



# การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและจำลองสถานการณ์เพื่อสนับสนุนงานบริหารจัดการด้านพลังงานในอาคารเรียน

## Using computer-aided design and simulation software to support energy management in school buildings

จิตราวดี รุ่งอินทร์ กันกา<sup>1</sup> และ ปรีชญา ครูเกษตร<sup>2</sup>  
Jitravadee Roong-in Kunkar<sup>1</sup> and Preechaya Krukaset<sup>2</sup>

Received: 2019-03-19

Revised: 2019-09-02

Accepted: 2019-09-27

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและจำลองสถานการณ์เพื่อสนับสนุนงานบริหารจัดการด้านพลังงานในอาคารเรียน เพื่อหาแนวทางการลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคารให้เป็นไปตามกฎหมาย และเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจแก่เจ้าของอาคารในการบริหารจัดการพลังงาน ขอบเขตการวิจัยคือ พื้นที่ใช้สอยในอาคารเรียนของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ โปรแกรม ISA's OTTV52 สำหรับคำนวณค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร และโปรแกรม Google Sketch up เพื่อจำลองการออกแบบสภาพแวดล้อมอาคาร วิจัยดำเนินการวิจัยโดยสำรวจร่างสถาปัตยกรรมอาคารและอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความส่องสว่าง และใช้ช่วยจำลองการออกแบบและวิเคราะห์ผล ซึ่งผลวิจัยพบว่า อาคารเรียนมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 349,542.12 กิโลวัตต์/ปี มีค่าความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารสูงเกินค่ามาตรฐานมาก โดยเฉพาะในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนั้นจึงเสนอให้ผนังอาคารเพิ่มช่องว่างอากาศ ติดฉนวนโพลีโอสไตรีนและกรุยิปซัมบอร์ดแต่งผิวด้วยปูนยิปซัม เปลี่ยนฟิล์มกระจกหน้าต่าง ส่วนหลังคาเมทัลชีทเดิมเสนอให้ฉีดยาฉนวนโพลีโอสไตรีน

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
(Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University)

ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: m.jitravadee@gmail.com

<sup>2</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
(Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University)

บนเพื่อเป็นฉนวนและเพิ่มการสะท้อนความร้อน จึงส่งผลให้ค่าความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงอย่างมาก ทั้งนี้ ได้จำลองรูปแบบการติดตั้งสวนไม้เลื้อยแนวตั้งในทิศที่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งแผงไม้เลื้อยมีพุ่มใบใหญ่หนา จะช่วยลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคาร ลดภาระการปรับอากาศและทำให้อุณหภูมิห้องอยู่ใกล้เขตสบายมากที่สุด เทคนิคธรรมชาตินี้เป็นการจัดการพลังงานในอาคารที่ยั่งยืน ต้นทุนต่ำ สร้างความร่มรื่นแก่อาคารสถานที่

**คำสำคัญ:** กรอบอาคาร ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านผนัง ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านหลังคา เทคนิคธรรมชาติ

## Abstract

The purposes of this research were studying the use of computer programs to help design and simulate situations to support energy management in school buildings, finding a guideline of reducing the heat through the building according to the law, also providing the information supporting of deciding of owners in energy management in the building. The scope of research was the air-conditioned section area of the school building, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University. The research method was ISA's OTTV52 program for calculating the heat value through the building and Google Sketch-up for simulating of building environment design. Methods of conducting research by surveying physical measurements of buildings and electrical system equipment, recording the temperature and illuminance value and using to simulate the design and result from analysis. The results found that the school building has total electricity consumption of 349,542.12 kWh per year. The total heat value through the building frame exceeds the standard value, especially in the northwest. This research suggests that is the building walls should increase the air gap, attaching polyethylene foam and gypsum board to the surface with gypsum plaster and changing window glass film. Moreover, metal sheet roofs are proposed to spray white foam insulation on top to insulate and increase heat reflection. That result was resulting in the total heat value through the building frame is greatly reduced. This research has simulated for installed ivy garden in vertical in order to receive the heat from the sun directly which the ivy panel has a thick bush. It will assist in reducing the heat into the building frame, reducing the usage of air conditioning and make room temperature almost in a comfortable area. This natural technique is to manage energy in sustainable buildings, low-cost, and creating a shady place for buildings.

**Keywords:** building envelope, overall thermal transfer value, roof thermal transfer value, passive technique



## บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันภาวะวิกฤตพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญ และมีผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจ การใช้พลังงานในประเทศโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอาคารและที่พักอาศัยนั้น มีการใช้พลังงานสูง ซึ่งจากข้อมูลสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ.2557 พบว่ามีการใช้พลังงานในภาคอาคารสำนักงาน ร้อยละ 15.1 โดยแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานเป็นของระบบปรับอากาศ ร้อยละ 65 และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ร้อยละ 25 สอดคล้องกับข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ระบุว่าการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยในช่วงไตรมาสแรกของปี พ.ศ.2560 เพิ่มขึ้น จากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 0.6 ทั้งนี้ในส่วนของภาคอาคารและอาคารพักอาศัยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเป็นอันดับ 3 โดยมีการใช้พลังงานในสัดส่วนร้อยละ 13.4 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในสาขาเศรษฐกิจ

สถานศึกษาจัดอยู่ในอาคารสาธารณะ และถือเป็นกิจการประเภทธุรกิจการค้า เนื่องจากมีช่วงเวลาประกอบกิจการช่วงระหว่างวันที่ใช้พลังงานมีลักษณะใกล้เคียงกับสำนักงาน และมีการใช้พลังงานเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งการประหยัดพลังงานในอาคารส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในการดำเนินกิจกรรมในอาคาร การออกแบบระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้น หากตัวกรอบอาคารเองไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนร่วมด้วยแล้ว การประหยัดพลังงานก็อาจไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้อย่างยั่งยืน จากการทบทวนวรรณกรรมด้านเทคนิคการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร (building envelope) เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยของ Prapasongsit (2001) กล่าวว่า ลักษณะของเปลือกอาคารในอาคารสูงมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารอย่างมาก และการทำให้สัดส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดของอาคารลดลงได้ จะสามารถลดภาระปรับอากาศสูงสุดได้ถึงร้อยละ 13.40

งานบริหารทรัพยากรอาคาร การบริหารจัดการพลังงานที่ดีในอาคารเรียนจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มาก การใช้งานอาคารมีการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดวัน นอกจากแผนการดูแลบำรุงรักษาการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารหรือเปลือกอาคาร จึงเป็นปัจจัยหลักที่จะช่วยให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ ทั้งนี้ จากความตามกฎหมายกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 (Minister of Energy, 2009) ระบุให้สถานศึกษาเป็น 1 ใน 9 ประเภทอาคารตามกฎหมายที่ต้องมีการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร OTTV ไม่เกิน 50 วัตต์/ตารางเมตร และต้องมีการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร RTTV ไม่เกิน 15 วัตต์/ตารางเมตร

อาคารเรียน 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ก่อสร้างตั้งแต่ปี พ.ศ.2533 โดยเฉลี่ยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณกว่า 2 หน่วยกิโลวัตต์/เดือน หรือกว่า 3 แสน กิโลวัตต์/ปี ปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีการใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานจากงานอุปกรณ์ระบบอาคาร อาทิ การเปลี่ยนหลอดไฟ การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ การใช้ฉนวนกันความร้อน และจัดทำแผนการบำรุงรักษา แต่การดำเนินการดังกล่าวยังเป็นการจัดการเฉพาะงานระบบอุปกรณ์ภายในอาคาร ยังขาดการจัดการสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร และงานวัสดุกรอบอาคารที่เก่า เมื่อความร้อนจำนวนมากเข้าสู่อาคารผ่านกรอบอาคาร โดยเฉพาะงานกระจกคุณสมบัติในความต้านทานความร้อนย่อมต่ำกว่าเมื่อครั้งเริ่มแรกเปิดใช้งาน ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นที่มากขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ ทำการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารเรียน ศึกษาเหตุและปัจจัยที่เกิดความร้อนในพื้นที่ ทำการทดสอบประสิทธิภาพการอบอาคารเรียนที่ใช้ปัจจุบัน เสนอแนะข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ ทำการอบอาคารที่มีประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ร่วมกับการศึกษาเทคนิค การจัดการพลังงานที่ไม่ต้องการการลงทุนมากแต่ยั่งยืน เช่น เทคนิควิธีการลดความร้อนแก่ผนังอาคารด้วยวิธี ธรรมชาติด้วยการปลูกสวนแนวตั้ง โดยดำเนินงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและจำลอง สถานการณ์ แล้วนำเสนอเป็นข้อมูลสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจแก่เจ้าของอาคารในการตระหนักและสมัคร ใจลงทุนในการจัดการพลังงานนอกเหนือจากการบริหารจัดการเฉพาะที่เป็นไปตามกฎหมาย

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและจำลองสถานการณ์ เพื่อสนับสนุนงาน บริหารจัดการด้านพลังงานในอาคารเรียน เพื่อเป็นแนวทางการลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคารให้เป็นไปตาม กฎหมาย รวมถึงศึกษาเทคนิคการจัดการพลังงานด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อเสนอแนะเป็นข้อมูลสนับสนุนการ ตัดสินใจแก่เจ้าของอาคารให้การตระหนักและสมัครใจลงทุนในด้านการจัดการพลังงานในอาคาร

## กระบวนการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นด้วยการทบทวนวรรณกรรม แนวคิด ทฤษฎี กฎหมาย และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และแบ่งเป็นขั้นตอนการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนการวิจัยที่สอดคล้องวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดำเนินการดังนี้ 1) ศึกษา ค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารเรียน 2) การศึกษาเหตุและปัจจัยที่เกิดความร้อนในพื้นที่ และเทคนิควิธีการ ลดความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ 3) การสำรวจ รางวัดพื้นที่ การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิห้องและค่า ความส่องสว่างในห้องเรียน 4) การศึกษาข้อมูลคุณสมบัติของผนังและหลังคา เพื่อกำหนดข้อมูลรอบอาคาร เดิมของอาคารที่ทำการศึกษา (อาคารกรณีศึกษา) แล้วคำนวณผลผ่านโปรแกรม ISA's OTTV52 โดยสถาบัน สถาปนิกสยาม ซึ่งเป็นโปรแกรม excel ง่ายของสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ (ASA) ใช้ อบรมและเผยแพร่ให้ความรู้แก่สถาปนิก วิศวกรและผู้ดูแลอาคารในด้านการออกแบบปรับปรุงเปลือกอาคาร ให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารเป็นไปตามกฎหมาย สามารถคำนวณและแยกพื้นที่แต่ละ ส่วนของกรอบอาคารได้อย่างแม่นยำ สามารถนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบการปรับปรุงโดยการเชื่อมโยงข้อมูล ไฟล์งาน รายละเอียดในโปรแกรมอ้างอิงตามข้อกำหนดและมาตรฐานในกฎกระทรวงและประกาศกระทรวง พลังงาน ฉบับปี พ.ศ.2552

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการจำลองปรับเปลี่ยนวัสดุผนัง และวัสดุผนังที่เลือกใช้ จำนวน 3 ทางเลือกที่ได้จากการคำนวณผ่านโปรแกรม ISA's OTTV52 และเสนอแนะข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจแก่เจ้าของอาคารในการบริหารจัดการพลังงาน ทั้งในส่วนการปรับปรุงกรอบอาคารในรูปแบบที่เหมาะสม โดยเน้นปรับปรุงเฉพาะกรอบอาคารบางด้านที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน รวมถึงการใช้เทคนิคธรรมชาติบังแดดอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 1 ผังที่ตั้งอาคารเรียนและภาพถ่ายอาคารเรียน อาคาร 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

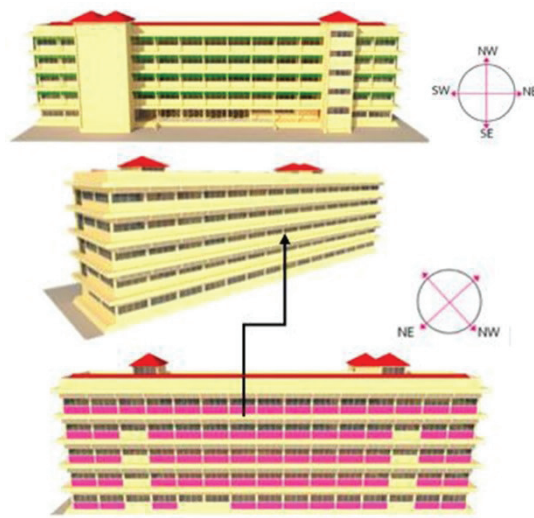


ภาพที่ 2 ลักษณะภาพถ่ายดาดฟ้าและหลังคาอาคารเรียน 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

## ผลการวิจัย

ได้ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

**1. ด้านกายภาพ** อาคารเรียน 5 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ไม่รวมที่จอดรถ 3,647.25 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ปรับอากาศ 2,541.20 ตารางเมตร มีวัสดุผนังเป็นผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีอะคริลิกสีขาว มีหน้าต่างกระจกใสสีขาวติดฟิล์ม มีวัสดุหลังคาเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.20 เมตร เททับหน้าชั้นดม้น มุงเมทัลชีทสีแดงบุฉนวนโฟมโพลีเอทิลีน (PE) หนา 50 มม. หนา 1 เซนติเมตร ลักษณะฉนวนกันความร้อน (ภาพที่ 3 และ 4)



ภาพที่ 3 ลักษณะกายภาพอาคารเรียน 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและตำแหน่งที่ปรับอากาศ  
ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

**2. ด้านพลังงาน** อาคารเรียนมีค่าการใช้พลังงานรวม 29,128.51 กิโลวัตต์/เดือน หรือ 349,542.12 กิโลวัตต์/ปี โดยมีค่ามากที่สุดที่ชั้น 2 จำนวน 149,724.96 กิโลวัตต์/ปี เนื่องจากมีห้องคอมพิวเตอร์ ห้องฝ่ายอาคาร และห้องพักอาจารย์ซึ่งมีการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดวัน (ตารางที่ 1) โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร หรือ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) เท่ากับ 58.92 วัตต์/ตารางเมตร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา หรือ Roof Thermal Transfer Value (RTTV) เท่ากับ 27.98 วัตต์/ตารางเมตร สูงเกินกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้มาก รวมถึงในทิศอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการใช้พลังงานรวมในอาคารเรียน (กิโลวัตต์ต่อปี)

| ชั้นที่              | ระบบ<br>ปรับอากาศ<br>(กิโลวัตต์) | ระบบ<br>แสงสว่าง<br>(กิโลวัตต์) | ระบบ<br>อุปกรณ์อื่นๆ<br>(กิโลวัตต์) | ระบบการใช้<br>พลังงานต่อวัน<br>(กิโลวัตต์) | ระบบการใช้<br>พลังงานต่อเดือน<br>(กิโลวัตต์) | ระบบการใช้<br>พลังงานต่อปี<br>(กิโลวัตต์) |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1                    | 158.34                           | 34.40                           | 50.44                               | 243.18                                     | 5,348.86                                     | 64,186.37                                 |
| 2                    | 115.43                           | 36.94                           | 414.77                              | 567.14                                     | 12,477.08                                    | 14,9724.96                                |
| 3                    | 62.63                            | 25.49                           | 37.87                               | 125.99                                     | 2,771.85                                     | 33,262.15                                 |
| 4                    | 116.99                           | 26.78                           | 68.10                               | 175.88                                     | 4,661.32                                     | 55,935.79                                 |
| 5                    | 126.04                           | 27.65                           | 22.19                               | 175.88                                     | 3,869.40                                     | 46,432.85                                 |
| รวมการใช้<br>พลังงาน | 579.43                           | 151.26                          | 593.37                              | 1,288.07                                   | 29,128.51                                    | 349,542.12                                |

ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

ตารางที่ 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารเรียน 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (วัตต์ต่อตารางเมตร)  
จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม ISA's OTTV52

| ทิศ                   | พื้นที่ผนังทึบ<br>(ตร.ม.) | พื้นที่ผนังโปร่ง<br>(ตร.ม.) | พื้นที่รวมของ<br>ผนังทั้งหมด<br>(ตร.ม.) | ค่า WWR | ค่า OTTV รวม<br>วัตต์ / ตร.ม. |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|---------|-------------------------------|
| ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ | 103.00                    | 39.60                       | 142.60                                  | 0.38    | 63.93                         |
| ทิศตะวันออกเฉียงใต้   | 655.83                    | 275.30                      | 931.13                                  | 0.42    | 5.55                          |
| ทิศตะวันตกเฉียงใต้    | 134.4                     | 51.60                       | 186.00                                  | 0.38    | 72.68                         |
| ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ  | 587.30                    | 207.40                      | 794.70                                  | 0.35    | 58.75                         |
| รวม                   | 1,480.53                  | 573.90                      | 2,054.43                                | 1.53    | 250.91                        |

ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

ตารางที่ 3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารเรียน 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (วัตต์ต่อตารางเมตร)  
จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม ISA's OTTV52

| ทิศ                | พื้นที่ผนังทึบ(ตร.ม.) | พื้นที่ผนังโปร่ง (ตร.ม.) |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| หลังคามุมเอียง 45° | 270.00                | 29.60                    |
| หลังคามุมเอียง 45° | 270.00                | 26.35                    |
| รวม                | 540.00                | 55.95                    |

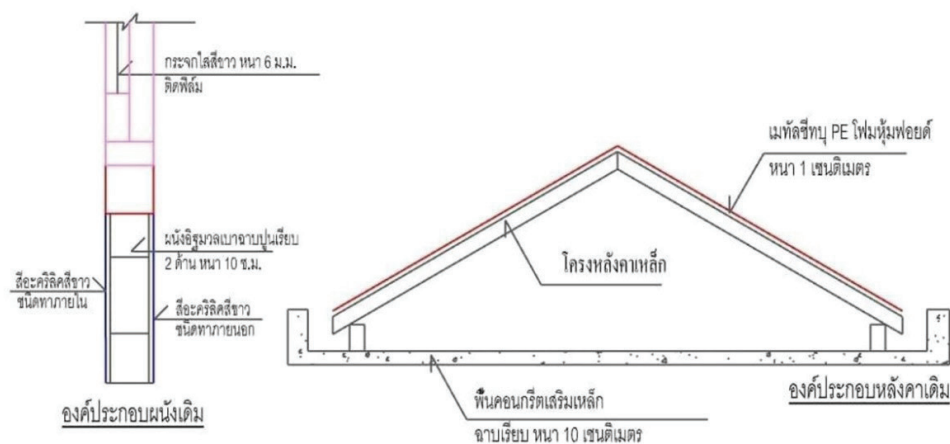
ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)



จากตารางที่ 1 และ 2 จะพบค่า OTTV สูงสุด 2 อันดับแรก ได้แก่ ทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศวันออกเฉียงเหนือ แต่ในสภาพแวดล้อมโดยรอบผนังในทิศนี้เกิดเงาทาบจากอาคารข้างเคียงทำให้ค่าความร้อนต่ำกว่าการคำนวณ จึงเหลือผนังในทิศตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งเป็นด้านยาวของอาคารและมีอัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร (WWR, Window to Wall Ratio) มากถึงร้อยละ 35 (ตารางที่ 2) จะได้รับผลกระทบจากรังสีความร้อนมากโดยเฉพาะช่วงบ่าย โดยมีค่า OTTV เท่ากับ 58.75 วัตต์/ตารางเมตร เกินค่ามาตรฐาน มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ที่ผนังที่เท่ากับ 1.57 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และผนังโปร่งแสงมากถึง 5.74 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) เท่ากับ 46,692 วัตต์ และที่หลังคาในทิศนี้ มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) เท่ากับ 1.424 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และมีค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) เท่ากับ 7,113.29 วัตต์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงแก้ไขกรอบอาคาร พบว่า การปรับปรุงผนังอาคารที่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังอิฐมวลเบา โดยใช้ฉนวนกันความร้อนที่หนาตั้งแต่ 3 นิ้ว ขึ้นไปจะช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารและลดการเกิดสะสมความร้อน เป็นการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Phichetsin, 2002) การปรับปรุงผนังอาคารให้ค่า OTTV ผ่าน โดยใช้เงินลงทุนน้อยและคืนทุนเร็วคือการปรับปรุงเฉพาะผนังที่ด้วยการติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีน หนา 1 ½ นิ้ว ร่วมกับแผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 8.16 และเมื่อเปลี่ยนกระจกโพลีใส เป็นกระจกโพลีคาร์บอเนตจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 10.87 (Chaichana, 2016)

สำหรับพิจารณาเลือกปรับปรุงผนังกระจกโดยทำการเปลี่ยนฟิล์มกระจก จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ควรพิจารณาคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ (SC) ค่าแสงส่งผ่านฟิล์มรวมกระจกสูง (VLT) และค่าเปอร์เซ็นต์การลดความร้อนรวมด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kunkar & Wanwong (2019) ผ่านโปรแกรม ISA's OTTV52 พบว่าเมื่อปรับปรุงผนังกระจกใส ด้วยการติดฟิล์มลดความร้อนที่ทำจากโพลีเอสเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 0.28 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และมีความสามารถในการลดความร้อนรวมได้สูงได้ถึงร้อยละ 72 โดยวัดตามมาตรฐานของ ASTM E-903 จะช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมลงได้ถึงร้อยละ 42.2



ภาพที่ 4 ภาพตัดจำลององค์ประกอบผนังและหลังคาก่อนการปรับปรุง  
ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

## แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

การวิจัยนี้ทำการปรับปรุงกรอบอาคารเฉพาะบางด้านในทิศที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ผ่านโปรแกรม ISA's OTTV52 จำนวน 3 ทางเลือก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

**การปรับปรุงทางเลือกที่ 1** มีรายละเอียดตามภาพที่ 5 - 7 ดังนี้

ผนังอาคาร ผนังทึบใช้ผนังเดิมที่เพิ่มช่องว่างอากาศ 10 เซนติเมตร และฉนวนโพลีสไตรีน (expanded polystyrene foam, EPS Foam) ชนิดไม่ลามไฟหนา 3 นิ้ว แล้วกรุด้วยยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร ฉาบแต่งผิวด้วยปูนยิปซัม ส่วนผนังโปร่งแสงติดฟิล์มอาคาร 3M ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ผนังทึบลดลงเหลือ 0.972 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส ที่ผนังโปร่งแสงลดลงเหลือ 2.73 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และมีค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) ลดลงเหลือ เท่ากับ 22,803 วัตต์ ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ลดลงเหลือ 29.72 วัตต์/ตารางเมตร

หลังคา ฉีดพ่นฉนวนโพลียูรีเทน (PU) ด้านบนหลังคาเมทัลชีทหนา 5 เซนติเมตร ได้หลังคาฉนวนโพลีเอทิลีน (PE) หุ้มพอยล์สะท้อนความร้อนหนา 5 มิลลิเมตร ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลดลงเหลือ 0.175 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และมีค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) ที่หลังคาลดเหลือเท่ากับ 1,860.86 วัตต์ ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาลดลงเหลือ 3.45 วัตต์/ตารางเมตร

**การปรับปรุงทางเลือกที่ 2** มีรายละเอียดตามภาพที่ 5 - 7 ดังนี้

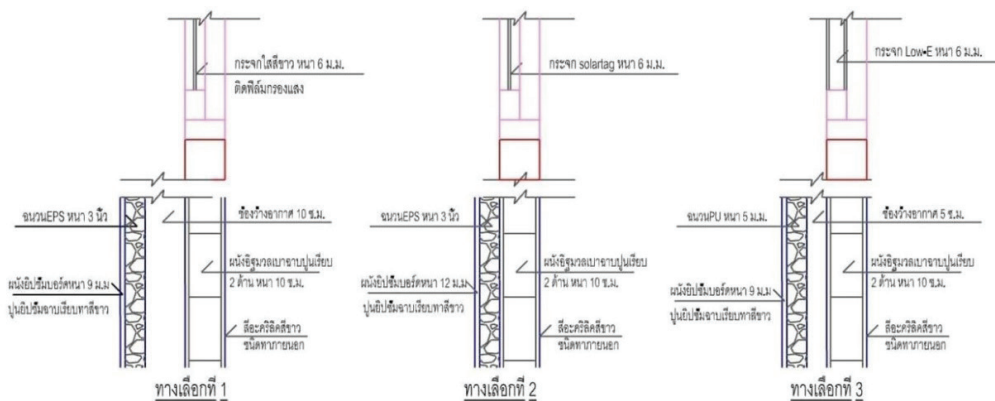
ผนังอาคาร ใช้ช่องค้ำประกอบผนังทึบคล้ายกับการปรับปรุงทางเลือกที่ 1 แต่ไม่มีช่องว่างอากาศและเพิ่มความหนาแผ่นยิปซัมบอร์ดเป็น 12 มิลลิเมตร ส่วนผนังโปร่งแสงใช้กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า (solartag) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ผนังทึบลดลงเหลือ 0.504 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส ที่ผนัง

โปร่งแสงลดลงเหลือ 4.82 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และมีค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) ลดลงเหลือ เท่ากับ 18,320 วัตต์ ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ลดลงเหลือ 27.93 วัตต์/ตารางเมตร

หลังคา ฉีดพ่นฉนวนโพรพิลีนยูรีเทน (PU) หนา 1 เซนติเมตร บนหลังคาเมทัลชีทและฉีดพ่นหนา 5 มิลลิเมตร บนเพดาน ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลดลงเหลือ 0.67 วัตต์/ตารางเมตร องศาเซลเซียส และมีค่าความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) ที่หลังคาคงเหลือเท่ากับ 875.98 วัตต์ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาลดลงเหลือ 3.17 วัตต์/ตารางเมตร



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการฉีดพ่นฉนวนโพรพิลีนยูรีเทนบนหลังคา  
ที่มา: CM coating team (2018)

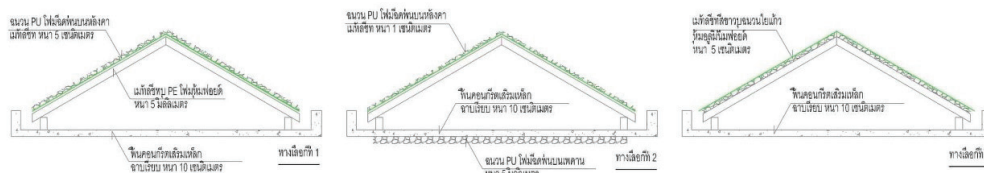


ภาพที่ 6 ภาพตัดแสดงองค์ประกอบผนังทึบและผนังโปร่งเมื่อทำการปรับปรุงทางเลือกที่ 1-3  
ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

การปรับปรุงทางเลือกที่ 3 มีรายละเอียดตามภาพที่ 6 - 7 ดังนี้

ผนังอาคาร ใช้ผนังเดิมที่เพิ่มช่องว่างอากาศภายใน 5 เซนติเมตร เพิ่มฉนวนโพลีสไตรีน หนา 5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนผนังโปร่งแสงหรือกระจกเป็นกระจกกันความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนต่ำ (Low-E) สีเขียว 2 ชั้น มีช่องว่าง 1.50 เซนติเมตร ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังลดลงเหลือ 20.75 วัตต์/ตารางเมตร

หลังคา ได้หลังคาบุฉนวนใยแก้วหุ้มอลูมิเนียมพอยล์หนา 5 เซนติเมตร ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลดลงเหลือ 0.26 วัตต์/ตารางเมตร กระจกเขียว และมีความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Q) ที่หลังคา คงเหลือเท่ากับ 1,326.49 วัตต์ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาเหลือ 5.22 วัตต์/ตารางเมตร



ภาพที่ 7 องค์ประกอบหลังคาเมื่อทำการปรับปรุงทางเลือกที่ 1 - 3

ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

## ผลสรุปและการอภิปรายผล

จากผลการปรับปรุงทั้ง 3 ทางเลือก ทุกการปรับปรุงผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายเมื่อทำการศึกษาองค์ประกอบวัสดุที่ใช้ปรับปรุงกรอบอาคารเรียน 42 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถวิเคราะห์และสรุปผลได้ 2 ส่วน ดังนี้

### 1. การพิจารณาองค์ประกอบวัสดุที่ใช้ปรับปรุงผนัง

การเลือกใช้ทางเลือกที่ 1 มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) 29.72 วัตต์/ตารางเมตร ผ่านตามกฎหมาย เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบในภาพที่ 6 จะพบว่า เป็นผลมาจากองค์ประกอบสำคัญ คือ ช่องว่างอากาศ 10 เซนติเมตร ฉนวนโฟม EPS ปิดทับด้วยอิพซิมบอร์ด 9 มิลลิเมตร เพิ่มความแข็งแรงด้วยปูนอิพซิมฉาบเรียบ รวมถึงการใช้กระจกเติมติดฟิล์มกรองแสงที่มีคุณสมบัติยอมให้แสงผ่านได้มากแต่ความร้อนผ่านน้อย ดังนั้น ทางเลือกที่ 1 ถึงจะให้ผลลัพธ์ที่ดีแต่จะทำให้เสียพื้นที่ห้องจำนวนหนึ่งเนื่องจากผนังห้องร้อนเข้ามาถึง 0.20 เมตร



**การเลือกใช้ทางเลือกที่ 2** มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) เหลือ 27.93 วัตต์/ตารางเมตร เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบในภาพที่ 6 จะพบว่า เป็นผลมาจากการใช้กระจก solar tag ที่เป็นกระจกสะท้อนแสง แต่มีองค์ประกอบผนังที่คล้ายกัน แตกต่างกันที่ไม่มีช่องว่างอากาศจึงช่วยลดการเพิ่มความหนาของผนังเป็น 12 มิลลิเมตร ส่งผลให้เสียพื้นที่ปรับปรุงผนังน้อยกว่าทางเลือกที่ 1 มาก ดังนั้น ทางเลือกที่ 2 มีความน่าสนใจมาก แต่เจ้าของอาคารต้องคำนึงถึงงบประมาณในการเปลี่ยนกระจก เวลาการปรับปรุงที่กระทบการเรียนการสอนในอาคารและระงับการเกิดแสงสะท้อนแสงจากผิวกระจกสู่ชุมชนภายนอก

**การเลือกใช้ทางเลือกที่ 3** มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) 20.75 วัตต์/ตารางเมตร ผ่านตามกฎหมาย เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบในภาพที่ 6 จะพบว่า องค์ประกอบผนังที่คล้ายคลึงกับทางเลือกที่ 1 โดยทางเลือกที่ 3 มีความหนาของช่องว่างอากาศน้อยกว่ากึ่งหนึ่ง แต่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่ามาก เป็นผลมาจากการใช้กระจกกันความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนต่ำ หรือ Low-E ซึ่งให้ผลที่ดีมากแต่ก็มีต้นทุนวัสดุและการติดตั้งที่สูงมากเช่นกัน ดังนั้น ไม่ควรพิจารณาเลือกใช้ทางเลือกนี้

## 2. การพิจารณาองค์ประกอบวัสดุที่ใช้ปรับปรุงหลังคา

จากผลทั้ง 3 ทางเลือก จะพบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาผ่านตามกฎหมายที่ต่ำมาก คือ 3.17 3.45 และ 5.22 จากทางเลือกที่ 2 1 และ 3 ตามลำดับ เป็นผลมาจากการเพิ่มฉนวนให้แกหลังคา คอนกรีตเสริมเหล็กมุงเมทัลชีสสีแดงติดพอยล์หนาเพียง 1 เซนติเมตร ซึ่งหากพิจารณาถึงอายุการใช้งานของฉนวนแล้ว ไม่ควรใช้ทางเลือกที่ 3 ที่เป็นฉนวนใยแก้ว ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จะเหลือทางเลือกที่ 1 และ 2 การใช้ฉนวนโฟม PU สีขาวฉีดยาหลังคาเพื่อเพิ่มการสะท้อนความร้อนบนหลังคาสีแดงเดิมที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี อยู่ที่ 0.7 (ภาพที่ 5 และ 7) หลังจากการวิเคราะห์จึงเสนอแนะให้ใช้การปรับปรุงทางเลือกที่ 1 การฉีดยาฉนวนโฟม PU หนา 5 เซนติเมตร ซึ่งให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด และให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาเท่ากับ 3.45 วัตต์/ตารางเมตร สูงกว่าทางเลือกที่ 2 เพียงเล็กน้อย และดำเนินการได้ง่ายไม่กระทบการเรียนการสอนในอาคาร ในขณะที่ทางเลือกที่ 2 จะเสียค่าใช้จ่ายในการฉีดยาฉนวนได้เพดานด้วย

เมื่อพิจารณาผลสรุปจากทั้ง 3 ทางเลือกนี้เพิ่มเติมพบว่า ทุกทางเลือกมีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกัน การเพิ่มขนาดของช่องว่างอากาศและฉนวนของผนังที่บด ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ทั้งพบว่า การใช้กระจกกันความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนต่ำจะให้ผลดีมากที่สุด มีต้นทุนสูงมาก ใช้เวลาและความยากในการติดตั้งอาจไม่คุ้มกับการปรับปรุง ส่วนองค์ประกอบของวัสดุหลังคา ข้อดีของฉนวนโฟม คือ ช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนที่หลังคาได้อย่างมาก กันรั่วซึม กันเสียงได้ แต่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการแตกต่างจากฉนวนใยแก้วที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ราคาไม่สูง ช่างทั่วไปดำเนินการได้

ทั้งนี้ การพิจารณาเปลี่ยนแปลงใดๆ เจ้าของอาคารควรพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ระยะยาว-ความยากง่ายในการปรับปรุง พื้นที่ใช้สอยที่เหลือหลังการเพิ่มขึ้นความหนาผนัง และความสามารถในการรับน้ำหนักของอาคารจากวัสดุที่ปรับปรุงด้วย การหวังเพียงแค่ต้องการลดค่าการถ่ายเทความร้อนให้ผ่านเกณฑ์ให้มากแต่การลงทุนสูงกว่าจะคืนทุนอายุวัสดุก็เสื่อมลง ดังนั้น ความเป็นไปได้ในการปรับปรุง

กรอบอาคารเรียนหลังนี้ ควรผสมผสานรูปแบบการปรับปรุงเข้าด้วยกัน โดยให้แก้ไขโดยง่าย ลงทุนไม่มาก และยั่งยืนแต่ก็ผ่านตามกฎหมาย และควรหาเทคนิควิธีอื่นเข้าร่วมผสมผสานด้วยเช่นกัน เนื่องจากในความเป็นจริง การปรับปรุงอาคารในมหาวิทยาลัยรัฐจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้มากนักด้วยข้อจำกัดเรื่องเวลาและงบประมาณ การพิจารณาหาวิธีจัดการพลังงานในอาคารในแนวทางอื่นๆ ที่ยั่งยืน ต้นทุนต่ำ ถือว่าเป็นหลักการสำคัญในงานบริหารทรัพยากรอาคาร

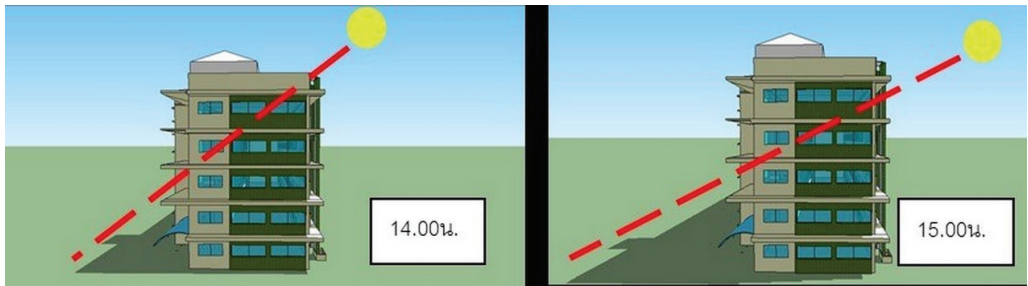
จากการศึกษาแนวทางการออกแบบตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย (Thai Green Building Institute (TGBI), 2012) โดยสถาบันอาคารเขียวไทย ในหมวดที่ 2 ผังบริเวณ และภูมิทัศน์ พบว่า การปรับปรุงสภาพอากาศจุลภาค หรือ การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมอาคาร (microclimate) อย่างเหมาะสม จะช่วยให้อาคารมีสภาพแวดล้อมที่ดี ประหยัดพลังงาน และช่วยลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากหลังคาและเปลือกอาคาร (urban heat island) ที่จะส่งผลต่อสภาพอากาศจุลภาค ซึ่งการปลูกพืชพรรณบนหลังคาหรือผนังภายนอกอาคาร เช่น สวนแนวตั้งไม้เลื้อย ไม้กระถางกึ่งถาวร นับเป็นเทคนิควิธีธรรมชาติ (passive technique) ที่ช่วยลดความร้อนที่กรอบอาคารจากการสร้างร่มเงาที่ผนัง สร้างความร่มรื่นได้โดยไม่ต้องลงทุนมากแต่ยั่งยืน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kespratoom (2000) ที่กล่าวว่า พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก อิทธิพลอุณหภูมิผิวผนังมีผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ผนังที่ผิวภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงหรือหาสีขาวจะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำกว่าผนังที่ได้รับรังสีโดยตรงเท่ากับ 0.6 - 1.8 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในอาคารที่กลางวันมีการปรับอากาศ การป้องกันไม่ให้ผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง เช่น ทำให้ผนังภายนอกเกิดร่มเงาหรือการทำให้สภาพแวดล้อมอาคารเย็นก็จะช่วยให้อุณหภูมิผิวต่ำลงได้ ตรงกันกับ Nittaya (1998) กล่าวว่า การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมอาคารให้เย็นกว่าสภาพภูมิอากาศทั่วไปในปัจจุบันที่เหมาะสม จะสามารถลดอุณหภูมิลงได้ถึง 3 องศาเซลเซียส และการใช้สภาพแวดล้อมให้เกิดประโยชน์ จะช่วยลดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว (Mean Radian Temperature, MRT) ได้ ดังนั้น การทำสวนแนวตั้งในทิศตะวันตกเฉียงเหนือที่มีหน้าต่างตลอดแนวอาคารทั้ง 5 ชั้นนี้ จะสามารถป้องกันความร้อนโดยตรงจากรังสีดวงอาทิตย์และจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนจากพื้นที่ลานคอนกรีตข้างเคียงได้เพิ่มขึ้น และช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากถนนสามเสนได้ (ภาพที่ 8) และยังพบว่า ในช่วงระหว่างวัน ใบไม้เลื้อยจะทำการคายน้ำมากส่งผลให้หลังแผงไม้เลื้อยมีอุณหภูมิต่ำสามารถใช้ข้อดีในส่วนนี้มาใช้ในการออกแบบแผงไม้เลื้อยเป็นระยะ เพื่อให้เมื่อกระแสลมพัดผ่านจะเพิ่มสมรรถนะในการลดความร้อนได้ดีขึ้น



ภาพที่ 8 แนวผังอาคารเรียน 42 ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ(แนว A) ที่เสนอให้ติดตั้งสวนแนวตั้ง  
ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

สำหรับภูมิอากาศกรุงเทพฯ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า พรรณไม้ที่ใช้ทำสวนแนวตั้งควรดูแลรักษาง่ายและอายุยืน เลื้อยได้สูงไม่ต่ำกว่า 3 เมตร เติบโตเร็วและใบมีความหนาแน่นปานกลางปกคลุมทั่วถึงในแนวตั้ง ใบร่วงน้อยและเขียวตลอดปี และพบว่า ต้นสร้อยอินทนิล (*thumbergia grandiflora*) มีคุณสมบัติใกล้เคียงที่สุด คือ เป็นไม้เลื้อยขนาดกลาง สามารถเลื้อยขึ้นและห้อยลงปกคลุมได้ดีในแนวตั้ง มีดอกสีม่วงสวยงามตลอดปี มีใบกลมใหญ่หนาแน่นปานกลาง เมื่อนำมาทำแผงไม้เลื้อยจะมีสมรรถนะที่ดีในการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวัน ทำให้อุณหภูมิภายในห้องขนาด 4.00 X 6.00 เมตร ลดลงได้ 1.65 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีปิดห้อง และ 2.79 – 3.39 องศาเซลเซียส เมื่อใช้การเปิดพัดลมภายในห้องช่วยระบายความร้อนได้อีกทาง (Sunakorn & Yimprayoon, 2011) และพบว่า ฝัวยี่วที่สามมีขนปกคลุมจึงมีคุณสมบัติการดักจับฝุ่นมากที่สุดร้อยละ 66.27 ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุดถึง 20 ppm (Sunakorn & Kasemsap, 2010)

ผลจากการวิจัย เมื่อจำลองสภาพแวดล้อมอาคารและจำลองการติดตั้งแผงไม้เลื้อยเป็นระยะตามแนวช่องหน้าต่างด้วยโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ Google Sketch Up พบว่า ในช่วงเวลา 14.00 น. - 15.00 น. จะเป็นเวลาที่แดดมีผลกระทบผนังอาคารมากที่สุด (ภาพที่ 9) และเมื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศด้วยเครื่องมือวัด Rotronic CL11 ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนพบว่า อุณหภูมิกลางห้องเรียน มีค่าเท่ากับ 31.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 37.6 องศาเซลเซียส สรุปผลได้ว่า สวนแนวตั้งนี้จะช่วยลดอุณหภูมิกลางห้องเรียนได้เพิ่มมากที่สุดที่ 28.31 องศาเซลเซียส หรืออาจเข้าใกล้เขตสบายมากขึ้น



ภาพที่ 9 ลักษณะเงาที่ตกกระทบอาคารในเวลา 14.00 น. และในเวลา 15.00 น.

ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)



ภาพที่ 10 การวัดอุณหภูมิอากาศด้วยเครื่องมือวัด Rotronic CL11

ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)



ภาพที่ 11 ภาพจำลองสวนไม้เลื้อยแนวตั้ง ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ที่มา: Kunkar & Krukaset (2018)

สำหรับวิธีการปลูกสวนไม้เลื้อยแนวตั้งด้วยแบบแปลนที่เหมือนกันทุกชั้น มีตำแหน่งหน้าต่างที่ตรงกัน จึงสามารถตั้งกระถางปลูกไว้ให้ไม้เลื้อยขึ้น-ลงได้ตามแนวความสูงของอาคาร และเมื่อทำการคัดเลือกรูปแบบแผงไม้เลื้อยที่เหมาะสมพบรูปแบบที่คุ้มค่า ได้แก่ การตั้งกระบะปลูกพร้อมติดตั้งโครงลวดสลิงหุ้มสายยางให้ยึดเกาะ โดยตั้งกระบะคอนกรีตขนาด  $0.60 \times 0.60 \times 1.50$  เมตร ไว้ที่ชั้นล่างให้ไม้เลื้อยขึ้นปลูกกระบะละ 2 ต้น ซึ่งลวดสลิงยาวขึ้นทั้ง 5 ชั้น เว้นระยะห่างแต่ละเส้น 15 เซนติเมตร ติดตั้งห่างกันเป็นคู่ตามแนวช่องแสง รวม 12 แนว (ภาพที่ 11) การเว้นห่างจากแนวหน้าต่างเท่ากับแนวครีบกั้นแดดแนวนอนใช้เวลาในการเติบโตให้เต็มแผง 3 เดือน การปกคลุมของใบร้อยละ 90 มีจำนวนชั้นใบมากที่สุด 4 ชั้น

## ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัย การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและจำลองสถานการณ์เพื่อช่วยสนับสนุนการจัดการด้านพลังงานในอาคารเรียน สามารถเสนอแนะประเด็นสำคัญ ได้ 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

1. การพิจารณาลงทุนปรับปรุงกรอบอาคารเก่าให้เป็นไปตามกฎหมาย การพิจารณาเลือกการปรับปรุงใช้แบบใด นอกจากความต้องการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเพื่อผ่านเกณฑ์ให้มากแล้ว เจ้าของอาคารควรตระหนักถึงความคุ้มค่าในการลงทุนและคงประโยชน์ใช้สอย ระยะเวลา-ความยากง่ายในการปรับปรุง รวมถึงพื้นที่ใช้สอยที่เหลือหลังการเพิ่มขึ้นความหนาแน่น และที่สำคัญคือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของอาคารภายหลังการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงใดๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการรีอัสตเดิม

2. จากข้อจำกัดในการปรับปรุงกรอบอาคารเก่า เมื่อทำการออกแบบอาคารใหม่หรือสามารถปรับปรุงพื้นที่ได้อย่างต้องการ อาคารควรตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมอาคารที่ดี มีการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ จะช่วยทำให้อุณหภูมิผิวอาคารที่รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงลดลงได้ เป็นวิธีการช่วยลดภาระในการปรับอากาศได้ดีในระดับหนึ่ง ง่ายและลงทุนต่ำกว่าการหาวัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงๆ หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ต่ำๆ แต่ราคาแพง และที่สำคัญคือ การออกแบบผนังอาคาร หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการวางแนวอาคารในทิศที่ต้องรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงได้ ควรให้ระวางไม่ให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคารมากเกินไป เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านกระจก

การพิจารณาเปลี่ยนฟิล์มกระจก เป็นทางเลือกที่ง่ายกว่าการเปลี่ยนกระจกใหม่ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนชุดวงกบและกรอบบาน ควรพิจารณาคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ ค่าแสงส่องผ่านฟิล์มรวมกระจกสูง และค่าเปอร์เซ็นต์การลดความร้อนรวมด้วย

3. การคัดเลือกวัสดุสีทาสีผนังหรือหลังคา เป็นทางเลือกหนึ่งที่ต้องกระทำเมื่อถึงรอบในการบำรุงรักษาอาคารเก่า สีที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนและมีค่าการสะท้อนแสงมากขึ้น เช่น สีเซรามิก (ceramic coating) ทำหน้าที่เป็นฉนวนและสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้มากถึงร้อยละ 94 - 96 หรือ สีสะท้อนความร้อน (heat reflective painting) ให้ค่าการสะท้อนแสงมากและช่วยลดอุณหภูมิผิวหลังคาได้ 20 - 25 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิใต้หลังคาลดลงเช่นกัน ซึ่งค่าทางเทคนิคเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามแต่บริษัทผู้ผลิต ทั้งนี้ ผู้ดูแลอาคารควรคำนึงงบประมาณเป็นสำคัญ



4. งานสวนเป็นหน้าที่หลักของผู้ดูแลอาคาร จึงต้องดูแลสภาพแวดล้อมอาคารให้สวยงาม โปร่ง โล่ง สบาย คำนวณและได้คุณภาพชีวิตที่ดี ดังนั้น การจัดการสวนแนวตั้ง การจัดการพื้นที่สวนแนวตั้ง และการนำไปใช้งาน นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้น มีข้อเสนอแนะดังนี้

4.1 การติดตั้งระแนงที่มีประสิทธิภาพ ควรมีระยะห่างจากหน้าต่างเพื่อความสะดวกในการเปิดปิด และการถ่ายเทความร้อนออกในตอนกลางวัน อย่างน้อยควรติดตั้งห่างออกจากตัวอาคารเท่ากับระยะครึ่งกันแดดแนวนอน (Fin) 0.8 - 1.00 เมตร หรือห่างจากระยะเปิดของหน้าต่าง (กรณีหน้าต่างบานเปิด) อย่างน้อย 0.10 เมตร แต่หากพบว่าเกิดความร้อนสะสมที่คายออกไม่หมดในเวลากลางวัน สามารถแก้ไขได้โดยให้แม่บ้านเมื่อมาทำความสะอาดห้องในเวลาเช้ามีเปิดประตูหน้าต่างรับอากาศธรรมชาติมาหมุนเวียน เพื่อพร้อมใช้ในการเรียนการสอนในคาบแรก และสำหรับในคาบแรกช่วงบ่ายของแต่ละวัน เมื่อเปิดใช้ห้องเรียนให้เปิดพัดลมดูดอากาศและพัดลมภายในห้อง ควบคู่กันไปกับเครื่องปรับอากาศประมาณ 15 นาที เพื่อช่วยเร่งความเร็วลมในห้องเรียน

4.2 ความชื้น มีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายโดยตรง เนื่องจากความชื้นในอากาศมีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว เมื่อค่าความชื้นสูงมากๆ จะทำให้ร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนด้วยการระเหยเหงื่อได้ทำให้เกิดสภาวะไม่สบายอีกทั้งทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตของราและตะไคร่ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 80 (Boonyathikarn & Chindavanig, 1993) ดังนั้น การนำพรรณไม้และน้ำมาใกล้ตัวอาคารจึงควรมีการถ่ายเทอากาศที่ดีพอ

4.3 การดูแลรักษา ต้นสร้อยอินทนิล เป็นไม้กลางแจ้งความต้องการแสงแดดมาก เจริญงอกงามได้ดีในดินร่วนปนทรายที่ระบายน้ำได้ดี ความชื้นปานกลาง ขณะปลูกให้ใช้ปุ๋ยหมักรองกันหลุม เมื่อต้นโตแล้วให้พรวนดินบริเวณโคนต้นแล้ว ใส่ปุ๋ยหมักปีละ 2 - 3 ครั้ง หลังปลูกเมื่อต้นโตและแข็งแรงดีแล้วให้รดน้ำวันละ 1 ครั้ง รดน้ำพอดินชุ่มแต่ไม่แฉะ ทั้งนี้ มาตรการประหยัดน้ำในงานสวนก็เป็นสิ่งสำคัญ เสนอแนะให้รดน้ำต้นไม้ด้วยระบบน้ำแบบหัวพ่นโปรย (sprinkler) หรือหัวพ่นหมอก ข้อดีของระบบนี้คือ ละอองที่เป็นฝอยสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศก่อนสัมผัสผิวใบ ใบตอกไม่ชื้น ทั้งยังสามารถชะล้างใบที่ติดกับฝุ่นละอองที่กระทบต่ออาคารได้ดี

4.4 การพิจารณาน้ำทิ้งจากคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ มาใช้ร่วมกับประปาที่เป็นวิธีประหยัดน้ำใช้ได้อีกทาง จากงานวิจัยของ Jekjantuek & Kunkar (2018) พบว่า ใน 12 ชั่วโมงจะได้น้ำทิ้งจากคอมเพรสเซอร์มาใช้มากถึง 2 ลิตร /เครื่อง พืชไม้เลื้อยใช้น้ำประมาณ 20 ลิตร/ต้น/วัน สามารถลดการใช้น้ำประปาได้ประมาณร้อยละ 10 ของน้ำประปาที่ใช้รดในแต่ละวัน ดังนั้น อาคารเรียน 42 มีคอมเพรสเซอร์ทั้งสิ้น 60 เครื่อง จะได้น้ำทิ้งมากถึง 120 ลิตร ใน 8 ชั่วโมง/วัน ทั้งนี้ ข้อพึงระวังเมื่อนำน้ำทิ้งมาใช้คือ ผู้ดูแลอาคารควรต้องศึกษาระบบการกรองน้ำส่วนนี้ก่อนนำไปใช้เพื่อกันตะกอนอุดตันในระบบท่อ

ในงานบริหารทรัพยากรอาคาร การควบคุมค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษาอาคารสถานที่เป็นสิ่งสำคัญงบประมาณที่ต้องใช้เพื่อการบริหารจัดการด้านพลังงานในแต่ละเดือนมีมูลค่าที่สูงมาก เจ้าของอาคารและผู้ดูแลอาคารจำเป็นต้องหาวิธีในการลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยตัดสินใจ นับเป็นวิธีหนึ่งที่น่าเชื่อถือเห็นภาพได้ชัดเจน สามารถประเมินผลได้รวดเร็ว ช่วยให้เจ้าของอาคารมีข้อมูลในมือประกอบการตัดสินใจลงทุนในการอนุรักษ์พลังงานทั้งตามกฎหมายและการสมัครใจ ซึ่งความคุ้มค่าทางสังคมที่ได้รับหลังการลงทุนคือการได้ภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร

## เอกสารอ้างอิง

- Boonyathikarn, S & Chindavanig, T. (1993). **Karn wikhro saphawa na sabai lae saphabwaetlom tee kiaokhong khong arkhan sathapattayakam Thai.** (In Thai) [An evaluation of thermal comfort and related variables in Thai architecture]. (Research report). Bangkok: Faculty of Architecture, Chulalongkorn University.
- Chaichana, S. (2016). **Neawtang karn prubprung arkhan samnakngan satharanasuk changwat phuea prayat phalangngan.** (In Thai) [Renovation strategies to improve energy saving for provincial health office]. **Veridian E-Journal**, 9 (1), 1703-1716.
- CM coating team. (2018). **Si sathon kwam ron ceramic coating technology.** (In Thai) [Heat insulation ceramic coating technology]. Retrieved September 10, 2018, from <https://www.cm-coatingteam.com/content/2624/insulation-ceramiccoating-coolhouse>
- Jekjantuek, T. & Kunkar, J. R. (2018). **Karn chai prokraem chamlong lom ruam kub san neawtang phuea chatkarn phuenthee dai rub phonkrathob funla ong, phak utsahakam kosang.** (In Thai) [Using a wind simulator program with a vertical garden to manage the affected area of the dust and construction industry]. Bangkok: Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University.
- Kespratoom, N. (2000). **Phuettikam karn thaithe kwam ron khong phanang arkhan tee mee muansan mak.** (In Thai) [Thermal behavior of high mass building wall]. (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Kunkar, J. R. & Krukaset, P. (2018). **Karn oakbab prubprung krop arkhan ruam kub karn chai technique thammachat phuea phoem prasitthiphap karn prayat phalangngan nai arkhan rian.** (In Thai) [Building envelope design with passive techniques to improve energy efficiency in the school building]. (Research report). Bangkok: Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University.
- Kunkar, J. R. & Wanwong, W. (2019). **Karn oakbab prubprung prasitthiphap krop arkhan samnakngan lae karn prubprung saphabwaetlom arkhan.** (In Thai) [Design of building performance improvement and improving building environment]. **Proceedings of the 3rd Suan Sunandha Academic National Conference on "Education for learning development" 2019.** (pp.1148-1157). Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University.

- Minister of Energy. (2009). Kot krasuang kamnot praphet rue khanat khong arkhan lae mattrathan lakken lae withikarn nai karn oakbab arkhan phuea karn anurak phalangngan phoso 2552. (In Thai) [Ministerial regulations prescribing categories or the size of the building and the standards, criteria and methods in building design for energy conservation, BE. 2009], (2012, 30 November). Royal Thai Government Gazette. Rule Number 129 section number 122 n. pp.9-15.
- Nittaya, S. (1998). Karn oakbab arkhan samrab phumi akat khet ron chuen. (In Thai) [Tropical design environment]. (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Phichetsin, K. (2002). Neawtang nai karn prubprung phanang arkhan derm phuea lot karn thaithe kwam ron khao su arkhan. (In Thai) [A guideline for building wall system to improve thermal performance]. (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Prapasongsit, J. (2001). Karn oakbab prubprung rabob plueak arkhan phuea karn chai phalangngan yang mee prasitthipap koranee sueksa: arkhan samnakngan thanakhan Thahan Thai (samnakngan yai). (In Thai) [Building envelope improvement for energy efficiency of existing building case study: Thai Military Bank (Head Office), Bangkok] (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Sunakorn, P. & Kasemsap, P. (2010). Samatthana karn dut sap khabon dai ok sai khong phanang mai lueai. (In Thai) [CO2 uptake performance of climbing plant wall]. *Journal of Architectural/ Planning Research and Studies*, 7 (2), 173-187.
- Sunakorn, P. & Yimprayoon, C. (2011). Karn phoem samatthana nai karn thaithe kwam ron khong phaeng kandaet mai lueai duai karn rabai akat. (In Thai) [Increasing thermal performance of climbing plant shading by adding ventilation]. *Journal of Energy Research*, 8 (1), 38-53.
- Thai Green Building Institute (TGBI). (2012). Ken karn pramoen kwam yangyuen tang phalangngan lae singwaetlom Thai samrab arkhan rawang chai ngan, sathaban arkhan khiao Thai. (In Thai) [Thai's rating of energy and environmental sustainability for existing building: operation and maintenance, TREES-EB]. Bangkok: Author.