ศักยภาพการลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงธรรมชาติตามกฎกระทรวง
Potential of Energy Saving from Daylight Usage under Ministerial Regulation

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ
Awiroot Srisutapan

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

บทคัดย่อ

อาคารที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติและตามเงื่อนไขของกฎกระทรวงฯ สามารถที่จะดำเนินการยกเว้นการนับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารได้ อย่างไรก็ตาม วิธีการและประโยชน์ที่ได้ยังไม่ชัดเจนนักทำให้ส่งผลต่อการวางกรอบแนวคิดในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติ โดยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง ใช้โปรแกรม DIALux ในการจำลองแสงธรรมชาติของอาคารสำนักงาน ผลที่ได้พบว่า 1) การออกแบบตามเงื่อนไขดังกล่าวไม่สามารถทำให้เกิดความส่องสว่างที่เพียงพอ (300 ลักซ์) ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างได้ จากผลดังกล่าว จึงยังต้องใช้แสงประดิษฐ์เพื่อรักษาความส่องสว่างให้อยู่ในระดับเพียงพอ และไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารลงได้ 2) ทิศทางของหน้าต่าง/อาคาร มีผลต่อความส่องสว่างและระยะทางที่แสงสามารถส่องเข้ามาถึงได้ 3) สามารถออกแบบให้มีพื้นที่กระจกหน้าต่างน้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบได้ หากได้รับการออกแบบด้วยวิธีการที่เหมาะสม 4) นอกจากการใช้หน้าต่างแล้ว การใช้ช่องแสงด้านบนก็เป็นการนำและกระจายแสงภายในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน 5) คุณภาพของแสงธรรมชาติเป็นปัจจัยที่ควรนำเข้ามาพิจารณาด้วยเพื่อความสบายทางการมอง ผลการวิจัยอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยเสนอให้เห็นถึงแนวทางในการปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาเงื่อนไข/เกณฑ์เพื่อให้เกิดผลในการอนุรักษ์พลังงานที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด

Abstract

To enhance the use of daylight, lighting power density (LPD) load in building can be deducted by designing for energy conservation according to ministerial regulation's conditions. However, the methods and benefits are not clearly defined. These problems also affect architectural design framework. This is an experimental research aims to explore the potential of daylighting by using DIALux software to simulate daylight level in office building. The results indicate that 1) within the room depth of 1.5 times window head height; most of the results from 4 types of studied windows cannot provide adequate illuminance (300 lux) on workplane. Artificial lights are still needed to be turned on to maintain minimum illuminance level. Therefore, the energy saving purpose is unachieved. 2) The orientation of windows affects on both illuminance and

distance of useful daylight. 3) With proper design integration, it is possible to reduce glazing area. 4) Skylight is an effective mean to introduce and distribute daylight into building. 5) For visual comfort issue, daylight quality should be concerned. Finally, the results of this research will propose guidelines for developing design criteria and evaluation method in the future. This will reflect the actual energy consumption and saving.

คำสำคัญ (Keywords)

สถาปัตยกรรม (Architecture)
แสงธรรมชาติ (Daylighting)
การอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation)
กฎกระทรวง (Ministerial Regulation)

ความเป็นมา/วัตถุประสงค์

จากประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 (Royal Thai Government Gazette, 2009, No. 126(122ง), pp. 21-58) ที่ได้กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารและให้คำนวณตามหลักเกณฑ์ของประกาศกระทรวงพลังงานฯ ดังสมการที่ (1)

$$LPD = \frac{(LW + BW - NW)}{A} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$

เมื่อ

LPD = กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

LW = ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

BW = ผลรวมของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

NW = ผลรวมของค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ที่ถูกทดแทนด้วยแสงธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

A = พื้นที่ใช้สอยทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

สำหรับตัวแปร NW นั้น หากมีการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติแล้วสามารถที่จะยกเว้นการนับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารได้โดยเสมือนว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณนั้น โดยเงื่อนไขของการใช้แสงธรรมชาตินั้นได้มีการกำหนดในกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 (Royal Thai Government Gazette, 2009, No. 126(12ก), pp. 9-15) ดังนี้

– มีสวิตช์ที่สามารถเปิด–ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร

– อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างในพื้นที่นั้น

– กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคาร ต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective Shading Coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (Light to Solar Gain: LSG) มากกว่า 1

– พื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคาร ต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ

จากเงื่อนไขที่กำหนดข้างต้น มีประเด็นสำคัญ 3 ประเด็น ที่ส่งผลต่อการวางกรอบแนวคิดในการออกแบบของสถาปนิกและภาพรวมของการใช้พลังงานของอาคาร คือ

– การยกเว้นการนับอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่าง ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นระยะอ้างอิงทางทฤษฎีที่อาจถือได้ว่าเป็นระยะขั้นต่ำที่สามารถใช้งานแสงธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ อย่างไรก็ดี จากงานวิจัยหลายชิ้นและพัฒนาการของเทคนิคการออกแบบและการเลือกใช้กระจกที่มีคุณสมบัติดีมากขึ้น ทำให้สามารถช่วยนำแสงธรรมชาติให้เข้ามาได้ลึกและมากขึ้นกว่าเดิม (Rerkasem & Chindavanig, 2011; Wankanapon, 2011; Cofaigh, et al., 1999; Kwok & Grondzik, 2007; Reinhart, 2005) อีกทั้งยังมีตัวแปรอื่น ๆ ที่ช่วยส่งเสริมการใช้แสงธรรมชาติในอาคารด้วย เช่น ตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางของอาคาร ซึ่งยังไม่ได้มีการนำมาพิจารณาในการประเมินนี้

– เงื่อนไขที่กำหนดให้ต้องมีพื้นที่กระจกหน้าต่างมากกว่าพื้นที่ผนังทึบ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกจะมีค่ามากกว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ในการออกแบบจึงพยายามควบคุมหรือลดพื้นที่หน้าต่าง หรือทำให้สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio: WWR) มีค่าต่ำที่สุด เพื่อที่จะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งหากสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมีค่าสูง แม้ว่าจะทำให้มีแสงธรรมชาติเข้ามาได้มาก แต่จะส่งผลต่อภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานของอาคาร และอาจทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ แม้ว่าจะมีการเลือกใช้กระจกที่มีคุณสมบัติที่ดีมากขึ้น เช่น ค่า SHGC ต่ำมาก เพื่อให้สามารถเปิดพื้นที่หน้าต่างได้มากขึ้นและสามารถผ่านการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารได้ แต่อาจไม่คุ้มค่าหากพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ (Sangum & Srisutapan, 2014, pp. 161-166) ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยหลายชิ้นที่ได้มีผู้ศึกษามาแล้วพบว่า การออกแบบสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร และควรมีค่าอยู่ในช่วง 30

- 50% (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2011; Chindapol, et al., 2008, pp. 299-305; Chou & Chan, 1996, pp. 887-901)

– สำหรับอาคารที่มีการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดรูปแบบอื่น ๆ นอกจากหน้าต่างทางด้านข้างของอาคาร เช่น การใช้ช่องแสงด้านบน (skylight) ยังไม่ได้มีการกำหนดให้สามารถนำมายกเว้นการนับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติจากการออกแบบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดสำหรับประเทศไทย เพื่อให้เกิดความชัดเจนของผลลัพธ์ การปรับปรุงและเสนอทางเลือกในการออกแบบที่เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของอาคาร

กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้โปรแกรม DIALux ในการจำลองแสงธรรมชาติของอาคารประเภทสำนักงาน โดยจะใช้ส่วนหนึ่งของอาคารอ้างอิงมีความลึก 12.20 เมตร (Ko, Elnimeiri & Clark, 2008, pp. 953-976) กว้าง 20 เมตร มีหน้าต่างด้านเดียวเพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่กำหนด ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3 เมตร การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด มีรายละเอียดดังนี้

<u>การทดลองชุดที่ 1</u>

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างจากหน้าต่างกับระดับของแสงธรรมชาติที่เกิดประโยชน์ในการใช้งาน และความสัมพันธ์ของการออกแบบสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด โดยกำหนดรูปแบบหน้าต่างที่ใช้ในการจำลอง 4 รูปแบบ (รูปที่ 1 และ 2) คือ

– <u>รูปแบบที่ 1</u> หน้าต่างสูง 1.25 เมตร สูงจากพื้น 0.80 เมตร คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 41.6%

– <u>รูปแบบที่ 2</u> หน้าต่างสูง 2.05 เมตรจากพื้น คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 68%

– <u>รูปแบบที่ 3</u> หน้าต่างสูง 3.00 เมตรจากพื้น คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 100%

– <u>รูปแบบที่ 4</u> หน้าต่างสูง 3.00 เมตรจากพื้น คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 98% และมีหิ้งสะท้อนแสงความกว้าง 1 เมตร หนา 0.05 เมตร ติดตั้งที่ความสูง 2.05 เมตร ยาวตลอดแนวความกว้างของห้อง มีค่าการสะท้อนแสง 0.80

โดยมีตัวแปรควบคุมคือ

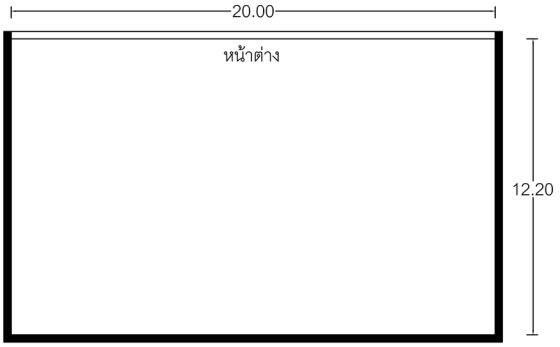
– หน้าต่างของทุกรูปแบบจะหันไปยังทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

– วัน–เวลาที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา คือ วันที่ 21 มีนาคม 22 มิถุนายน และ 22 ธันวาคม เวลา 8:00 น. 12:00 น. และ 16:00 น.

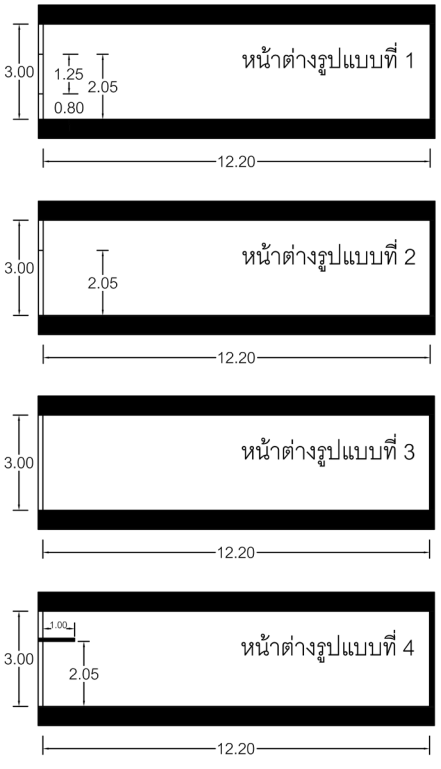
– ค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน ผนัง และพื้น คือ 0.80 0.50 และ 0.20 ตามลำดับ

– ค่าการส่งผ่านแสงในช่วงที่มองเห็น (Visible light transmittance: VT) ของกระจก มีค่า 0.60

– สภาพท้องฟ้าเป็นแบบผสม (Mix sky) ซึ่งมีทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย



รูปที่ 1 ผังพื้นของอาคารอ้างอิงในการจำลอง



รูปที่ 2 รูปตัดรายละเอียดอาคารอ้างอิงในการจำลอง

การทดลองชุดที่ 2

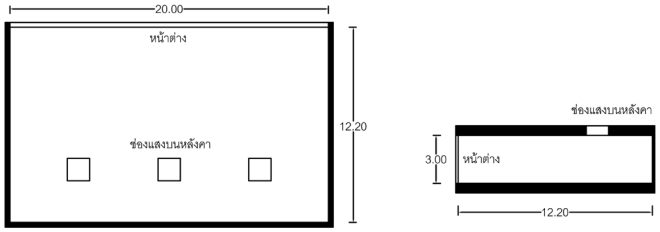
เพื่อศึกษาศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติในการลดใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารผ่านช่องแสงด้านบน มีรายละเอียดดังนี้

– กำหนดให้ห้องมีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.00 เมตร ช่องแสงเป็นช่องแสงแนวราบติดตั้งที่ระดับ 3 เมตร สำหรับการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด (Skylight to roof ratio: SSR) ได้มีการศึกษาและเสนอแนะว่าไม่ควรออกแบบให้มีพื้นที่เกิน 5% เพื่อให้เกิดความเหมาะสมทั้งทางด้านความร้อนและแสง (Guo & Nutter, 2009; ASHRAE, 2010) เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้งาน ในการจำลองจึงได้กำหนดออกเป็น 3 ชุดย่อย คือ ที่สัดส่วน 2.5% มีขนาดช่องแสง 1.40 * 1.40 เมตร จำนวน 3 ช่อง สัดส่วน 2.5% มีขนาดช่องแสง 1.00 * 1.00 เมตร จำนวน 6 ช่อง และที่สัดส่วน 5% จะมีขนาดช่องแสง 1.40 * 1.40 เมตร จำนวน 6 ช่อง เน้นการวางตำแหน่งช่องแสงด้านบนบริเวณส่วนลึกของห้องซึ่งเป็นบริเวณที่แสงธรรมชาติเข้ามาได้น้อย (รูปที่ 3)

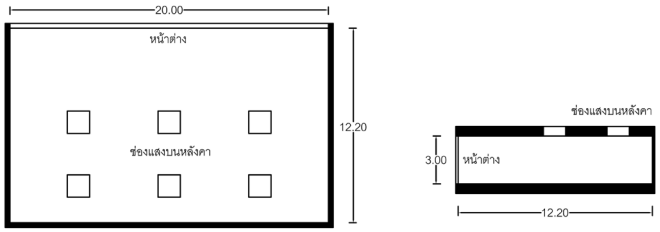
– สภาพท้องฟ้าที่ใช้ในการจำลองจะใช้ท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก เป็นตัวแทนของสภาพท้องฟ้าที่มีแสงน้อย และท้องฟ้าแบบผสม วันที่ 21 มีนาคม เวลา 12:00 น. เป็นตัวแทนของสภาพท้องฟ้าที่มีแสงมาก

– ส่วนตัวแปรอื่น ๆ จะใช้ร่วมกับการทดลองชุดที่ 1

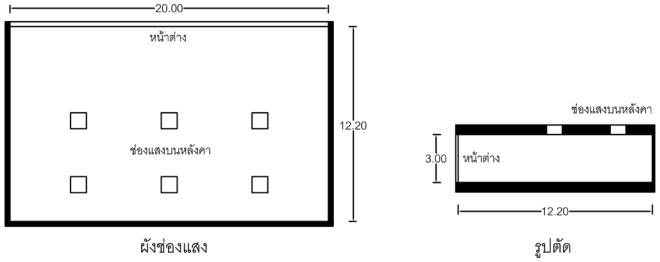
การทดลองทุกชุดจะวัดค่าความส่องสว่าง (Illuminance: E) ที่ระดับความสูงใช้งาน 0.75 เมตร โดยวัดทุก ๆ ระยะ 0.50 เมตร ตามแนวลึกกึ่งกลางของห้อง และโดยกำหนดให้มีค่าความส่องสว่างต่ำสุดที่จะพิจารณาคือ 300 ลักซ์ (Royal Thai Government Gazette, 1994, No. 111(23d), pp. 38-49.) ทั้งนี้ ในงานวิจัยไม่ครอบคลุมถึงเรื่องการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร



สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด 2.5 % ช่องแสงขนาด 1.40 * 1.40 ม. จำนวน 3 ช่อง



สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด 2.5 % ช่องแสงขนาด 1.00 * 1.00 ม. จำนวน 6 ช่อง



สัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด 5 % ช่องแสงขนาด 1.40 * 1.40 ม. จำนวน 6 ช่อง

รูปที่ 3 การกำหนดรูปแบบการเปิดช่องแสงด้านบนแบบต่าง ๆ

ผลการทดลอง

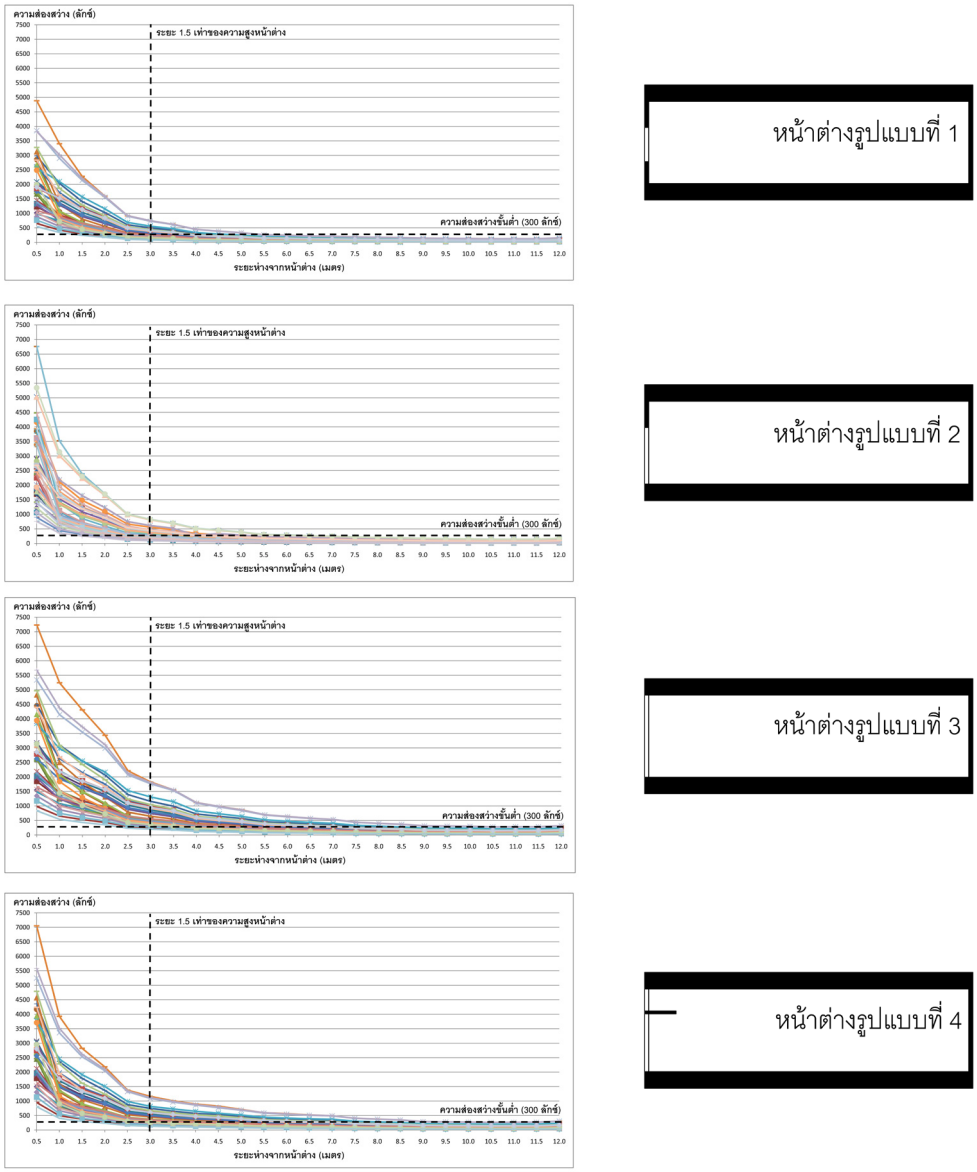
1. การทดลองชุดที่ 1

1.1 การพิจารณาความส่องสว่าง

ผลการจำลองความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจากรูปแบบช่องเปิดทั้ง 4 รูปแบบ (รูปที่ 4) พบว่า ลักษณะร่วมโดยทั่วไปคือที่บริเวณริมหน้าต่างจะมีค่าความส่องสว่างค่อนข้างสูง และจะค่อย ๆ ลดระดับลงจนมีค่าต่ำที่สุดที่บริเวณส่วนลึกสุดของห้อง โดยหน้าต่างที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบมาก เช่น รูปแบบที่ 3 และ 4 ก็ย่อมจะทำให้มีความส่องสว่างบริเวณ ริมหน้าต่างสูงกว่าและแสงสามารถส่องเข้ามาได้ลึกกว่าแบบที่ 1 และ 2 ส่วนหน้าต่างรูปแบบที่ 1 ที่มีความสูงหน้าต่างเท่ากับหน้าต่างรูปแบบที่ 2 แต่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบน้อยกว่า ก็จะทำให้มีความส่องสว่างบริเวณริมหน้าต่างต่ำกว่าแบบที่ 2 ด้วย

เมื่อเปรียบเทียบหน้าต่างรูปแบบที่ 3 และ 4 แม้ว่าจะมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบเท่ากัน แต่แบบที่ 4 มีการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ซึ่งจะส่งผลให้ความส่องสว่างบริเวณริมหน้าต่างลดลงกว่าแบบที่ 3

เมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปแบบตาราง (ตารางที่ 1) และพิจารณาความส่องสว่างและความลึกของแสง ในทุกทิศทางตลอดทั้งปี พบว่า พื้นที่ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างทั้ง 4 รูปแบบ ที่มีความส่องสว่างสูงกว่าความส่องสว่างขั้นต่ำที่กำหนด (300 ลักซ์) และสามารถใช้ในแสงธรรมชาติทดแทนได้ทั้งหมดในพื้นที่มีประมาณ 45% (แบ่งเป็นหน้าต่างแบบที่ 1 10.4% หน้าต่างแบบที่ 2 10.4% หน้าต่างแบบที่ 3 13.89% และหน้าต่างแบบที่ 4 10.4%)



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าความส่องสว่างของหน้าต่างทั้ง 4 รูปแบบ รวมทุกช่วงเวลา เดือน และทิศทาง

ตารางที่ 1 แสดงความสามารถในการใช้แสงธรรมชาติทดแทนแสงประดิษฐ์ของหน้าต่างรูปแบบต่าง ๆ โดยพิจารณาจากความส่องสว่างขั้นต่ำ 300 ลักซ์ และระยะทางที่แสงเข้ามาได้ในแต่ละช่วงเวลา เดือน และทิศทาง

รูปแบบ	ทิศ	เดือน	เวลา	ระยะห่างจากหน้าต่าง (เมตร)																							
				0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
1	N	Mar	8.00	1229	823	580	426	257	208	176	128	111	96	76	72	64	60	55	49	47	42	40	38	35	36	35	45
			12.00	1669	682	427	299	177	147	125	93	82	71	58	55	48	45	41	36	35	32	30	28	27	27	26	37
			16.00	2086	1360	941	692	410	338	282	203	176	152	120	113	102	96	85	78	74	67	64	60	57	57	56	78
		Jun	8.00	2089	1467	1033	758	454	367	310	225	194	169	133	126	112	106	96	87	4	74	70	66	63	63	62	78
			12.00	2854	1053	626	424	250	209	178	133	118	102	82	79	69	66	59	53	51	46	43	41	39	38	38	54
			16.00	2976	2033	1405	1028	605	499	415	298	259	223	175	165	148	140	124	114	109	98	93	88	82	83	82	102
		Dec	8.00	651	423	296	217	131	106	89	66	57	49	39	37	33	31	28	25	24	22	20	19	18	18	18	25
			12.00	1680	929	625	451	267	219	183	135	117	101	80	76	67	63	58	51	49	44	41	39	37	37	37	52
			16.00	1017	664	462	341	202	167	139	101	88	75	59	56	50	47	42	38	37	34	31	30	28	28	27	39
	S	Mar	8.00	1337	941	663	492	293	242	202	146	126	109	86	81	73	69	61	56	53	48	46	43	41	41	41	51
			12.00	3123	1319	804	550	321	266	225	167	147	127	101	96	84	80	73	65	63	56	53	51	48	47	47	67
			16.00	2607	1716	1194	870	519	419	354	257	222	193	153	144	128	121	109	99	95	85	80	76	72	72	71	87
		Jun	8.00	1438	951	662	489	290	240	200	145	125	108	86	81	72	68	60	56	54	48	46	43	41	41	40	56
			12.00	1760	646	392	271	161	135	115	86	77	66	54	52	44	42	39	34	33	30	28	26	25	25	25	35
			16.00	2062	1283	888	648	387	313	264	194	167	145	115	109	96	91	83	73	70	63	60	57	54	54	53	75
		Dec	8.00	983	744	534	400	240	199	166	120	104	90	70	66	60	56	50	46	44	40	38	36	33	34	33	42
			12.00	4882	3399	2277	1595	914	740	624	450	388	334	260	248	220	208	188	172	166	147	139	132	125	126	124	156
			16.00	1761	1323	946	699	420	339	286	208	179	156	123	117	103	98	89	80	77	68	66	62	58	59	58	73
	E	Mar	8.00	1862	1536	1159	869	526	430	360	263	225	195	152	142	128	122	109	103	98	87	73	78	73	76	75	94
			12.00	2671	1081	686	469	275	229	191	143	127	109	88	83	73	70	62	57	55	49	46	43	41	41	41	58
			16.00	1286	774	543	391	231	190	157	115	100	86	69	65	57	54	49	44	42	37	35	33	31	31	31	44
		Jun	8.00	2562	2096	1567	1158	687	559	469	340	291	252	196	183	165	156	141	133	126	111	105	99	94	97	95	120
			12.00	2490	910	562	378	223	187	158	118	105	91	74	69	61	58	53	48	46	41	38	36	35	34	34	48
			16.00	1392	839	588	423	250	205	170	124	108	93	74	69	61	58	52	48	46	40	38	35	34	34	33	47
		Dec	8.00	1100	876	657	492	300	247	206	150	130	112	89	83	75	71	63	60	57	50	48	45	43	44	43	54
			12.00	3273	1867	1286	916	536	441	365	266	233	201	160	151	133	127	112	104	99	89	82	77	74	73	73	102
			16.00	884	553	391	283	168	138	114	84	73	63	50	47	41	39	35	32	31	27	26	25	23	23	23	32
	W	Mar	8.00	766	474	333	240	142	116	96	70	61	52	42	39	34	33	29	27	25	22	21	20	19	19	19	26
			12.00	1959	802	515	353	209	174	146	109	97	83	67	63	55	53	48	43	41	37	34	32	31	31	31	43
			16.00	3850	2899	2137	1555	904	732	613	445	381	329	256	239	215	204	183	173	164	144	137	129	122	125	124	155
		Jun	8.00	1029	632	445	321	190	156	129	94	82	71	57	53	47	44	40	36	35	30	29	27	26	26	25	36
			12.00	1991	720	449	305	182	152	128	97	87	75	61	57	50	48	43	39	37	34	31	29	28	28	28	39
			16.00	3822	3021	2200	1592	920	748	622	451	388	335	262	246	220	210	186	176	167	147	140	132	124	127	126	157
		Dec	8.00	543	343	242	175	104	85	71	51	45	39	30	28	26	24	22	20	19	16	16	15	14	14	14	20
			12.00	2834	1635	1127	801	470	384	322	234	204	176	140	130	116	109	99	92	88	77	71	68	65	65	64	89
			16.00	1896	1521	1135	841	503	412	346	250	214	186	145	135	123	116	104	98	93	82	78	73	69	71	70	88
2	N	Mar	8.00	1694	859	611	455	282	232	197	146	129	112	90	86	75	72	64	58	56	50	47	45	42	41	41	50
			12.00	2253	711	454	324	200	169	145	109	98	85	69	66	57	55	50	44	43	38	35	34	32	31	30	43
			16.00	2915	1419	993	740	451	378	317	233	206	177	141	135	120	114	101	91	88	80	74	70	66	65	64	78
		Jun	8.00	2888	1527	1087	808	497	407	346	257	226	196	156	149	131	125	113	101	98	87	82	78	73	72	71	87
			12.00	3854	1099	667	463	284	241	207	158	143	123	100	96	83	80	72	64	62	56	51	49	47	45	45	61
			16.00	4163	2117	1479	1098	666	557	465	342	302	260	205	196	174	166	147	134	129	115	108	103	96	95	93	114
		Dec	8.00	897	442	313	232	144	118	101	75	66	57	46	44	38	37	33	30	29	26	24	23	22	21	21	28
			12.00	2302	967	659	485	297	247	209	155	138	118	95	91	80	77	69	61	59	53	49	46	44	43	42	59
			16.00	1419	693	487	364	223	186	157	116	102	88	70	67	59	56	50	45	44	40	37	35	33	33	32	43
	S	Mar	8.00	1879	982	698	524	322	269	226	166	147	126	101	96	85	81	72	66	63	56	53	51	47	47	46	57
			12.00	4255	1374	854	597	361	305	260	196	176	151	122	117	102	98	88	78	75	68	64	61	58	55	55	75
			16.00	3583	1786	1256	926	568	466	397	295	260	225	180	172	150	143	129	117	113	100	94	90	84	83	82	100
		Jun	8.00	2011	992	698	522	319	267	225	165	146	126	100	96	85	81	72	65	63	57	53	50	48	46	46	56
			12.00	2375	674	417	295	184	156	134	101	92	79	65	62	54	52	47	41	40	36	33	32	30	29	29	40
			16.00	2825	1339	938	693	427	351	298	222	195	169	136	130	114	109	98	88	85	76	70	67	63	62	61	83
		Dec	8.00	1385	776	562	426	263	220	184	136	120	103	82	78	70	66	59	54	52	46	44	42	39	39	38	46
			12.00	6759	3526	2392	1704	1007	826	700	519	457	390	307	295	260	248	223	202	196	174	164	157	146	145	143	174
			16.00	2450	1378	995	745	458	376	318	237	207	180	144	137	121	115	104	94	91	81	76	73	67	68	67	81
	E	Mar	8.00	2630	1601	1216	924	574	472	399	297	259	224	176	167	149	143	127	119	114	101	96	91	85	87	86	103
			12.00	3617	1128	728	510	310	262	221	168	152	130	106	101	88	85	75	68	65	59	54	51	49	48	47	64
			16.00	1777	807	572	419	256	213	178	132	118	101	81	77	67	65	57	52	50	44	41	39	37	36	36	49
		Jun	8.00	3614	2181	1643	1231	751	615	521	286	336	291	229	216	193	185	165	153	147	130	123	117	109	111	110	131
			12.00	3388	950	598	413	254	216	184	141	128	110	89	84	74	71	64	57	55	49	45	43	41	40	39	55
			16.00	1929	874	619	453	277	230	193	143	127	110	87	82	73	70	62	56	54	48	44	42	40	39	38	53
		Dec	8.00	1550	914	690	523	327	271	228	170	147	129	103	98	87	83	74	69	66	59	56	53	49	50	50	59
			12.00	4480	1946	1356	981	593	465	413	307	274	235	190	181	157	152	134	122	118	106	97	92	88	86	85	114
			16.00	1223	577	412	303	185	155	129	96	85	73	59	56	49	47	42	38	37	33	30	28	27	27	26	36
	W	Mar	8.00	1062	493	350	257	156	130	109	81	72	62	49	47	41	39	35	32	31	28	25	24	23	22	22	30
			12.00	2674	837	546	384	236	199	169	128	116	100	80	76	67	64	59	51	50	44	41	39	37	36	35	49
			16.00	5028	3013	2238	1651	989	807	682	506	442	381	299	283	253	242	214	200	192	170	160	152	142	144	142	172
		Jun	8.00	1422	659	468	344	210	175	146	108	97	83	66	62	55	53	47	42	40	36	34	32	31	30	29	39
			12.00	2688	752	477	334	207	176	149	114	104	89	73	70	60	58	52	46	45	40	37	35	34	32	32	45
			16.00	5343	3138	2302	1692	1005	823	693	513	451	388	305	289	258	248	219	203	195	174	163	155	145	145	144	175
		Dec	8.00	756	358	255	187	114	95	80	59	52	45	36	34	30	29	26	23	22	20	19	18	17	16	16	22
			12.00	3933	1705	1190	859	520	431	365	270	239	206	165	155	137	131	117	107	103	93	85	81	76	75	74	100
			16.00	2678	1586	1190	894	549	453	384	283	248	214	170	160	143	137	121	113	108	96	90	86	80	81	80	98

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รูปแบบ	ทิศ	เดือน	เวลา	ระยะห่างจากหน้าต่าง (เมตร)																								
				0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
3	N	Mar	8.00	1849	1250	1026	840	576	484	412	307	274	240	194	176	159	146	122	113	103	90	87	85	79	81	79	89
			12.00	2612	1246	924	684	420	348	296	218	195	171	139	128	115	107	90	82	77	67	64	63	59	59	58	77
			16.00	3175	2092	1706	1381	932	779	667	489	434	383	306	281	253	233	192	175	163	140	136	132	122	125	121	139
		Jun	8.00	3119	2201	1821	1496	1026	860	733	545	486	424	341	310	281	257	214	199	182	158	153	149	139	143	139	156
			12.00	4449	2099	1481	1046	611	502	425	310	279	244	199	185	165	154	129	118	110	97	92	90	84	85	83	98
			16.00	4488	3097	2545	2066	1391	1158	991	724	643	568	452	416	374	344	283	258	240	206	199	194	180	185	180	204
		Dec	8.00	983	650	530	432	294	247	210	156	140	122	99	90	81	75	62	58	53	46	44	43	40	41	40	46
			12.00	2579	1513	1190	940	616	513	438	321	286	252	202	185	166	153	128	117	108	94	90	88	82	83	81	107
			16.00	1549	1019	832	675	457	383	329	241	214	190	151	139	125	116	95	87	81	69	67	66	60	62	60	70
	S	Mar	8.00	2028	1409	1167	958	656	551	474	349	310	274	219	201	182	167	138	126	117	101	98	95	89	92	89	102
			12.00	4825	2499	1812	1313	786	646	546	397	355	310	252	233	209	194	161	148	138	110	114	112	103	105	102	122
			16.00	3909	2633	2149	1748	1184	990	840	623	556	485	391	356	321	295	245	226	207	181	174	170	159	164	159	180
		Jun	8.00	2189	1453	1189	966	655	549	471	345	307	271	217	199	179	165	136	125	116	100	96	93	87	89	87	100
			12.00	2776	1261	896	644	385	318	271	199	179	157	128	119	107	100	84	76	72	63	60	59	55	56	55	73
			16.00	3117	2002	1617	1307	882	739	627	465	415	363	293	266	240	220	184	171	156	135	130	127	119	122	118	135
		Dec	8.00	1482	1081	913	762	532	448	387	286	254	226	180	166	150	138	113	104	97	83	81	79	74	75	74	84
			12.00	7231	5242	4306	3436	2212	1824	1553	1119	985	865	695	638	576	528	434	401	369	314	305	297	278	284	279	316
			16.00	2627	1927	1623	1354	942	793	676	504	448	393	316	287	261	239	198	185	169	147	142	138	130	133	131	147
	E	Mar	8.00	2793	2169	1867	1570	1138	979	857	633	562	494	404	367	336	311	257	237	217	186	182	177	166	167	172	191
			12.00	4154	2084	1500	1093	657	550	470	338	303	263	216	200	179	167	140	126	118	103	99	96	90	90	89	105
			16.00	1971	1237	968	791	524	444	381	276	244	213	173	158	143	132	109	99	92	80	77	75	69	70	69	81
		Jun	8.00	3841	2976	2549	2164	1530	1308	1144	827	731	640	523	475	434	402	331	305	278	237	232	235	211	216	215	243
			12.00	3943	1843	1288	917	536	447	383	275	247	215	177	164	147	138	116	105	98	86	82	80	75	76	75	97
			16.00	2143	1340	1066	857	567	480	413	298	264	230	186	170	154	143	118	107	99	86	83	80	75	76	76	88
		Dec	8.00	1653	1256	1073	905	644	555	484	361	320	281	230	210	192	177	147	135	125	108	106	102	96	98	97	110
			12.00	4967	3079	2426	1901	1237	1045	893	647	575	499	407	373	335	310	258	232	217	188	181	175	163	166	163	185
			16.00	1347	872	704	566	378	321	276	201	178	155	126	115	104	97	80	73	68	59	57	55	51	51	50	59
	W	Mar	8.00	1174	750	601	484	321	272	234	169	149	130	105	96	87	81	66	60	56	48	46	45	42	42	41	49
			12.00	3098	1524	1100	813	492	413	354	255	228	198	163	150	135	127	106	96	90	79	75	73	69	70	68	89
			16.00	5338	4144	3542	2988	2074	1760	1530	1096	965	842	687	624	570	528	434	398	364	310	302	294	276	281	279	315
		Jun	8.00	1572	1003	805	646	429	364	313	227	201	175	142	130	117	109	90	82	76	66	63	61	57	58	56	67
			12.00	3137	1448	1016	727	430	360	309	224	201	175	144	134	120	113	95	86	81	71	68	66	62	62	61	81
			16.00	5677	4371	3720	3108	2130	1802	1555	1117	985	859	699	636	579	535	441	402	371	317	309	300	281	286	284	320
		Dec	8.00	834	540	434	351	234	199	171	123	109	95	77	70	64	59	49	44	41	35	34	33	31	31	31	36
			12.00	4396	2683	2096	1670	1086	916	785	564	499	435	353	321	290	272	223	204	189	160	155	151	139	142	140	161
			16.00	2857	2179	1854	1572	1108	950	830	606	535	470	382	348	317	295	242	223	204	174	170	165	155	158	157	178
4	N	Mar	8.00	1788	960	734	570	371	314	274	243	229	198	168	157	145	136	113	107	97	84	80	78	74	77	76	87
			12.00	2452	835	573	429	276	244	211	188	177	151	126	119	106	101	86	78	73	65	61	60	57	56	56	76
			16.00	3070	1588	1200	928	597	508	438	388	363	317	265	250	230	218	178	165	155	131	125	123	116	118	116	136
		Jun	8.00	3031	1701	1301	1005	651	550	485	428	402	348	295	275	255	238	198	187	171	148	141	138	131	136	134	152
			12.00	4173	1315	860	627	408	354	311	273	256	218	183	174	155	148	124	114	107	93	87	87	82	82	81	97
			16.00	4360	2363	1786	1371	879	747	653	572	535	465	391	369	339	321	264	242	227	193	183	180	170	175	173	199
		Dec	8.00	951	496	378	291	189	160	139	125	117	102	86	80	74	69	58	55	50	43	41	40	38	39	38	45
			12.00	2463	1099	806	624	392	342	295	264	247	213	179	168	151	142	120	111	103	89	85	83	79	79	78	104
			16.00	1498	777	589	456	293	250	216	192	179	157	132	124	113	107	89	82	77	65	62	61	58	59	58	68
	S	Mar	8.00	1967	1076	811	652	428	365	313	276	257	225	189	179	165	156	128	118	111	95	90	88	84	87	85	99
			12.00	4568	1591	1049	795	526	452	385	339	317	271	227	215	195	186	153	142	133	114	107	105	100	101	100	120
			16.00	3776	1972	1467	1166	768	650	560	494	464	402	340	316	293	273	227	214	195	168	161	157	150	155	152	175
		Jun	8.00	2123	1091	818	654	430	367	309	275	257	225	188	178	163	155	127	118	111	93	90	88	82	85	83	98
			12.00	2594	785	516	398	267	239	199	176	166	141	117	111	99	94	81	74	69	62	57	56	54	54	53	72
			16.00	3007	1478	1104	875	580	491	417	372	350	303	255	238	220	205	171	162	148	127	123	120	112	115	114	132
		Dec	8.00	1444	849	649	527	347	295	254	224	209	183	155	146	135	127	105	98	91	78	75	73	70	72	71	82
			12.00	7052	3930	2823	2184	1376	1162	1007	896	826	710	599	565	522	493	406	378	349	295	282	277	263	271	268	308
			16.00	2562	1509	1148	926	609	514	444	395	369	321	273	254	236	220	183	174	159	137	131	128	123	126	126	143
	E	Mar	8.00	2749	1798	1415	1126	747	620	553	494	446	398	343	318	299	287	238	221	205	172	166	163	155	158	163	185
			12.00	3932	1374	903	672	441	373	331	289	270	232	197	185	166	160	134	120	114	99	93	91	87	87	87	103
			16.00	1905	939	676	527	342	288	252	224	207	180	153	142	129	123	104	93	88	76	72	70	67	67	66	87
		Jun	8.00	3780	2454	1914	1509	988	816	730	647	583	519	446	413	388	373	308	284	264	220	211	208	198	204	205	235
			12.00	3711	1172	750	555	366	312	279	242	225	194	164	155	137	133	113	101	96	84	78	77	73	74	73	97
			16.00	2071	1015	732	570	370	312	274	242	223	195	165	153	139	134	112	100	95	82	77	76	72	73	72	96
		Dec	8.00	1624	1032	802	638	426	355	316	279	257	227	197	183	171	163	136	125	118	100	96	94	90	93	93	107
			12.00	4791	2285	1619	1241	808	673	592	522	487	421	360	334	307	292	242	220	208	177	169	164	156	159	158	181
			16.00	1306	670	487	379	248	206	182	160	149	131	111	103	94	90	75	68	64	55	53	51	49	49	49	56
	W	Mar	8.00	1139	563	402	323	215	182	155	137	126	110	93	87	79	75	63	57	54	46	43	42	40	41	40	48
			12.00	2932	995	650	507	343	296	252	220	204	176	149	140	125	121	103	91	87	75	72	71	67	66	65	87
			16.00	5249	3357	2533	2051	1326	1091	965	862	772	684	587	544	510	490	404	372	345	288	276	271	259	265	267	306
		Jun	8.00	1524	753	538	433	288	244	207	183	170	148	126	117	106	101	85	76	72	62	59	58	54	55	54	65
			12.00	2951	907	576	447	304	267	225	198	185	158	134	126	111	107	92	82	78	68	65	64	60	60	60	80
			16.00	5580	3515	2616	2103	1353	1118	985	877	794	699	601	556	518	496	410	376	351	295	283	277	264	270	272	310
		Dec	8.00	809	406	293	235	158	131	113	99	91	80	68	63	58	55	46	42	39	33	32	31	29	30	29	35
			12.00	4239	1951	1373	1088	729	605	522	458	420	369	312	270	266	257	211	192	181	153	144	141	134	136	134	160
			16.00	2804	1764	1336	1099	731	606	537	472	425	381	328	304	284	273	225	208	193	162	155	153	146	150	150	172

หมายเหตุ พื้นที่แรเงาคือพื้นที่ที่มีความส่องสว่างมากกว่า 300 ลักซ์

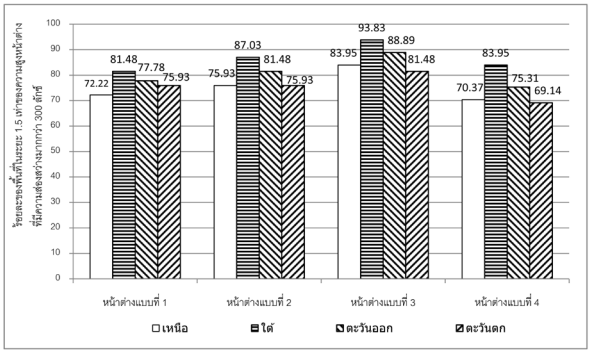
1.2 การพิจารณาการใช้แสงธรรมชาติตามทิศทาง

หากพิจารณาเปรียบเทียบความส่องสว่างแยกตามทิศทางแล้วจะพบว่า หน้าต่างรูปแบบเดียวกัน เมื่อหันไปยังทิศทางที่ต่างกันแล้ว ความส่องสว่างที่เกิดขึ้น ระยะทางที่แสงสามารถส่องเข้ามาถึง และร้อยละของพื้นที่ที่สามารถใช้งานแสงธรรมชาติได้จะมีความแตกต่างกันไปด้วย ดังรูปที่ 5 และตารางที่ 2 โดยผลดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยในเรื่องของทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ ช่วงเวลาและเดือน เช่น ในเดือนพฤษภาคมและสิงหาคม ดวงอาทิตย์จะโคจรทำมุมสูงเหนือหน้าต่าง ทำให้หน้าต่างในทุกทิศอาจได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์เท่า ๆ กัน ในเดือนเมษายน–สิงหาคม ดวงอาทิตย์จะโคจรอ้อมไปทางด้านทิศเหนือ ในขณะที่เดือนกันยายน–มีนาคม ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมไปยังทิศใต้และทำมุมต่ำที่สุดในเดือนธันวาคม ทำให้หน้าต่างที่หันไปทางทิศใต้จะได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์มากกว่าหน้าต่างในทิศทางอื่น ๆ หากหน้าต่างที่อยู่ทางด้านทิศตะวันออกก็จะได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์มากในช่วงเช้า ส่วนหน้าต่างที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตก จะได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์มากในช่วงบ่าย หากพิจารณาทั้งทิศทางและเดือนจะเห็นว่า หน้าต่างทางด้านทิศใต้ในช่วงเดือนธันวาคมหรือฤดูหนาว จะได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

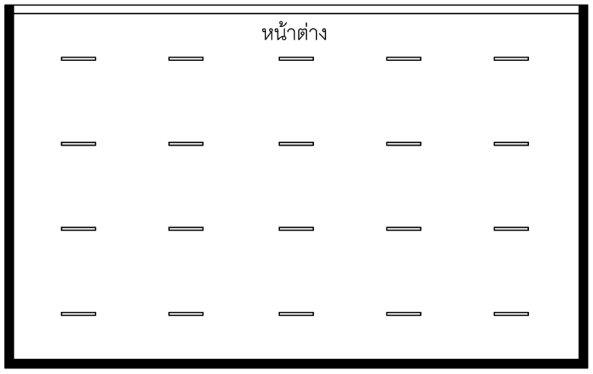
ดังนั้น ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเด็นเรื่องทิศทางส่งผลต่อปริมาณแสง ระยะทางที่แสงเข้ามา และศักยภาพในการใช้แสงธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้แสงประดิษฐ์ด้วยเช่นกัน

1.3 การพิจารณาการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์

หากต้องการออกแบบให้พื้นที่ดังกล่าวเพื่อให้มีความส่องสว่างขั้นต่ำตามที่ต้องการ (300 ลักซ์) โดยในเบื้องต้นกำหนดให้มีการติดตั้งดวงโคมบนระนาบฝ้าเพดาน วางขนานตามแนวหน้าต่าง ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ 2 หลอดต่อดวงโคม จะต้องใช้ดวงโคมอย่างน้อย 20 โคม คิดเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 40 หลอด และมีการวางตำแหน่งดวงโคมดังรูปที่ 6 และหากกำหนดให้มีการควบคุมการเปิด – ปิดดวงโคมเป็นแถวขนานตามแนวหน้าต่าง 1 แถวต่อ 1 สวิตช์ควบคุม จะได้ความส่องสว่างที่เกิดจากการปิดดวงโคมในแต่ละแถวดังรูปที่ 7



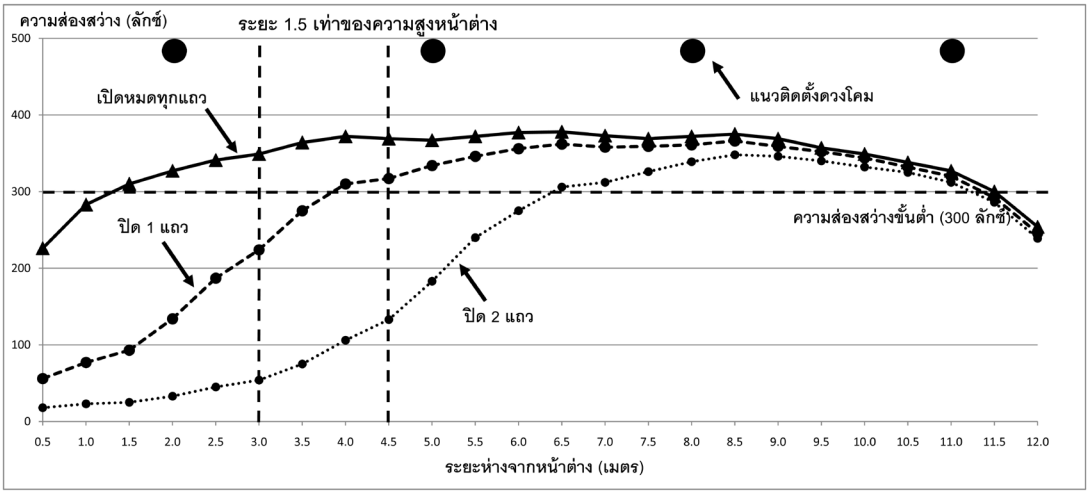
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ที่มีความส่องสว่างมากกว่า 300 ลักซ์ เฉลี่ยตลอดทั้งปี แยกตามทิศทาง



รูปที่ 6 ตำแหน่งและจำนวนในการติดตั้งดวงโคมภายในห้อง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ที่มีความส่องสว่างมากกว่า 300 ลักซ์ เฉลี่ยตลอดทั้งปี แยกตามทิศทาง

ทิศ	ร้อยละของพื้นที่ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างที่มีค่าความส่องสว่าง ≥ 300 ลักซ์			
	หน้าต่างรูปแบบที่ 1	หน้าต่างรูปแบบที่ 2	หน้าต่างรูปแบบที่ 3	หน้าต่างรูปแบบที่ 4
เหนือ	72.22	75.93	83.95	70.37
ใต้	81.48	87.03	93.83	83.95
ตะวันออก	77.78	81.48	88.89	75.31
ตะวันตก	75.93	75.93	81.48	69.14
เฉลี่ยทั้งปี	76.85	80.10	87.04	74.69



รูปที่ 7 แสดงค่าความส่องสว่างที่เกิดจากการปิดดวงโคมในแต่ละแถว

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ที่สามารถใช้งานแสงธรรมชาติทดแทนแสงประดิษฐ์ได้ ในแต่ละช่วงเวลา เดือน และทิศทาง และการเปรียบเทียบความส่องสว่างในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่าง ของหน้าต่างรูปแบบที่ 1 และ 2

เดือน	ทิศ	เวลา	รูปแบบหน้าต่าง	ระดับความส่องสว่างและระยะทางที่สามารถใช้แสงธรรมชาติแทนแสงประดิษฐ์ได้										
				0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
Mar	N	8.00	แบบที่ 1	1229	823	580	426	257	208	176	128	111	96	76
			แบบที่ 2	1694	859	611	455	282	232	197	146	129	112	90
	S	12.00	แบบที่ 1	3123	1319	804	550	321	266	225	167	147	127	101
			แบบที่ 2	4255	1374	854	597	361	305	260	196	176	151	122
	E	8.00	แบบที่ 1	1862	1536	1159	869	526	430	360	263	225	195	152
			แบบที่ 2	2630	1601	1216	924	574	472	399	297	259	224	176
	E	12.00	แบบที่ 1	2671	1081	686	469	275	229	191	143	127	109	88
			แบบที่ 2	3617	1128	728	510	310	262	221	168	152	130	106
	W	12.00	แบบที่ 1	1959	802	515	353	209	174	146	109	97	83	67
			แบบที่ 2	2674	837	546	384	236	199	169	128	116	100	80
	W	16.00	แบบที่ 1	3850	2899	2137	1555	904	732	613	445	381	329	256
			แบบที่ 2	5028	3013	2238	1651	989	807	682	506	442	381	299
Jun	S	12.00	แบบที่ 1	1760	646	392	271	161	135	115	86	77	66	54
			แบบที่ 2	2375	674	417	295	184	156	134	101	92	79	65
	S	16.00	แบบที่ 1	2062	1283	888	648	387	313	264	194	167	145	115
			แบบที่ 2	2825	1339	938	693	427	351	298	222	195	169	136
	E	8.00	แบบที่ 1	2562	2096	1567	1158	687	559	469	340	291	252	196
			แบบที่ 2	3614	2181	1643	1231	751	615	521	286	336	291	229
	E	16.00	แบบที่ 1	1392	839	588	423	250	205	170	124	108	93	74
			แบบที่ 2	1929	874	619	453	277	230	193	143	127	110	87
	W	8.00	แบบที่ 1	1029	632	445	321	190	156	129	94	82	71	57
			แบบที่ 2	1422	659	468	344	210	175	146	108	97	83	66
	W	12.00	แบบที่ 1	1991	720	449	305	182	152	128	97	87	75	61
			แบบที่ 2	2688	752	477	334	207	176	149	114	104	89	73
Dec	N	16.00	แบบที่ 1	1017	664	462	341	202	167	139	101	88	75	59
			แบบที่ 2	1419	693	487	364	223	186	157	116	102	88	70
	S	16.00	แบบที่ 1	1761	1323	946	699	420	339	286	208	179	156	123
			แบบที่ 2	2450	1378	995	745	458	376	318	237	207	180	144
	E	8.00	แบบที่ 1	1100	876	657	492	300	247	206	150	130	112	89
			แบบที่ 2	1550	914	690	523	327	271	228	170	147	129	103
	E	12.00	แบบที่ 1	3273	1867	1286	916	536	441	365	266	233	201	160
			แบบที่ 2	4480	1946	1356	981	593	465	413	307	274	235	190
	W	12.00	แบบที่ 1	2834	1635	1127	801	470	384	322	234	204	176	140
			แบบที่ 2	3933	1705	1190	859	520	431	365	270	239	206	165
	W	16.00	แบบที่ 1	1896	1521	1135	841	503	412	346	250	214	186	145
			แบบที่ 2	2678	1586	1190	894	549	453	384	283	248	214	170

แนวระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่าง

หากพิจารณาร่วมกับการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างแล้วจะเห็นว่า แม้ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างจะมีแสงธรรมชาติเข้ามา แต่ก็ยังไม่เพียงพอ และต้องเปิดใช้งานแสงประดิษฐ์เพื่อให้มีความส่องสว่างอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน (ดูตารางที่ 1 และรูปที่ 7) ทำให้ต้องใช้แสงประดิษฐ์ทั้งหมด 100% แทนที่จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 25% (ปิดแถวริมหน้าต่าง) หรือในบางกรณีที่ควรจะสามารถลดได้ถึง 50% แต่ก็ลดได้เพียง 25% เท่านั้น เป็นต้น

1.4 การพิจารณาสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

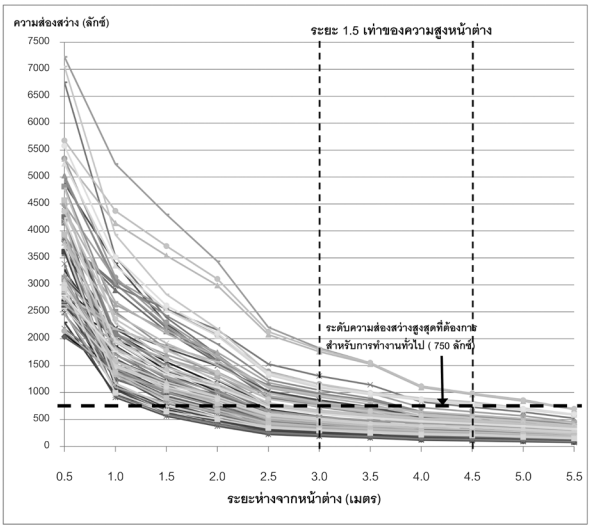
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองของหน้าต่างรูปแบบที่ 1 และ 2 ที่มีความสูงของหน้าต่างเท่ากัน (ระดับสูงสุดของหน้าต่าง) คือ 2.00 เมตร แต่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดไม่เท่ากัน คือ 41.6% และ 68% ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันทั้งในประเด็นของระดับความส่องสว่างและระยะทางที่แสงสามารถส่องเข้ามา จะพบว่าผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 3) และในบางทิศทาง และช่วงเวลา–เดือน รูปแบบหน้าต่างทั้งสองรูปแบบก็ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ทดแทนได้อย่างเต็มที่ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่าง และยังคงต้องใช้แสงประดิษฐ์ อย่างไรก็ตาม หน้าต่างรูปแบบที่ 2 สามารถนำไปยกเว้นการนับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ ในขณะที่หน้าต่างรูปแบบที่ 1 ที่มีสัดส่วนพื้นที่ที่เป็นกระจกน้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ จึงไม่สามารถนำไปยกเว้นได้ เนื่องจากไม่ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง

1.5 การเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพของแสง

แม้ว่าการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการออกแบบ เช่น การเพิ่มสัดส่วนพื้นที่หน้าต่าง จะสามารถช่วยให้แสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้มากและลึกขึ้นก็ตาม แต่หากพิจารณาพื้นที่ตั้งแต่ริมหน้าต่างจนถึงในช่วงระยะ 1–2 เท่า (รูปที่ 8) ของความสูงหน้าต่างจะเห็นว่าส่วนใหญ่มีความส่องสว่างที่สูงเกินกว่า 1000 ลักซ์ ที่เป็นระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการทำงานกับวัตถุขนาดเล็กและมีความเปรียบต่างปานกลาง (IESNA, 2000) ซึ่งอาจไม่จำเป็นและไม่เหมาะสมสำหรับการให้ความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานทั่วไป ซึ่งต้องการเพียง 750 ลักซ์ ดังนั้น แม้ว่าบริเวณริมหน้าต่างมีความส่องสว่างมาก หรือแสงอาทิตย์ส่องเข้ามาในอาคารได้ลึก แต่ผู้ใช้อาคารไม่สามารถใช้งานพื้นที่ในบริเวณดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งที่เกิดขึ้นตามมาคือผู้ใช้อาคารจะปรับมู่ลี่หรือม่านบังแดดลงเพื่อลดแสงจ้า (glare) ทำให้แสงธรรมชาติไม่สามารถเข้ามาได้อย่างเต็มที่ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่าง ทำให้ต้องใช้แสงประดิษฐ์อย่างเลี่ยงไม่ได้ จึงทำให้ไม่เกิดประโยชน์ในการใช้แสงธรรมชาติตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ แม้ว่าในบางกรณี อาจมีการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการย้ายตำแหน่งของพื้นที่ทำงานออกจากริมหน้าต่างและกำหนดให้พื้นที่บริเวณนั้นมีการใช้งานเป็นทางสัญจร ซึ่งก็ไม่ได้เป็นการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติอย่างเต็มประสิทธิภาพเช่นกัน

นอกจากนี้จะเห็นว่า การมีองค์ประกอบของอาคาร เช่น หิ้งสะท้อนแสงภายในอาคารของช่องเปิดรูปแบบที่ 4 แม้ว่าจะทำให้มีร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับช่องเปิดรูปแบบที่ 1 และ 2 ที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดต่ำกว่า และเปรียบเทียบกับช่องเปิดรูปแบบที่ 3 ที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากัน แต่การมีหิ้งสะท้อนแสงจะสามารถช่วยลดแสงจ้าบริเวณริมหน้าต่างได้ดีกว่าหน้าต่างรูปแบบอื่น ๆ และช่วยสะท้อนแสงเข้ามายังส่วนลึกได้มากขึ้น ช่วยให้ค่าความสม่ำเสมอของแสงสูงขึ้น ซึ่งนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่ไม่ได้ใช้ในเป็นเงื่อนไขในการออกแบบ

ดังนั้น นอกจากพิจารณาในเรื่องของความส่องสว่าง ซึ่งเป็นเรื่องของปริมาณแล้ว การพิจารณาเรื่องความจ้าและความสบายตาของผู้ใช้งานซึ่งเป็นเรื่องในเชิงของคุณภาพและส่งผลต่อการใช้งาน ควรได้รับการพิจารณาร่วมกันด้วย



รูปที่ 8 ตัวอย่างของค่าความส่องสว่างในช่วงระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่าง แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่จะมีระดับความส่องสว่างที่เกินกว่าความต้องการ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความส่องสว่างสูงสุดที่ต้องการสำหรับการทำงานทั่วไป (750 ลักซ์)

ผลลัพธ์จากการจำลองในชุดนี้อาจพอทำให้ทราบถึงศักยภาพและความสัมพันธ์ของความสูงหน้าต่าง สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ทิศทางของหน้าต่าง ที่มีต่อการใช้แสงธรรมชาติทดแทนการใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์

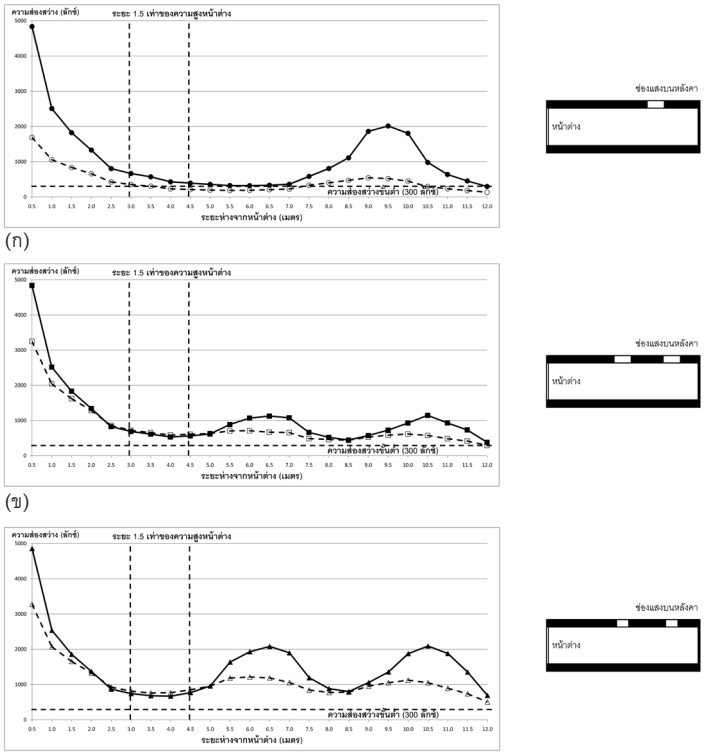
2. การทดลองชุดที่ 2

ผลที่ได้จากการจำลอง (รูปที่ 9) แสดงให้เห็นว่า การใช้ช่องแสงทางด้านบนสามารถที่จะช่วยทำให้ความส่องสว่างภายในอาคารเพิ่มสูงขึ้นได้ โดยสามารถสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ดังนี้

– สำหรับสภาพท้องฟ้าแบบผสม จะให้ผลที่ดีกว่าสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีความส่องสว่างสูงกว่า 300 ลักซ์ และสามารถใช้แสงธรรมชาติทดแทนแสงประดิษฐ์ได้ทั้งหมด พื้นที่ที่มีความส่องสว่างต่ำกว่า 300 ลักซ์ ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่บริเวณกลางห้องที่เป็นรอยต่อระหว่างการนำแสงจากทางด้านข้างและด้านบน และส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากทิศทางของช่องเปิดช่วงเวลา และเดือน

– การออกแบบให้มีสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมดมาก (5 %) แม้ว่าจะทำให้แสงเข้ามามาก (รูปที่ 9 – ค) และทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงสว่างได้มากก็ตาม แต่ก็มีข้อควรพิจารณาอยู่หลายประการ เช่น ความส่องสว่างบริเวณใต้ช่องแสงอาจสูงเกินไปจนทำให้เกิดความไม่สบายตา ความสม่ำเสมอของแสงจะมีค่าต่ำ และสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมดที่มากขึ้นจะส่งผลต่อความร้อนที่เข้ามาและการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปิดช่องแสงที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมดเท่ากัน (2.5 %) แต่มีขนาด จำนวน และการจัดวางตำแหน่งช่องแสงแตกต่างกัน (รูปที่ 9 – ก และ ข) จะเห็นว่า แม้ทั้ง 2 รูปแบบจะสามารถช่วยให้มีความส่องสว่างสูงกว่า 300 ลักซ์ เช่นเดียวกัน แต่การจัดวางตำแหน่งช่องแสงแบบกระจายจะช่วยให้เกิดการกระจายแสงได้ทั่วพื้นที่มากกว่าโดยเฉพาะในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก รวมถึงการทำให้มีความสม่ำเสมอของแสงสูงขึ้น ความส่องสว่างบริเวณใต้ช่องแสงไม่สูงมากเกินไป ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารได้เกือบตลอดทั้งปี ทั้งในสภาพท้องฟ้าแบบผสมและแบบมีเมฆมาก

ผลจากการทดลองในชุดนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ช่องเปิดทางด้านบนเพื่อนำแสงธรรมชาติ มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารได้ เช่นเดียวกับการใช้หน้าต่างทางด้านข้างของอาคาร



เส้นทึบ = สภาพท้องฟ้าแบบผสม เส้นประ = สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก

รูปที่ 9 ตัวอย่างของค่าความส่องสว่างของพื้นที่ภายในอาคารที่เกิดจากการเปิดช่องแสงด้านบนที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงบนหลังคาต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด และขนาดช่องแสงที่แตกต่างกัน

บทสรุป

จากผลการจำลองแสงธรรมชาติในกรณีต่าง ๆ ข้างต้น สามารถที่จะสรุปผลการวิจัยเป็นประเด็นสำคัญได้ดังนี้

– การออกแบบตามเงื่อนไขของกฎกระทรวงฯ นั้น ไม่สามารถทำให้เกิดความส่องสว่างที่เพียงพอ (300 ลักซ์) ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างได้ เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการใช้งานตลอดทั้งปี จึงทำให้ไม่สามารถใช้แสงธรรมชาติเพื่อทดแทนแสงประดิษฐ์ได้ทั้งหมด รวมถึงไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารลงได้ตามที่ควรจะเป็น

– ทิศทางของหน้าต่าง/อาคาร มีผลต่อความส่องสว่างและระยะทางที่แสงสามารถส่องเข้ามาถึงได้ จึงอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการประเมินตามสภาพจริงตามทิศทาง ลักษณะการเปิดช่องเปิดของอาคาร เช่น ห้องพักของโรงแรมที่มีหน้าต่างด้านเดียว พื้นที่ส่วนสำนักงานแบบเปิดที่เปิดหน้าต่างหลายด้าน เป็นต้น

– การกำหนดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบทั้งหมดนั้น หากได้รับการออกแบบที่เหมาะสมแล้ว พื้นที่กระจกหน้าต่างไม่จำเป็นต้องมากกว่าพื้นที่ผนังทึบเสมอไป ซึ่งจะให้ผลดีทั้งในเรื่องแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งานและการผ่านการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารด้วย

– การเปิดช่องแสงด้านบนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานได้เป็นอย่างดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารอาจมีอีกหลายวิธีการ และไม่จำเป็นต้องมาจากหน้าต่างทางด้านข้างของอาคารเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม จำเป็นที่จะต้องมีการพิสูจน์ให้เห็นถึงศักยภาพของวิธีการนั้นด้วย

– ควรมีการพิจารณาเรื่องคุณภาพของแสงที่เข้ามาด้วย เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของผู้ใช้อาคารโดยตรง หากแสงที่เข้ามาไม่มีคุณภาพ เช่น ความส่องสว่างมากเกินไป โดยเฉพาะบริเวณริมหน้าต่าง หรือเกิดแสงจ้า ผู้ใช้อาคารอาจปฏิเสธที่จะใช้แสงธรรมชาติและหันไปใช้แสงประดิษฐ์แทน

– ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดความส่องสว่างขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ ซึ่งในความเป็นจริงอาจมีการออกแบบให้มีความส่องสว่างสูงกว่านี้ เช่น 500 ลักซ์ ตามประเภทการใช้งานและการใช้สายตา ซึ่งจะทำให้พื้นที่ในระยะ 1.5 เท่าของความสูงหน้าต่างที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้นั้นลดลงไปอีก ซึ่งนอกจากจะต้องมีการวางผังดวงโคมใหม่แล้ว ยังส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

ผลจากการวิจัยนี้อาจเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้เกิดการผสมผสานการใช้เทคโนโลยีในการออกแบบที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น เช่น การใช้ระบบตรวจจับแสงธรรมชาติและหรี่แสง รวมถึงการปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาเงื่อนไข/เกณฑ์ เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นสำหรับวิธีการออกแบบอื่น ๆ เช่น การบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร (Self-shading) (Jittawisutthikul & Varodompun, 2014, p. 95) ซึ่งอาจต้องอาศัยการประเมินที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่จะให้ผลที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อให้แนวทางการอนุรักษ์พลังงานของประเทศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

References

ASHRAE. (2010). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings (I-P edition)*. Atlanta: ASHRAE.

Chindapol, S., Sreshthaputra, A., Tisavipat, P. & Srisutapan, A. (2008). แนวทางการออกแบบช่องเปิดเพื่อได้รับความร้อนและแสงธรรมชาติอย่างเหมาะสมในอาคารสำนักงาน [Fenestration design guidelines for optimizing heat gain and daylight in office building]. *Conference on Energy Technology Network of Thailand: E-NETT, 4*, 299-305.

Chou, S. K. & Chan, W. L. (1996). A generalized methodology for determining the total heat gain through building envelopes. *International Journal of Energy and Research, 20*(10), 887-901.

Cofaigh E.O., Fitzgerald E., Alcock R., Lewis J. O., Peltonen V., & Marucco A. (1999). *A green vitruvius - principles and practice of sustainable architectural design*. London: James & James.

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2001). *สัมมนาแถลงผลการดำเนินงาน โครงการส่งเสริมและกำกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง* [Operation results conference on energy conservation promotion and regulation in new construction and renovation projects]. Retrieved May 5, 2014, from http://www.2e-building.com/backoffice/file.php?file=แถลงผล อ.พันธุดา.ppt

Guo, W. & Nutter, D. W. (2009). The optimization of skylight area for a typical large retail building. *Proceeding of the 2009 Early Career Technical Conference (ECTC), April 17-18*, TX.

IESNA. (2000). *The IESNA lighting handbook* (9th ed.). New York: Author.

Jittawitsutthikul, R. & Varodompun, J. (2014). แนวทางการออกแบบกรอบอาคารสำนักงานโดยการบังแดดด้วยรูปทรงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในเขตร้อนชื้น [Design guideline of office building facade with self-shading for energy conservation in hot-humid climate]. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 11*(1), 95.

Ko, D. H., Elnimeiri, M., & Clark, R. J. (2008). Assessment and prediction of daylight performance in high-rise office buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings, 17*, 953-976.

Kwok, G. A. & Grondzik, T. W. (2007). *The green studio handbook: Environmental strategies for schematic design*. New York: Architectural Press.

Reinhart, C. F. (2005). A simulation-based review of the ubiquitous windows-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb. *Proceeding of Ninth International IBPSA Conference, August 15-18*, 1011 - 1018.

Rerkasem, K. & Chindavanig, T. (2011). ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงหนือระนาบทำงานภายในอาคาร [The efficiency of interior daylighting panels]. *Journal of Energy Research, 8*(1), 21-37.

Royal Thai Government Gazette. (1994, June 13). *พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ฉบับที่ 39* [Building Control Act B.E. 1979, No. 39]. 111(23ก), 38-49.

Royal Thai Government Gazette. (2009, February 20). *กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552* [Ministerial Regulation Prescribing Type or Size of Building and Standard, Criteria and Procedure in Designing Building for Energy Conservation B.E. 2552]. 126(12ก), 9-15.

Royal Thai Government Gazette. (2009, August 28). *ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552* [Ministry of Energy's Notification on Criteria and Calculation Methods for Building Design of Various Systems, Overall Energy Consumption of Buildings and Use of Renewable Energy of Various Building Systems B.E. 2552]. 126(122ง), 21-58.

Sangum, K. & Srisutapan, A. (2014). *แนวทางการเลือกใช้กระจกเพื่อความคุ้มทุนในอาคารสำนักงานแขตร้อนชื้น* [Glazing selection guideline economic approach in office building in hot-humid climate]. *Proceedings of Built Environment Research Associates Conference, BERAC 5, 2014*, 161-166.

Wankanapon, P. (2011). *แสงธรรมชาติเชิงบูรณาการเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ: โรงเรียนอนุรักษ์พลังงาน* [Integrated passive daylighting for climate change : energy efficient school]. Pathumthani: Thammasatpress.