Received: October 12, 2021 Revised: December 1, 2021 Accepted: December 16, 2021

แสงธรรมชาติทางด้านบนสำหรับอาคารในประเทศไทย

Toplighting techniques for buildings in Thailand

ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล [1]

Yingsawad Chaiyakul

[1] รองศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email:cyings@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้นำเสนอความเป็นไปได้ในการใช้แสงธรรมชาติจากด้านบนกับอาคารในประเทศไทย โดยเทคนิคในการออกแบบ 4 รูปแบบ ได้แก่: (1) ช่องเปิดพื้นฐาน (Base-case skylight); (2) ช่องเปิดแบบ Skylight; (3) ช่องเปิดแบบ Monitor; และ (4) ช่องเปิดแบบ Sawtooth ทำการศึกษากับอาคารชั้นเดียวที่มีความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน 8 เมตร ส่วนแรกของบทความนำเสนอการวิเคราะห์รูปตัดของห้องและช่องเปิดต่างๆ เพื่อพิจารณาทิศทางของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct sunlight) และการมองเห็นพื้นที่โดมท้องฟ้าที่เข้าสู่ช่องเปิดด้านบน และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux 4.13 จำลองแสงสว่าง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างด้านปริมาณที่ระดับพื้นห้องและระดับ 3 เมตร จากฝ้าเพดาน (เสมือนห้องที่มีความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน 3 เมตร) ช่วงเวลาที่ทำการจำลอง ได้แก่ 9:00 น. 12:00 น. และ 15:00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky) ของวันที่ 21 ในเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ส่วนที่สองของการศึกษาสมการคำนวณตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight factor) สำหรับการให้แสงสว่างทางด้านบนที่แนะนำในทฤษฎีในต่างประเทศ และเปรียบเทียบค่าที่คำนวณกับผลที่ได้จากการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยที่ ขึ้นกับรูปแบบช่องเปิด ช่วงเวลาที่พิจารณา สอดคล้องกับการวิเคราะห์แสงสว่างด้วยรูปตัด ช่องเปิดแบบพื้นฐานให้ค่าความสว่างสูงสุด ช่องเปิดแบบ Skylight ช่องเปิดแบบ Monitor และช่องเปิดแบบ Sawtooth มีปริมาณแสงเฉลี่ยลดลงตามลำดับ ช่องแสงแบบ Skylight มีความสว่างเฉลี่ยสูงที่สุดในเวลา 12:00 น. ช่องเปิดแบบ Monitor และSawtooth จะมีความสว่างเฉลี่ยในเวลา 9:00 น. และ 15:00 น. ที่สูงกว่าความสว่างเฉลี่ยในเวลา 12:00 น. ผลที่ได้จากบทความแสดงให้เห็นว่าค่าที่คำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สำหรับช่องเปิดแบบ Monitor และ Sawtooth การกระจายแสงสว่างจากช่องแสงด้านบนในทุกรูปแบบจะมีปริมาณแสงสว่างสูงสุดบริเวณพื้นที่ใต้ช่องเปิด และลักษณะของการกระจายแสงสามารถประเมินเบื้องต้นได้ด้วยการใช้รูปตัดของห้องในการวิเคราะห์ได้

คำสำคัญ: แสงธรรมชาติ การให้แสงสว่างจากด้านบน ประเทศไทย

ABSTRACT

This work investigated how toplighting techniques perform in buildings in Thailand. Four toplighting techniques are included in the study, which comprises: (1) base-case skylight; (2) skylight; (3) monitor; and (4) sawtooth. A single story building with 8 m. height ceiling was taken as a studied building. Firstly, room sections showing each toplighting techniques were analyzed to illustrate sunlight directions and sky dome areas seen by the openings. Then a simulation program, DIALux 4.13 was used to compute illuminance for each technique. The computed illuminance values were obtained on the floor and on the 3 m. plane below the ceiling. The simulation times were 9:00, 12:00 and 15:00 hrs. under partly cloudy sky on the 21st of March, June, September and December. The second part of this work investigated toplighting guidelines for calculating daylight factor by comparing computed daylight factor values with calculated daylight factor. The results suggest that the calculated daylight factors are comparable in particular values calculated by monitor and sawtooth techniques. Daylight distributions from all toplighting included in this study show that highest daylight levels are approximately below the ceiling openings. Daylight distribution patterns could be assessed by section analysis.

Keywords: Daylighting, Toplighting, Thailand

1. บทนำ

พื้นฐานแสงสว่างที่ได้จากด้านบน (Toplighting) เป็นพื้นฐานการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในสถาปัตยกรรมตะวันตก ช่องแสงด้านบน (Skylight) เพื่อใช้กับพื้นที่ช่วงกว้างในอาคารที่ขนาดใหญ่ หรืออาคารที่มีข้อจำกัดในการนำแสงธรรมชาติเข้าจากด้านข้าง ลักษณะแสงธรรมชาติจากด้านบนให้ปริมาณแสงสว่างสูงกว่าแสงจากด้านข้าง อาจสามารถให้แสงสว่างมากถึง 3 เท่า ในพื้นที่ที่เท่ากัน เทียบกับช่องแสงด้านข้าง [1] เนื่องจากมุมตกกระทบของแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดด้านบนตกบนระนาบแนวนอนเกือบตั้งฉาก ช่องแสงด้านบนได้รับความสว่างจากพื้นที่ท้องฟ้าที่ใหญ่กว่าและหากเป็นกรณีของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุม จะมีความจ้าของท้องฟ้ามากที่สุดที่จุดบนสุดของท้องฟ้า ข้อดีของการวางตำแหน่งช่องแสงด้านบนมีความยืดหยุ่น ที่ไม่มีข้อจำกัดเรื่องทิศทางของอาคาร และให้แสงธรรมชาติได้ลึกด้านในของอาคาร การออกแบบเพื่อกำหนดช่องแสงด้านบนไว้บริเวณที่มีความต้องการแสงสว่างเพื่อไม่ให้มีปริมาณแสงสว่างมากเกิน ส่งผลกระทบด้านความร้อนที่เข้าสู่อาคารและระบบปรับอากาศ

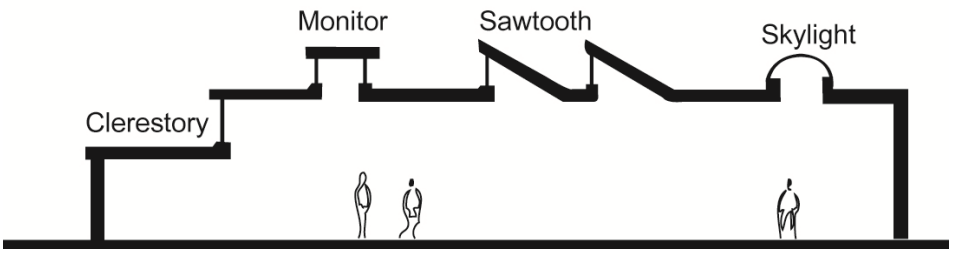
ปริมาณแสงสว่างที่ได้การให้แสงจากด้านบน ขึ้นกับรูปแบบหรือรูปทรงของช่องแสง การสะท้อนแสง และสัดส่วนของช่องแสงและพื้นที่ห้อง ความสูงของฝ้าเพดานช่วยให้การกระจายแสงเพิ่มมากขึ้น แต่อาจส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ตกลงบนระนาบทำงาน (Workplane) งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษา (1) แนวทางการประเมินแสงธรรมชาติจากเทคนิคการเปิดช่องรับแสงด้านบนแบบต่างๆ เพื่อคำนวณปริมาณแสงสว่างภายใต้ท้องฟ้าแบบ

เมฆปกคลุมบางส่วนที่พบบ่อยในประเทศไทย [2] และ (2) ทดสอบแนวทางการประเมินด้วยสมการคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่ถูกแนะนำในทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีการจำลองห้องที่มีเทคนิคการให้แสงธรรมชาติทางด้านบน 4 รูปแบบ ผลการศึกษานำเสนอแนวทางการนำไปใช้ การเปรียบเทียบ รูปแบบแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องผ่านเทคนิคต่างๆ และปริมาณความสว่างที่ได้ รวมถึงข้อจำกัดหากนำสมการคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อประเมินแสงธรรมชาติจากด้านบนเบื้องต้น

2. การให้แสงธรรมชาติจากด้านบน

การใช้แสงธรรมชาติของอาคารโดยทั่วไปส่วนใหญ่ เป็นวิธีการนำแสงเข้าจากด้านข้าง แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความสูงของช่องเปิดและความจำเป็นที่ต้องใช้อุปกรณ์บังแดด เพื่อป้องกันความร้อนและแสงจ้า ทำให้แสงที่ผ่านเข้ามามีปริมาณลดลงเมื่ออยู่ห่างจากช่องแสง ทำให้แสงธรรมชาติอยู่ในระดับเพียงพอในการใช้งาน อยู่ในระยะ 1-2 เท่าของความสูงช่องเปิดจากหน้าต่างขึ้นกับรูปแบบของหน้าต่างและอุปกรณ์กันแดดภายนอก [3] สำหรับหน้าต่างด้านข้าง ถ้าช่องแสงที่มีขนาดเท่ากันแต่ตำแหน่งอยู่สูงกว่า จะให้แสงเข้าสู่ภายในได้ลึกและมีระดับความส่องสว่างที่สม่ำเสมอกว่า ดังนั้นการใช้ช่องแสงด้านบนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้มากกว่าช่องแสงด้านข้าง การออกแบบสามารถทำได้หลายรูปแบบและวัสดุที่ใช้ การเลือกให้แสงจากทางด้านบนมีรูปแบบวิธีการให้แสงธรรมชาติ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การเปิดรับแสงธรรมชาติโดยตรงด้วยวัสดุโปร่งแสง ด้านบนของหลังคา เช่น ช่องแสงด้านบน (Skylight) เป็นต้น และการใช้แสงที่มีการสะท้อนจากภายนอกร่วมกับแสงตรง ได้แก่ รูปแบบแบบหลังคายก (Monitor) หลังคาฟันเลื่อย (Sawtooth) และ ช่องแสงตอนบน (Clerestory) แสงธรรมชาติจะกระจายไปบนพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ภายในมากสำหรับอาคารชั้นเดียวหรือชั้นบนสุดของอาคาร เมื่อแสงจากหน้าต่างด้านข้างไม่สามารถกระจายไปถึงพื้นที่ส่วนกลางได้ หรือการนำแสงธรรมชาติลงไปในพื้นที่ที่อยู่ด้านล่างของอาคารด้วยแสงจากการใช้ท่อนำแสง (Light tube) เพื่อนำแสงสะท้อนลงไปยังพื้นที่อาคารชั้นที่ไม่ได้ติดกับหลังคาด้านบน และการใช้แสงที่ได้จากด้านบนเพื่อกระจายแสงให้โถงโล่งภายในอาคาร (Atrium) โดยช่องเปิดที่ให้แสงสว่างโดยตรงหรือสะท้อนจากหลังคา โดยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ภายใต้สภาพท้องฟ้าในประเทศไทยได้นำเสนอแนวทางการประเมินสำหรับรูปแบบเทคนิคทั้งสอง [4-7]

ข้อจำกัดหลักในการออกแบบ คือ การนำแสงเข้ามาจากด้านบน มีความจำเป็นต้องควบคุมความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ในปัจจุบันการใช้ช่องแสงจากด้านบนพบมากในอาคารอาคารขายสินค้าที่มีขนาดใหญ่ โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่ขนาดใหญ่ หรือพื้นที่ลึกด้านในจากกรอบอาคาร ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบของการใช้ช่องแสงจากด้านบน หลักการออกแบบที่แนะนำในประเทศสหรัฐอเมริกาและสหราชอาณาจักร [8] ซึ่งตั้งอยู่ในเขตละติจูดที่สูงกว่าประเทศไทย โดยนำแสงเข้ามาใช้จากการออกแบบหลังคาแบบต่างๆ และหากมีการเปิดรับแสงสว่างจากท้องฟ้าทิศทางที่แนะนำในการหันช่องแสงคือทิศเหนือเพื่อรับแสงสะท้อนที่ได้จากท้องฟ้าเพื่อหลีกเลี่ยงแสงแดดจากดวงอาทิตย์ทางทิศใต้



ภาพที่ 1 การใช้นำแสงธรรมชาติจากด้านบนแบบต่างๆ [8]

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติที่ได้จากเทคนิคช่องแสงด้านบนแบบต่างๆ ได้แก่ Skylight Monitor และ Sawtooth เพื่อนำผลเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างและเสนอแนวทางข้อเสนอแนะสำหรับอาคารในประเทศไทย รวมถึงการทดสอบเกณฑ์การประเมินแสงธรรมชาติด้วย Daylight factor อย่างง่าย ที่คำนวณจากตัวแปร 2 ตัว ได้แก่ ขนาดพื้นที่ของช่องเปิด และ ขนาดพื้นที่ของห้อง ในการคำนวณดังสมการที่ 1 และ 2 [9] สำหรับช่องแสงแบบ Skylight และ ช่องแสงแบบ Sawtooth ตามลำดับ ในกรณีช่องรับแสงแบบ Monitor มีพื้นที่ในการรับแสงธรรมชาติ 2 ด้าน เหมือนการใช้ Sawtooth ที่มี ช่องเปิด 2 ทาง ดังนั้นเพื่อให้ได้เกณฑ์ประเมินอย่างง่าย สมการที่ 2 จะถูกปรับเป็นความสัมพันธ์ในสมการที่ 3

สำหรับช่องแสงแบบ Skylight $DF_{av} = 0.5 \cdot \left(\frac{A_s}{A_f}\right)$ **สมการที่ 1**

สำหรับช่องแสงแบบ Sawtooth $DF_{av} = 0.2 \cdot \left(\frac{A_s}{A_f}\right)$ **สมการที่ 2**

สำหรับช่องแสงแบบ Monitor $DF_{av} = 2 \cdot 0.2 \cdot \left(\frac{A_s}{A_f}\right)$ **สมการที่ 3**

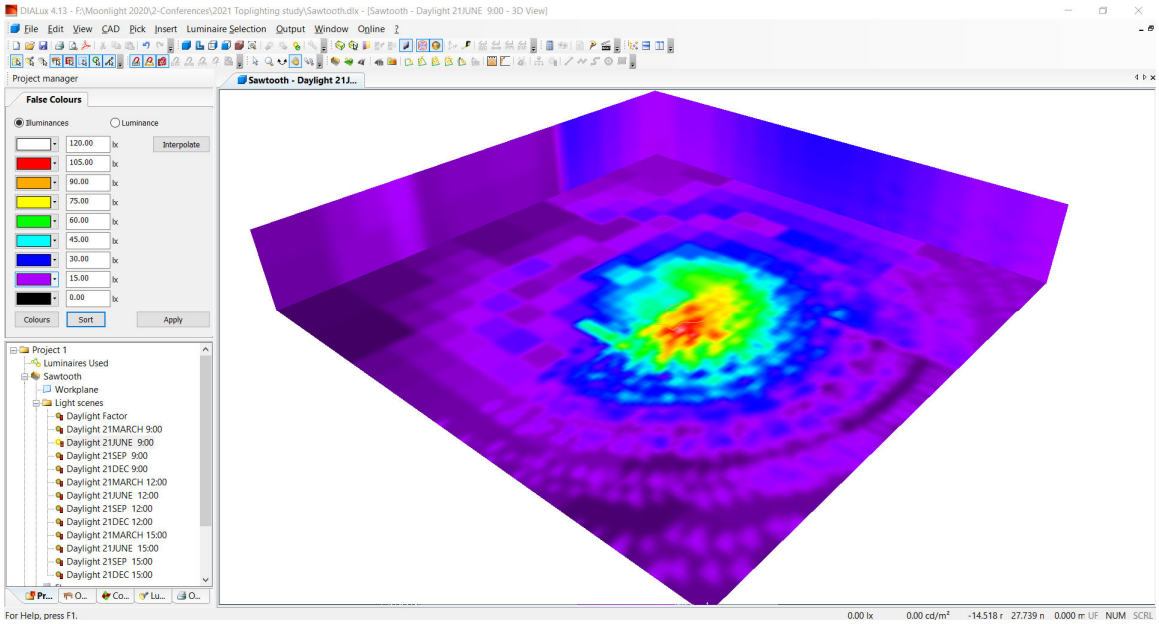
เมื่อ DF_{av} คือ ค่าเฉลี่ยตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Averaged daylight factor) A_s คือ พื้นที่ของช่องแสง และ A_f คือพื้นที่ของห้อง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux 4.13 [10] ใช้ในการศึกษานี้เป็นโปรแกรมจำลองสภาพแสงสว่างเฉพาะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณปริมาณความสว่างที่ได้จากเทคนิคต่างๆ และค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ ดังตัวอย่างในภาพที่ 2 โดยการกำหนดขนาดห้องจำลองที่มีขนาด 50x50x8 เมตร โดยใช้ขนาดและความสูงตามระยะเฉลี่ยที่ได้จากผลการสำรวจ อาคารที่พบมีการใช้แสงจากด้านบน ในปัจจุบันที่พบมากในร้านขายสินค้าวัสดุและตกแต่งบ้านและอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [11] โดยทำการประเมินแสงธรรมชาติที่ได้จากโซนแสงธรรมชาติ ตามภาพที่ 3 ซึ่งเป็นโซนที่มีแสงธรรมชาติมากพอในการใช้งาน หากมีการให้แสงสว่างจากด้านบน โดยมีความสัมพันธ์กับ ความสูงฝ้าเพดาน และ ระยะความกว้างของช่องเปิดบนฝ้าเพดาน การจำลองกำหนดภายใต้ ท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky) กำหนดวันที่ใช้ในการศึกษา เป็นวันที่สำคัญ 4 วัน ได้แก่ วันที่ 21 ของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ทำการจำลองในช่วงเวลาจำลอง ได้แก่ 9:00 น. 12:00 น. และ 15:00 น. และนำค่าความสว่างในโซนแสงธรรมชาติ ที่ระดับพื้นอาคาร และระดับ 3 เมตร จากฝ้าเพดาน เพื่อเปรียบเทียบความสว่างเฉลี่ย และค่าตัวประกอบแสงสว่างที่ได้คำนวณได้เปรียบเทียบกับ ค่าที่ได้จากสมการที่ 1-3

รูปแบบที่รวมในการศึกษานี้มี 4 ประเภท ได้แก่ (1) ช่องเปิดด้านบนพื้นฐาน Base-case skylight โดยไม่มีความสูงของโครงสร้าง (2) ช่องเปิด Skylight ที่มีความหนาของโครงสร้าง 1.00 เมตร (3) ช่องเปิดแบบ Monitor ที่มีการเปิดรับแสงในด้านทิศเหนือและทิศใต้ กำหนดความสูงของช่องแสงที่ 1.00 เมตร และ (4) รูปแบบช่องเปิดแบบ Sawtooth ที่มีระยะความสูง 1.00 เมตร ทุกรูปแบบกำหนดให้มีช่องรับแสง 1 ช่องและพื้นที่ของฐานช่องรับแสงบริเวณติดกับฝ้าเพดาน ขนาด 2.00x2.00 เมตร กำหนดพื้นที่ในการคำนวณความสว่างและค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติที่ระดับพื้น และระดับ 3 เมตร ต่ำจากฝ้าเพดาน จากข้อกำหนดพื้นที่ที่สามารถใช้แสงธรรมชาติ พื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติ (Daylight zone - DZ) กำหนดด้วยมุมที่เขียนตามแนว 45 องศา ของระยะเปิดของฝ้าเพดาน [1] ดังภาพที่ 3 และ 4 พื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติใต้ช่องเปิดที่ระดับพื้น 8 เมตร (DZfl) มีระยะ 18.00x18.00 เมตร และ ที่ระดับ 3 เมตร (DZ) มีขนาด 8.00x8.00 เมตร

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุช่องรับแสงด้านบนเท่ากับ 90% กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ภายในห้องสำหรับพื้น ผนัง เพดาน เท่ากับ 20% 50% และ 70% ตามลำดับ และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของหลังคาภายนอกเท่ากับ 50% การจำลองกำหนดช่องเปิดเป็นช่องโล่ง มีการตั้งค่าในโปรแกรมเพื่อคำนวณภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมทั่ว (Overcast sky) เพื่อคำนวณตัวประกอบแสงธรรมชาติ และ คำนวณความสว่างเฉลี่ย (Averaged Illuminance- Ea) ภายใต้ท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky) เนื่องจากเป็นท้องฟ้าที่พบได้มากในประเทศไทย ผลจากการจำลองได้ถูกนำมาเปรียบเทียบค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ 1-3 โดยใช้พื้นที่ช่องรับแสงของแต่ละเทคนิค และพื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติในระดับเดียวกันที่กำหนดไว้ในการจำลองด้วยโปรแกรม DIALux 4.13



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการจำลองแสงสว่างในโปรแกรม DIALux 4.13 ภาพแสดงการกระจายความสว่างภายใต้ ช่องแสงแบบ Sawtooth ในวันที่ 21 กันยายน เวลา 12:00 น.

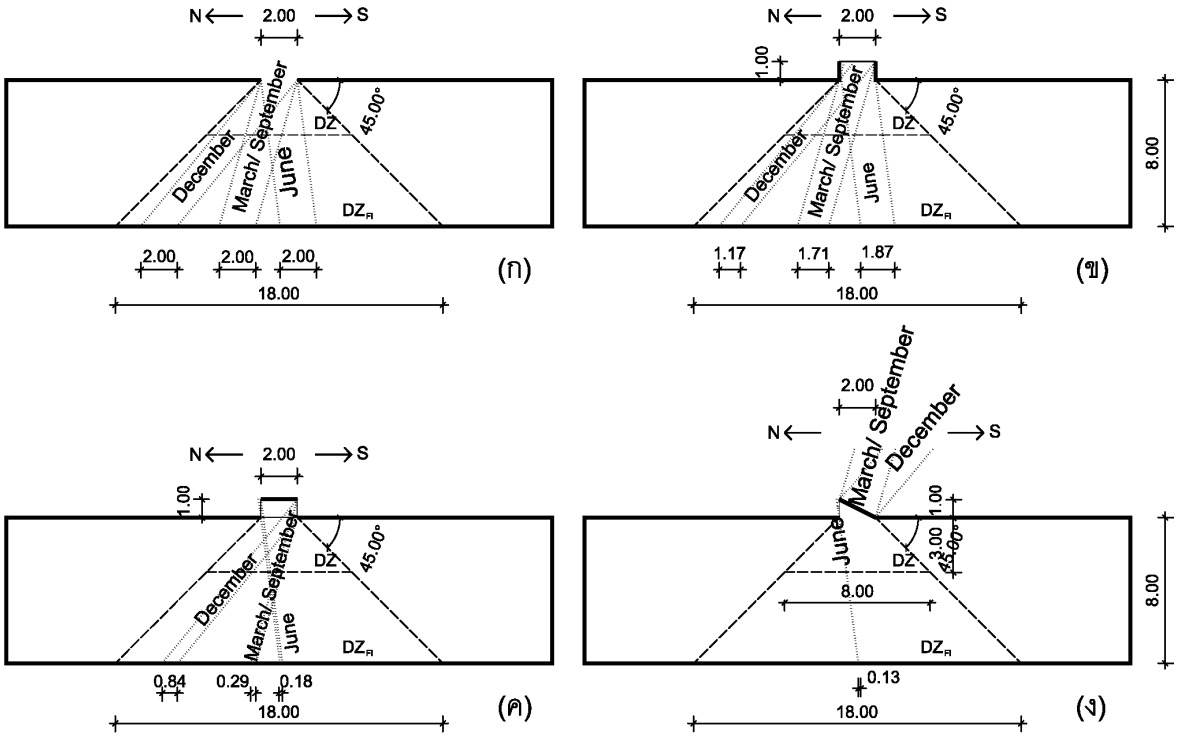
4. ผลการศึกษา

การนำแสงธรรมชาติจากด้านบนสามารถวิเคราะห์จากรูปตัดอาคารสำหรับการศึกษานี้ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อพิจารณาตำแหน่งทิศทางของแสงแดดตรงจากดวงอาทิตย์ที่สามารถส่องผ่านช่องเปิดในเวลา 12:00 น. ในวันที่ 21 ของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม เนื่องจากในเวลา 9:00 น. และ15:00 น. ช่องเปิดแบบ Monitor และ Sawtooth จะถูกบังด้วยผนังด้านข้างทิศตะวันออกและทิศตะวันตกทำให้แสงตรงที่เข้าจะลดน้อยกว่า แบบ Skylight ทั้ง 2 กรณี ผลพบว่าในกรณีช่องแสงแบบ Base-case skylight ที่เปิดช่องเปิดโดยไม่ได้พิจารณาด้านการติดตั้งทำให้ไม่มีความหนาของหลังคา พื้นที่ที่แสงตรงเข้าถึงได้เป็นพื้นที่มากสุด ในภาพที่ 3(ก) และภาพที่ 4 แสดงตำแหน่งกึ่งกลางพื้นที่ในระนาบแนวนอนที่แสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนโดมท้องฟ้าที่มองเห็น รูปแบบ Base-case skylight มองเห็นท้องฟ้ามากที่สุด ช่องเปิดแบบ Skylight ช่องเปิดแบบ Monitor และช่องเปิดแบบ Sawtooth มองเห็นพื้นที่โดมท้องฟ้าลดลงตามลำดับ กรณีช่องเปิดแบบ Sawtooth มีมุมที่มองเห็นท้องฟ้าน้อยที่สุด และสามารถรับแสงจากท้องฟ้าได้จากทิศเหนือด้านเดียว

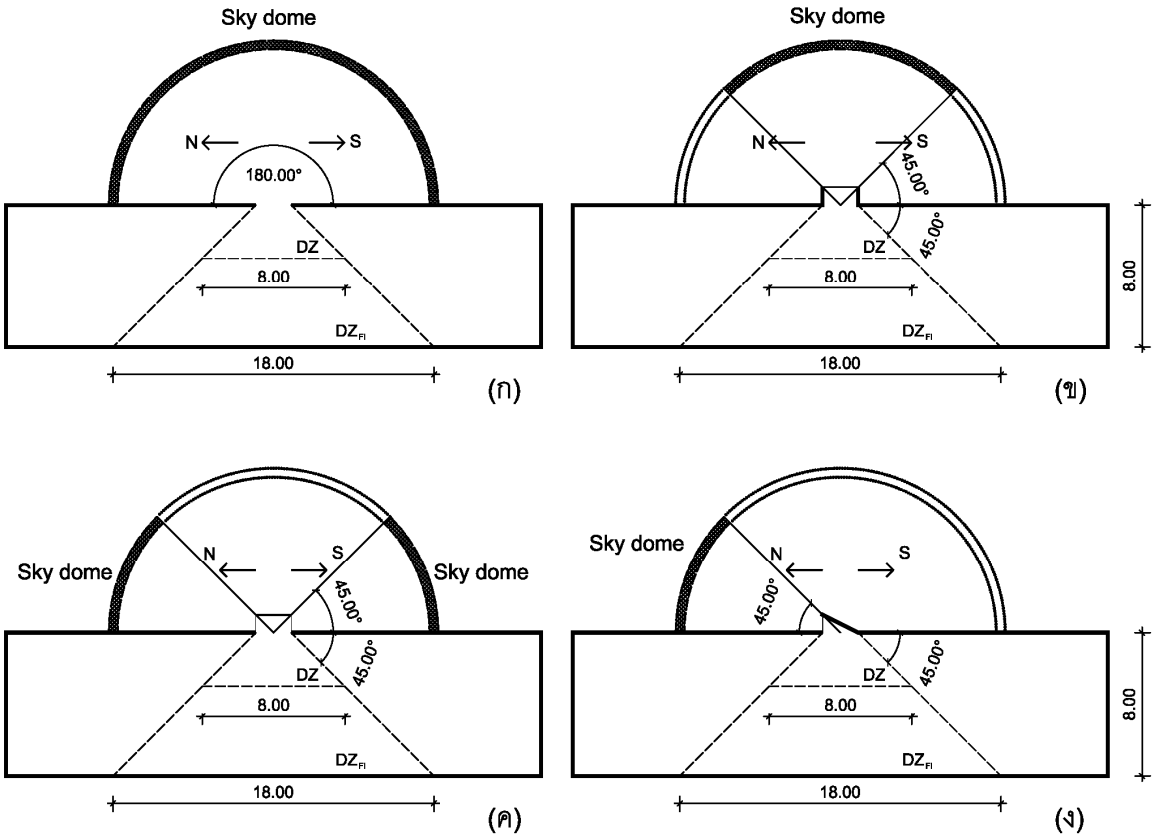
ผลการจำลองความสว่างแสดงในตารางที่ 1-4 นำเสนอค่าความสว่างในช่วงเวลาต่าง ๆ ทั้ง 4 วัน พบว่าปริมาณแสงสว่างที่ได้จาก Base-case skylight มีสูงสุด ตามด้วย แบบ Skylight แบบ Monitor และ แบบ Sawtooth ตามลำดับ ช่วงเวลาที่มีแสงสว่างสูงสุด ขึ้นกับรูปแบบของช่องเปิด Skylight และ Base-case skylight มีปริมาณความสว่างสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน ส่วนช่องเปิดแบบ Monitor และ Sawtooth จะมีความสว่างสูงในช่วง 9:00 และ 15:00 น. เมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า อยู่ต่ำบนโดมท้องฟ้า ทำให้ส่องผ่านช่องเปิดแนวตั้งได้มากกว่า หากกำหนดค่าความสว่างขั้นต่ำที่ต้องการเพื่อใช้งานที่ 100lx [12] สำหรับทางสัญจรภายใน พบว่าเทคนิคการให้แสงสว่างทั้ง 4 แบบ สามารถให้แสงเพียงพอที่ระดับ 3 เมตร และที่ระดับพื้นห้อง 8 เมตร เทคนิคแบบ Monitor และ Sawtooth ให้ความสว่างเฉลี่ยที่ 57 และ 35 lx ตามลำดับ ค่าปริมาณความสว่างที่คำนวณได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยรูปตัดในภาพที่ 2 และ 3 ที่แสดงให้เห็นลักษณะของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ รวมถึงลักษณะที่ช่องรับแสงสามารถมองเห็นปริมาณพื้นที่โดมของท้องฟ้าที่ส่งผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่าความสว่างเฉลี่ยที่ได้จากช่องเปิดทั้ง 4 รูปแบบ เมื่อห้องมีความสูงฝ้าเพดานปกติที่ระดับ 3 เมตร ระดับความสว่างเฉลี่ยสามารถให้ความสว่างมากกว่า 100 lx ทั้ง 4 รูปแบบ เมื่อพิจารณาขนาดช่องเปิดฝ้าเพดาน 4 ตารางเมตร เทียบกับขนาดพื้นที่แสงธรรมชาติที่ 64 ตารางเมตร เป็นสัดส่วน 6.25% และสำหรับห้องที่มีความสูง 8 เมตร สำหรับสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่แสงธรรมชาติ ที่ต่ำลงเป็น 1.23% การใช้ช่องเปิดแบบ Monitor และ Sawtooth ในสัดส่วนของพื้นที่ในการศึกษานี้ให้แสงสว่างได้ไม่ถึง 100 lx

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการประเมินอย่างง่ายด้วยสมการคำนวณแสดงในภาพที่ 6 แสดงผลการคำนวณโดยสมการที่ 1–3 และผลตัวประกอบแสงธรรมชาติที่คำนวณได้จากโปรแกรม DIALux 4.13 พบว่าค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีเทคนิค Monitor และ Sawtooth สำหรับ Skylight ผลที่ได้ที่ระนาบ 8 เมตร จากฝ้าเพดานได้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากกว่า ค่าความสว่างในระดับระนาบทำงานที่ 3 เมตร ตัวแปรต่างๆ อาจส่งผลต่อการคำนวณ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผนังที่อาจจะส่งผลต่อผลการคำนวณ หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าที่แตกต่างจากการศึกษาในงานวิจัยนี้ ข้อกำหนดเรื่องความสูงของฝ้าเพดานจะส่งผลต่อปริมาณแสง

สว่างที่คำนวณได้รวมถึงค่าตัวประกอบแสงสว่างด้วย อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ทดสอบรูปแบบการให้แสงสว่างเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความสว่างเฉลี่ย และความแตกต่างตามช่วงเวลา รวมถึงทดสอบผลเบื้องต้นของการนำสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินค่าตัวประกอบแสงสว่าง



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์แสงตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วง 4 เดือนที่สำคัญที่เข้าสู่อาคารด้วยช่องเปิดรูปแบบต่างๆ (ก) Base-case skylight; (ข) Skylight; (ค) Monitor และ (ง) Sawtooth



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์แสงจากท้องฟ้าที่เข้าสู่อาคารด้วยช่องเปิดรูปแบบต่างๆ (ก) Base-case skylight; (ข) Skylight; (ค) Monitor และ (ง) Sawtooth

ตารางที่ 1 ปริมาณความสว่างที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม DIALux 4.13 ของช่องรับแสง Base-case skylight

Based case - E (lx) on the workplane					
Distance from ceiling	Month	Times			Averaged E (lx)
		9:00	12:00	15:00	
3 m.	March	966	1,340	1,301	1,202
	June	1,121	1,387	1,332	1,280
	September	1,087	1,346	1,235	1,223
	December	686	1,363	896	982
	Average	965	1,359	1,191	1,172
8 m. (Floor level)	March	176	261	241	226
	June	205	272	248	242
	September	199	263	227	230
	December	124	252	163	180
	Average	176	262	220	219

ตารางที่ 2 ปริมาณความสว่างที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม DIALux 4.13 ของช่องรับแสง Skylight

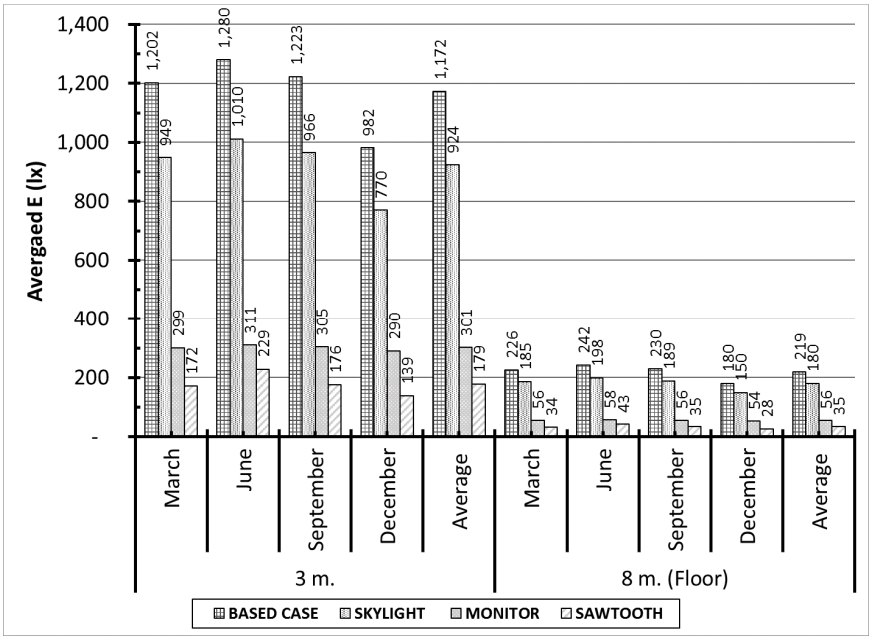
Skylight - E (lx) on the workplane					
Distance from ceiling	Month	Times			Averaged E (lx)
		9:00	12:00	15:00	
3 m.	March	763	1,067	1,017	949
	June	877	1,114	1,040	1,010
	September	854	1,077	968	966
	December	546	1,054	709	770
	Average	760	1,078	934	924
8 m. (Floor level)	March	148	211	197	185
	June	171	221	202	198
	September	166	213	187	189
	December	106	206	137	150
	Average	130	188	198	180

ตารางที่ 3 ปริมาณความสว่างที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม DIALux 4.13 ของช่องรับแสง Monitor

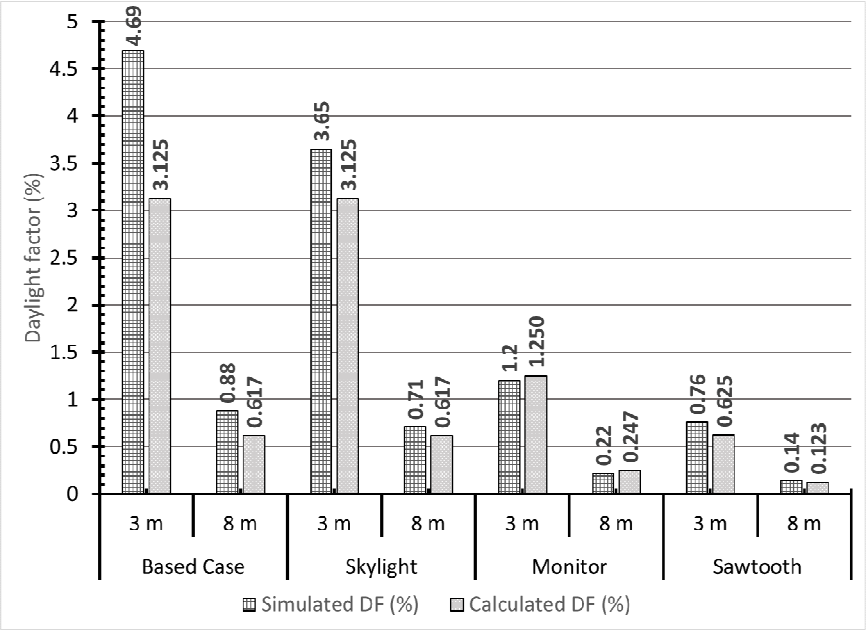
Monitor - E (lx) on the workplane					
Distance from ceiling	Month	Times			Averaged E (lx)
		9:00	12:00	15:00	
3 m.	March	280	273	345	299
	June	324	260	350	311
	September	313	265	336	305
	December	220	369	281	290
	Average	284	292	328	301
8 m. (Floor level)	March	52	51	64	56
	June	59	49	65	58
	September	57	50	62	56
	December	40	72	51	54
	Average	52	56	61	56

ตารางที่ 4 ปริมาณความสว่างที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม DIALux 4.13 ของช่องรับแสง Sawtooth

Sawtooth - E (lx) on the workplane					
Distance from ceiling	Month	Times			Averaged E (lx)
		9:00	12:00	15:00	
3 m.	March	181	131	203	172
	June	247	176	263	229
	September	196	128	204	176
	December	117	159	140	139
	Average	185	149	203	179
8 m. (Floor level)	March	35	26	40	34
	June	46	34	50	43
	September	38	26	40	35
	December	23	32	28	28
	Average	36	30	40	35



ภาพที่ 5 ค่าความสว่างเฉลี่ยในวันที่ 21 เดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ของช่องเปิดแบบต่างๆ ที่ระดับความสูงระนาบทำงาน 3 และ 8 เมตร

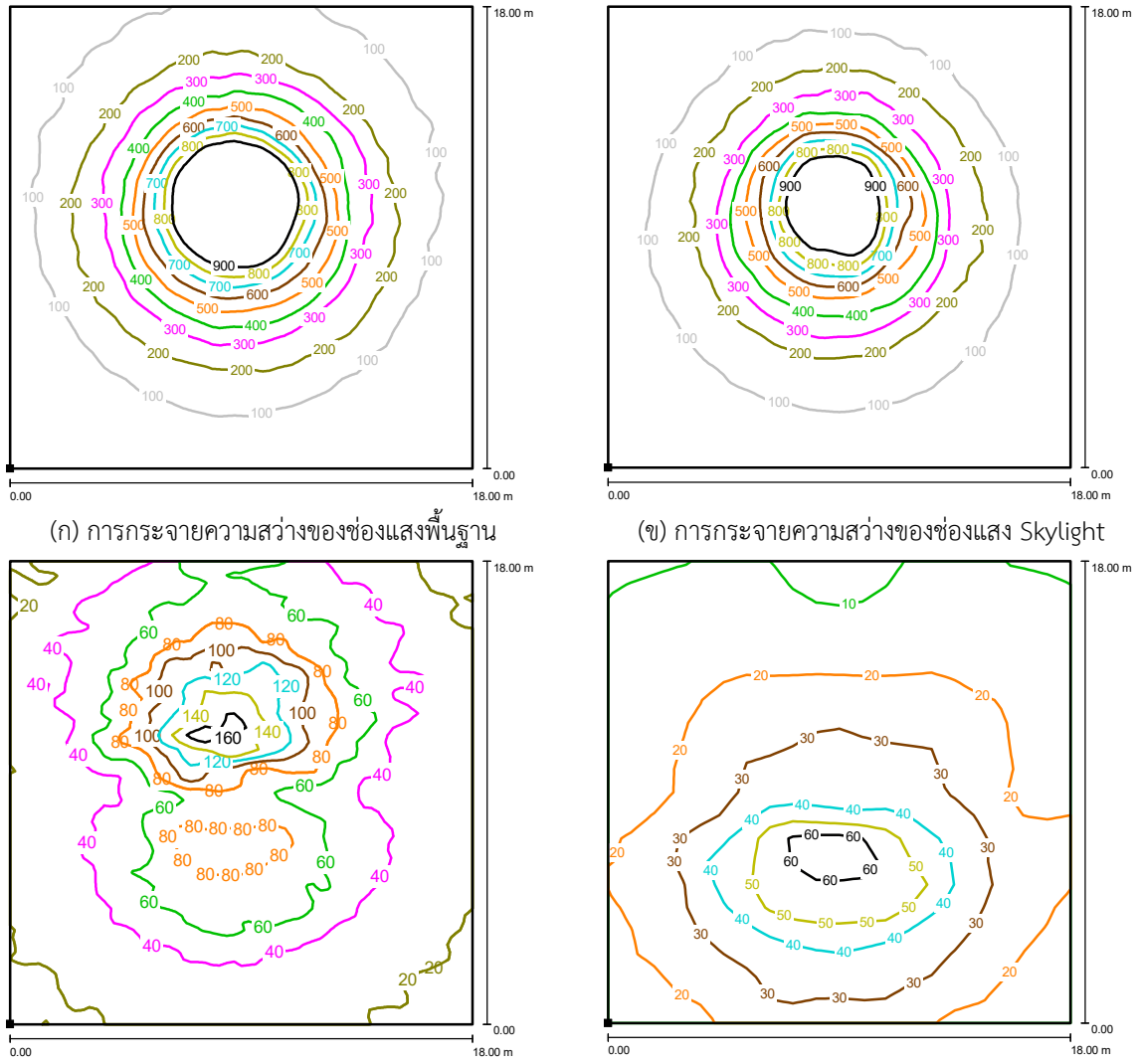


ภาพที่ 6 ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติที่คำนวณได้จากโปรแกรม DIALux 4.13 และสมการคำนวณอย่างง่าย ที่ได้จากช่องเปิดรูปแบบต่างๆ

5. สรุปและวิพากษ์ผลการศึกษา

การวิเคราะห์เทคนิคการนำแสงธรรมชาติทางด้านบนในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการใช้แสงธรรมชาติทางด้านบนที่อาจจะเป็นไปได้สำหรับอาคารในประเทศไทย โดยข้อกำหนดของการศึกษาช่องเปิดไม่มีกระจก การนำไปใช้หากช่องเปิดติดตั้งกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านตามประเภทของกระจก ผลที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 1-3 และจากการจำลองจะมีค่าลดลง รวมถึงวัสดุของห้องถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานเพื่อการวิเคราะห์เทียบเบื้องต้น แม้ว่าผลที่ได้จากการศึกษาสองส่วนในงานนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินเบื้องต้นเพื่อช่วยสถาปนิกในการออกแบบมีความเป็นไปได้ และค่าความสว่างเฉลี่ยที่คำนวณได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม DIALux 4.13เกือบทุกกรณีตามข้อกำหนดในงานนี้ ดังนั้นแสงธรรมชาติที่ได้ในอาคารจะสูงกว่าค่าที่ได้จากการประเมินอย่างง่ายด้วยสมการที่ 1-3 หากต้องการปริมาณแสงธรรมชาติที่มากขึ้น รูปแบบของช่องเปิดอาจจะต้องเพิ่มพื้นที่ของโดมท้องฟ้าให้มากที่สุด ร่วมกับการใช้แสงตรงให้ส่องผ่านช่องแสงให้ตกลงยังพื้นที่เป็นระยะที่มากขึ้น การให้แสงสว่างจากทางทิศเหนือและใต้ร่วมกันทำให้แสงธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น

ข้อจำกัดของการใช้วิธีการประเมินด้วยสมการคำนวณอย่างง่าย (สมการที่ 1-3) คือผลที่ได้จากการคำนวณไม่สามารถแสดงการกระจายความสว่างที่ได้ หากเทคนิคการประเมินด้วยรูปตัดในภาพที่ 3 ร่วมด้วยเพื่อตรวจสอบพื้นที่ มุมของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ นำเสนอลักษณะตำแหน่งของแสงในพื้นที่มีความสว่างมากสุดในช่วงเวลาที่สนใจได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น หากพิจารณาผลการจำลองความสว่างที่ระนาบพื้นของห้องจำลองทั้งห้อง (50x50 เมตร) และ บนระนาบของโซนแสงธรรมชาติใต้ช่องเปิด (18x18 เมตร) ในวันที่ 21 กันยายน เวลา 12:00 น. (ทิศเหนือขึ้นด้านบนของภาพ) ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะอยู่สูงบนท้องฟ้าอ้อมทิศใต้ เมื่อช่องเปิดบนฝ้าเพดานมีลักษณะเป็นจัตุรัสความสว่างจะตกที่บริเวณใต้ช่องเปิดมากที่สุด กรณีช่องเปิดแบบ Monitor แสดงให้เห็นในภาพที่ 7 (ค) ตำแหน่งความสว่างสูงสุดจะอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพตัดอาคาร ในภาพที่ 3(ค) หรือในกรณีของช่องเปิดแบบ Sawtooth ซึ่งแสงตรงของดวงอาทิตย์จะไม่สามารถส่องเข้าไปในอาคารได้ในวันเวลาที่ยกตัวอย่างนี้ ทำให้ปริมาณความสว่างที่สูงสุดเป็นบริเวณด้านล่างของภาพที่ 7(ง) ซึ่งเป็นบริเวณที่มองเห็นท้องฟ้า แสงสว่างกระจายไม่สม่ำเสมอ การกระจายจำนวนช่องเปิดด้านบน หรือใช้รูปทรงช่องเปิดตามยาวตามลักษณะความกว้างของห้องจะช่วยเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติและ การกระจายแสงไปในพื้นที่ของห้องได้สม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น



(ก) การกระจายความสว่างของช่องแสงพื้นฐาน (ข) การกระจายความสว่างของช่องแสง Skylight

(ค) การกระจายความสว่างของช่องแสง Monitor (ง) การกระจายความสว่างของช่องแสง Sawtooth

ภาพที่ 7 แสดงการกระจายแสงธรรมชาติจากช่องแสงประเภทต่างๆ บนพื้นที่โซนแสงธรรมชาติ (18x18 เมตร) ตัวอย่างแสดงผลการจำลองในวันที่ 21 กันยายน เวลา 12:00 น. (ทิศเหนือขึ้นด้านบนของภาพ)

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ช่องเปิดด้านบนที่มีพื้นที่ในตัวอย่าง แสดงให้เห็นปริมาณแสงธรรมชาติที่แตกต่างกันที่ได้จากรูปแบบช่องเปิดด้านบนต่างๆ ที่มีความเป็นไปได้ การประเมินปริมาณแสงธรรมชาติที่ได้อาจใช้สมการประเมินอย่างง่ายที่แสดงในงานศึกษานี้ ข้อจำกัดของการประเมิน ได้แก่ รูปแบบอย่างง่ายในตัวอย่างที่แสดงไม่ได้คำนึงถึงการป้องกันความร้อนด้วยการเพิ่มชายคาป้องกันแสงแดด และรับเฉพาะแสงจากท้องฟ้าตามหลักการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร รวมถึงไม่ได้รวมการศึกษาคุณสมบัติของกระจกหากมีการนำมาใช้จริง แต่สามารถนำไปใช้เบื้องต้นเพื่อแสดงปริมาณแสงธรรมชาติที่จะได้รับในอาคาร และเมื่อได้แนวทางจะสามารถศึกษาด้วยวิธีการอื่นๆประกอบ การเปรียบเทียบด้วยการสร้างหุ่นจำลองเพื่อเทียบผลที่ได้ หรือการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะให้ข้อมูลละเอียดเฉพาะโครงการต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Egan, M. D., & Olgyay, V. (2002). **Architectural Lighting.** (2nd ed.). Boston: McGraw Hill.

[2] Chirarattananon, S., & Limmechokchai, B. (1996). **Daylight potential in Thailand.** Energy Sources, 18, 875-883.

[3] ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2549, 27-29 กรกฎาคม 2549). **กฎอย่างง่ายและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาระดับความส่องสว่างจากหน้าต่าง.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.

[4] ศิวดล อุปพงษ์, & ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2556). **การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง.** วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 12, 78-85.

[5] วัชรินทร์ วิมานจตุรงค์, & ธาริณี รามสูต. (2559). **การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง.** การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 3, โรงแรม เซ็นทารา คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ ขอนแก่น.

[6] Chaiyakul, Y. (2013). **Daylighting in building through a vertical light pipe in Thailand.** TSkylight basecase he Lux Pacifica 2013, Bangkok.

[7] Chirarattananon, S., Chedsiri, S., & Renshen, K. (2000). **Daylighting through light pipes in the tropics.** Solar Energy, 69(4), 331-341.

[8] Lechner, N. (1991). **Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects.** New York: John Wiley & Sons.

[9] Stein, B., & Reynolds, J. S. (2000). **Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.** (9th ed.). New York: John Wiley & Sons.

[10] DIALux. (2018). **DIALux (Version Version 4.13): DIALux.** Retrieved from http://www.dial.de

[11] พงศักดิ์ จงหมายกลาง, & ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2558). **การให้แสงสว่างในอาคารโฮมสโตร์ในปัจจุบัน.** วารสารวิชาการโฮมภูมิ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2, 193-212.

[12] TIEA. (2003**). TIEA-GD003(WD): TIEA Guide of Recommended Interior Illumination level.** Bangkok: TIEA.