ผลกระทบของแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานอาคารประเภทสำนักงานในประเทศไทย

น.ส.วริยาภรณ์ กิตติวังชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Impacts of Circadian Lighting on Energy Consumption of Office Building in Thailand

Miss Wariyaporn Kittiwangchai

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 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานอาคารประเภทสำนักงานในประเทศไทย
โดย	น.ส.วริยาภรณ์ กิตติวังชัย
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

วริยาภรณ์ กิตติวังชัย : ผลกระทบของแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานอาคารประเภทสำนักงานในประเทศไทย. (Impacts of Circadian Lighting on Energy Consumption of Office Building in Thailand) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

ปัจจุบันการออกแบบอาคารให้ความสำคัญกับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานอาคารมากขึ้น การออกแบบแสงสว่างภายในอาคารเพื่อระบบนาฬิกาชีวิตของร่างกายมนุษย์เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้กับผู้ใช้อาคาร ซึ่งแสงสว่างในอาคารจะประกอบด้วยแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารจากการทำความเย็น และไฟฟ้าแสงสว่าง จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมายังพบการศึกษาในเรื่องแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารจากทั้งระบบปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่างค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ตามเกณฑ์ WELL Building Standard v.2 หัวข้อ Circadian Lighting วิเคราะห์ผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และเสนอแนวทางการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตที่สามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบ โดยเป็นงานวิจัยเชิงจำลอง ที่ต้องการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อทั้งปริมาณแสงธรรมชาติ ปริมาณแสงประดิษฐ์ และการใช้พลังงานอาคาร ได้แก่ รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อเปลือกอาคาร (WWR) ประเภทกระจก ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ และการวางผังดวงโคมไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปคำนวณค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ค่า Vertical Illuminance (Ev) และค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) รวมทั้งจำลองการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DesignBuilder และ Dialux Evo ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ในบางกรณีค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารไม่สัมพันธ์กับค่า EML เนื่องจากค่า EML ตามเกณฑ์ WELL นั้น กำหนดให้ประเมินจากความส่องสว่างในแนวดิ่งจากแสงประดิษฐ์เท่านั้น ไม่ได้ประเมินโดยนำแสงธรรมชาติมาร่วมด้วย แต่การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ต้องพิจารณาทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ และพลังงานจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลจากความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารพร้อมกับแสงธรรมชาติ โดยอาคารที่ได้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต หรือมีค่า EML ที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำนั้น เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบมีทั้งกรณีที่การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเพิ่มขึ้น 0.04%-4.82% และกรณีที่การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารลดลง 0.01-5.33% นอกจากนี้การใช้แสงประดิษฐ์เพื่อให้ได้ปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตในอาคารสำนักงาน ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 3.47 เท่า เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ อย่างไรก็ตามแสงธรรมชาติในประเทศไทยนั้นเหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต หากสามารถศึกษาการประเมินค่า EML จากแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6470023625 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: daylighting / artificial lighting / circadian lighting / energy use / office building

Wariyaporn Kittiwangchai : Impacts of Circadian Lighting on Energy Consumption of Office Building in Thailand. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

Nowadays, building design is more concerned about the quality of building users' lives. Designing appropriate indoor lighting for the biological clock is a way to promote good health for users. The indoor lighting consists of natural and artificial light which has an impact on the energy consumption of the building including air conditioning and lighting energy consumption. From the literature review, the impact on the building's overall energy consumption from the air conditioning and lighting system has rarely been studied. This research aimed to study circadian lighting design variables referring to "Circadian Lighting" title in WELL Building Standard v.2, analyze the overall energy consumption of the building, and propose guidelines of the suitable lighting design for the biological clock which can be useful in terms of decision making for architects. The research utilized the office building model that has different shapes, proportions of the opening, type of glass, Correlated Color Temperature (CCT), and interior lighting luminaire layouts in order to calculated Spatial Daylight Autonomy (sDA), Vertical Illuminance (Ev), Equivalent Melanopic Lux (EML) and the building's overall energy consumption by computer programs i.e., DesignBuilder and Dialux Evo. According to the study, it was found that the building's overall energy consumption wasn't correlated with EML as the EML in accordance with WELL Building Standard is calculated mainly based on the vertical illuminance of artificial light without the consideration of natural light. However, the overall energy consumption of the building has to be considered with both artificial lighting and air conditioning energy consumption which is affected by heat entering the building from natural light. The buildings that met the minimum criteria of EML, compared with the prototype building, had both cases that the overall energy consumption of the building increased by 0.04%-4.82% and cases that it decreased by 0.01-5.33%. In addition, the utilization of artificial lighting to achieve the right amount of light for circadian lighting in the office building increased lighting energy consumption by 3.47 times. However, natural light in Thailand is suitable for the biological clock of life. If EML can be studied in combination with natural light and artificial light, it will be able to reduce lighting energy consumption.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Architecture	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้ประเด็นและรายละเอียดที่น่าสนใจ ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่กรุณาสละเวลาและให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อภิพรรณ บริสุทธิ์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในเรื่องแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต อาจารย์ ดร.สริน พินิจ ที่คอยให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ และอาจารย์ วีระพงศ์ เอี่ยวพาณิช ที่ให้ความรู้ในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทั้งความรู้ โอกาส และประสบการณ์ที่ดี ตลอดการศึกษาตั้งแต่ปริญญาตรีจนถึงปริญญาโท ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่มีโอกาสได้ร่วมเรียนด้วยกัน ขอบคุณสำหรับการช่วยเหลือกันและคอยให้กำลังใจกันตลอดทั้งปีที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอบคุณครอบครัว และบุคคลใกล้ชิดที่ให้ทั้งคำแนะนำ และคอยให้กำลังใจในทุกช่วงเวลาของชีวิต

วริยาภรณ์ กิตติวังชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 4
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
1.6 นิยามศัพท์ 6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 ทฤษฎีแสงและการรับรู้แสง 7
2.2 องค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต 10
2.2.1 ปริมาณความส่องสว่าง (Quantity) 11
2.2.2 สเปกตรัมการตอบสนอง (Spectrum) 11
2.2.3 ทิศทางของแสงที่เข้าสู่ตา (Directionality) 11
2.2.4 เวลา (Timing) 12
2.2.5 ช่วงเวลา (Duration) 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.6 คุณสมบัติของแสงก่อนหน้านี้ (History) 12
2.3 ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการให้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร 13
2.3.1 ทิศทางการวางอาคาร 13
2.3.2 ชนิด ขนาดและทิศทางของช่องเปิด 13
2.3.3 ประเภทของกระจก 13
2.3.4 อุปกรณ์บังแดด 14
2.3.5 วัสดุภายในอาคาร 14
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ 15
2.4.1 ประเภทของหลอดไฟ 15
2.4.2 ลักษณะของดวงโคม 16
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร 17
2.5.1 รูปทรงของอาคาร 18
2.5.2 ขนาดและทิศทางของช่องเปิด 18
2.5.3 ตำแหน่งแกนอาคาร 18
2.5.4 เปลือกอาคาร 18
2.5.5 ประเภทกระจก 19
2.5.6 อุปกรณ์การบังแดด 19
2.6 แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่างสำหรับ Circadian Rhythm 20
2.7 เกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบแสงสว่างและอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย 22
2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองแสงสว่างและการใช้พลังงาน 22
2.9 แนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน 24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 26
3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 การกำหนดลักษณะของแบบจำลองอาคารต้นแบบ 26
3.2.1 ขนาดและลักษณะรูปแบบของแบบจำลอง 26
3.2.2 รูปทรงของผังอาคาร 28
3.2.3 ตำแหน่งแกนบริการ 28
3.2.4 ชนิดกระจก 29
3.3 สมมติฐานการวิจัย 30
3.4 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 30
3.4.1 ตัวแปรต้น 30
3.4.2 ตัวแปรตาม 33
3.4.3 ปัจจัยควบคุม 33
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 36
3.6 วิธีการทดลอง 36
3.6.1 การทดลองช่วงที่ 1 การจำลองปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร 36
3.6.2 การทดลองช่วงที่ 2 การจำลองค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์เพื่อหาปริมาณ EML 36
3.6.3 การทดลองช่วงที่ 3 จำลองการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารแต่ละกรณี 37
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 38
3.7.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร 38
3.7.2 การวิเคราะห์ผลการคำนวณค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ และค่า EML การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ 38
3.7.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี 38
บทที่ 4 ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูล 40
4.1 ผลการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร 40
4.1.1 รูปทรงของอาคาร 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทั้งหมด (WWR) 45
4.1.3 ประเภทของกระจก 45
4.2 ผลการคำนวณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ และการคำนวณค่า EML 53
4.2.1 ผลการจำลองการจัดวางผังดวงโคม 53
4.2.2 ความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคาร จำนวนดวงโคม ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแสงประดิษฐ์ 63
4.2.3 ค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารต้นแบบ กับอาคารแต่ละกรณี 74
4.2.4 ความสัมพันธ์ของค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) กับ ค่า EML 76
4.2 ประเมินการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี 79
4.3.1 การใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ 79
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML 96
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับค่า EML 98
4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML 101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 104
5.1 สรุปผลการวิจัย 105
5.1.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ และปริมาณแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อ Circadian Lighting ที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 105
5.1.2 แนวทางในการให้ปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ที่ให้ความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard 108
5.1.3 ผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ต่อการใช้พลังงานของอาคาร และแนวทางในการออกแบบแสงสว่างอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน 111
5.2 ข้อเสนอแนะ 115
บรรณานุกรม 116

ภาคผนวก 122
ภาคผนวก ก 123
ภาคผนวก ข 125
ภาคผนวก ค 129
ภาคผนวก ง 132
ภาคผนวก จ 139
ประวัติผู้เขียน 146

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของทิศทางการให้ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์แต่ละประเภท.....17

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดระดับคะแนนของเกณฑ์การประเมิน Circadian Lighting (L03).....20

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดระดับคะแนนของเกณฑ์การประเมิน Daylighting Simulation (L06).....21

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่งสำหรับ 240 200 และ 150 EML สำหรับแสงประดิษฐ์ประเภทต่างๆที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์แตกต่างกัน.....25

ตารางที่ 3.1 อาคารสำนักงานเกรด เอ ในกรุงเทพมหานคร ที่สร้างในปี ค.ศ. 2014-2022.....27

ตารางที่ 3.2 รูปทรงอาคารแบบจำลองที่ทำการศึกษา 31

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของอาคาร และวัสดุประกอบอาคาร 34

ตารางที่ 3.4 สรุปตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัย 35

ตารางที่ 3.5 ค่า Melanopic Ratio ของหลอดไฟแต่ละประเภท.....37

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติ 42 กรณี.....39

ตารางที่ 4.2 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคารจำลองต้นแบบ (Base case building).....54

ตารางที่ 4.3 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน.....55

ตารางที่ 4.4 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน.....57

ตารางที่ 4.5 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน.....59

ตารางที่ 4.6 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน.....61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.1 แนวทางในการให้ปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ สำหรับกรณีต้องการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting คะแนนขั้นต่ำ 2 คะแนน 109

ตารางที่ 5.2 แนวทางในการให้ปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ สำหรับกรณีต้องการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting คะแนนขั้นต่ำ 4 คะแนน 110

ตารางที่ 5.3 สรุปปริมาณพลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ที่เปลี่ยนแปลงจากอาคารต้นแบบ ของอาคารที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting..... 114

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดอาคารสำนักงานที่ทำการสำรวจ ทั้งหมด 25 อาคาร 124

ตารางที่ ข.1 ค่าดัชนีการเกิดแสงบาดตา (Discomfort Glare Index) สูงสุดที่กำหนดในแต่ละพื้นที่ใช้งาน 126

ตารางที่ ค.1 ร้อยละพื้นที่ที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารแต่ละกรณี 130

ตารางที่ ง.1 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน..... 133

ตารางที่ ง.2 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน..... 134

ตารางที่ ง.3 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน โดยใช้จำนวนดวงโคมเท่ากันกับกรณี CCT 4000K ทำ 2 คะแนน..... 135

ตารางที่ ง.4 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน โดยใช้จำนวนดวงโคมเท่ากันกับกรณี CCT 4000K ทำ 4 คะแนน..... 136

ตารางที่ ง.5 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน โดยลงจำนวนดวงโคม..... 137

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.6 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน โดยลงจำนวนดวงโคม..... 138

ตารางที่ จ.1 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน 138

ตารางที่ จ.2 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน 140

ตารางที่ จ.3 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน 142

ตารางที่ จ.4 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน 144

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของการรับรู้แสง 1

ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของแสงทางกายภาพที่แตกต่างกันที่ส่งผลกระทบต่อการรับรู้แสงที่ตอบสนองการมองเห็น และไม่เกี่ยวกับการมองเห็น 8

ภาพที่ 2.2 การรับรู้แสงที่ตอบสนองไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-Image forming Pathway, NIF) และตำแหน่งเซลล์รับแสง Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs) 8

ภาพที่ 2.3 ช่วงเวลาในการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติซอล (Cortisol) และ เมลาโทนิน (Melatonin) ของร่างกาย 9

ภาพที่ 2.4 ตัวชี้วัดการประเมินแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ 10

ภาพที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นที่ไวต่อเซลล์รับแสงรูปแท่ง (rod) รูปกรวย (cone) และ ipRGCs 11

ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบของแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย 12

ภาพที่ 2.7 ลักษณะของฝ้าเพดานรูปแบบต่างๆ 14

ภาพที่ 2.8 ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภท 15

ภาพที่ 2.9 การกระจายตัวของพลังงานสเปกตรัมแสง (SPD) ของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภท 16

ภาพที่ 2.10 ประเภททิศทางการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ 16

ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของเกณฑ์การประเมิน Circadian Lighting ของ WELL Building Standard กับองค์ประกอบของแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต 21

ภาพที่ 2.12 กลุ่มประเภทอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงที่อยู่ในขอบเขตการบังคับใช้กฎหมาย 22

ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการแสดงผลในการสร้างหุ่นจำลอง จากโปรแกรม DesignBuilder 23

ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการแสดงผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติจากโปรแกรม DesignBuilder และ Radiance engines 23

ภาพที่ 2.15 จำนวนงานวิจัยที่เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองแสงประดิษฐ์ แต่ละโปรแกรม 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.1 รูปแบบการวางตำแหน่งแกนบริการ 28

ภาพที่ 3.2 ลักษณะผังพื้นอาคารจำลองต้นแบบ (Base case building) 29

ภาพที่ 3.3 ลักษณะขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 40% และ 60% 32

ภาพที่ 3.4 รายละเอียดดวงโคมและหลอดไฟ LED (ซ้าย) และลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม (ขวา) 33

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 39

ภาพที่ 4.1 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นร้อยละของพื้นที่ใช้งาน เปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างๆกับสัดส่วนช่องเปิดที่ 40% และ 60% กรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E 43

ภาพที่ 4.2 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นร้อยละของพื้นที่ใช้งาน เปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างๆกับสัดส่วน WWR 40% และ 60% กรณีใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E 43

ภาพที่ 4.3 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นร้อยละของพื้นที่ใช้งาน เปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างๆกับสัดส่วนช่องเปิดที่ 40% และ 60% กรณีใช้กระจก IGU ใส Low-E 44

ภาพที่ 4.4 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้งาน ของอาคารทั้ง 42 กรณี 51

ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของค่า $sDA_{300/50\%}$ กับ ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทั้งหมด (WFR) คูณค่าการส่องผ่านแสงของกระจก (VLT) ของอาคารทั้ง 42 กรณี 52

ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการจำลองค่า EML กับค่า LPD ระหว่าง กรณี CCT 4000K (ซ้าย) กรณี 6500K (ขวา) สำหรับทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน ในลักษณะที่ใช้ประเภท จำนวน และรูปแบบการจัดวางผังดวงโคม เดียวกัน 58

ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการจำลองค่า EML กับค่า LPD ระหว่าง กรณี CCT 4000K (ซ้าย) กรณี 6500K (ขวา) สำหรับทำคะแนน Circadian Lighting 4 คะแนน ในลักษณะที่ใช้ประเภท จำนวน และรูปแบบการจัดวางผังดวงโคม เดียวกัน 58

ภาพที่ 4.8 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน 64

ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.10 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน 65

ภาพที่ 4.11 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน 66

ภาพที่ 4.12 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน 67

ภาพที่ 4.13 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน 68

ภาพที่ 4.14 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน 69

ภาพที่ 4.15 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน 69

ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) กรณีค่า CCT 4000K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา) 71

ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) กรณีค่า CCT 6500K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา) 71

ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับค่า EML กรณีค่า CCT 4000K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา).....73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับค่า EML กรณีค่า CCT 6500K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา).....73

ภาพที่ 4.20 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) เปรียบเทียบระหว่างอาคารต้นแบบ และอาคารกรณี CCT 4000K และ 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน.....75

ภาพที่ 4.21 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) เปรียบเทียบระหว่างอาคารต้นแบบ และอาคารกรณี CCT 4000K และ 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน.....75

ภาพที่ 4.22 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) และค่า EML กรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา).....77

ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) กับค่า EML กรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา).....77

ภาพที่ 4.24 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) และค่า EML กรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา).....78

ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) กับค่า EML กรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา).....78

ภาพที่ 4.26 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ 81

ภาพที่ 4.27 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ 82

ภาพที่ 4.28 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ.....85

ภาพที่ 4.29 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ.....86

ภาพที่ 4.30 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ 89

ภาพที่ 4.31 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.32 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ.....93

ภาพที่ 4.33 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ.....94

ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML ของอาคารทั้งหมด 168 กรณี 97

ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศกับค่า EML ของอาคารทั้งหมด 168 กรณี 100

ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML ของอาคารทั้งหมด 168 กรณี 102

ภาพที่ 5.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ และปริมาณแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อ Circadian Lighting ที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 107

ภาพที่ 5.2 อาคารที่ใช้พลังงานระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นและลดลงสูงสุด จากอาคารจำลองต้นแบบ 112

ภาพที่ 5.3 อาคารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นและลดลงสูงสุด จากอาคารจำลองต้นแบบ...113

ภาพที่ 5.4 อาคารที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเพิ่มขึ้นและลดลงสูงสุด จากอาคารจำลองต้นแบบ 114

ภาพที่ ข.1 รายละเอียดดวงโคมอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K 127

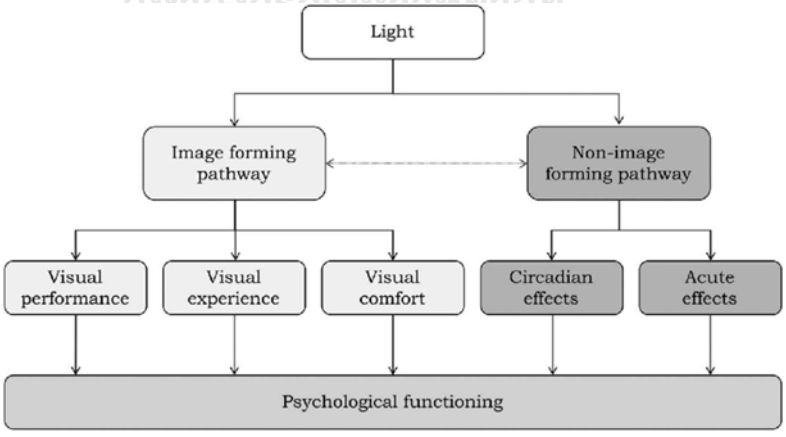
ภาพที่ ข.2 รายละเอียดดวงโคมอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการออกแบบอาคารให้ความสำคัญกับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานอาคารมากขึ้น เนื่องจาก 90% ของการใช้ชีวิตในแต่ละวันคือการทำกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มพนักงานในสำนักงาน เป็นต้น การออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อระบบนาฬิกาชีวิตของร่างกายมนุษย์เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้กับผู้ใช้อาคาร มีการศึกษาเกี่ยวกับแสงสว่างในสำนักงานพบว่าพนักงานส่วนใหญ่ชอบที่จะได้รับแสงธรรมชาติเวลาทำงาน เพื่อให้รู้สึกถึงการมีสุขภาพที่ดีในการทำงาน (Baker & Steemers, 2000) ซึ่งวิถีชีวิตของผู้คนในปัจจุบันอย่างการอยู่ภายในอาคารเป็นเวลานาน เป็นปัญหาที่ทำให้ผู้ใช้อาคารไม่ได้รับแสงในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในเวลากลางวัน ทำให้ร่างกายรู้สึกไม่ตื่นตัว หรือไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากร่างกายของเรามีระบบการทำงาน ที่สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ ลักษณะคล้ายกับการมีโปรแกรมตั้งเวลาระบบให้ขับเคลื่อนไปตามวงจรของวัน (Circadian Rhythms) ที่สัมพันธ์กับการโคจรของโลกและแสงอาทิตย์ หรือที่เรียกว่า นาฬิกาชีวภาพ (Biological Clock) ซึ่งเป็นระบบการรับรู้แสงในส่วนที่ตอบสนองที่ไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-Image forming Pathway, NIF) โดยระบบดังกล่าวส่งผลต่อการใช้ชีวิต ระดับการใช้พลังงานของร่างกาย การเปิดปิดรูม่านตา และความรู้สึกตื่นตัวหรือง่วงนอน ซึ่งแสงแต่ละช่วงเวลาในรอบวันเป็นการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนในสมองเพื่อรักษาสมดุลในร่างกาย โดยถ้าผู้ใช้งานอาคารได้รับแสงที่ไม่เพียงพอหรือไม่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตในแต่ละช่วงเวลาของวัน จะทำให้การผลิตฮอร์โมนของร่างกายคลาดเคลื่อนส่งผลต่อการทำงานของระบบร่างกาย และประสิทธิภาพการทำงานต่อองค์กรด้วย



ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของการรับรู้แสง

ที่มา : Tutorial: Theoretical considerations when planning research in human factors in lighting (De Kort, 2019)

ในหลายประเทศได้ให้ความสำคัญในเรื่องของการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารเพื่อส่งเสริมสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้อาคารมากขึ้น โดยมีการจัดตั้งเกณฑ์การประเมินอาคารเพื่อส่งเสริมสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่ได้รับความนิยมและเน้นด้านสุขภาวะเป็นหลัก คือ มาตรฐานสุขภาวะ เช่น WELL Building Standard เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย สถาบัน International WELL Being Institute (IWBI) โดยมีการปรับปรุงเรื่อยมาจนเป็นเวอร์ชั่นที่ 2 ในปี ค.ศ.2021 ซึ่งมีหัวข้อในด้านการประเมินแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต หรือ Circadian Lighting สำหรับการออกแบบอาคารที่คำนึงถึงสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร การประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ทางเลือก คือ ประเมินแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว กับประเมินแสงประดิษฐ์ควบคู่กับแสงธรรมชาติ โดยมีหน่วยวัดผลแสงธรรมชาติ คือ Spatial daylight Anatomy (sDA) และหน่วยวัดผลแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต คือ Equivalent Melanopic Lux (EML) ในประเทศไทยถึงแม้จะยังไม่มีการนำไปใช้ในการออกแบบมากนัก แต่ก็เริ่มมีการตระหนักมากขึ้น ในกลุ่มนักออกแบบ หรือนักพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ เนื่องจากมีความต้องการผ่านเกณฑ์อาคารมาตรฐานสากลอย่าง WELL Building Standard และคำนึงถึงสุขภาวะของผู้ใช้อาคารมากขึ้น เช่น The Sustainable Development Research and Innovation Center หรือ RISC by MQDC เป็นศูนย์วิจัยที่ตั้งอยู่ชั้น 4 ในอาคาร แมกโนเลียส์ ราชดำริ บูเลอวาร์ด ซึ่งเป็นสำนักงานแห่งแรกในประเทศไทยและอาเซียนที่ได้รับ WELL certification ระดับ Gold (Green Network, มกราคม-กุมภาพันธ์ 2564) หรืออาคารสำนักงาน เกรด เอ ในกรุงเทพฯ อย่างโครงการ One Bangkok หรือ The PARQ ได้ออกแบบอาคารที่คำนึงถึงสุขภาวะของผู้ใช้งานอาคารเพื่อยื่นขอการประเมิน WELL certification แสดงให้เห็นว่าการออกแบบอาคารในประเทศไทยเริ่มมีการพัฒนาให้ได้มาตรฐานสากลและคำนึงถึงสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารเพิ่มมากขึ้น

จากเกณฑ์การประเมินของ WELL Building Standard และการศึกษาปัจจัยของแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต พบว่าปริมาณของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 แหล่ง คือ แสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ มีผลต่อแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2565) ซึ่งในการใช้งานจริงของอาคารนั้นก็จะมีทั้งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติไม่เพียงพอเช่นกัน โดยแสงธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อนาฬิกาชีวิต ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารนั้นมีปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็น รูปทรงของอาคาร ทิศทางการวางอาคาร ทิศทางและสัดส่วนของขนาดช่องเปิด ประเภทวัสดุกระจกที่ใช้ และค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุภายในอาคาร แต่การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงและต้องควบคุม ถ้าแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารมากเกินไป จะส่งผลทำให้อาคารร้อนและเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นการเพิ่มการใช้พลังงานอาคาร นอกจากนี้การใช้แสงประดิษฐ์ร่วม แม้จะช่วยให้มีปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอสำหรับบริเวณที่แสงธรรมชาติเข้าไม่ถึง แต่ก็เป็นการเพิ่มการใช้พลังงานในส่วนของไฟฟ้าเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร จึงควรออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ทั้งแสงสว่างธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ โดยพิจารณาควบคู่กับประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารไปด้วย

จากการทบทวนวรรณกรรมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต และประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคาร พบงานวิจัยของ จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ (2561) ที่ศึกษาแนวทางการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานให้มีความเหมาะ สมกับนาฬิกาชีวิตของประเทศไทย ได้ทำการจำลองอาคารสำนักงาน ลักษณะแบบเปิดในกรุงเทพมหานครฯ และคำนวณแสงประดิษฐ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบการใช้แสงประดิษฐ์ เพื่อทดแทนปริมาณ Circadian Stimulus (CS) จากแสงธรรมชาติ หรืองานวิจัยของ Jarboe et al. (2019) ที่ศึกษาการเลือกใช้ประเภทดวงโคมและลักษณะการติดตั้ง ของหลอดไฟ LED ให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต พร้อมคำนึงถึงการลดการใช้พลังงาน ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งหลอดไฟบริเวณเหนือหัว และให้แสงกระทบตาผู้ใช้งานโดยตรง ทำให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต และใช้พลังงานน้อยกว่า

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงปัญหาและความสำคัญของแสงที่ดีต่อสุขภาวะหรือแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต (Circadian Lighting) ซึ่งส่งผลให้เกิดการศึกษางานวิจัยต่างๆมีมากขึ้น แต่ในการศึกษาเกี่ยวกับแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต พบว่ายังไม่มีการศึกษา การออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตในการใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ ที่พิจารณาควบคู่ไปกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่พิจารณาทั้งพลังงานจากเครื่องทำความเย็น และจากไฟฟ้าแสงสว่าง โดยใช้มาตรฐาน WELL Building Standard เป็นเกณฑ์ในการประเมิน ด้วยเหตุนี้จึงนำไปสู่การตั้งคำถามในงานวิจัยว่า อาคารที่คำนึงถึงการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตจะมีลักษณะอย่างไร และมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารอย่างไร โดยมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารประเภทสำนักงานในประเทศไทย พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการออกแบบแสงสว่างสำหรับอาคารสำนักงานใหม่ หรือ อาคารที่ต้องการปรับปรุงการออกแบบแสงสว่าง เพื่อสร้างทางเลือกในการนำไปใช้หรือช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบ และเพื่อส่งเสริมสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 **วัตถุประสงค์ของการศึกษา**

1.2.1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต เพื่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี ตามเกณฑ์ WELL Building Standard v.2

1.2.2. เพื่อศึกษาผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

1.2.3. เพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร ที่ส่งเสริมสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร พร้อมกับสามารถลดการใช้พลังงานอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 **ขอบเขตของการศึกษา**

1.3.1. ศึกษาแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ ในอาคารสำนักงานตามเกณฑ์ WELL Building Standard เรื่อง Circadian Lighting โดยใช้เกณฑ์ sDA มาเป็นมาตรฐานวัดแสงธรรมชาติ และ EML เป็นมาตรฐานวัดแสงที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต

1.3.2. ศึกษาผลกระทบของแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารด้านพลังงาน หรือ Building Energy Code (BEC)

1.3.3. ศึกษาโดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณอาคารสำนักงานที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพฯ และไม่มีสภาพแวดล้อมภายนอกมาเกี่ยวข้อง เช่น ระยะระหว่างอาคารข้างเคียง หรือการสะท้อนแสงจากอาคารข้างเคียง

1.3.4. ศึกษาโดยใช้แบบจำลองอาคาร อ้างอิงจากรูปแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงานจริงในกรุงเทพฯ

1.4 **ระเบียบวิธีการศึกษา**

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยโดยการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองหาค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต และการใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1. ศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่และแบ่งเนื้อหาออกเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

1.4.1.1. ทฤษฎีแสงและการรับรู้แสง

1.4.1.2. องค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต

1.4.1.3. ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการให้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร

1.4.1.4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์

1.4.1.5. ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร

1.4.1.6. แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่างสำหรับ Circadian Rhythm

1.4.1.7. แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่างและอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย

1.4.1.8. เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองแสงสว่างและการใช้พลังงาน

1.4.1.9. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน

1.4.2. กำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ ตัวแปรและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลอง

1.4.3. ทำการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์เพื่อนำไปคำนวณปริมาณ EML และจำลองการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี

1.4.4. วิเคราะห์ผล สรุปผล เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตในกรณีต่างๆ และเสนอแนะแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรด้านความส่องสว่างที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต แนวทางและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ต่อการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่ดีต่อสุขภาพและได้มาตรฐาน

1.5.2 เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารว่าลดหรือเพิ่มการใช้พลังงาน ในด้านไหนอย่างไร

1.5.3 เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการออกแบบแสงสว่างสำหรับอาคารสำนักงานใหม่ หรือ อาคารที่ต้องการปรับปรุงการออกแบบแสงสว่างเพื่อส่งเสริมสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
เพื่อศึกษาตัวแปรการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต เพื่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี ตามเกณฑ์ WELL Building Standard v.2	ศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต แนวทางและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ต่อการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่ดีต่อสุขภาพและได้มาตรฐาน
เพื่อศึกษาผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร	การกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ ตัวแปรและค่าต่างๆที่ใช้ในการจำลอง ทำการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ และการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี	เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารว่าลดหรือเพิ่มการใช้พลังงาน ในด้านไหนอย่างไร
เพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร ที่ส่งเสริมสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร พร้อมกับสามารถลดการใช้พลังงานอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ	วิเคราะห์ผล สรุปผล เปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตในกรณีต่างๆ และเสนอแนะแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้	เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการออกแบบแสงสว่างสำหรับอาคารสำนักงานใหม่ หรือ อาคารที่ต้องการปรับปรุงการออกแบบแสงสว่างเพื่อส่งเสริมสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 นิยามศัพท์

การรับรู้แสงที่ตอบสนองการมองเห็น (Image forming Pathway) หมายถึง ผลกระทบของแสงที่ทำให้เกิดการรับรู้ มองเห็นสิ่งต่างๆ โดยมีเซลล์รับแสงรูปแท่ง (rod) กับ รูปกรวย (cone) ในบริเวณส่วนเรตินา

การรับรู้แสงที่ตอบสนองไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-Image forming Pathway, NIF) หมายถึง ผลกระทบของแสงที่ไม่ทำให้เกิดการมองเห็น แต่ส่งผลต่อระบบการทำงานของร่างกายทั้ง ฮอร์โมน พฤติกรรม และอารมณ์

ฮอร์โมนเมลาโทนิน (Melatonin) หมายถึง ฮอร์โมนที่ร่างกายสร้างขึ้นช่วยในการควบคุมการนอนหลับ โดยสมองจะเริ่มหลั่งฮอร์โมนนี้ในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ร่างกายรู้สึกง่วงและทำให้หลับ

Spatial daylight Anatomy (sDA) หมายถึง ค่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับความส่องสว่างขั้นต่ำอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของระยะเวลาใช้งานโดยปกติ

แสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต (Circadian Lighting) หมายถึง คุณสมบัติของแสงที่มีผลต่อระบบนาฬิกาชีวิต ส่งผลต่อความสมดุลของระบบการทำงานต่างๆของร่างกาย

Equivalent Melanopic Lux (EML) หมายถึง หน่วยวัดค่าผลกระทบทางชีวภาพของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตของมนุษย์

ความส่องสว่างแนวตั้ง (Vertical Illuminance ; Ev) หมายถึง การวัดผลปริมาณความส่องสว่างทางระนาบตั้งที่ตำแหน่งระดับสายตา โดยวัดจากการหันหน้า 4 ทิศทาง มีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux)

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายใน (Lighting Power Density ; LPD) หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ของอาคารซึ่งแบ่งออกตามประเภทพื้นที่การใช้งาน มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยต้องการศึกษาผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ต่อการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อทำความเข้าใจแนวคิด ทฤษฎี และให้เห็นถึงพัฒนาการของงานวิจัยที่เกี่ยวกับแสงสว่างที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต จึงได้ทำการทบทวนวรรณกรรม เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีแสงและการรับรู้แสง

2.2 องค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต

2.3 ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการให้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร

2.6 แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่างงสำหรับ Circadian Rhythm

2.7 แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่างและอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย

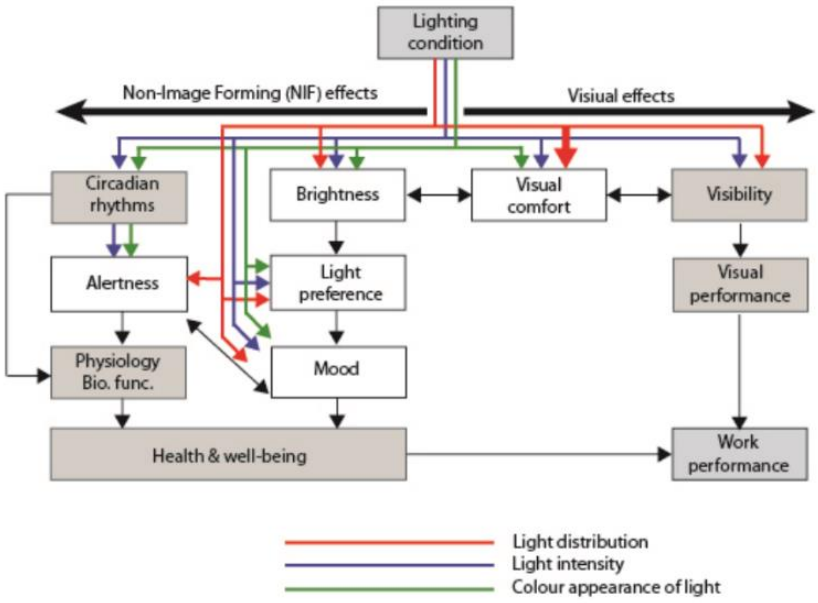
2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองแสงสว่างและการใช้พลังงาน

2.9 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน

2.1 ทฤษฎีแสงและการรับรู้แสง

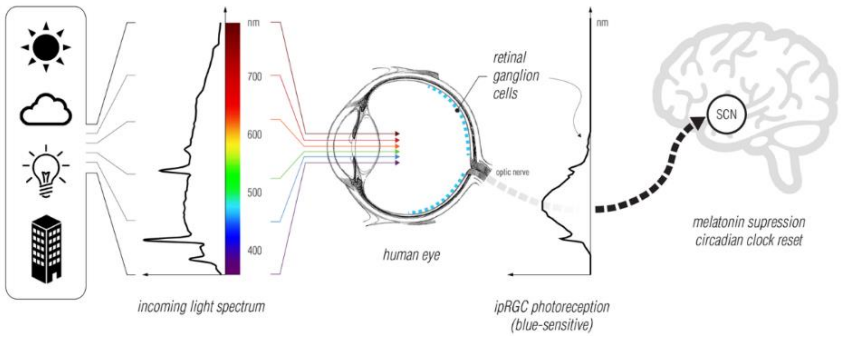
แสงมีผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งด้านสรีรวิทยา คือ การมองเห็นหรือการควบคุมการปล่อยฮอร์โมนในร่างกายมนุษย์ และด้านจิตวิทยาในเรื่องของพฤติกรรม อารมณ์ และ การสื่อสารระหว่างบุคคล โดยสิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแสง (ศรุดา จิรัฐกุลธนา, 2563) ดังนั้นเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 แหล่ง คือ แสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ เข้าสู่ตาของมนุษย์ จะทำให้มนุษย์เกิดการรับรู้แสง ที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การรับรู้แสงที่ตอบสนองการมองเห็น (Image forming Pathway) โดยการมองเห็นเกิดจากตาของมนุษย์ดูดซับพลังงานของแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380-780 นาโนเมตร ที่จะกระตุ้นเซลล์รับแสงรูปแท่ง (rod) ทำหน้าที่รับแสงสว่าง ซึ่งไวต่อความเข้มแสงที่มีความเข้มน้อยและไม่สามารถจำแนกสีของแสงได้ กับ เซลล์รับแสงรูปกรวย (cone) ไวต่อความเข้มแสงที่มีความเข้มสูงและยังสามารถจำแนกสีของแสงได้ เซลล์รับแสงทั้ง 2 อยู่ในบริเวณส่วนเรตินา ส่งผลต่อประสิทธิภาพการมองเห็นของมนุษย์ หรือทำให้สามารถมองเห็นสิ่งต่างๆ (Boyce, 2014) และ การรับรู้แสงที่ตอบสนองไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-Image forming Pathway, NIF) (van Bommel & Beld, 2004) มี Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs) เป็นเซลล์รับแสง ที่มีโปรตีนเมลาโนปซิน (melanopsin) แปลงสัญญาณแสงส่งไปยังสมองส่วน Suprachiasmatic nucleus (SCN) เป็นตัวที่ทำให้เห็นว่าแสงไม่เป็นเพียงแต่ทำให้เรามองเห็นเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อการทำงานของร่างกายที่ไม่เกี่ยวกับการมองเห็น ทั้งด้านการควบคุมการปล่อยฮอร์โมน พฤติกรรม และอารมณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของแสงทางกายภาพที่แตกต่างกันที่ส่งผลกระทบต่อการรับรู้แสงที่ตอบสนองการมองเห็น และไม่เกี่ยวกับการมองเห็น

(Borisuit, 2013)

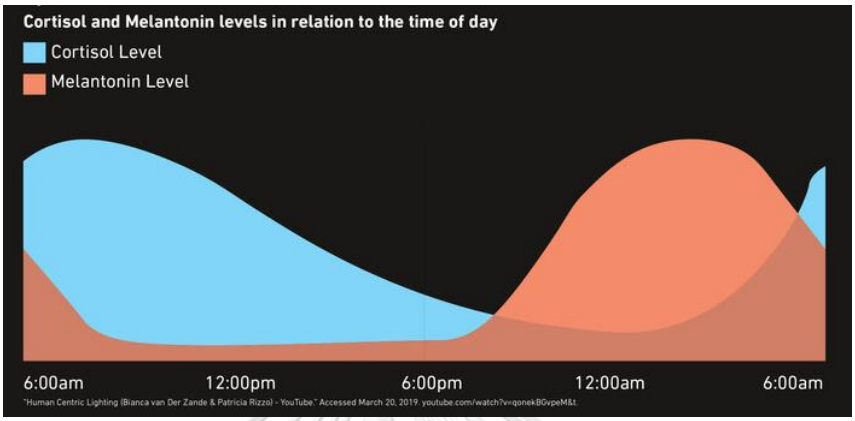


ภาพที่ 2.2 การรับรู้แสงที่ตอบสนองไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-Image forming Pathway, NIF) และตำแหน่งเซลล์รับแสง Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs)

(ที่มา: https://www.solemma.com/alfa)

การรับรู้แสงที่ตอบสนองไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-Image forming Pathway, NIF) ส่งผลให้ร่างกายเกิดการควบคุมนาฬิกาชีวภาพในรอบวัน (Circadian Rhythm) คือการที่ร่างกายจดจำพฤติกรรมในแต่ละช่วงเวลาในรอบวัน ส่งผลต่อการใช้ชีวิต ระดับการใช้พลังงานของร่างกาย การเปิดปิดรูม่านตา ความรู้สึกตื่นตัวหรือรู้สึกง่วง ซึ่งแสงแต่ละช่วงเวลาในรอบวันเป็นการควบคุมและกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนในสมองเพื่อรักษาสมดุลในร่างกาย (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561) ซึ่งฮอร์โมนที่สำคัญโดยประกอบด้วย 2 ตัว คือ คอร์ติซอล (Cortisol) และ เมลาโทนิน (Melatonin) ดังภาพที่ 2.3 ฮอร์โมนคอร์ติซอล จะหลั่งในตอนเช้าเพื่อให้ร่างกายตื่นตัวเตรียมพร้อมสำหรับการทำกิจกรรมต่างๆในระหว่างวัน โดยความส่องสว่างที่สูงจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการทำงาน (Dijk et al., 1995)

ส่วนฮอร์โมนเมลาโทนิน จะหลั่งออกมาในช่วงเวลาหลัง 6 โมงเย็น หรือในสภาพแวดล้อมที่มืด ทำให้เกิดความรู้สึกง่วงนอนเพื่อปรับสภาพร่างกายให้พร้อมต่อการนอนหลับ โดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นหรือแสงสีฟ้า จะยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนินในเวลากลางคืน (Inouye & Kawamura, 1979)



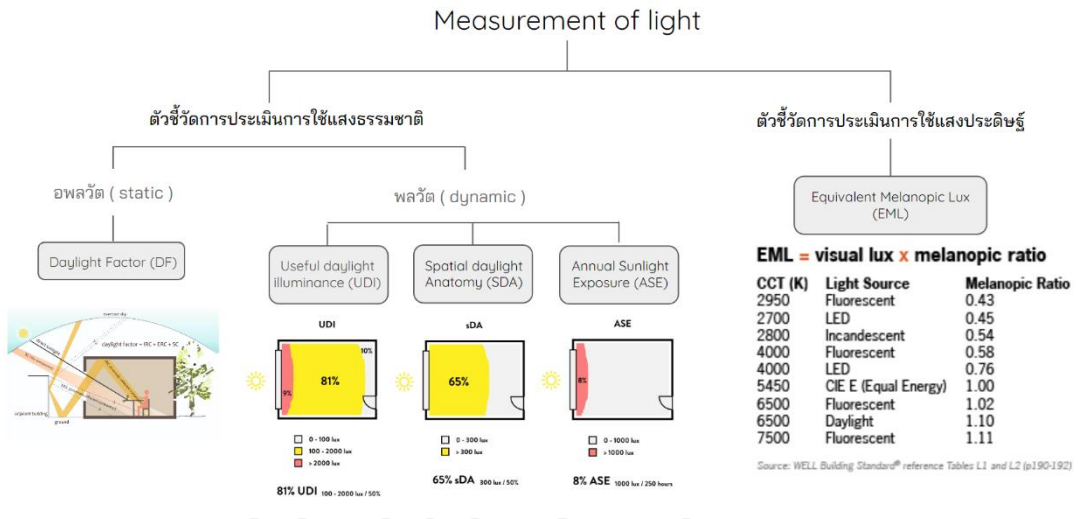
ภาพที่ 2.3 ช่วงเวลาในการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติซอล (Cortisol) และ เมลาโทนิน (Melatonin) ของร่างกาย (ที่มา: https://www.youtube.com/watch?v=qonekBGvpeM)

จากแหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง คือ แสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ ที่ส่งผลต่อการรับรู้แสงที่ไม่เกี่ยวกับการมองเห็นซึ่งจะส่งผลต่อสุขภาพของร่ายกายมนุษย์นั้น การประเมินความสว่างที่เหมาะสมต่อมนุษย์ทั้งแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์มีตัวชี้วัดการประเมินที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

โดยตัวชี้วัดการประเมินแสงธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือวิธีอพลวัต (Static) กับวิธีพลวัต (Dynamic) วิธีอพลวัต (Static) เป็นการประเมินโดยใช้ค่าตัวประกอบของแสงธรรมชาติ ซึ่งใช้ค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุด หรือ Daylight Factor (DF) เป็นการเปรียบเทียบความส่องสว่างภายในต่อความส่องสว่างภายนอกอาคารที่ไม่ได้รับอิทธิพลรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Kaufman, 1966) แต่ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาตินั้นไม่ได้แสดงถึงการใช้แสงธรรมชาติที่ดี ต่อมาจึงเริ่มการศึกษาตัวชี้วัดด้วยวิธีพลวัต (Dynamic) หรือการใช้วิธีสมรรถนะด้านแสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้สามารถคาดการณ์ปริมาณแสงธรรมชาติที่สัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ลักษณะทางกายภาพของอาคารทั้งรูปทรงอาคาร ตำแหน่งช่องเปิด การใช้อุปกรณ์บังแดด ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ลักษณะรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมมากกว่า และทำให้ผลการประเมินที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยประกอบด้วยตัวชี้วัดหลายตัวในการพิจารณา เช่น 1) ค่า Useful Daylight Illuminance (UDI) เป็นการประเมินสัดส่วนร้อยละชั่วโมงการทำงานตลอดทั้งปีที่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม ซึ่งควรอยู่ในช่วงระหว่าง 300-3000 ลักซ์ อย่างน้อย 50% ของพื้นที่ โดยการวิเคราะห์ค่า $UDI_{300\text{-}3000}$ สามารถแยกออกเป็น UDI-a (UDI autonomous) ,UDI-s (UDI supplementary) และ UDI-e (UDI exceeded) 2) ค่า Spatial Daylight Anatomy (sDA) เป็นการพิจารณาสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างเพียงพออย่างน้อยครึ่งหนึ่งของระยะเวลาการใช้งาน คือ ต้องได้รับ

แสงธรรมชาติอย่างน้อย 300 ลักซ์ อย่างน้อย 50% ของระยะเวลาการใช้งาน โดยเกณฑ์มาตรฐานของ LEED v4.1 กำหนดให้ค่า $sDA_{300/50\%}$ อย่างน้อย 40% 55% หรือ 75% ของพื้นที่ สำหรับทำ 1 2 และ 3 คะแนนตามลำดับ (USGBC, 2020) สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานของ WELL Building Standard กำหนดค่า $sDA_{300/50\%}$ อย่างน้อย 55% และ 75% สำหรับทำคะแนน 2 และ 3 คะแนน (IWBI, 2022) 3) ค่า Annual Sunlight Exposure (ASE) พิจารณาพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติมากเกินความต้องการ โดยต้องไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำที่ได้รับแสงธรรมชาติที่เกิน 1000 ลักซ์เป็นเวลาไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี

ตัวชี้วัดสำหรับการประเมินปริมาณแสงประดิษฐ์ คือค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) เป็นการวัดผลกระทบของแสงที่มีต่อนาฬิกาชีวิต โดยวัดความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ในแนวระนาบตั้งบริเวณระดับสายตาของผู้ใช้งาน (IWBI, 2022) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในประเมินเกณฑ์ Circadian Lighting ตามมาตรฐานสุขภาวะ WELL Building Standard ค่า EML จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและสเปกตรัมการตอบสนองของแสงที่ตกกระทบในแต่ละจุด



ภาพที่ 2.4 ตัวชี้วัดการประเมินแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์

(Green Quarter, 2018; IWBI, 2022; The Net Zero Energy Buildings (NZEB), n.d.)

2.2 องค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต

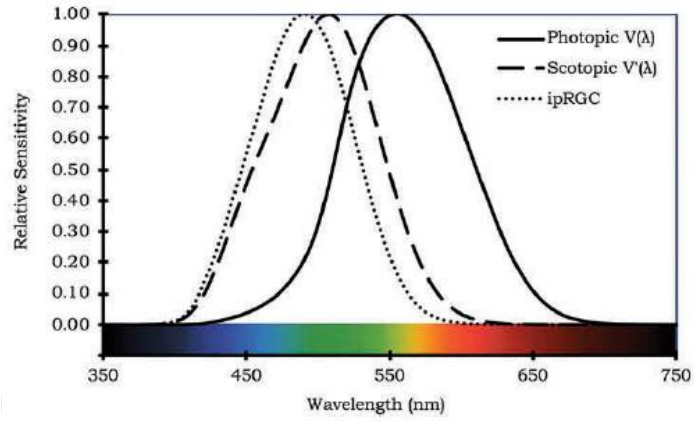
จากการศึกษาการรับรู้แสงที่ไม่เกี่ยวกับการมองเห็นนั้นส่งผลต่อการทำงานของระบบในร่างกาย หรือนาฬิกาชีวิต (Circadian rhythm) ซึ่งลักษณะของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 6 ประเด็น ได้แก่ 1) ปริมาณความส่องสว่าง (Quantity) 2) สเปกตรัมการตอบสนอง (Spectrum) 3) ทิศทางของแสงที่เข้าสู่ตา (Directionality) 4) เวลา (Timing) 5) ช่วงเวลา (Duration) และ 6) คุณสมบัติของแสงก่อนหน้านี้ (History) (Khademagha et al., 2016) ดังภาพที่ 2.5

2.2.1 ปริมาณความส่องสว่าง (Quantity)

ปริมาณความส่องสว่างเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ปริมาณความเข้มแสงที่สูงขึ้น คือ ในช่วงเวลากลางวัน หรือใช้ปริมาณแสงไฟมาก ส่งผลให้ร่างกายตื่นตัว เนื่องจากการหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนินที่ลดลง ในขณะที่ความเข้มแสงต่ำ คือ ช่วงเวลากลางคืน หรืออยู่ในที่แสงไฟสลัว จะส่งผลให้ร่างกายรู้สึกผ่อนคลาย เนื่องจากฮอร์โมนเมลาโทนินที่สูงขึ้น นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Mclntyre et al. (1989) พบว่าปริมาณแสงที่ 1000 ลักซ์ จะยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนินเช่นเดียวกับแสงในเวลากลางวัน

2.2.2 สเปกตรัมการตอบสนอง (Spectrum)

ความไวต่อสเปกตรัมของแสงของสายตามนุษย์แตกต่างกันออกไปตามความยาวคลื่นของแสง การตอบสนองในการมองเห็นของเซลล์รับแสงรูปแท่ง (rod) และ รูปกรวย (cone) จะตอบสนองไวที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 507 และ 555 นาโนเมตร (Khademagha et al., 2016) แต่สำหรับลักษณะของแสงที่ส่งผลกระทบต่อนาฬิกาชีวิต หรือเซลล์รับแสง ipRGCs จะตอบสนองได้ไวที่สุดในช่วงแสงคลื่นสั้นที่ 446-477 นาโนเมตร หรือช่วงแสงสีฟ้า ซึ่งแสงธรรมชาติในแต่ละช่วงเวลามีคุณสมบัติเชิงสเปกตรัมและค่าการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน รวมถึงแสงประดิษฐ์แต่ละชนิดเช่นกัน



ภาพที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นที่ไวต่อเซลล์รับแสงรูปแท่ง (rod) รูปกรวย (cone) และ ipRGCs (De Kort, 2019)

2.2.3 ทิศทางของแสงที่เข้าสู่ตา (Directionality)

ทิศทางที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตคือทิศทางในแนวดิ่ง (Vertical Illuminance) เพื่อวัดปริมาณแสงที่เข้าสู่ตาโดยตรงและสำหรับพิจารณาปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่งร่วมกับแนวราบ (Horizontal Illuminance) ที่มีลักษณะแปรผันตรงกัน (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561) ซึ่งการวัดค่าแสงในแนวดิ่งก็ขึ้นอยู่กับทิศทางตำแหน่งการหันหน้าของผู้ใช้งานให้กับช่องเปิดด้วย ถ้าให้หันเข้าหาช่องเปิดจะทำให้ได้รับแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิตมากที่สุด (Konis, 2018)

2.2.4 เวลา (Timing)

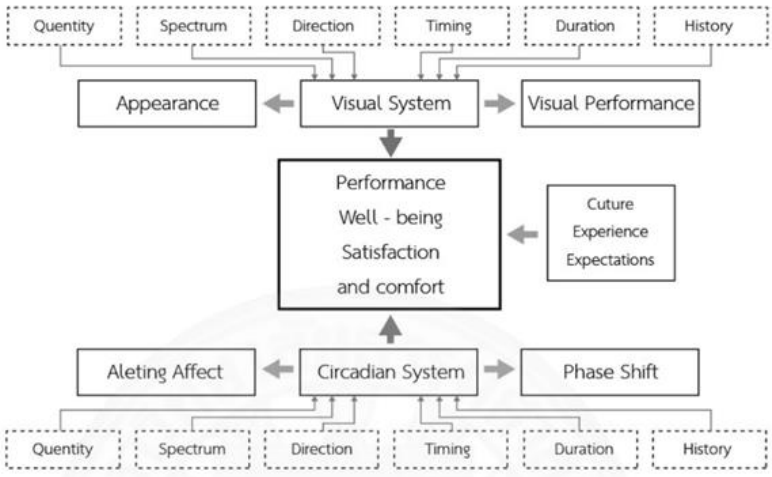
แสงในแต่ละช่วงเวลาใน 24 ชั่วโมง จะให้คุณสมบัติของแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิตแตกต่างกันไปตามแต่ละช่วงเวลาซึ่งการรับแสงในปริมาณที่ไม่เหมาะสมกับแต่ละช่วงเวลาอาจทำให้ระบบการทำงานของร่างกายผิดปกติได้ (Khademagha et al., 2016) โดยแสงในตอนเช้าที่มีความเข้มสูง และเป็นสเปกตรัมแสงสีฟ้า ส่งผลให้ร่างกายตื่นตัวมากกว่าแสงในตอนเย็น ที่มีความเข้มต่ำและเป็นสเปกตรัมแสงสีส้ม (Borisuit, 2013)

2.2.5 ช่วงเวลา (Duration)

ระยะเวลาที่ได้รับแสงมีผลต่อประสิทธิภาพของแสงที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเมลาโนนินขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการได้รับแสง ซึ่งร่างกายควรได้รับแสงที่เหมาะสมต่อเนื่องอย่างน้อย 5 ชั่วโมงจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของร่างกาย (Khademagha et al., 2016)

2.2.6 คุณสมบัติของแสงก่อนหน้านี้ (History)

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของแสงในช่วงเวลาก่อนหน้าการวิเคราะห์ ร่างกายอยู่ในสภาพแวดล้อมการแผ่รังสีของแสงแบบใด ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้การวิเคราะห์ผลมีความละเอียดมากขึ้น



ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบของแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย
(จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561)

นอกจากนี้ในด้านองค์ประกอบของอาคารในลักษณะทางกายภาพที่ส่งผลให้ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต มีหลายองค์ประกอบทั้ง รูปทรงอาคาร ทิศทางการวางอาคาร รูปทรงห้อง ความสูงฝ้าเพดาน ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิด ชนิดกระจก อุปกรณ์บังแดด การจัดวางองค์ประกอบภายในอาคาร สภาพแวดล้อม ตำแหน่งที่วัดแสง (Andersen et al., 2013; Konis, 2017) หรือค่าความสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในพื้นที่ใช้สอย จากการเลือกใช้รูปแบบและวัสดุขององค์ประกอบอาคารทั้งพื้น ผนัง เพดานและพื้นที่โต๊ะทำงาน ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มความส่องสว่างภายในพื้นที่ใช้สอยได้ ดังนั้นค่าความสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในพื้นที่ใช้สอย จึงเป็นปัจจัยหนึ่ง

ที่ส่งผลต่อแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต (Dai et al., 2018; Safranek et al., 2020) รวมถึงประเภทและค่าการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสง มุมมองและทิศทางการนั่งของผู้ใช้อาคาร (Brennan, 2018; จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561)

2.3 ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการให้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร

ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่อาคาร มีหลายองค์ประกอบ ทิศทางการวางอาคาร ขนาดและตำแหน่งทิศทางของช่องเปิดด้านข้าง ประเภทของกระจก อุปกรณ์บังแดด วัสดุภายในอาคาร เป็นต้น

2.3.1 ทิศทางการวางอาคาร

ทิศทางในการวางอาคารเพื่อรับแสงธรรมชาติได้ดีที่สุด คือ วางอาคารหันในทิศเหนือและทิศตะวันออก (กนกกานต์ วังมณี และ ธาริณี รามสูต, 2563)

2.3.2 ชนิด ขนาดและทิศทางของช่องเปิด

ชนิดของช่องเปิดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ช่องเปิดแบบต่อเนื่อง (Strip window) ยาวต่อเนื่องตลอดทั้งผนัง และ ช่องเปิดแบบไม่ต่อเนื่อง (Punched window) มีลักษณะเจาะช่องเปิดเว้นช่องไม่ยาวตลอดทั้งผนัง โดยหน้าต่างชนิดต่อเนื่องจะส่งผลให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกและอัตราส่วนพื้นที่แสงธรรมชาติต่อพื้นที่ห้องมีมากกว่าหน้าต่างแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในเชิงปริมาณมากที่สุด เมื่อช่องเปิดอยู่ทางทิศเหนือ และมีสัดส่วนพื้นที่กระจก 40%-50% โดยส่วนของหน้าต่างต้องสูงกว่าระดับอ้างอิงซึ่งสูงจากระดับพื้น 0.75 เมตร และส่วนที่ต่ำกว่าระดับอ้างอิงนั้นไม่จำเป็นต้องมีหน้าต่าง เนื่องจากไม่สามารถทำให้ปริมาณแสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกขึ้น (พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ, 2543)

ขนาดของชองเปิดสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ ควรมีขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ร้อยละ 20-40 ขึ้นอยู่กับทิศและประเภทของกระจก (เกษียร ธรานนท์, 2551) และทิศทางของช่องเปิดด้านข้าง มีความสัมพันธ์กับทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยทิศที่มีความส่องสว่างสูงที่สุด คือ ทิศตะวันออกที่เวลา 10:00 น. ทิศตะวันตกที่เวลา 15:00 น. ทิศใต้ที่เวลา 12.00 น. และทิศเหนือที่เวลา 10.00 น. ตามลำดับ (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561)

2.3.3 ประเภทของกระจก

คุณสมบัติของกระจกที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่าง ได้แก่ ค่าการส่งผ่านของแสง หรือ Visible Light Transmittance (VLT) กระจกที่มีค่าการส่งผ่านแสงสูง เช่น กระจกใสจะให้แสงธรรมชาติที่เพียงพอแต่อาจเกิดปัญหาแสงจ้าได้ ค่าการสะท้อนแสง หรือ Visible Reflectance กระจกที่สะท้อนแสงมากจะทำให้การส่งผ่านแสงลดลง และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ หรือ Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) (พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ, 2543)

ดังนั้นการเลือกใช้ประเภทกระจกที่ทำให้ได้รับแสงธรรมชาติที่ดี ควรใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านของแสง (VLT) กับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) สูง (เกษียร ธรานนท์,

2551) เนื่องจากควรให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มากแต่ความร้อนเข้ามาได้น้อย เช่น กระจกฮีตสต๊อป กระจกสี (เศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์, 2545)

2.3.4 อุปกรณ์บังแดด

การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดเป็นปัจจัยที่ทำให้แสงธรรมชาติที่เข้ามาได้น้อยลง จึงไม่ควรใช้แผงบังแดดหรือกันสาดที่เป็นคอนกรีตทึบ ควรใช้เป็นวัสดุโปร่งแสงเพื่อให้แสงธรรมชาติเข้าได้ เช่น ไฟเบอร์กลาส หรือกระจก เป็นต้น ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการลดการเกิดแสงจ้า เพื่อให้ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อสภาวะสบายตา

2.3.5 วัสดุภายในอาคาร

ลักษณะของพื้นผิววัสดุภายในอาคาร เช่นการสะท้อนแสง และลักษณะทางกายภายของวัสดุ ทั้งพื้นผิวพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน สามารถเพิ่มปริมาณแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคารได้ โดยฝ้าเพดานชนิดโค้งและสามเหลี่ยมสามารถกระจายแสงได้ดีที่สุด ชนิดเรียบกระจายแสงได้ดีปานกลาง (Lam, 1986) แต่ถ้าใช้ลักษณะฝ้าเพดานท้องเรียบร่วมกับใช้ผนังภายในเป็นแบบทึบผสมโปร่ง สามารถให้ปริมาณแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุด (บริรักษ์ อินทรกุลไชย, 2562) หรือการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกร่วม เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้ โดยการใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกจะต้องให้ได้รับแสงโดยตรงและมีประสิทธิภาพเมื่อทำงานกับฝ้าเพดานชนิดเรียบ (กนกกานต์ วังมณี และ ธาริณี รามสูต, 2563)

ภาพที่ 2.7 ลักษณะของฝ้าเพดานรูปแบบต่างๆ
(กนกกานต์ วังมณี และ ธาริณี รามสูต, 2563)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยทั้งหมดเป็นการเพิ่มการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารเพื่อให้ได้แสงสว่างที่เหมาะต่อการทำกิจกรรม ซึ่งสามารถวัดผลได้ตามเกณฑ์ sDA (Spatial Daylight Autonomy) เช่น sDA300/50% เท่ากับ 55 หมายความว่า ร้อยละ 55 ของพื้นที่ใช้งานประจำจะต้องได้รับแสงธรรมชาติที่มีความสว่าง 300 ลักซ์ อย่างน้อยร้อยละ 50 ของเวลาทำงานทั้งปี (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2563) ดังนั้น องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมทั้ง สัดส่วนและรูปทรงของอาคาร ขนาดและทิศทางของช่องเปิดด้านข้าง ลักษณะของพื้นผิวภายในอาคารทั้งพื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และการเลือกใช้กระจก ส่งผลต่อการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่อาคาร ซึ่งองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติมากที่สุด คือ ขนาดและทิศทางของช่องเปิดด้านข้าง (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561)

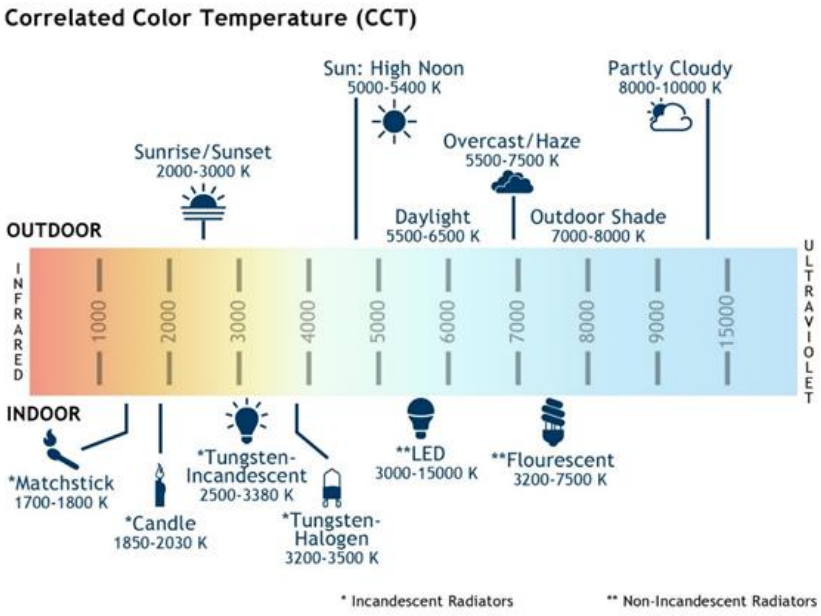
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์

การออกแบบแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ เพื่อให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ ประเภทของหลอดไฟ และลักษณะของดวงโคมไฟ

2.4.1 ประเภทของหลอดไฟ

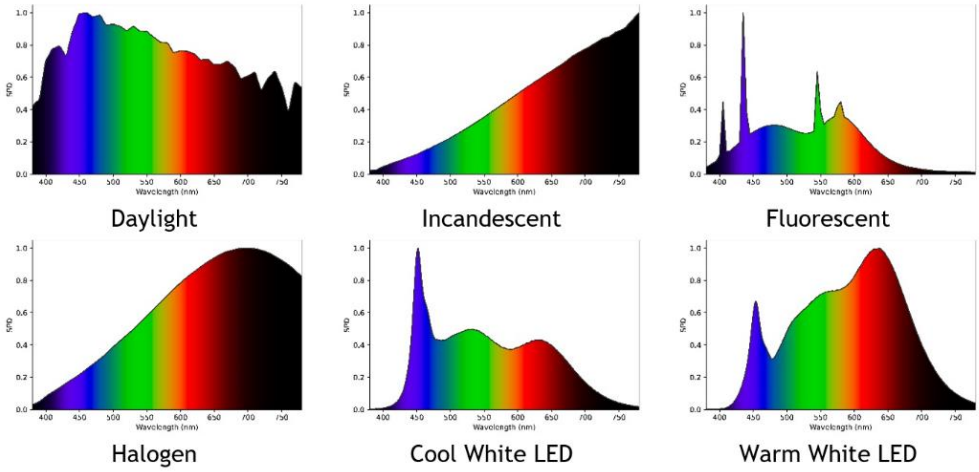
การเลือกใช้หลอดไฟจะต้องคำนึงถึง ประเภทของหลอดไฟ ปริมาณแสงสว่าง (Lumen) และอุณหภูมิสีสัมพันธ์ หรือ Correlated Color Temperature (CCT) และค่าการกระจายตัวของพลังงานสเปกตรัมแสง หรือ Spectral Power Distribution (SPD)

โดยอุณหภูมิสีสัมพันธ์หรือ Correlated Color Temperature (CCT) คือ ลักษณะของสีของแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง โดยหน่วยวัดเป็น เคลวิน (K) ซึ่งค่า CCT สำหรับแสงเป็นการวัดลักษณะสีของแสงที่แบ่งเป็น แสงโทนอุ่น จะมีค่า CCT ที่ต่ำกว่า 3300K แสงโทนปานกลาง มีค่า CCT อยู่ระหว่าง 3300K ถึง 5300K และแสงโทนเย็น มีค่า CCT สูงกว่า 5300K (CIBSE, 2019; สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2559) ซึ่งหลอดไฟแต่ละประเภทมีคุณสมบัติของค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณสารฟอสเฟต โดยจะส่งผลต่อค่าการกระจายตัวของพลังงานสเปกตรัมแสง (SPD) ดังภาพที่ 2.9 ค่าอุณหภูมิสีของแสงที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่และกิจกรรมของผู้ใช้งาน (Park et al., 2010) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Kocaoğlu (2015) ได้เปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของแสงที่แตกต่างกัน คือ 4000K และ 6500K กับนักศึกษามกาวิทยาลัย พบว่า ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ที่ 6500K นั้นส่งผลต่ออารมณ์และการตื่นตัวของร่างกายที่ดีมากกว่า แสงที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ 4000K



ภาพที่ 2.8 ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภท

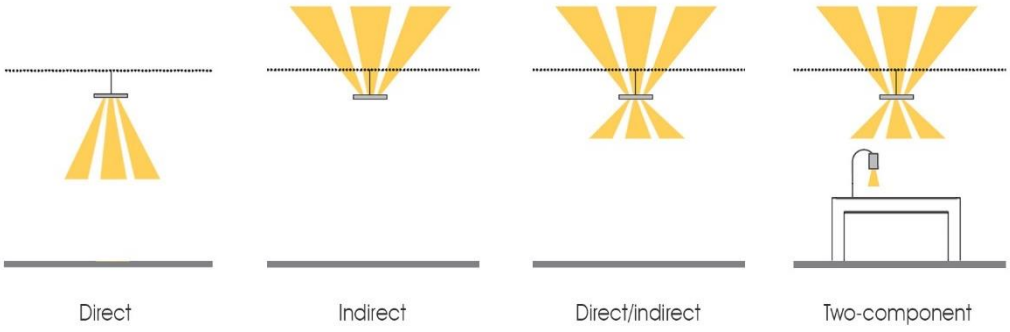
(Lai, 2022)



ภาพที่ 2.9 การกระจายตัวของพลังงานสเปกตรัมแสง (SPD) ของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภท (Lai, 2022)

2.4.2 ลักษณะของดวงโคม

ดวงโคม (Luminaires) คือ อุปกรณ์ที่ควบคุมทิศทางการกระจายแสงสว่างของหลอดไฟ โดยทิศทางการให้ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์สามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะ จากการอ้างอิงโดย Derungs Light AG (2015) แบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ประกอบด้วย Direct lighting, Indirect lighting, Direct/Indirect lighting และ Twin-component lighting ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่เหมือนและแตกต่างกัน ดังเปรียบเทียบในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.10 ประเภททิศทางการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของทิศทางการให้ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์แต่ละประเภท

	ข้อดี	ข้อเสีย
Direct lighting	1. ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	1. เกิดสภาวะแสงจ้า และเกิดเงา 2. เกิดการสะท้อนแสงต่อพื้นผิวพื้นอาคาร 3. ห้องดูมืดและอึดอัด 4. สภาวะแสงจ้าที่ไม่เหมาะสมสำหรับอิริยาบทการนอน
Indirect lighting	1. ควบคุมปริมาณแสงจ้าได้ดี 2. เกิดการสะท้อนน้อย 3. เกิดเงาได้ยาก	1. ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ 2. การกระจายแสงโดยรอบมีความแตกต่างกันมากทำให้เกิดแสงที่เบลอ ไม่ชัดเจน
Direct/Indirect lighting	1. ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 2. ลดการเกิดสภาวะแสงจ้าและการเกิดเงา 3. เกิดการสะท้อนแสงน้อย 4. ห้องค่อนข้างสว่าง	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลรักษาสูง
Twin-component lighting)	1. ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 2. ลดการเกิดสภาวะแสงจ้าและการเกิดเงา 3. เกิดการสะท้อนแสงน้อย 4. ห้องค่อนข้างสว่างเมื่อใช้พร้อมกันทุกอุปกรณ์	ค่าใช้จ่ายสูงสำหรับอุปกรณ์ที่หลากหลาย

โดยดวงโคมที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสำนักงาน คือดวงโคมฟลูออเรสเซนต์แบบตะแกรง (Louver luminaire) ซึ่งมีคุณสมบัติการกระจายแสงที่ดีคือสามารถควบคุมการกระจายแสงให้กว้างและอสมมาตรได้ และสามารถลดแสงจ้าที่ทำให้สภาวะไม่สบายตาลงได้ มีทั้งแบบฝังผ้าและติดลอย (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2547)

ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ ประกอบด้วย ประเภทของหลอดไฟซึ่งประกอบด้วยค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) ค่าความสว่าง (Luminance) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous intensity) และค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ ของหลอดไฟที่แตกต่างกันไปในแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังรวมถึงประเภทดวงโคม ทิศทางการให้ความส่องสว่างของดวงโคม ลักษณะการติดตั้งดวงโคม ระดับความสูงของฝ้าเพดาน ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว เป็นต้น และการเพิ่มหรือลดจำนวนดวงโคม ก็ทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยเช่นกันซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร รวมถึงค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์การติดตั้ง (อรจิรา นพพรมงคล, 2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร

องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย 3 กลุ่ม ได้แก่ สภาพแวดล้อมของอาคาร ลักษณะทางสถาปัตยกรรม และระบบประกอบอาคารและอุปกรณ์ไฟฟ้า (นราธิป ทับทัน, 2552) ซึ่งเมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องลักษณะสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบทาง

สถาปัตยกรรมที่ส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร เนื่องจาก การนำแสงธรรมชาติเข้ามาเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็น ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยประกอบไปด้วย รูปทรงของอาคาร ทิศทางของช่องเปิด ตำแหน่งแกนอาคาร การเลือกใช้รูปแบบเปลือกอาคาร ประเภทกระจก และอุปกรณ์การบังแดด

2.5.1 รูปทรงของอาคาร

รูปทรงและทิศทางการวางอาคาร ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการพิจารณาการออกแบบอาคาร จึงควรพิจารณาให้เหมาะสมกับภูมิอากาศท้องถิ่นเพื่อให้อาคารมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (อุโรชา เจียรนัยพาณิชย์, 2555) สำหรับรูปทรงอาคารที่เหมาะสมสำหรับในการเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานหรือสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ รูปทรงที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดและมีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด นอกจากนี้รูปทรงที่เกิดการรั่วซึมของอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารเพิ่มขึ้น โดยรูปทรงที่มีการรั่วซึมมากที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวปะทะลม รองลงมาเป็น รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปทรงกระบอก (การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548; รวิช ควรประเสริฐ, 2550)

2.5.2 ขนาดและทิศทางของช่องเปิด

การออกแบบทิศทางของช่องเปิด ทิศทางที่ควรหลีกเลี่ยงการเปิดช่องเปิดในด้านทิศตะวันออกในช่วงเช้า และทิศตะวันตกในช่วงบ่าย เพื่อลดการนำเอาความร้อนจากแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยตรง ซึ่งทิศตะวันตกเป็นทิศที่มีการประหยัดพลังงานต่ำสุด เนื่องจากรับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด (สุมาวลี จินดาพล, 2551)

โดยการหันช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ในกรณีที่ใช้รูปแบบเปลือกอาคารที่มีสัดส่วนของช่องเปิด WWR 60% สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับทิศทางทิศอื่นๆ (รุจิเรจ อินทรเนตร, 2554) สำหรับงานวิจัยของ พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ (2543) พบว่า กรณีใช้ลักษณะช่องเปิดต่อเนื่องกัน จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อสัดส่วน WWR 40%-50% โดยสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น 10% จะทำให้ภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 16%-25% ในทิศเหนือและใต้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5.3 ตำแหน่งแกนอาคาร

การวางตำแหน่งแกนอาคารให้อาคารสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรจัดส่วนแกนบริการของอาคารที่เหมาะสมกับกิจกรรมของผู้ใช้สอยภายในอาคารนั้นๆ โดยการวางแกนบริการไว้กลางอาคารเป็นรูปแบบที่ทำให้มีพื้นที่ช่องเปิดมากที่สุด จึงส่งผลต่อการใช้พลังงานอาคารมากที่สุดด้วย

2.5.4 เปลือกอาคาร

เปลือกอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยปกป้องอาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอกทั้งจากความร้อนและความชื้นซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร โดยเปลือกผนังอาคารมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ เช่น Precast Concrete Cladding, Curtain Wall, Glass Fiber Reinforced Cement Cladding, Glass Reinforced Polyester Cladding, Profile Metal Cladding และ Sheet Metal Cladding Panel โดยในประเทศไทยนิยมใช้ระบบผนัง Curtain Wall และ Precast Concrete Cladding (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)

2.5.5 ประเภทกระจก

การเลือกใช้กระจกเป็นเปลือกผนังของอาคารในอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ เป็นการเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร จากการศึกษาของ การุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548) พบว่า เปลือกผนังอาคารที่เป็นกระจกเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศมากที่สุด เมื่อพิจารณาการเลือกใช้ชนิดกระจกจากกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผงบังแดด พบว่า กระจกที่เหมาะสมทั้งด้านการอนุรักษ์พลังงานอาคารและมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีความเป็นไปในทางปฏิบัติจริง คือ กระจกลามิเนตอินซูเลตสีเขียวเคลือบสาร Low-E ใส่ก๊าซอาร์กอน สำหรับอาคารสำนักงานสูง 30 ชั้น พื้นที่ใช้สอยต่อชั้นประมาณ 1,000 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนช่องเปิด WWR มากกว่าร้อยละ 40 (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)

ดังนั้นการเลือกใช้ประเภทกระจก นอกจากใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านของแสง (VLT) กับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) สูง ที่ทำให้ได้รับแสงธรรมชาติที่ดีแล้ว การใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ต่ำ (เกษียร ธรานนท์, 2551) ก็จะช่วยให้ลดความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติได้และสามารถลดการใช้พลังงานลงได้

2.5.6 อุปกรณ์การบังแดด

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน อุปกรณ์บังแดดจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการออกแบบอาคารให้สามารถลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาสู่อาคารซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์การบังแดด เป็นการป้องกันและลดผลกระทบจากแสงแดดและความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ อุปกรณ์การบังแดดประกอบไปด้วย 2 ลักษณะ คือ แผงบังแดดภายนอกอาคาร ม่านบังแดดภายในอาคาร (อุโรชา เจียรนัยพาณิชย์, 2555)

สำหรับองค์ประกอบของอาคารเช่น ขนาดและทิศทางช่องเปิด อุปกรณ์การบังแดด ตำแหน่งแกนอาคาร รวมไปถึงการเลือกใช้ชนิดกระจก นอกจากจะส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารแล้ว ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารด้วย การนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานทั้งพลังงานไฟฟ้าจากระบบทำความเย็นและระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้ พร้อมทั้งใช้องค์ประกอบอาคารอย่างแผงบังแดด หรือใช้ประเภทกระจกที่มีเหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมและยังสามารถลดการใช้พลังงานได้ (Ahmad & Reffat, 2018) จึงควรพิจารณาเรื่องการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่อาคารควบคู่กับการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกอาคารต้นแบบและเสนอแนวทางในการประหยัดพลังงานอาคารต่อไป

นอกจากนี้ในด้านการปรับปรุงแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ โดยการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟจากฟลูออเรสเซนส์เป็นหลอดประหยัดพลังงานชนิด LED สามาถลดการใช้พลังงานลงจากเดิม 58% (สันติภาพ กั้วพรหม, 2562) และการศึกษาของ อรจิรา นพพรมงคล (2556) พบว่าการใช้หลอด LED ในดวงโคมสำหรับ 1 หลอดการจัดวางผังดวงโคมแบบสลับหรือต่อเนื่อง ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่ 3 วัตต์ต่อตารางเมตร และการใช้ดวงโคมแบบกระจายแสงขึ้น

ด้านบนและลงด้านล่างสำหรับหลอดยาว 120 เซนติเมตร 2 หลอดสามารถประหยัดพลังงาน 30-45% นอกจากนี้ยังให้ความสว่างที่สม่ำเสมอและความสบายตา

2.6 แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่างสำหรับ Circadian Rhythm

มีหลายหน่วยงานที่พัฒนาแนวทางการประเมินหรือเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารทั้ง เกณฑ์ LEED , WELL Building Standard, Lighting Research Center (LRC), DIN Standard, BREEAM รวมถึงสถาบันอาคารเขียวไทย (TGBI) ในข้อกำหนดมาตรฐาน TREES

งานวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องกับแสงสว่างที่คำนึงถึงความเป็นอยู่ที่ดีและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพทั้งแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ จึงมุ่งเน้นศึกษาที่ WELL Building Standard v.2 หัวข้อ L03 Circadian Lighting ใช้หน่วยวัดผล Equivalent Melanopic Lux (EML) โดยมีรายละเอียดข้อกำหนด ในทางเลือก 1 ประเมินเฉพาะปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ เสนอให้มีปริมาณ EML 150 EML สำหรับทำคะแนน 2 คะแนน และอย่างน้อย 275 EML สำหรับทำคะแนน 4 คะแนน หรือในทางเลือกที่ 2 ประเมินปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ โดยจะต้องผ่านข้อกำหนด L05 daylight design strategies Part 1 หรือ L06 daylight simulation Part 1 ก่อน และให้มีปริมาณ EML อย่างน้อย 120 EML สำหรับทำคะแนน 2 คะแนน และอย่างน้อย 180 EML สำหรับทำคะแนน 4 คะแนน ซึ่งกำหนดให้บันทึกข้อมูลที่ความสูง 1.2 เมตร จากระดับพื้น (18 นิ้วจากระนาบโต๊ะ) ถึงระดับสายตา ขณะนั่งเก้าอี้ เพื่อให้ได้ค่าทิศทางของแสงที่เข้าสู่ตาในแนวดิ่ง (vertical Illuminance) และเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9:00 – 13:00 น. เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง (IWBI, 2022)

ซึ่งเกณฑ์แสงธรรมชาติที่จะนำมาประเมินร่วมในงานวิจัยนี้ คือ L06 daylight simulation Part 1 โดยมีข้อกำหนด ให้มีค่า $sDA_{300/50\%}$ > 55% ของพื้นที่ สำหรับทำคะแนน 2 คะแนน หรือ $sDA_{300/50\%}$ > 75% สำหรับทำคะแนน 3 คะแนน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

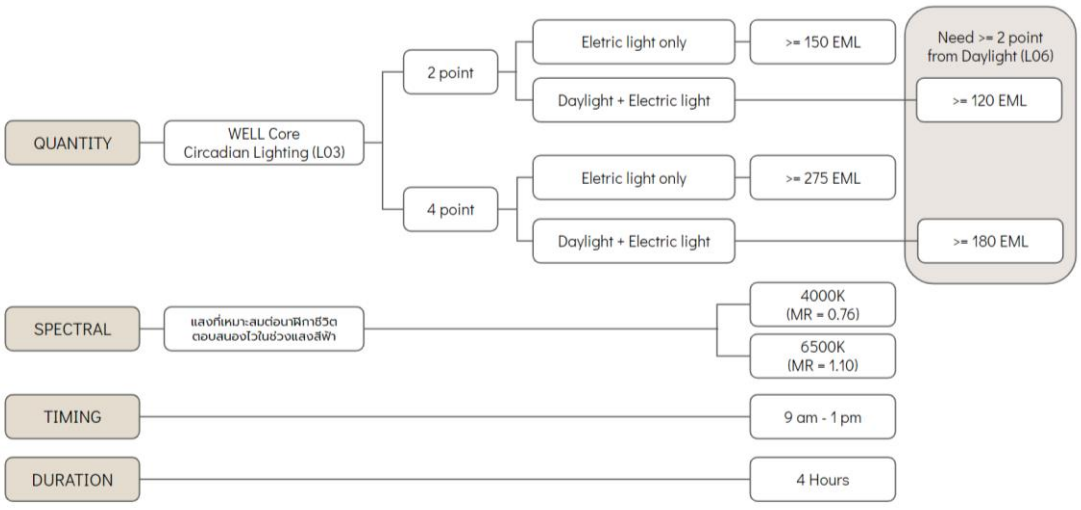
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดระดับคะแนนของเกณฑ์การประเมิน Circadian Lighting (L03)
(IWBI, 2022)

L03 : Circadian Lighting Design (สูงสุด 4 คะแนน)			
พิจารณาเพียงไฟฟ้าแสงสว่าง		**พิจารณาไฟฟ้าแสงสว่างและแสงธรรมชาติ**	**คะแนน**
อย่างน้อย 150 EML [136 M-EDI(D65)]	หรือ	อย่างน้อย 120 EML [109 M-EDI(D65)] และผ่านเกณฑ์หัวข้อ L05 Part 1 หรือหัวข้อ L06 Part 1	2
อย่างน้อย 275 EML [250 lux M- EDI(D65)][11]	หรือ	อย่างน้อย 180 EML [163 M-EDI(D65)] และผ่านเกณฑ์หัวข้อ L05 Part 1 หรือ L06 Part 1	4

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดระดับคะแนนของเกณฑ์การประเมิน Daylighting Simulation (L06) (IWBI, 2022)

L06 : Daylight Simulation (สูงสุด 3 คะแนน)			
คำนวณโดยใช้ IES LM-83-12		**คำนวณโดยใช้ Annex A ของ CEN 17037:2018**	**คะแนน**
ค่าเฉลี่ย $sDA_{300/50\%}$ ต้องผ่าน > 55% ของพื้นที่ใช้งานประจำ	หรือ	ความส่องสว่าง 300 ลักซ์ (28 fc) ต้องได้รับ >50% ของพื้นที่แต่ละหน่วย ตลอด 50% ของช่วงเวลาทำงานตลอดปี	2
ค่าเฉลี่ย $sDA_{300/50\%}$ ต้องผ่าน > 75% ของพื้นที่ใช้งานประจำ	หรือ	ความส่องสว่าง 300 ลักซ์ (28 fc) ต้องได้รับ >50% ของพื้นที่แต่ละหน่วย และค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 100 ลักซ์ (9 fc) ต้องได้รับ >95% ของพื้นที่แต่ละหน่วยตลอด 50% ของช่วงเวลาทำงานตลอดปี	3

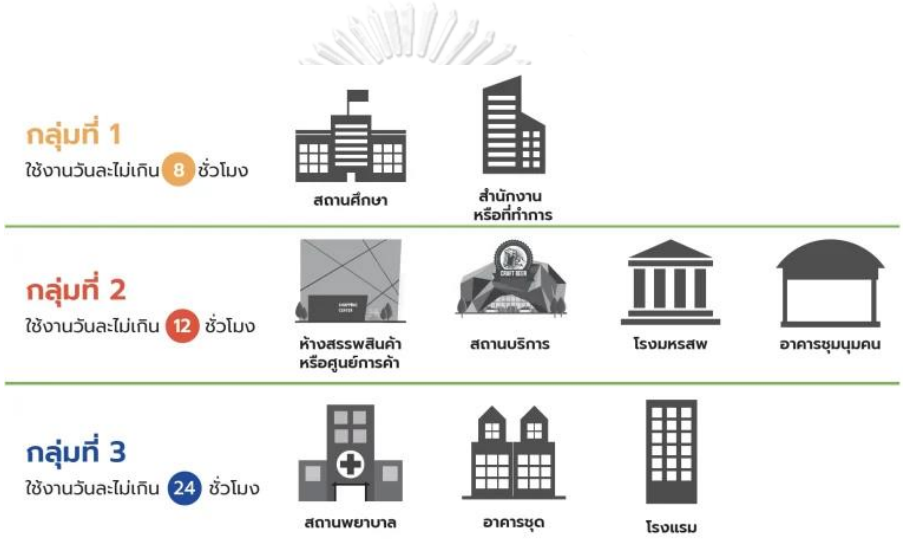
จากเกณฑ์การประเมิน Circadian Lighting ของ WELL Building Standard มีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ดังแผนภาพที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต คือ ปริมาณความส่องสว่าง ตามเกณฑ์ WELL ต้องการปริมาณแสงที่ได้ EML ขั้นต่ำ 120 และ 150 EML เพื่อทำ 2 คะแนน และ EML ขั้นต่ำ 180 และ 275 EML เพื่อทำ 4 คะแนน ต่อมาสเปกตรัมการตอบสนองของแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตนั้นไวต่อแสงในช่วงแสงสีฟ้า โดยยกตัวอย่างค่า CCT เท่ากับ 4000K กับ 6500K และสำหรับเวลา และช่วงเวลาตามข้อกำหนดของเกณฑ์ Circadian Lighting กำหนดให้เก็บข้อมูลในเวลา 9:00 ถึง 13:00 ซึ่งเท่ากับช่วงเวลา 4 ชั่วโมง



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของเกณฑ์การประเมิน Circadian Lighting ของ WELL Building Standard กับองค์ประกอบของแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต

2.7 เกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบแสงสว่างและอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย

เกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบแสงสว่างและการใช้พลังงานอาคารในประเทศไทย ตามกฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2563 คือ เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอาคาร หรือ Building Energy Code (BEC) โดยกระทรวงพลังงาน และ ได้จำแนกข้อกำหนดตามกลุ่มประเภทอาคาร ซึ่งอาคารสำนักงานจัดเป็นกลุ่มที่ 1 ใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2.12 โดยกำหนดค่าติดตั้งพลังงานไฟฟ้าหรือ Lighting Power Density (LPD) ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 วัตต์ต่อตารางเมตร และนอกจากนี้ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้กำหนดค่าความเข้มของแสงสว่างในแต่ละพื้นที่การใช้งานแบ่งออกเป็นพื้นที่ 14 ประเภท สำหรับบริเวณพื้นที่ทำงานในประเภทอาคารสำนักงาน กำหนดให้มีค่าตวามเข้มของแสงสว่างอย่างน้อย 300 ลักซ์



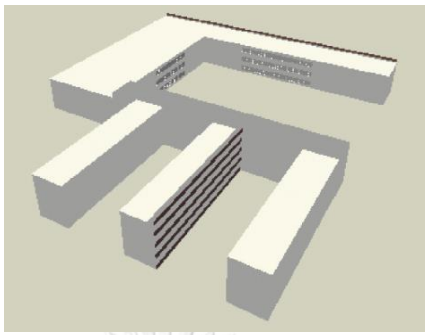
ภาพที่ 2.12 กลุ่มประเภทอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงที่อยู่ในขอบเขตการบังคับใช้กฎหมาย (กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2565)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

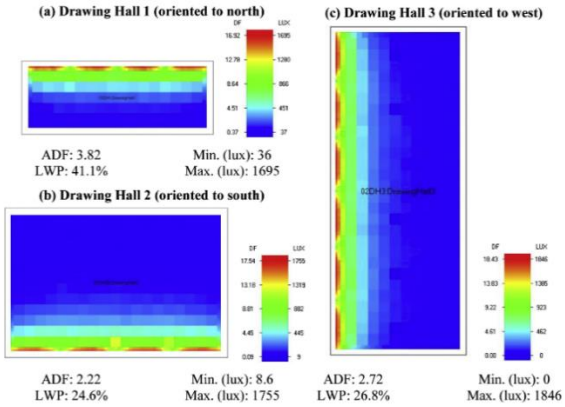
2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองแสงสว่างและการใช้พลังงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการทำการจำลองอาคารกรณีศึกษาและคำนวณผล สำหรับการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับแสงธรรมชาติ ที่ศึกษาโดยใช้การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบโปรแกรมที่ใช้ เช่น MatLab Ecotect DIALux VeLux Daysim DOE2 DesignBuilder และ Ladybug & Honeybee เช่นงานวิจัยของ Samaan et al. (2016) ใช้โปรแกรม DesignBuilder ร่วมกับ EnergyPlus และ Radiance engines ในการจำลองอาคารกรณีศึกษา คำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร พร้อมกับคำนวณการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ดังนั้นโปรแกรม DesignBuilder สามารถจำลองได้ทั้งปริมาณแสงธรรมชาติ และการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งใช้ EnergyPlus ในการคำนวณและแสดงผลการใช้พลังงาน สำหรับโปรแกรมอื่นๆอย่างเช่น DIALux เป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณได้ทั้งปริมาณแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ รวมถึงวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อปีจากไฟฟ้าแสงสว่าง และการประหยัด

พลังงานจากแสงแดด เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยที่โปรแกรมสามารถดาวน์โหลดวัตถุ 3 มิติ เช่น ดวงโคม และปรับเปลี่ยนขนาดของดวงโคมได้ตามที่ต้องการ (Ahmad et al., 2020)



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการแสดงผลในการสร้างหุ่นจำลอง จากโปรแกรม DesignBuilder
(Samaan et al., 2016)

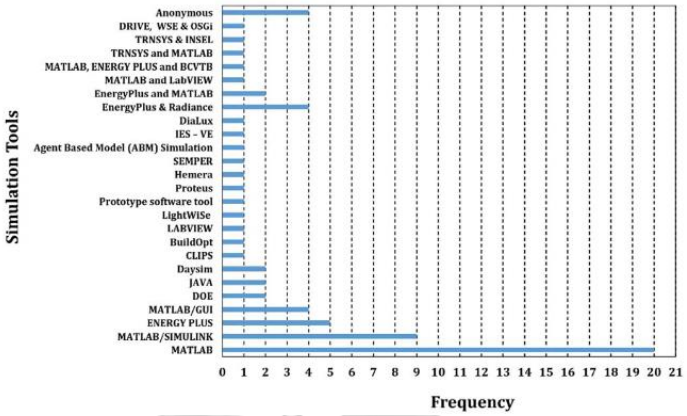


ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการแสดงผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติจากโปรแกรม DesignBuilder และ Radiance engines
(Samaan et al., 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับการคำนวณปริมาณความส่องสว่างแสงประดิษฐ์ และการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง โดยงานวิจัยของ Baloch et al. (2018) ได้รวบรวมงานวิจัยทั้งหมด 70 งานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001-2017 ที่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติ พบว่า มีจำนวนโปรแกรมที่สามารถจำลองปริมาณแสงธรรมชาติทั้งหมด 26 โปรแกรม ดังภาพที่ 2.8 โดยโปรแกรมที่มีใช้งานมากที่สุด คือ MATLAB MATLAB/SIMULINK และ EnergyPlus สำหรับโปรแกรมอื่นๆที่มีการใช้งานด้วย เช่น DOE JAVA Daysim Dialax IES-VE เป็นต้น ยกตัวอย่างโปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองได้ทั้งกำหนดลักษณะผังของอาคาร ปริมาณแสงธรรมชาติ ความสว่างภายในอาคาร การใช้พลังงาน รวมถึงประมาณค่าใช้จ่ายของโครงการ สำหรับโปรแกรม Daysim สามารถวิเคราะห์ปริมาณภายในอาคารซึ่งส่วนใหญ่จะใช้กับแสงธรรมชาติ รวมถึงการคำนวณพลังงาน วิเคราะห์การประหยัด

พลังงานและการใช้แสงสว่างเหมาะสมในสภาวะที่สบายตาแก่ผู้ใช้งานอาคาร และยังสามารถนำไปใช้เพื่อการคำนวณหา Circadian Stimulus จากการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่างๆภายในอาคาร



ภาพที่ 2.15 จำนวนงานวิจัยที่เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองแสงประดิษฐ์ แต่ละโปรแกรม (Baloch et al., 2018)

2.9 แนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน

แสงธรรมชาติของประเทศไทย มีศักยภาพในการสร้างแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวภาพได้เป็นอย่างดีแต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าความส่องสว่างในแนวราบพบว่ามีโอกาสที่จะมีค่าความส่องสว่างที่สูง ในบริเวณริมช่องเปิด ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สบายทางการมองแก่ผู้ใช้อาคารได้ (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2565)

โดยแนวทางในการออกแบบแสงสว่างให้มีปริมาณแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตตามความต้องการในการใช้งานแต่ละช่วงเวลาของวัน องค์ประกอบอาคารที่ทำให้ได้รับแสงที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต ประกอบด้วย 1) ต้องมี WWR อย่างน้อย 60% 2) ทิศทางการนั่งของผู้ใช้งานอาคารต้องหันหน้าเข้าช่องเปิด 3) จัดผังดวงโคมแบ่งเป็นพื้นที่ High Circadian Potential (HCP) โดยวางผังดวงโคมขั้นต่ำ 300 ลักซ์ และ พื้นที่ส่วน Biological Darkness (BD) จัดวางผังดวงโคมตามปริมาณ CS และ 4) มีค่าความส่องสว่างในแนวราบขั้นต่ำ คือ 605 450 405 และ 370 ลักซ์ ทั่วทุกพื้นที่สำหรับสำนักงานที่มี WWR ร้อยละ 20 40 60 และ 80 ตามลำดับ (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561) เมื่อพิจารณาจากค่า CS แต่สำหรับเกณฑ์การประเมิน EML ตาม WELL Building Standard จะต้องทำให้มีความส่องสว่างเฉลี่ยในแนวราบอย่างน้อย 772 และ 1197 ลักซ์ ตลอดทั้งวัน เพื่อให้ทุกพื้นที่มีปริมาณ EML อย่างน้อย 150 EML สำหรับการทำคะแนน 1 คะแนน และ 240 EML สำหรับการทำคะแนน 3 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วยจะทำให้มีพื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ และเกิดความเหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตมากขึ้น (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2564)

จากแนวทางในการออกแบบแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตขององค์กร LUMITECH & KITEO (2019) ใช้เกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน DIN standard ซึ่งกำหนดให้ค่า EML ต้องมากกว่า 240 EML จึงจะเหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ซึ่งพบว่า ต้องใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT มากกว่า 4000K ที่เป็นมาตรฐานค่าอุณหภูมิสีของแสงสำหรับ

พื้นที่ทำงานในสำนักงาน เช่น CCT ที่ 5500K สามารถทำให้ได้ค่า EML เท่ากับ 284 EML โดยต้องมีค่าความส่องสว่างในแนวราบอย่างน้อย 755 ลักซ์ ในระดับพื้นทีทำงานหรือสูงจากพื้น 0.75 เมตร

จากงานวิจัยของ Paul Littlefair & Cosmin Ticleanu (2019) ให้แนวทางการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต โดยประเมินค่า EML ตามเกณฑ์ WELL Building Standard ของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ประเภทต่างๆทีมีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งหลอดไฟชนิด LED ที่มีค่า CCT 4000K ต้องได้ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่งอย่างน้อย 198 ลักซ์ เพื่อให้ได้ปริมาณ EML อย่างน้อย 150 EML

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่งสำหรับ 240 200 และ 150 EML สำหรับแสงประดิษฐ์ประเภทต่างๆทีมีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์แตกต่างกัน
(Paul Littlefair & Cosmin Ticleanu, 2019)

Light Source	CCT	Vertical Visual Lux For 240 EML	Vertical Visual Lux For 200 EML	Vertical Visual Lux For 150 EML
Fluorescent	3000K	533 lux	444 lux	333 lux
Fluorescent	4000K	414 lux	345 lux	258 lux
LED	4000K	316 lux	263 lux	198 lux
Fluorescent	6500K	235 lux	196 lux	147 lux
Daylight D65	6500K	218 lux	182 lux	136 lux

ซึ่งสำหรับแสงธรรมชาติในประเทศไทยนั้นมีศักยภาพในการสร้างแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตได้เป็นอย่างดี แต่มีโอกาสที่จะมีค่าความส่องสว่างที่สูงบริเวณริมช่องเปิด ซึ่งอาจทำให้เกิดไม่ไม่สบายตาแก่ผู้ใช้งานอาคารได้ (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, 2565) และการออกแบบแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตตามเกณฑ์นั้น จะส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารเพิ่มขึ้น 57% (Zeng et al., 2021)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการทบทวนวรรณกรรม เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 9 หัวข้อ การศึกษาการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต สำหรับในต่างประเทศนั้นมีการศึกษามาระยะหนึ่งแล้ว รวมถึงมีการกำหนดเกณฑ์การออกแบบแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต หรือ Circadian Lighting ขึ้นอย่างชัดเจน เช่น เกณฑ์ WELL Building Standard ของสถาบัน International WELL Building Institute (IWBI) แต่สำหรับในประเทศไทยการศึกษาเรื่องแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตยังเป็นเรื่องใหม่และมีงานวิจัยค่อนข้างน้อย ซึ่งทั้งงานวิจัยของต่างประเทศและในประเทศไทย พบเพียงการศึกษาผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์เท่านั้น ซึ่งทำให้เห็นช่องว่างในงานวิจัย ในเรื่องการศึกษาผลกระทบของแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิต ต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ทั้งพลังงานจากระบบปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง งานวิจัยนี้จึงมุ้งเน้นศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้หรือช่วยประกอบการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงจำลอง (Simulation research) มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานอาคารประเภทสำนักงานในประเทศไทย โดยกำหนดรูปทรงอาคาร ตำแหน่งแกนบริการ ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อเปลือกอาคาร (WWR) และประเภทกระจก แต่ละรูปแบบที่ใกล้เคียงกับอาคารสำนักงานในปัจจุบัน เพื่อให้ทราบปริมาณแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร กำหนดประเภทและอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของดวงโคมและการจัดวางผังดวงโคม เพื่อให้ทราบปริมาณแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและทดแทนในกรณีแสงธรรมชาติที่ไม่เพียงพอ รวมถึงนำไปคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารแต่ละกรณี เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของการออกแบบแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานอาคาร โดยมีขั้นตอนรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม เพื่อทำความเข้าใจทฤษฎีและปัจจัยเกี่ยวกับแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ศึกษาเกณฑ์และมาตรฐานการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารของทั้งในประเทศไทยและมาตรฐานสากล เพื่อให้ทราบถึงข้อกำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำในการจำลองการออกแบบแสงสว่าง รวมถึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เห็นพัฒนาการของงานวิจัยเกี่ยวกับแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต

3.2 การกำหนดลักษณะของแบบจำลองอาคารต้นแบบ

การกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base case building) เพื่อนำไปหาปริมาณความส่องสว่างจากทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นำไปสู่การคำนวณหาค่า EML และปริมาณการใช้พลังงานอาคาร และเปรียบเทียบกับอาคารกรณีอื่นๆ ได้พิจารณาจากรูปแบบและลักษณะอาคารสำนักงานในปัจจุบัน โดยการเก็บข้อมูล อาคารสำนักงาน เกรด เอ ในกรุงเทพมหานคร ที่สร้างในปี ค.ศ. 2014-2022 โดยมีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1 ขนาดและลักษณะรูปแบบของแบบจำลอง

จากการสำรวจการเก็บข้อมูล อาคารสำนักงานเกรด เอ ขนาดใหญ่ที่มีความสูงมากกว่า 23 เมตร และมีพื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร ในกรุงเทพมหานคร ที่สร้างในปี ค.ศ. 2014-2022 จำนวน 25 อาคาร ดังตารางที่ 3.1 มีลักษณะผังพื้นแบบเปิด (Open plan) เพราะการใช้แสงธรรมชาติให้ทั่วถึงภายในพื้นที่ทั้งชั้นจะต้องเป็นผังพื้นแบบเปิดเพื่อให้เกิดการใช้งานร่วมกันระหว่างแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติ (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561) ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใช้งานต่อชั้นประมาณ 1,690 ตารางเมตร ความสูงอาคารเฉลี่ย 30 ชั้น ระดับความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานเฉลี่ย 3.00 เมตร ใช้ระบบทำความเย็นแบบรวมศูนย์ (Central Chilled Water System) พื้นที่แกนบริการ ซึ่งประกอบด้วย ทางสัญจรทางตั้ง เช่น ลิฟต์ บันไดหนีไฟ เป็นต้น และห้องงานระบบต่างๆ คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 30% ของพื้นที่ใช้สอยต่อชั้น พร้อมกับช่องเปิดลักษณะแบบยาวต่อเนื่องกัน

ตารางที่ 3.1 อาคารสำนักงานเกรด เอ ในกรุงเทพมหานคร ที่สร้างในปี ค.ศ. 2014-2022
(ที่มา: รวบรวมและจัดทำโดยผู้วิจัย)

name	year	location	GFA floor plate (sq.m.)	floor-ceiling (m)	cooling system	no. of storey	core to window depth max (m)
Park Venture	2012	Ploenchit	1,900-2,000	2.90	Central Chiller with VAV	34	15.21
Sathorn Square	2012	Sathorn	2,000	2.95	Central Chiller Water with VAV	40	13.30
AIA Capital Center	2014	Ratchadapisek	1,800-2,000	3.00	Central Chiller	34	14.30
Bhiraj Tower @Emquatire	2014	Sukhumvit	1,500-1,900	2.85	Central Chiller Water with VAV	45	n/a
Metropolis Building	2015	Sukhumvit	1,000	3.30	Central Chilled Water System	21	n/a
T-one	2016	Sukhumvit	1,073-1,662	3.00	Central Chiller Water with VAV	34	14.00
FYI Center	2016	Rama 4	2,000-4000	2.90	Central chilled water system	12	13.95
G Tower	2016	Rama 9	1,380-1,452	3.00	Central Chilled Water System	36	13.00
Gaysorn Tower	2017	Ratchadamri	1,200-1,700	2.95	Central Chiller Water	30	14.50
Ari Hills	2017	Phayathai	1,050	2.90	Central Chiller with VAV	35	10.85
PEA RL Bangkok	2017	Phayathai	1,041	3.50	Central Chilled Water with VAV	24	n/a
SC Tower	2017	Phayathai	820	2.80	Central chilled water with VAV	24	18.00
Singha Complex	2018	Petchburi Road	1,300-2,200	3.20	Central Chiller Water with VAV	42	16.00
MS SIAM Tower	2018	Rama 3	1,200-1,300	2.80	Central Chiller	38	16.00
Samyan Mitrtown	2019	Rama 4	1,800-2,000	3.00	Central Chiller Water with VAV	41	15.00
Spring Tower	2020	Phayathai	1,779	3.00	Central Chiller Water with VAV	27	16.00
The PARQ	2020	Ratchadapisek and Rama 4	2,500-5,200	3.00	Central Chiller with VAV	17	13.00
TIPCO Tower II	2020	Rama 6	1,069	3.00	Central Chilled Water VRV	20	n/a
Sathorn Prime	2020	Sathorn	1,700	2.70	Central Chilled Water System	20	18.00
66 Tower	2021	Sukhumvit - Bangna	1,200	3.00	Central Chilled Water	28	15.00
O-Nes Tower	2021	Sukhumvit	1,768 -2,016	3.00	VRV multi air conditioning with sensor control	29	20.20
One City Center(OCC)	2022	Ploenchit	1,370	3.00	Central Chilled Water VRV	61	n/a
Pier111	2022	Ratchadamri	1,750-1,850	3.00	Central Chiller Water with VAV	32	16.50
AIA East Gateway	2022	Bangna	1,800-2,200	3.00	Central Chiller Water with VAV	33	n/a
Park Silom	2023	Silom	2,000	3.00	Central Chilled Water VRV	39	14.50
average			**1,690**	**2.99**	**Central Chiller Water with VAV**	**32**	**15.12**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 รูปทรงของผังอาคาร

อาคารสำนักงานในปัจจุบันมีรูปทรงผังอาคารที่หลากหลาย เช่น ผังอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยม รูปตัว L และรูปตัว O แต่รูปทรงพื้นฐานของอาคารสำนักงานเป็นรูปทรงที่คล้ายสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากเป็นรูปทรงที่มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด (Kozak, 1991) นอกจากนี้สัดส่วนความกว้างต่อความยาว (Shape Factor) ของรูปทรงอาคารที่เหมาะสมกับอาคารสำนักงาน คือ 1:1.3 และ 1:1.7 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานตามแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน (ณัฐภูมิ รับคำอินทร์, 2552)

3.2.3 ตำแหน่งแกนบริการ

การวางตำแหน่งแกนบริการ แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ แกนบริการอยู่กลางอาคาร แกนบริการอยู่ค่อนไปทางใดทางหนึ่ง หรือริมด้านข้างของอาคาร และ แกนบริการมุมอาคาร โดยมีสัดส่วนพื้นที่ส่วนบริการต่อพื้นที่สำนักงานประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 350-450 ตารางเมตรต่อชั้น (ณัฐพงษ์ โต๊ะพาน, 2548) จากการสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างผู้เป็นสถาปนิกเกี่ยวกับรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป พบว่า ตำแหน่งแกนบริการกลางอาคาร มีสัดส่วนสูงที่สุด 63% รองลงมาเป็นแกนบริการด้านข้างอาคาร 37% และบริเวณมุมอาคาร 6% (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552) ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บข้อมูล อาคารสำนักงาน เกรด เอ ในกรุงเทพมหานครที่สร้างในปี ค.ศ. 2014-2022 จำนวน 25 อาคาร โดยอาคารส่วนใหญ่วางตำแหน่งบริการกลางอาคาร คิดเป็น 68% บริเวณด้านข้างอาคาร คิดเป็น 24% และบริเวณมุมของอาคารมีเพียง 8%

การวางพื้นที่แกนบริการบริเวณกลางอาคารจะทำให้มีพื้นที่ช่องเปิดมากที่สุด (บุรพล แจ้งสว่าง, 2548) ซึ่งทำให้ภายในอาคารได้รับแสงธรรมชาติมากที่สุด แต่ก็จะส่งผลต่อการใช้พลังงานอาคารมากที่สุดเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(1) แกนบริการกลางอาคาร (2) แกนบริการด้านข้างอาคาร (3) แกนบริการมุมอาคาร

ภาพที่ 3.1 รูปแบบการวางตำแหน่งแกนบริการ
(สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)

3.2.4 ชนิดกระจก

จากการเก็บข้อมูล อาคารสำนักงาน เกรด เอ ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 25 แห่ง พบว่า ทุกอาคารเลือกใช้เปลือกอาคารแบบโปร่งแสง โดยในประเทศไทยนิยมใช้ผนังระบบ Curtain Wall และ Precast Concrete Cladding สำหรับอาคารที่เป็นอาคารสูง ในกฎกระทรวงฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 ข้อ 28 ได้กำหนดให้กระจกที่ใช้ทำผนังภายนอกอาคารสูงต้องเป็นกระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไปประกอบกันโดยมีวัสดุคั่นกลางระหว่างชั้นและยึดกระจกแต่ละชั้นให้ติดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน สอดคล้องกับการสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างผู้เป็นสถาปนิกเกี่ยวกับรายละเอียดการออกแบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ทั่วไป ความนิยมในการเลือกใช้กระจกพบว่า กระจกลามิเนต ซึ่งเป็นกระจกตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปมาประกบกันคั่นกลางด้วยฟิล์ม PVB (Poly Vinyl Butyral) หรือ EVA (Ethylene Vinyl Acetate) ได้รับความนิยมมากที่สุดถึง 47% (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552)

โดยสรุปงานวิจัยนี้เลือกใช้อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้นอาคาร 1:1.3 แกนบริการกลาง กำหนดขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อเปลือกอาคาร หรือ WWR (Window-to-wall area ratio) เท่ากับ 40% ความลึกจากช่องเปิดถึงแกนบริการประมาณ 12 เมตร เปลือกอาคารโปร่งแสง ใช้กระจกลามิเนตใสเคลือบสาร Low-E โดยมีค่าการส่งผ่านของแสง หรือ VLT เท่ากับ 74.5% มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ หรือ SHGC เท่ากับ 0.569 และมีค่าการถ่ายเทความร้อน หรือ U-value เท่ากับ 2.429 $W/m^2 \cdot ^oK$ พื้นที่ภายในอาคารมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของพื้นที่ใช้งานอย่างน้อย 300 ลักซ์ โดยค่าเหล่านี้จะถูกกำหนดว่าเป็นค่าสำหรับอาคารจำลองต้นแบบ (Base case building) เพื่อใช้คำนวณหาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเปรียบเทียบกับอาคารกรณีอื่นๆ ที่ผ่านการประเมิน Circadian lighting ตามมาตรฐาน WELL Building Standard

ภาพที่ 3.2 ลักษณะผังพื้นอาคารจำลองตันแบบ (Base case building)

3.3 สมมติฐานการวิจัย

การออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต และผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ตามมาตรฐาน WELL Building Standard หากพื้นที่อาคารภายในมี Circadian lighting ที่ดี จะทำให้การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติที่มากขึ้น และการใช้แสงประดิษฐ์ทดแทนในพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ

3.4 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัย เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ที่ส่งผลต่อค่า EML และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทั้งการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ และการใช้พลังงานแสงสว่าง ได้แก่ รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด หรือ WWR (Window-to-wall area ratio) ประเภทกระจกที่มีค่าการส่งผ่านของแสง (VLT) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการถ่ายเทความร้อน (U-value) ที่แตกต่างกัน ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ และลักษณะการจัดวางผังดวงโคมและจำนวนดวงโคมที่ใช้ในอาคารแต่ละกรณี เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารแต่ละกรณี เพื่อให้ได้แนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการกำหนดตัวแปรแต่ละประเด็นมีรายละเอียด ดังนี้

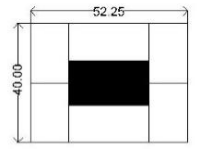
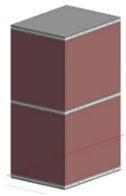
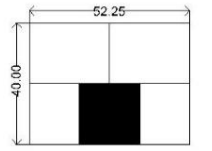
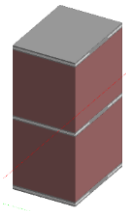
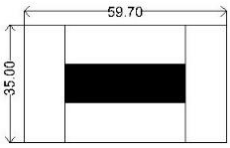
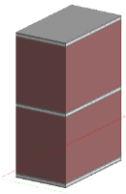
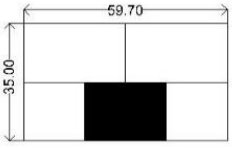
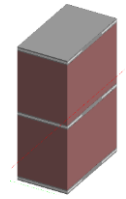
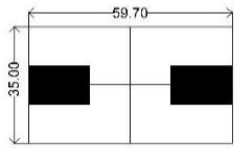
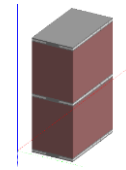
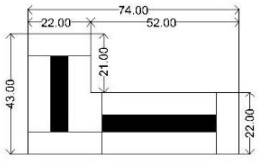
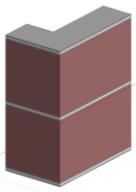
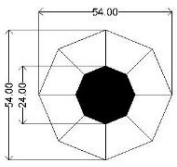
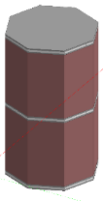
3.4.1 ตัวแปรต้น

3.4.1.1 รูปทรงอาคาร

จากการศึกษางานวิจัยและการเก็บข้อมูลอาคารสำนักงานในปัจจุบันเพื่อการกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบในข้างต้น ได้พิจารณารูปทรงและลักษณะของอาคารที่มีในปัจจุบัน โดยความสูงอาคารเฉลี่ย 30 ชั้น ระดับความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานเฉลี่ย 3.00 เมตร

จึงกำหนดรูปทรงอาคารแบบจำลองที่มีรูปทรงแตกต่างกันจำนวน 7 รูปทรง แบ่งออกเป็นอาคารตำแหน่งแกนบริการกลาง ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3 รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 รูปทรงตัว L และรูปทรงตัว O อาคารตำแหน่งแกนบริการริม ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3 และ รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 และอาคารตำแหน่งแกนบริการริม 2 ด้าน ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 ดังแสดงในตารางที่ 3.2

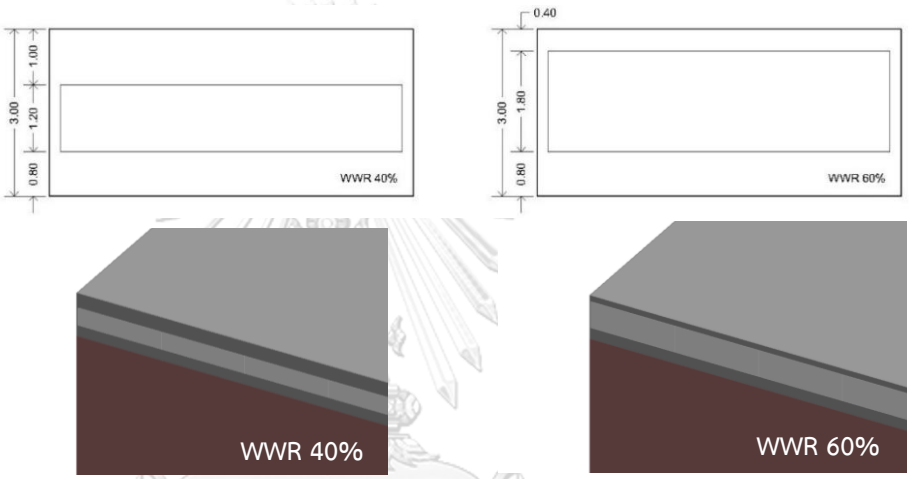
ตารางที่ 3.2 รูปทรงอาคารแบบจำลองที่ทำการศึกษา

รูปทรง	ตำแหน่งแกนบริการ	ผังพื้น	3D
แบบจำลอง รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	center core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,656 SQM	
	side core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,663 SQM	
แบบจำลอง รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	center core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,648 SQM	
	side core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,647 SQM	
	double side core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,652 SQM	
แบบจำลอง รูปทรง ตัว L	center core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,645 SQM	
แบบจำลอง รูปทรง ตัว O	center core	 ขนาดพื้นที่ต่อชั้น 1,617 SQM	

จุฬาลงกรณ์มหา
CHULALONGKORN

3.4.1.2 ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

ช่องเปิดหน้าต่างต่อเนื่องส่งผลให้ปริมาณแสงธรรมชาติบนพื้นผิวอ้างอิงที่ 0.75 เมตร จากพื้น ซึ่งเข้ามาได้ลึกมากที่สุด 4.7 เมตร และจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อช่องเปิดมีสัดส่วน WWR 40-50% (พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ, 2543) และสัดส่วน WWR ที่ทำให้ได้รับแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตจะต้องมากกว่า 60% ขึ้นไป (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561) ในงานวิจัยจึงกำหนดความสูงของช่องเปิดจากพื้น 0.80 เมตร ซึ่งมีขนาด WWR 40% ความสูงช่องเปิด 1.20 เมตร และ WWR 60% ความสูงช่องเปิด 1.80 เมตร และมีลักษณะยาวต่อเนื่องกันตลอดทั้งผนังของอาคาร



ภาพที่ 3.3 ลักษณะขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 40% และ 60%

3.4.1.3 ประเภทกระจก

กำหนดประเภทกระจกที่มีค่า VLT แตกต่างกัน 3 ประเภท คือ

- กระจกลามิเนตใส Low-E ที่มีค่า VLT เท่ากับ 74.5% ค่า SHGC เท่ากับ 0.569 และค่า U-value เท่ากับ 2.429 $W/m^2 \cdot ^oK$
- กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ที่มีค่า VLT เท่ากับ 44.4% ค่า SHGC เท่ากับ 0.398 และค่า U-value เท่ากับ 2.429 $W/m^2 \cdot ^oK$
- กระจก IGU หรือ Insulating Glass Unit เป็นกระจกใส Low-E ที่มีค่า VLT เท่ากับ 53.5% ค่า SHGC เท่ากับ 0.358 และค่า U-value เท่ากับ 1.757 $W/m^2 \cdot ^oK$

3.4.1.4 ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ (Correlated Color Temperature, CCT)

จากการเก็บข้อมูลพบว่าอาคารสำนักงานในปัจจุบันนิยมใช้หลอดไฟประเภท LED พร้อมด้วยข้อกำหนดของมาตรฐาน WELL Building Standard ที่กำหนดหลอดไฟประเภท LED จะมีค่า CCT เท่ากับ 4000K ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของแสงสำหรับพื้นที่ทำงานใน

สำนักงาน และค่า CCT เท่ากับ 6500K ซึ่งเทียบเท่ากับแสงจากธรรมชาติ จึงกำหนดให้แบบจำลองงานวิจัยที่ติดตั้งหลอดไฟ LED ที่มีค่า CCT เท่ากับ 4000 K และ 6500K

3.4.1.5 ลักษณะการจัดวางผังดวงโคมและจำนวนดวงโคมที่ใช้

3.4.2 ตัวแปรตาม

3.4.2.1 ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA)

3.4.2.2 ค่า Vertical Illuminance (Ev)

3.4.2.3 ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML)

3.4.2.4 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

3.4.3 ปัจจัยควบคุม

3.4.3.1 ทำการจำลองในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. สำหรับคำนวณค่า sDA และการใช้พลังงานรวม และช่วงเวลา 9.00-13.00 น. สำหรับคำนวณค่า EML

3.4.3.2 ค่าสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายในอาคาร ฝ้าเพดานเท่ากับ 80% พื้นเท่ากับ 20% และผนังภายในเท่ากับ 50 % (IWBI, 2022)

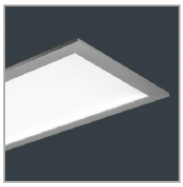
3.4.3.3 หน้าต่างกระจกมีการติดตั้งม่านบังแดดแบบ Horizontal Roller Blind ควบคุมตามระดับแสงจ้า คือจะปิดม่านเมื่อได้รับแสงธรรมชาติที่เกินดัชนีแสงบาดตา (Discomfort glare index) มากกว่า 22 โดยวัดที่ระยะอ้างอิงของการคำนวณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในแนวราบ คือระยะ 0.76 เมตร จากระดับพื้น (U.S. Department of Energy, 2022)

3.4.3.4 ไฟฟ้าแสงสว่างประเภทหลอด LED ดวงโคมสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 1200x300 มิลลิเมตร ประเภทฝังฝ้าเพดาน ดังภาพที่ 3.4

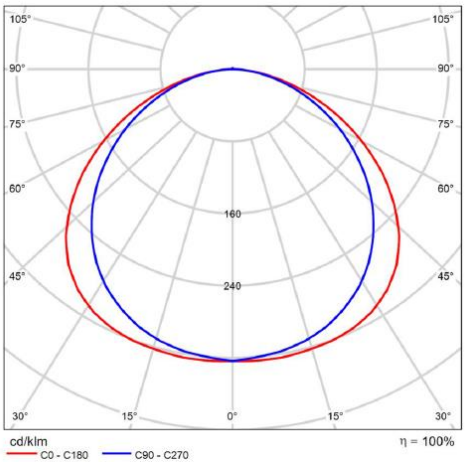
3.4.3.5 ระบบเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ จ่ายลมด้วยระบบ Variable Air Volume (VAV)

3.4.3.6 วัสดุประกอบอาคาร ที่ใช้ในอาคารในปัจจุบัน ดังตารางที่ 3.3 (ASHRAE, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



P	31.0 W
Φ_{Lamp}	4010 lm
$\Phi_{Luminaire}$	4010 lm
η	100.00 %
Luminous efficacy	129.4 lm/W



ภาพที่ 3.4 รายละเอียดดวงโคมและหลอดไฟ LED (ซ้าย) และลักษณะการกระจายแสงของดวงโคม (ขวา)

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของอาคาร และวัสดุประกอบอาคาร

เปลือกอาคาร	- หลังคา : Flat roof Insulation Entirely above Deck – U-value = 0.358 $W/m^2 \cdot °K$ - ผนังอาคาร : Steel Frame - U-value = 0.704 W/m2·°K - พื้น : Steel Joist - U-value = 1.987 $W/m^2 \cdot °K$ - ไม่มีแผงบังแดดภายนอก (ASHRAE, 2016)
วัสดุภายในอาคาร	- ม่านบังแดดแบบ Horizontal Roller Blind ควบคุมตามระดับแสงจ้า คือจะปิดม่านเมื่อเกิดดัชนีแสงบาดตา (Discomfort glare index) มากกว่า 22 - ค่าสะท้อนแสงของวัสดุฝ้าเพดาน 80% - ค่าสะท้อนแสงของวัสดุพื้น 20% - ค่าสะท้อนแสงของวัสดุผนัง 50% (IWBI, 2022)
งานระบบ	- ไฟฟ้าแสงสว่างประเภทหลอด LED ดวงโคมสี่เหลี่ยมผืนผ้า ประเภทฝังฝ้าเพดาน - HVAC System: Central Chiller Water จ่ายลมด้วยระบบ Variable Air Volume (VAV)

ในตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแต่ละขั้นตอน ประกอบด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประเมินแสงธรรมชาติรวมทั้งหมด 42 กรณีศึกษา ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประเมินค่า EML จากแสงประดิษฐ์เพื่อหาค่า EML ขั้นต่ำ ตามเกณฑ์การประเมินในทุกทางเลือกของหัวข้อ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard รวมทั้งหมด 56 กรณีศึกษา และการประเมินการใช้พลังงานของอาคารจากผลการประเมินแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ รวมทั้งหมด 168 กรณีศึกษา เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลกระทบและเปรียบเทียบการออกแบบแสงสว่างที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี นำไปสู่ทางเลือกในการออกแบบอาคารและการจัดผังดวงโคม เพื่อให้ได้อาคารสำนักงานที่ได้แสงสว่างที่ดีเหมาะสมต่อสุขภาพและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.4 สรุปตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัย

ตัวแปร	รายละเอียด	จำนวนกรณี	รวม
แสงธรรมชาติ (Daylight)			
1. รูปทรงอาคาร	แกนบริการกลาง : รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3, รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7, รูปทรงตัว L, รูปทรงตัว O แกนบริการริม : รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3, รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน : รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7	7	42 cases
2. ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)	40%, 60%	2	
3. ประเภทกระจก	กระจกลามิเนตใส Low-E (VLT = 74.5% / SHGC = 0.569 / U-value = 2.429 W/m2·°K) กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E (VLT = 44.4% / SHGC = 0.398 / U-value = 2.429 W/m2·°K) กระจก IGU ใส Low-E (VLT = 53.5% / SHGC = 0.358 / U-value = 1.757 W/m2·°K)	3	
การประเมินค่า sDA รวมทั้งหมด 42 กรณีศึกษา			
แสงประดิษฐ์ (Artificial Light)			
1.ผลการประเมินรูปทรงของอาคารกับแสงธรรมชาติ เพื่อหา EML และ LPD ขั้นต่ำ	รูปทรงอาคาร 7 รูปทรง ผ่านเกณฑ์ sDA > 55% / ไม่ผ่านเกณฑ์ sDA < 55% ทำ Circadian Lighting 2 คะแนน / 4 คะแนน	28	56 cases
2.ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ	4000K, 6500K	2	
การประเมินค่า EML รวมทั้งหมด 56 กรณีศึกษา			
การใช้พลังงานของอาคาร			
1.ปริมาณการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และพลังงานโดยรวมของอาคาร (ผลการประเมินแสงธรรมชาติ (42 cases) / ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ (2 cases) / ทำคะแนน Circadian Lighting 2 และ 4 คะแนน (2 cases))	168	168 cases
การประเมินการใช้พลังงานอาคาร รวมทั้งหมด 168 กรณีศึกษา			

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

จำลองแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ด้วยโปรแกรม Design Builder version 7.0.0.102 เพื่อประเมินค่า sDA และจำลองแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ด้วยโปรแกรม DIALux evo 9.2 เพื่อหาค่าความส่องสว่าง ของพื้นที่ภายในอาคาร (Vertical Illuminance) เพื่อนำไปหาค่า EML จำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารด้วยโปรแกรม Design Builder และเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และเปรียบเทียบค่าปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร รวมถึงปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกรณีต่างๆ ด้วยโปรแกรม Microsoft excel

3.6 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง โดยในช่วงแรกเป็นการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ช่วงที่ 2 การจำลองเพื่อคำนวณค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต โดยนำไปหาค่า EML ในการประเมินเกณฑ์ Circadian Lighting ตาม WELL Building Standard และช่วงที่ 3 คือ การคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารแต่ละกรณี มีรายละเอียดทั้ง 3 ช่วงดังนี้

3.6.1 การทดลองช่วงที่ 1 การจำลองปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร

โดยจำลองจากตัวแปรที่จะศึกษา คือ รูปทรงของอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และประเภทของกระจก ทั้งหมด 42 กรณีศึกษา ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Design Builder คำนวณปริมาณแสงธรรมชาติเพื่อประเมินการผ่านเกณฑ์ของค่า sDA ในหัวข้อ Daylighting Simulation ของ WELL Building Standard โดยจำลองปริมาณความส่องสว่างที่ระดับโต๊ะทำงาน ความสูง 0.76 เมตร จากระดับพื้น

3.6.2 การทดลองช่วงที่ 2 การจำลองค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์เพื่อหาปริมาณ EML

สามารถแบ่งกระบวนการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการจัดวางผังดวงโคมเพื่อคำนวณหาค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ และ การใช้สูตรคำนวณค่า EML

3.6.2.1 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองจัดวางผังดวงโคม

จำลองการจัดวางผังดวงโคม ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux evo 9.2 เพื่อคำนวณหาค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) และค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง หรือ Vertical Illuminance (Ev) ของแสงประดิษฐ์ ที่ระดับสายตาขณะนั่งเก้าอี้ ความสูง 1.2 เมตร จากระดับพื้น พร้อมกับค่า LPD เพื่อนำไปคำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคารในการทดลองช่วงที่ 3

โดยจำลองการจัดวางผังดวงโคมประเภทฝังฝ้า (Recessed) ใช้หลอดไฟ LED ที่มีค่า CCT เท่ากับ 4000K และ 6500K จากรูปทรงของอาคารที่ต้องการศึกษา 7 รูปทรง ประกอบด้วยทั้งกรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ ขั้นต่ำ มากกว่า 55% และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ทั้ง 4 ทิศทาง

3.6.2.2 การคำนวณโดยใช้สูตรเพื่อหาค่า EML

นำผลที่ได้จากการจำลองและคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ที่ได้มาในประเด็นก่อนหน้า ไปคำนวณหาค่า EML โดยใช้สูตรสมการที่ 1 และใช่ค่า Melanopic Ratio ตามตารางที่ 3.5 โดยประกอบด้วยกรณีผ่านเกณฑ์ Circadian lighting ขั้นต่ำสำหรับทำ 2 คะแนน อย่างน้อย 120 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ผ่าน และ 150 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ไม่ผ่าน และสำหรับทำ 3 คะแนน อย่างน้อย 180 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ผ่าน และ 275 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ไม่ผ่าน รวมจำนวนแบบจำลองทั้งหมด 56 กรณีศึกษา

$$EML = \text{Melanopic Ratio} \times \text{ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev)} \quad [1]$$

ตารางที่ 3.5 ค่า Melanopic Ratio ของหลอดไฟแต่ละประเภท

ที่มา : WELL Building Standard v.2 (IWBI, 2022)

CCT (K)	Light Source	Melanopic Ratio
2950	Fluorescent	0.43
2700	LED	0.45
2800	Incandescent	0.54
4000	Fluorescent	0.58
4000	LED	0.76
5450	CIE E (Equal Energy)	1.00
6500	Fluorescent	1.02
6500	Daylight	1.10
7500	Fluorescent	1.11

Chulalongkorn University

3.6.3 การทดลองช่วงที่ 3 จำลองการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารแต่ละกรณี

จากค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง หรือ Lighting Power Density (LPD) ที่ได้จากการจำลองการวางดวงโคมในการทดลองช่วงที่ 2 นำไปคำนวณการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี ทั้งพลังงานของระบบเครื่องปรับอากาศ พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และพลังงานโดยรวมของอาคาร ด้วยโปรแกรม DesignBuilder version 7.0.0.102 รวมทั้งหมด 168 กรณีศึกษา

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ผลแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ การวิเคราะห์ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร การวิเคราะห์ผลการคำนวณค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ รวมถึงค่า EML จากการจำลองการจัดวางผังดวงโคม และคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ทั้งพลังงานการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และ พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อนำไปประเมินผลประสิทธิภาพการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร และสร้างทางเลือก ในการนำไปใช้และการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบ

3.7.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร

คำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พร้อมวิเคราะห์ผล โดยเกณฑ์การวัดผลค่า sDA ประเมินผลแบบจำลอง ด้วยการคำนวณร้อยละของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด ซึ่งแบบจำลองที่ผ่านเกณฑ์ คือ แบบจำลองที่มีค่า sDA ผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างและจำนวนชั่วโมงที่กำหนดเป็นพื้นที่มากกว่า ร้อยละ 55 ของพื้นที่ใช้งาน โดยเกณฑ์ WELL กำหนดว่าจะต้องได้รับแสงธรรมชาติที่มีความส่องสว่างอย่างน้อย 300 ลักซ์ อย่างน้อยร้อยละ 50 ของเวลาทำงานทั้งปีโดยเรียกค่านี้แบบย่อว่า $sDA_{300/50\%}$ (IWBI, 2022)

3.7.2 การวิเคราะห์ผลการคำนวณค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ และค่า EML การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.7.2.1 คำนวณหาค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยต้องได้มากกว่า 300 ลักซ์ตามที่กฎหมายกำหนด

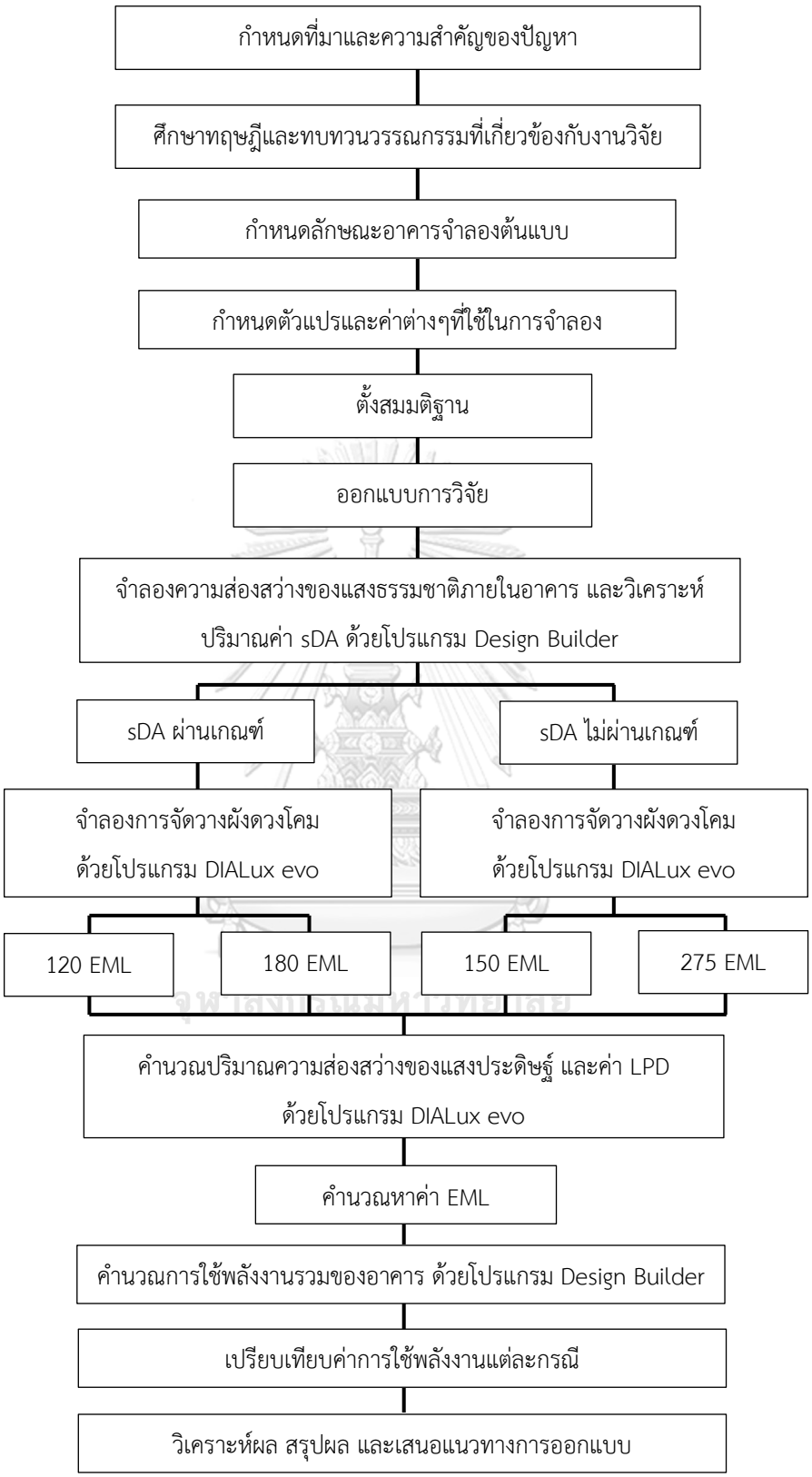
3.7.2.2 คำนวณหาค่าความส่องสว่างแนวดิ่งของแสงประดิษฐ์ (Ev) จาก 4 ทิศทาง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ทิศทางนั้น

3.7.2.3 คำนวณโดยใช้สูตรในหาค่า EML และวิเคราะห์ผลแบบจำลองได้รับแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ซึ่งต้องผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard คือ แบบจำลองที่มีค่า EML เฉลี่ยของพื้นที่ใช้งาน ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ อย่างน้อย 120 EML และ 180 EML สำหรับกรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่าน และ 150 EML และ 275 EML สำหรับกรณีปริมาณแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์

3.7.2.4 คำนวณหาค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) จากการจำลองการวางผังดวงโคมต่อหน่วยพื้นที่ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประเมินการใช้พลังงานอาคาร

3.7.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี

นำค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ที่ได้มาคำนวณการใช้พลังงานของอาคารต่อหน่วยพื้นที่ของอาคารแต่ละกรณีและนำไปเปรียบเทียบกับอาคารจำลองต้นแบบ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตแต่ละกรณีต่อการใช้พลังงานของอาคาร และสร้างทางเลือกในการนำไปใช้และการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบ



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาผลกระทบของการออกแบบแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารประเภทสำนักงาน โดยวิเคราะห์ลักษณะและองค์ประกอบของรูปแบบสถาปัตยกรรมที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร ร่วมกับแสงประดิษฐ์โดยวิเคราะห์ลักษณะการจัดผังดวงโคม และการใช้ประเภทอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ โดยงานวิจัยนี้คำนึงถึงปริมาณค่า sDA , EML และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ประกอบไปด้วยหัวข้อ ดังนี้

4.1 ผลการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร

4.2 ผลการคำนวณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ และการคำนวณค่า EML

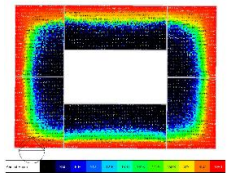
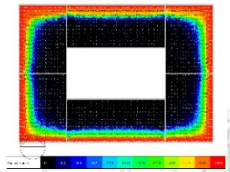
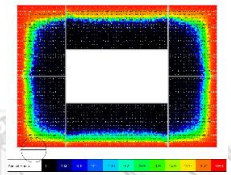
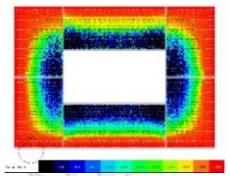
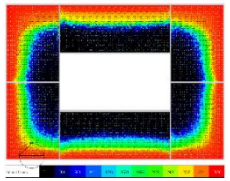
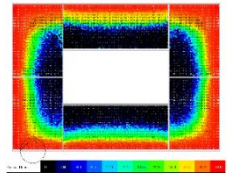
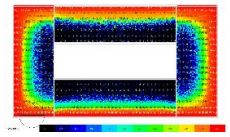
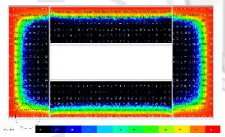
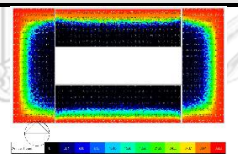
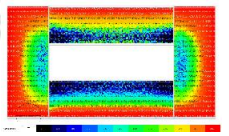
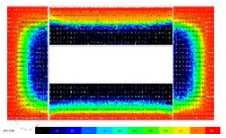
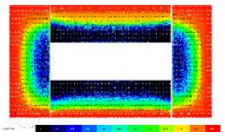
4.3 การประเมินการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี

4.1 ผลการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร

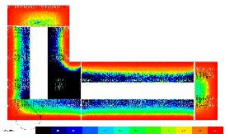
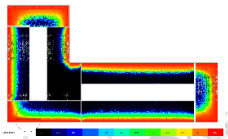
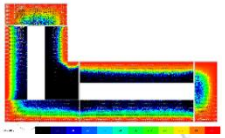
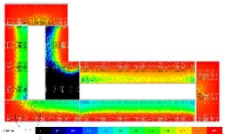
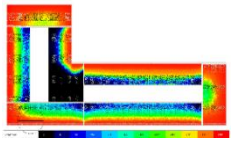
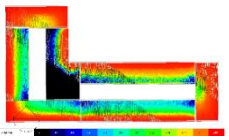
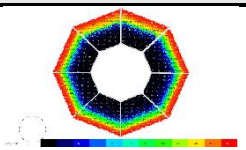
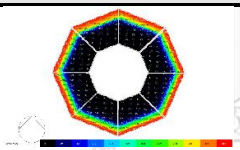
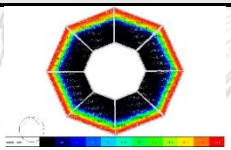
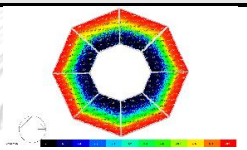
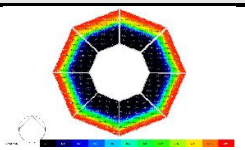
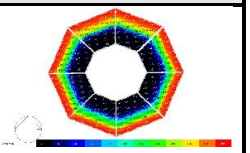
การคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DesignBuilder version 7.0.0.102 โดยใช้เกณฑ์การวัดผลค่า $sDA_{300/50\%}$ ประเมินผล แบบจำลองที่ผ่านเกณฑ์ คือ แบบจำลองที่มีค่า $sDA_{300/50\%}$ ผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างและจำนวนชั่วโมงที่กำหนดเป็นพื้นที่มากกว่า ร้อยละ 55 ซึ่งเป็นทางเลือกของการประเมินเกณฑ์ Circadian Lighting ในการพิจารณาแสงธรรมชาติควบคู่กับแสงประดิษฐ์ โดยวิเคราะห์ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ ของแสงธรรมชาติจากตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมด 42 กรณีศึกษา เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อค่า $sDA_{300/50\%}$ ซึ่งประกอบไปด้วย รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และประเภทของกระจก ซึ่งทั้งหมดส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ผลการจำลองทั้งหมด 42 กรณี เป็นไปดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นการแสดงผลของโปรแกรม ในการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร และค่า $sDA_{300/50\%}$ ของอาคารแต่ละกรณี

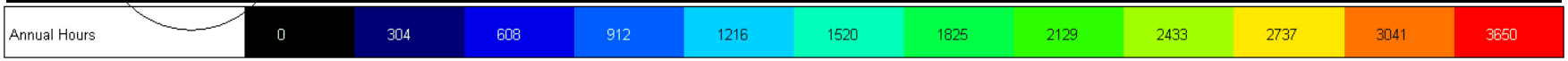
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติ 42 กรณี

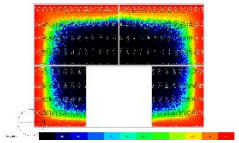
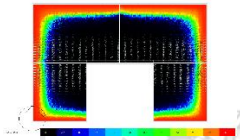
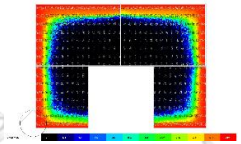
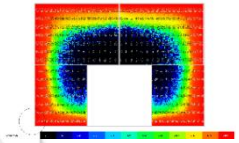
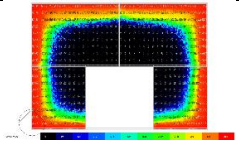
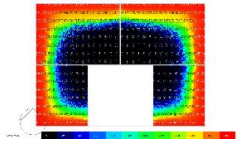
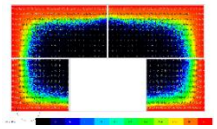
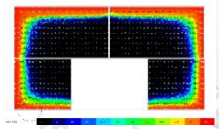
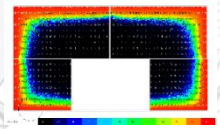
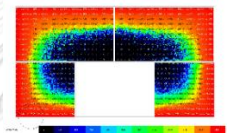
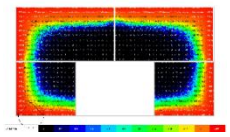
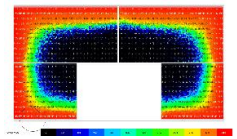
	WWR 40%			WWR 60%		
	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E
สี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง						
Floor Area (sqm.)	1656	1656	1656	1656	1656	1656
sDA (sqm.)	756.40	554.62	622.35	1051.69	804.16	889.55
sDA (%)	**45.68**	**33.50**	**37.59**	**63.52**	**48.57**	**53.72**
สี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง						
Floor Area (sqm.)	1648	1648	1648	1648	1648	1648
sDA (sqm.)	826.38	598.94	675.62	1191.64	876.36	974.85
sDA (%)	**50.14**	**36.34**	**40.99**	**72.30**	**53.17**	**59.15**

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติ 42 กรณี (ต่อ)

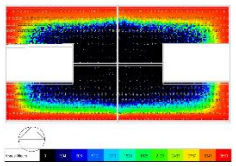
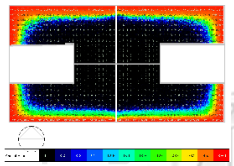
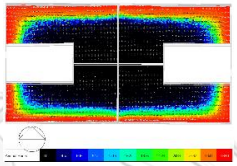
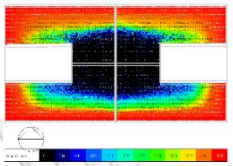
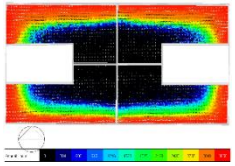
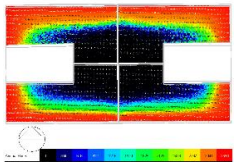
	WWR 40%			WWR 60%		
	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E
รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง						
Floor Area (sqm.)	1645	1645	1645	1645	1645	1645
sDA (sqm.)	976.83	710.24	799.76	1361.14	1057.28	1181.14
sDA (%)	**59.36**	**43.16**	**48.60**	**82.72**	**64.25**	**71.78**
รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง						
Floor Area (sqm.)	1617	1617	1617	1617	1617	1617
sDA (sqm.)	699.52	492.21	563.66	971.55	724.84	812.28
sDA (%)	**43.27**	**30.44**	**34.86**	**60.09**	**44.83**	**50.24**



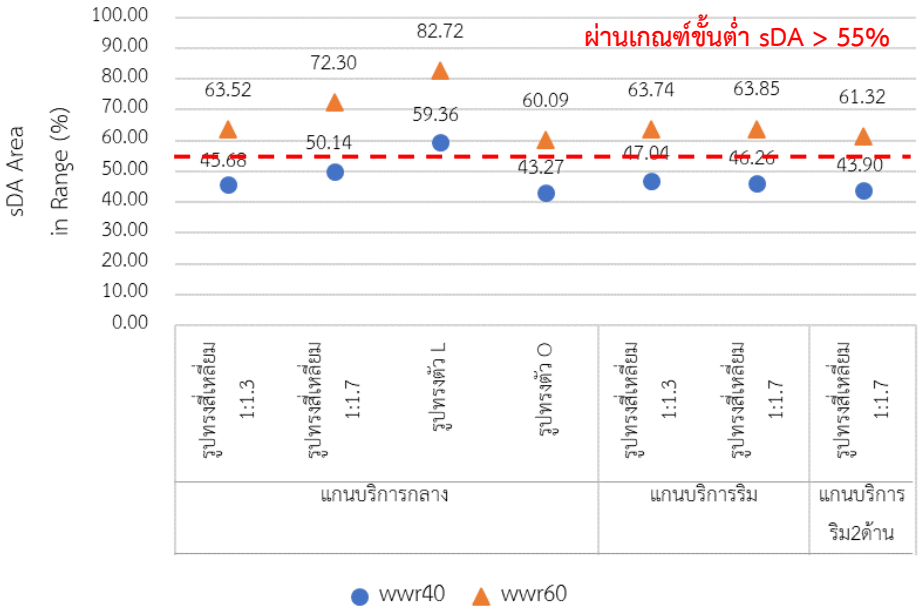
ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติ 42 กรณี (ต่อ)

	WWR 40%			WWR 60%		
	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E
สี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม						
Floor Area (sqm.)	1663	1663	1663	1663	1663	1663
sDA (sqm.)	756.69	544.16	615.43	1011.75	773.82	858.24
sDA (%)	**45.50**	**32.72**	**37.00**	**60.83**	**46.53**	**51.60**
สี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม						
Floor Area (sqm.)	1647	1647	1647	1647	1647	1647
sDA (sqm.)	761.76	542.46	614.61	1051.42	791.86	882.70
sDA (%)	**46.26**	**32.94**	**37.32**	**63.85**	**48.09**	**53.60**

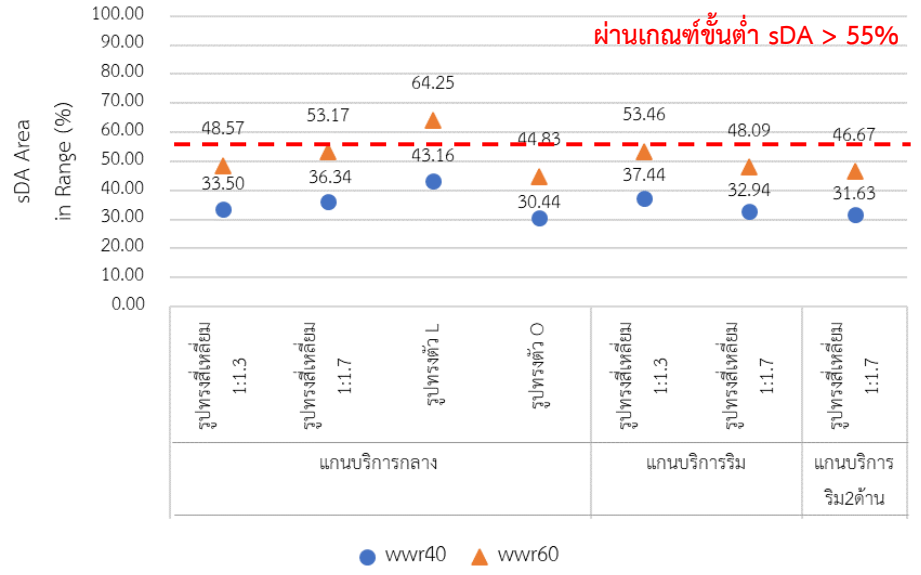
ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองปริมาณแสงธรรมชาติ 42 กรณี (ต่อ)

	WWR 40%			WWR 60%		
	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E	กระจกลามิเนตใส Low-E	กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E	กระจก IGU ใส Low-E
สี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน						
Floor Area (sqm.)	1652	1652	1652	1652	1652	1652
sDA (sqm.)	725.08	522.37	585.98	1012.77	770.76	855.54
sDA (%)	**43.90**	**31.63**	**35.48**	**61.32**	**46.67**	**51.80**

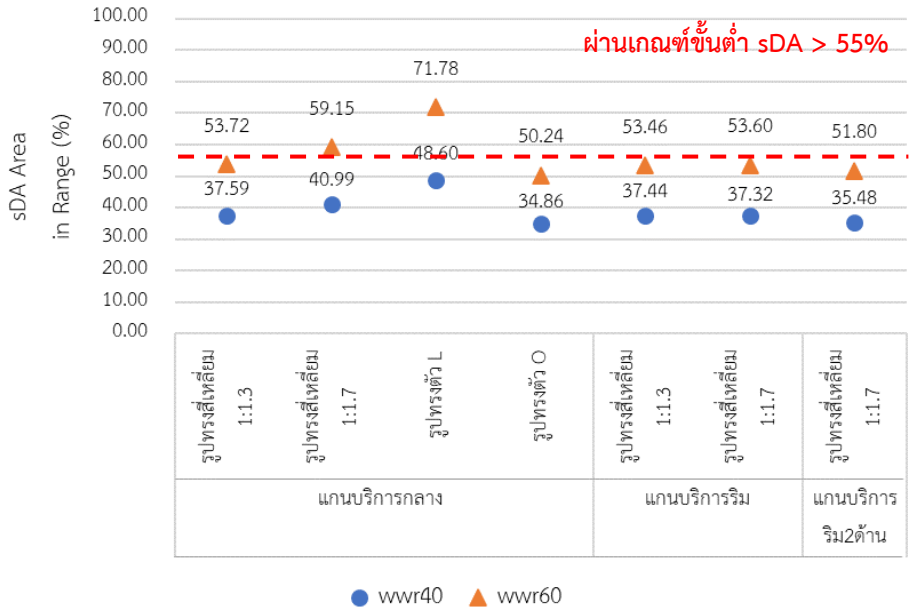
โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามากับตัวแปรที่ศึกษา คือ รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และประเภทของกระจก มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 4.1 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นร้อยละของพื้นที่ใช้งาน เปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างๆกับสัดส่วนช่องเปิดที่ 40% และ 60% กรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E



ภาพที่ 4.2 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นร้อยละของพื้นที่ใช้งาน เปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างๆกับสัดส่วน WWR 40% และ 60% กรณีใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E



ภาพที่ 4.3 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นร้อยละของพื้นที่ใช้งาน เปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างๆกับสัดส่วนช่องเปิดที่ 40% และ 60% กรณีใช้กระจก IGU ใส Low-E

4.1.1 รูปทรงของอาคาร

จากผลการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร เมื่อเปรียบเทียบอาคารแต่ละรูปทรงประกอบด้วย อาคารตำแหน่งแกนบริการกลาง รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3 รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 รูปทรงตัว L และรูปทรงตัว O อาคารตำแหน่งแกนบริการริม ประกอบด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3 และ รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 และอาคารตำแหน่งแกนบริการริม 2 ด้าน ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 ในกรณีที่มีการใช้ประเภทกระจกชนิดเดียวกัน จากภาพที่ 4.1 กรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E WWR 40% พบว่า อาคารรูปทรงตัว L ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ มากที่สุดที่ 59.36% ซึ่งผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของปริมาณแสงธรรมชาติที่เหมาะสมตาม WELL Building Standard รองลงมาเป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 50.14% รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 45.68% รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 46.26% รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 45.50% รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 43.90% และอาคารที่ได้ ค่า $sDA_{300/50\%}$ น้อยที่สุดคืออาคารรูปทรงตัว O ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 43.27% ซึ่งมีค่า $sDA_{300/50\%}$ น้อยกว่า 55% ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ สอดคล้องกับกรณีที่ใช้ขนาด WWR และการใช้กระจกประเภทอื่นๆ ซึ่งผลการจำลองออกมาเป็นไปในทิศทางเดียวกันดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 คือ รูปทรงตัว L ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ มากที่สุด และรูปทรงตัว O

ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ น้อยที่สุด ซึ่งค่าร้อยละที่ได้ก็จะแตกต่างกันไปตามขนาด WWR และการใช้ประเภทกระจกที่ใช้

ดังนั้นรูปทรงของอาคารที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่เหมาะสมมากที่สุด คือ อาคารรูปทรงตัว L และมีกรณีที่สามารถผ่านเกณฑ์ Daylighting Simulation (L06) โดยได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่เหมาะสม มากกว่าอาคารรูปทรงอื่นๆ เนื่องจาก ความลึกจากผนังด้านนอกอาคารถึงแกนบริการ น้อยกว่ารูปทรงอื่น และมีพื้นที่ผิวของผนังอาคารให้ได้รับแสงมากกว่า และอาคารที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ไม่เพียงพอที่สุด คือ อาคารรูปทรงตัว O สามารถผ่านเกณฑ์ในกรณีที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E WWR 60% เพียง 1 กรณี และได้ปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารรูปทรงอื่นๆ

4.1.2 ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทั้งหมด (WWR)

จากผลการจำลองเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ระหว่าง WWR 40% กับ WWR 60% จากการใช้กระจกประเภทเดียวกันแล้ว พบว่า อาคารที่มีสัดส่วน WWR 60% ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ มากกว่ากรณี WWR 40% ในทุกกรณี โดยมีค่ามากกว่าอยู่ประมาณ 38% - 47%

จากภาพที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบกรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ในอาคารที่มีสัดส่วน WWR 60% มีปริมาณแสงธรรมชาติที่สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำได้ทุกกรณี ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ อยู่ในช่วง 60.09% - 82.72% ซึ่งบางกรณีสามารถทำคะแนนได้สูงสุดถึง 3 คะแนน ขณะที่ WWR 40% สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำได้เพียง 1 กรณีเท่านั้น โดยได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 59.36% ส่วนกรณีอื่นๆได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ อยู่ในช่วง 50.14% - 43.27% ซึ่งไม่สามารถได้ปริมาณแสงธรรมชาติที่เหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ สำหรับกรณีใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ถึงแม้จะได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ ในปริมาณที่น้อยลงมา แต่อาคารที่มีสัดส่วน WWR 60% ก็ยังมีกรณีที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 64.25% แต่ WWR 40% นั้นไม่มีกรณีใดที่ผ่านเกณฑ์เลย ซึ่งค่า $sDA_{300/50\%}$ อยู่ในช่วง 43.16% - 30.44% ดังภาพที่ 4.2 เช่นเดียวกับ กรณีใช้กระจก Insulating Glass Unit (IGU) ใส Low-E อาคารที่มีสัดส่วน WWR 40% ก็ไม่มีกรณีใดที่ผ่านเกณฑ์เช่นเดียวกัน โดยได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ อยู่ในช่วง 48.60% - 34.86% ดังภาพที่ 4.3

ดังนั้นขนาดสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) มีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ โดยสัดส่วนของช่องเปิด WWR 60% สามารถผ่านเกณฑ์ Daylighting Simulation (L06) ด้วยค่า $sDA_{300/50\%}$ ที่มากกว่า 55% ได้มากกว่าสัดส่วนของช่องเปิด WWR 40%

4.1.3 ประเภทของกระจก

เปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ระหว่างกระจก 3 ประเภทที่นิยมใช้กับอาคารสำนักงานในปัจจุบัน ที่มีค่าการส่งผ่านของแสง (VLT) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการถ่ายเทความร้อน (U-value) ที่แตกต่างกัน ได้แก่ กระจกลามิเนตใส Low-E ที่มีค่า VLT เท่ากับ 74.5% ค่า SHGC เท่ากับ 0.569 และค่า U-value เท่ากับ 2.429 W/m2·°K กระจกลา

มิเนตสีตัดแสง Low-E ที่มีค่า VLT เท่ากับ 44.4% ค่า SHGC เท่ากับ 0.398 และค่า U-value เท่ากับ 2.429 W/m2·°K และ กระจก IGU หรือ Insulating Glass Unit ใส Low-E ที่มีค่า VLT เท่ากับ 53.5% ค่า SHGC เท่ากับ 0.358 และค่า U-value เท่ากับ 1.757 W/m2·°K ในกรณีที่ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) เท่ากัน และมีรูปทรงของอาคารลักษณะเดียวกัน

โดยผลการจำลอง จากภาพที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบ ค่า $sDA_{300/50\%}$ ระหว่างการใช้กระจกทั้ง 3 ประเภท ในกรณีที่มีขนาดสัดส่วน WWR 40% และรูปทรงเดียวกัน พบว่า อาคารที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ ในปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกอีก 2 ประเภท รองลงมาเป็นกระจก Insulating Glass Unit (IGU) ใส Low-E และกระจกลามิเนตสีตัดแสง ซึ่งจากการเปรียบเทียบทั้งหมดในกรณีนี้ มีเพียงกระจกลามิเนตใส Low-E ประเภทเดียว ที่สามารถผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ ขั้นต่ำ มากกว่า 55% คือกรณีอาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง เพียง 1 กรณี

สำหรับกรณีอาคารที่มีขนาดสัดส่วน WWR 60% และเมื่อพิจารณาจากรูปทรงเดียวกัน มีความสอดคล้องกับกรณี WWR 40% คือ อาคารที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ ในปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นกระจก Insulating Glass Unit (IGU) ใส Low-E และกระจกลามิเนตสีตัดแสง เช่นเดียวกัน แต่สำหรับกรณี WWR 60% กระจกลามิเนตใส Low-E สามารถผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ ขั้นต่ำ ได้ในอาคารทุกรูปทรง ส่วนกระจก IGU ใส Low-E ผ่านเกณฑ์ 2 กรณี คืออาคารแกนบริการกลางรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 และรูปทรงตัวL และกระจกลามิเนตสีตัดแสง สามารถผ่านเกณฑ์ได้เพียง 1 กรณี คืออาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง

ดังนั้น อาคารที่เลือกใช้กระจกลามิเนตใส Low-E จะสามารถทำให้ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติได้มากที่สุด รองลงมาเป็น กระจก Insulating Glass Unit (IGU) ใส Low-E และ กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เนื่องจาก ค่าการส่งผ่านของแสง หรือค่า VLT ที่แตกต่างกัน กระจกลามิเนตใส มีค่า VLT สูงที่สุดที่ 74.5% จึงทำให้การส่งผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้มากที่สุด ในขณะที่กระจกลามิเนตสีตัดแสง มีค่า VLT เพียง 44.4% ซึ่งทำให้การส่งผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารน้อยที่สุด ในกระจก 3 ประเภทที่ทำการศึกษา

จากผลการจำลองเมื่อเปรียบเทียบค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้งาน ของอาคารทั้ง 42 กรณีศึกษาแล้ว ดังภาพที่ 4.4 รูปทรงอาคารที่ได้ปริมาณแสงธรรมชาติมากที่สุดคืออาคารรูปทรงตัว L ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E สัดส่วน WWR 60% ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ สูงสุดถึง 82.72% ของพื้นที่ใช้งาน และเป็นเพียงกรณีเดียวที่ทำคะแนนในหัวข้อ daylight simulation ของเกณฑ์ WELL Building Standard v.2 ได้สูงสุด 3 คะแนน ส่วนอาคารที่ได้ปริมาณแสงธรรมชาตินอ้ยที่สุด คือ อาคารรูปทรงตัว O ใช้กระจก IGU ใส Low-E สัดส่วนช่องเปิด WWR 40% ซึ่งได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ อยู่ที่ 35.42% ของพื้นที่ใช้งาน

โดยอาคารที่ผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ ขั้นต่ำของ WELL Building Standard v.2 หัวข้อ L06 daylight simulation Part 1 โดย $sDA_{300/50\%}$ ต้องมากกว่า 55% ประกอบด้วย อาคารที่มีสัดส่วน WWR 40% ผ่านเกณฑ์

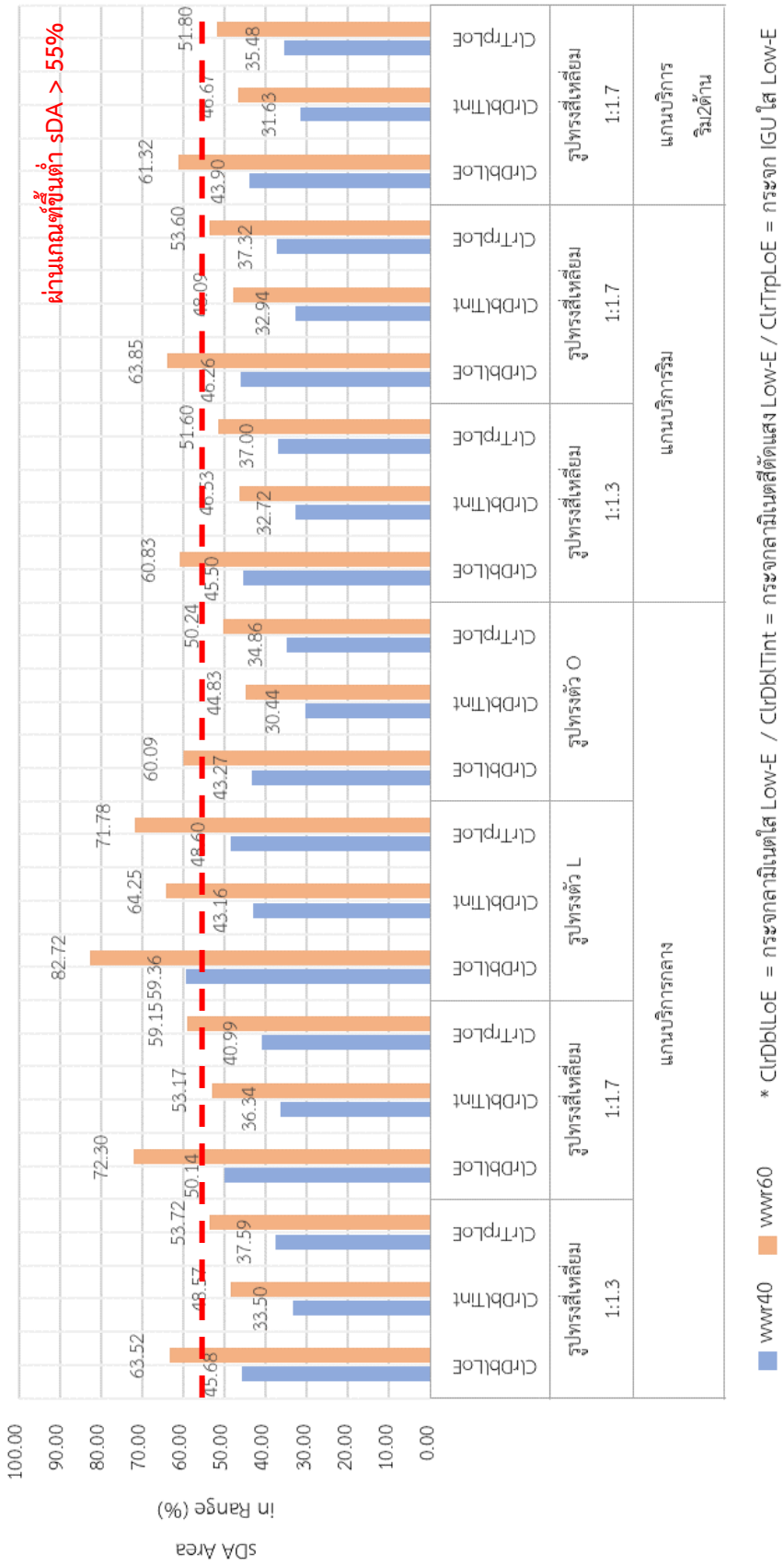
เพียง 1 กรณี คือ อาคารรูปทรงตัว L ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 59.36% สำหรับอาคารที่มีสัดส่วน WWR 60% ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทั้งหมด 9 กรณี จาก 21 กรณี คือ ประกอบด้วย อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 63.52% อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E และกระจก IGU ใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 72.30% และ 59.15 ตามลำดับ อาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง สามารถผ่านเกณฑ์ทุกกรณี ประกอบด้วย กระจกลามิเนตใส Low-E กระจกสีตัดแสง และกระจก IGU ใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 82.72% 64.25% และ 71.78% ตามลำดับ อาคารรูปทรงตัว O แกนบริการกลาง ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 60.09% อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 60.83% อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 63.85% และอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ปริมาณค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 61.32%

นอกจากนี้ได้พิจารณาเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดของช่องเปิดและค่าการส่องผ่านของแสงของกระจกแต่ละชนิดที่จะส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร ในเชิงปริมาณพื้นที่ของแสงธรรมชาติ อ้างอิงตามเกณฑ์ LEED 2009 สำหรับอาคารที่จะก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลง โดยในหัวข้อ Indoor Environment Quality (IEQ) credit 8.1 Daylight ในทางเลือกที่ 2 ได้กำหนดให้ปริมาณของการคำนวณค่าสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด หรือ Window to floor area (WFR) คูณกับ ค่าการส่องผ่านของแสงของกระจก (VLT) จะต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 0.15 ถึง 0.18 ดังอสมการที่ 2 โดยวัดที่ระดับ 0.76 เมตรจากพื้น (USGBC, 2009) เพื่อพิจารณาลักษณะของช่องเปิดที่ให้ปริมาณแสงที่เข้ามาจากด้านข้างอย่างเหมาะสม

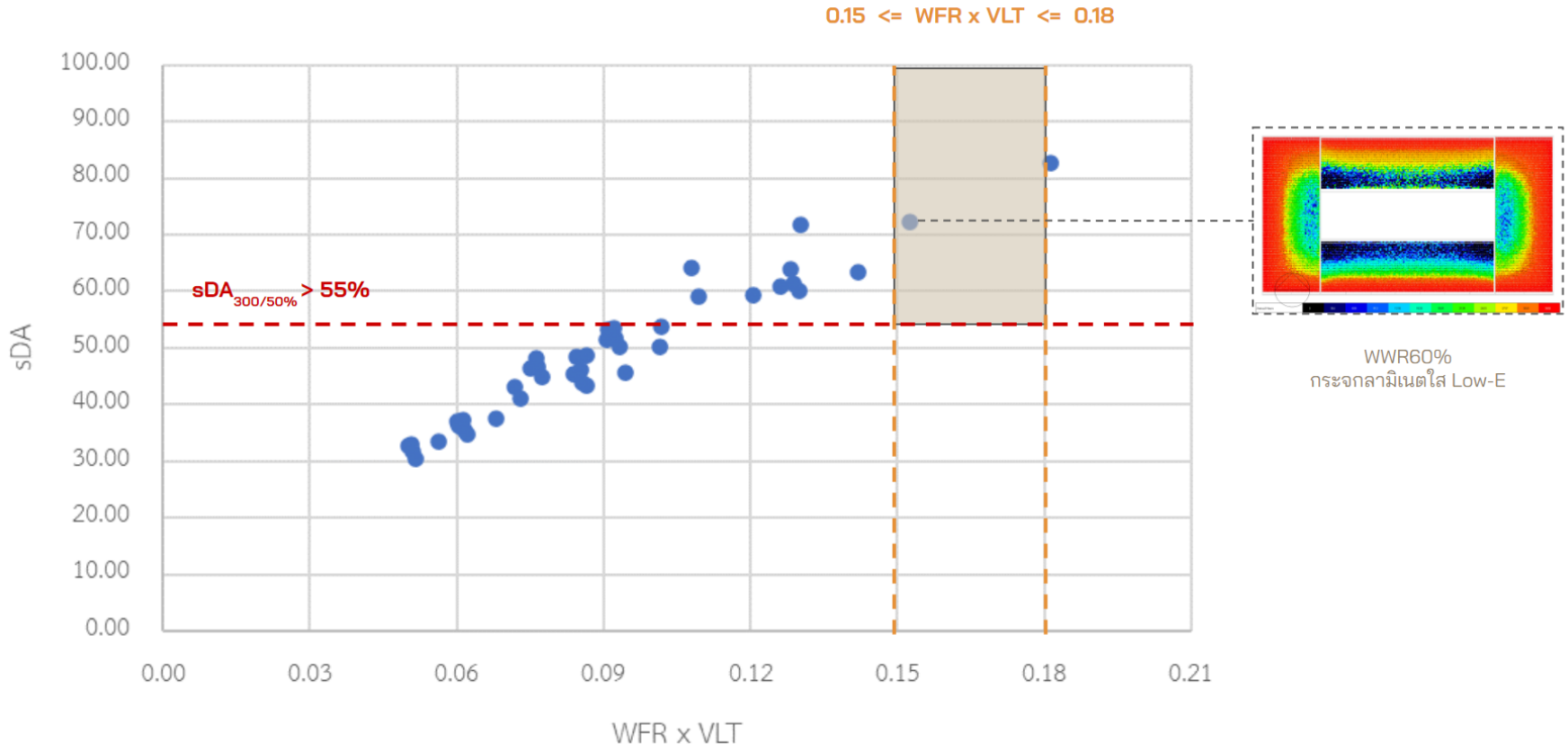
$$0.15 \leq \text{WFR} \times \text{VLT} \leq 0.18 \qquad [2]$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการคำนวณ ดังภาพที่ 4.5 พบว่า มีอาคารเพียง 1 กรณีเท่านั้นที่สามารถผ่านเกณฑ์ คือ กรณีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR 60 ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ส่วนกรณี รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง WWR 60 ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E เกินมาเพียง 0.001



ภาพที่ 4.4 ค่า $sDA_{300/50\%}$ เป็นสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้งาน ของอาคารทั้ง 42 กรณี



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของค่า $sDA_{300/50\%}$ กับ ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทั้งหมด (WFR) คูณ ค่าการส่องผ่านแสงของกระจก (VLT) ของอาคารทั้ง 42 กรณี

4.2 ผลการคำนวณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ และการคำนวณค่า EML

การคำนวณปริมาณความส่องสว่างจากการจำลองการจัดวางผังดวงโคมของแสงประดิษฐ์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Dialux Evo ในลักษณะอาคารปิดทึบ (ไม่นำแสงธรรมชาติมาคิด) และการนำไปคำนวณค่า EML เพื่อวิเคราะห์ปริมาณค่า EML จากตัวแปรที่ศึกษาของแสงประดิษฐ์ ประกอบด้วย รูปทรงของอาคาร และค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ หรือ Correlated Color Temperature (CCT) เพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้แสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต และเพื่อหาปริมาณค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกรณี เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในขั้นตอนต่อไป มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลการจำลองการจัดวางผังดวงโคม

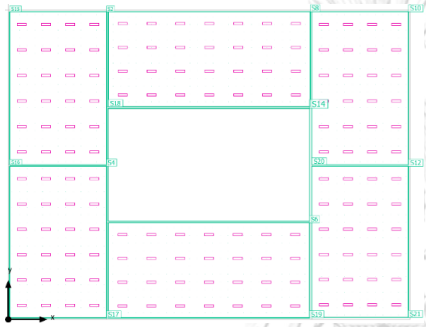
การจำลองการจัดวางผังดวงโคมของหลอดไฟ LED ดวงโคมลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1200x300 มิลลิเมตร ประเภทฝังฝ้าเพดาน การจำลองแบ่งออกเป็น การจำลองอาคารต้นแบบ (Base case building) และการจำลองอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 56 กรณีศึกษา จาก 2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ (CCT) 4000K และ 6500K ซึ่งมีค่า Melanopic Ratio (MR) เท่ากับ 0.76 และ 1.10 ตามลำดับ

โดยแบ่งการจำลองอาคารกรณีศึกษาออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มกรณีใช้ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ (CCT) 4000K สำหรับทำคะแนนหัวข้อ Circadian Lighting 2 คะแนน รวม 14 กรณีศึกษา กลุ่มกรณีใช้ค่า CCT 4000K สำหรับทำคะแนน 4 คะแนน รวม 14 กรณีศึกษา กลุ่มกรณีใช้ค่า CCT 6500K สำหรับทำคะแนน 2 คะแนน รวม 14 กรณีศึกษา และกลุ่มกรณีใช้ค่า CCT 6500K สำหรับทำคะแนน 4 คะแนน รวม 14 กรณีศึกษา แต่ละกลุ่มจะแบ่งออกเป็นกรณีที่ที่ผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ ขั้นต่ำ ซึ่งมีผลต่อความต้องการค่า EML ที่ต่างกัน โดยนำผลการจำลองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ซึ่งต้องมีความส่องสว่างมากกว่า 300 ลักซ์ตามที่กฎหมายกำหนด (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2551) และค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในแนวดิ่ง หรือ Vertical Illuminance (Ev) ของแสงประดิษฐ์ ทั้ง 4 ทิศทาง เพื่อนำไปคำนวณค่า EML ให้ผ่านเกณฑ์หัวข้อ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard พร้อมกับผลค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง หรือ Lighting Power Density (LPD) ต่อพื้นที่การใช้งาน จากจำนวนดวงโคมที่จำลองในแต่ละกรณี

อาคารจำลองต้นแบบ (Base case building) เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E คือได้ค่า $sDA_{300/50\%}$ เท่ากับ 45.68 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ปริมาณแสงธรรมชาติขั้นต่ำ การออกแบบแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตตามหัวข้อ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard จึงใช้ทางเลือกพิจารณาจากแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว คือ ต้องการค่า EML ขั้นต่ำ 150 EML เพื่อให้สามารถผ่านเกณฑ์ได้

โดยผลการจำลองดวงโคมของอาคารจำลองต้นแบบ ดังตารางที่ 4.2 ใช้จำนวนดวงโคมทั้งหมด 152 ดวง ใช้ค่า LPD เท่ากับ 2.85 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยกำหนดให้ค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ต้องผ่านตามกฎหมาย ซึ่งผลการจำลองได้ขั้นต่ำ 305.17 ลักซ์ ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) เท่ากับ 149.96 ลักซ์ เมื่อนำไปคูณกับ Melanopic Ratio (MR) ที่ 0.76 ของหลอดไฟ CCT 4000K ตามสูตรแล้ว ได้ค่า EML เท่ากับ 114 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำในการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting

ตารางที่ 4.2 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคารจำลองต้นแบบ (Base case building)

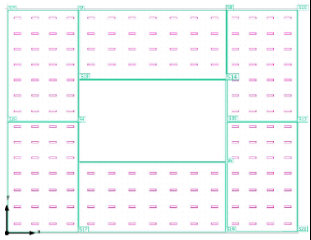
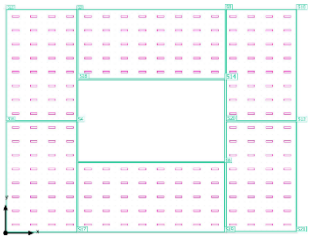
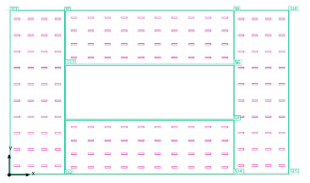
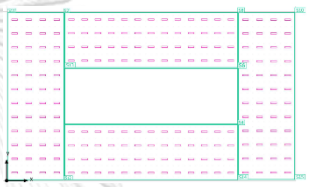
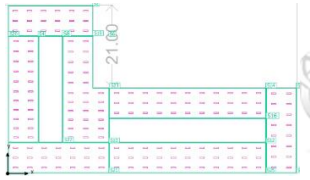
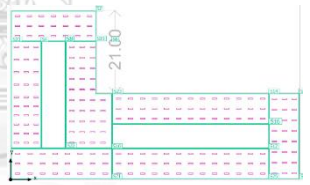
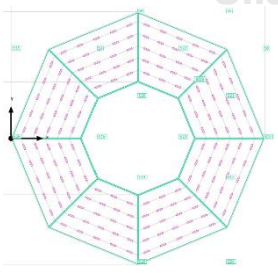
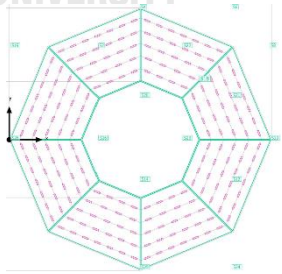
อาคารจำลองต้นแบบ (Base case building)		
	Luminaires (pcs.)	152
	Avg Ep (lux)	305.17
	Avg Ev (lux)	149.96
	EML	114 (ไม่ผ่านเกณฑ์)
	LPD (W/sqm)	2.85

การจำลองอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 56 กรณีศึกษา กำหนดให้ทุกกรณีมีค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) มากกว่า 300 ลักซ์ ตามกฎหมาย และมีค่า EML ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทั้งหมด โดยในตารางที่ 4.3 แสดงผลการจำลองดวงโคมของอาคารกรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน แบ่งออกเป็น ต้องการค่า EML ขั้นต่ำ 120 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ผ่าน และขั้นต่ำ 150 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ไม่ผ่านเกณฑ์ ทั้งหมดจำนวน 14 กรณีศึกษา

ผลการจำลอง ดังตารางที่ 4.3 พบว่า ในกรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 120 EML ต้องใช้จำนวนดวงโคมระหว่าง 156 ถึง 171 ดวง ได้ค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) 317 - 342 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งอยู่ในช่วง 159.50 - 171.19 ลักซ์ คำนวณกับ Melanopic Ratio (MR) ที่ 0.76 ของหลอดไฟ CCT 4000K ทำให้ได้ค่า EML อยู่ที่ 121 - 130 EML ซึ่งจะทำให้ LPD อยู่ในช่วง 2.91 - 3.22 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยกรณีใช้จำนวนดวงโคมน้อยที่สุด ที่ 156 ดวง คือ กรณีแกนบริการริมรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 และสัดส่วน 1:1.7 กรณีใช้จำนวนหลอดไฟมากที่สุด คือ กรณีรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง ใช้จำนวนดวงโคม 171 ดวง ซึ่งส่งผลให้ค่า LPD เท่ากับ 3.22 วัตต์ต่อตารางเมตร สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารรูปทรงกรณีอื่น แต่กรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 150 EML รูปแบบอาคารที่ใช้จำนวนดวงโคมน้อยที่สุด เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน

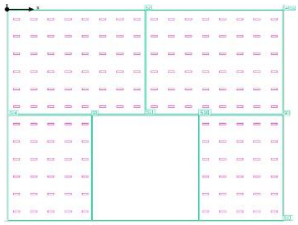
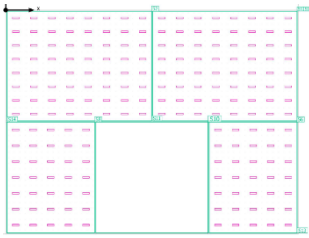
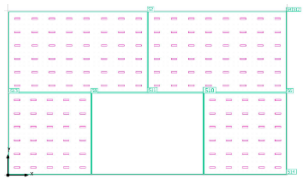
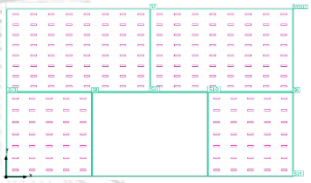
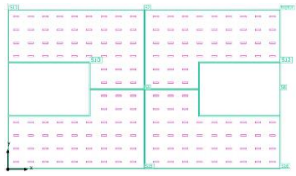
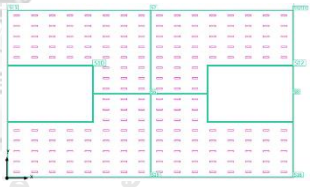
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.3 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน

Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 120 EML			**Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 150 EML**		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	208
	Avg Ep (lux)	336.50		Avg Ep (lux)	409.00
	Avg Ev (lux)	165.88		Avg Ev (lux)	203.17
	EML	126		EML	154
	LPD (W/sqm)	3.14		LPD (W/sqm)	3.89
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	160		Luminaires (pcs.)	200
	Avg Ep (lux)	323.75		Avg Ep (lux)	403.25
	Avg Ev (lux)	161.34		Avg Ev (lux)	203.19
	EML	123		EML	154
	LPD (W/sqm)	3.01		LPD (W/sqm)	3.76
รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	171		Luminaires (pcs.)	212
	Avg Ep (lux)	327.29		Avg Ep (lux)	405.57
	Avg Ev (lux)	159.50		Avg Ev (lux)	198.61
	EML	121		EML	151
	LPD (W/sqm)	3.22		LPD (W/sqm)	4.00
รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	208
	Avg Ep (lux)	339.75		Avg Ep (lux)	416.63
	Avg Ev (lux)	167.19		Avg Ev (lux)	205.38
	EML	127		EML	156
	LPD (W/sqm)	3.22		LPD (W/sqm)	3.99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 4.3 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน (ต่อ)

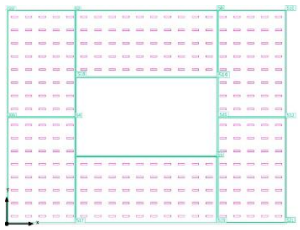
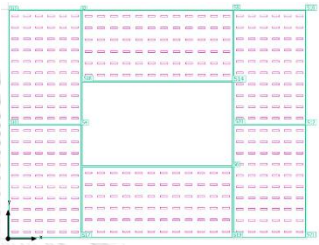
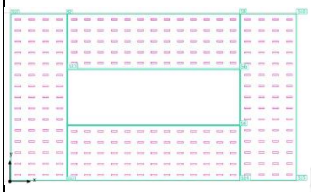
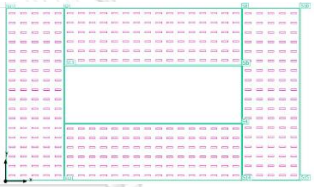
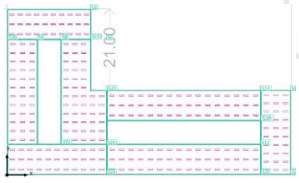
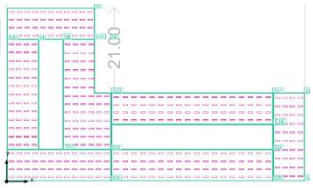
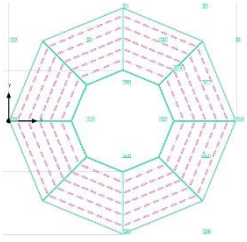
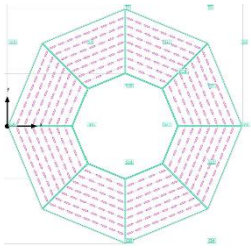
Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 120 EML			Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 150 EML		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	156		Luminaires (pcs.)	198
	Avg Ep (lux)	317.00		Avg Ep (lux)	397.00
	Avg Ev (lux)	159.75		Avg Ev (lux)	199.19
	EML	121		EML	151
	LPD (W/sqm)	2.91		LPD (W/sqm)	3.69
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	156		Luminaires (pcs.)	198
	Avg Ep (lux)	322.00		Avg Ep (lux)	400.50
	Avg Ev (lux)	162.25		Avg Ev (lux)	201.69
	EML	123		EML	153
	LPD (W/sqm)	2.94		LPD (W/sqm)	3.73
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	196
	Avg Ep (lux)	342.00		Avg Ep (lux)	397.00
	Avg Ev (lux)	171.19		Avg Ev (lux)	198.81
	EML	130		EML	151
	LPD (W/sqm)	3.15		LPD (W/sqm)	3.68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

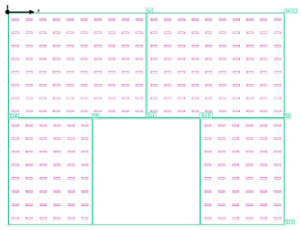
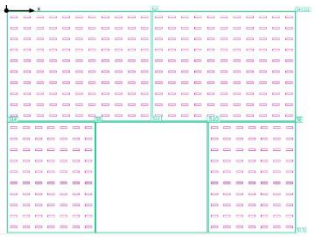
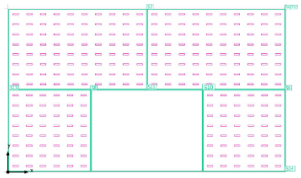
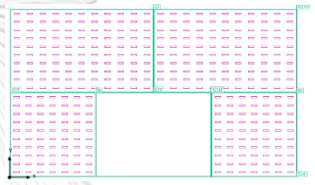
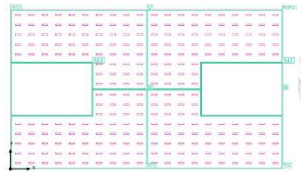
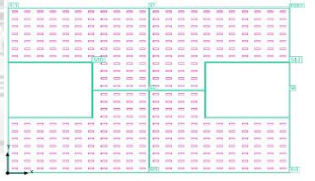
สำหรับผลการจำลองดวงโคมของอาคารกรณีค่า CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 4 คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 แบ่งออกเป็น ต้องการค่า EML ขั้นต่ำ 180 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ผ่าน และขั้นต่ำ 275 EML สำหรับกรณีที่ $sDA_{300/50\%}$ ไม่ผ่านเกณฑ์ ทั้งหมดจำนวน 14 กรณีศึกษา เนื่องจากค่า EML ขั้นต่ำที่เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนดวงโคม ค่า Ep ค่า Ev และค่า LPD สูงขึ้นในรูปแบบอาคารทุกกรณี เช่น กรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 180 EML ต้องใช้จำนวนดวงโคมระหว่าง 248 ถึง 273 ดวง ได้ค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) 500.25 - 524 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งอยู่ในช่วง 263.19 - 251.13 ลักซ์ คำนวณกับ Melanopic Ratio (MR) ที่ 0.76 ของหลอดไฟ CCT 4000K ทำให้ได้ค่า EML อยู่ที่ 191 - 200 EML ซึ่งจะทำให้ LPD อยู่ในช่วง 4.65- 4.91 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยกรณีใช้จำนวนดวงโคมน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ใช้ดวงโคม 248 ดวง และกรณีที่ใช้จำนวนดวงโคมมากที่สุด คือ

รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง ใช้ดวงโคม 273 ดวง ซึ่งส่งผลให้ค่า LPD เท่ากับ 5.14 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่กรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 275 EML รูปแบบอาคารที่ใช้จำนวนดวงโคมน้อยที่สุด เป็นอาคารแกนบริการริม รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 และ 1:1.7

ตารางที่ 4.4 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน

Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 180 EML			**Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 275 EML**		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	260		Luminaires (pcs.)	384
	Avg Ep (lux)	509.50		Avg Ep (lux)	751.17
	Avg Ev (lux)	252.92		Avg Ev (lux)	374.33
	EML	192		EML	284
	LPD (W/sqm)	4.87		LPD (W/sqm)	7.19
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	250		Luminaires (pcs.)	372
	Avg Ep (lux)	501.75		Avg Ep (lux)	741.50
	Avg Ev (lux)	254.56		Avg Ev (lux)	371.94
	EML	193		EML	283
	LPD (W/sqm)	4.70		LPD (W/sqm)	7.00
รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	273		Luminaires (pcs.)	398
	Avg Ep (lux)	524.00		Avg Ep (lux)	753.00
	Avg Ev (lux)	256.39		Avg Ev (lux)	370.50
	EML	195		EML	282
	LPD (W/sqm)	5.14		LPD (W/sqm)	7.50
รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	256		Luminaires (pcs.)	368
	Avg Ep (lux)	512.63		Avg Ep (lux)	734.88
	Avg Ev (lux)	252.44		Avg Ev (lux)	361.31
	EML	192		EML	275
	LPD (W/sqm)	4.91		LPD (W/sqm)	7.06

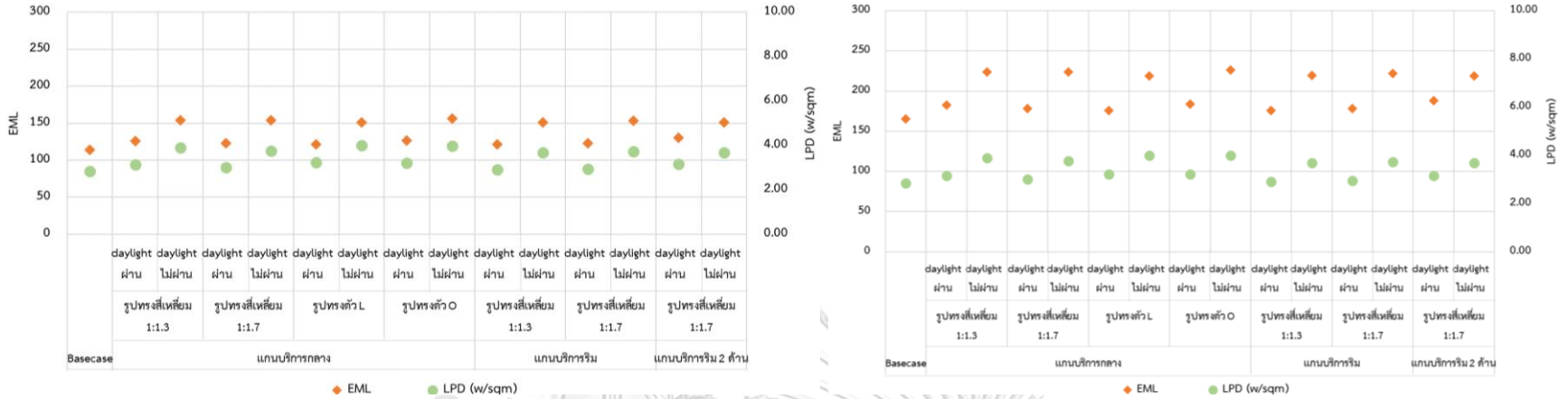
ตาราง 4.4 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน (ต่อ)

Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 180 EML			**Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 275 EML**		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	256		Luminaires (pcs.)	360
	Avg Ep (lux)	515.75		Avg Ep (lux)	725.50
	Avg Ev (lux)	258.81		Avg Ev (lux)	366.75
	EML	197		EML	279
	LPD (W/sqm)	4.77		LPD (W/sqm)	6.71
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	256		Luminaires (pcs.)	360
	Avg Ep (lux)	521.50		Avg Ep (lux)	733.00
	Avg Ev (lux)	263.19		Avg Ev (lux)	368.94
	EML	200		EML	280
	LPD (W/sqm)	4.82		LPD (W/sqm)	6.78
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน					
	Luminaires (pcs.)	248		Luminaires (pcs.)	372
	Avg Ep (lux)	500.25		Avg Ep (lux)	746.00
	Avg Ev (lux)	251.13		Avg Ev (lux)	373.56
	EML	191		EML	284
	LPD (W/sqm)	4.65		LPD (W/sqm)	6.98

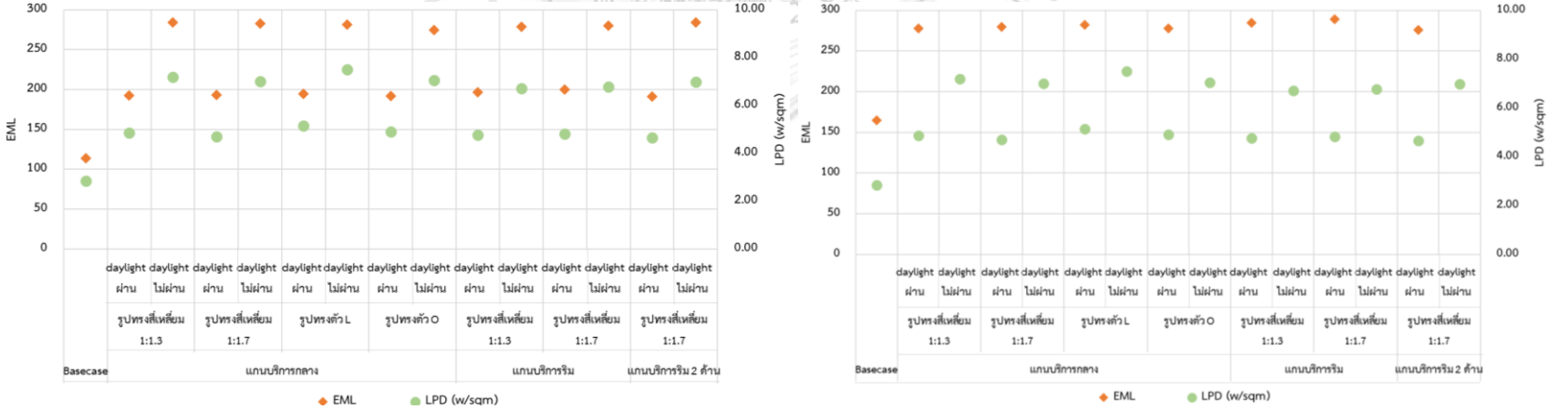
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ระหว่าง 4000K และ 6500K ในลักษณะที่ใช้ดวงโคมประเภทเดียวกัน จำนวนและรูปแบบการจัดวางผังดวงโคมเดิม พบว่า ค่า CCT ไม่มีผลต่อปริมาณความส่องสว่าง แต่มีผลต่อค่า EML เนื่องจาก Melanopic Ratio (MR) ที่นำไปคำนวณกับ Ev ต่างกันซึ่ง MR ของ CCT 6500K เท่ากับ 1.10 ส่งผลให้ค่า EML สูงขึ้นจากCCT 4000K 1.45 เท่า และไม่มีผลต่อค่า LPD เนื่องจากใช้จำนวนดวงโคมเท่าเดิม ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่า CCT ที่ต่างกัน ในขณะที่ใช้ประเภทและจำนวนดวงโคมเท่ากัน มีผลต่อค่า EML แต่ไม่ส่งผลต่อค่า LPD

ดังนั้นงานวิจัยจึงนำมาจัดรูปแบบการจัดวางดวงโคมใหม่ โดยคำนวณการจัดวางผังดวงโคมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำนวนดวงโคมลดลง และยังสามารถได้ความส่องสว่างตามที่กฎหมายกำหนด พร้อมทั้งผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting เพื่อหาแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารลงได้ ผลการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

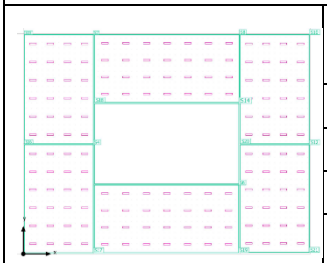
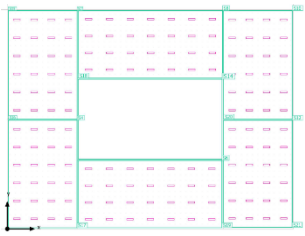
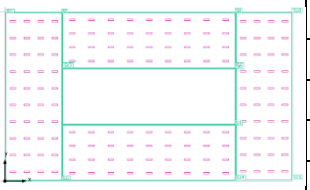
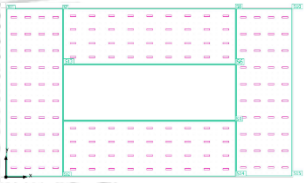
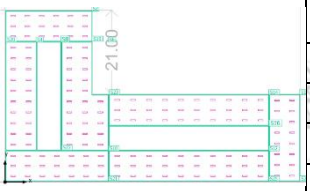
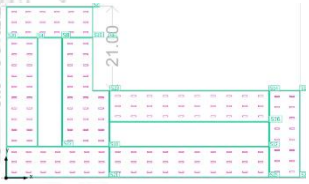
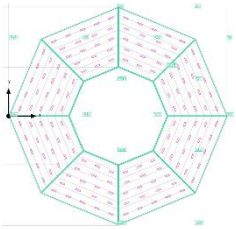
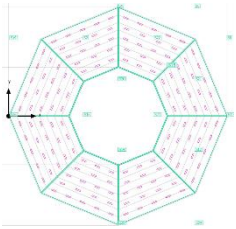


ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการจำลองค่า EML กับค่า LPD ระหว่าง กรณี CCT 4000K (ซ้าย) กรณี 6500K (ขวา) สำหรับทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน ในลักษณะที่ใช้ประเภท จำนวน และรูปแบบการจัดวางผังดวงโคม เดียวกัน



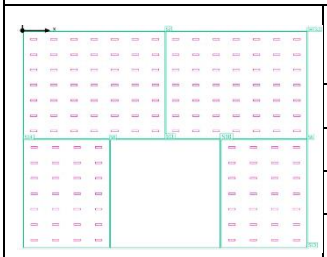
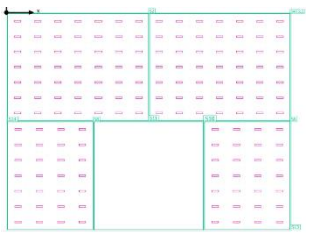
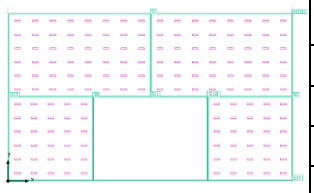
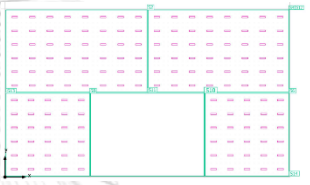
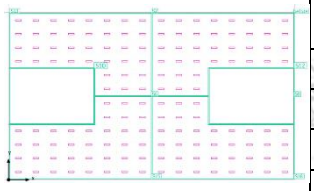
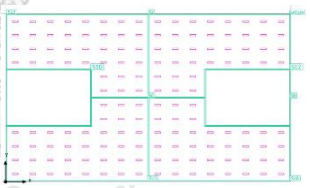
ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการจำลองค่า EML กับค่า LPD ระหว่าง กรณี CCT 4000K (ซ้าย) กรณี 6500K (ขวา) สำหรับทำคะแนน Circadian Lighting 4 คะแนน ในลักษณะที่ใช้ประเภท จำนวน และรูปแบบการจัดวางผังดวงโคม เดียวกัน

ตารางที่ 4.5 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน

Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 120 EML			**Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 150 EML**		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	152		Luminaires (pcs.)	152
	Avg Ep (lux)	303.50		Avg Ep (lux)	303.50
	Avg Ev (lux)	149.96		Avg Ev (lux)	149.96
	EML	165		EML	165
	LPD (W/sqm)	2.85		LPD (W/sqm)	2.85
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	152		Luminaires (pcs.)	152
	Avg Ep (lux)	308.00		Avg Ep (lux)	308.00
	Avg Ev (lux)	153.75		Avg Ev (lux)	153.75
	EML	169		EML	169
	LPD (W/sqm)	2.86		LPD (W/sqm)	2.86
รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	160		Luminaires (pcs.)	160
	Avg Ep (lux)	309.14		Avg Ep (lux)	309.14
	Avg Ev (lux)	150.71		Avg Ev (lux)	150.71
	EML	166		EML	166
	LPD (W/sqm)	3.02		LPD (W/sqm)	3.02
รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	152		Luminaires (pcs.)	152
	Avg Ep (lux)	307.63		Avg Ep (lux)	307.63
	Avg Ev (lux)	151.19		Avg Ev (lux)	151.19
	EML	166		EML	166
	LPD (W/sqm)	2.91		LPD (W/sqm)	2.91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 4.5 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน (ต่อ)

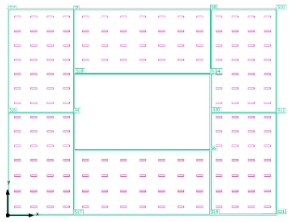
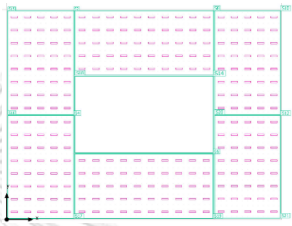
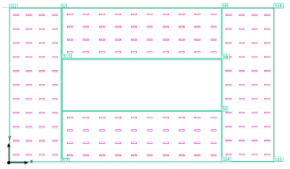
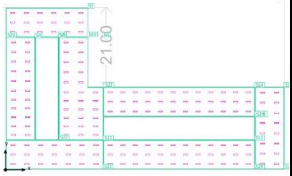
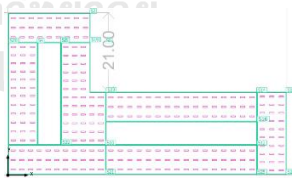
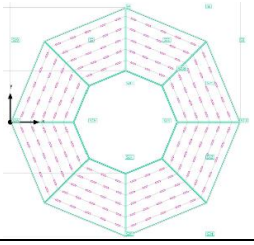
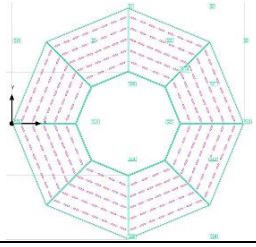
Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 120 EML			Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 150 EML		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	154		Luminaires (pcs.)	154
	Avg Ep (lux)	311.50		Avg Ep (lux)	311.50
	Avg Ev (lux)	156.19		Avg Ev (lux)	156.19
	EML	172		EML	172
	LPD (W/sqm)	2.87		LPD (W/sqm)	2.87
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	156		Luminaires (pcs.)	156
	Avg Ep (lux)	322.00		Avg Ep (lux)	322.00
	Avg Ev (lux)	162.25		Avg Ev (lux)	162.25
	EML	178		EML	178
	LPD (W/sqm)	2.94		LPD (W/sqm)	2.94
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน					
	Luminaires (pcs.)	152		Luminaires (pcs.)	152
	Avg Ep (lux)	308.00		Avg Ep (lux)	308.00
	Avg Ev (lux)	154.75		Avg Ev (lux)	154.75
	EML	170		EML	170
	LPD (W/sqm)	2.85		LPD (W/sqm)	2.85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

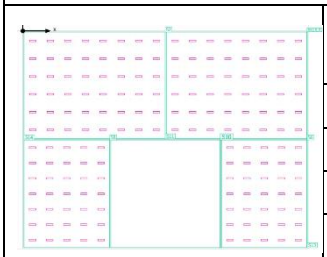
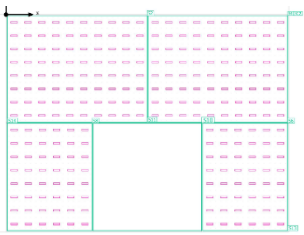
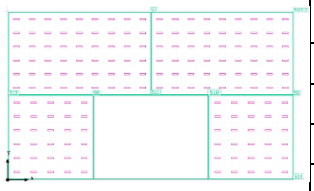
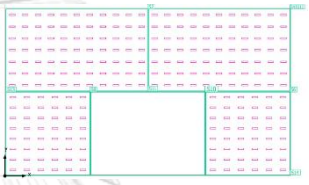
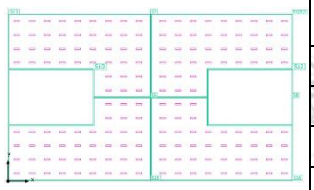
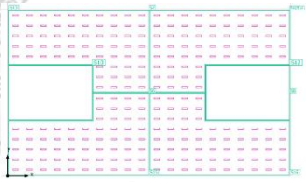
จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการจำลองดวงโคมของอาคารกรณีค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 2 คะแนน เนื่องจากคำนวณการจัดวางผังดวงโคมซึ่งใช้จำนวนดวงโคมลดลงเมื่อเทียบกับกรณี CCT 4000K ทำให้ค่า LPD ลดลง เช่น กรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 120 EML ต้องใช้จำนวนดวงโคมระหว่าง 152 ถึง 160 ดวง ได้ค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) 303.50 – 322 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งอยู่ในช่วง 149.96 – 162.25 ลักซ์ คำนวณกับ Melanopic Ratio (MR) ที่ 1.10 ของหลอดไฟ CCT 6500K ทำให้ได้ค่า EML อยู่ที่ 165 - 178 EML ซึ่งจะทำให้ LPD อยู่ในช่วง 2.85 – 3.02 วัตต์ต่อตารางเมตร ในบางกรณีอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม ไม่สามารถลดจำนวนดวงโคมลงได้ เนื่องจากปริมาณความส่องสว่าง Ep จะน้อยกว่า 300 ลักซ์ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนด แต่ก็ยังใช้จำนวนดวงโคมน้อยกว่ารูปทรงตัว L ซึ่งใช้จำนวนดวงโคมมากสุด 160 ดวง โดยในกรณีค่า CCT 6500K สำหรับทำ 2 คะแนน

ผลการจำลองกรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 120 EML กับ 150 EML จะมีค่าต่างๆเท่ากัน เนื่องจากจำนวนดวงโคมที่ให้ความส่องสว่างผ่านเกณฑ์มากกว่า 300 ลักซ์ ต่ำสุด 152 ดวง ทำให้ EML ที่คำนวณได้ต่ำสุด 165 EML ซึ่งผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทั้ง 2 กรณี

ตารางที่ 4.6 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน

Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 180 EML			**Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 275 EML**		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	260
	Avg Ep (lux)	336.50		Avg Ep (lux)	511.33
	Avg Ev (lux)	165.88		Avg Ev (lux)	253.33
	EML	182		EML	279
	LPD (W/sqm)	3.14		LPD (W/sqm)	4.87
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	250
	Avg Ep (lux)	339.75		Avg Ep (lux)	501.75
	Avg Ev (lux)	171.00		Avg Ev (lux)	254.50
	EML	188		EML	280
	LPD (W/sqm)	3.16		LPD (W/sqm)	4.70
รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	177		Luminaires (pcs.)	270
	Avg Ep (lux)	335.71		Avg Ep (lux)	516.14
	Avg Ev (lux)	163.68		Avg Ev (lux)	252.46
	EML	180		EML	278
	LPD (W/sqm)	3.34		LPD (W/sqm)	5.09
รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	256
	Avg Ep (lux)	339.75		Avg Ep (lux)	512.63
	Avg Ev (lux)	167.19		Avg Ev (lux)	252.44
	EML	184		EML	278
	LPD (W/sqm)	3.22		LPD (W/sqm)	4.91

ตาราง 4.6 ผลการจัดวางดวงโคมของอาคาร 7 รูปทรง กรณีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน (ต่อ)

Daylight ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 180 EML			**Daylight ไม่ผ่านเกณฑ์: ต้องการขั้นต่ำ 275 EML**		
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	166		Luminaires (pcs.)	256
	Avg Ep (lux)	344.50		Avg Ep (lux)	515.75
	Avg Ev (lux)	172.94		Avg Ev (lux)	259.50
	EML	190		EML	285
	LPD (W/sqm)	3.09		LPD (W/sqm)	4.77
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	250
	Avg Ep (lux)	341.25		Avg Ep (lux)	511.25
	Avg Ev (lux)	172.25		Avg Ev (lux)	257.75
	EML	189		EML	284
	LPD (W/sqm)	3.16		LPD (W/sqm)	4.71
รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน					
	Luminaires (pcs.)	168		Luminaires (pcs.)	248
	Avg Ep (lux)	342.00		Avg Ep (lux)	500.25
	Avg Ev (lux)	171.19		Avg Ev (lux)	251.13
	EML	188		EML	276
	LPD (W/sqm)	3.15		LPD (W/sqm)	4.65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการจำลองดวงโคมของอาคารกรณีค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 4 คะแนน พบว่า กรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 180 EML ต้องใช้จำนวนดวงโคมระหว่าง 166 ถึง 177 ดวง ได้ค่าความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) 335.71 – 344.50 ลักซ์ ค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งอยู่ในช่วง 163.68 – 172.94 ลักซ์ คำนวณกับ Melanopic Ratio (MR) ที่ 1.10 ของหลอดไฟ CCT 6500K ทำให้ได้ค่า EML อยู่ที่ 182 - 190 EML ซึ่งจะทำให้ LPD อยู่ในช่วง 3.09 – 3.34 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยกรณีที่ใช้จำนวนดวงโคมมากที่สุด คือ รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง ซึ่งสอดคล้องกับกรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 275 EML ส่วนรูปแบบอาคารที่ใช้จำนวนดวงโคมน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ใช้ดวงโคม 166 ดวง แต่ในกรณีที่ต้องการ EML ขั้นต่ำ 275 EML อาคารที่ใช้จำนวนดวงโคมน้อยที่สุด เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน

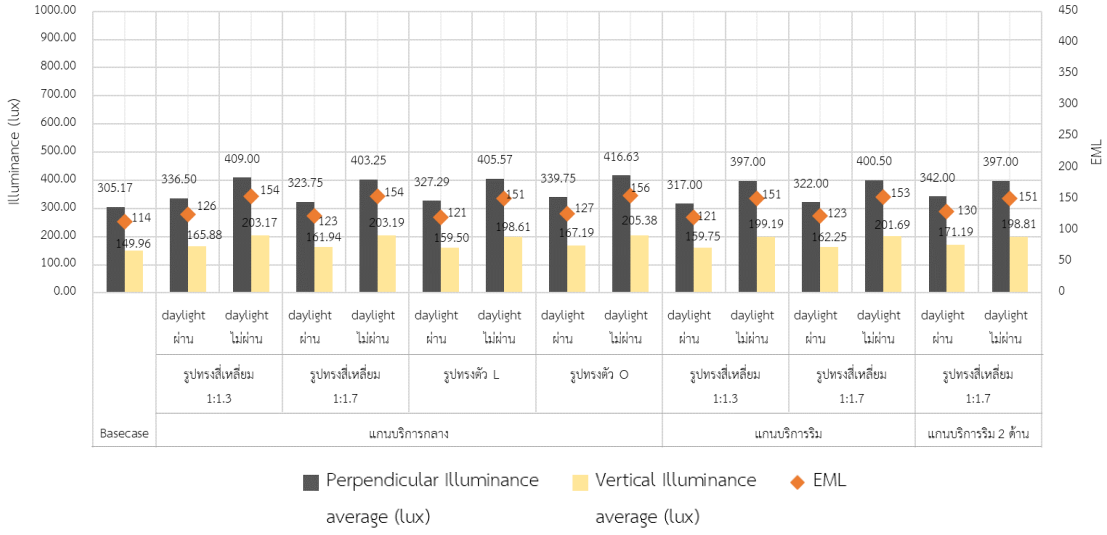
4.2.2 ความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคาร จำนวนดวงโคม ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแสงประดิษฐ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงอาคาร จำนวนดวงโดม ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแสงประดิษฐ์จากตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยคือ รูปทรงอาคาร และค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ (CCT) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร นำไปสู่แนวทางในการจัดวางผังดวงโคมของอาคารสำนักงานสำหรับประเทศไทยในรูปทรงอาคารแต่ละกรณี

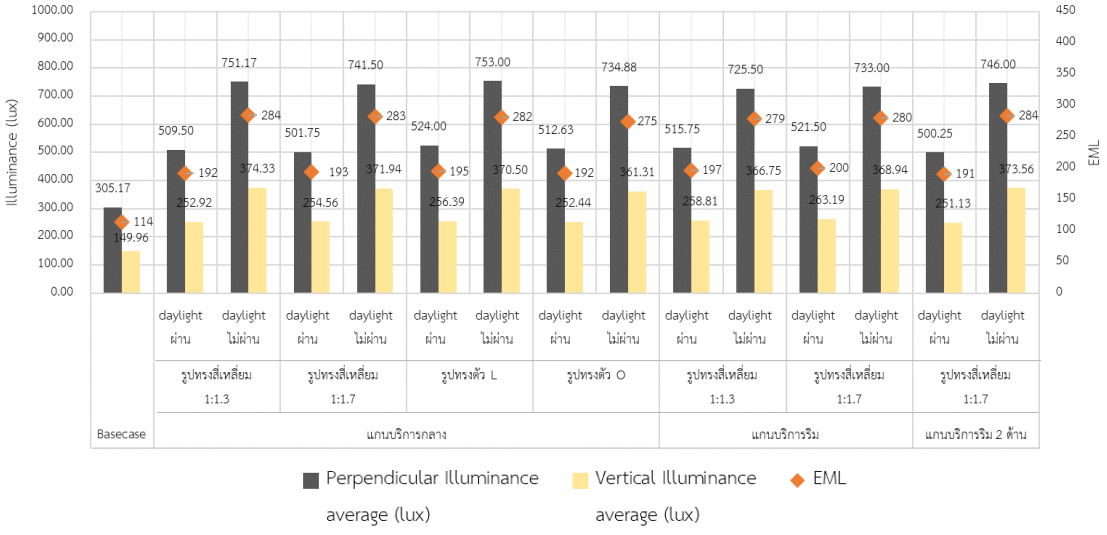
4.2.2.1 ความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคารกับปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า EML

จากผลการคำนวณปริมาณค่า Ep Ev และ EML ของอาคารแต่ละรูปทรง ทั้งหมด 56 กรณีศึกษา ดังในภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคารกับทั้ง 3 ค่า ในกรณีที่ หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำคะแนน 2 คะแนน เมื่อเทียบระหว่างกรณีอาคารที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์แล้ว อาคารที่ได้ค่า Ep Ev และ EML สูงสุดคือรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ส่วนอาคารที่ค่า Ep ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม อาคารที่ได้ค่า Ev ต่ำสุด คือ รูปทรงตัว L และอาคารที่ค่า EML ต่ำสุดคือ รูปทรงตัว L และ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม แต่กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ อาคารที่ได้ค่า Ep Ev และ EML สูงสุดคือ รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง ส่วนอาคารที่ค่า Ep ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม และรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน อาคารที่ค่า Ev ต่ำสุดคือ รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง และอาคารที่ค่า EML ต่ำสุด คือ รูปทรงตัว L

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



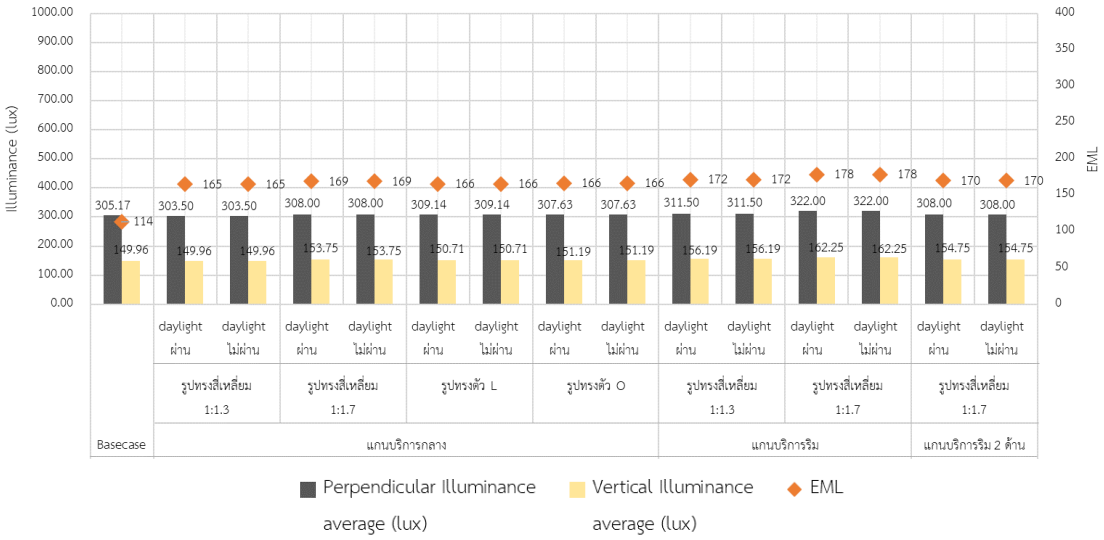
ภาพที่ 4.8 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน



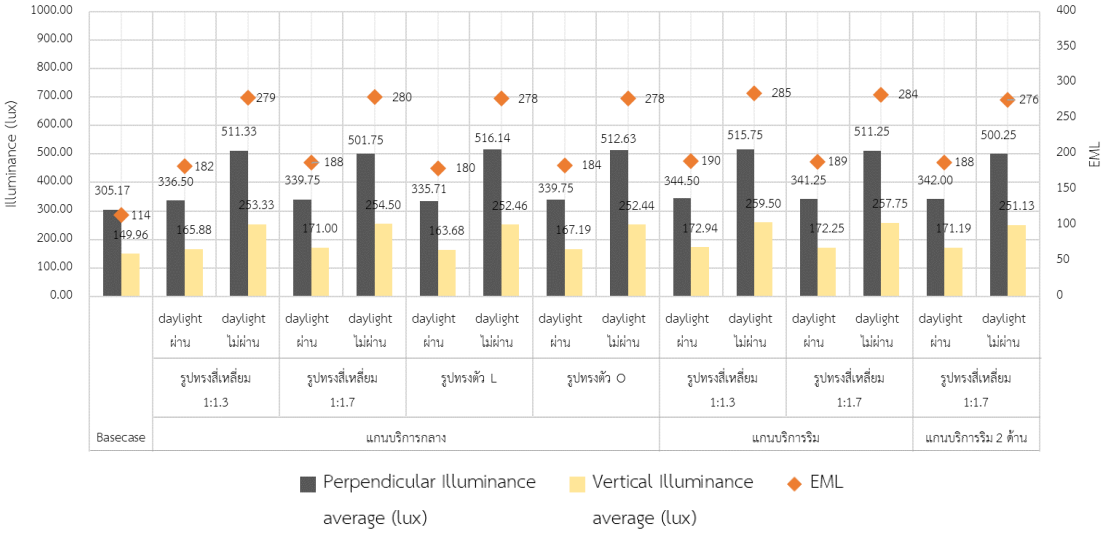
ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน

จากภาพที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคารกับทั้ง 3 ค่า ในกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำคะแนน 4 คะแนน เมื่อเทียบระหว่างกรณีอาคารที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์แล้ว อาคารที่ได้ค่า Ep สูงสุด คือ รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง อาคารที่ได้ค่า Ev สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม และอาคารที่ได้ค่า EML สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม เช่นกัน ส่วนอาคารที่ค่า Ep Ev และ EML ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน แต่กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ อาคารที่ได้ค่า Ep สูงสุด คือ รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง อาคารที่ได้ค่า Ev สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง และอาคารที่ได้ค่า EML สูงสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง และรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ส่วนอาคารที่ค่า Ep ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม อาคารที่ค่า Ev ต่ำสุดคือรูปทรงตัว O แกนบริการกลาง และอาคารที่ค่า EML ต่ำสุด คือ รูปทรงตัว O เช่นกัน

สำหรับกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำคะแนน 2 คะแนน ความสัมพันธ์ผลการจำลองของรูปทรงอาคารกับค่า Ep Ev และ EML แสดงดังภาพที่ 4.10 ซึ่งทั้ง 3 ค่ามีค่าเท่ากันทั้งกรณีอาคารที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ เนื่องจากจำนวนดวงโคมต่ำสุดที่ให้ความส่องสว่าง Ev คำนวณได้ค่า EML ที่ สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทั้ง 2 กรณี โดยผลการจำลองพบว่า รูปทรงอาคารที่ได้ค่า Ep Ev และ EML สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม ส่วนอาคารที่ค่า Ep Ev และ EML ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง



ภาพที่ 4.10 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน



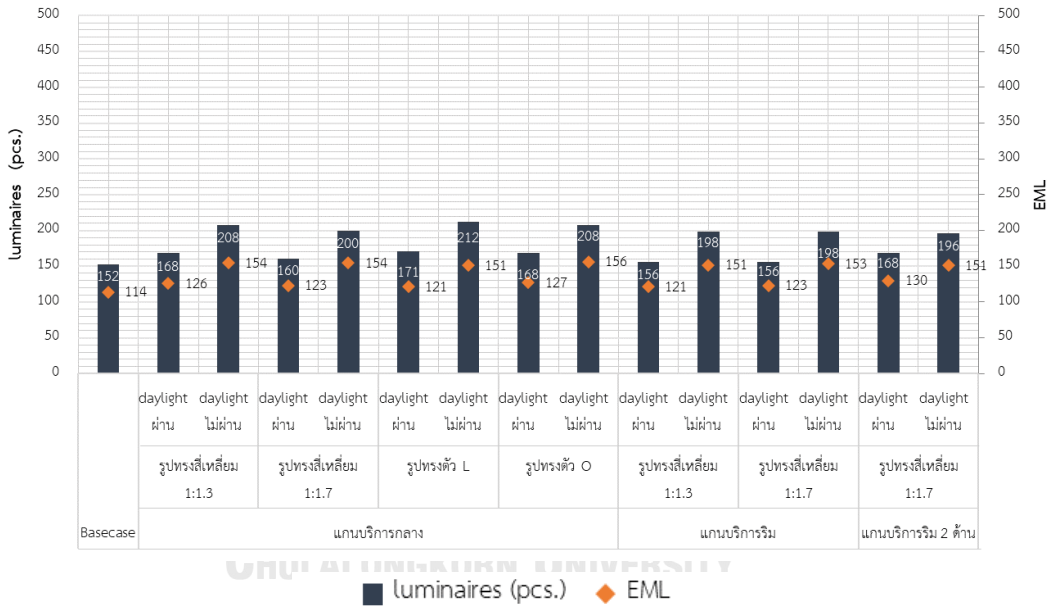
ภาพที่ 4.11 ผลการจำลองปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน

จากภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคารกับทั้ง 3 ค่า ในกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำคะแนน 4 คะแนน เมื่อเทียบระหว่างกรณีอาคารที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์แล้ว อาคารที่ได้ค่า Ep Ev และ EML สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ส่วนอาคารที่ได้ค่า Ep Ev และ EML ต่ำสุด คือ รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง แต่กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ อาคารที่ได้ค่า Ep คือ รูปทรงตัว L อาคารที่ได้ค่า Ev สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม และอาคารที่ได้ค่า EML สูงสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม เช่นกัน ส่วนอาคารที่ได้ค่า Ep Ev และ EML ต่ำสุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปทรงของอาคาร กับปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และ ค่า EML พบว่า รูปทรงของอาคาร มีผลต่อค่าความส่องสว่าง ทั้งความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) โดยตรง นอกจากนี้ยังขึ้นกับจำนวนการจัดวางดวงโคมที่เหมาะสมกับรูปทรงอาคารและการใช้งาน จึงทำให้ความส่องสว่างของอาคารแต่ละรูปทรงไม่เท่ากัน เนื่องจากการจัดวางผังดวงโคมและจำนวนดวงโคมที่ใช้แตกต่างกัน

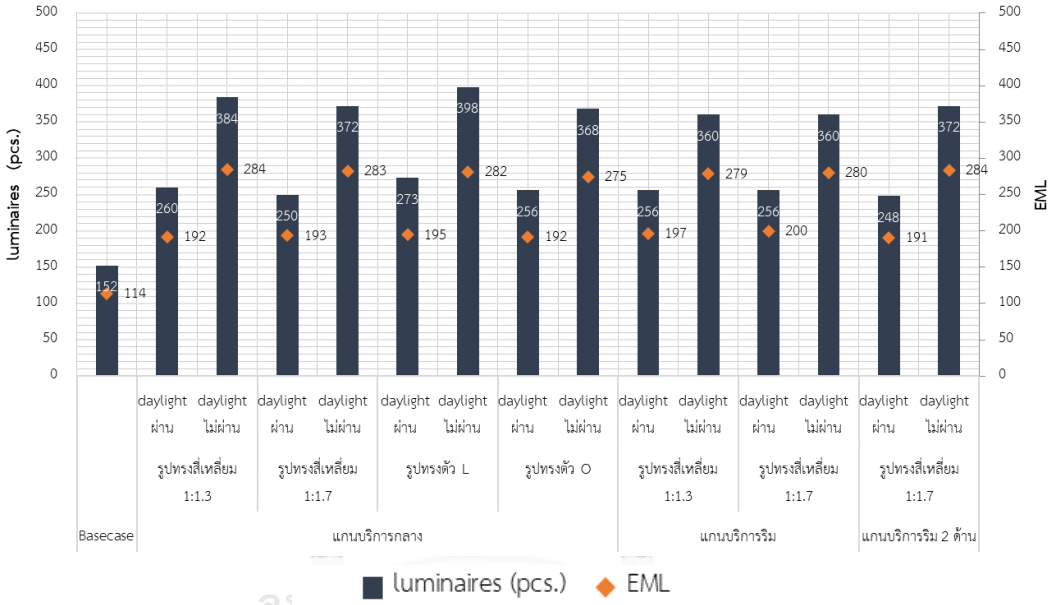
4.2.2.2 ความสัมพันธ์ของรูปทรงอาคาร จำนวนดวงโคมและค่า EML ของอาคารแต่ละกรณี

จากการคำนวณการจัดวางผังดวงโคมที่แตกต่างกันไปในอาคารแต่ละรูปทรงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้จำนวนดวงโคมที่ใช้แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่าง และค่า EML จากผลการคำนวณ ในกรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 2 คะแนน ดังภาพที่ 4.12 พบว่า เมื่อเทียบระหว่างกรณีอาคารที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์แล้ว อาคารรูปทรงตัว L เป็นกรณีที่ใช้จำนวนดวงโคมมากที่สุดจำนวน 171 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 121 EML ซึ่งน้อยกว่าหรือเท่ากันกับอาคารกรณีอื่นๆที่ใช้จำนวนดวงโคมน้อยกว่า เช่นเดียวกับกรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ และอาคารที่ใช้ดวงโคมน้อยที่สุดคือ อาคารแกนบริการริม รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 และ 1:1.7 ใช้ดวงโคม 156 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 121 EML และ 123 EML ตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน

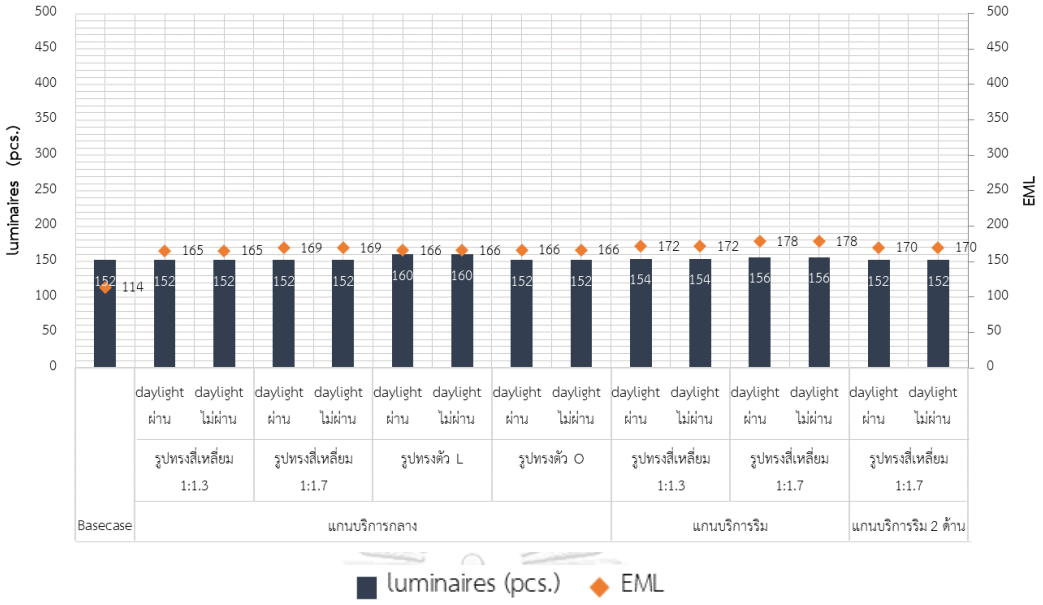
กรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 4 คะแนน ดังภาพที่ 4.13 ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์อาคารรูปทรงตัว L เป็นกรณีที่ใช้จำนวนดวงโคมมากที่สุดจำวน 273 ดวง ได้ค่า EML 195 EML ซึ่งน้อยกว่าอาคารกรณีอื่นๆที่ใช้จำนวนดวงโคมน้อยกว่า เช่นเดียวกับกรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ส่วนอาคารกรณีที่ใช้ดวงโคมน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ใช้ดวงโคม 250 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 193 EML ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ และในกรณีแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ อาคารแกนบริการริม รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 และ 1:1.7 ใช้ดวงโคมน้อยสุดที่จำนวน 360 ดวง ได้ค่า EML 279 และ 280 EML ตามลำดับ



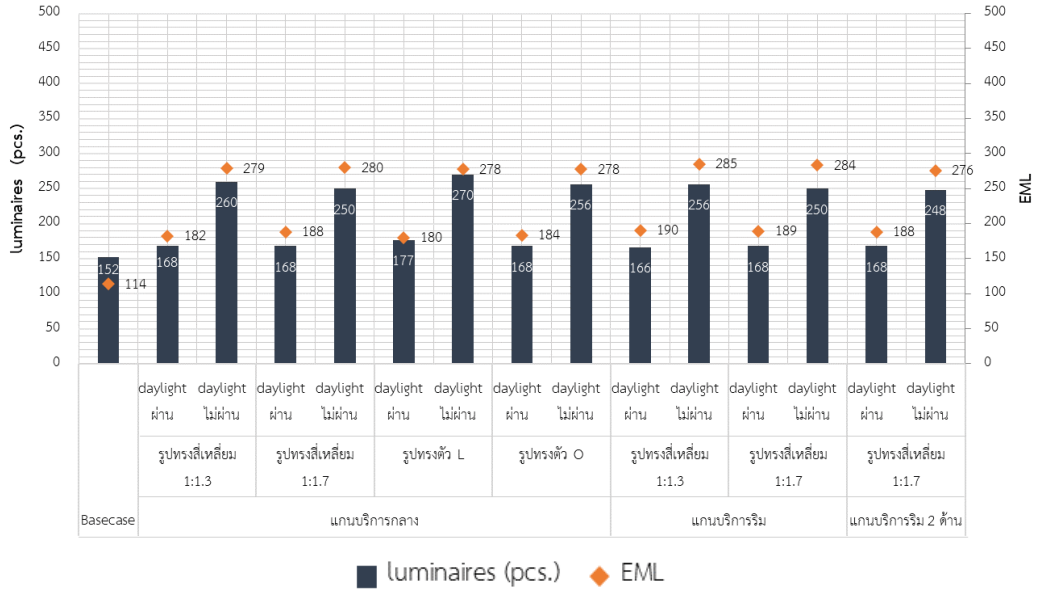
ภาพที่ 4.13 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน

สำหรับกรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 2 คะแนน ดังภาพที่ 4.14 จำนวนดวงโคมเท่ากันทั้งกรณีอาคารที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ เนื่องจากจำนวนดวงโคมต่ำสุดที่ให้ความส่องสว่าง Ev คำนวณได้ค่า EML ที่ สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทั้ง 2 กรณี อาคารรูปทรงตัว L ก็เป็นอาคารที่ใช้จำนวนดวงโคมมากที่สุดเช่นเดียวกับ 2 กรณีข้างต้น ซึ่งใช้จำนวนดวงโคม 160 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 166 EML ส่วนอาคารกรณีที่ใช้ดวงโคมน้อยที่สุด คือ อาคารแกนบริการกลาง รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 สัดส่วน 1:1.7 และอาคารรูปทรงตัว O และอาคารแกนบริการริม 2 ด้าน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 ใช้จำนวนดวงโคม 152 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 165 169 166 และ 170 EML ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.14 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 2 คะแนน



ภาพที่ 4.15 ผลการจำลองจำนวนดวงโคมกับค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) ของแต่ละกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard สำหรับทำ 4 คะแนน

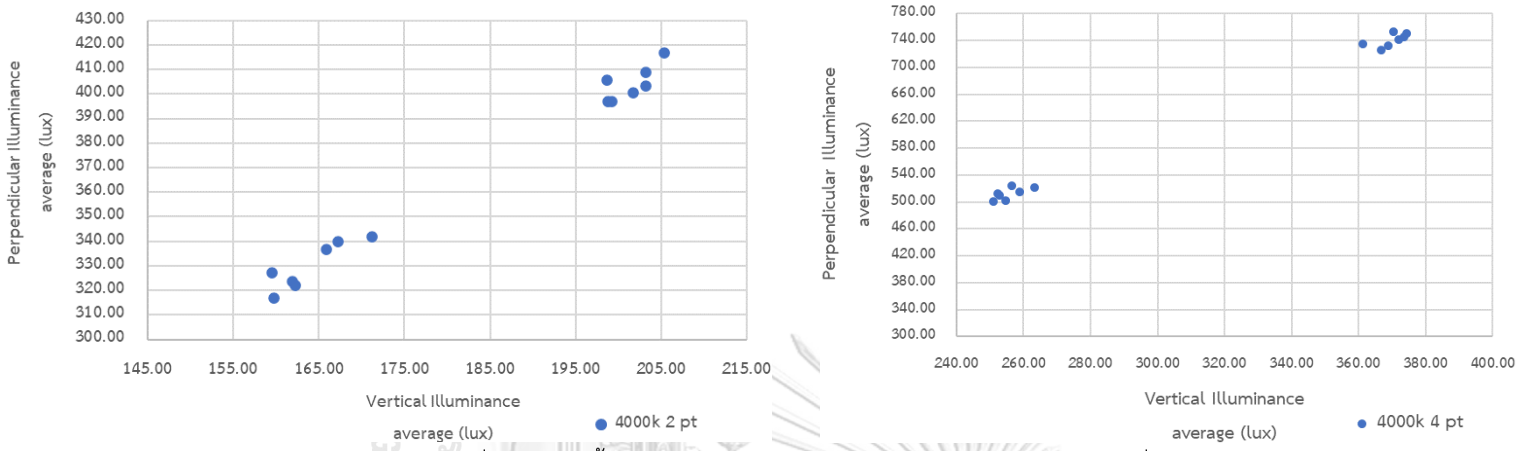
จากภาพที่ 4.15 กรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting สำหรับทำ 4 คะแนน อาคารที่ใช้จำนวนดวงโคมมากที่สุด คือ รูปทรงตัว L เช่นเดียวกัน โดยใช้ดวงโคม 177 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 180 EML เช่นเดียวกับกรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ใช้ดวงโคม 270 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 278 EML ส่วนอาคารกรณีที่ใช้ดวงโคมน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ใช้ดวงโคม 166 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 190 EML ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ และในกรณีแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ อาคารกรณีที่ใช้ดวงโคมน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ใช้ดวงโคม 250 ดวง ได้ค่า EML เท่ากับ 280 EML จะเห็นได้ว่า รูปทรงตัว L ที่ใช้จำนวนดวงโคมมากกว่า กลับได้ค่า EML ที่น้อยกว่ากรณีอาคารที่ใช้ดวงโคมน้อยที่สุด

ดังนั้น รูปทรงมีผลต่อการจัดวางผังดวงโคม เพื่อให้ได้แสงสว่างและการวางดวงโคมที่เหมาะสมกับแต่ละรูปทรงอาคาร ซึ่งจะส่งผลต่อจำนวนดวงโคมที่ใช้จะแตกต่างกันในบางกรณี และจำนวนดวงโคมที่ใช้จะส่งผลต่อค่า EML เมื่อเทียบในอาคารรูปทรงเดียวกัน จำนวนดวงโคมจะแปรผันตรงกับค่า EML คือ ถ้าจำนวนดวงโคมที่ใช้เพิ่มขึ้น ค่า EML ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงอาคารอื่นที่ใช้จำนวนดวงโคมเท่ากัน แต่ค่า EML ไม่เท่ากัน แสดงว่ารูปทรงของอาคารมีผลต่อค่า EML เช่นกัน

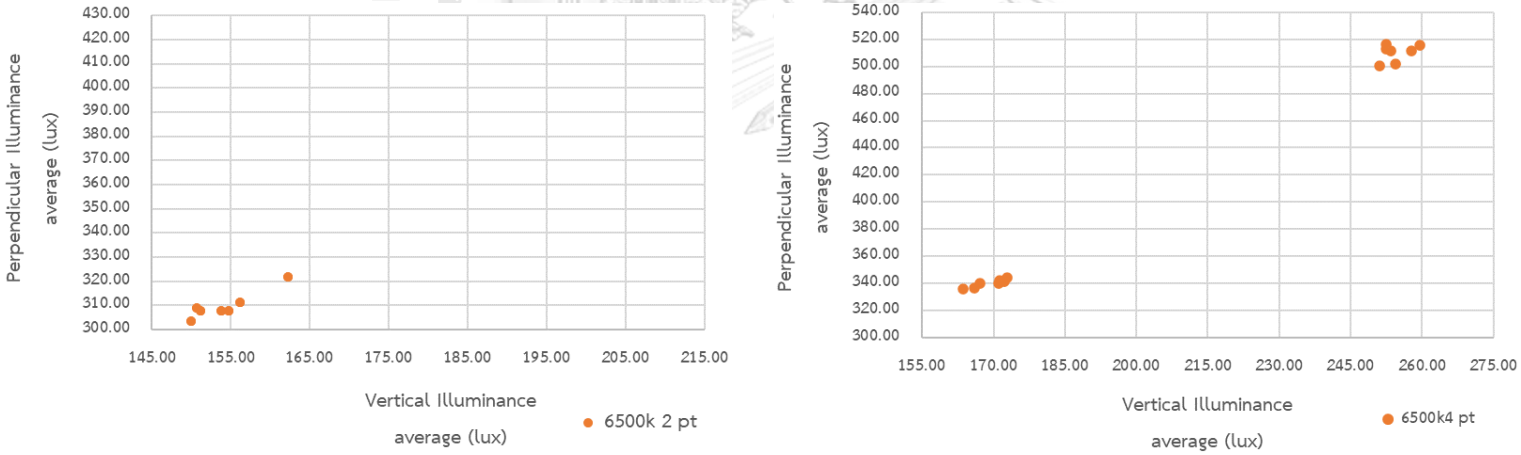
4.2.2.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev)

จากผลการคำนวณตามตารางที่ 4.3 กรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 2 คะแนน ยกตัวอย่างอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 336.50 ลักซ์ และปริมาณความส่องสว่าง Ev เท่ากับ 165.88 ลักซ์ กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 409 ลักซ์ และปริมาณความส่องสว่าง Ev เท่ากับ 203.17 ลักซ์ และกรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 4 คะแนน ตามตารางที่ 4.4 ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 509.50 ลักซ์ และปริมาณความส่องสว่าง Ev เท่ากับ 252.92 ลักซ์ กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 751.17 ลักซ์ และปริมาณความส่องสว่าง Ev เท่ากับ 374.33 ลักซ์ จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณแต่ละกรณีจะเห็นได้ว่า กรณีที่ปริมาณความส่องสว่าง Ep เพิ่มขึ้น ปริมาณความส่องสว่าง Ev จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ดังนั้น ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับ ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) มีความสอดคล้องไปในทิศทางทางเดียวกัน ในกรณีที่เปรียบเทียบอาคารรูปทรงเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบเพิ่มขึ้น ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ในภาพที่ 4.16 และ 4.17



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) กรณีค่า CCT 4000K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)



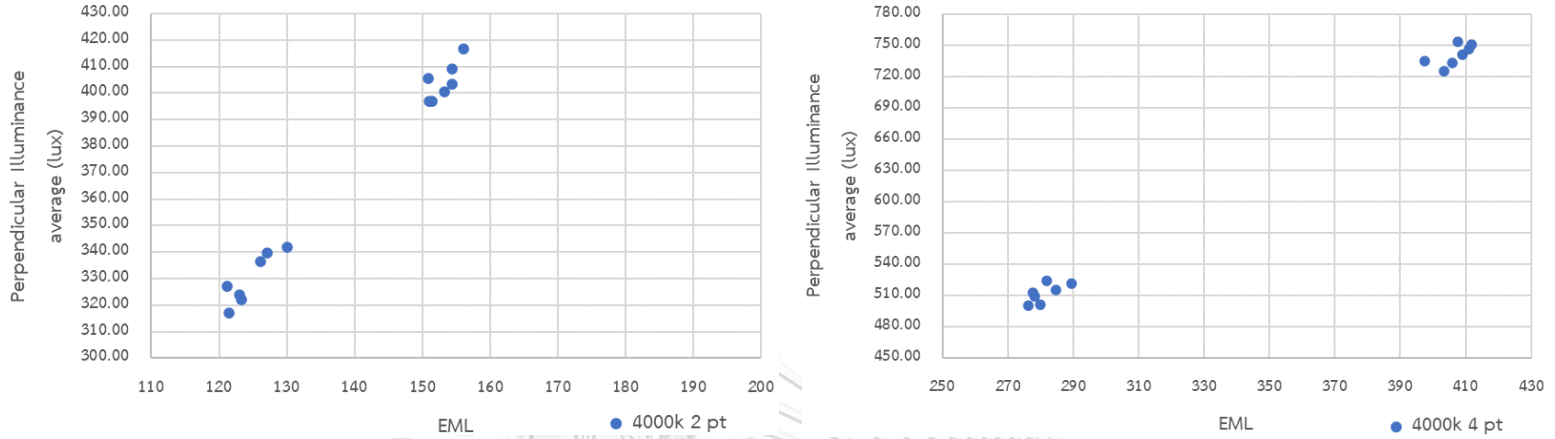
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) กรณีค่า CCT 6500K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)

4.2.2.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับค่า EML

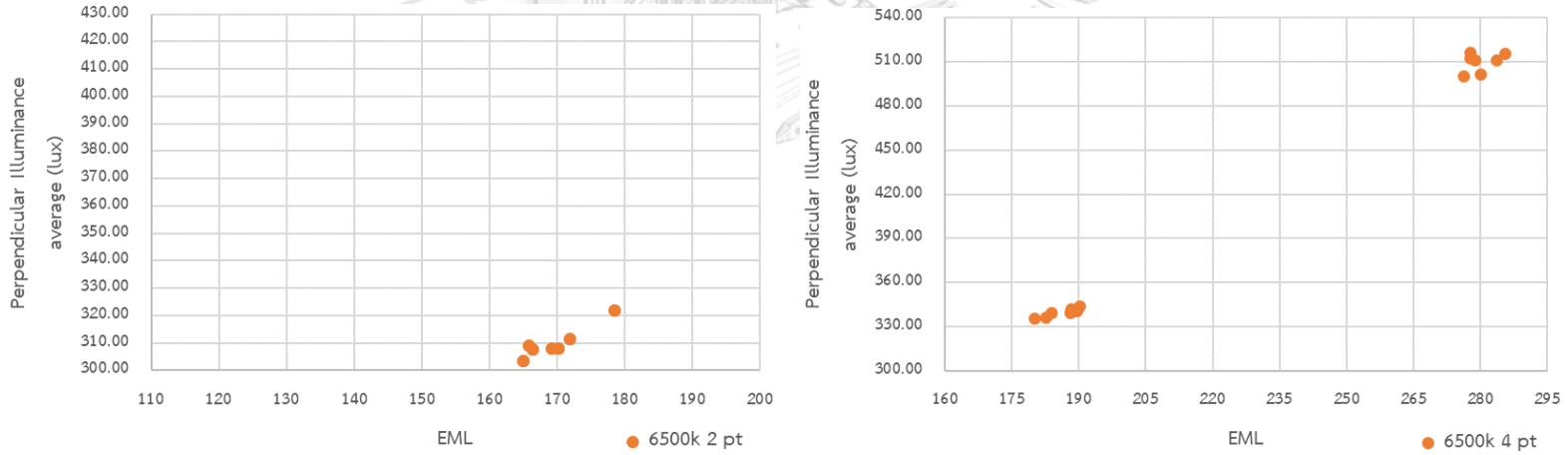
จากผลการคำนวณตามตารางที่ 4.3 กรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 2 คะแนน ยกตัวอย่างอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 336.50 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 126 EML กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 409 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 154 EML และกรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 4 คะแนน ตามตารางที่ 4.4 ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 509.50 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 192 EML กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 751.17 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 284 EML หรือยกตัวอย่างอีกกรณี คือ อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง กรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 2 คะแนน ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 323.75 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 123 EML กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 403.25 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 154 EML และกรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 4 คะแนน ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 501.75 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 193 EML กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณความส่องสว่าง Ep เท่ากับ 741.50 ลักซ์ และค่า EML เท่ากับ 283 EML จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณแต่ละกรณีจะเห็นได้ว่า ในอาคารรูปทรงเดียวกัน กรณีที่ปริมาณความส่องสว่าง Ep เพิ่มขึ้น ปริมาณค่า EML จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ดังนั้น ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับค่า EML มีความสอดคล้องไปในทิศทางทางเดียวกัน ในกรณีที่เปรียบเทียบอาคารรูปทรงเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบเพิ่มขึ้น ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ในภาพที่ 4.18 และ 4.19

โดยถ้าต้องการออกแบบให้แสงประดิษฐ์สามารถได้ Circadian Lighting ผ่านเกณฑ์ ตาม WELL Building Standard ขั้นต่ำ อย่างน้อย 120 EML สำหรับกรณีที่ได้รับแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ และอย่างน้อย 150 EML สำหรับกรณีที่ได้รับแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ พื้นที่ใช้งานของอาคารจะต้องมีปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) อย่างน้อย 317 ลักซ์ และ 397 ลักซ์ขึ้นไปตามลำดับ สำหรับกรณีใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K หรือต้องมีปริมาณ Ep อย่างน้อย 303.50 ลักซ์ ในกรณีใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 6500K



ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับค่า EML กรณีค่า CCT 4000K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)



ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) กับค่า EML กรณีค่า CCT 6500K ทำคะแนน Circadian Lighting 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)

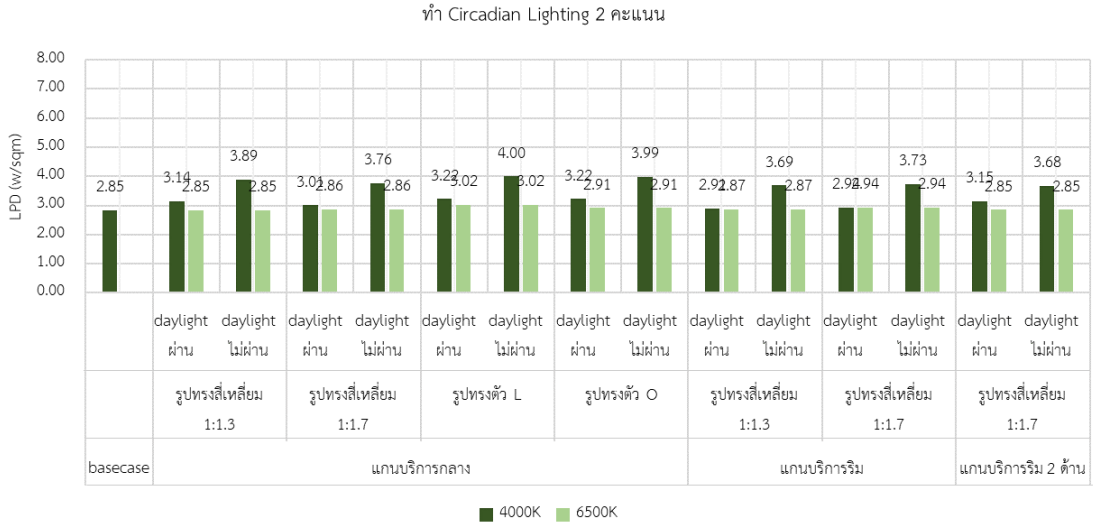
4.2.3 ค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารต้นแบบ กับอาคารแต่ละกรณี

จากการจำลองการจัดวางผังดวงโคมของแสงประดิษฐ์ของอาคารแต่ละกรณีที่ได้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต คือ มีปริมาณ EML ที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard โดยนำมาเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ

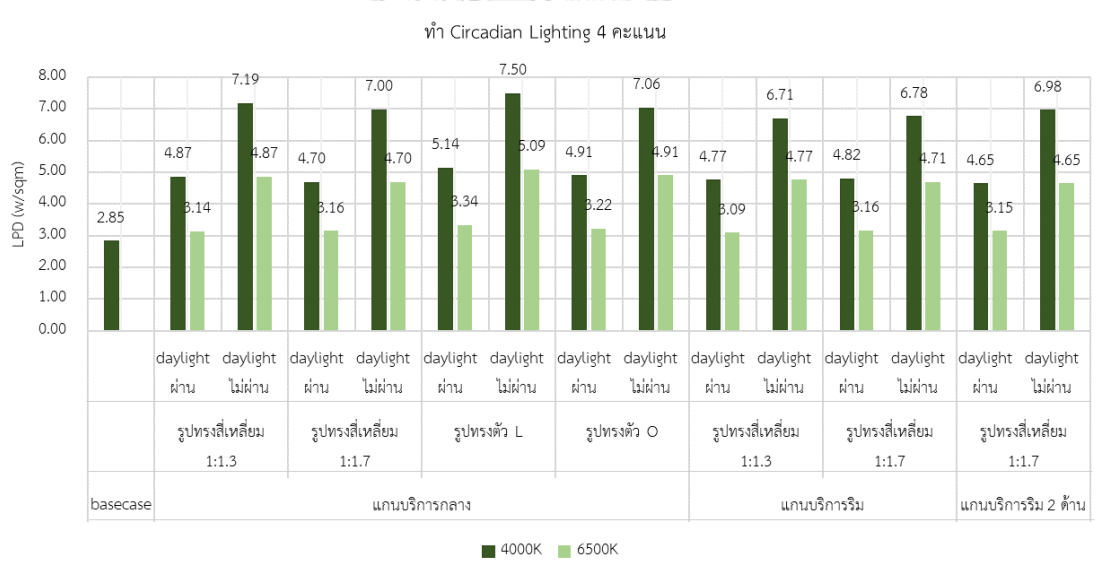
จากการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบทุกกรณีของอาคารกรณีศึกษา เนื่องจากต้องเพิ่มจำนวนดวงโคมและปริมาณความส่องสว่างเพื่อให้ค่า EML ผ่านเกณฑ์ สำหรับทำคะแนน 2 คะแนนในหัวข้อ Circadian Lighting ดังภาพที่ 4.20 ในกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ทำให้ค่า LPD เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 2% - 40% โดยกรณีที่มีค่า LPD สูงสุด คือ อาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง กรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งทำให้ต้องการแสงประดิษฐ์ที่มากกว่า จึงทำให้ค่า LPD เท่ากับ 4.00 W/m^2 ส่วนอาคารที่มีค่า LPD ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม กรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ค่า LPD เท่ากับ 2.91 W/m^2 แต่ในกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ทำให้ค่า LPD ลดลงจากกรณี CCT 4000K เนื่องจาก Melanopic Ratio CCT 6500K มากกว่า ทำให้ EML สามารถผ่านเกณฑ์ในจำนวนดวงโคมที่ลดลงได้ แต่เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบค่า LPD ยังคงเพิ่มขึ้น 0% - 6% โดยกรณีที่มีค่า LPD สูงสุด คือ อาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง ค่า LPD เท่ากับ 3.02 W/m^2 ส่วนอาคารที่มีค่า LPD ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ค่า LPD เท่ากับ 2.85 W/m^2 ซึ่งเท่ากับอาคารต้นแบบ แสดงว่าสามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ได้โดยไม่เพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้า

สำหรับการทำคะแนนในหัวข้อ Circadian Lighting 4 คะแนน ดังภาพที่ 4.21 ในกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 4000K ทำให้ค่า LPD เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 64% - 164% โดยกรณีที่มีค่า LPD สูงสุด คือ อาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง กรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ค่า LPD เท่ากับ 7.50 W/m^2 ซึ่งค่า LPD เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบถึง 1.64 เท่า ส่วนอาคารที่มีค่า LPD ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน กรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ค่า LPD เท่ากับ 4.65 W/m^2 แต่ในกรณีที่ใช้หลอดไฟค่า CCT 6500K ค่า LPD เพิ่มขึ้น 11% - 79% กรณีที่มีค่า LPD สูงสุด คือ อาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง กรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ค่า LPD เท่ากับ 5.09 W/m^2 ส่วนอาคารที่มีค่า LPD ต่ำสุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง กรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.20 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) เปรียบเทียบระหว่างอาคารต้นแบบ และอาคารกรณี CCT 4000K และ 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน



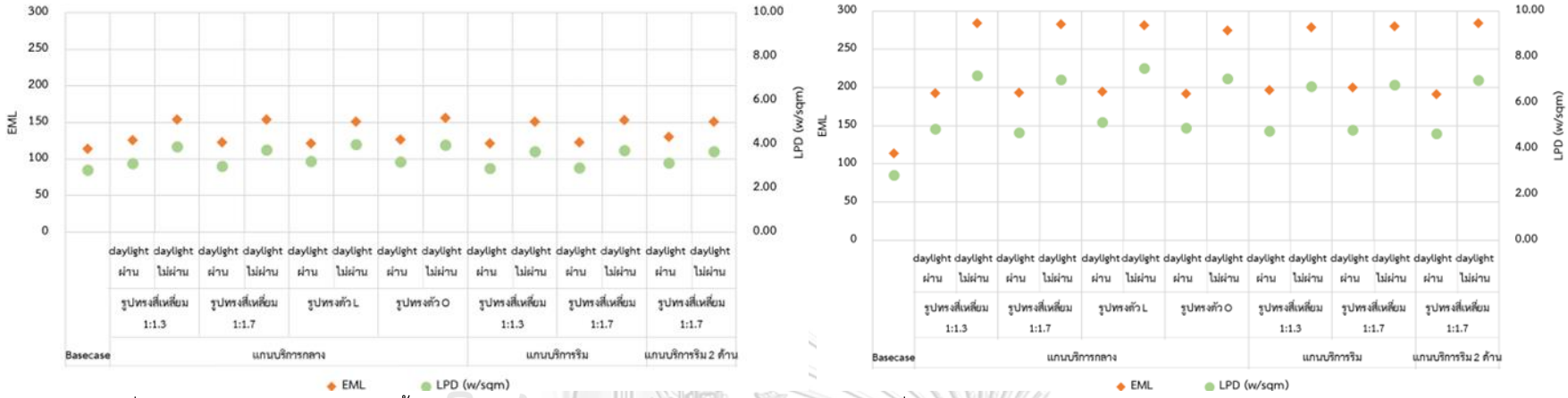
ภาพที่ 4.21 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) เปรียบเทียบระหว่างอาคารต้นแบบ และอาคารกรณี CCT 4000K และ 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ระหว่างอาคารต้นแบบ กับอาคารกรณีศึกษาแต่ละกรณี พบว่า ค่า LPD เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบทุกกรณี นอกจากนี้กรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K จะมีค่า LPD ที่สุดกว่ากรณี CCT 6500K และกรณีที่มีปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ค่า LPD จะน้อยกว่ากรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เนื่องจากต้องใช้ปริมาณดวงโคมที่มากขึ้นเพื่อให้ได้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต โดยข้อกำหนดค่า EML ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่สูงกว่า

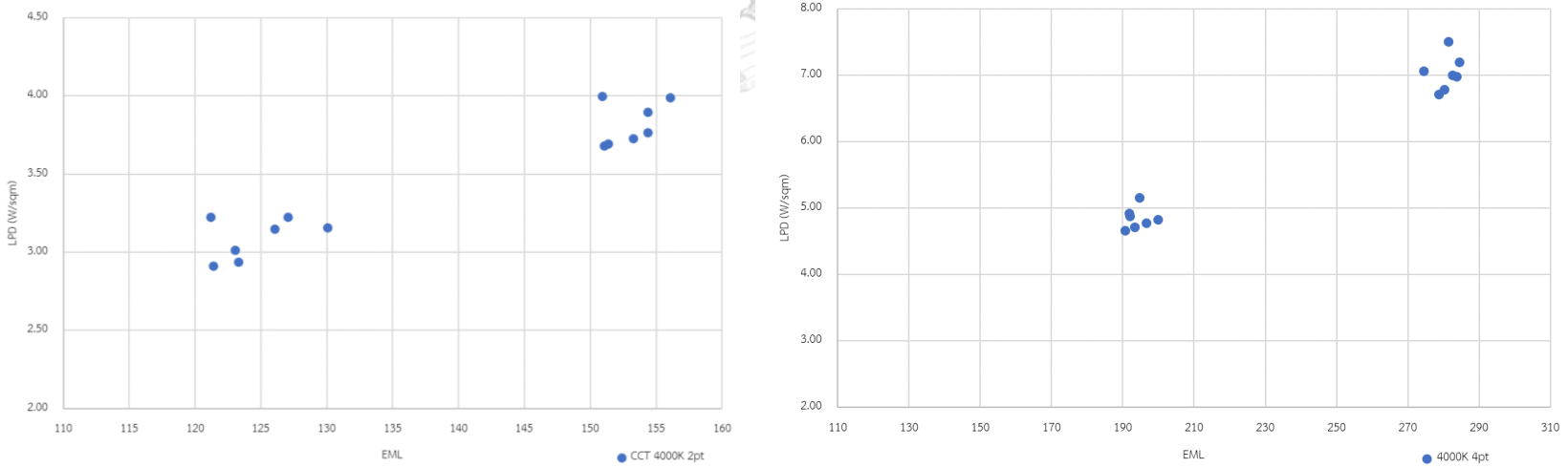
4.2.4 ความสัมพันธ์ของค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) กับ ค่า EML

จากผลการคำนวณค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting Power density หรือ LPD และค่า EML ตามตารางที่ 4.3 กรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 2 คะแนน ยกตัวอย่างอาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 121 EML และค่า LPD เท่ากับ 3.22 W/m^2 ส่วนกรณีแสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 151 EML และค่า LPD เท่ากับ 4.00 W/m^2 สำหรับกรณีทำ Circadian Lighting 4 คะแนน ตามตารางที่ 4.4 ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 195 EML และค่า LPD เท่ากับ 5.14 W/m^2 และกรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 282 EML และค่า LPD เท่ากับ 7.50 W/m^2 หรืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 121 EML และค่า LPD เท่ากับ 2.91 W/m^2 กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 151 EML และค่า LPD เท่ากับ 3.69 W/m^2 และกรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ทำ Circadian Lighting 4 คะแนน ตามตารางที่ 4.3 ในกรณีที่แสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 197 EML และค่า LPD เท่ากับ 4.77 W/m^2 กรณีที่แสงธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 279 EMLและค่า LPD เท่ากับ 6.71 W/m^2 จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณแต่ละกรณีจะเห็นได้ว่า ในอาคารรูปทรงเดียวกัน กรณีที่ปริมาณค่า EML เพิ่มขึ้น ปริมาณค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

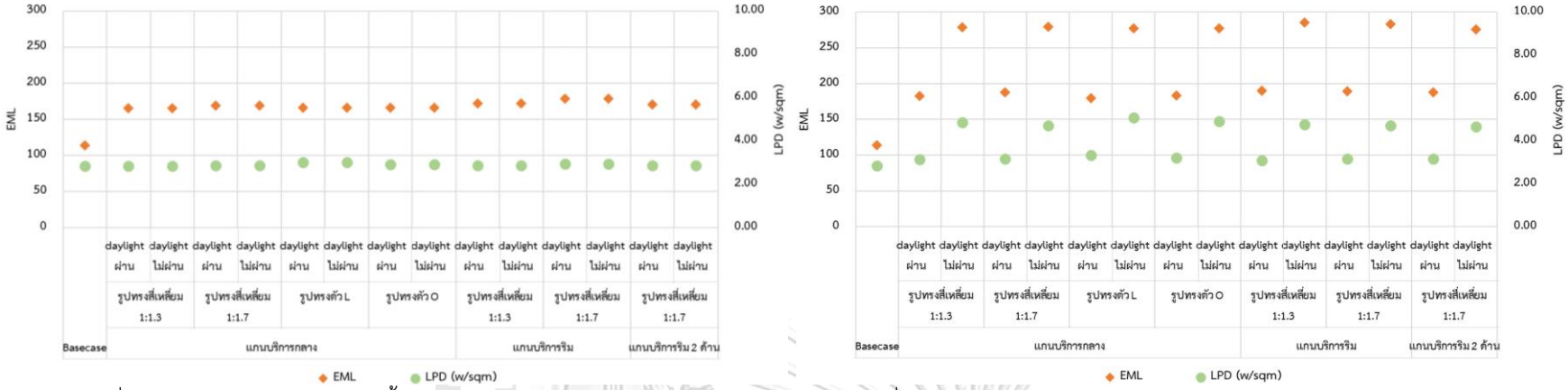
ดังนั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกรณีอาคารรูปทรงเดียวกัน ดังภาพที่ 4.23 และ 4.25 พบว่า ค่า LPD กับค่า EML เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยยิ่งค่า EML ที่ต้องการมากขึ้น ค่า LPD จะต้องมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากจำนวนการใช้แสงไฟประดิษฐ์ที่มากขึ้น แต่ถ้าพิจารณาอาคารต่างรูปทรงกันที่ค่า EML เท่ากัน เช่น กรณี ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน รูปทรงตัว L แกนบริการกลาง กับอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ในกรณีที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ได้ปริมาณ EML เท่ากับ 121 EML เท่ากัน เนื่องจากความส่องสว่างในแนวดิ่งมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่การใช้พลังงานแสงสว่างกลับแตกต่างกัน อาคารรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง ใช้ค่า LPD เท่ากับ 3.31 W/m^2 ส่วนอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการริม ใช้ค่า LPD เพียง 2.97 W/m^2 เนื่องจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกันทำให้มีจำนวนของดวงโคมที่ติดตั้งแตกต่างกันไปด้วยส่งผลถึงค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD)



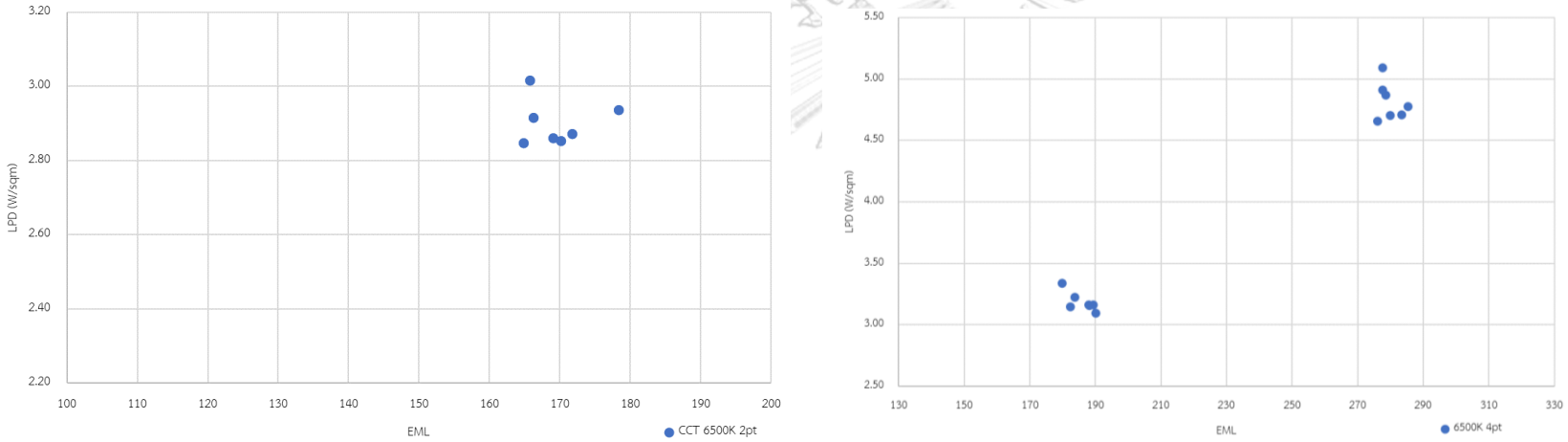
ภาพที่ 4.22 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) และค่า EML กรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) กับค่า EML กรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)



ภาพที่ 4.24 ผลการจำลองค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) และค่า EML กรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)



ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) กับค่า EML กรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน (ซ้าย) 4 คะแนน (ขวา)

4.2 ประเมินการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี

จากผลการคำนวณค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) จากการวางผังดวงโคมในอาคารแต่ละกรณี ประกอบด้วยกรณีที่ใช้ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ (CCT) 4000K และ 6500K ซึ่งแต่ละกรณีประกอบด้วยอาคารที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ซึ่งต้องการ EML อย่างน้อย 120 EML สำหรับทำ 2 คะแนน และอย่างน้อย 180 EML สำหรับทำ 3 คะแนน และอาคารที่ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเกณฑ์ ซึ่งต้องการ 150 EML สำหรับทำ 2 คะแนน และอย่างน้อย 275 EML สำหรับทำ 4 คะแนน โดยนำไปจำลองและวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทุกกรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ เพื่อนำไปสู่แนวทางการออกแบบอาคารและไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานสำหรับประเทศไทย

4.3.1 การใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ

4.3.1.1 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของกรณีที่ใช้หลอดไฟมีค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน

ผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคารสำหรับกรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน รวม 42 กรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ ดังภาพที่ 4.26 พบว่า กรณีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ใช้พลังงานโดยรวมมากกว่าอาคารต้นแบบทุกกรณี โดยปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอยู่ในช่วง 117.55-118.76 kWh/m^2 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบที่ใช้พลังงานเท่ากับ 116.96 kWh/m^2 ประมาณ 0.49%-0.88% และกรณีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารกรณีอื่นๆ อยู่ในช่วง 111.63-112.83 kWh/m^2 ซึ่งใช้พลังงานลดลงจากอาคารต้นแบบประมาณ 3.53-4.55%

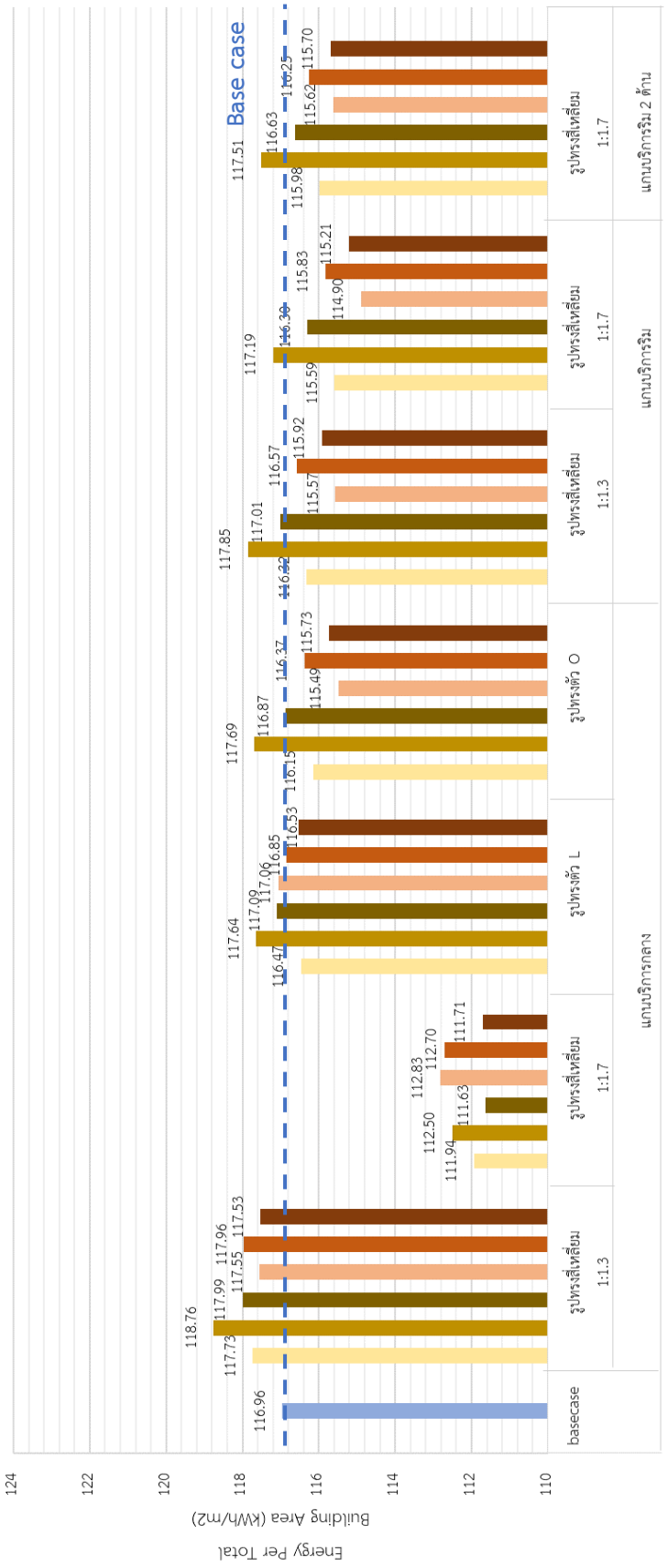
โดยกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เท่ากับ 118.76 kWh/m^2 ส่วนกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E เท่ากับ 111.63 kWh/m^2 ซึ่งในแต่ละรูปทรงอาคาร กรณีที่ขนาดสัดส่วน WWR40% และใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เป็นกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด เนื่องจาก เป็นกรณีที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติน้อยที่สุด จึงทำให้เพิ่มการใช้พลังงานในส่วนของพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากกว่ากรณีอื่นๆ ยกเว้น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง กรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุดเป็นกรณีที่ขนาดสัดส่วน WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E

เมื่อแยกพิจารณาการใช้พลังงานของอาคารออกเป็นพลังงานจากระบบเครื่องปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ดังภาพที่ 4.27 พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบเครื่องปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับรูปทรงอาคาร สัดส่วน WWR และ ประเภทกระจกที่ใช้ ซึ่งเกือบทุกกรณีใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ ยกเว้น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง กรณี WWR40% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศ เท่ากับ 84.47 kWh/m^2 กรณี WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศ เท่ากับ 85.44 kWh/m^2 กรณี WWR60% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศ เท่ากับ 84.84 kWh/m^2 และกรณี WWR60% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศ เท่ากับ 84.57 kWh/m^2 ซึ่งใช้พลังงานมากกว่าอาคารต้นแบบอยู่ 0.07%-1.22% ส่วนกรณีอื่นสามารถลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศลงได้ 0.11%-8.90% ซึ่งกรณีที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E สอดคล้องกับการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุดเช่นกัน

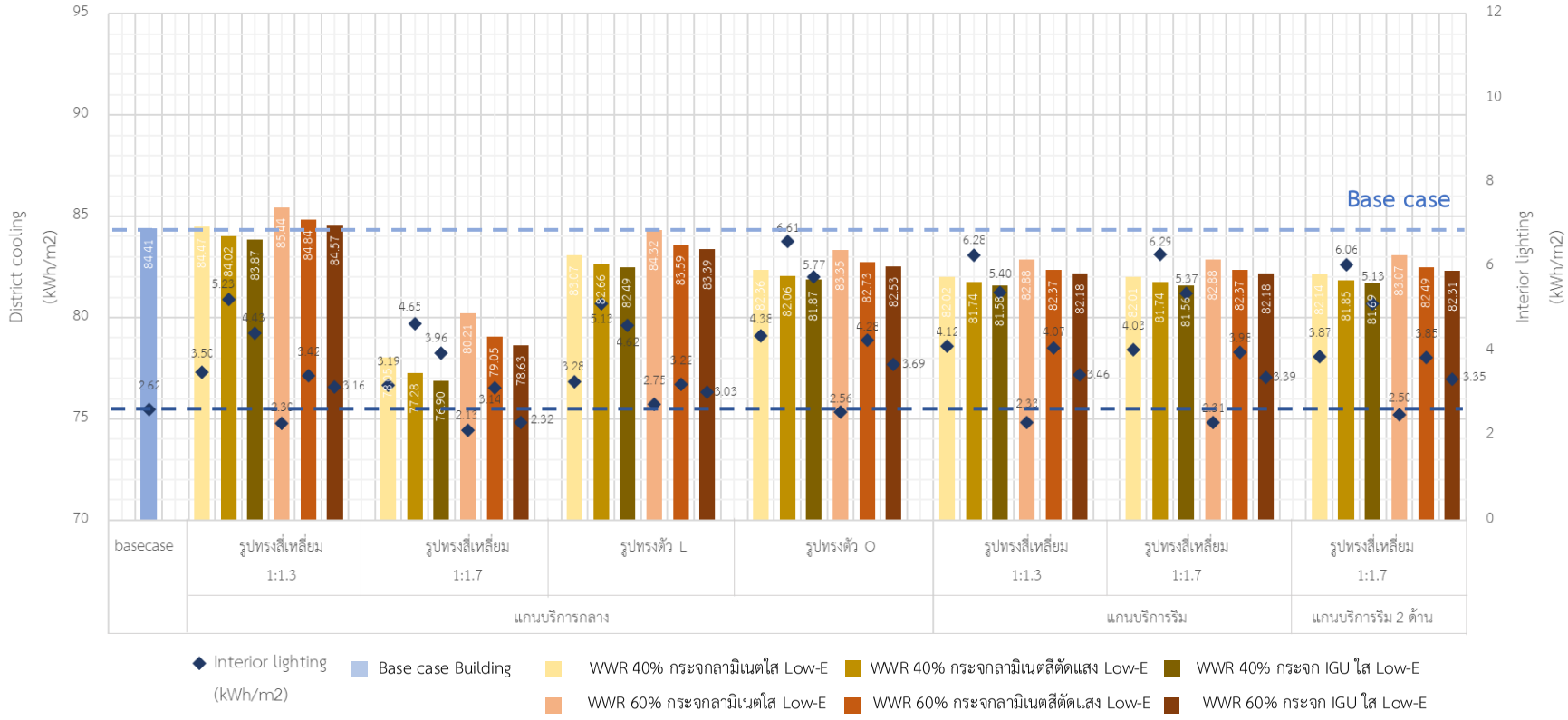
สำหรับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง จะขึ้นอยู่กับค่า LPD จากจำนวนและการจัดวางผังดวงโคม ที่ได้ EML ขั้นต่ำที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting จากผลการคำนวณ พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นเกือบทุกกรณี เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 2.75-6.61 kWh/m^2 เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 4.96%-152% ส่วนกรณีที่การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลดลง คือกรณีสัดส่วน WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ยกเว้นรูปทรงตัว L แกนบริการกลาง เนื่องจากรูปทรงตัว L ต้องใช้จำนวนดวงโคมมากกว่ากรณีอื่นๆ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 2.13-2.56 kWh/m^2และกรณีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง สัดส่วน WWR60% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 2.32 kWh/m^2 ซึ่งลดลงจากอาคารต้นแบบ 2.29%-17.94%

ในกรณีสัดส่วน WWR60% ที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ซึ่งเป็นกรณีที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติสูงที่สุดจึงทำให้ การใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าอาคารที่ใช้สัดส่วนและประเภทกระจกกรณีอื่นๆเมื่อเทียบในรูปทรงอาคารเดียวกัน แต่ในทางกลับกันการใช้พลังงานระบบปรับอากาศกลับสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณแสงธรรมชาติที่มากทำให้ความร้อนเข้ามามากขึ้นเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.26 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ



ภาพที่ 4.27 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ

4.3.1.2 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของกรณีที่ใช้หลอดไฟมีค่า CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน

ผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคารสำหรับกรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน รวม 42 กรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ ดังภาพที่ 4.28 พบว่าใช้พลังงานโดยรวมมากกว่าอาคารต้นแบบเกือบทุกกรณี ยกเว้น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสันส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ใช้พลังงานโดยรวมอยู่ที่ 112.93-116.28 kWh/m^2 และกรณีสัดส่วน WWR60% ที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ของรูปทรงตัว O แกนบริการกลาง รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสันส่วน 1:1.3 และ 1:1.7 แกนบริการริม และรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสันส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน ใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 116.64 116.85 116.16 115.58 kWh/m^2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารจากอาคารต้นแบบลงได้ 0.09%-3.45% ส่วนกรณีอื่นๆที่การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอยู่ในช่วง 117.58-122.60 kWh/m^2 ซึ่งใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 0.53%-4.82%

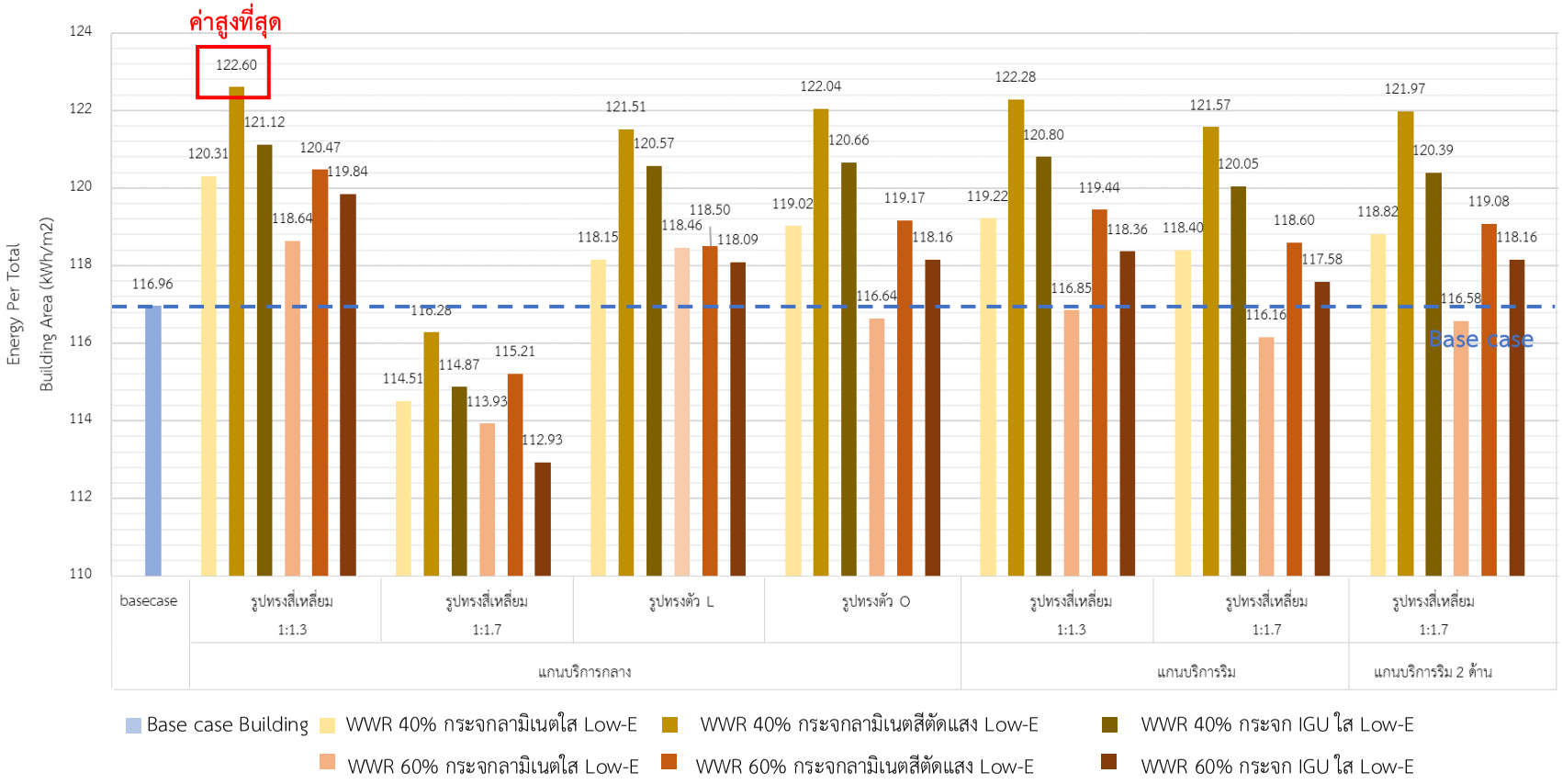
โดยกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เท่ากับ 122.60 kWh/m^2 ส่วนกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E เท่ากับ 112.93 kWh/m^2 ซึ่งในแต่ละรูปทรงอาคารกรณีที่ขนาดสัดส่วน WWR40% และใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เป็นกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุดในทุกรูปทรงอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

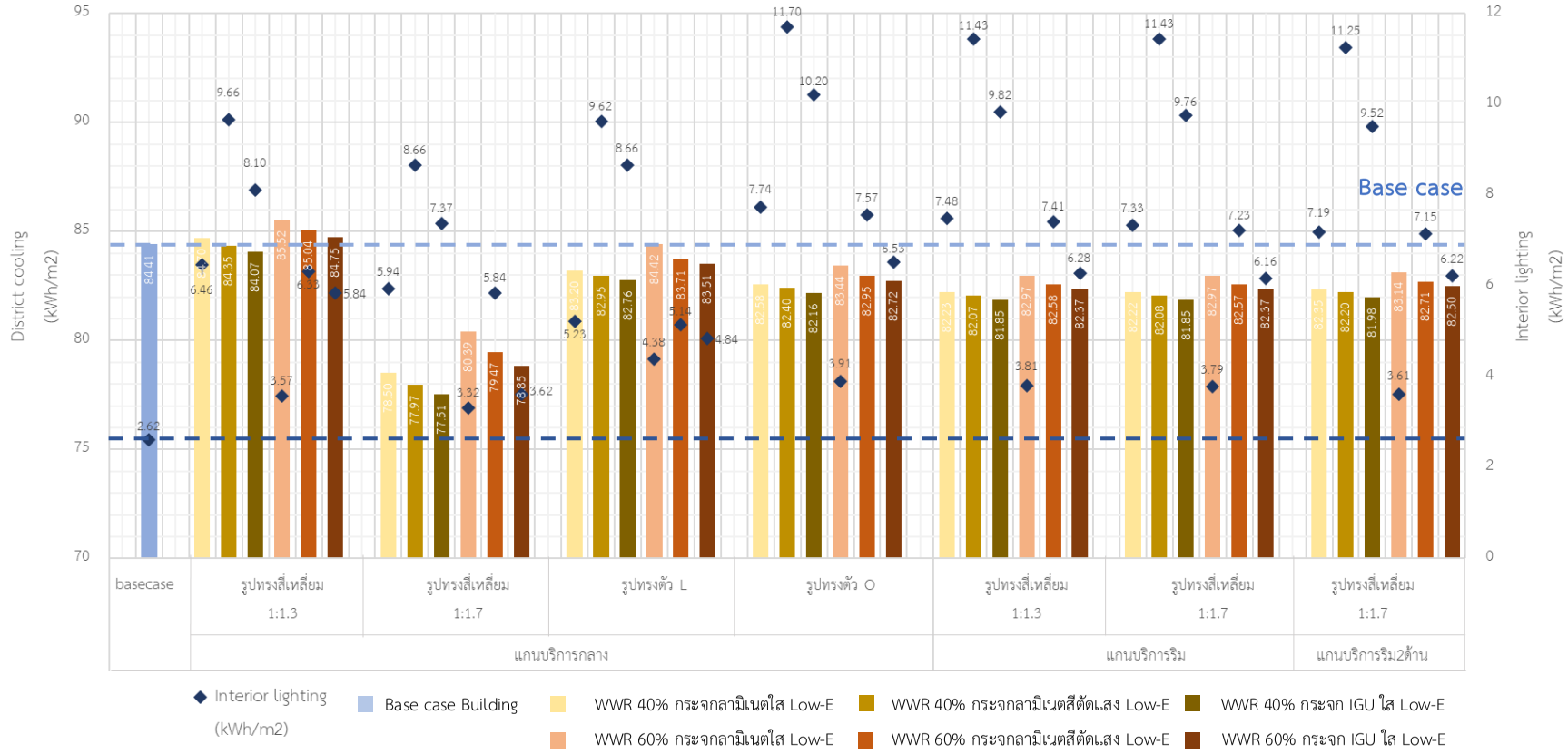
เมื่อแยกพิจารณาการใช้พลังงานของอาคารออกเป็นพลังงานจากระบบเครื่องปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ดังภาพที่ 4.29 พบว่า เกือบทุกกรณีใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ เช่นเดียวกับกรณี CCT 4000K ทำ 2 คะแนน โดยอาคารที่ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศมากกว่าอาคารต้นแบบ มี 5 กรณี ประกอบด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง กรณี WWR40% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E กรณี WWR60% ทั้ง 3 ประเภทกระจก และ รูปทรงตัว L กรณี WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส ซึ่งใช้พลังงานมากกว่าอาคารต้นแบบเพียง 0.01%-1.32% ส่วนกรณีอื่นสามารถลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศลงได้ 0.07%-8.17% ซึ่งกรณีที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ คือ อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E สอดคล้องกับกรณี CCT 4000K ทำ 2 คะแนนที่กล่าวไปข้างต้น

สำหรับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากผลการคำนวณเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ ดังภาพที่ 4.29 พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นทุกกรณี เนื่องจากต้องการทำคะแนน Circadian Lighting มากขึ้น ซึ่งกำหนดค่า EML ขั้นต่ำที่สุดขึ้นคือ 150 EML ทำให้ต้องใช้จำนวนดวงโคมมากขึ้น ส่งผลถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจึงสูงขึ้นทุกกรณี โดยเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 26.72%-347% คือการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมากสุด 3.47 เท่าของอาคารต้นแบบ ซึ่งกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือรูปทรงตัว O แกนบริการกลาง สัดส่วน WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 11.70 kWh/m^2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.28 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ



ภาพที่ 4.29 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ระหว่างอาคารกรณี CCT 4000K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ

4.3.1.3 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของกรณีที่ใช้หลอดไฟมีค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน

ผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคารสำหรับกรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน รวม 42 กรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ ดังภาพที่ 4.30 พบว่าเกือบทุกกรณีใช้พลังงานน้อยกว่าอาคารต้นแบบ ยกเว้น 4 กรณี คือรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง กรณีสัดส่วน WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E และกระจก IGU ใส Low-E และกรณี WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E และกระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 117.55 117.01 117.36 และ 117.22 kWh/m^2 ตามลำดับ ซึ่งการใช้พลังงานโดยรวมเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบคิดเป็น 0.04%-0.50% ส่วนกรณีอื่นๆที่การใช้พลังงานลดลงจากอาคารต้นแบบ ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอยู่ในช่วง 110.73-116.92 kWh/m2 ซึ่งใช้พลังงานลดลงจากอาคารต้นแบบ 0.03%-5.33%

โดยกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เช่นเดียวกับ 2 กรณีข้างต้น โดยใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 117.55 kWh/m^2 ส่วนกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 110.73 kWh/m^2 ซึ่งแต่ละรูปทรงอาคารกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุดจะแตกต่างกัน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 และ 1:1.7 แกนบริการริม และรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน กรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด คือ กรณีขนาดสัดส่วน WWR40% และใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 และรูปทรงตัว L แกนบริการริม กรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด คือกรณีที่ขนาดสัดส่วน WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E

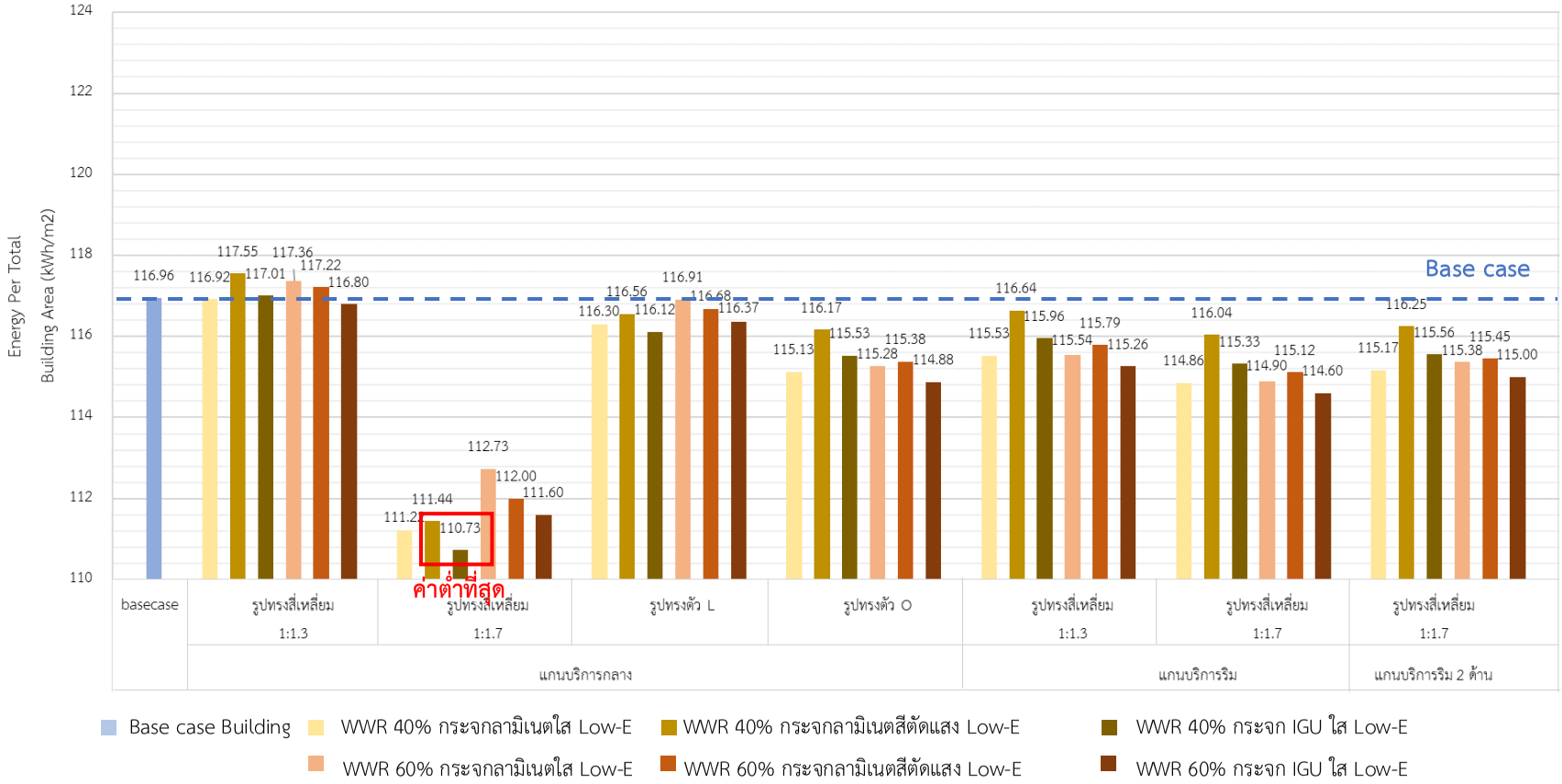
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อแยกพิจารณาการใช้พลังงานของอาคารออกเป็นพลังงานจากระบบเครื่องปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ดังภาพที่ 4.31 พบว่า มีกรณีที่ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบเพียง 3 กรณี คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR60% กรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E และกระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 85.43 84.80 และ 84.50 kWh/m^2 ซึ่งใช้พลังงานมากกว่าอาคารต้นแบบ 0.11%-1.21% ส่วนกรณีอื่นสามารถลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศลงได้ 0.01%-9.11% ซึ่งกรณีที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E เช่นเดียวกับ 2 กรณีข้างต้น และสอดคล้องกับการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุดเช่นกัน

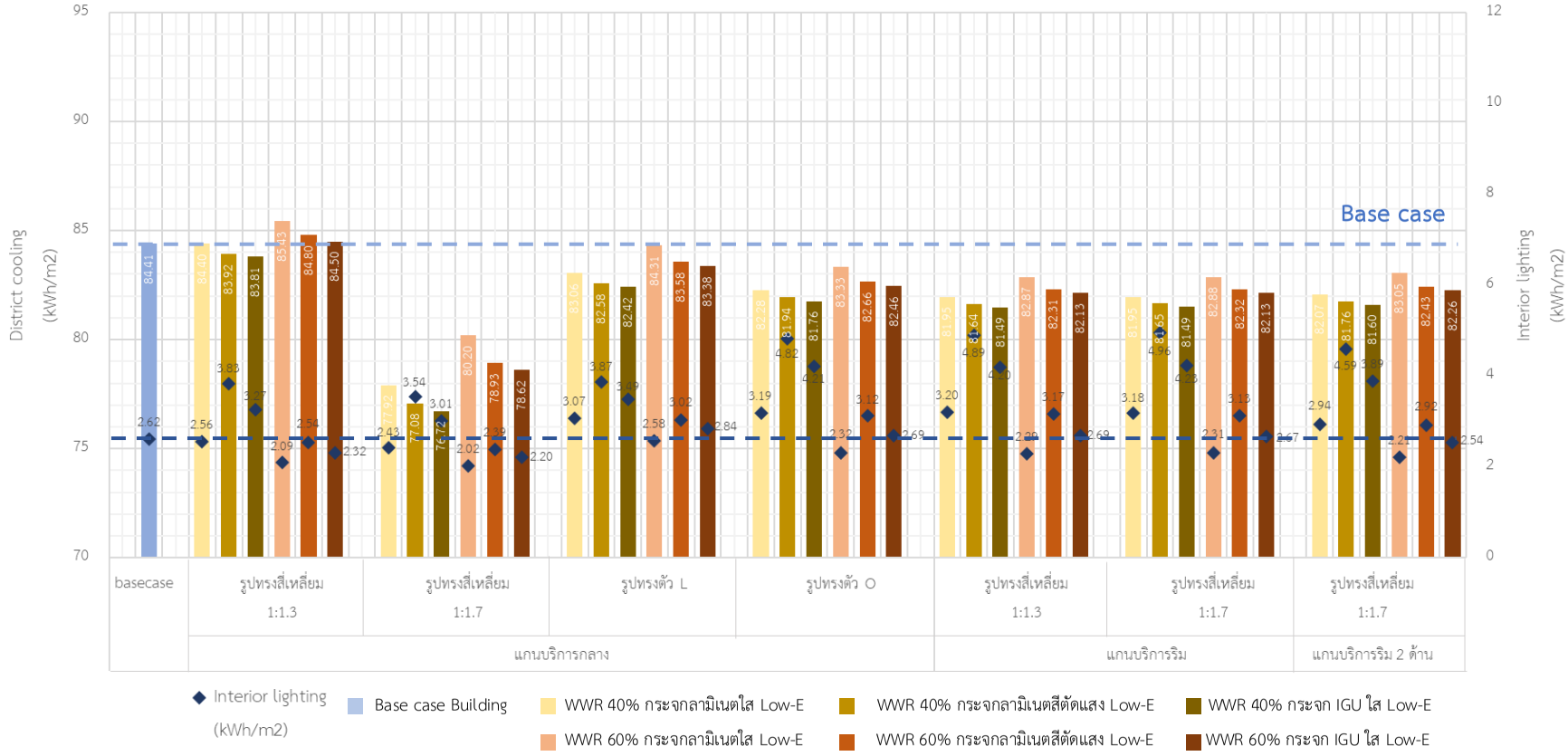
สำหรับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง จากผลการคำนวณ พบว่า มีกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลดลงจากอาคารต้นแบบ 14 กรณี ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอยู่ในช่วง 2.02-2.58 kWh/m^2 ลดลงจากอาคารต้นแบบ 1.53%-22.90% ซึ่งกรณีที่สัดส่วน WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E เป็นกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างน้อยที่สุดในทุกรูปทรงอาคาร และน้อยกว่าอาคารต้นแบบทุกกรณี ส่วนกรณีอื่นที่การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้น มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอยู่ในช่วง 2.67-4.96 kWh/m^2 เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 1.91%-89.31%

ในกรณีสัดส่วน WWR60% ที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ซึ่งเป็นกรณีที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติสูงที่สุดจึงทำให้ การใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าอาคารที่ใช้สัดส่วนและประเภทกระจกกรณีอื่นๆเมื่อเทียบในรูปทรงอาคารเดียวกัน แต่ในทางกลับกันการใช้พลังงานระบบปรับอากาศกลับสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณแสงธรรมชาติที่มากทำให้ความร้อนเข้ามามากขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับ 2 กรณีข้างต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.30 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ



ภาพที่ 4.31 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ

4.3.1.4 การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของกรณีที่ใช้หลอดไฟมีค่า CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 2 คะแนน

ผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคารสำหรับกรณีอาคารที่ใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน รวม 42 กรณีเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ ดังภาพที่ 4.32 พบว่ามีกรณีที่ปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 22 กรณี โดยปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอยู่ในช่วง 117.01-119.91 kWh/m^2 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 0.04%-2.52% โดยกรณีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ใช้พลังงานโดยรวมมากกว่าอาคารต้นแบบทุกกรณี ส่วนกรณีอื่นที่การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารลดลง มีปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอยู่ในช่วง 111.82-116.95 kWh/m^2 เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 0.01%-4.39%

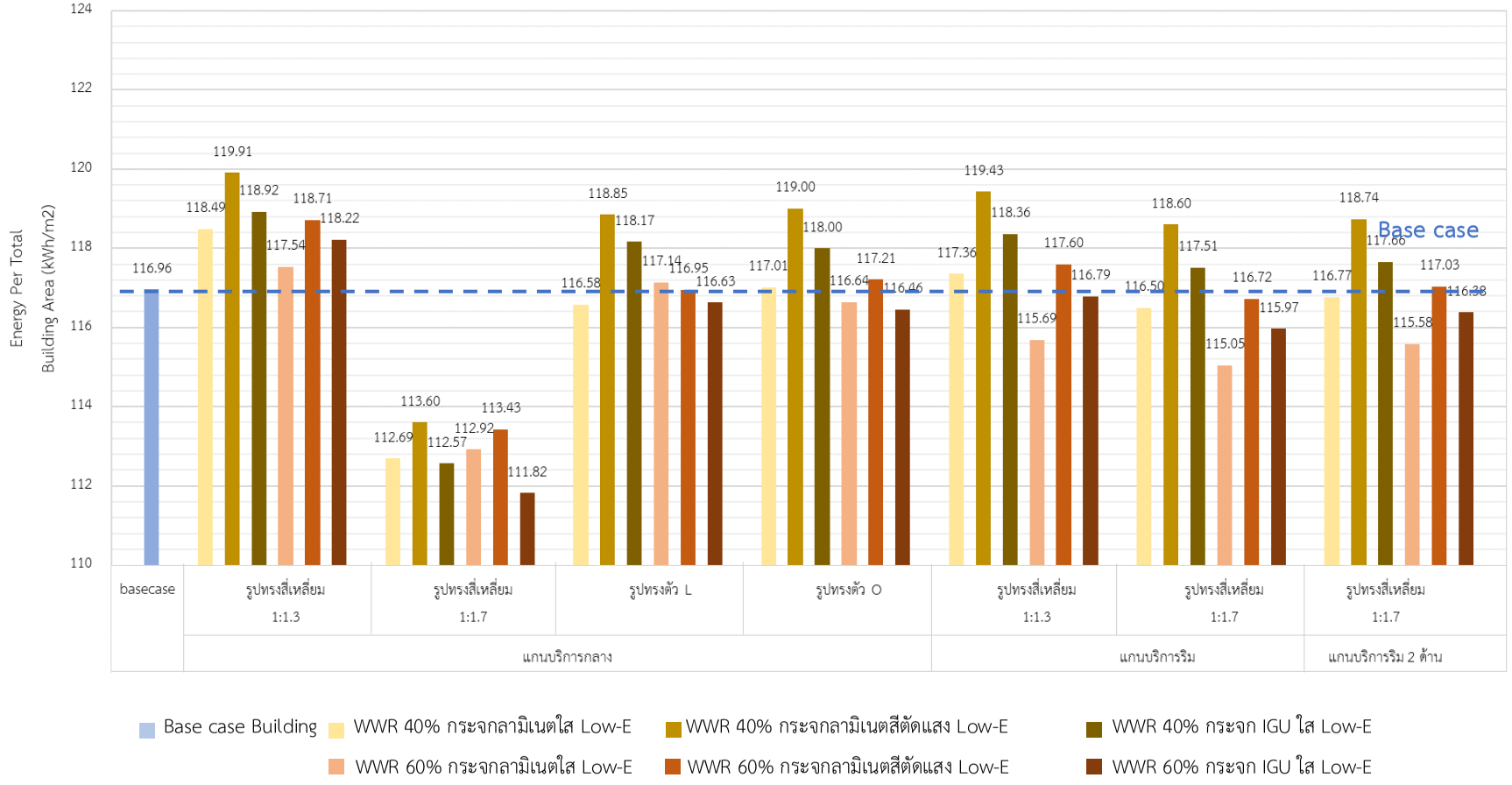
โดยกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เท่ากับ 119.91 kWh/m2 ส่วนกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR60% ใช้กระจก IGU ใส Low-E เท่ากับ 111.82 kWh/m^2 ซึ่งในแต่ละรูปทรงอาคารกรณีที่ขนาดสัดส่วน WWR40% และใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เป็นกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด สอดคล้องกับกรณี CCT 4000K ทำ 4 คะแนน

เมื่อแยกพิจารณาการใช้พลังงานของอาคารออกเป็นพลังงานจากระบบเครื่องปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ดังภาพที่ 4.33 พบว่า มีกรณีที่ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 4 กรณี คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% กระจกลามิเนตใส Low-E และ WWR60% กรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E และกระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานระบบเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 84.54 85.44 84.89 และ 84.69 kWh/m^2 ซึ่งใช้พลังงานมากกว่าอาคารต้นแบบเพียง 0.15%-1.22% ส่วนกรณีอื่นสามารถลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศลงได้ 0.09%-8.68% ซึ่งกรณีที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E เช่นเดียวกับ 3 กรณีข้างต้น

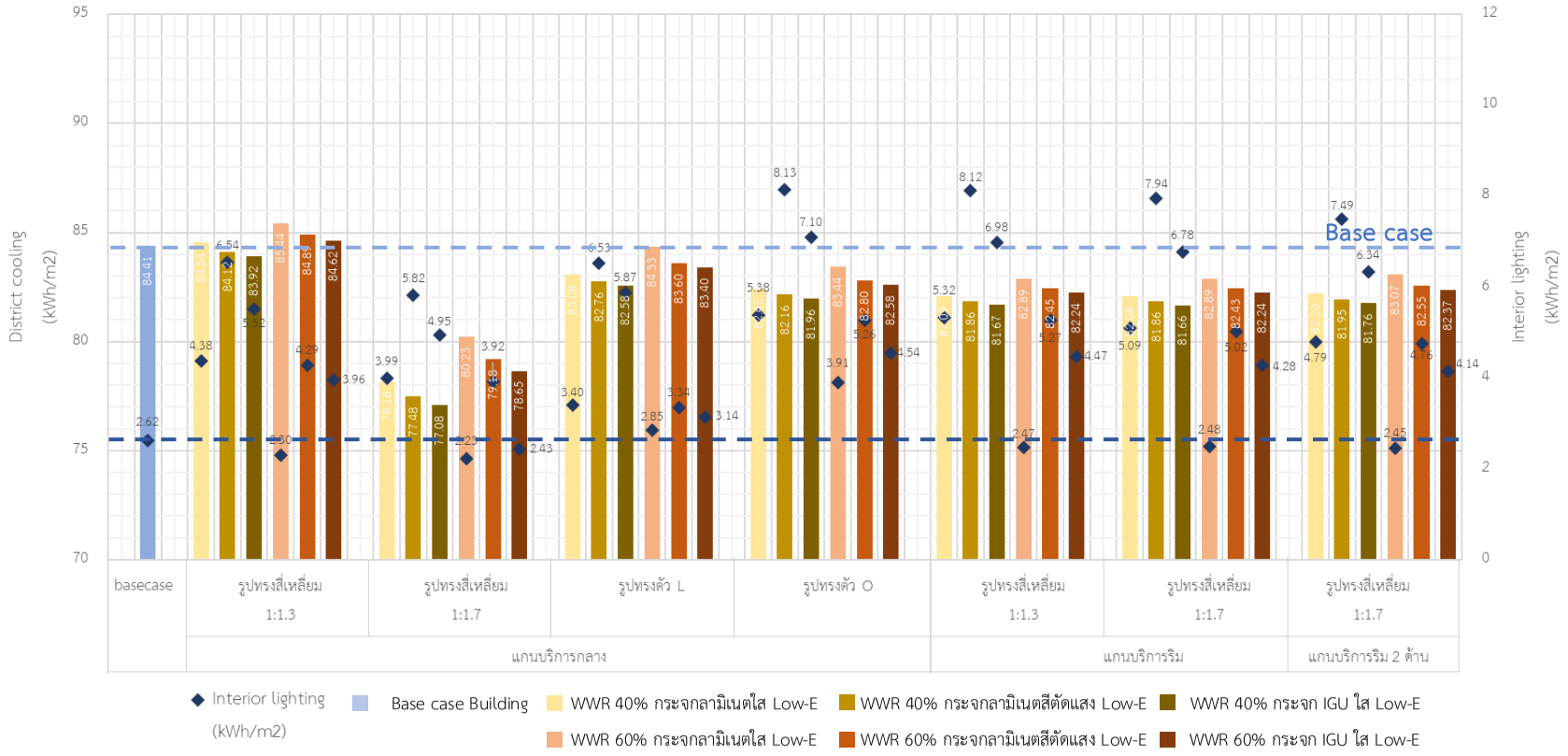
สำหรับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง จากผลการคำนวณ พบว่า สำหรับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากผลการคำนวณเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ ดังภาพที่ 4.33 พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นเกือบทุกกรณี ยกเว้น กรณี WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 และ 1:1.7 แกนบริการกลาง รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 และ 1:1.7 แกนบริการริม รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการริม 2 ด้าน และ กรณี WWR60% ใช้กระจก IGU ใส Low-E รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอยู่ในช่วง 2.23-2.48 kWh/m2 ลดลงจากอาคารต้นแบบ 5.34%-14.89% ซึ่งกรณีที่สัดส่วน WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E เป็นกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างน้อยที่สุดในทุกรูปทรงอาคาร และน้อยกว่าอาคารต้นแบบทุกกรณี ส่วนกรณีอื่นที่การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้น มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอยู่ในช่วง 2.85-8.13 kWh/m^2 เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ 8.78%-120% คือการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมากสุด 3.47 เท่าของอาคารต้นแบบ ซึ่งกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือรูปทรงตัว O แกนบริการกลาง สัดส่วน WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 8.13 kWh/m^2

ในกรณีสัดส่วน WWR60% ที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ซึ่งเป็นกรณีที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติสูงที่สุดจึงทำให้ การใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าอาคารที่ใช้สัดส่วนและประเภทกระจกกรณีอื่นๆเมื่อเทียบในรูปทรงอาคารเดียวกัน แต่ในทางกลับกันการใช้พลังงานระบบปรับอากาศกลับสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณแสงธรรมชาติที่มากทำให้ความร้อนเข้ามามากขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับทั้ง 3 กรณีข้างต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.32 ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร ระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ



ภาพที่ 4.33 ปริมาณการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างระหว่างอาคารกรณี CCT 6500K ที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำ 4 คะแนน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบ

จากผลการจำลองพบว่า การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบแล้ว จากทั้งหมด 168 กรณี กรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด คือ กรณี CCT 4000K ทำ 4 คะแนน อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง และมีค่า WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 122.60 kWh/m^2 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอาคารจำลองต้นแบบมากที่สุดที่ 4.82% ส่วนกรณีที่ใช้พลังงานโดยรวมน้อยสุด คือ กรณี CCT 6500K ทำ 2 คะแนน อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง และมีค่า WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 110.73 kWh/m^2 ซึ่งลดลงจากอาคารจำลองต้นแบบ 5.33%

นอกจากนี้จากทั้งหมด 168 กรณี อาคารที่ใช้พลังงานระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ กรณี CCT 4000K ทำ 4 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง และมีค่า WWR60% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานระบบปรับอากาศเท่ากับ 85.52 kWh/m^2 เพิ่มขึ้นจากอาคารจำลองต้นแบบ 1.32% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในกรณีเดียวกัน อาคารลักษณะนี้ก็ใช้พลังงานระบบปรับอากาศมากสุดในกรณีที่ค่า CCT และทำคะแนนในกรณีอื่นด้วย ส่วนอาคารที่ใช้พลังงานระบบปรับอากาศน้อยสุด คือ กรณี CCT 6500K ทำ 2 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง และมีค่า WWR60% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานระบบปรับอากาศเท่ากับ 76.72 kWh/m^2 ลดลงจากอาคารจำลองต้นแบบ 9.11%

สำหรับอาคารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากที่สุด คือ กรณี CCT 4000K ทำ 4 คะแนน รูปทรงตัว O แกนบริการกลางและมีค่า WWR60% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 11.70 kWh/m^2 เพิ่มขึ้นจากอาคารจำลองต้นแบบ 347% หรือเท่ากับ 3.47 เท่าของอาคารต้นแบบ ส่วนอาคารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างน้อยสุด คือ กรณี CCT 6500K ทำ 2 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง และมีค่า WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 2.02 kWh/m^2 ลดลงจากอาคารจำลองต้นแบบ 22.90%

การใช้พลังงานระบบปรับอากาศของแต่ละรูปแบบอาคาร ในแต่ละกรณีที่ค่า CCT ต่างกันหรือทำคะแนนต่างกัน ปริมาณการใช้พลังงานระบบปรับอากาศจะไม่ต่างกันมากและมีความสอดคล้องกันในทุกกรณี แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจะมีความแตกต่างกันมากในแต่ละกรณี ไม่ได้มีผลมาจากรูปแบบอาคาร คือ รูปทรง สัดส่วน WWR และประเภทกระจกเท่านั้น แต่พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ยังรวมถึง ค่า LPD ที่ได้จากการคำนวณปริมาณจำนวนดวงโคมเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ Circadian Lighting ในแต่ละกรณีอีกด้วย

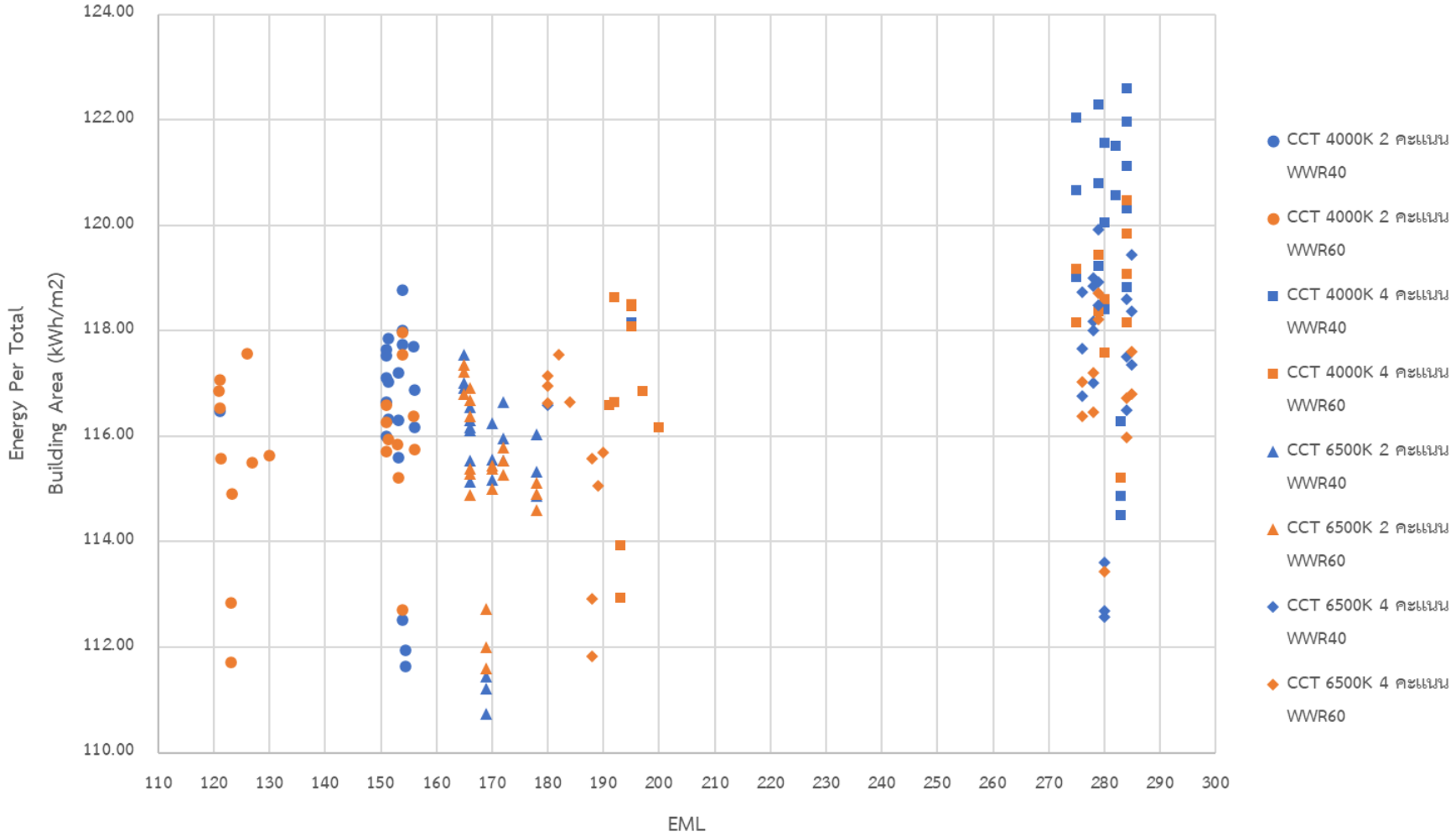
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML

เมื่อพิจารณากลุ่มอาคารแต่ละกรณีที่ค่า CCT และการทำคะแนน Circadian Lighting ต่างกัน ในกรณี CCT 4000K ทำคะแนน 2 คะแนน เมื่อพิจารณากรณีรูปทรงเดียวกัน พบว่า อาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิด WWR40% และ WWR 60% ส่วนใหญ่ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML จะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ถ้า EML เพิ่ม การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารก็จะเพิ่มตาม แต่ในบางกรณีของ WWR60% มีลักษณะที่ไม่ได้แปรผันตรงต่อกัน เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง กรณีใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ซึ่งได้ 123 EML ใช้พลังงานโดยรวม เท่ากับ 112.83 kWh/m^2 เมื่อเทียบกับ กรณีที่ค่า EML มากกว่า คือกรณีใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ซึ่งได้ 154 EML ใช้พลังงานโดยรวมกลับน้อยกว่า คือ 112.70 kWh/m^2 นอกจากนี้ถ้าพิจารณากรณีที่ WWR และประเภทกระจกชนิดเดียวกันแต่ต่างรูปทรงอาคาร เช่น กรณี WWR40% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลางได้ 154 EML ใช้พลังงานโดยรวม เท่ากับ 117.73 kWh/m^2 เมื่อเทียบกับ กรณีที่ค่า EML มากกว่าอย่าง รูปทรงตัว O ได้ 156 EML แต่ใช้พลังงานโดยรวม เท่ากับ 116.15 kWh/m^2 ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมน้อยกว่า

สำหรับในกรณี CCT 4000K และ CCT 6500K ทำคะแนน 4 คะแนน เมื่อพิจารณากรณีรูปทรงเดียวกัน พบว่าทุกกรณี ปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML จะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ WWR และประเภทกระจกชนิดเดียวกันแต่รูปทรงอาคารต่างกัน พบว่าบางกรณีปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML จะไม่ไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับกรณี CCT 4000K ทำคะแนน 2 คะแนน ในข้างต้น และกรณี CCT 6500K ทำ 2 คะแนน ที่แต่ละกรณีในรูปทรงอาคารเดียวกันค่า EML เท่ากันทุกกรณี อ้างถึงจากข้อมูลในภาคผนวก จ ดังนั้นการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต้องพิจารณาร่วมกับขนาดช่องเปิดและประเภทกระจกที่ใช้ด้วย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML ดังภาพที่ 4.34 จะเห็นได้ว่า ค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารในบางกรณีนั้นไม่สัมพันธ์กับค่า EML เนื่องจากค่า EML คิดมาจากความส่องสว่างในแนวดิ่งของแสงประดิษฐ์เท่านั้น แต่การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต้องพิจารณาทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ และพลังงานจากเครื่องปรับอากาศจากความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารพร้อมกับแสงธรรมชาติ



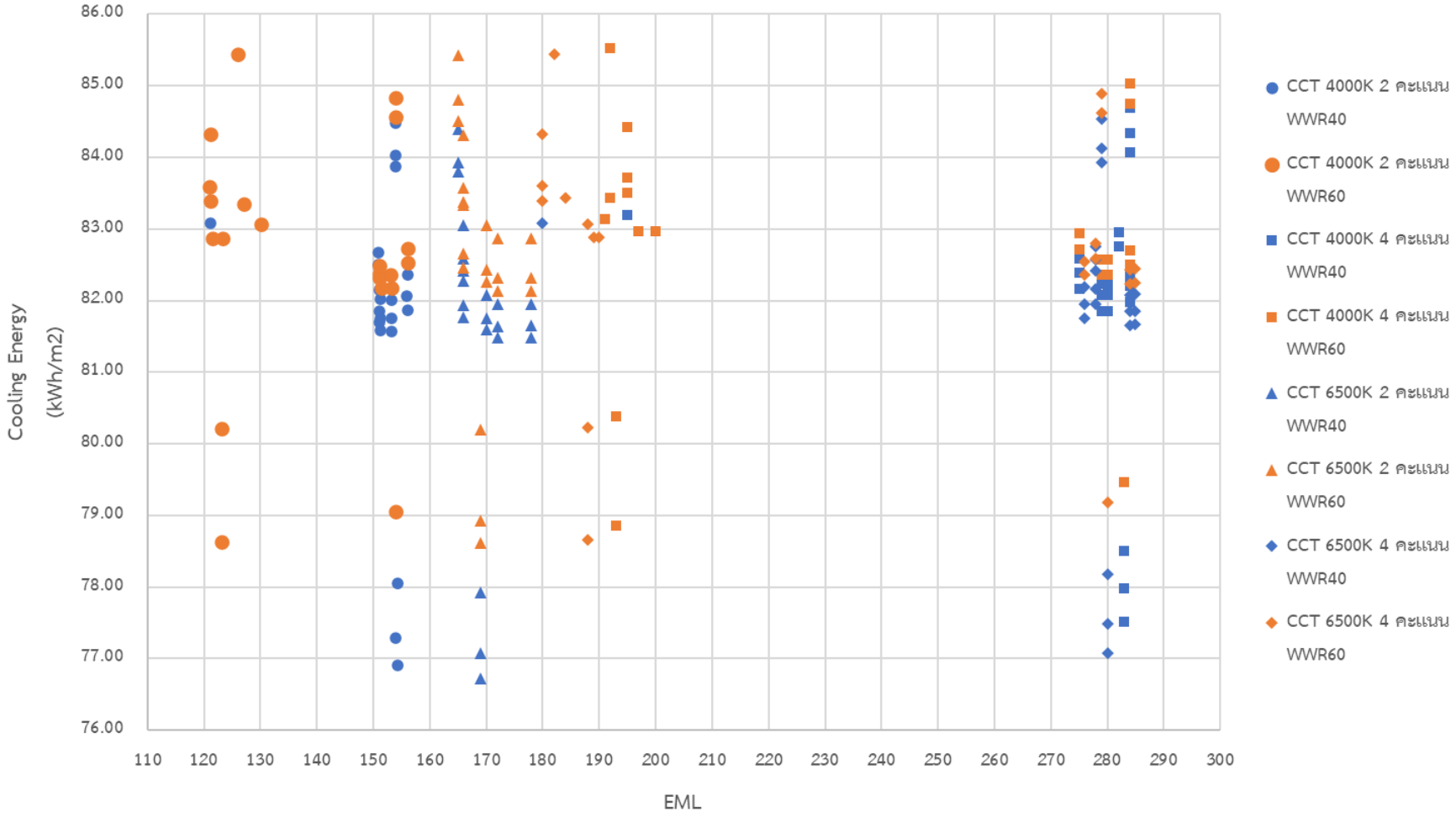
ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารกับค่า EML ของอาคารทั้งหมด 168 กรณี

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับค่า EML

เมื่อพิจารณากลุ่มอาคารแต่ละกรณีที่ค่า CCT และการทำคะแนน Circadian Lighting ต่างกัน แสดงกรณี CCT 4000K ทำคะแนน 2 คะแนน เมื่อพิจารณากรณีรูปทรงเดียวกัน พบว่าปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับค่า EML จะมีลักษณะแปรผกผันต่อกันในทุกกรณี คือ ถ้า EML เพิ่ม การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศก็จะลดลง เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลางสัดส่วนขนาดช่องเปิด WWR60% กรณีที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ 126 EML การใช้พลังงานระบบปรับอากาศเท่ากับ 85.44 kWh/m^2 เมื่อเทียบกับกรณีที่ค่า EML มากกว่า คือ กรณีใช้กระจก IGU ใส ได้ 154 EML การใช้พลังงานระปรับอากาศ เท่ากับ 84.57 kWh/m^2 ซึ่งน้อยลงจากกรณีที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E สำหรับการพิจารณาในกรณีที่ค่า EML เท่ากัน อ้างถึงจากข้อมูลในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1

สำหรับในกรณี CCT 4000K และ CCT 6500K ทำคะแนน 4 คะแนน เมื่อพิจารณากรณีรูปทรงเดียวกัน พบว่าทุกกรณี ปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับค่า EML มีลักษณะแปรผกผันต่อกันในทุกกรณี เช่นเดียวกับกรณี CCT 4000K ทำคะแนน 2 คะแนน ในข้างต้น แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ WWR และประเภทกระจกชนิดเดียวกันแต่รูปทรงอาคารต่างกัน พบว่า กรณี CCT 4000K ทำ 2 คะแนน กับ 4 คะแนน ปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศบางกรณีไม่มีความสัมพันธ์กันกับค่า EML แต่กรณี CCT 6500K ทำ 2 คะแนน และ 4 คะแนน ปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับค่า EML มีลักษณะแปรผกผันต่อกันทุกกรณี อ้างถึงจากข้อมูลในภาคผนวก จ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศกับค่า EML ดังภาพที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าค่าการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศของอาคารนั้นไม่สัมพันธ์กับค่า EML เช่นกัน เนื่องจากการใช้พลังงานระบบปรับอากาศมีปัจจัยในด้านของ รูปทรงอาคาร ขนาดช่องเปิด และประเภทของกระจกที่ต้องพิจารณาร่วมกัน และเมื่อพิจารณาภาพรวมผลการคำนวณในภาพที่ 4.35 พบว่ากรณีที่ขนาดช่องเปิด WWR60% การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศจะสูงกว่า WWR40% เนื่องจากขนาดช่องเปิดที่มากกว่า ทำให้แสงธรรมชาติและความร้อนเข้ามาได้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศกับค่า EML ของอาคารทั้งหมด 168 กรณี

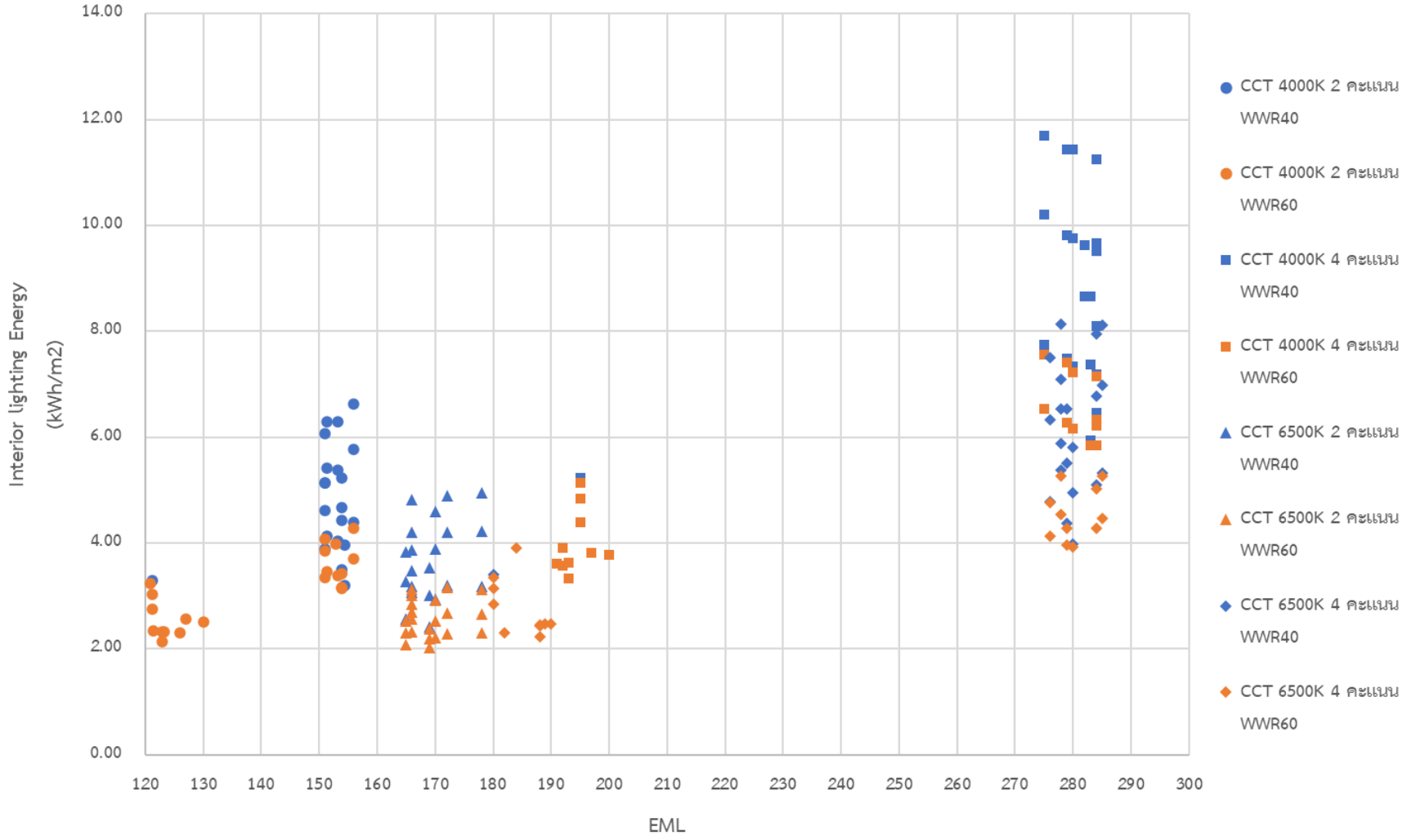
4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML

เมื่อพิจารณากลุ่มอาคารแต่ละกรณีที่ค่า CCT และการทำคะแนน Circadian Lighting ต่างกัน สำหรับกรณี CCT 4000K ทำคะแนน 2 คะแนนเมื่อพิจารณากรณีรูปทรงเดียวกัน ความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศกับค่า EML จะมีลักษณะแปรผันตรงต่อกันทุกกรณี คือ ถ้า EML เพิ่มขึ้น การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของค่า LPD กับค่า EML ที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากค่า LPD เป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ดังนั้นค่าทั้ง 3 ตัวจึงมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง สัดส่วนขนาดช่องเปิด WWR60% กรณีที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ได้ 126 EML การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 2.30 kWh/m^2 เมื่อเทียบกับกรณีที่ค่า EML มากกว่า คือ กรณีใช้กระจก IGU ใส ได้ 154 EML การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 3.16 kWh/m^2 ซึ่งมากขึ้นจากกรณีที่ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E เช่นกัน สำหรับในกรณีที่ค่า EML เท่ากัน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารต้องพิจารณาร่วมกับขนาดช่องเปิดและประเภทกระจกที่ใช้ด้วย สอดคล้องกับกรณีอื่นๆ อ้างถึงจากข้อมูลในภาคผนวก จ

สำหรับในกรณี CCT 4000K และกรณี CCT 6500K ทำคะแนน 4 คะแนน เมื่อพิจารณากรณีรูปทรงเดียวกัน พบว่าทุกกรณี ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML มีลักษณะแปรผันตรงต่อกันในทุกกรณี แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ WWR และประเภทกระจกชนิดเดียวกันแต่รูปทรงอาคารต่างกัน พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างบางกรณีไม่มีความสัมพันธ์กันกับค่า EML อ้างถึงจากข้อมูลในภาคผนวก จ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยกับค่า EML เปรียบเทียบในอาคารทุกรูปทรง ดังภาพที่ 4.36 ทำให้ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML ไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากมีปัจจัยในด้านของรูปทรงอาคารที่ต้องพิจารณาด้วย เพราะจำนวนดวงโคมที่ติดตั้งจะแตกต่างกันไปในแต่ละรูปทรงอาคาร ส่งผลให้ความส่องสว่างในแนวดิ่งที่มีผลต่อค่า EML ยกตัวอย่างกรณีแกนบริการกลาง ระหว่างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 กับรูปทรงตัว L รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 ได้ปริมาณ EML มากกว่า แต่การใช้พลังงานแสงสว่างกลับน้อยกว่า เนื่องจากรูปทรงตัว L ต้องใช้จำนวนดวงโคมมากเพราะมีมุมอับของแสงมากกว่า

นอกจากนี้ภาพรวมผลการคำนวณในภาพที่ 4.36 พบว่า อาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิด WWR60% จะใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างน้อยกว่า WWR40% เนื่องจากอาคาร WWR60% ได้ปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ จึงต้องการปริมาณ EML ที่ผ่านเกณฑ์น้อยกว่าคืออย่างน้อย 120 EML สำหรับกรณีทำ 2 คะแนน และอย่างน้อย 180 EML สำหรับกรณีทำ 4 คะแนน จึงส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างน้อยกว่า



ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกับค่า EML ของอาคารทั้งหมด 168 กรณี

ผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวม ที่ประกอบด้วย พลังงานจากระบบปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง เมื่อเปรียบเทียบทั้งหมด 168 กรณี แสดงให้เห็นว่า รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และ ประเภทกระจก มีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติ ขนาดสัดส่วน WWR ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นในทุกกรณี สำหรับในงานวิจัยพบว่า กรณี WWR60% จะใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศมากกว่ากรณี WWR40% เนื่องจากความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติ เพราะเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ส่วนประเภทกระจกที่ทำให้การใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศมากที่สุด คือ กระจกลามิเนตใส Low-E รองลงมาเป็น กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E และกระจก IGU ใส Low-E เนื่องจากกระจก IGU สามารถป้องกันความร้อนจากแสงธรรมชาติได้ดีที่สุดจึงทำให้อาคารที่ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานระบบปรับกาศน้อยที่สุดจากกระจกทั้ง 3 ประเภท ดังนั้นกรณีที่มี สัดส่วน WWR60% และใช้กระจกลามิเนตใส Low-E จะให้ปริมาณแสงธรรมชาติที่มากที่สุดพร้อมกับใช้พลังงานจากระบบเครื่องปรับอากาศมากที่สุด

ส่วนรูปทรงอาคาร จำนวนดวงโคมและการจัดวางผังดวงโคม ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของหลอดไฟ และค่า EML ขั้นต่ำ จากคะแนน Circadian Lighting ที่ต้องการ จะมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะแปรผันตรงกับค่า EML โดยกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสูง คือกรณีที่ต้องการทำคะแนน Circadian Lighting 4 คะแนน ซึ่งจะต้องการ EML ขั้นต่ำมากกว่า และกรณีที่ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ต่ำกว่า ผลการวิจัยพบว่า กรณีที่ค่า CCT 4000K ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสูงกว่ากรณี 6500K เนื่องจากกรณี 6500K สามารถใช้จำนวนดวงโคมที่น้อยกว่า แต่สามารถทำให้ค่า EML ผ่านเกณฑ์ได้

รูปทรงของอาคาร เป็นตัวแปรที่มีผลต่อทั้งการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง รูปทรงที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและพลังงานระบบปรับอากาศมากที่สุดคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง และน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ส่วนรูปทรงที่โดยรวมแล้วใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากที่สุด คือ รูปทรงตัว O และน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง ซึ่งตัวแปรทั้งหมดทั้งที่ส่งผลต่อพลังงานระบบปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง จะมีผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การออกแบบอาคารในปัจจุบันให้ความสำคัญกับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานอาคารมากขึ้น การจัดตั้งเกณฑ์การประเมินอาคารเพื่อส่งเสริมสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้งานอาคารที่เป็นมาตรฐานสากล เป็นส่วนช่วยในการส่งเสริมให้ผู้ออกแบบคำนึงถึงการออกแบบอาคารที่เหมาะสมต่อสุขภาพของผู้ใช้งานมากขึ้น ซึ่งการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เพียงพอและเหมาะสมต่อระบบนาฬิกาชีวิตของร่างกายมนุษย์เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้กับผู้ใช้อาคาร เช่น มาตรฐานสุขภาวะ WELL Building Standard ที่มีหัวข้อการประเมินในด้านแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต หรือ Circadian Lighting ซึ่งการประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ทางเลือก คือ ประเมินแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว กับประเมินแสงประดิษฐ์ควบคู่กับแสงธรรมชาติ โดยมีหน่วยวัดผลแสงธรรมชาติ คือ Spatial Daylight Anatomy (sDA) และหน่วยวัดผลแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต คือ Equivalent Melanopic Lux (EML)

การทบทวนวรรณกรรม เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยเรื่อง ทฤษฎีแสงและการรับรู้แสง องค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการให้แสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานอาคาร แนวทางหรือเกณฑ์ในการออกแบบแสงสว่าง เกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบแสงสว่างและอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองแสงสว่างและการใช้พลังงาน และแนวทางในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ มีผลต่อแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต เนื่องจากการใช้งานจริงในเวลากลางวันมีทั้งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์เพื่อให้ได้รับแสงที่เพียงพอในทุกพื้นที่ ซึ่งแสงจากทั้ง 2 แหล่ง ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ เนื่องจากความร้อนที่เข้ามาพร้อมแสงธรรมชาติ แต่จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต มีการศึกษาการออกแบบแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่านั้น ซึ่งยังไม่รวมการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่อาจจะลดหรือเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษา ผลกระทบของแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมกับระบบนาฬิกาชีวิตของมนุษย์ ต่อการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทย ตามเกณฑ์ WELL Building Standard V2 โดยศึกษาการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่ดีต่อสุขภาพจะส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอย่างไร ทั้งส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่เพิ่มหรือลดลงจากการใช้แสงธรรมชาติ และการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ เพื่อให้เข้าใจถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่ดีกับสุขภาพต่อการใช้พลังงานอาคาร และเป็นแนวทางในการนำไปปรับใช้กับการออกแบบจริง การออกแบบแสงสว่างภายในอาคารโดยคำนึงถึงแสงสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารนั้น นอกจากจะส่งผลดีต่อสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้งานอาคารแล้ว ยังส่งผลดีกับเจ้าของโครงการในด้านการประหยัดพลังงาน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ส่งผลดีต่อภาพลักษณ์ขององค์กรและทำให้เพิ่มมูลค่าของอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้รูปแบบอาคารสำนักงานมาตรฐาน ที่การออกแบบแสงสว่างไม่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting เป็นอาคารจำลองต้นแบบ และอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 168 กรณีศึกษา ที่ใช้แบบจำลองอาคารสำนักงานที่มีรูปทรง 7 รูปทรง แบ่งออกเป็น อาคารตำแหน่งแกนบริการกลาง ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3 รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 รูปทรงตัว L และรูปทรงตัว O อาคารตำแหน่งแกนบริการริม ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.3 และ รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 และอาคารตำแหน่งแกนบริการริม 2 ด้าน ประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนผังพื้น 1:1.7 ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อเปลือกอาคาร WWR40% และ WWR60% ประเภทกระจก 3 ชนิด คือ กระจกที่มีค่า VLT 74.5% 53.5% และ 44.4% ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ 4000K และ 6500K และการวางผังดวงโคมไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่แตกต่างกันในแต่ละรูปทรงอาคาร

โดยแบ่งขั้นตอนการจำลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) จำลองปริมาณแสงธรรมชาติ คำนวณค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DesignBuilder 2) จำลองการจัดวางผังดวงโคมและคำนวณหาปริมาณความส่องสว่างหรือ ค่า Vertical Illuminance (Ev) ของแสงประดิษฐ์ด้วยโปรแกรม Dialux Evo เพื่อนำไปคำนวณค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และ 3) คำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารแต่ละกรณีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DesignBuilder จากนั้นทำการประเมินผลปริมาณแสงธรรมชาติและปริมาณแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตของอาคาร รวมถึงประเมินผลประสิทธิภาพในใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี พร้อมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบอาคารแต่ละกรณีกับอาคารต้นแบบ เพื่อให้เป็นแนวทางในการนำไปใช้และช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบในการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับระบบนาฬิกาชีวิตของมนุษย์และยังการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ และปริมาณแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อ Circadian Lighting ที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร

5.1.1.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ

ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารที่ศึกษา ประกอบด้วย รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และประเภทของกระจก

โดยรูปทรงของอาคารที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติมากที่สุด คือ อาคารรูปทรงตัว L เนื่องจาก ความลึกจากผนังด้านนอกอาคารถึงแกนบริการ น้อยกว่ารูปทรงอื่น และมีพื้นที่ผิวของผนังอาคารให้ได้รับแสงมากกว่า และอาคารที่ได้รับแสงธรรมชาติน้อยที่สุด คือ อาคารรูปทรงตัว O เมื่อเทียบกับอาคารรูปทรงอื่นๆ เนื่องจากรูปทรงตัว O มีความลึกจากช่องเปิดถึงแกนบริการกลางมากถึง 15 เมตร และถึงแม้ว่ารูปทรงตัว O จะมีพื้นผิวโค้งทำให้ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ได้ทุกทิศทางตลอดทั้งวัน แต่เมื่อเทียบพื้นที่ผิวของเปลือกกับอาคารรูปทรงอื่น รูปทรงตัว O ถือว่าเป็นรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวอาคารน้อยที่สุด จึงทำให้ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติน้อยกว่าอาคารรูปทรงอื่นๆ

สำหรับขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) สัดส่วนของช่องเปิด WWR 60% ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติมากกว่า WWR 40% สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ (2561) ที่พบว่าการใช้ WWR 60% นั้นมีประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติมากกว่า WWR 40% เนื่องจากการออกแบบอาคารที่มีความลึกจากช่องเปิดถึงแกนบริการอาคารมาก จึงทำให้ต้องการพื้นที่ช่องเปิดที่มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งขนาดสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้น และจะส่งผลให้ผู้ใช้งานได้รับแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่ถ้าสามารถออกแบบอาคารที่มีความลึกของผังพื้นน้อยลง ซึ่งจะสามารถลดพื้นที่ช่องเปิดลงได้ ก็จะช่วยให้สามารถลดการใช้พลังงานของอาคาร พร้อมทั้งได้รับปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารที่เหมาะสมด้วย

สำหรับอาคารที่ใช้กระจกเป็นกรอบอาคาร อาคารที่เลือกใช้ กระจกลามิเนตใส Low-E ทำให้ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติได้มากที่สุด รองลงมาเป็น กระจก Insulating Glass Unit (IGU) ใส Low-E และ กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E เนื่องจาก ค่าการส่งผ่านของแสง หรือ VLT ของกระจกลามิเนตใส มีค่าสูงที่สุด ที่ 74.5% จึงทำให้การส่งผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้มากที่สุด ในขณะที่กระจกลามิเนตสีตัดแสง มีค่า VLT เพียง 44.4% ซึ่งทำให้การส่งผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารน้อยที่สุด ซึ่งข้อกำหนดของ WELL ในเรื่องของค่าการส่งผ่านของแสง (VLT) ของกระจก กำหนดให้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 40% ซึ่งกระจกที่ใช้ในการศึกษามีค่า VLT มากกว่า 40% แต่เนื่องจากผังพื้นอาคารมีความลึกมากจึงทำให้ในบางกรณีไม่สามารถได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่เพียงพอได้ จะเห็นได้ว่าความลึกของผังพื้นจากช่องเปิดถึงแกนบริการอาคารเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบอาคารสำนักงานให้ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่เพียงพอและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่ให้ความสำคัญกับปัจจัยนี้เท่าที่ควร

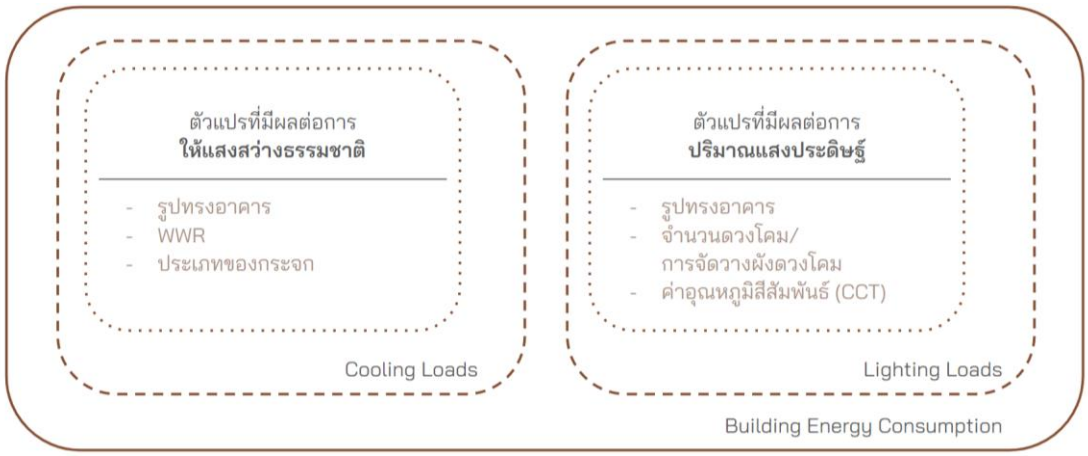
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.1.2 ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์

ตัวแปรของแสงประดิษฐ์ที่ศึกษา ประกอบด้วย รูปทรงอาคาร จำนวนดวงโคมและการจัดวางผังดวงโคม ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของหลอดไฟ ส่งผลต่อปริมาณความส่องสว่างแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต เพื่อให้ค่า EML สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของคะแนน Circadian Lighting ที่ต้องการ โดยรูปทรงของอาคารมีผลต่อจำนวนและการจัดวางผังดวงโคมที่เหมาะสมกับรูปทรงอาคารและการใช้งาน ทำให้จำนวนดวงโคมที่ใช้จะแตกต่างกันในบางกรณี ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยส่งผลต่อความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) และค่า EML รูปทรงที่ต้องใช้จำนวนดวงโคมมากกว่ารูปทรงอื่น คือ รูปทรงตัว L ถึงแม้ว่ารูปทรงตัว L จะเป็นรูปทรงที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติมากที่สุด แต่เนื่องจากการคำนวณความส่องสว่างเพื่อหาปริมาณ EML นั้นคิดจากแสงประดิษฐ์เท่านั้น รูปทรงตัว L เป็นรูปทรงที่มีมุมอับของแสงมากกว่ารูปทรงอื่นๆ จึงทำให้การจัดวางผังดวงโคมใช้จำนวนดวงโคมมากกว่า เพื่อให้ได้ปริมาณความส่อง

สว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตซึ่งมีปริมาณ EML ผ่านเกณฑ์ได้ โดยเมื่อเทียบในกรณีรูปทรงเดียวกัน การใช้จำนวนดวงโคมที่มากขึ้น จะทำให้ค่าความส่องสว่าง และค่า EML มากขึ้นเช่นกัน

สำหรับค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของหลอดไฟ การใช้หลอดไฟที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ที่สูงกว่า ทำให้ปริมาณ EML สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้หลอดไฟที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ที่ต่ำกว่า เนื่องจากหลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีสัมพันธ์สูงมีค่าการแผ่รังสีในช่วงความยาวคลื่นสั้นและคลื่นยาวแตกต่างกันมากกว่า ทำให้ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิตมากกว่าหลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีสัมพันธ์ที่ต่ำ (จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ, 2561)



ภาพที่ 5.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ และปริมาณแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อ Circadian Lighting ที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร

จากภาพที่ 5.1 ตัวแปรที่ศึกษาจากทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ดังนี้ รูปทรงอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และ ประเภทกระจก มีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ สำหรับขนาดสัดส่วน WWR ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้การใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นในทุกกรณี ดังนั้นกรณี WWR60% จะใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศมากกว่ากรณี WWR40% เนื่องจากความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติ และสำหรับประเภทกระจกที่ทำให้การใช้พลังงานระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ กระจกลามิเนตใส Low-E รองลงมาเป็น กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E และกระจก IGU ใส Low-E

ส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ได้แก่ รูปทรงอาคาร จำนวนดวงโคม และค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของหลอดไฟ ซึ่งกรณีใช้หลอดไฟที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ CCT 4000K จะใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสูงกว่ากรณี 6500K เนื่องจากการใช้หลอดไฟที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ 6500K สามารถลดจำนวนดวงโคมลงได้ ซึ่งจะส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลดลง ในขณะที่ยังให้ปริมาณความส่องสว่างที่ทำให้ค่า EML ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ได้อยู่ นอกจากนี้คะแนน Circadian Lighting ที่ต้องการ คือ 2 และ 4 คะแนน ซึ่งกำหนดค่า EML ขั้นต่ำที่ต่างกัน คือกรณีที่ต้องการคะแนน

Circadian Lighting 4 คะแนน กำหนด EML ขั้นต่ำ 150 EML ซึ่งมากกว่า 2 คะแนน ที่กำหนด EML ขั้นต่ำ 120 EML ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าค่า EML จะสัมพันธ์กับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในลักษณะแปรผันตรงต่อกัน ดังนั้นกรณีที่ต้องการคะแนน Circadian Lighting 4 คะแนน จะใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากกว่าเนื่องจากค่า EML ขั้นต่ำที่กำหนดมากกว่าจึงต้องการค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ที่มากกว่า

สำหรับรูปทรงของอาคาร เป็นตัวแปรที่มีผลต่อทั้งการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ตัวแปรทั้งหมดที่ส่งผลต่อทั้งพลังงานระบบปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง จะมีผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร โดยรูปทรงที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมากที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง เช่นเดียวกับการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ส่วนรูปทรงที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารน้อยที่สุด คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง

5.1.2 แนวทางในการให้ปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ที่ให้ความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต ที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard

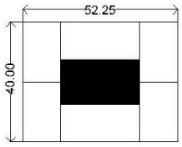
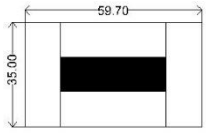
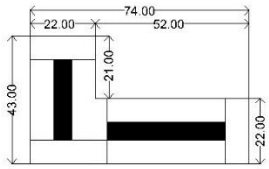
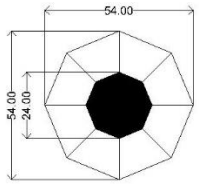
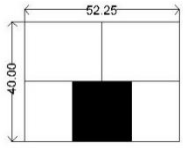
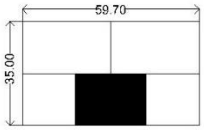
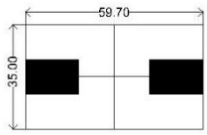
แนวทางการให้แสงธรรมชาติภายในอาคารในปริมาณที่เหมาะสม คือสามารถผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ วิเคราะห์จากการใช้ รูปทรงของอาคาร ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) และประเภทกระจก และแนวทางใช้แสงประดิษฐ์ให้เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต ที่ค่า EML สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting วิเคราะห์จากรูปทรงอาคารและจำนวนดวงโคมที่ใช้ ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) และค่า EML ขั้นต่ำ จากคะแนน Circadian Lighting ที่ต้องการ

สำหรับกรณีต้องการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting คะแนนขั้นต่ำ 2 คะแนน การออกแบบอาคารจะพิจารณาทั้งการได้รับปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงในเวลากลางวัน สำหรับการนั่งหันหน้าได้ทุกทิศทาง องค์ประกอบของอาคารจะประกอบด้วย

- ควรใช้ขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด WWR60% ขึ้นไป
- กระจกที่มีค่าการส่งผ่านของแสง (VLT) สูง เช่น กระจกลามิเนตใส Low-E เนื่องจากเป็นกรณีที่สามารถผ่านเกณฑ์ทุกกรณี ได้รับแสงธรรมชาติในปริมาณที่เหมาะสม
- สำหรับอาคารที่ความลึกของแกนบริการไม่เกิน 15 เมตร

สำหรับในแต่ละรูปทรงอาคาร จะมีการออกแบบจำนวนดวงโคม เพื่อให้ได้ความส่องสว่างแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) และความส่องสว่างแนวดิ่ง (Ev) เฉลี่ยขั้นต่ำแตกต่างกัน แบ่งออกเป็นกรณีหลอดไฟที่ใช้ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) เท่ากับ 4000K และกรณีหลอดไฟที่ใช้ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) เท่ากับ 6500K สำหรับ CCT 6500K จำนวนดวงโคมจะลดลง ในขณะที่ยังสามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้มากกว่า โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.1

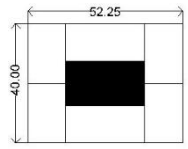
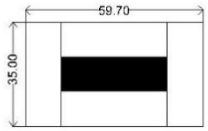
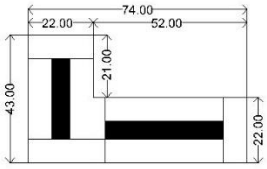
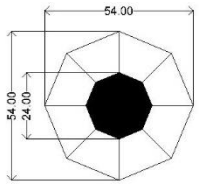
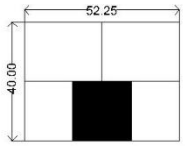
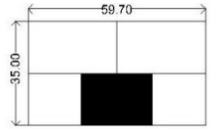
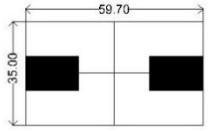
ตารางที่ 5.1 แนวทางในการให้ปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ สำหรับกรณีต้องการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting คะแนนขั้นต่ำ 2 คะแนน

รูปทรงอาคาร	4000K			6500K		
	จำนวนดวงโคม	Ep min (lux)	Ev min (lux)	จำนวนดวงโคม	Ep min (lux)	Ev min (lux)
	168	337	166	152	304	150
	160	324	161	160	309	151
	171	327	160	156	322	162
	168	340	167	171	308	155
	156	317	160	152	308	154
	156	322	162	152	308	151
	168	342	171	164	312	156

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หรือถ้าต้องการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ทำคะแนน 4 คะแนน จะต้องใช้จำนวนดวงโคม ความส่องสว่างแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) และความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.2 แต่การทำคะแนนที่มากขึ้นทำให้ค่า EML ขั้นต่ำที่กำหนดมากขึ้นด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อจำนวนดวงโดมที่ติดตั้งเพื่อให้แสงสว่างมากขึ้น และส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 5.2 แนวทางในการให้ปริมาณแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ สำหรับกรณีต้องการผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting คะแนนขั้นต่ำ 4 คะแนน

รูปทรงอาคาร	4000K			6500K		
	จำนวนดวงโคม	Ep min (lux)	Ev min (lux)	จำนวนดวงโคม	Ep min (lux)	Ev min (lux)
	260	510	253	168	337	166
	250	502	255	168	340	171
	273	524	256	177	336	164
	256	513	252	168	340	167
	256	516	259	166	345	173
	256	522	263	168	341	172
	248	500	251	168	342	171

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยผลการวิจัยปริมาณแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ขั้นต่ำที่ได้ในทุกกรณี สอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 39 พ.ศ. 2551 ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณความส่องสว่างขั้นต่ำ 300 ลักซ์ ค่าต่ำสุดที่ได้จากผลการคำนวณคือ 304 ลักซ์ ในกรณีใช้หลอดไฟที่ใช้ CCT 6500K รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง ซึ่งเป็นความส่องสว่างที่ EML สามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำได้

ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Paul Littlefair & Cosmin Ticleanu (2019) แนวทางในการให้ความส่องสว่างในแนวดิ่งเพื่อให้แสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต มีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการใช้ตัวแปร เช่น ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K และ 6500K ในการจำลองเช่นเดียวกัน แต่สำหรับงานวิจัยของ จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ (2561) เมื่อเทียบกันแล้วแนวทางในการติดตั้งจำนวนดวงโดม และค่าความส่องสว่างมีแตกต่างกัน เนื่องจากใช้ตัวชี้วัดที่แตกต่างกัน คือ ค่า Circadian Stimulus และใช้ตัวแปรในการจำลองแตกต่างกัน เช่น ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ของหลอดไฟ ขนาดและรูปทรงของแบบจำลอง แต่สำหรับแนวทางในการกำหนดขนาดช่องเปิดมีความสอดคล้องกัน คือ ควรออกแบบช่องเปิดที่มีขนาด WWR60% ขึ้นไป เพื่อให้ได้แสงสว่างธรรมชาติที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิต

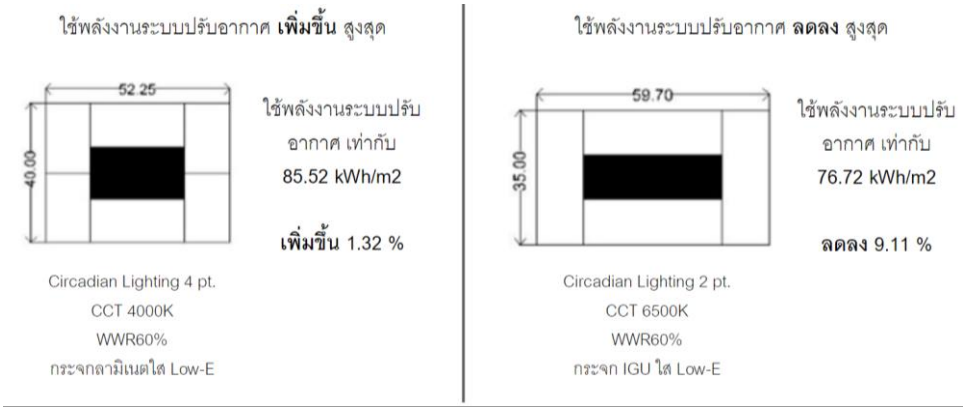
5.1.3 ผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ต่อการใช้พลังงานของอาคาร และแนวทางในการออกแบบแสงสว่างอาคารที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตและประหยัดพลังงาน

5.1.3.1 ผลกระทบของการออกแบบ Circadian Lighting ต่อการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

การออกแบบอาคารให้ได้รับแสงสว่างที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต ส่งผลต่อการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ เนื่องจากมีกรณีที่พิจารณาแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ โดยปริมาณค่า EML ขั้นต่ำที่กำหนดจะลดลง เนื่องจากถูกชดเชยด้วยปริมาณแสงธรรมชาติที่เหมาะสมที่สามารถผ่านเกณฑ์ $sDA_{300/50\%}$ มากกว่า 55% ได้ ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร เป็นการนำความร้อนเข้ามาด้วย จึงส่งผลต่อการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ โดยอาคารที่ใช้พลังงานระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ กรณีใช้หลอดไฟอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard ได้ 4 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR60% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ใช้พลังงานระบบปรับอากาศเท่ากับ 85.52 kWh/m^2 ซึ่งใช้พลังงานปรับอากาศเพิ่มขึ้นจากอาคารจำลองต้นแบบ 1.32% ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้พลังงานระบบปรับอาคารมากสุดในกรณีที่ค่า CCT และทำคะแนนในกรณีอื่นด้วย

ส่วนอาคารที่ใช้พลังงานระบบปรับอากาศน้อยสุด คือ กรณีใช้หลอดไฟ CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ได้ 2 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR60% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานระบบปรับอากาศเท่ากับ 76.72 kWh/m^2 ซึ่งสามารถลดการใช้พลังระบบปรับอากาศลงจากอาคารจำลองต้นแบบถึง 9.11% ดังภาพที่ 5.2

การใช้พลังงานระบบปรับอากาศของแต่ละรูปแบบอาคาร ในแต่ละกรณีที่ค่า CCT ต่างกัน หรือทำคะแนน Circadian Lighting ต่างกัน ปริมาณการใช้พลังงานระบบปรับอากาศจะไม่แตกต่างกันมากและมีความสอดคล้องกันในทุกกรณี การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารถึงแม้จะเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเนื่องจากความร้อนที่เข้ามาด้วย แต่ก็ทำให้ลดการใช้แสงประดิษฐ์ลงได้ เป็นการช่วยทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลง



ภาพที่ 5.2 อาคารที่ใช้พลังงานระบบปรับอาคารเพิ่มขึ้นและลดลงสูงสุด จากอาคารจำลองต้นแบบ

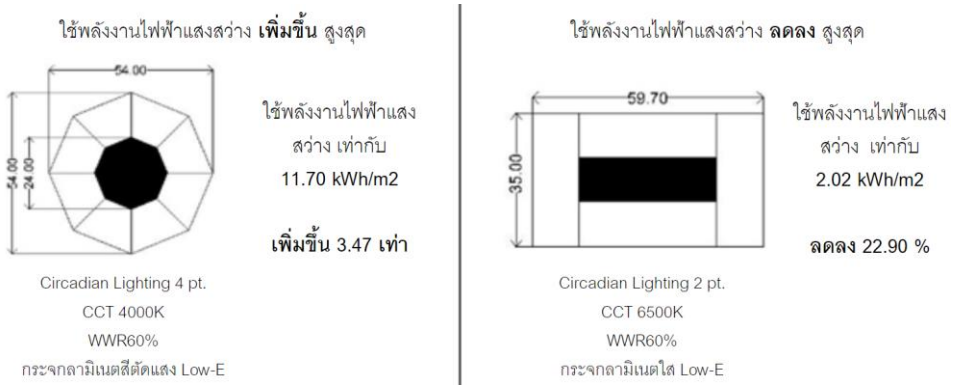
5.1.3.2 ผลกระทบของการออกแบบ Circadian Lighting ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง

สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง การออกแบบอาคารให้ได้รับแสงสว่างที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิต ส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง เนื่องจากการประเมินค่า EML ของเกณฑ์ WELL Building Standard กำหนดให้พิจารณาจากแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว ซึ่งการใช้แสงประดิษฐ์เพื่อให้ได้ปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวิตในอาคารสำนักงาน ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 3.47 เท่า เมื่อเทียบจากอาคารจำลองต้นแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นสูงสุด คือ กรณีที่หลอดไฟใช้ CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard ได้ 4 คะแนน รูปทรงตัว O แกนบริการกลาง WWR60% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 11.70 kWh/m^2 แต่สำหรับกรณีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลดลง คือ กรณีหลอดไฟที่ใช้ CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ได้ 2 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR60% ใช้กระจกลามิเนตใส Low-E ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 2.02 kWh/m^2 โดยลดได้สูงสุด 22.90% จากอาคารจำลองต้นแบบ ดังภาพที่ 5.3

ค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจะมีความแตกต่างกันมากในแต่ละกรณีที่ CCT ต่างกันหรือทำคะแนน Circadian Lighting ต่างกัน ไม่เพียงแต่เนื่องจากรูปแบบอาคาร คือ รูปทรง WWR และประเภทกระจกเท่านั้น แต่ยังเนื่องจาก ค่า LPD ที่ได้จากการคำนวณปริมาณจำนวนดวงโคมเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ Circadian Lighting ในแต่ละกรณีอีกด้วย



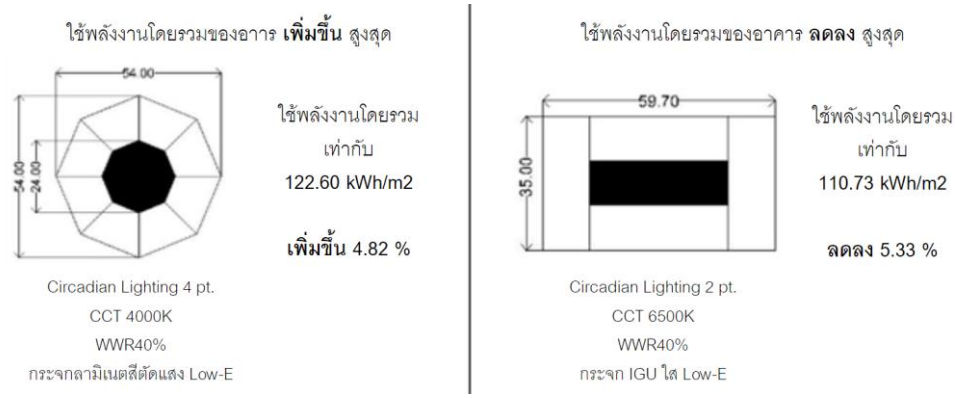
ภาพที่ 5.3 อาคารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มขึ้นและลดลงสูงสุด จากอาคารจำลองต้นแบบ

5.1.3.3 ผลกระทบของการออกแบบ Circadian Lighting ต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบอาคารให้ได้รับแสงสว่างที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตหรือมีค่า EML ที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำนั้น ส่งผลให้การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ซึ่งประกอบด้วยทุกระบบของอาคาร ผลการวิจัยมีทั้งกรณีที่เพิ่มการใช้พลังงานและลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเมื่อเทียบกับอาคารจำลองต้นแบบ ซึ่งการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเพิ่มขึ้นอยู่ประมาณ 0.04%-4.82% และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารลดลงอยู่ประมาณ 0.01%-5.33%

โดยกรณีที่การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากอาคารจำลองต้นแบบมากที่สุดที่ 4.82% คือ กรณีที่ใช้หลอดไฟ CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building standard ได้ 4 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.3 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจกลามิเนตสีตัดแสง Low-E ซึ่งใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 122.60 kWh/m^2 ซึ่ง ส่วนกรณีที่การใช้พลังงานลดลงจากอาคารจำลองต้นแบบมากที่สุดที่ 5.33% คือ กรณีใช้หลอดไฟ CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ได้ 2 คะแนน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ใช้พลังงานโดยรวมเท่ากับ 110.73 kWh/m^2 ดังภาพที่ 5.4

ดังนั้นการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตพร้อมทั้งใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าในแนวทางที่เป็นกรณีที่สามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารได้มากที่สุด จะเป็นกรณีที่ใช้หลอดไฟ CCT 6500K รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วน 1:1.7 แกนบริการกลาง WWR40% ใช้กระจก IGU ใส Low-E ที่ใช้พลังงานโดยรวมน้อยที่สุดในทุกกรณี ถึงแม้กรณีนี้จะสามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting โดยทำคะแนนได้ 2 คะแนน แต่การออกแบบจริงผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น งบประมาณในการลงทุน ความคุ้มทุนในการใช้หลอดไฟที่มีค่า CCT สูง ความต้องการของเจ้าของโครงการ และความนิยมในการออกแบบในปัจจุบัน เช่น การใช้ขนาดสัดส่วน WWR ที่สูงมากขึ้น เพื่อให้ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติและได้รับวิวภายนอก หรือประเภทของกระจกที่มีการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพอยู่โดยตลอด



ภาพที่ 5.4 อาคารที่ใช้พลังงานโดยรวมของอาคารเพิ่มขึ้นและลดลงสูงสุด จากอาคารจำลองต้นแบบ

ตารางที่ 5.3 สรุปปริมาณพลังงานโดยรวมของอาคาร พลังงานจากระบบปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ที่เปลี่ยนแปลงจากอาคารต้นแบบ ของอาคารที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting

อาคารที่ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting			
กรณีทำคะแนน 2 คะแนน ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ดังนี้		**กรณีทำคะแนน 4 คะแนน** ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ดังนี้	
• **การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร**		• **การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร**	
- เพิ่มขึ้น	0.04% - 1.53%	- เพิ่มขึ้น	0.04% - 4.82%
- ลดลง	0.03% - 5.33%	- ลดลง	0.01% - 4.39%
• **การใช้พลังงานระบบปรับอากาศ**		• **การใช้พลังงานระบบปรับอากาศ**	
- เพิ่มขึ้น	0.01% - 1.22%	- เพิ่มขึ้น	0.01% - 1.32%
- ลดลง	0.01% - **9.11%**	- ลดลง	0.07% - 8.68%
• **การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง**		• **การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง**	
- เพิ่มขึ้น	1.91% - 152%	- เพิ่มขึ้น	8.78% - **347%**
- ลดลง	1.53% - 22.90%	- ลดลง	5.34% - 14.89%

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้เห็นช่องว่างของงานวิจัย ในด้านการศึกษาการออกแบบแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ทั้งพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและพลังงานจากงระบบปรับอากาศ ซึ่งผลการวิจัยพบผลกระทบของการออกแบบแสงสว่างเพื่อนาฬิกาชีวิตภายในอาคารสำนักงาน ที่ใช้รูปแบบมาตรฐาน ในกรุงเทพมหานครฯ โดยได้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่สามารถผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting ของ WELL Building Standard ของอาคารแต่ละกรณี เพื่อให้เป็นแนวทางให้กับผู้ออกแบบ ในการนำไปปรับใช้ในการออกแบบและเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมต่อสุขภาพที่ดี กับการใช้พลังงานของอาคาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ในส่วนของเรื่องการศึกษาตัวแปร การศึกษาขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ได้พิจารณาเฉพาะกรณี WWR40% และ WWR60% แต่อาคารสำนักงานในปัจจุบัน เนื่องจากความต้องการให้มีพื้นที่ใช้สอยต่อชั้นมากขึ้นเพื่อเป็นจุดขายของโครงการ จึงทำให้ความลึกจากช่องเปิดถึงแกนบริการมีความลึกเพิ่มขึ้น จึงออกแบบสัดส่วนช่องเปิดที่ WWR สูงมากขึ้น เพื่อให้ได้แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารลึกขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ดังนั้นสำหรับการทำงานวิจัยในอนาคต ควรศึกษาระยะความลึกจากช่องเปิดถึงแกนบริการของผังพื้นที่เหมาะสมกับสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) แต่ละขนาดเพิ่มเติม เพื่อให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานพร้อมทั้งได้ผลดีต่อนาฬิกาชีวิต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารได้หลากหลายมากขึ้น และการศึกษาการเลือกใช้แสงในอุณหภูมิสีอื่นๆ หรือการให้แสงประดิษฐ์ด้วยเทคนิคหรือโคมไฟในลักษณะอื่นๆ ในงานวิจัยนี้พิจารณาเพียงหลอดไฟ LED ลักษณะดวงโคมสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบฝังฝ้า ซึ่งเป็นลักษณะดวงโคมที่ใช้ทั่วไปในอาคารสำนักงาน ซึ่งพิจารณาเฉพาะกรณี ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) ของหลอดไฟ 4000K กับ 6500K เท่านั้น หากในงานวิจัยในอนาคตจะพิจารณาดวงโคมในลักษณะอื่น หรือค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) อื่นๆเพิ่มเติม อาจจะทำให้ได้แนวทางในการรับแสงในแนวดิ่ง ณ โต๊ะทำงานที่ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพพลังงานที่ดีขึ้น

สำหรับเรื่องการศึกษาแสงธรรมชาติ ได้พิจารณาเฉพาะปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้พิจารณาพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติมากเกินความต้องการ หรือ Annual Sunlight Exposure (ASE) ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความไม่สบายตาของผู้ใช้งานอาคารได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาเรื่องเกณฑ์ของค่า ASE เพิ่มเติม เพื่อให้ได้แสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมสูงสุด

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินผลปริมาณ EML ที่เป็นระดับแบบจำลองโดยใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด ซึ่งควรมีการประเมินผลวัดแต่ละจุดของพื้นที่นั่งทำงานร่วมด้วย เพื่อให้สามารถได้ประสิทธิภาพของแสงสว่างที่เหมาะสมในทุกพื้นที่และได้ผลการจำลองที่เป็นจริงมากขึ้น

งานวิจัยนี้ใช้แนวทางการประเมิน EML ของเกณฑ์ WELL Building Standard ซึ่งจะพิจารณาจากแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว สำหรับการใช้งานจริงในช่วงเวลากลางวันจะได้รับทั้งแสงธรรมชาติและการใช้แสงประดิษฐ์ควบคู่กัน ซึ่งอาจทำให้ได้รับแสงที่มากเกินความต้องการ เกิดสภาวะความไม่สบายตาแก่ผู้ใช้งานได้ สำหรับงานวิจัยในอนาคต ถ้าสามารถเพิ่มการศึกษาค่า EML ที่พิจารณาจากแสงสว่างธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ หรือศึกษาการใช้โคมไฟที่สามารถปรับหรี่ทั้งอุณหภูมิสีและความสว่างได้ เพื่อให้ได้ปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสมต่อแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน ซึ่งจะต้องศึกษาในเรื่องความคุ้มค่าในการลงทุนเพิ่มเติมด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

เกษียร ธรานนท์. (2551). ผลของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร โดยผ่านช่องหน้าต่างกระจกด้านข้าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี].

เศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์. (2545). ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร โดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

กนกกานต์ วังมณี และ ธาริณี รามสูต. (2563). แนวทางการปรับปรุงการส่องสว่างและสถาปัตยกรรมของห้องปฏิบัติงานช่างเพื่อเพิ่มคุณภาพการมองเห็นและประสิทธิภาพการใช้งาน: กรณีศึกษาห้องเรียนปฏิบัติงานแผนกช่างเชื่อมวิทยาลัยเทคนิคแพร่. เจ-ดี : วารสารวิชาการ การออกแบบสภาพแวดล้อม, *7*(2).

กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2565). คู่มือแนวทางการตรวจสอบการออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับเจ้าพนักงานท้องถิ่นตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

การุณย์ ศุภมิตรโยธิน. (2548). การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ. (2561). แนวทางการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานให้มีความเหมาะสมกับ นาฬิกาชีวิต ของประเทศไทย [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ. (2564). แนวทางการใช้เกณฑ์การประเมินแสงธรรมชาติที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต ในประเทศไทย. *JARS*, *18*(1), 115-130.

ณัฐพงษ์ โต๊ะพาน. (2548). แนวทางการออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อป้องกันปัญหาคุณภาพอากาศภายใน: ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

ณัฐภูมิ รับคำอินทร์. (2552). อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ทรงพล อัตถากร. (2020). การเปิดรับแสงธรรมชาติในโถงกึ่งเปิดโล่งเพื่อความยั่งยืน:กรณีศึกษา อาคารสถานศึกษาย่านชานเมืองกรุงเทพมหานคร. *JARS*, *18*(1), 153-169.

นราธิป ทับทัน. (2552). ปัจจัยทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านเดี่ยว. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล, *9*(2), 1-18.

บริรักษ์ อินทรกุลไชย. (2562). การเพิ่มแสงธรรมชาติภายในห้องพักอาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. วารสารสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวินิจฉัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น *18*(1), 69-89.

บุรพล แจ้งสว่าง. (2548). แนวทางการกำหนดมาตรฐานการใช้แสงธรรมชาติในอาคารสำนักงาน [วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. กรุงเทพฯ.

พิรุฬห์รัตน์ บุริประเสริฐ. (2543). รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รวิช ควรประเสริฐ. (2550). การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

รุจิเรจ อินทรเนตร. (2554). การออกแบบแผงบังแดดเพื่อได้แสงธรรมชาติและประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว วี*4* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ศรุดา จิรัฐกุลธนา. (2563). แสงสว่างและพฤติกรรมมนุษย์. *PSRU Journal of Science and Technology 5*(1), 13-22.

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. (2547). คู่มือการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. Retrieved 11 กรกฎาคม from http://www2.dede.go.th/handbookbuild/EFDG.pdf

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2559). คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร. สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย.

สวิชญา ดาวประกายมงคล. (2552). แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ. ศ. *2552* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

สันติภาพ กั้วพรหม. (2562). การศึกษาเพื่อประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยหมู่บ้านจอมบึงจังหวัดราชบุรี [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสยาม].

สุมาวลี จินดาพล. (2551). แนวทางการออกแบบช่องเปิดเพื่อได้รับความร้อนและแสงธรรมชาติอย่างเหมาะสมในอาคารสำนักงาน [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

อรจิรา นพพรมงคล. (2556). แนวทางการจัดวางหลอดแอลอีดี สำหรับสำนักงานผังทำงานรวมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2563). แนวทางและการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดแสงธรรมชาติสำหรับอาคารในประเทศไทย. *JARS 17*(1), 103-119.

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2565). การศึกษาการออกแบบร่วมกันระหว่างการวิเคราะห์แสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศและการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ. *JARS*, *19*(1), 21-40.

อุโรชา เจียรนัยพาณิชย์. (2555). ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน *ASHRAE 90.1 2007* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

Ahmad, A., Kumar, A., Prakash, O., & Aman, A. (2020). Daylight availability assessment and the application of energy simulation software – A literature review. *Materials Science for Energy Technologies*, *3*, 679-689. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.07.002

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ahmad, R. M., & Reffat, R. M. (2018). A comparative study of various daylighting systems in office buildings for improving energy efficiency in Egypt. *Journal of Building Engineering*, *18*, 360-376. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.002

Andersen, M., Gochenour, S. J., & Lockley, S. W. (2013). Modelling 'non-visual' effects of daylighting in a residential environment. *Building and Environment*, *70*, 138-149. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.018

ASHRAE. (2016). *Standard 90.1-2016, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_90.1_2016_IP

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide* (1st ed.). Taylor & Francis.

Baloch, A. A., Shaikh, P. H., Shaikh, F., Leghari, Z. H., Mirjat, N. H., & Uqaili, M. A. (2018). Simulation tools application for artificial lighting in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 3007-3026. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.035

Borisuit, A. (2013). *The Impact of Light Including Non-Image Forming Effects on Visual Comfort* [PhD diss., Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne].

Boyce, P. R. (2014). *Human Factor in Lighting*. CRC Press.

Brennan, M. T. (2018). Outcome-Based Design for Circadian Lighting: An Integrated Approach to Simulation & Metrics.

CIBSE. (2019). *Module 147: Lighting the way for occupant wellbeing*. CIBSE Journal. https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2019-06-eye/

Dai, Q., Huang, Y., Hao, L., Lin, Y., & Chen, K. (2018). Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. *Building and Environment*, *146*, 216-225. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.004

De Kort, Y. (2019). Tutorial: Theoretical Considerations When Planning Research on Human Factors in Lighting. *LEUKOS*, *15*, 1-12. https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1558065

Derungs Light AG. (2015). LIGHTING FOR SENIOR CARE GOOD LIGHTING ENRICHING LIFE. In. Switzerland.

Dijk, D.-J., Boulos, Z., Eastman, C. I., Lewy, A. J., Campbell, S. S., & Terman, M. (1995). Light Treatment for Sleep Disorders: Consensus Report: II. Basic Properties of Circadian Physiology and Sleep Regulation. *Journal of Biological Rhythms*, *10*(2), 113-125. https://doi.org/10.1177/074873049501000204

Green Network. (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2564). ศูนย์วิจัย RISC by MQDC ผ่านการรับรองมาตรฐาน WELL Building Standard ระดับ Gold จาก IWBI เป็นแห่งแรกในอาเซียนและไทย. *Green Network*, (103), 26-27.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Green Quarter. (2018). *Daylight Metrics*. https://www.greenquarter.biz/green-engineering/daylight-metrics/

Hengrasmee, N. (2019). *Circadian Lighting Design Criteria for Health and Well-being in Thai Built Environment* [PhD diss, Naresuan University].

Inouye, S. T., & Kawamura, H. (1979). Persistence of circadian rhythmicity in a mammalian hypothalamic "island" containing the suprachiasmatic nucleus. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *76*(11), 5962-5966. https://doi.org/10.1073/pnas.76.11.5962

IWBI. (2022). *The WELL Building Standard version 2* https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview

Jarboe, C., Snyder, J., & Figueiro, M. (2019). The effectiveness of light-emitting diode lighting for providing circadian stimulus in office spaces while minimizing energy use. *Lighting Research & Technology*, *52*, 147715351983460. https://doi.org/10.1177/1477153519834604

Kaufman, J. E. (1966). *IES Lighting Handbook: The Standard Lighting Guide* (4th ed.). Illuminating Engineering Society.

Khademagha, P., Aries, M., Rosemann, A. L. P., & van Loenen, E. (2016). Implementing non-image-forming effects of light in the built environment: A review on what we need. *Building and Environment*, *180*, 263-272. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.035

Kocaoğlu, R. (2015). *The Effects of correlated color temperature on sustained attention and mood of university students in learning environments* [Master's Thesis, Bilkent University].

Konis, K. (2017). A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. *Building and Environment*, *113*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.025

Konis, K. (2018). Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities. *Building and Environment*, *135*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.007

Kozak, J. (1991). *Steel-Concrete Structures from Multistorey Buildings*. Elsevier, Amsterdam.

Lai, Y.-Y. (2022). What do CCT, CIE, and SPD mean in LED lighting? https://luminusdevices.zendesk.com/hc/en-us/articles/4403685063437-What-do-CCT-CIE-and-SPD-mean-in-LED-lighting-

Lam, W. M. C. (1986). *Sunlighting As Formgiver for Architecture* (1st ed.). Van Nostrand Reinhold.

LUMITECH & KITEO. (2019). *Guide to melanopic lighting design - and more* (Vol. 1). KITEO GmbH & Co.KG.

Mclntyre, I. M., Norman, T. R., Burrows, G. D., & Armstrong, S. M. (1989). Human melatonin suppression by light is intensity dependent. *Journal of pineal research*, *6*(2), 149-156.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Park, B.-C., Chang, J.-H., Kim, Y.-S., Jeong, J.-W., & Choi, A.-S. (2010). A Study on the Subjective Response for Corrected Colour Temperature Conditions in a Specific Space. *Indoor and Built Environment*, *19*(6), 623-637. https://doi.org/10.1177/1420326X10383472

Paul Littlefair & Cosmin Ticleanu. (2019). *Lighting for circadian rhythm* (Vol. 19). The BRE Trust.

Safranek, S., Collier, J. M., Wilkerson, A., & Davis, R. G. (2020). Energy impact of human health and wellness lighting recommendations for office and classroom applications. *Energy and Buildings*, *226*, 110365. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110365

Samaan, M. M., Farag, O., & Khalil, M. (2016). Using simulation tools for optimizing cooling loads and daylighting levels in Egyptian campus buildings. *HBRC Journal*, *14*(1), 79-92. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2016.01.001

The Net Zero Energy Buildings (NZEB). (n.d.). *Daylighting*. https://nzebnew.pivotaldesign.biz/knowledge-centre/passive-design/daylighting/

U.S. Department of Energy. (2022). *EnergyPlus version 22.1.0 doucument*. U.S. Department of Energy (DOE).

USGBC. (2009). *LEED 2009 for New Constrction and Major Renovation Rating System*. U.S. Green Building Council.

USGBC. (2020). *Leed v4 BD+C guilde: Building Design and Construction*. Retrieved 18 June 2022 from https://www.usgbc.org/leed/v41#0

van Bommel, W., & Beld, G. J. (2004). Lighting for work: A review of visual and biological effects. *Lighting Research & Technology - LIGHTING RES TECHNOL*, *36*, 255-269. https://doi.org/10.1191/1365782804li122oa

Zeng, Y., Sun, H., & Lin, B. (2021). Optimized lighting energy consumption for non-visual effects: A case study in office spaces based on field test and simulation. *Building and Environment*, *205*, 108238. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108238

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รายละเอียดอาคารสำนักงานที่ทำการสำรวจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดอาคารสำนักงานที่ทำการสำรวจ ทั้งหมด 25 อาคาร

name	year	location	GFA floor plate (sq.m.)	floor-ceiling (m)	cooling system	no. of storey	core to window depth max (m)	façade	lighting	certification
Park Venture	2012	Ploenchit	1,900-2,000	2.90	Central Chiller with VAV	34	15.21	Laminated and Insulated three air filled layer Glass with Low E Coating	T5 fluorescence tubes with 500 lux at desk level Remote sensor to control lighting level	LEED Platinum
Sathorn Square	2012	Sathorn	2,000	2.95	Central Chiller Water with VAV	40	13.30	Curtain Wall with Low-E solar tinted heat strengthened laminated glass	T5 fluorescent lamps in office area Lighting avg 500 lux (desk level)	LEED Gold
AIA Capital Center	2014	Ratchadapisek	1,800-2,000	3.00	Central Chiller	34	14.30	Insulated Laminated Low-E หนา 3 ชั้น	T-5 'eco-lighting'	LEED Gold
Bhiraj Tower @Emquatire	2014	Sukhumvit	1,500-1,900	2.85	Central Chiller Water with VAV	45	n/a	n/a	n/a	n/a
Metropolis Building	2015	Sukhumvit	1,000	3.30	Central Chilled Water System	21	n/a	n/a	n/a	n/a
T-one	2016	Sukhumvit	1,073-1,662	3.00	Central Chiller Water with VAV	34	14.00	curtain walls of blue and gold color glass	n/a	n/a
FYI Center	2016	Rama 4	2,000-4000	2.90	Central chilled water system	12	13.95	Insulated wall Low-E Glass	T5 light bulbs Daylight sensors to automatically decrease electrical light usage when daylight is sufficient	LEED Gold
G Tower	2016	Rama 9	1,380-1,452	3.00	Central Chilled Water System	36	13.00	Double glazing, laminated Coated Glass	LED lighting system Average luminance 500 LUX	LEED Gold
Gaysorn Tower	2017	Ratchadamri	1,200-1,700	2.95	Central Chiller Water	30	14.50	n/a	n/a	LEED Gold
Ari Hills	2017	Phayathai	1,050	2.90	Central Chiller with VAV	35	10.85	n/a	All LED lighting for power saving	n/a
PEARL Bangkok	2017	Phayathai	1,041	3.50	Central Chilled Water with VAV	24	n/a	Low-E Glass	n/a	LEED Gold
SC Tower	2017	Phayathai	820	2.80	Central chilled water with VAV	24	18.00	Special three-layer glass wall panels	Energy-efficient LED light	n/a
Singha Complex	2018	Petchburi Road	1,300-2,200	3.20	Central Chiller Water with VAV	42	16.00	Low-E Glass	n/a	LEED Gold
MS SIAM Tower	2018	Rama 3	1,200-1,300	2.80	Central Chiller	38	16.00	High quality tempered low-E glass	LED	LEED Gold
Samyan Mitrtown	2019	Rama 4	1,800-2,000	3.00	Central Chiller Water with VAV	41	15.00	n/a	Fluorescent T8 LED 2x14 Watts Average luminance level of 500 lux for office area	LEED Gold
Spring Tower	2020	Phayathai	1,779	3.00	Central Chiller Water with VAV	27	16.00	Low-E Glass	LED lighting and maximized natural light	LEED Gold
The PARQ	2020	Ratchadapisek and Rama 4	2,500-5,200	3.00	Central Chiller with VAV	17	13.00	Insulated Low-E glass facade	LED lighting integrated with daylight sensors	LEED Gold WELL Gold
TIPCO Tower II	2020	Rama 6	1,069	3.00	Central Chilled Water VRV	20	n/a	n/a	Lighting Control System, Motion Sensor for Common Area	n/a
Sathorn Prime	2020	Sathorn	1,700	2.70	Central Chilled Water System	20	18.00	n/a	n/a	n/a
66 Tower	2021	Sukhumvit - Bangna	1,200	3.00	Central Chilled Water	28	15.00	n/a	n/a	LEED
O-Nes Tower	2021	Sukhumvit	1,768 -2,016	3.00	VRV multi air conditioning with sensor control	29	20.20	Low-E coating & argon gas glazing RC Core Wall & Steel Framing	LED lights (with sensor control) Standard Illuminance 500 lx	LEED / WELL
One City Center(OCC)	2022	Ploenchit	1,370	3.00	Central Chilled Water VRV	61	n/a	3-meter high curtain wall with full height glazing	n/a	LEED GOLD Fitwel
Pier111	2022	Ratchadamri	1,750-1,850	3.00	Central Chiller Water with VAV	32	16.50	n/a	n/a	WELL v2
AIA East Gateway	2022	Bangna	1,800-2,200	3.00	Central Chiller Water with VAV	33		n/a	n/a	n/a
Park Silom	2023	Silom	2,000	3.00	Central Chilled Water VRV	39	14.50	n/a	n/a	LEED Gold WELL Gold
	average		**1,690**	**2.99**	**Central Chiller Water with VAV**	**32**	**15.12**			

ภาคผนวก ข

รายละเอียดปัจจัยควบคุมของตัวแปรในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 ค่าดัชนีการเกิดแสงบาดตา (Discomfort Glare Index) สูงสุดที่กำหนดในแต่ละพื้นที่ใช้งาน (U.S. Department of Energy, 2022)

ประเภทกิจกรรมหรือพื้นที่ใช้งาน	Maximum Allowable DGI
Art Galleries	16
Factories: Rough work	28
Factories: Engine assembly	26
Factories: Fine assembly	24
Factories: Instrument assembly	22
Hospital wards	18
Laboratories	22
Museums	20
Offices	22
School classrooms	20

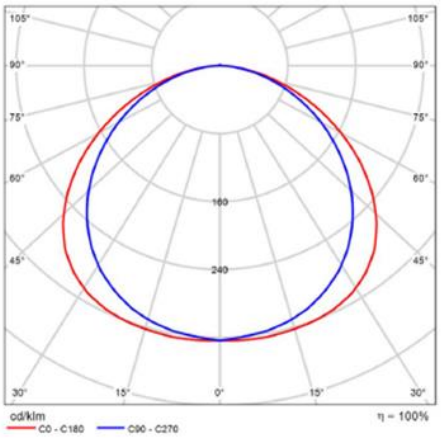
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ ข.1 รายละเอียดดวงโคมอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 4000K

Article No.	ERD16718
P	31.0 W
Φ_{Lamp}	4010 lm
$\Phi_{Luminaire}$	4010 lm
η	100.00 %
Luminous efficacy	129.4 lm/W
CCT	4000 K
CRI	80

Ultra shallow bodied recessed luminaires suitable for lay-in to most suspended ceiling types. Designed to exclude dust, dirt and flies.

Applications: offices, schools, retail.



Polar LDC

Glare evaluation according to UGR

ρ Ceiling		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Walls		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Floor		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Room size X	Y	Viewing direction at right angles to lamp axis					Viewing direction parallel to lamp axis				
2H	2H	16.7	16.1	17.1	16.4	16.6	16.2	17.6	16.5	17.8	16.1
	3H	18.1	19.3	18.4	19.6	19.9	17.6	18.8	17.9	19.1	19.4
	4H	18.5	19.7	18.9	20.0	20.3	18.1	19.3	18.5	19.6	19.9
	6H	18.8	19.9	19.2	20.2	20.5	18.5	19.6	18.8	19.9	20.2
	8H	18.9	19.9	19.2	20.2	20.6	18.6	19.6	19.0	20.0	20.3
	12H	18.9	19.9	19.3	20.2	20.6	18.6	19.7	19.0	20.0	20.3
4H	2H	17.3	18.4	17.6	18.7	19.0	16.8	18.0	17.2	18.3	18.6
	3H	18.8	19.8	19.1	20.1	20.4	18.4	19.4	18.8	19.7	20.1
	4H	19.3	20.2	19.7	20.6	21.0	19.0	19.9	19.4	20.3	20.6
	6H	19.7	20.5	20.2	20.9	21.3	19.5	20.3	19.9	20.6	21.1
	8H	19.8	20.6	20.3	21.0	21.4	19.6	20.4	20.1	20.8	21.2
	12H	19.9	20.6	20.3	21.0	21.4	19.7	20.4	20.2	20.8	21.2
8H	4H	19.5	20.3	20.0	20.7	21.1	19.2	20.0	19.7	20.4	20.8
	6H	20.0	20.6	20.5	21.1	21.5	19.8	20.4	20.3	20.8	21.3
	8H	20.2	20.7	20.7	21.2	21.7	20.0	20.5	20.5	21.0	21.5
	12H	20.3	20.7	20.8	21.2	21.7	20.2	20.6	20.7	21.1	21.6
12H	4H	19.5	20.2	20.0	20.6	21.1	19.2	19.9	19.7	20.3	20.8
	6H	20.1	20.6	20.5	21.0	21.5	19.8	20.4	20.3	20.8	21.3
	8H	20.2	20.7	20.7	21.2	21.7	20.1	20.5	20.8	21.0	21.5
Variation of the observer position for the luminaire distances S											
S = 1.0H S = 1.5H S = 2.0H		+0.1 / -0.1 +0.3 / -0.4 +0.6 / -0.8					+0.1 / -0.1 +0.2 / -0.4 +0.5 / -0.7				
Standard table		BK03					BK03				
Correction Summand		3.0					2.7				
Corrected glare indices referring to 4010lm Total luminous flux											

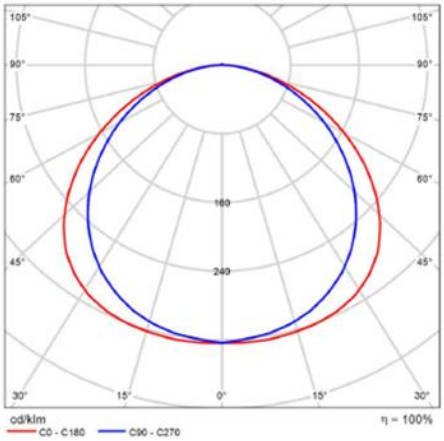
UGR diagram (SHR: 0.25)

ภาพที่ ข.2 รายละเอียดดวงโคมอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (CCT) 6500K

Article No.	ERD16718
P	31.0 W
Φ_{Lamp}	4010 lm
$\Phi_{Luminaire}$	4010 lm
η	100.00 %
Luminous efficacy	129.4 lm/W
CCT	6500 K
CRI	98

Ultra shallow bodied recessed luminaires suitable for lay-in to most suspended ceiling types. Designed to exclude dust, dirt and flies.

Applications: offices, schools, retail.



Polar LDC

Glare evaluation according to UGR

ρ Ceiling		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Walls		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Floor		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Room size X	Y	Viewing direction at right angles to lamp axis					Viewing direction parallel to lamp axis				
2H	2H	16.7	18.1	17.1	18.4	18.6	16.2	17.6	16.5	17.8	18.1
	3H	18.1	19.3	18.4	19.6	19.9	17.6	18.8	17.9	19.1	19.4
	4H	18.5	19.7	18.9	20.0	20.3	18.1	19.3	18.5	19.6	19.9
	6H	18.8	19.9	19.2	20.2	20.5	18.5	19.6	18.8	19.9	20.2
	8H	18.9	19.9	19.2	20.2	20.6	18.6	19.6	19.0	20.0	20.3
	12H	18.9	19.9	19.3	20.2	20.6	18.6	19.7	19.0	20.0	20.3
4H	2H	17.3	18.4	17.6	18.7	19.0	16.8	18.0	17.2	18.3	18.6
	3H	18.8	19.8	19.1	20.1	20.4	18.4	19.4	18.8	19.7	20.1
	4H	19.3	20.2	19.7	20.6	21.0	19.0	19.9	19.4	20.3	20.6
	6H	19.7	20.5	20.2	20.9	21.3	19.5	20.3	19.9	20.6	21.1
	8H	19.8	20.6	20.3	21.0	21.4	19.6	20.4	20.1	20.8	21.2
	12H	19.9	20.6	20.3	21.0	21.4	19.7	20.4	20.2	20.8	21.2
8H	4H	19.5	20.3	20.0	20.7	21.1	19.2	20.0	19.7	20.4	20.8
	6H	20.0	20.6	20.5	21.1	21.5	19.8	20.4	20.3	20.8	21.3
	8H	20.2	20.7	20.7	21.2	21.7	20.0	20.5	20.5	21.0	21.5
	12H	20.3	20.7	20.8	21.2	21.7	20.2	20.6	20.7	21.1	21.6
12H	4H	19.5	20.2	20.0	20.6	21.1	19.2	19.9	19.7	20.3	20.8
	6H	20.1	20.6	20.5	21.0	21.5	19.8	20.4	20.3	20.8	21.3
	8H	20.2	20.7	20.7	21.2	21.7	20.1	20.5	20.6	21.0	21.5
Variation of the observer position for the luminaire distances S											
S = 1.0H		+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1				
S = 1.5H		+0.3 / -0.4					+0.2 / -0.4				
S = 2.0H		+0.6 / -0.8					+0.5 / -0.7				
Standard table		BK05					BK05				
Correction Summand		3.0					2.7				
Corrected glare indices referring to 4010lm Total luminous flux											

UGR diagram (SHR: 0.25)

ภาคผนวก ค

ร้อยละพื้นที่ที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารแต่ละกรณี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 ร้อยละพื้นที่ที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารแต่ละกรณี

กรณีศึกษา		Floor Area (m2)	sDA Area in Range (m2)	sDA Area in Range (%)	**>= 55% = 2 pt >= 75% = 3 pt**
แกนบริการกลาง	R1.3_DblLoEClr_wwr40	1656	756.398	45.682	ไม่ผ่าน
	R1.3_DblLoETint_wwr40	1656	554.619	33.496	ไม่ผ่าน
	R1.3_TrpLoEClrwwr40	1656	622.351	37.586	ไม่ผ่าน
	R1.3_DblLoEClr_wwr60	1656	1051.688	63.516	2
	R1.3_DblLoETint_wwr60	1656	804.158	48.566	ไม่ผ่าน
	R1.3_TrpLoEClr_wwr60	1656	889.548	53.723	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoEClr_wwr40	1648	826.378	50.138	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoETint_wwr40	1648	598.935	36.338	ไม่ผ่าน
	R1.7_TrpLoEClr_wwr40	1648	675.622	40.991	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoEClr_wwr60	1648	1191.636	72.298	2
	R1.7_DblLoETint_wwr60	1648	876.359	53.170	ไม่ผ่าน
	R1.7_TrpLoEClr_wwr60	1648	974.846	59.145	2
	L_DblLoEClr_wwr40	1645	976.828	59.364	2
	L_DblLoETint_wwr40	1645	710.239	43.163	ไม่ผ่าน
	L_TrpLoEClr_wwr40	1645	799.762	48.603	ไม่ผ่าน
	L_DblLoEClr_wwr60	1645	1361.136	82.719	3
	L_DblLoETint_wwr60	1645	1057.283	64.253	2
	L_TrpLoEClr_wwr60	1645	1181.137	71.780	2
	O_DblLoEClr_wwr40	1617	699.519	43.267	ไม่ผ่าน
	O_DblLoETint_wwr40	1617	492.208	30.444	ไม่ผ่าน
	O_TrpLoEClr_wwr40	1617	563.658	34.864	ไม่ผ่าน
	O_DblLoEClr_wwr60	1617	971.548	60.092	2
	O_DblLoETint_wwr60	1617	724.842	44.833	ไม่ผ่าน
	O_TrpLoEClr_wwr60	1617	812.283	50.242	ไม่ผ่าน

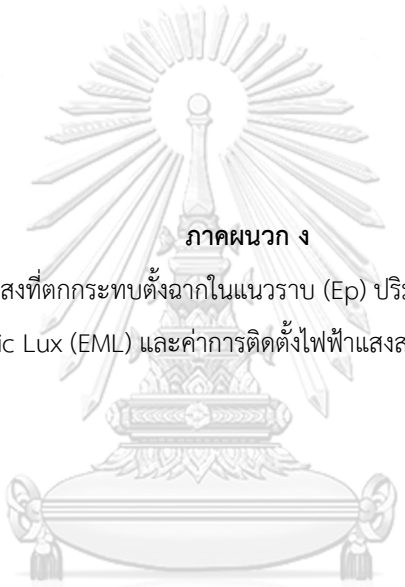
ตารางที่ ค.1 ร้อยละพื้นที่ที่ได้รับปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารแต่ละกรณี (ต่อ)

กรณีศึกษา		Floor Area (m2)	sDA Area in Range (m2)	sDA Area in Range (%)	**>= 55% = 2 pt >= 75% = 3 pt**
แกนบริการริม	R1.3_DblLoEClr_wwr40	1663	756.694	45.495	ไม่ผ่าน
	R1.3_DblLoETint_wwr40	1663	544.159	32.716	ไม่ผ่าน
	R1.3_TrpLoEClr_wwr40	1663	615.427	37.001	ไม่ผ่าน
	R1.3_DblLoEClr_wwr60	1663	1011.745	60.829	2
	R1.3_DblLoETint_wwr60	1663	773.824	46.525	ไม่ผ่าน
	R1.3_TrpLoEClr_wwr60	1663	858.241	51.600	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoEClr_wwr40	1647	761.775	46.259	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoETint_wwr40	1647	542.456	32.941	ไม่ผ่าน
	R1.7_TrpLoEClr_wwr40	1647	614.61	37.322	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoEClr_wwr60	1647	1051.421	63.847	2
	R1.7_DblLoETint_wwr60	1647	791.856	48.085	ไม่ผ่าน
	R1.7_TrpLoEClr_wwr60	1647	882.704	53.602	ไม่ผ่าน
แกนบริการริม 2 ด้าน	R1.7_DblLoEClr_wwr40	1652	725.082	43.899	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoETint_wwr40	1652	522.365	31.626	ไม่ผ่าน
	R1.7_TrpLoEClr_wwr40	1652	585.978	35.477	ไม่ผ่าน
	R1.7_DblLoEClr_wwr60	1652	1012.773	61.317	2
	R1.7_DblLoETint_wwr60	1652	770.763	46.665	ไม่ผ่าน
	R1.7_TrpLoEClr_wwr60	1652	855.539	51.797	ไม่ผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารแต่ละกรณี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง.1 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน

LED 1200x300 28W **4000K**	**สำหรับทำ 2 คะแนน**												
			EML (min)	luminaires (pcs.)	Perpendicular Illuminance average (lux)	Ev 90° (lux) face north	Ev 180° (lux) face east	Ev 270° (lux) face south	Ev 360° (lux) face west	Vertical Illuminance average (lux)	melanopic ratio LED 4000K	EML	LPD (w/sqm)
Basecase				152	305.17	152.50	147.33	152.50	147.50	149.96	0.76	114	2.85
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	120	168	336.50	172.50	162.67	164.83	163.50	165.88	0.76	126	3.14
		daylight ไม่ผ่าน	150	208	409.00	207.67	199.67	205.83	199.50	203.17	0.76	154	3.89
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	160	323.75	163.50	160.50	163.50	160.25	161.94	0.76	123	3.01
		daylight ไม่ผ่าน	150	200	403.25	206.50	200.00	206.25	200.00	203.19	0.76	154	3.76
	รูปทรงตัว L	daylight ผ่าน	120	171	327.29	160.29	158.43	160.86	158.43	159.50	0.76	121	3.22
		daylight ไม่ผ่าน	150	212	405.57	199.71	197.14	200.57	197.00	198.61	0.76	151	4.00
	รูปทรงตัว O	daylight ผ่าน	120	168	339.75	167.25	167.13	167.25	167.13	167.19	0.76	127	3.22
		daylight ไม่ผ่าน	150	208	416.63	205.13	205.50	205.50	205.38	205.38	0.76	156	3.99
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	120	156	317.00	162.00	157.00	163.00	157.00	159.75	0.76	121	2.91
		daylight ไม่ผ่าน	150	198	397.00	202.25	196.00	202.50	196.00	199.19	0.76	151	3.69
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	156	322.00	164.00	160.50	164.00	160.50	162.25	0.76	123	2.94
		daylight ไม่ผ่าน	150	198	400.50	203.75	199.50	204.00	199.50	201.69	0.76	153	3.73
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	168	342.00	171.75	170.50	172.00	170.50	171.19	0.76	130	3.15
		daylight ไม่ผ่าน	150	196	397.00	199.50	198.00	199.50	198.25	198.81	0.76	151	3.68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง.2 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน

LED 1200x300 28W**4000K**	**สำหรับทำ 4 คะแนน**												
			EML (min)	luminaires (pcs.)	Perpendicular Illuminance average (lux)	Ev 90° (lux) face north	Ev 180° (lux) face east	Ev 270° (lux) face south	Ev 360° (lux) face west	Vertical Illuminance average (lux)	melanopic ratio LED 4000K	EML	LPD (w/sqm)
Basecase				152	305.17	152.5	147.33	152.5	147.5	149.96	0.76	114	2.85
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	180	260	509.50	257.00	249.17	256.83	248.67	252.92	0.76	192	4.87
		daylight ไม่ผ่าน	275	384	751.17	382.83	366.00	382.50	366.00	374.33	0.76	284	7.19
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	250	501.75	260.50	248.75	260.50	248.50	254.56	0.76	193	4.70
		daylight ไม่ผ่าน	275	372	741.50	377.00	367.00	377.00	366.75	371.94	0.76	283	7.00
	รูปทรงตัว L	daylight ผ่าน	180	273	524.00	257.29	255.71	258.71	253.86	256.39	0.76	195	5.14
		daylight ไม่ผ่าน	275	398	753.00	375.00	365.71	375.29	366.00	370.50	0.76	282	7.50
	รูปทรงตัว O	daylight ผ่าน	180	256	512.63	252.50	252.38	252.50	252.38	252.44	0.76	192	4.91
		daylight ไม่ผ่าน	275	368	734.88	361.25	361.50	361.25	361.25	361.31	0.76	275	7.06
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	180	256	515.75	263.50	255.50	261.00	255.25	258.81	0.76	197	4.77
		daylight ไม่ผ่าน	275	360	725.50	374.50	358.75	375.00	358.75	366.75	0.76	279	6.71
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	256	521.50	266.00	260.25	266.00	260.50	263.19	0.76	200	4.82
		daylight ไม่ผ่าน	275	360	733.00	372.75	365.00	373.00	365.00	368.94	0.76	280	6.78
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	248	500.25	251.75	250.50	251.75	250.50	251.13	0.76	191	4.65
		daylight ไม่ผ่าน	275	372	746.00	374.75	372.25	375.00	372.25	373.56	0.76	284	6.98

Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.3 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน โดยใช้จำนวนดวงโคมเท่ากันกับ กรณี CCT 4000K ทำ 2 คะแนน

LED 1200x300 28W **6500K**	**สำหรับทำ 2 คะแนน**												
			EML (min)	luminaires (pcs.)	Perpendicular Illuminance average (lux)	Ev 90° (lux) face north	Ev 180° (lux) face east	Ev 270° (lux) face south	Ev 360° (lux) face west	Vertical Illuminance average (lux)	melanopic ratio LED 6500K	EML	LPD (w/sqm)
Basecase				152	305.17	152.50	147.33	152.50	147.50	149.96	1.10	165	2.85
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	120	168	336.50	172.50	162.67	164.83	163.50	165.88	1.10	182	3.14
		daylight ไม่ผ่าน	150	208	409.00	207.67	199.67	205.83	199.50	203.17	1.10	223	3.89
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	160	323.75	163.50	160.50	163.50	160.25	161.94	1.10	178	3.01
		daylight ไม่ผ่าน	150	200	403.25	206.50	200.00	206.25	200.00	203.19	1.10	224	3.76
	รูปทรงตัว L	daylight ผ่าน	120	171	327.29	160.29	158.43	160.86	158.43	159.50	1.10	175	3.22
		daylight ไม่ผ่าน	150	212	405.57	199.71	197.14	200.57	197.00	198.61	1.10	218	4.00
	รูปทรงตัว O	daylight ผ่าน	120	168	339.75	167.25	167.13	167.25	167.13	167.19	1.10	184	3.22
		daylight ไม่ผ่าน	150	208	416.63	205.13	205.50	205.50	205.38	205.38	1.10	226	3.99
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	120	156	317.00	162.00	157.00	163.00	157.00	159.75	1.10	176	2.91
		daylight ไม่ผ่าน	150	198	397.00	202.25	196.00	202.50	196.00	199.19	1.10	219	3.69
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	156	322.00	164.00	160.50	164.00	160.50	162.25	1.10	178	2.94
		daylight ไม่ผ่าน	150	198	400.50	203.75	199.50	204.00	199.50	201.69	1.10	222	3.73
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	168	342.00	171.75	170.50	172.00	170.50	171.19	1.10	188	3.15
		daylight ไม่ผ่าน	150	196	397.00	199.50	198.00	199.50	198.25	198.81	1.10	219	3.68

CHULALONGKORN UNIVERSITY จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.4 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน โดยใช้จำนวนดวงโคมเท่ากันกับ กรณี CCT 4000K ทำ 4 คะแนน

LED 1200x300 28W **6500K**	**สำหรับทำ 4 คะแนน**												
			EML (min)	luminaires (pcs.)	Perpendicular Illuminance average (lux)	Ev 90° (lux) face north	Ev 180° (lux) face east	Ev 270° (lux) face south	Ev 360° (lux) face west	Vertical Illuminance average (lux)	melanopic ratio LED 6500K	EML	LPD (w/sqm)
Basecase				152	305.17	152.50	147.33	152.50	147.50	149.96	1.10	165	2.85
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	180	260	509.50	257.00	249.17	256.83	248.67	252.92	1.10	278	4.87
		daylight ไม่ผ่าน	275	384	751.17	382.83	366.00	382.50	366.00	374.33	1.10	412	7.19
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	250	501.75	260.50	248.75	260.50	248.50	254.56	1.10	280	4.70
		daylight ไม่ผ่าน	275	372	741.50	377.00	367.00	377.00	366.75	371.94	1.10	409	7.00
	รูปทรงตัว L	daylight ผ่าน	180	273	524.00	257.29	255.71	258.71	253.86	256.39	1.10	282	5.14
		daylight ไม่ผ่าน	275	398	753.00	375.00	365.71	375.29	366.00	370.50	1.10	408	7.50
	รูปทรงตัว O	daylight ผ่าน	180	256	512.63	252.50	252.38	252.50	252.38	252.44	1.10	278	4.91
		daylight ไม่ผ่าน	275	368	734.88	361.25	361.50	361.25	361.25	361.31	1.10	397	7.06
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	180	256	515.75	263.50	255.50	261.00	255.25	258.81	1.10	285	4.77
		daylight ไม่ผ่าน	275	360	725.50	374.50	358.75	375.00	358.75	366.75	1.10	403	6.71
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	256	521.50	266.00	260.25	266.00	260.50	263.19	1.10	290	4.82
		daylight ไม่ผ่าน	275	360	733.00	372.75	365.00	373.00	365.00	368.94	1.10	406	6.78
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	248	500.25	251.75	250.50	251.75	250.50	251.13	1.10	276	4.65
		daylight ไม่ผ่าน	275	372	746.00	374.75	372.25	375.00	372.25	373.56	1.10	411	6.98

CHULALONGKORN UNIVERSITY จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.5 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน โดยลงจำนวนดวงโคม

LED 1200x300 28W **6500K**	**สำหรับทำ 2 คะแนน**												
			EML (min)	luminaires (pcs.)	Perpendicular Illuminance average (lux)	Ev 90° (lux) face north	Ev 180° (lux) face east	Ev 270° (lux) face south	Ev 360° (lux) face west	Vertical Illuminance average (lux)	melanopic ratio LED 6500K	EML	LPD (w/sqm)
Basecase				152	305.17	152.5	147.33	152.5	147.5	149.96	0.76	114	2.85
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	120	152	303.50	152.33	147.50	152.33	147.67	149.96	1.10	165	2.85
		daylight ไม่ผ่าน	150	152	303.50	152.33	147.50	152.33	147.67	149.96	1.10	165	2.85
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	152	308.00	155.25	152.25	155.25	152.25	153.75	1.10	169	2.86
		daylight ไม่ผ่าน	150	152	308.00	155.25	152.25	155.25	152.25	153.75	1.10	169	2.86
	รูปทรงตัว L	daylight ผ่าน	120	160	309.14	151.71	149.57	151.86	149.71	150.71	1.10	166	3.02
		daylight ไม่ผ่าน	150	160	309.14	151.71	149.57	151.86	149.71	150.71	1.10	166	3.02
	รูปทรงตัว O	daylight ผ่าน	120	152	307.63	151.13	151.25	151.25	151.13	151.19	1.10	166	2.91
		daylight ไม่ผ่าน	150	152	307.63	151.13	151.25	151.25	151.13	151.19	1.10	166	2.91
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	120	154	311.50	158.50	153.75	158.75	153.75	156.19	1.10	172	2.87
		daylight ไม่ผ่าน	150	154	311.50	158.50	153.75	158.75	153.75	156.19	1.10	172	2.87
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	156	322.00	164.00	160.50	164.00	160.50	162.25	1.10	178	2.94
		daylight ไม่ผ่าน	150	156	322.00	164.00	160.50	164.00	160.50	162.25	1.10	178	2.94
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	120	152	308.00	155.5	154.00	155.50	154.00	154.75	1.10	170	2.85
		daylight ไม่ผ่าน	150	152	308.00	155.50	154.00	155.50	154.00	154.75	1.10	170	2.85

CHULALONGKORN UNIVERSITY จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.6 ปริมาณความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบตั้งฉากในแนวราบ (Ep) ปริมาณความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ค่า Equivalent Melanopic Lux (EML) และค่าการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) ของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน โดยลงจำนวนดวงโคม

LED 1200x300 28W **6500K**	**สำหรับทำ 4 คะแนน**												
			EML (min)	luminaires (pcs.)	Perpendicular Illuminance average (lux)	Ev 90° (lux) face north	Ev 180° (lux) face east	Ev 270° (lux) face south	Ev 360° (lux) face west	Vertical Illuminance average (lux)	melanopic ratio LED 6500K	EML	LPD (w/sqm)
Basecase				152	305.17	152.5	147.33	152.5	147.5	149.96	0.76	114	2.85
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	180	168	336.50	172.50	162.67	164.83	163.50	165.88	1.10	182	3.14
		daylight ไม่ผ่าน	275	260	511.33	257.50	249.00	257.50	249.33	253.33	1.10	279	4.87
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	168	339.75	174.00	168.00	174.00	168.00	171.00	1.10	188	3.16
		daylight ไม่ผ่าน	275	250	501.75	260.50	248.50	260.50	248.50	254.50	1.10	280	4.70
	รูปทรงตัว L	daylight ผ่าน	180	177	335.71	164.29	162.86	164.86	162.71	163.68	1.10	180	3.34
		daylight ไม่ผ่าน	275	270	516.14	253.86	251.71	254.29	250.00	252.46	1.10	278	5.09
	รูปทรงตัว O	daylight ผ่าน	180	168	339.75	167.25	167.13	167.25	167.13	167.19	1.10	184	3.22
		daylight ไม่ผ่าน	275	256	512.63	252.50	252.38	252.50	252.38	252.44	1.10	278	4.91
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	daylight ผ่าน	180	166	344.50	176.00	170.00	175.75	170.00	172.94	1.10	190	3.09
		daylight ไม่ผ่าน	275	256	515.75	263.50	255.50	263.50	255.50	259.50	1.10	285	4.77
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	168	341.25	174.00	170.50	174.00	170.50	172.25	1.10	189	3.16
		daylight ไม่ผ่าน	275	250	511.25	260.25	255.25	260.25	255.25	257.75	1.10	284	4.71
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	daylight ผ่าน	180	168	342.00	171.75	170.50	172.00	170.50	171.19	1.10	188	3.15
		daylight ไม่ผ่าน	275	248	500.25	251.75	250.50	251.75	250.50	251.13	1.10	276	4.65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ จ.1 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน

กรณีศึกษา				sDA	EML	LPD (W/m2)	Net Conditioned Building Area (m2)	Total Energy (kWh)	Energy Per Total Building Area (kWh/m2)	District cooling (kWh)	District cooling (kWh/m2)	Interior lighting (kWh)	Interior lighting (kWh/m2)
basecase building				ไม่ผ่าน	114	2.91	49673.86	7193471.09	116.96	4192789.34	84.41	129956.48	2.62
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	154	3.89	49673.86	7240409.51	117.73	4195962.77	84.47	173721.90	3.50
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	154	3.89	49673.86	7304053.97	118.76	4173702.07	84.02	259625.02	5.23
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	154	3.89	49673.86	7256747.40	117.99	4166138.29	83.87	219890.76	4.43
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	126	3.14	49673.86	7229280.39	117.55	4244164.78	85.44	114372.51	2.30
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	154	3.89	49673.86	7255031.50	117.96	4214266.97	84.84	170024.73	3.42
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	154	3.89	49673.86	7228523.63	117.53	4200822.39	84.57	156970.90	3.16
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	154	3.76	49446.64	6890115.52	111.94	3859322.05	78.05	157703.83	3.19
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	154	3.76	49446.64	6924483.85	112.50	3821216.56	77.28	230126.72	4.65
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	154	3.76	49446.64	6871165.77	111.63	3802399.26	76.90	195664.99	3.96
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	123	3.01	49446.64	6944606.49	112.83	3966333.55	80.21	105214.17	2.13
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	154	3.76	49446.64	6937017.52	112.70	3908826.22	79.05	155071.82	3.14
			TrpLoEClr	ผ่าน	123	3.01	49446.64	6875950.32	111.71	3888205.39	78.63	114672.84	2.32
	รูปทรงตัว L	WWR40	DblLoEClr	ผ่าน	121	3.22	49364.72	7112990.10	116.47	4100724.58	83.07	161697.68	3.28
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	151	4.00	49364.72	7184645.60	117.64	4080718.88	82.66	253357.41	5.13
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	151	4.00	49364.72	7150588.26	117.09	4072134.15	82.49	227888.21	4.62
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	121	3.22	49364.72	7148739.94	117.06	4162583.54	84.32	135585.33	2.75
			DblLoETint	ผ่าน	121	3.22	49364.72	7136086.12	116.85	4126425.43	83.59	159086.76	3.22
			TrpLoEClr	ผ่าน	121	3.22	49364.72	7116780.62	116.53	4116543.25	83.39	149669.66	3.03

ตารางที่ จ.1 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน (ต่อ)

	รูปทรงตัว O	WWR40	DbllLoECIr	ไม่ผ่าน	156	3.99	48502.70	7033452.80	116.15	3994643.31	82.36	212228.93	4.38
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	156	3.99	48502.70	7127189.32	117.69	3979992.73	82.06	320615.38	6.61
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	156	3.99	48502.70	7077002.18	116.87	3970719.39	81.87	279702.29	5.77
		WWR60	DbllLoECIr	ผ่าน	127	3.22	48502.70	6993571.81	115.49	4042656.77	83.35	124334.03	2.56
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	156	3.99	48502.70	7046760.86	116.37	4012804.94	82.73	207373.53	4.28
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	156	3.99	48502.70	7008496.43	115.73	4002817.58	82.53	179098.5	3.69
เกณฑ์ความริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DbllLoECIr	ไม่ผ่าน	151	3.69	49897.80	7178273.79	116.32	4092463.84	82.02	205368.61	4.12
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	151	3.69	49897.80	7272723.82	117.85	4078712.97	81.74	313567.07	6.28
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	151	3.69	49897.80	7220554.84	117.01	4070602.86	81.58	269510.5	5.40
		WWR60	DbllLoECIr	ผ่าน	121	2.91	49897.80	7131850.15	115.57	4135357.45	82.88	116050.34	2.33
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	151	3.69	49897.80	7193808.50	116.57	4110111.54	82.37	203251.56	4.07
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	151	3.69	49897.80	7153508.05	115.92	4100648.33	82.18	172418.47	3.46
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DbllLoECIr	ไม่ผ่าน	153	3.73	49403.22	7129880.01	115.59	4051410.67	82.01	199323.02	4.03
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	153	3.73	49403.22	7228340.99	117.19	4038414.54	81.74	310777.68	6.29
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	153	3.73	49403.22	7173895.16	116.30	4029533.29	81.56	265215.40	5.37
		WWR60	DbllLoECIr	ผ่าน	123	2.94	49403.22	7087545.20	114.90	4094312.45	82.88	114085.26	2.31
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	153	3.73	49403.22	7144826.36	115.83	4069239.16	82.37	196436.63	3.98
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	153	3.73	49403.22	7106556.13	115.21	4060068.00	82.18	167341.91	3.39
เกณฑ์ความริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DbllLoECIr	ไม่ผ่าน	151	3.68	49551.08	7132520.57	115.98	4070061.90	82.14	191934.55	3.87
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	151	3.68	49551.08	7226605.09	117.51	4055784.54	81.85	300294.80	6.06
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	151	3.68	49551.08	7172332.45	116.63	4047830.22	81.69	253977.94	5.13
		WWR60	DbllLoECIr	ผ่าน	130	3.15	49551.08	7110670.46	115.62	4116153.99	83.07	123991.63	2.50
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	151	3.68	49551.08	7149129.26	116.25	4087692.66	82.49	190909.34	3.85
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	151	3.68	49551.08	7115118.41	115.70	4078696.90	82.31	165897.44	3.35

ตารางที่ จ.2 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน

กรณีศึกษา				sDA	EML	LPD (W/m2)	Net Conditioned Building Area (m2)	Total Energy (kWh)	Energy Per Total Building Area (kWh/m2)	District cooling (kWh)	District cooling (kWh/m2)	Interior lighting (kWh)	Interior lighting (kWh/m2)
basecase building				ไม่ผ่าน	114	2.91	49673.86	7193471.09	116.96	4192789.34	84.41	129956.48	2.62
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	284	7.19	49673.86	7399089.17	120.31	4207270.54	84.70	321095.23	6.46
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	284	7.19	49673.86	7540361.52	122.60	4189763.76	84.35	479872.46	9.66
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	284	7.19	49673.86	7449252.75	121.12	4176074.76	84.07	402460.10	8.10
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	192	4.87	49673.86	7296484.24	118.64	4248355.33	85.52	177386.67	3.57
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	284	7.19	49673.86	7409178.28	120.47	4224178.43	85.04	314261.65	6.33
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	284	7.19	49673.86	7370663.60	119.84	4209800.98	84.75	290133.88	5.84
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	283	7.00	49446.64	7048448.95	114.51	3881786.15	78.50	293597.55	5.94
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	283	7.00	49446.64	7157124.88	116.28	3855600.85	77.97	428427.40	8.66
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	283	7.00	49446.64	7070185.42	114.87	3832846.01	77.51	364269.93	7.37
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	193	4.70	49446.64	7012361.83	113.93	3975020.86	80.39	164287.90	3.32
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	283	7.00	49446.64	7091340.35	115.21	3929549.83	79.47	288697.54	5.84
			TrpLoEClr	ผ่าน	193	4.70	49446.64	6951020.34	112.93	3898898.46	78.85	179057.25	3.62
	รูปทรงตัว L	WWR40	DblLoEClr	ผ่าน	282	5.14	49364.72	7215759.55	118.15	4107078.43	83.20	258113.69	5.23
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	195	7.50	49364.72	7420654.54	121.51	4095041.21	82.95	475045.15	9.62
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	195	7.50	49364.72	7363218.58	120.57	4085363.02	82.76	427290.40	8.66
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	282	5.14	49364.72	7234366.50	118.46	4167364.55	84.42	216431.24	4.38
			DblLoETint	ผ่าน	282	5.14	49364.72	7236894.92	118.50	4132375.59	83.71	253945.94	5.14
			TrpLoEClr	ผ่าน	282	5.14	49364.72	7212070.32	118.09	4122589.31	83.51	238913.68	4.84

ตารางที่ จ.2 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 4000K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน (ต่อ)

	รูปทรงตัว O	WWR40	DblLoECIr	ไม่ผ่าน	275	7.06	48502.70	7207599.57	119.02	4005496.76	82.58	375522.86	7.74
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	275	7.06	48502.70	7390301.76	122.04	3996417.20	82.40	567304.41	11.70
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	275	7.06	48502.70	7306649.83	120.66	3985158.34	82.16	494911.82	10.20
		WWR60	DblLoECIr	ผ่าน	192	4.91	48502.70	7063253.75	116.64	4047082.96	83.44	189590.09	3.91
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	275	7.06	48502.70	7216698.37	119.17	4023185.30	82.95	366931.62	7.57
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	275	7.06	48502.70	7155624.87	118.16	4012143.91	82.72	316901.10	6.53
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DblLoECIr	ไม่ผ่าน	279	6.71	49897.80	7357089.49	119.22	4103201.46	82.23	373448.07	7.48
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	279	6.71	49897.80	7545993.10	122.28	4095352.60	82.07	570199.20	11.43
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	279	6.71	49897.80	7454788.16	120.80	4084262.95	81.85	490085.49	9.82
		WWR60	DblLoECIr	ผ่าน	197	4.77	49897.80	7210844.87	116.85	4140176.33	82.97	190226.85	3.81
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	279	6.71	49897.80	7370522.51	119.44	4120480.54	82.58	369598.36	7.41
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	279	6.71	49897.80	7303870.98	118.36	4109900.32	82.37	313530.60	6.28
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoECIr	ไม่ผ่าน	280	6.78	49403.22	7303377.58	118.40	4061924.21	82.22	362308.34	7.33
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	280	6.78	49403.22	7498923.62	121.57	4054878.55	82.08	564898.84	11.43
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	280	6.78	49403.22	7404966.55	120.05	4043741.30	81.85	482080.55	9.76
		WWR60	DblLoECIr	ผ่าน	200	4.82	49403.22	7165069.78	116.16	4098885.20	82.97	187037.74	3.79
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	280	6.78	49403.22	7315492.02	118.60	4079281.37	82.57	357061.75	7.23
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	280	6.78	49403.22	7252439.13	117.58	4069117.58	82.37	304176.44	6.16
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoECIr	ไม่ผ่าน	284	6.98	49551.08	7307328.18	118.82	4080500.68	82.35	356304.03	7.19
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	284	6.98	49551.08	7501043.13	121.97	4073056.70	82.20	557462.16	11.25
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	284	6.98	49551.08	7404018.47	120.39	4062014.85	81.98	471480.32	9.52
		WWR60	DblLoECIr	ผ่าน	191	4.65	49551.08	7169275.33	116.58	4119694.55	83.14	179056.24	3.61
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	284	6.98	49551.08	7323090.22	119.08	4098163.28	82.71	354400.86	7.15
			TrpLoECIr	ไม่ผ่าน	284	6.98	49551.08	7266410.41	118.16	4087917.75	82.50	307969.18	6.22

ตารางที่ จ.3 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน

กรณีศึกษา				sDA	EML	LPD (W/m2)	Net Conditioned Building Area (m2)	Total Energy (kWh)	Energy Per Total Building Area (kWh/m2)	District cooling (kWh)	District cooling (kWh/m2)	Interior lighting (kWh)	Interior lighting (kWh/m2)
basecase building				ไม่ผ่าน	114	2.91	49673.86	7193471.09	116.96	4192789.34	84.41	129956.48	2.62
แกนบริการกลาง	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	165	2.85	49673.86	7190609.24	116.92	4192606.98	84.40	127276.97	2.56
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	165	2.85	49673.86	7229757.24	117.55	4168816.12	83.92	190213.70	3.83
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	165	2.85	49673.86	7196189.62	117.01	4163117.34	83.81	162353.76	3.27
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	165	2.85	49673.86	7217959.52	117.36	4243406.83	85.43	103809.45	2.09
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	165	2.85	49673.86	7209335.44	117.22	4212582.29	84.80	126012.80	2.54
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	165	2.85	49673.86	7183422.32	116.80	4197687.13	84.50	115004.39	2.32
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	169	2.86	49446.64	6845853.52	111.22	3852801.36	77.92	119955.57	2.43
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	169	2.86	49446.64	6859347.10	111.44	3811146.98	77.08	175043.20	3.54
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	169	2.86	49446.64	6815735.31	110.73	3793792.98	76.72	148830.29	3.01
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	169	2.86	49446.64	6938599.27	112.73	3965568.97	80.20	99970.93	2.02
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	169	2.86	49446.64	6893862.40	112.00	3902780.96	78.93	117953.57	2.39
			TrpLoEClr	ผ่าน	169	2.86	49446.64	6869287.71	111.60	3887256.67	78.62	108958.24	2.20
	รูปทรงตัว L	WWR40	DblLoEClr	ผ่าน	166	3.02	49364.72	7102276.89	116.30	4100054.67	83.06	151654.35	3.07
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	166	3.02	49364.72	7118526.41	116.56	4076671.88	82.58	191284.85	3.87
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	166	3.02	49364.72	7091314.95	116.12	4068693.23	82.42	172055.60	3.49
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	166	3.02	49364.72	7139826.97	116.91	4162091.98	84.31	127163.88	2.58
			DblLoETint	ผ่าน	166	3.02	49364.72	7125560.50	116.68	4125780.91	83.58	149205.59	3.02
			TrpLoEClr	ผ่าน	166	3.02	49364.72	7106894.75	116.37	4115953.59	83.38	140373.41	2.84

ตารางที่ จ.3 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 2 คะแนน (ต่อ)

	รูปทรงตัว O	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	166	2.91	48502.70	6972160.84	115.13	3990796.50	82.28	154783.50	3.19
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	166	2.91	48502.70	7034623.83	116.17	3974209.85	81.94	233832.27	4.82
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	166	2.91	48502.70	6996249.76	115.53	3965675.49	81.76	203993.40	4.21
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	166	2.91	48502.70	6980784.56	115.28	4041839.50	83.33	112363.98	2.32
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	166	2.91	48502.70	6987130.64	115.38	4009305.51	82.66	151242.35	3.12
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	166	2.91	48502.70	6956839.02	114.88	3999637.77	82.46	130620.71	2.69
แกนบริการริม	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	172	2.87	49897.80	7129508.42	115.53	4089335.51	81.95	159731.14	3.20
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	172	2.87	49897.80	7197907.44	116.64	4073577.21	81.64	243885.50	4.89
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	172	2.87	49897.80	7156043.42	115.96	4065982.02	81.49	209619.28	4.20
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	172	2.87	49897.80	7130156.90	115.54	4135259.38	82.87	114455.15	2.29
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	172	2.87	49897.80	7145737.24	115.79	4107206.80	82.31	158084.54	3.17
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	172	2.87	49897.80	7112728.43	115.26	4098183.57	82.13	134103.25	2.69
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	178	2.94	49403.22	7084802.22	114.86	4048548.37	81.95	157107.15	3.18
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	178	2.94	49403.22	7157902.61	116.04	4033796.83	81.65	244956.13	4.96
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	178	2.94	49403.22	7114165.16	115.33	4025974.35	81.49	209043.78	4.23
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	178	2.94	49403.22	7087545.20	114.90	4094312.45	82.88	114085.26	2.31
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	178	2.94	49403.22	7100677.48	115.12	4066694.38	82.32	154832.09	3.13
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	178	2.94	49403.22	7068770.37	114.60	4057724.29	82.13	131899.52	2.67
แกนบริการริม 2 ด้าน	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	170	2.85	49551.08	7082845.42	115.17	4066838.75	82.07	145482.30	2.94
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	170	2.85	49551.08	7149320.89	116.25	4051177.61	81.76	227617.07	4.59
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	170	2.85	49551.08	7106625.11	115.56	4043590.62	81.60	192509.87	3.89
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	170	2.85	49551.08	7095548.07	115.38	4115279.01	83.05	109744.15	2.21
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	170	2.85	49551.08	7099907.70	115.45	4084674.86	82.43	144705.22	2.92
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	170	2.85	49551.08	7072254.23	115.00	4075983.24	82.26	125746.73	2.54

ตารางที่ จ.4 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน

กรณีศึกษา				sDA	EML	LPD (W/m2)	Net Conditioned Building Area (m2)	Total Energy (kWh)	Energy Per Total Building Area (kWh/m2)	District cooling (kWh)	District cooling (kWh/m2)	Interior lighting (kWh)	Interior lighting (kWh/m2)
basecase building				ไม่ผ่าน	114	2.91	49673.86	7193471.09	116.96	4192789.34	84.41	129956.48	2.62
เกษตรศาสตร์	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	279	4.87	49673.86	7287403.15	118.49	4199191.38	84.54	217487.31	4.38
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	279	4.87	49673.86	7374472.27	119.91	4178714.04	84.12	325031.83	6.54
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	279	4.87	49673.86	7313683.25	118.92	4168856.72	83.92	274108.32	5.52
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	182	3.14	49673.86	7229083.63	117.54	4244041.35	85.44	114299.18	2.30
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	279	4.87	49673.86	7300645.16	118.71	4217047.09	84.89	212858.72	4.29
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	279	4.87	49673.86	7270473.73	118.22	4203227.60	84.62	196516.27	3.96
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DblLoEClr	ไม่ผ่าน	280	4.70	49446.64	6935979.92	112.69	3865768.03	78.18	197129.78	3.99
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	280	4.70	49446.64	6992047.60	113.60	3831262.96	77.48	287658.40	5.82
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	280	4.70	49446.64	6928936.71	112.57	3811264.53	77.08	244581.24	4.95
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	188	3.16	49446.64	6950573.32	112.92	3967057.67	80.23	110457.40	2.23
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	280	4.70	49446.64	6982065.34	113.43	3915115.07	79.18	193839.78	3.92
			TrpLoEClr	ผ่าน	188	3.16	49446.64	6882659.95	111.82	3889201.14	78.65	120387.43	2.43
	รูปทรงตัว L	WWR40	DblLoEClr	ผ่าน	180	3.34	49364.72	7119425.93	116.58	4101134.45	83.08	167723.68	3.40
			DblLoETint	ไม่ผ่าน	278	5.09	49364.72	7258336.53	118.85	4085370.28	82.76	322397.31	6.53
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	278	5.09	49364.72	7216881.46	118.17	4076328.07	82.58	289987.75	5.87
		WWR60	DblLoEClr	ผ่าน	180	3.34	49364.72	7154083.80	117.14	4162874.56	84.33	140638.20	2.85
			DblLoETint	ผ่าน	180	3.34	49364.72	7142446.53	116.95	4126857.17	83.60	165015.46	3.34
			TrpLoEClr	ผ่าน	180	3.34	49364.72	7122801.62	116.63	4116986.52	83.40	155247.41	3.14

ตารางที่ จ.4 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณี CCT 6500K ผ่านเกณฑ์ Circadian Lighting 4 คะแนน (ต่อ)

	รูปทรงตัว O	WWR40	DbllLoEClr	ไม่ผ่าน	278	4.91	48502.70	7085495.10	117.01	3997750.83	82.42	261163.92	5.38
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	278	4.91	48502.70	7206204.13	119.00	3985081.57	82.16	394541.74	8.13
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	278	4.91	48502.70	7145865.39	118.00	3975090.12	81.96	344195.05	7.10
		WWR60	DbllLoEClr	ผ่าน	184	3.22	48502.70	7063253.75	116.64	4047082.96	83.44	189590.09	3.91
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	278	4.91	48502.70	7097705.16	117.21	4015934.10	82.80	255188.99	5.26
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	278	4.91	48502.70	7052564.92	116.46	4005590.33	82.58	220394.39	4.54
เกณฑ์ปริมาณ	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.3	WWR40	DbllLoEClr	ไม่ผ่าน	285	4.77	49897.80	7242220.73	117.36	4096303.42	82.09	265476.49	5.32
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	285	4.77	49897.80	7370214.66	119.43	4084429.04	81.86	405342.80	8.12
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	285	4.77	49897.80	7304193.20	118.36	4075360.78	81.67	348391.62	6.98
		WWR60	DbllLoEClr	ผ่าน	190	3.09	49897.80	7139469.95	115.69	4135798.95	82.89	123228.72	2.47
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	285	4.77	49897.80	7257072.86	117.60	4113888.29	82.45	262739.82	5.27
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	285	4.77	49897.80	7207164.46	116.79	4103841.26	82.24	222882.41	4.47
	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DbllLoEClr	ไม่ผ่าน	284	4.71	49403.22	7185784.23	116.50	4054946.29	82.08	251692.07	5.09
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	284	4.71	49403.22	7315528.59	118.60	4043951.05	81.86	392429.72	7.94
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	284	4.71	49403.22	7248374.22	117.51	4034331.67	81.66	334896.66	6.78
		WWR60	DbllLoEClr	ผ่าน	189	3.16	49403.22	7096655.03	115.05	4094885.36	82.89	122622.25	2.48
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	284	4.71	49403.22	7199457.55	116.72	4072260.21	82.43	248047.32	5.02
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	284	4.71	49403.22	7153400.44	115.97	4062946.20	82.24	211308.41	4.28
เกณฑ์ปริมาณ 2 กระเบื้องเกณฑ์	รูปทรงสี่เหลี่ยม 1:1.7	WWR40	DbllLoEClr	ไม่ผ่าน	276	4.65	49551.08	7180879.47	116.77	4072989.69	82.20	237365.86	4.79
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	276	4.65	49551.08	7302484.19	118.74	4060583.66	81.95	371375.22	7.49
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	276	4.65	49551.08	7235963.11	117.66	4051344.06	81.76	314095.06	6.34
		WWR60	DbllLoEClr	ผ่าน	188	3.15	49551.08	7107805.51	115.58	4115984.49	83.07	121296.16	2.45
			DbllLoETint	ไม่ผ่าน	276	4.65	49551.08	7197114.82	117.03	4090489.92	82.55	236097.99	4.76
			TrpLoEClr	ไม่ผ่าน	276	4.65	49551.08	7157027.02	116.38	4081337.42	82.37	205165.72	4.14

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วริยาภรณ์ กิตติวังชัย
วัน เดือน ปี เกิด	23 ธันวาคม 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 - 2563 : ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (สถ.บ.) เกียรตินิยมอันดับ 2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2553 - 2558 : ระดับมัธยม โรงเรียนสตรีวิทยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	128 ซอยตากสิน37 ถนนตากสิน แขวงบุคคโล เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University