การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอาคารคลังเก็บยาที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารประสิทธิภาพสูง

Improving Eco-Efficiency of the Pharmaceutical Warehouse by Using High-Performance Building Envelope

รับบทความ	28/01/2569
แก้ไขบทความ	18/05/2569
ยอมรับบทความ	08/06/2569

ปัฐมาวีร์ วิทยาภัค อรรจน์ เศรษฐบุตร สริน พินิจ
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Pattamawee Wittayapak, Atch Sreshthaputra, Sarin Pinich
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
6570030025@student.chula.ac.th, Atch.S@chula.ac.th, Sarin.Pi@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารคลังเก็บยาที่ควบคุมอุณหภูมิ (warehouse) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความคุ้มค่าของวัสดุเปลือกอาคารในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยศึกษาอาคารคลังเก็บยาควบคุมอุณหภูมิ (warehouse) ของรัฐวิสาหกิจแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานครที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีการใช้งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งตั้งอยู่ในสภาวะอากาศของประเทศไทย โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน ขนาดพื้นที่ จำนวนคน อุปกรณ์อาคาร และลักษณะต่าง ๆ ของอาคารคลังเก็บยา เพื่อนำมากำหนดเป็นอาคารอ้างอิง (base case) โดยเลือกศึกษาเฉพาะเปลือกอาคารในส่วนผนังอาคารที่เป็นผนังทึบเท่านั้น จำลองการใช้พลังงานรวมของอาคารด้วยโปรแกรม DesignBuilder โดยกำหนดรูปแบบของผนังทางเลือกไว้ทั้งหมด 3 กลุ่มวัสดุเปลือกอาคาร ประกอบไปด้วย วัสดุกลุ่ม A. ผนังมวลสาร (A. Mass Wall), วัสดุกลุ่ม B. ผนังฉนวนสำเร็จรูป (B. Insulated Wall) และวัสดุกลุ่ม C. ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน (C. Mass with Insulated Wall) โดยนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความคุ้มค่าของวัสดุเปลือกอาคารในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน รวมทั้งหมด 132 กรณี เพื่อหาแนวทางเชิงปฏิบัติสำหรับการเลือกใช้วัสดุและการระบุปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ผ่านการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยมุ่งเน้นที่ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco– Efficiency) ซึ่งเหมาะสมกับอาคารคลังเก็บยาควบคุมอุณหภูมิ

ผลการจำลองพลังงานในช่วงอายุอาคาร 20 ปี พบว่า โดยวัสดุกลุ่ม C ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน กรณีใช้ผนังก่ออิฐมวลเบา (ติดตั้งภายนอกอาคาร) ซึ่งมีค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.3 ร่วมกับฉนวนกันความร้อน (ติดตั้งด้านในอาคาร) ชนิด PIR หนา 6” เป็นมาตรการที่ดีที่สุดในแง่ของการประหยัดพลังงานและมีความคุ้มค่ามากที่สุดในด้านการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 92,617.07 $kgCO_2e$ หรือร้อยละ 23.90 และลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร -362,109.40 บาท หรือร้อยละ -0.09 โดยมีต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 3,415.50 บาท/$kgCO_2e$ เมื่อเทียบกับอาคารอ้างอิง

คำสำคัญ*: การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคาร การจำลองการใช้พลังงาน เปลือกอาคาร การประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ*

Abstract

The research aims to explore strategies for enhancing energy efficiency in temperature-controlled pharmaceutical warehouse buildings. It further conducts a comparative evaluation of the cost-effectiveness of building envelope materials in terms of their energy performance. Using a state enterprise warehouse in Bangkok as a base case, the study simulated (using DesignBuilder software) the building's total energy consumption across 132 scenarios using three material strategy groups: Group A. Mass Wall, Group B. Insulated Wall, and Group C. Mass with Insulated Wall. The ultimate goal is to establish practical guidelines for material selection and to identify key influencing factors that improve building energy efficiency through building envelope modifications, with a particular emphasis on eco-efficiency suitable for temperature-controlled pharmaceutical warehouse buildings.

The results of the 20-year building energy simulation indicate that Case C, Mass with Insulated Wall, provides the best overall performance in terms of both energy savings and economic cost-effectiveness for greenhouse gas (GHG) emission reduction. Specifically, the lightweight concrete block wall combined with internal insulation using 6-inch-thick PIR insulation and a solar absorptance value of 0.3 was identified as the optimal measure when compared to the reference building.

This measure achieved the highest GHG emission reduction of 92,617.07 kgCO_2e, equivalent to a reduction of 23.90%, while also resulting in a reduction in life-cycle cost of –362,109.40 THB, or –0.09%. The net marginal abatement cost of GHG emission reduction was 3,415.50 THB per kgCO_2e relative to the reference building.

Keywords*: energy efficiency improvement, building energy simulation, envelope, Marginal Abatement Cost Curve, Eco – Efficiency*

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

จากข้อมูลสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2567 และแนวโน้มปี พ.ศ. 2568 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2568) พบว่า มีการใช้พลังงานในภาคอาคารและที่อยู่อาศัยเป็นหนึ่งในภาคส่วนที่มีการใช้พลังงานสูง โดยมีสัดส่วนประมาณ 20–30% ของการใช้พลังงานในประเทศ ดังนั้นอาคารส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานในการดำเนินกิจกรรมในอาคาร รวมถึงการออกแบบระบบเปลือกอาคารและระบบประกอบอาคารให้มีประสิทธิภาพสูง หากอาคารไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน การประหยัดพลังงานก็ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

ในส่วนเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง (High Thermal Performance Building Envelope: HTPBE) เป็นปัจจัยสำคัญในการลดความร้อนและภาระการทำความเย็น เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ทำให้อาคารมีปริมาณการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นที่สูง ซึ่งการใช้พลังงานอาคารนอกจากจะคำนึงด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารที่ดีมากขึ้นแล้ว ควรคำนึงถึงด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย (Aslani, 2022) นอกจากนั้น การศึกษาของกุปตะและเด็บ (Gupta and Deb) (2023) พบว่าปัจจุบันมีการศึกษาเรื่องเปลือกอาคารมากขึ้น โดยมุ่งเน้นการศึกษาในอาคารประเภทที่พักอาศัยและอาคารสำนักงาน แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาคารประเภทอื่น ๆ โดยเฉพาะอาคารคลังเก็บยาซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานสูงนั้น ยังมีงานวิจัยอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า อาคารประเภทดังกล่าวมีศักยภาพในการนำมาศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

จากการสำรวจสถานที่เก็บยา 6 แห่งในกรุงเทพมหานคร พบว่า ในอดีตอาคารดังกล่าวไม่ได้มีการกำหนดเรื่องค่าอุณหภูมิและความชื้นในสถานที่เก็บยา แต่ในปัจจุบันมีการกำหนดหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการกระจายยา (Good Distribution Practices: GDP) ขึ้นใช้ในประเทศไทย โดยมีการกำหนดเกี่ยวกับสถานที่เก็บยา ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการกระจายยาแผนปัจจุบัน พ.ศ. 2564 วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 เพื่อใช้ในการควบคุม ซึ่งมีหลักเกณฑ์สำคัญคือ มีการกำหนดอุณหภูมิสถานที่เก็บยาที่ 25 องศาเซลเซียส และใช้ระบบปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้อาคารเดิมที่มีอยู่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงทั้งในส่วนอาคารและระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการหาแนวทางในการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคาร

จากประเด็นที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาแนวทางการออกแบบโดยการปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งคำนึงถึงด้านต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงการใช้งานอาคารสำหรับอาคารคลังเก็บยา โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Marginal Abatement Cost Curve: MACC) และ Eco–Efficiency เป็นเครื่องมือในการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มดังกล่าว และทำการวิเคราะห์วัสดุในแต่ละหมวดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบวัสดุเปลือกอาคารที่เหมาะสมต่ออาคารประเภทคลังเก็บยา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละมาตรการวัสดุเปลือกอาคาร นำเสนอด้วยวิธีการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (MACC) และวิธีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจในช่วงอายุของอาคาร 20 ปี สำหรับอาคารคลังเก็บยาควบคุมอุณหภูมิ (warehouse)

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาอาคารคลังเก็บยาควบคุมอุณหภูมิ (warehouse) ของรัฐวิสาหกิจแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีการใช้งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งอยู่ในสภาวะอากาศของประเทศไทย เพื่อกำหนดเป็นอาคารอ้างอิง (base case) ซึ่งการศึกษานี้เลือกศึกษาเฉพาะเปลือกอาคารในส่วนผนังอาคารที่เป็นผนังทึบเท่านั้น เนื่องจากคลังเก็บยาควบคุมอุณหภูมิ (warehouse) จะไม่นิยมมีหน้าต่างหรือช่องแสง โดยกำหนดรูปแบบของผนังตามชนิดและ

คุณสมบัติของวัสดุพร้อมแบ่งเป็นกลุ่มมาตรการวัสดุเปลือกอาคารและนำข้อมูลแต่ละมาตรการมาดำเนินการจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำผลการจำลองไปดำเนินการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละมาตรการวัสดุเปลือกอาคาร ด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (MACC) และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้วยการพิจารณาการประหยัดและความคุ้มค่าในการลงทุนเปรียบเทียบกับส่วนต่างของการรลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ทบทวนวรรณกรรม

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคาร

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารมีหลายแนวทาง ซึ่งการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารเป็นหนึ่งในนั้น โดยพุดไลเนอร์และโคลตัน (Pudleiner and Colton) (2015) ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ (sensitive parameters) ของอาคารคลังเก็บวัคซีน กรณีศึกษาในประเทศไทย พบว่า การลดความร้อนของอาคารด้วยการใช้วัสดุเปลือกอาคารถือเป็นปัจจัยที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนไม่ให้เข้ามาในตัวอาคาร ทำให้การใช้พลังงานในอาคารลดลง ซึ่งการเลือกวัสดุในการเปลี่ยนเปลือกอาคารอย่างเช่นฉนวนกันความร้อนมาใช้นั้น แม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกันความร้อนได้ แต่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมด้วย (จิราภา เดชจิระกุล, 2561) เช่น ความคุ้มค่าด้านต้นทุนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคาร (Tomoscheit et al., 2011) เป็นต้น

การเลือกวัสดุและปัจจัยที่มีผลต่อเปลือกอาคารที่นำมาใช้

จากการศึกษา พบว่า การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาเป็นทางเลือกสำคัญที่ส่งผลให้การใช้พลังงานในอาคารลดลงมากกว่าการใช้ผนังก่ออิฐมอญ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) ทั้งนี้ การเพิ่มฉนวนผนังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เช่น แผ่นผนังสำเร็จรูป (Sandwich Panel) โดยเฉพาะแผ่นผนังสำเร็จรูปชนิด Rockwool นั้น สามารถกันเสียงได้ดีและมีอัตราการทนไฟที่สูงกว่าฉนวนชนิดอื่น ๆ พลังงานด้วย (วิฑูรย์ หนูเล็กและชีวะ ทัศนา, 2559)

ทั้งนี้ จากการศึกษาของคูมาร์ และคณะ (Kumar et al.) (2022) และหยางและซานตามูริส (Yang and Santamouris) (2016) พบว่า นอกจากคุณสมบัติและชนิดของผนังแล้ว ความหนาของวัสดุและการจัดเรียงชั้นผนังก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคาร ทั้งนี้ความหนาของฉนวนกับประสิทธิภาพพลังงานไม่ได้เป็นสัดส่วนเส้นตรงเสมอไป การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในอาคารจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยความหนาของฉนวนมีผลต่อการลดปริมาณความร้อน โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ต่างกัน (กัญจน์ พิเชษฐศิลป์, 2545) ซึ่งหากพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อแนวทางออกแบบเปลือกอาคารนั้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวัสดุผนังและฉนวนผนังมาใช้ คือ

- กลุ่มวัสดุผนัง : อิฐมอญ อิฐมวลเบา ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete)
- กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง : Sandwich Panel Polyisocyanurate foam (PIR) และ Sandwich Panel (Rockwool)

โดยพิจารณาชนิดและคุณสมบัติของวัสดุ (material) ลำดับชั้นของวัสดุ (layer) สีของผนัง (shade level) และความหนาของวัสดุ ร่วมกับชนิดของวัสดุด้วย

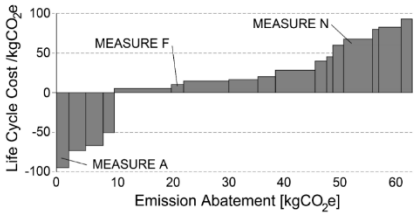
จำลองการใช้พลังงานของอาคารโดยผ่านกระบวนการปรับเทียบผลการจำลอง (Calibration)

เป็นการเก็บข้อมูลอาคารของอาคารอ้างอิง แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการจำลองการใช้พลังงานอาคารโดยใช้โปรแกรม DesignBuilder (อภิญญา เวชกามา และคณะ, 2566) ซึ่งอาศัยไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพมหานคร (Typical Weather Data) ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมของอาคาร (whole building) รวมระยะเวลา 1 ปี จากเดือนมกราคมจนถึงเดือนธันวาคม (มาริสา จิวเวชดำรงค์กุล, 2559) จากนั้นนำผลจำลองการใช้พลังงานของอาคารไปผ่านกระบวนการปรับเทียบ (Calibration) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาค่า Coefficient of the Variation of the Root Mean Square Error (CVRMSE)

โดยเทียบเคียงกับเกณฑ์ของ ASHRAE Guideline 14-2012 ซึ่งกำหนดว่า ค่า CVRMSE ไม่ควรเกิน ±15% (Coakley et al. 2014) เพื่ออนุมานคุณลักษณะของอาคารสำหรับการสร้างแบบจำลองพลังงานอาคารจากการเทียบข้อมูลรายเดือน

แนวคิดเกี่ยวกับการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Marginal Abatement Cost Curve หรือ MACC)

Marginal Abatement Cost Curve (MACC) เป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ซึ่งนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงนโยบายด้านเศรษฐศาสตร์พลังงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม แต่มีงานวิจัยบางส่วนนำมาใช้ในการวางแผนการลดคาร์บอนหรือวิเคราะห์ทางเลือกเชิงเทคนิคในอาคาร เช่น ในงานวิจัยของทิมิลสินา และคณะ (Timilsina et al.) (2017), เจียง และคณะ (Jiang et al.) (2019) และกันตพงศ์ ศรีเมือง (2564) เพื่อวิเคราะห์ว่า แต่ละมาตรการที่มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน 1 หน่วย นั้น จะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเงินเท่าไหร่ นอกจากนั้นยังแสดงเป็นแผนภาพข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (life cycle cost) ต่อ $kgCO_2e$ อธิบายประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในแกน Y แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร และในแกน X แสดงปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission abatement) หน่วยเป็นกิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) ซึ่งข้อมูลของแต่ละชุดแสดงถึงมาตรการที่นำมาใช้ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเรียงตามลำดับความคุ้มค่าของแต่ละมาตรการ ตามภาพ 1



ภาพ 1 แนวความคิดในการแสดงผลการประเมินโดยใช้ MACC

ที่มา : Marginal abatement cost (MAC) curves: Confronting theory and practice by Kesicki, F., & Strachan, N., 2011. Environmental Science & Policy, 14(8), pp. 1195–1204. (https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004)

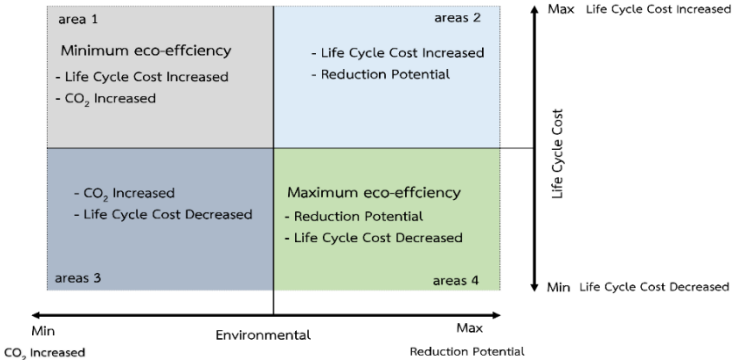
งานวิจัยนี้ได้นำ MACC มาใช้เพื่อวิเคราะห์แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารในมาตรการต่าง ๆ รวมทั้งมาตรการเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารด้วย โดยกำหนดให้ MACC ที่แสดง Life cycle cost/$kgCO_2e$ เป็นบวก หมายถึงการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาก หากแสดงเป็นลบหมายถึงการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อย และกำหนดให้ MACC ที่แสดง Emission abatement ($KgCO_2e$) เป็นบวก หมายถึงความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาก หากแสดงเป็นลบหมายถึงความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อย

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจเป็นการประเมินประสิทธิภาพระหว่างต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Rodrigues & Freire, 2017) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำหลักการดังกล่าวข้างต้นมาใช้ในการประเมินความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจดังแสดงตามภาพ 2 ซึ่งแบ่งเป็น 4 areas โดยกำหนดให้ areas 4 มีความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากที่สุดและ area 1 มีความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบส่วนต่างของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างมาตรการทดลองและอาคารอ้างอิงมีรายละเอียดดังนี้

- แกน X นำเสนอผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม : กรณีเป็นบวก หมายถึง ความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีที่ส่วนต่างของแต่ละมาตรการเทียบกับอาคารอ้างอิงมีค่ามาก แสดงถึงความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาก ส่วนกรณีเป็นลบ หมายถึง ความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกรณีที่ส่วนต่างของแต่ละมาตรการเทียบกับอาคารอ้างอิงมีค่าน้อยหรือค่าเป็นลบมาก แสดงถึงความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย

- แกน Y นำเสนอค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีเป็นบวก หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีที่มีมูลค่ามากคือ การลงทุนที่มาก ส่วนกรณีเป็นลบ หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีที่มีมูลค่าน้อยคือการลงทุนที่น้อย



ภาพ 2 ทฤษฎีความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ที่มา : ผู้วิจัยดัดแปลงจากการศึกษา Adaptive reuse of building: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building by Rodrigues, C., & Freire, F., 2017. Journal of Cleaner Production, 157, pp. 94–105. (https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.104)

วิธีดำเนินการวิจัย

การกำหนดอาคารอ้างอิง (Base case)

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกอาคารอ้างอิงเป็นอาคารคลังเก็บยาขนาดกลางของหน่วยงานรัฐวิสาหกิจแห่งหนึ่ง คือ อาคารคลังเวชภัณฑ์ที่ใช้เก็บยารอจำหน่าย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นอาคาร ค.ส.ล. สูง 15 เมตร และส่วนที่ 2 เป็นอาคาร ค.ส.ล. สูงไม่เกิน 20 เมตร โดยทั้ง 2 อาคารเป็นอาคารที่ไม่มีหน้าต่าง ดังนั้นจึงไม่ต้องคิดอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนัง (WWR) นอกจากนี้อาคารยังมีการวางผังเป็นรูปตัว I วางทิศทางอาคารด้านยาวไปหาทางเหนือ ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารต่ำที่สุด รายละเอียดต่าง ๆ แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ข้อมูลและรายละเอียดของอาคารอ้างอิง

วัสดุเปลือกอาคาร	**คุณสมบัติ**
ขนาดพื้นที่อาคารทั้งหมด	2,750 ตร.ม. (มีขนาดพื้นที่ภายในส่วนที่ปรับอากาศ 2,287 ตร.ม.)
ลักษณะอาคารทั่วไป	อาคารค.ส.ล. 2 ชั้น และอาคาร 4 ชั้น พื้นเป็นค.ส.ล.ขัดมัน เคลือบทับด้วย EPOXY มีหลังคาเป็นพื้นดาดฟ้า
ระบบปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศแบบระบบน้ำเย็น โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ Air-cool chiller และมีค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER) เฉลี่ย 11.59
ผนังภายนอก-ภายในอาคาร (Baseline) 	ผนังทั้งหมด มี 2 ชั้น : ด้านในเป็นผนังก่ออิฐมอญ ½ แผ่น ฉาบปูนเรียบ ทาสีอะคลิลิค ภายนอกสีขาวทั้ง 2 ด้าน โดยมีช่องว่างอากาศ (air-gap) หนา 5 ซม. และติดตั้งฉนวนกันความร้อน Sandwich Panel ไส้กลางเป็น Expanded Polystyrene Foam หนา 2 นิ้ว ซ้อนทับภายนอกสุดของอาคารตามลำดับ (ค่า U=0.557 watt/m^2.C)
วัสดุตกแต่งฝ้าเพดาน	ฝ้าท้องพื้นทาสีอะคลิลิคภายนอกสีขาวและฝ้ายิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม. โครงคร่าว T-bar โดยเหนือฝ้าเพดานมี air-gap ระหว่างฝ้ายิปซั่มบอร์ดกับโครงสร้างพื้น
ประตู-หน้าต่าง	ไม่มีหน้าต่าง มีประตูทางเข้า-ออก 1 ที่ เท่านั้น
การใช้งานอาคาร (Schedule sets)	ทำงานวันจันทร์-วันศุกร์เวลา 8.00-18.00 น. และวันเสาร์-อาทิตย์ เวลา 8.00-16.00 น. *แต่อาคารเปิดใช้ระบบปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และรักษาอุณหภูมิ (Set-point Temperature) ที่ 25 ^{o}C

ที่มา : ผู้วิจัย

การกำหนดรูปแบบของผนังทางเลือก

งานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบของผนังทางเลือกไว้ทั้งหมด 3 กลุ่มวัสดุเปลือกอาคาร รวมทั้งหมด 132 กรณี แล้วนำไปจำลองการใช้พลังงาน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละมาตรการ ซึ่งวัสดุเปลือกอาคารที่จะนำมาใช้เป็นทางเลือกในการจำลองการใช้พลังงานนั้น เป็นไปตามตาราง 2 โดยเกณฑ์ในการจัดกลุ่มใช้หลักเกณฑ์ของ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE] (2019) ทั้งนี้ ผนังของอาคารอ้างอิงมีลักษณะเป็นผนังก่ออิฐมอญและปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อน Sandwich Panel ไส้กลางเป็น Expanded Polystyrene Foam (EPS) หนา 2 นิ้ว

ตาราง 2 ชนิดและคุณสมบัติของมาตรการวัสดุเปลือกอาคาร

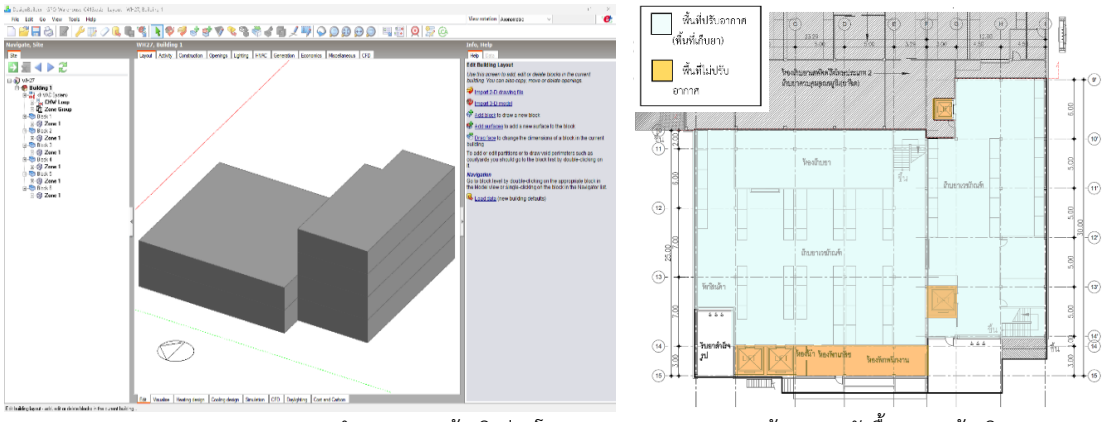
มาตรการวัสดุเปลือกอาคาร	U-value ($W/m^2.K$)	Density (kg/m3)	ความหนาฉนวน (inch)	ค่า Solar Absorptance	รวมกรณี	ลำดับชั้นของวัสดุ (Layer)
มาตรการกลุ่ม A. ผนังมวลสาร (A. Mass Wall)						
- ผนังก่ออิฐมอญ หนา 10 ซม.	3.075	1700	-	0.3, 0.5, 0.7, 0.9	12	-
- ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 10 ซม.	1.236	600				
- ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete) หนา 10 ซม.	2.692	2400				
มาตรการกลุ่ม B. ผนังฉนวนสำเร็จรูป (B. Insulated Wall)						
- ผนังฉนวนโพลียูรีเทน (PIR)	0.202	45	2", 4", 6"	0.3, 0.5, 0.7, 0.9	24	-
- ผนังฉนวนร็อควูล (Rockwool)	0.193	100				
- ผนังแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต + ฉนวนโพลียูรีเทน (PIR)	0.330	1245				
- ผนังแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต + ฉนวนร็อควูล (Rockwool)	0.224	1250				
มาตรการกลุ่ม C. ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน (C. Mass with Insulated Wall)						**มีการติดตั้งฉนวนใน-นอกอาคาร**
- ผนังก่ออิฐมวลเบา + ฉนวนร็อควูล (Rockwool)	0.199-0.463	700	2", 4", 6"	0.3, 0.5, 0.7, 0.9	96	
- ผนังก่ออิฐมวลเบา + ฉนวนโพลียูรีเทน (PIR)	0.127-0.321	645				
- ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป + ฉนวนร็อควูล (Rockwool)	0.215-0.556	2100				
- ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป + ฉนวนโพลียูรีเทน (PIR)	0.134-0.374	2045				

ที่มา : ผู้วิจัย

การจำลองการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงในการปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารแต่ละกรณี

ในการสร้างอาคารอ้างอิงเพื่อทำการศึกษาวิจัยนั้น ผู้วิจัยจะต้องทำการปรับเทียบผลการจำลอง (calibration) จากโปรแกรมให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับอาคารอ้างอิงมากที่สุด โดยทำการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ของอาคาร และจำลองการใช้พลังงานผ่านโปรแกรม DesignBuilder โดยนำค่าที่ได้มาเทียบกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารจริงที่เพื่อทำให้การจำลองอาคารอ้างอิงที่สร้างขึ้นในโปรแกรมมีความเที่ยงตรงและลดข้อผิดพลาดในประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิง จากนั้นหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยใช้ CVRMSE ในการหาค่าความคลาดเคลื่อน (ธนภัทร ทองไพบูลย์ และคณะ, 2568) ซึ่งต้องมีค่าน้อยกว่า 15% กรณีที่ใช้ข้อมูลรายเดือนในการวิเคราะห์ (Coakley et al., 2014)

ซึ่งการจำลองการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงนั้น การสร้างอาคารอ้างอิงและกำหนดค่าต่าง ๆ ลงในโปรแกรมก่อนการจำลองเป็นส่วนที่สำคัญ เช่น การกำหนดอาคารข้างเคียงที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการจำลอง โมเดลในการจำลองจะต้องมีการตั้งค่าผนังที่ติดกับอาคารข้างเคียงเป็นผนัง Arabatic wall การกำหนดการใช้งานอาคาร (schedule sets) จะต้องกำหนดทั้งช่วงเวลาการใช้พลังงานและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา เป็นต้น



ภาพ 3 ภาพแสดงการจำลองอาคารอ้างอิงผ่านโปรแกรม DesignBuilder (ซ้าย) และผังพื้นอาคารอ้างอิง (ขวา)

ที่มา : ผู้วิจัย

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานอาคาร

จากการจำลองการใช้พลังงานอาคารอ้างอิง โดยใช้โปรแกรม DesignBuilder เพื่อหาการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงในแต่ละชนิดผนัง นำมาหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยคำนวณต้นทุนในช่วงใช้งานอาคารจากพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้งานในอาคาร ซึ่งคิดจากอัตราค่าไฟของการใช้งานอาคารในที่ได้จากการเก็บข้อมูลการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าช่วงเดือนมกราคม–ธันวาคม พ.ศ. 2567 ตามสมการ (1)

$$GHG = Activity \times Emission\ Factor \quad (1)$$

ก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ได้นั้น มาจากการคำนวณวัสดุของอาคาร (activity) ที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยของข้อมูลกิจกรรม โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการผลิตพลังงานของแต่ละประเทศ โดยค่า Emission factor เท่ากับ 0.4999 kgCO2e/kWh (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2568)

สำหรับการคำนวณเงินในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยใช้วิธีการคำนวณเงินปัจจุบันแบบ Time value of money โดยกำหนดอัตราการคิดลดเท่ากับ 8% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสวิชญา ดาวประกายมงคล (2552) เช่น ในแบบอาคารอ้างอิงนี้ มีอัตราค่าไฟที่ต้องจ่าย จำนวน 3,242,765.84 บาท/ปี หากต้องการเตรียมเงินในปัจจุบันให้เพียงพอกับค่าไฟตลอด 20 ปี จะต้องเตรียมเงิน 416,180,251.51 บาทต่อปี โดยรวมค่าวัสดุก่อสร้างแล้วในปีที่ 1

การคำนวณต้นทุน

การศึกษาราคาวัสดุก่อสร้างอ้างอิงจากแนวทางวิธีปฏิบัติ และรายละเอียดประกอบการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้างจากกรมบัญชีกลาง ปี พ.ศ. 2560 บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างของกระทรวงพาณิชย์ปี พ.ศ. 2567 และการสำรวจราคากลางจากผู้ผลิต ปี พ.ศ. 2567 ในการคำนวณอัตราค่าไฟในช่วงการใช้งานอาคาร คิดเป็นเท่ากับ 4.1839 บาท/หน่วย ของการไฟฟ้านครหลวง ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ขนาดแรงดัน 12–24 kV (TOU Tariff)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco–Efficiency)

จากการศึกษางานวิจัยของโรดริเกสและเฟรเร (Rodrigues and Freire) (2017) ได้ดำเนินการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (eco-efficiency) เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพระหว่างต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการประเมินความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยการเปรียบเทียบส่วนต่างของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างมาตรการทดลองทั้ง 3 กลุ่มวัสดุ (132 กรณี) และอาคารอ้างอิง

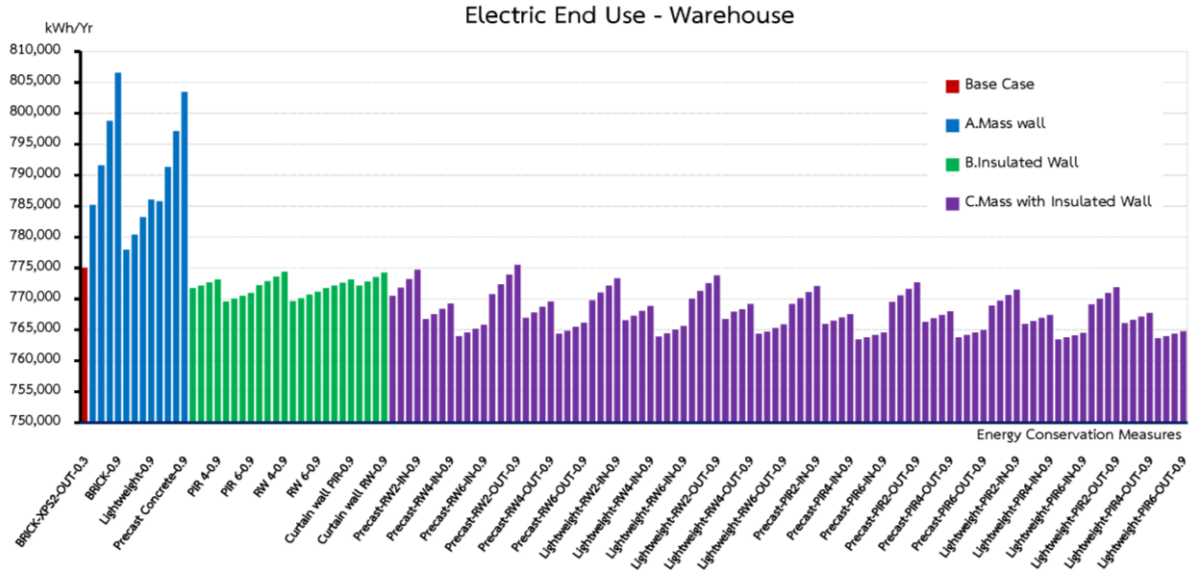
ผลการศึกษา

ผลการจำลองพลังงานของอาคารอ้างอิงใน 1 ปี ของอาคารอ้างอิง

เมื่อทำการจำลองการใช้พลังงานอาคารอ้างอิงด้วยไฟล์สภาพอากาศปี ค.ศ. 2024 (U.S. Department of Energy, 2022) พบว่า ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดปี เท่ากับ 775,058 kWh/Yr ในขณะที่การใช้พลังงานจริงของอาคารในปีเดียวกัน เท่ากับ 896,802 kWh/Yr โดยมีผลจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศมากที่สุด เท่ากับ 573,867 kWh/Yr หรือ 64.49% ลำดับถัดมาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (ลิฟท์ ตู้เย็นเก็บเวชภัณฑ์ และรถยกไฟฟ้า) เท่ากับ 132,956 kWh/Yr หรือ 14.82% และการใช้พลังงานจากไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 68,235 kWh/Yr หรือ 7.60% ซึ่งผลการจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน (CVRMSE) เท่ากับ 14% ถือได้ว่า มีความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ตามมาตรฐาน ASHRAE 14 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 15% เช่นเดียวกับการศึกษางานวิจัยของบาตรา และคณะ (Batra et al.) (2019) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน (CVRMSE) เท่ากับ 14%–17% ทั้งนี้ ผลการจำลองแสดงเป็นกราฟข้อมูล

ผลการจำลองพลังงานของอาคารอ้างอิงใน 1 ปี โดยปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารในแต่ละกรณี

เมื่อทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารโดยปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารในแต่ละกรณีทั้ง 3 กลุ่มวัสดุ เปลือกอาคาร (132 กรณี) และนำข้อมูลที่ได้มาทำกราฟข้อมูลที่แสดงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในแต่ละกรณี ตามภาพ 4



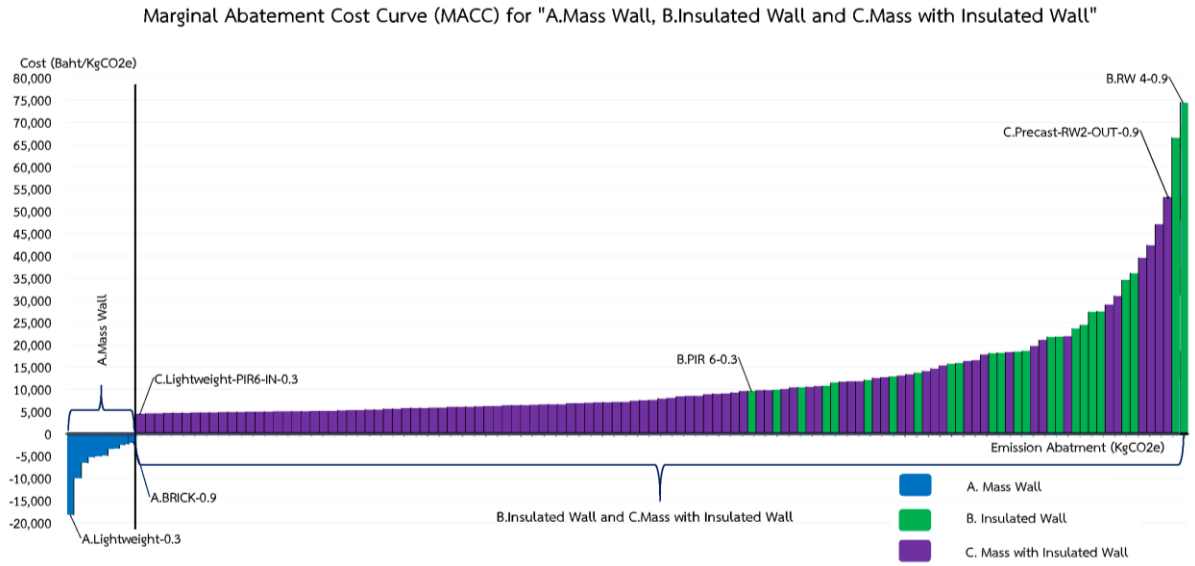
ภาพ 4 ผลการจำลองการใช้พลังงานอาคารของวัสดุเปลือกอาคารในแต่ละกรณี
ที่มา : ผู้วิจัย

จากผลการจำลองการใช้พลังงานอาคารของวัสดุเปลือกอาคารตามภาพ 4 เมื่อพิจารณาแยกประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานตามกลุ่มวัสดุเปลือกอาคาร ทั้ง 3 กลุ่ม (132 กรณี) พบว่า วัสดุกลุ่ม C ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน กรณีใช้ผนังก่ออิฐมวลเบา (ติดตั้งภายนอกอาคาร) ซึ่งมีค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.3 ร่วมกับฉนวนกันความร้อน (ติดตั้งด้านในอาคาร) ชนิด PIR หนา 6” (กรณี C. Lightweight-PIR6-IN-0.3) เป็นมาตรการที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้เท่ากับ 11,657.78 kWh/Yr หรือลดลงร้อยละ 1.50 และวัสดุกลุ่ม A ผนังมวลสาร กรณีผนังก่ออิฐมอญ (A. BRICK-0.9) เป็นกลุ่มที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดเท่ากับ 31,489.18 kWh/Yr หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.06 ทั้งนี้ หากพิจารณาเพียงด้านการลดการใช้พลังงานเพียงด้านเดียวยังไม่เพียงพอ เนื่องจากวัสดุบางกลุ่มอาจจะไม่มีความคุ้มค่าในแง่การลงทุน เพื่อให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งต้องมีการประเมินอย่างรอบด้าน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รวมถึงการประเมินทางด้านความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เพื่อให้ได้มาของวัสดุเปลือกอาคารที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้งในแง่การใช้พลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การประเมินประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

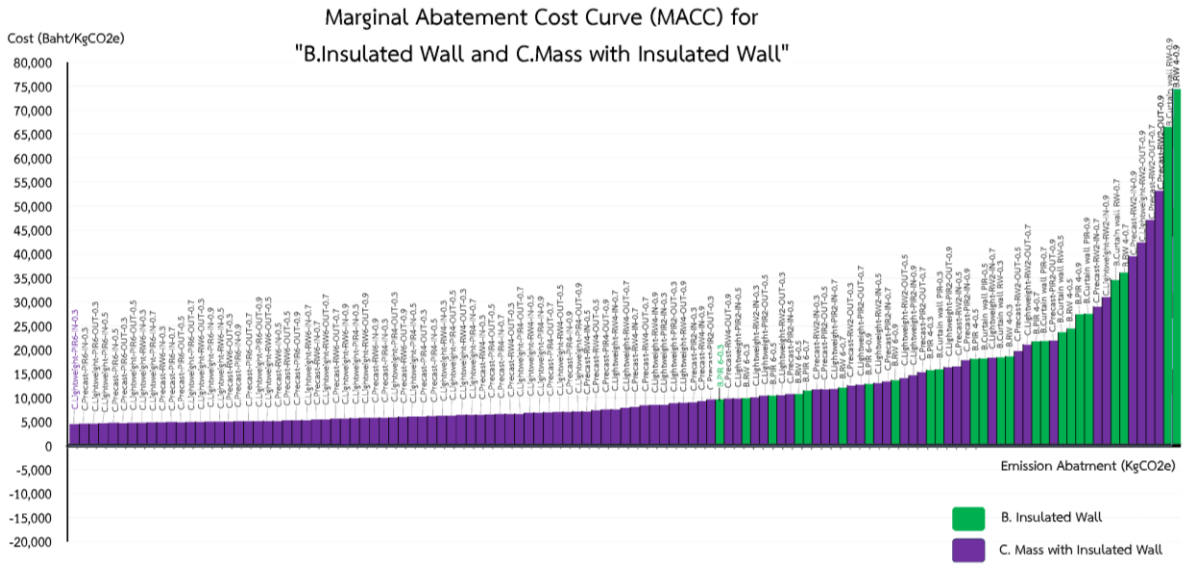
การประเมินประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร ด้วยการประเมิน (MACC) ในช่วงชีวิตอาคาร 20 ปี ทั้ง 3 กลุ่มวัสดุเปลือกอาคาร 132 กรณี โดยคำนวณอ้างอิงพื้นฐานตามสมการ (1) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีคำนวณผลต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่าง อาคารอ้างอิง (base case) และกลุ่มวัสดุทดลองจากการจำลองสถานการณ์ (simulation) ซึ่งเป็นส่วนต่างของข้อมูลกิจกรรม (activity) และนำส่วนต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวมาคูณกับค่า Emission Factor ของประเทศไทย เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีผลการประเมินตามภาพ 5



ภาพ 5 MACC ของวัสดุเปลือกอาคารมาตรการกลุ่ม A. ผนังมวลสาร (A. Mass Wall) มาตรการกลุ่ม B. ผนังฉนวนสำเร็จรูป (B. Insulated Wall) และมาตรการกลุ่ม C. ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน (C. Mass with Insulated Wall)
ที่มา : ผู้วิจัย

จากผลการประเมินตามภาพ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิงที่ใช้วัสดุผนังอิฐมอญ (ติดตั้งภายในอาคาร) และปิดทับด้วยฉนวน EPS หนา 2 นิ้ว (ติดตั้งภายนอกอาคาร) พบว่า กลุ่มวัสดุที่มีผลต่างของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดและดีที่สุด พร้อมทั้งมีความคุ้มค่าในแง่ของการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ วัสดุกลุ่ม C. ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน กรณีใช้ผนังก่ออิฐมวลเบา (ติดตั้งภายนอกอาคาร) ซึ่งมีค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.3 ร่วมกับฉนวนกันความร้อน (ติดตั้งด้านในอาคาร) ชนิด PIR หนา 6” (กรณี C. Lightweight-PIR6-IN-0.3) ส่วนกลุ่มวัสดุที่มีผลต่างของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดและมีความคุ้มค่าน้อยในแง่ของการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ วัสดุกลุ่ม A ผนังมวลสาร กรณีผนังก่ออิฐมวลเบา (A. Lightweight-0.3)

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมตามภาพ 6 โดยการเปรียบเทียบวัสดุกลุ่ม B ผนังฉนวนสำเร็จรูป และวัสดุกลุ่ม C ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มวัสดุมีผลต่างของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่ในวัสดุกลุ่ม B นั้นมีความคุ้มค่าในแง่ของการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าวัสดุกลุ่ม C โดยเฉพาะวัสดุกลุ่ม B ผนังฉนวนสำเร็จรูป กรณีผนังฉนวนกันความร้อนชนิด Rockwool หนา 4” มีค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.9 มีการลงทุนที่สูงที่สุดในทุกกลุ่มวัสดุ โดยค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เกิดขึ้นจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในที่นี้ คือ ค่าวัสดุผนังและค่าไฟฟ้าของอาคารที่เกิดขึ้น

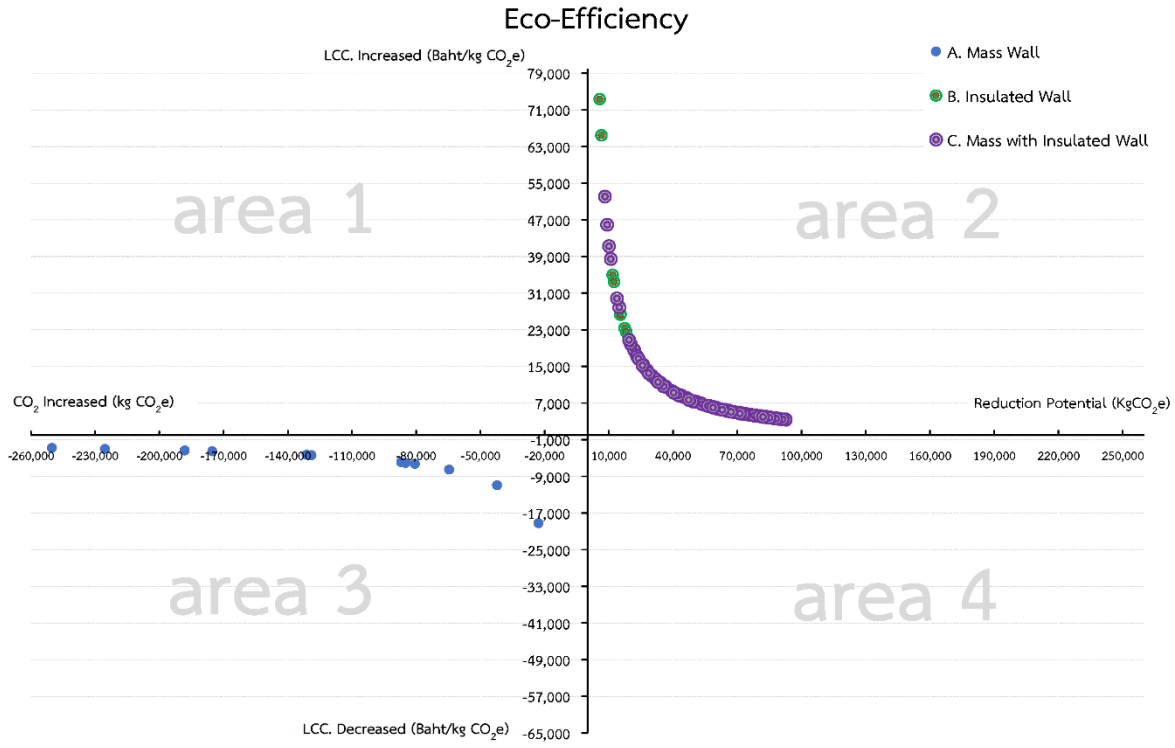


ภาพ 6 MACC ของวัสดุเปลือกอาคารเฉพาะวัสดุกลุ่ม B ผนังฉนวนสำเร็จรูป และวัสดุกลุ่ม C ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน

ที่มา : ผู้วิจัย

อภิปรายและสรุปผล

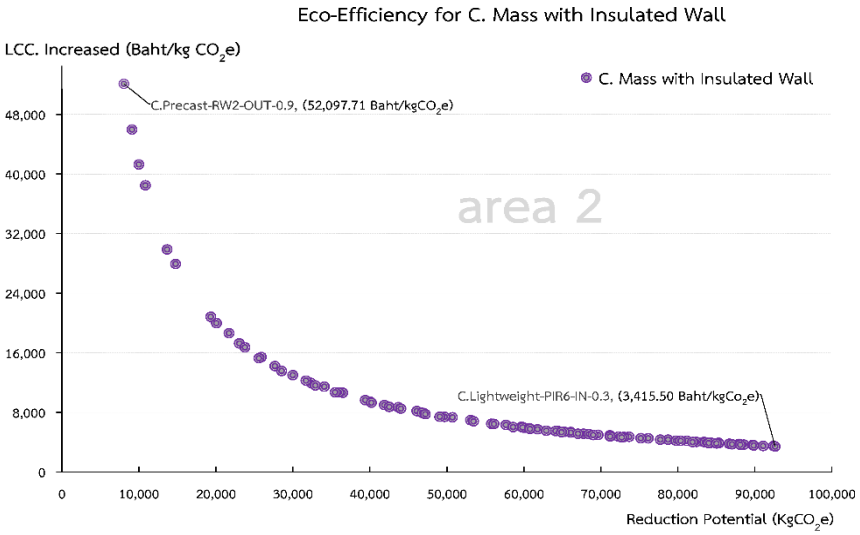
สรุปผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เมื่อทำการศึกษาจำลองการใช้พลังงานด้วยการเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคาร รวมถึงการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งได้จากการกำหนดการเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มวัสดุเปลือกอาคาร รวมทั้งหมด 132 กรณี ตามภาพ 7



ภาพ 7 แสดงผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 3 กลุ่มวัสดุ (132 กรณี)

ที่มา : ผู้วิจัย

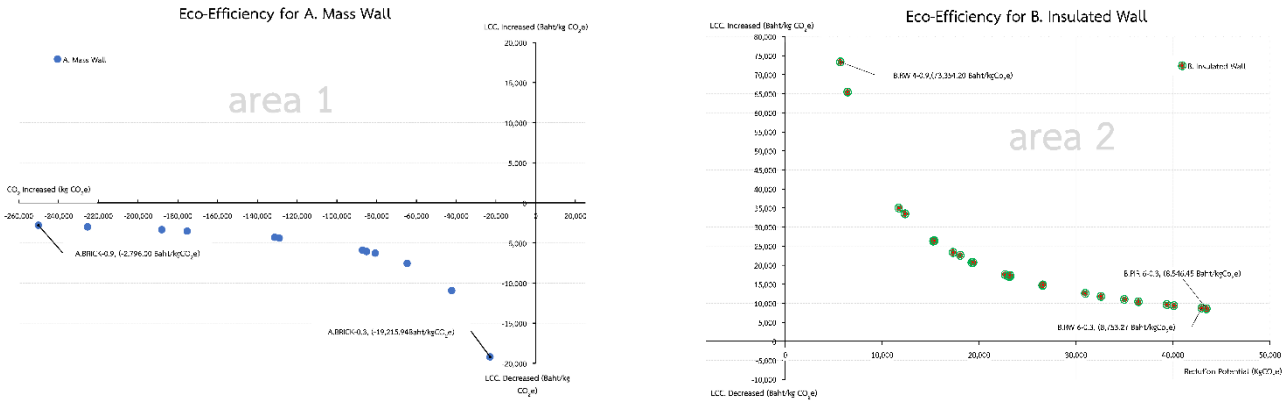
ซึ่งจากการคำนวณความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ พบว่า การเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารที่มีความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจตลอดช่วงอายุของอาคาร 20 ปี มากที่สุดคือ วัสดุกลุ่ม C ผนังหลายชั้นแบบผสมผนังทึบและฉนวนกันความร้อน และวัสดุกลุ่ม B ผนังฉนวนสำเร็จรูปที่มีความคุ้มค่าของเงินลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดีที่สุดตามลำดับ โดยวัสดุกลุ่ม C กรณีใช้ผนังก่ออิฐมวลเบา (ติดตั้งภายนอกอาคาร) ซึ่งมีค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.3 ร่วมกับฉนวนกันความร้อน (ติดตั้งด้านในอาคาร) ชนิด PIR หนา 6” (กรณี C. Lightweight-PIR6-IN-0.3) เป็นกลุ่มวัสดุที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 92,617.07 kgCO_2e ดีที่สุดหรือร้อยละ 23.90 และลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร -362,109.40 บาท หรือร้อยละ -0.09 โดยมีต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 3,415.50 บาท/kgCO_2e เมื่อเทียบกับอาคารอ้างอิง



ภาพ 8 ผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจวัสดุกลุ่ม C ผนังมวลอุณหภาพติดวัสดุฉนวนกันความร้อน

ที่มา : ผู้วิจัย

ส่วนวัสดุกลุ่ม A. ผนังมวลสาร เป็นกลุ่มที่มีความคุ้มค่าของเงินลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดในกรณีผนังก่ออิฐมอญ (A. Brick-0.9) เป็นมาตรการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ -250,170.74 kgCO2 หรือร้อยละ -64.57 และลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร 14,577,689.59 บาท หรือลดลงร้อยละ 3.50% โดยมีต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ -2,796.00 บาท/kgCO2e เมื่อเทียบกับอาคารอ้างอิง ซึ่งแสดงในภาพ 9



ภาพ 9 ผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจวัสดุกลุ่ม A ผนังมวลสาร (ซ้าย) วัสดุกลุ่ม B ผนังฉนวนสำเร็จรูป (ขวา)

ที่มา : ผู้วิจัย

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเปลือกอาคารแบบทึบสำหรับอาคารคลังเก็บยาควบคุมอุณหภูมิ ที่มีการเปรียบเทียบอาคารอ้างอิง (based case) เป็นผนังก่ออิฐมอญและปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อน Sandwich Panel ไส้กลางเป็น Expanded Polystyrene Foam (EPS) หนา 2 นิ้ว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงแล้ว โดยอาคารอื่น ๆ อาจมีผนังที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่านี้ ทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานอาคารอื่น ๆ ต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม อาจมีปัจจัยเพิ่มเติมจากนี้ได้

บรรณานุกรม

กัญจน์ พิเชษฐศิลป์. (2545). *แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/13761

กันตพงศ์ ศรีเมือง. (2564). *การประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารสำนักงานและคอนโดมีเนียมพักอาศัย ด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5581

กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). *คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน.* http://berc.dede.go.th/wp-content/uploads/2018/05/คู่มือแนวทาง-BEC_Edit.pdf

กระทรวงพลังงาน. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2568, 14 มีนาคม). *สถานการณ์พลังงานไทยปี 2567 และแนวโน้มปี 2568*. https://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/item/21497- stiulation2567-forecast2568

จิราภา เดชจิระกุล. (2561). *ประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนในระบบผนังด้วยฉนวน โดยพิจารณาอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/3512

ธนภัทร ทองไพบูลย์, ศริน พินิจ, และอัจฉ์ ศรีสอ้าน. (2568). การเพิ่มประสิทธิภาพเปลือกอาคาร : การใช้พลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารสถานศึกษา. *สาระศาสตร์ : วารสารสถาปัตยกรรมและการออกแบบ, 8*(1), 189–204.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการกระจายยาแผนปัจจุบัน พ.ศ. 2564. (2564, 21 พฤษภาคม). *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่ม 138 ตอนพิเศษ 110 ง. หน้า 6–7.

พรรณวดี มงคลเจริญ. (2556). *ประโยชน์เชิงธุรกิจในการพัฒนาอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารเขียว* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/71931

มาริสา จิระเวชดำรงศ์กุล. (2559). *การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการเคมีในมหาวิทยาลัย : กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/72244

รัฐภัทร์ อุปละ. (2563). *การพัฒนาเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเปลือกอาคารโดยใช้รายการที่กำหนด* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วิฑูรย์ หนูเล็ก และชีวะ ทัศนา. (2559). *ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยใบยางพารา* [รายงานการวิจัย]. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

ศาณิส ยี่โถขาว. (2553). *แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลางด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สวิชญา ดาวประกายมงคล. (2552). *แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/71526

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2568). *ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/การใช้พลังงานไฟฟ้า (Emission Factor) สำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก.* TGO GWP & Emission Factor Database. https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-tver/120-tver-gwp-emission-factor.html

อภิญญา เวชกามา, อรรจน์ เศรษฐบุตร, และสริน พินิจ. (2566). ผลกระทบของภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงในอนาคตต่อการออกแบบพลังงานหมุนเวียนของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์. *สาระศาสตร์ : วารสารสถาปัตยกรรมและการออกแบบ, 6*(2), 211–235.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2008). *Advanced energy design guide for small warehouses and self-storage buildings: Achieving 30% energy savings toward a net zero energy building.* ASHRAE.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. ASHRAE.

Aslani, A., & Hachem, C. (2022). Energy and environmental assessment of high-performance building envelope in cold climate. *Energy and Buildings, 260,* Article 111924. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111924

Bass, B., Ezell, M., & New, J. R. (2022). *Using measured building energy data to infer building characteristics for urban building energy modeling* [Paper presentation]. 2022 Building Performance Analysis Conference and SimBuild, Chicago, IL, United States.

Batra, Z., Hajdukiewicz, M., & Goggins, J. (2019). Application of a staged automated calibration methodology to a partially-retrofitted university building energy model. *Journal of Building Engineering*, *26*, Article 100866. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100866

Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *37*, 123-141. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007

Elangovan, R., Kumar, A., & Alur, R. (2017). *Thermal performance of building envelops.* ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/315870603_Thermal_Performance_of_Building_Envelops

Gupta, V., & Deb, C. (2023). Envelope design for low-energy buildings in the tropics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *186*, Article 113650. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113650

Jiang, H.-D., Dong, K.-Y., & Liang, Q.-M. (2019). Research on marginal abatement cost: A bibliometric analysis. *Energy Procedia*, *158*, 4073-4078. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.832

Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: Confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy, 14*(8), 1195–1204. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004

Kubota, T., & Zakaria, M. A. B. (2019). Full-scale experiment on energy-saving effects of thermal insulation for urban houses in Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *294*(1), Article 012089. https://doi.org/10.1088/1755-1315/294/1/012089

Kumar, D., Alam, M., Memon, R., Bhayo, B. A. (2022). A critical review for formulation and conceptualization of an ideal building envelope and novel sustainability framework for building applications. *Cleaner Engineering and Technology*, *11*, Article 100555. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100555

Lai, F., Zhou, J., Lu, L., & Hasanuzzaman, M. (2023). Green building technologies in Southeast Asia: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *55*, Article 102946. https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102946

Pudleiner, D., & Colton, J. (2015). Using sensitivity analysis to improve the efficiency of a net-zero energy vaccine warehouse design. *Building and Environment*, *87*(1), 302-314. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.002

Rodrigues, C., & Freire, F. (2017). Adaptive reuse of building: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building. *Journal of Cleaner Production*, *157*, 94-105. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.104

Timilsina, G. R., Sikharulidze, A., Karapoghosyan, E., & Shatvoryan, S. (2017). Development of marginal abatement cost curves for the building sector in Armenia and Georgia. *Energy Policy*, *108*, 29-43. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.028

Tomoscheit, S., Gries, T., Horstmann, M., & Hegger, J. (2011). Project Life INSUSHELL: Reducing the carbon footprint in concrete construction. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, *2*(2), 162-169. https://doi.org/10.5390/SUSB.2011.2.2.162

U.S. Department of Energy. (2022). *EnergyPlus weather data: THA_Bangkok.484560_IWEC.epw* [Data set]. https://energyplus.net/weather

Vutla, S. R., Regalla, S. R., & Ramaswamy, K. (2020). Life cycle assessment of cleanroom for micro-electro-mechanical systems fabrication with insights on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *282*, Article 124505. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124505

Yang, L., & Santamouris, M. (2016). Retrofitting solutions for two different occupancy levels of educational buildings in tropics. *International Journal of Sustainable Energy*, *37*(1), 1-15. https://doi.org/10.1080/14786451.2016.1154856