Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS) Vol.19(1).2022
DOI: 10.14456/jars.2022.2

การศึกษาการออกแบบร่วมกันระหว่างการวิเคราะห์แสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศและการออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ

A Study of Design Collaboration between Climate-based Daylight Analysis and Circadian Lighting

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ
Awiroot Srisutapan

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121
Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand
Corresponding author e-mail: awi_cl@hotmail.com

Received 5/5/2020 Revised 19/10/2020 Accepted 20/10/2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงแนวทางการประเมินสมรรถนะแสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศร่วมกับการออกแบบแสงธรรมชาติเพื่อสร้างแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิต การศึกษามีตัวแปรของขนาดห้อง อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบ และทิศทางการวางอาคาร สร้างหุ่นจำลองโดยใช้โปรแกรม Rhinoceros 5 และประเมินแสงธรรมชาติโดยใช้ Grasshopper และ DIVA ส่วนค่า MR และค่า EML คำนวณโดยใช้เครื่องมือของ WELL ผลการศึกษาพบว่า กรณีศึกษาที่ผ่านทั้งค่า sDA และ ASE เป็นกรณีที่ช่องเปิดที่หันไปทางทิศเหนือทั้งหมด ในขณะที่การใช้ช่องเปิดในทิศทางอื่น ๆ นั้นไม่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ จากการคำนวณค่า MR และ EML สรุปได้ว่า แสงธรรมชาติของประเทศไทยมีศักยภาพในการสร้างแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวภาพได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าความส่องสว่างในแนวราบจะเห็นว่ามีโอกาสที่ความส่องสว่างที่สูงบริเวณริมช่องเปิดจะทำให้เกิดความไม่สบายทางการมองแก่ผู้ใช้อาคารได้ ดังนั้นการกำหนดกลยุทธ์ในการออกแบบช่องเปิดเพื่อเป้าหมายในการให้ความส่องสว่างหรือเพื่อสร้างแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ อาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับกระบวนการทำงานเพื่อให้เกิดทางเลือกที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง

คำสำคัญ
สถาปัตยกรรม
แสงธรรมชาติ
การออกแบบแสงเพื่อนาฬิกาชีวภาพ
การวิเคราะห์แสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศ

Abstract

The objective of this research was to investigate the design collaboration of climate-based daylight evaluation and daylight design for circadian rhythm. The variables of room proportion, window to wall ratio, and orientation were considered. Rooms were modeled by Rhinoceros. Daylight performance analysis were simulated by Grasshopper and DIVA software. And, MR and EML were calculated by WELL's tools. The results of the research showed that all of the cases that passed both sDA and ASE were the North facing opening, while using openings in other orientations were not passed the threshold. From MR and EML results, it can be concluded that daylight performance in Thailand has a good potential for providing EML. However, if referred to horizontal illuminance, it has a chance that high illuminance in the near opening area will affect user's visual comfort. Thus, the strategies of opening design for distributing daylight or providing circadian rhythm will be a new procedure in architectural design process in order to propose practical solution in real condition.

Keywords

Architecture

Daylight

Circadian Lighting

Climate-based Daylight Analysis

1. บทนำ และความสำคัญของปัญหา

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารเป็นเรื่องที่สำคัญในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ได้มีการพัฒนากระบวนการออกแบบอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา ไม่ว่าจะในเรื่องของการประเมินการด้านความส่องสว่างได้มีการพัฒนาวิธีการประเมินการออกแบบจากแบบอพลวัตมาเป็นแบบพลวัต เพื่อให้ทราบถึงสภาพแสงที่เหมาะสมต่อการใช้งานตลอดทั้งปีโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศของแต่ละที่ตั้งในการพิจารณา และนอกจากเรื่องของการใช้ประโยชน์เพื่อให้ความส่องสว่างที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการใช้งานแล้ว ยังมีการนำแสงธรรมชาติมาใช้เพื่อสร้างสุขภาวะที่ดีให้แก่ผู้ใช้อาคารหรือเพื่อให้เกิดการตอบสนองที่ดีต่อการควบคุมการทำงานของระบบร่างกายมนุษย์หรือแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ (Circadian Rhythm) อีกด้วย ซึ่งนับเป็นเรื่องที่มีการตื่นตัวและให้ความสนใจศึกษามากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ดี แนวทางการศึกษาในช่วงที่ผ่านมายังเป็นลักษณะการศึกษาแบบแยกออกเป็นแต่ละประเด็น ซึ่งอาจทำให้ได้ผลการศึกษาเฉพาะในแต่ละด้านและไม่ครอบคลุมการนำไปใช้งานจริงได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติโดยวิธีพลวัตที่มีต่อแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพในอาคาร เพื่อให้ทราบถึงความเชื่อมโยงและศักยภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ และเพื่อเสนอแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพแสงธรรมชาติของประเทศไทย

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดพื้นฐาน ประโยชน์

ดวงตาของมนุษย์มีการตอบสนองต่อแสงทั้งในด้านการมองเห็นและไม่เกี่ยวกับการมองเห็น ซึ่งการตอบสนองอย่างหลังจะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนของสมองเพื่อรักษาสมดุลของระบบต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งแสงธรรมชาติช่วยส่งผลต่อการทำงานดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ทำให้ผู้ใช้อาคารมีสมาธิและเกิดประสิทธิผลในการทำงานมากขึ้น และยังได้มีการแนะนำให้ออกไปรับแสงธรรมชาติเป็นระยะเวลาอย่างน้อยครึ่งชั่วโมงในช่วงเช้าและพยายามออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติให้เข้ามาภายในอาคารผ่านช่องเปิดต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (Licht, 2019) นอกจากนี้ การได้รับแสงธรรมชาติในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการผลิตวิตามินดี ซึ่งช่วยเสริมความแข็งแรงของกระดูกและกล้ามเนื้อ ซึ่งสำคัญมากสำหรับผู้สูงอายุ (Tuaycharoen, 2015)

ในด้านขององค์ประกอบทางกายภาพที่ส่งผลต่อแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพก็มีหลายองค์ประกอบด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงอาคาร ทิศทางอาคาร รูปทรงห้อง ความสูงฝ้าเพดาน ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิด ชนิดกระจก ค่าการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง และหน้าต่าง อุปกรณ์บังแดด การจัดวางองค์ประกอบภายในอาคาร สภาวะแวดล้อม ตำแหน่งที่วัดแสง (Tuaycharoen, 2015; Konis, 2017; Andersen, Gochenour & Lockley, 2013) รวมถึงประเภทของแหล่งกำเนิดแสง ค่าการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสง มุมมองของผู้ใช้อาคาร (Brennan & Collins, 2018)

การวัดค่าแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ ควรวัดค่าในแนวดิ่งทั้ง 8 ทิศทาง เนื่องจากแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพในแต่ละทิศทางจะไม่เท่ากัน (Konis, 2017) โดยตำแหน่งการมองของผู้ใช้งานที่หันเข้าหาช่องเปิดจะทำให้ได้รับผลจากแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพมากที่สุด รองลงมาคือการหันซ้ายและขวา และหันหลังให้ช่องเปิด นอกจากนี้ ตำแหน่งที่ห่างจากช่องเปิดมากขึ้นจะทำให้ผลของแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพมีน้อยลงตามไปด้วย (Konis, 2018)

2.2 แนวทางการประเมินและออกแบบ

มีหลายหน่วยงานได้พัฒนาแนวทางการประเมินและแนวทางการออกแบบเพื่อให้ได้รับแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพที่เพียงพอและเหมาะสม เช่น

2.2.1 DIN SPEC 67600 มีการกำหนดแนวทางการออกแบบระบบแสงสำหรับพื้นที่สำนักงาน โดยในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00 – 10.00 น. และ 13.00 – 14.00 น. ควรมีค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งอย่างน้อย 250 ลักซ์ ที่ระดับสายตาของผู้ใช้งานและมีอุณหภูมิสี 8,000 K ส่วนในช่วง 18.00 – 20.00 น. ควรมีค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งอย่างน้อย 200 ลักซ์ และมีอุณหภูมิสี 3,000 K รวมถึงการใช้ช่องเปิดขนาดใหญ่ การใช้ช่องแสงด้านบนและระบบควบคุมแสงธรรมชาติเพื่อทำให้ฝ้าเพดานสว่าง และการใช้แสงประดิษฐ์ช่วยเสริม ฯลฯ ก็สามารถทำให้สภาพแสงดีขึ้นได้ (Licht, 2019)

2.2.2 Lighting Research Center (LRC) ได้พัฒนาตัวชี้วัด Circadian Stimulus (CS) และโปรแกรมคำนวณค่า CS เพื่อช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของแสงที่เหมาะสม โดยค่าจะอยู่ในช่วง 0.1 – 0.7 และได้เสนอแนวทางการออกแบบให้มีค่า CS อย่างน้อย 0.3 ที่ดวงตา และควรรับ

แสงอย่างน้อย 1 ชั่วโมงในช่วงเช้า (Figueiro, Gonzales & Pedler, 2016) และยังได้เสนอแนวทางการออกแบบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสีขาวที่มีผลต่อนาฬิกาชีวภาพ ให้มีความส่องสว่างในแนวดิ่งที่ระดับดวงตาที่ 1,000 ลักซ์ หรือมากกว่า และให้รับแสงในช่วงเช้าอย่างน้อย 2 ชั่วโมง หรือไม่น้อยกว่า 600 ลักซ์ หากมีระยะเวลาในการรับแสงนานกว่านั้น (Figueiro, 2013)

2.2.3 International Well Building Institute ได้พัฒนามาตรฐาน Well Building Standard มีรายละเอียดอ้างอิงตามเกณฑ์ในส่วน Q1 2020 ดังนี้ (International Well Building Institute, 2020)

ในหมวด L03 Circadian Lighting Design ได้กำหนดแนวทางการประเมินไว้ คือ ให้ใช้แสงประดิษฐ์ วัดความส่องสว่างในระนาบดิ่งที่ระดับสายตา ความส่องสว่างต้องผ่านตามเกณฑ์อย่างน้อยในช่วงเวลา 9.00 – 13.00 น. โดยที่ความส่องสว่างอาจลดลงต่ำกว่านี้ได้หลังจากเวลา 20.00 น. โดยมีทางเลือกย่อย

- ทางเลือกที่ 1 (ได้คะแนน 1 คะแนน) ออกแบบโดยใช้แสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียวให้ได้ 150 EML หรือออกแบบโดยใช้แสงประดิษฐ์ให้ได้ 120 EML ร่วมกับการทำคะแนนในหมวด L05 Enhanced Daylight Control ให้ได้อย่างน้อย 2 คะแนน หรืออาจเปรียบเทียบได้ว่าเป็นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาเสริมอีก 30 EML หรือในสัดส่วนร้อยละ 20
- ทางเลือกที่ 2 (ได้คะแนน 3 คะแนน) ออกแบบโดยใช้แสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียวให้ได้ 240 EML หรือออกแบบโดยใช้แสงประดิษฐ์ให้ได้ 180 EML ร่วมกับการทำคะแนนในหมวด L05 Enhanced Daylight Control ให้ได้อย่างน้อย 2 คะแนน หรืออาจเปรียบเทียบได้ว่าเป็นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาเสริมอีก 60 EML หรือในสัดส่วนร้อยละ 25

สำหรับการทำคะแนนในหมวด L05 Enhanced Daylight Control สามารถทำคะแนนได้จาก 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 Implement Enhanced Daylight Plan ส่วนที่ 2 Implement Enhanced Daylight Simulation และส่วนที่ 3 Ensure Views โดยส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางกายภาพคือส่วนที่ 1 และ 2 มีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนที่ 1 Implement Enhanced Daylight Plan (1 คะแนน) ทำคะแนนได้จากการออกแบบให้ร้อยละ 70 ของพื้นที่ทำงานอยู่ในระยะ 7.50 ม. จากเปลือกอาคารหรือโถงที่เป็นกระจก และกระจกต้องมีค่าการส่งผ่านแสงมากกว่าร้อยละ 40
- ส่วนที่ 2 Implement Enhanced Daylight Simulation (1 – 2 คะแนน) ออกแบบให้มีค่า $sDA_{300/50\%}$ > 55 จะทำคะแนนได้ 1 คะแนน และหาก $sDA_{300/50\%}$ > 75 จะทำคะแนนได้ 2 คะแนน ทั้งนี้ ค่า spatial Daylight Autonomy: $sDA_{300/50\%}$ > 55 หมายความว่า พื้นที่มากกว่าร้อยละ 55 ของพื้นที่ใช้งานประจำ จะได้รับแสงธรรมชาติที่มีความส่องสว่างอย่างน้อย 300 ลักซ์ อย่างน้อยร้อยละ 50 ของเวลาการทำงานทั้งปี

หากเปรียบเทียบกับการประเมินตามเกณฑ์ Leadership in Energy and Environmental Design หรือ LEED v.4.1 หมวด EQ : Daylight ทางเลือกที่ 1 จะพิจารณาค่า $sDA_{300/50\%}$ อย่างน้อยร้อยละ 40 55 หรือ 75 โดยจะได้คะแนน 1 2 และ 3 คะแนน ตามลำดับ และต้องมีค่า Annual Sunlight Exposure: $ASE_{1000,250}$ ไม่เกินร้อยละ 10 (USGBC, 2019) โดยค่า $ASE_{1000,250} \leq 10$ หมายความว่า มีพื้นที่ไม่เกินร้อยละ 10 ของพื้นที่ใช้งานประจำที่ได้รับแสงธรรมชาติที่มีความส่องสว่างเกิน 1,000 ลักซ์ ไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี

จากรายละเอียดของแนวทางการออกแบบและการประเมินข้างต้นจะเห็นว่า แนวทางของ WELL คือ การใช้ค่า EML จะมีแนวทางที่เชื่อมโยงกับการทำงานด้านกายภาพทางสถาปัตยกรรมมากกว่าแนวทางอื่น ๆ และในส่วนที่ 2 Implement Enhanced Daylight Simulation เป็นแนวทางที่สามารถประเมินการใช้แสงธรรมชาติตามการใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านแสงธรรมชาติแบบรายปีตามสภาพภูมิอากาศ (Climate-based Annual Daylight Performance Metrics) (Mardaljevic, Heschong & Lee, 2009) หรือแบบพลวัต ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการดำเนินการอยู่แล้วตามแนวทางของ LEED ในบทความนี้จึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะในประเด็นดังกล่าว

2.3 การคำนวณค่าความส่องสว่างเทียบเท่าที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวภาพ หรือ EML (Equivalent Melanopic Lux: EML)

สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังนี้ (International Well Building Institute, 2020)

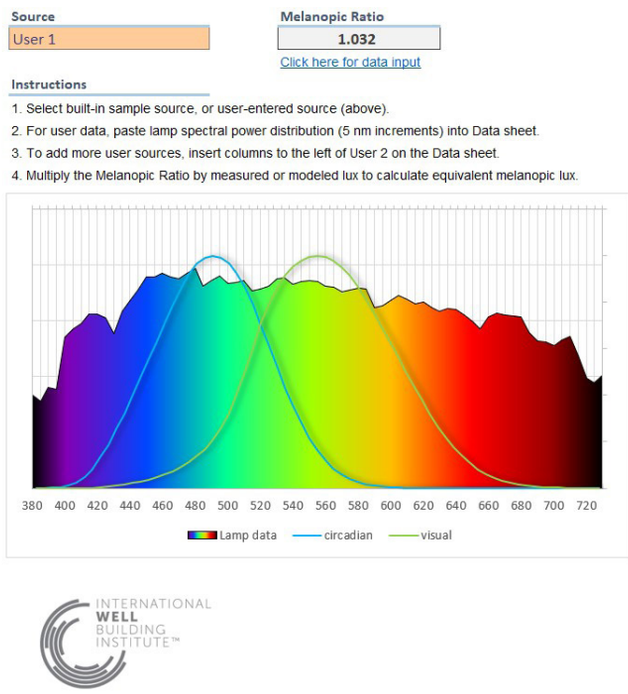
$$EML = E_v \times MR$$

โดย

E_v = ความส่องสว่างในแนวดิ่ง (ลักซ์)

MR = Melanopic Ratio

λ (nm)	Lamp data	circadian	visual	lamp*c	lamp*v
380	837.640	0.0009	0.0000	0.7691	0.03351
385	782.200	0.0017	0.0001	1.3041	0.04693
390	899.940	0.0031	0.0001	2.7848	0.10799
395	884.300	0.0059	0.0002	5.2000	0.19189
400	1352.260	0.0114	0.0004	15.4532	0.5409
405	1426.200	0.0228	0.0006	32.5334	0.91277
410	1476.600	0.0462	0.0012	68.1525	1.78669
415	1562.220	0.0795	0.0022	124.1600	3.40564
420	1557.350	0.1372	0.0040	213.7266	6.2294
425	1527.030	0.1871	0.0073	285.7018	11.1473
430	1383.630	0.2539	0.0116	351.2556	16.0501
435	1586.810	0.3207	0.0168	508.8574	26.7219
440	1674.240	0.4016	0.0230	672.3531	38.5075
445	1775.790	0.4740	0.0298	841.7287	52.9185
450	1897.420	0.5537	0.0380	1050.6304	72.102
455	1889.910	0.6297	0.0480	1189.9893	90.7157
460	1923.180	0.7080	0.0600	1361.7049	115.391
465	1895.110	0.7852	0.0739	1488.0710	140.049
470	1879.070	0.8603	0.0910	1616.5466	170.958
475	1924.790	0.9177	0.1126	1766.4444	216.731
480	1964.730	0.9656	0.1390	1897.1524	273.137
485	1813.590	0.9906	0.1693	1796.5809	307.041
490	1857.100	1.0000	0.2080	1857.1000	386.314
495	1897.890	0.9920	0.2586	1882.7492	490.794
500	1831.510	0.9660	0.3230	1769.1501	591.578
505	1840.980	0.9223	0.4073	1697.9334	749.831
510	1859.220	0.8629	0.5030	1604.2988	935.188
515	1766.180	0.7852	0.6082	1386.8636	1074.19
520	1781.270	0.6996	0.7100	1246.2264	1264.7
525	1810.530	0.6094	0.7932	1103.3770	1436.11



รูปที่ 1 ตารางคำนวณค่า Melanopic Ratio (Melanopic Ratio calculation sheet)

ค่า MR คำนวณโดยใช้ตารางสำเร็จรูปที่จัดเตรียมโดย WELL ดังรูปที่ 1 โดยข้อมูลที่ต้องใช้คือข้อมูลการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสงทุก ๆ ช่วงความยาวคลื่น 5 นาโนเมตร ในการวิจัยนี้ได้ใช้ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Spectral Power Distribution: SPD) ของ จ. นครปฐม ประเทศไทย

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การจำลองหาค่า sDA และ ASE งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) สร้างหุ่นจำลองโดยใช้โปรแกรม Rhinoceros 5 และประเมินแสงธรรมชาติโดยใช้โปรแกรมเสริม Grasshopper และ Design Iterate Validate Adapt (DIVA) for Rhino v.4.1.0.8 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คำนวณบนพื้นฐานของ Radiance และ Daysim กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

- ขนาดห้องที่ทำการศึกษาคือ 2.50 x 3.20 ม. 4.00 x 4.00 ม. 4.00 x 8.00 ม. 8.00 x 4.00 ม. สูง 2.40 ม. และ 12.00 x 12.00 ม. 24.00 x 12.00 ม. 36.00 x 12.00 ม. สูง 3.00 ม. เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดห้องที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณแสง โดยห้องมีลักษณะเป็นช่องเปิดด้านเดียวหันไปทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบร้อยละ 20 50 และ 80 รูปแบบการเปิดช่องเปิดเป็นไปตามรูปที่ 2
- ค่าการส่งผ่านแสงของกระจกใช้ค่า 0.6 ค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน: ผนัง: พื้น = 80: 50: 20
- ช่วงเวลาที่ศึกษาคือ 8.00 – 18.00 น. รวม 10 ชั่วโมงต่อวัน (รวมพักเที่ยง) ประเมิน 365 วัน รวมทั้งสิ้น 3,650 ชั่วโมง และใช้ข้อมูลอากาศของกรุงเทพฯ (*.epw)

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการหาความส่องสว่างในแนวราบและแนวดิ่ง ค่า MR และค่า EML

- นำกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ทั้งค่า $sDA_{300/50\%} > 55$ และค่า $ASE_{1000,250} \leq 10$ มาหาค่าความส่องสว่างในแนวราบที่ระนาบใช้งานที่ความสูง 0.76 ม. และในแนวดิ่งที่ความสูง 1.20 ม. ซึ่งเป็นระดับสายตาเมื่อนั่งทำงาน โดยจำลองในเดือนมีนาคม มิถุนายน และธันวาคม เวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 17.00 น. ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง และท้องฟ้าครึ้ม
- นำค่า SPD มาคำนวณหาค่า MR และค่า EML โดยกำหนดทิศทางการมองเป็นการมองหันออกไปยังช่องเปิด
- นำผลการจำลองในกรณีต่าง ๆ มาวิเคราะห์และสังเคราะห์ผล

รูปที่ 2 ตัวอย่างขนาดห้องและการเปิดช่องเปิดในการจำลอง (Illustration of rooms and WWR setup)

โดยในการวิจัยนี้ กำหนดให้อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยรอบไม่ส่งผลต่อการทดลอง และไม่ได้พิจารณาเรื่องการใช้แสงประดิษฐ์ การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และการใช้พลังงานของระบบอื่น ๆ

4. ผลการจำลองและอภิปรายผล

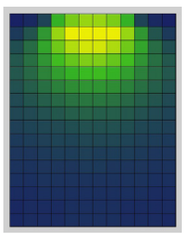
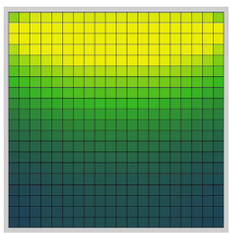
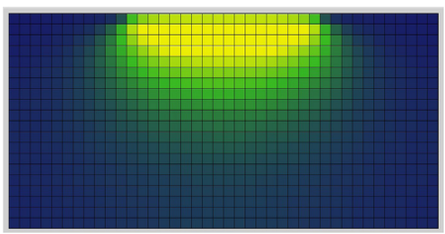
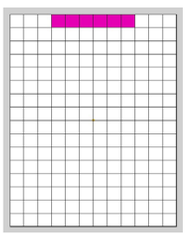
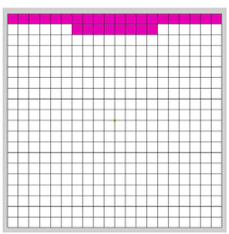
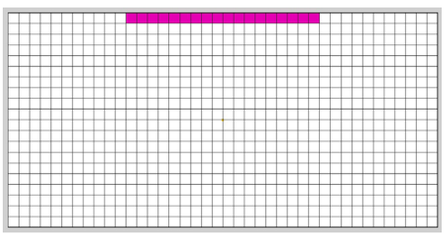
ตัวอย่างผลการจำลองค่า sDA และ ASE ปรากฏในรูปที่ 3 โดยผลการจำลองนี้เป็นส่วนหนึ่งจากงานวิจัยต่อเนื่องส่วนก่อนหน้า (Srisutapan, 2020)

จากการศึกษารวมทั้งสิ้น 84 กรณี มีจำนวนกรณีศึกษามีค่า $sDA_{300/50\%}$ > 55 ผ่านจำนวน 59 กรณี ดังรูปที่ 4 แต่เมื่อพิจารณาค่า $ASE_{1000,250}$ ≤ 10 ร่วมด้วยจะมีกรณีศึกษาที่ผ่านเพียง 14 กรณี ดังรูปที่ 5 โดยแจกแจงรายละเอียดของกรณีศึกษาที่ผ่านทั้ง sDA และ ASE 14 กรณี ได้ดังตารางที่ 1

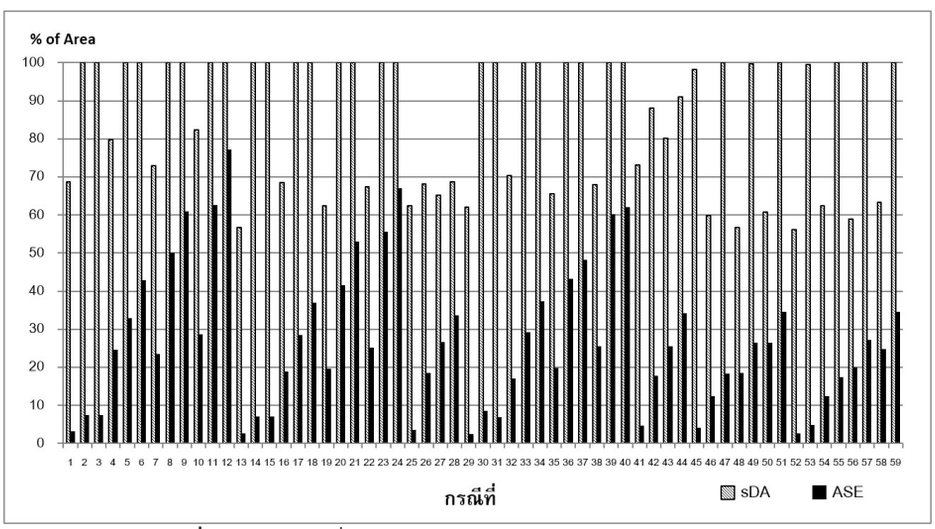
นำกรณีศึกษาที่ผ่านการประเมินทั้ง sDA และ ASE รวม 14 กรณี ตามรายละเอียดข้างต้นมาจำลองหาค่าความส่องสว่างในแนวราบและแนวดิ่ง ณ เวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 17.00 น. ของเดือนมีนาคม มิถุนายน และธันวาคม และในสภาพท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้าครึ้ม รวมทั้งสิ้น 252 กรณี ในส่วนของการคำนวณค่า MR ได้นำข้อมูลค่า SPD ดังตัวอย่างในตารางที่ 2 มาคำนวณโดยใช้ตารางการคำนวณของ WELL ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่า MR มีการเปลี่ยนแปลงทุกวันตามค่า SPD จึงได้นำค่า MR ของแต่ละช่วงเวลามาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้เห็นแนวโน้มของทั้งเดือน มีค่าที่ได้ดังตารางที่ 3

เมื่อนำข้อมูลค่าความส่องสว่างในแนวดิ่งและค่า MR มาคำนวณหาค่า EML ในแต่ละช่วงเวลา เดือน และสภาพท้องฟ้า และพิจารณาค่า EML ในแต่ละช่วงโดยแยกตามโทนสีดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6 โดยในการแสดงผลได้กำหนดให้ทิศเหนือและช่องเปิดอยู่ทางด้านบนของผังพื้น ผลที่ได้สามารถสรุปแยกเป็นประเด็นได้ดังนี้

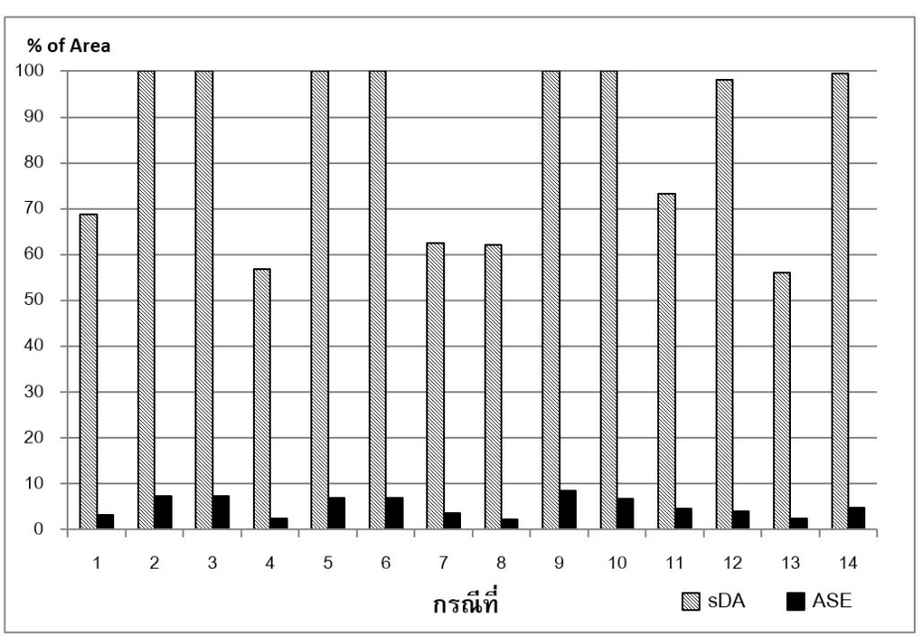
ผลของค่าแสงที่ส่งผลต่อค่า EML ที่เกิดขึ้นในกรณีศึกษาจะพบว่า ส่วนใหญ่มีค่าที่เพียงพอสามารถใช้แสงธรรมชาติในการสร้างค่า EML ได้ดี แต่พบว่า มี 4 กรณีที่บางตำแหน่งในห้องมีแสงธรรมชาติที่ไม่เพียงพอต่อค่า EML โดยทั้ง 4 กรณีเป็นห้องขนาด 8.00 x 4.00 ม. มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบร้อยละ 20 โดยเกิดขึ้นในเดือนมีนาคม เวลา 8.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม เดือนมีนาคม เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม เดือนธันวาคม เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าโปร่ง และเดือนธันวาคม เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม ดังรูปที่ 7

ค่า	ตัวอย่างห้อง		
sDA			
ASE			

รูปที่ 3 ตัวอย่างผลการจำลองค่า sDA และ ASE (Examples of sDA and ASE result)



รูปที่ 4 กรณีศึกษาที่ผ่านค่า sDA (Case studies that passed sDA)



รูปที่ 5 กรณีศึกษาที่ผ่านทั้ง sDA และ ASE (Case studies that passed both sDA and ASE)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของกรณีศึกษาที่ผ่านทั้ง sDA และ ASE (Details of case studies that passed both sDA and ASE)

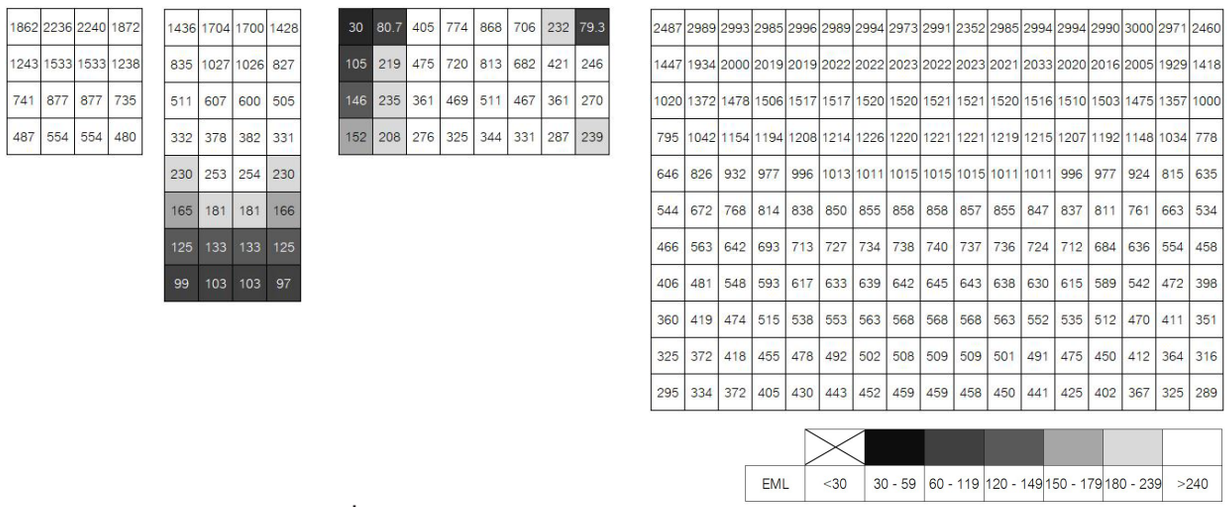
กรณีที่	สัดส่วนห้อง	ทิศ	WWR	sDA	ASE
1	2.50 x 3.20 ม.	เหนือ	20	68.80	3.10
2		เหนือ	50	100.00	7.30
3		เหนือ	80	100.00	7.30
4	4.00 x 4.00 ม.	เหนือ	20	56.80	2.50
5		เหนือ	50	100.00	7.00
6		เหนือ	80	100.00	7.00
7	4.00 x 8.00 ม.	เหนือ	80	62.50	3.50
8	8.00 x 4.00 ม.	เหนือ	20	62.10	2.30
9		เหนือ	50	100.00	8.50
10		เหนือ	80	100.00	6.80
11	12.00 x 12.00 ม.	เหนือ	80	73.20	4.60
12	24.00 x 12.00 ม.	เหนือ	80	98.20	4.00
13	36.00 x 12.00 ม.	เหนือ	50	56.10	2.50
14		เหนือ	80	99.50	4.80

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลค่า SPD ที่ใช้ในการคำนวณ (Examples of SPD data)

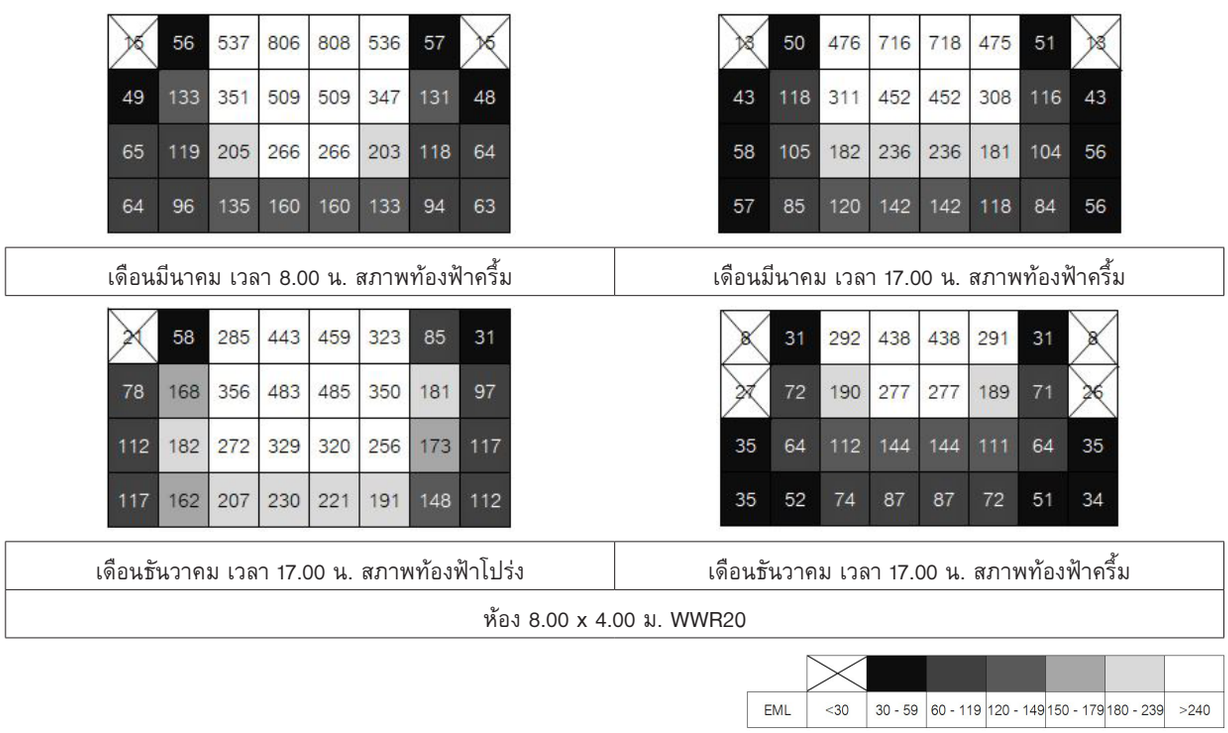
	Time										
Wavelength(nm)	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00
380	149.33	193.27	372.99	550.13	636.38	837.64	788.29	343.64	767.26	282.87	174.05
385	143.40	180.60	347.77	514.47	596.20	782.20	727.79	315.35	723.93	261.63	163.00
390	166.01	205.74	399.71	590.73	689.26	899.94	834.73	359.31	838.08	303.53	184.54
395	168.09	201.11	395.46	583.49	669.03	884.30	826.68	353.38	825.54	293.75	180.47
400	261.61	306.83	600.70	892.80	1021.37	1352.26	1266.10	535.89	1274.20	448.22	274.13
405	279.14	319.28	630.11	936.44	1072.70	1426.20	1325.73	558.71	1343.60	469.70	285.41
410	295.00	329.20	652.80	969.26	1107.65	1476.60	1375.24	574.31	1394.57	485.65	293.74
415	317.29	345.78	687.76	1023.63	1168.92	1562.22	1450.67	602.69	1483.82	510.62	307.86
420	321.19	343.00	683.35	1017.85	1167.20	1557.35	1445.59	594.60	1485.60	508.86	303.72
425	321.44	334.75	670.05	1000.20	1139.00	1527.03	1425.45	580.49	1459.25	495.81	296.55
430	296.16	302.17	605.65	904.63	1030.26	1383.63	1282.67	520.42	1329.37	447.96	266.77
435	344.72	344.13	694.07	1036.98	1181.50	1586.81	1475.28	592.95	1529.57	513.13	302.91
440	367.43	360.11	727.61	1089.51	1237.60	1674.24	1552.15	621.14	1616.71	538.32	316.87

ตารางที่ 3 ค่า MR เฉลี่ย (Average MR)

เดือน	MR		
	08:00	12:00	17:00
มีนาคม	1.031	1.026	1.011
มิถุนายน	1.071	1.049	1.115
ธันวาคม	1.031	1.028	1.085



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า EML (Examples of EML result)



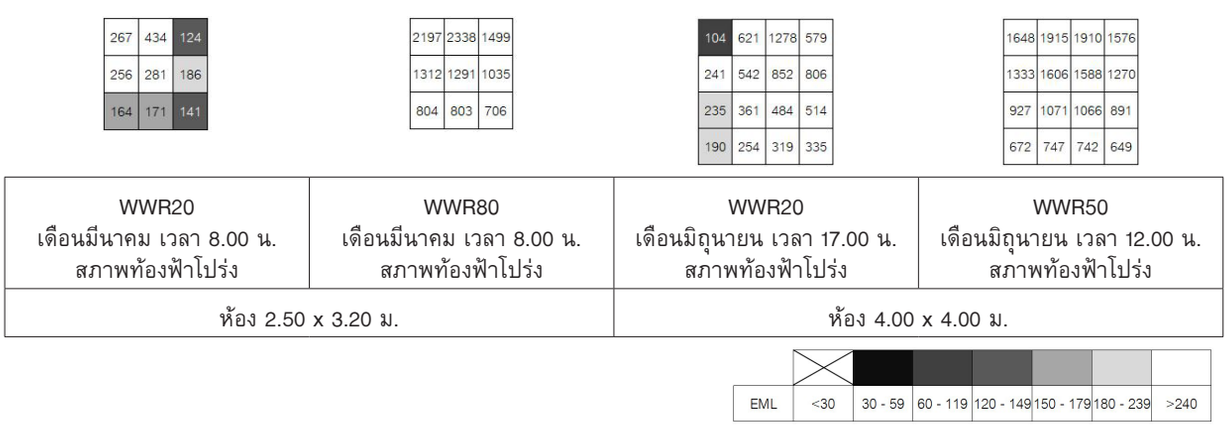
รูปที่ 7 กรณีศึกษาที่มีค่า EML ต่ำกว่าเกณฑ์ (Case Studies that have EML value below the threshold)

เมื่อวิเคราะห์จากลักษณะทางกายภาพของห้องดังกล่าวพบว่า เนื่องจากเป็นห้องที่กว้างและมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำ ทำให้แสงธรรมชาติกระจายไม่ทั่วถึง และผู้ใช้อาคารไม่สามารถมองเห็นช่องเปิดได้ชัดเจนมากนัก อีกทั้งการมีช่องเปิดอยู่ตรงกึ่งกลางห้องทำให้มีค่า EML ต่ำบริเวณมุมห้องของผนังด้านหน้าซึ่งเป็นมุมอับ นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากในช่วงเดือนมีนาคม ดวงอาทิตย์โคจรอยู่เหนือช่องเปิด และเดือนธันวาคม โคจรอ้อมไปทางทิศใต้หรือบริเวณด้านหลังของช่องเปิด และช่วงเวลาที่ค่า EML ต่ำ จะเกิดในช่วงเช้าและเย็น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำทำให้มีความเข้มแสงต่ำ รวมถึงผลจากสภาพท้องฟ้าครึ้มด้วย ส่วนค่า EML ในตำแหน่งอื่น ๆ ของกรณีดังกล่าวจะมีค่าเพียงพอต่อการช่วยเสริมค่า EML จากการใช้แสงประดิษฐ์ได้

สำหรับการพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า EML นั้น เมื่อพิจารณาเรื่องขนาดและสัดส่วนห้องจะเห็นว่า สำหรับห้องที่มีขนาดเล็ก เช่น ห้องขนาด 2.50 x 3.20 ม. และ 4.00 x 4.00 ม. เป็นต้น แสงธรรมชาติจะสามารถส่องเข้ามาและเกิดการกระจายแสงภายในห้องได้มาก และแม้ว่าจะมีการใช้ช่องเปิดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่ำที่ร้อยละ 20 ก็ยังสามารถทำให้เกิดค่า EML ที่เพียงพอต่อการใช้งานได้ และหากใช้ช่องเปิดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบที่สูงขึ้นถึงร้อยละ 80 ก็จะส่งผลให้มีค่า EML ที่สูงขึ้นตามไปด้วย ดังตัวอย่างในรูปที่ 8

สำหรับลักษณะทางกายภาพของห้องที่มีความลึกมาก เช่น ห้องขนาด 4.00 x 8.00 ม. การกระจายแสงภายในห้องจะลดลงตามความลึกของห้องที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่า EML ลดลงบ้าง แต่ในพื้นที่ส่วนลึกสุดของห้อง หากผู้ใช้งานหันหน้ามองออกมายังตำแหน่งของช่องเปิดแล้ว ก็ยังคงสามารถได้รับแสงที่มีค่า EML ที่เพียงพอหรือช่วยเสริมค่า EML จากการใช้แสงประดิษฐ์ได้ ดังตัวอย่างห้องในรูปที่ 9 อย่างไรก็ดี ห้องขนาดดังกล่าวนี้ผ่านเกณฑ์ค่า sDA ได้โดยมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบที่ร้อยละ 80 ซึ่งทำให้แสงธรรมชาติเข้ามาในปริมาณที่เพียงพออยู่แล้ว

สำหรับห้องที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น ห้องขนาด 12.00 x 12.00 ม. และ 36.00 x 12.00 ม. เป็นต้น จะเห็นว่าการที่จะผ่านเกณฑ์การประเมินค่า sDA นั้น จะต้องมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบขั้นต่ำที่ร้อยละ 50 จึงทำให้ภายในห้องมีปริมาณแสงที่เพียงพอในสภาพท้องฟ้าโปร่ง แม้ในสภาพที่แสงธรรมชาติน้อย เช่น ในช่วงเย็น หรือในสภาพท้องฟ้าครึ้ม ผู้ใช้งานก็ยังคงสามารถได้รับแสงที่มีค่า EML ที่เพียงพอ หรือช่วยเสริมค่า EML จากการใช้แสงประดิษฐ์ได้ ดังตัวอย่างห้องในรูปที่ 10



รูปที่ 8 ตัวอย่างค่า EML ของห้องขนาด 2.50 x 3.20 ม. และ 4.00 x 4.00 ม. (Examples of EML results of 2.50 x 3.20 m. and 4.00 x 4.00 m. rooms)

2577	3039	3032	2496
1671	2015	2010	1623
1166	1354	1340	1141
838	935	937	832
624	674	674	623
477	508	511	478
378	394	395	377
305	315	317	303

4596	4728	4381	2702
3235	3107	2533	1641
2099	1975	1604	1180
1377	1292	1113	883
949	902	793	675
687	660	601	518
522	497	458	411
409	390	365	330

710	842	845	706
412	508	507	409
253	191	296	250
165	187	189	164
113	125	126	114
81	89	89	82
62	66	65	62
49	51	51	48

เดือนมีนาคม เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าโปร่ง	เดือนมิถุนายน เวลา 8.00 น. สภาพท้องฟ้าโปร่ง	เดือนธันวาคม เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม
ห้อง 4.00 x 8.00 ม. WWR80		

EML	<30	30 - 59	60 - 119	120 - 149	150 - 179	180 - 239	>240

รูปที่ 9 ตัวอย่างค่า EML ในห้องที่มีความลึกมากขึ้น (Examples of EML results of a deeper room)

725	855	865	868	871	866	873	863	863	851	717
432	543	576	587	595	592	595	586	574	540	430
396	349	386	400	408	408	406	400	382	345	283
206	243	271	284	294	296	293	286	269	242	203
158	182	202	215	220	222	220	213	202	181	154
125	142	155	167	171	174	171	165	155	141	123
102	114	126	132	136	139	136	131	123	113	100
86	93	101	107	111	112	110	106	100	92	84
73	79	84	88	91	91	90	88	82	76	71
62	66	72	74	76	76	76	74	69	65	60
54	59	61	62	65	65	65	62	60	56	52

2380	2873	2872	2875	2876	2888	2880	2880	2884	2877	2894	2888	2878	2883	2880	2888	2377
1701	2281	2362	2365	2375	2389	2399	2399	2372	2372	2383	2392	1368	2368	2351	2276	1710
1352	1797	1936	1982	2001	2005	2006	2004	2015	2007	2009	2000	1996	1983	1946	1799	1350
1111	1445	1610	1664	1689	1692	1698	1705	1703	1704	1696	1690	1684	1662	1599	1449	1110
941	1192	1341	1413	1442	1459	1467	1466	1473	1471	1466	1460	1446	1412	1341	1194	947
820	1009	1146	1217	1257	1275	1287	1286	1292	1291	1286	1273	1253	1216	1149	1014	823
724	871	989	1062	1102	1123	1135	1142	1140	1141	1137	1124	1100	1059	993	871	721
642	760	864	934	972	999	1011	1018	1020	1017	1010	997	973	938	863	760	642
580	672	759	827	866	894	907	916	916	914	907	895	865	825	760	673	583
527	599	674	737	776	800	818	826	830	827	818	798	775	734	675	598	526
487	546	610	665	705	729	746	754	759	754	743	729	705	663	610	544	485

ห้อง 12.00 x 12.00 ม. WWR80 เดือนธันวาคม เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	ห้อง 36.00 x 12.00 ม. WWR80 เดือนมีนาคม เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าโปร่ง

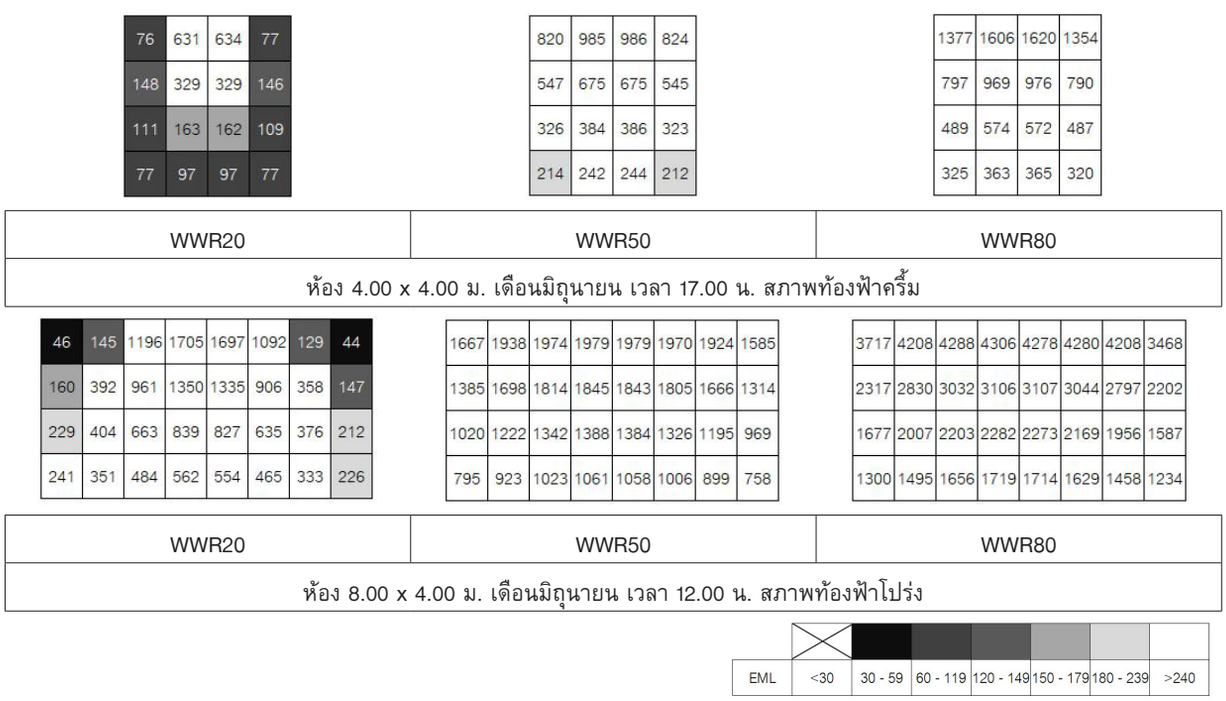
EML	<30	30 - 59	60 - 119	120 - 149	150 - 179	180 - 239	>240

รูปที่ 10 ตัวอย่างของค่า EML ของห้องที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Examples of EML results of larger room)

เมื่อพิจารณาในเรื่องอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบจะเห็นว่า ห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบสูง จะมีผลค่อนข้างมากต่อค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง และจะส่งผลทำให้มีค่า EML สูงกว่าห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำ จากตัวอย่างในรูปที่ 11 แสดงให้เห็นถึงค่า EML ที่มีปริมาณสูงขึ้นตามอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบที่เพิ่มขึ้น

สำหรับห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่ำ บริเวณที่มีค่า EML ต่ำที่สุดในห้องจะเกิดขึ้นในบริเวณด้านหลังของผนังทึบที่ติดกับช่องเปิด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เป็นมุมอับและเป็นตำแหน่งที่ผู้ใช้อาคารมองไม่เห็นหรือได้รับอิทธิพลจากช่องเปิดได้น้อย และถึงแม้ว่าห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำ เช่น ร้อยละ 20 จะทำให้มีค่า EML ที่ค่อนข้างต่ำ แต่ก็ยังมีค่าที่เพียงพอหรือสามารถนำไปใช้เพื่อช่วยเสริมค่า EML จากการใช้แสงประดิษฐ์ได้

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า EML กับสภาพท้องฟ้าพบว่า ค่า EML จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพท้องฟ้าตลอดช่วงวัน (รูปที่ 12) โดยส่วนใหญ่สภาพท้องฟ้าโปร่งจะส่งผลต่อค่าความส่องสว่างในแนวดิ่ง และทำให้ภายในห้องมีค่า EML สูงกว่าในสภาพท้องฟ้าครึ้ม และในบางช่วงสามารถทำให้บริเวณริมช่องเปิดมีค่าสูงกว่า 1,000 EML ได้ แต่ในช่วงเวลา 12.00 น. ของเดือนมีนาคมและมิถุนายน ค่า EML บริเวณริมช่องเปิดในสภาพท้องฟ้าครึ้มจะมีค่า EML สูงกว่าในสภาพท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งอาจเนื่องมากจากเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรในมุมสูงเหนือช่องเปิด แสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาทำมุมต่ำหรือเกือบขนานกับระนาบดิ่งของช่องเปิด แสงจะเกิดการสะท้อนไปสู่สภาพแวดล้อมมากกว่า ตามความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบและสัดส่วนการสะท้อน ปริมาณแสงที่ตกกระทบระนาบช่องเปิดและส่งผ่านเข้ามาในอาคารจึงมาจากองค์ประกอบของท้องฟ้าโดยรอบเป็นหลัก (Grondzik, Kwok, Stein & Reynolds, 2010)



รูปที่ 11 ตัวอย่างค่า EML ของห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่าง ๆ (Examples of EML results of different WWR)

573	1314	683	110
795	875	578	258
523	501	379	242
343	327	269	200

87	714	719	87
168	373	372	166
125	184	183	123
88	110	109	87

สภาพท้องฟ้าโปร่ง	สภาพท้องฟ้าครึ้ม
ห้อง 4.00 x 4.00 ม. WWR20 เดือนมิถุนายน เวลา 8.00 น.	

39	120	745	1083	1076	698	108	36
136	309	705	986	982	685	295	128
191	322	512	645	641	506	312	184
199	283	384	446	443	380	279	195

36	135	1290	1937	1941	1287	136	36
118	320	842	1223	1223	835	313	116
157	285	492	638	638	489	283	153
154	230	325	385	384	320	227	151

สภาพท้องฟ้าโปร่ง	สภาพท้องฟ้าครึ้ม
ห้อง 8.00 x 4.00 ม. WWR20 เดือนมีนาคม เวลา 12.00 น.	

1039	1231	1264	1269	1269	1259	1220	996
1006	1236	1329	1358	1357	1325	1218	977
785	937	1033	1074	1071	1026	927	764
628	727	807	839	840	801	719	616

1517	1822	1861	1865	1864	1859	1822	1520
1031	1293	1384	1408	1408	1384	1290	1028
645	788	866	897	897	864	784	638
454	536	595	619	620	590	534	447

สภาพท้องฟ้าโปร่ง	สภาพท้องฟ้าครึ้ม
ห้อง 8.00 x 4.00 ม. WWR50 เดือนมีนาคม เวลา 12.00 น.	

1215	1542	1556	1560	1561	1569	1563	1563	1566	1563	1573	1569	1563	1567	1566	1572	1306	
912	1208	1279	1293	1303	1311	1317	1318	1306	1306	1312	1315	1316	1305	1294	1249	955	
740	943	1032	1069	1086	1093	1096	1096	1102	1099	1099	1096	1093	1085	1062	974	746	
613	757	845	885	906	912	919	924	924	926	922	919	915	902	863	776	607	
521	627	700	743	765	779	787	788	793	793	790	787	778	757	714	631	511	
455	533	595	635	660	674	682	685	689	689	687	680	668	644	605	532	439	
401	461	513	550	574	588	598	603	603	604	603	596	580	557	518	452	381	
356	404	449	482	502	520	527	533	536	535	532	524	509	488	445	392	336	
320	356	393	425	445	460	470	475	476	476	473	465	448	423	387	343	302	
292	320	352	380	398	412	422	427	431	429	424	413	399	375	344	304	272	
269	292	319	343	361	374	383	387	391	388	383	375	360	336	309	275	248	

720	865	859	863	863	868	863	864	868	865	870	867	863	867	867	871	717	
432	577	590	592	596	593	598	598	592	592	591	595	597	593	592	574	432	
289	384	409	416	418	418	420	419	421	418	418	418	420	417	410	382	285	
208	273	304	309	312	311	312	314	314	314	312	311	311	417	298	272	205	
162	206	230	240	244	246	247	247	248	250	247	247	246	240	229	204	159	
131	162	182	192	197	201	203	201	203	202	202	200	196	191	182	162	128	
111	133	150	159	165	167	169	170	169	170	170	168	164	158	150	131	106	
93	112	126	136	140	144	145	146	146	145	144	143	140	135	125	110	91.1	
81	95	107	116	120	125	126	127	127	127	126	127	120	115	106	93	80.3	
73	82	93	101	106	110	112	112	113	113	112	109	105	100	92	81	70.5	
65	75	82	89	94	98	100	101	101	100	99	98	94	88	81	72	64	

สภาพท้องฟ้าโปร่ง	สภาพท้องฟ้าครึ้ม
ห้อง 36.00 x 12.00 ม. WWR80 เดือนธันวาคม เวลา 17.00 น.	

EML	<30	30 - 59	60 - 119	120 - 149	150 - 179	180 - 239	>240

รูปที่ 12 ตัวอย่างผลของสภาพท้องฟ้าที่มีต่อค่า EML (Comparison of EML results in different sky conditions)

สำหรับห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำ ค่า EML ภายในห้องก็ยังมีค่าที่สูงได้ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง และแม้ว่าสภาพท้องฟ้าครึ้มจะส่งผลทำให้ค่า EML ลดลงบ้าง แต่ในภาพรวมก็ยังมีค่ามากพอที่จะนำมาใช้เสริมค่า EML จากการใช้แสงประดิษฐ์ได้ ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดทิศทางการมองให้หันออกไปยังช่องเปิด

ในเรื่องของช่วงเวลาและช่วงเดือน เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างมุมระหว่างตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่กระทำกับระนาบของช่องเปิด คือ มุมแบริ่ง มุมกวาด และมุมยก หรือมุมของตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่กระทำกับช่องเปิด โดยที่ในช่วงเช้าและเย็น ดวงอาทิตย์โคจรเป็นมุมต่ำ ทำให้แสงมีความส่องสว่างน้อยตามกฎของโคไซน์ แต่สามารถสะท้อนและกระจายไปยังดวงตาของผู้ใช้งานอาคารได้ดี ในขณะที่ช่วงเที่ยง ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในตำแหน่งที่สูง ทำให้มีความส่องสว่างมาก แต่เป็นแสงที่ไม่ได้สะท้อนและกระจายไปยังดวงตาของผู้ใช้อาคารโดยตรง ซึ่งอาจส่งผลทำให้ค่า EML ลดต่ำลงบ้าง ดังรูปที่ 13

ในช่วงเดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรเป็นมุมสูงอ้อมทางด้านทิศเหนือและตำแหน่งอยู่ทางด้านหน้าของช่องเปิด ในช่วงเดือนมีนาคมซึ่งดวงอาทิตย์โคจรอยู่เหนือช่องเปิด และเดือนธันวาคมที่ดวงอาทิตย์โคจรเป็นมุมต่ำอ้อมทางด้านทิศใต้และอยู่ด้านทางหลังช่องเปิด ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณแสงที่เข้ามาในอาคาร การแสงสะท้อนและกระจายแสงเข้าสู่ดวงตาของผู้ใช้อาคารและค่า EML ตามลำดับ ดังรูปที่ 14

การเปรียบเทียบค่า EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบภายในห้อง (รูปที่ 15) พบว่า กรณีที่พื้นที่ส่วนใหญ่ภายในห้องมีค่า EML อยู่ในระดับต่ำ เช่น ช่วงค่า 30 – 60 EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบมีค่าต่ำ เช่น ช่วงค่า 15 – 150 ลักซ์ กรณีนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ห้องมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำและสภาพท้องฟ้าครึ้ม ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ต้องใช้แสงประดิษฐ์ในการเพิ่มค่า EML

กรณีที่พื้นที่ส่วนใหญ่ภายในห้องมีค่า EML ที่ผ่านเกณฑ์แต่มีค่าไม่สูงมาก เช่น ช่วงค่า 61 – 200 EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบมีค่าต่ำ เช่น ช่วงค่า 50 – 200 ลักซ์ กรณีนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ด้านหลังช่องเปิด หรือในสภาพท้องฟ้าครึ้ม ทำให้พื้นที่บางส่วนอาจมีค่า EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบที่ต่ำลง ทำให้ยังต้องเสริมค่า EML โดยใช้แสงประดิษฐ์บ้าง

สำหรับกรณีที่พื้นที่ส่วนใหญ่ภายในห้องมีค่า EML ที่ผ่านเกณฑ์และมีค่าสูงมาก เช่น ช่วงค่า 1,000 – 4,000 EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบมีค่าสูงมาก เช่น ช่วงค่า 1,500 – 2,800 ลักซ์ โดยเฉพาะบริเวณริมช่องเปิด ซึ่งแสงธรรมชาติสามารถช่วยทำให้เกิดค่า EML ตามที่ต้องการได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาค่า EML จากแสงประดิษฐ์เลย กรณีเหล่านี้จะเกิดในที่ห้องมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบสูง และช่วงที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่บริเวณด้านหน้าช่องเปิด

5. อภิปรายผล

การประเมินผลด้านแสงธรรมชาติโดยวิธีพลวัตที่พิจารณาทั้งค่า sDA และ ASE ทำให้มีกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์รวมเป็นจำนวน 14 กรณีจาก 84 กรณี โดยกรณีที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมดเป็นกรณีที่ช่องเปิดที่หันไปทางทิศเหนือทั้งสิ้น ในกรณีที่เป็นห้องขนาดเล็ก สามารถใช้อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำก็สามารถทำให้ผ่านเกณฑ์ได้ แต่สำหรับห้องที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้ช่องเปิดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบสูงจึงจะสามารถผ่านเกณฑ์ได้ อย่างไรก็ดี แม้ว่าการใช้ค่า $ASE_{1000,250}$ ไม่เกินร้อยละ 10 จะเป็นการลดโอกาสการเกิดแสงจ้า แต่ก็ทำให้หลายกรณีไม่สามารถผ่านเกณฑ์การประเมินแสงธรรมชาติขั้นต้นได้แม้ว่าจะมีค่า sDA ผ่านก็ตาม ซึ่งทำให้ทางเลือกของการเปิดช่องเปิดในทิศทางอื่น ๆ มีน้อยลงตามไปด้วย

จากข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ของ จ. นครปฐม เมื่อมาคำนวณค่า MR จะเห็นว่ามีค่า MR แตกต่างกันออกไปตามช่วงเวลาและเดือน แต่โดยส่วนใหญ่จะมีค่า MR มากกว่า 1 ซึ่งก็แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้แสงธรรมชาติในการสร้าง EML ได้ดี และเมื่อคำนวณค่า EML ทำให้ทราบได้ว่าแสงธรรมชาติของประเทศไทยมีศักยภาพในการสร้างแสงที่มีผลต่อนาฬิกาชีวภาพที่สอดคล้องตามเกณฑ์การประเมินได้

เมื่อพิจารณากรณีศึกษาที่ผ่านการประเมินค่า sDA และ ASE แล้ว พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีค่า EML ที่เทียบได้กับค่าที่ได้จากใช้แสงประดิษฐ์ และยังสามารถผ่านเกณฑ์การประเมินค่า EML ตามแนวทางของ WELL ได้อีกด้วย แต่ยังมีบางกรณีที่มีค่า EML ต่ำ และต้องใช้แสงประดิษฐ์ช่วยเพื่อให้ได้ค่า EML อยู่ในระดับที่เพียงพอ ซึ่งกรณีดังกล่าวอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบ สภาพท้องฟ้า ช่วงเวลาและเดือน ดังที่ได้นำเสนอไปในส่วนก่อนหน้า

126	319	105
153	222	166
111	137	124

149	509	147
228	346	231
179	215	179

82	246	100
128	170	119
96	105	86

เวลา 8.00 น.	เวลา 12.00 น.	เวลา 17.00 น.

ห้อง 2.50 x 3.20 ม. WWR20 เดือนธันวาคม สภาพท้องฟ้าโปร่ง

973	947	602
766	756	599
487	494	426

938	1183	882
779	911	764
536	593	528

547	879	920
539	695	724
389	452	452

เวลา 8.00 น.	เวลา 12.00 น.	เวลา 17.00 น.

ห้อง 2.50 x 3.20 ม. WWR50 เดือนมีนาคม สภาพท้องฟ้าโปร่ง

2592	2755	2763	2778	2768	2764	2766	2772	2956	2751	2720	2615	1985
1704	1908	1969	1995	2004	2006	1999	1989	1967	1918	1819	1596	1192
1208	1340	1422	1462	1481	1482	1486	1454	1414	1351	1245	1074	860
921	1006	1076	1117	1139	1140	1133	1108	1068	1005	917	793	665
732	789	842	875	893	901	891	866	829	775	705	618	535
596	635	675	706	721	723	722	692	666	618	567	500	444
503	529	558	580	592	593	586	566	541	504	466	420	380

เวลา 8.00 น.

2574	2884	2904	2925	2918	2915	2919	2930	2932	2918	2906	2876	2507
1539	1895	2001	2040	2057	2064	2063	2063	2059	2038	1997	1859	1486
1077	1304	1430	1494	1525	1534	1553	1534	1517	1487	1423	1289	1055
825	972	1083	1145	1188	1198	1206	1198	1180	1140	1076	955	807
668	764	851	908	942	964	970	959	937	901	841	749	647
552	621	686	739	771	786	799	780	767	729	679	607	537
473	523	570	615	642	656	660	652	635	603	562	510	461

เวลา 12.00 น.

1834	2416	2514	2554	2567	2558	2564	2573	2576	2568	2564	2556	2404
1104	1482	1676	1769	1817	1839	1849	1856	1859	1849	1826	1750	1578
792	987	1144	1246	1306	1339	1369	1367	1363	1350	1312	1239	1119
615	732	841	924	986	1020	1042	1050	1046	1028	996	925	847
499	574	650	714	762	799	821	827	818	802	772	718	665
416	466	522	574	611	638	661	662	661	643	620	576	540
357	392	432	472	501	523	536	542	539	525	507	478	456

เวลา 17.00 น.

ห้อง 24.00 x 12.00 ม. WWR80 เดือนมีนาคม สภาพท้องฟ้าโปร่ง

EML	<30	30 - 59	60 - 119	120 - 149	150 - 179	180 - 239	>240

รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่า EML ในแต่ละช่วงเวลา (Comparison of EML results at different times)

1756	2453	2588	1369
1163	1528	1698	1606
842	1016	1104	1066
618	705	748	728
462	508	529	520
353	380	395	386
281	294	301	298
226	235	241	237

2567	4233	4590	4488
1550	2413	3029	3202
1121	1538	1911	2067
836	1059	1258	1351
634	760	871	927
488	570	641	668
394	442	482	505
320	350	380	394

1200	1477	1499	1266
846	1006	1016	843
618	692	679	586
451	485	473	420
337	352	341	311
257	265	259	239
203	205	201	188
164	164	161	151

เดือนมีนาคม	เดือนมิถุนายน	เดือนธันวาคม
ห้อง 4.00 x 8.00 ม. WWR80 เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าโปร่ง		

1626	1930	1937	1617
946	1162	1162	937
578	688	680	573
375	427	434	375
259	287	288	260
186	203	205	187
142	150	150	141
112	117	117	110

997	1184	1189	992
580	713	712	575
355	422	417	352
231	262	266	230
159	176	176	160
114	125	126	115
87	92	92	87
69	72	72	68

เดือนมิถุนายน	เดือนธันวาคม
ห้อง 4.00 x 8.00 ม. WWR80 เวลา 8.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	

3201	3732	3763	3148
1853	2252	2266	1834
1137	1334	1329	1131
755	844	849	743

724	843	851	712
419	509	512	414
257	302	301	255
170	191	192	168

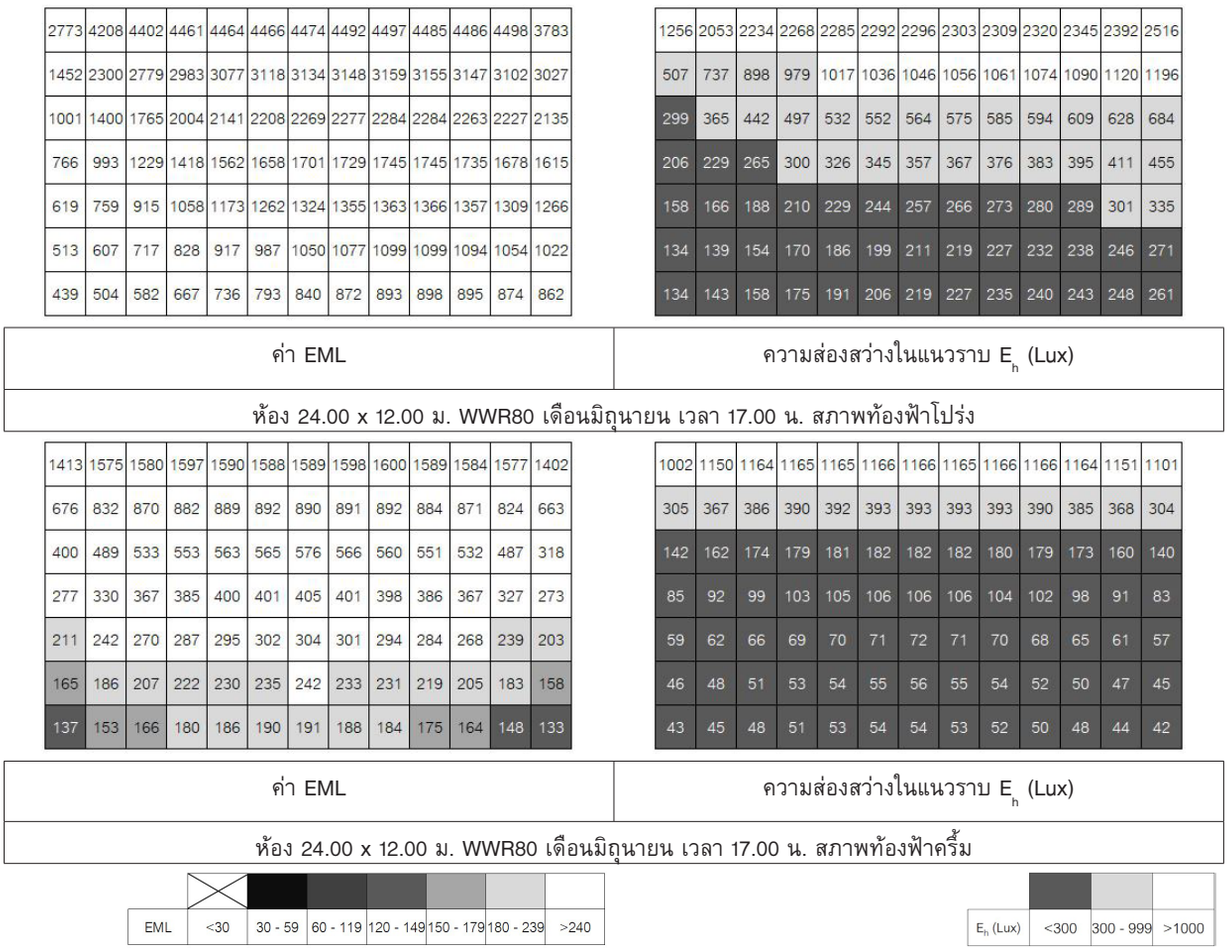
เดือนมีนาคม	เดือนธันวาคม
ห้อง 4.00 x 4.00 ม. WWR80 เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	

EML		<30	30 - 59	60 - 119	120 - 149	150 - 179	180 - 239	>240

รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่า EML ในแต่ละช่วงเดือน (Comparison of EML results in different months)

197 954 197 230 378 227 143 179 141	197 797 194 110 161 109 56 65 56
ค่า EML	ความส่องสว่างในแนวราบ E_h (Lux)
ห้อง 2.50 x 3.20 ม. WWR20 เดือนธันวาคม เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	
54 261 54 63 104 62 39 49 39	51 207 50 29 42 28 15 17 15
ค่า EML	ความส่องสว่างในแนวราบ E_h (Lux)
ห้อง 2.50 x 3.20 ม. WWR20 เดือนธันวาคม เวลา 17.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	
2618 3045 3060 2517 1695 2025 2029 1646 1188 1368 1357 1167 870 956 955 856	1555 1783 1767 1483 678 764 754 659 404 432 429 396 314 333 330 308
ค่า EML	ความส่องสว่างในแนวราบ E_h (Lux)
ห้อง 4.00 x 4.00 ม. WWR80 เดือนมีนาคม เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าโปร่ง	
2593 3077 3089 2579 1508 1853 1852 1495 923 1096 1084 913 600 682 691 597 414 457 460 415 298 325 327 299 226 240 240 226 179 186 187 176	2008 2399 2369 2011 709 848 846 703 324 362 361 321 180 194 194 179 113 119 119 113 78 81 81 78 59 61 61 58 53 56 55 52
ค่า EML	ความส่องสว่างในแนวราบ E_h (Lux)
ห้อง 4.00 x 8.00 ม. WWR80 เดือนธันวาคม เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	
2647 3122 3161 3150 3182 3163 3190 3151 3152 3106 2621 1576 1980 2105 2143 2174 2163 2173 2139 2099 1974 1571 1050 1275 1414 1464 1492 1491 1481 1461 1397 1261 1035 754 888 992 1040 1074 1081 1071 1047 982 884 742 580 664 736 785 804 813 804 778 736 663 564 457 520 568 610 627 633 626 600 565 514 447 374 417 461 485 495 506 498 478 448 411 366 313 342 370 391 403 407 400 388 366 336 304 264 288 307 321 332 333 330 321 301 280 256 226 243 261 270 276 279 279 267 254 238 220 197 212 221 227 236 238 236 226 219 206 192	2300 2765 2833 2848 2851 2851 2848 2848 2834 2761 2296 990 1200 1285 1315 1324 1328 1325 1314 1286 1199 985 518 599 651 678 688 691 687 678 651 593 513 315 345 377 394 402 406 402 392 373 343 310 212 226 244 255 261 263 261 254 241 224 209 154 161 170 178 182 183 182 177 169 158 151 118 121 126 131 134 135 134 130 125 119 116 94 95 99 102 104 105 104 102 98 93 92 79 79 82 84 86 87 86 84 81 78 77 70 71 73 75 77 77 77 75 73 70 68 72 74 77 79 80 81 80 79 76 73 70
ค่า EML	ความส่องสว่างในแนวราบ E_h (Lux)
ห้อง 12.00 x 12.00 ม. WWR80 เดือนธันวาคม เวลา 12.00 น. สภาพท้องฟ้าครึ้ม	

รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่า EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบ (Comparison of EML and horizontal illuminance)



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่า EML และค่าความส่องสว่างในแนวราบ (ต่อ) (Comparison of EML and horizontal illuminance) (continued)

ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในแนวราบกับค่า EML ที่เกิดขึ้นจะเห็นว่า ในบางช่วงเวลาขณะที่ค่า EML อยู่ในระดับที่เพียงพอตามเกณฑ์ แต่ค่าความส่องสว่างในแนวราบจะมีค่าที่ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจสูงกว่า 3,000 – 4,000 ลักซ์ และแม้ว่าจะเป็นแสงธรรมชาติที่มาจากทางด้านทิศเหนือก็ตาม แต่ก็อาจทำให้ส่งผลทางด้านความสบายทางการมองแก่ผู้ใช้อาคารได้ ซึ่งเมื่อเกิดกรณีเช่นนี้อาจทำให้ต้องมีการปิดม่านหรือมู่ลี่เพื่อลดแสงจ้าหรือกรองแสงให้น้อยลง ซึ่งอาจทำให้ไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามาตามที่ได้คาดการณ์ไว้ ทำให้ต้องใช้แสงประดิษฐ์ทดแทนตามที่ได้มีผู้ทำการศึกษาได้ตั้งข้อสังเกตไว้ (Figueiro, 2013) นอกจากนี้ การกำหนดทิศทางการมองไปยังช่องเปิดจะสามารถช่วยเพิ่มค่า EML ให้สูงขึ้นได้ด้วยเช่นกัน สำหรับห้องที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบต่ำ อย่างไรก็ดี หากมีการหันทิศทางการมองไปในทิศทางอื่น ๆ อาจส่งผลทำให้มีค่า EML ที่ต่ำลงกว่านี้ แต่ก็อาจช่วยลดปัญหาเรื่องความไม่สบายทางการมองได้

หากพิจารณาในเชิงปริมาณจะเห็นว่าแสงธรรมชาติสามารถทำให้เกิดผลลัพธ์ได้หลายสถานการณ์ คือ มีค่า EML และความส่องสว่างในแนวราบไม่เพียงพอ หรือมีค่า EML เพียงพอแต่ความส่องสว่างในแนวราบไม่เพียงพอโดยเฉพาะในส่วนลึกของห้อง และมีค่า EML เพียงพอแต่ความส่องสว่างในแนวราบมีค่าสูงมาก เมื่อพิจารณาด้านคุณภาพของแสงด้วยแล้วจะพบว่า แม้กรณีศึกษาจะผ่านกระประเมินค่า ASE แล้วก็ตามแต่ก็ยังมีโอกาสที่จะเกิดแสงจ้าได้โดยเฉพาะบริเวณริมช่องเปิด ด้วยเหตุนี้ ในกรณีที่ต้องการสร้างแสงที่ส่งผลต่อนาพิกาชีวภาพที่มีความสม่ำเสมอและควบคุมได้ตลอดเวลาแล้ว การเลือกใช้แสงประดิษฐ์เป็นระบบหลักและเสริมด้วยการใช้แสงธรรมชาติอาจจะมีความเหมาะสมมากกว่า ดังนั้น การทบทวนแนวทางการออกแบบต่าง ๆ ที่ผ่านมา การกำหนดกลยุทธ์ให้สอดคล้องกับการออกแบบช่องเปิด การกำหนดเป้าหมายว่าจะใช้แสงธรรมชาติเพื่อให้ความส่องสว่างหรือสร้างแสงที่ส่งผลต่อนาพิกาชีวภาพ อาจทำให้เกิดความท้าทายหรือเปลี่ยนมุมมองด้านการออกแบบที่มีต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานในอาคารก็เป็นได้

6. บทสรุป

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้นอกจากจะทำให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้แสงธรรมชาติในประเทศไทยและผลขององค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคารที่ส่งผลต่อแสงที่ส่งผลต่อนาฬิกาชีวิตหรือค่า EML ยังทำให้ทราบถึงความซับซ้อนในกระบวนการออกแบบที่อาจต้องพิจารณาจากเกณฑ์การออกแบบหลายเกณฑ์ควบคู่กัน รวมทั้งตระหนักถึงความเหมาะสมของการออกแบบที่ไม่ได้มุ่งเน้นการทำคะแนนเพื่อให้ผ่านเกณฑ์เพียงอย่างเดียว แต่เพื่อความเหมาะสมของการใช้งานจริงและประโยชน์ของผู้ใช้อาคารเป็นสำคัญ สำหรับการทำงานในอนาคต เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ ควรมีการวางแผนการเก็บข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่ไว้ด้วย รวมถึงการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เกณฑ์การประเมินต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้งาน และพัฒนาแนวทางการออกแบบร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์

References

Andersen, M., Gochenour, S. J., & Lockley, S. W. (2013). Modelling ‘non-visual’ effects of daylighting in a residential environment. *Building and Environment, 70*, 138 - 149.

Brennan, M. T. & Collins, A. R. (2018). Outcome-based design for circadian lighting: An integrated approach to simulation & metrics. *2018 Building Performance Analysis Conference and SimBuild,* 141 - 148.

Figueiro, M. G., (2013). A 24-hour lighting scheme for older adults: A pledge to the lighting community. *Lighting Design and Application, 43*(2), 46 - 50.

Figueiro, M. G., Gonzales, K., & Pedler, D. (2016). Designing with circadian stimulus. *Lighting Design and Application,* October 2016, 30 - 34.

Grondzik, T. W., Kwok, G. A., Stein, B., & Reynolds, S. J. (2010). *Mechanical and electrical equipment for buildings*. (11th ed.). New York: John Wiley & Sons.

International Well Building Institute. (2020). *Daylight modeling*. Retrieved from https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/5

Konis, K. (2017). A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. *Building and Environment, 113*, 22–38.

Konis, K. (2018). Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities. *Building and Environment, 135*, 112 - 123.

Licht. (2019). *Licht.wissen 19: Impact of light on human beings*. Retrieved from https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf

Mardaljevic J., Heschong, L., & Lee, E. S. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology 2009*, (0): 1 - 23.

Srisutapan, A. (2020). Guidelines and applications of daylight metrics for buildings in Thailand. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies. 17*(1), 103 - 120.

Tuaycharoen, N. (2015). Final Report: The development of appropriate interior environment of hospital ward for senior visibility and recovery. Bangkok: Author.

U.S. Green Building Council (USGBC). (2019). *LEED v4.1.* Retrieved from https://new.usgbc.org/leed-v41#bdc.