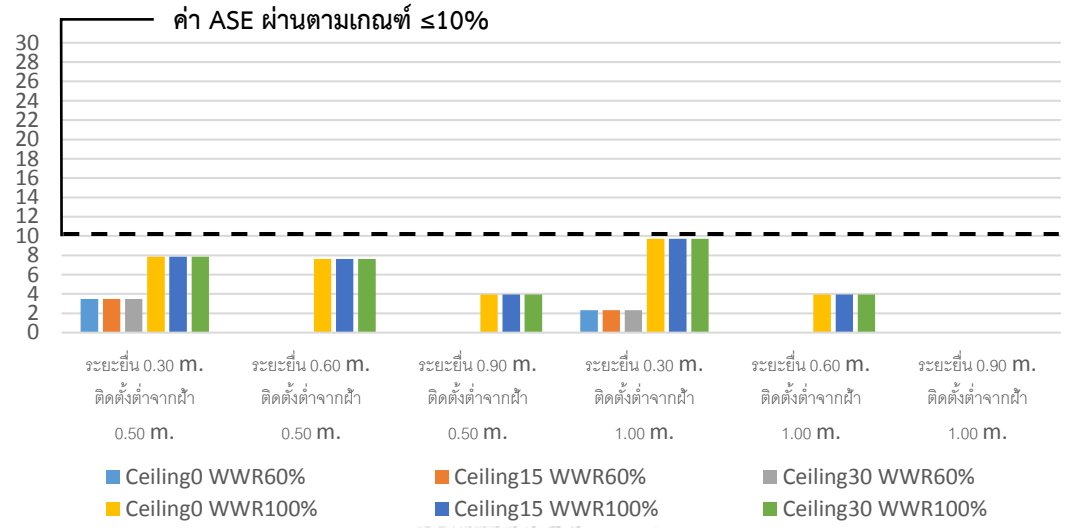


แผนภูมิที่ 32 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิ 32 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 2 คะแนน ทั้งหมด 24 กรณี ได้แก่ กรณีศึกษาที่ติดตั้งตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร ติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% กรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.60 เมตร ติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.90 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ส่วนกรณีที่จะได้รับคะแนน 3 คะแนน กรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.90 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

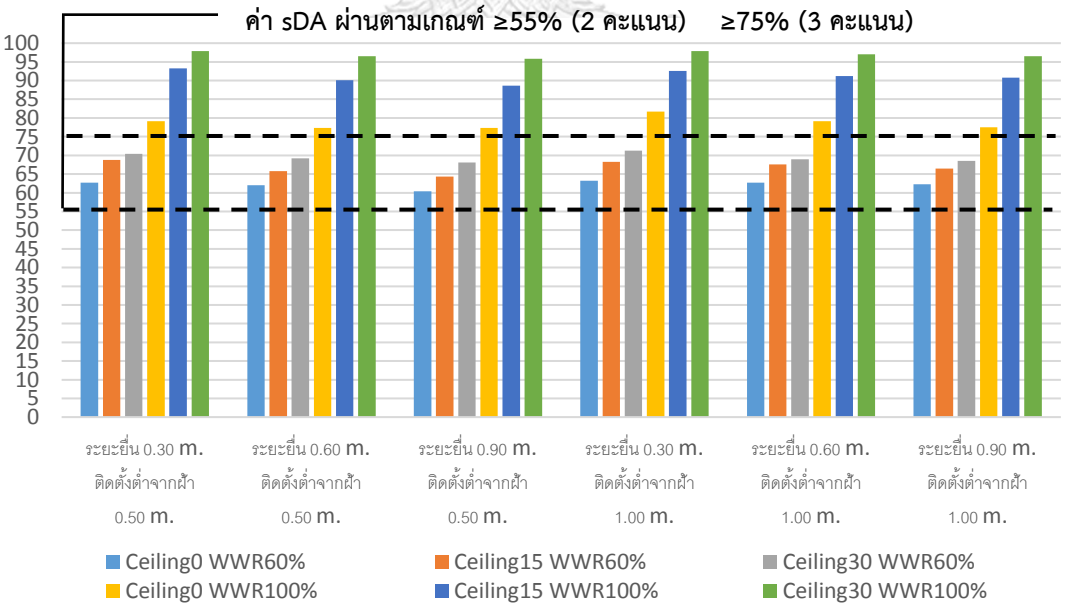
นอกจากนี้มีกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร ทั้งระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% จำนวน 12 กรณีที่มีความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์ จึงทำการวิจัยต่อโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ในทุกกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก กับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เพื่อหากรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ โดยได้ผลการศึกษา ดังแผนภูมิที่ 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 33 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 33 ค่า ASE กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร สามารถมีค่าผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษาที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายใน เป็นจำนวน 36 กรณี จากก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน มีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 24 กรณี



แผนภูมิที่ 34 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จากแผนภูมิที่ 34 ค่า sDA กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร สามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ทุกกรณีศึกษา โดยกรณีที่มีค่า sDA มากกว่า 75% คือทุกกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75% โดยเมื่อเทียบก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน มีผลให้ค่า sDA ในทุกกรณีศึกษาลดลง 1-3% แต่ไม่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับคะแนนที่จะได้รับจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

จากแผนภูมิที่ 33 และ 34 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ที่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight และได้รับคะแนน 3 คะแนน คือทุกกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จะได้รับคะแนน 2 คะแนน

จากการพิจารณากรณีศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปจำนวนกรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ ก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร โดยแบ่งเป็นกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% จำนวนทิศละ 18 กรณี และสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% จำนวนทิศละ 18 กรณี ได้ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ในแต่ละทิศก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

ทิศ	WWR60% ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน	WWR100% ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน	WWR60% หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน	WWR100% หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน
เหนือ	18	18	18	18
ตะวันออกเฉียงเหนือ	18	18	18	18
ตะวันออก	-	-	12	6
ตะวันออกเฉียงใต้	3	-	15	9
ใต้	12	3	18	15
ตะวันตกเฉียงใต้	-	-	12	3
ตะวันตก	-	-	-	-
ตะวันตกเฉียงเหนือ	18	6	18	18

จากตารางที่ 17 เปรียบเทียบจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight กับช่องเปิดในแต่ละทิศ ก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร โดยทิศเหนือและทิศตะวันอออกเฉียงเหนือสามารถมีค่า sDA และ ASE ผ่านตามเกณฑ์ได้ทั้งหมด โดยไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนกรณีศึกษากับทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ทำให้มีจำนวนกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์มากขึ้น โดยทิศตะวันออกมีจำนวนกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์ 18 กรณี จากเดิมที่ไม่มีกรณีศึกษาใดผ่านเกณฑ์ ทิศตะวันออกเฉียงใต้จำนวน 24 กรณี จากเดิม 3 กรณี ทิศใต้ 33 กรณี จากเดิม 15 กรณี ทิศตะวันตกเฉียงใต้ 15 กรณี จากเดิมไม่มีกรณีศึกษาใดผ่านเกณฑ์ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือจำนวน 36 กรณี จากเดิม 24 กรณี ส่วนทิศตะวันตก เป็นทิศที่ไม่มีกรณีศึกษาใดผ่านเกณฑ์ ทั้งก่อนและหลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน

จากจำนวนกรณีศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปรูปแบบและระดับคะแนนที่ได้ ตามกรณีศึกษาแต่ละทิศ ได้ดังภาคผนวก ก ผลการจำลองแสงธรรมชาติ เพื่อหาค่า sDA และ ASE ของกรณีศึกษาทั้งหมด 624 กรณี และสามารถสรุปคะแนนที่ได้รับจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 สรุปจำนวนกรณีศึกษาและระดับคะแนนที่ได้รับตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ

ทิศ	**ก่อนติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน**				**หลังติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน**			
	WWR 60% 2 คะแนน	**WWR 60% 3 คะแนน**	**WWR 100% 2 คะแนน**	**WWR 100% 3 คะแนน**	**WWR 60% 2 คะแนน**	**WWR 60% 3 คะแนน**	**WWR 100% 2 คะแนน**	**WWR 100% 3 คะแนน**
เหนือ	18	-	2	16	18	-	5	13
ตะวันออกเฉียงเหนือ	18	-	-	18	18	-	2	16
ตะวันออก	-	-	-	-	12	-	-	6
ตะวันออกเฉียงใต้	3	-	-	-	15	-	-	9
ใต้	12	-	-	3	18	-	-	15
ตะวันตกเฉียงใต้	-	-	-	-	12	-	-	3
ตะวันตก	-	-	-	-	-	-	-	-
ตะวันตกเฉียงเหนือ	18	-	-	6	18	-	1	17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

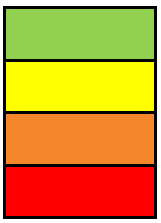
จากตารางที่ 18 สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังส่งผลต่อความแตกต่างของค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ของแต่ละกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ทั้งหมดจะได้รับคะแนนจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight เพียง 2 คะแนน โดยมีค่า sDA อยู่ในช่วง 55-75% ส่วนกรณีศึกษาที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ส่วนใหญ่จะได้รับคะแนนจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight 3 คะแนน โดยมีค่า sDA มากกว่า 75%

4.2 การประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP)

จากผลการวิจัยในขั้นตอนที่ 4.1 ผลการประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตัวแปรที่มีผลต่อการลดค่า ASE ได้มาก ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี เป็นผลทำให้เกิดแสงบาดตาได้ ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก หิ้งสะท้อนแสงภายในที่มีการติดตั้งเพิ่ม สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ส่วนระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ASE เพียงเล็กน้อย และขนาดองศาของฝ้าเพดาน ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ASE

ผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) จำลองผลด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools เวอร์ชัน Legacy ทำการพิจารณารายละเอียดค่าในกรณีศึกษากับช่องเปิดของแต่ละทิศ ในช่วงเวลา 8:00 น. - 18:00 น. ในช่วงเวลา 1 ปี โดยแสดงผลเป็นเป็นแผนภูมิการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติรายปี (Annual Glare Chart) ตามแต่ละทิศ ดังตารางที่ 19-34 โดยแบ่งการแสดงผลเป็น 4 ระดับ แสดงผลด้วย 4 สี ได้แก่

ปกติ ไม่รู้สึก (Imperceptible Glare)	DGP < 0.35
เริ่มรู้สึกไม่สบายตา (Perceptible Glare)	0.35 ≤ DGP < 0.40
แสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare)	0.40 ≤ DGP < 0.45
แสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare)	DGP ≥ 0.45



4.2.1 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 19 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.32	0.36	0.38	0.39	0.37	0.35	0.34	0.33	0.31	0.28
10.00	0.38	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.44	0.42	0.42	0.41	0.39	0.38
12.00	0.40	0.41	0.41	0.40	0.43	0.44	0.42	0.44	0.45	0.41	0.41	0.40
14.00	0.40	0.42	0.42	0.43	0.45	0.46	0.47	0.45	0.45	0.44	0.41	0.40
16.00	0.37	0.39	0.40	0.43	0.46	0.47	0.45	0.42	0.41	0.38	0.36	0.35
18.00	0.23	0.25	0.26	0.27	0.29	0.32	0.31	0.28	0.25	-	-	-

ทิศเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.31	0.35	0.37	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.30	0.28
10.00	0.36	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45	0.43	0.41	0.41	0.40	0.38	0.37
12.00	0.39	0.41	0.40	0.40	0.43	0.43	0.41	0.43	0.44	0.40	0.39	0.38
14.00	0.39	0.41	0.41	0.42	0.45	0.46	0.46	0.44	0.44	0.43	0.39	0.38
16.00	0.36	0.38	0.39	0.42	0.45	0.46	0.44	0.41	0.44	0.37	0.35	0.34
18.00	0.23	0.25	0.26	0.27	0.29	0.31	0.31	0.28	0.25	-	-	-

ทิศเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.31	0.34	0.37	0.37	0.36	0.33	0.33	0.31	0.30	0.27
10.00	0.36	0.37	0.39	0.41	0.42	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36
12.00	0.38	0.40	0.40	0.39	0.42	0.42	0.41	0.43	0.43	0.40	0.39	0.38
14.00	0.38	0.40	0.41	0.42	0.44	0.45	0.45	0.43	0.43	0.42	0.39	0.38
16.00	0.36	0.37	0.38	0.41	0.44	0.45	0.43	0.41	0.39	0.36	0.35	0.34
18.00	0.23	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.30	0.28	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 19 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีการเกิด Intolerable Glare ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. และ Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ตลอดปี ในกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง โดยเมื่อมีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ค่า DGP สามารถลดลงได้เพียงเล็กน้อยจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร สามารถลด Intolerable Glare ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ได้ และลด Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ในช่วงเดือนมกราคมและเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคมได้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 20 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.33	0.36	0.40	0.41	0.39	0.35	0.35	0.34	0.32	0.29
10.00	0.39	0.43	0.44	0.47	0.49	0.50	0.49	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41
12.00	0.45	0.48	0.47	0.47	0.49	0.50	0.47	0.49	0.50	0.46	0.46	0.45
14.00	0.45	0.48	0.47	0.49	0.52	0.53	0.52	0.49	0.50	0.48	0.45	0.44
16.00	0.38	0.41	0.42	0.47	0.50	0.52	0.50	0.46	0.43	0.39	0.37	0.36
18.00	0.25	0.26	0.29	0.27	0.30	0.33	0.32	0.28	0.25	-	-	-

ทิศเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.29	0.32	0.35	0.39	0.39	0.38	0.34	0.34	0.33	0.32	0.28
10.00	0.38	0.40	0.44	0.46	0.48	0.49	0.48	0.45	0.45	0.42	0.41	0.39
12.00	0.44	0.47	0.48	0.47	0.48	0.49	0.47	0.48	0.49	0.45	0.45	0.43
14.00	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.51	0.48	0.49	0.47	0.44	0.42
16.00	0.38	0.39	0.42	0.46	0.49	0.50	0.48	0.44	0.42	0.38	0.37	0.36
18.00	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.32	0.31	0.28	0.25	-	-	-

ทิศเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.27	0.32	0.35	0.38	0.39	0.37	0.34	0.34	0.32	0.31	0.28
10.00	0.38	0.39	0.43	0.46	0.47	0.49	0.47	0.44	0.44	0.42	0.40	0.39
12.00	0.43	0.46	0.47	0.46	0.48	0.49	0.47	0.47	0.48	0.45	0.44	0.42
14.00	0.43	0.46	0.47	0.48	0.50	0.51	0.51	0.48	0.48	0.46	0.43	0.42
16.00	0.38	0.39	0.41	0.45	0.48	0.50	0.47	0.44	0.41	0.38	0.37	0.36
18.00	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.31	0.28	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 20 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% เกิด Intolerable Glare ในช่วงเวลา 10:00 น. - 12:00 น. ตลอดปี โดยจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ทำให้ค่า DGP ลดลงเพียงเล็กน้อย ทำให้ช่วงเดือนมกราคมและพฤศจิกายนถึงธันวาคม สามารถลด Intolerable Glare ลงได้

4.2.2 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 21 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.58	0.52	0.47	0.40	0.36	0.31
10.00	0.41	0.43	0.47	0.51	0.53	0.54	0.54	0.49	0.47	0.44	0.42	0.41
12.00	0.41	0.42	0.42	0.41	0.43	0.44	0.42	0.45	0.45	0.42	0.41	0.40
14.00	0.40	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.44	0.43	0.45	0.43	0.40	0.39
16.00	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.35	0.35
18.00	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.28	0.32	0.42	0.50	0.55	0.56	0.55	0.49	0.45	0.39	0.35	0.31
10.00	0.40	0.42	0.46	0.49	0.51	0.52	0.52	0.48	0.46	0.43	0.41	0.40
12.00	0.40	0.42	0.41	0.40	0.43	0.43	0.42	0.44	0.44	0.41	0.40	0.39
14.00	0.39	0.40	0.40	0.40	0.41	0.42	0.43	0.42	0.43	0.42	0.39	0.38
16.00	0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33
18.00	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.26	0.25	-	-	-

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. - WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.28	0.31	0.42	0.49	0.54	0.55	0.53	0.48	0.44	0.38	0.34	0.31
10.00	0.40	0.42	0.45	0.49	0.50	0.51	0.51	0.47	0.45	0.42	0.41	0.39
12.00	0.39	0.41	0.41	0.40	0.42	0.43	0.41	0.43	0.44	0.40	0.40	0.39
14.00	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.41	0.42	0.41	0.42	0.41	0.38	0.37
16.00	0.35	0.36	0.36	0.37	0.38	0.38	0.37	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.26	0.24	-	-	-

จากตารางที่ 21 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 10:00 น. ช่วงเดือนมีนาคมถึงกันยายน โดยจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร มีค่า DGP ลดลง แต่ไม่เพียงพอในการลด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 10:00 น. ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน รวมถึง Disturbing Glare ช่วงเวลา 12:00 น. - 14:00 น. ช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม และเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 22 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.33	0.46	0.56	0.61	0.63	0.61	0.54	0.49	0.42	0.37	0.32
10.00	0.44	0.48	0.53	0.57	0.59	0.60	0.60	0.54	0.52	0.48	0.46	0.44
12.00	0.46	0.49	0.49	0.48	0.49	0.50	0.48	0.50	0.50	0.47	0.47	0.45
14.00	0.45	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.49	0.47	0.49	0.47	0.44	0.44
16.00	0.38	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.36
18.00	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.28	0.28	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.32	0.44	0.53	0.58	0.60	0.58	0.51	0.47	0.40	0.36	0.31
10.00	0.44	0.47	0.52	0.56	0.57	0.58	0.58	0.52	0.51	0.47	0.45	0.44
12.00	0.46	0.48	0.49	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49	0.50	0.46	0.46	0.44
14.00	0.43	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.48	0.46	0.47	0.46	0.43	0.42
16.00	0.38	0.38	0.39	0.40	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.37	0.36	0.36
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.28	0.32	0.44	0.52	0.57	0.58	0.56	0.50	0.46	0.40	0.35	0.31
10.00	0.43	0.46	0.51	0.55	0.56	0.57	0.57	0.52	0.50	0.46	0.44	0.43
12.00	0.45	0.47	0.49	0.47	0.48	0.49	0.47	0.48	0.49	0.45	0.45	0.44
14.00	0.43	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.45	0.46	0.45	0.42	0.41
16.00	0.37	0.38	0.38	0.40	0.40	0.41	0.40	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.26	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 22 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% เกิด Intolerable Glare ปริมาณมากในช่วงเวลา 8:00 น. - 14:00 น. ตลอดทั้งปี โดยจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ค่า DGP ช่วงเวลา 8:00 น. - 16:00 น. มีการลดลงแต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 14:00 น. ลงได้ รวมถึงรวมถึง Disturbing Glare ช่วงเวลา 16:00 น. ได้

4.2.3 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 23 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศตะวันออก – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.57	0.61	0.68	0.63	0.62	0.59	0.60	0.71	0.68	0.76	0.76	0.74
10.00	0.59	0.60	0.59	0.57	0.55	0.54	0.56	0.53	0.56	0.55	0.55	0.55
12.00	0.44	0.46	0.44	0.41	0.42	0.43	0.42	0.45	0.48	0.45	0.45	0.44
14.00	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.43	0.43	0.44	0.43	0.42	0.40
16.00	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.35	0.35
18.00	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.56	0.59	0.62	0.60	0.59	0.58	0.58	0.68	0.65	0.75	0.75	0.71
10.00	0.56	0.58	0.57	0.55	0.53	0.52	0.54	0.52	0.54	0.53	0.54	0.54
12.00	0.44	0.45	0.44	0.41	0.42	0.42	0.41	0.44	0.46	0.44	0.43	0.42
14.00	0.40	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.42	0.42	0.43	0.42	0.40	0.39
16.00	0.35	0.37	0.37	0.37	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34
18.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.55	0.58	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.59	0.60	0.62	0.68	0.69
10.00	0.55	0.56	0.56	0.54	0.52	0.51	0.53	0.51	0.53	0.52	0.53	0.53
12.00	0.43	0.45	0.43	0.40	0.42	0.41	0.40	0.44	0.45	0.43	0.43	0.42
14.00	0.39	0.40	0.40	0.39	0.39	0.40	0.41	0.41	0.42	0.41	0.39	0.39
16.00	0.35	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.36	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 23 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 12:00 น. และเกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 12:00 น. - 14:00 น. ตลอดทั้งปี โดยจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ค่า DGP ช่วงเวลา 8:00 น. -14:00 น. เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 24 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศตะวันออก – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.58	0.63	0.71	0.66	0.64	0.64	0.65	0.73	0.72	0.76	0.76	0.74
10.00	0.66	0.66	0.65	0.63	0.61	0.60	0.62	0.61	0.62	0.63	0.62	0.61
12.00	0.53	0.55	0.55	0.52	0.50	0.51	0.50	0.50	0.52	0.51	0.52	0.48
14.00	0.46	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.48	0.46	0.48	0.47	0.45	0.45
16.00	0.39	0.38	0.40	0.41	0.42	0.42	0.40	0.41	0.39	0.38	0.36	0.36
18.00	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24	0.28	0.26	0.25	0.24	-	-	-

ทิศตะวันออก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.57	0.60	0.69	0.63	0.63	0.61	0.61	0.71	0.71	0.73	0.74	0.73
10.00	0.64	0.64	0.64	0.62	0.59	0.58	0.60	0.57	0.60	0.58	0.60	0.60
12.00	0.51	0.53	0.52	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.51	0.50	0.50	0.49
14.00	0.45	0.47	0.47	0.46	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.46	0.44	0.43
16.00	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.39	0.40	0.38	0.37	0.36	0.36
18.00	0.23	0.24	0.24	0.25	0.26	0.27	0.27	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.56	0.59	0.65	0.62	0.61	0.60	0.60	0.70	0.70	0.72	0.73	0.72
10.00	0.61	0.63	0.63	0.61	0.58	0.57	0.59	0.56	0.59	0.57	0.59	0.59
12.00	0.50	0.52	0.51	0.48	0.47	0.47	0.46	0.49	0.50	0.49	0.49	0.49
14.00	0.44	0.46	0.46	0.45	0.44	0.44	0.46	0.45	0.46	0.45	0.43	0.43
16.00	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.39	0.39	0.37	0.36	0.35	0.35
18.00	0.23	0.24	0.24	0.25	0.26	0.27	0.27	0.26	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 24 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 14:00 น. ตลอดทั้งปี โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาดังกล่าวได้

4.2.4 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 25 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.59	0.56	0.50	0.46	0.43	0.41	0.41	0.44	0.53	0.73	0.70	0.72
10.00	0.70	0.65	0.57	0.51	0.46	0.46	0.46	0.49	0.55	0.60	0.68	0.71
12.00	0.56	0.53	0.47	0.41	0.41	0.41	0.40	0.45	0.49	0.50	0.54	0.55
14.00	0.45	0.44	0.42	0.41	0.41	0.41	0.43	0.43	0.45	0.46	0.45	0.44
16.00	0.39	0.39	0.38	0.39	0.39	0.39	0.38	0.39	0.38	0.37	0.37	0.37
18.00	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.57	0.55	0.48	0.44	0.41	0.39	0.40	0.42	0.50	0.70	0.68	0.70
10.00	0.66	0.62	0.55	0.49	0.45	0.45	0.45	0.47	0.53	0.58	0.64	0.67
12.00	0.54	0.51	0.46	0.41	0.41	0.40	0.39	0.44	0.48	0.49	0.52	0.53
14.00	0.44	0.44	0.42	0.40	0.40	0.40	0.42	0.42	0.44	0.45	0.44	0.44
16.00	0.38	0.38	0.37	0.38	0.38	0.38	0.37	0.38	0.37	0.36	0.36	0.36
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.27	0.26	0.25	-	-	-

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.56	0.54	0.47	0.43	0.40	0.38	0.39	0.41	0.49	0.69	0.65	0.68
10.00	0.64	0.60	0.54	0.49	0.44	0.44	0.44	0.46	0.52	0.57	0.63	0.65
12.00	0.53	0.51	0.46	0.41	0.40	0.40	0.39	0.43	0.47	0.48	0.51	0.52
14.00	0.44	0.43	0.41	0.40	0.40	0.39	0.41	0.42	0.44	0.44	0.43	0.43
16.00	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.36	0.37	0.37	0.36	0.35	0.35
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.26	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 25 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% เกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 14:00 น. ในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม และกันยายนถึงธันวาคม และเกิด Disturbing Glare ในช่วงเวลา 8:00 น. - 12:00 น. ช่วงเดือนเมษายนถึงสิงหาคม และช่วงเวลา 14:00 น. ตลอดทั้งปีโดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ชนิดได้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 26 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.60	0.58	0.53	0.49	0.45	0.43	0.43	0.46	0.56	0.72	0.75	0.75
10.00	0.77	0.72	0.65	0.57	0.52	0.51	0.51	0.53	0.61	0.67	0.71	0.73
12.00	0.64	0.61	0.55	0.48	0.47	0.46	0.45	0.50	0.54	0.57	0.62	0.64
14.00	0.52	0.51	0.49	0.47	0.46	0.46	0.48	0.47	0.50	0.51	0.50	0.51
16.00	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.39	0.38	0.38
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.26	0.27	-	-	-

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.58	0.56	0.50	0.47	0.43	0.41	0.42	0.44	0.53	0.71	0.72	0.73
10.00	0.73	0.68	0.62	0.55	0.50	0.50	0.50	0.52	0.59	0.64	0.70	0.72
12.00	0.62	0.60	0.54	0.49	0.47	0.46	0.45	0.49	0.54	0.56	0.60	0.61
14.00	0.51	0.51	0.49	0.46	0.45	0.44	0.47	0.46	0.49	0.50	0.50	0.50
16.00	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.40	0.39	0.38	0.37	0.38
18.00	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.27	0.26	0.25	-	-	-

ทิศตะวันออกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.57	0.55	0.49	0.46	0.42	0.40	0.41	0.43	0.52	0.69	0.68	0.69
10.00	0.71	0.67	0.61	0.55	0.50	0.49	0.49	0.51	0.58	0.62	0.67	0.65
12.00	0.61	0.59	0.54	0.48	0.46	0.45	0.45	0.49	0.53	0.55	0.59	0.60
14.00	0.50	0.50	0.48	0.46	0.45	0.44	0.46	0.45	0.48	0.49	0.49	0.49
16.00	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.39	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37
18.00	0.23	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.25	0.25	0.24	-	-	-

จากตารางที่ 26 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 8:00 น. - 14:00 น. โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาดังกล่าวได้

4.2.5 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 27 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศใต้ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.30	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.35	0.37	0.40	0.35
10.00	0.55	0.49	0.44	0.42	0.40	0.42	0.40	0.42	0.46	0.50	0.58	0.59
12.00	0.59	0.53	0.47	0.41	0.41	0.40	0.39	0.45	0.49	0.54	0.60	0.61
14.00	0.60	0.54	0.47	0.43	0.43	0.42	0.44	0.45	0.50	0.55	0.61	0.63
16.00	0.54	0.49	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.41	0.43	0.47	0.51	0.54
18.00	0.23	0.26	0.27	0.26	0.28	0.28	0.28	0.27	0.25	-	-	-

ทิศใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.29	0.33	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.35	0.36	0.38	0.34
10.00	0.53	0.48	0.44	0.41	0.40	0.40	0.39	0.41	0.45	0.49	0.55	0.56
12.00	0.57	0.52	0.46	0.41	0.40	0.39	0.39	0.44	0.48	0.52	0.58	0.59
14.00	0.58	0.53	0.47	0.43	0.42	0.41	0.43	0.44	0.49	0.54	0.59	0.60
16.00	0.52	0.47	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	0.40	0.42	0.45	0.49	0.51
18.00	0.23	0.26	0.26	0.26	0.28	0.27	0.28	0.26	0.25	-	-	-

ทิศใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.29	0.32	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.34	0.36	0.37	0.34
10.00	0.52	0.47	0.43	0.41	0.39	0.40	0.39	0.40	0.44	0.48	0.54	0.55
12.00	0.56	0.52	0.46	0.40	0.40	0.39	0.38	0.43	0.48	0.52	0.57	0.58
14.00	0.57	0.52	0.46	0.42	0.41	0.41	0.43	0.43	0.48	0.53	0.58	0.59
16.00	0.51	0.46	0.42	0.40	0.39	0.39	0.39	0.40	0.42	0.44	0.48	0.50
18.00	0.23	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.28	0.26	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 27 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม และเกิด Disturbing Glare ในช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ช่วงเดือนมีนาคมถึงสิงหาคม โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทได้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 28 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศใต้ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.30	0.30	0.33	0.34	0.35	0.35	0.34	0.34	0.36	0.39	0.41	0.37
10.00	0.61	0.55	0.50	0.47	0.44	0.45	0.43	0.45	0.51	0.56	0.65	0.66
12.00	0.68	0.62	0.55	0.48	0.46	0.45	0.44	0.49	0.55	0.61	0.69	0.70
14.00	0.69	0.63	0.55	0.50	0.48	0.47	0.49	0.50	0.56	0.62	0.69	0.72
16.00	0.60	0.54	0.48	0.45	0.43	0.43	0.43	0.44	0.47	0.50	0.56	0.58
18.00	0.23	0.26	0.27	0.26	0.26	0.28	0.28	0.27	0.24	-	-	-

ทิศใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.30	0.29	0.33	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.35	0.38	0.40	0.35
10.00	0.58	0.53	0.50	0.46	0.44	0.44	0.43	0.44	0.50	0.54	0.62	0.63
12.00	0.65	0.60	0.54	0.48	0.46	0.45	0.44	0.49	0.54	0.59	0.66	0.67
14.00	0.66	0.61	0.55	0.50	0.47	0.46	0.48	0.49	0.55	0.60	0.66	0.68
16.00	0.57	0.52	0.47	0.44	0.42	0.42	0.42	0.43	0.46	0.49	0.53	0.55
18.00	0.23	0.25	0.26	0.26	0.26	0.27	0.28	0.27	0.25	-	-	-

ทิศใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.29	0.29	0.32	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.34	0.37	0.39	0.35
10.00	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.43	0.42	0.43	0.49	0.53	0.61	0.62
12.00	0.65	0.60	0.54	0.48	0.45	0.44	0.44	0.48	0.54	0.59	0.65	0.66
14.00	0.65	0.60	0.54	0.49	0.46	0.46	0.47	0.48	0.54	0.59	0.65	0.67
16.00	0.56	0.51	0.46	0.43	0.42	0.42	0.41	0.42	0.45	0.48	0.52	0.53
18.00	0.23	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.27	0.25	-	-	-

จากตารางที่ 28 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน และกันยายนถึงธันวาคม และช่วงเวลา 12:00 น. - 14:00 น. ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม โดยช่วงเวลา 10:00 น. - 12:00 น. และ 16:00 น. ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม เกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทในช่วงเวลาดังกล่าว

4.2.6 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 29 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.31	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32	0.29
10.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.41	0.38	0.40	0.42	0.43	0.42	0.41
12.00	0.49	0.47	0.44	0.40	0.41	0.40	0.39	0.44	0.48	0.50	0.53	0.51
14.00	0.65	0.60	0.54	0.50	0.47	0.46	0.47	0.49	0.57	0.65	0.71	0.69
16.00	0.82	0.76	0.68	0.60	0.53	0.51	0.51	0.56	0.66	0.77	0.85	0.85
18.00	0.31	0.33	0.34	0.33	0.32	0.32	0.34	0.34	0.33	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.26	0.30	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
10.00	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.40	0.38	0.39	0.41	0.42	0.41	0.41
12.00	0.48	0.47	0.43	0.40	0.40	0.39	0.38	0.43	0.47	0.49	0.51	0.50
14.00	0.62	0.58	0.53	0.49	0.46	0.45	0.46	0.48	0.55	0.62	0.67	0.66
16.00	0.77	0.71	0.64	0.57	0.51	0.49	0.50	0.54	0.63	0.73	0.83	0.82
18.00	0.31	0.32	0.33	0.32	0.31	0.32	0.33	0.33	0.32	-	-	-

Chulalongkorn University

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.26	0.29	0.31	0.32	0.32	0.31	0.30	0.31	0.31	0.30	0.29
10.00	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37	0.39	0.37	0.38	0.40	0.41	0.41	0.41
12.00	0.47	0.46	0.43	0.39	0.40	0.39	0.38	0.43	0.46	0.48	0.50	0.49
14.00	0.61	0.57	0.52	0.48	0.46	0.44	0.46	0.47	0.54	0.61	0.66	0.64
16.00	0.75	0.70	0.62	0.56	0.50	0.48	0.48	0.53	0.62	0.71	0.82	0.81
18.00	0.30	0.32	0.32	0.31	0.30	0.31	0.32	0.33	0.32	-	-	-

จากตารางที่ 29 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 12:00 น. - 16:00 น. ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม และช่วงเวลา 14:00 น. - 16:00 น. ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม และเกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. - 12:00 น. ตลอดทั้งปี โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิด Intolerable Glare ได้ แต่ลด Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคมได้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 30 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.32	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.34	0.34	0.33	0.29
10.00	0.43	0.42	0.44	0.44	0.42	0.44	0.42	0.42	0.45	0.46	0.47	0.45
12.00	0.57	0.55	0.51	0.47	0.46	0.45	0.44	0.49	0.53	0.57	0.61	0.59
14.00	0.74	0.69	0.63	0.57	0.54	0.52	0.53	0.55	0.64	0.73	0.80	0.78
16.00	0.88	0.83	0.75	0.66	0.58	0.56	0.56	0.61	0.72	0.83	0.84	0.85
18.00	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.36	0.39	0.34	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.26	0.31	0.33	0.33	0.33	0.33	0.32	0.33	0.33	0.32	0.29
10.00	0.42	0.42	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.45	0.45	0.46	0.45
12.00	0.56	0.54	0.52	0.47	0.46	0.45	0.44	0.48	0.52	0.55	0.59	0.57
14.00	0.71	0.67	0.61	0.56	0.53	0.51	0.52	0.54	0.62	0.70	0.76	0.75
16.00	0.84	0.79	0.71	0.63	0.56	0.54	0.54	0.59	0.69	0.78	0.82	0.83
18.00	0.31	0.32	0.32	0.33	0.32	0.33	0.35	0.38	0.33	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.26	0.31	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
10.00	0.41	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42	0.40	0.41	0.43	0.44	0.45	0.44
12.00	0.55	0.54	0.51	0.47	0.45	0.44	0.43	0.47	0.52	0.55	0.58	0.57
14.00	0.70	0.66	0.61	0.56	0.52	0.51	0.51	0.53	0.61	0.68	0.74	0.73
16.00	0.82	0.77	0.70	0.62	0.55	0.53	0.53	0.58	0.67	0.77	0.81	0.81
18.00	0.30	0.32	0.32	0.33	0.32	0.32	0.34	0.37	0.32	-	-	-

จากตารางที่ 30 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 12:00 น. - 16:00 น. ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม และช่วงเวลา 10:00 น. - 16:00 น. ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม และเกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทในช่วงเวลาดังกล่าวได้

4.2.7 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 31 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศตะวันตก – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.31	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
10.00	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.41	0.38	0.40	0.41	0.41	0.39	0.38
12.00	0.42	0.43	0.42	0.40	0.41	0.40	0.39	0.44	0.46	0.44	0.43	0.42
14.00	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.57	0.58	0.57	0.53
16.00	0.72	0.75	0.76	0.78	0.75	0.72	0.70	0.73	0.78	0.81	0.83	0.85
18.00	0.31	0.66	0.77	0.78	0.77	0.58	0.51	0.49	0.39	-	-	-

ทิศตะวันตก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.30	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.31	0.30	0.28
10.00	0.36	0.37	0.38	0.38	0.38	0.40	0.37	0.39	0.40	0.39	0.38	0.37
12.00	0.41	0.42	0.41	0.39	0.41	0.40	0.39	0.43	0.45	0.43	0.43	0.41
14.00	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52	0.51	0.50	0.50	0.55	0.56	0.55	0.51
16.00	0.68	0.70	0.72	0.74	0.71	0.69	0.67	0.69	0.74	0.80	0.82	0.83
18.00	0.30	0.65	0.76	0.77	0.75	0.57	0.49	0.48	0.37	-	-	-

ทิศตะวันตก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.30	0.31	0.32	0.31	0.31	0.30	0.31	0.31	0.30	0.27
10.00	0.36	0.36	0.37	0.38	0.37	0.39	0.37	0.38	0.39	0.39	0.37	0.36
12.00	0.41	0.42	0.41	0.39	0.40	0.39	0.38	0.42	0.44	0.43	0.43	0.41
14.00	0.49	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.50	0.54	0.55	0.54	0.51
16.00	0.66	0.69	0.70	0.72	0.69	0.67	0.65	0.67	0.72	0.79	0.81	0.82
18.00	0.30	0.64	0.75	0.76	0.74	0.56	0.48	0.47	0.37	-	-	-

จากตารางที่ 31 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 14:00 น. - 16:00 น. ตลอดทั้งปี และช่วงเวลา 18:00 น. ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนสิงหาคม และเกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 12:00 น. โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้ง

สะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทในช่วงเวลาดังกล่าวได้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 32 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศตะวันตก – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.32	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.32	0.29
10.00	0.39	0.41	0.43	0.43	0.42	0.44	0.42	0.42	0.44	0.43	0.42	0.41
12.00	0.48	0.49	0.49	0.47	0.47	0.46	0.45	0.48	0.51	0.50	0.50	0.48
14.00	0.60	0.61	0.61	0.61	0.61	0.59	0.58	0.58	0.64	0.66	0.65	0.61
16.00	0.78	0.82	0.84	0.86	0.82	0.81	0.76	0.79	0.84	0.85	0.86	0.85
18.00	0.32	0.67	0.89	0.81	0.79	0.61	0.56	0.51	0.40	-	-	-

ทิศตะวันตก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.31	0.33	0.34	0.33	0.33	0.32	0.33	0.32	0.31	0.28
10.00	0.38	0.39	0.41	0.42	0.41	0.42	0.40	0.41	0.43	0.42	0.41	0.39
12.00	0.47	0.49	0.49	0.47	0.47	0.46	0.44	0.48	0.50	0.49	0.50	0.47
14.00	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.58	0.56	0.56	0.62	0.63	0.62	0.59
16.00	0.74	0.78	0.80	0.81	0.77	0.75	0.72	0.75	0.80	0.84	0.85	0.84
18.00	0.31	0.65	0.88	0.81	0.78	0.60	0.55	0.50	0.39	-	-	-

ทิศตะวันตก – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.30	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
10.00	0.38	0.38	0.41	0.41	0.40	0.42	0.40	0.41	0.42	0.42	0.40	0.39
12.00	0.47	0.48	0.48	0.46	0.46	0.45	0.44	0.47	0.49	0.48	0.49	0.47
14.00	0.57	0.59	0.59	0.59	0.58	0.57	0.56	0.56	0.61	0.62	0.61	0.58
16.00	0.73	0.76	0.78	0.79	0.76	0.73	0.71	0.73	0.78	0.84	0.84	0.83
18.00	0.30	0.65	0.85	0.77	0.76	0.57	0.54	0.49	0.38	-	-	-

จากตารางที่ 32 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 12:00 น. - 18:00 น. ตลอดทั้งปี และเกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 10:00 น. เดือนกุมภาพันธ์ถึงธันวาคม โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทได้

4.2.8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ตารางที่ 33 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.31	0.33	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.31	0.28
10.00	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.39	0.40	0.41	0.40	0.39	0.38
12.00	0.40	0.41	0.41	0.40	0.42	0.42	0.40	0.44	0.45	0.42	0.41	0.40
14.00	0.42	0.44	0.45	0.49	0.52	0.53	0.51	0.49	0.49	0.47	0.43	0.42
16.00	0.43	0.48	0.54	0.64	0.69	0.69	0.65	0.61	0.56	0.49	0.43	0.40
18.00	0.23	0.29	0.65	0.68	0.56	0.52	0.51	0.41	0.32	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.30	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.31	0.30	0.27
10.00	0.36	0.37	0.38	0.39	0.39	0.41	0.38	0.39	0.40	0.39	0.38	0.37
12.00	0.39	0.41	0.41	0.39	0.42	0.41	0.40	0.43	0.44	0.41	0.40	0.39
14.00	0.41	0.43	0.45	0.48	0.51	0.51	0.50	0.48	0.48	0.46	0.43	0.41
16.00	0.42	0.46	0.52	0.61	0.65	0.66	0.62	0.58	0.53	0.47	0.42	0.39
18.00	0.23	0.29	0.61	0.67	0.55	0.51	0.49	0.40	0.31	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR60%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.30	0.31	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.27
10.00	0.36	0.36	0.37	0.38	0.38	0.40	0.38	0.38	0.39	0.39	0.37	0.36
12.00	0.39	0.40	0.40	0.39	0.41	0.41	0.39	0.42	0.43	0.40	0.40	0.38
14.00	0.41	0.43	0.44	0.47	0.50	0.50	0.49	0.47	0.47	0.45	0.42	0.40
16.00	0.41	0.45	0.51	0.60	0.64	0.64	0.61	0.57	0.52	0.46	0.41	0.39
18.00	0.23	0.28	0.60	0.66	0.54	0.45	0.46	0.40	0.31	-	-	-

จากตารางที่ 33 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 14:00 ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนตุลาคม ช่วงเวลา 16:00 น. ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนตุลาคม และช่วงเวลา 18:00 น. ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม และเกิด Disturbing Glare ช่วงเวลา 12:00 น. ตลอดทั้งปี โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทได้

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ตารางที่ 34 ปริมาณแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33	0.34	0.33	0.32	0.29
10.00	0.39	0.40	0.43	0.44	0.43	0.45	0.43	0.42	0.44	0.43	0.42	0.40
12.00	0.46	0.48	0.48	0.47	0.48	0.48	0.46	0.49	0.50	0.47	0.46	0.45
14.00	0.47	0.50	0.53	0.56	0.59	0.60	0.58	0.55	0.55	0.52	0.48	0.46
16.00	0.47	0.53	0.61	0.71	0.75	0.76	0.71	0.66	0.61	0.53	0.46	0.43
18.00	0.24	0.30	0.66	0.70	0.58	0.51	0.52	0.43	0.33	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 0.90m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.31	0.33	0.34	0.34	0.33	0.32	0.33	0.32	0.31	0.28
10.00	0.38	0.39	0.41	0.43	0.42	0.44	0.42	0.41	0.43	0.42	0.40	0.39
12.00	0.45	0.47	0.48	0.47	0.48	0.48	0.46	0.48	0.49	0.46	0.46	0.44
14.00	0.47	0.50	0.52	0.55	0.58	0.58	0.56	0.53	0.54	0.51	0.48	0.46
16.00	0.45	0.51	0.58	0.67	0.71	0.72	0.68	0.63	0.58	0.51	0.45	0.42
18.00	0.23	0.29	0.62	0.69	0.57	0.48	0.49	0.42	0.32	-	-	-

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงระยะยื่น 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.25	0.26	0.30	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
10.00	0.38	0.38	0.41	0.42	0.42	0.43	0.41	0.41	0.42	0.41	0.40	0.38
12.00	0.44	0.46	0.47	0.46	0.47	0.47	0.45	0.47	0.48	0.45	0.45	0.43
14.00	0.46	0.49	0.51	0.55	0.57	0.57	0.55	0.53	0.53	0.50	0.47	0.45
16.00	0.45	0.50	0.57	0.66	0.70	0.71	0.66	0.62	0.57	0.50	0.44	0.41
18.00	0.23	0.29	0.62	0.68	0.56	0.47	0.48	0.41	0.32	-	-	-

จากตารางที่ 34 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีการเกิด Intolerable Glare ช่วงเวลา 12:00 น. - 16:00 น. ตลอดทั้งปี และช่วงเวลา 18:00 น. ช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม และเกิด Disturbing Glare ช่วง 10:00 น. ตลอดทั้งปี โดยค่า DGP มีการลดลงจากกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง กรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และกรณีที่ติดตั้งทั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร แต่ไม่สามารถลดลงจนไม่เกิดแสงบาดตาทั้ง 2 ประเภทได้

จากตารางที่ 4.5-4.20 การมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีผลทำให้เกิดแสงบาดตาได้มากกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% ส่วนตำแหน่งทิศของช่องเปิด มีผลต่อการเกิดแสงบาดตาโดยตรง โดยทิศเหนือ เป็นทิศที่มีการเกิดแสงบาดตาน้อยที่สุด ส่วนทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เป็นทิศที่มีการเกิดแสงบาดตามากที่สุด ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์

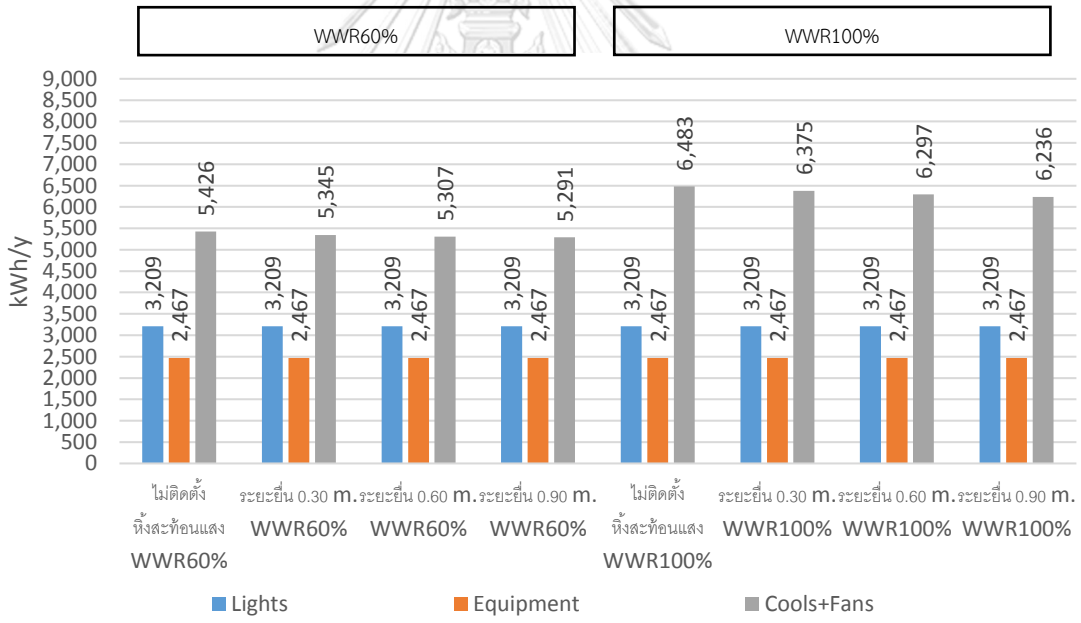
นอกจากนี้ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสง และหิ้งสะท้อนแสงภายในที่มีการติดตั้งเพิ่ม ที่คาดว่าจะมีผลต่อการลดการเกิดแสงบาดตาที่เข้าสู่ภายในอาคาร แต่มีผลน้อยหรือไม่ส่งผลต่อการลดแสงบาดตาเท่าที่ควร แม้จะมีค่า ASE ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้

4.3 การประเมินผลการใช้พลังงาน

จากผลการวิจัยในขั้นตอนที่ 4.1 ผลการประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยตัวแปรที่คาดว่ามีผลต่อการลดค่าการใช้พลังงาน ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก

ผลการใช้พลังงาน จำลองด้วยโปรแกรม VisualDOE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยสามารถจำลองปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ซึ่งผลการจำลองการใช้พลังงานที่ได้ จะเป็นผลการใช้พลังงานรวมรายปี โดยเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานในแต่ละกรณีศึกษาระหว่างกรณีที่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงและไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง (Base Case) โดยพิจารณาตามกรณีศึกษากับช่องเปิดของแต่ละทิศ ดังแผนภูมิที่ 35-42

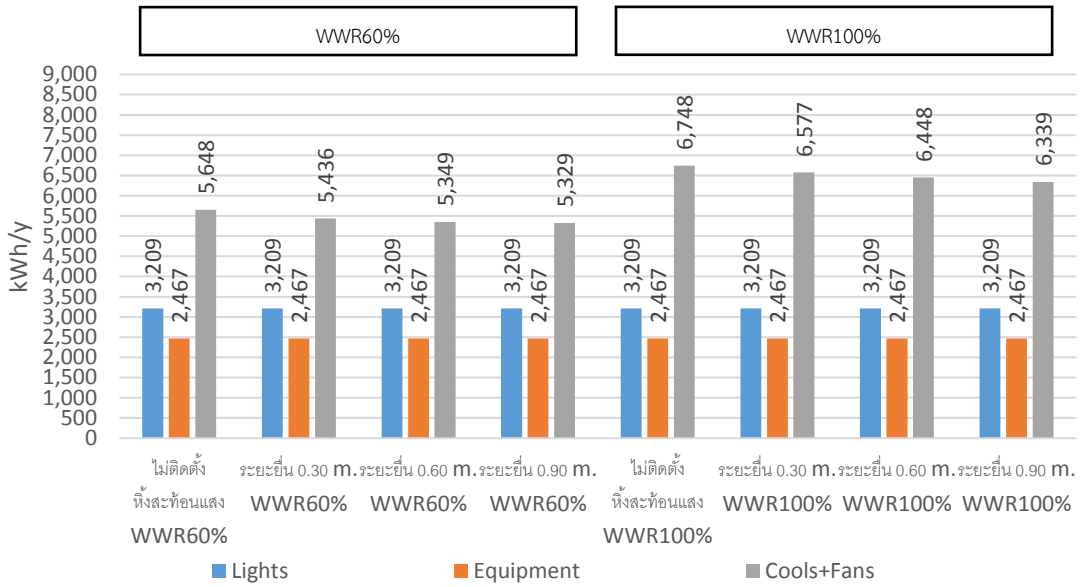
4.3.1 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 35 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ

จากแผนภูมิที่ 35 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 5,291 kWh/y ถึง 5,426 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,236 kWh/y ถึง 6,483 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 1,000 kWh/y

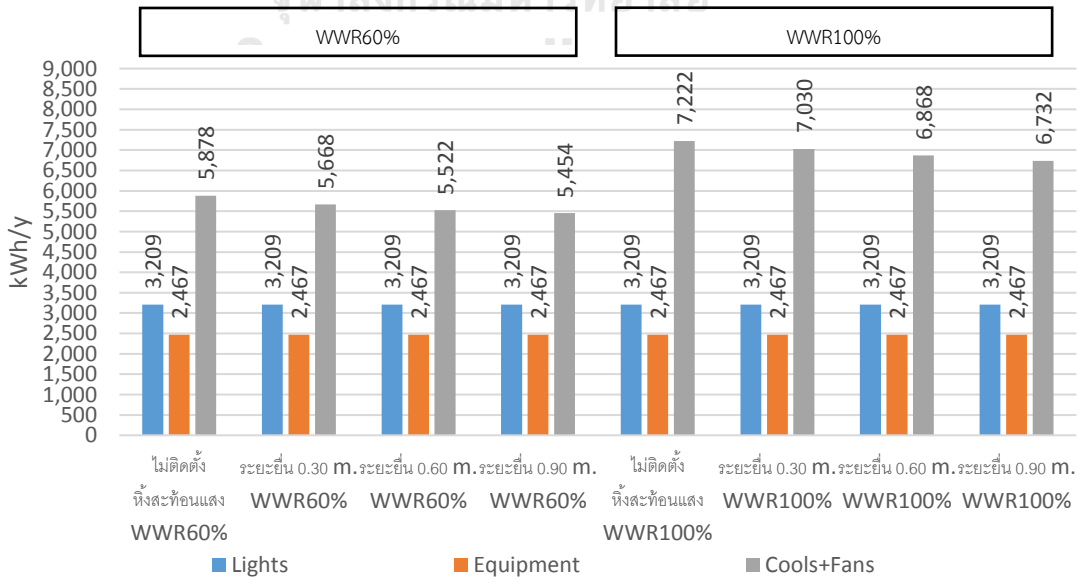
4.3.2 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 36 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 36 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 5,329 kWh/y ถึง 5,648 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 6,339 kWh/y ถึง 6,748 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 1,000 kWh/y

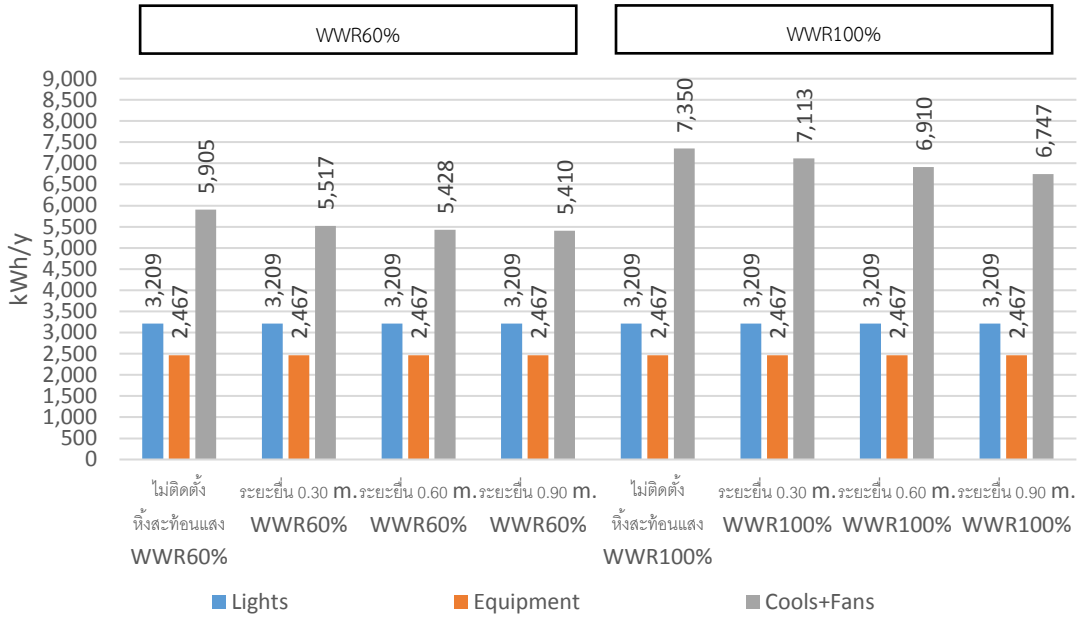
4.3.3 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 37 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก

จากแผนภูมิที่ 37 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 5,454 kWh/y ถึง 5,878 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,732 kWh/y ถึง 7,222 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 1,400 kWh/y

4.3.4 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

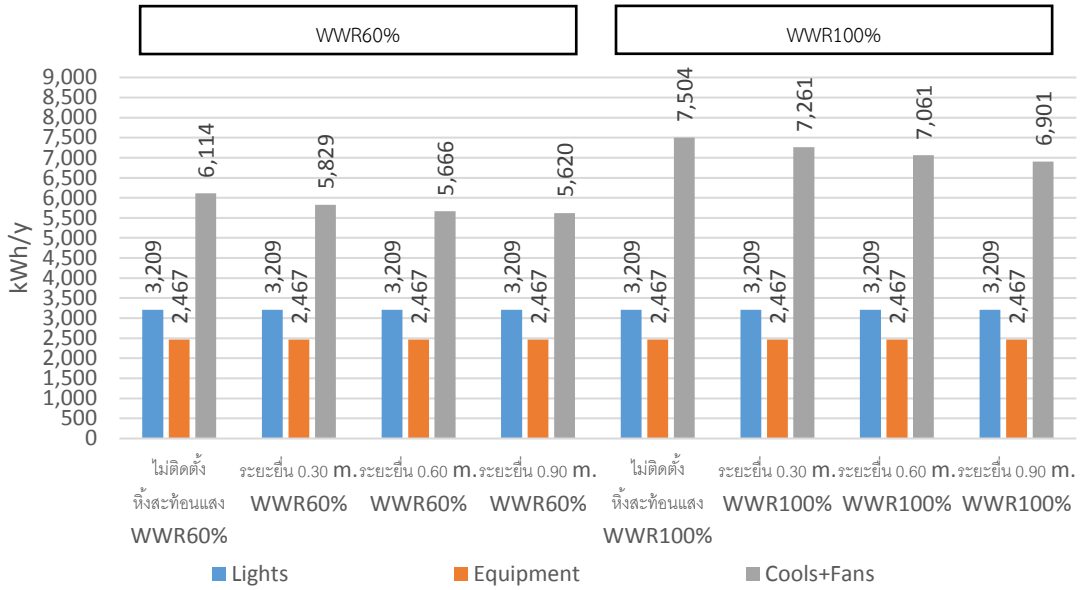


แผนภูมิที่ 38 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากแผนภูมิที่ 38 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 5,441 kWh/y ถึง 5,905 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,747 kWh/y ถึง 7,350 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 1,400 kWh/y

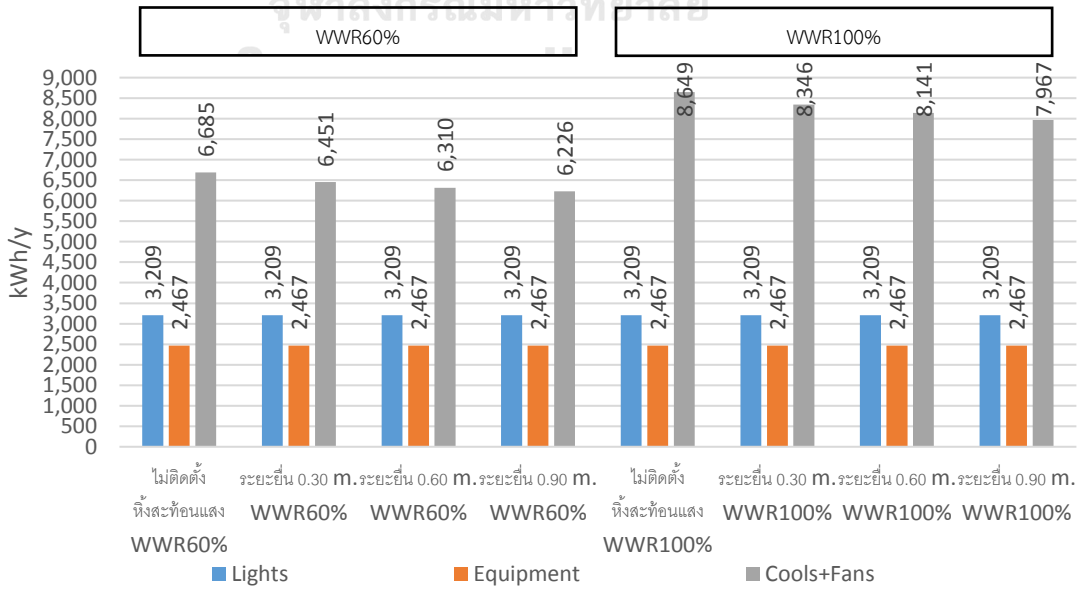
4.3.5 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 39 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้

จากแผนภูมิที่ 39 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศใต้ ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 5,620 kWh/y ถึง 6,114 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,901 kWh/y ถึง 7,504 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 1,300 kWh/y

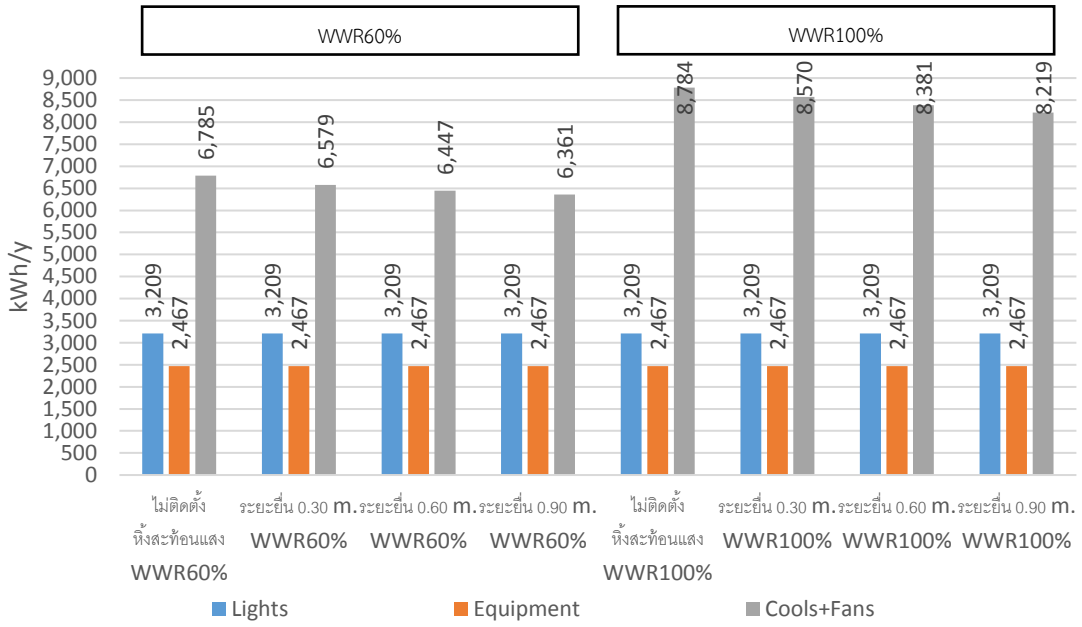
4.3.6 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



แผนภูมิที่ 40 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

จากแผนภูมิที่ 40 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,226 kWh/y ถึง 6,685 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 7,967 kWh/y ถึง 8,649 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 2,000 kWh/y

4.3.7 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก

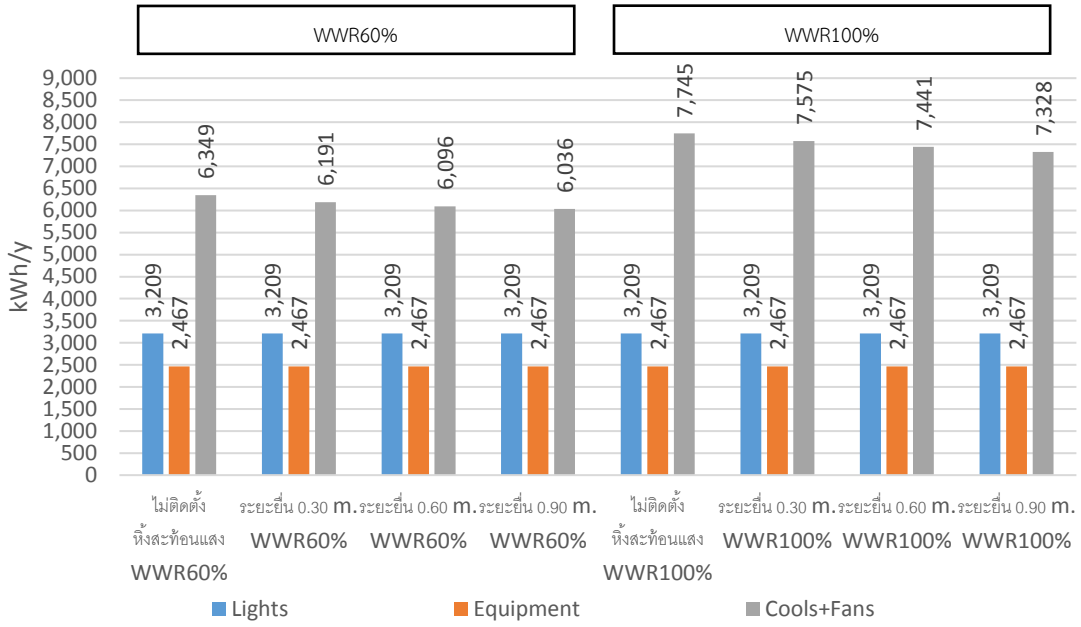


แผนภูมิที่ 41 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากแผนภูมิที่ 41 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,361 kWh/y ถึง 6,785 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 8,219 kWh/y ถึง 8,784 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 2,000 kWh/y

4.3.8 กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 42 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากแผนภูมิที่ 42 ผลการใช้พลังงาน กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ในกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 6,036 kWh/y ถึง 6,349 kWh/y และกรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วง 7,328 kWh/y ถึง 7,745 kWh/y โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทำให้มีค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% อยู่ประมาณ 1,400 kWh/y

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากแผนภูมิที่ 35-42 การมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่มาก และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง มีผลให้แสงสามารถผ่านเข้ามาได้มาก ตามค่า sDA และ ASE ที่มากจึงทำให้มีค่าการใช้พลังงานสูงตามไปด้วย โดยสามารถเรียงลำดับทิศที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศเหนือตามลำดับ

ความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ จากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นแตกต่างกัน ระหว่างช่วงของการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.30 เมตร มีความแตกต่างของค่ามากกว่า ค่าการใช้พลังงานในช่วงระหว่างหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร และมีความแตกต่างของค่ามากกว่า ค่าการใช้พลังงานช่วงระหว่างหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เช่นกัน ซึ่งการเพิ่มระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มากขึ้นสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากขึ้นตามระยะยื่น แต่ให้ผลในการลดที่มีค่าน้อยลงเรื่อยๆ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การลดการใช้แสงประดิษฐ์โดยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยในการลดการใช้พลังงานของอาคารลงได้ แต่การใช้แสงธรรมชาติในอาคารควรมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม โดยไม่น้อยเกินไปจนต้องมีการใช้แสงประดิษฐ์เพิ่มเติม และไม่มากเกินไปที่ทำให้เกิดความไม่สบายตาหรือเกิดแสงบาดตากับผู้ใช้อาคาร โดยการวัดปริมาณแสงธรรมชาติได้มีการใช้เกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight เป็นเกณฑ์ในการประเมินผล โดยใช้ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ซึ่งกำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี โดยต้องได้รับแสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี โดยต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 55% ที่ได้รับแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ดังกล่าว และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ซึ่งกำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี โดยกำหนดให้พื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ สามารถมีความสว่างเกิน 1,000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี

งานวิจัยได้ทำการศึกษาการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงกับห้องอาคารสำนักงาน โดยมีกว้าง 9 เมตร ยาว 12 เมตร และระยะจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3 เมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากขนาดของห้องสำนักงานในกรุงเทพมหานคร โดยในการศึกษามีตัวแปร ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 3 ระยะ ได้แก่ 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร องศาของฝ้าเพดาน 0 องศา 15 องศา และ 30 องศา สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และ 100% และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง 8 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ รวมถึงการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร เพื่อช่วยลดค่า ASE ในทิศที่ก่อนการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ยังไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ แต่มีค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์ โดยการจำลองผลใช้โปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools เวอร์ชัน Plus

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นได้ทำการประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) ด้วยโปรแกรม Rhinoceros – Grasshopper – Ladybug, Honeybee Tools เวอร์ชัน Legacy โดยคาดหวังผลหลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ในการช่วยลดการเกิดแสงบาดตาต่อผู้ใช้อาคาร ในส่วนแสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare) ที่มีค่า DGP มากกว่า 0.45 และแสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare) มีค่า DGP อยู่ในช่วง 0.40-0.45 และทำการประเมินผลการใช้พลังงาน โดยเฉพาะการใช้พลังงานในส่วนการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยทำการพิจารณาเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ แสงบาดตา และการใช้พลังงาน โดยมีผลสรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

การประเมินผลแสงธรรมชาติและพิจารณาโดยใช้ค่า sDA และ ASE เป็นเกณฑ์ และวิเคราะห์ผลเพื่อหากรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight จากการมีค่า sDA มากกว่า 55% จากการได้รับแสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 lux เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของปี และ ASE ไม่เกิน 10% คือสามารถมีความสว่างเกิน 1,000 lux ได้เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี โดยมีตัวแปร คือ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน องศาของฝ้าเพดาน สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก รวมถึงการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเพิ่มเติม

จากผลการศึกษา ทุกกรณีศึกษามีค่า sDA ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ทั้งหมด แต่ค่า ASE ผ่านเกณฑ์เพียง 120 กรณี จากกรณีศึกษาทั้งหมด 336 กรณี ซึ่งหากพิจารณาเฉพาะกรณีที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก มีกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 114 กรณี จากกรณีศึกษาทั้งหมด 288 กรณี ก่อนทำการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเพิ่มเติม โดยหลังจากติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเพิ่มกับกรณีศึกษาทั้งหมด 288 กรณีแล้วนั้น ทำให้มีจำนวนกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 198 จาก 288 กรณี โดยมีจำนวนกรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์เพิ่มมาทั้งหมด 84 กรณี

หากพิจารณาตามแต่ละตัวแปรของการศึกษา ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก มีผลทำให้ค่า sDA และค่า ASE ลดลง ตามระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงที่มากขึ้น ในแต่ละระยะยื่นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร มีผลทำให้ค่า sDA ลดลง 1-2% ทุกๆการมีระยะยื่นที่มากขึ้น 0.30 เมตร ส่วนค่า ASE จะลดลง 1-7% ทุกๆการมีระยะยื่นที่มากขึ้น 0.30 เมตรเช่นกัน ซึ่งการมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มากขึ้น มีผลในการป้องกันแสงตรงหรือลดปริมาณแสงที่จะส่องผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร เป็นผลในการลดพื้นที่ภายในอาคารให้ได้รับแสงตรงลดลง ซึ่งส่งผลต่อค่า ASE จึงทำให้สามารถผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้

ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน มีผลทำให้ค่า sDA และค่า ASE เพิ่มขึ้น ตามระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดานที่มากขึ้น โดยระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดานที่แตกต่างกันในงานวิจัยนี้ คือ 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร มีผลทำให้ค่า sDA เพิ่มขึ้น 0.5-2% และค่า ASE เพิ่มขึ้น 1-4% เมื่อมีการติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดานเพิ่มขึ้น 0.50 เมตร โดยการติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดานที่มากขึ้น ทำให้พื้นที่ช่องเปิดที่อยู่เหนือหิ้งสะท้อนแสงมีมากขึ้น จึงทำให้แสงสามารถสะท้อนกับหิ้งสะท้อนแสง และสามารถผ่านเข้ามาภายในอาคารในมากขึ้น

องศาของฝ้าเพดาน มีผลทำให้ค่า sDA เพิ่มขึ้น ตามองศาที่เพิ่มมากขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงของค่า ASE โดยมีค่า sDA เพิ่มขึ้นประมาณ 5% ทุกๆองศาของฝ้าเพดานที่เพิ่มขึ้น 15 องศา กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และเพิ่มขึ้นประมาณ 8-10% ทุกๆองศาของฝ้าเพดานที่เพิ่มขึ้น 15 องศา กรณีที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% จากองศาของฝ้าเพดานที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ 0 องศา 15 องศา และ 30 องศา ซึ่งองศาที่เพิ่มขึ้น ทำให้แสงที่สะท้อนกับหิ้งสะท้อนแสง สะท้อนกับความเอียงของฝ้าเพดาน และช่วยใน

การกระจายแสงให้เข้าสู่พื้นที่ภายในอาคารได้มากขึ้น ซึ่งองศาของฝ้าเพดานเป็นตัวแปรที่น่าสนใจหากต้องการเพิ่มความสว่างภายในห้องให้มากขึ้น เพราะการมีความเอียงของฝ้าเพดาน ทำให้แสงที่สะท้อนกับฝ้าเพดาน สามารถกระจายเข้าสู่ส่วนลึกของห้องหรือส่วนที่อยู่ไกลจากช่องเปิดได้มากขึ้น โดยที่ไม่มีผลต่อปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่จะส่องเข้ามา

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) เป็นตัวแปรที่มีผลอย่างมากต่อค่า sDA และค่า ASE ที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่มากขึ้น โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษากับสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และ 100% โดยกรณีศึกษาที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน องศาของฝ้าเพดาน และตำแหน่งทิศของช่องเปิดเหมือนกัน แต่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังต่างกัน 40% ดังงานวิจัยนี้ มีค่า sDA แตกต่างกัน 10-15% และ ค่า ASE แตกต่างกัน 5-8% ตามแต่ละกรณีศึกษา ซึ่งความแตกต่างของค่า ASE ที่มากถึง 5-8% เป็นส่วนสำคัญที่มีผลมากต่อการผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight

ตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่อความแตกต่างของค่า sDA และค่า ASE ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง และเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อการผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight มากที่สุดในตัวแปรทุกตัวของงานวิจัยนี้ โดยเรียงลำดับทิศที่มีผลค่า sDA และ ASE มากที่สุดไปน้อยที่สุดได้ คือ ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศเหนือตามลำดับ โดยความแตกต่างของค่า sDA ระหว่างกรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันตก และทิศเหนือ มีความแตกต่างกันถึง 5-17% ตามแต่ละกรณีศึกษา ส่วนค่า ASE มีความแตกต่างกันกันถึง 10-25%

ส่วนการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเพิ่มเติมนั้น ทำให้มีกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight เพิ่มมาทั้งหมด 84 กรณี โดยทำให้กรณีศึกษาในทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันเฉียงใต้ และทิศตะวันตก ซึ่งเป็นทิศที่มีกรณีศึกษาผ่านเกณฑ์เป็นจำนวนน้อยหรือไม่มีกรณีศึกษาใดที่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ มีกรณีศึกษาที่สามารถผ่านเกณฑ์ได้เพิ่มมา

โดยจากกรณีศึกษาทั้งหมด 624 กรณี สามารถสรุปกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหิ้งสะท้อนแสง ดังตารางที่ 35 โดยแบ่งตารางเป็นตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน องศาของฝ้าเพดาน สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก รวมถึงการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเพิ่มเติม

ตารางที่ 35 สรุปกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ตามแต่ละทิศ

ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน	องศาฝ้าเพดาน	WWR	หิ้งสะท้อนแสงภายใน	ทิศ							
					N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0.30 เมตร	0.50 เมตร	0	60%	ไม่ติดตั้ง	✓	✓						✓
			100%		✓	✓						
		15	60%		✓	✓						✓
			100%		✓	✓						
		30	60%		✓	✓						✓
			100%		✓	✓						
		0	60%	ติดตั้ง 0.30 เมตร	✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		15	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		30	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓			✓			✓
	1.00 เมตร	0	60%	ไม่ติดตั้ง	✓	✓						✓
			100%		✓	✓						
		15	60%		✓	✓						✓
			100%		✓	✓						
		30	60%		✓	✓						✓
			100%		✓	✓						
		0	60%	ติดตั้ง 0.30 เมตร	✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						✓
		15	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						✓
		30	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน	องศาฝ้าเพดาน	WWR	หิ้งสะท้อนแสงภายใน	ทิศ							
					N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0.60 เมตร	0.50 เมตร	0	60%	ไม่ติดตั้ง	✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						
		15	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						
		30	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						
		0	60%	ติดตั้ง 0.30 เมตร	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓		✓	✓			✓
		15	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓		✓	✓			✓
		30	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓		✓	✓			✓
	1.00 เมตร	0	60%	ไม่ติดตั้ง	✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						
		15	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						
		30	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						
		0	60%	ติดตั้ง 0.30 เมตร	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		15	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		30	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓			✓			✓

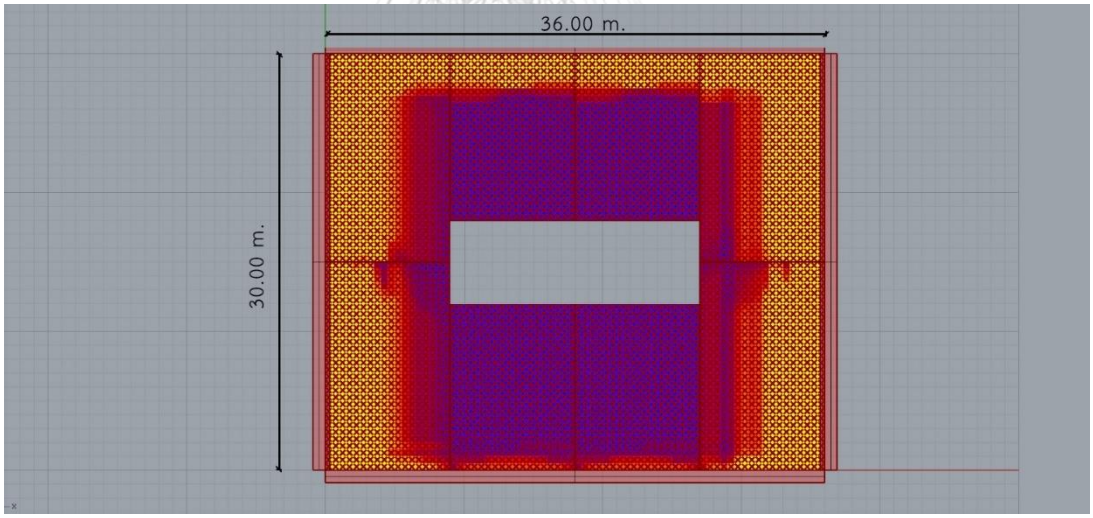
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก	ระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน	องศาฝ้าเพดาน	WWR	หิ้งสะท้อนแสงภายใน	ทิศ							
					N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0.90 เมตร	0.50 เมตร	0	60%	ไม่ติดตั้ง	✓	✓		✓	✓			✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		15	60%		✓	✓		✓	✓			✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		30	60%		✓	✓		✓	✓			✓
			100%		✓	✓			✓			✓
		0	60%	ติดตั้ง 0.30 เมตร	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
		15	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
		30	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	1.00 เมตร	0	60%	ไม่ติดตั้ง	✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						✓
		15	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						✓
		30	60%		✓	✓			✓			✓
			100%		✓	✓						✓
		0	60%	ติดตั้ง 0.30 เมตร	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓	✓	✓	✓			✓
		15	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓	✓	✓	✓			✓
		30	60%		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
			100%		✓	✓	✓	✓	✓			✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการศึกษาทั้งหมดดังตารางที่ 35 สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงานได้ โดยเมื่อนำไปจำลองกับอาคารสำนักงาน 1 ชั้น ขนาดกว้าง 30.00 เมตร ยาว 36.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร ดังรูปที่ 38 โดยมีกระจกที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% ทั้ง 4 ด้าน เนื่องจากต้องการให้มีค่า sDA มากกว่า 75% เพื่อให้สามารถทำคะแนนจากเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ 3 คะแนน และเลือกใช้หิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่สามารถลดค่า ASE ได้มากที่สุดตามกรณีศึกษาในแต่ละทิศ โดยทิศเหนือติดตั้งเฉพาะหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.30 เมตร ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ส่วนทิศใต้ติดตั้งเฉพาะหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 0.90 เมตร โดยทุกทิศติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงต่ำจากฝ้าเพดาน 0.50 เมตร ซึ่งผลการจำลองส่วนพื้นที่สำนักงาน ยังคงมีค่า sDA ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ แต่ค่า ASE ไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์ โดยส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์เกิดขึ้นจากช่องเปิดด้านทิศตะวันตก เนื่องจากเป็นทิศที่การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ไม่สามารถทำให้ผ่านค่า ASE ได้

ดังนั้นในการออกแบบ หากสามารถลดพื้นที่ช่องเปิดของอาคารด้านทิศตะวันตกได้ เช่น การวางอาคารโดยลดพื้นที่ผิวของอาคารด้านทิศตะวันตก สามารถทำให้ค่า sDA และ ASE ผ่านตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ หรือมีการเปลี่ยนชนิดของกระจก ที่มีค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT) ที่น้อยลง ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษากับกระจกลามิเนตเขียว ซึ่งมีค่า VLT = 71% เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 38 ผลการจำลองค่า sDA และ ASE กับอาคารสำนักงาน 1 ชั้น
ขนาดกว้าง 30.00 เมตร ยาว 36.00 เมตร และสูง 3.00 เมตร

5.1.2 ผลการประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP)

การประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (Daylight Glare Probability, DGP) วิเคราะห์จากตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่า ASE ซึ่งเป็นค่ากำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี เป็นผลทำให้เกิดแสงบาดตาได้ ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ASE ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก หิ้งสะท้อนแสงภายในที่มีการติดตั้งเพิ่ม สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ส่วนระยะติดตั้งต่ำจากฝ้าเพดาน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ASE เพียงเล็กน้อย และองศาของฝ้าเพดาน ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ASE

โดยผลการวิจัย สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังและตำแหน่งทิศของช่องเปิด เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดแสงบาดตามากที่สุดในงานวิจัยนี้ โดยการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100% มีผลทำให้เกิดแสงบาดตาได้มากกว่าการมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และตำแหน่งทิศของช่องเปิดมีผลต่อการเกิดแสงบาดตาโดยตรง โดยทิศเหนือเป็นทิศที่มีการเกิดแสงบาดตาน้อยที่สุด ส่วนทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เป็นทิศที่มีการเกิดแสงบาดตามากที่สุด ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ในการวิจัยในขั้นตอนนี้ คาดหวังผลหลังจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ในการช่วยลดแสงบาดตาที่จะเกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน เดือน และปี ในการลดค่าแสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare) มีค่า DGP มากกว่า 0.45 และแสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare) มีค่า DGP อยู่ในช่วง 0.40-0.45 จากผลการวิจัย ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และหิ้งสะท้อนแสงภายในที่มีการติดตั้งเพิ่ม ที่คาดว่าจะมีผลต่อการลดการเกิดแสงบาดตาที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยเฉพาะแสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare) และแสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare) สามารถลดได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถแก้ปัญหาแสงบาดตาได้ในทุกกรณีศึกษาในทุกทิศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยจากผลการวิจัยเกี่ยวกับการเกิดแสงบาดตา จึงทำการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT) ของกระจกจากกระจกลามิเนตเขียว ซึ่งมีค่า VLT = 71% ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด เป็นกระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low-e ซึ่งมีค่า VLT = 40% ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการเกิดแสงบาดตาจากกรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือได้ทั้งหมดโดยที่ไม่มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ดังตารางที่ 36 และสามารถลดการเกิดแสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare) ในช่วงเวลา 10.00 น. - 14.00 น. ของกรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออกในกรณีที่ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ดังตารางที่ 37 รวมถึงสามารถลดการเกิดแสงบาดตาที่ทำให้เกิดรู้สึกไม่สบายตามาก (Intolerable Glare) และแสงบาดตาที่ทำให้รู้สึกไม่สบายตา (Disturbing Glare) ลงได้อีก หากใช้งานร่วมกับการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ดังตารางที่ 38

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศเหนือ กรณีไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT)

ทิศเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง - WWR100% - VLT = 71%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.26	0.27	0.33	0.36	0.40	0.41	0.39	0.35	0.35	0.34	0.32	0.29
10.00	0.39	0.43	0.44	0.47	0.49	0.50	0.49	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41
12.00	0.45	0.48	0.47	0.47	0.49	0.50	0.47	0.49	0.50	0.46	0.46	0.45
14.00	0.45	0.48	0.47	0.49	0.52	0.53	0.52	0.49	0.50	0.48	0.45	0.44
16.00	0.38	0.41	0.42	0.47	0.50	0.52	0.50	0.46	0.43	0.39	0.37	0.36
18.00	0.25	0.26	0.29	0.27	0.30	0.33	0.32	0.28	0.25	-	-	-

ทิศเหนือ – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง - WWR100% - เปลี่ยนค่า VLT = 40%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.23	0.24	0.26	0.28	0.30	0.30	0.29	0.27	0.27	0.27	0.26	0.24
10.00	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35	0.34	0.32	0.32	0.31	0.30	0.29
12.00	0.32	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.33	0.34	0.34	0.33	0.32	0.32
14.00	0.32	0.33	0.34	0.34	0.36	0.36	0.36	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31
16.00	0.29	0.30	0.31	0.33	0.35	0.36	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.28
18.00	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.26	0.26	0.23	0.22	-	-	-

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก กรณีไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทิศตะวันออก – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง - WWR100% - VLT = 71%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.58	0.63	0.71	0.66	0.64	0.64	0.65	0.73	0.72	0.76	0.76	0.74
10.00	0.66	0.66	0.65	0.63	0.61	0.60	0.62	0.61	0.62	0.63	0.62	0.61
12.00	0.53	0.55	0.55	0.52	0.50	0.51	0.50	0.50	0.52	0.51	0.52	0.48
14.00	0.46	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.48	0.46	0.48	0.47	0.45	0.45
16.00	0.39	0.38	0.40	0.41	0.42	0.42	0.40	0.41	0.39	0.38	0.36	0.36
18.00	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24	0.28	0.26	0.25	0.24	-	-	-

ทิศตะวันออก – ไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง - WWR100% - เปลี่ยนค่า VLT = 40%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.44	0.49	0.51	0.45	0.45	0.44	0.44	0.47	0.46	0.49	0.49	0.48
10.00	0.43	0.45	0.44	0.43	0.41	0.41	0.42	0.41	0.42	0.41	0.42	0.42
12.00	0.35	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.35	0.36	0.35	0.35	0.34
14.00	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.33	0.33	0.34	0.33	0.32	0.31
16.00	0.29	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28
18.00	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.22	0.22	-	-	-

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดแสงบาดตา กรณีศึกษากับช่องเปิดทางทิศตะวันออก กรณีติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกระยะยื่น 0.90 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.30 เมตร ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance, VLT)

ทิศตะวันออก - ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100% - VLT = 71%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.56	0.59	0.65	0.62	0.61	0.60	0.60	0.70	0.70	0.72	0.73	0.72
10.00	0.61	0.63	0.63	0.61	0.58	0.57	0.59	0.56	0.59	0.57	0.59	0.59
12.00	0.50	0.52	0.51	0.48	0.47	0.47	0.46	0.49	0.50	0.49	0.49	0.49
14.00	0.44	0.46	0.46	0.45	0.44	0.44	0.46	0.45	0.46	0.45	0.43	0.43
16.00	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.39	0.39	0.37	0.36	0.35	0.35
18.00	0.23	0.24	0.24	0.25	0.26	0.27	0.27	0.26	0.25	-	-	-

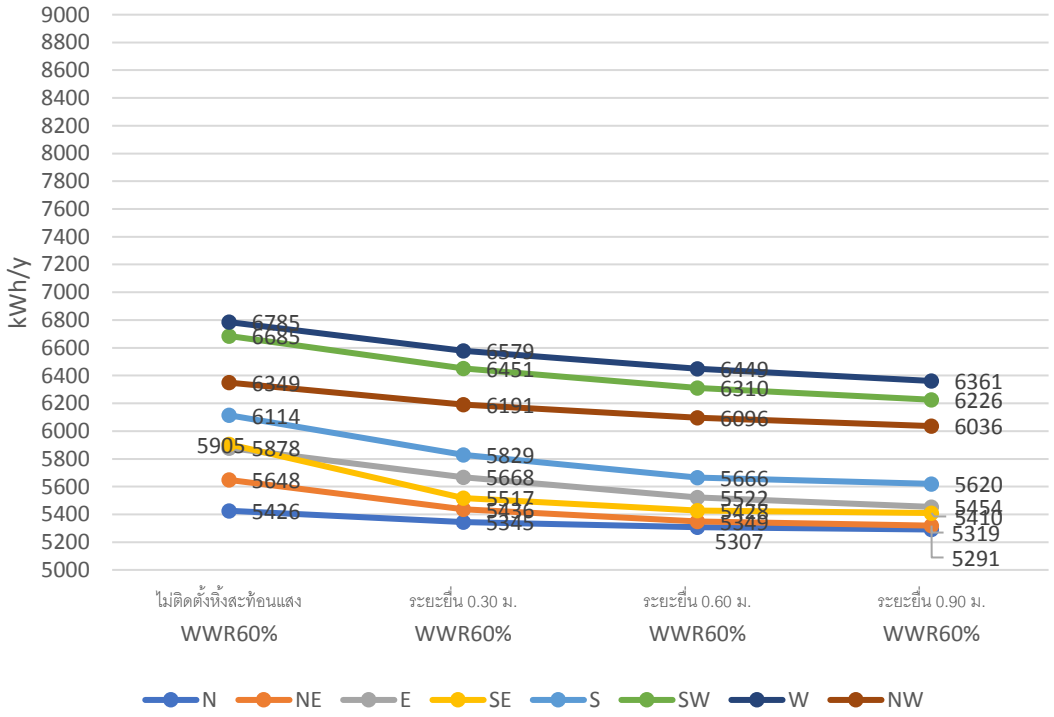
Chulalongkorn University

ทิศตะวันออก - ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.90m. หิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.30 m. – WWR100% - เปลี่ยนค่า VLT = 40%												
Time/Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8.00	0.43	0.48	0.51	0.43	0.42	0.42	0.42	0.46	0.47	0.49	0.50	0.49
10.00	0.41	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.40	0.39	0.40	0.39	0.40	0.40
12.00	0.35	0.36	0.35	0.33	0.33	0.33	0.32	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34
14.00	0.31	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.32	0.31	0.30
16.00	0.28	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27
18.00	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.22	0.22	-	-	-

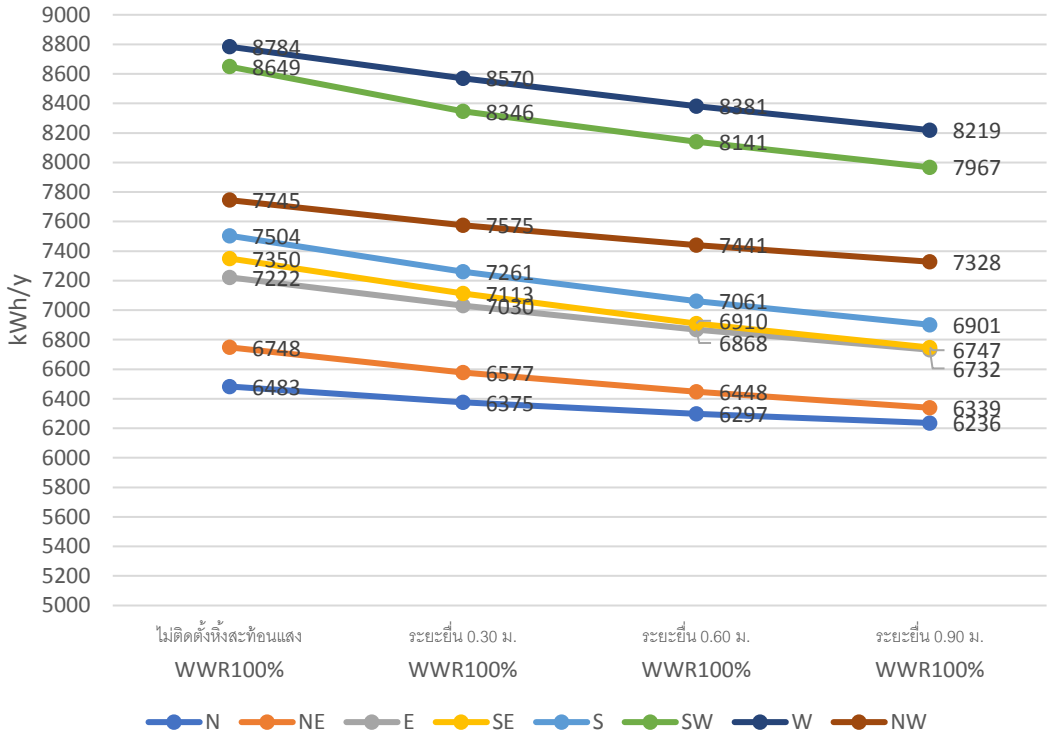
5.1.3 ผลการประเมินผลการใช้พลังงาน

การประเมินผลการใช้พลังงานวิเคราะห์จากตัวแปรที่คาดว่ามีผลต่อการลดค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก

จากผลการประเมินผลการใช้พลังงาน การมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่มาก และตำแหน่งทิศของช่องเปิดที่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงตามทิศที่เปิดสู่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มีผลให้แสงสามารถผ่านเข้ามาได้มาก ส่งผลให้ค่า sDA และ ASE มาก และทำให้มีค่าการใช้พลังงานสูงตามไปด้วย โดยสามารถเรียงลำดับทิศที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศเหนือตามลำดับ ดังแผนภูมิที่ 43 และ 44



แผนภูมิที่ 43 ค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ จากการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร กรณีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60%



แผนภูมิที่ 44 ค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ จากการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร กรณีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 100%

จากแผนภูมิที่ 43 และ 44 ความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ จากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่นแตกต่างกัน ระหว่างช่วงของการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.30 เมตร มีความแตกต่างของค่ามากกว่า ค่าการใช้พลังงานในระหว่างหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.30 เมตร และ 0.60 เมตร และมีความแตกต่างของค่ามากกว่า ค่าการใช้พลังงานระหว่างหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มีระยะยื่น 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร เช่นกัน ซึ่งการเพิ่มระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอกที่มากขึ้น สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากขึ้นตามระยะยื่น แต่ให้ผลในการลดที่มีค่าน้อยลงเรื่อยๆตามระยะยื่น โดยมีค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศที่มีความแตกต่างกันน้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งหมายถึงเมื่อถึงจุดหนึ่ง ระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก จะไม่ส่งผลต่อผลการลดใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศอีก โดยในแต่ละช่วงของการลดลงของผลการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ ในแต่ละช่วงตั้งแต่การไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การเพิ่มระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ตามกรณีศึกษาในแต่ละทิศ สามารถสรุปเป็นสัดส่วนได้ดังตารางที่ 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 39 สัดส่วนการลดลงของผลการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ ในแต่ละช่วงของการไม่ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การเพิ่มระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงภายนอก และสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ตามกรณีศึกษาในแต่ละทิศ

WWR	ช่วงระยะยื่น	ทิศ							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
60%	0.30 เมตร	1.49%	3.75%	3.57%	6.57%	4.66%	3.50%	3.04%	2.49%
	0.60 เมตร	0.71%	1.60%	2.58%	1.61%	2.80%	2.19%	1.98%	1.53%
	0.90 เมตร	0.30%	0.56%	1.23%	0.33%	0.81%	1.33%	1.36%	0.98%
	ลดลงรวม	**2.50%**	**5.91%**	**7.38%**	**8.51%**	**8.27%**	**7.02%**	**6.38%**	**5.00%**
100%	0.30 เมตร	1.67%	2.53%	2.67%	3.22%	3.24%	3.50%	2.44%	2.19%
	0.60 เมตร	1.22%	1.96%	2.30%	2.86%	2.75%	2.46%	2.21%	1.77%
	0.90 เมตร	0.97%	1.69%	1.98%	2.36%	2.27%	2.14%	1.93%	1.52%
	ลดลงรวม	**3.86%**	**6.18%**	**6.95%**	**8.44%**	**8.26%**	**8.10%**	**6.58%**	**5.48%**

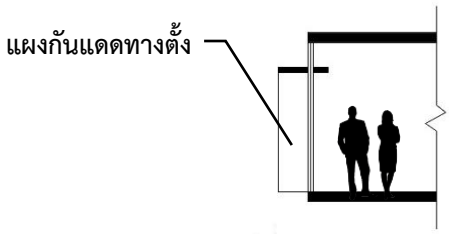
จากตารางที่ 39 สามารถเรียงลำดับทิศที่มีสัดส่วนในการลดการใช้พลังงานหลังการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกได้จากมากไปหาน้อย ได้แก่ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศเหนือ

5.2 ข้อเสนอแนะ

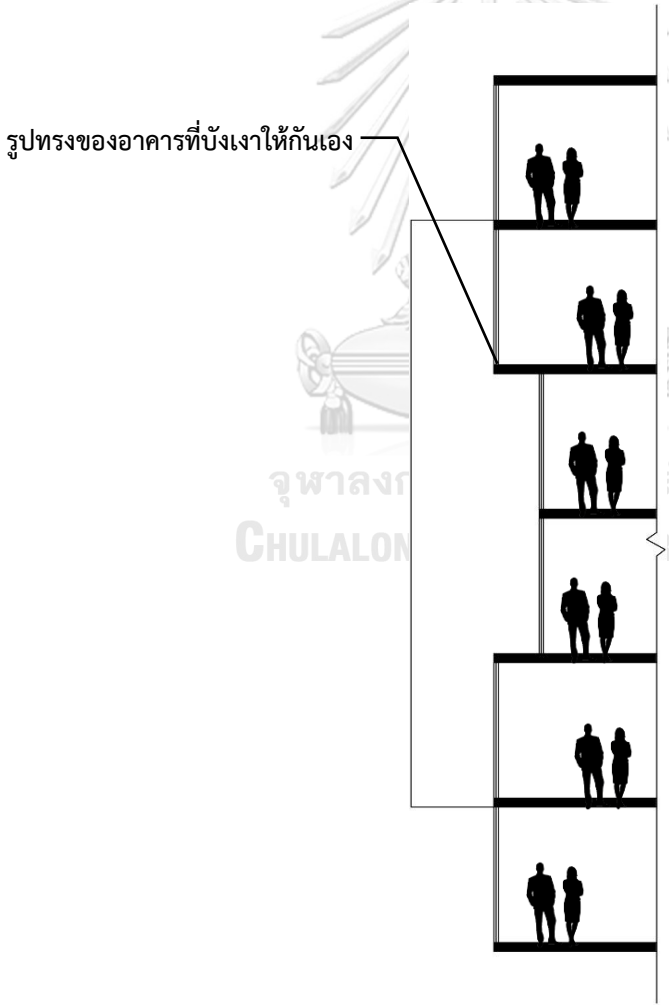
การประเมินผลแสงธรรมชาติโดยใช้ค่า sDA และ ASE รวมถึงการประเมินผลการเกิดแสงบาดตาจากแสงธรรมชาติ (DGP) ได้ทำการศึกษากับกระจกชนิดเดียว คือ กระจกลามิเนตสีเขียว VLT 71%, SHGC= 0.52, U-Value = 5.52 W/m^{2}K เนื่องจากต้องการผลการศึกษาในส่วนของการใช้หิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายในเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าในหลายกรณีไม่สามารถผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้ เนื่องจากมีค่า ASE ไม่ผ่านตามเกณฑ์ รวมถึงการเกิดแสงบาดตา ซึ่งการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน ไม่สามารถลดการเกิดแสงบาดตาได้ดีเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจึงควรมีการศึกษาถึงการใช้หิ้งสะท้อนแสงร่วมกับการใช้กระจกชนิดอื่นๆที่มีค่า VLT แตกต่างกัน หรือการใช้งานร่วมกับการใช้แผงกันแดดในรูปแบบต่างๆ เช่น แผงกันแดดทางตั้ง เพื่อป้องกันแสงที่เข้าทางด้านข้าง ดังรูปที่ 39 หรือการออกแบบเปลือกอาคารที่มีรูปทรงหรือลักษณะที่สามารถป้องกันปริมาณแสงที่มากเกินไป เช่น การออกแบบรูปทรงให้อาคารบังเงาให้ตัวเอง ดังรูปที่ 40 เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยในการผ่านเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight ได้มากขึ้น นอกจากนี้ควรมีการศึกษาถึงปริมาณและคุณภาพแสงที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา และการจำลองผลแสงธรรมชาติกับทั้งอาคาร นอกจากนี้งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น แสงสะท้อนและการบังเงาจากอาคารข้างเคียง เป็นต้น รวมถึงเรื่องงบประมาณและความคุ้มทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนของการจำลองผลการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ ได้จำลองเฉพาะส่วนห้องสำนักงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเท่านั้น โดยไม่ได้ทำการจำลองผลการใช้พลังงานของทั้งอาคาร และทำการศึกษากับส่วนของเครื่องปรับอากาศเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยในอนาคตควรมีการจำลองผลการใช้พลังงานของทั้งอาคาร รวมถึงทำการศึกษาการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆด้วย เช่น การใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ ในช่วงเวลาที่แสงธรรมชาติอาจไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน



รูปที่ 39 การใช้งานหิ้งสะท้อนแสงร่วมกับการใช้แผงกันแดดทางตั้ง



รูปที่ 40 การออกแบบรูปทรงให้อาคารบังเงาให้ตัวเอง

บรรณานุกรม

ASERAE, American Society of Heating Refrigerant and Air-Conditioning Engineers. (2010). ASHRAE 90.1 2010. : Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition). Atlanta, ASHRAE.

Berardi, U., and Anaraki, H. K. (2015). Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Building in Toronto. Elsevier : Energy Procedia. 78 : 1793-1798.

Freewan, A. A. (2010). Maximizing the Lightshelf Performance by Interaction between Lightshelf Geometries and a Curved Ceiling. Elsevier : Energy Conversion and Management. 51 : 1600-1604.

Ghobad, L. (2018). Daylighting and Energy Simulation Workflow in Performance-Based Building Simulation Tools. Paper presented at The 2018 Building Performance Analysis Conference and SimBuild co-organized by ASHRAE and IBPSA-USA. Chicago, IL, USA.

Illuminating Engineering Society. (2012). Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).

Kazanasmaz, T., Grobe, L., O, Bauer, C., Kregel, M., & Wittkopf, S. (2016). Three Approaches to Optimize Optical Properties and Size of a South-facing window for spatial Daylight Autonomy. Elsevier : Building and Environment. 102, 243-256.

Lee, H., Jang, H. I., and Seo, J. (2018). A Preliminary Study on the Performance of an Awning System with a Built-In Light Shelf. Elsevier : Building and Environment. 131, 255-263.

Lim, Y. W., and C.Y.S, H. (2016). Dynamic Internal Light Shelf for Tropical Daylighting in High-Rise Office Buildings. Elsevier : Building and Environment. 106, 155-166.

Mangkuto, R. A., Feradi, F., Putra, R. E., Atmodipoero, R. T., & Favero, F. (2018). Optimisation of Daylight Admission Based on Modifications of Light Shelf Design Parameters. Elsevier : Journal of Building Engineering. 18, 195-209.

Robbins, C., L. (1986). Daylighting : Design and Analysis. New York, US: Van Nostrand Reinhold.

Roudsari, M., S , & Park, M. (2013). Ladybug: A Parametric Environmental Plugin for Grasshopper to help Designers create an Environmentally-conscious Design. Paper presented at The 13th Conference of International Building Performance Simulation Association. Chambery, France.

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

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

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Warrier, G. A., and Raphael, B. (2017). Performance Evaluation of Light Shelves. Elsevier : Energy and Buildings, 140, 19-27.

ไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม. (2553). ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนินทร์ กุลสุรกิจ. (2557). แนวทางการใช้วิธีการประเมินผลแสงธรรมชาติโดยวิธีการพลวัตสำหรับอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ชัยวัฒน์ มุตติศานต์. (2548). ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ทิพทับทิม ภูมิพาณิชย์. (2555). ประสิทธิภาพแสงธรรมชาติจากการติดตั้งอุปกรณ์กันแดดและหิ้งสะท้อนแสง เพื่อความสบายในการมองเห็นและประหยัดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ทิพวรรณ ลิ้มสัจจาพาณิชย์ และ พิมลมาศ วรรณคนาพล. (2558). การออกแบบฝ้าเพดานผ้าใบที่ใช้งานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน. JARS, 12(1), 49-57.

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

ภาณิตพัทร ศิริสวัสดิ์วัฒนา. (2556). ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารตามทิศ. ใน รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี 2556 Built Environment Research Associates Conference 4, 2013, หน้า 107-112. ณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รุจิเรจ อินทรเนตร. (2558). การออกแบบแผงบังแดดเพื่อให้ได้แสงธรรมชาติและประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว วี4 (LEED V4). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรภัทร อังสนันรัตนา. (2549). การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สวิชญา ดาวประกายมงคล. (2552). แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2560). พัฒนาการ และทิศทางการออกแบบ-วิจัยด้านการใช้แสงธรรมชาติ สำหรับงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทย. JARS, 14(1), 33-46.

อาวุธ สีรสรรค์ศักดิ์. (2548). การออกแบบแผงสะท้อนแสงสำหรับอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก ผลการจำลองแสงธรรมชาติ เพื่อหาค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) และ Annual Sunlight Exposure (ASE) ของกรณีศึกษาทั้งหมด 624 กรณี

NoLS- Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	64.12	3.70	✓	2
Northeast	65.05	10.42	✗	
East	66.67	19.21	✗	
Southeast	67.13	19.44	✗	
South	68.52	14.58	✗	
Southwest	69.68	19.68	✗	
West	70.29	27.05	✗	
Northwest	66.67	13.66	✗	

NoLS- Ceiilng0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	77.55	3.70	✓	3
Northeast	81.25	10.65	✗	
East	88.89	19.44	✗	
Southeast	90.05	19.68	✗	
South	86.57	14.58	✗	
Southwest	91.60	20.11	✗	
West	95.14	26.39	✗	
Northwest	85.87	14.12	✗	

NoLS- Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	64.35	3.70	✓	2
Northeast	70.14	10.42	✗	
East	72.69	19.21	✗	
Southeast	73.84	19.44	✗	
South	73.15	14.58	✗	
Southwest	73.84	19.68	✗	
West	75.46	26.16	✗	
Northwest	71.30	13.66	✗	

NoLS- Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	88.89	3.70	✓	3
Northeast	94.91	10.65	✗	
East	98.61	19.44	✗	
Southeast	97.92	19.68	✗	
South	98.38	14.58	✗	
Southwest	99.08	19.68	✗	
West	99.31	26.38	✗	
Northwest	95.83	14.12	✗	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

NoLS- Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	72.22	3.70	✓	2
Northeast	74.31	10.42	✗	
East	78.01	19.21	✗	
Southeast	78.24	19.44	✗	
South	76.85	14.58	✗	
Southwest	79.17	19.68	✗	
West	82.18	26.16	✗	
Northwest	76.39	13.66	✗	

NoLS- Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	95.83	3.70	✓	3
Northeast	98.38	10.65	✗	
East	100.00	19.44	✗	
Southeast	99.71	19.68	✗	
South	99.54	14.58	✗	
Southwest	99.85	19.68	✗	
West	100.00	26.69	✗	
Northwest	99.54	14.12	✗	

0.30m.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	63.19	0	✓	2
Northeast	64.35	3.47	✓	2
East	65.28	12.04	✗	
Southeast	66.44	11.81	✗	
South	66.45	12.27	✗	
Southwest	67.82	18.51	✗	
West	68.75	18.98	✗	
Northwest	64.82	8.80	✓	2

0.30m.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	75.69	0	✓	3
Northeast	78.70	7.41	✓	3
East	86.81	16.20	✗	
Southeast	86.11	15.97	✗	
South	84.26	12.73	✗	
Southwest	90.05	19.68	✗	
West	93.75	23.38	✗	
Northwest	81.02	13.19	✗	

0.60m.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	61.11	0	✓	2
Northeast	63.19	0	✓	2
East	63.66	11.81	✗	
Southeast	65.28	11.57	✗	
South	64.81	6.02	✓	2
Southwest	65.97	14.81	✗	
West	66.44	15.28	✗	
Northwest	63.89	3.47	✓	2

0.60m.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	75.00	0	✓	3
Northeast	76.85	3.94	✓	3
East	82.87	15.97	✗	
Southeast	83.80	14.97	✗	
South	83.33	10.19	✗	
Southwest	86.11	18.98	✗	
West	92.13	19.91	✗	
Northwest	80.79	10.19	✗	

0.90m.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	60.42	0	✓	2
Northeast	62.04	0	✓	2
East	63.19	10.88	✗	
Southeast	65.05	7.87	✓	2
South	64.35	4.40	✓	2
Southwest	65.28	10.88	✗	
West	65.74	14.81	✗	
Northwest	62.73	0	✓	2

0.90m.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	73.84	0	✓	2
Northeast	76.62	0	✓	3
East	82.87	15.28	✗	
Southeast	81.71	12.04	✗	
South	80.32	8.56	✓	3
Southwest	85.19	15.51	✗	
West	89.58	19.44	✗	
Northwest	78.00	6.48	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.30m.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	62.96	0	✓	2
Northeast	64.58	3.47	✓	2
East	65.51	13.75	✗	
Southeast	66.67	11.81	✗	
South	66.44	10.19	✗	
Southwest	68.75	15.51	✗	
West	68.29	21.76	✗	
Northwest	65.51	7.16	✓	2

0.30m.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	76.85	0	✓	3
Northeast	79.17	7.41	✓	3
East	86.34	19.21	✗	
Southeast	88.19	15.97	✗	
South	85.19	14.35	✗	
Southwest	91.20	19.68	✗	
West	90.06	26.16	✗	
Northwest	83.10	11.57	✗	

0.60m.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	61.81	0	✓	2
Northeast	62.50	2.55	✓	2
East	64.58	11.11	✗	
Southeast	66.20	11.57	✗	
South	65.97	9.26	✓	2
Southwest	67.36	15.05	✗	
West	67.59	18.06	✗	
Northwest	64.35	5.79	✓	2

0.60m.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	76.16	0	✓	3
Northeast	78.94	6.48	✓	3
East	85.42	15.28	✗	
Southeast	86.34	15.74	✗	
South	83.56	13.43	✗	
Southwest	87.73	19.44	✗	
West	93.75	22.45	✗	
Northwest	80.76	10.65	✗	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	60.88	0	✓	2
Northeast	62.73	0	✓	2
East	63.66	10.87	✗	
Southeast	65.74	11.11	✗	
South	65.74	8.80	✓	2
Southwest	66.67	14.58	✗	
West	67.13	13.66	✗	
Northwest	63.43	3.47	✓	2

0.90m.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	74.54	0	✓	3
Northeast	77.78	3.01	✓	3
East	84.49	15.05	✗	
Southeast	84.72	13.51	✗	
South	81.25	11.81	✗	
Southwest	87.50	18.98	✗	
West	90.74	21.99	✗	
Northwest	80.10	8.80	✓	3

0.30m.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	67.13	0	✓	2
Northeast	68.52	3.47	✓	2
East	70.60	12.04	✗	
Southeast	71.53	11.81	✗	
South	71.76	12.27	✗	
Southwest	72.45	18.52	✗	
West	73.15	18.98	✗	
Northwest	69.44	8.80	✓	2

0.30m.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	87.50	0	✓	3
Northeast	91.44	7.41	✓	3
East	97.22	16.20	✗	
Southeast	97.11	15.97	✗	
South	95.61	12.73	✗	
Southwest	97.69	19.68	✗	
West	98.84	23.38	✗	
Northwest	95.14	13.19	✗	

0.60m.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	64.81	0	✓	2
Northeast	67.59	0	✓	2
East	69.68	11.81	✗	
Southeast	69.44	11.57	✗	
South	69.91	6.02	✓	2
Southwest	71.30	14.81	✗	
West	71.99	15.27	✗	
Northwest	68.52	3.47	✓	2

0.60m.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	83.33	0	✓	3
Northeast	90.97	3.94	✓	3
East	96.53	15.97	✗	
Southeast	95.83	15.71	✗	
South	94.21	10.19	✗	
Southwest	97.22	18.98	✗	
West	98.84	19.91	✗	
Northwest	94.21	10.19	✗	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	64.35	0	✓	2
Northeast	65.28	0	✓	2
East	68.75	10.65	✗	
Southeast	69.21	7.87	✓	2
South	68.52	4.40	✓	2
Southwest	69.68	10.88	✗	
West	71.30	14.81	✗	
Northwest	67.13	0	✓	2

0.90m.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	81.25	0	✓	3
Northeast	88.43	3.24	✓	3
East	94.44	15.28	✗	
Southeast	94.12	12.04	✗	
South	92.82	8.56	✓	3
Southwest	96.52	15.51	✗	
West	98.37	19.44	✗	
Northwest	90.97	6.48	✓	3

0.30m.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	66.67	0	✓	2
Northeast	69.21	3.47	✓	2
East	71.53	13.75	✗	
Southeast	71.76	11.81	✗	
South	71.99	10.19	✗	
Southwest	73.15	15.51	✗	
West	74.07	21.76	✗	
Northwest	69.91	7.18	✓	2

0.30m.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	85.65	0	✓	3
Northeast	92.13	7.41	✓	3
East	97.69	19.21	✗	
Southeast	98.38	15.97	✗	
South	95.83	14.35	✗	
Southwest	98.38	19.68	✗	
West	99.07	26.16	✗	
Northwest	95.14	11.57	✗	

0.60m.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	66.44	0	✓	2
Northeast	67.59	2.55	✓	2
East	69.68	11.11	✗	
Southeast	70.83	11.57	✗	
South	71.30	9.26	✓	2
Southwest	72.22	15.05	✗	
West	72.68	18.06	✗	
Northwest	68.75	5.79	✓	2

0.60m.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	84.03	0	✓	3
Northeast	90.28	6.48	✓	3
East	96.30	15.28	✗	
Southeast	96.53	15.74	✗	
South	94.91	13.43	✗	
Southwest	97.92	19.44	✗	
West	99.31	22.45	✗	
Northwest	93.98	10.65	✗	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	65.28	0	✓	2
Northeast	66.44	0	✓	2
East	68.98	10.88	✗	
Southeast	69.44	11.11	✗	
South	69.44	8.80	✓	2
Southwest	70.22	14.58	✗	
West	71.76	13.66	✗	
Northwest	67.59	3.47	✓	2

0.90m.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	82.64	0	✓	3
Northeast	89.58	3.01	✓	3
East	95.37	15.05	✗	
Southeast	95.21	13.51	✗	
South	94.91	11.81	✗	
Southwest	97.22	18.98	✗	
West	98.84	21.99	✗	
Northwest	92.13	8.80	✓	3

0.30m.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	70.14	0	✓	2
Northeast	71.99	3.47	✓	2
East	76.39	12.04	✗	
Southeast	75.23	11.81	✗	
South	75.46	12.27	✗	
Southwest	77.08	18.52	✗	
West	79.40	18.98	✗	
Northwest	73.61	8.80	✓	2

0.30m.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	93.75	0	✓	3
Northeast	96.76	7.41	✓	3
East	99.77	16.20	✗	
Southeast	99.31	15.97	✗	
South	98.61	12.73	✗	
Southwest	100.00	19.68	✗	
West	100.00	23.38	✗	
Northwest	98.84	13.19	✗	

0.60m.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓ ✗	Pt.
North	67.36	0	✓	2
Northeast	70.61	0	✓	2
East	73.61	11.81	✗	
Southeast	74.31	11.57	✗	
South	73.15	6.02	✓	2
Southwest	76.62	14.81	✗	
West	77.55	15.28	✗	
Northwest	71.99	3.47	✓	2

0.60m.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	92.59	0	✓	3
Northeast	96.30	3.94	✓	3
East	99.31	15.97	✗	
Southeast	98.84	15.97	✗	
South	99.07	10.19	✗	
Southwest	98.61	18.98	✗	
West	100.00	19.91	✗	
Northwest	98.38	10.19	✗	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	66.89	0	✓	2
Northeast	68.52	0	✓	2
East	71.76	10.88	✗	
Southeast	72.92	7.87	✓	2
South	72.22	4.40	✓	2
Southwest	74.07	10.88	✗	
West	74.54	14.81	✗	
Northwest	70.83	0	✓	2

0.90m.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	90.28	0	✓	3
Northeast	94.91	3.01	✓	3
East	99.31	15.05	✗	
Southeast	99.07	12.04	✗	
South	97.45	8.56	✓	3
Southwest	99.31	15.51	✗	
West	99.77	19.44	✗	
Northwest	97.69	6.48	✓	3

0.30m.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	70.37	0	✓	2
Northeast	71.99	3.47	✓	2
East	75.69	13.75	✗	
Southeast	75.93	11.81	✗	
South	75.23	10.19	✗	
Southwest	77.78	15.51	✗	
West	80.09	21.76	✗	
Northwest	74.07	7.18	✓	2

0.30m.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	94.44	0	✓	3
Northeast	97.92	7.41	✓	3
East	99.31	19.21	✗	
Southeast	99.77	15.97	✗	
South	99.07	14.35	✗	
Southwest	100.00	19.68	✗	
West	100.00	26.16	✗	
Northwest	98.38	11.57	✗	

0.60m.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	68.29	0	✓	2
Northeast	70.83	2.55	✓	2
East	75.00	11.11	✗	
Southeast	74.54	11.57	✗	
South	73.84	9.26	✓	2
Southwest	75.69	15.05	✗	
West	77.55	18.06	✗	
Northwest	73.38	5.79	✓	2

0.60m.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	92.36	0	✓	3
Northeast	95.60	6.48	✓	3
East	99.31	15.28	✗	
Southeast	99.54	15.74	✗	
South	98.38	13.43	✗	
Southwest	99.54	19.44	✗	
West	100.00	22.45	✗	
Northwest	98.61	10.65	✗	

0.90m.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	68.06	0	✓	2
Northeast	68.75	0	✓	2
East	72.92	10.88	✗	
Southeast	73.84	11.11	✗	
South	73.61	8.80	✓	2
Southwest	75.00	14.58	✗	
West	76.85	13.66	✗	
Northwest	70.83	3.47	✓	2

0.90m.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	90.51	0	✓	3
Northeast	95.60	3.01	✓	3
East	98.84	15.05	✗	
Southeast	98.61	13.51	✗	
South	97.92	11.81	✗	
Southwest	99.31	18.98	✗	
West	99.77	21.99	✗	
Northwest	96.53	8.80	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Add. 0.30 m. Internal Lightshelf

0.30m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	60.65	0	✓	2
Northeast	62.50	3.25	✓	2
East	63.43	11.34	✗	
Southeast	65.28	8.10	✓	2
South	64.58	7.41	✓	2
Southwest	65.74	14.12	✗	
West	66.67	15.05	✗	
Northwest	62.73	3.47	✓	2

0.30m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	74.31	0	✓	2
Northeast	77.09	7.18	✓	3
East	82.41	13.51	✗	
Southeast	83.33	12.29	✗	
South	81.25	8.33	✓	3
Southwest	86.81	18.29	✗	
West	91.21	19.68	✗	
Northwest	79.17	7.87	✓	3

0.60m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	60.19	0	✓	2
Northeast	61.11	0	✓	2
East	62.04	7.64	✓	2
Southeast	63.19	3.94	✓	2
South	63.19	3.24	✓	2
Southwest	64.58	9.42	✗	
West	64.12	14.81	✗	
Northwest	62.04	0	✓	2

0.60m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	73.61	0	✓	2
Northeast	74.75	3.94	✓	2
East	81.94	11.81	✗	
Southeast	81.25	8.10	✓	3
South	79.63	7.41	✓	3
Southwest	83.56	15.05	✗	
West	89.58	19.21	✗	
Northwest	77.31	7.64	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	58.10	0	✓	2
Northeast	59.95	0	✓	2
East	60.88	3.71	✓	2
Southeast	62.50	0	✓	2
South	61.81	0	✓	2
Southwest	62.73	0	✓	2
West	63.43	10.42	✗	
Northwest	60.42	0	✓	2

0.90m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	71.76	0	✓	2
Northeast	94.68	3.01	✓	3
East	80.56	8.11	✓	3
Southeast	79.17	8.11	✓	3
South	77.78	4.17	✓	3
Southwest	81.02	8.10	✓	3
West	86.81	18.75	✗	
Northwest	77.31	3.94	✓	3

0.30m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	61.11	0	✓	2
Northeast	62.50	0	✓	2
East	64.58	11.34	✗	
Southeast	65.28	10.88	✗	
South	65.74	6.71	✓	2
Southwest	66.67	14.35	✗	
West	67.13	17.82	✗	
Northwest	63.19	2.31	✓	2

0.30m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	75.23	0	✓	3
Northeast	78.01	3.94	✓	3
East	84.95	13.51	✗	
Southeast	84.26	15.05	✗	
South	82.87	10.88	✗	
Southwest	87.50	18.75	✗	
West	94.21	22.69	✗	
Northwest	81.71	9.72	✓	3

0.60m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	60.88	0	✓	2
Northeast	61.34	0	✓	2
East	65.66	3.28	✓	2
Southeast	64.12	6.02	✓	2
South	64.35	3.47	✓	2
Southwest	65.74	9.49	✓	2
West	65.51	13.43	✗	
Northwest	62.73	0	✓	2

0.60m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	74.31	0	✓	2
Northeast	77.31	0	✓	3
East	82.18	11.34	✗	
Southeast	84.03	10.19	✗	
South	80.79	7.64	✓	3
Southwest	86.34	18.06	✗	
West	90.51	21.99	✗	
Northwest	79.17	3.94	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	59.26	0	✓	2
Northeast	60.19	0	✓	2
East	63.73	3.24	✓	2
Southeast	63.66	2.78	✓	2
South	63.65	3.24	✓	2
Southwest	64.82	5.32	✓	2
West	65.51	13.19	✗	
Northwest	62.27	0	✓	2

0.90m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling0°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	74.31	0	✓	2
Northeast	76.39	0	✓	3
East	81.25	7.41	✓	3
Southeast	80.79	6.94	✓	3
South	80.09	3.24	✓	3
Southwest	84.95	15.74	✗	
West	89.12	21.53	✗	
Northwest	77.55	0	✓	3

0.30m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	64.58	0	✓	2
Northeast	66.20	3.24	✓	2
East	68.06	11.34	✗	
Southeast	68.98	8.10	✓	2
South	69.21	7.41	✓	2
Southwest	70.37	14.12	✗	
West	71.30	15.05	✗	
Northwest	68.75	3.47	✓	2

0.30m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	82.41	0	✓	3
Northeast	89.35	7.18	✓	3
East	96.06	13.51	✗	
Southeast	95.83	12.29	✗	
South	92.59	8.33	✓	3
Southwest	96.76	18.29	✗	
West	98.38	19.68	✗	
Northwest	93.29	7.87	✓	3

0.60m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	62.96	0	✓	2
Northeast	65.05	0	✓	2
East	67.13	7.64	✓	2
Southeast	67.59	3.94	✓	2
South	66.90	3.24	✓	2
Southwest	68.75	9.42	✓	2
West	69.44	14.81	✗	
Northwest	65.74	0	✓	2

0.60m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	79.40	0	✓	3
Northeast	85.88	3.94	✓	3
East	95.37	11.81	✗	
Southeast	93.75	8.10	✓	3
South	91.90	7.41	✓	3
Southwest	96.06	15.05	✗	
West	97.22	19.21	✗	
Northwest	90.05	7.64	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	61.11	0	✓	2
Northeast	62.50	0	✓	2
East	65.97	3.70	✓	2
Southeast	66.67	0	✓	2
South	65.51	0	✓	2
Southwest	68.52	0	✓	2
West	68.29	10.42	✗	
Northwest	64.35	0	✓	2

0.90m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	79.40	0	✓	3
Northeast	83.33	0	✓	3
East	92.36	8.10	✓	3
Southeast	93.06	8.10	✓	3
South	87.50	4.17	✓	3
Southwest	95.37	8.10	✓	3
West	96.76	18.75	✗	
Northwest	88.66	3.94	✓	3

0.30m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	65.28	0	✓	2
Northeast	66.90	0	✓	2
East	69.68	11.34	✗	
Southeast	68.52	10.88	✗	
South	70.37	6.71	✓	2
Southwest	70.83	14.35	✗	
West	72.69	17.82	✗	
Northwest	68.29	2.31	✓	2

0.30m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	84.03	0	✓	3
Northeast	90.51	3.94	✓	3
East	96.76	13.51	✗	
Southeast	96.30	15.25	✗	
South	94.44	10.88	✗	
Southwest	97.45	18.75	✗	
West	98.61	22.69	✗	
Northwest	92.59	9.72	✓	3

0.60m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	64.12	0	✓	2
Northeast	65.28	0	✓	2
East	67.82	3.24	✓	2
Southeast	69.68	6.02	✓	2
South	68.98	3.47	✓	2
Southwest	69.91	9.49	✓	2
West	70.14	13.43	✗	
Northwest	67.59	0	✓	2

0.60m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	80.32	0	✓	3
Northeast	86.57	0	✓	3
East	95.37	11.34	✗	
Southeast	95.37	10.19	✗	
South	93.06	7.64	✓	3
Southwest	97.69	18.06	✗	
West	97.92	21.99	✗	
Northwest	91.20	3.94	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	63.66	0	✓	2
Northeast	65.05	0	✓	2
East	67.83	3.24	✓	2
Southeast	67.82	2.78	✓	2
South	67.36	3.24	✓	2
Southwest	68.52	5.32	✓	2
West	69.44	13.19	✗	
Northwest	66.44	0	✓	2

0.90m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling15°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	80.56	0	✓	3
Northeast	85.19	0	✓	3
East	94.21	7.41	✓	3
Southeast	93.98	6.94	✓	3
South	91.44	3.24	✓	3
Southwest	96.76	15.74	✗	
West	97.92	21.53	✗	
Northwest	90.74	0	✓	3

0.30m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	67.59	0	✓	2
Northeast	68.75	3.24	✓	2
East	73.15	11.34	✗	
Southeast	73.38	8.10	✓	2
South	72.22	7.41	✓	2
Southwest	73.84	14.12	✗	
West	76.46	15.05	✗	
Northwest	70.37	3.47	✓	2

0.30m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	91.20	0	✓	3
Northeast	95.83	7.18	✓	3
East	99.07	13.51	✗	
Southeast	99.54	12.27	✗	
South	97.45	8.33	✓	3
Southwest	99.54	18.29	✗	
West	99.77	19.68	✗	
Northwest	97.92	7.87	✓	3

0.60m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	65.05	0	✓	2
Northeast	67.13	0	✓	2
East	71.30	7.64	✓	2
Southeast	71.76	3.94	✓	2
South	70.14	3.24	✓	2
Southwest	71.76	9.42	✓	2
West	73.61	14.81	✗	
Northwest	69.21	0	✓	2

0.60m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	89.35	0	✓	3
Northeast	94.44	3.94	✓	3
East	98.84	11.81	✗	
Southeast	98.15	8.10	✓	3
South	95.83	7.41	✓	3
Southwest	99.31	15.05	✗	
West	99.54	19.21	✗	
Northwest	96.53	7.64	✓	3

0.90m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	63.89	0	✓	2
Northeast	65.97	0	✓	2
East	69.91	3.70	✓	2
Southeast	69.44	0	✓	2
South	68.52	0	✓	2
Southwest	70.37	0	✓	2
West	73.15	10.41	✗	
Northwest	68.06	0	✓	2

0.90m.LS+in.LS-0.50m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	87.04	0	✓	3
Northeast	92.36	0	✓	3
East	96.99	8.10	✓	3
Southeast	97.45	8.10	✓	3
South	94.44	4.17	✓	3
Southwest	98.84	8.10	✓	3
West	99.54	18.75	✗	
Northwest	95.83	3.94	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.30m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	68.06	0	✓	2
Northeast	69.91	0	✓	2
East	73.15	11.34	✗	
Southeast	73.61	10.88	✗	
South	73.15	6.71	✓	2
Southwest	74.77	14.35	✗	
West	76.39	17.82	✗	
Northwest	71.30	2.31	✓	2

0.30m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	91.90	0	✓	3
Northeast	95.60	3.94	✓	3
East	99.07	13.51	✗	
Southeast	99.07	15.05	✗	
South	97.69	10.88	✗	
Southwest	99.54	18.75	✗	
West	99.77	22.69	✗	
Northwest	97.92	9.72	✓	3

0.60m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	66.20	0	✓	2
Northeast	68.06	0	✓	2
East	71.06	3.24	✓	2
Southeast	72.69	6.02	✓	2
South	71.76	3.47	✓	2
Southwest	72.39	9.49	✓	2
West	73.84	13.43	✗	
Northwest	68.98	0	✓	2

0.60m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	89.81	0	✓	3
Northeast	95.14	0	✓	3
East	98.38	11.34	✗	
Southeast	98.61	10.19	✗	
South	96.53	7.64	✓	3
Southwest	100.00	18.06	✗	
West	99.77	21.99	✗	
Northwest	96.99	3.94	✓	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0.90m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR60%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	65.05	0	✓	2
Northeast	66.67	0	✓	2
East	69.91	3.24	✓	2
Southeast	71.06	2.78	✓	2
South	69.91	3.24	✓	2
Southwest	72.45	5.32	✓	2
West	74.31	13.19	✗	
Northwest	68.52	0	✓	2

0.90m.LS+in.LS-1.00m.-Ceiling30°-WWR100%	%sDA	%ASE	✓✗	Pt.
North	87.04	0	✓	3
Northeast	94.91	0	✓	3
East	97.92	7.41	✓	3
Southeast	98.84	6.94	✓	3
South	96.05	3.24	✓	3
Southwest	100.00	15.75	✗	
West	99.07	21.53	✗	
Northwest	96.53	0	✓	3

ภาคผนวก ข ผลการจำลองผลการใช้พลังงานของกรณีศึกษาทั้งหมด 64 กรณี

NoLS-WWR60%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	4047	1379
NorthEast	3209	2467	4233	1415
East	3209	2467	4402	1476
SouthEast	3209	2467	4437	1468
South	3209	2467	4569	1545
SouthWest	3209	2467	4957	1728
West	3209	2467	5022	1763
NorthWest	3209	2467	4698	1651

NoLS-WWR100%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	4807	1676
NorthEast	3209	2467	5031	1717
East	3209	2467	5385	1837
SouthEast	3209	2467	5478	1872
South	3209	2467	5591	1913
SouthWest	3209	2467	6362	2229
West	3209	2467	6497	2287
NorthWest	3209	2467	5727	2018

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

0.30cm.LS-WWR60%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	3960	1346
NorthEast	3209	2467	4082	1354
East	3209	2467	4249	1419
SouthEast	3209	2467	4168	1349
South	3209	2467	4362	1467
SouthWest	3209	2467	4783	1668
West	3209	2467	4869	1710
NorthWest	3209	2467	4581	1610

0.60cm.LS-WWR60%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	3991	1316
NorthEast	3209	2467	4025	1324
East	3209	2467	4145	1377
SouthEast	3209	2467	4041	1387
South	3209	2467	4245	1421
SouthWest	3209	2467	4679	1631
West	3209	2467	4771	1676
NorthWest	3209	2467	4511	1585

0.90cm.LS-WWR60%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	3979	1312
NorthEast	3209	2467	4009	1320
East	3209	2467	4096	1358
SouthEast	3209	2467	4094	1316
South	3209	2467	4212	1408
SouthWest	3209	2467	4617	1609
West	3209	2467	4707	1654
NorthWest	3209	2467	4467	1569

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

0.30cm.LS-WWR100%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	4727	1648
NorthEast	3209	2467	4908	1669
East	3209	2467	5243	1787
SouthEast	3209	2467	5303	1810
South	3209	2467	5411	1850
SouthWest	3209	2467	6180	2166
West	3209	2467	6338	2232
NorthWest	3209	2467	5602	1973

0.60cm.LS-WWR100%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	4670	1627
NorthEast	3209	2467	4814	1634
East	3209	2467	5125	1744
SouthEast	3209	2467	5156	1754
South	3209	2467	5263	1798
SouthWest	3209	2467	6028	2113
West	3209	2467	6198	2183
NorthWest	3209	2467	5503	1938

0.90cm.LS-WWR100%	Lights	Equipment	Cools	Fans
North	3209	2467	4626	1610
NorthEast	3209	2467	4736	1603
East	3209	2467	5025	1707
SouthEast	3209	2467	5036	1711
South	3209	2467	5124	1777
SouthWest	3209	2467	5899	2068
West	3209	2467	6078	2141
NorthWest	3209	2467	5419	1909

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศิรวิชญ์ รงควิลิต
วัน เดือน ปี เกิด	2 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	69/9 ซอยอินทามระ 22 ถนนสุทธิสาร แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY