

# ประสิทธิภาพด้านพลังงานและแสงสว่างธรรมชาติของแผ่นหลังคาโปร่งแสงแอโรเจลใน อาคารคลังสินค้าตามเกณฑ์ sDA

## Energy Daylight Efficiency of Aerogel Skylights in Warehouses Building according to Spatial Daylight Autonomy (sDA)

|              |            |
|--------------|------------|
| รับบทความ    | 02/10/2566 |
| แก้ไขบทความ  | 16/02/2567 |
| บอกรับบทความ | 20/02/2567 |

เบญจพร พงษ์กลาง อรรถน ศรีษะฐบุตร สริน พินิจ

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Benjaporn Phongklang, Atch Sreshtaputra, Sarin Pinich

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

Frankman.p@gmail.com, Atch111@yahoo.com, Sarinpinich@gmail.com

### บทคัดย่อ

การใช้พลังงานแสงสว่างจากการส่องสว่างสำหรับการปฏิบัติงานในคลังสินค้าเป็นปัญหาหนึ่งของการใช้พลังงานในอาคารคลังสินค้า ประกอบกับการออกแบบคลังสินค้าในปัจจุบันยังมีการใช้ประสิทธิภาพจากแสงธรรมชาติได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติในตอนกลางวันที่ส่องผ่านจากแผ่นโปร่งแสงด้านบนหลังคาจะทำให้เกิดความร้อนภายในอาคารและส่งผลกระทบกับการใช้พลังงานทำความเย็นที่สูงขึ้นในกรณีที่อาคารคลังสินค้าควบคุมอุณหภูมิ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอาคารคลังสินค้าขนาด 23,200 ตารางเมตรความสูง 10.00 ม. เป็นกรณีศึกษา โดยนำเสนอแนวทางการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์และเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานทำความเย็นภายในคลังสินค้าและประเมินผลด้วยการใช้ข้อกำหนดของค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ตามเกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยใช้โปรแกรม DesignBuilder ช่วยจำลองผลซึ่งมีตัวแปรคือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) ค่าปริมาณแสงส่องผ่าน Visible Light Transmission (VLT) อัตราส่วนพื้นที่หลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา Skylight Area Ratio (SRR) และค่าการส่งถ่ายความร้อนจากรังสีอาทิตย์ Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)

จากการศึกษาพบว่า อาคารคลังสินค้าที่ใช้แผ่นโปร่งแสงแอโรเจล สามารถช่วยให้ผ่านเกณฑ์ sDA 55% ได้จะต้องใช้พื้นที่ SRR ที่ไม่ต่ำกว่า 5% แผ่นโปร่งแสงโพลีเอสเตอร์ที่นิยมใช้ทั่วไปนั้นจะต้องใช้พื้นที่ SRR ที่ไม่ต่ำกว่า 25% จึงจะสามารถผ่านเกณฑ์ sDA 55% ได้ โดยจะเห็นว่า การใช้สัดส่วนพื้นที่หลังคาที่อยู่ระหว่าง 5%-15% นั้นส่งผลด้านการรับแสงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ในส่วนของการใช้พลังงานรมนั้นการใช้แผ่นโปร่งแสงแอโรเจลสามารถช่วยลดพลังงานรวมได้ 19% ต่อปี อย่างไรก็ตามการใช้แสงโปร่งแสงเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์นั้นสามารถช่วยลดลงได้เพียง 3% ต่อปี ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้แผ่นโปร่งแสงแต่ละประเภทด้วย ทั้งนี้การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาตินั้นจะต้องขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละวันรวมถึงรูปแบบประเภทอาคารด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติให้เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภทได้

**คำสำคัญ:** แสงธรรมชาติ แผ่นโปร่งแสงหลังคา แผ่นโปร่งแสงแอโรเจล คลังสินค้า สัดส่วนพื้นที่หลังคา

## Abstract

The use of lighting energy for warehouse operations is one of the problems of energy use in warehouse buildings. Current warehouse designs still do not fully utilize the efficiency of natural light. This is because the use of natural light during the day that shines through the translucent panels on the roof will create heat inside the building and affect the higher cooling energy usage in the case of a temperature-controlled warehouse building.

This research studied a warehouse building with a size of 23,200 square meters and a height of 10.00 m as a case study. It presents design guidelines to increase the efficiency of bringing in natural light to reduce the use of electrical energy, lighting and cooling energy within the warehouse. and evaluate with Definition Spatial Daylight Autonomy (SDA) according to LEED V4 criteria, Daylight topic, using the Design Builder program to help simulate the results, which has the variables: U-Value, Visible light transmittance (VLT), Skylight roof ratio (SRR), and Solar Heat Gain Coefficient (SHGC).

The the study it was found that Warehouse building that uses air gel sheets (Paneri et al., 2019) can help pass the 55% sDA criteria must use an SRR area that is not less than 5%. Transparent fiberglass sheets that are commonly used must use an SRR area that is not Less than 25% will be able to pass the 55% sDA criteria. It can be seen that using the roof area proportion between 5%-15% has a clearly different effect on light reception. In terms of total energy use, using translucent airgel sheets can help reduce total energy by 19% per year. However, using translucent light to help save electricity and artificial lighting can help reduce it by only 3% per year. Therefore, consideration must be given to the appropriateness of choosing each type of translucent sheet. However, taking advantage of natural light must depend on the daily environment as well as the type of building. This will create efficiency in using natural light to suit each type of building.

**Keywords:** *daylighting, skylight, aerogel skylight, warehouse, SRR*

## บทนำ

ปัจจุบันอาคารคลังสินค้าได้รับแสงธรรมชาติผ่านแผ่นโปร่งแสงหลังคาของอาคาร ทำให้เกิดความร้อนภายในอาคารรวมถึงอุณหภูมิภายในอาคารที่สูงขึ้นส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมในอาคารและบางกรณีกระทบกับสินค้าที่เก็บในคลัง จึงทำให้เกิดการใช้พลังงานทำความเย็นที่สูงขึ้น รวมถึงระบบส่องสว่างจากการปฏิบัติงานในคลังสินค้าในเวลากลางวันนั้นทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานรวมเพิ่มมากขึ้น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทดแทนแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานด้านแสงสว่างรวมถึงการใช้ช่องแสงด้านบนยังเป็นการนำและกระจายแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรหม, 2563) แต่ในขณะเดียวกันหากเปิดรับแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารมากเกินไปก็ส่งผลกระทบต่อพลังงานความเย็นที่จะต้องสูญเสียมากขึ้นด้วย จึงได้มีการนำแอร์เจลมาประยุกต์ใช้กับแผ่นโปร่งแสงเนื่องจากมีคุณสมบัติป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีและลดการใช้พลังงานความเย็นในอาคารได้โดยสามารถลดพลังงานทำความเย็นในอาคารได้ถึง 4% (Huang & Niu, 2015)

งานวิจัยนี้ได้นำเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) ของ LEED V4 มาเป็นแนวทางโดยการใช้ข้อกำหนดในการออกแบบเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารตามเกณฑ์ประเมินอาคารเขียว (LEED) เนื่องจากการพัฒนาอาคารคลังสินค้าในปัจจุบันมีผู้ประกอบการคลังสินค้าบางส่วนต้องการปรับเปลี่ยนรูปแบบมาเป็นคลังสินค้าสมัยใหม่มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มลูกค้าสมัยใหม่ นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงอาคารให้ได้มาตรฐาน (อาทิ มาตรฐาน LEED: Leadership in Energy and Environmental Design) และมีการลงทุนพัฒนาระบบอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (ปิยะนุช สถาพงศ์ภักดี, 2565) โดยทั้งนี้ได้นำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารคลังสินค้าเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานด้านแสงสว่างโดยจะเปิดเพิ่มพื้นที่หลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา (SRR) ทุก 5% ของแผ่นโปร่งแสงหลังคา 2 ชนิดคือ 1) แผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่นิยมใช้ในโครงการปัจจุบัน (เจ้าหน้าที่พัฒนาโครงการ, การสื่อสารส่วนบุคคล, 18 มกราคม 2566) 2) แผ่นโปร่งแสงแอร์เจล (Paneri et al., 2019) เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมและสามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ในคลังสินค้า

การใช้ข้อกำหนดของค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) ในการประเมินผลดังกล่าวคาดว่าจะจะเป็นแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์จากการเพิ่มพื้นที่รับแสงธรรมชาติจากแผ่นโปร่งแสงหลังคา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษถึงการนำแสงธรรมชาติผ่านทางแผ่นโปร่งแสงหลังคาโดยการใช้พื้นที่ SRR คำนวณหาแนวทางที่สามารถใช้แสงธรรมชาติเข้ามาสู่ในอาคารคลังสินค้า โดยใช้ค่าจำกัดความของค่า sDA โดยจะนำผลมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานทำความเย็นในอาคารในกรณีอาคารคลังสินค้านั้นต้องการควบคุมอุณหภูมิตามความต้องการของผู้ประกอบการที่เลือกใช้ โดยทั้งนี้ หากมีแนวทางที่ช่วยให้ประหยัดพลังงานด้านแสงประดิษฐ์และสามารถผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน จะสามารถนำไปเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการเลือกใช้เป็นตัวเลือกในการออกแบบด้านแสงสว่างธรรมชาติประกอบกับอาคารคลังสินค้าได้

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการใช้แสงธรรมชาติ พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์และพลังงานทำความเย็นโดยการใช้อัตราส่วนพื้นที่ช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด (SRR) ของอาคารคลังสินค้าที่ใช้แผ่นโปร่งแสงหลังคา 2 ชนิดคือ แผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่นิยมใช้ทั่วไป และแผ่นโปร่งแสงแอร์เจลโดยประเมินจากข้อกำหนดของเกณฑ์กำหนดสัดส่วนของพื้นที่ที่จะต้องได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี (sDA)

## การประเมินคุณภาพแสงสว่างโดยใช้ เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA)

การพัฒนาอาคารคลังสินค้าในปัจจุบันมีผู้ประกอบการคลังสินค้าบางส่วนต้องการปรับเปลี่ยนรูปแบบมาเป็นคลังสินค้าสมัยใหม่มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มลูกค้าสมัยใหม่ โดยเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียวที่นิยมใช้คือ มาตรฐาน LEED โดยทั้งนี้มียกข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการประเมินคุณภาพแสงสว่างในหัวข้อ Daylight โดยมีรายละเอียดในหัวข้อทางเลือกที่ 1 ดังนี้

ทางเลือกที่ 1 จำลองแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) คือ อัตราส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพออย่างน้อย 55% ของพื้นที่การใช้งาน โดยใช้ความสว่างขั้นต่ำตามมาตรฐานความเข้มแสงสว่างของอาคารสำนักงาน 300 ลักซ์ 50% ของระยะเวลาการใช้งานทั้งหมดต่อปี และ Annual Sunlight Exposure (ASE) คืออัตราส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงต่อปี ซึ่งกำหนดให้พื้นที่ไม่เกิน 10% ของพื้นที่ใช้งานประจำ และสามารถมีความสว่างเกิน 1000 ลักซ์ได้แต่ต้องไม่เกิน 250 ชั่วโมงต่อปี (U.S. Green Building Council [USGBC], 2021) โดยระดับคะแนนที่ได้จากการจำลองคุณภาพแสงสว่างโดยใช้เกณฑ์ ในหัวข้อทางเลือกที่ 1 มีดังนี้

โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเพียงค่าจำกัดความในเรื่องของข้อกำหนดของเกณฑ์ sDA เข้ามาใช้ประเมินเพื่อหาเพียงสัดส่วนของพื้นที่การใช้งานที่ได้รับแสงธรรมชาติเนื่องจากเป็นอาคารคลังสินค้าที่จะแยกส่วนออกมาจากอาคารสำนักงาน จึงคิดพื้นที่การใช้งานในส่วนนี้เป็นของอาคารคลังสินค้า และใช้ข้อกำหนดของ sDA เพื่อประเมินผลในส่วนพื้นที่ใช้งานอาคารคลังสินค้าทั้งหมด

ตาราง 1 ตารางสรุปเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้รับจากการจำลองอาคารจากอัตราส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยใช้เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA)

| คะแนนที่ได้รับจากการจำลองอาคารจากอัตราส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยใช้ข้อกำหนด เกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) |                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| อัตราส่วนของพื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอต่อปี                                                                                 | คะแนนที่ได้รับ (คะแนน) |
| 55%                                                                                                                                   | 2                      |
| 75%                                                                                                                                   | 3                      |

โดย ผู้วิจัย

การลดการใช้พลังงานในอาคารจากแสงประดิษฐ์โดยเกณฑ์ sDA เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของแสงนั้น สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การออกแบบเปลือกอาคารและแผงบังแดดที่ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารโดยการหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นปริมาณที่น้อย สามารถทำให้แสงผ่านเกณฑ์ได้โดยไม่ต้องติดตั้งที่บังแดด (รุจเรง อินทรเนตร, 2558) การเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารด้วยการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงจากองศาฝ้าเพดานที่สูงขึ้นช่วยในการเพิ่มแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคารได้มากขึ้น และการมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังมากขึ้นส่งผลให้ค่า sDA เพิ่มขึ้นและทำให้แสงส่องเข้ามาในอาคารมากขึ้น (ศิริวิทย์ รังควิลิต และอรรรจน์ เศรษฐบุตร, 2562)

การศึกษางานวิจัยของทรงพล อัคราการ (2563) เป็นตัวอย่างในรูปแบบทางกายภาพเกี่ยวกับคุณภาพของแสงสว่าง ได้แก่ ลักษณะช่องเปิดรับแสงธรรมชาติ สัดส่วนช่องโถง และองค์ประกอบภายในของห้องโถง จากการประเมินแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในโถงโดยการจำลองในคอมพิวเตอร์โดยพบว่า ช่องแสงหลังคาส่งผลต่อแสงสว่างภายในมากที่สุด และแสงในระนาบแนวตั้งช่วยให้ได้ผลที่

สมจริง โดยการจำลองแสงในรอบปีช่วยให้เห็นผลกระทบจากแสงตลอดทั้งปีจากการใช้เกณฑ์ sDA เป็นตัววัดคุณภาพของแสงที่เข้ามาในอาคาร

### แนวทางการลดใช้พลังงานในอาคารคลังสินค้า

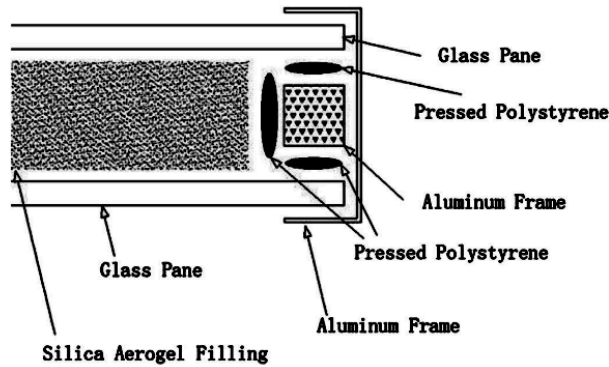
เนื่องจากปัญหาหนึ่งของการใช้พลังงานในอาคารคลังสินค้าคือ การใช้พลังงานแสงสว่างจากการส่องสว่างสำหรับการปฏิบัติงานในคลังสินค้า ทำให้มีการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร คือการเพิ่มแสงสว่างธรรมชาติให้อาคารคลังสินค้า โดยการใช้หลังคา skylight ที่กระจายแสงจากดวงอาทิตย์ให้ส่องสว่างสู่ภายในอาคารโรงงานและคลังสินค้าในระดับที่เพียงพอและทั่วถึง ปัจจุบันการใช้แสงธรรมชาติเข้ามาช่วยในการลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างนั้นยังพบปัญหาการเลือกใช้วัสดุแผ่นหลังคาโปร่งแสง ซึ่งเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณแผ่นโปร่งแสงที่มากเกินไปก็จะเกิดความร้อนสูง และบางกรณีทำความเสียหายให้แก่สินค้าในคลังสินค้าได้ (เจ้าหน้าที่พัฒนาโครงการ, การสื่อสารส่วนบุคคล, 16 มกราคม 2566)

ปัจจุบันอาคารคลังสินค้าได้มีการพัฒนาและเกิดการเปลี่ยนแปลงมาจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของผู้บริโภคทำให้เกิดแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารโรงงานและคลังสินค้าคือ 1) ใช้ประโยชน์ของพื้นที่อย่างคุ้มค่าซึ่งคลังสินค้าและโรงงานในปัจจุบันควรมีความสูงของอาคารที่ 8 เมตรขึ้นไป เนื่องจากการจัดเก็บสินค้าไม่ถึงระดับที่เหมาะสมอาจทำให้สูญเสียพื้นที่ในการจัดเก็บได้ 2) ใช้ไฟ LED และเปิดปิดไฟด้วยระบบเซนเซอร์ด้วยการติดตั้งระบบไฟให้ปิดหากมีปริมาณแสงธรรมชาติที่เพียงพอในปริมาณที่กำหนด 3) แสงจากธรรมชาติจากทางช่องแสงด้านบน 4) ปิดประตูให้มิดชิดหรือติดตั้งม่านอุตสาหกรรมที่ทางเข้าออกเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารและเพื่อลดพลังงานการทำความเย็น 5) ติดตั้งฉนวนกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (Alexsander, 2019)

### แนวคิดเกี่ยวกับการใช้วัสดุชนิดแอโรเจลเพื่อการประยุกต์ใช้งาน

แอโรเจล (Aerogel) ได้รับการบันทึกใน Guinness Book ว่า เป็นวัสดุของแข็งที่เบาและเป็นฉนวนที่ดีที่สุดในโลก ได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Steven S. Kistler แห่ง College of the Pacific in Stockton เนื่องจากแอโรเจลประกอบด้วยอากาศ ถึง 90 - 99.8% มีความหนาแน่น 3-150 mg/cm<sup>3</sup> ทั้งนี้ ได้ถูกนำไปใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น ซิลิกาแอโรเจลที่โปร่งแสง สามารถประยุกต์ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของหน้าต่าง และเนื่องจากแอโรเจลมีพื้นที่ผิวสูงจึงถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในทางปฏิบัติสามารถเพิ่มสมบัติของแอโรเจลได้โดยเติมสารผสมในกระบวนการทำแอโรเจล เช่น การเติมเส้นใยเสริมแรงลงในแอโรเจล เพื่อปรับปรุงสมบัติเดิมของแอโรเจลที่เปราะให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น (นาโนเทค, 2554)

การศึกษางานวิจัยของ Huang and Niu (2015) เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นตัวอย่างการจำลองอาคารในสภาพอากาศกึ่งเขตร้อนชื้น เช่น ฮองกง ด้วยการใช้อิฐแอโรเจลในกระจกเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารและสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับการลดการใช้พลังงานความเย็นในอาคารได้ถึง 4% ต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้กระจกซิลิกาแอโรเจลจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากอาคารนั้นใช้พลังงานความเย็นลดน้อยลง



ภาพ 1 แสดงการใช้แอโรเจลระหว่างกระจก

ที่มา: จาก Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system, in commercial buildings of Hong Kong โดย Yu Huang & Jian-Lei Niu, 2015. Construction and Building Materials, 94, หน้า 57-72. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181530009X>)

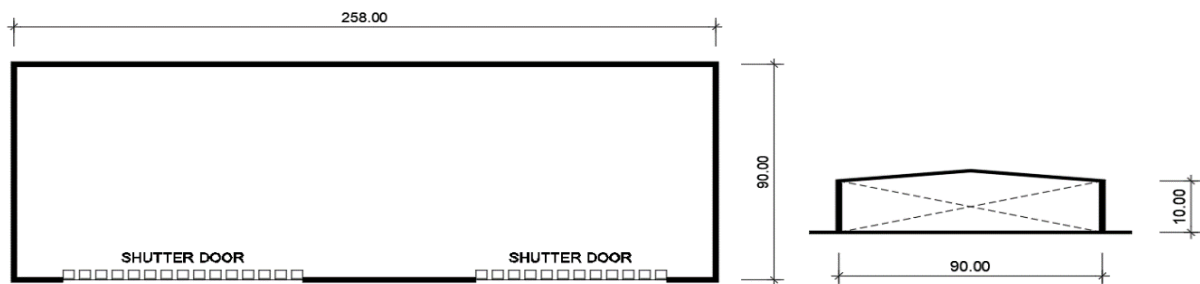
การศึกษางานวิจัยของ Paneri et al. (2019) ได้รวบรวมงานวิจัยและวัสดุจากผู้ผลิตที่เกี่ยวข้องกับวัสดุโปร่งแสงที่สามารถเป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า มีการใช้แอโรเจลเป็นส่วนประกอบของการผลิตวัสดุและฉนวนกันความร้อน จึงทำให้เกิดวัสดุโปร่งแสงที่มีประสิทธิภาพซึ่งสามารถให้ค่า U-Value ต่ำถึง  $0.25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ดังนั้นจากคุณสมบัตินี้จึงมีการพัฒนาใช้แอโรเจลร่วมกับวัสดุหลังคาชนิดอื่น ๆ เช่น การใช้ร่วมกับโพลีคาร์บอเนต กระจก อะลูมิเนียม เป็นต้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานในองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับลักษณะอาคารแต่ละประเภท

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการนำเกณฑ์ sDA มาใช้ในการประเมินผลแสงธรรมชาติในประเทศไทยสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน แต่ในส่วนของการประเมินผลแสงธรรมชาติที่สามารถประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติได้เนื่องจากการเปิดช่องเปิดทางหลังคา ยังไม่มี โดยจึงได้ทำการศึกษาแนวทางการลดพลังงานรวมในอาคารคลังสินค้า โดยการใช้แสงธรรมชาติจากทางช่องแสงด้านบน เนื่องจากเป็นวิธีที่คาดว่าจะสามารถนำมาเป็นแนวทางได้โดยการเพิ่มปริมาณช่องแสงด้านบนหลังคาจึงได้นำประเด็นดังกล่าวมาเป็นแนวทางการลดพลังงานรวมของคลังสินค้าจากพลังงานแสงประดิษฐ์ ด้วยการใช้แผ่นโปร่งแสงแอโรเจลซึ่งเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงด้านการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร และยังสามารถให้แสงผ่านได้ในปริมาณที่มากกว่าแผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมโดยใช้เกณฑ์ sDA เป็นตัวชี้วัดในการประเมินสำหรับงานวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการพัฒนาอาคารคลังสินค้าตามเกณฑ์ประเมินอาคารเขียว (LEED) ซึ่งเป็นที่นิยมสำหรับผู้ประกอบการคลังสินค้าในปัจจุบัน

## วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารคลังสินค้า โดยการลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ ด้วยการหาแนวทางที่เหมาะสมกับการออกแบบคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากการได้รับแสงสว่างธรรมชาติ และประเมินผลโดยใช้ข้อกำหนดของค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) เกณฑ์ LEED V4 หัวข้อ Daylight โดยมีระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

งานวิจัยนี้สร้างแบบอาคารจากกรณีศึกษา อาคารคลังสินค้า W16 พื้นที่ 23,200 ตารางเมตรความสูงที่ 10.00 ม.ของโครงการ TPARK เนื่องจากเป็นรูปแบบอาคารที่นิยมสร้างในพื้นที่โครงการและสามารถพัฒนาใช้ในโครงการในอนาคต ผนังอาคารโครงสร้างเหล็กกรุด้วยวัสดุเมทัลชีส รวมถึงระบบหลังคาโครงสร้างเหล็กมุงด้วยเมทัลชีสเนื่องจากส่งผลดีด้านการก่อสร้างที่รวดเร็วด้วยระบบ PEB (Pre-Engineered Building) อ้างอิงใช้ระบบปรับอากาศแบบ HVAC ในกรณีอาคารคลังสินค้าต้องการปรับอากาศ (เจ้าหน้าที่พัฒนาโครงการ, การสื่อสารส่วนบุคคล, 28 มกราคม 2566) จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม DesignBuilder ช่วงเวลาที่ศึกษาคือ 8.00 - 18.00 น. รวม 10 ชั่วโมงต่อวัน รวม 365 วัน ทั้งหมด 3,650 ชั่วโมง โดยใช้ทิศทางของอาคารไปทางทิศเหนือตามที่โปรแกรมตั้งค่าไว้เนื่องจากเป็นการจำลองด้านการรับแสงธรรมชาติผ่านแผ่นโปร่งแสงด้านหลังคาเพียงอย่างเดียว



ภาพ 2 ผังพื้นที่และรูปตัดที่จะทำการศึกษา

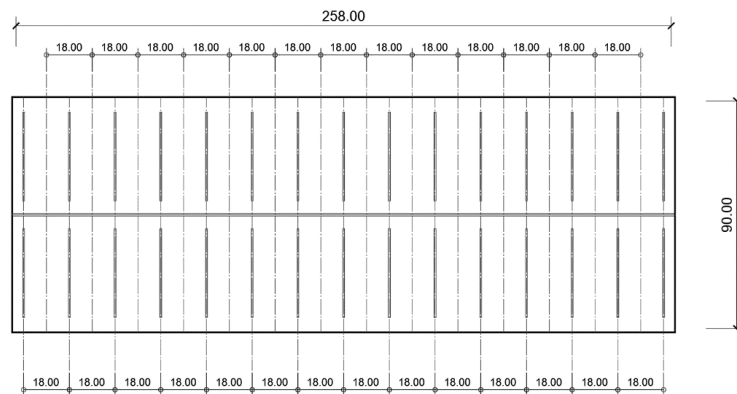
กำหนดตัวแปรและค่าที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม DesignBuilder ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 2 สรุปตัวแปรที่ใช้การวิจัยในการจำลองอาคารคลังสินค้ากรณีศึกษา

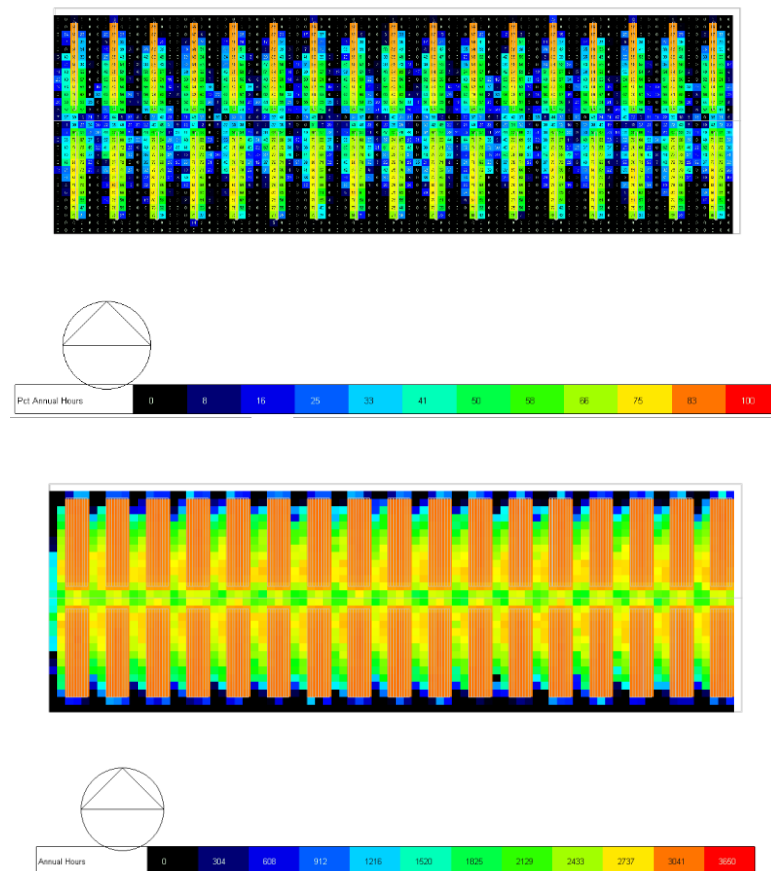
| แผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในโครงการปัจจุบัน                                  |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม<br>(U-Value) $\text{m}^2 \cdot \text{K}$    | 5.291 |
| ค่าการนำความร้อน<br>(Thermal Conductivity; K value) $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ | 0.47  |
| ค่าปริมาณแสงส่องผ่าน<br>Visible Light Transmission (VLT) %                      | 54%   |
| ค่าการส่งถ่ายความร้อนจากรังสีอาทิตย์<br>Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) %    | 47%   |
| แผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่ใช้แอโรเจล                                            |       |
| ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม<br>(U-Value) $\text{m}^2 \cdot \text{K}$    | 0.56  |
| ค่าการนำความร้อน<br>(Thermal Conductivity; K value) $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ | 0.23  |
| ค่าปริมาณแสงส่องผ่าน<br>Visible Light Transmission (VLT) %                      | 90%   |
| ค่าการส่งถ่ายความร้อนจากรังสีอาทิตย์<br>Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) %    | 23%   |

โดย ผู้วิจัย

จำลองการรับแสงธรรมชาติของอาคารอ้างอิงคลังสินค้า โดยติดตั้งแผ่นโปร่งแสงบริเวณกึ่งกลางช่วงเสาโดยอ้างอิงจากแบบก่อสร้างของอาคารกรณีศึกษา โดยเริ่มที่ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% โดยใช้ข้อมูลของตัวแปรที่ใช้การวิจัยตามตาราง 2 โดยทั้งนี้ ในส่วนของทิศทางการรับแสงผ่านทางหลังคาไม่ได้มีผลต่อการตั้งอาคารในทิศอื่น ๆ ใช้ไฟล์สภาพอากาศ THA\_BANGKOK\_IWEC รวมถึงการติดตั้ง SENSOR การลดแสงประดิษฐ์หากมีแสงธรรมชาติเข้ามาตามเกณฑ์มาตรฐานความเข้มแสงสว่างของอาคารคลังสินค้าที่ 200 ลักซ์



ภาพ 3 แสดงผังหลังคาโดยการติดตั้งแผ่นโปร่งแสงบริเวณกึ่งกลางช่วงเสาโดยอ้างอิงจากแบบก่อสร้างของอาคารกรณีศึกษา ที่โดยเริ่มที่ SRR 5% โดย ผู้วิจัย

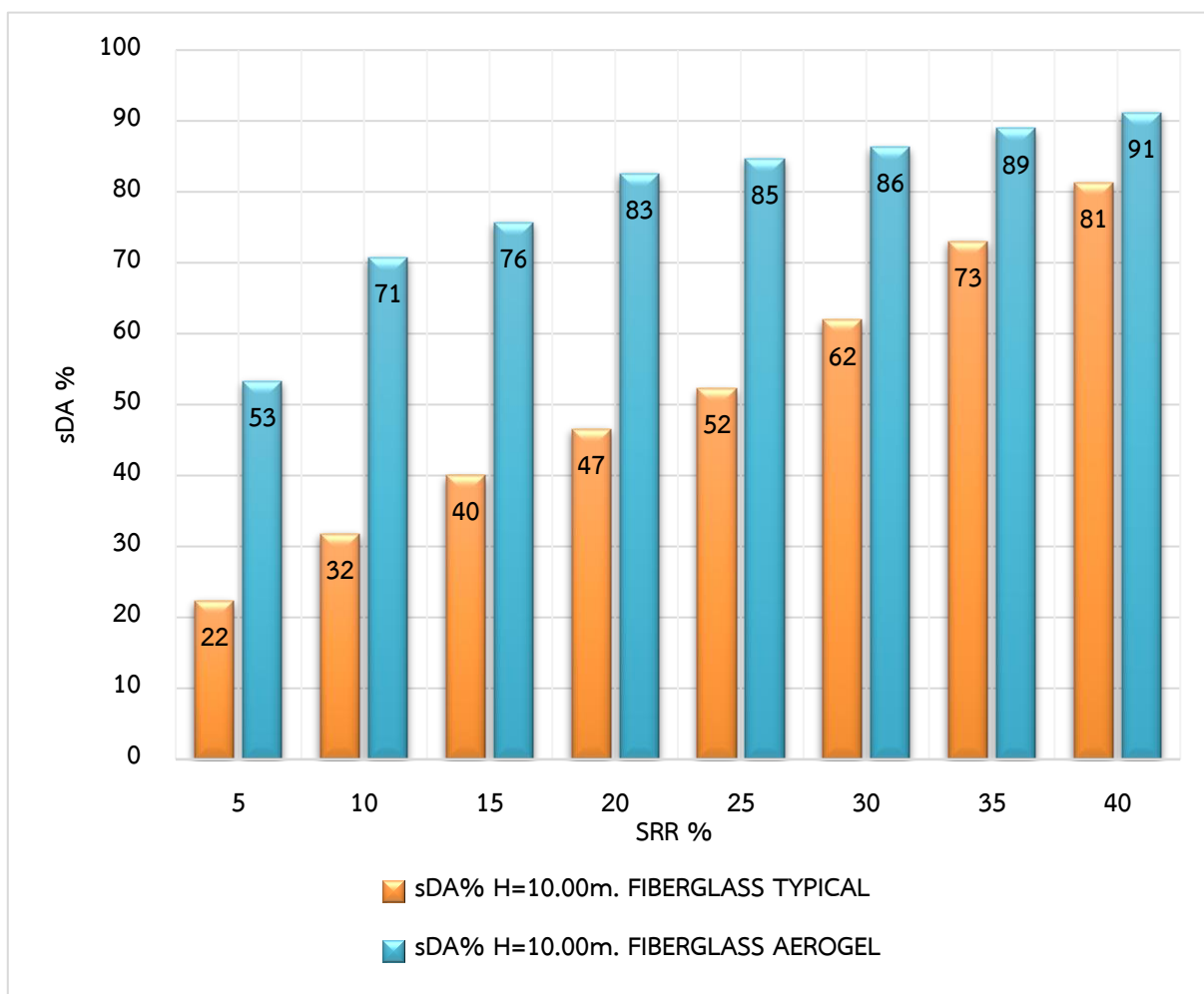


ภาพ 4 ภาพจำลองจากโปรแกรม DesignBuilder โดย ผู้วิจัย

วิเคราะห์และประเมินผลการจำลองแสงธรรมชาติและพลังงานในอาคารโดยใช้ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) โดยการปรับ SRR แผ่นโปร่งแสงทั้ง 2 ชนิด

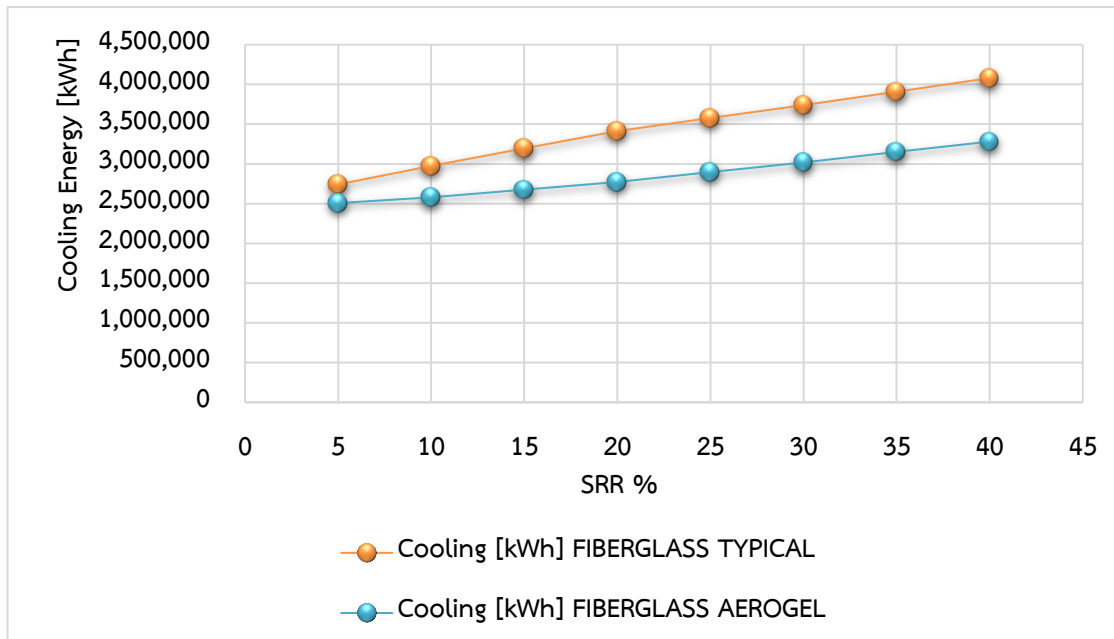
## ผลการศึกษา

จากผลการจำลองแสงธรรมชาติ อาคารคลังสินค้าพื้นที่ 23,200 ตารางเมตร ความสูง 10.00 ม. พบว่า แผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสทำการประเมินผลโดยใช้ค่า Spatial Daylight Autonomy (sDA) จะต้องใช้พื้นที่ SRR โดยไม่ต่ำกว่า 25% ถึงจะได้พื้นที่ที่ sDA สำหรับพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำของอาคารคลังสินค้าที่ 55% แต่แผ่นโปร่งแสงแอโรเจลสามารถใช้พื้นที่ SRR ที่มากกว่า 5% โดยไม่ต้องถึง 10% จะสามารถได้พื้นที่ที่ sDA ที่ 55% จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของพื้นที่รับแสงธรรมชาตินั้น หากใช้พื้นที่ SRR ที่เท่ากัน สัดส่วนของแผ่นโปร่งแสงแอโรเจลจะมีปริมาณการรับแสงได้มากกว่าแผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่ใช้ทั่วไปถึง 37%

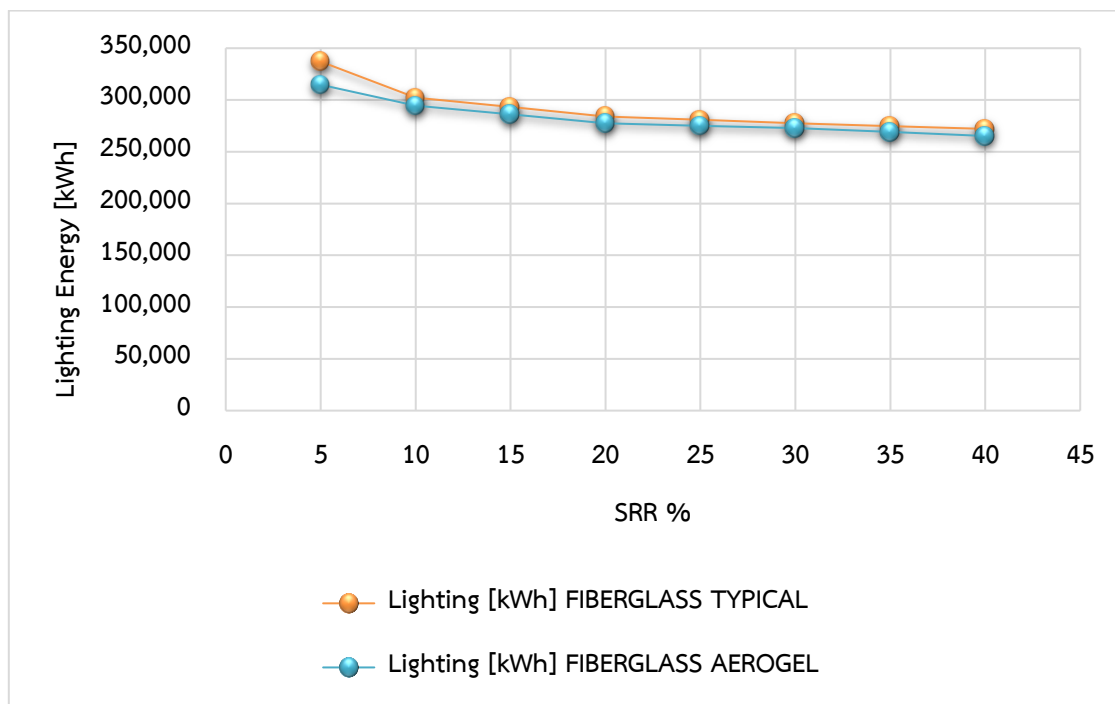


แผนภูมิ 1 เปรียบเทียบแผ่นโปร่งแสงทั้ง 2 ชนิดตามขนาดพื้นที่ SRR ที่ผ่านเกณฑ์ sDA

ผลการใช้พลังงานทำความเย็นในอาคารในกรณีอาคารคลังสินค้านั้นต้องการควบคุมอุณหภูมิตามความต้องการของผู้ประกอบการที่เลือกใช้ จากแผ่นโปร่งแสงทั้ง 2 ชนิดนั้นแผ่นโปร่งแสงชนิดแอโรเจลจะสามารถช่วยประหยัดได้มากกว่า 20% ต่อปี เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากกว่าแผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในโครงการปัจจุบัน ในขณะที่ใช้สัดส่วนพื้นที่ SRR เท่ากัน ตามแผนภูมิ 2



แผนภูมิ 2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานทำความเย็นระหว่างการใช้แผ่นโปร่งแสงทั้ง 2 ชนิดตามพื้นที่ SRR

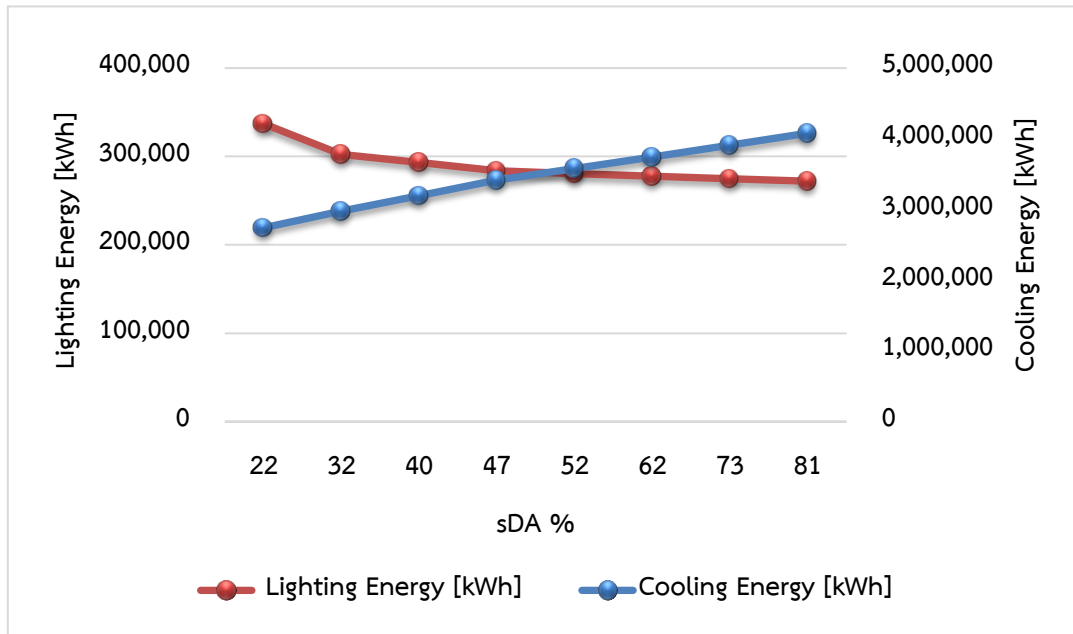


แผนภูมิ 3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างระหว่างการใช้แผ่นโปร่งแสงทั้ง 2 ชนิดตามพื้นที่ SRR

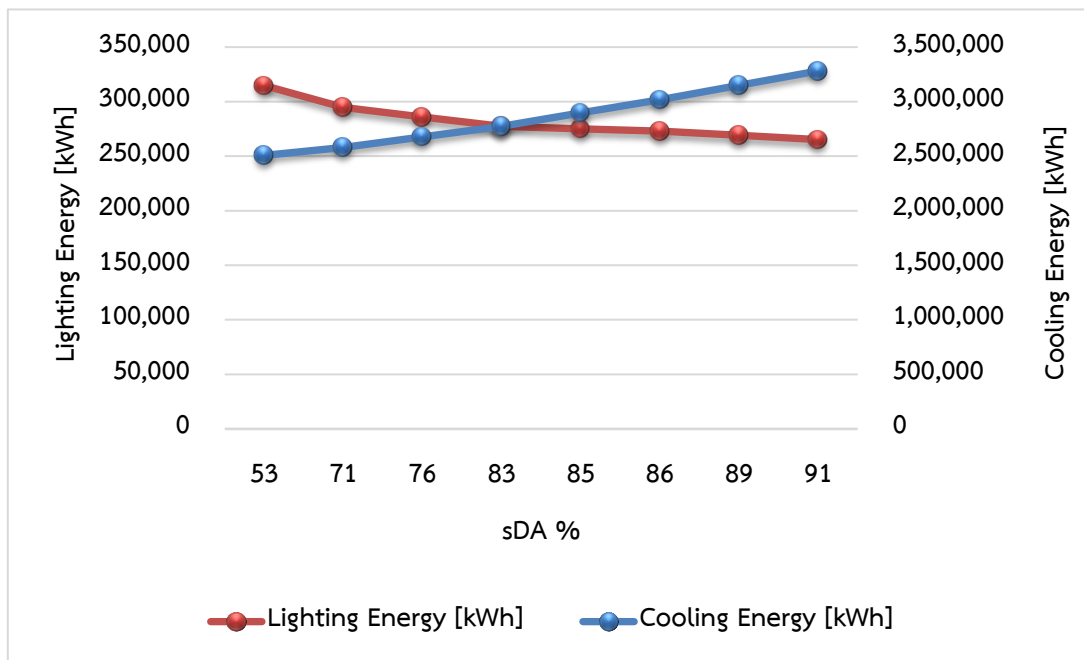
ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ภายในอาคารนั้น จะเห็นว่า มีสัดส่วนที่ไม่ได้แตกต่างกันมากนักแต่อย่างไรก็ตามแผ่นโปร่งแสงแอรเจลยังคงใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในโครงการปัจจุบัน 3 % ตามแผนภูมิที่ 3

## สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

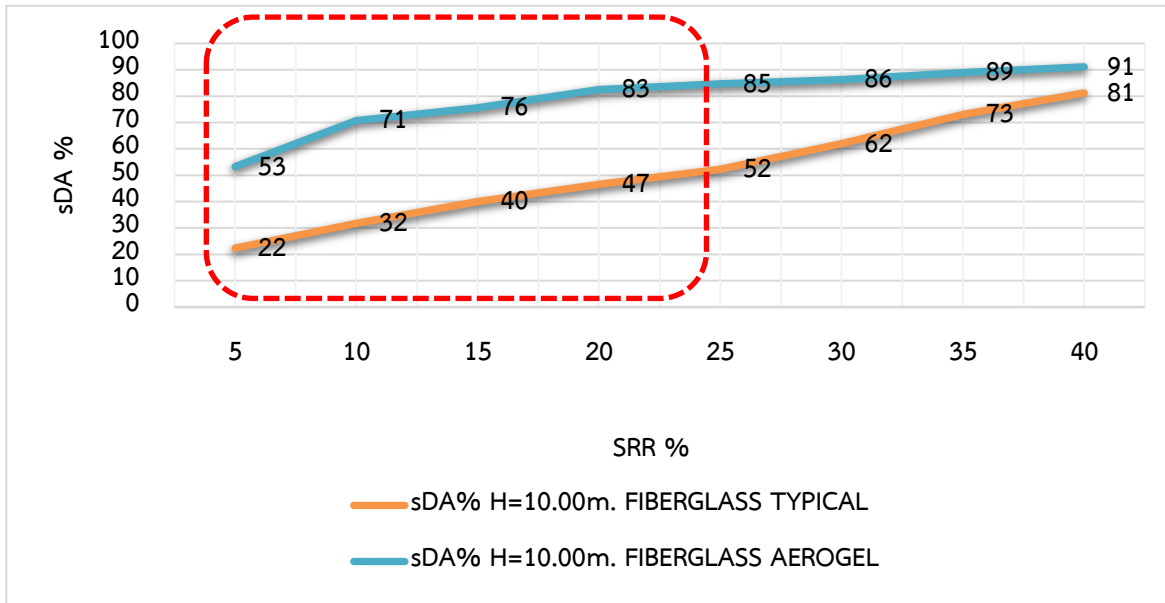
จากการศึกษาเปรียบเทียบพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของแผ่นโปร่งแสงทั้ง 2 ชนิดของอาคารคลังสินค้า ขนาด 23,200 ตารางเมตร ความสูง 10.00 ม.จะเห็นว่า หากใช้แผ่นโปร่งแสงในสัดส่วน SRR ที่มากขึ้นและผ่านเกณฑ์ sDA นั้นการใช้พลังงานทำความเย็นก็จะมากขึ้นตาม แต่ในส่วนของการใช้พลังงานแสงสว่างนั้นจะลดลง ตามแผนภูมิที่ 4 และ 5



แผนภูมิ 4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของแผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่นิยมใช้ทั่วไป

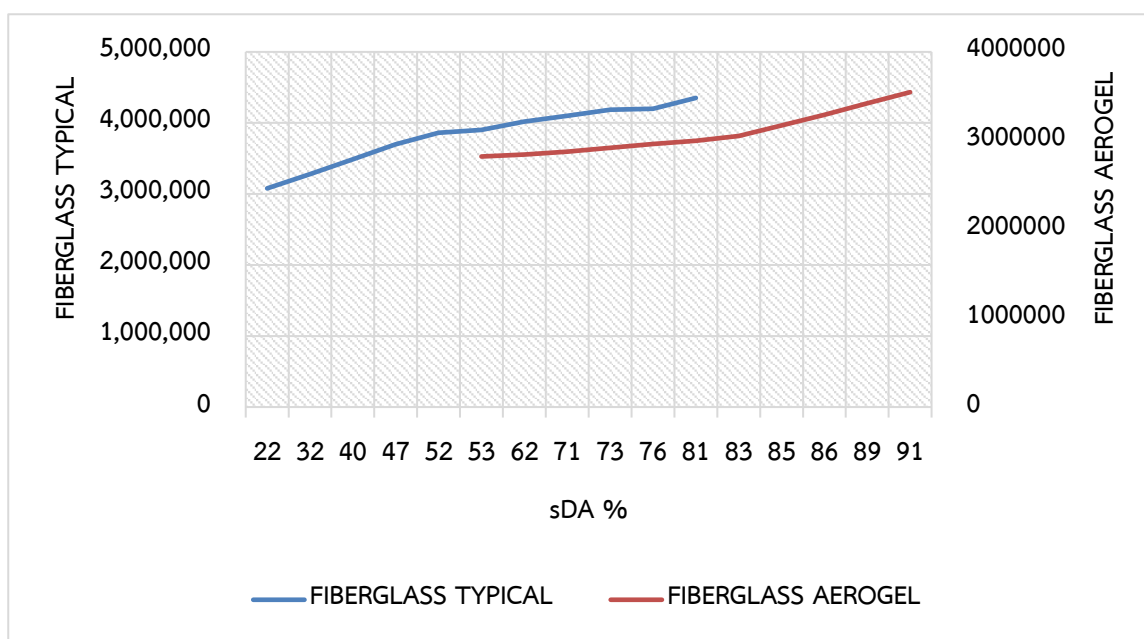


แผนภูมิ 5 เปรียบเทียบการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของแผ่นโปร่งแสงแอโรเจล



แผนภูมิ 6 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของเกณฑ์ sDA เทียบกับสัดส่วนพื้นที่ SRR ของแผ่นโปร่งแสง 2 ชนิด

จากการจำลองแสงธรรมชาติผ่านแผ่นโปร่งแสงหลังคาทั้ง 2 ชนิดนั้นจะเห็นว่า การใช้สัดส่วนพื้นที่หลังคาที่อยู่ระหว่าง 5%-15% นั้นส่งผลด้านการรับแสงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ในส่วนของการรับแสงสว่างธรรมชาติโดยใช้ข้อกำหนดของเกณฑ์ sDA นั้นจะเห็นว่า การเริ่มต้นใช้สัดส่วนพื้นที่ SRR ที่เท่ากันแผ่นโปร่งแสงแอโรเจลจะสามารถเพิ่มพื้นที่ที่รับแสงธรรมชาติได้มากกว่าถึง 58% แต่ในขณะที่หากเพิ่มปริมาณพื้นที่ SRR ตั้งแต่ 20% ขึ้นไปสัดส่วนของพื้นที่ที่รับแสงธรรมชาติจะแตกต่างกันลดลง 38% และหากใช้พื้นที่ในสัดส่วนที่ 35% ขึ้นไป จากแผนภูมิ 6 จะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันลดลงเหลือเพียง 18% ในส่วนของการศึกษาใช้พลังงานรวมในอาคาร คลังสินค้าของแผ่นโปร่งแสงแอโรเจลจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและพลังงานทำความเย็นในอาคารได้มากกว่าแผ่นโปร่งแสงไฟเบอร์กลาสที่โครงการใช้ในปัจจุบันได้ถึง 19% ต่อปี ตามแผนภูมิ 7



แผนภูมิ 7 เปรียบเทียบการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของแผ่นโปร่งแสงแอโรเจล

การวิจัยนี้ได้นำคำจำกัดความของข้อกำหนดเกณฑ์ Spatial Daylight Autonomy (sDA) มาใช้เพื่อเป็นเกณฑ์พิจารณาการรับแสงธรรมชาติผ่านแผ่นโปร่งแสงหลังคาและจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น สำหรับอาคารคลังสินค้าในอนาคตนั้นอาจจะมีเกณฑ์ที่สามารถประยุกต์ใช้เพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุในอนาคตได้ เนื่องจากการพัฒนาอาคารคลังสินค้าในอนาคตที่จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองความต้องการในด้านของการนำเข้า-ส่งออกที่มากขึ้น อาจจะมีเทคโนโลยีเข้ามาประกอบกับการทำวิจัยมากขึ้น รวมถึงการพัฒนาวัสดุในอนาคตที่แตกต่างกัน ในรูปแบบของการเปิดรับแสงสว่างนั้นอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงอาจส่งผลให้การศึกษาที่มีความคลาดเคลื่อนและเปลี่ยนแปลงได้ จึงต้องมีการศึกษาและคำนึงถึงเทคโนโลยีที่จะเข้ามาในอนาคตด้วย

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นโปร่งแสงที่นิยมใช้ในปัจจุบันเท่านั้น รวมถึงการประเมินผลการได้รับแสงธรรมชาติกับอาคารจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น ดังนั้นจะไม่รวมการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในเรื่องการคิดต้นทุนการก่อสร้าง ดังนั้นหากมีการศึกษาเรื่องของความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในระยะยาว อาจจะเป็นแนวทางในการศึกษาร่วมกับวัสดุในอนาคตต่อไป

หมายเหตุ: การสื่อสารส่วนบุคคลระบุเพียงตำแหน่งเท่านั้น เนื่องจากผู้ให้สัมภาษณ์แจ้งว่า ไม่ประสงค์ออกนามในการให้ข้อมูล

## บรรณานุกรม

- ทรงพล อัครากร. (2563). การเปิดรับแสงธรรมชาติในโรงกึ่งเปิดโล่งเพื่อความยั่งยืน : กรณีศึกษา อาคารสถานศึกษาย่านชานเมือง กรุงเทพมหานคร. *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 18(1), 153-169. <https://www.researchgate.net>
- นาโนเทค. (2554). *Aerogel วัสดุของแข็งที่เบาและเป็นฉนวนที่ดีที่สุดในโลก*. <https://www.scimath.org/article-science/item/2117-aerogel>
- ปิยะนุช สถาพงศ์ภักดี. (2565, กุมภาพันธ์). *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2565-2567 : ธุรกิจคลังสินค้า*. วิจัยกรุงศรี. [https://www.krungsri.com/getmedia/023107a0-2e43-4f66-b1b4-d09f5e896070/IO\\_Warehouse\\_220211\\_TH\\_EX.pdf.aspx](https://www.krungsri.com/getmedia/023107a0-2e43-4f66-b1b4-d09f5e896070/IO_Warehouse_220211_TH_EX.pdf.aspx)
- รุจิเรจ อินทรเนตร. (2558). *การออกแบบแผงบังแดดเพื่อให้แสงธรรมชาติและประสิทธิภาพด้านพลังงานในอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว วี4 (LEED v4)* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository. <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/51134>
- ศิริวิชญ์ รังควิลิต. (2561). *การประเมินประสิทธิภาพแสงธรรมชาติและการใช้พลังงาน จากการออกแบบหิ้งสะท้อนแสงในอาคารสำนักงาน ตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว ลีด เวอร์ชัน 4.0* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository. <https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/82747>
- อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ. (2557). ศักยภาพการลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงธรรมชาติตามกฎกระทรวง. *วารสารวิจัยและสารสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 11(2), 37-52. <https://www.researchgate.net>
- อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ. (2563). *แนวทางและการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดแสงธรรมชาติสำหรับอาคารในประเทศไทย. วารสารวิจัยและสารสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 17(1), 103-119. <https://www.researchgate.net> DOI: 10.14456

Alexander, M. (2019). 5 ways to reduce energy costs for your industrial space.

<https://www.loopnet.com/learn/5-ways-to-reduce-energy-costs-for-your-industrial-space/186058888>

Huang, Y., & Niu, J. (2015, September). Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system, in commercial buildings of Hong Kong. *Construction and Building Materials*, 94, 57-72.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181530009X>

Paneri, A., Wong, I. L., & Burek, S. (2019). Transparent insulation materials: An overview on past, present, and future developments. *Solar Energy*, 184, 59-83.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X19303196>

U.S. Green Building Council. (2021). *LEED v4.1. daylight indoor environmental quality*.

<https://www.usgbc.org/credits/new-construction-schools-new-construction-retail-new-construction-datacenters>