แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารเรียนพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษา:

โรงเรียนในสังกัดของ สพฐ.(สปช 105/29 10ห้อง) โดยใช้โรงเรียนวัดบ้านกระชาย จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นกรณีศึกษา

DESIGN GUIDLINE FOR NET ZERO ENERGY SCHOOL, CASE STUDY:

SCHOOL FOR OFFICE OF THE BASIC EDUCATION COMMISSION IN THAILAND

นิรันดร ชนะวิเศษ

สาขาอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นการออกแบบอาคารเรียนพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy) โดยใช้กรณีศึกษาโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ประเทศไทย วัตถุประสงค์หลักคือการเสนอแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารเรียนให้สามารถลดการใช้พลังงานและมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยเน้นการใช้วัสดุท้องถิ่นและวัสดุรีไซเคิลที่หาได้ง่ายในพื้นที่ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศและบริบทท้องถิ่น การศึกษานี้เริ่มต้นด้วยการคัดเลือกอาคารเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิที่ร้อนและแห้งแล้งเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในจังหวัดบุรีรัมย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์และปรับปรุงเปลือกอาคารโดยใช้โปรแกรมคำนวณพลังงาน เพื่อหาค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงเปลือกอาคารด้วยการติดตั้งฉนวน PU foam ใต้หลังคาที่มีค่า U-Value เท่ากับ 2.84 W/m2K กระจกอาคารที่มีค่า SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)เท่ากับ 0.25 ติดตั้งฉนวน EPS foam ที่ผนังอาคารที่มีค่า U-Value 0.1 W/m2K และติดตั้งแผงบังแดดแนวตั้งและแนวนอน โดยมีระยะยื่น 0.60 ม.และ 1.80 ม.ตามลำดับ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารได้ถึง 17.2% และเมื่อมีการติดตั้งแผงโซล่าเซลขนาด 400 W บนหลังคาจำนวน 154 แผง ทำให้อาคารมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ การใช้วัสดุท้องถิ่นและการปรับปรุงอาคารที่มีอยู่แล้วไม่เพียงแต่ช่วยลดการใช้พลังงาน แต่ยังส่งเสริมการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของชุมชนในกระบวนการพัฒนาอาคารเรียน การศึกษานี้สรุปได้ว่าการปรับปรุงเปลือกอาคารและการใช้พลังงานสะอาดสามารถทำให้อาคารเรียนมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้จริง และเป็นแนวทางที่สามารถนำไปปรับใช้ในโรงเรียนอื่นๆ ในสังกัดสพฐ. เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

ABSTRACT

This article focuses on the design of Net Zero Energy school buildings using a case study of schools under the Office of the Basic Education Commission (OBEC) in Thailand. The main objective is to propose the guidelines for improving the building envelope to reduce energy consumption and achieve net zero energy, emphasizing the use of locally avilable and recycled materials to align with the local climate and context. The study began by selecting school building in the Northeastern region of Thailand, characterized by hot and dry conditions, particularly in Buriram province. The results indicate that improving the building envelope by installing PU foam insulation under the roof with a U-Value of 2.84 W/m²K, using building glass with a Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) of 0.25, installing EPS foam insulation on building walls

with a U-Value of 0.1 W/m²K, and installing vertical and horizontal shading devices with projections of 0.60 m and 1.80 m respectively, can reduce the building's energy consumption by 17.2%. Furthermore, the installation of 154 solar panels with a capacity of 400 W each on the roof enables the building to achieve net zero energy status. The building envelope was analyzed and improved using energy calculation software to determine the optimal energy usage. The use of local materials and the improvement of existing buildings not only helps reduce energy consumption but also promotes learning and community involvement in the development process. This study concludes that improving the building envelope and using clean energy can effectively achieve net zero energy in school buildings. This approach can be applied to other schools under OBEC to promote energy conservation and environmental sustainability in the future.

คำสำคัญ พลังงานสุทธิเป็นศูนย์, สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน(สพฐ)

Keywords Net-Zero Energy, Office of Besic Education Commission (OBEC)

1.บทนำ

การออกแบบอาคารเพื่อให้มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB) เป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารเรียนของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ให้เป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยใช้โรงเรียนวัดบ้านกระชาย จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นกรณีศึกษา

- แนวคิดและหลักการของอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (NZEB) คืออาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในช่วงเวลาหนึ่งปี ซึ่งหมายความว่าอาคารสามารถผลิตพลังงานที่ใช้ได้เองจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานชีวมวล โดยมีการออกแบบและก่อสร้างที่เน้นการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

- การวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันของโรงเรียนวัดบ้านกระชาย

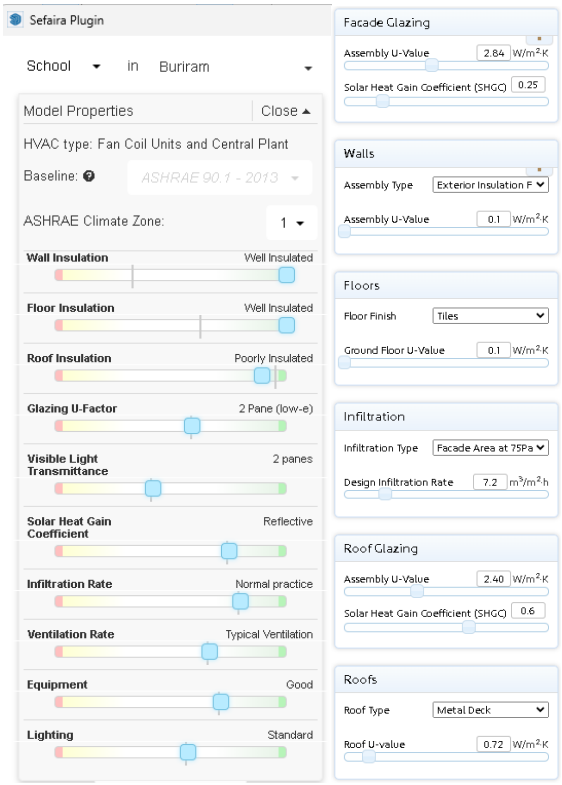
โรงเรียนวัดบ้านกระชาย ตั้งอยู่ในจังหวัดบุรีรัมย์ เป็นโรงเรียนขนาดกลางที่มีนักเรียนประมาณ 500 คน อาคารเรียนปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายพลังงานสูงและมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก(17)

2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบปรับปรุงเปลือกอาคารเรียนให้ตอบรับกับการลดการใช้พลังงานและมีพลังงานรวมสุทธิเป็นศูนย์
2. ศึกษาการนำวัสดุรีไซเคิลหรือวัสดุท้องถิ่นมาปรับใช้เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร

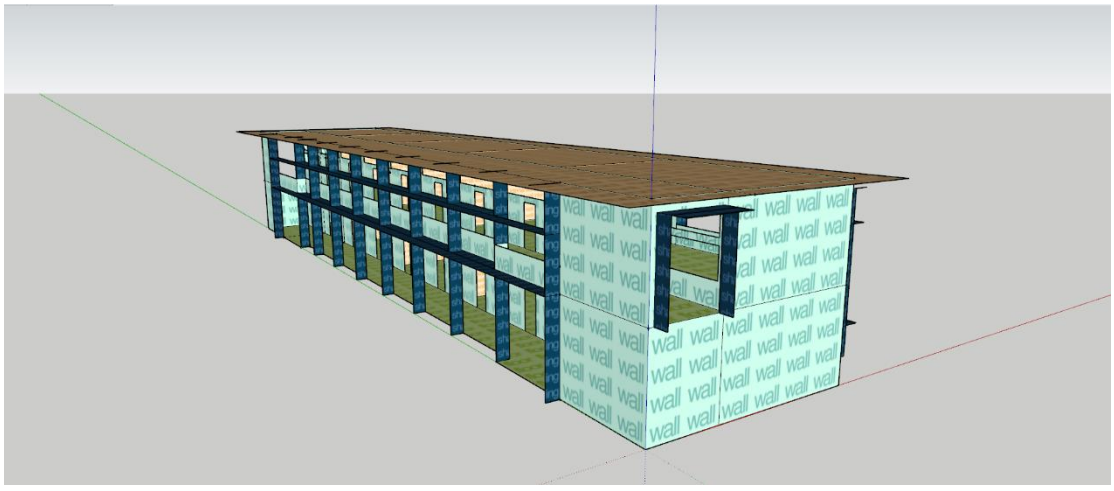
3.วิธีการดำเนินการ

1. เลือกแบบอาคารเรียนมาตรฐาน สปช.105/29 10 ห้อง ของโรงเรียนวัดบ้านกระชาย เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากอาคาร สปช.105/29 10ห้องนี้ สามารถดัดแปลงห้องเรียนชั้นล่างเป็นห้องกิจกรรมทางวิชาการรได้หลากหลาย เช่น ห้องสมุด ห้องดนตรี ห้องศิลปะ ห้องธุรการ และห้องผู้อำนวนการ เป็นต้น
2. สร้างรูปแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม SketchUp และ Sefaira เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยขึ้นหุ่นจำลองแบบง่ายด้วยโปรแกรม SketchUp ก่อน หลังจากนั้น ทำการ Upload ขึ้นไปในระบบ Cloud ของโปรแกรม Sefaira แล้วจึงตั้งค่ามาตรฐานตามตำแหน่งที่ตั้งอาคารโดยการ ดาวน์โหลด Weather file.epw, ชนิดของอาคาร, จังหวัดที่ตั้ง และ ASHRAE Climate Zone 1



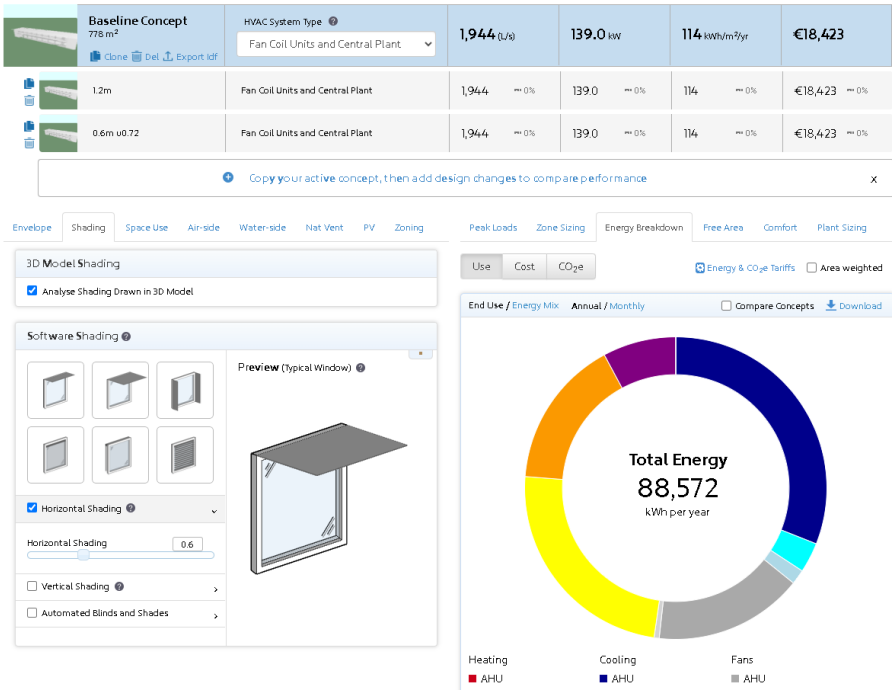
รูปภาพที่ 1 แสดงการตั้งค่าของโปรแกรม

3. ทดลองปรับปรุงเปลือกอาคารด้วยวัสดุท้องถิ่นและวัสดุรีไซเคิล เช่น ผนังซีเมนต์โฟม หลังคาเหล็กติดฉนวนกันความร้อน เป็นต้น โดยใส่ค่า U-Value ตามชนิดของแต่ละวัสดุที่สามาถหาซื้อได้ตามร้านค้าวัสดุก่อสร้างตามท้องถิ่น

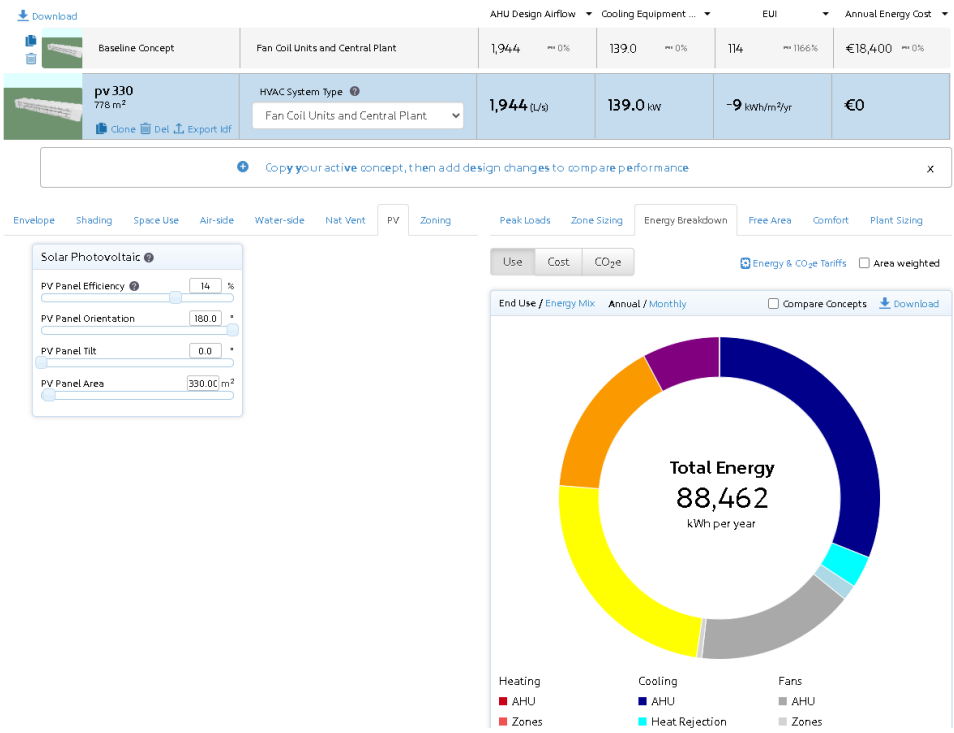


รูปภาพที่ 2 แสดงการขึ้นหุ่นจำลองแบบง่าย

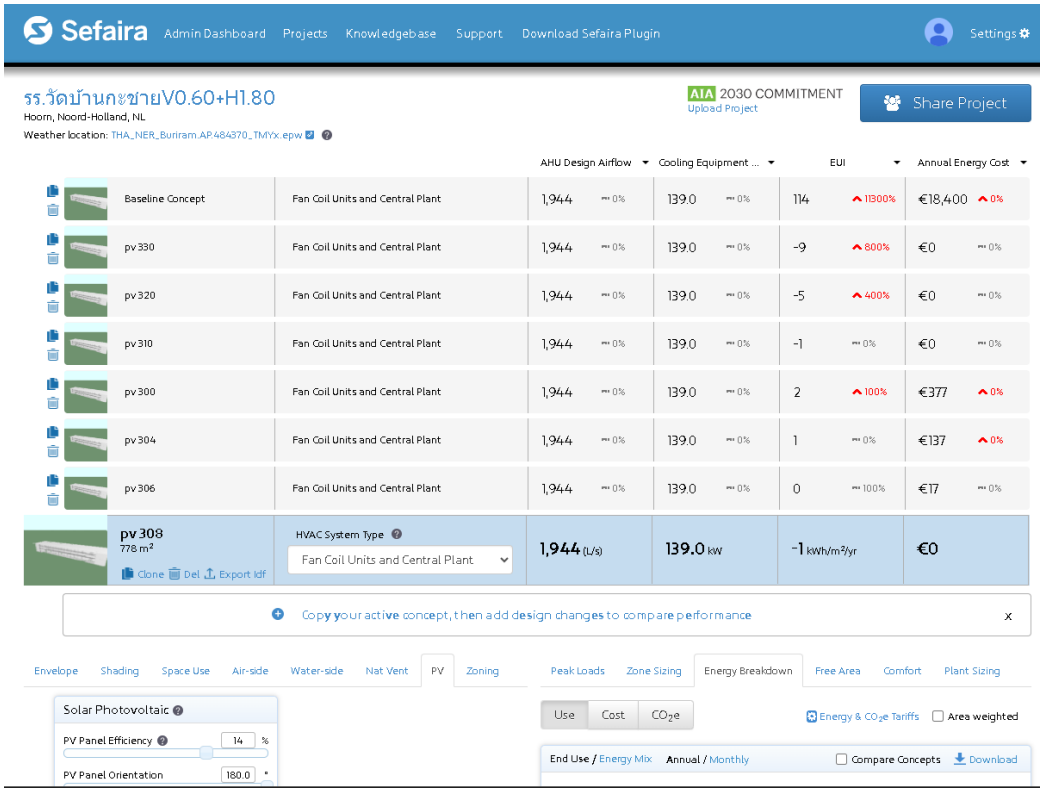
4. วิเคราะห์ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity: EUI) จากรูปแบบจำลองต่างๆ



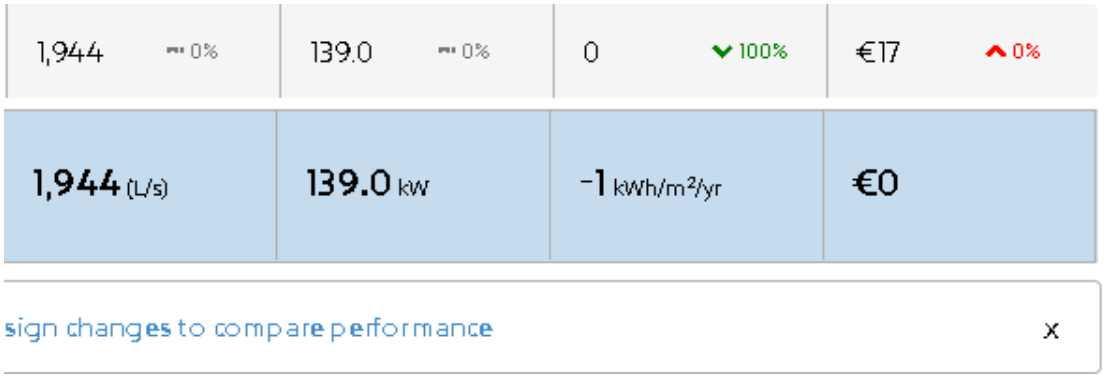
รูปภาพที่ 3 แสดงผลการคำนวนด้วยโปรแกรม Sefaira



รูปภาพที่ 4 แสดงผลการคำนวนค่า EUI PV 330 ตร.ม.



รูปภาพที่ 5 แสดงผลการคำนวนค่า EUI ที่เหมาะสมที่สุด

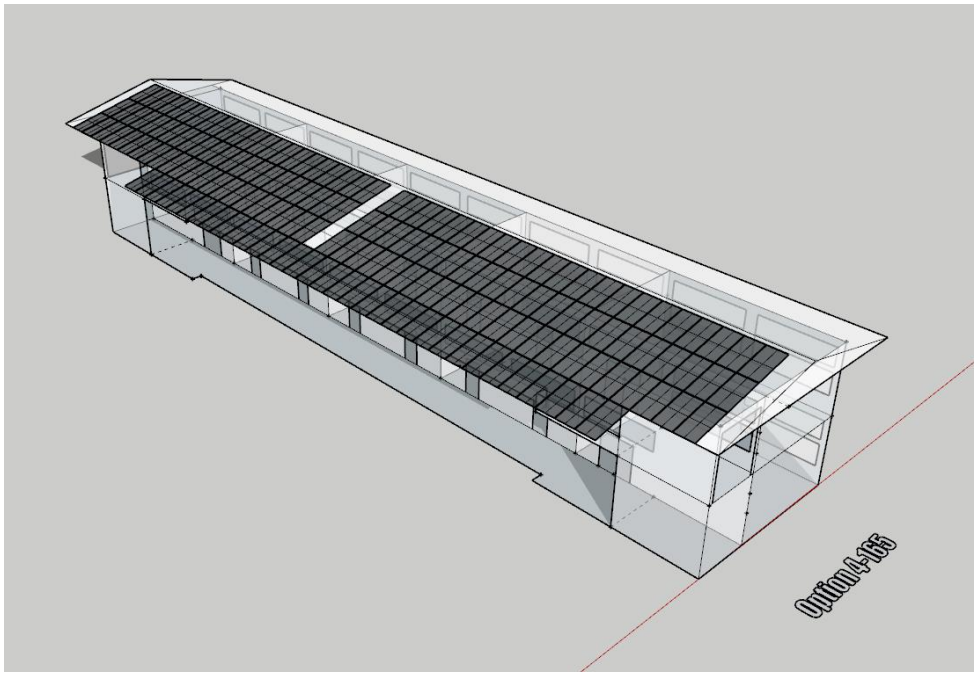


รูปภาพที่ 6 แสดงผลการคำนวน EUI บนเวปไซต์ PV 308 ตร.ม.

5. ศึกษาการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic) เพื่อให้อาคารมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

- ระบุศักยภาพของการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงเรียน

- ติดต่อผู้พัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์หรือผู้รับเหมา EPC (วิศวกรรม การจัดซื้อ และการก่อสร้าง) เพื่อดำเนินการสำรวจพื้นที่และเตรียมการออกแบบและข้อเสนอทางเทคนิค
- ส่งคำขอเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าไปยังการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ในที่นี้คือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- หลังจากได้รับคำขอเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าแล้ว การไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องจะคัดกรองความสมบูรณ์ของเอกสารที่ส่งมาและดำเนินการประเมินทางเทคนิค
- หากทุกอย่างเป็นที่น่าพอใจ ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบสถานที่
- ผู้รับเหมาแบบ EPC ที่ติดตั้งระบบอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่สาธารณูปโภค
- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าการสำรวจสถานที่ได้รับการดำเนินการอย่างมีประสิทธิผล ซึ่งจะนำไปสู่ข้อเสนอจากผู้รับเหมาแบบ EPC ผู้ให้บริการพลังงานแสงอาทิตย์ในที่สุด
- ปฏิบัติตามข้อกำหนดสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายตามที่ระบุไว้ในรหัสเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า กฟภ. 2559 (ไทย / อังกฤษ) และรหัสเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า กฟภ. 2558 (ไทย)



รูปภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งที่ตั้งแผง PV บนหลังคา

4.ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Sefaira พบว่าการปรับปรุงเปลือกอาคารด้วยวัสดุท้องถิ่นและวัสดุรีไซเคิล สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารจาก 106,840 kWh ต่อปี (137 kWh/m²/yr) อยู่ที่ 88,462 kWh per year (114 kWh/m2/yr) ลดลงไป 18,378 kWh per year คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 17.2

เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารเดิม นอกจากนี้ การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 308 ตารางเมตร สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอที่จะทำให้อาคารมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้การใช้วัสดุท้องถิ่นและการปรับปรุงอาคารที่มีอยู่แล้ว ไม่เพียงแต่ช่วยลดการใช้พลังงาน แต่ยังส่งเสริมการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของชุมชนในกระบวนการพัฒนาอาคารเรียนด้วย

5.สรุปและข้อเสนอแนะ

กระบวนการปรับปรุงอาคาร

การปรับปรุงเปลือกอาคารเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดการใช้พลังงานของอาคารเรียนในกรณีศึกษานี้ โดยมีการดำเนินการปรับปรุงหลายส่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดการใช้พลังงานประการแรก มีการติดตั้งฉนวน **PU foam** ใต้หลังคา ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนที่ดี โดยมีค่า **U-Value** เท่ากับ **2.84 W/m2K** การติดตั้งฉนวนนี้ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลงและลดภาระการทำความเย็นประการที่สอง มีการติดตั้งฉนวน **EPS foam** ที่ผนังอาคาร โดยมีค่า **U-Value** เท่ากับ **0.1 W/m2K** ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก และค่าของกระจกอาคาร **SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)**เท่ากับ **0.25** แสดงถึงประสิทธิภาพสูงในการป้องกันความร้อนจากภายนอก การเพิ่มฉนวนที่ผนังนี้ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารคงที่มากขึ้นประการที่สาม มีการติดตั้งแผงบังแดดทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง โดยแผงบังแดดแนวนอนยื่นออกมา **1.80** เมตร และแผงบังแดดแนวตั้งยื่นออกมา **0.60** เมตร การติดตั้งแผงบังแดดนี้ช่วยลดปริมาณแสงแดดที่ส่องเข้าสู่อาคารโดยตรง ลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และช่วยควบคุมแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารนอกจากการปรับปรุงเปลือกอาคารแล้ว ยังมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนหลังคาอาคาร มีพื้นที่รวม **308** ตารางเมตร จำนวน **154** แผง ระบบนี้ช่วยผลิตพลังงานทดแทนให้กับอาคาร ลดการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกผลจากการปรับปรุงอาคารพบว่า สามารถลดการใช้พลังงานได้ โดยลดลงถึง **17.2%** เมื่อเทียบกับอาคารเดิมก่อนการปรับปรุง ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพ ทั้งการเพิ่มฉนวน การติดตั้งแผงบังแดด และการปรับปรุงอื่นๆที่สำคัญ ระบบโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งสามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อการใช้งานของอาคาร ส่งผลให้อาคารมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (**Net Zero Energy**) ตามเป้าหมายที่วางไว้ ซึ่งหมายความว่าอาคารสามารถผลิตพลังงาน

ได้เท่ากับหรือมากกว่าพลังงานที่ใช้ในรอบปีการปรับปรุงนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอาคารเรียนที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงขึ้น และสามารถบรรลุเป้าหมายการเป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารเรียนอื่นๆ ในอนาคต

การอภิปรายผล

1. ประสิทธิภาพของการปรับปรุงเปลือกอาคาร:
   การปรับปรุงเปลือกอาคารด้วยการเพิ่มฉนวนและติดตั้งแผงบังแดดแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับหลักการออกแบบอาคารเขตร้อนชื้นที่เน้นการป้องกันความร้อนจากภายนอก

2. ความเหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์:
   การเลือกใช้ระบบโซล่าเซลล์มีความเหมาะสมกับบริบทของอาคารเรียนที่ใช้งานในเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

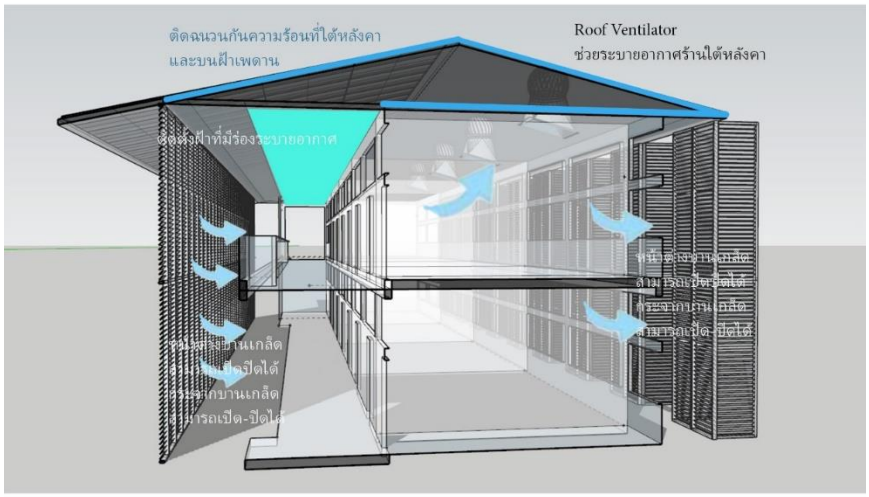
3. การใช้วัสดุท้องถิ่นและการมีส่วนร่วมของชุมชน:
   แนวทางการปรับปรุงที่เน้นการใช้วัสดุท้องถิ่นและวัสดุรีไซเคิลไม่เพียงช่วยลดต้นทุน แต่ยังส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในกระบวนการพัฒนาอาคารเรียน ซึ่งเป็นแนวทางที่ยั่งยืนในระยะยาว

4. ความเป็นไปได้ในการขยายผล:
   ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอาคารเรียนที่มีอยู่เดิมให้เป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์สามารถทำได้จริง และมีศักยภาพในการขยายผลไปยังโรงเรียนอื่นๆ ในสังกัด สพฐ. ทั่วประเทศ

5. ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ:
   - ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว
   - ควรพิจารณาการใช้เทคโนโลยีอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ระบบจัดการพลังงานอัจฉริยะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
   - ควรมีการติดตามผลในระยะยาวเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบ

โดยสรุป การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของการปรับปรุงอาคารเรียนให้เป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งไม่เพียงช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ยังสามารถเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาอาคารการศึกษาที่ยั่งยืนในอนาคต

ข้อเสนอแนะทั่วไปต่อการออกแบบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงาน



รูปภาพที่ 8 รูปตัดอธิบายคำแนะนำ

1.ติดฉนวนกันความร้อนบริเวณใต้หลังคา บนฝ้าเพดาน และเปลือกอาคารเพื่อลดค่า OTTV,RTTV

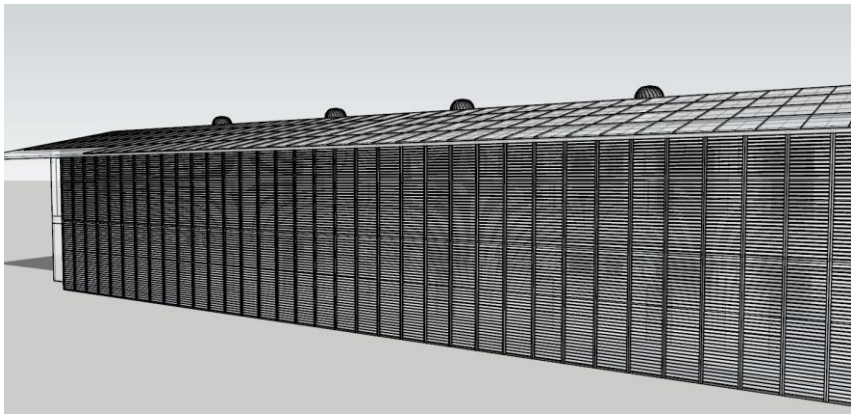
2.ฝ้าทางเดินอาคารใช้แบบมีรูระบายอากาศ เพื่อระบายอากาศร้อนขึ้นข้างบนได้สะดวก

3.ติดพัดลมระบายอากาศบนหลังคา (Roof Ventilator) ช่วยระบายความร้อนจากใต้หลังคา

4.ติดตั้งแผงบังแดด (facade) หน้าหลังพร้อมทั้งติดตั้งหน้าต่างกระจกบานเกล็ด ชิดแบบเปิด-ปิดได้ นำมาดัดแปลงให้สามารถเปิดปิดได้ในคราวเดียว เพื่อใช้ปิดในช่วงเวลาฝุ่นควันแต่ยังคงได้รับแสงอยู่ และยังสามารถเปิด-ปิด สลับด้าน ทำให้ช่วยในการควบคุมกระแสลมแรงดันบวก ลบ ไปในตัว แถมยังเพิ่มเงาให้กับตัวอาคารในอีกทางนึง

5.ใช้สีสันโทนอ่อน และสดใส เช่น สีเขียวอ่อน สีฟ้าอ่อน ส้มอ่อน เหลืองอ่อน เพื่อลดการดูดซับความร้อน แถมยังเพิ่มลูกเล่นในอาคารเป็นที่น่าดึงดูดใจ

6.ปรับภูมิทัศน์โดยรอบอาคาร เช่น ปลูกต้นไม้ ทำบ่อน้ำเพื่อช่วยลดความร้อนรอบบริเวณอาคาร



รูปภาพที่ 1 แผงบังแดดขณะปิด

รูปภาพที่ 2 แผงบังแดดขณะเปิด

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงเปลือกอาคารและการใช้พลังงานสะอาดสามารถทำให้อาคารเรียนมีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้จริง ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงเรียนอื่นๆ ในสังกัด สพฐ. เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคตอย่างไรก็ตาม การออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ต้องคำนึงถึงบริบทและความต้องการของผู้ใช้งานเป็นสำคัญ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการมีส่วนร่วมของชุมชนและการยอมรับของผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้แนวทางการออกแบบที่เหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

6. รายการอ้างอิง

1. architecturaldigest.in, a.o., *Net Zero Energy Building* แห่งแรกของสิงคโปร์. 13 พฤษภาคม 2562.

2. Cairns Regional Council (CRC), *Sustainable Tropical Building Design Guidline for Commercial Buildings*. 2011: Cairns Regional Council (CRC). 48.

3. Victor Olgyay (Author, C., Donlyn Lyndon (Contributor), John Reynolds (Contributor), Ken Yeang (Contributor), *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Revised edition ed. 2015: Princeton University Press. 224.

4. กระทรวงศึกษาธิการ, ส. ประวัติความเป็นมา. 2018; Available from: https://www.obec.go.th/.

5. CALIFORNIA, A., *Energy Use Intensity (EUI)*, in *CLIMATE ACTION, WHAT YOU CAN DO RIGHT NOW*. 2020.

6. Johannes Widodo. *Beyond Net-Zero, Local Wisdom and Sustainable Architecture at National University of Singapore*. 2023

7. พันธุดา พุฒิไพโรจน์, การออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน (*Energy Conscious Building Design)*. 2563, บริษัท อีเล็ฟแว่นคัลเลอร์ จำกัด 718/5-8,20-23 ซอยพญานาค ถนนเพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400: มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 31 ถนนหน้าพระลาน แขวงพระบรมราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200. 346.

8. ยิ้มประยูร, ช., อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ *Zero Energy Building.* 2016. **Vol.** 13(Vol. 13 No. 2 (2016)): p. 1-30.

9. kerearchitecture. *Gando Primary School*. [cited 2023; Available from: www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3.

10. magazine, D., *Brick by Brick*, in *DAMn° magazine*. p. 3.

11. ศรีสุวรรณ, ม., การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. หน้าจั่ว 2544(17).

12. OneStockHome Co., L. *OneStockHome*. 2023 2023 [cited 2023 March 27]; ร้านขายวัสดุออนไลน์]. Available from: https://www.onestockhome.com/.

13. สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชียมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, คู่มือการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.

14. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. พลังงานทดแทน. 2557 [cited 2023 March 28]; Available from: https://www.dede.go.th/.

15. พันธุดา พุฒิไพโรจน์, อาคารเขียว (*Green Building)*. 2563, บริษัท อีเล็ฟแว่นคัลเลอร์ จำกัด 718/5-8,20-23 ซอยพญานาค ถนนเพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400: มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 31 ถนนหน้าพระลาน แขวงพระบรมราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200. 256.

16. Network, G. *Net Zero Energy Building Khon Kaen University*. 2019 [cited 2024 14/06]; Available from: https://www.greennetworkthailand.com/net-zero-energy-building-khon-kaen-university/.

17. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2564). รายงานการใช้พลังงานในโรงเรียน.

18. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แนวทางการออกแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์.

19. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2562). การประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร.