การเปิดรับแสงธรรมชาติในโถงกึ่งเปิดโล่งเพื่อความยั่งยืน: กรณีศึกษา อาคารสถานศึกษาย่านชานเมืองกรุงเทพมหานคร

Daylighting in Semi-open Atrium for Sustainability: Case Studies of Educational Buildings in Bangkok Suburbs

ทรงพล อัตถากร
Songpol Atthakorn

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี 12000
Faculty of Architecture, Rangsit University, Pathum Thani 12000, Thailand
* Corresponding author e-mail: songpol@alum.mit.edu

Received 28/2/2020 Revised 9/7/2020 Accepted 14/7/2020

บทคัดย่อ

เมื่อแสงธรรมชาติภายในโถงกึ่งเปิดโล่งในอาคารเรียนที่ดี สามารถส่งเสริมประสิทธิภาพในการเรียนรู้ การมีสุขภาวะที่ดี และการลดการใช้พลังงาน ดังนั้น การศึกษาถึงการเปิดรับแสงธรรมชาติที่มีคุณภาพจึงมีความสำคัญต่อแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อความยั่งยืน การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของรูปแบบทางกายภาพของอาคารที่มีผลต่อคุณภาพของแสงธรรมชาติภายในโถง ขั้นตอนวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์กรณีศึกษาจำนวน 4 อาคาร เพื่อศึกษารูปแบบทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะช่องเปิดรับแสงธรรมชาติ สัดส่วนช่องโถง และองค์ประกอบภายในของโถง และประเมินแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในโถงกรณีศึกษาโดยการจำลองในคอมพิวเตอร์ ต่อจากนั้นศึกษาเปรียบเทียบผลคุณภาพของแสงสว่างภายในกรณีศึกษา เพื่อความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพกับผลจากการประเมินแสงธรรมชาติ และสุดท้ายเสนอแนะแนวทางในการเปิดรับแสงธรรมชาติในโถงกึ่งเปิดโล่ง โดยมีดัชนีชี้วัดที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความสว่าง ค่าความส่องสว่าง ค่าความสม่ำเสมอของแสง ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ ค่า UDI ค่า sDA ค่า ASE และค่า DGP ผลการวิจัย พบว่า 1) ช่องแสงหลังคาส่งผลต่อแสงสว่างภายในโถงมากที่สุด 2) ช่องแสงผนังในระดับพื้นโถงช่วยส่งเสริมความสม่ำเสมอของแสงภายในโถง 3) สัดส่วนช่องโถงมีผลโดยตรงต่อปริมาณและการกระจายของแสงภายในโถง 4) พื้นที่อับแสงและระดับการสะท้อนของผิวอาคารภายในโถง ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของแสงภายในโถง 5) แสงภายในโถงที่เกินกว่า 3000 ลักซ์ มีผลต่อระดับค่าแสงบาดตาสูง และ 6) การประเมินแสงในระนาบแนวตั้งช่วยให้ได้ผลที่สมจริง และการจำลองแสงในรอบปีช่วยให้เห็นผลกระทบจากแสงตลอดทั้งปี ดังนั้นการออกแบบการรับแสงธรรมชาติภายในโถงกึ่งเปิดโล่งจึงควรคำนึงถึง 1) การลดผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์ 2) การเปิดช่องแสงหลังคาให้สัมพันธ์กับสัดส่วนช่องโถง 3) การควบคุมการเกิดแสงบาดตาให้อยู่ในระดับต่ำ 4) การจัดองค์ประกอบภายในโถงและช่องเปิดให้กระจายแสงได้ทั่วถึง และ 5) การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในโถงให้เหมาะกับแสงในแต่ละบริเวณ

คำสำคัญ
การรับแสงธรรมชาติ
โถงกึ่งเปิดโล่ง
ดัชนีสัดส่วนช่องโถง
ความส่องสว่าง
โอกาสเกิดแสงบาดตา

Abstract

Since high-quality daylighting in the semi-open atriums in educational buildings could promote learning efficiency, well-being, and reducing the use of energy. Therefore, the study of appropriate daylighting in atriums is substantial for the design consideration of sustainable architecture.. The objective of this research was to find the relationships between the physical forms of the atriums which affect the daylight qualities in the atriums, to develop the knowledge of daylighting in sustainable buildings. The research started with analyzing of 4 case studies to know the dimensional proportion and characteristics of the case studies, such as openings, well indexes (WI), and the compositions of the atriums. Next, evaluating daylight performances inside the atriums by computer simulation. Then, comparing the results of the quantities and qualities of daylight inside the case studies. Lastly, discovering the relationship between physical characteristics and the results of daylight evaluation. The important indicators are; luminance (I), illuminance (E), uniformity of light (U), daylight factor (DF), useful daylight illumination (UDI), spatial daylight anatomy (sDA), annual sunlight exposure (ASE), and daylight glare probability (DGP). The results found that; 1) The proportional area of the skylight affects daylight in the atrium most. 2) The wall openings at the floor level help control the uniformity of light in the atrium. 3) The well index value affects directly the illuminance in the atrium. 4) Shadings of the above balcony, blind areas in the atrium, and light reflection from building surfaces affect the illuminance on the working plane and the uniformity of light in the atrium. 5) Daylight exceeded 3000 lux could course glare. 6) The evaluation of daylight in the vertical plane and the annual daylight simulation with climate-based daylight modeling (CBDM) helps to visualize more realistic perceptions. Therefore, the design of daylighting in semi-open atriums should consider; 1) the effects of sunlight radiation in the atriums 2) the amount of daylighting concerning the proportion of the atriums, 3) the daylighting qualities that do not cause glare effect, 4) the internal facade compositions that promote daylight distribution, and 5) the arrangement of interior space due to daylight effects.

Keywords

Daylighting

Semi-open Atrium

Well Index

Illuminance

Glare Probability

1. บทนำ

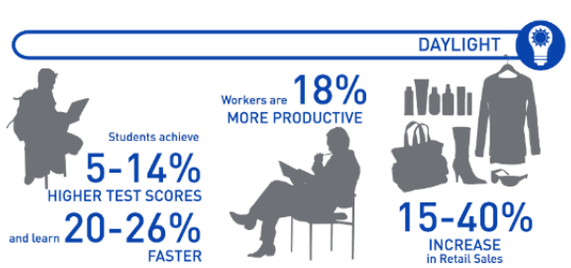
ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา อาคารสถานศึกษาที่มีโถงกึ่งเปิดโล่งขนาดใหญ่ได้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยย่านชานเมือง โดย “อาคารโถงกึ่งเปิดโล่ง” (Semi-open Atrium Building) ได้ส่งเสริมพื้นที่กิจกรรมกึ่งภายนอกอย่างสร้างสรรค์ด้วยบรรยากาศแสงธรรมชาติที่สว่างไสว อันเป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมพึ่งพาตนเองที่น่าสนใจ ทั้งนี้รูปแบบการเปิดรับแสงธรรมชาติที่หลากหลายได้ส่งผลต่อคุณภาพแสงสว่างภายในโถงเป็นอย่างมาก จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อประเมินแสงธรรมชาติภายในอาคารเรียนดังกล่าว และค้นหาความสัมพันธ์ของรูปแบบการเปิดรับแสงที่ส่งผลต่อคุณภาพของแสงธรรมชาติที่ดีภายในโถงกึ่งเปิดโล่ง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อความยั่งยืนต่อไป

อาคารโถงกึ่งเปิดโล่งประกอบด้วยส่วนโถงหลักขนาดใหญ่สูงหลายชั้น มีหลังคาช่วงกว้างคลุมบนยอดอาคารเพื่อป้องกันแดดและฝนและเปิดรับแสงธรรมชาติเข้าสู่โถงทางช่องแสงหลังคาเป็นหลัก โถงกึ่งเปิดโล่งมีการระบายอากาศตามธรรมชาติและอาจเสริมบรรยากาศด้วยพื้นที่สีเขียวภายในอาคาร โถงถูกโอบล้อมด้วยแนวห้องเรียนโดยมีช่องเปิดผนังเพื่อรับแสงในบางส่วน ซึ่งการเปิดรับแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสามารถสร้างสภาวะแวดล้อมเชิงธรรมชาติที่ดีให้แก่โถงกึ่งเปิดโล่งได้เป็นอย่างมาก โถงกึ่งเปิดโล่งในอาคารเรียนมีจุดประสงค์เพื่อเป็นทางสัญจรหลักและรองรับพื้นที่กิจกรรมที่หลากหลาย ได้แก่ พื้นที่การเรียนรู้แบบกลุ่ม พื้นที่ปฏิสัมพันธ์ พื้นที่อ่านหนังสือ พื้นที่จัดกิจกรรมนอกห้องเรียน และพื้นที่พักผ่อนที่มีบรรยากาศที่สวยงาม โดยแสดงออกถึงการต้อนรับที่อบอุ่น การเข้าถึงภายในได้อย่างเชื้อเชิญ และการมีภาพลักษณ์ที่สง่างาม นอกจากนี้โถงกึ่งเปิดโล่งที่มีสวนหย่อมและแสงธรรมชาติได้ส่งเสริมโอกาสการเข้าถึงธรรมชาติและวิถีชีวิตกึ่งภายนอก (Semi-outdoor Lifestyle) ให้แก่ผู้ใช้อาคารมากขึ้นด้วย

อาคารสถานศึกษามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องลดการใช้พลังงาน โดยกระทรวงพลังงานได้คาดการณ์จากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554–2573) ว่าหากมีการใช้พลังงานในสภาวะตามปกติ (Business-As-Usual, BAU) ในปี พ.ศ. 2573 อาคารประเภทสถานศึกษาจะมีความต้องการใช้พลังงานสูงถึง 12,947 GWh ของพลังงานที่ใช้ในทุกประเภทอาคาร ซึ่งจะสูงเป็นอันดับที่ 1 แซงหน้าอาคารประเภทสำนักงานหรือห้างสรรพสินค้า อย่างไรก็ตาม อาคารประเภทสถานศึกษามีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานลงได้กว่าครึ่งในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25 ของพลังงานที่จะสามารถลดลงได้ทั้งหมดตามแผนอนุรักษ์พลังงาน (Ministry of Energy, 2011) การใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาโดยปกติมีสัดส่วนระบบทำความเย็น 57% และระบบแสงสว่าง 38% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร ซึ่งสถานศึกษาเป็นประเภทอาคารที่มีสัดส่วนในการไฟฟ้าระบบแสงสว่างมากที่สุด (Tasit, 2017)

ในปัจจุบันอาคารเรียนได้พัฒนารูปแบบอาคารประหยัดพลังงานด้วยการพึ่งพาธรรมชาติมากขึ้น โดยการไม่ติดเครื่องปรับอากาศและเปิดรับแสงธรรมชาติในพื้นที่ส่วนกลาง ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ถึง 30–40% ของพื้นที่อาคาร ดังนั้นพื้นที่ส่วนกลางรูปแบบโถงกึ่งเปิดโล่งนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานในส่วนนี้ได้มากแล้ว ยังช่วยลดทอนความร้อนจากแสงแดดโดยตรงจากภายนอกและช่วยส่งผ่านแสงธรรมชาติที่เหมาะสมไปสู่พื้นที่ส่วนอื่นภายในอาคารอีกด้วย

แสงธรรมชาติมีคุณประโยชน์ต่อมนุษย์โดยช่วยสร้างบรรยากาศที่อบอุ่น ปลอดภัย และผ่อนคลาย การมีแสงธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรมช่วยส่งเสริมคุณภาพของที่ว่างและสร้างภาพลักษณ์ที่ดี ส่งเสริมการเข้าถึงอย่างเชื้อเชิญ และส่งเสริมการมีสุขภาวะที่ดีแก่อาคาร โดยโถงเอเทรียมช่วยส่งเสริมให้แสงที่เข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างมาก (Phillips, 2004) ยิ่งไปกว่านั้น World Green Building Council ได้รายงานผลการวิจัยโดยพบว่า การมีแสงธรรมชาติในอาคารที่ได้รับรับรองจาก LEED ช่วยส่งเสริมให้นักศึกษามีผลการเรียนดีขึ้น 5–14% และเรียนเร็วขึ้น 20–26% และเพิ่มผลผลิตของงานได้มากขึ้น 18% (Parans, 2017) ดังในรูปที่ 1



ที่มา: Parans, 2017

รูปที่ 1 แสงธรรมชาติช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเรียน การทำงาน และการขาย (Natural light enhances learning, working, and selling performance)

การเปิดรับแสงธรรมชาติ (Daylighting) มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของแสงธรรมชาติภายในโถงกึ่งเปิดโล่ง โดยมีปัจจัยที่สำคัญที่นำไปสู่กรอบการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ รูปแบบช่องรับแสง รูปร่างสัดส่วนของช่องโถง และลักษณะพื้นผิวภายในโถงอาคาร ในขณะที่ผู้ใช้อาคารสามารถรับรู้แสงธรรมชาติภายในอาคารได้ใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การรับรู้ความส่องสว่างแนวตั้ง (Vertical Plane) จากมุมมองสายตา และแนวนอนที่ระนาบทำงาน (Working Plane) โดยการศึกษาสภาวะแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาทำการของปีนั้นมีความสำคัญ

ปริมาณแสงธรรมชาติที่รับรู้ได้ภายในโถงอาคารสามารถประเมินได้จากค่าดัชนีที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความสว่าง (Luminance, L) ค่าความส่องสว่าง (Illuminance, I) และค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor, DF) โดยสามารถประเมินปริมาณแสงธรรมชาติที่เหมาะสมและเพียงพอได้จากค่า UDI (Useful Daylight Illumination) และค่า sDA (Spatial Daylight Autonomy) ในขณะที่ดัชนีในการประเมินผลของแสงที่มากเกินไปซึ่งอาจก่อให้อาคารรับความร้อนหรือมีแสงบาดตามากเกินไป ได้แก่ ค่า ASE (Annual Sunlight Exposure) และค่า DGP (Daylight Glare Probability) ทั้งนี้ค่าคุณภาพแสงธรรมชาติดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญตามมาตรฐาน LEED (USGBC, 2020)

งานวิจัยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเกี่ยวกับเรื่องความส่องสว่างที่เหมาะสม และโอกาสเกิดแสงบาดตา ได้ชี้ว่าค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในห้องควรอยู่ในช่วง 300–3000 ลักซ์ โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมจำลองประสิทธิภาพแสงธรรมชาติแบบพลวัต (Dynamic Metric) ซึ่งสามารถประเมินค่าแสงธรรมชาติจากสภาพท้องฟ้าตามภูมิอากาศเป็นรายชั่วโมงของวันตลอดทั้งปี (Annual Daylight Metric) จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในปีทั่วไป (Typical Meteorological Year, TMY) โดยการใช้ค่า $UDI_{300\text{-}3000}$ และค่า $sDA_{300/50\%}$ เพื่อการประเมินค่าความส่องสว่างที่เหมาะสม โดยมีการคำนวณค่า $ASE_{1000,250}$ และค่า DGP เพื่อหาผลกระทบของปริมาณแสงที่มากเกินไปที่เป็นผลให้มีโอกาสเกิดความร้อนสูงและแสงบาดตา (Karlsen, Heiselberg & Bryn, 2014)

การวิจัยนี้เป็นการประเมินแสงธรรมชาติด้วยการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสภาวะของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในโถงกึ่งเปิดโล่งของแต่ละกรณีศึกษา และค้นหาความสัมพันธ์ของรูปแบบอาคารที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของแสงธรรมชาติภายในโถงจากผลการประเมินแสงธรรมชาติในกรณีศึกษา เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบการเปิดรับแสงธรรมชาติในอาคารโถงกึ่งเปิดโล่งเพื่อความยั่งยืน

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แสงธรรมชาติและการจำลองสภาพท้องฟ้า

แสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคารนั้น มาจากแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ใน 3 ลักษณะ ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์ แสงจากท้องฟ้า และแสงจากการสะท้อน สภาพท้องฟ้าเป็นตัวกำหนดปริมาณค่าแสงสว่างที่เข้าสู่อาคารที่สำคัญ ในการจำลองแสงธรรมชาติโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ท้องฟ้ามี 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เป็นรูปแบบท้องฟ้าที่มีเมฆน้อยไม่เกิน 30% 2) ท้องฟ้าเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนประมาณ 30–70% 3) ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม (Overcast Sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม 100% ซึ่งเป็นสภาพที่ใช้ในการคำนวณค่าองค์ประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor) 4) ท้องฟ้าตามฤดูกาล (Climate Sky) เป็นรูปแบบท้องฟ้าที่ผันแปรตามฤดูกาล ตามข้อมูลมาตรฐานอุตุนิยมวิทยาในแต่ละพื้นที่ของโลก ในปัจจุบันการจำลองแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าตามฤดูกาล (Climate-Based Daylight Modelling, CBDM) ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย จากการรับรองมาตรฐาน IES (Mardaljevic & Brembilla, 2017)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อแสงสว่างภายในโถง

โถง (Atrium) ที่อยู่กลางอาคารจะได้รับแสงธรรมชาติในระดับพื้นโถงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ 1) รูปร่างและสัดส่วนของโถง 2) รูปแบบหลังคาและช่องแสง และ 3) ลักษณะพื้นผิวและระเบียงภายในโถง ซึ่งมีผลต่อปริมาณแสงและการกระจายแสงภายในโถง (Zhao, Kang & Jin, 2015)

2.3 ดัชนีช่องโถง

ดัชนีช่องโถง (Well Index; WI) เป็นค่าดัชนีที่บอกถึงลักษณะสัดส่วนเฉพาะของที่ว่างช่องโถง ซึ่งมีผลต่อปริมาณและการกระจายของแสงธรรมชาติจากช่องแสงหลังคาในช่องโถง โดยเป็นการนำค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ของความสูงต่อความกว้าง (SAR = H/W) และค่าสัดส่วนความกว้างต่อความยาว (PAR = W/L) มารวมกัน โดยหาก

โถงที่ตื้นกว่าหรือโถงมีค่า WI มีค่าน้อยกว่า จะมีระดับการกระจายแสงดีกว่าและปริมาณแสงที่มากกว่า โถงที่สูงกว่าหรือโถงที่มีค่า WI สูงกว่า ในกรณีที่มีปริมาณช่องรับแสงหลังคาใกล้เคียงกัน ดังในสมการ WI = H(L+W) / 2(L)(W) เมื่อ WI คือดัชนีช่องโถง W คือความกว้างโถง L คือความยาวโถง และ H คือความสูงโถง (Ahmad & Rasdi, 2000)

2.4 ความสว่าง (Luminance)

ความสว่าง (Luminance) หมายถึง ปริมาณแสงที่ส่องผ่านหรือสะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีประมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่างกัน (TIEA, 2018)

2.5 ความส่องสว่าง (Illuminance)

2.5.1 ค่าความส่องสว่าง (Illuminance; E) หมายถึง ปริมาณแสงสว่างที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ เป็นระดับความสว่างที่พื้นที่หนึ่งได้รับแสงสว่างมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ (Lux) โดยสามารถคำนวณดังในสมการ $E = Ø / A = I / d^2$ เมื่อ E คือค่าความส่องสว่าง (Lux; lux) Ø คือความเข้มการส่องสว่าง (Lumen; lm) A คือพื้นที่ผิวรับแสง (m^2) I คือความเข้มการส่องสว่าง (Candela; cd) และ d คือระยะระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง (m หรือ ft)

2.5.2 ค่าความสม่ำเสมอของแสง (Illumination Uniformity Ratio) สามารถคำนวณได้จากสมการ $U_o = E_{min} / E_{ave}$ เมื่อ U_o คือค่าความสม่ำเสมอของแสง (U) E_{min} คือค่าความส่องสว่างต่ำสุด (lux) และ E_{ave} คือค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง (lux) โดยค่าความสม่ำเสมอในห้องโถงควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.4 (TIEA, 2018)

2.6 ความต้องการแสงสว่าง

2.6.1 ความต้องการแสงสำหรับการใช้สอย

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) และกฎกระทรวงมาตรฐานความเข้มแสงสว่าง พ.ศ. 2559 กำหนดความเข้มของแสงสว่างภายในอาคารขั้นต่ำไว้ว่า ทางสัญจร ห้องลอบบี้และบริเวณต้อนรับ ต้องไม่น้อยกว่า 100 ลักซ์ ในขณะที่พื้นที่กิจกรรมหลัก ได้แก่ ห้องเรียนและสำนักงาน ต้องไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ โดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยได้แนะนำว่า หออเนกประสงค์และบริเวณอ่านหนังสือควรมีความค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ 300–500 ลักซ์ตามลำดับ ดังนั้นโถงอเนกประสงค์ที่มีรูปแบบผสมทั้งกิจกรรมนอกห้องเรียนและทางสัญจร เพื่อรองรับการใช้สอยที่หลากหลาย ควรมีค่าความส่องสว่างไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ โดยควรมีค่าเฉลี่ยที่ 500 ลักซ์ (TIEA, 2018)

มาตรฐาน LEED ในปี ค.ศ. 2009 ได้กำหนดค่าความส่องสว่างภายในอาคารควรอยู่ในช่วง 108–5400 ลักซ์ และต่อมามาตรฐาน LEED v4 ในปี ค.ศ. 2014 ได้กำหนดค่าความส่องสว่างที่ใช้งานควรอยู่ในช่วง 300–3000 ลักซ์ ในช่วงเวลา 9.00–15.00 น. ของวันวิษุวัต (Equinox) คือวันที่ 21 กันยายน ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง ในสัดส่วนอย่างน้อย 75% ของพื้นที่ (Wikiwand, 2020)

โถงกรณีศึกษาตามปกติมีการใช้สอยตลอดทั้งวันในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00–18.00 น. โดยมีการใช้งานบริเวณโถงมากในช่วงเช้าก่อนเข้าชั้นเรียน ช่วงพักเที่ยง และช่วงเย็นหลังจากชั้นเรียน ซึ่งในแต่ละช่วงเวลามีค่า ความส่องสว่างที่ความแตกต่างกันมาก จึงควรมีการทดสอบแสงธรรมชาติในทุกช่วงของวันเป็นรายชั่วโมง และในทุกวันในรอบปี

2.6.2 ปริมาณแสงในพื้นที่สีเขียวภายใน

กลุ่มต้นไม้ยืนต้นต้นไม้พุ่มและไม้คลุมดินที่อยู่ภายในสภาวะควบคุมภายในอาคาร โดยทั่วไปต้องการพลังงานจากแสงธรรมชาติเพื่อดำรงชีพอย่างน้อย 700–1000 ลักซ์ จนถึง 2500–7500 ลักซ์ ในช่วงเวลานาน 8–12 ชั่วโมงต่อวัน ขึ้นอยู่กับแต่ละพรรณพืช (Navvab, 2011) โดยแบ่งเป็น 1) พืชสำหรับแสงน้อย (350–1000 ลักซ์) 2) พืชสำหรับแสงปานกลาง (900–4000 ลักซ์) และ 3) พืชสำหรับแสงมาก (>3000 ลักซ์) ซึ่งต้นไม้ที่เหมาะกับการปลูกภายในอาคารควรเป็นพืชที่มีความทนทานสูง เช่น พืชเขตร้อนชื้น โดยควรวางต้นไม้ในพื้นที่ที่รับแสงมาก (Binggeli & Greichen, 2011)

2.7 ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor)

ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor, DF) หมายถึง ค่าสัดส่วนร้อยละของค่าความสว่างแสงธรรมชาติภายใน ณ จุดหนึ่ง เทียบกับค่าความสว่างของแสงภายนอกที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง โดยควรใช้ค่าแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม เพราะให้ค่าที่แน่นอนสำหรับการคำนวณในทุกเวลา (NZEB, 2018) ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติสามารถคำนวณได้จากสมการ $DF = (E_{int} / E_{ext}) \times 100$ % เมื่อ DF คือค่าตัวประกอบแสง

ธรรมชาติ (Daylight Factor; %) E_{int} คือค่าความส่องสว่างภายใน ณ จุดหนึ่ง (Illuminance; Lux) และ E_{ext} คือค่าความส่องสว่างภายนอก (Illuminance; Lux) โดยหากค่า DF < 2% ห้องจะดูมืด ต้องการแสงสว่างไฟฟ้าในส่วนใหญ่ของวัน ค่า DF = 2%–5% ห้องดูสว่างพอสมควร ค่า DF >5% ห้องดูสว่างโดยไม่ต้องการแสงสว่างไฟฟ้าเสริม แต่อาจเกิดปัญหาความร้อนและแสงบาดตา หากค่า DF = 5–10% เป็นรูปแบบพื้นที่กิจกรรมกึ่งภายนอกหรือโถงที่มีสวนหย่อมภายในอาคาร (Tregenza & Wilson, 2013)

2.8 ค่า Useful Daylight Illuminance (UDI)

ค่าความส่องสว่างแสงธรรมชาติที่เหมาะกับการใช้งาน (Useful Daylight Illuminance, UDI) เป็นการประเมินสัดส่วนร้อยละของพื้นที่หนึ่งจากการวัดคำนวณการส่องสว่างของแสงธรรมชาติตลอดทั้งปี โดยควรวัดความส่องสว่างในระดับสูงจากพื้น 0.76 ม. และการจำลองค่าท้องฟ้าตามภูมิอากาศแสงแดดทั้งปี (CBDM) ซึ่งพื้นที่ที่มีความสว่างแสงธรรมชาติเหมาะกับการใช้งานควรอยู่ในช่วงระหว่าง 300–3000 ลักซ์ อย่างน้อย 50% ของพื้นที่ โดยการวิเคราะห์ค่า $UDI_{300\text{-}3000}$ แยกเป็น 1) ค่า UDI-a (UDI autonomous) คือค่าร้อยละของพื้นที่ที่มีแสงในช่วงที่เหมาะสม (300–3000 ลักซ์) 2) ค่า UDI-s (UDI supplementary) คือค่าร้อยละของพื้นที่ที่มีแสงน้อย (<300 ลักซ์) และ 3) ค่า UDI-e (UDI exceeded) คือค่าร้อยละของพื้นที่ที่รับแสงมาก (>3000 ลักซ์) โดยหากค่า UDI-s มีค่าสูง อาคารควรเสริมแสงสว่างจากโคมไฟฟ้า และหากค่า UDI-e มีค่าสูงอาจทำให้มีโอกาสเกิดแสงบาดตาและอาจส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่อาคารมากเกินไป (Mardaljevic & Brembilla, 2017)

2.9 ค่า Spatial Daylight Anatomy (sDA)

ค่า sDA คือค่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับความส่องสว่างขั้นต่ำอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของระยะเวลาใช้งานโดยปกติในสำนักงานและห้องเรียน การประเมินค่าขั้นต่ำของความส่องสว่างที่อย่างน้อย 300 ลักซ์เป็นเวลาอย่างน้อย 50% ของชั่วโมงที่ใช้งานในแต่ละปี ซึ่งแสดงเป็นค่า $sDA_{300/50\%}$ โดยทดสอบในสภาพท้องฟ้าตามฤดูกาล (CBDM) ตามเกณฑ์มาตรฐานของ LEED v.4.1 หมวด EQ Credit: Daylight ทางเลือกที่ 1 กำหนดให้คะแนนค่า $sDA_{300/50\%}$ ต้องมีค่าอย่างน้อย 40 55 หรือ 75% ของพื้นที่ ซึ่งจะได้คะแนน 1 2 และ 3 ตามลำดับ (USGBC, 2020) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับเกณฑ์มาตรฐานของ WELL ที่ต้องมีค่า $sDA_{300/50\%}$ อย่างน้อย 55% ของพื้นที่ (IWBI, 2019)

2.10 ค่า Annual Sunlight Exposure (ASE)

ค่า ASE คือค่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้งานที่ได้รับแสงธรรมชาติโดยตรงมากเกินไป โดยปกติในสำนักงานและห้องเรียน การประเมินใช้เกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่สูงกว่า 1000 ลักซ์เป็นเวลา 250 ชั่วโมงต่อปี โดยใช้สภาพท้องฟ้าตามภูมิอากาศ ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานของ LEED และ WELL กำหนดให้คะแนนค่า

$ASE_{1000,250}$ ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ที่ได้รับความส่องสว่างเกิน 1000 ลักซ์ เป็นเวลา 250 ชั่วโมงต่อปี (USGBC, 2020; IWBI, 2019)

2.11 ค่า Daylight Glare Probability (DGP)

ค่า DGP เป็นดัชนีที่ใช้วิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดแสงบาดตาที่ได้รับการยอมรับ โดยประเมินจากค่าความสว่างที่ตัดกัน (contrast) ตามแนวตั้งในระดับสายตาจากภาพมุมมองกล้องตาปลา (fisheye view) ภายในอาคาร ในสภาพท้องฟ้าโปร่งเป็นรายชั่วโมงในช่วงเวลาทำการตลอดทั้งปี โดยแสดงค่าตั้งแต่ 0–1 ซึ่งผลการรับรู้สึกแสงบาดตาสามารถประเมินได้จากช่วงระดับค่า DGP ดังนี้ 1) หากค่า DGP < 0.35 จะไม่รับรู้สึกแสงบาดตาได้ 2) DGP ในช่วง 0.35–0.40 จะสามารถรับรู้สึกแสงบาดตาได้ 3) DGP ในช่วง 0.35–0.40 จะรู้สึกรบกวน และ 4) DGP > 0.45 จะไม่สามารถทนแสงบาดตาได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 เครื่องมือวิจัย

ในการวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม VELUX Daylight Visualizer ซึ่งเป็นเครื่องมือจำลองแสงธรรมชาติ 3 มิติสำหรับการวิเคราะห์แสงในอาคาร ซึ่งเป็นการจำลองแสงธรรมชาติแบบคงที่ (Static) เพื่อคำนวณแสงที่เข้ามาในโถงอาคารทั้งแสงโดยตรง ส่องผ่านวัสดุ สะท้อนแสง และกระจายแสง ที่มีความแม่นยำตามมาตรฐาน CIE 171: 2006 (VELUX, 2014) โดยใช้ร่วมกับโปรแกรม LightStanza ที่สามารถจำลองแสงธรรมชาติต่อเนื่องตลอดทั้งปีแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งสามารถจำลองสภาพท้องฟ้าตามภูมิอากาศแสงทั้งปี (Climate-Based Daylight Modelling,

CBDM) โดยการรับรองจาก IESNA และสามารถวิเคราะห์แสงธรรมชาติตามมาตรฐาน LEED และ WELL (Lightstanza, 2020)

3.2 กรณีศึกษา

ในการวิจัยนี้ได้คัดเลือกกรณีศึกษาจากรูปแบบอาคารเรียนที่มีโถงกึ่งเปิดโล่งอยู่กลางอาคาร ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยในย่านชานเมืองด้านเหนือของกรุงเทพมหานคร และมีรูปแบบสถาปัตยกรรมพึ่งพาสิ่งแวดล้อมที่น่าสนใจ โดยแต่ละกรณีศึกษามีรูปแบบการเปิดรับแสงธรรมชาติที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบจำนวน 4 อาคาร ได้แก่

1) อาคารนำร่อง มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตเมืองทองธานี จ.นนทบุรี (Flagship Building, Silpakorn City Campus: FB SUCC)

2) อาคารคณะวิทยาการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี (Faculty of Learning Sciences and Education, Thammasat University: LSED TU)

3) อาคารดิจิตอล มัลติมีเดีย คอมเพล็กซ์ มหาวิทยาลัยรังสิต จ.ปทุมธานี (Digital Multimedia Complex, Rangsit University: DMC RSU)

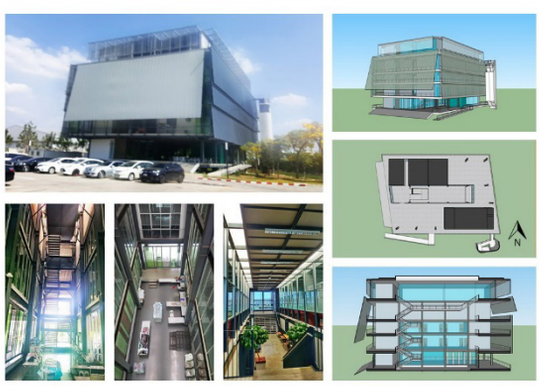
4) อาคารปฏิบัติการ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. (Faculty of Economics, Kasetsart University: ECON KU)

ลักษณะทางกายภาพของโถงกึ่งเปิดโล่งในกรณีศึกษาได้แสดงภาพถ่ายและภาพจำลองดังในรูปที่ 2

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์รูปแบบอาคารและวิเคราะห์แสงที่ส่องผ่านสู่โถงอาคาร เพื่อศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างสัดส่วนและช่องเปิดรับแสงกับปริมาณและคุณภาพแสงภายในอาคารกรณีศึกษา โดยมี 2 แนวทาง ได้แก่

3.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ เป็นการศึกษารูปแบบอาคาร และเปรียบเทียบข้อมูลของแต่ละกรณีศึกษา ได้แก่ การเปิดรับแสงธรรมชาติ มิติและสัดส่วนของช่องโถง สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงหลังคาและผนัง และลักษณะพื้นผิวภายในอาคาร



กรณีศึกษาที่ 1) FB SUCC

กรณีศึกษาที่ 2) LSED TU

กรณีศึกษาที่ 3) DMC RSU

กรณีศึกษาที่ 4) ECON KU

รูปที่ 2 ภาพถ่าย ภาพทัศนียภาพ แปลน และรูปตัด อาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 โครงการ (Images of the 4 case study buildings)

3.3.2 การวิเคราะห์โดยการจำลองแสงธรรมชาติ เป็นการทดสอบแสงธรรมชาติ โดยการจำลองในคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าดัชนีที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความสว่าง (Luminance) ค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor) ค่า UDI (Useful Daylight Illuminance) ค่า sDA (Spatial Daylight Anatomy) ค่า ASE (Annual Sunlight Exposure) และค่า DGP (Daylight Glare Probability)

การจำลองแสงธรรมชาติภายในอาคารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีตัวแปรดังต่อไปนี้

1) ตัวแปรต้น เป็นข้อมูลหลักที่นำเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ แบบจำลองอาคารกรณีศึกษา 3 มิติ จำนวน 4 โครงการ โดยระบุทิศทางตัวอาคาร ตำแหน่งอาคาร ขอบเขตพื้นที่ทดสอบ และรายละเอียดวัสดุให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

2) ตัวแปรควบคุม เป็นการตั้งค่ากลางในการจำลองโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการทดสอบกรณีศึกษาทั้ง 4 ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยมีการกำหนดค่าตัวแปรควบคุมดังในตารางที่ 1

3) ตัวแปรตาม เป็นผลจากการจำลองแสงธรรมชาติในแต่ละกรณีศึกษา โดยแสดงผลของค่าดัชนีชี้วัด ได้แก่ ค่าความสว่าง (L) ค่าความส่องสว่าง (E) ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (DF) ค่า UDI ค่า sDA ค่า ASE และค่า DGP ตามลำดับ

เมื่อได้วิเคราะห์รูปแบบทางกายภาพ และผลของแสงธรรมชาติแล้ว จึงนำผลมาอภิปรายร่วมกันตามหลักวิชาการ โดยการเปรียบเทียบสภาวะของแสงธรรมชาติภายในโถงของแต่ละกรณีศึกษา และค้นหาความสัมพันธ์ของรูปแบบอาคาร ที่มีผลต่อคุณภาพแสงภายในโถง แล้วสรุปข้อสังเกตที่ค้นพบและเสนอแนะเป็นแนวทางในการออกแบบโถงกึ่งเปิดโล่งเพื่อความยั่งยืน

4. ผลการวิจัย

4.1 รูปแบบอาคารและการเปิดรับแสงธรรมชาติ

ทัศนียภาพจำลองของอาคารกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 3) แสดงให้เห็นถึงภาพลักษณ์โดยรวมของการเปิดรับแสงธรรมชาติในโถงกรณีศึกษา โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับการสำรวจในสถานที่จริง (ดังในรูปที่ 2) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของรูปแบบอาคาร การใช้สอย และการรับแสงธรรมชาติภายในโถงกรณีศึกษาได้ดังนี้

1) กรณีศึกษาที่ 1 มีสัดส่วนที่ว่างภายในโถงที่ผอมสูง โดยมีบันไดหลักเพื่อการสัญจรแนวตั้ง ผนังกระจกในชั้นบนเปิดให้เห็นกิจกรรมการเรียนการสอนในห้องเรียนในชั้นต่าง ๆ ได้ และห้องเรียนก็สามารถได้รับแสงจากโถงบ้างเช่นกัน ส่วนในระดับพื้นโถงมีกิจกรรมไม่มากนัก ได้แก่ บริเวณรับถ่ายเอกสารและที่นั่งพักรอเพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีพื้นที่ค่อนข้างแคบและมีแสงสว่างค่อนข้างน้อย แสงจากหลังคาถูกปิดกั้นบางส่วนจากทางเดินกลางในชั้นที่ 5 ในขณะที่โถงชั้น 1 เปิดรับแสงจากด้านข้างเกือบรอบทิศทาง ผ่านผนังกระจกตัดแสงสลับกับตะแกรงเหล็กโดยรอบ และเปิดรับแสงธรรมชาติส่วนใหญ่จากด้านแคบผ่านเปลือกอาคารโปร่งแสงโพลีคาร์บอเนตในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

2) กรณีศึกษาที่ 2 เป็นโถงสูง 4 ชั้น มีการแบ่งโถงเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโถงด้านหน้ามีพื้นลานรูปวงกลมมีที่นั่งขั้นบันไดล้อมรอบใช้เป็นพื้นที่กิจกรรมอเนกประสงค์ โดยมีแนวระเบียงในชั้นที่ 2 และ 3 เป็นรูปวงกลมเช่นเดียวกัน โถงส่วนหน้ามีช่องเปิดกว้างด้านหน้าสู่ทิศใต้และทิศตะวันออก และช่องเปิดหลังคาโปร่งแสงทรงสี่เหลี่ยมเต็มพื้นที ส่วนโถงด้านในเป็นโถงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วนผอมสูง ที่มีพื้นที่นั่งขั้นบันไดจากระดับพื้นโถงขึ้นสู่ชั้นที่ 2 โดยใช้เป็นบันไดทางขึ้น ที่นั่งอ่านหนังสือ และเป็น

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าตัวแปรควบคุมในการจำลองแสงธรรมชาติ (Configuration of the control parameters in daylight simulation)

ค่าดัชนีชี้วัด	หน่วย	ตัวแปรควบคุม				
		ช่วงวันทดสอบ	เวลาที่ทดสอบ	จุดทดสอบ	สภาพท้องฟ้า	ช่วงของเกณฑ์
1) ค่า L	cd/m^2	21 กันยายน	12.00 น.	พื้นผิวอาคาร	โปร่ง	0 ถึง >500 cd/m2
2) ค่า E แนวตั้ง	lux	21 กันยายน	12.00 น.	พื้นผิวอาคาร	โปร่ง	0 ถึง >1000 lux
3) ค่า E แนวระนาบ	lux	1 ม.ค.–31 ธ.ค.	ทุกชั่วโมง 8–18 น.	ระนาบทำงาน	ตามภูมิอากาศ	108–5,400 lux
4) ค่า DF	%	21 กันยายน	12.00 น.	ระนาบทำงาน	เมฆปกคลุม	ต่ำสุด–เฉลี่ย–สูงสุด
5) ค่า UDI	%	1 ม.ค.–31 ธ.ค.	ทุกชั่วโมง 8–18 น.	ระนาบทำงาน	ตามภูมิอากาศ	300–3000 lux
6) ค่า sDA	%	1 ม.ค.–31 ธ.ค.	ทุกชั่วโมง 8–18 น.	ระนาบทำงาน	ตามภูมิอากาศ	300 lux / 50%
7) ค่า ASE	%	1 ม.ค.–31 ธ.ค.	ทุกชั่วโมง 8–18 น.	ระนาบทำงาน	ตามภูมิอากาศ	>1000 lux, 250 hr
8) ค่า DGP	%	1 ม.ค.–31 ธ.ค.	ทุกชั่วโมง 8–18 น.	มุมมองในโถง	โปร่ง	<35, 40, 45, >45%

หมายเหตุ: ระนาบทำงาน (Working Plane) คือพื้นที่ทดสอบที่ระดับสูงจากพื้นโถง 0.76 ม. ขนาดตาราง 0.60x0.60 ม.

กรณีศึกษา: 1) FB SUCC 2) Lsed TU 3) DMC RSU 4) ECON KU

รูปที่ 3 ภาพจำลองโถงกรณีศึกษาแสดงลักษณะการเปิดรับแสงธรรมชาติ (ภาพบน: ทัศนียภาพภายใน และภาพล่าง: รูปตัดตามยาว)
(Models of the atrium case studies showing varieties of daylight exposure)

อัฒจันทร์สำหรับจัดกิจกรรม มีการเปิดรับแสงจากหลังคาตลอดแนว และช่องเปิดผนังด้านตะวันตกบ้างเล็กน้อย ทั้ง 2 ส่วนของโถงมีต้นไม้ขนาดเล็กและไม้พุ่มกระจายอยู่ทุกชั้นทั่วทั้งบริเวณ

3) กรณีศึกษาที่ 3 เป็นโถงรูปเสี้ยว 1 ใน 3 ของวงกลม ถูกโอบล้อมด้วยห้องเรียนทั้ง 4 ชั้นที่มีขนาดกว้างที่สุดในทุกกรณีศึกษา พื้นที่กลางโถงใช้เป็นพื้นที่อเนกประสงค์ที่หลากหลาย เช่น เป็นโถงรับรองหน้าห้องประชุม จัดนิทรรศการ กิจกรรมนอกห้องเรียน และกิจกรรมนันทนาการ เป็นต้น โดยมีบริเวณนั่งอ่านหนังสือในมุมต่าง ๆ ของโถง โถงมีช่องเปิดผนังที่บริเวณปลายแหลมทั้ง 2 ด้าน และช่องแสงเป็นแถบเส้นในบางส่วนของหลังคา ทั้งนี้การเปิดรับแสงของโถงที่ค่อนข้างมากยังส่งผลต่อความสว่างไปยังสำนักงานและห้องเรียนในชั้นต่าง ๆ ที่มีหน้าต่างติดกับโถงอีกด้วย

4) กรณีศึกษาที่ 4 เป็นโถงรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูง 6 ชั้น มีสัดส่วนสูงตกแต่งด้วยวัสดุไม้และสีปูนเปลือย มีจุดเด่นที่พื้นที่สวนหย่อมขนาดใหญ่กลางอาคารและมีพรรณไม้ห้อยตัวจากกระถางตามแนวระเบียงโดยรอบ ซึ่งใช้เป็นพื้นที่นั่งพักผ่อนและบริเวณอ่านหนังสือ โถงมีบันไดและทางเชื่อมส่งเสริมการเข้าถึงจากลานอเนกประสงค์สู่ห้องเรียนด้านบนได้สะดวก โถงเปิดรับแสงจากช่องแสงหลังคากลางอาคารเป็นหลัก โดยมีช่องเปิดผนังกระจายอยู่ใน 3 ด้านของอาคาร

4.2 มิติของโถงกรณีศึกษา

จากการจำแนกข้อมูลด้านขนาดสัดส่วนของโถงกรณีศึกษา สามารถคำนวณค่าดัชนีตัวชี้วัดที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสัดส่วนโถง ค่าดัชนีช่องโถง (Well Index) ค่าสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงผนังต่อพื้นที่ผนังโถง และค่าสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงหลังคาต่อพื้นที่โถง โดยมีผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแต่ละกรณีศึกษา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบขนาดสัดส่วนของโถงและพื้นที่ช่องแสง (Comparison of the dimensions and daylight openings)

กรณีศึกษา	สัดส่วน กว้าง:ยาว:สูง W:L:H (m) ~ (A:5:B) (สัดส่วนโดยประมาณ)	พื้นที่โถง WxL (m^2)	ปริมาตร WxLxH (m^3)	ดัชนีช่องโถง Well Index, WI= H(L+W)/2(L)(W)	สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงผนัง (%)	สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงหลังคา (%)
1) FB SUCC	5.50:26:21.40 ~ (1:5:4)	143	3,060	2.36	25	28
2) LSED TU	11.50:32.50:17 ~ (2:5:3)	374	6,354	1.00	24	75
3) DMC RSU	17:39:15 ~ (2:5:2)	663	9,945	0.63	25	33
4) ECON KU	18:40:24 ~ (2:5:3)	720	17,280	0.90	24	35

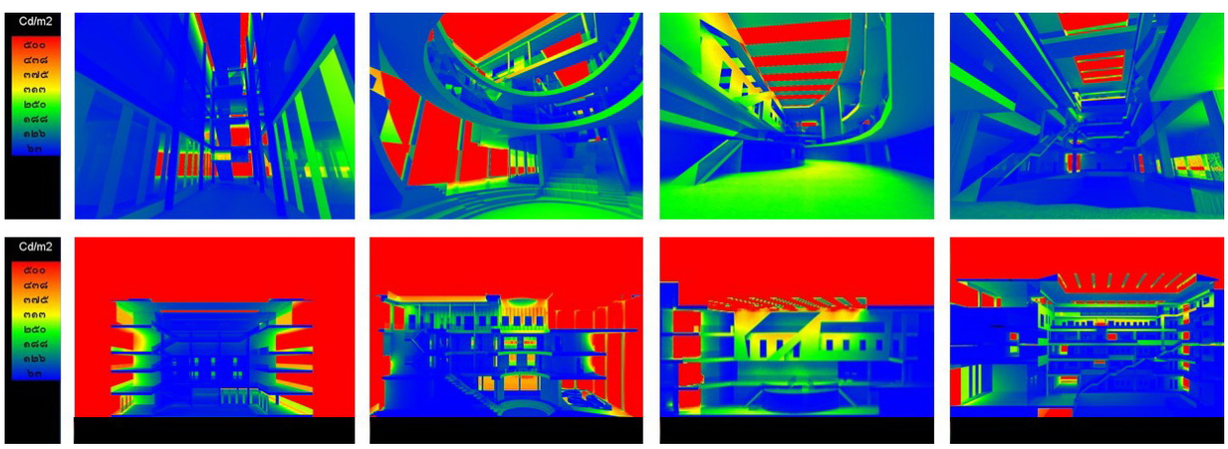
หมายเหตุ: สีโทนเทาแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษา: เทาอ่อน=น้อย เทากลาง=ปานกลาง และเทาเข้ม=มาก

4.3 ผลทดสอบค่าความสว่าง

ผลการทดสอบค่าความสว่าง (Luminance, L) บนพื้นผิวและช่องเปิดอาคารในแต่ละกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 4) แสดงให้เห็นความสว่างที่เกิดขึ้นโดยรอบโถงโดยปริมาณแสงขึ้นเกิดจากแสงโดยตรง แสงส่องผ่านวัสดุและการกระจายแสง และแสงสะท้อนภายใน ผลการทดสอบแสดงค่าความสว่างมีค่าแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

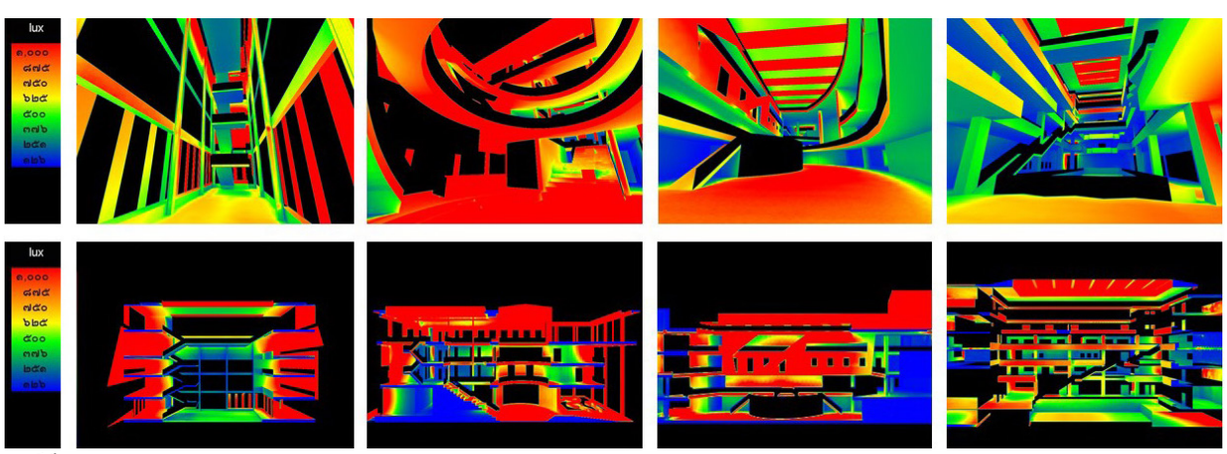
1) แสงตรงจากภายนอก จากช่องเปิดโล่งรับแสงโดยตรงจากภายนอกซึ่งมีค่าความสว่างสูงกว่า 500 cd/m^2 จากช่องเปิดผนังในปริมาณไม่มากนัก โดยพบว่าแสงตรงเข้าสู่โถงมีสัดส่วนน้อยกว่า 10% ของพื้นที่ผิวโดยรอบ โดยในกรณีศึกษาที่ 2 มีแสงตรงจากภายนอกมากที่สุดจากช่องเปิดผนังด้านข้าง

2) แสงส่องผ่านวัสดุและกระจายแสง จากช่องแสงหลังคาและช่องแสงผนังซึ่งมีค่าสูงที่สุดกว่า 500 cd/m^2 มีสัดส่วนประมาณ 10-30% ของพื้นที่ผิวโดยรอบโถง โดยในกรณีศึกษาที่ 2 มีสัดส่วนพื้นที่แสงส่องผ่านวัสดุมากที่สุด กรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นช่องแสงกระจกลามิเนตซึ่งแสงส่องผ่านได้ประมาณ 70% แต่มีพื้นที่น้อยที่สุด ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 3 และ 4 ใช้วัสดุหลังคาไฟเบอร์กลาสโปร่งแสงที่ให้แสงส่องผ่านได้ประมาณ 50% และช่วยกระจายแสงได้ดี แต่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงหลังคาแตกต่างกันดังในตารางที่ 2 ในขณะที่กรณีศึกษามีแสงส่องผ่านจากช่องแสงผนังมากกว่าจากช่องแสงหลังคา



กรณีศึกษา: 1) FB SUCC 2) Lsed TU 3) DMC RSU 4) ECON KU

รูปที่ 4 ผลทดสอบค่าความสว่างภายในโถงกรณีศึกษา แบบแยกสีระดับค่า (ภาพบน: ทัศนียภาพภายใน และภาพล่าง: รูปตัดตามยาว)
(Luminance test results inside the atrium case studies)



กรณีศึกษา: 1) FB SUCC 2) Lsed TU 3) DMC RSU 4) ECON KU

รูปที่ 5 ผลทดสอบค่าความส่องสว่างในโถงกรณีศึกษา แบบแยกสีระดับค่า (ภาพบน: ทัศนียภาพภายใน และภาพล่าง: รูปตัดตามยาว)
(Illuminance test results inside the atrium case studies)

3) แสงสะท้อนภายใน มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 100–500 cd/m^2 โดยส่วนใหญ่สะท้อนจากผิวพื้นเป็นหลัก รองลงมาเป็นส่วนของผนัง และน้อยที่สุดเป็นฝ้าเพดาน โดยหากมีพื้นทางเดินริมโถงในชั้นบน จะส่งผลทำให้เกิดเงาแก่ผิวผนังและฝ้าโดยรอบ ทำให้ค่าความสว่างต่ำกว่า 100 cd/m^2 จากการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสง พบว่าในกรณีศึกษาที่ 3 มีค่าความสว่างจากการสะท้อนของผนังภายในโถงมากที่สุด จากการมีผนังทึบปริมาณมากรับแสงจากช่องแสงหลังคา โดยมีผิววัสดุสีโทนขาวครีมและเหลือง เป็นผลให้มีค่าการสะท้อนแสงมาก ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 และ 4 มีผิววัสดุค่อนข้างเข้มด้วยสีคอนกรีตและสีน้ำตาลเข้ม และมีต้นไม้ภายใน จึงดูดกลืนแสงในระดับปานกลาง ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 1 มีผิววัสดุสีดำ สีคอนกรีต และกระจกใสซึ่งมีค่าการสะท้อนแสงโดยรวมน้อยที่สุด

4.4 ผลทดสอบค่าความส่องสว่าง

4.4.1 ผลทดสอบค่าความสว่างบนพื้นผิวอาคาร

การทดสอบได้แสดงผลของค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) บนพื้นผิวภายในแต่ละกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 5) แสดงให้เห็นถึงระดับค่าความส่องสว่างของพื้นผิวภายที่แตกต่างกัน โดยสรุปได้ดังนี้ กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างโดยรวมบนพื้นผิวต่ำที่สุด (<500 ลักซ์) กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างบนพื้นผิวโดยรวมสูงมากที่สุด (>1000 ลักซ์) และกรณีศึกษาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (500–1000 ลักซ์)

ผลการเปรียบเทียบการรับรู้ความส่องสว่างบนพื้นผิวต่าง ๆ ภายในโถงอาคาร (ดังในตารางที่ 3) ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับความส่องสว่างบนพื้นผิวอาคารว่า กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าความส่องสว่างต่ำถึงปานกลางในเกือบทุกพื้นผิว ยกเว้นผิวพื้นที่อยู่ในระดับปานกลาง กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 มีความส่องสว่างสูงในเกือบทุกมิติ ยกเว้นผนังด้านในของระเบียงในกรณีศึกษาที่ 2 และฝ้าเพดานในกรณีศึกษาที่ 3 ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 4 มีค่าความส่องสว่างน้อยปานกลางในเกือบทุกพื้นผิว โดยพื้นที่สวนหย่อมช่วยลดค่าเฉลี่ยความสว่างที่ผิวพื้นได้มากพอสมควร ทั้งนี้ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวภายในอาคารมีผลอย่างมากต่อค่าเฉลี่ยความส่องสว่างโดยรวมภายในโถงกรณีศึกษา

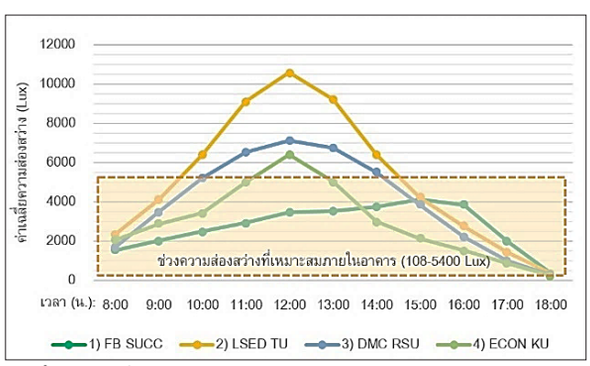
4.4.2 ผลทดสอบค่าความส่องสว่างบนระนาบทำงาน

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างบนระนาบทำงาน (Working Plane) ในแต่ละชั่วโมงของวันในรอบปีของกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 6) แสดงให้เห็นว่าค่าความส่องสว่างในโถงกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างสูงที่สุด โดยมีค่าสูงที่สุดในเวลา 12.00 น. ที่ 10,594 ลักซ์ ซึ่งสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมกับภายในอาคาร (108–5,400 ลักซ์) เป็นอย่างมาก ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 391–4,137 ลักซ์ โดยมีจำนวนชั่วโมงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดทั้งวัน ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 มีจำนวนชั่วโมงที่เหมาะสมเพียงครึ่งหนึ่งของชั่วโมงทำการต่อวัน

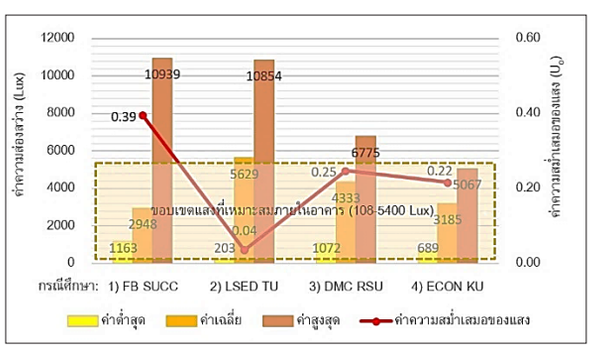
ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบระดับความส่องสว่างบนผิวภายในโถงกรณีศึกษา (Comparison of Illuminance on the atrium surfaces)

กรณีศึกษา	ระดับค่าเฉลี่ยความส่องสว่างบนพื้นผิว				ค่าเฉลี่ยรวมความส่องสว่างทุกพื้นผิว
	พื้น	ผนัง	เพดานระหว่างชั้น	หลังคา	
1) FB SUCC	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ
2) LSED TU	สูง	ปานกลาง	สูง	สูง	สูง
3) DMC RSU	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	สูง
4) ECON KU	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง

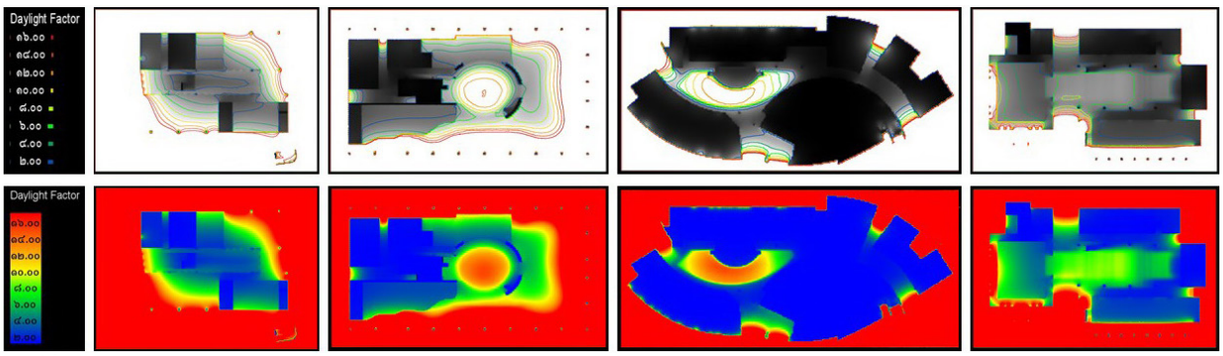
หมายเหตุ: ระดับความส่องสว่าง (ลักซ์) ได้แก่ ต่ำ (<500) ปานกลาง (500–1000) และสูง (>1000)



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในรอบวันของกรณีศึกษา (Average daylight illuminance in the atriums)



รูปที่ 7 ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของแสงภายในโถงกรณีศึกษา (Daylight illuminance and uniformity in the atriums)



กรณีศึกษา: 1) FB SUCC 2) Lsed TU 3) DMC RSU 4) ECON KU

รูปที่ 8 ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (DF) ในแปลนอาคารกรณีศึกษา (Daylight factor in the plans of the case studies)

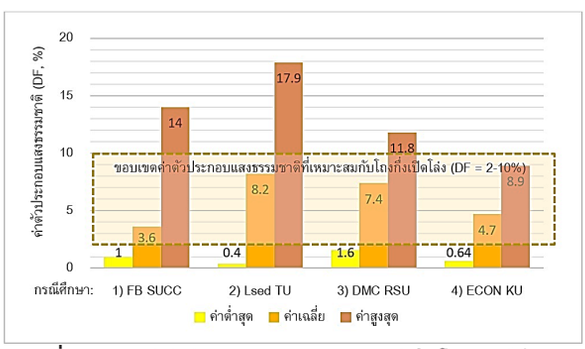
4.4.3 ผลทดสอบค่าความสม่ำเสมอของแสง

ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างต่ำสุด–เฉลี่ย–สูงสุดและค่าความสม่ำเสมอของแสงตลอดทั้งปี ในแต่ละกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 7) แสดงให้เห็นว่า กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างต่ำที่สุดแต่มีค่าความสม่ำเสมอของแสงสูงที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับค่าเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุด (ค่า U_o ควร >0.40) แม้ว่าจะมีค่าสูงสุดที่สูงที่สุดก็ตาม ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างสูงกว่าขอบเขตแสงธรรมชาติที่เหมาะสมภายในอาคารเล็กน้อย โดยค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดและมีค่าต่ำสุดที่น้อยที่สุดในทุกกรณีศึกษาด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าความสม่ำเสมอของแสงต่ำที่สุดด้วย

4.5 ผลทดสอบค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor)

ผลทดสอบค่าเฉลี่ยตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor, DF) (ดังในรูปที่ 8) แสดงให้เห็นถึงเส้นสีระดับค่าและพื้นที่สีระดับค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (DF) ในแต่ละกรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่ 1 มีค่า DF สูงสุดอยู่บริเวณพื้นที่ด้านข้างซึ่งเป็นช่องเปิดผนังของโถง และลดลงสู่พื้นที่ตรงกลางช่องโถง แสดงให้เห็นถึงการรับแสงธรรมชาติจากช่องเปิดผนังมากกว่าช่องแสงหลังคา ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 มีพื้นที่ DF อยู่ในระดับสูงและมีจุดสูงสุดที่จุดกึ่งกลางช่องโถงของช่องแสงหลังคา และลดลงเป็นลำดับสู่พื้นที่ใต้พื้นระเบียงทางเดินในชั้นบน แสดงให้เห็นถึงการรับแสงธรรมชาติจากช่องแสงหลังคามากกว่าช่องเปิดผนัง ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 4 มีระดับแสงกระจายปานกลางอยู่ช่วงกึ่งกลางช่องโถง โดยมีแสงจากด้านข้างในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของช่องเปิดผนัง

ผลการทดสอบค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดของตัวประกอบแสงธรรมชาติ ในช่วงเวลาของวันในรอบปีในแต่ละกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 9) แสดงให้เห็นว่า กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ DF=3.6% ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 มีค่าสูงที่สุดที่ DF=8.2% โดยกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยปานกลางที่ DF = 7.4% และ 4.7% ตามลำดับ โดยในกรณีศึกษาที่ 2 มีผลต่างค่า DF สูงสุดกับต่ำสุด มากที่สุด ซึ่งความแตกต่างของแสงที่มากอาจส่งผลให้เกิดแสงบาดตา ทั้งนี้ทุกกรณีศึกษามีค่าเฉลี่ยตัวประกอบแสงธรรมชาติอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับโถงกึ่งเปิดโล่ง (DF = 2–10%)



รูปที่ 9 แผนภูมิค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ ในโถงกรณีศึกษา (Chart of daylight factor in the atrium case studies)

4.6 ผลทดสอบค่า UDI ค่า sDA และค่า ASE

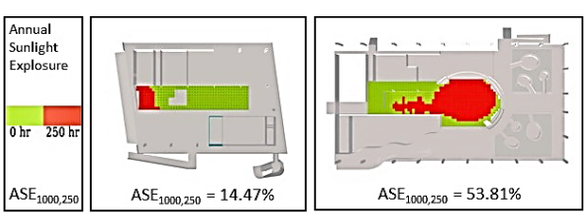
ผลการทดสอบค่า UDI ซึ่งแบ่งเป็นค่า UDI-a ค่า UDI-s และค่า UDI-e และผลการทดสอบค่า sDA ควบคู่กับค่า ASE (ดังในตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่า กรณีศึกษาที่ 1 และ 4 ผ่านเกณฑ์การใช้สอยบนระนาบทำงานในดัชนีค่า UDI และทุกกรณีศึกษามีค่า sDA สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก (ค่า sDA ควรอย่างน้อย 55% และ 75%) ในขณะที่ทุกกรณีศึกษามีค่า ASE เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดมาก (ค่า ASE ไม่ควรเกิน 10 %) และค่าเฉลี่ยในทุกกรณีศึกษามีค่าเฉลี่ย UDI-a ที่ 52.68 % ค่าเฉลี่ย sDA ที่ 99.89% ค่า ASE ที่ 40.43% โดยบอกเป็นนัยว่า ค่าดัชนี UDI sDA และ ASE อาจเป็นตัวชี้วัดที่มีค่าช่วงเกณฑ์แสงสว่างที่ต่ำเกินไปสำหรับการประเมินพื้นที่กึ่งเปิดโล่ง ซึ่งมีค่าความส่องสว่างสูงกว่าพื้นภายในห้องเรียนปกติมาก

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบดัชนีแสงธรรมชาติ ภายในโถงกรณีศึกษา (Test results of the daylight indexes inside the atriums)

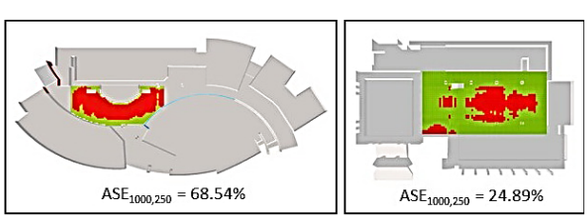
กรณีศึกษา	ค่าดัชนีแสงธรรมชาติ จากการทดสอบตลอดทั้งปีในช่วงเวลา 8:00–18:00 น.					
	ค่า UDI-a 300/3000 (%)	ค่า UDI-s <300 (%)	ค่า UDI-e >3000 (%)	ค่าsDA 300/50% (%)	ค่า ASE 1000,250 (%)	ค่าเฉลี่ย ความส่องสว่าง (Lux)
1) FB SUCC	67.73	4.19	28.09	99.21	14.47	2948
2) Lsed TU	37.36	5.45	57.19	97.34	53.81	5629
3) DMC RSU	45.57	3.88	50.55	99.69	68.54	4333
4) ECON KU	60.06	5.24	34.69	99.31	24.89	3185
ค่าเฉลี่ย	52.68	4.69	42.63	99.89	40.43	4024

หมายเหตุ: สีเทาแสดงผลของค่าดัชนีที่ผ่านค่ามาตรฐานคุณภาพที่กำหนด

ผลการทดสอบค่า ASE บนระนาบทำงานในแปลนโถงกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 10) แสดงให้เห็นถึงพื้นที่โถงที่มีค่า $ASE_{1000,250}$ เกินกว่า 1000 ลักซ์ ในเวลาอย่างน้อย 250 ชั่วโมงของปี ซึ่งแสดงเป็นพื้นที่สีแดง โดยในกรณีที่ 3 มีสัดส่วนพื้นที่มากที่สุดถึง 68.54% รองลงมาคือกรณีศึกษาที่ 2 และ 4 ที่ 53.81% และ 24.89% ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าน้อยที่สุดที่ 14.47% การประเมินค่า ASE ดังกล่าวทำให้สามารถทราบถึงบริเวณที่มีค่าความส่องสว่างสูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดแสงบาดตาได้ ดังนั้นการทราบถึงบริเวณพื้นที่สีแดงดังกล่าว จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการจัดพื้นที่ใช้สอยภายในโถงอเนกประสงค์ให้เหมาะสม



กรณีศึกษา: 1) FB SUCC 2) LSED TU



3) DMC RSU 4) ECON KU

รูปที่ 10 ผลการทดสอบค่า $ASE_{1000,250}$ ในแปลนของแต่ละกรณีศึกษา (Test results of ASE1000,250 inside the atriums)

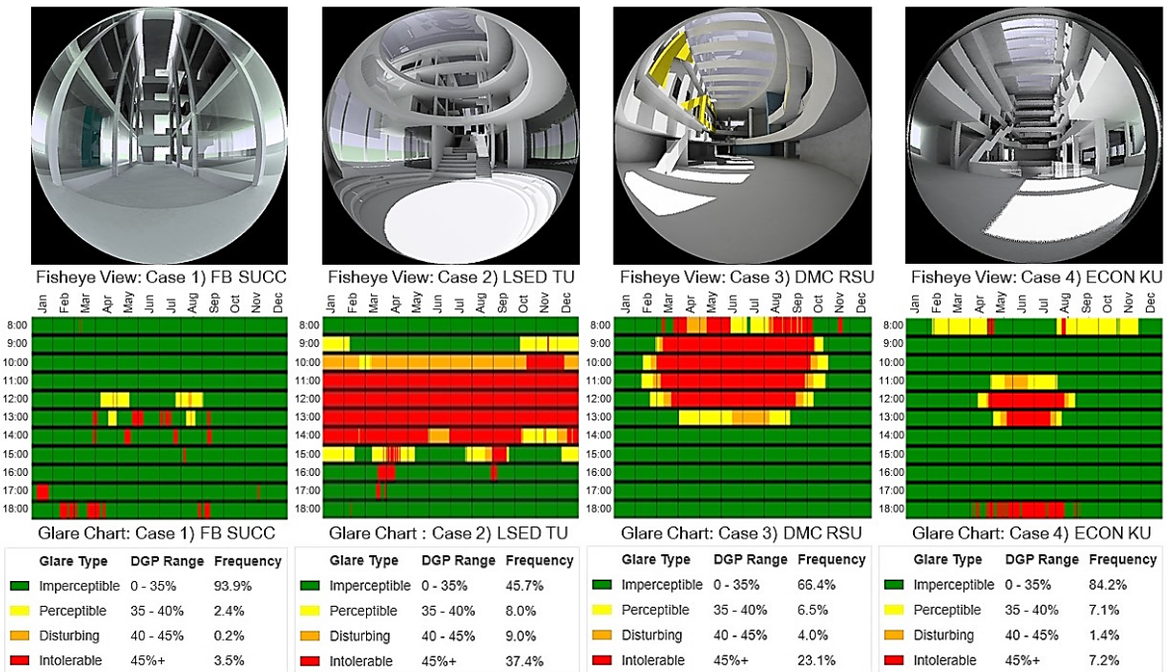
4.7 ผลทดสอบค่า DGP

ผลของค่า DGP จากการทดสอบโดยมุมมองภายในโถงกึ่งเปิดโล่งของกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 11) แสดงให้เห็นถึงการรับรู้สภาวะแสงธรรมชาติจากการมองเห็นด้วยสายตาในมุมกว้าง โดยสามารถทดสอบช่วงเวลาที่อาจทำให้เกิดการรับรู้แสงบาดตา (glare) ในระดับต่าง ๆ โดยผลชี้ว่า กรณีศึกษาที่ 1 มีค่า DGP ที่อยู่ในไม่สามารถรับรู้ถึงแสงบาดตาได้ (ช่วง DGP = 0–35%) มากที่สุดด้วยสัดส่วนที่ 93.9% ของจำนวนชั่วโมงทำการในรอบปี ซึ่งนับว่าอาคารมีคุณภาพในการป้องกันแสงบาดตาที่ดีมาก รองลงมาคือกรณีศึกษาที่ 4 และ 3 ที่ค่า DGP อยู่ในระดับ 84.2% และ 66.4% ตามลำดับ ซึ่งมีช่วงเวลาส่วนใหญ่ที่ไม่สามารถรับรู้ถึงแสงบาดตาได้ ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 2 มีความเสี่ยงต่อการเกิดแสงบาดตามากที่สุด โดยมีค่า DGP ในระดับที่ไม่สามารถรับรู้แสงบาดตาได้ที่ 45.7% ระดับที่รับรู้ได้ 5.0% ระดับที่รบกวนที่ 9.0% และระดับที่ไม่สามารถทนได้ที่ 37.4% โดยมีช่วงเวลาที่มีค่าแสงบาดตาในระดับที่ไม่สามารถทนได้จะอยู่ในช่วงเวลา 11.00–13.00 น. ในทุกวันของปี ดังนั้นค่า DGP จึงช่วยบ่งบอกค่ามิติของเวลาในรอบปีที่มีการรับรู้ถึงสภาวะแสงบาดตาภายในโถงอาคารได้ดี ซึ่งเป็นผลการเปิดรับแสงและแสงสะท้อนแสงภายในโถงที่มีปริมาณมากในขณะที่มีมุมมืดภายในโถง จึงทำให้เกิดความเปรียบต่างของแสงสูง (high contrast)

5. การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์รูปแบบการเปิดรับแสงธรรมชาติ สัดส่วนของโถง และผลของการประเมินแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นในกรณีศึกษา พบว่า

1) สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงหลังคาส่งผลต่อความส่องสว่างภายในโถงมากที่สุด เมื่อโถงที่มีค่าดัชนีช่องโถง (Well Index) ใกล้เคียงกันและหลังคาโปร่งแสงมีค่าแสงส่องผ่าน (Light Transmission) เท่ากัน แต่มีช่องเปิดหลังคาในปริมาณต่างกัน (ดังในกรณีศึกษาที่ 2 และ 4) โถงที่มีปริมาณสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดหลังคามากกว่าจะมีปริมาณแสงมากกว่า



กรณีศึกษา: 1) FB SUCC 2) Lsed TU 3) DMC RSU 4) ECON KU

รูปที่ 11 ผลการทดสอบโอกาสเกิดแสงบาดตา (DGP) ในแต่ละกรณีศึกษา (ภาพบน: มุมมองตาปลา กลาง: ผังแสงบาดตา ล่าง: ระดับแสงบาดตาและค่าร้อยละของเวลาในรอบปี) (Test results of daylight glare probability from the fish-eye views inside the atriums)

2) ช่องรับแสงจากผนังในระดับพื้นโถงช่วยควบคุมความสม่ำเสมอของแสงภายในโถง ในขณะที่ทุกกรณีศึกษามีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดผนังในทุกชั้นใกล้เคียงกัน การมีตำแหน่งช่องเปิดผนังรับแสงในระดับพื้นโถงมากหรือมีช่องเปิดผนังรับแสงในทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตกมาก (ดังในกรณีศึกษาที่ 1 และ 4) ได้ส่งผลต่อความสว่างในพื้นที่โดยรอบของโถงให้สว่างมากขึ้นในช่วงเช้าและช่วงเย็น ซึ่งช่วยให้โถงมีค่าความส่องสว่างแตกต่างน้อยลงในรอบวัน (ดังผลในรูปที่ 6)

3) ค่าดัชนีช่องโถงมีผลโดยตรงต่อความส่องสว่างภายในโถง เมื่อโถงมีสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงหลังคา (Skylight Area Ratio) ใกล้เคียงกันและหลังคาโปร่งแสงมีค่าแสงส่องผ่าน (Light Transmission) เท่ากัน (กรณีศึกษาที่ 3 และ 4) แต่มีสัดส่วนช่องโถง (Well Index) ต่างกัน โถงที่มีค่าสัดส่วนช่องโถงที่ต่ำกว่า (กรณีศึกษาที่ 3) จะมีค่าความส่องสว่างภายในโถงมากกว่าโถงที่มีค่าสัดส่วนช่องโถงที่สูงกว่า (กรณีศึกษาที่ 4) ดังนั้นปริมาณแสงภายในโถงได้รับอิทธิพลจากช่องแสงหลังคามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนช่องโถง

4) การบังเงาของระเบียงภายในโถงส่งผลต่อระดับการรับแสงธรรมชาติบนระนาบทำงานในโถง ดังตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 2 3 และ 4 (ในรูปที่ 8) เมื่อแสงส่องจากช่องแสงด้านบนของโถงเป็นหลัก บริเวณที่มีระเบียงทางเดินภายในซ้อนทับจะมีค่า DF ลดลงเมื่อเทียบกับในช่วงกึ่งกลางโถง ตรงกันข้ามกับ กรณีศึกษาที่ 1 ไม่มีระเบียงทางเดินภายในและมีช่องเปิดด้านข้างโดยรอบ ทำให้พื้นที่ขอบรอบโถงมีแสงค่า DF สูงกว่าพื้นที่กลางโถง และตัวอย่างจากกรณีศึกษาที่ 3 (ในรูปที่ 5 กรณีศึกษาที่ 3 รูปบน) แสดงผลของแสงสะท้อนผนัง 2 ด้านไม่เท่ากัน โดยรูปร่างผนังตรงมีค่าความส่องสว่างมากกว่าผนังด้านที่มีระเบียงทางเดินซ้อนทับ

5) พื้นที่อับแสงในพื้นโถงส่งผลให้ค่าความสม่ำเสมอของแสงลดลง (ดังในกรณีศึกษาที่ 2) ในส่วนโถงลิฟต์และทางเดินข้างอัฒจันทร์เกิดเป็นซอกพื้นที่อับแสงเนื่องจากเกิดการบังเงาของอัฒจันทร์ ระเบียงในชั้นบน ผนังที่ไม่มีช่องเปิด และเสาอาคาร (ดังในรูปที่ 5 กรณีศึกษาที่ 2 ภาพบน พื้นที่สีน้ำเงิน) ซึ่งส่งผลให้โถงมีค่าความสม่ำเสมอของแสงน้อยมาก (ดังในรูปที่ 7)

6) ระดับการสะท้อนของผิววัสดุภายในอาคารส่งผลต่อปริมาณแสงภายใน จากข้อมูลการจำลองโดยคอมพิวเตอร์ได้แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุกระจกใสและสีดำมีค่าน้อยที่สุด (ในกรณีศึกษาที่ 1) ผนังสีเข้มมีค่าปานกลาง (ในกรณีศึกษาที่ 4) และผนังสีอ่อนมีค่าการสะท้อนแสงมากที่สุด (ในกรณีศึกษาที่ 3) ซึ่งผันแปรตามผลของการประเมินแสงธรรมชาติบนพื้นผิวอาคาร (ดังผลในรูปที่ 4 และ 5 และในตารางที่ 3)

7) การเปิดรับแสงธรรมชาติสู่โถงที่เกินกว่า 3000 ลักซ์ ส่งผลต่อระดับการรับรู้สึกแสงบาดตา ผลการประเมินค่า UDI-$a_{300\text{-}3000}$ ค่า UDI-$e_{>3000}$ และค่า DGP (ดังในตารางที่ 4) ชี้ว่า กรณีศึกษาที่ 1 มีค่าดีที่สุดในทุกค่าดัชนี รองลงมาคือกรณีที่ 4 3 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งทุกดัชนีมีผลไปในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ค่า sDA$_{300/50\%}$ ไม่สามารถแยกแยะระดับคุณภาพแสงธรรมชาติในกรณีศึกษาได้ชัดเจนนัก จากผลที่แสดงค่า sDA สูงกว่า 97% ในทุกกรณีศึกษา อันอาจเป็นผลจากการตั้งขั้นระดับการวัด (Threshold) ที่ต่ำเกินไปสำหรับพื้นที่กึ่งเปิดโล่งที่มีค่าความส่องสว่างสูงกว่าปกติ

8) การประเมินแสงธรรมชาติในแนวตั้งช่วยให้เห็นภาพที่สมจริงต่อการมองมากขึ้น นอกเหนือจากการรับรู้แสงจากระนาบทำงาน (ดังในรูปที่ 4 5 และ 11) ซึ่งเป็นมุมมองในขณะที่ทำกิจกรรมอันหลากหลายภายในโถงกึ่งเปิดโล่ง นอกจากนี้ การศึกษาผลของแสงธรรมชาติในแนวระนาบในทุกชั่วโมงทำการของปี (ดังในรูปที่ 10) นับว่าเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวางแผนการใช้พื้นที่ให้เหมาะสมภายในโถงอเนกประสงค์

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ได้ทดสอบแสงธรรมชาติภายในโถงกึ่งเปิดโล่งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการวิเคราะห์ทั้งในแนวระนาบและแนวตั้ง (Horizontal and Vertical Plane) การประเมินผลของแสงธรรมชาติทั้งแบบคงที่ (Static) และแบบพลวัต (Dynamic) และทดสอบในสภาวะแสงที่เปลี่ยนไปในทุกชั่วโมงในรอบปี (Annual Daylighting Metrics) และสภาพท้องฟ้าตามภูมิอากาศ (Climate-Based Daylight Modelling, CBDM) โดยผู้วิจัยได้สังเกตความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบอาคารกับผลการทดสอบแสงธรรมชาติภายในโถงกึ่งเปิดโล่ง จากการวิเคราะห์กรณีศึกษาจำนวน 4 กรณีศึกษา พบว่า ลักษณะช่องเปิดรับแสงธรรมชาติ (Daylight Openings) รูปร่างสัดส่วนช่องโถง (Well Index) และลักษณะองค์ประกอบภายในโถงกึ่งเปิดโล่ง (Internal Element) มีผลต่อปริมาณและระดับคุณภาพแสงธรรมชาติภายในโถงกึ่งเปิดโล่งเป็นอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกันกับทฤษฎีและงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Zhao, Kang & Jin (2015) (ดังรายละเอียดในข้อ 2.2)

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการเปิดรับแสงธรรมชาติในโถงกึ่งเปิดโล่งภายในอาคารสถานศึกษา ดังต่อไปนี้

1) ควรคำนึงถึงการลดผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคารที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงธรรมชาติโดยควรลดแสงที่ส่องผ่านโดยตรงจากภายนอก ควรเลือกใช้วัสดุหลังคาโปร่งแสงที่มีการส่งผ่านความร้อนต่ำ และควรลดการเปิดรับแสงสว่างที่เกินกว่าการใช้สอยในช่วงเวลา 10.00–14.00 น. ซึ่งมีผลจากรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด (ดังในรูปที่ 6)

2) ควรคำนึงถึงปริมาณการเปิดช่องแสงที่สัมพันธ์กับสัดส่วนช่องโถง (Well Index) เพื่อให้ได้ปริมาณและการกระจายแสงธรรมชาติที่เหมาะสม โดยหากอาคารมีสัดส่วนช่องโถงที่มากขึ้น ควรเพิ่มพื้นที่ช่องแสงหลังคามากขึ้นตามไปด้วย และควรคำนึงถึงช่องเปิดผนังในระดับพื้นโถงด้วย เพื่อช่วยลดความแตกต่างของปริมาณแสงในระดับบนและระดับล่าง เพื่อลดโอกาสการเกิดแสงบาดตา (glare) และเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของแสง (uniformity of light)

3) ควรคำนึงถึงการให้แสงธรรมชาติที่ไม่ทำให้เกิดแสงบาดตา เช่น การหลีกเลี่ยงการเปิดรับแสงที่มากเกินไป ดังนั้นจึงควรหารูปแบบช่องแสงหลังคารับแสงจากท้องฟ้าที่ไม่ใช่แสงตรง หรือการรับแสงทางอ้อม (Indirect Daylighting) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเปรียบต่างของแสงสูง (high contrast)

4) ควรคำนึงถึงลักษณะองค์ประกอบที่มีผลต่อคุณภาพแสงภายใน เช่น รูปร่างระเบียงและลักษณะผิวภายในของอาคาร โดยควรมีการกระจายแสงให้ทั่วถึงโดยไม่เกิดมุมอับของแสง ซึ่งการบังแสงและการสะท้อนแสงของผิวอาคารโดยรอบมีผลต่อความสม่ำเสมอของแสง โดยมีการวิจัยปริมาณแสงภายในโถงที่ผ่านมา ได้ทดสอบแสงใต้ระเบียงกว้าง 1.5–6 เมตร พบว่าแสงสว่างถูกทอนให้ลดลงได้ถึง 70–90% โดยระเบียงทางเดินควรมีความกว้างไม่เกิน 3 เมตร (Kim & Kim, 2010)

5) ควรจัดพื้นที่ใช้สอยภายในให้เหมาะกับปริมาณแสงในแต่ละพื้นที่ จากการวิเคราะห์แสงในแต่ละพื้นที่ดังตัวอย่างที่ได้ประเมินแสงธรรมชาติในแปลนกรณีศึกษา (ดังในรูปที่ 8 และ 10) ทำให้ทราบปริมาณแสงในแต่ละพื้นที่ โดยควรจัดวางการใช้สอยที่ต้องการแสงแตกต่างกันให้เหมาะสมกับปริมาณแสงน้อยหรือมาก เช่น ทางสัญจร หลักและรอง พื้นที่อ่านหนังสือ พื้นที่กิจกรรม พื้นที่จัดแสดง หรือพื้นที่สวน เป็นต้น โดยอาจคำนึงถึงลักษณะความรู้สึกและอารมณ์ (mood and tone) ที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของรูปแบบอาคารกับคุณภาพแสงธรรมชาติในโถงกรณีศึกษา เพื่อเป็นข้อคำนึงถึงในการออกแบบโถงกึ่งเปิดโล่ง โดยการวิจัยได้ค้นพบสมมติฐานหลายประเด็นที่สอดคล้องกับทฤษฎีในอดีตในหลายประเด็น ซึ่งต้องทำการพิสูจน์ให้ชัดเจนต่อไป เนื่องจากกรณีศึกษามีตัวแปรค่อนข้างมาก จึงควรศึกษาในเชิงลึกให้มากขึ้นเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่สังเกตพบ โดยได้มีแนวทางในการทำวิจัยในอนาคต ได้แก่ การศึกษาสัดส่วนของโถงกึ่งเปิดโล่งที่เหมาะสมกับการรับแสงธรรมชาติ การลดความแตกต่างของแสงในระหว่างวันภายในโถงกึ่งเปิดโล่ง หรือการเปิดรับแสงเพื่อลดสภาวะแสงบาดตาในโถงกึ่งเปิดโล่ง เป็นต้น ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการวิจัยครั้งนี้จะเกิดประโยชน์ต่อนักวิชาการ สถาปนิก เจ้าของอาคาร ผู้ใช้อาคาร นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป โดยอาจนำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์ด้านศึกษาการเปิดรับแสงธรรมชาติ การประเมินแสงธรรมชาติ และการพัฒนารูปแบบอาคารเรียนเพื่อความยั่งยืนในอนาคตต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยรังสิต และได้รับการสนับสนุนจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต สถาบันต้นสังกัด ผู้วิจัยจึงขอแสดงความขอบคุณท่านผู้มีอุปการคุณเป็นอย่างสูง รวมทั้งขอขอบคุณทีมงานผู้ช่วยวิจัย และองค์กรสถานศึกษาที่ผู้วิจัยได้นำรูปแบบอาคารเรียนที่มีคุณค่ามาใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

References

Ahmad, M., & Rasdi, M. (2000). *Design Principles of Atrium Building for the Tropics*. UTM: Malaysia.

Binggeli, C., & Greichen, P. (2011). *Interior Graphic Standards* (2nd Ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.

Illuminating Engineering Association of Thailand, TIEA. (2018). *Guidelines for Indoor Lighting Design*. Retrieved May 1, 2019 from http://www.tieathai.org/images/intro_1479229183/final.Guidelines_ BW.pdf

International WELL Building Institute, IWBI. (2019). *Daylight Modeling*. Retrieve May 4, 2020 from https://standard.wellcertified.com/light/daylight-modeling

Karlsen, L., Heiselberg, P., & Bryn, I. (2014). Implementation of daylight as part of the integrated design of Commercial Buildings. Retrieved May 1, 2020 from https://gbce.es/archivos/ckfinderfiles/WSB14/Conclusions_2.pdf

Kim, G., & Kim, J. (2010). *Luminous impact of balcony floor at atrium spaces with different well geometries*. Retrieved May 9, 2020 from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.014

LightStanza. (2020). *Understand the Complexities of Daylight Analysis.* Retrieved January 22, 2020 from http://lightstanza.com/daylight-reference-guide/

Mardaljevic, J., & Brembilla, E. (2017). *Climate-Based Daylight Modelling*. Retrieved May 1, 2020 from http://climate-based-daylighting.com/doku.php?id=academic:climate-based-daylight-modelling

Ministry of Energy. (2011). *Thailand 20-Year Energy Efficiency Development Plan (2011-2030)*. Retrieved January 22, 2020 from http://www.eppo.go.th/images/POLICY/ENG/EEDP_Eng.pdf.

Navvab, M. (2011). Plant Lighting Aspects for Plant Growth in Controlled Environments. *Conference: CIE 27th Session, Sun city, South Africa, 2*, 246-256.

Net zero energy buildings, NZEB. (2018). *Net zero energy buildings: Daylighting*. Retrieved January 15, 2020 from http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/daylighting/

Parans. (2017). *Daylight – Increase the Productivity by 18%*. Retrieve January 16, 2020 from https://www.parans.com/daylight-increase-the-productivity-by-18/

Phillips, D. (2004). *Daylighting: Natural Light in Architecture*. Boston: Elsevier.

Tasit, P. (2017). *Energy Management in Academic Building Case Study of Social Science Building at Thammasat University Rangsit Campus*. Thesis for Master Degree of Science Program in Energy Technology and Management. Bangkok: Chulalongkorn University.

Tregenza, P., & Wilson, M. (2013). *Daylighting: Architecture and Lighting Design*. New York: Routledge.

U.S. Green Building Council, USGBC. (2020). *Leed v4 BD+C guilde: Building Design and Construction*. Retrieved May 4, 2020 from https://www.usgbc.org/leed/v41#0

VELUX. (2014). *Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book*. Retrieved January 22, 2020 from http://www.velux.com/~/media/com/articles/pdf/deic_basic_book_ver%203-0.pdf

Wikiwand. (2020). *Daylighting*. Retrieved May 9, 2020 from https://www.wikiwand.com/en/Daylighting.

Zhao, W., Kang, J., & Jin, H. (2015). Architectural Factors Influenced on Physical Environment in Atrium. *Renewable Energy in the Service of Mankind, 1*, World Renewable Energy Congress (WREC).