การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพสำหรับการออกแบบอาคารสำนักงานขั้นต้น

น.ส.เจนจิรา เรืองทรัพย์เอนก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of Building Information Modeling (BIM) to Calculate the Circadian Lighting for Office Spaces at Schematic Design Stage

Miss Janejira Ruangsupanek

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	การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพสำหรับการออกแบบอาคารสำนักงานขั้นต้น
โดย	น.ส.เจนจิรา เรืองทรัพย์เอนก
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

เจนจิรา เรืองทรัพย์เอนก : การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพสำหรับการออกแบบอาคารสำนักงานขั้นต้น . (Development of Building Information Modeling (BIM) to Calculate the Circadian Lighting for Office Spaces at Schematic Design Stage) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

แสงธรรมชาติ (Daylight) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อวงจรการหลับ-ตื่น (Circadian rhythm) หากมีการใช้ร่วมกับแสงประดิษฐ์ (Artificial light) ในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้ใช้งานมีคุณภาพความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ เพื่อพัฒนาเครื่องมือแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ช่วยคำนวณให้ผู้ออกแบบ โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit (Revit) ร่วมกับการใช้เครื่องมือเสริม Autodesk Dynamo Studio (Dynamo)

วิจัยเริ่มต้นโดยการหาค่า Melanopic Ratio: MR ของแสงธรรมชาติให้เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย สำหรับการคำนวณหาค่า Equivalent Melanopic Lux: EML และศึกษาการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อกำหนดข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการพัฒนาเครื่องมือเสริม และได้ทดลองใช้เครื่องมือที่พัฒนามาทำการเปรียบเทียบผลกับการคำนวณผ่านโปรแกรมอื่น โดยพบว่าเครื่องมือที่พัฒนาสามารถช่วยคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) สำหรับให้ได้ค่า EML ที่ต้องการทั้งแสงสว่างจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ได้ เพื่อให้สถาปนิกผู้ออกแบบเปลือกอาคารโปร่งใสร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อส่งเสริมให้เกิดสุขภาวะที่ดีต่อวงจรการหลับ-ตื่นของร่างกายมนุษย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

6470010425 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: Building Information Modeling, Biological clock, Circadian lighting, Daylight, Office building

Daylight is an important factor affecting the body's sleep-wake cycles (Circadian rhythm). When combined with artificial light in an appropriate ratio, it improves the quality of the indoor environment and the well-being of employees. The objective of the research was to study the method of calculating the amount of light that affects the biological clock, to develop a Building Information Modeling (BIM) tool to facilitate the calculation for designers by using Autodesk Revit (Revit) and an add-on tool: Dynamo Studio (Dynamo).

The tool development process consists of 3 steps: Determining the melanopic ratio (MR) of natural light in Thailand to get the equivalent melanopic lux: EML value, studying the working process of BIM, to set the important fundamental data for developing the tools, and comparing the results of the developed tools with those of other programs. The results show that the developed tools can help in calculating the vertical illuminance (Ev) to achieve the desired EML value under both natural and artificial lighting. Thus, architects can design transparent building envelopes with the efficient use of artificial lighting in office buildings to improve the quality of the circadian rhythm of the human body.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความรุณา คำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งและความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและเป็นพระคุณอย่างยิ่งสำหรับกำลังใจที่อาจารย์มอบให้ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่กรุณาสละเวลาและให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อภิพรรณ บริสุทธิ์ ดร.สริน พินิจ รองศาสตราจารย์กวีไกร ศรีหิรัญ และอาจารย์วีระพงศ์ เอี่ยวพานิช ที่ได้กรุณาให้แนวคิด ข้อแนะนำหลายประการ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจในการทำงาน ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และคอยสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ตลอดการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นสถานที่บ่มเพาะความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

เจนจิรา เรืองทรัพย์เอนก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 5

1.3 ขอบเขตในการวิจัย 5

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

1.6 นิยามศัพท์ 7

บทที่ 2 8

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 แสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต 9

2.1.1 การรับรู้แสงของมนุษย์ที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ 9

2.1.2 คุณสมบัติของแสงที่เกี่ยวข้องกับนาฬิกาชีวภาพ 10

2.1.3 เกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ 12

2.1.4 มาตรฐานการมองเห็นของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบสี 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ 16
2.1.5.1 โปรแกรม Microsoft Excel 16
2.1.5.2 โปรแกรม Adaptive Lighting for Alertness 19
2.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ 23
2.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร 27
2.2.1 หลักการและกระบวนการของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 27
2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือเสริม 29
2.2.2.1 User Interface ของ Dynamo 30
2.2.2.2 Node และ Connection 32
2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 36
2.3 สรุปแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง 37
บทที่ 3 38
ระเบียบวิธีวิจัย 38
3.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 38
3.2 หาแนวทางการประเมินแสงธรรมชาติที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ 39
3.2.1 ขั้นตอนในการหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ 40
3.2.2 การคิดพื้นที่ของแสงธรรมชาติ 44
3.3 ศึกษาการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อกำหนดข้อมูลที่ใช้ในเครื่องมือ 45
3.3.1 ขั้นตอนการหาค่าความส่องสว่างผ่านเครื่องมือเสริม Insight ใน Revit 45
3.3.2 ขั้นตอนการหาค่าความส่องสว่างผ่านเครื่องมือเสริม ElumTools ใน Revit 48
3.4. พัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 52
3.4.1 การพัฒนาเครื่องมือในแต่ละขั้นตอนให้สอดคล้องกับการทำงานที่วางแผนไว้ 54
3.4.1.1 การแสดงผลภาพรวมของอาคาร 54
3.4.1.2 การเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.1.3 การสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่ 56
3.4.1.4 การคำนวณหาค่า Ev ตามค่า EML ที่ต้องการ 57
3.4.1.5 การแสดงผล 58
3.4.2 การสร้าง Custom Node เพื่อใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ 59
3.4.2.1 Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร 60
3.4.2.2. Custom Node สำหรับเลือกห้อง (Room) 60
3.4.2.3 Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูป 61
3.4.2.4. Custom Node สำหรับสร้างจุดในการคำนวณ 61
3.4.2.5 Custom Node สำหรับสร้างตาราง (Grid) ในพื้นที่การคำนวณ 62
3.4.2.6. Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev 62
3.4.2.7 Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี 63
3.4.2 การสร้าง Package เพื่อใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ 65
3.4.3 การนำเครื่องมือที่พัฒนาไปใช้ 66
3.4.4 ปัญหาและข้อจำกัดของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น 67
3.5 ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือที่พัฒนา 68
3.5.1 การแสดงผล 69
3.6 สรุปผลการศึกษาและเสนอแนวทางเพื่อการพัฒนาเครื่องมือในอนาคต 70
บทที่ 4 71
ผลการวิจัย 71
4.1 ผลการคำนวณหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ 72
4.2 ผลการพัฒนาเครื่องมือเสริม 74
4.2.1 ไฟล์ Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (.xlsx) 74
4.2.2 ไฟล์ Dynamo Workspace (.dyn) 74
4.2.3 ไฟล์ Dynamo Custom Node (.dyf) 74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องและการนำเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้ 77
4.3.1 กรณีศึกษาที่ 1 80
4.3.2 กรณีศึกษาที่ 2 85
บทที่ 5 90
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 90
5.1 สรุปผลการวิจัย 90
5.1.1 เครื่องมือที่พัฒนา 90
5.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม 92
5.2 ข้อเสนอแนะ 93
5.2.1 การเสนอแนวทางในการใช้แสงธรรมชาติ เพื่อให้ได้ค่า EML ตามที่ต้องการ 93
5.2.2 การสาธิตโปรแกรมที่ได้จากการพัฒนากับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง 94
5.2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือที่พัฒนา 95
5.2.4 เพิ่มฐานข้อมูลสำหรับการคำนวณที่หลากหลายขึ้น 95
5.2.5 ปรับเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผล 95
บรรณานุกรม 96
ภาคผนวก 100
ภาคผนวก ก 101
The WELL Melanopic Ratio Excel Calculator 101
ภาคผนวก ข 102
การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ของแสงธรรมชาติ 102
ภาคผนวก ค 106
การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ของแสงธรรมชาติ 106
ประวัติผู้เขียน 114

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อกำหนดเกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพในแต่ละหน่วยงาน 13

ตารางที่ 2.2 ค่า MR ของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภทตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL 14

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ 24

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 36

ตารางที่ 4.1 ค่า MR ของแสงธรรมชาติ 73

ตารางที่ 4.2 เครื่องมือที่ได้จากการพัฒนา 76

ตารางที่ 4.3 สรุปผลของกรณีศึกษาที่ 1 82

ตารางที่ 4.4 การแสดงผลของกรณีศึกษาที่ 1 83

ตารางที่ 4.5 สรุปผลของกรณีศึกษาที่ 2 87

ตารางที่ 4.6 การแสดงผลของกรณีศึกษาที่ 2 88

ตารางที่ 5.1 ค่า MR ของแสงธรรมชาติในแต่ละช่วงเวลา และค่า Ev ขั้นต่ำที่ทำให้ได้ EML ที่ต้องการ 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้ในการคำนวณปัจจุบัน..... 2
ภาพที่ 1.2 เว็บไซต์ Lighting Research Center: LRC ที่ใช้ในการคำนวณปัจจุบัน..... 2
ภาพที่ 1.3 เครื่องมือ Adaptive Lighting for Alertness: ALFA ที่ใช้คำนวณในปัจจุบัน 3
ภาพที่ 1.4 อธิบายแนวคิดของ BIM 4
ภาพที่ 1.5 การนำ BIM ไปใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคาร 4
ภาพที่ 2.1 แสดงการตอบสนองต่อแสงของมนุษย์ 9
ภาพที่ 2.2 ปริมาณการรับฮอร์โมนในแต่ละช่วงเวลา 9
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของค่า CCT ในแต่ละช่วงเวลา..... 10
ภาพที่ 2.4 การแผ่รังสีสเปกตรัมของแสงแต่ละประเภท..... 10
ภาพที่ 2.5 สมการค่าความส่องสว่างในแนวราบ 11
ภาพที่ 2.6 สมการค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง..... 11
ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์ The Lighting Research Center: LRC 12
ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์ The International WELL Building Institute: IWBI..... 12
ภาพที่ 2.9 กราฟฟังก์ชั่นความไวแสง (Color-Matching Function)..... 15
ภาพที่ 2.10 CIE1931xy Chromaticity diagram..... 15
ภาพที่ 2.11 สมการ CIE 1931 xy 16
ภาพที่ 2.12 สมการในการหาค่า CCT..... 16
ภาพที่ 2.13 ลำดับขั้นตอนการแปลงค่า RGB เป็น ค่า CCT..... 16
ภาพที่ 2.14 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงการเลือกแหล่งกำเนิดแสง..... 17
ภาพที่ 2.15 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงการเพิ่มข้อมูลแหล่งกำเนิดแสง 17
ภาพที่ 2.16 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงค่า Visual curve และ Circadian curve 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 2.17 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงค่า Visual response, Circadian response และ MR 18
ภาพที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติแสงสู่ขั้นตอนการหาค่า EML 19
ภาพที่ 2.19 หน้าต่างโปรแกรม Rhinoceros 3D แสดงการดึงข้อมูลแบบจำลองอาคาร 19
ภาพที่ 2.20 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการเลือกสถานที่ตั้ง 20
ภาพที่ 2.21 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการค่าวัสดุต่าง ๆ 20
ภาพที่ 2.22 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการใส่ข้อมูลของแหล่งกำเนิดแสง 21
ภาพที่ 2.23 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการตั้งค่า Grid ในพื้นที่ 21
ภาพที่ 2.24 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการเริ่มต้นการประมวลผล 22
ภาพที่ 2.25 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงผลการประเมิน 22
ภาพที่ 2.26 การเข้าถึงโปรแกรม Dynamo จากโปรแกรม Revit 30
ภาพที่ 2.27 องค์ประกอบต่าง ๆ ในหน้าต่างของการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม Dynamo 30
ภาพที่ 2.28 องค์ประกอบต่าง ๆ ในหน้าต่างของโปรแกรม Dynamo 31
ภาพที่ 2.29 องค์ประกอบต่าง ๆ ภายใน Node 32
ภาพที่ 2.30 การแสดงข้อมูลต่าง ๆ ภายใน Node 33
ภาพที่ 2.31 รูปแบบการแสดงสถานการณ์ทำงานของ Node 34
ภาพที่ 2.32 การเชื่อมโยงของ Wires จาก Node หนึ่งไปยังอีก Node หนึ่ง 35
ภาพที่ 3.1 กรอบความคิดเรื่องการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ 39
ภาพที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ 40
ภาพที่ 3.3 โปรแกรมเสริม Honeybee และ Ladybug 40
ภาพที่ 3.4 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ X Y Z ของแต่ละช่วงเวลา 41
ภาพที่ 3.5 สูตรการคำนวณหาค่า x y z สู่การหาค่า CCT 41
ภาพที่ 3.6 การคำนวณหาค่า CCT โดยการใส่ค่า CIE 1931 xy ผ่านเว็บไซต์ 42
ภาพที่ 3.7 สูตรการหาค่า SPD 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.8 การคำนวณหาค่า SPD โดยการใส่ค่า CCT ผ่านเว็บไซต์ 42
ภาพที่ 3.9 การใส่ข้อมูลค่า SPD ในแต่ละช่วงเวลา 43
ภาพที่ 3.10 การแสดงผลของค่า MR ในแต่ละช่วงเวลา 43
ภาพที่ 3.11 การวัดระยะของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในพื้นที่ 44
ภาพที่ 3.12 เปรียบเทียบระยะของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในพื้นที่ตามแต่ละรูปแบบ 44
ภาพที่ 3.13 การเข้าถึง Plugin Insight จากโปรแกรม Revit 45
ภาพที่ 3.14 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงกำหนดที่ตั้งโครงการ 45
ภาพที่ 3.15 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการเริ่มต้นวิเคราะห์พลังงาน 46
ภาพที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการตั้งค่าในการเริ่มต้นวิเคราะห์พลังงาน 46
ภาพที่ 3.17 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการตั้งค่าการแสดงผลของการวิเคราะห์พลังงาน 47
ภาพที่ 3.18 การแสดงผลของการวิเคราะห์พลังงาน 47
ภาพที่ 3.19 ความส่องสว่างแต่ละทิศทาง 48
ภาพที่ 3.20 การเข้าถึงโปรแกรม ElumTools จากโปรแกรม Revit 48
ภาพที่ 3.21 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการเพิ่มจุด (Point) ในการคำนวณของ ElumTools .. 49
ภาพที่ 3.22 หน้าต่างโปรแกรม ElumTools แสดงการตั้งค่าจุด (Point) ในการคำนวณ 49
ภาพที่ 3.23 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการเริ่มต้นการคำนวณของ ElumTools 50
ภาพที่ 3.24 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการแสดงหรือซ่อนผลคำนวณของ ElumTools 50
ภาพที่ 3.25 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติแสงสู่ขั้นตอนการหาค่า EML 50
ภาพที่ 3.26 การแสดงผลคำนวณของ ElumTools ในมุมมอง (View) ของโปรแกรม Revit 51
ภาพที่ 3.27 แนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการคำนวณ 51
ภาพที่ 3.28 แนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการคำนวณ 52
ภาพที่ 3.29 Workspace ในการทำงานของโปรแกรม 52
ภาพที่ 3.30 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ 53
ภาพที่ 3.31 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการแสดงผลภาพรวมของอาคาร 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.32 Node ใช้ในการแสดงผลภาพรวมของอาคาร 54
ภาพที่ 3.33 การแสดงผลภาพรวมของอาคาร 54
ภาพที่ 3.34 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ 55
ภาพที่ 3.35 Node ที่ใช้ในการเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ 55
ภาพที่ 3.36 การแสดงผลของการเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ 55
ภาพที่ 3.37 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่ 56
ภาพที่ 3.38 Node ที่ใช้ในการสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่ 56
ภาพที่ 3.39 การแสดงผลของการสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่ 56
ภาพที่ 3.40 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Ev ตามค่า EML ที่ต้องการ 57
ภาพที่ 3.41 Node ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Ev ตามค่า EML ที่ต้องการ 57
ภาพที่ 3.42 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการแสดงผล 58
ภาพที่ 3.43 Node ที่ใช้ในการแสดงผล 58
ภาพที่ 3.44 การแสดงผลของเครื่องมือ 58
ภาพที่ 3.45 Custom Node ที่พัฒนาขึ้น 59
ภาพที่ 3.46 Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร 60
ภาพที่ 3.47 ภายใน Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร 60
ภาพที่ 3.48 Custom Node สำหรับเลือกห้อง (Room) 60
ภาพที่ 3.49 ภายใน Custom Node สำหรับเลือกห้อง (Room) 60
ภาพที่ 3.50 Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูป 61
ภาพที่ 3.51 ภายใน Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูป 61
ภาพที่ 3.52 Custom Node สำหรับสร้างจุดในการคำนวณ 61
ภาพที่ 3.53 ภายใน Custom Node สำหรับสร้างจุดในการคำนวณ 61
ภาพที่ 3.54 Custom Node สำหรับสร้าง Grid ในพื้นที่การคำนวณ 62
ภาพที่ 3.55 ภายใน Custom Node สำหรับสร้างกริดตารางในพื้นที่การคำนวณ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.56 Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev 62
ภาพที่ 3.57 ภายใน Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev สำหรับ 275 EML 63
ภาพที่ 3.58 ภายใน Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev สำหรับ 150 EML 63
ภาพที่ 3.59 Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี 63
ภาพที่ 3.60 ภายใน Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี 63
ภาพที่ 3.61 Node การตั้งค่าสีที่ใช้ใน Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี 64
ภาพที่ 3.62 การจัดเก็บ Custom Node ที่สร้างขึ้นมา 64
ภาพที่ 3.63 Package ที่มีชื่อว่า Circadian Lighting 65
ภาพที่ 3.64 แนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการคำนวณ 65
ภาพที่ 3.65 Root Directory ของ Package 66
ภาพที่ 3.66 การเพิ่ม Package ให้อยู่ใน Publish Locally 66
ภาพที่ 3.67 แนวทางการแบ่งพื้นที่สำหรับการคำนวณ 67
ภาพที่ 3.68 แนวทางการแบ่งพื้นที่สำหรับการคำนวณ 68
ภาพที่ 3.69 ตัวอย่างการแสดงผลที่ 1 69
ภาพที่ 3.70 ตัวอย่างการแสดงผลที่ 2 69
ภาพที่ 4.1 กราฟเส้นแสดงค่า MR ในเดือนมีนาคม และเดือนกันยายน เวลา 8:00 น. ถึง 18:00 น. 72
ภาพที่ 4.2 Node สำหรับข้อมูลค่า MR ของแสงธรรมชาติ 73
ภาพที่ 4.3 Custom Node ภายใน Workspace ในการทำงานของไฟล์ Sample_CircadianLigh 75
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างอาคารสำนักงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา 77
ภาพที่ 4.5 ผังพื้นอาคารสำนักงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา 78
ภาพที่ 4.6 รูปตัดแสดงระยะที่ได้รับแสงแดดเข้ามาในพื้นที่ใช้งานจากกรอบอาคาร 78
ภาพที่ 4.7 ผังการจัดวางดวงโคม 79
ภาพที่ 4.8 การกระจายของดวงโคม 79
ภาพที่ 4.9 ตำแหน่งพื้นที่กรณีศึกษาที่ 1 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.10 แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในพื้นที่กรณีศึกษาที่ 1 80
ภาพที่ 4.11 การแสดงผลผังพื้นของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 1..... 81
ภาพที่ 4.12 การแสดงผลมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 1..... 81
ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงความแตกต่างในการคำนวณแสงธรรมชาติร่วมด้วย..... 82
ภาพที่ 4.14 การแสดงผลผังพื้นของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 1..... 84
ภาพที่ 4.15 การแสดงผลมุมมองสามมิติของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 1 84
ภาพที่ 4.16 ตำแหน่งพื้นที่กรณีศึกษาที่ 2..... 85
ภาพที่ 4.17 แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในพื้นที่กรณีศึกษาที่ 2 85
ภาพที่ 4.18 การแสดงผลผังพื้นของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 2..... 86
ภาพที่ 4.19 การแสดงผลมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 2..... 86
ภาพที่ 4.20 แผนภูมิแสดงความแตกต่างในการคำนวณแสงธรรมชาติร่วมด้วย..... 87
ภาพที่ 4.21 การแสดงผลผังพื้นของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 2..... 89
ภาพที่ 4.22 การแสดงผลมุมมองสามมิติของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 2 89
ภาพที่ 5.1 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานรูปแบบเดิม..... 91
ภาพที่ 5.2 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น..... 91
ภาพที่ 5.3 การแสดงผลผังพื้น และมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 1 92
ภาพที่ 5.4 การแสดงผลผังพื้น และมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 2 92
ภาพที่ 5.5 วิธีการเผยแพร่ Package แบบออนไลน์..... 94
ภาพที่ 5.6 วิธีการเผยแพร่ Package แบบออนไลน์..... 94
ภาพที่ 5.7 สีที่แสดงผลในเครื่องมือที่พัฒนา..... 95
ภาพที่ 5.8 สีที่แสดงผลในโปรแกรม ElumTools..... 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

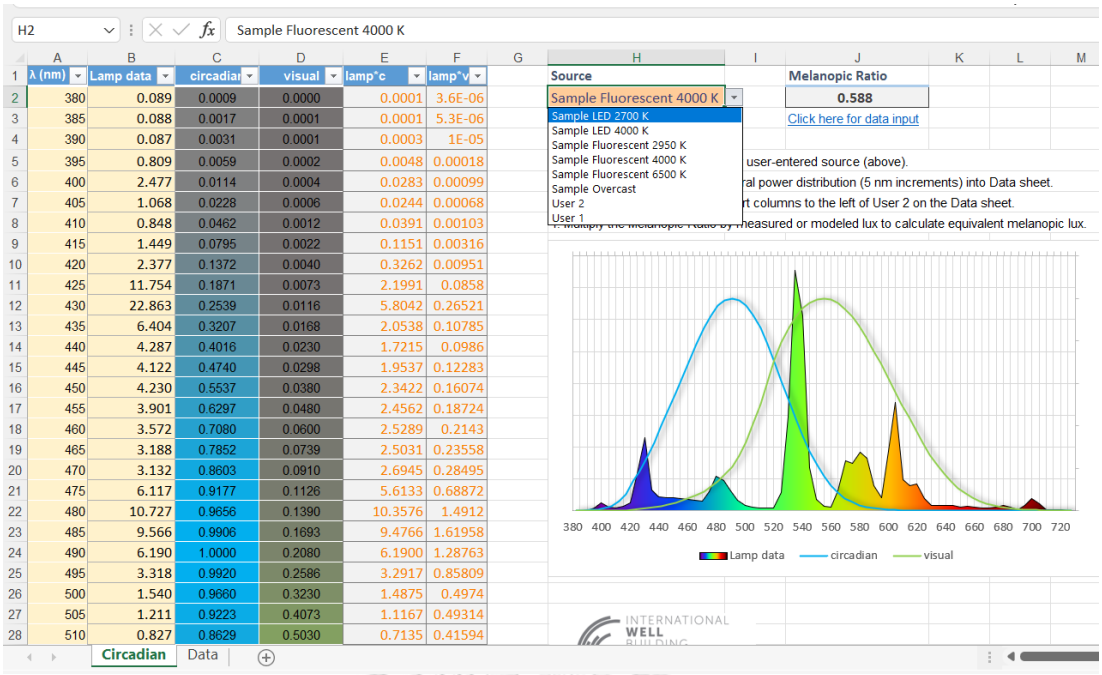
1.1 ที่มาและความสำคัญ

คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคารเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สภาวะน่าสบายนอกจากจะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ หรือสภาพอากาศที่มีความเหมาะสมแล้ว การได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัย ดังนั้นการออกแบบแสงธรรมชาติ (Daylight) ร่วมกับแสงประดิษฐ์ (Artificial lighting) ในปริมาณที่เหมาะสมเป็นหนึ่งแนวทางที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการทำงาน รวมถึงคุณภาพความเป็นอยู่และสร้างสุขภาวะที่ดี (Well-being) ให้แก่มนุษย์ได้ และยังสามารถทำให้นาฬิกาชีวภาพ (Biological clock) เป็นไปตามกลไกลวงจรการหลับ-ตื่น (Circadian rhythm) ตามปกติอีกด้วย

ปัจจุบันวงการอสังหาริมทรัพย์ในไทยเริ่มให้ความสำคัญเกี่ยวกับการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารและให้ความสนใจใน WELL Building Standard คือมาตรฐานทางสุขภาวะที่เริ่มต้นขึ้นในประเทศแคนาดา โดยภายหลังทางผู้จัดตั้งได้ร่วมมือกับกลุ่มผู้พัฒนามาตรฐาน Leadership in Energy and Environmental Design: LEED จากสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งสถาบัน International WELL Building Institute (IWBI) เป็นมาตรฐานที่ให้ความสำคัญกับการส่งเสริมคุณภาพการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคาร โดย WELL Building Standard มีรูปแบบการประเมินอาคารอย่างชัดเจน ภายใต้ Concepts แนวคิดที่สำคัญทั้งหมด 10 ข้อ อ้างอิงจาก WELL V2 standard ซึ่งหนึ่งในองค์ประกอบเบื้องต้นนั้นได้กล่าวถึงเรื่อง แสง (Light) ที่ส่งเสริมการเปิดรับแสง เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมของแสงที่ส่งเสริมสุขภาพทางสายตา จิตใจ และชีวภาพ ซึ่งแสงที่ดีต้องไม่ใช่แค่มีความสว่างในเชิงปริมาณ แต่ต้องคำนึงถึงคุณภาพและการมองเห็นด้วย นอกจากนี้ยังมีการให้คะแนนในหัวข้อ L03 Circadian Lighting Design ที่เกี่ยวข้องกับแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพอีกด้วย

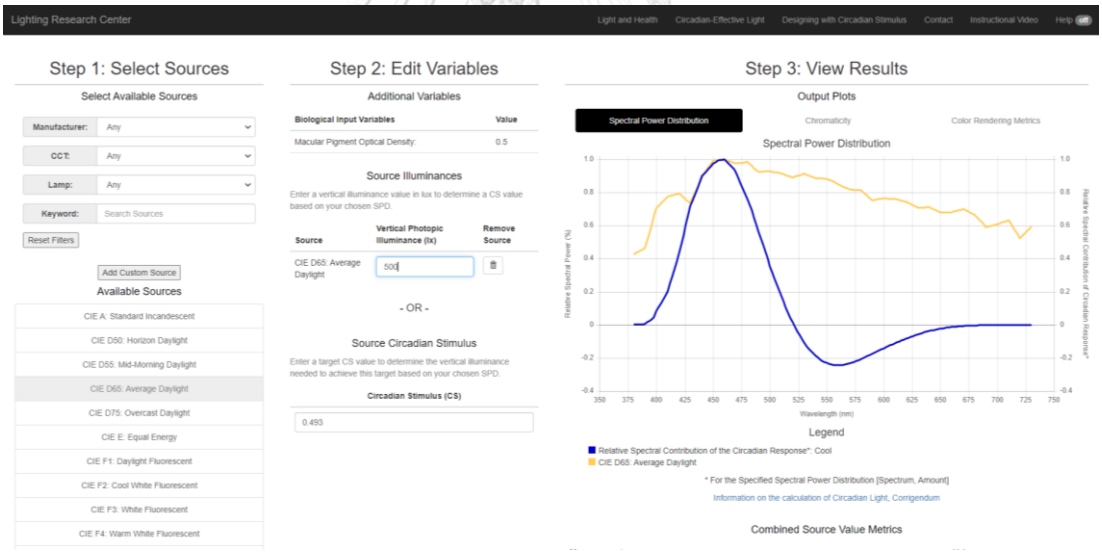
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณเพื่อประเมินหาค่าแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวภาพถือว่าเป็นเรื่องที่ซับซ้อน และจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับแสงรวมถึงมีความเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ของแสงที่สามารถส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยสถาปนิกในการคำนวณได้สะดวกมากขึ้น เช่น ทาง The International WELL Building Institute (IWBI) ได้มีการจัดเตรียมไฟล์สำหรับการคำนวณไว้ให้ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel และ Circadian Stimulus: CS calculator ที่สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเว็บไซต์พัฒนาโดย Lighting Research Center: LRC เป็นต้น โดยแต่ละเครื่องมือมีข้อจำกัดในการใช้งานแตกต่างกันออกไป ทั้งสองเครื่องมือที่กล่าวไปข้างต้นต้องอาศัยการป้อนข้อมูลโดยผู้ใช้งาน และหากมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจำเป็นต้องทำการใส่ข้อมูลใหม่อีกครั้งเพื่อผลลัพธ์ใหม่ที่ถูกต้อง



ภาพที่ 1.1 โปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้ในการคำนวณปัจจุบัน

ที่มา: https://standard.wellcertified.com/tables#melanopicRatio

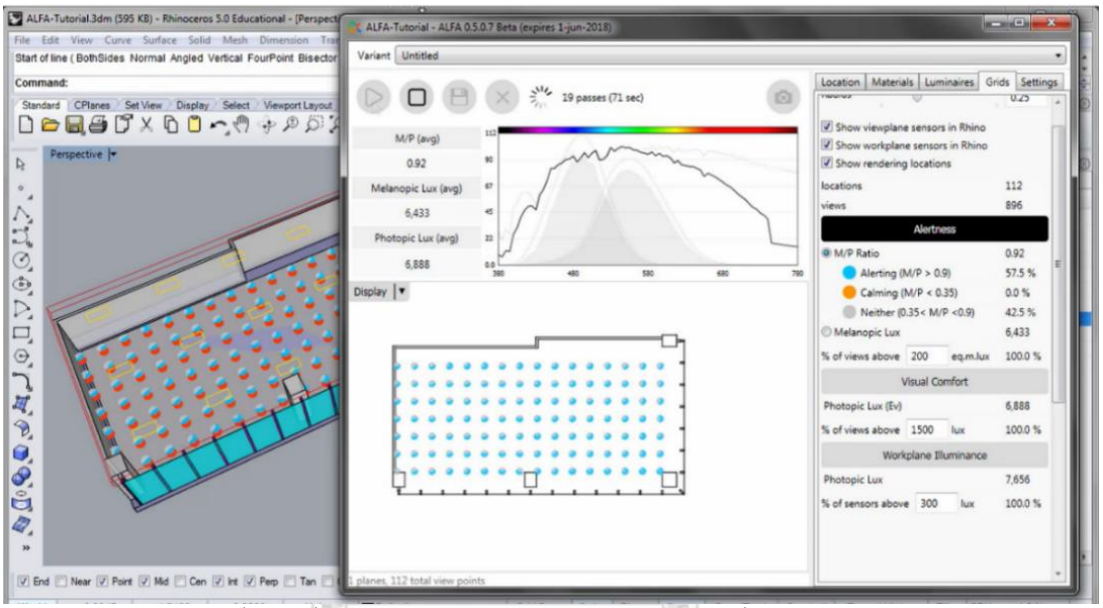


ภาพที่ 1.2 เว็บไซต์ Lighting Research Center: LRC ที่ใช้ในการคำนวณปัจจุบัน

ที่มา: https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/

ปัจจุบันมีเครื่องมือเสริมในการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพที่สามารถลดข้อกำจัดดังกล่าวได้ คือ โปรแกรม Adaptive Lighting for Alertness: ALFA ที่พัฒนาโดยบริษัท Solemma (Solemma, 2018) เป็นซอฟต์แวร์ใหม่ที่ช่วยให้สถาปนิก นักออกแบบแสงสว่างและผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพประเมินและออกแบบสภาพ เพื่อสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่ง ALFA เป็นปลั๊กอิน (Plugin) ที่อาศัยการทำงานผ่านโปรแกรม Rhinoceros 3D ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบ 3 มิติ สามารถใช้งานได้หลากหลาย แต่โปรแกรมเหล่านั้นยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยหากเทียบกับโปรแกรม Autodesk Revit ที่นิยมใช้ทั้งใน

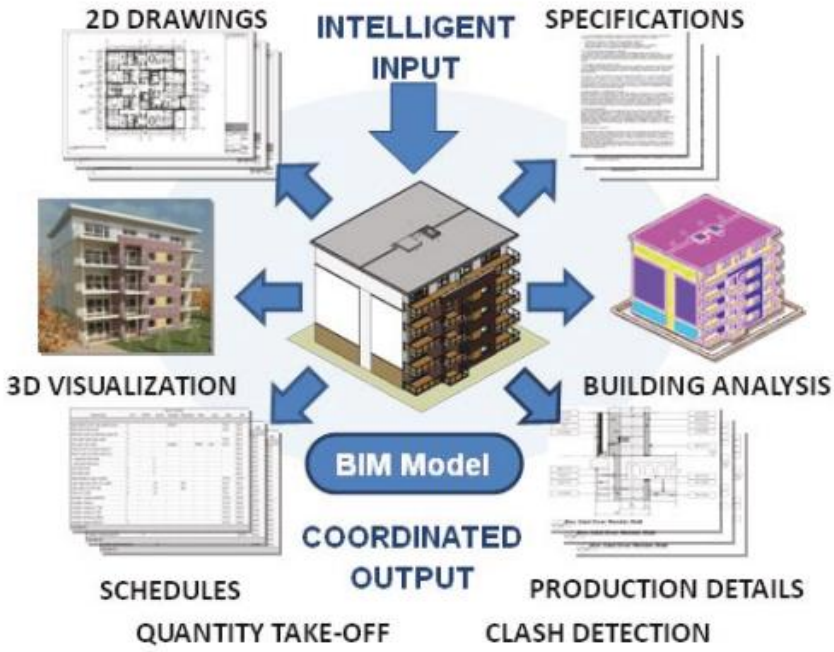
งานวิศวกรรม และงานสถาปัตยกรรม ซึ่งโปรแกรม Revit เป็นเครื่องมืออเนกประสงค์ สามารถจำลองการออกแบบได้อย่างแม่นยำเหมาะสำหรับความต้องการที่หลากหลาย และยังสามารถนำเครื่องมือเสริม Autodesk Dynamo Studio มาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มขีดจำกัดของตัวโปรแกรม Revit เอง ความสามารถของ Dynamo คือการเขียนสคริปต์ ซึ่งมีอินเตอร์เฟสการใช้งานที่สามารถเข้าใจได้ง่าย ทำให้ผู้ที่ไม่ได้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ก็สามารถใช้งานได้ ซึ่งการทำงานของโปรแกรม Revit เป็นการทำงานในรูปแบบของการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ซึ่งสามารถดึงข้อมูลอาคารจากโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อได้ในกระบวนการทำงานขั้นอื่น ๆ ได้



ภาพที่ 1.3 เครื่องมือ Adaptive Lighting for Alertness: ALFA ที่ใช้คำนวณในปัจจุบัน
ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือ BIM เป็นแนวคิดที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองอาคารพร้อมข้อมูลหรือสารสนเทศในองค์ประกอบของแบบจำลองอาคารนั้น ๆ จำลองการก่อสร้างอาคารจริง แนวคิดของ BIM ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Charles M. Eastman ตีพิมพ์ในวารสารเอไอเอ (AIA Journal) เมื่อปี ค.ศ. 1975 ในครั้งนั้นใช้ชื่อว่า "Building Description System" จนเมื่อปี ค.ศ. 1986 จึงเปลี่ยนมาใช้คำว่า "Building Information Modeling" ที่นำเสนอโดย Robert Aish ปัจจุบัน BIM ถูกนำมาใช้กับงานออกแบบสถาปัตยกรรมมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการผนวกการทำงานออกแบบสถาปัตยกรรม ทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ เข้าด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำแบบจำลองอาคารและข้อมูลต่าง ๆ ในแบบจำลองอาคาร ไปใช้ในการทำงานขั้นต่อ ๆ ไป รวมถึงงานในสาขาวิชาชีพด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น งานด้านวิศวกรรม งานก่อสร้างและบริหารงานโครงการก่อสร้าง งานบำรุงรักษาและบริหารจัดการอาคาร และงานวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร เป็นต้น (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

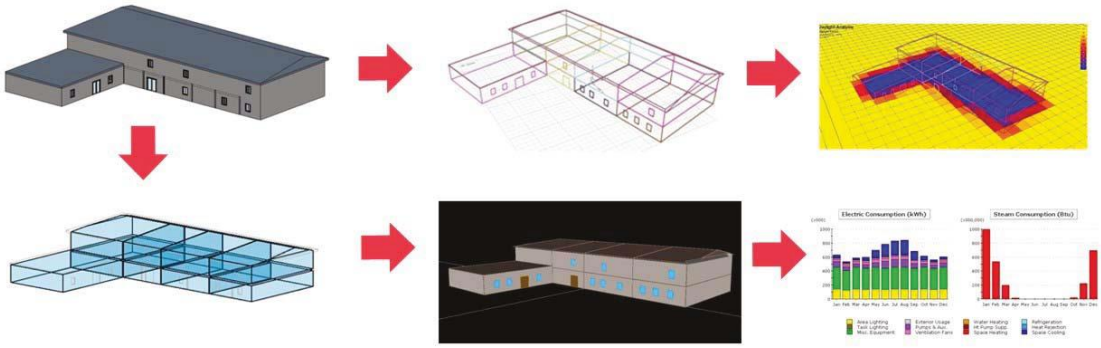


ภาพที่ 1.4 อธิบายแนวคิดของ BIM

ที่มา: http://surveyorsblog.wordpress.com/2013/02/19/building-information-modelling/

เนื่องจาก BIM ประกอบไปด้วยข้อมูลขององค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคาร จึงสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการจำลองเพื่อประเมินสมรรถนะของอาคารในด้านต่าง ๆ ได้ เช่น การวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร การประเมินความเป็นอาคารเขียว การประเมินด้านความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว หรือแรงลม ตลอดจนการจำลองพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร เป็นต้น (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558) ซึ่งเมื่อนำข้อมูลอาคารที่ถอดจาก BIM มาเข้าโปรแกรม Dynamo ที่เขียนขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณแสงสว่างเพื่อประเมินการออกแบบที่ส่งเสริม Circadian rhythm ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบอาคารมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 1.5 การนำ BIM ไปใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคาร

ที่มา: https://iznzn.wordpress.com/category/bim-work-sample/page/2/

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น The International WELL Building Institute: IWBI, The Lighting Research Center: LRC และ German Industrial Standard: DIN เป็นต้น ให้สอดคล้องบริบทของประเทศไทย ในแง่ของสภาพภูมิอากาศ
2. เพื่อพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มาช่วยในการคำนวณหาค่าแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ ให้สะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตในการวิจัย

1. ศึกษาการออกแบบแสงสว่างทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ ให้เหมาะสมกับอาคารสำนักงานในบริบทประเทศไทย จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร
2. ศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL Building Standard และ The Lighting Research Center: LRC และนำมาวิเคราะห์หาความสอดคล้องในเนื้อหาและรายละเอียดของแต่ละเกณฑ์เพื่อหาแนวทางการประเมินแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์
3. ศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารผ่านโปรแกรม Autodesk Revit ควบคู่กับเครื่องมือเสริม Dynamo ในการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมจากการรวบรวมผลงานทางวิชาการ ซึ่งประกอบไปด้วยงานวิจัย วิทยานิพนธ์ วารสารวิชาการ บทความวิชาการ และเอกสารอื่น ๆ ที่มีการตีพิมพ์และเผยแพร่ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อศึกษาพัฒนาการของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL Building Standard และ The Lighting Research Center: LRC เพื่อหาแนวทางการประเมินแสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน
3. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการทำงานรวมถึงข้อดี-ข้อเสีย เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาพัฒนาเครื่องมือ
4. ศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารผ่านโปรแกรม Autodesk Revit ควบคู่กับเครื่องมือเสริม Dynamo ในการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
5. พัฒนาและจัดทำเครื่องมือในการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ และออกแบบรูปแบบการแสดงผลรวมถึงขั้นตอนการใช้งานต่าง ๆ ให้สามารถเข้าใจได้ง่าย
6. ตรวจสอบความถูกต้อง ความแม่นยำโดยเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรมอื่น ๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน
7. สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะแนวทางเพื่อการพัฒนาเครื่องมือในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงตัวอย่างวิธีการคำนวณ และคุณสมบัติของแสงที่เหมาะสม รวมถึงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อต่อนาฬิกาชีวภาพ
2. ได้เครื่องมือที่สามารถช่วยสถาปนิกในการหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ สำหรับการออกแบบอาคารสำนักงานขั้นต้น เพื่อสนับสนุนให้เกิดการใช้เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ในขั้นตอนการออกแบบมากขึ้น
3. ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้เครื่องมือ ข้อดี - ข้อเสีย และข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือให้มีสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 นิยามศัพท์

1. การตอบสนองที่เกี่ยวกับการมองเห็น (Image forming function: IF) หมายถึง ผลกระทบของแสงที่มีผลต่อการมองเห็นภาพ (Visual effect) ของมนุษย์ ทั้งในด้านของการรับรู้ปริมาณความสองสว่าง ลักษณะสีของแสง
2. การตอบสนองที่ไม่เกี่ยวกับการมองเห็น (Non-image forming function: NIF) หมายถึง ผลกระทบของแสงที่มีต่อมนุษย์ในการควบคุมรอบวัน การเปิดปดรู้ม่านตา และการกระตุนการหลั่งฮอร์โมนของสมองในการรักษาสมดุลของร่างกาย
3. นาฬิกาชีวิต หรือนาฬิกาชีวภาพ (Biological clock) หมายถึง วงจรของระบบการทำงานในร่างกายสิ่งมีชีวิต ที่มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น การตื่นนอน การนอนหลับ หรือการหลั่งฮอร์โมน เป็นต้น
4. วงจรการหลับ-ตื่น (Circadian rhythm) หมายถึง ลักษณะทางชีววิทยาตลอด 24 ชั่วโมงของสิ่งมีชีวิต ที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมในชีวิตประจำวันที่เกิดขึ้นตลอดรอบวัน
5. แสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต (Circadian lighting) หมายถึง คุณสมบัติแสงรวมถึงการออกแบบแสงสว่างที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพของสิ่งมีชีวิต ส่งผลต่อความสมดุลของระบบการทำงานในร่างกาย
6. ฮอร์โมนเมลาโทนิน (Melatonin) หมายถึง ฮอร์โมนที่ร่างกายสามารถสร้างขึ้นได้เอง มีบทบาทช่วยควบคุมการนอนหลับของมนุษย์ โดยสมองจะหลั่งฮอร์โมนชนิดนี้ขึ้นมาในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ร่างกายรู้สึกง่วงและทำให้หลับ
7. Equivalent Melanopic Lux: EML หมายถึง หน่วยวัดคาผลกระทบทางชีวภาพของแสงที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมโดยการรวบรวมผลงานทางวิชาการ ซึ่งประกอบไปด้วยงานวิจัย วิทยานิพนธ์ วารสารวิชาการ บทความวิชาการ และเอกสารอื่น ๆ ที่มีการตีพิมพ์และเผยแพร่ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ รวมถึงแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

2.1 แสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
- 2.1.1 การรับรู้แสงของมนุษย์ที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
- 2.1.2 คุณสมบัติของแสงที่เกี่ยวข้องกับนาฬิกาชีวภาพ
- 2.1.3 เกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
- 2.1.4 มาตรฐานการมองเห็นของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบสี
- 2.1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
- 2.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ

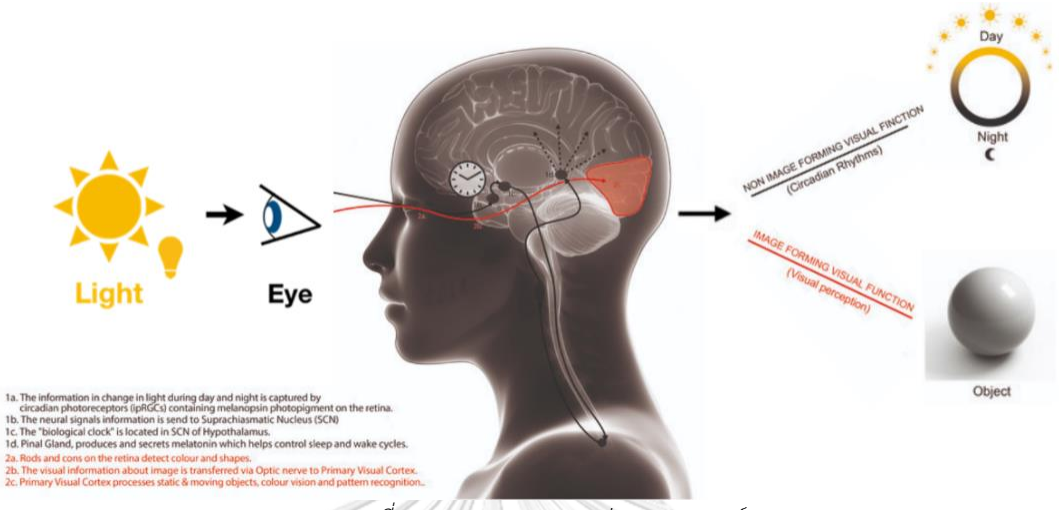
2.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร
- 2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
- 2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือเสริม
- 2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

2.3 สรุปแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1 แสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิต

2.1.1 การรับรู้แสงของมนุษย์ที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ



ภาพที่ 2.1 แสดงการตอบสนองต่อแสงของมนุษย์

ที่มา: https://theccd.org/article/41/an-overview-of-the-cognitive-and-biological-effects-of-city-nighttime-illumination-including-a-london-case-study/

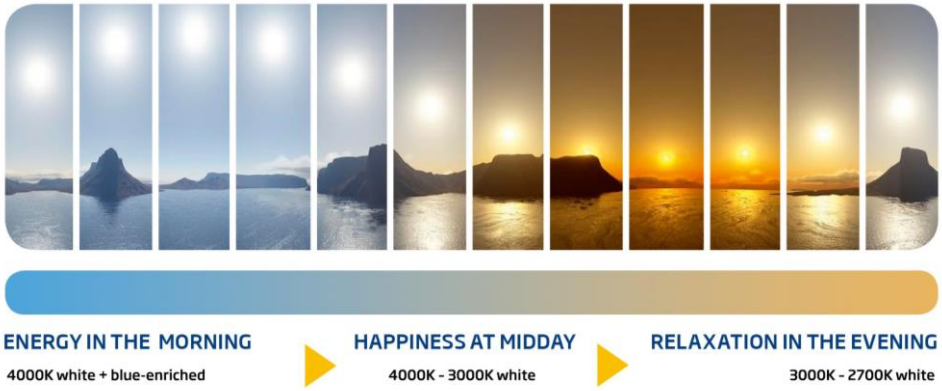
แสงมีผลต่อมนุษย์ทั้งด้านสรีรวิทยา และด้านจิตวิทยา สิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นโดยคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแสงที่มนุษย์รับรู้ เช่น สีของแสง ความเข้มแสง ความยาวคลื่นของแสง และตำแหน่งทิศทางของแสง เป็นต้น ทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์มีผลทางการมองเห็น (Image forming function: IF) และสิ่งที่ไม่ใช่การมองเห็น (Non-image forming function: NIF) ที่เกี่ยวข้องกับวงจรการหลับ-ตื่น (Circadian rhythm) หรือลักษณะทางชีววิทยาตลอด 24 ชั่วโมงของสิ่งมีชีวิต ที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น การปล่อยฮอร์โมน อุณหภูมิของร่างกาย เป็นต้น (Zieliǹska-Dąbkowska & Xavia, 2018) นาฬิกาชีวภาพถูกควบคุมด้วยนิวเคลียสซูพราไคแอสมาติก (Suprachiasmatic Nucleus: SCN) ซึ่งอยู่ในสมองส่วนไฮโพทาลามัส (Hypothalamus) คอยทำให้การทำงานของร่างกายสอดคล้องกับวงจรรอบ 24 ชั่วโมงตามธรรมชาติ เมื่อจอประสาทตา (Retina) ได้รับแสงผ่านเข้ามาจะส่งสัญญาณไปยัง SCN เพื่อกระตุ้นให้ร่างกายตื่นตัวในช่วงกลางวัน และช่วงกลางคืนเวลานอนถือเป็นช่วงที่สำคัญต่อการรักษาภาวะสมดุลของร่างกายซึ่งถูกกระตุ้นโดยฮอร์โมนเมลาโทนิน (Melatonin)

ภาพที่ 2.2 ปริมาณการรับฮอร์โมนในแต่ละช่วงเวลา

ที่มา: https://www.kiteo.eu/

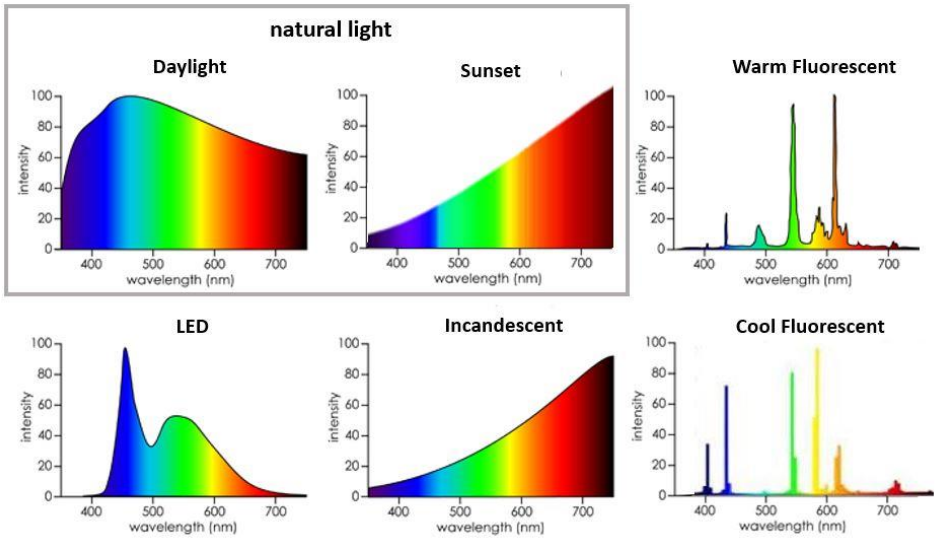
2.1.2 คุณสมบัติของแสงที่เกี่ยวข้องกับนาฬิกาชีวภาพ

1. ค่าอุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) หรือค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Colour Temperature: CCT) เป็นระบบการวัดแสงโดยมีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin: K) เป็นวิธีการวัดสีของแสงมาตรฐาน ใช้เพื่อระบุปริมาณสีของแหล่งกำเนิดแสงที่เกิดจากการแผ่รังสี หรือการกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ซึ่งค่า CCT นั้นมีความสัมพันธ์กับการตื่นตัวของมนุษย์ สีของแสงที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่ออารมณ์ความรู้สึกของมนุษย์



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของค่า CCT ในแต่ละช่วงเวลา

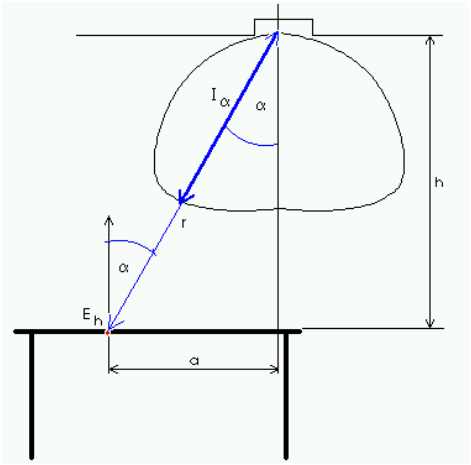
ที่มา: https://www.essystem.pl/en/light-management/hcl



ภาพที่ 2.4 การแผ่รังสีสเปกตรัมของแสงแต่ละประเภท

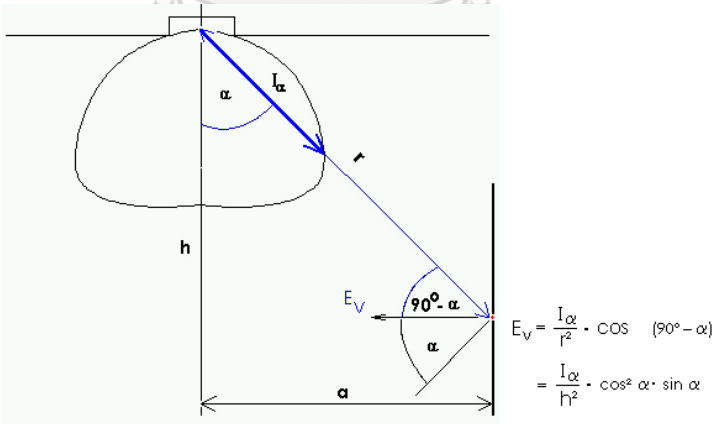
ที่มา: https://www.sunlightinside.com/light-and-health/natural-light-versus-artificial-light/

2. ความส่องสว่าง (Illuminance: E) คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวใดพื้นผิวหนึ่ง โดยค่ามาตรฐานความส่องสว่างในแนวราบ (Horizontal illuminance: Eh) ของพื้นที่ใช้ประโยชน์ภายในสำนักงานที่เหมาะสมคือต้องมากกว่า 300 ลักซ์ (Lux) อ้างอิงจาก ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2561 โดยวัดในระดับประมาณ 0.75 เมตรจากพื้นหรือระนาบบนโต๊ะทำงาน ซึ่งตาม WELL Building Standard ได้แนะนำให้วัดที่ระดับมากกว่า 0.46 เมตรขึ้นไป และการคำนวณค่าปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพต้องวัดความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) ในลักษณะที่กระทบเข้าสู่ดวงตา หรือในระดับประมาณ 1.20 เมตร จากพื้นหรือระดับขณะนั่งทำงาน



ภาพที่ 2.5 สมการค่าความส่องสว่างในแนวราบ

ที่มา: https://dialux4.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000078073-illuminance-calculations



ภาพที่ 2.6 สมการค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง

ที่มา: https://dialux4.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000078073-illuminance-calculations

3. ทิศทางของแสง การวิเคราะห์ปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิตวัดจากทิศทางของแสงในแนวดิ่ง (Vertical) เพื่อวัดค่าแสงที่เข้าสู่กระจกตาโดยตรง ซึ่งจะแตกต่างจากทิศทางของแสงที่ใช้วัดผลในเชิงปริมาณที่เหมาะสมกับการมองเห็นซึ่งใช้ทิศทางในแนวราบ (Horizontal) ทั้งนี้รูปแบบของดวงโคมย่อมส่งผลต่อทิศทางการกระจายของแสงที่แตกต่างกัน

2.1.3 เกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ

ในปัจจุบันหน่วยงานที่มีการประเมินเรื่องการออกแบบแสงสว่างเพื่อสุขภาพ (Circadian lighting) ที่นิยมนำมาใช้อ้างอิงในการทำงาน มี 2 หน่วยงาน ได้แก่ The Lighting Research Center: LRC และ The International WELL Building Institute: IWBI ซึ่งทั้งเป็นหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา มีรายละเอียดดังนี้

1. The Lighting Research Center: LRC เป็นหน่วยงานที่มุ่งเน้นวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของแสงที่เหมาะสม และ Circadian lighting เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบได้นำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งมีหน่วยในการประเมินค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพเป็น Circadian Stimulus: CS โดยมีการแนะนำปริมาณ CS ตั้งแต่ 0.3 ขึ้นไปในช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 13:00 น. และช่วงเวลา 13:00 น. ถึง 17:00 น. ควรมีปริมาณ CS ตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์ The Lighting Research Center: LRC

ที่มา: https://www.lrc.rpi.edu/

2. The International WELL Building Institute: IWBI เป็นหน่วยงานที่มีแนวคิดสำคัญในการคำนึงถึงสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้อาศัย มีการกำหนดเกณฑ์ WELL Building Standard มีการให้คะแนนในหลายเรื่อง ซึ่งภายในหัวข้อเรื่อง แสง (Light) ได้ประกอบด้วยคุณสมบัติ (Feature) L03 ที่มีการคำนึงถึงการออกแบบแสงสว่างเพื่อสุขภาพ (Circadian lighting design) ซึ่งมีหน่วยการแสดงปริมาณของแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพเป็นค่า Equivalent Melanopic Lux: EML อ้างอิงจากเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL Version 2 (V2), Q1 2022 โดยการให้คะแนนของค่า EML นั้นมีการเปรียบเทียบกับค่า Melanopic Equivalent Daylight Illuminanc: M-EDI (D65) อ้างอิงจาก CIE S 026 standard ซึ่งเป็นผลจากแหล่งกำเนิดแสงกับตัวรับแสง (Photoreceptors) ที่เกิดจากแสงแดดตอนกลางวัน 6500K หรือ D65 ได้ระบุไว้อย่างน้อย 150 EML หรือ 136 M-EDI (D65) สำหรับ 1 คะแนน และอย่างน้อย 275 EML หรือ 250 M-EDI (D65) สำหรับ 3 คะแนน โดยไม่นำปัจจัยของ Circadian light จากแสงธรรมชาติมาประเมินร่วมด้วย รายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ภาพที่ 2.8 สัญลักษณ์ The International WELL Building Institute: IWBI

ที่มา: https://www.wellcertified.com/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อกำหนดเกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพในแต่ละหน่วยงาน

หน่วยงาน	Lighting Research Center (LRC)	The International WELL Building Institute (IWBI)	International Commission on Illumination (CIE)
หน่วยวัดผล	Circadian Stimulus (CS)	Equivalent Melanopic Lux (EML)	Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (M-EDI)
เกณฑ์คะแนน	8:00 น. ถึง 13:00 น.: CS อย่างน้อย 0.3 13:00 น. ถึง 17:00 น.: CS อย่างน้อย 0.2 17:00 น. ถึง 18:00 น.: CS อย่างน้อย 0.15	1 คะแนน สำหรับ EML อย่างน้อย 150 EML หรือ 136 M-EDI(D65) 3 คะแนน สำหรับ EML อย่างน้อย 275 EML หรือ 250 M-EDI(D65)	
จำนวนเวลาที่ประเมิน	10 ชั่วโมง ต่อวัน	4 ชั่วโมง ต่อวัน	
สูตรการคำนวณ	$CL_A = \left(\frac{1622\int C_\lambda E_\lambda \, d\lambda}{683\int V_\lambda E_\lambda \, d\lambda} - 0.67\right) E_v$	$EML = \text{Melanopic Ratio} \times E_v$	$EDI = 1.104 \left(\frac{\int C_\lambda E_\lambda \, d\lambda}{\int V_\lambda E_\lambda \, d\lambda}\right)$
	$CS = 0.7 - \frac{0.7}{1+\left(\frac{CL_A}{355.7}\right)^{1.1026}}$	$\text{Melanopic Ratio} = 1.218 \left(\frac{\int C_\lambda E_\lambda \, d\lambda}{\int V_\lambda E_\lambda \, d\lambda}\right)$	$EML = 1.104 \times EDI$
	C_λ คือ ค่าคงตัวของค่าความไวต่อแสงของเซลล์รับแสง ipRGCs ทุก ๆ นาโนเมตรของสเปกตรัม V_λ คือ ค่าคงตัวของค่าความไวต่อแสงของเซลล์รับแสง cones ทุก ๆ นาโนเมตรของสเปกตรัม E_λ คือ ค่าการแผ่รังสีของแสง (W/m^2) ทุก ๆ นาโนเมตรของสเปกตรัม E_v คือ ค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง ที่เข้าสู่กระจกตา (lux) (Vertical Illuminance) S_λ คือ ค่าคงตัวของค่าความไวต่อแสงของเซลล์รับแสง s - cones ทุก ๆ นาโนเมตรของสเปกตรัม $d\lambda$ คือ การอินทิเกรตกับทุกช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัม		
ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	1. อุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Color Temperature: CCT) 2. การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) 3. ความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical Illuminance: Ev)		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หากพิจารณาจากสูตรการคำนวณหาค่า EML นั้นจำเป็นที่จะต้องทราบค่า Melanopic Ratio: MR ของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในพื้นที่ ซึ่งคำนวณมาจากค่าการกระจายของแสงระหว่างช่วง 380-730 nm โดยตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL ได้ระบุค่า MR ของแสงแต่ละประเภทไว้ ดังนี้

ตารางที่ 0.2 ค่า MR ของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภทตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL

CCT (K)	Light Source	Melanopic Ratio
2700	LED	0.45
3000	Fluorescent	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

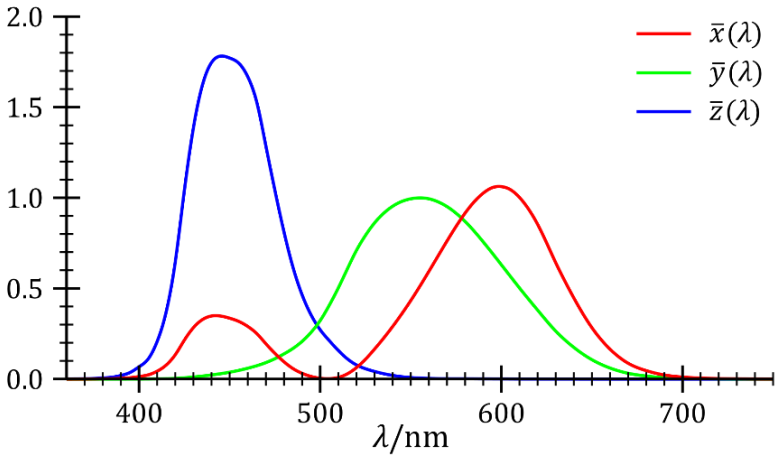
ที่มา: https://standard.wellcertified.com/v7/tables

2.1.4 มาตรฐานการมองเห็นของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบสี

คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศด้านแสงสว่าง หรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับเรื่องแสงสว่างและสี คือ International Commission on (Illumination The Commission International Del' Eclairage: CIE) ได้ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1913 โดยสืบทอดมาจากองค์กร Commission Internationale de Photométrie ซึ่งก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ.1900 ปัจจุบันองค์กรตั้งอยู่ที่กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

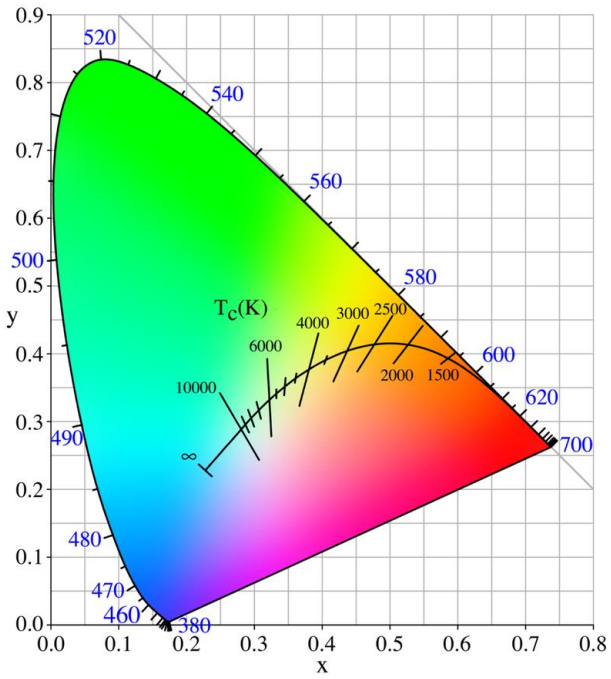
CIE มีระบบการวัดค่าสีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ ค่าไตรสติมูลัส XYZ (XYZ Tristimulus) และปริภูมิสี xyY (xyY Color space) ซึ่งพัฒนามาจากระบบสีของ CIE ซึ่งมีแนวคิดพื้นฐานมาจากทฤษฎี 3 องค์ประกอบ (Three-component theory) ในการมองเห็นสีของมนุษย์ โดยได้มีการกล่าวไว้ว่าดวงตาของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์รับแสงที่ช่วยให้สามารถมองเห็นสีพื้นฐานได้สามสี ได้แก่ สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ซึ่งสีทั้งหมดที่มนุษย์มองเห็นนั้นเกิดจากการผสมของสามสีหลักข้างต้น โดยในปี ค.ศ.1931 CIE ได้กำหนดมาตรฐานการมองเห็นของมนุษย์เพื่อให้ได้ฟังก์ชั่นความไวแสงของตามนุษย์ (Standard observer) ที่เรียกว่า Color-Matching Function โดยกราฟแต่ละเส้นจะแทนด้วยรหัส $x(\lambda)$,$y(\lambda)$, และ $z(\lambda)$ ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 กราฟฟังก์ชั่นความไวแสง (Color-Matching Function)

ที่มา: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE_1931_XYZ_Color_Matching_Functions.svg

แต่เนื่องจากค่าไตรสิมูลัส XYZ นี้ นำไปแปลความหมายของสีได้ค่อนข้างยาก ดังนั้น CIE จึงนำเสนอปริภูมิสีใหม่ในปี 1931 เป็นรูปกราฟ 2 มิติ เรียกว่า Chromaticity Diagram โดยเป็นการไม่รวมค่าความสว่างเข้ามาด้วย เรียกว่า ปริภูมิสี xyY (xyY Color space) ทั้งนี้ให้ Y แทนค่าความสว่าง (Lightness) ส่วนค่า x และ y คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสีที่จากการคำนวนค่าไตรสติมูลัส XYZ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 2.10 บริเวณที่เข้าใกล้จุดกึ่งกลางจะยิ่งเข้าสู่สีขาวหรือไม่มีสีและสีจะสดขึ้นเมื่อเข้าใกล้ขอบมากขึ้น



ภาพที่ 2.10 CIE1931xy Chromaticity diagram

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Chromaticity

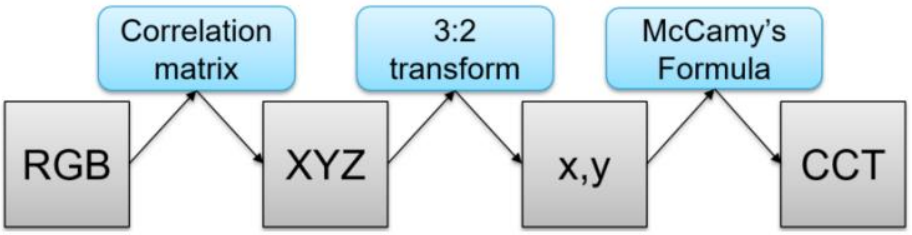
การคำนวณหาค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Colour Temperature: CCT) จากค่า RGB นั้น จะต้องใช้สมการดังภาพที่ 2.11 ในการแทนค่า จากนั้นเมื่อได้ x และ y จากปริภูมิสีจึงจะสามารถนำไปคำนวณหา CCT ต่อได้ โดยการนำค่าไปแทนในสูตรการค่าประมาณของ McCamy ดังภาพที่ 2.12

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
$$z = \frac{XZ}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

ภาพที่ 2.11 สมการ CIE 1931 xy

$$CCT\ (x,y) = -449n^3 + 3525n^2 - 6823.3n + 5520.33$$
$$n = (x - 0.3320)/(0.1858 - y)$$

ภาพที่ 2.12 สมการในการหาค่า CCT



ภาพที่ 2.13 ลำดับขั้นตอนการแปลงค่า RGB เป็น ค่า CCT

ที่มา: https://www.st.com/resource/en/application_note/an5638-how-correlated-color-temperature-is-calculated-by-vd6283-stmicroelectronics.pdf

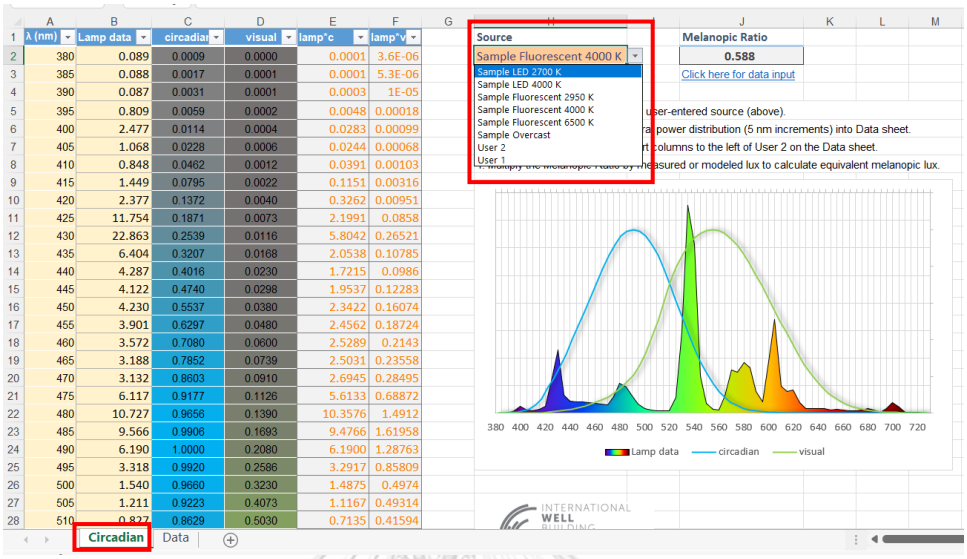
2.1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ

ปัจจุบันการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพสามารถเลือกใช้เครื่องมือได้ตามความต้องการของผลลัพธ์ และความชำนาญของผู้ใช้งาน โดยแต่ละเครื่องมือนั้นมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณหาค่า Equivalent Melanopic Lux: EML ตาม WELL Building Standard ซึ่งสามารถแบ่งโปรแกรมออกได้ทั้งหมด ดังนี้

2.1.5.1 โปรแกรม Microsoft Excel

การคำนวณผ่านโปรแกรม Microsoft Excel เป็นการนำไฟล์ Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (.xlsx) ที่ทาง WELL ได้มีการจัดเตรียมไว้ให้ โดยข้อมูลที่มีในไฟล์นั้นจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถคำนวณหาค่า Melanopic Ratio: MR ของแสงแต่ละประเภทได้ แต่หากต้องการทราบถึงค่า EML โดยมีวิธีการใช้งาน ดังนี้

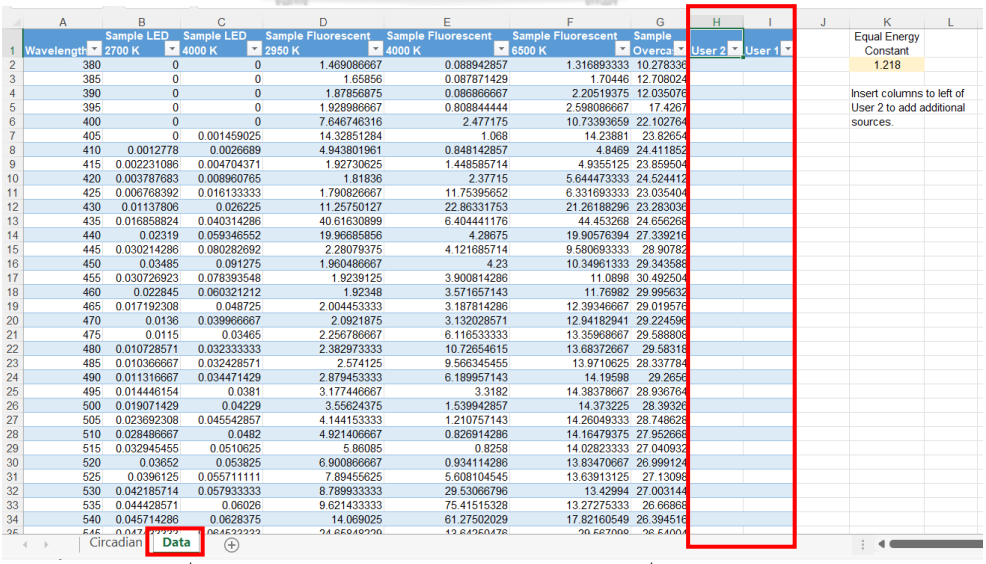
1. ในแท็บด้านล่างเลือกเวิร์กชีต (Sheet) ชื่อ Circadian เลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ต้องการจากตัวอย่างที่ไนไฟล์ตั้งต้นเตรียมไว้ให้



ภาพที่ 2.14 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงการเลือกแหล่งกำเนิดแสง

ที่มา: https://standard.wellcertified.com/tables#melanopicRatio

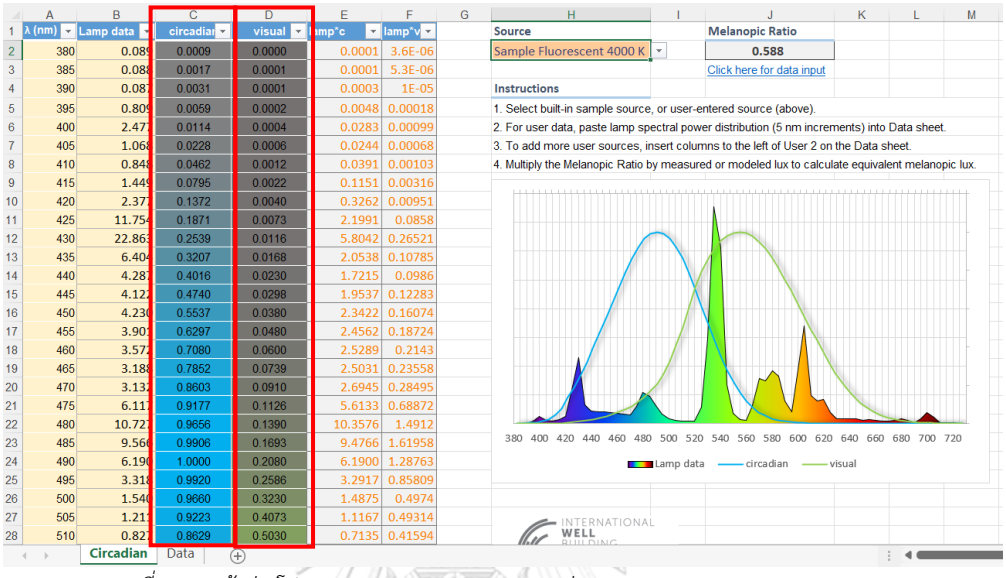
2. หากต้องการเพิ่มแหล่งกำเนิดแสงประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากตัวอย่าง ให้ใส่ข้อมูลการกระจายพลังงานสเปกตรัม หรือ SPD ของหลอดประเภทแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ ระหว่างช่วง 380 ถึง 730 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นทุก ๆ 5 นาโนเมตร ในคอลัมน์ที่แทรกอยู่ทางด้านซ้ายในแท็บเวิร์กชีต (Sheet) Data



ภาพที่ 2.15 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงการเพิ่มข้อมูลแหล่งกำเนิดแสง

ที่มา: https://standard.wellcertified.com/tables#melanopicRatio

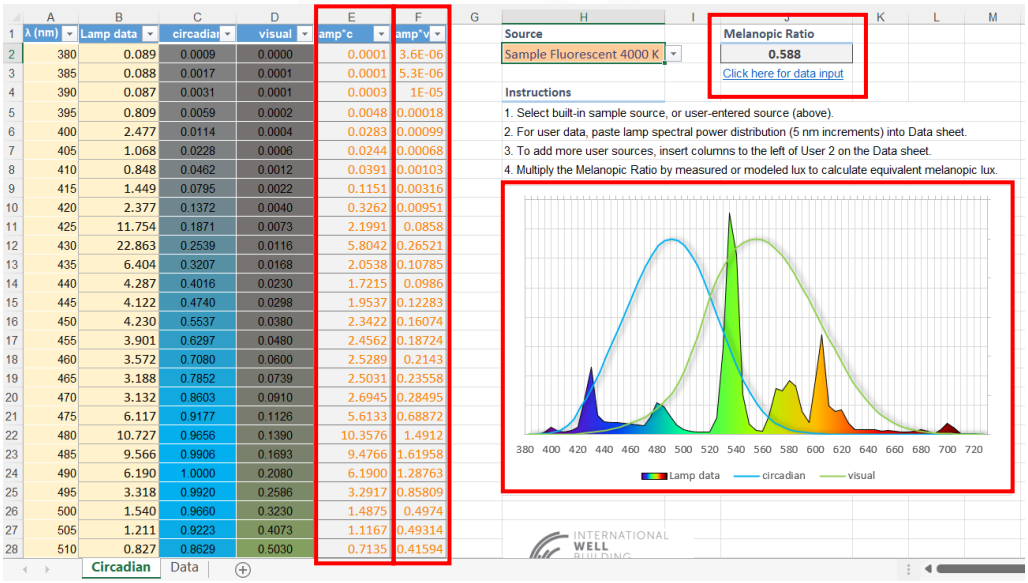
3. โปรแกรมจะนำค่าการกระจายกำลังสเปกตรัมของหลอดประเภทแหล่งกำเนิดแสง ระหว่างช่วง 380 ถึง 730 นาโนเมตร มาคูณกับค่าคงตัวของ Visual curve และ Circadian curve ในแต่ละช่วงความถี่ทุก ๆ 5 นาโนเมตร จะได้ค่า Visual response และ Circadian response



ภาพที่ 2.16 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงค่า Visual curve และ Circadian curve

ที่มา: https://standard.wellcertified.com/tables#melanopicRatio

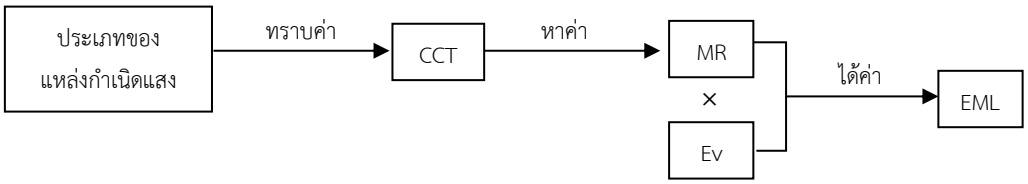
4. นำผลรวม Circadian response หารด้วย ผลรวมของ Visual response แล้ว นำไปคูณ 1.218 จึงจะได้ค่า Melanopic Ratio: MR ของแสงแต่ละประเภท



ภาพที่ 2.17 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แสดงค่า Visual response, Circadian response และ MR

ที่มา: https://standard.wellcertified.com/tables#melanopicRatio

ข้อจำกัดในการคำนวณผ่านโปรแกรม Microsoft Excel คือ จะทราบเพียงค่า Melanopic Ratio: MR เท่านั้น หากต้องการทราบถึงค่า Equivalent Melanopic Lux: EML จะต้องใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่น ๆ ในการช่วยคำนวณค่าความส่องสว่าง (Illuminance: E) จากนั้นจึงนำมาคูณกับค่า MR ที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ เพื่อให้ได้ค่า EML ตามเกณฑ์ WELL Building Standard

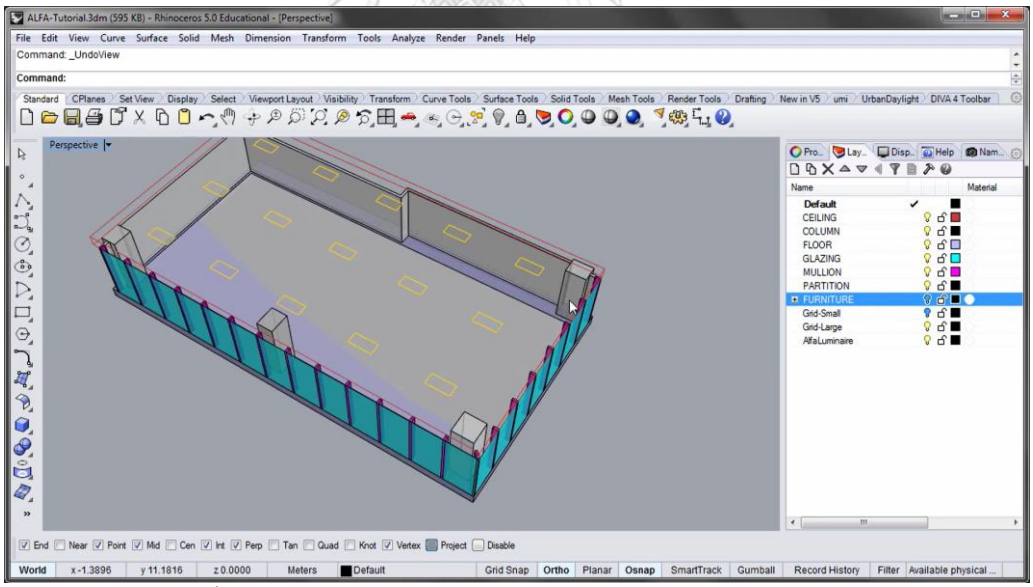


ภาพที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติแสงสู่ขั้นตอนการหาค่า EML

2.1.5.2 โปรแกรม Adaptive Lighting for Alertness

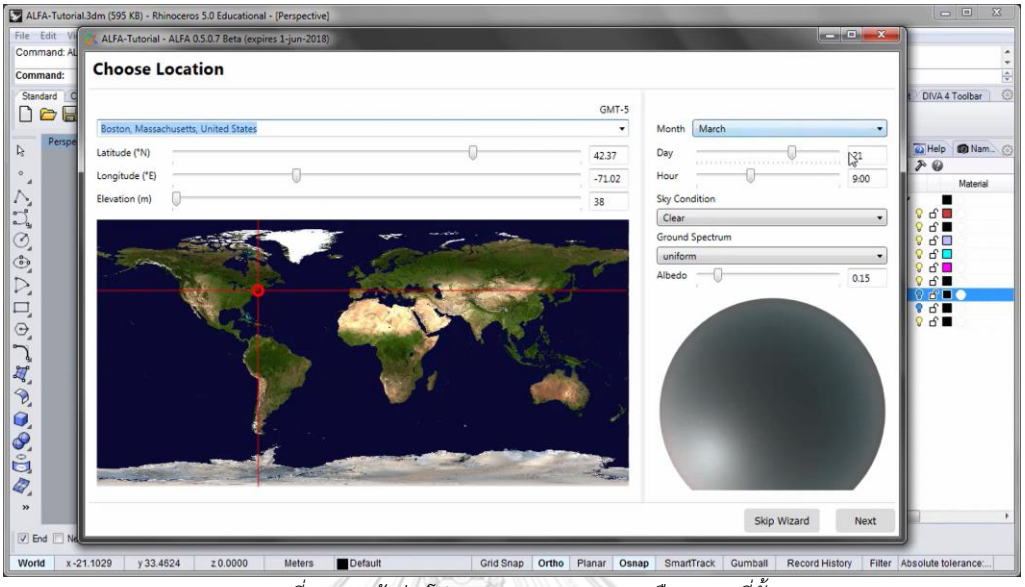
การคำนวณหาค่า Equivalent Melanopic Lux: EML ผ่านโปรแกรม Adaptive Lighting for Alertness: ALFA จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือนี้ลงในโปรแกรม Rhinoceros 3D ก่อนการเริ่มต้นทำงาน เนื่องจากต้องอาศัยการดึงข้อมูลของแบบจำลองจากโปรแกรม Rhinoceros 3D โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. สร้างหรือนำเข้าแบบจำลองอาคารที่ต้องการคำนวณเข้ามายังโปรแกรม Rhinoceros 3D



ภาพที่ 2.19 หน้าต่างโปรแกรม Rhinoceros 3D แสดงการดึงข้อมูลแบบจำลองอาคาร
ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

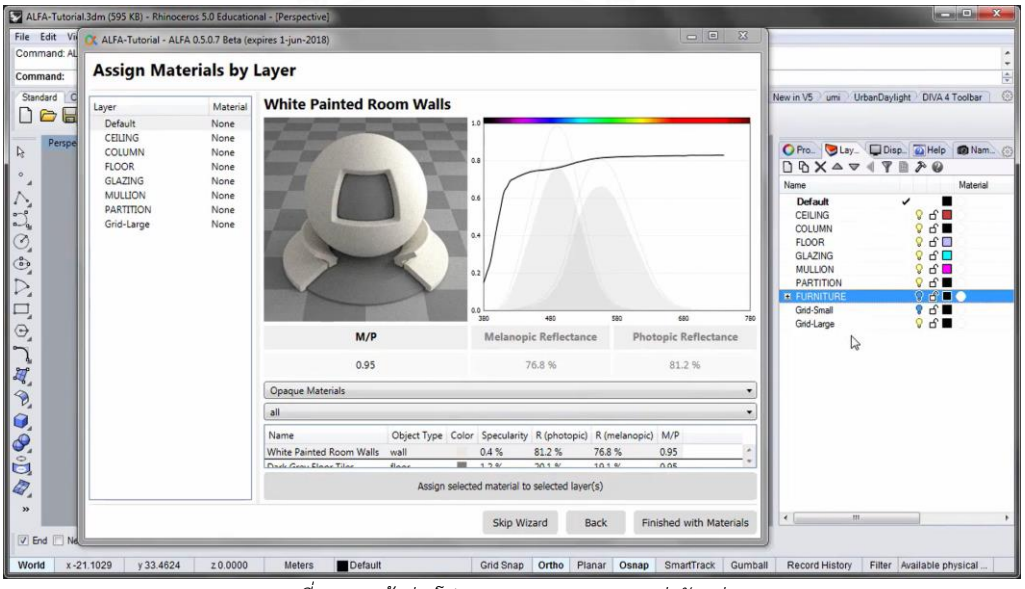
2. กำหนดพิกัดละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ของที่ตั้งของโครงการ รวมถึงเดือน วัน เวลาที่ต้องการคำนวณ และสภาพบรรยากาศของท้องฟ้า



ภาพที่ 2.20 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการเลือกสถานที่ตั้ง

ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

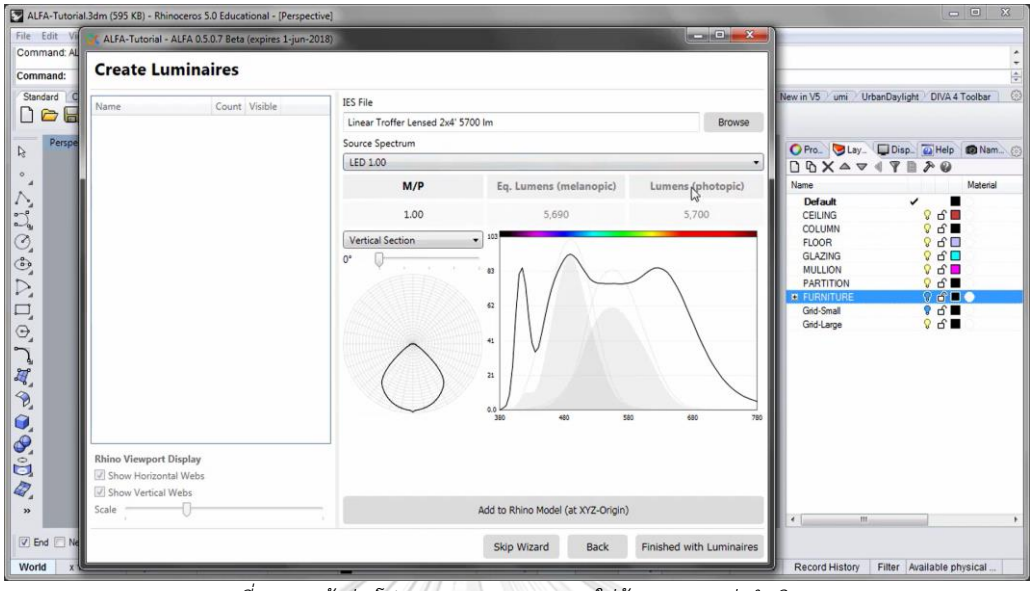
3. ตั้งค่าวัสดุขององค์ประกอบต่าง ๆ ทางสถาปัตยกรรมทั้ง ฝ้า เสา พื้น รวมถึงกระจกและเฟรมของกระจกที่ใช้ เนื่องจากสี และผิววัสดุ สามารถส่งผลกับการกระจายพลังงานสเปกตรัม หรือ SPD โดยโปรแกรมจะมีการคำนวณค่า Melanopic Reflectance และ Photopic Reflectance ให้อัตโนมัติ



ภาพที่ 2.21 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการค่าวัสดุต่าง ๆ

ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

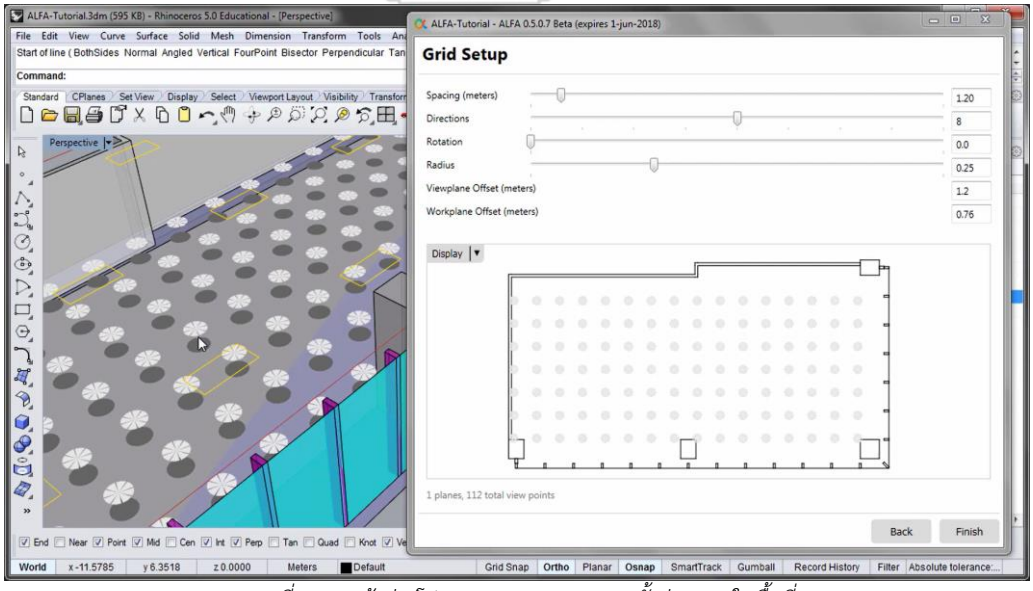
4. ตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสง โดยทำการเลือกประเภทของหลอดไฟที่ใช้ในพื้นที่



ภาพที่ 2.22 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการใส่ข้อมูลของแหล่งกำเนิดแสง

ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

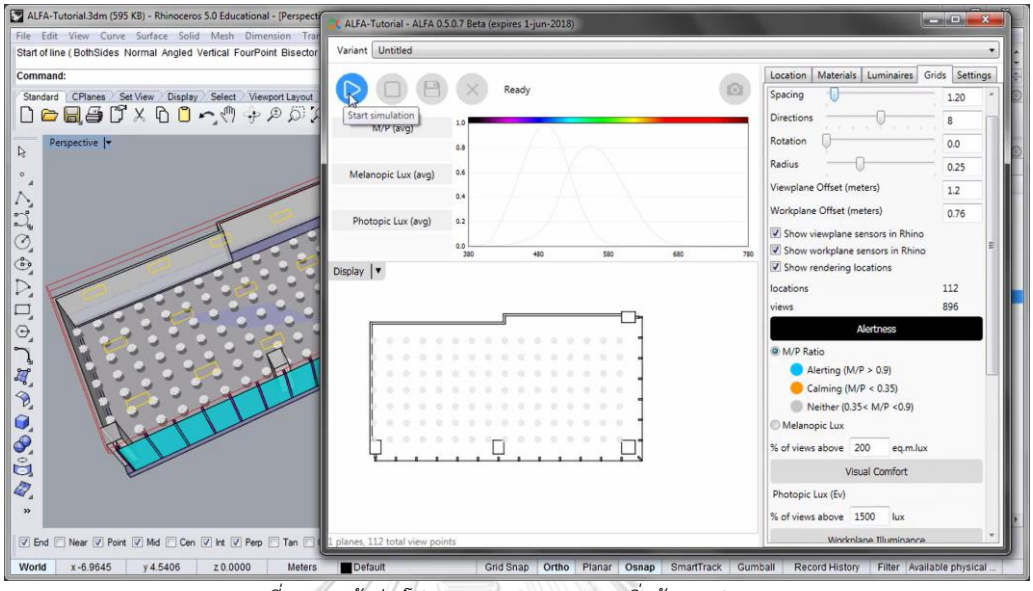
5. ตั้งค่าตาราง (Grid) ในพื้นที่กำหนดระยะห่างที่ต้องการคำนวณ ซึ่งสามารถกำหนดความสูงของระดับการมอง และระยะระนาบของพื้นที่ทำงาน



ภาพที่ 2.23 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการตั้งค่า Grid ในพื้นที่

ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

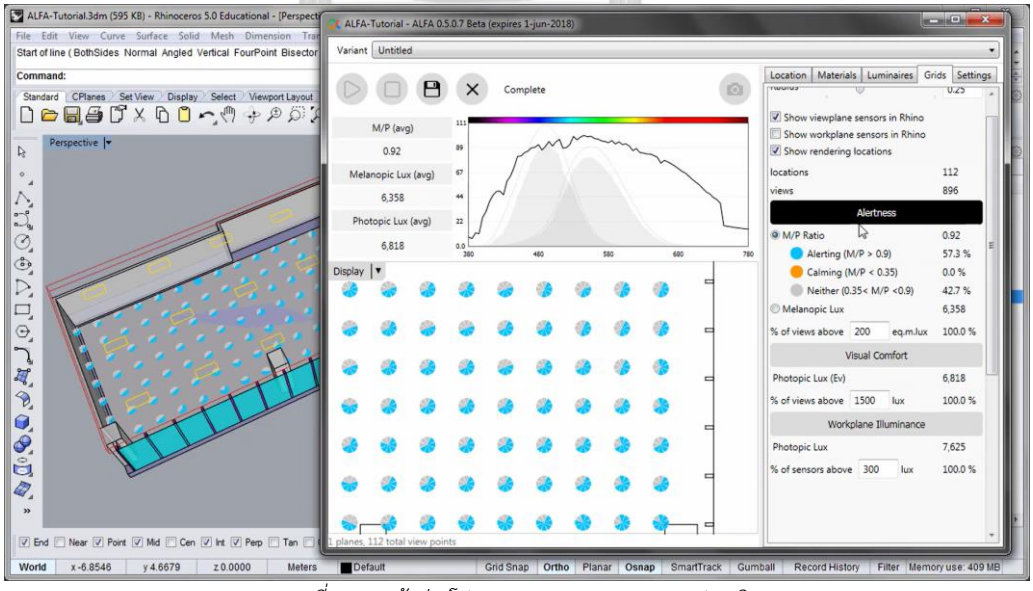
6. จากนั้นกดปุ่มเพื่อประมวลผล โดยการแสดงผลนั้นจะมีการแบ่งสีซึ่งเป็นไปตามค่า M/P Ratio หรืออัตราส่วนของ Melanopic ต่อ Photopic ตรงกับค่า MR นั่นเอง



ภาพที่ 2.24 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงการเริ่มต้นการประมวลผล

ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

7. การแสดงผลใน ALFA จะแสดงสีแยกออกเป็นทั้งหมด 8 ทิศทางในแต่ละจุดการคำนวณ ทำให้มีความละเอียดเพราะสามารถทราบถึงทิศทางการหันหน้าขณะนั่งทำงานว่าทิศใดที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ



ภาพที่ 2.25 หน้าต่างโปรแกรม ALFA แสดงผลการประเมิน

ที่มา: https://www.solemma.com/alfa

ข้อจำกัดในการคำนวณผ่านโปรแกรม Adaptive Lighting for Alertness: ALFA คือ จะสามารถคำนวณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพได้จากแสงประดิษฐ์เท่านั้น และทำงานได้ผ่านโปรแกรม Rhinoceros 3D อย่างเดียว หากมีแบบจำลองอาคารในไฟล์รูปแบบอื่น ๆ จำเป็นที่จะต้องแปลงไฟล์หรือสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ในโปรแกรม Rhinoceros 3D ก่อนการคำนวณ

2.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ

จากการสำรวจงานวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยงานวิจัยในประเทศไทย สืบค้นด้วยคำว่า Circadian lighting พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมทั้งหมด 5 งานวิจัย เริ่มต้นตั้งแต่ปี 2562 ได้มีการศึกษาแนวทางการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานให้มีความเหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตของประเทศไทย ต่อมาในปี 2562 นิชากร เฮงรัศมี ได้ศึกษาการเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินแสงสว่างเพื่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี เช่น เกณฑ์ WELL Building Standard: WELL, Deutsches Institut für Normung: DIN, Building Research Establishment's Environmental Method: BREEAM, Leadership in Energy & Environmental Design: LEED และ Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability: TREES โดยในปีเดียวกับนั้นได้มีการศึกษาต่อยอดเพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบให้เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย จนมาถึงปี 2563 จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางการใช้เกณฑ์การประเมินแสงธรรมชาติที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตในประเทศไทย ซึ่งเปรียบเทียบตัวชี้วัดระหว่างค่า Equivalent Melanopic Lux: EML กับค่า Circadian Stimulus: CS และสุดท้าย อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ ได้ศึกษาการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวิตภาพร่วมกับแสงธรรมชาติแบบรายปี ซึ่งจากงานวิจัยในไทยทั้งหมดนั้น ส่วนมากจะเป็นการวิจัยเน้นการประเมินจากแสงธรรมชาติเป็นหลัก และใช้วิธีการวิจัยโดยการจำลองอาคารโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบอาคาร ที่เหมาะสมในประเทศไทย จะเห็นได้ว่าหัวข้อ Circadian lighting ในประเทศไทยเพิ่งเริ่มมีการวิจัยใน4ปีที่ผ่านมาและยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในต่างประเทศมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Circadian lighting ใน 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งหมด 114 งาน โดยได้สำรวจจากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในวารสารที่เกี่ยวข้องกับด้าน Building environment เริ่มแรกในช่วงระหว่างปี 2556 ถึง 2559 จะมีงานวิจัยค่อนข้างน้อย ต่อมาในปี 2560 ได้มีงานวิจัยที่คว้ารางวัลโนเบล สาขาการแพทย์ โดยสามนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน คือ เจฟฟรีย์ ซี.ฮอลล์ (Jeffry C.Hall), ไมเคิล รอสแบช (Michael Rosbash) และไมเคิล ดับเบิลยู. ยัง (Michael W. Young) ที่ค้นพบกลไกระดับโมเลกุลที่ควบคุมนาฬิกาชีวภาพในรอบวัน ทำให้ Circadian lighting เป็นที่สนใจมากยิ่งขึ้น ตั้งแต่ปีนี้เองงานวิจัยในด้านนี้ก็มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ ส่วนใหญ่ใช้วิธีการเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อหาค่าความส่องสว่างของแสงโดยพิจารณาเพียงแสงประดิษฐ์หรือแสงธรรมชาติอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ด้วยการสร้างหุ่นจำลองโดยใช้โปรแกรม Rhino ร่วมกับการประเมินค่าแสงผ่านโปรแกรมเสริม Honeybee, Ladybug และ Design Iterate Validate Adapt: DIVA ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คำนวณบนพื้นฐานของโปรแกรม Radiance ผ่านการทำงานบนเครื่องมือเสริม Grasshopper ที่มีความสามารถในการดึงข้อมูลผ่าน

โปรแกรม Rhino ได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยบางส่วนที่ใช้โปรแกรม DIALux เข้ามาช่วยในการประเมินค่าแสงประดิษฐ์อีกด้วย

การสร้างหุ่นจำลองในงานวิจัยต่าง ๆ ได้มีการกำหนดองค์ประกอบของพื้นที่ที่นำมาศึกษา ทั้งอาคารประเภทสำนักงาน และพื้นที่ที่มีความใกล้เคียงในการใช้งาน เช่น พื้นที่นั่งทำงาน และห้องเรียน เป็นต้น โดยตัวแปรที่ส่งผลต่อแสงสว่างภายในพื้นที่ใช้งานถูกกำหนดด้วยหลายปัจจัยซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. **ขนาดของห้อง** หรือพื้นที่ตัวอย่างในการศึกษา โดยมีความลึกของพื้นไม่เกิน 12.00 เมตร จากกรอบอาคารที่ได้รับแสงธรรมชาติ และมีความสูงตั้งแต่ 2.40 ถึง 3.20 เมตร
2. **ช่องแสงด้านข้าง** กำหนดให้มีในทิศเดียว โดยอัตราส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบ (WWR) ในงานวิจัยที่ได้รวบรวมมานั้นมีการกำหนด WWR ร้อยละ 20 ถึง 80 ในการสร้างหุ่นจำลอง
3. **ค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติ (Visible Light Transmission: VLT)** ในกระจกอยู่ที่ 0.4 ถึง 0.68
4. **การสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิว (Surface reflectance)** ในงานวิจัยที่ค้นพบมีการกำหนดอัตราส่วนการสะท้อนแสงของฝ้าเพดานต่อผนังต่อพื้น (Ceiling: Wall: Floor) อยู่ที่ 0.7 ถึง 0.9 : 0.3 ถึง 0.8 : 0.2 ถึง 0.6
5. **ช่วงเวลา** ในการประเมิน มีอยู่ 2 แนวทาง แนวทางแรกเป็นการประเมินเป็นระยะช่วงเวลาที่มีการใช้งานในพื้นที่นั้นเช่น ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 18:00 น. และ 9:00 น. ถึง 15:00 น. อีกแนวทางคือการวัด ณ เวลาที่กำหนด เช่น 8:00 น. 12:00 น. และ 17:00 น. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่เลือกใช้ในการประเมิน นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดช่วงเวลาวันที่ประเมินเป็นช่วงเดือน หรือตลอดทั้งปีได้ ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยได้สรุปรายละเอียด และตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ที่มีความสอดคล้องกันในด้านเนื้อหา ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 0.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ

หัวข้อ	ผู้วิจัย	ปี พ.ศ.	ตัวแปร	ค่าที่หา
แนวทางการใช้แสงธรรมชาติให้เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตสำหรับอาคารสำนักงาน	จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ	2562	1. ขนาดห้อง: 40.50 x 40.50 เมตร สูง 2.70 เมตร 2. WWR: 20%, 40%, 60%, 80% 3. VLT: 68% 4. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.8 : 0.5 : 0.2 5. ช่วงเวลา: 8.00 - 17.00 น. ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคม	CS และ EML

หัวข้อ	ผู้วิจัย	ปี พ.ศ.	ตัวแปร	ค่าที่หา
แนวทางการใช้เกณฑ์การประเมินแสงธรรมชาติที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตในประเทศไทย	จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ	2563	1. ขนาดห้อง: 4.00 x 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร 4.00 x 8.00 เมตร สูง 2.40 เมตร 8.00 x 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร 2. WWR: 20%, 50%, 80% 3. VLT: 60% 4. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.8 : 0.5 : 0.2 5. ช่วงเวลา: 8:00 น. 12:00 น. และ 17:00 น. วันที่ 21 ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคม	CS และ EML
แนวทางและการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดแสงธรรมชาติสำหรับอาคารในประเทศไทย	อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ	2563	1. ขนาดห้อง: 2.50 x 3.20 เมตร สูง 2.40 เมตร 4.00 x 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร 4.00 x 8.00 เมตร สูง 2.40 เมตร	DF sDA UDI-a UDI-x และ ASE
การศึกษาการออกแบบร่วมกันระหว่างการวิเคราะห์แสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศและการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ		2565	8.00 x 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร 12.00 x 12.00 เมตร สูง 3.00 เมตร 24.00 x 12.00 เมตร สูง 3.00 เมตร 36.00 x 12.00 เมตร สูง 3.00 เมตร 2. WWR: 20%, 50%, 80% 3. VLT: 60% 4. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.8 : 0.5 : 0.2 5. ช่วงเวลา: 8:00 – 18:00 น. ประเมิน 365 วัน	EML

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อ	ผู้วิจัย	ปี พ.ศ.	ตัวแปร	ค่าที่หา
Circadian Lighting Design Criteria for health and well-being in Thai built environment	Hengrasmee, Nichakorn	2562	1. ขนาดห้อง: 30.00 x 12.00 เมตร สูง 3.00 เมตร 2. ขนาดหน้าต่าง: 2.40 x 3.00 เมตร 3. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.8 : 0.3 : 0.25 4. ช่วงเวลา: 7:00 น. - 18:00 น. วันที่ 21 ในเดือนมีนาคม และเดือนกันยายน	EML
Analysis of Visual Comfort and Circadian Stimulus Provided by Window Design in Educational Space	Acosta, I Campano, MA Molina, J Fernández-Aguera, J	2562	1. ขนาดห้อง: 8.00 x 8.00 เมตร สูง 3.00 เมตร 2. ขนาดหน้าต่างกว้าง 7.00 เมตร 3. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.6, 0.8 : 0.4, 0.8 : 0.2, 0.6 4. ช่วงเวลา: 8:00 น. - 15:00 น. 5. วันที่ 20 - 25 ในเดือนมิถุนายน	CS
Assessment of the Circadian Stimulus Potential in a Daylit Classroom: Simulation-Based Evaluation of Key Factors to Enhance Daylight-Driven Circadian Lighting	Sahebghalam, Sara	2563	1. ขนาดห้อง: 12.00 x 8.00–10.00 เมตร สูง 2.90-3.20 เมตร (เพิ่มขึ้นทีละ 0.10 เมตร) 2. WWR: 25% - 60% 3. VLT: 40% 4. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.7-0.9 : 0.5-0.8 : 0.2-0.4 5. ช่วงเวลา: 9:00 น. - 15:00 น. วันที่ 21 ในเดือนธันวาคม	CS และ EML
Optimization of Lighting Projects Including Photopic and Circadian Criteria: A Simplified Action Protocol	Sánchez-Cano, Ana Aporta, Justiniano	2563	1. ขนาดห้อง: 10.00 x 10.00 เมตร สูง 2.80 เมตร 2. ρCeiling: ρWall: ρFloor: 0.8 : 0.8 : 0.8	CS, EDI และ EML
Analysis of Photopic and Melanopic Lighting in Teaching Environments	Ezpeleta, Silvia Orduna, E. Solana, Teresa Aporta, Justiniano Pinilla, Isabel Sanchez-Cano, Ana	2564	1. ขนาดห้อง: 9.00 x 7.00 เมตร สูง 2.75 เมตร 5.70 x 4.60 เมตร สูง 2.60 เมตร 8.50 x 5.65 เมตร สูง 2.82 เมตร 8.00 x 3.90 เมตร สูง 3.03 เมตร	EML และ EDI

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่อง Circadian daylight in practice, Determining a simulation method for the design process ของ Hagen, Emilie และ Richardson, Henry ในปี ค.ศ. 2016 มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณของค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ โดยใช้ค่าความส่องสว่างในแนวราบ (Eh) เปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง หรือ Ev พบว่าผลลัพธ์ออกมามีความใกล้เคียงกัน คือ สามารถทราบถึงจุดที่ทำให้ได้รับแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพที่ดีได้จากผังพื้นในบริเวณเดียวกัน แตกต่างกันที่ความละเอียดที่ผู้ใช้งานต้องการทราบ เนื่องจากการคำนวณโดยใช้ค่า Ev จะทราบถึงแสงในแต่ละทิศทาง ส่วนการใช้ค่า Eh ในการคำนวณนั้นมีความรวดเร็วกว่าซึ่งเหมาะสมกับการคำนวณเพื่อการออกแบบขั้นต้นหรือเป็นแนวทางในการเลือกใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคาร

2.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

2.2.1 หลักการและกระบวนการของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

การทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เป็นการสร้างแบบจำลองอาคาร (Building Model) ขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยแบบจำลองอาคารนี้ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคาร (Building Component) เช่น เสา ผนัง พื้น หลังคา ประตู หน้าต่าง ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ จะประกอบไปด้วยข้อมูลกราฟิก (Graphics) ทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ เช่น ขนาด ระยะ สี วัสดุ เป็นต้น และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-Graphics) เช่น ข้อมูลผู้ผลิต รุ่น ราคา เป็นต้น ซึ่ง BIM จะทำการเก็บแบบจำลองอาคารพร้อมข้อมูลสารสนเทศทั้งหมด รวมไว้ที่ฐานข้อมูลกลางของระบบ (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

BIM สามารถแสดงผลแบบจำลองอาคารให้อยู่ในรูปของมุมมอง (View) ลักษณะต่างๆ ที่เหมาะสมตามการใช้งานได้ เช่น มุมมองรูป 2 มิติ ได้แก่ ผังพื้น รูปด้าน รูปตัด หรือมุมมองรูป 3 มิติ ได้แก่ รูปทัศนียภาพ รูป Isometric เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปของตารางรายการข้อมูลต่างๆ เช่น ปริมาณวัสดุ หรือพื้นที่ใช้สอย จากแบบจำลองอาคารได้อีกด้วย เนื่องจาก BIM จัดเก็บข้อมูลแบบจำลองอาคารทั้งหมดรวมอยู่ในฐานข้อมูลกลาง ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขส่วนใดในแบบจำลองอาคาร การแก้ไขก็จะส่งผลไปยังฐานข้อมูลกลาง ทำให้การแสดงผลแบบจำลองอาคารในทุกมุมมองที่เกี่ยวข้อง มีความเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นอกจากนี้ BIM ยังมีการสร้างความสัมพันธ์ด้านตัวแปร (Parameter) ระหว่างองค์ประกอบในแบบจำลองอาคาร ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดและระยะต่างๆ ของงานออกแบบได้สะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

ปัจจุบันมีโปรแกรม BIM อยู่หลายผลิตภัณฑ์ เช่น Autodesk Revit โดยบริษัท Autodesk, ArchiCAD โดยบริษัท Graphisoft, Vectorworks และ Allplan Architecture โดยบริษัท Nemetschek, AECOsim Building Designer โดยบริษัท Bentley System, Inc., Tekla Structure โดยบริษัท Tekla, Solibri Model Checker และ Solibri Model Viewer โดยบริษัท Solibri โดยที่ซอฟต์แวร์แต่ละตัวต่างก็มีลักษณะของการจัดเก็บไฟล์ข้อมูลที่แตกต่างกัน และไม่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างสมบูรณ์ จึงเกิดแนวคิดที่จะกำหนดมาตรฐานข้อมูลกลางเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างซอฟต์แวร์ BIM โดยหน่วยงานชื่อ buildingSMART (เดิมคือ IAI

หรือ International Alliance for Interoperability) ได้พัฒนามาตรฐานข้อมูลกลางขึ้น มีชื่อเรียกว่า "IFC" (Industry Foundation Classes) ขึ้น (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

Revit เป็นผู้นำตลาดที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดสำหรับโปรแกรมแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ในด้านการออกแบบสถาปัตยกรรม โดยได้ออกวางจำหน่ายโดยบริษัท Autodesk ในปี ค.ศ.2002 ซึ่งโปรแกรม Autodesk Revit เป็นแพลตฟอร์มที่แยกออกมาจาก Autodesk AutoCAD โดยมีลักษณะโครงสร้างของไฟล์ที่มีความแตกต่างกัน โดยโปรแกรม Revit ประกอบไปด้วย โปรแกรม Revit Architecture, Revit Structure และ Revit MEP การใช้งานโปรแกรมสามารถใช้บนระบบปฏิบัติการ Windows และ Macs โดยใช้งานผ่าน Windows BootCamp@ plug-in ทั้งระบบ แบบ 32 บิต และ 64 บิต (Eastman, Teicholz, Sacks and Liston, 2011)

ในด้านการใช้งาน Revit มีส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่ใช้งานง่าย เมนูมีการจัดระเบียบตามขั้นตอนการทำงานออกแบบ การแก้ไขแบบสามารถทำได้จากทั้งแบบ 2 มิติ และจากแบบจำลอง โปรแกรม Revit สามรถสร้างวัตถุที่ประกอบด้วยตัวแปร (Parametric) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ และสร้างกฎความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ได้ (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2556) ทำให้ Revit เป็นโปรแกรมที่มีกระบวนการทำงานในรูปแบบ BIM ที่เป็นที่นิยมที่สุดในประเทศ เนื่องจากความสามารถที่ครบถ้วน ทั้งในด้านงานสถาปัตยกรรม งานวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมงานระบบ และสามารถใช้โปรแกรมเดียวกันในการทำงาน รวมถึงการส่งต่องานไปให้ฝ่ายทำงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้รับเหมางานอาคารระบบต่าง ๆ ผู้ออกแบบ เจ้าของงาน และที่ปรึกษาโครงการ เป็นต้น โดยที่ผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะได้รับข้อมูลที่มีการอัพเดทตลอดเวลา ซึ่งทาง Autodesk มีซอฟต์แวร์รองรับการทำงานไว้ได้ทั้งหมด (ซินเนอร์จี้ซอฟต์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือเสริม

เครื่องมือเสริมหรือซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการออกแบบเชิงคำนวณ (Computational Design) หรือซอฟต์แวร์การออกแบบเชิงพาราเมตริก (Parametric Design) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อยอดจาก Computer-Aided Design (CAD) โดยผู้ใช้สามารถสร้างตัวแปรและกฎในการออกแบบด้วยภาษาโปรแกรม (Programming Languages) เช่น Python, Ruby, C#, และ C++ และภาษาโปรแกรมเชิงทัศน์ (Visual Programming Languages) เช่น Grasshopper และ Dynamo หรือใช้งานผ่านส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) ของโปรแกรมสำเร็จรูป (Package Program) เช่น ฟังก์ชั่น Parametric ของโปรแกรม Autodesk AutoCAD, Dynamic Components ของโปรแกรม Trimble SketchUp, และโปรแกรม Autodesk Revit (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

Dynamo เป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับนักออกแบบเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบเชิงคำนวณ (Computational Design) โดยใช้การเขียนโปรแกรมเชิงทัศน์ (Visual Programming) ในการสร้างคำสั่งหรือขั้นตอนวิธี (Algorithms) (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

การเขียนโปรแกรมเชิงทัศน์ (Visual Programming) เป็นวิธีการเขียนโปรแกรมรูปแบบหนึ่งซึ่งให้ผู้เขียนโปรแกรมสร้างโปรแกรมผ่านทางภาพกราฟิกแทนที่จะเป็นการโปรแกรมด้วยข้อความ (Textual Programming) (Craft aiteam, 2015) การเขียนโปรแกรมเชิงทัศน์ทำได้โดยการเชื่อมต่อตัวแปรและคำสั่งต่างๆ ที่แสดงผลในรูปแบบของภาพกราฟฟิกเข้าด้วยกัน ทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจของสถาปนิกและนักออกแบบซึ่งอาจจะไม่มีพื้นฐานทางด้านการเขียนโปรแกรมมาก่อน (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

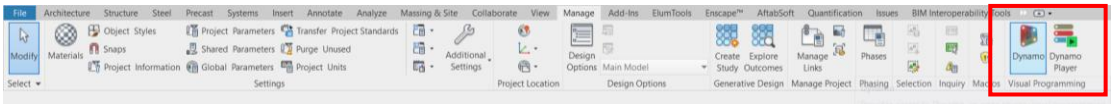
Dynamo ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยเป็นส่วนเสริม (Add-on) ของซอฟต์แวร์ Autodesk Revit หลังจากนั้นจึงพัฒนาแยกออกมาเป็นซอฟต์แวร์เดี่ยว (Standalone) คือ Dynamo Sandbox ซึ่งสามารถใช้ได้ฟรี และ Dynamo Studio ซึ่งสามารถนำเข้าและส่งออกไฟล์ DWG ได้ แต่ Dynamo เวอร์ชั่นที่เป็นส่วนเสริมของ Autodesk Revit ก็ยังคงถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง (Autodesk, 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

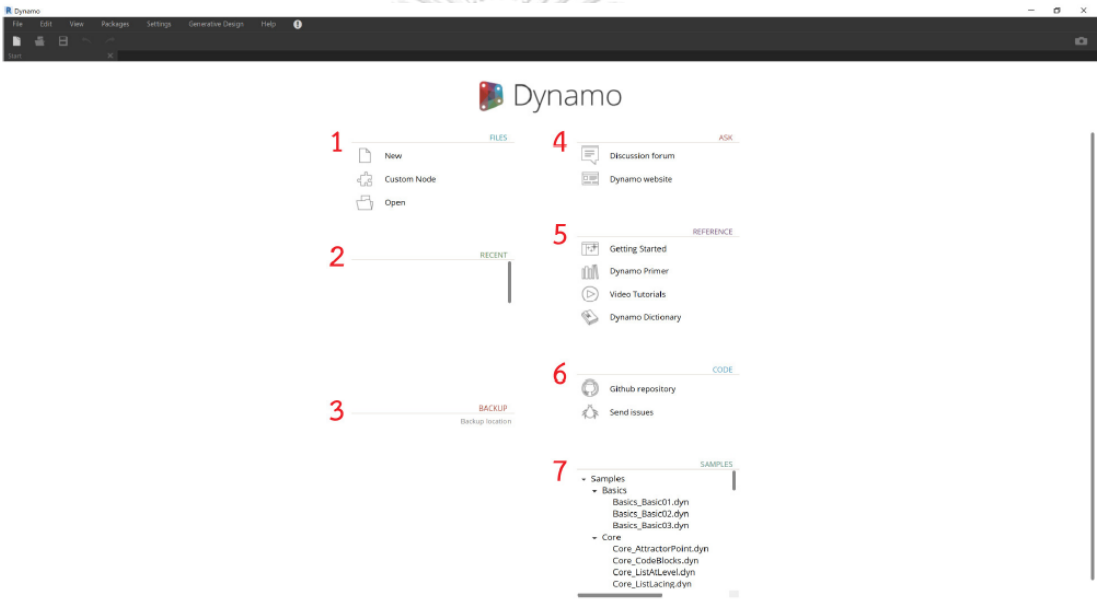
โดยพื้นฐานการทำงานของ Dynamo ที่จำเป็นและควรทราบในการเริ่มต้นใช้งาน รวมถึงหน้าต่างในการเรียกใช้เครื่องมือ คำสั่งต่าง ๆ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

2.2.2.1 User Interface ของ Dynamo

สามารถเข้าถึงโปรแกรม Dynamo ได้จากการเลือก แถบคำสั่ง (Menu Bar) ในหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Revit เลือก Manage ไปที่ Visual Programming แล้วคลิกที่คำสั่ง Dynamo จากนั้นจะมีหน้าต่าง Dynamo ขึ้นดังภาพ 2.27

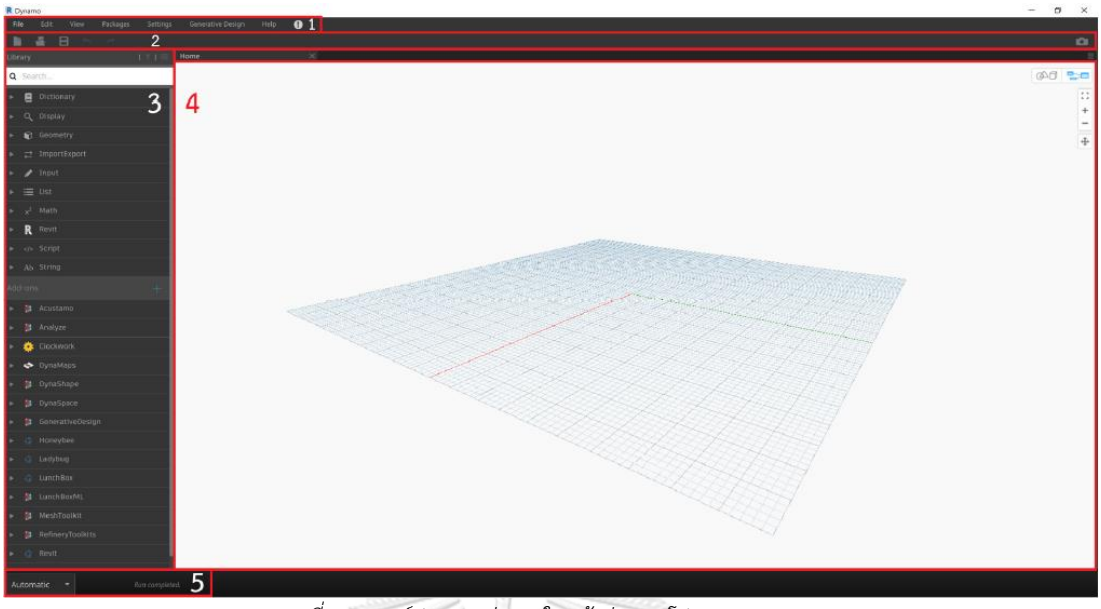


ภาพที่ 2.26 การเข้าถึงโปรแกรม Dynamo จากโปรแกรม Revit



ภาพที่ 2.27 องค์ประกอบต่าง ๆ ในหน้าต่างของการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม Dynamo
ที่มา: 01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์] (หน้า 11), โดย ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

1. **Files** สามารถเลือกสร้างไฟล์ใหม่หรือเปิดไฟล์เดิมหรือสร้าง Custom Node
2. **Recent** สามารถเลือกไฟล์ที่เคยเปิดก่อนหน้านี้ได้อย่างรวดเร็ว
3. **Backup** สามารถเปิดไฟล์ Backup ที่เกิดขึ้น
4. **Ask** สามารถเข้าไปยังเว็บไซต์ของ Dynamo และ Forum เพื่อถามปัญหาได้อย่างรวดเร็ว
5. **Reference** สามารถเข้าไปยังส่วนการเรียนรู้ต่าง ๆ ของ Dynamo
6. **Code** สามารถส่งปัญหาหรือมีส่วนร่วมในการพัฒนา Dynamo ผ่าน Github
7. **Samples** สามารถดูไฟล์ตัวอย่างของ Dynamo ที่มาพร้อมการติดตั้งซอฟต์แวร์ (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)



ภาพที่ 2.28 องค์ประกอบต่าง ๆ ในหน้าต่างของโปรแกรม Dynamo

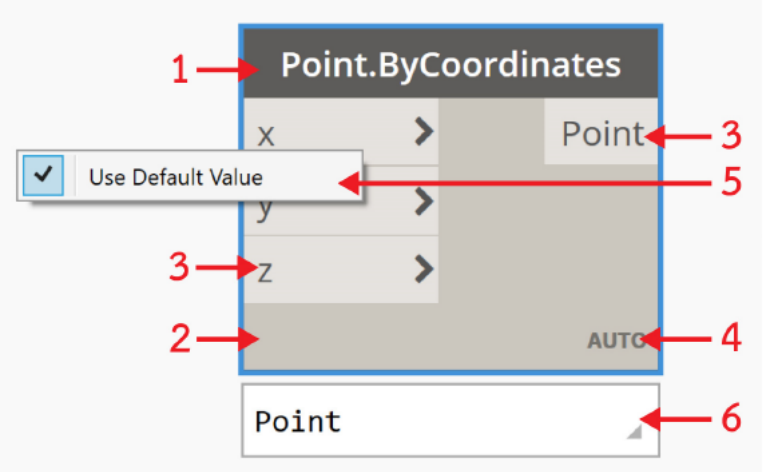
ที่มา: 01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์] (หน้า 11), โดย ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

1. **Menus** เป็นส่วนที่สามารถเข้าถึงฟังก์ชั่นพื้นฐานของ Dynamo application ได้เช่นเดียวกับซอฟต์แวร์อื่น ๆ ของWindows ประกอบไปด้วย File, Edit, View, Packages, Settings, Generative Design, และ Help
2. **Toolbar** เป็นส่วนที่บรรจุปุ่มคำสั่งที่เข้าถึงได้อย่างรวดเร็วประกอบไปด้วย New, Open, Save, Undo, Redo, และ Export Workspace เป็นภาพ PNG
3. **Library** เป็นส่วนที่บรรจุชุดคำสั่งสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่า โหนด (Nodes) สำหรับการนำไปใช้ในการสร้างโปรแกรมเชิงทัศน์ (Visual Programs)
4. **Workspace** เป็นพื้นที่ในการสร้างโปรแกรมเชิงทัศน์ (Visual Programs) และแสดงผล
5. **Execution Bar** เป็นส่วนในการสั่งให้โปรแกรมเริ่มดำเนินการ โดยสามารถเลือกให้โปรแกรมดำเนินการอย่างอัตโนมัติ (Automatic Mode) หรือต้องคลิก Run (Manual Mode) (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2.2 Node และ Connection

โหนด (Node) แต่ละโหนดจะมีหน้าที่ในการดำเนินการ (Operation) คำสั่งบางอย่าง โดยทั่วไปโหนดจะประกอบไปด้วย 6 ส่วน ดังนี้



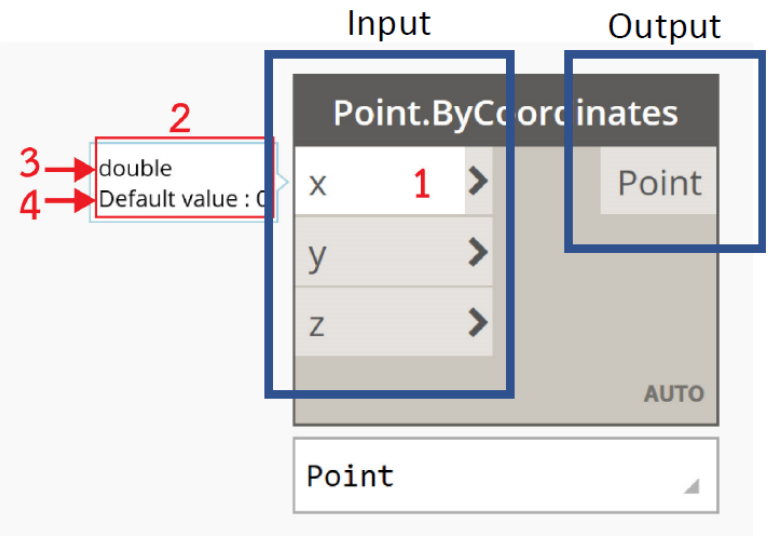
ภาพที่ 2.29 องค์ประกอบต่าง ๆ ภายใน Node

ที่มา: 01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์] (หน้า 17), โดย ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

1. **ชื่อโหนด**
2. **ตัวโหนด** เป็นพื้นที่หลักของโหนด หากคลิกเมาส์ปุ่มขวาบริเวณนี้จะเป็นการเรียกเมนู
3. **Ports (Input และ Output)** เป็นจุดที่ใช้ในการเชื่อมต่อสาย (Wires) กับโหนดอื่น Ports ด้านซ้ายเป็นจุดรับ Input ส่วน Ports ด้านขวาเป็นจุด Output
4. **Lacing Icon** เป็นส่วนที่แสดงรูปแบบการ Lacing หรือการจัดคู่ของข้อมูลจาก Input ประกอบไปด้วย Auto, Shortest, Longest, และ Cross Product
5. **Default Value** เมื่อคลิกเมาส์ปุ่มขวาที่บริเวณ Input Port บางโทนตจะมีค่าพื้นฐานซึ่งสามารถเลือกใช้หรือไม่ใช้ก็ได้
6. **Data Preview** เมื่อนำเมาส์วางไว้บนโหนต จะปรากฏ Popup แสดงชนิดของข้อมูล Output ที่ด้านล่างของโหนด (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การนำเมาส์ไปวางไว้ที่ Port ที่ต้องการ จะปรากฏ Tool Tip ขึ้นมา สำหรับ Input Port จะมีข้อมูลแสดง 2 บรรทัด บรรทัดแรกแสดงประเภทของข้อมูล (Data Type) ส่วนบรรทัดที่สองแสดง Default Value ส่วน Output Port จะแสดงแค่ประเภทของข้อมูล (Data Type)



ภาพที่ 2.30 การแสดงข้อมูลต่าง ๆ ภายใน Node

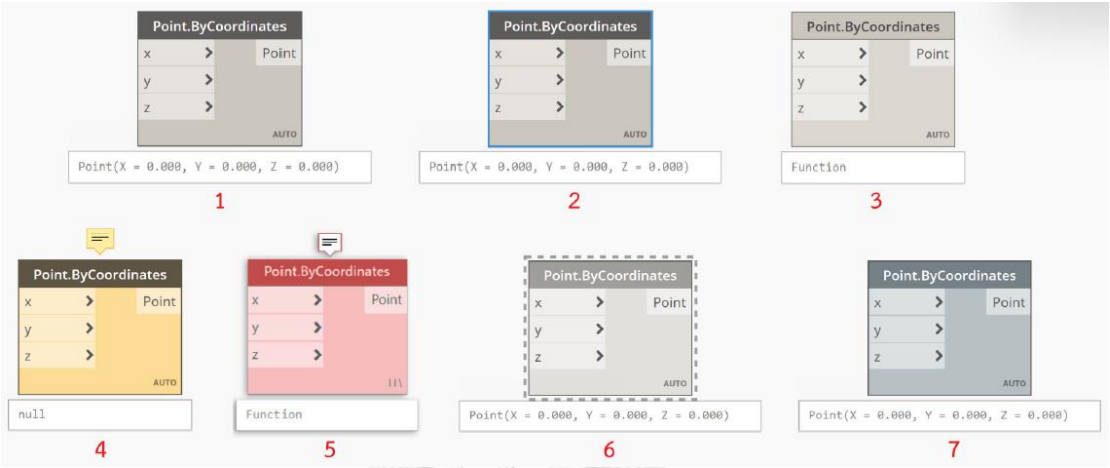
ที่มา: 01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์] (หน้า 17), โดย ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

1. ชื่อ Port (Port Label)
2. Tool Tip
3. ประเภทของข้อมูล (Data Type)
4. ค่าเริ่มต้น (Default Value)

(ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การแสดงสถานะ (Status) การทำงานของโหนด (Node) สามารถสังเกตได้จากสีที่ปรากฏขึ้นบนโหนดนั้น ๆ โดยแบ่งออกเป็น ดังนี้



ภาพที่ 2.31 รูปแบบการแสดงสถานการณ์ทำงานของ Node

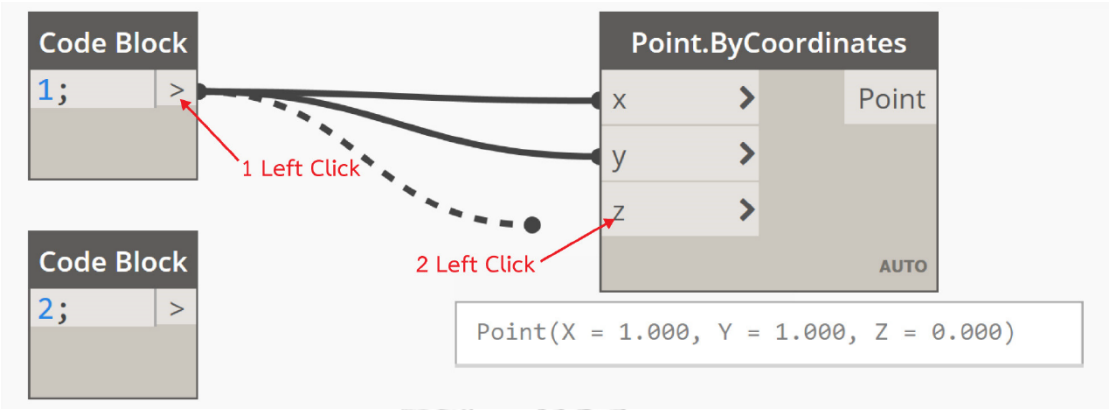
ที่มา: 01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์] (หน้า 18), โดย ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

1. **Active** ไม่มี error ใด ๆ
2. **Selected** โหนดนั้นถูกเลือกอยู่
3. **Inactive** ยังไม่ได้รับการเชื่อมต่อข้อมูลเข้า
4. **Warning** มีบางอย่างผิดปกติถูกปิดไว้
5. **Error** แสดงสถานะว่าโหนดนั้น Error หรือมีข้อผิดพลาดอยู่
6. **Freeze** โหนดนั้นถูกเลือกไว้ไม่ให้ประมวลผล
7. **Background Preview Off** Geometry จากโหนดนั้นถูกปิดไว้

(ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wires เป็นการเชื่อมโยงระหว่างโหนด (Node) แต่ละโหนด เพื่อสร้างความสัมพันธ์และให้เกิด Flow ของข้อมูลใน Visual Program



ภาพที่ 2.32 การเชื่อมโยงของ Wires จาก Node หนึ่งไปยังอีก Node หนึ่ง

ที่มา: 01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์] (หน้า 17), โดย ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การสร้าง Wires เริ่มจากเชื่อมโยง Output Port ของโหนด (Node) หนึ่งไปยัง Input Port ของอีกโหนดหนึ่ง ซึ่งในการทำงานปกติแล้วจะจัดเรียงหน้าต่างการทำงานจากซ้ายไปขวา ดังภาพที่ 2.33 เพื่อให้ง่ายต่อการดูภาพรวมของข้อมูลทั้งหมด และหากต้องการแก้ไข Wires สามารถทำได้โดยคลิก Wires ของ Input Port ของโหนดที่ต้องการแก้ไขออกหรือนำไปเชื่อมกับโหนดใหม่ที่ต้องการ (The Dynamo Primer, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ส่วนใหญ่จะค้นพบเป็นงานวิจัยในประเทศไทย ส่วนงานวิจัยในต่างประเทศจะเป็นการนำเครื่องมือที่มีอยู่แล้วมาเปรียบเทียบผลลัพธ์และหาวิธีที่เหมาะสมในการออกแบบแต่ละขั้นตอนให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการ โดยได้สรุปวัตถุประสงค์ของงานวิจัยต่าง ๆ ในไทย ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งงานวิจัยทั้งหมดมีวัตถุประสงค์ เพื่อคำนวณหาค่าที่ส่งผลต่อการออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ทางสถาปัตยกรรม

ตารางที่ 0.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

หัวข้อ	ผู้วิจัย	ปี พ.ศ.	ผลของเครื่องมือที่พัฒนา
การพัฒนาโปรแกรมเสริมในแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศอาคาร เพื่อช่วยวิเคราะห์เสนทางหนีไฟในอาคาร	ณัชชา เอกร่าเริงแสน	2559	การใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการประเมิน ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เนื่องจากการปรับแก้แบบสถาปัตยกรรมให้ตรงกับมาตรฐานทางหนีไฟ
การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการตรวจสอบกฎหมายอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร: กรณีศึกษา อาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานคร	วรพงศ โรจนอนุสรณ	2559	การใช้ข้อมูลในแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อใชตรวจสอบกับกฎหมาย สงผลใหสามารถลดปัญหาในการขออนุญาตการก่อสร้าง ทำให้ช่วยลดเวลาและคาใชจายจากการปรับแกแบบสถาปตยกรรม
แนวทางการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น	อภิเกียรติ เจริญสุทธิโยธิน	2560	การเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ กับโปรแกรม BEC V.1.0.6 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ได้เครื่องมือในการคำนวณค่า OTTV ที่มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1-3%
เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา: อาคารพักอาศัย	ธัญพร ค้ำไพโรจน์	2560	การนำข้อมูลจากแบบจำลอง Revit มาคำนวณผ่านส่วนเสริม Dynamo ที่พัฒนาขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้คือ เครื่องมือที่มีความแม่นยำ และการลดระยะเวลาการทำงาน
การพัฒนาโปรแกรมเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อช่วยในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พื้นที่อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย	ปวริศร์ คำมุลตรี	2562	ช่วยลดกระบวนการทำงานที่ซ้ำซ้อน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานข้อมูลในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร รวมถึงช่วยลดระยะเวลาในการประเมินผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อ	ผู้วิจัย	ปี พ.ศ.	ผลของเครื่องมือที่พัฒนา
การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น	ภัทรพล วัชรเมธากุล	2562	ค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณสูงสุดประมาณ ±2.52% ซึ่งเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองอาคารที่มีผลต่อการใช้งานชุดคำสั่งภายในโปรแกรม Dynamo โดยเฉพาะองค์ประกอบ (Component) ที่มีพื้นผิวจำนวนมาก

โดยงานวิจัยเหล่านี้มีวิธีการวิจัยในทิศทางเดียวกันคือ จำเป็นต้องเริ่มศึกษาจากการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้คำนวณในปัจจุบัน เพื่อหาทิศทางในการต่อยอดและพัฒนาเครื่องมือให้ตรงตามความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานให้มากที่สุด ส่วนใหญ่จากงานวิจัยที่ค้นพบในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้เลือกใช้ข้อมูลจากแบบจำลองบนโปรแกรม Revit มาคำนวณผ่านการพัฒนาเครื่องมือเสริม Dynamo โดยสามารถสรุปออกมาได้ ดังนี้

1. การศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. สำรวจความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการทำแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องและทดลองใช้เครื่องมือที่มีอยู่เดิม และศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรม
3. พัฒนาเครื่องมือโดยใช้โปรแกรม Revit และโปรแกรมเสริม Dynamo
4. ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้น
5. นำเครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนามาสาธิตวิธีการใช้งานเครื่องมือ

2.3 สรุปแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

แสงธรรมชาติในประเทศไทยเพียงพอที่จะสามารถทำให้มีนาฬิกาชีวภาพที่ดีได้ แต่ในทางกลับกันการใช้งานของอาคารสำนักงานนั้นไม่สามารถใช้เพียงแสงธรรมชาติอย่างเดียวได้ เพราะอาจทำให้เกิดความไม่สบายตาแก่ผู้ใช้งานภายในอาคาร การประเมินแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ภายในสามารถทำให้ผู้ใช้งานในอาคารสำนักงานนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น อ้างอิงจากงานวิจัยเรื่อง แนวทางการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานให้มีความเหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตสำหรับประเทศไทย ของนางสาวจิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่ค้นพบเครื่องมือเสริมของโปรแกรม Autodesk Revit ที่สามารถคำนวณค่า Circadian Stimulus: CS หรือ Equivalent Melanopic Lux: EML ได้โดยตรงและสะดวกสำหรับสถาปนิก มีเพียงเครื่องมือที่สามารถคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวราบ หรือ Eh ได้ งานวิจัยนี้จึงต้องการต่อยอดข้อมูลที่สามารถคำนวณได้จากเครื่องมือในปัจจุบัน เพื่อประเมินค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการคำนวณตามเกณฑ์ WELL Building Standard จากหน่วยงาน IWBI ซึ่งมีหน่วยวัดผลเป็นค่า EML เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง หากเปรียบเทียบกับค่า CS ที่เป็นเกณฑ์มาจากองค์กรที่มีความเฉพาะเรื่องแสงสว่างโดยตรง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development) ที่มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ สำหรับการออกแบบอาคารสำนักงานขั้นต้น โดยมีระเบียบวิธีการวิจัย ดังนี้

3.1. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
3.2. หาแนวทางการประเมินแสงธรรมชาติที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
3.3. ศึกษาการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อกำหนดข้อมูลที่ใช้ในเครื่องมือ
3.4. พัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
3.5. ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือที่พัฒนา
3.6. สรุปผลการศึกษาและเสนอแนวทางเพื่อการพัฒนาเครื่องมือในอนาคต

3.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมโดยการรวบรวมผลงานทางวิชาการ ซึ่งประกอบไปด้วย งานวิจัย วิทยานิพนธ์ วารสารวิชาการ บทความวิชาการ และเอกสารอื่น ๆ ที่มีการตีพิมพ์และเผยแพร่ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ โดยเริ่มต้นศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้แสงของมนุษย์ที่สามารถส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพได้ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ของแสงที่จะส่งผลต่อการออกแบบ ให้มีความสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ รวมถึงการศึกษาวิธีการจัดทำเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.1 แสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
1. การรับรู้แสงของมนุษย์ที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
2. คุณสมบัติของแสงที่เกี่ยวข้องกับนาฬิกาชีวภาพ
3. เกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
4. มาตรฐานการมองเห็นของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบสี
5. เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ

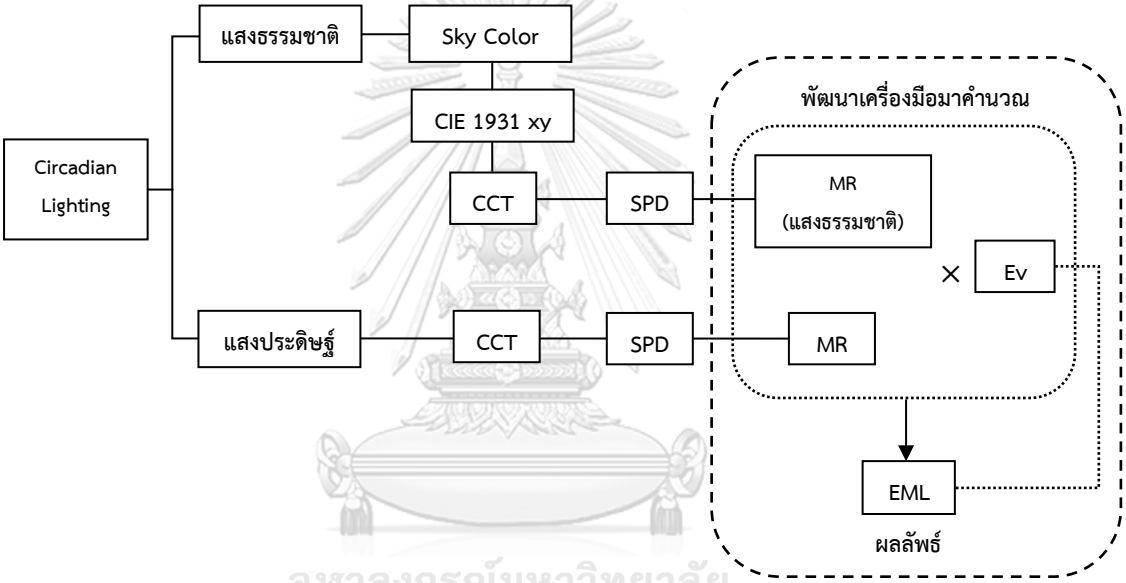
3.1.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร
1. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
2. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำเครื่องมือเสริม
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

3.1.3 สรุปแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการคำนวณตามเกณฑ์ WELL Building Standard จากหน่วยงาน IWBI ซึ่งมีหน่วยวัดผลเป็นค่า Equivalent Melanopic Lux: EML อ้างอิงจากเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL v2, Q1 2022 โดยเกณฑ์ WELL นั้นจะไม่นำปัจจัยของ Circadian light จากแสงธรรมชาติมาประเมินร่วมด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการประเมินทั้งแหล่งกำเนิดแสงจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

3.2 หาแนวทางการประเมินแสงธรรมชาติที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ

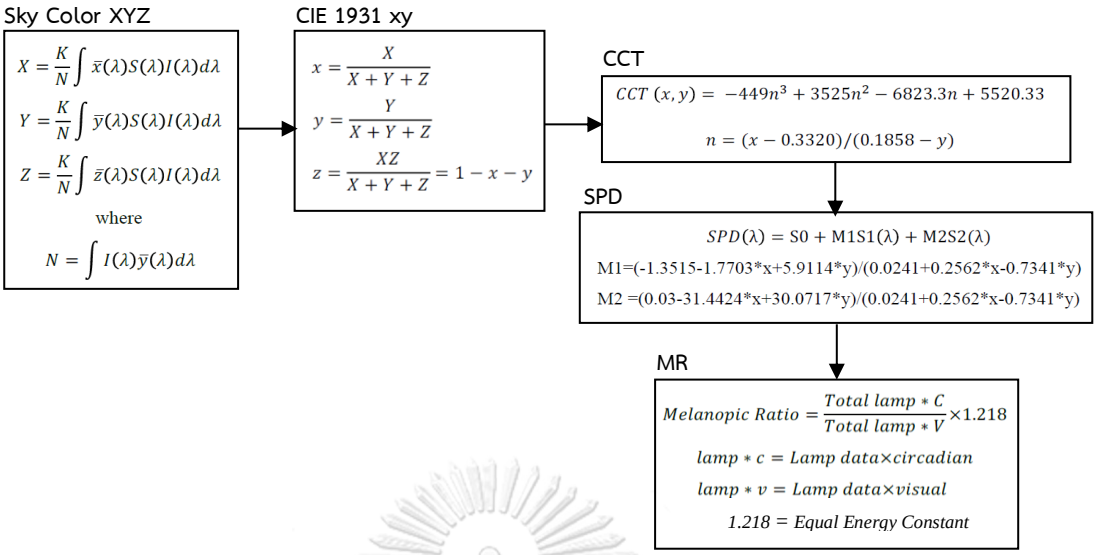
ตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL ได้ระบุการคำนวณหาค่า EML ไว้สำหรับแสงประดิษฐ์เท่านั้น ดังนั้นหากต้องการประยุกต์เพื่อการคำนวณสำหรับแสงธรรมชาติจำเป็นที่จะต้องทราบค่า MR ของแสงธรรมชาติก่อนจึงจะสามารถคำนวณหาค่า EML ได้



ภาพที่ 3.1 กรอบความคิดเรื่องการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้ได้ดึงข้อมูลจากไฟล์สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร เพื่อหาค่าพิกัด XYZ ของ Sky Color ผ่านโปรแกรมเสริม Honeybee และ Ladybug แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละพิกัดในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ 8:00 น. ถึง 18.00 น. จากนั้นจึงนำค่าพิกัดเฉลี่ย XYZ ไปหาค่า CCT ของสภาพอากาศในแต่ละช่วงวลาเพื่อนำค่าไปเข้าสมการหาค่า SPD ของแสงระหว่างช่วง 380 ถึง 730 นาโนเมตร เพื่อนำไปหาค่า MR ผ่านไฟล์ Microsoft Excel ที่ทาง WELL ได้จัดเตรียมไว้ให้

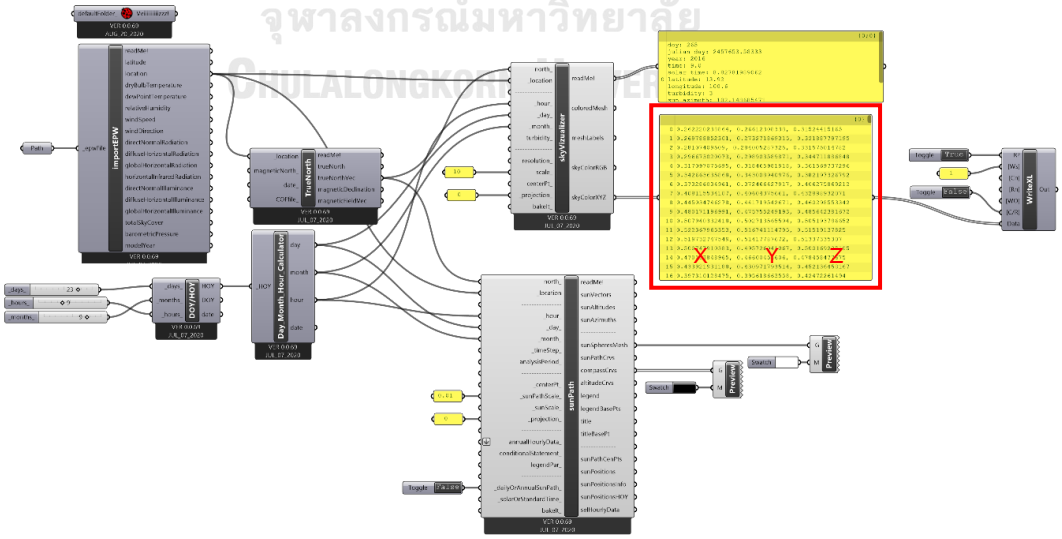


ภาพที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ

จากภาพ 3.2 แสดงลำดับขั้นตอนในการหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากหลายแหล่งทั้งการประมวลผลผ่านโปรแกรมต่าง ๆ และการใช้ฐานข้อมูลผ่านเว็บไซต์ออนไลน์

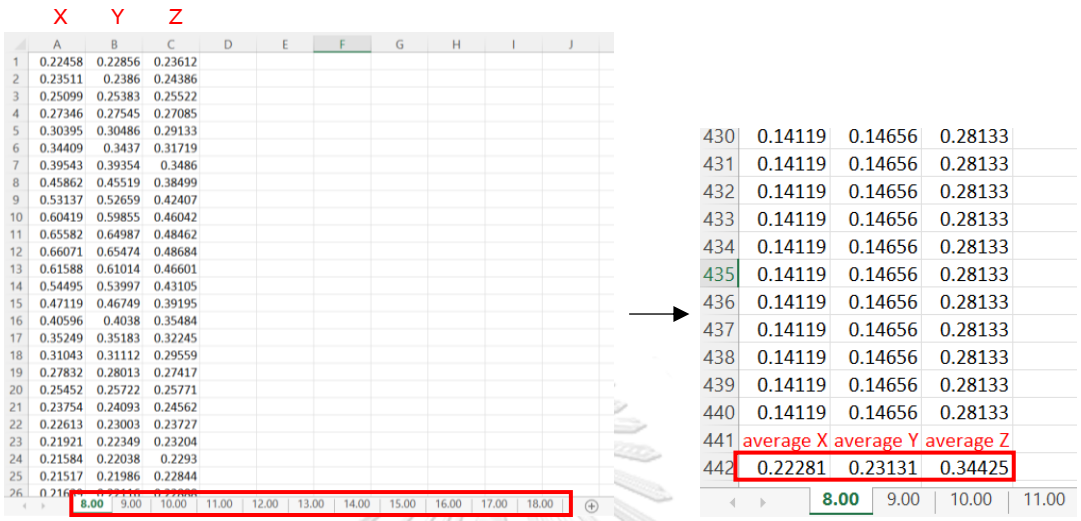
3.2.1 ขั้นตอนในการหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ

1. หาค่าพิกัด XYZ ของ Sky Color ในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ด้วยโปรแกรมเสริม Honeybee และ Ladybug โดยนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ ใช้ไฟล์ชื่อ THA_Bangkok.484560_IWEC ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ทางออนไลน์ จากนั้นตั้งค่าวัน เดือน และเวลาที่ต้องการ จะได้ค่าพิกัด XYZ เพื่อนำไปใช้ต่อดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 โปรแกรมเสริม Honeybee และ Ladybug

2. นำข้อมูลค่าพิกัด XYZ ที่หาได้ มาใส่ลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าพิกัด XYZ ให้เหลือเพียงหนึ่งค่าในแต่ละช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 8:00 น.–18.00 น.



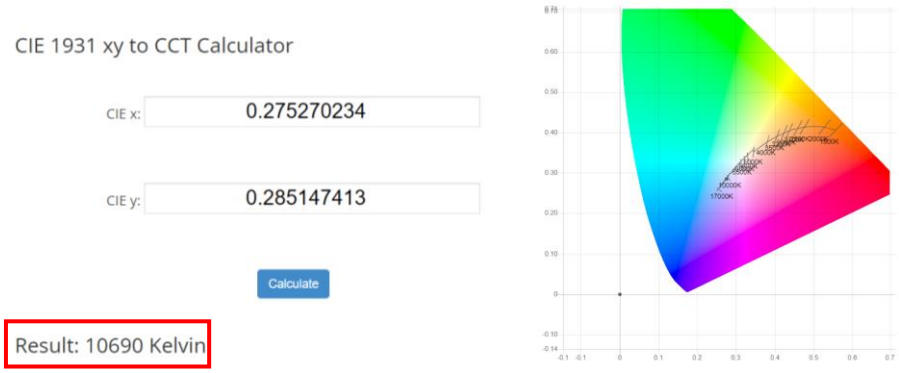
ภาพที่ 3.4 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ X Y Z ของแต่ละช่วงเวลา

3. จากนั้นนำค่าเฉลี่ย XYZ ไปเข้าสูตร เพื่อหาค่าพื้นที่สี ซึ่งระบุโดยค่า x, y และ Y หรือที่เรียกว่า CIExyY คือปริภูมิสี (Color space) จึงจะสามารถนำค่า x และ y ไปหาค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Colour Temperature: CCT) ได้โดยใส่สูตรคำนวณดังภาพ 3.5 หรือสามารถคำนวณได้ทางออนไลน์ผ่านเว็บไซต์

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
$$z = \frac{XZ}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

$$CCT\ (x,y) = -449n^3 + 3525n^2 - 6823.3n + 5520.33$$
$$n = (x - 0.3320)/(0.1858 - y)$$

ภาพที่ 3.5 สูตรการคำนวณหาค่า x y z สู่การหาค่า CCT



ภาพที่ 3.6 การคำนวณหาค่า CCT โดยการใส่ค่า CIE 1931 xy ผ่านเว็บไซต์

ที่มา: https://www.waveformlighting.com/tech/calculate-color-temperature-cct-from-cie-1931-xy-coordinates/

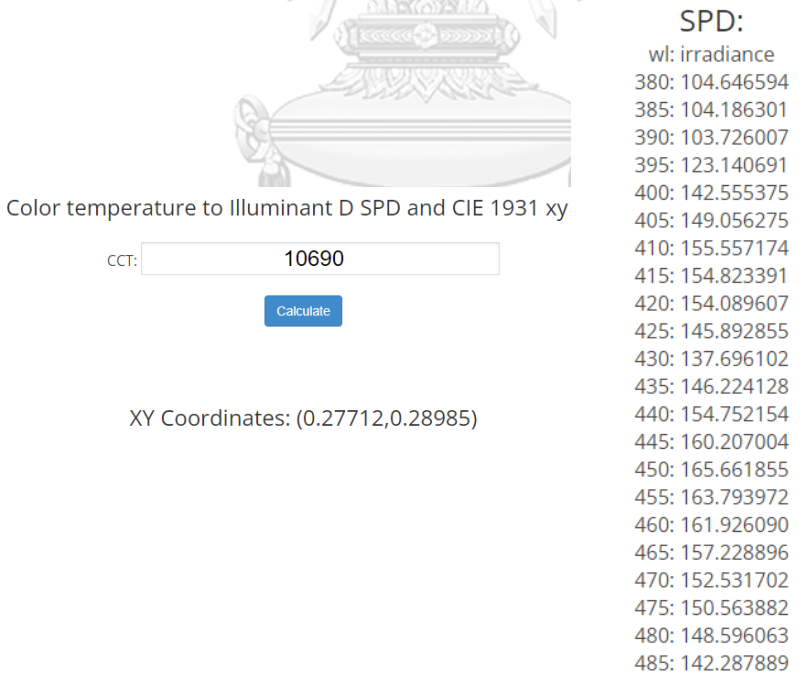
4. นำค่า CCT ไปเข้าสูตร เพื่อหาค่า SPD ได้โดยใส่สูตรคำนวณทางด้านล่างดังภาพ 3.7 หรือสามารถคำนวณได้ทางออนไลน์ผ่านเว็บไซต์

$$SPD(\lambda) = S0 + M1S1(\lambda) + M2S2(\lambda)$$

M1=(-1.3515-1.7703*x+5.9114*y)/(0.0241+0.2562*x-0.7341*y)

M2 =(0.03-31.4424*x+30.0717*y)/(0.0241+0.2562*x-0.7341*y)

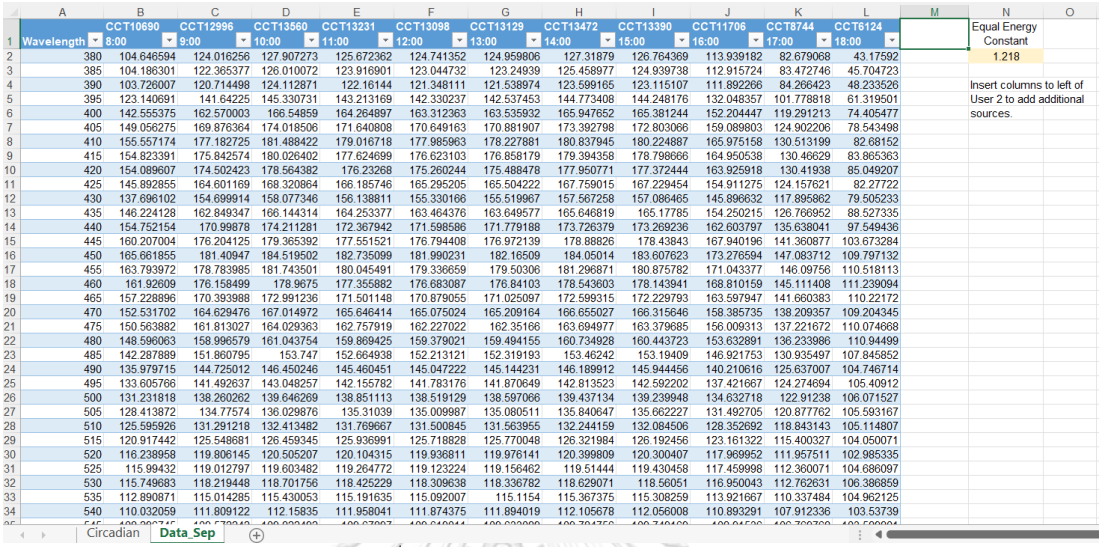
ภาพที่ 3.7 สูตรการหาค่า SPD



ภาพที่ 3.8 การคำนวณหาค่า SPD โดยการใส่ค่า CCT ผ่านเว็บไซต์

ที่มา: https://www.waveformlighting.com/tech/calculate-illuminant-d-spd-and-cie-1931-xy-from-color-temperature

5. นำค่า SPD ที่คำนวณได้ ระหว่างช่วง 380 ถึง 730 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นทุก ๆ 5 นาโนเมตร มาใส่ข้อมูลลงในไฟล์ที่ทาง WELL ได้จัดเตรียมไว้ให้ ในแท็บเวิร์กชีต (Sheet) Data



Wavelength	CCT10690 8:00	CCT12996 9:00	CCT13560 10:00	CCT13231 11:00	CCT13098 12:00	CCT13129 13:00	CCT13472 14:00	CCT13390 15:00	CCT11706 16:00	CCT8744 17:00	CCT6124 18:00
380	104.646594	124.016256	127.907273	125.672362	124.741352	124.959806	127.31879	126.764369	113.939182	82.679068	43.17592
385	104.186301	122.365377	126.010072	123.916901	123.044732	123.24939	125.458977	124.939738	112.915724	83.472746	45.704723
390	103.726007	120.714498	124.112871	122.16144	121.348111	121.538974	123.599165	123.115107	111.892266	84.266423	48.233526
395	123.140691	141.64225	145.330731	143.213169	142.330237	142.537453	144.773408	144.248176	132.048357	101.778818	61.319501
400	142.555375	162.570003	166.54859	164.264897	163.312363	163.535932	165.947652	165.381244	152.204447	119.291213	74.405477
405	149.056275	169.876364	174.018506	171.640808	170.649163	170.881907	173.392798	172.803066	159.089803	124.902206	78.543498
410	155.557174	177.182725	181.488422	179.016718	177.985963	178.227881	180.837945	180.224887	165.975158	130.513199	82.68152
415	154.823391	175.842574	180.026402	177.624699	176.623103	176.858179	179.394358	178.798666	164.950538	130.46629	83.865363
420	154.089607	174.502423	178.564382	176.23268	175.260244	175.488478	177.950771	177.372444	163.925918	130.41938	85.049207
425	145.892855	164.601169	168.320864	166.185746	165.295205	165.504222	167.759015	167.229454	154.911275	124.157621	82.27722
430	137.696102	154.699914	158.077346	156.138811	155.330166	155.519967	157.567258	157.086465	145.896632	117.895862	79.505233
435	146.224128	162.849347	166.144314	164.253377	163.464376	163.649577	165.646819	165.17785	154.250215	126.766952	88.527335
440	154.752154	170.99878	174.211281	172.367942	171.598586	171.779188	173.726379	173.269236	162.603797	135.638041	97.549436
445	160.207004	176.204125	179.365392	177.551521	176.794408	176.972139	178.88826	178.43843	167.940196	141.360877	103.673284
450	165.661855	181.40947	184.519502	182.735099	181.990231	182.16509	184.05014	183.607623	173.276594	147.083712	109.797132
455	163.793972	178.783985	181.743501	180.045491	179.336659	179.50306	181.296871	180.875782	171.043377	146.09756	110.518113
460	161.92609	176.158499	178.9675	177.355882	176.683087	176.84103	178.543603	178.143941	168.810159	145.111408	111.239094
465	157.228896	170.393988	172.991236	171.501148	170.879055	171.025097	172.599315	172.229793	163.597947	141.660383	110.22172
470	152.531702	164.629476	167.014972	165.646414	165.075024	165.209164	166.655027	166.315646	158.385735	138.209357	109.204345
475	150.563882	161.813027	164.029363	162.757919	162.227022	162.35166	163.694977	163.379685	156.009313	137.221672	110.074668
480	148.596063	158.996579	161.043754	159.869425	159.379021	159.494155	160.734928	160.443723	153.632891	136.233986	110.94499
485	142.287889	151.860795	153.747	152.664938	152.213121	152.319193	153.46242	153.19409	146.921753	130.935497	107.845852
490	135.979715	144.725012	146.450246	145.460451	145.047222	145.144231	146.189912	145.944456	140.210616	125.637007	104.746714
495	133.605766	141.492637	143.048257	142.155782	141.783176	141.870649	142.813523	142.592202	137.421667	124.274694	105.40912
500	131.231818	138.260262	139.646269	138.851113	138.519129	138.597066	139.437134	139.239948	134.632718	122.91238	106.071527
505	128.413872	134.77574	136.029876	135.31039	135.009987	135.080511	135.840647	135.662227	131.492705	120.877762	105.593167
510	125.595926	131.291218	132.413482	131.769667	131.500845	131.563955	132.244159	132.084506	128.352692	118.843143	105.114807
515	120.917442	125.548681	126.459345	125.936991	125.718828	125.770048	126.321984	126.192456	123.161322	115.400327	104.050071
520	116.238958	119.806145	120.505207	120.104315	119.936811	119.976141	120.399809	120.300407	117.969952	111.957511	102.985335
525	115.99432	119.012797	119.603482	119.264772	119.123224	119.156462	119.51444	119.430458	117.459998	112.360071	104.686097
530	115.749683	118.219448	118.701756	118.425229	118.309638	118.336782	118.629071	118.56051	116.950043	112.762631	106.386859
535	112.890871	115.014285	115.430053	115.191635	115.092007	115.1154	115.367375	115.308259	113.921667	110.337484	104.962125
540	110.032059	111.809122	112.15835	111.958041	111.874375	111.894019	112.105678	112.056008	110.893291	107.912336	103.53739

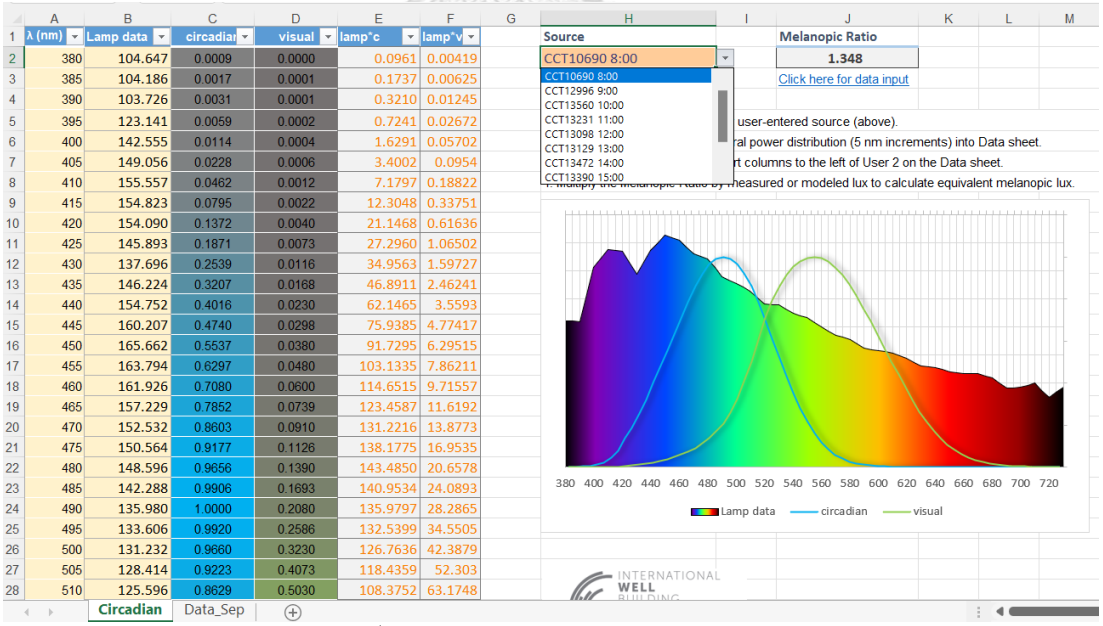
Equal Energy Constant: 1.218

Insert columns to left of User 2 to add additional sources.

Circadian | Data_Sep

ภาพที่ 3.9 การใส่ข้อมูลค่า SPD ในแต่ละช่วงเวลา

6. ในแท็บเวิร์กชีต (Sheet) Circadian จะมีการแสดงผลของค่า MR ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้ป้อนข้อมูลลงไป ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาเครื่องมือต่อได้



λ (nm)	Lamp data	circadian	visual	lamp°c	lamp°v
380	104.647	0.0009	0.0000	0.0961	0.00419
385	104.186	0.0017	0.0001	0.1737	0.00625
390	103.726	0.0031	0.0001	0.3210	0.01245
395	123.141	0.0059	0.0002	0.7241	0.02672
400	142.555	0.0114	0.0004	1.6291	0.05702
405	149.056	0.0228	0.0006	3.4002	0.0954
410	155.557	0.0462	0.0012	7.1797	0.18822
415	154.823	0.0795	0.0022	12.3048	0.33751
420	154.090	0.1372	0.0040	21.1468	0.61636
425	145.893	0.1871	0.0073	27.2960	1.06502
430	137.696	0.2539	0.0116	34.9563	1.59727
435	146.224	0.3207	0.0168	46.8911	2.46241
440	154.752	0.4016	0.0230	62.1465	3.5593
445	160.207	0.4740	0.0298	75.9385	4.77417
450	165.662	0.5537	0.0380	91.7295	6.29515
455	163.794	0.6297	0.0480	103.1335	7.86211
460	161.926	0.7080	0.0600	114.6515	9.71557
465	157.229	0.7852	0.0739	123.4587	11.6192
470	152.532	0.8603	0.0910	131.2216	13.8773
475	150.564	0.9177	0.1126	138.1775	16.9535
480	148.596	0.9656	0.1390	143.4850	20.6578
485	142.288	0.9906	0.1693	140.9534	24.0893
490	135.980	1.0000	0.2080	135.9797	28.2865
495	133.606	0.9920	0.2586	132.5399	34.5505
500	131.232	0.9660	0.3230	126.7636	42.3879
505	128.414	0.9223	0.4073	118.4359	52.303
510	125.596	0.8629	0.5030	108.3752	63.1748

Source: CCT10690 8:00

CCT10690 8:00
CCT12996 9:00
CCT13560 10:00
CCT13231 11:00
CCT13098 12:00
CCT13129 13:00
CCT13472 14:00
CCT13390 15:00

Melanopic Ratio: 1.348

Click here for data input

user-entered source (above).
ral power distribution (5 nm increments) into Data sheet.
rt columns to the left of User 2 on the Data sheet.
measured or modeled lux to calculate equivalent melanopic lux.

380 400 420 440 460 480 500 520 540 560 580 600 620 640 660 680 700 720

Lamp data | circadian | visual

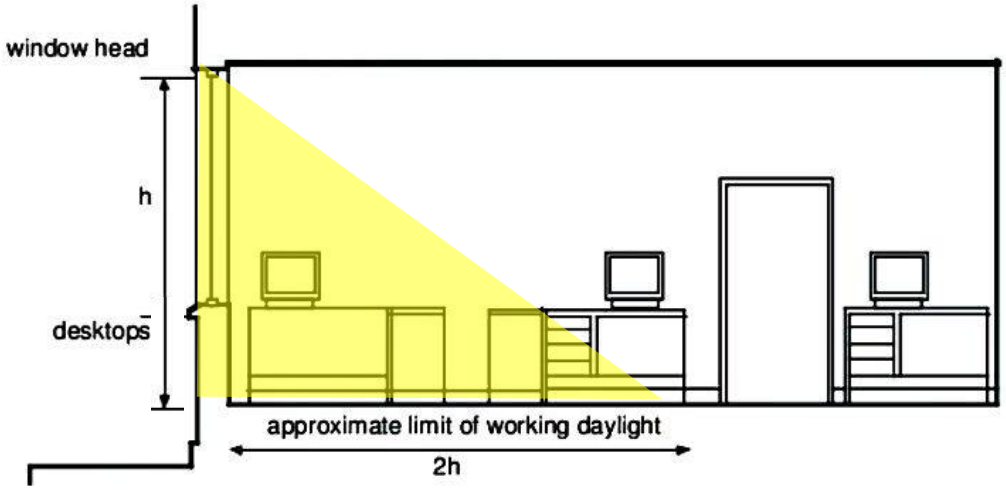
INTERNATIONAL WELL BUILDING

Circadian | Data_Sep

ภาพที่ 3.10 การแสดงผลของค่า MR ในแต่ละช่วงเวลา

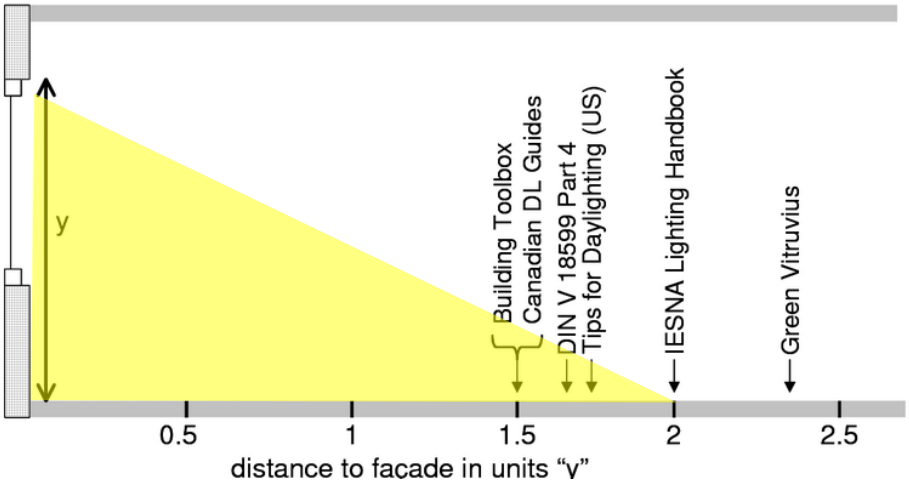
3.2.2 การคิดพื้นที่ของแสงธรรมชาติ

การพิจารณาแบ่งพื้นที่สำหรับแสงธรรมชาติ คิดจากพื้นที่ที่ติดกรอบรอบอาคารที่มีช่องเปิดให้แสงเข้ามา โดยในการวิจัยนี้จะคิดระยะของแสงที่ส่องผ่านเข้ามาในพื้นที่ใช้งานในแนวระนาบเป็น 2 เท่าของระดับความสูงช่องเปิดหรือกระจกที่มีแสงส่องผ่านเข้ามา อ้างอิงตามเกณฑ์ Leadership in Energy and Environmental Design: LEED Version 3 โดยสภาอาคารสีเขียวสหรัฐอเมริกาหรือ U.S. Green Building Council: USGBC ในหัวข้อคุณภาพสภาพแวดล้อมภายใน (Indoor Environmental Quality) มีการให้คะแนนในเรื่อง Daylight ในตัวเลือก Option 2. Prescriptive



ภาพที่ 3.11 การวัดระยะของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในพื้นที่

ที่มา: https://www.jaloxa.eu/resources/presentations/docs/Jacobs-Daylight_Architect-20101201.pdf



ภาพที่ 3.12 เปรียบเทียบระยะของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในพื้นที่ตามแต่ละรูปแบบ

ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Predictions-of-the-depth-of-the-daylit-area-for-different-versions-of-the-daylighting_fig1_44088466

3.3 ศึกษาการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อกำหนดข้อมูลที่ใช้ในเครื่องมือ

การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit ควบคู่กับเครื่องมือเสริม Dynamo เริ่มจากศึกษาการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางในการกำหนดข้อมูลและตัวแปรที่จำเป็นสำหรับการคำนวณหาค่า Equivalent Melanopic Lux: EML รวมถึงการศึกษาข้อจำกัดและปัญหาในการทำงานของโปรแกรมที่มีอยู่ ซึ่งปัจจุบันเครื่องมือเสริม Dynamo ที่ทำงานผ่านการดึงข้อมูลจากโปรแกรม Autodesk Revit นั้นยังไม่มีเครื่องมือที่สามารถประเมินค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพได้ มีเพียงเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างได้เท่านั้น โดยตัวโปรแกรม Revit เองนั้นสามารถคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวราบ (Horizontal illuminance: Eh)

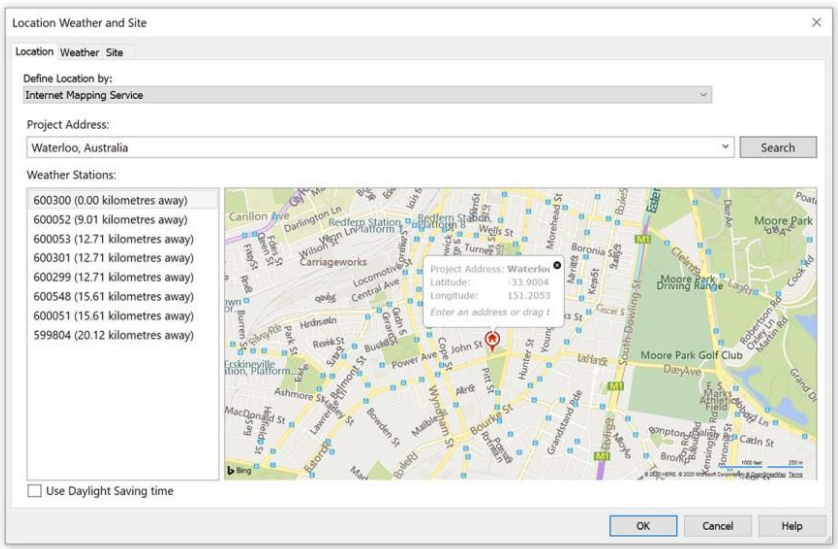
3.3.1 ขั้นตอนการหาค่าความส่องสว่างผ่านเครื่องมือเสริม Insight ใน Revit

1. ติดตั้ง Plugin Insight ใน Revit จากนั้นไปที่แถบคำสั่ง (Menu Bar) เลือกวิเคราะห์การออกแบบ (Analyze the Design)

ภาพที่ 3.13 การเข้าถึง Plugin Insight จากโปรแกรม Revit

หมายเหตุ. จาก https://parametricmonkey.com/2020/04/14/insight-lighting-analysis/

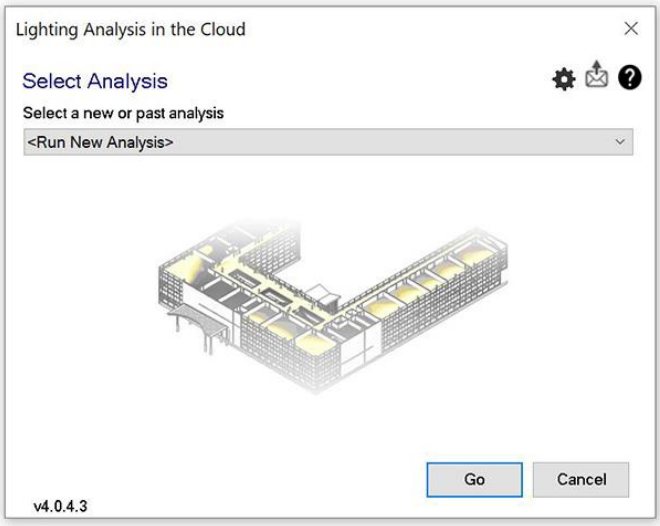
2. กำหนดที่ตั้งโครงการที่แถบคำสั่ง (Menu Bar) เลือก Manage ไปที่คำสั่ง Project Location เลือก Location



ภาพที่ 3.14 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงกำหนดที่ตั้งโครงการ

ที่มา: https://parametricmonkey.com/2020/04/14/insight-lighting-analysis/

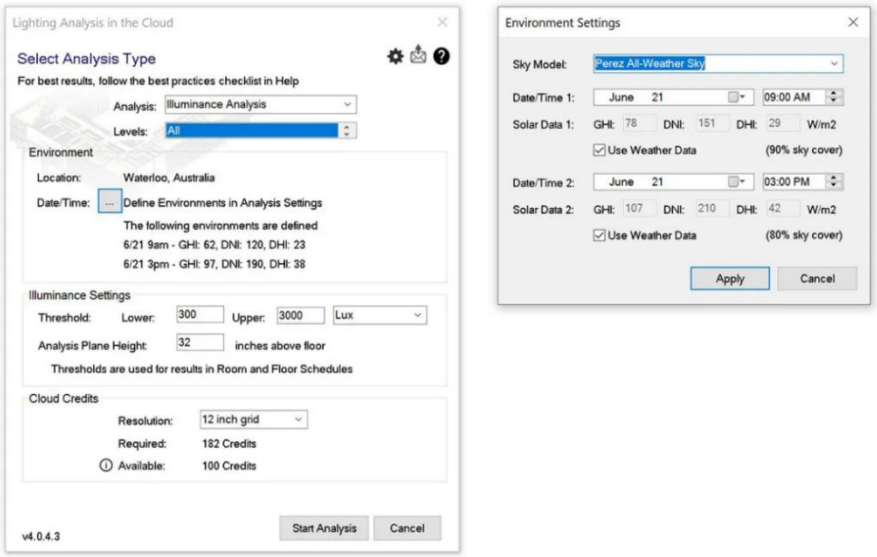
3. การวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analysis) เลือกหัวข้อการวิเคราะห์แสง (Lighting Analysis) และเลือกคลิกที่ Go จะมีการสร้างมุมมอง 3 มิติที่ชื่อว่า “_InsightLighting Model View” โดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 3.15 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการเริ่มต้นวิเคราะห์พลังงาน

ที่มา: https://parametricmonkey.com/2020/04/14/insight-lighting-analysis/

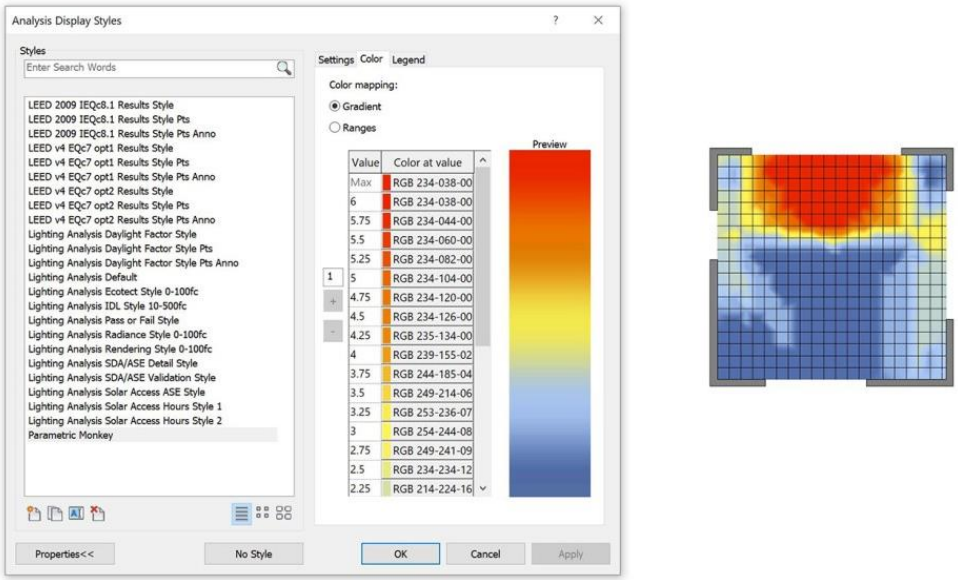
4. ตั้งค่าเลือกระดับชั้น (Level) ที่ต้องการคำนวณ กำหนดระยะและความสูงของระนาบในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งสามารถเลือกคำนวณได้ทั้งค่า Eh จากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์โดยการดึงข้อมูลจากแบบจำลองใน Revit และตั้งค่าสภาพแวดล้อมเลือกวัน เวลา และรูปแบบของท้องฟ้าที่ต้องการใช้ในแบบจำลอง



ภาพที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการตั้งค่าในการเริ่มต้นวิเคราะห์พลังงาน

ที่มา: https://parametricmonkey.com/2020/04/14/insight-lighting-analysis/

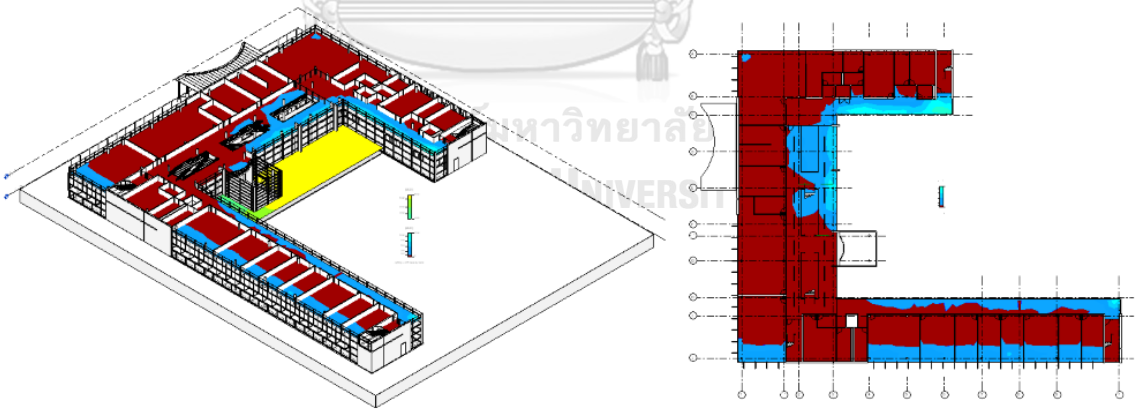
5. สามารถเลือกรูปแบบการแสดงผลที่ต้องการให้ปรากฏบน



ภาพที่ 3.17 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการตั้งค่าการแสดงผลของการวิเคราะห์พลังงาน

ที่มา: https://parametricmonkey.com/2020/04/14/insight-lighting-analysis/

6. ค่าที่คำนวณได้นั้นสามารถดูได้ในมุมมองของตารางสรุปที่มีว่า “_InsightLighting Room Schedule” และยังมีการแสดงผลในมุมมองสามมิติใน “_InsightLighting Model View”



<_InsightLighting Floor Schedule>

LEED 2009 IEQc8.1 Whole Building Results: Manchester, NH

9am: 42% within & 3pm: 40% & both: 33% within thresholds

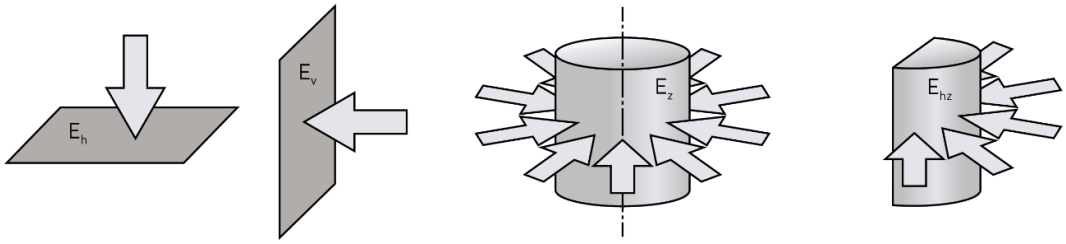
Solar Values (W/m2): 9/15 9am GHI: 457, DNI: 626, DHI: 87 & 9/15 3pm GHI: 360, DNI: 553, DHI: 83

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
			9am threshold results						3pm threshold results						Both time results	
Name	Floor Area Included in Daylighting	Total Floor Area	within threshold		above threshold		below threshold		within threshold		above threshold		below threshold		within threshold	
			%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area
01 - Entry Level	1565 m²	1565 m²	80	1254 m²	6	90 m²	14	220 m²	82	1277 m²	4	67 m²	14	221 m²	75	1179 m²
02 - Floor	1608 m²	1608 m²	21	335 m²	0	0 m²	79	1273 m²	17	269 m²	0	0 m²	83	1339 m²	11	172 m²
03 - Floor	1478 m²	1478 m²	24	352 m²	0	0 m²	76	1124 m²	20	295 m²	0	0 m²	80	1181 m²	13	189 m²

ภาพที่ 3.18 การแสดงผลของการวิเคราะห์พลังงาน

ที่มา: https://parametricmonkey.com/2020/04/14/insight-lighting-analysis/

โดยค่า Eh ที่แสดงผลจากการคำนวณผ่าน Lighting Analysis นั้นจะสามารถประเมินได้เพียงปริมาณแสงที่เหมาะสมกับการมองเห็น (Image forming function: IF) เท่านั้น หากต้องการคำนวณหาค่า EML จำเป็นต้องทราบถึงค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) หรือความส่องสว่างทรงกระบอก (Cylindrical illuminance: Ez) คือค่าเฉลี่ยของค่า Ev ณ ตำแหน่งนั้น ๆ โดยวัดจากหลายทิศทางหรือตั้งแต่ 4 ทิศขึ้นไปแล้วนำค่ามาเฉลี่ยกัน ซึ่งค่า Ev หรือ Ez สามารถนำไปประเมินปริมาณแสงที่จะส่งผลต่อสิ่งที่ไม่ใช่การมองเห็น (Non-image forming function: NIF) ได้



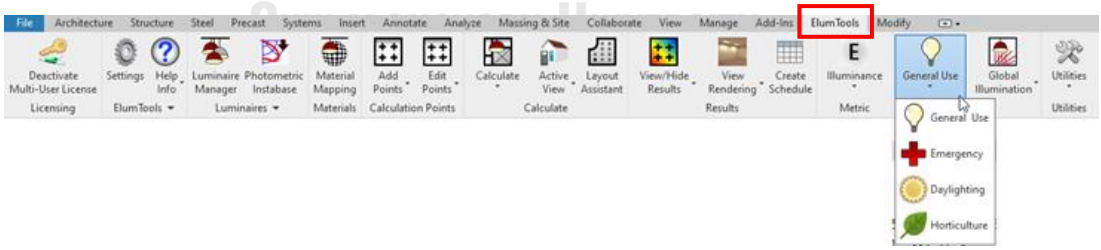
ภาพที่ 3.19 ความส่องสว่างแต่ละทิศทาง

ที่มา: https://www.trilux.com/en/lighting-practice/indoor-lighting/specific-lighting-requirements/lighting-of-offices-and-vdu-workstations/illuminance/

3.3.2 ขั้นตอนการหาค่าความส่องสว่างผ่านเครื่องมือเสริม ElumTools ใน Revit

โดยเครื่องมือเสริมที่สามารถคำนวณหาค่า Ev และ Ez ผ่านโปรแกรม Revit ได้คือ ElumTools ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ Add-In ที่ใช้งานง่ายสำหรับนักออกแบบแสงสว่าง เนื่องจากผลลัพธ์จากการคำนวณสามารถดูได้ผ่านมุมมองของโปรแกรม Revit โดยตรง ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

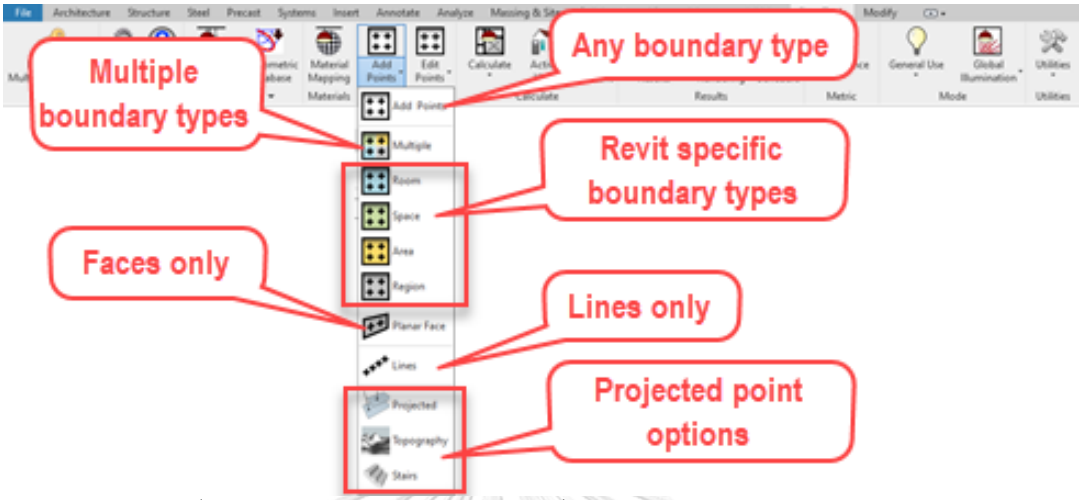
1. ไปที่แถบคำสั่ง (Menu Bar) เลือกคำสั่ง ElumTools



ภาพที่ 3.20 การเข้าถึงโปรแกรม ElumTools จากโปรแกรม Revit

ที่มา: http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/About%20ElumTools/Getting%20Started.htm

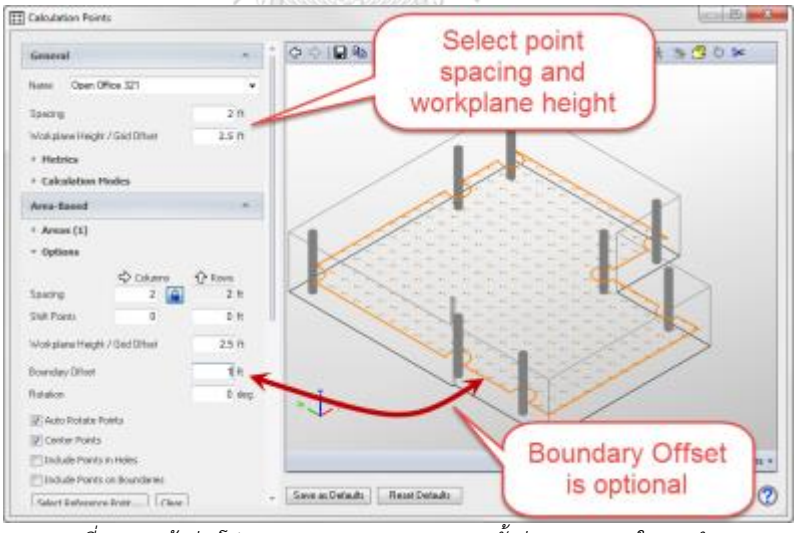
2. กำหนดพื้นที่ที่ต้องจากคำนวณจากการดึงข้อมูลพื้นที่ (Space) หรือห้อง (Room) ของแบบจำลองอาคาร



ภาพที่ 3.21 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการเพิ่มจุด (Point) ในการคำนวณของ ElumTools

ที่มา: http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/Using%20ElumTools/Add%20Calculation%20Points.htm

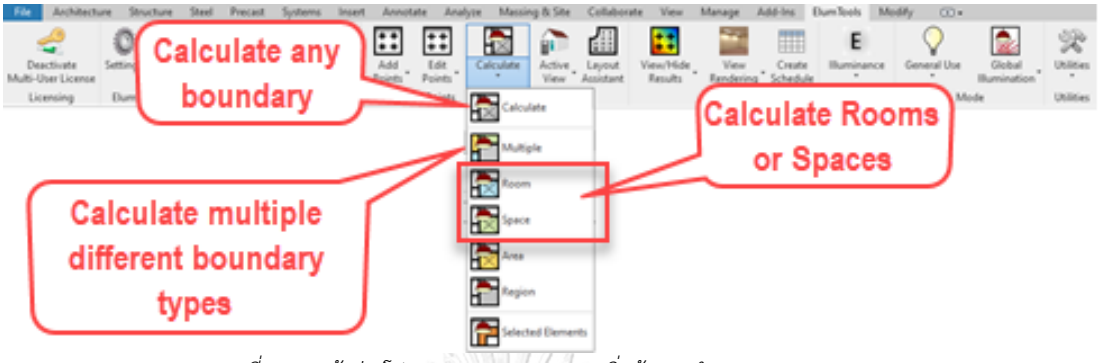
3. ตั้งค่าระยะที่ต้องการคำนวณในแนวระนาบ ซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งค่า Eh จากแสงดวงอาทิตย์และแสงประดิษฐ์โดยดึงข้อมูลจากแบบจำลองใน Revit และสามารถเลือกรูปแบบที่ต้องการแสดงผลได้



ภาพที่ 3.22 หน้าต่างโปรแกรม ElumTools แสดงการตั้งค่าจุด (Point) ในการคำนวณ

ที่มา: http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/Using%20ElumTools/Add%20Calculation%20Points.htm

4. คำนวณโดยเลือกคำสั่ง Calculate และเลือกคำสั่งย่อยว่าต้องการคำนวณจากพื้นที่ (Space) หรือห้อง (Room) ของแบบจำลองอาคาร

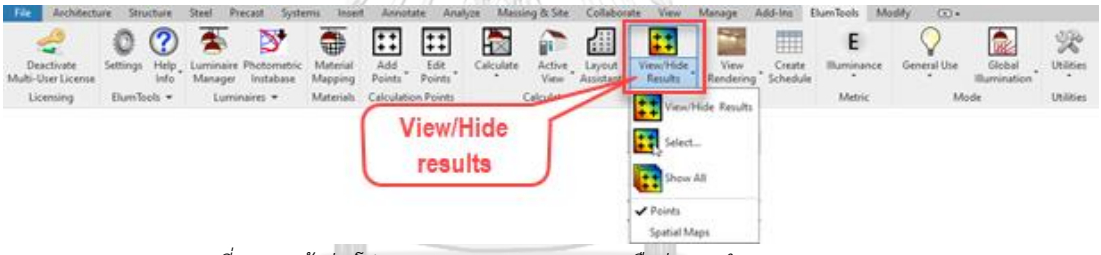


ภาพที่ 3.23 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการเริ่มต้นการคำนวณของ ElumTools

ที่มา:

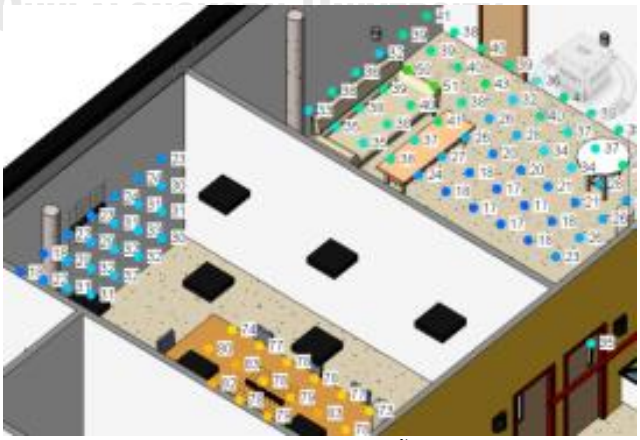
http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/Using%20ElumTools/Calculate%20Rooms%20and%20Spaces.htm

5. สามารถเลือกให้แสดงหรือซ่อนผลที่คำนวณออกมาได้ที่คำสั่ง View/Hide Results ซึ่งจะปรากฏค่าตัวเลขตามระยะตำแหน่งที่ได้ตั้งค่าไว้ในมุมมองสามมิติ



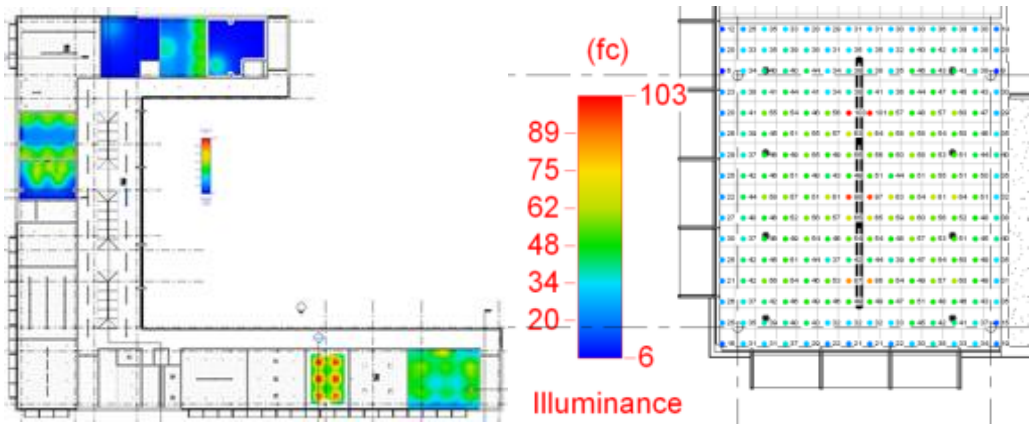
ภาพที่ 3.24 หน้าต่างโปรแกรม Revit แสดงการแสดงหรือซ่อนผลคำนวณของ ElumTools

ที่มา: http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/Using%20ElumTools/View%20Results.htm



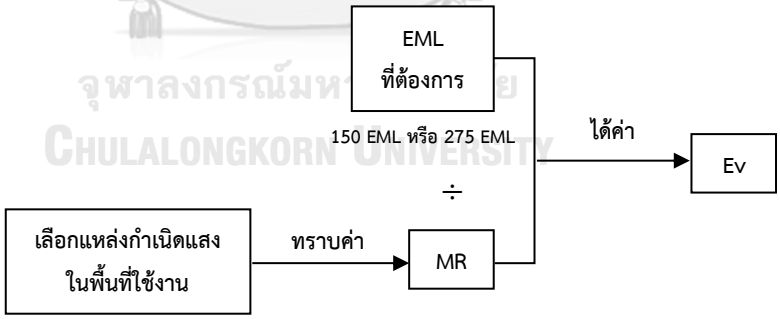
ภาพที่ 3.25 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติแสงสู่ขั้นตอนการหาค่า EML

ที่มา: http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/Using%20ElumTools/View%20Results.htm



ภาพที่ 3.26 การแสดงผลคำนวณของ ElumTools ในมุมมอง (View) ของโปรแกรม Revit
หมายเหตุ. จาก http://www.elumtools.com/docs/2021/Content/Using%20ElumTools/View%20Results.htm

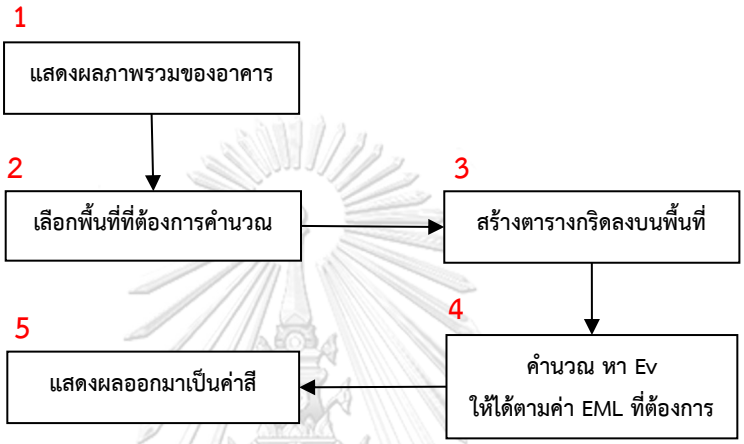
โดยพบข้อจำกัดในเรื่องการคำนวณความส่องสว่างในแนวดิ่งผ่านโปรแกรม Autodesk Revit เพื่อการหาค่า EML คือจำเป็นต้องใช้โปรแกรมเสริมอื่น ๆ เช่น โปรแกรม ElumTools ในงานวิจัยนี้จึงประยุกต์รูปแบบการคำนวณโดยให้ผู้ใช้งานเลือกค่า EML ที่ต้องการก่อนซึ่งตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL ได้กำหนดคะแนนสำหรับหัวข้อเรื่อง แสง (Light) ในคุณสมบัติ (Feature) L03 ที่มีการคำนึงถึงการออกแบบแสงสว่างเพื่อสุขภาพ (Circadian lighting design) หากต้องการคะแนน 1 คะแนน จะได้ต้องค่า EML อย่างน้อย 150 EML หรือ 136 M-EDI(D65) และสูงสุด 3 คะแนน จะต้องได้ค่า EML อย่างน้อย 275 EML หรือ 250 M-EDI(D65) หลังจากนั้นเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นจะช่วยคำนวณหาค่า Ev ที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้ค่า EML ตามที่ต้องการและทำการแสดงผลผ่าน Dynamo เป็นค่าสีในแต่ละช่วงความส่องสว่าง โดยมีหลักการดังภาพที่ 3.27



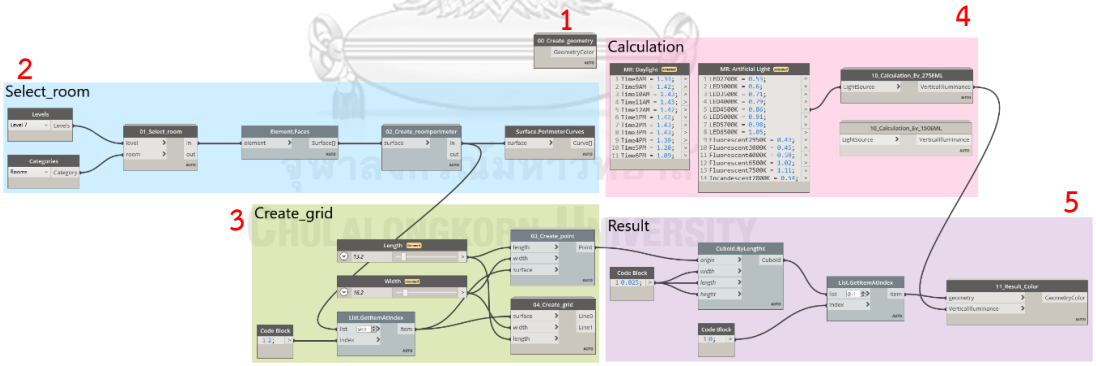
ภาพที่ 3.27 แนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการคำนวณ

3.4. พัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit ควบคู่กับเครื่องมือเสริม Dynamo ในการพัฒนาเครื่องมือ โดยได้มีการออกแบบและวางแผนแนวทางในการทำงานของเครื่องมือที่จะพัฒนา จากการศึกษาเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณในปัจจุบัน และการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยภาพรวมการทำงานของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นจะลำดับขั้นตอนดังภาพที่ 3.28

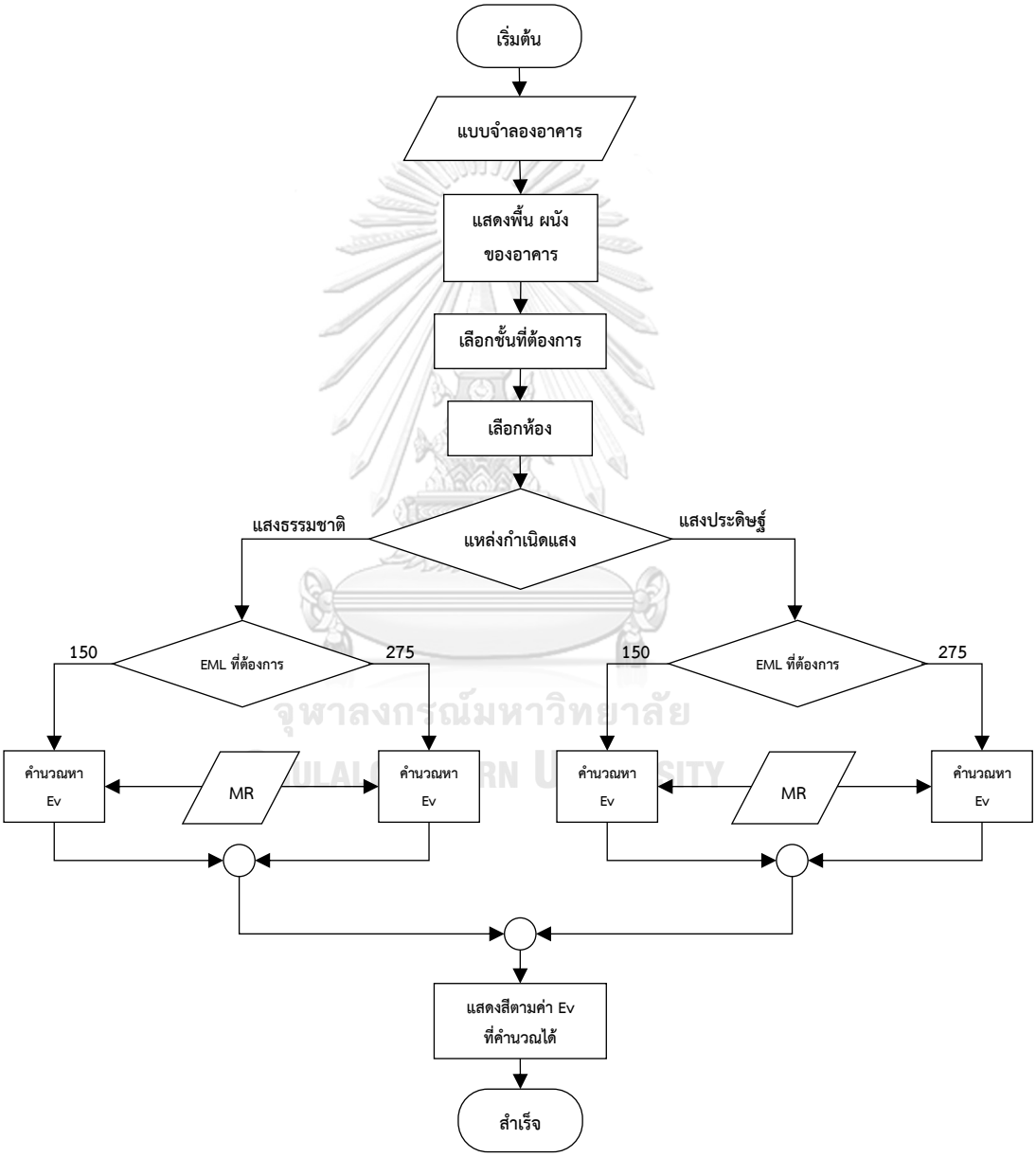


ภาพที่ 3.28 แนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการคำนวณ



ภาพที่ 3.29 Workspace ในการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือนั้น เริ่มต้นจากการนำเข้าแบบจำลองอาคารเข้ามายังโปรแกรม และใช้คำสั่งเพื่อให้แสดงภาพรวมของอาคารทั้งพื้น ผนังของอาคาร จากนั้นผู้ใช้งานสามารถเลือกชั้นและห้องที่ต้องการคำนวณ โปรแกรมจะสร้างตารางกริดขึ้นมาทุกพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยจุดตัดที่เกิดขึ้นจากเส้นนั้นจะแทนตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณ จากนั้นทำการเลือกแบ่งพื้นที่ที่ต้องการคำนวณว่าบริเวณใดที่คิดเป็นพื้นที่แสงธรรมชิ และแสงประดิษฐ์ เพื่อเลือกค่า EML ที่ต้องการ เพื่อคำนวณหาค่า Ev ที่ต้องใช้ จากนั้นโปรแกรมจะแสดงค่าออกมาเป็นสีที่สอดคล้องกับค่า Ev ที่แนะนำ

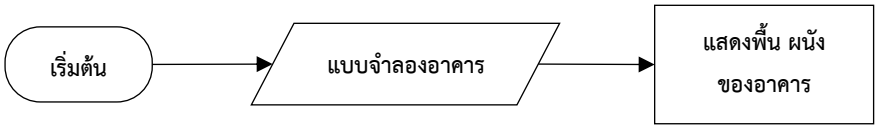


ภาพที่ 3.30 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ

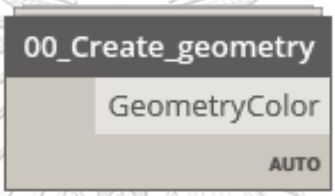
3.4.1 การพัฒนาเครื่องมือในแต่ละขั้นตอนให้สอดคล้องกับการทำงานที่วางแผนไว้

3.4.1.1 การแสดงผลภาพรวมของอาคาร

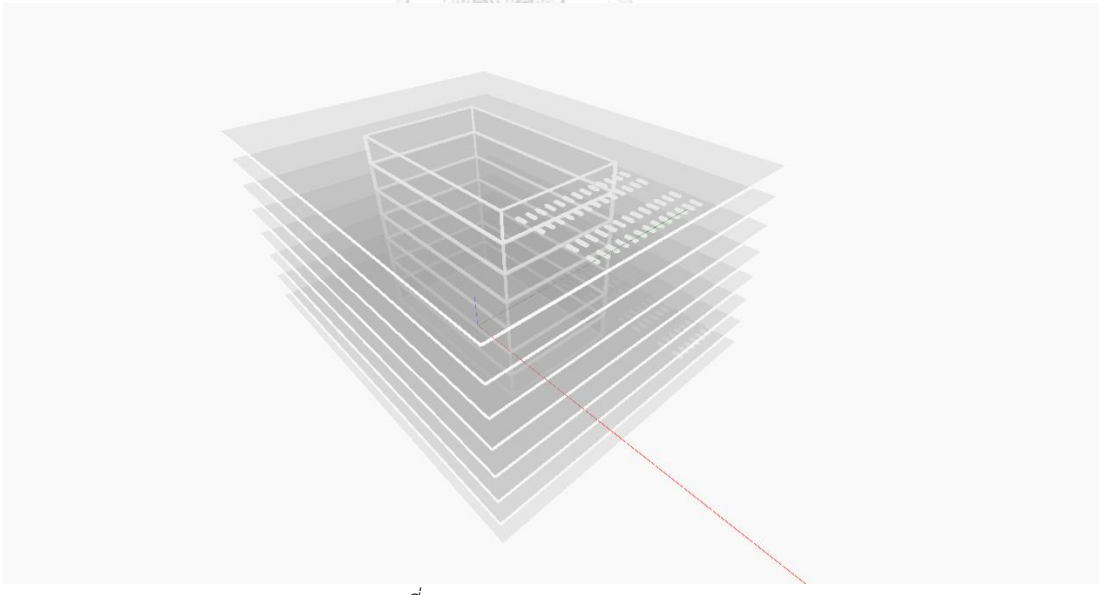
นำเข้าข้อมูลแบบจำลองอาคารจากโปรแกรม Revit และทำการดึงข้อมูลให้แสดงผลองค์ประกอบของตัวอาคารอันได้แก่ พื้น ผนัง และดวงโคมในกรณีที่ได้มีการออกแบบจัดวางดวงโคมแล้ว ผ่านเครื่องมือเสริม Dynamo



ภาพที่ 3.31 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการแสดงผลภาพรวมของอาคาร



ภาพที่ 3.32 Node ใช้ในการแสดงผลภาพรวมของอาคาร

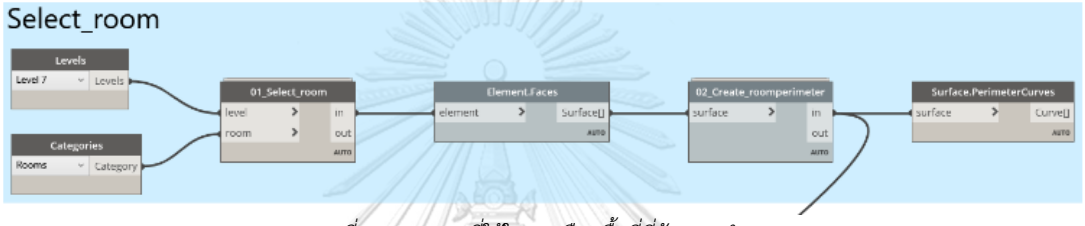


ภาพที่ 3.33 การแสดงผลภาพรวมของอาคาร

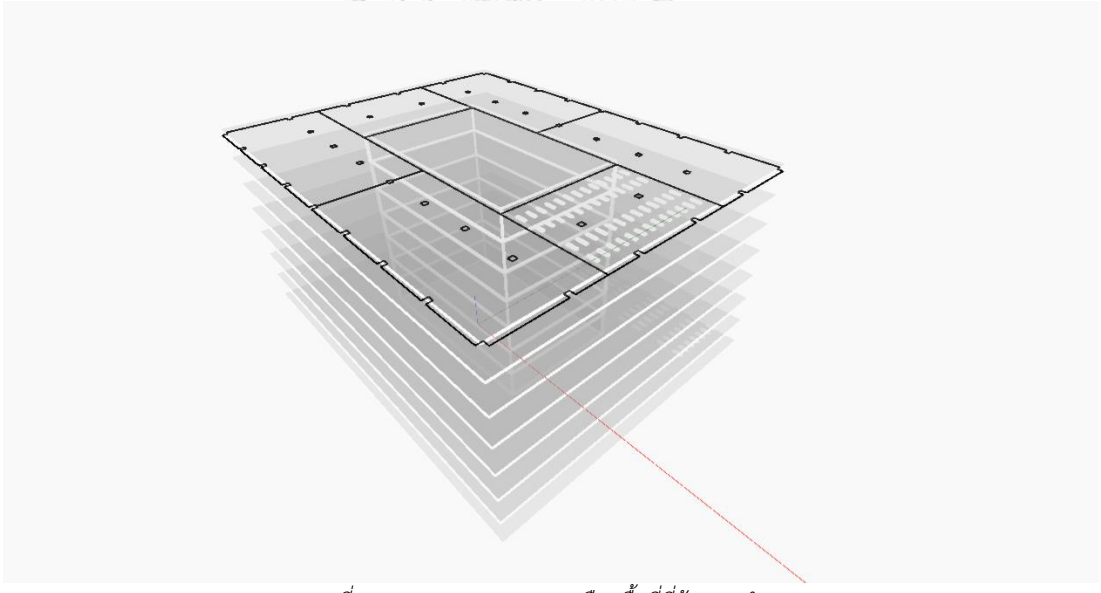
3.4.1.2 การเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ

เลือกกำหนดพื้นที่ที่ต้องการคำนวณโดยการถึงข้อมูลแบบจำลองอาคารจากโปรแกรม Revit เลือก ระดับชั้น (Level) ที่ต้องการคำนวณ หลังจากนั้นเลือกให้แสดง ห้อง (Room) ที่มีข้อมูลอยู่ในแบบจำลอง หลังจากนั้นใช้โหนด (Node) ในการสร้างเส้นของรูปของพื้นที่ชั้นทั้งหมดที่ต้องการคำนวณขึ้นมา

ภาพที่ 3.34 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ



ภาพที่ 3.35 Node ที่ใช้ในการเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ

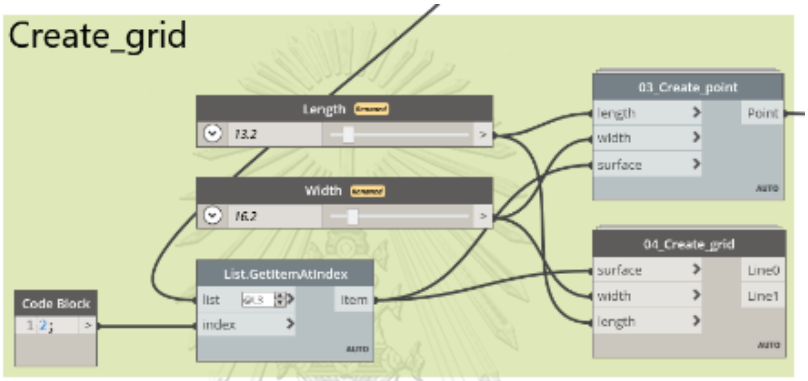


ภาพที่ 3.36 การแสดงผลของการเลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ

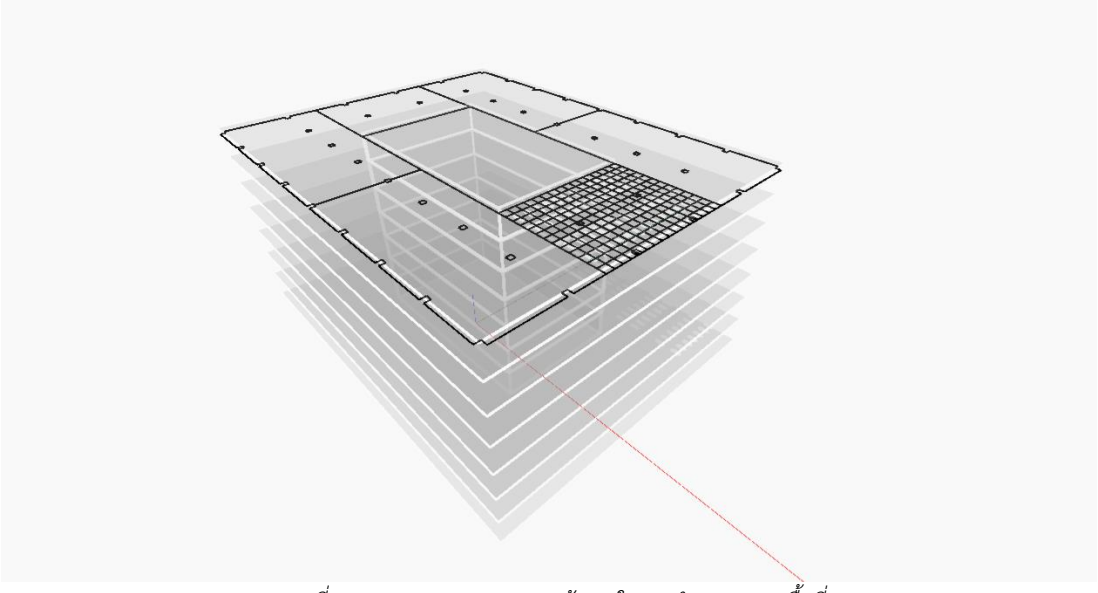
3.4.1.3 การสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่

สร้างตารางกริดลงบนพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ โดยกรอกตัวเลขของห้องลงใน Input Port เพื่อเลือกให้แสดงกริดแค่ห้องที่ต้องการ กริดที่แสดงเพื่อแทนเป็นตำแหน่งจุดของผู้ใช้งานในพื้นที่โดยมีระยะอยู่ที่ทุก ๆ 1.00 เมตร โดยทำการป้อนข้อมูลความกว้าง และความยาวของพื้นที่ที่ต้องการคำนวณลงไปใน Input Port ของ Custom Node ที่สร้างขึ้น

ภาพที่ 3.37 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่



ภาพที่ 3.38 Node ที่ใช้ในการสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่

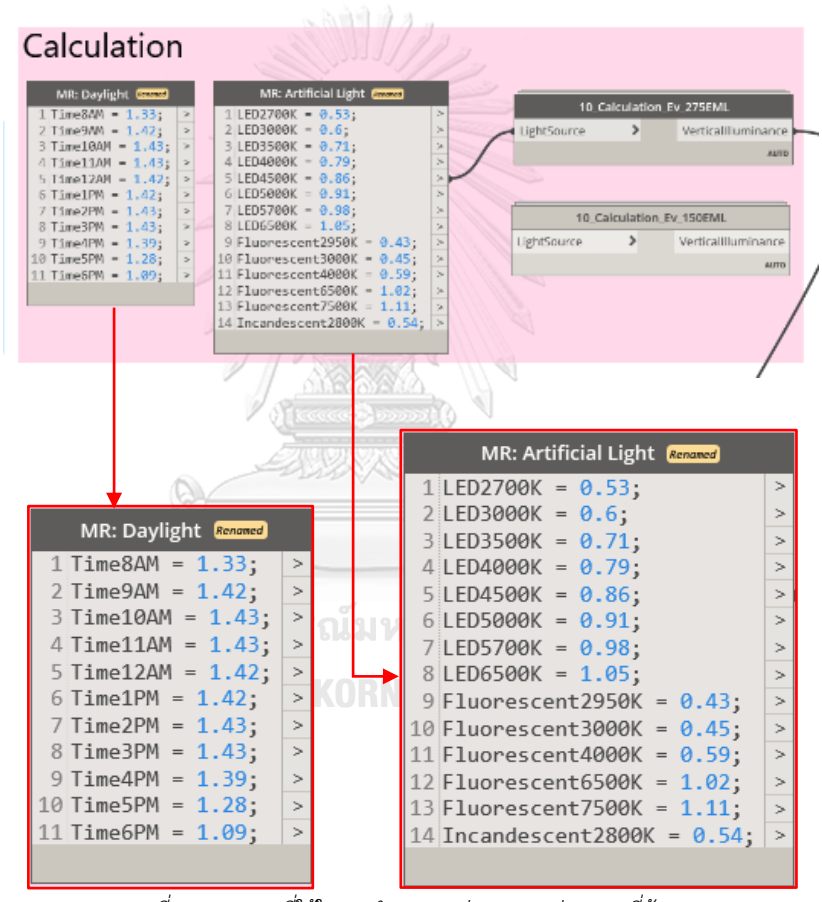


ภาพที่ 3.39 การแสดงผลของการสร้างจุดในการคำนวณลงบนพื้นที่

3.4.1.4 การคำนวณหาค่า Ev ตามค่า EML ที่ต้องการ

มีการสร้างโหนด (Node) ที่มีการใส่ข้อมูลค่า Melanopic Ratio: MR ของแสงธรรมชาติที่แบ่งตามช่วงเวลาต่าง ๆ และแสงประดิษฐ์ตามแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ โดยสามารถทำ Output Port เชื่อมเข้ากับ Input Port ของโหนดที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการคำนวณ โดยมีการแยกออกเป็นสองโหนด คือโหนดที่คำนวณสำหรับ 275 EML และ 150 EML

ภาพที่ 3.40 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Ev ตามค่า EML ที่ต้องการ

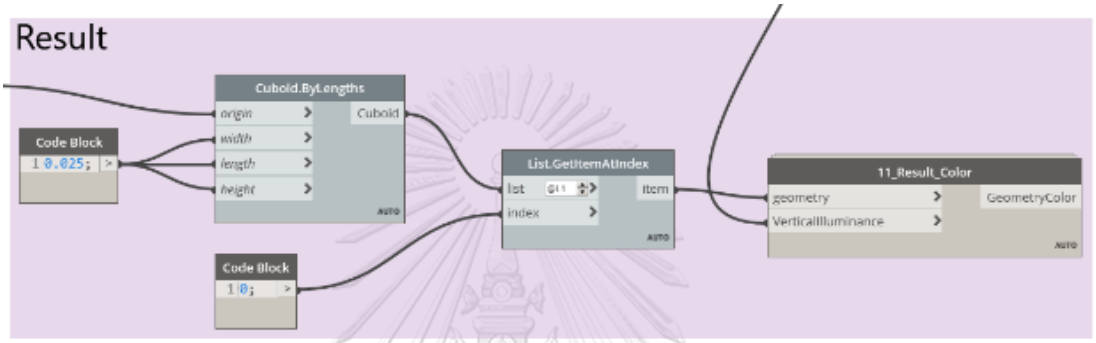


ภาพที่ 3.41 Node ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Ev ตามค่า EML ที่ต้องการ

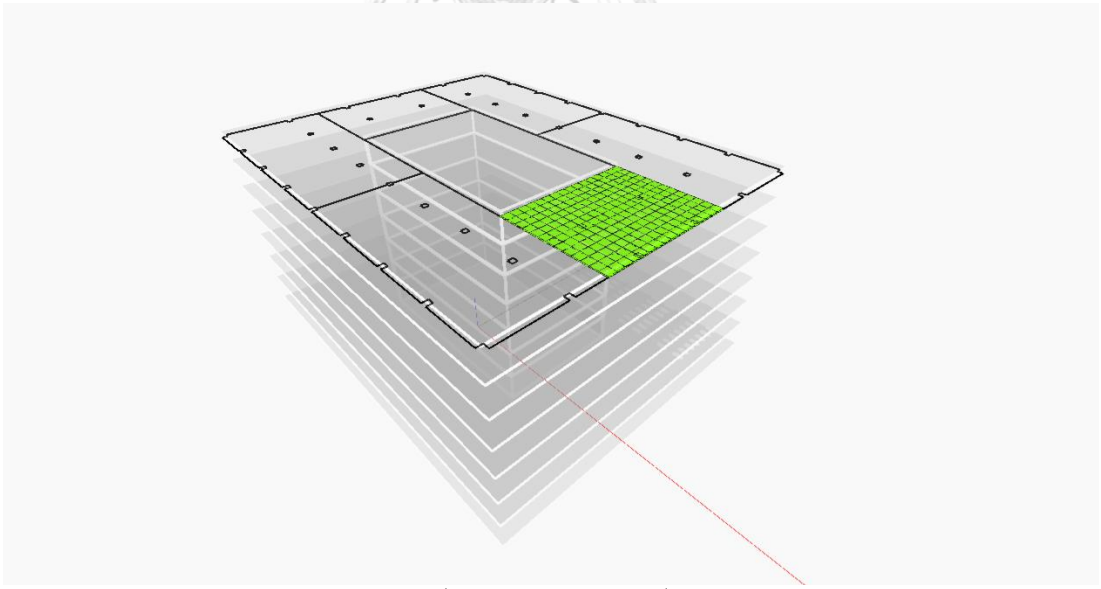
3.4.1.5 การแสดงผล

มีการสร้างโหนด (Node) สำหรับการแสดงผล โดยจะมีการแทนค่าสีลงบนลูกคิวบอยด์ (Cuboid) ในขั้นตอนนี้สามารถเลือก Cuboid ที่จะให้แสดงสีตามการแบ่งพื้นที่แสงธรรมชาติ หรือแสงประดิษฐ์

ภาพที่ 3.42 หลักการทำงานของ Node ที่ใช้ในการแสดงผล



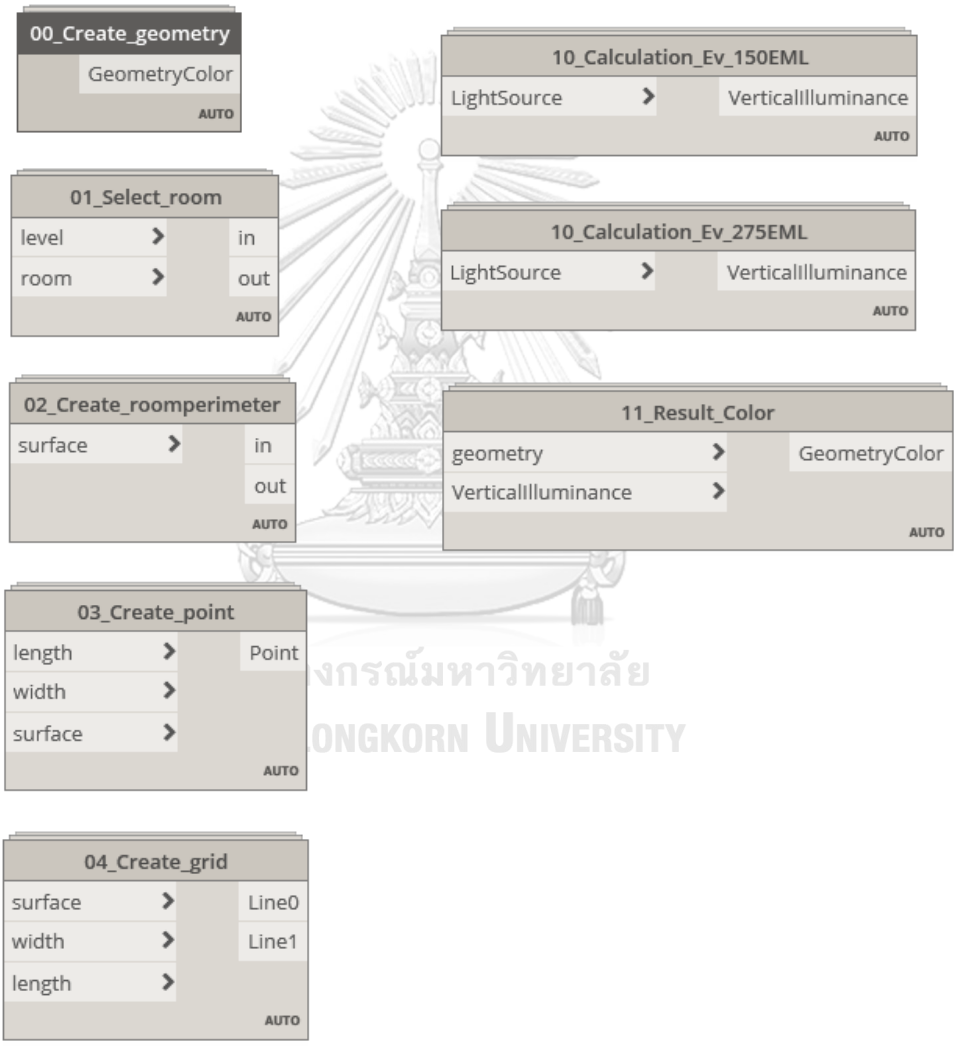
ภาพที่ 3.43 Node ที่ใช้ในการแสดงผล



ภาพที่ 3.44 การแสดงผลของเครื่องมือ

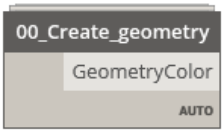
3.4.2 การสร้าง Custom Node เพื่อใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ

Custom Node เป็นการสร้างโหนดของตัวเองขึ้นมาใหม่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ซ้ำในโปรเจคอื่น ๆ ได้ และทำให้ภาพรวมของโปรเจคดูไม่รก และมีความสะอาดตามากขึ้น นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถแชร์โหนดที่สร้างขึ้นไปยัง Package Manager เพื่อแชร์ให้กับคนทั่วโลก โดย Custom Node จะแสดงผลเป็นรูปโหนด (Node) ที่มีโหนดซ้อนอยู่ด้านหลัง การแก้ไข Custom Node จะเป็นการแก้ไข Custom Node เดียวกันทั้งหมด ซึ่งการสร้าง Custom Node ทำได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือการสร้าง Custom Node ด้วย Dynamo ส่วนวิธีขั้นสูงจะเป็นการสร้างด้วย C# (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2564)



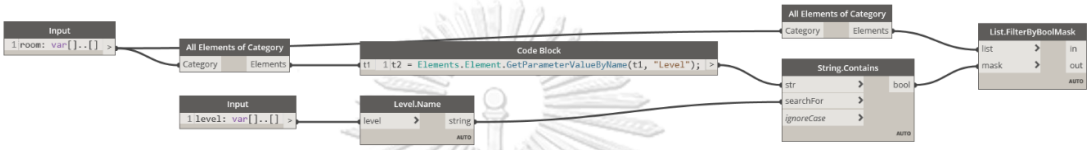
ภาพที่ 3.45 Custom Node ที่พัฒนาขึ้น

3.4.2.1 Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร



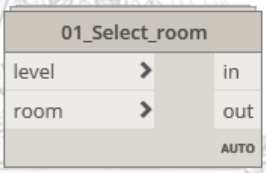
ภาพที่ 3.46 Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร

Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร สามารถเลือกใช้ได้โดยไม่ต้องใส่ Input Port หรือ Output Port เพิ่ม เพียงแค่ใช้ข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคารจากโปรแกรม Revit



ภาพที่ 3.47 ภายใน Custom Node สำหรับแสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร

3.4.2.2. Custom Node สำหรับเลือกห้อง (Room)



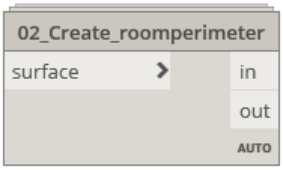
ภาพที่ 3.48 Custom Node สำหรับเลือกห้อง (Room)

Custom Node สำหรับสำหรับเลือกห้อง (Room) โดยการใส่โหนดของตัวเลขชั้นในโหนด Levels และเลือก Room ในโหนด Categories เข้ามาใส่ที่ Input Port จากนั้น Custom Node นี้จะทำการเลือกพียงพื้นที่ที่ต้องการออกมา

ภาพที่ 3.49 ภายใน Custom Node สำหรับเลือกห้อง (Room)

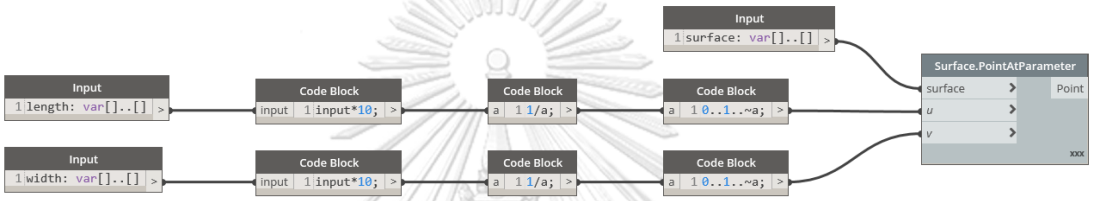
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.2.3 Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูป



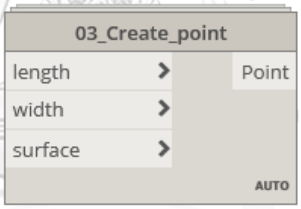
ภาพที่ 3.50 Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูป

Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูปลงบนพื้นที่ โดยการใส่ Input Port ของชั้นในโหนด Levels และเลือก Room ในโหนด Categories เข้ามาใส่ที่ Input Port จากนั้น Custom Node นี้จะทำการเลือกเพียงพื้นที่ที่ต้องการออกมา



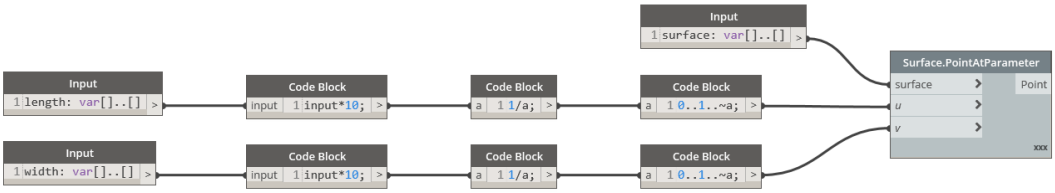
ภาพที่ 3.51 ภายใน Custom Node สำหรับสร้างเส้นรอบรูป

3.4.2.4. Custom Node สำหรับสร้างจุดในการคำนวณ



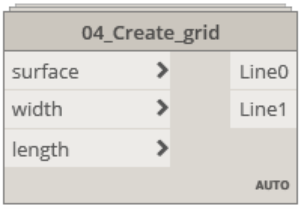
ภาพที่ 3.52 Custom Node สำหรับสร้างจุดในการคำนวณ

Custom Node สำหรับสร้างจุดลงบนพื้นที่ โดยการใส่โหนดตัวเลขความกว้างและความยาวของพื้นที่ เข้ามาที่ Input Port “Length” และ “Width” และโหนดพื้นที่ห้องที่เลือกแล้วมาใส่ใน Input Port “Surface” จากนั้น Custom Node จะทำการสร้างจุด (Point) ออกมา



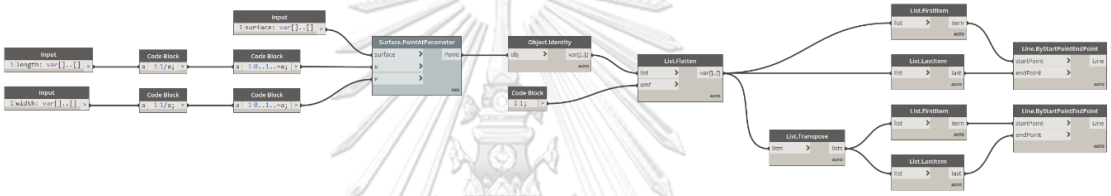
ภาพที่ 3.53 ภายใน Custom Node สำหรับสร้างจุดในการคำนวณ

3.4.2.5 Custom Node สำหรับสร้างตาราง (Grid) ในพื้นที่การคำนวณ



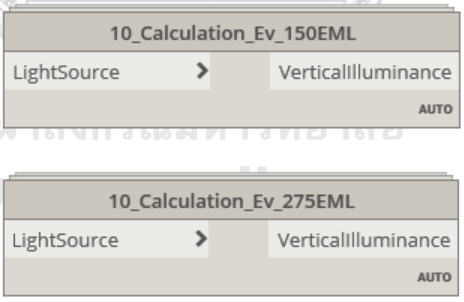
ภาพที่ 3.54 Custom Node สำหรับสร้าง Grid ในพื้นที่การคำนวณ

Custom Node สำหรับสร้างตาราง (Grid) ในพื้นที่การคำนวณ โดยการใส่โหนดตัวเลขความกว้างและความยาวของพื้นที่ เข้ามาที่ Input Port “Length” และ “Width” และโหนดพื้นที่ห้องที่เลือกแล้วมาใส่ใน Input Port “Surface” จากนั้น Custom Node จะทำการสร้างเส้นตัดกันจนแสดงออกมาเป็นตาราง



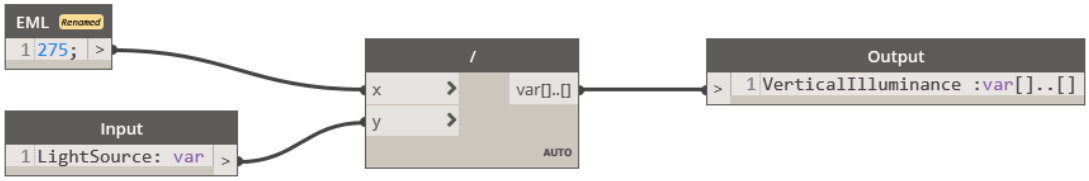
ภาพที่ 3.55 ภายใน Custom Node สำหรับสร้างกริดตารางในพื้นที่การคำนวณ

3.4.2.6. Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev

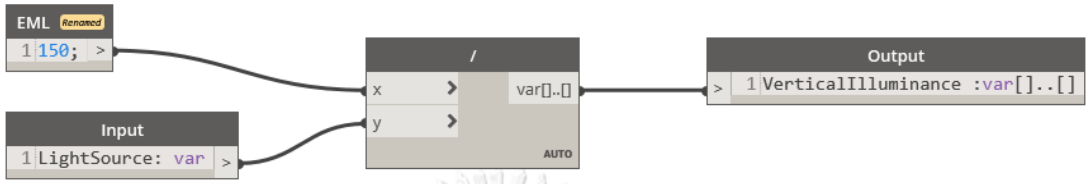


ภาพที่ 3.56 Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev

Custom Node สำหรับคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Ev) โดยการนำ Output Port ค่าของ MR ที่จัดเตรียมไว้ให้มาเชื่อมเข้ากับ Input Port “LightSource” ของ Custom Node จากนั้นจะแสดงค่า Ev ที่ Output Port “VerticalIlluminance”

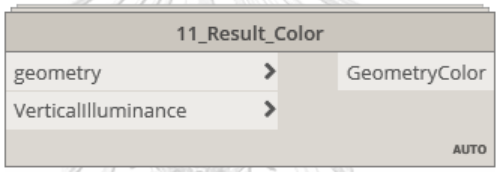


ภาพที่ 3.57 ภายใน Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev สำหรับ 275 EML



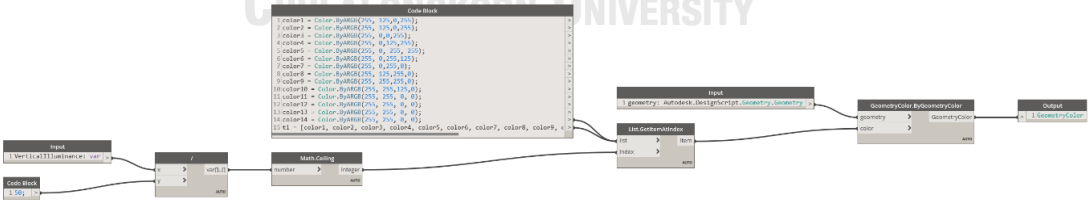
ภาพที่ 3.58 ภายใน Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev สำหรับ 150 EML

3.4.2.7 Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี

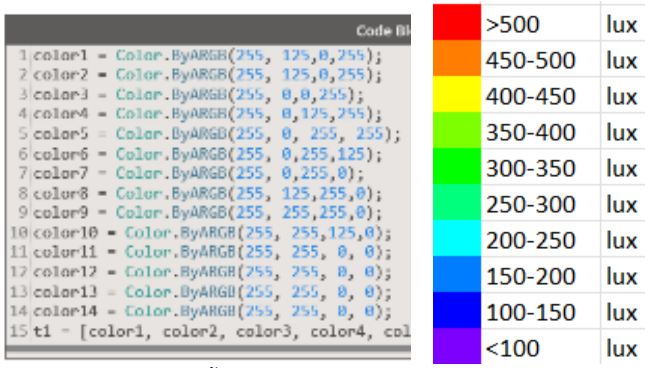


ภาพที่ 3.59 Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี

Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี เริ่มโดยการนำ Output Port ของ Geometry จาก Cuboid ที่สร้างขึ้นมาเชื่อมเข้ากับ Input Node Geometry ของ Custom Node นี้ จากนั้นนำ Output Port ของ Custom Node สำหรับคำนวณหาค่า Ev ก่อนหน้า มาเชื่อมเข้ากับ Input Node VerticalIlluminance จากนั้นจะแสดงค่าผลออกมาเป็นสี

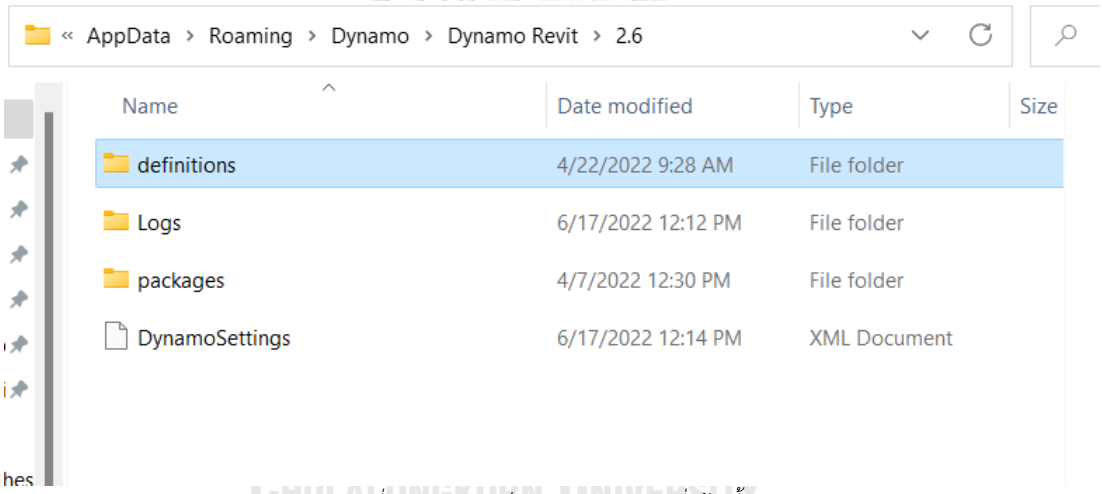


ภาพที่ 3.60 ภายใน Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี



ภาพที่ 3.61 Node การตั้งค่าสีที่ใช้ใน Custom Node สำหรับการแสดงค่าสี

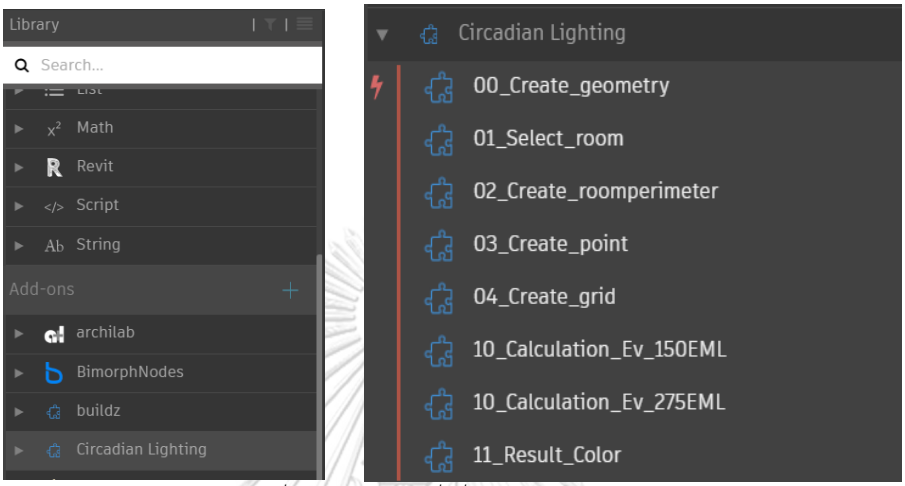
เมื่อสร้าง Custom Node ที่ต้องการแล้วจะต้องทำการ Save Custom Node ในหน้า Custom Node Environment มิเช่นนั้น Custom Node ที่สร้างขึ้นมานั้น จะหายเมื่อปิดโปรแกรม Dynamo แล้วเปิดใหม่ โดยปกติ Dynamo จะเก็บ Custom Node ไว้ที่ “C:VUsers V[User Name] AppDatalRoamingVDynamo VDynamo Revitl[2.xxJ]Idefinitions”



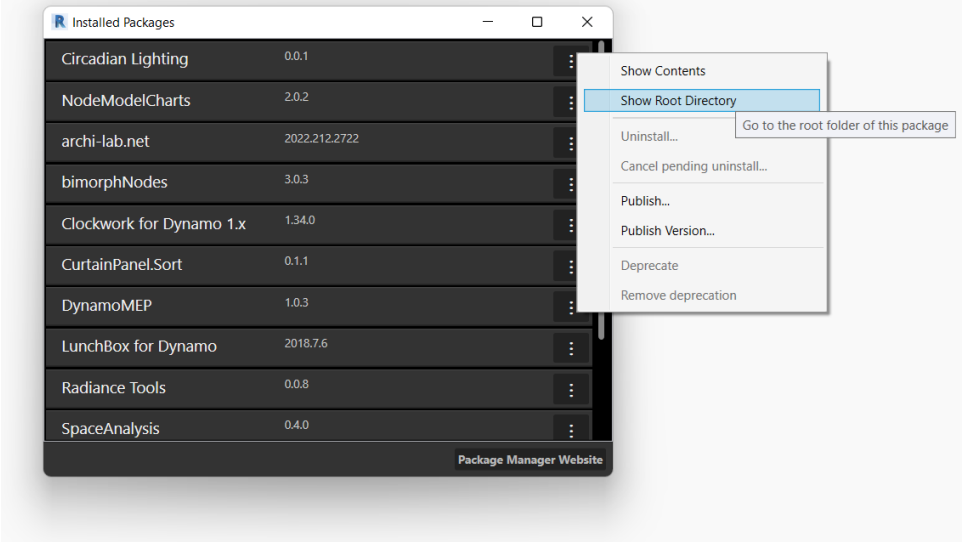
ภาพที่ 3.62 การจัดเก็บ Custom Node ที่สร้างขึ้นมา

3.4.2 การสร้าง Package เพื่อใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ

ได้สร้าง Package ที่มีชื่อว่า Circadian Lighting ซึ่ง Package คือ การรวมชุดของ Custom Nodes ไว้ให้ใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถแชร์ระหว่างกันได้ผ่านทางออฟไลน์หรือออนไลน์ได้ โดยใน Package นี้ได้รวม Custom Nodes ไว้ทั้งหมด 8 โหนดที่ได้สร้างไว้สำหรับการพัฒนาเครื่องมือเสริม



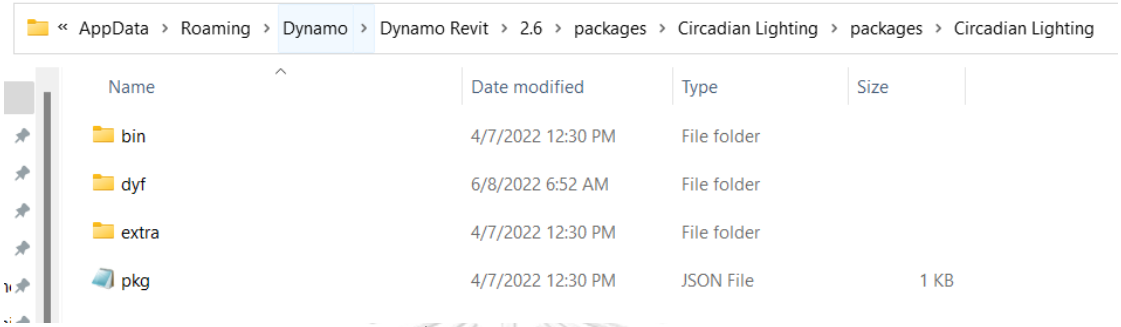
ภาพที่ 3.63 Package ที่มีชื่อว่า Circadian Lighting



ภาพที่ 3.64 แนวทางการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการคำนวณ

Root Directory ของ Package จะเห็นว่ามี Folders 3 Folders และไฟล์ 1 ไฟล์ ได้แก่

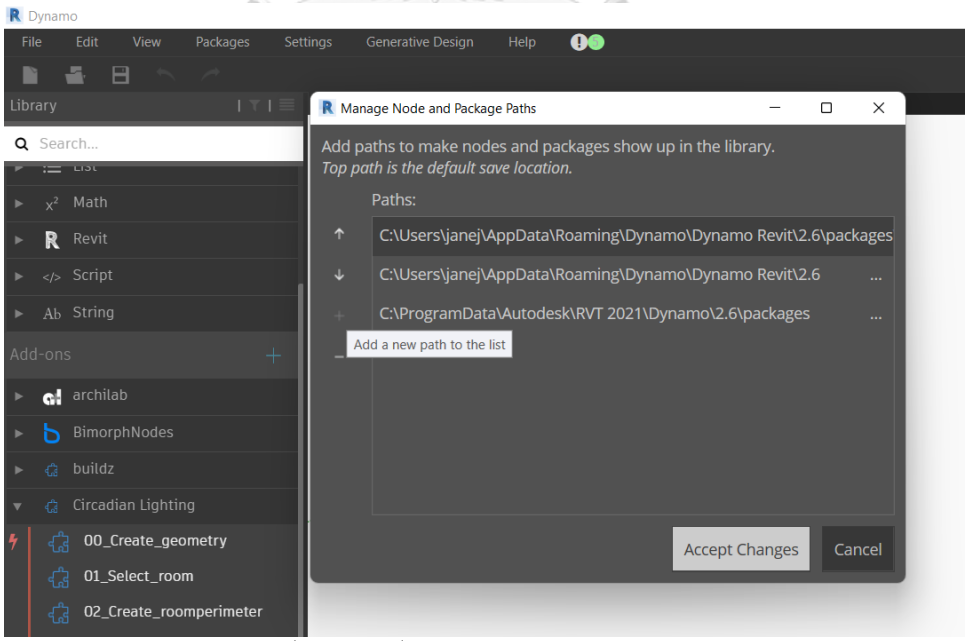
1. **Folder bin** ใช้เก็บไฟล์นามสกุล .dll ซึ่งเป็น Custom Node ที่นำเข้าโดย Zero-Touch
2. **Folder dyf** ใช้เก็บไฟล์นามสกุล .dyf ซึ่งเป็น Custom Node ที่พัฒนาด้วย Dynamo
3. **Folder extra** ใช้เก็บไฟล์อื่น ๆ เช่น ไฟล์ตัวอย่างจากผู้พัฒนา
4. **ไฟล์นามสกุล json** เป็นไฟล์ Settings ของ Package นั้น ๆ



ภาพที่ 3.65 Root Directory ของ Package

3.4.3 การนำเครื่องมือที่พัฒนาไปใช้

หากต้องการเริ่มใช้เครื่องมือ สามารถกำหนดให้โปรแกรม Dynamo อ่าน Package จากที่เก็บอื่นได้ โดยการไปที่เมนู Settings เลือก Manage Node and Package Paths ผู้ใช้สามารถกด + เพื่อเพิ่ม Folder ที่เก็บ Packages ที่ทางผู้วิจัยจัดเตรียมไว้ให้ หรือจะเป็น Package ที่สร้างเอง (Publish Locally) ได้

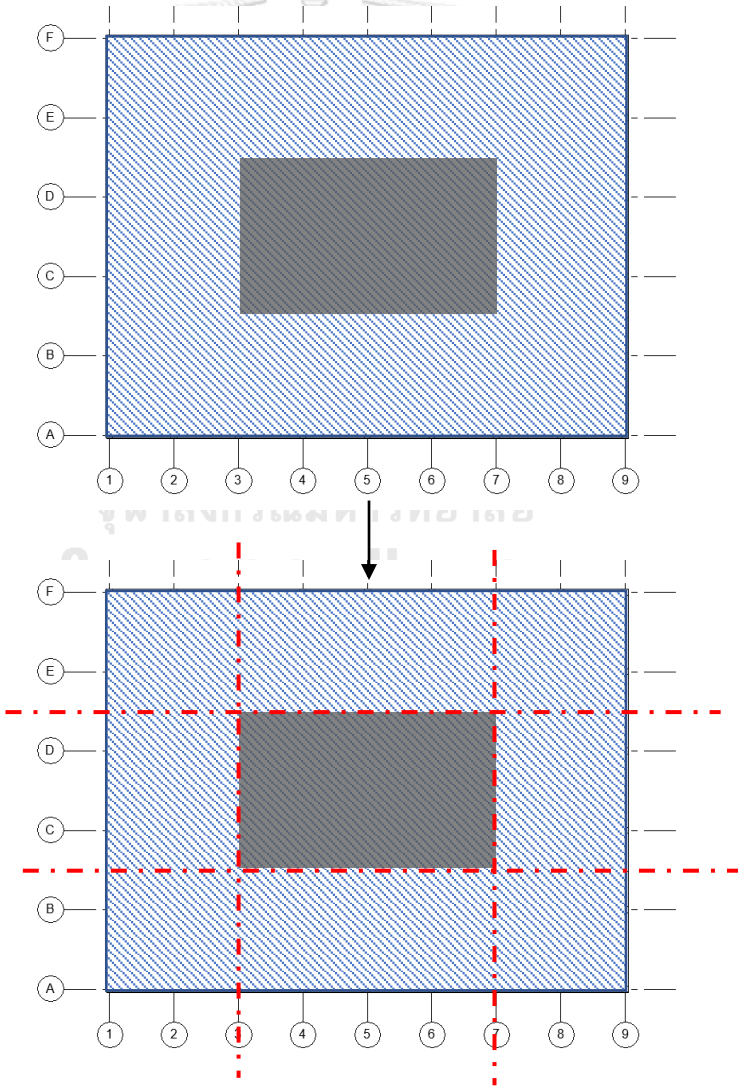


ภาพที่ 3.66 การเพิ่ม Package ให้อยู่ใน Publish Locally

3.4.4 ปัญหาและข้อจำกัดของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

ปัญหาที่พบในระหว่างการพัฒนาเครื่องมือเพื่อประเมินหาค่าแสงที่เหมาะสมต่อนาฬิกาชีวภาพ คือ การที่โปรแกรม Dynamo มีการตอบสนองที่ล่าช้าในการแสดงผลของค่าสี เนื่องจากมีการแบ่งพื้นที่ที่คำนวณทั้งสำหรับแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ หากแยกประเมินแค่จากแสงประเภทใดประเภทหนึ่งเท่านั้นจะทำให้โปรแกรมทำงานเร็วขึ้น โดยอาจจะทำการประเมินแยกเป็นสองครั้ง แล้วค่อยนำผลมารวมกัน หรืออีกแนวทางในการแก้ปัญหา คือ การลดขนาดของไฟล์ลงโดยการลดจำนวณโหนดที่มีกระบวนการทำงานซ้ำซ้อน และแปลงโหนดที่มีการใช้ซ้ำหลายครั้งให้กลายเป็น Custom Node

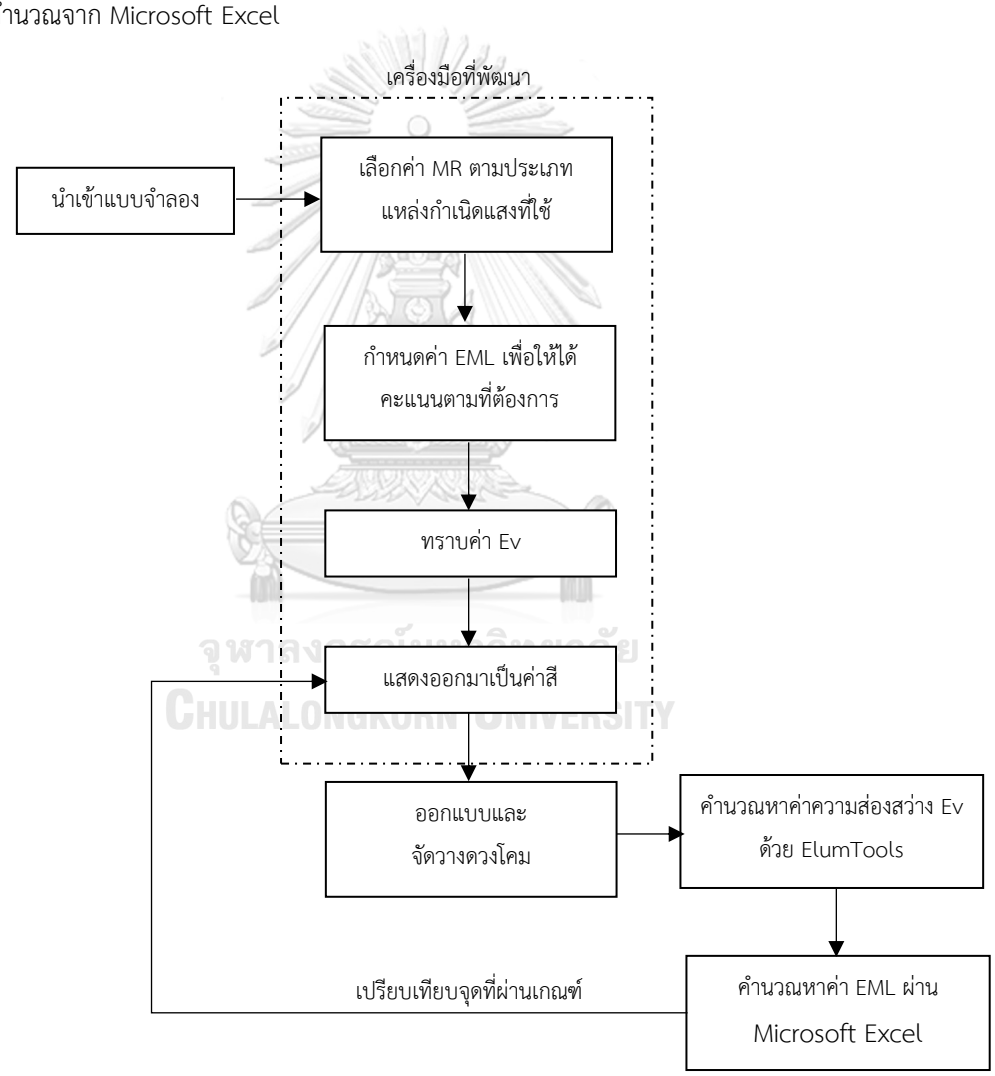
ในด้านการเลือกพื้นที่เพื่อการคำนวณจากการดึงข้อมูลห้อง (Room) ภายในแบบจำลองอาคารจากโปรแกรม Revit จำเป็นต้องแบ่งย่อยพื้นที่ให้ไม่ใหญ่จนเกิดไป ดังภาพที่ 3.67 แล้วป้องกันไม่ให้เกิดช่องว่างภายในพื้นที่ เพราะจะส่งผลในการแสดงผลในโปรแกรม Dynamo จาก Custom Node ที่ได้สร้างขึ้น



ภาพที่ 3.67 แนวทางการแบ่งพื้นที่สำหรับการคำนวณ

3.5 ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือที่พัฒนา

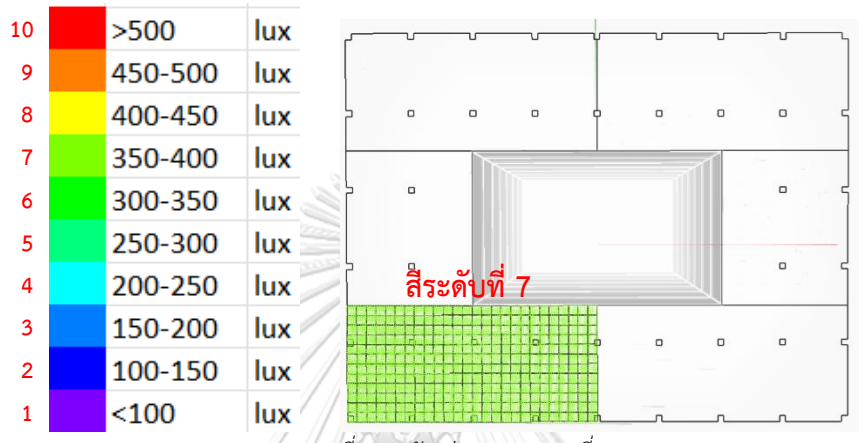
หลังจากพัฒนาเครื่องมือเรียบร้อยแล้วจึงนำไปทดลองคำนวณกับตัวอย่างไฟล์แบบจำลองอาคารสำนักงาน เพื่อพัฒนาและปรับปรุงให้ครอบคลุมต่อรูปแบบของอาคารให้มีความหลากหลายมากที่สุด ซึ่งในการสร้างแบบจำลอง Revit จำเป็นต้องใส่ข้อมูล Parameter ที่ในการแบ่งพื้นที่ห้อง (Room) ภายในแบบจำลองเพื่อให้สามารถดึงข้อมูลจากโปรแกรม Revit มาใช้ในการคำนวณภายในโปรแกรม Dynamo ได้ หลังจากทดลองเครื่องมือที่พัฒนาแล้ว จะทราบค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง หรือ Ev จากนั้นจึงนำค่าตามที่เครื่องมือแนะนำที่คำนวณได้ ไปเป็นแนวทางในการเลือกดวงโคมเพื่อให้ค่าความส่องสว่างตามที่โปรแกรมคำนวณได้แนะนำ แล้วจึงนำค่าไปเปรียบเทียบกับการคำนวณผ่านโปรแกรม Microsoft Excel ทั้งนี้ค่า Ev ที่คำนวณได้จากโปรแกรมนั้น ออกมาตรงกับค่าที่คำนวณจาก Microsoft Excel



ภาพที่ 3.68 แนวทางการแบ่งพื้นที่สำหรับการคำนวณ

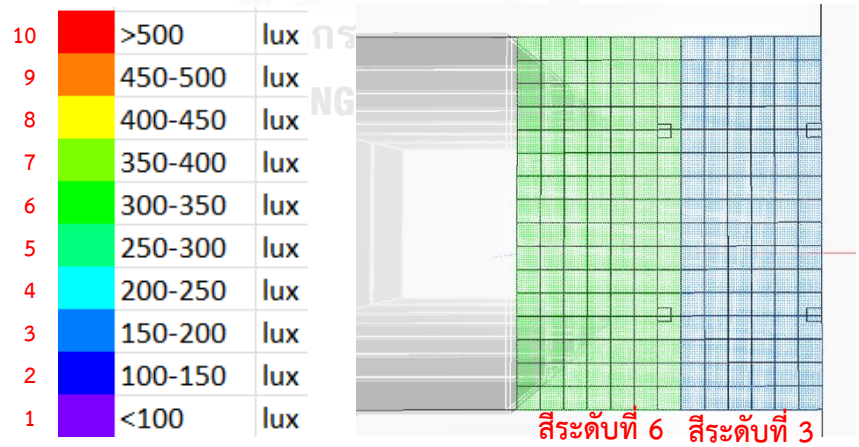
3.5.1 การแสดงผล

การแสดงผลของค่าสีนั้นมีการเผื่อระดับสีที่แสดงให้มากกว่าค่า Ev ที่คำนวณได้จริงอยู่หนึ่งระดับสี โดยแต่ละระดับสีจะมีค่าต่างกันอยู่ที่ 50 lux เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้นจะคำนวณหาค่า Ev ออกมาเพียงหนึ่งค่าที่ให้สอดคล้องตามความต้องการของค่า EML ที่เลือกไว้ให้โปรแกรมคำนวณ การแสดงระดับสีที่มากกว่าจะทำให้ง่ายต่อการนำค่า Ev ไปใช้ต่อ เพราะจะทำให้ทุกพื้นที่ที่คำนวณนั้นผ่านเกณฑ์ EML ตามที่ต้องการ



ภาพที่ 3.69 ตัวอย่างการแสดงผลที่ 1

ตัวอย่างการแสดงผลที่ 1 ดังภาพที่ 3.69 ได้เลือกคำนวณโดยตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว ซึ่งหลอดที่ใช้เป็นประเภท LED ที่มีค่า CCT อยู่ที่ 4500K เมื่อเลือกค่า EML ที่ต้องการเท่ากับ 275 EML เครื่องมือได้คำนวณค่า Ev ออกมาเท่ากับ 319.77 lux หรือประมาณ 320 lux ซึ่งตามค่าจริงแล้วจะต้องแสดงค่าสีเป็นสีระดับที่ 6 แต่เพื่อให้การนำไปใช้จริงทุกจุดผ่านเกณฑ์ จึงแสดงค่า Ev ที่แนะนำอยู่ในระดับสีที่ 7



ภาพที่ 3.70 ตัวอย่างการแสดงผลที่ 2

ตัวอย่างการแสดงผลที่ 2 ดังภาพที่ 3.70 ได้เลือกคำนวณโดยตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสงในพื้นที่ที่เป็นแสงประดิษฐ์ได้กำหนดเป็นหลอดประเภท Fluorescent ที่มีค่า CCT อยู่ที่ 4000K เมื่อเลือกค่า EML ที่ต้องการเท่ากับ 150 EML เครื่องมือได้คำนวณค่า Ev ออกมาเท่ากับ 254.24 lux หรือประมาณ 255 lux ซึ่งตามค่าจริงแล้วจะต้อง

แสดงค่าสีเป็นสีระดับที่ 5 แต่เพื่อให้การนำไปใช้จริงทุกจุดผ่านเกณฑ์ จึงแสดงค่า Ev ที่แนะนำอยู่ในระดับสีที่ 6 เช่นเดียวกับพื้นที่ส่วนที่ได้รับแสงธรรมชาติ

3.6 สรุปผลการศึกษาและเสนอแนวทางเพื่อการพัฒนาเครื่องมือในอนาคต

สรุปผลการศึกษาในการการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศ ทั้งในด้านของโปรแกรมข้อดีและข้อจำกัด ผลลัพธ์ของการคำนวณและการแสดงผล เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องมือในอนาคต มีการจัดทำไฟล์ตัวอย่างเพื่อให้ผู้ที่ต้องการนำไปใช้งานสามารถเข้าใจถึงขั้นตอนลำดับการทำงานของเครื่องมือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ ได้ผลการวิจัยซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

4.1 ผลการคำนวณหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ

4.2 ผลการพัฒนาเครื่องมือเสริม

4.2.1 ไฟล์ Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (.xlsx)

4.2.2 ไฟล์ Dynamo Workspace (.dyn)

4.2.3 ไฟล์ Dynamo Custom Node (.dyf)

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องและการนำเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้

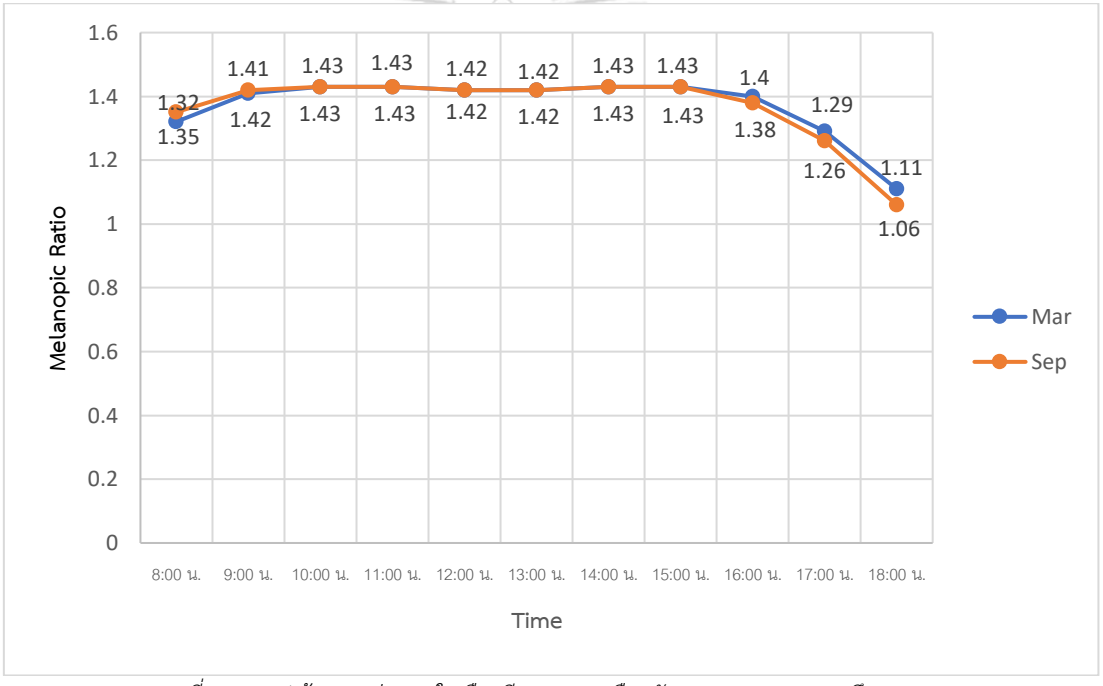
4.3.1 กรณีศึกษาที่ 1

4.3.2 กรณีศึกษาที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 ผลการคำนวณหาค่า MR สำหรับแสงธรรมชาติ

จากการคำนวณหาค่า Melanopic Ratio (MR) สำหรับแสงธรรมชาติที่เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย เพื่อให้สามารถนำไปประเมินค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิตต่อได้ โดยได้ทำการพิจารณาจากจุดที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรของโลก เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตกหรือที่เรียกว่า วันวสันตวิษุวัต (Vernal Equinox) ประมาณวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และวันศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox) วันที่ 22 หรือ 23 กันยายน อ้างอิงการเลือกวัน เพื่อคำนวณแสงธรรมชาติตามเกณฑ์ Leadership in Energy and Environmental Design: LEED Version 4 โดยสภาอาคารสีเขียวสหรัฐอเมริกาหรือ U.S. Green Building Council: USGBC โดยเลือกคำนวณตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 18:00 น. ซึ่งพบว่าค่า MR ของเดือนมีนาคมและเดือนกันยายนนั้น มีความใกล้เคียงกันมากตลอดทั้งวัน โดยที่เดือนกันยายนนั้นจะมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อยในช่วงเวลาเริ่มทำงาน หรือ 8:00 น. และช่วงเลิกงานหรือประมาณ 18:00 น. ดังภาพที่ 4.1



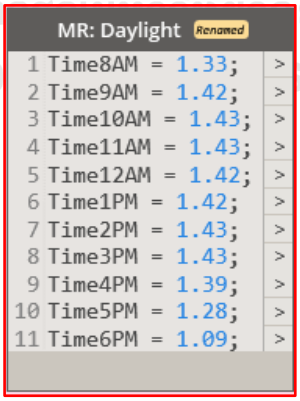
ภาพที่ 4.1 กราฟเส้นแสดงค่า MR ในเดือนมีนาคม และเดือนกันยายน เวลา 8:00 น. ถึง 18:00 น.

จากนั้นได้นำค่า MR ของวันในเดือนมีนาคม และกันยายน ในช่วงเวลาที่สอดคล้องกับเวลาทำงานในอาคารสำนักงานตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 18:00 น. ที่คำนวณได้มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ค่า MR เฉลี่ยสำหรับแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า Equivalent Melanopic Lux: EML ผลพบว่าตลอดทั้งวัน ค่า MR มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเล็กน้อยเท่านั้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วงดังตาราง 4.1 คือ ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ค่า MR เฉลี่ยอยู่ที่ 1.33 ต่อมาที่เวลา 9.00 น. ถึง 16:00 น. ค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Colour Temperature: CCT) ของแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า MR เพิ่มขึ้นตามด้วย โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.42 และที่เวลา 17:00 น. ค่า MR เฉลี่ยลดลงเหลือ 1.28 และสุดท้ายในช่วงเวลา 18:00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่พระอาทิตย์เริ่มตกลงสู่พื้นดิน ค่า CCT มีการเปลี่ยนแปลงลดลงมาส่งผลต่อค่า MR ลดลงเหลือ 1.09

ตารางที่ 0.5 ค่า MR ของแสงธรรมชาติ

Daylight		Time										
		8:00	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**
Mar	CCT (K)	10002	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	MR	1.32	1.41	1.43	1.43	1.42	1.42	1.43	1.43	1.40	1.29	1.11
Sep	CCT (K)	10690	12996	13560	13231	13098	13129	13472	13390	11706	8744	6124
	MR	1.35	1.42	1.43	1.43	1.42	1.42	1.43	1.43	1.38	1.26	1.06
Avg. MR		**1.33**	**1.42**	**1.43**	**1.43**	**1.42**	**1.42**	**1.43**	**1.43**	**1.39**	**1.28**	**1.09**

จากนั้นได้นำค่าเฉลี่ยตามเวลาต่าง ๆ ดังกล่าว ไปใส่ไว้ภายใน Node สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) ในโปรแกรม



ภาพที่ 4.2 Node สำหรับข้อมูลค่า MR ของแสงธรรมชาติ

4.2 ผลการพัฒนาเครื่องมือเสริม

การพัฒนาเครื่องมือเสริมในงานวิจัยนี้ ได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ต่าง ๆ ซึ่งทำงานบนโปรแกรม Revit เป็นหลัก โดยใช้งานร่วมกับโปรแกรมเสริม Dynamo ซึ่งประกอบไปด้วยไฟล์ทั้งหมด 3 สกุล ดังนี้

4.2.1 ไฟล์ Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (.xlsx)

ในงานวิจัยนี้มีการทำงานผ่านโปรแกรม Microsoft Excel โดยมีการใช้ไฟล์ Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (.xlsx) ได้แก่ ไฟล์ Melanopic Ratio: MR สำหรับแสงธรรมชาติ และไฟล์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบการแสดงผลจากการคำนวณผ่านเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้น

4.2.2 ไฟล์ Dynamo Workspace (.dyn)

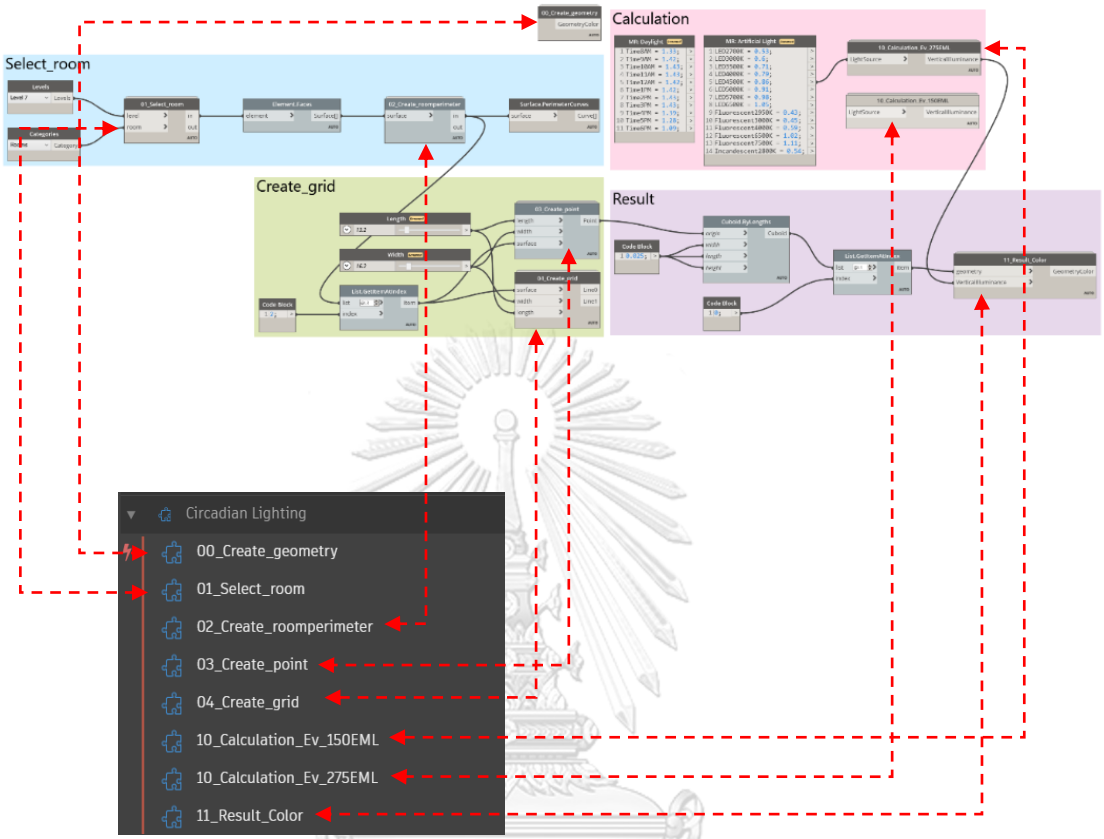
ชุดคำสั่งของโปรแกรม Dynamo จะอยู่ในรูปแบบที่เป็นนามสกุล Dynamo Workspace (.dyn) จะแสดงผลออกมาทางหน้าต่างเฉพาะตัวของโปรแกรม ซึ่งเป็นไฟล์ตัวอย่างที่ใช้ในการเริ่มต้นทำงานแสดงให้เห็นภาพรวมขั้นตอนการทำงานและข้อมูลที่ต้องใส่เข้าไปทั้งหมดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมา รวมถึงมีค่า MR ของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ ทั้งแสงธรรมชาติที่มีการแบ่งตามเวลา เพื่อให้สามารถเลือกคำนวณได้ตามเวลาที่ต้องการ และแสงประดิษฐ์ที่แบ่งตามประเภทของแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ในอาคารสำนักงาน โดยจะมีการดึงข้อมูลมาจากไฟล์ Revit Project (.rvt) หรือไฟล์แบบจำลองอาคารในโปรแกรม Revit ที่ต้องการคำนวณ สำหรับไฟล์ตัวอย่างนี้ได้ใช้ชื่อว่า Sample_CircadianLighting.dyn ใช้เริ่มต้นการทำงานซึ่งประกอบไปด้วย Node ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม

4.2.3 ไฟล์ Dynamo Custom Node (.dyf)

ไฟล์ Dynamo Custom Node (.dyf) เป็นไฟล์จากการสร้าง Custom Node ขึ้นมา เพื่อให้หน้าตาในการใช้โปรแกรมสะอาดและไม่รกจนเกินไปในการทำงาน โดยได้รวบรวมออกมาเป็น Package ชื่อ Circadian Lighting ซึ่งประกอบด้วยทั้งหมด 8 Custom Nodes ด้วยกัน โดยได้มีการไล่ชื่อ Node เป็นเลขตามลำดับขั้นตอน ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ Node ที่ชื่อขึ้นต้นด้วย 0X_XXX จะเป็น Node ในการดึงข้อมูลของแบบจำลองจากโปรแกรม Revit และ Node ที่ชื่อขึ้นต้นด้วย 1X_XXX จะเป็น Node เกี่ยวกับการคำนวณและการแสดงผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้าต่างตัวอย่างไฟล์ Dynamo Workspace ที่แสดงตำแหน่งการใช้งานของ ไฟล์ Dynamo Custom Node ที่ได้จัดทำขึ้นทั้งหมด 8 Custom Node ที่สามารถเรียกใช้ได้จาก Package ชื่อ Circadian Lighting



ภาพที่ 4.3 Custom Node ภายใน Workspace ในการทำงานของไฟล์ Sample_CircadianLigh

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากสกุลไฟล์ทั้งหมด 3 สกุล ที่ได้กล่าวไปในข้างต้น สามารถสรุปไฟล์ที่ได้จากการพัฒนาออกมาได้ ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นการแสดงชื่อไฟล์ และคำอธิบายในการทำงานของไฟล์แต่ละไฟล์

ตารางที่ 0.6 เครื่องมือที่ได้จากการพัฒนา

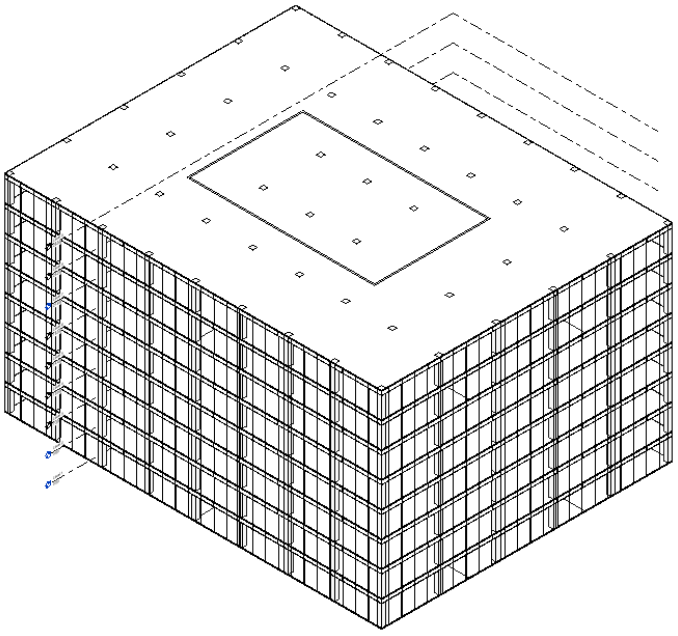
ชื่อไฟล์	**คำอธิบาย**
Microsoft Excel Open XML Spreadsheet (.xlsx)	
Melanopic Ratio (MR)_Daylight	Melanopic Ratio: MR สำหรับแสงธรรมชาติ
Summary_Result	สรุปผลค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev)
Dynamo Workspace (.dyn)	
Sample_CircadianLighting	ไฟล์ตัวอย่างสำหรับเริ่มต้นการทำงาน
Dynamo Custom Node (.dyf)	
00_Create_geometry	แสดงภาพรวม พื้น ผนัง ของอาคาร
01_Select_room	เลือกพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ โดยการใส่ข้อมูลชั้นและห้องที่ต้องการ
02_Create_roomperimeter	สร้างเส้นกรอบรอบพื้นที่ห้องที่ต้องการคำนวณ
03_Create_point	สร้างจุดที่จะใช้ในการแสดงสี ซึ่งความละเอียดของจุดจะเป็นไปตามขนาดของพื้นที่ห้อง
04_Create_grid	สร้างเส้นกริดตารางขนาด 1 x 1 เมตร เพื่อให้มองเห็นตำแหน่งระยะในการคำนวณ
10_Calculation_Ev_150EML	คำนวณค่าความส่องสว่างสำหรับ 150 EML
10_Calculation_Ev_275EML	คำนวณค่าความส่องสว่างสำหรับ 275 EML
11_Result_Color	แสดงค่าสีความส่องสว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

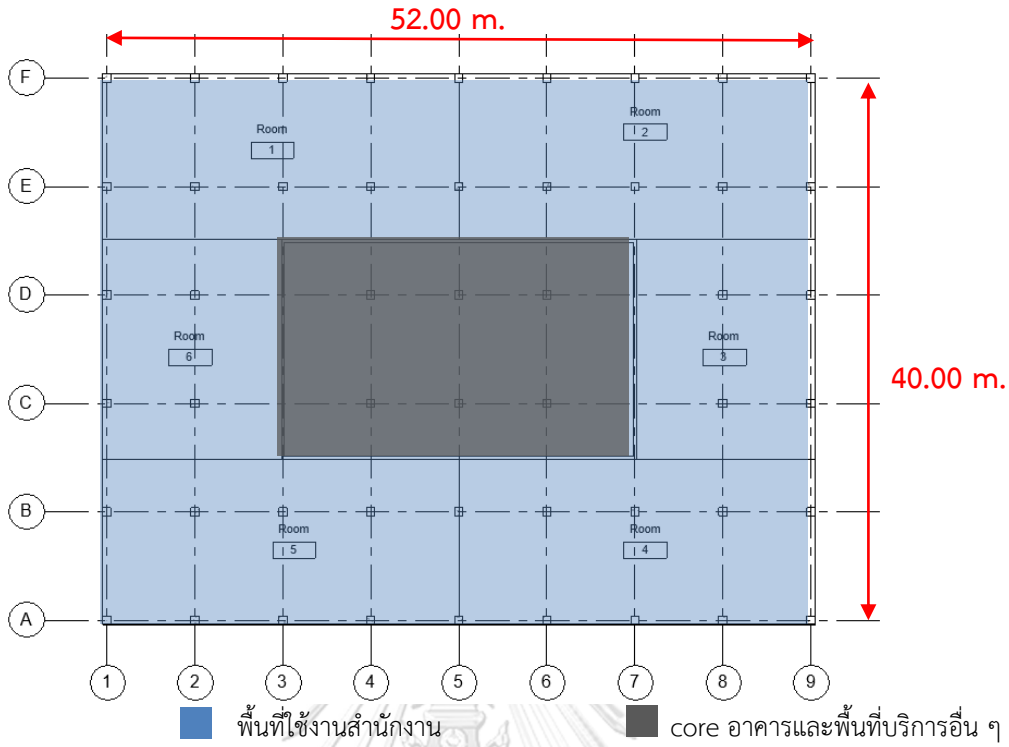
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องและการนำเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้

หลังจากได้นำตัวอย่างแบบจำลองอาคารสำนักงานมาทดลองคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) ที่ทำให้ได้ค่า Equivalent Melanopic Lux: EML ตามที่ต้องการ ผ่านเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นแล้ว จึงทำการเลือกใช้แสงประดิษฐ์ที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Colour Temperature: CCT) ตรงกับที่ได้เลือกไว้ในเครื่องมือเสริมที่พัฒนามาติดตั้งลงในแบบจำลองและใช้เครื่องมือเสริม ElumTools ผ่านโปรแกรม Revit ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในแนวดิ่งให้มีค่าใกล้เคียงกับที่เครื่องมือเสริมที่พัฒนาคำนวณได้ เพื่อนำไปคำนวณหาค่า EML ต่อด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งพบว่าเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถประเมินค่า EML ได้ในระดับเบื้องต้น เพื่อให้ทราบถึงช่วงได้คะแนนที่จะได้ในหัวข้อนี้ว่าเป็น 1 คะแนน สำหรับ 150 EML ถึง 274 EML หรือ 3 คะแนน สำหรับ 275 EML ขึ้นไป เมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้จาก Microsoft Excel พบว่ารูปแบบการกระจายของดวงโคมที่แตกต่างกันเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างแนวดิ่งบางตำแหน่งในจุดที่คำนวณสูงกว่าค่าที่เครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้นแนะนำให้ใช้ ส่งผลให้ค่า EML ในจุดนั้น ๆ มีค่าสูงกว่าที่ต้องการทำให้สามารถได้คะแนนในหัวข้อ Circadian lighting ตาม WELL Building Standard สูงขึ้นตามไปด้วยในบางจุด

กรณีศึกษาที่นำมาทดสอบการใช้งานของเครื่องมือที่พัฒนานั้นเป็นอาคารสำนักงานประเภทอาคารสูงที่มีพื้นที่ต่อชั้นอยู่ที่ประมาณ 2,135 ตารางเมตร ขนาดกรอบอาคารกว้างประมาณ 40.00 เมตร และยาวประมาณ 52.00 เมตร ตามที่แสดงในภาพที่ 4.4

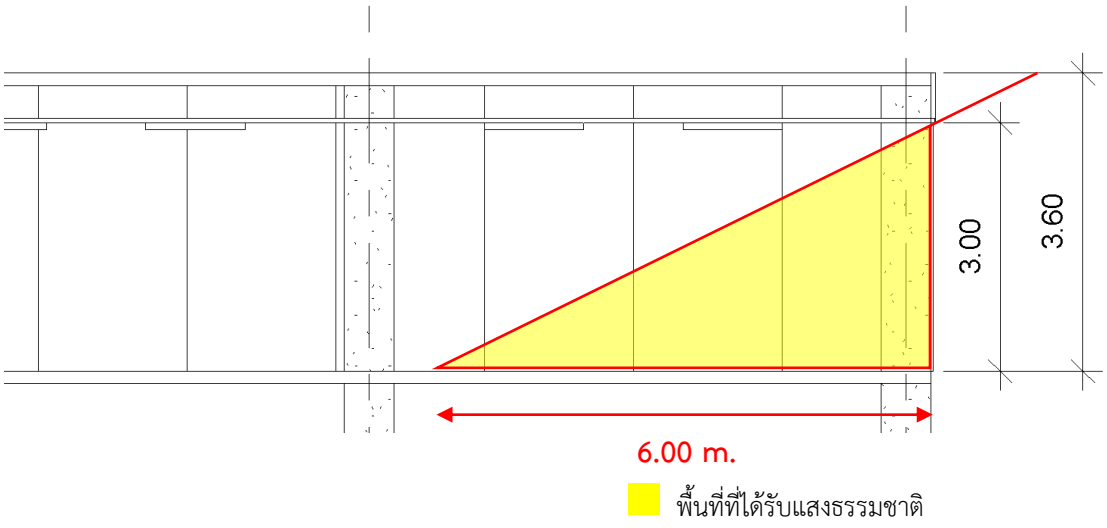


ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างอาคารสำนักงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา



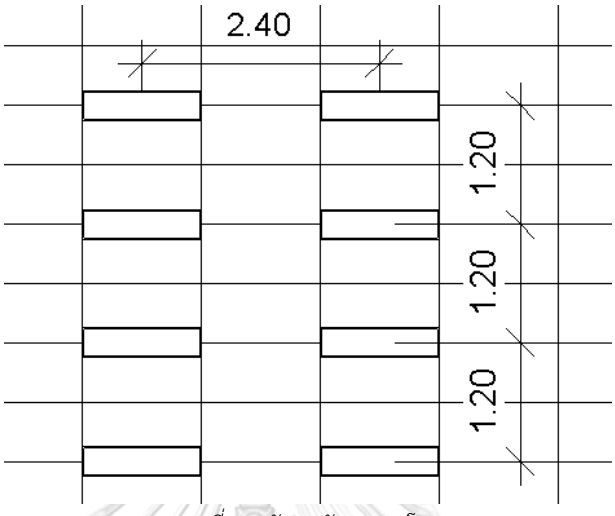
ภาพที่ 4.5 ผังพื้นอาคารสำนักงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

ระดับความสูงของช่องเปิดที่สามารถรับแสงธรรมชาติเข้ามาได้อยู่ที่ 3.00 เมตร ทำให้ทำให้พื้นที่ที่แสงธรรมชาติจะเข้ามาในพื้นที่ได้อยู่ที่ 6.00 เมตรในแนวระนาบกับพื้นจากกรอบอาคารดังที่แสดงในภาพที่ 4.6 อ้างอิงตามเกณฑ์ Leadership in Energy and Environmental Design: LEED Version 3 โดยสภาอาคารสีเขียวสหรัฐอเมริกาหรือ U.S. Green Building Council: USGBC

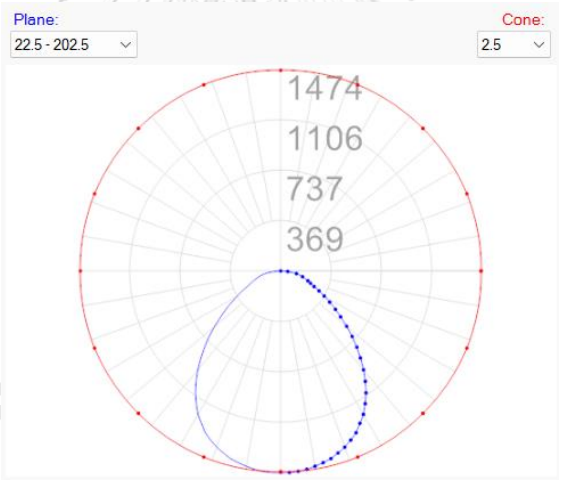


ภาพที่ 4.6 รูปตัดแสดงระยะที่ได้รับแสงแดดเข้ามาในพื้นที่ใช้งานจากกรอบอาคาร

การตรวจสอบความถูกต้องได้มีการแบ่งพื้นที่ห้อง (Room) บนผังพื้นของอาคารกรณีศึกษาโดยแบ่งออกเป็นสองกรณี ซึ่งทั้งสองกรณีได้เลือกใช้ดวงโคมประเภทเดียวกันคือหลอด LED ที่มีค่า CCT อยู่ที่ 4500 K โดยระยะในการวางดวงโคมเป็นไปตามภาพที่ 4.7 และได้ตั้งค่า EML ที่ต้องการไว้ที่ 275 EML โดยมีรายละเอียด ดังนี้



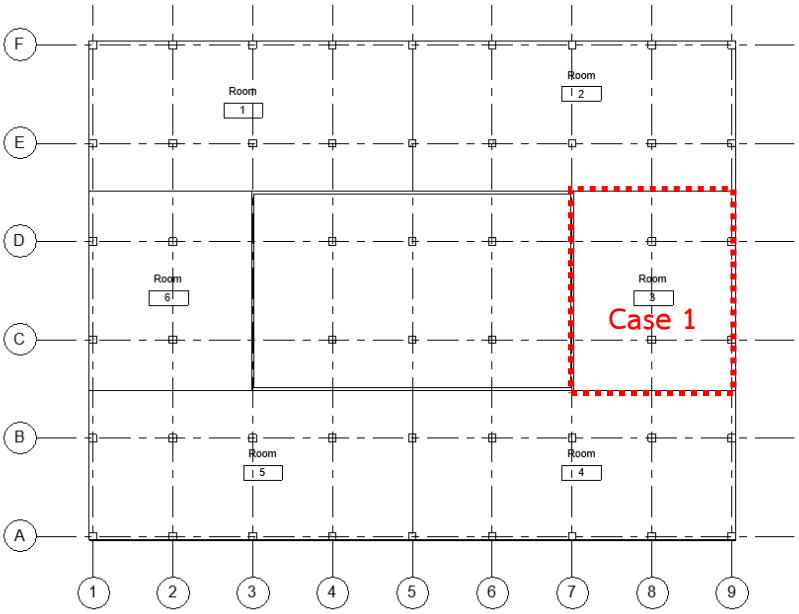
ภาพที่ 4.7 ผังการจัดวางดวงโคม



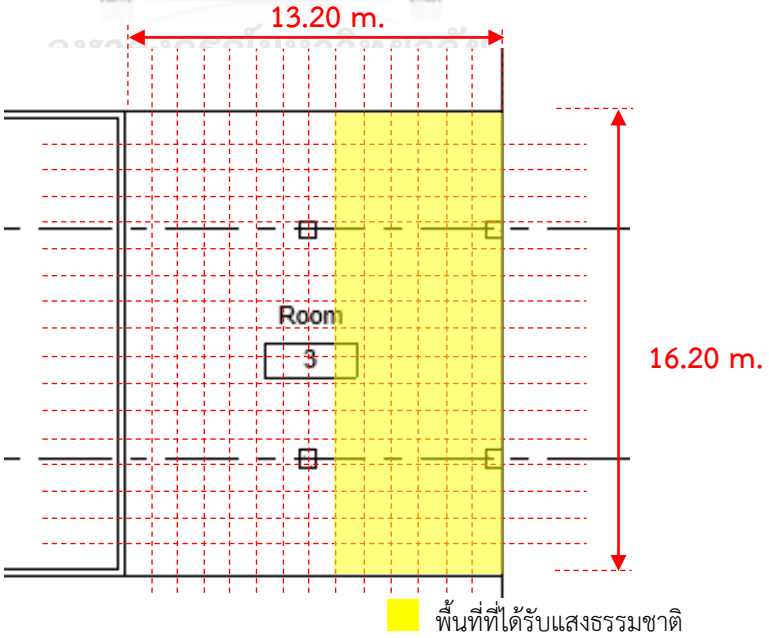
ภาพที่ 4.8 การกระจายของดวงโคม

4.3.1 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1 เป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของอาคารสำนักงานที่มีความกว้าง 16.20 เมตร และความลึกจากกรอบอาคารที่อยู่ที่ 13.20 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 213.14 ตารางเมตร โดยระยะห่างในพื้นที่สำหรับการคำนวณคือทุก ๆ 1.00 เมตร รวมจุดประเมินทั้งหมด 208 ตำแหน่ง สามารถสังเกตจากจุดตัดที่เกิดขึ้นบนผังพื้น โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ 96 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 46.15 ของพื้นที่ และบริเวณที่ใช้แสงประดิษฐ์ 112 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 53.85 ของพื้นที่

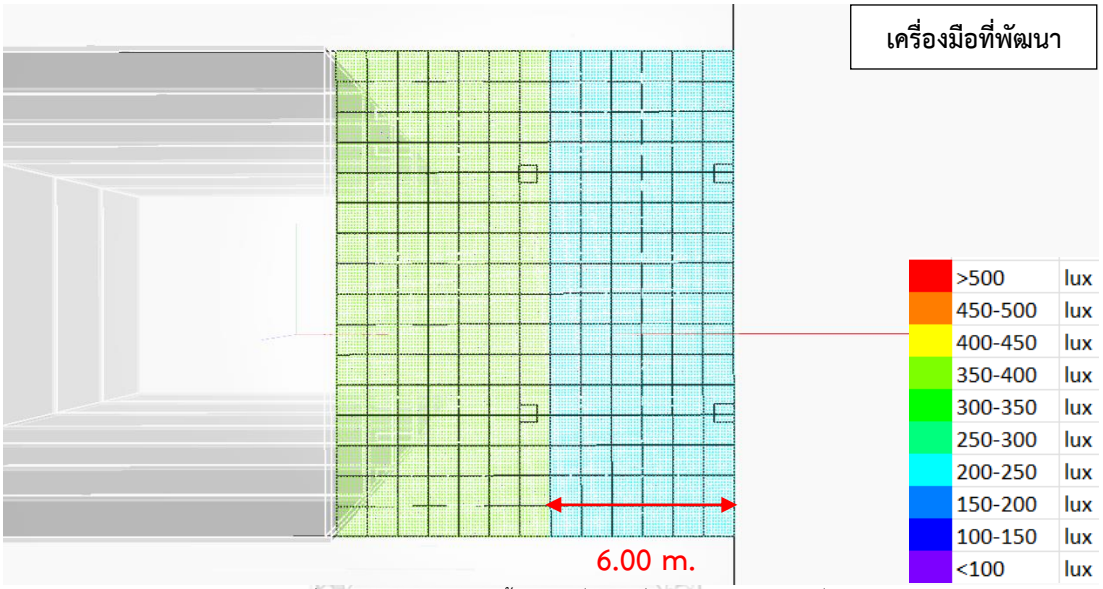


ภาพที่ 4.9 ตำแหน่งพื้นที่กรณีศึกษาที่ 1

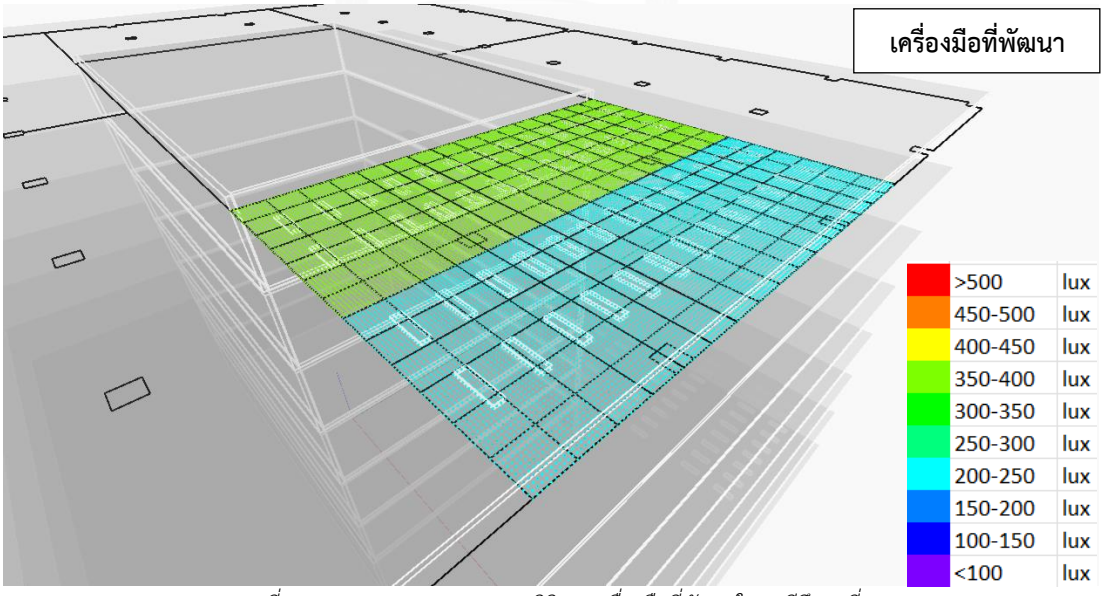


ภาพที่ 4.10 แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในพื้นที่กรณีศึกษาที่ 1

ผลการทดลองใช้เครื่องมือของกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าจากจุดประเมินทั้งหมด 208 ตำแหน่ง ผลลัพธ์จากเครื่องมือเสริมที่พัฒนาขึ้นมี 87 ตำแหน่งจากทั้งหมด หรือคิดเป็นร้อยละ 41.83 ของพื้นที่ทั้งหมด ที่ผ่านเกณฑ์ได้ 3 คะแนน หรือได้ 275 EML ขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็นในพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ 78 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 81.25 ของพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ และพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์ 9 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 8.04 ของพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์ เมื่อนำมาเทียบผลกับการคำนวณด้วยมือ หรือโปรแกรม Microsoft Excel มี 116 ตำแหน่ง หรือคิดเป็นร้อยละ 55.77 ของพื้นที่ที่ได้ 275 EML ขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็นในพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ 81 ตำแหน่งหรือร้อยละ 84.38 ของพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ และพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์ 35 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 31.25 ของพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์



ภาพที่ 4.11 การแสดงผลผังพื้นของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 1

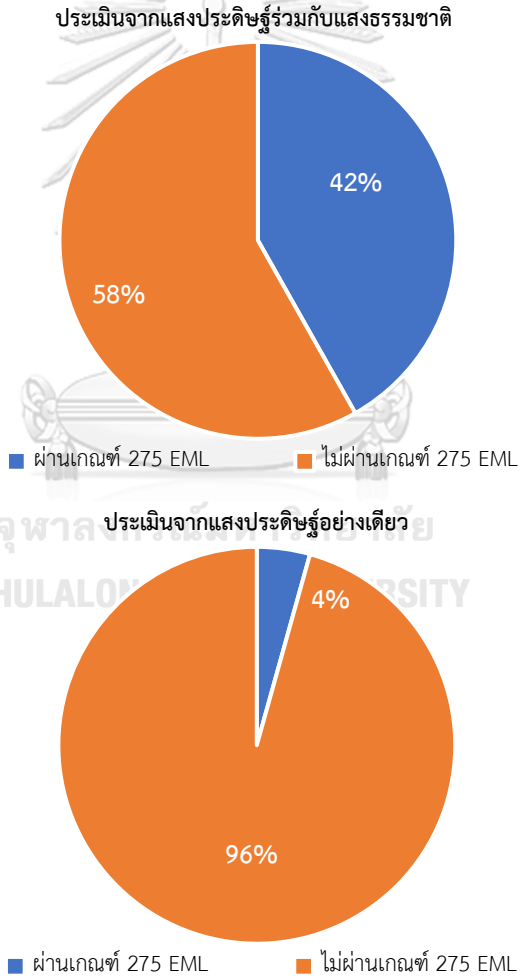


ภาพที่ 4.12 การแสดงผลมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 0.7 สรุปผลของกรณีศึกษาที่ 1

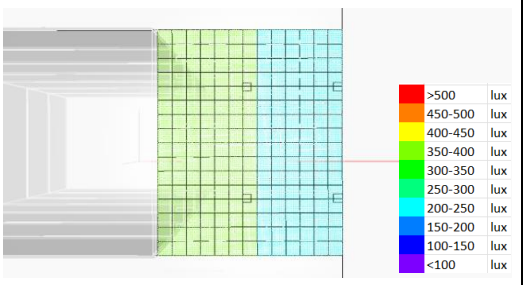
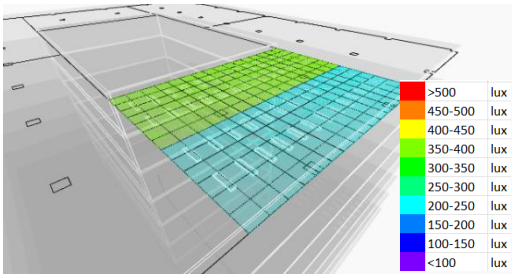
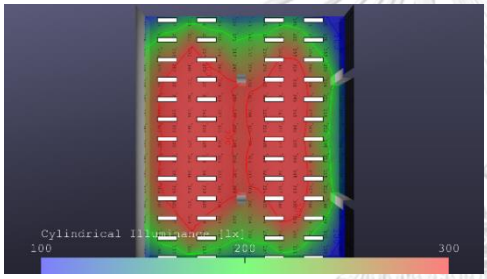
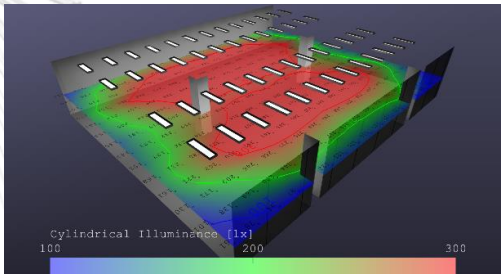
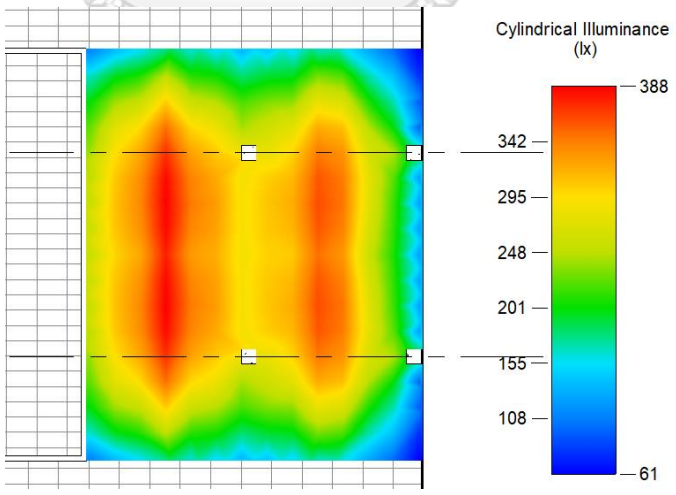
เครื่องมือที่พัฒนา		Microsoft Excel	
พื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ 275 EML ขึ้นไป			
41.83 %		55.77 %	
บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติ	บริเวณที่ใช้แสงประดิษฐ์	บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติ	บริเวณที่ใช้แสงประดิษฐ์
89.66 %	10.34 %	69.83 %	30.17 %

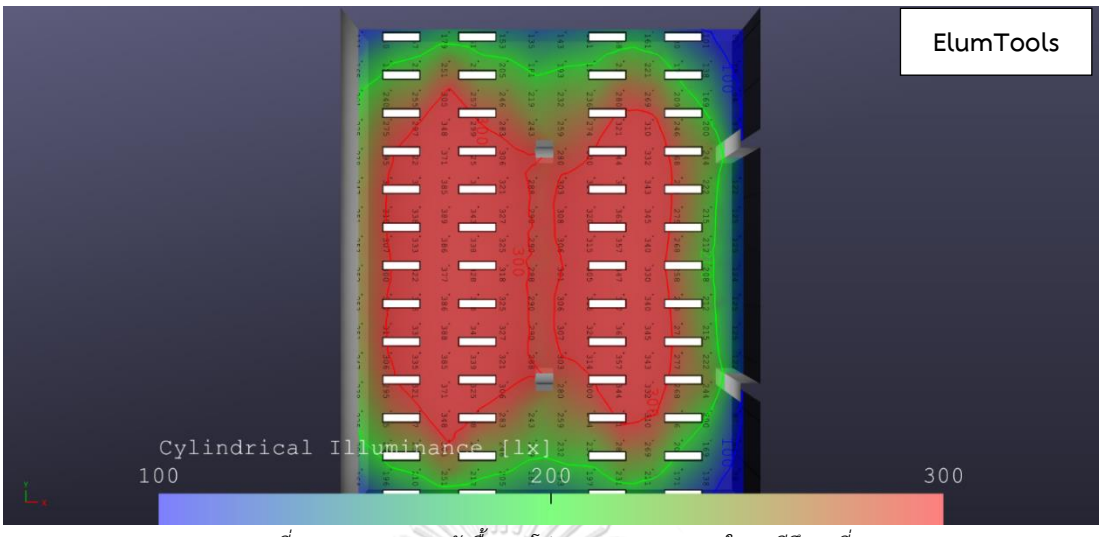
ความแตกต่างในการประเมินแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว และการะประเมินแสงธรรมชาติร่วมด้วย พบว่า หากคำนวณเพียงแค่แสงประดิษฐ์จากโปรแกรม ElumTools จะมีตำแหน่งที่ผ่านเกณฑ์เพียง 9 ตำแหน่งเท่านั้น แต่เมื่อเทียบกับเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นที่มีการคำนวณแสงธรรมชาติร่วมด้วยทำให้ผ่านเกณฑ์ถึง 87 ตำแหน่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง แนวทางการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานให้มีความเหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตสำหรับประเทศไทย ของนางสาวจิณห์วรา อรัณย์ชนายุธ ในปี พ.ศ.2561



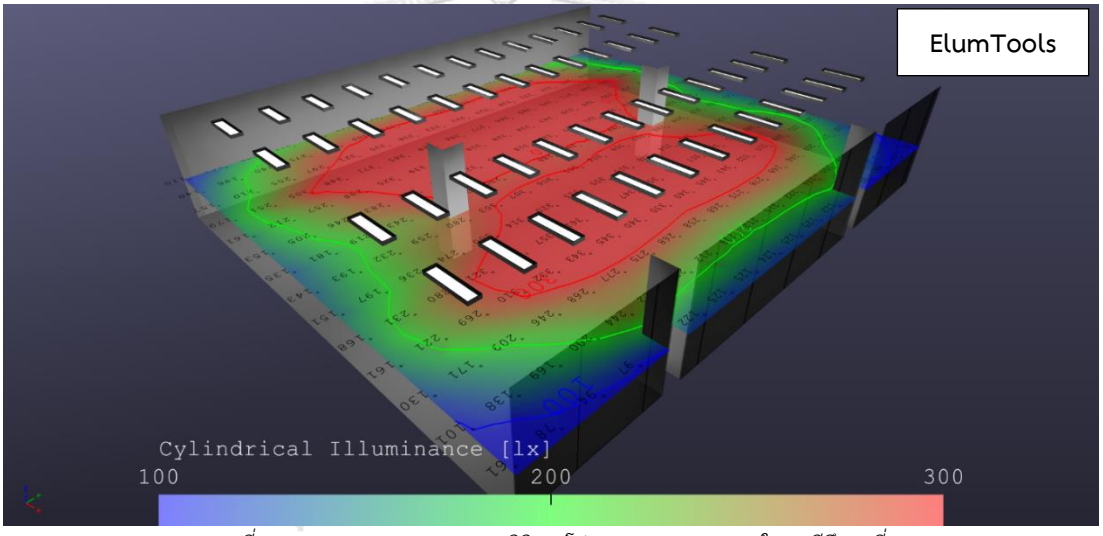
ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงความแตกต่างในการคำนวณแสงธรรมชาติร่วมด้วย

ตารางที่ 0.8 การแสดงผลของกรณีศึกษาที่ 1

	ผังพื้น	มุมมองสามมิติ
เครื่องมือที่พัฒนา		
	ผ่านเกณฑ์ได้ 275 EML ขึ้นไป ทั้งหมด 87 ตำแหน่ง หรือ 42 % ของพื้นที่ทั้งหมด	
ElumTools		
		
	ผ่านเกณฑ์ได้ 275 EML ขึ้นไป ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง หรือ 4 % ของพื้นที่ทั้งหมด	



ภาพที่ 4.14 การแสดงผลผังพื้นของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 1

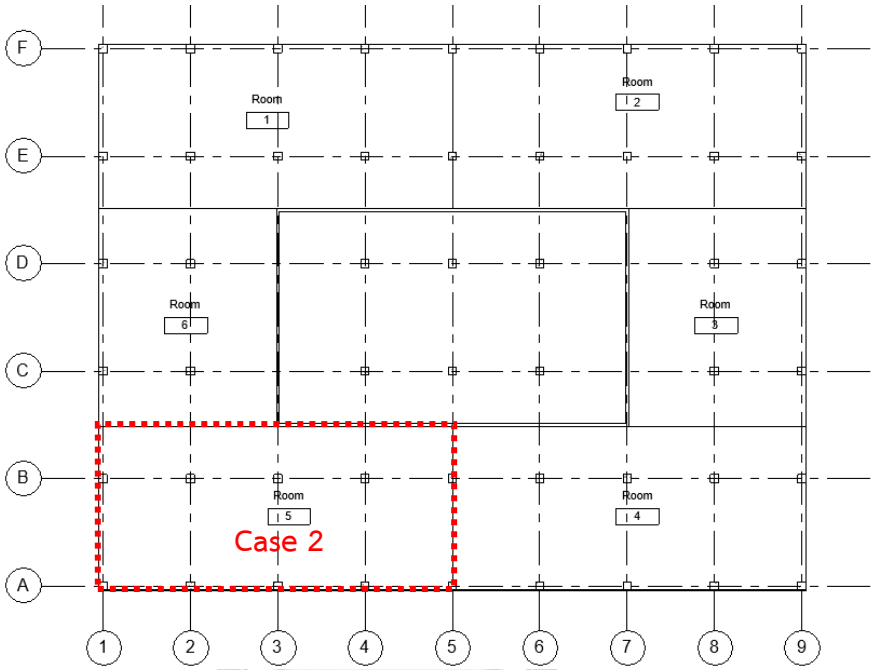


ภาพที่ 4.15 การแสดงผลมุมมองสามมิติของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 1

CHULALONGKORN UNIVERSITY

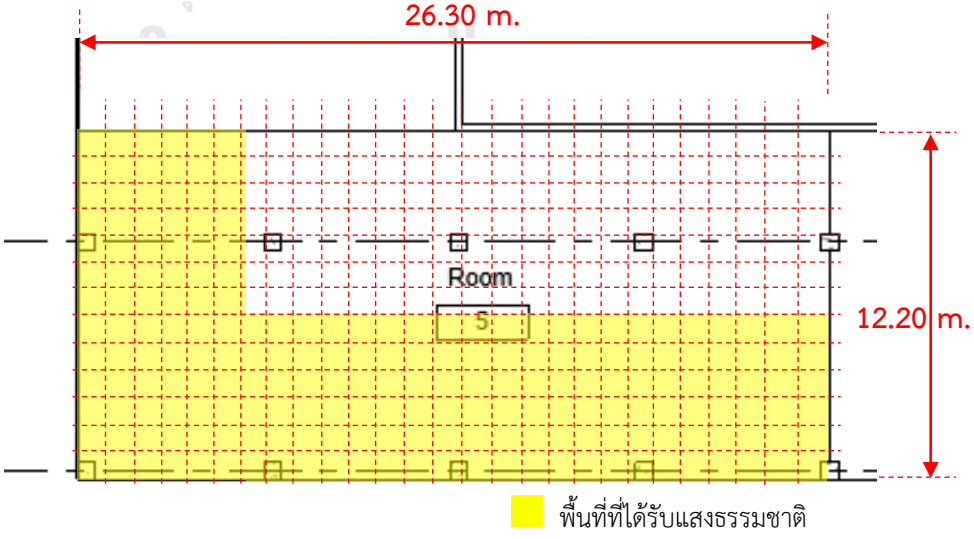
4.3.2 กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 เป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของอาคารสำนักงานที่มีความกว้าง 26.30 เมตร และความลึกจากกรอบอาคารที่อยู่ที่ 12.20 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 319.33 ตารางเมตร โดยระยะห่างในพื้นที่สำหรับการคำนวณคือทุก ๆ 1.00 เมตร รวมจุดประเมินทั้งหมด 312 ตำแหน่ง สามารถสังเกตจากจุดตัดที่เกิดขึ้นบนผังพื้น โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ 192 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 61.54 ของพื้นที่ และบริเวณที่ใช้แสงประดิษฐ์ 120 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 38.46 ของพื้นที่



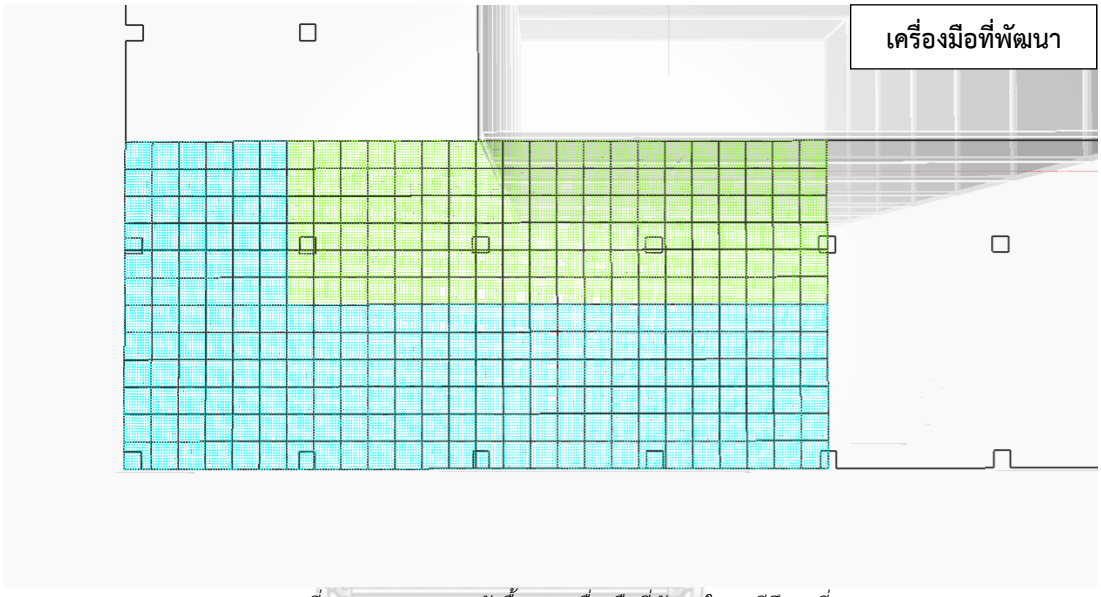
ภาพที่ 4.16 ตำแหน่งพื้นที่กรณีศึกษาที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

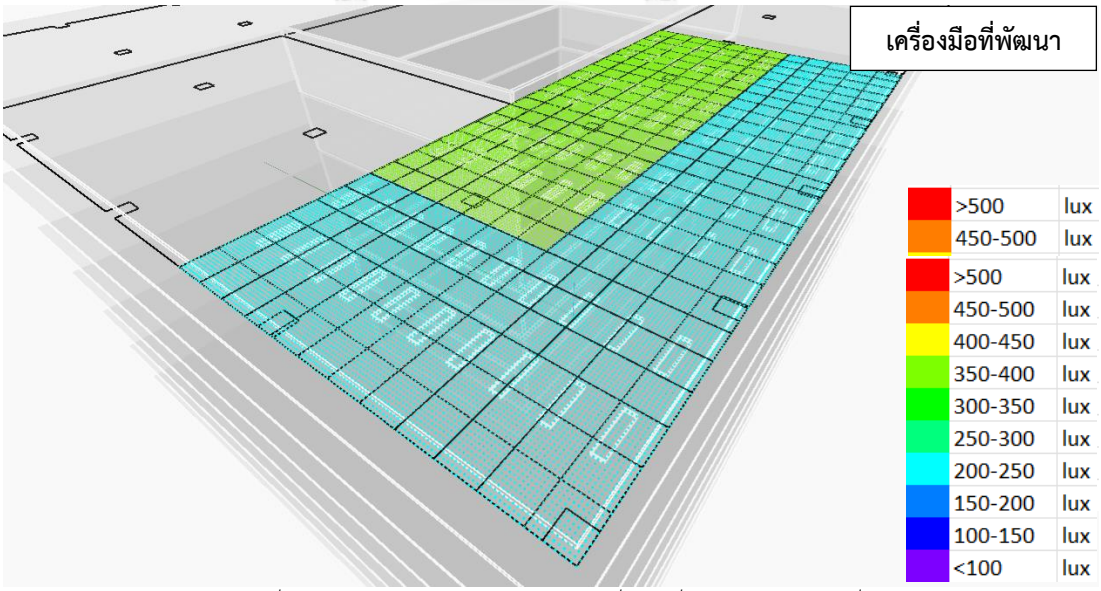


ภาพที่ 4.17 แสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในพื้นที่กรณีศึกษาที่ 2

ผลการทดลองใช้เครื่องมือของกรณีศึกษาที่ 2 พบว่าจากจุดประเมินทั้งหมด 312 ตำแหน่ง ผลลัพธ์จากเครื่องมือเสริมที่พัฒนาขึ้นมี 138 ตำแหน่งจากทั้งหมด หรือคิดเป็นร้อยละ 44.23 ของพื้นที่ทั้งหมด ที่ผ่านเกณฑ์ได้ 3 คะแนน หรือได้ 275 EML ขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็นในพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ 133 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 69.27 ของพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ และพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์ 5 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 4.17 ของพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์ เมื่อนำมาเทียบผลกับการคำนวณด้วยมือ หรือโปรแกรม Microsoft Excel มี 148 ตำแหน่ง หรือคิดเป็นร้อยละ 47.44 ของพื้นที่ที่ได้ 275 EML ขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็นในพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ 137 ตำแหน่งหรือร้อยละ 71.35 ของพื้นที่ที่ใช้แสงธรรมชาติ และพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์ 11 ตำแหน่ง หรือร้อยละ 9.17 ของพื้นที่ที่ใช้แสงประดิษฐ์



ภาพที่ 4.18 การแสดงผลผังพื้นของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 2

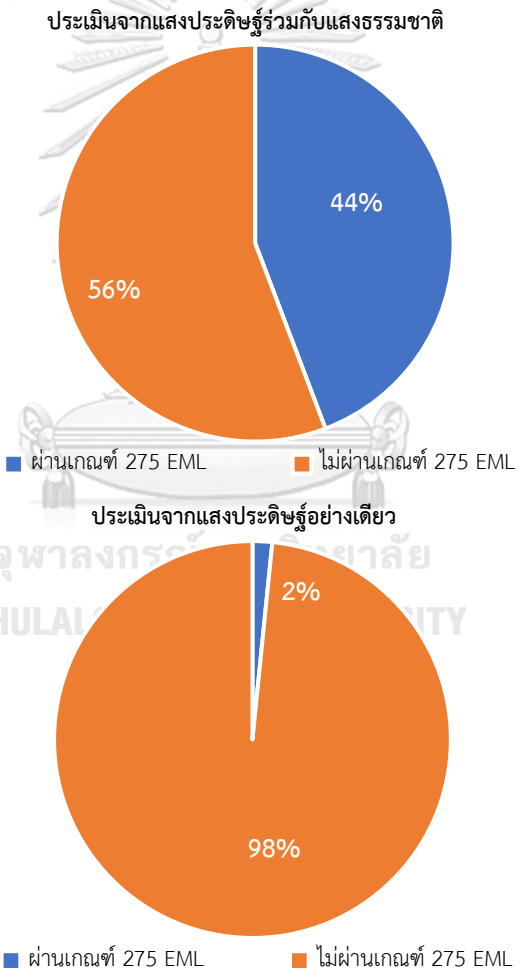


ภาพที่ 4.19 การแสดงผลมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 0.9 สรุปผลของกรณีศึกษาที่ 2

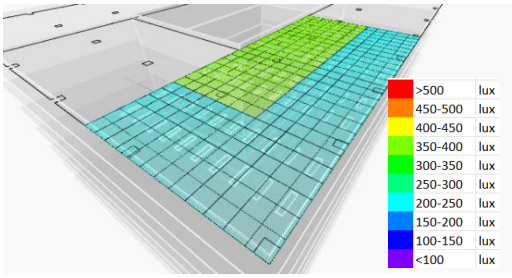
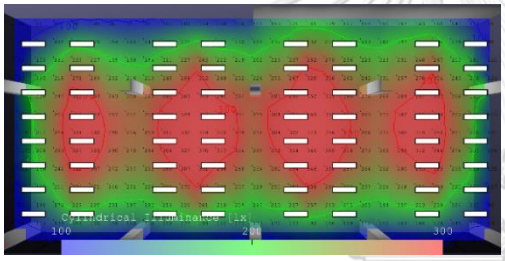
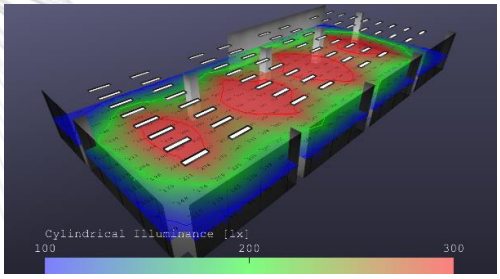
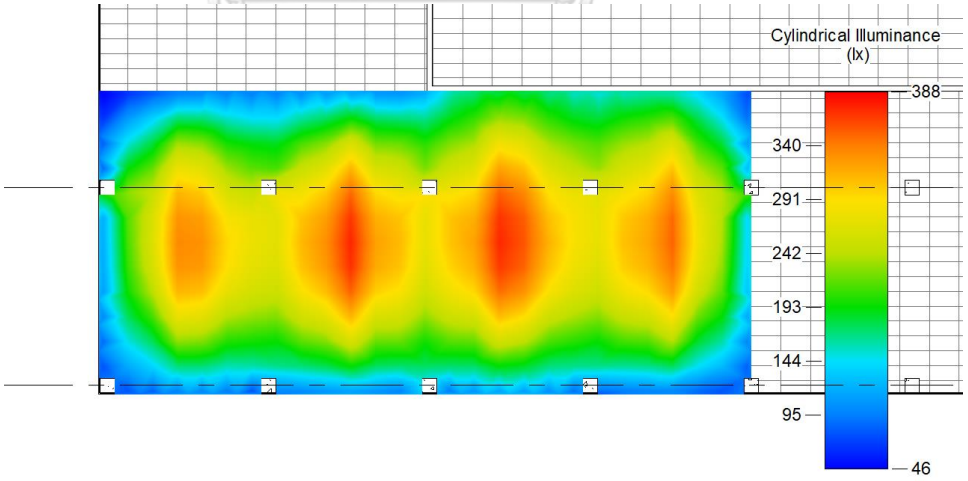
เครื่องมือที่พัฒนา		Microsoft Excel	
พื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ 275 EML ขึ้นไป			
44.23 %		47.44 %	
บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติ	บริเวณที่ใช้แสงประดิษฐ์	บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติ	บริเวณที่ใช้แสงประดิษฐ์
96.38 %	3.62 %	92.57 %	7.43 %

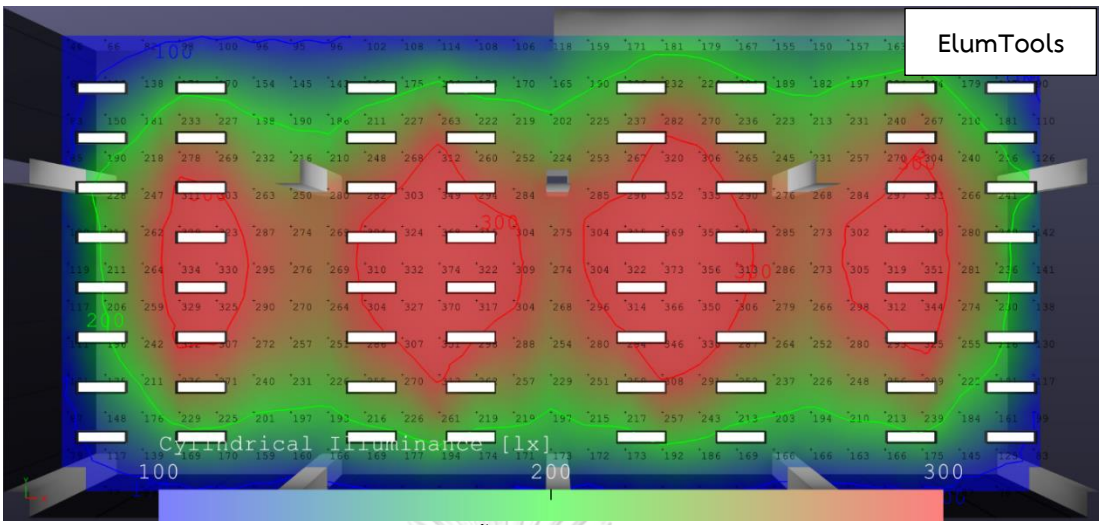
ความแตกต่างในการประเมินแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียว และการประเมินแสงธรรมชาติร่วมด้วย พบว่า หากคำนวณเพียงแค่แสงประดิษฐ์จากโปรแกรม ElumTools จะมีตำแหน่งที่ผ่านเกณฑ์เพียง 5 ตำแหน่งเท่านั้น แต่เมื่อเทียบกับเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นที่มีการคำนวณแสงธรรมชาติร่วมด้วยทำให้ผ่านเกณฑ์ถึง 138 ตำแหน่ง



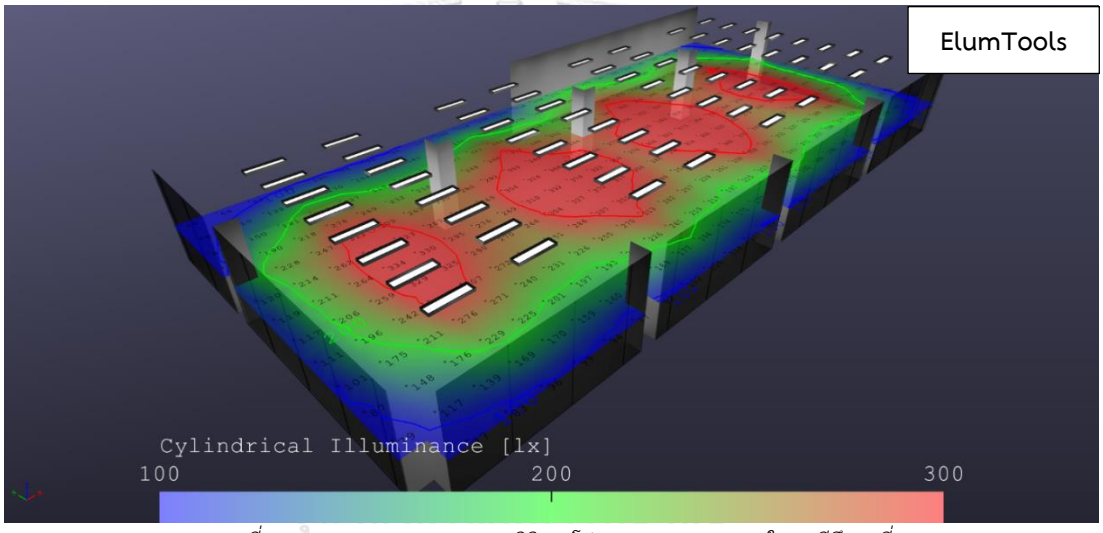
ภาพที่ 4.20 แผนภูมิแสดงความแตกต่างในการคำนวณแสงธรรมชาติร่วมด้วย

ตารางที่ 0.10 การแสดงผลของกรณีศึกษาที่ 2

	ผังพื้น	มุมมองสามมิติ
เครื่องมือที่พัฒนา		
	ผ่านเกณฑ์ได้ 275 EML ขึ้นไป ทั้งหมด 138 ตำแหน่ง หรือ 44 % ของพื้นที่ทั้งหมด	
ElumTools		
		
	ผ่านเกณฑ์ได้ 275 EML ขึ้นไป ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง หรือ 2 % ของพื้นที่ทั้งหมด	



ภาพที่ 4.21 การแสดงผลผังพื้นของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.22 การแสดงผลมุมมองสามมิติของโปรแกรม ElumTools ในกรณีศึกษาที่ 2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

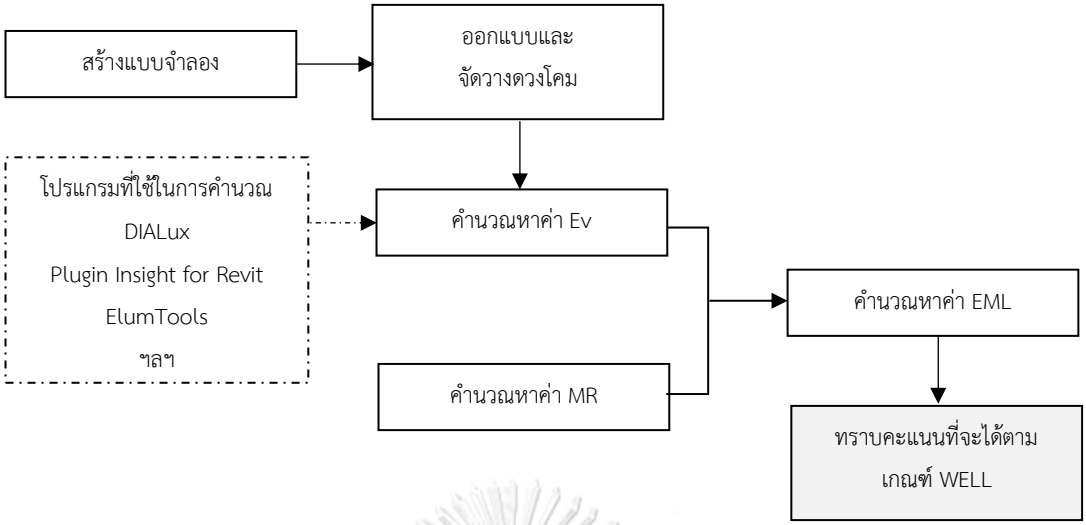
บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันอาคารสำนักงานให้ความสำคัญเกี่ยวกับการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารมากขึ้น แสงจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถส่งเสริมให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นได้ งานวิจัยนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) โดยได้เลือกการประเมินค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพตามเกณฑ์การประเมินอาคาร WELL Building Standard โดยสถาบัน International WELL Building Institute: IWBI มีการระบุการคำนวณเป็นค่า Equivalent Melanopic Lux: EML ซึ่งเป็นการประเมินจากแหล่งกำเนิดแสงประเภทแสงประดิษฐ์เท่านั้น ซึ่งทำให้เกณฑ์ WELL ต้องทำการวัดค่านี้ในเวลากลางคืน ทั้ง ๆ ที่อาคารใช้งานกลางวัน เนื่องจากเป็นการลดทอนขั้นตอนในการคำนวณให้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอาคารสำนักงานนั้นมีใช้งานในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ และสามารถได้รับแสงธรรมชาติในปริมาณที่เพียงพอต่อนาฬิกาชีวภาพที่ดี หากนำมาประเมินร่วมกับแสงประดิษฐ์ที่ใช้ในพื้นที่ใช้งาน จะทำให้ได้ผลลัพธ์ตรงตามการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณนั้นสามารถทำได้เพียงการหาค่า EML จากแสงประดิษฐ์เท่านั้น ซึ่งมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและจำเป็นต้องใช้หลายโปรแกรมในการคำนวณและการทำงานที่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถผูกข้อมูลกับแบบจำลองอาคารได้ การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารด้วยโปรแกรม Autodesk Revit: Revit ร่วมกับเครื่องมือเสริม Autodesk Dynamo Studio: Dynamo จึงเป็นทางเลือกสำหรับช่วยผู้ออกแบบในการคำนวณสำหรับการออกแบบร่างขั้นต้น โดยวิธีการของงานวิจัยนี้เริ่มต้นโดยการหาค่า Melanopic Ratio: MR ของแสงธรรมชาติให้เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย สำหรับการคำนวณหาค่า EML และศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงหลักการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อกำหนดข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการพัฒนาเครื่องมือเสริม และได้ทดลองใช้เครื่องมือที่พัฒนามาทำการเปรียบเทียบผลกับการคำนวณผ่านโปรแกรมอื่น เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคาร โดยยังคำนึงถึงพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติอยู่ด้วย เพื่อไม่ให้เป็นการใช้แสงประดิษฐ์เกินความจำเป็น ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยออกเป็นด้านต่าง ๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

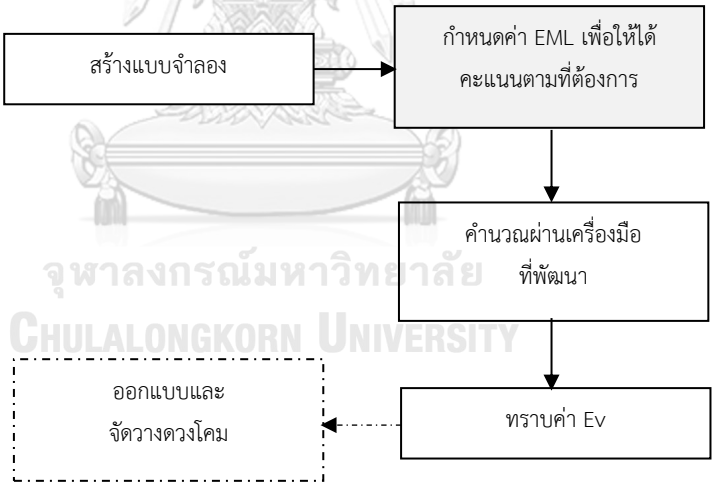
5.1.1 เครื่องมือที่พัฒนา

การพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารโดยใช้โปรแกรม Revit และโปรแกรมเสริม Dynamo ทำให้มีความสามารถในการดึงข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อคำนวณหาค่า EML ซึ่งสามารถแก้ไขอุปสรรคในการทำงานของสถาปนิก หรือผู้ออกแบบแสงสว่างที่มีความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบเพื่อให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี จากวิธีการรูปแบบเดิมที่จำเป็นต้องใช้หลายโปรแกรมในการคำนวณ ดังภาพที่ 5.1 เพื่อให้ทราบค่าคะแนนที่ได้ตามเกณฑ์ WELL Building Standard เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้จึงช่วยลดระยะเวลาในการทำงานและโปรแกรมที่ใช้น้อยลงสามารถทราบค่าคะแนนที่ได้ภายในเครื่องมือเสริมได้โดยตรงและลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.1 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานรูปแบบเดิม

เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นหากเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณเดิม คือทำให้ใช้โปรแกรมน้อยลง ซึ่งเป็นการลดทอนขั้นตอนกระบวนการทำงานให้สั้นลง ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น และยังสามารถนำค่า Ev ที่คำนวณได้ไปใช้ในการออกแบบจัดวางดวงโคมให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ได้อีกด้วย



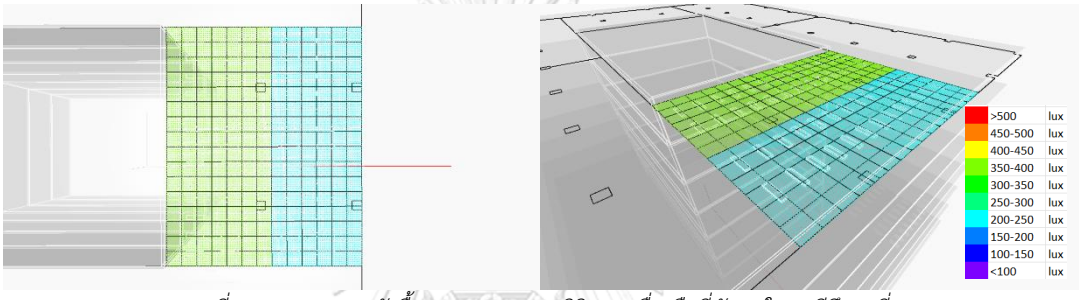
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 5.2 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

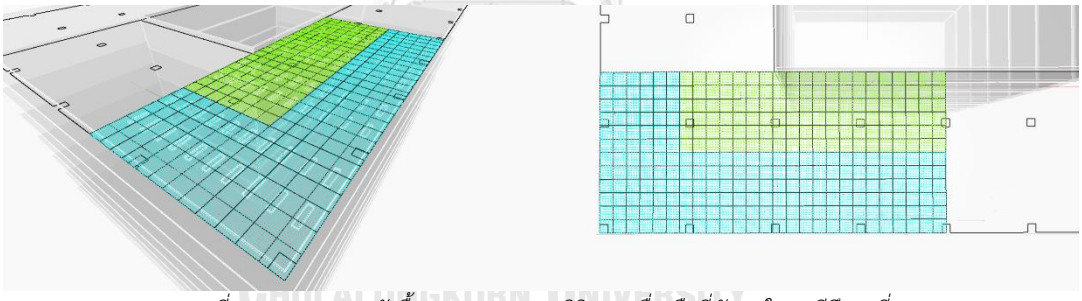
ในปัจจุบันเกณฑ์ WELL ยังให้คะแนนในหัวข้อ Circadian Lighting ตามค่า EML ที่คำนวณได้จากแสงประดิษฐ์อย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นการคำนวณจึงต้องทำตามให้ผ่านตามเกณฑ์ หากต้องนำไปประเมินเกณฑ์ WELL แต่โปรแกรมที่พัฒนานี้ จะเป็นต้นแบบให้ผ่านทั้งเกณฑ์ WELL และได้คุณภาพแสงสว่างภายในที่ดีต่อนาฬิกาชีวิตด้วยในเวลากลางวัน ซึ่งหากติดดิมเมอร์ (Dimmer) ด้วยก็จะสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ในขณะที่ได้แสงสว่างธรรมชาติที่ดีต่อนาฬิกาชีวิต

5.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างการใช้เครื่องมือเสริมที่ได้จากการพัฒนาขึ้น ร่วมกับการใช้โปรแกรม ElumTools ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง เพื่อนำไปคำนวณใน Microsoft Excel ต่อ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่คำนวณได้ ซึ่งพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมามีการแสดงค่าตัวเลขของค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) ที่คำนวณได้ตรงตามค่าที่คำนวณได้จาก Microsoft Excel แต่โปรแกรมนี้มีการแสดงผลลัพธ์ของสีตามค่า Ev ที่คำนวณได้ โดยมีการเผื่อให้แทนสีที่แสดงถึงค่า Ev ที่มีค่ามากกว่าที่ต้องการจริง เพื่อให้ทุกตำแหน่งในพื้นที่ที่ทำการคำนวณผ่านเกณฑ์ตามที่ต้องการ โดยจากกรณีศึกษาที่ได้ทำการคำนวณนั้นค่าสีที่แสดงจะมีความคลาดเคลื่อนในส่วนที่พิจารณาเป็นแสงประมาณมากกว่า ส่วนในพื้นที่ที่ประเมินเป็นแสงธรรมชาตินั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอยู่ที่ประมาณ ± 5.23 %



ภาพที่ 5.3 การแสดงผลผังพื้น และมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 1



ภาพที่ 5.4 การแสดงผลผังพื้น และมุมมองสามมิติของเครื่องมือที่พัฒนาในกรณีศึกษาที่ 2

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานวิจัยนี้ และคาดว่าจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องมือเสริมที่ได้พัฒนาขึ้นต่อไปในอนาคต สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.2.1 การเสนอแนวทางในการใช้แสงธรรมชาติ เพื่อให้ได้ค่า EML ตามที่ต้องการ

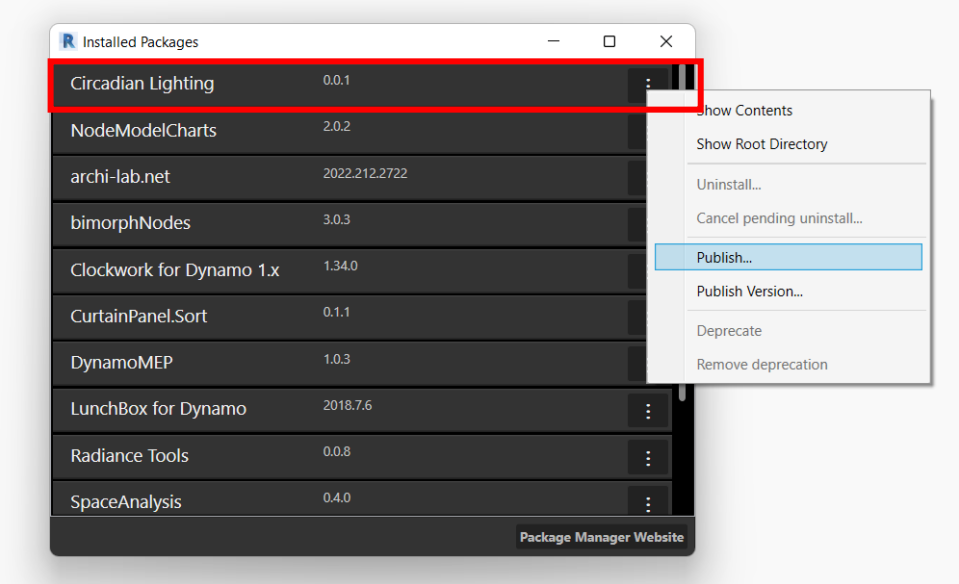
จากการคำนวณหาค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพจากแสงธรรมชาติ สามารถเสนอเป็นแนวทางในกำหนดค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง (Vertical illuminance: Ev) ขั้นต่ำของพื้นที่ที่มีแสงธรรมชาติเข้ามาอย่างเพียงพอได้ ดังตารางที่ 5.1 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แสงประดิษฐ์ในปริมาณที่เหมาะสมและไม่เกินความจำเป็น เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน ซึ่งส่วนใหญ่นั้นได้มีการออกแบบที่สามารถทำให้ได้รับแสงธรรมชาติที่เพียงพอแต่ในทางกลับกันยังมีการใช้แสงประดิษฐ์จำนวนมาก หรือการเลือกใช้ดวงโคมประเภทหรี่แสงได้ (Dimmable light fixtures) ซึ่งในอนาคตดิมเมอร์ (Dimmer) อาจมีการพัฒนาเป็นดิมเมอร์ที่ปรับหรี่ตามความส่องสว่างแนวดิ่งได้ด้วย เพื่อให้ปรับค่า Equivalent Melanopic Lux: EML สำหรับปริมาณแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพด้วย ไม่ใช่ความส่องสว่างแนวนอนเพื่อความสว่างที่สายตาต้องการเพียงอย่างเดียวเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานในอาคารมีนาฬิกาชีวภาพดำเนินไปตามปกติ เนื่องจากในแต่ละเวลานั้นร่างกายของมนุษย์ต้องการแสงที่มีค่าความส่องสว่างแตกต่างกัน และเพื่อไม่ให้เกิดความเครียดจนเกินไปจากไฟที่มีค่าอุณหภูมิสีสัมพันธ์ (Correlated Colour Temperature: CCT) ไม่ตรงกับช่วงเวลาในการทำงาน

ตารางที่ 0.11 ค่า MR ของแสงธรรมชาติในแต่ละช่วงเวลา และค่า Ev ขั้นต่ำที่ทำให้ได้ EML ที่ต้องการ

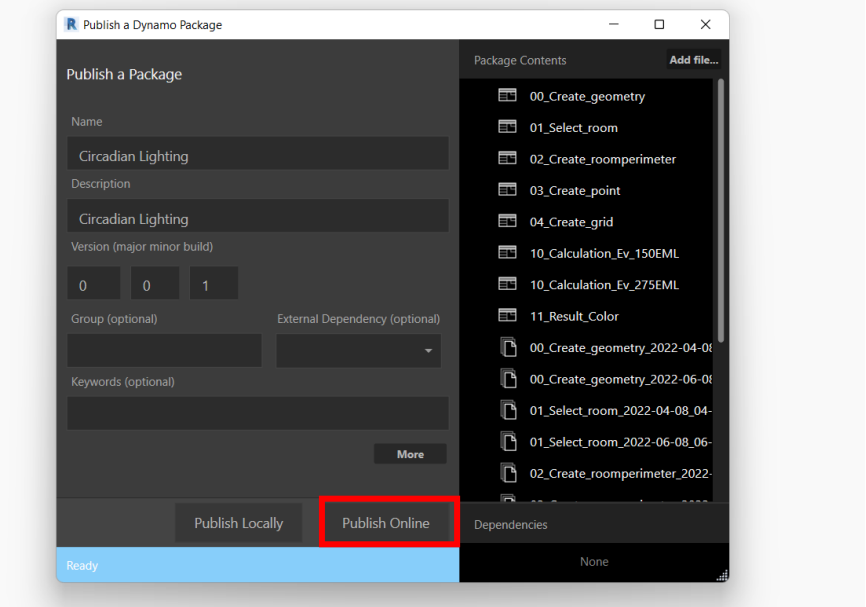
Daylight		Time										
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Avg. MR		1.33	1.42	1.43	1.43	1.42	1.42	1.43	1.43	1.39	1.28	1.09
Min. Ev (lux)	150 EML	112.46	105.99	104.58	105.09	105.41	105.38	104.81	104.76	107.81	117.54	137.93
	275 EML	206.17	194.31	191.72	192.66	193.26	193.19	192.15	192.07	197.65	215.50	252.87

5.2.2 การสาธิตโปรแกรมที่ได้จากการพัฒนากับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง

ในอนาคตหากมีปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม สามารถนำโปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาไปสาธิตใช้กับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริง เพื่อให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของตัวโปรแกรมจากผู้ใช้งานโดยตรง ด้วยการ เผยแพร่ Package แบบออนไลน์ ซึ่งวิธีนี้เมื่อทำการเผยแพร่ออกไปแล้วจะไม่สามารถลบหรือแก้ไขในภายหลังได้ จึงจำเป็นต้องทดสอบให้แน่ใจก่อนทำการเผยแพร่ โดยการ Publish Online Package นั้นจะเป็นการแชร์ให้ผู้ใช้ทั่วโลกสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งการ Publish Package แบบ Online สามารถทำดังภาพด้านล่าง



ภาพที่ 5.5 วิธีการเผยแพร่ Package แบบออนไลน์



ภาพที่ 5.6 วิธีการเผยแพร่ Package แบบออนไลน์

5.2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือที่พัฒนา

ตัวเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมานั้นอาจมีความซับซ้อนสำหรับผู้ที่เริ่มต้นศึกษาการใช้โปรแกรม Autodesk Revit: Revit ซึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมานี้เหมาะสมกับผู้ในงานที่มีความรู้พื้นฐานในการทำงานผ่านโปรแกรม Autodesk Dynamo Studio: Dynamo อยู่แล้ว ในอนาคตหากสามารถพัฒนาและปรับปรุงตัวเครื่องมือให้สามารถคำนวณผ่านการคลิกเพียงแค่ครั้งเดียวได้ จะช่วยประหยัดเวลาและลดความสับสนในการทำงานของเครื่องมือต่อผู้ใช้งานได้

5.2.4 เพิ่มฐานข้อมูลสำหรับการคำนวณที่หลากหลายขึ้น

ในอนาคตหากมีการเพิ่มข้อมูลให้สามารถคำนวณค่าตามเกณฑ์การประเมินปริมาณแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพของหน่วยงานอื่น ๆ ได้ เช่น The Lighting Research Center: LRC ที่มีหน่วยการประเมินเป็น Circadian Stimulus: CS เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้งานมีความหลากหลายมากขึ้น รวมถึงเป็นการผลักดันให้ผู้ออกแบบหันมาคำนึงถึงแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพอีกด้วย

5.2.5 ปรับเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผล

ปรับเปลี่ยนการแสดงผลของค่าสีที่แทนค่าความส่องสว่างในช่วงต่าง ๆ โดยทำให้มีความสอดคล้องกับโปรแกรมเสริมอื่น ๆ เนื่องจากการแสดงผลของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถแบ่งการแสดงค่าออกเป็นสีทั้งหมด 10 สีด้วยกัน โดยในแต่ละช่วงจะมีความต่างกันของค่าความสว่างอยู่ที่ 50 lux และมีการกำหนดให้ค่าน้อยสุดของแถบสีคงที่อยู่ที่น้อยกว่า 100 lux และค่าสูงสุดคงที่ของแถบสีที่แสดงคือค่าตั้งแต่ 500 lux ขึ้นไป ซึ่งมีความแตกต่างกับโปรแกรม ElumTools คือที่มีการแสดงค่าของแถบสีที่น้อยที่สุดและมากที่สุดเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความส่องสว่างต่ำสุดและสูงสุดที่คำนวณได้ในพื้นที่นั้น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	>500	lux
	450-500	lux
	400-450	lux
	350-400	lux
	300-350	lux
	250-300	lux
	200-250	lux
	150-200	lux
	100-150	lux
	<100	lux

ภาพที่ 5.7 สีที่แสดงผลในเครื่องมือที่พัฒนา

ภาพที่ 5.8 สีที่แสดงผลในโปรแกรม ElumTools

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธและอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2562). แนวทางการใช้แสงธรรมชาติให้เหมาะสมกับนาฬิกาชีวิตสำหรับอาคารสำนักงาน. *10th Built Environment Research Associates Conference, BERAC2019 10*(25), 52-59.

จิณห์วรา อรัณย์ชนายุธและอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2564). แนวทางการใช้เกณฑ์การประเมินแสงธรรมชาติที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตในประเทศไทย. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies JARS 18*(1), 115-130.

ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ. (2564). *01_Dynamo Nodes และหน่วยพื้นฐานของโปรแกรม* [เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์], ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัชชา เอกร่าเริงแสน. (2559). การพัฒนาโปรแกรมเสริมในแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศอาคารเพื่อช่วย วิเคราะห์เส้นทางหนีไฟในอาคาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ณัฐรดา บุญถัด ศิรเดช สุริต และภัทรนันท์ ทักขนนท์. (2017). การ คำนวณ ค่า สัมประสิทธิ์ การ บัง แดด ของ อุปกรณ์ บัง แดด (SC) ด้วย โปรแกรม REVIT & DYNAMO ตาม หลักเกณฑ์ การ คำนวณ ของ กฎหมาย พลังงาน (BEC)-Shading Coefficient Calculation Using REVIT & DYNAMO Programs Based on Building Energy Code. *Built Environment Inquiry*, *16*(2), 61-76.

ธัญธร ค้ำไพโรจน์. (2560). เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา อาคารพักอาศัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปวริศร์ คำมุลตรีและวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์. (2563). การพัฒนาโปรแกรมเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อช่วยในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พื้นที่อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย. *วารสารสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวินิจฉัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 10*(1), 99-118.

ภัทรพล วัชรเมธากุ และอรรจน์ เศรษฐบุตร. (2020). การพัฒนาเครื่องมือเสริม บนแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำฝนไหลหลาก ในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น. *Sarasatr*, *3*(4), 881-894.

วรพงศ์ โรจน์อนุสรณ์. (2559). การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการตรวจสอบกฎหมายอาคารด้วย แบบจำลองสารสนเทศอาคาร กรณีศึกษา: อาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์. (2558). คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ แนวทางการใช้านแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย (*Thailand BIM Guideline)* ฉบับปี พ.ศ. *2558*. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์.

ศรุดา จิรัฐกุลธนา. (2020). แสงสว่างและพฤติกรรมของมนุษย์. *PSRU Journal of Science and Technology*, *5*(1), 13-22.

อภิเกียรติ เจริญสุทธิโยธิน. (2560). แนวทางการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (*BIM)* เพื่อการ คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (*OTTV)* ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อรพินทร์ เชียงปิ๋ว. (2012). นาฬิกาชีวภาพกับการ นอนหลับ (BIOLOGICAL CLOCK AND SLEEP). *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, *4*(7), 145-155.

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2563). แนวทางและการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดแสงธรรมชาติสำหรับอาคารในประเทศไทย. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS) 17*(1), 103-120.

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. (2565). การศึกษาการออกแบบร่วมกันระหว่างการวิเคราะห์แสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศและการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS) 19*(1), 21-40.

Acosta, I., Campano, M., Molina, J., & Fernández-Aguera, J. (2019). Analysis of Visual Comfort and Circadian Stimulus Provided by Window Design in Educational Space. *Int. J. Eng. Technol*, *11*(2), 105-110.

Adaptive Lighting for Alertness (ALFA). (2018). Solemma LLC. Retrieved 17 September from https://www.solemma.com/alfa

Arunchanayuth, J., & Srisutapan, A. (2021). Guidelines for Using Circadian Daylighting Evaluation in Thailand. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, *18*(1), 115-130.

Borisuit, A. (2013). *The impact of light including non-image forming effects on visual comfort*.

Circadian Stimulus Calculator. (2017). Rensselaer Polytechnical Institute. Retrieved 10 September from https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/

Effect and correction factors for biologically effective lighting. XAL GmbH. Retrieved 1 December from https://www.xal.com/en/know-how/effect-and-correction-factors/

ElumTools. Lighting Analysts, Inc. http://www.elumtools.com/docs/2021/Default_Left.htm#CSHID=Using%2520ElumTools%2FUsing%2520ElumTools.htm|StartTopic=Content%2FUsing%2520ElumTools%2FUsing%2520ElumTools.htm|SkinName=ElumTools_Web_Skin

Ezpeleta, S., Orduna, E., Solana, T., Aporta, J., Pinilla, I., & Sanchez-Cano, A. (2021). Analysis of Photopic and Melanopic Lighting in Teaching Environments. *Buildings*, *11*, 439. https://doi.org/10.3390/buildings11100439

Figueiro, M. G., Gonzales, K., & PeDLer, D. (2016). Designing with circadian stimulus. *Ld+ a*, *8*, 30-34.

Hagen, E., & Richardson, H. Circadian Daylight in Practice.

Hengrasmee, N. (2019). *Circadian lighting design criteria for health and well-being in Thai built environment* [Non-fiction]. https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=sso&db=cat07210a&AN=nur.1010438&site=eds-live&custid=ns004377 http://dcms.lib.nu.ac.th/dcms/TDC2564/64316/NichakornHengrasmee.pdf

Hou, D., He, S., Dai, C., Chen, S., Chen, H., & Lin, Y. (2021). Lighting scheme recommendation for interior workplace to adjust the phase-advance jet lag. *Building and Environment*, *198*, 107913. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107913

LEED v4.1. (2022). U.S. Green Building Council. Retrieved 10 June from https://www.usgbc.org/leed/v41

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M. G., Gamlin, P. D., Lockley, S. W., & O'Hagan, J. B. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in neurosciences*, *37*(1), 1-9.

Sahebghalam, S. (2021). *ASSESSMENT OF THE CIRCADIAN STIMULUS POTENTIAL IN A DAYLIT CLASSROOM: A SIMULATION-BASED EVALUATION OF KEY FACTORS TO ENHANCE DAYLIGHT-DRIVEN CIRCADIAN LIGHTING* Kent State University].

Saiedlue, S., Amirazar, A., Hu, J., & Place, W. (2019). *Assessing Circadian Stimulus Potential of Lighting Systems in Office Buildings by Simulations*.

Sanchez-Cano, A., & Aporta, J. (2020). Optimization of Lighting Projects Including Photopic and Circadian Criteria: A Simplified Action Protocol. *Applied Sciences*, *10*, 8068. https://doi.org/10.3390/app10228068

Thayer, A. (2020). *Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute*. Lighting Research Center. Retrieved 14 June from https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving

The Dynamo Primer. (2019). Autodesk. Retrieved 9 December from https://primer.dynamobim.org/

WELL Building Standard version 2. (2022). International WELL Building Institute. Retrieved 5 February from https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/3

Zieliński-Dąbkowska, K., & Xavia, K. (2018). An overview of the cognitive and biological effects of city nighttime illumination including a London case study. *Conscious Cities Anthology 2018: Human-Centred Design, Science, and Technology*, 1-9.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

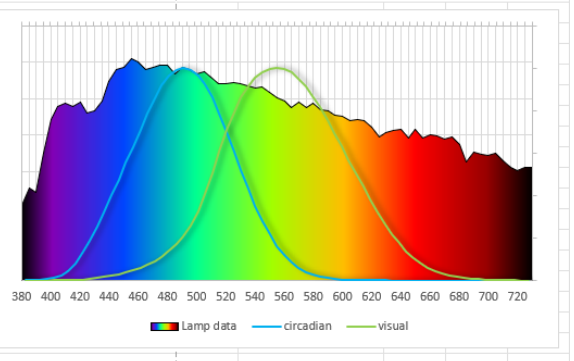
The WELL Melanopic Ratio Excel Calculator

λ (nm)	Lamp data	circadia	visual	lamp*c	lamp*
380	10.278	0.0009	0.0000	0.0094	0.00041
385	12.708	0.0017	0.0001	0.0212	0.00076
390	12.035	0.0031	0.0001	0.0372	0.00144
395	17.427	0.0059	0.0002	0.1025	0.00378
400	22.103	0.0114	0.0004	0.2526	0.00884
405	23.827	0.0228	0.0006	0.5435	0.01525
410	24.412	0.0462	0.0012	1.1267	0.02954
415	23.860	0.0795	0.0022	1.8963	0.05201
420	24.524	0.1372	0.0040	3.3657	0.0981
425	23.035	0.1871	0.0073	4.3098	0.16816
430	23.283	0.2539	0.0116	5.9108	0.27008
435	24.656	0.3207	0.0168	7.9068	0.41521
440	27.339	0.4016	0.0230	10.9791	0.6288
445	28.908	0.4740	0.0298	13.7024	0.86145
450	29.344	0.5537	0.0380	16.2480	1.11506
455	30.493	0.6297	0.0480	19.1997	1.46364
460	29.996	0.7080	0.0600	21.2384	1.79974
465	29.020	0.7852	0.0739	22.7866	2.14455
470	29.225	0.8603	0.0910	25.1417	2.65885
475	29.589	0.9177	0.1126	27.1546	3.3317
480	29.583	0.9656	0.1390	28.5657	4.11265
485	28.338	0.9906	0.1693	28.0720	4.79759
490	29.266	1.0000	0.2080	29.2656	6.08783
495	28.937	0.9920	0.2586	28.7059	7.48305
500	28.393	0.9660	0.3230	27.4265	9.17102
505	28.749	0.9223	0.4073	26.5148	11.7093
510	27.953	0.8629	0.5030	24.1200	14.0602
515	27.041	0.7852	0.6082	21.2334	16.4463
520	26.999	0.6996	0.7100	18.8893	19.1694
525	27.131	0.6094	0.7932	16.5342	21.5203
530	27.003	0.5193	0.8620	14.0230	23.2767
535	26.669	0.4325	0.9149	11.5351	24.3978
540	26.395	0.3517	0.9540	9.2831	25.1804
545	26.540	0.2791	0.9803	7.4083	26.0172
550	25.798	0.2157	0.9950	5.5652	25.6677
555	25.035	0.1621	1.0000	4.0571	25.035
560	24.710	0.1185	0.9950	2.9288	24.5866
565	23.818	0.0843	0.9786	2.0089	23.308
570	24.458	0.0587	0.9520	1.4357	23.2845
575	23.765	0.0400	0.9154	0.9508	21.7541
580	24.422	0.0269	0.8700	0.6563	21.2467
585	23.406	0.0179	0.8163	0.4181	19.1064
590	23.262	0.0118	0.7570	0.2743	17.6094
595	22.712	0.0077	0.6949	0.1757	15.7827
600	22.613	0.0051	0.6310	0.1146	14.269
605	21.983	0.0033	0.5668	0.0729	12.4599
610	22.131	0.0022	0.5030	0.0482	11.1318
615	21.975	0.0014	0.4412	0.0315	9.69534
620	21.017	0.0009	0.3810	0.0199	8.00762
625	19.683	0.0006	0.3210	0.0124	6.31815
630	20.385	0.0004	0.2650	0.0085	5.40214
635	20.547	0.0003	0.2170	0.0057	4.4587
640	20.696	0.0002	0.1750	0.0039	3.62176
645	19.556	0.0001	0.1380	0.0025	2.6988
650	20.812	0.0001	0.1070	0.0018	2.22692
655	19.626	0.0001	0.0816	0.0012	1.60145
660	19.976	0.0000	0.0610	0.0008	1.21855
665	19.853	0.0000	0.0446	0.0006	0.88505
670	19.366	0.0000	0.0320	0.0004	0.61971
675	19.704	0.0000	0.0232	0.0003	0.45714
680	18.742	0.0000	0.0170	0.0002	0.31861
685	16.241	0.0000	0.0119	0.0001	0.19359
690	17.582	0.0000	0.0082	0.0001	0.14435
695	17.343	0.0000	0.0057	0.0001	0.09925
700	17.230	0.0000	0.0041	0.0000	0.07068
705	17.464	0.0000	0.0029	0.0000	0.05115
710	16.483	0.0000	0.0015	0.0000	0.02414
715	15.532	0.0000	0.0007	0.0000	0.01137
720	15.033	0.0000	0.0004	0.0000	0.0055
725	15.509	0.0000	0.0002	0.0000	0.00284
730	15.565	0.0000	0.0001	0.0000	0.00142
Total				492.306506	531.873

Source	Melanopic Ratio
Sample Overcast	1.128
	Click here for data input

Instructions

1. Select built-in sample source, or user-entered source (above).
2. For user data, paste lamp spectral power distribution (5 nm increments) into Data sheet.
3. To add more user sources, insert columns to the left of User 2 on the Data sheet.
4. Multiply the Melanopic Ratio by measured or modeled lux to calculate equivalent melanopic lux



INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE™

มหาวิทยาลัย
ORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ของแสงธรรมชาติ

ตารางที่ 1 ค่า Sky Color XYZ แต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของแสงธรรมชาติในเดือนมีนาคม

Time	Sky Color XYZ		
	X	Y	Z
8:00	0.222809028	0.231314051	0.344250385
9:00	0.276292566	0.285075318	0.474502401
10:00	0.311301049	0.321606965	0.550508587
11:00	0.339131291	0.351763178	0.596331354
12:00	0.369368767	0.383898117	0.645755208
13:00	0.36437132	0.378659158	0.637129695
14:00	0.333985193	0.346191013	0.588323896
15.00	0.305750208	0.315678942	0.539876024
16:00	0.268090751	0.276747074	0.454671184
17:00	0.210605572	0.219116974	0.315365805
18:00	0.133271327	0.141016426	0.154770861

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 ค่า CIE 1931 xy และค่า CCT แต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของแสงธรรมชาติในเดือนมีนาคม

Time	CIE 1931 xy		CCT
	x	y	
8:00	0.2790787	0.289731637	10002
9:00	0.266725062	0.275203683	12616
10:00	0.263052799	0.271761411	13562
11:00	0.263459049	0.273272313	13314
12:00	0.264019252	0.274404614	13098
13:00	0.264006546	0.27435885	13105
14:00	0.26329142	0.272913666	13383
15.00	0.263281534	0.271831168	13518
16:00	0.268222446	0.276883021	12237
17:00	0.282658523	0.294081867	9432
18:00	0.310613334	0.328664713	6626

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 ค่า Sky Color XYZ แต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของแสงธรรมชาติในเดือนกันยายน

Time	Sky Color XYZ		
	X	Y	Z
8:00	0.23695104	0.245453259	0.378389972
9:00	0.285551734	0.294558662	0.496304904
10:00	0.317823384	0.328634711	0.562206005
11:00	0.346003688	0.359161586	0.607067751
12:00	0.374141436	0.388883985	0.654111763
13:00	0.357751763	0.371682851	0.625951745
14:00	0.327739435	0.339400223	0.578618417
15.00	0.298678685	0.30820977	0.52534279
16:00	0.257047178	0.265594807	0.427799254
17:00	0.194795151	0.203288398	0.279108854
18:00	0.114058182	0.121267519	0.122216021

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ค่า CIE 1931 xy และค่า CCT แต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันของแสงธรรมชาติในเดือนกันยายน

Time	CIE 1931 xy		CCT
	x	y	
8:00	0.275270234	0.285147413	10690
9:00	0.265280263	0.273647785	12996
10:00	0.262954268	0.271899125	13560
11:00	0.263675491	0.273702597	13231
12:00	0.264019252	0.274415201	13098
13:00	0.26394818	0.274226495	13129
14:00	0.263084336	0.27244473	13472
15.00	0.26379654	0.272214507	13390
16:00	0.270450363	0.27944369	11706
17:00	0.287651117	0.300192969	8744
18:00	0.319006637	0.339170259	6124

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ของแสงธรรมชาติ

ตารางที่ 1 การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ของแสงธรรมชาติในเดือนมีนาคม

Wavelength	CCT (K)										
	10002	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
380	97.56	121.23	127.92	126.25	124.74	124.79	126.72	127.63	118.30	91.14	51.50
385	97.52	119.75	126.02	124.45	123.04	123.09	124.90	125.75	117.01	91.47	53.75
390	97.47	118.28	124.12	122.66	121.35	121.39	123.07	123.87	115.71	91.79	56.01
395	116.30	138.99	145.34	143.76	142.33	142.38	144.20	145.07	136.21	110.06	70.21
400	135.13	159.71	166.56	164.85	163.31	163.36	165.33	166.26	156.70	128.34	84.41
405	141.34	166.90	174.03	172.25	170.65	170.70	172.75	173.72	163.77	134.29	88.83
410	147.55	174.09	181.50	179.65	177.99	178.04	180.17	181.18	170.84	140.24	93.26
415	147.03	172.84	180.04	178.24	176.62	176.68	178.75	179.73	169.68	139.93	94.18
420	146.52	171.58	178.58	176.83	175.26	175.31	177.32	178.27	168.51	139.62	95.11
425	138.95	161.93	168.33	166.73	165.30	165.34	167.18	168.05	159.12	132.61	91.60
430	131.38	152.27	158.09	156.64	155.33	155.37	157.05	157.83	149.72	125.60	88.09
435	140.03	160.48	166.16	164.74	163.46	163.51	165.14	165.91	157.98	134.35	97.17
440	148.68	168.69	174.22	172.84	171.60	171.64	173.23	173.98	166.25	143.11	106.24
445	154.22	173.93	179.38	178.02	176.79	176.83	178.40	179.14	171.53	148.73	112.29
450	159.77	179.17	184.53	183.19	181.99	182.03	183.57	184.30	176.81	154.35	118.35
455	158.18	176.65	181.75	180.48	179.34	179.37	180.84	181.53	174.41	153.02	118.69
460	156.59	174.14	178.98	177.77	176.68	176.72	178.11	178.77	172.00	151.69	119.03
465	152.29	168.52	173.00	171.88	170.88	170.91	172.20	172.80	166.55	147.76	117.46
470	147.99	162.91	167.02	166.00	165.08	165.11	166.29	166.84	161.10	143.82	115.90
475	146.34	160.22	164.04	163.08	162.23	162.26	163.35	163.87	158.53	142.45	116.36
480	144.68	157.52	161.05	160.17	159.38	159.41	160.42	160.90	155.97	141.08	116.82

Wavelength	CCT (K)										
	10002	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
485	138.69	150.50	153.75	152.94	152.21	152.24	153.17	153.61	149.07	135.38	113.19
490	132.70	143.48	146.46	145.71	145.05	145.07	145.92	146.33	142.17	129.69	109.56
495	130.65	140.37	143.05	142.38	141.78	141.80	142.57	142.94	139.19	127.93	109.76
500	128.59	137.26	139.65	139.06	138.52	138.54	139.22	139.55	136.21	126.17	109.96
505	126.03	133.87	136.03	135.50	135.01	135.03	135.65	135.94	132.92	123.83	109.12
510	123.46	130.48	132.42	131.93	131.50	131.52	132.07	132.33	129.63	121.49	108.29
515	119.17	124.89	126.46	126.07	125.72	125.73	126.18	126.39	124.20	117.57	106.70
520	114.89	119.30	120.51	120.21	119.94	119.95	120.29	120.46	118.77	113.64	105.10
525	114.85	118.59	119.61	119.35	119.12	119.13	119.42	119.56	118.14	113.79	106.51
530	114.81	117.87	118.70	118.50	118.31	118.32	118.55	118.67	117.50	113.94	107.91
535	112.09	114.71	115.43	115.25	115.09	115.10	115.30	115.40	114.40	111.34	106.23
540	109.36	111.56	112.16	112.01	111.87	111.88	112.05	112.13	111.29	108.74	104.56
545	107.82	109.39	109.82	109.72	109.62	109.62	109.75	109.80	109.20	107.37	104.34
550	106.27	107.23	107.49	107.42	107.36	107.37	107.44	107.48	107.11	106.00	104.12
555	103.13	103.61	103.74	103.71	103.68	103.68	103.72	103.74	103.56	103.00	102.06
560	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
565	97.22	96.81	96.69	96.72	96.75	96.75	96.71	96.70	96.86	97.34	98.14
570	94.45	93.62	93.39	93.45	93.50	93.50	93.43	93.40	93.72	94.68	96.28
575	93.06	91.75	91.40	91.48	91.57	91.56	91.46	91.41	91.91	93.43	95.97
580	91.68	89.89	89.40	89.52	89.63	89.63	89.49	89.42	90.11	92.19	95.66
585	88.36	86.94	86.57	86.67	86.75	86.74	86.64	86.59	87.10	88.78	92.12
590	85.03	83.99	83.75	83.81	83.86	83.86	83.79	83.76	84.10	85.38	88.58
595	84.45	83.00	82.66	82.74	82.82	82.82	82.72	82.67	83.16	84.92	89.20
600	83.87	82.01	81.57	81.68	81.78	81.77	81.65	81.59	82.22	84.47	89.83
605	82.94	80.89	80.41	80.53	80.63	80.63	80.49	80.43	81.12	83.61	89.60

Wavelength	CCT (K)										
	10002	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
610	82.02	79.77	79.24	79.37	79.49	79.49	79.34	79.27	80.02	82.75	89.38
615	80.30	77.79	77.20	77.34	77.47	77.47	77.30	77.22	78.07	81.12	88.41
620	78.59	75.81	75.15	75.31	75.46	75.46	75.27	75.18	76.12	79.48	87.43
625	75.89	72.95	72.25	72.42	72.58	72.57	72.37	72.28	73.28	76.84	85.21
630	73.20	70.09	69.34	69.53	69.69	69.69	69.47	69.38	70.43	74.20	83.00
635	72.78	69.64	68.91	69.08	69.25	69.24	69.03	68.94	69.98	73.81	83.19
640	72.36	69.19	68.47	68.64	68.80	68.80	68.59	68.50	69.53	73.42	83.37
645	70.73	67.76	67.10	67.26	67.41	67.40	67.21	67.13	68.07	71.75	81.55
650	69.10	66.33	65.73	65.87	66.01	66.00	65.83	65.75	66.62	70.07	79.72
655	68.59	65.75	65.14	65.29	65.42	65.42	65.24	65.17	66.04	69.60	79.80
660	68.08	65.16	64.55	64.70	64.83	64.83	64.66	64.58	65.46	69.13	79.87
665	68.07	64.85	64.17	64.34	64.49	64.48	64.29	64.20	65.18	69.21	80.88
670	68.05	64.54	63.80	63.97	64.14	64.13	63.92	63.83	64.90	69.30	81.88
675	66.36	63.06	62.37	62.53	62.68	62.68	62.49	62.40	63.39	67.55	79.89
680	64.66	61.57	60.95	61.09	61.23	61.22	61.05	60.97	61.87	65.80	77.91
685	61.08	58.01	57.37	57.52	57.66	57.66	57.48	57.39	58.31	62.19	73.64
690	57.50	54.45	53.79	53.95	54.09	54.09	53.90	53.82	54.76	58.58	69.38
695	57.84	54.71	54.05	54.21	54.36	54.35	54.16	54.08	55.03	58.95	70.31
700	58.18	54.98	54.31	54.47	54.62	54.61	54.43	54.34	55.30	59.33	71.23
705	59.64	56.30	55.58	55.75	55.91	55.90	55.70	55.61	56.64	60.81	72.60
710	61.09	57.61	56.84	57.02	57.20	57.19	56.97	56.87	57.97	62.29	73.97
715	55.90	52.74	52.03	52.20	52.36	52.35	52.16	52.06	53.07	57.00	67.63
720	50.72	47.86	47.23	47.38	47.52	47.52	47.34	47.26	48.16	51.70	61.30
725	54.34	51.33	50.67	50.83	50.97	50.97	50.78	50.69	51.65	55.37	65.42
730	57.95	54.80	54.10	54.27	54.42	54.42	54.22	54.13	55.13	59.04	69.55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wavelength	CCT (K)										
	10002	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
735	60.25	57.01	56.30	56.47	56.63	56.62	56.42	56.33	57.35	61.36	72.14
740	62.54	59.23	58.49	58.67	58.83	58.83	58.62	58.52	59.57	63.68	74.73
745	57.82	54.79	54.11	54.27	54.42	54.42	54.23	54.14	55.10	58.87	69.01
750	53.11	50.34	49.73	49.88	50.01	50.01	49.83	49.75	50.63	54.06	63.30
755	45.76	43.34	42.81	42.94	43.05	43.05	42.90	42.83	43.59	46.60	54.74
760	38.42	36.34	35.89	36.00	36.10	36.09	35.96	35.90	36.56	39.14	46.19
765	46.86	44.32	43.75	43.89	44.01	44.01	43.85	43.78	44.58	47.74	56.34
770	55.30	52.29	51.62	51.78	51.93	51.92	51.74	51.65	52.60	56.34	66.48
775	53.99	51.07	50.42	50.58	50.72	50.71	50.53	50.45	51.37	55.00	64.78
780	52.68	49.85	49.22	49.37	49.51	49.51	49.33	49.24	50.15	53.65	63.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 การกระจายพลังงานสเปกตรัม (Spectral Power Distribution: SPD) ของแสงธรรมชาติในเดือนกันยายน

Wavelength	CCT (K)										
	10690	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
380	104.65	124.02	127.91	125.67	124.74	124.96	127.32	126.76	113.94	82.68	43.18
385	104.19	122.37	126.01	123.92	123.04	123.25	125.46	124.94	112.92	83.47	45.70
390	103.73	120.71	124.11	122.16	121.35	121.54	123.60	123.12	111.89	84.27	48.23
395	123.14	141.64	145.33	143.21	142.33	142.54	144.77	144.25	132.05	101.78	61.32
400	142.56	162.57	166.55	164.26	163.31	163.54	165.95	165.38	152.20	119.29	74.41
405	149.06	169.88	174.02	171.64	170.65	170.88	173.39	172.80	159.09	124.90	78.54
410	155.56	177.18	181.49	179.02	177.99	178.23	180.84	180.22	165.98	130.51	82.68
415	154.82	175.84	180.03	177.62	176.62	176.86	179.39	178.80	164.95	130.47	83.87
420	154.09	174.50	178.56	176.23	175.26	175.49	177.95	177.37	163.93	130.42	85.05
425	145.89	164.60	168.32	166.19	165.30	165.50	167.76	167.23	154.91	124.16	82.28
430	137.70	154.70	158.08	156.14	155.33	155.52	157.57	157.09	145.90	117.90	79.51
435	146.22	162.85	166.14	164.25	163.46	163.65	165.65	165.18	154.25	126.77	88.53
440	154.75	171.00	174.21	172.37	171.60	171.78	173.73	173.27	162.60	135.64	97.55
445	160.21	176.20	179.37	177.55	176.79	176.97	178.89	178.44	167.94	141.36	103.67
450	165.66	181.41	184.52	182.74	181.99	182.17	184.05	183.61	173.28	147.08	109.80
455	163.79	178.78	181.74	180.05	179.34	179.50	181.30	180.88	171.04	146.10	110.52
460	161.93	176.16	178.97	177.36	176.68	176.84	178.54	178.14	168.81	145.11	111.24
465	157.23	170.39	172.99	171.50	170.88	171.03	172.60	172.23	163.60	141.66	110.22
470	152.53	164.63	167.01	165.65	165.08	165.21	166.66	166.32	158.39	138.21	109.20
475	150.56	161.81	164.03	162.76	162.23	162.35	163.69	163.38	156.01	137.22	110.07
480	148.60	159.00	161.04	159.87	159.38	159.49	160.73	160.44	153.63	136.23	110.94
485	142.29	151.86	153.75	152.66	152.21	152.32	153.46	153.19	146.92	130.94	107.85
490	135.98	144.73	146.45	145.46	145.05	145.14	146.19	145.94	140.21	125.64	104.75
495	133.61	141.49	143.05	142.16	141.78	141.87	142.81	142.59	137.42	124.27	105.41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wavelength	CCT (K)										
	10690	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
500	131.23	138.26	139.65	138.85	138.52	138.60	139.44	139.24	134.63	122.91	106.07
505	128.41	134.78	136.03	135.31	135.01	135.08	135.84	135.66	131.49	120.88	105.59
510	125.60	131.29	132.41	131.77	131.50	131.56	132.24	132.08	128.35	118.84	105.11
515	120.92	125.55	126.46	125.94	125.72	125.77	126.32	126.19	123.16	115.40	104.05
520	116.24	119.81	120.51	120.10	119.94	119.98	120.40	120.30	117.97	111.96	102.99
525	115.99	119.01	119.60	119.26	119.12	119.16	119.51	119.43	117.46	112.36	104.69
530	115.75	118.22	118.70	118.43	118.31	118.34	118.63	118.56	116.95	112.76	106.39
535	112.89	115.01	115.43	115.19	115.09	115.12	115.37	115.31	113.92	110.34	104.96
540	110.03	111.81	112.16	111.96	111.87	111.89	112.11	112.06	110.89	107.91	103.54
545	108.30	109.57	109.82	109.68	109.62	109.63	109.78	109.75	108.92	106.77	103.59
550	106.56	107.34	107.49	107.40	107.36	107.37	107.46	107.44	106.94	105.63	103.64
555	103.28	103.67	103.74	103.70	103.68	103.69	103.73	103.72	103.47	102.81	101.82
560	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
565	97.10	96.76	96.69	96.73	96.75	96.74	96.70	96.71	96.93	97.50	98.33
570	94.19	93.52	93.39	93.47	93.50	93.49	93.41	93.43	93.87	95.00	96.67
575	92.66	91.60	91.40	91.52	91.57	91.55	91.43	91.46	92.15	93.94	96.60
580	91.13	89.69	89.40	89.57	89.63	89.62	89.45	89.49	90.43	92.87	96.52
585	87.91	86.79	86.58	86.70	86.75	86.73	86.61	86.64	87.35	89.38	93.10
590	84.68	83.89	83.75	83.83	83.86	83.85	83.77	83.79	84.28	85.89	89.67
595	83.97	82.86	82.66	82.77	82.82	82.81	82.69	82.72	83.40	85.62	90.63
600	83.26	81.83	81.57	81.72	81.78	81.76	81.61	81.64	82.53	85.35	91.59
605	82.27	80.69	80.41	80.57	80.63	80.62	80.45	80.49	81.47	84.59	91.59
610	81.28	79.55	79.24	79.42	79.49	79.47	79.29	79.33	80.40	83.83	91.58
615	79.48	77.54	77.20	77.39	77.47	77.46	77.25	77.30	78.50	82.31	90.81
620	77.68	75.53	75.15	75.37	75.46	75.44	75.21	75.26	76.59	80.79	90.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wavelength	CCT (K)										
	10690	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
625	74.93	72.65	72.25	72.48	72.58	72.55	72.31	72.37	73.78	78.22	87.95
630	72.18	69.77	69.34	69.59	69.69	69.67	69.41	69.47	70.97	75.65	85.86
635	71.74	69.33	68.91	69.15	69.25	69.22	68.97	69.03	70.51	75.32	86.32
640	71.30	68.88	68.47	68.70	68.80	68.78	68.53	68.59	70.06	75.00	86.78
645	69.73	67.48	67.10	67.31	67.41	67.38	67.16	67.21	68.57	73.27	84.97
650	68.15	66.07	65.73	65.92	66.01	65.99	65.78	65.83	67.07	71.54	83.16
655	67.61	65.49	65.14	65.34	65.42	65.40	65.19	65.24	66.50	71.13	83.47
660	67.06	64.90	64.55	64.75	64.83	64.81	64.61	64.65	65.93	70.72	83.79
665	66.95	64.56	64.18	64.39	64.49	64.46	64.23	64.29	65.70	70.95	85.10
670	66.84	64.22	63.80	64.04	64.14	64.12	63.86	63.92	65.47	71.19	86.41
675	65.20	62.76	62.37	62.59	62.68	62.66	62.43	62.48	63.91	69.37	84.41
680	63.57	61.30	60.95	61.14	61.23	61.21	61.00	61.05	62.36	67.56	82.41
685	60.01	57.73	57.37	57.57	57.66	57.64	57.42	57.47	58.81	63.88	77.83
690	56.45	54.16	53.79	54.00	54.09	54.07	53.84	53.90	55.26	60.21	73.25
695	56.76	54.43	54.05	54.26	54.36	54.33	54.11	54.16	55.53	60.65	74.42
700	57.06	54.69	54.31	54.53	54.62	54.60	54.37	54.42	55.81	61.09	75.58
705	58.49	55.99	55.58	55.81	55.91	55.88	55.64	55.69	57.18	62.59	76.83
710	59.91	57.28	56.84	57.09	57.20	57.17	56.91	56.97	58.55	64.09	78.08
715	54.83	52.44	52.04	52.26	52.36	52.34	52.09	52.15	53.59	58.63	71.38
720	49.75	47.59	47.23	47.43	47.52	47.50	47.28	47.33	48.63	53.18	64.67
725	53.31	51.05	50.67	50.88	50.97	50.95	50.72	50.78	52.14	56.92	68.95
730	56.88	54.50	54.10	54.33	54.42	54.40	54.16	54.22	55.65	60.66	73.23
735	59.15	56.71	56.30	56.53	56.63	56.61	56.36	56.42	57.89	63.02	75.92
740	61.41	58.91	58.49	58.73	58.83	58.81	58.56	58.61	60.12	65.38	78.61
745	56.79	54.50	54.11	54.33	54.42	54.40	54.17	54.22	55.60	60.43	72.57

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Wavelength	CCT (K)										
	10690	12616	13562	13314	13098	13105	13383	13518	12237	9432	6626
	Time										
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
750	52.17	50.08	49.73	49.93	50.01	49.99	49.78	49.83	51.09	55.48	66.54
755	44.94	43.11	42.81	42.98	43.05	43.04	42.85	42.90	43.99	47.85	57.61
760	37.71	36.15	35.89	36.03	36.10	36.08	35.92	35.96	36.90	40.22	48.68
765	45.99	44.07	43.75	43.94	44.01	43.99	43.80	43.85	45.00	49.06	59.36
770	54.28	52.00	51.62	51.84	51.93	51.91	51.68	51.73	53.10	57.90	70.05
775	53.00	50.79	50.42	50.63	50.72	50.70	50.48	50.53	51.86	56.50	68.21
780	51.72	49.58	49.22	49.42	49.51	49.49	49.27	49.32	50.61	55.11	66.38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เจนจิรา เรืองทรัพย์เอนก
วัน เดือน ปี เกิด	7 กันยายน 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	55/138 ซอย 4 หมู่บ้านปาริชาต หมู่ 5 ตำบลบางคูวัด อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY