

การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตเพื่อทำนายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระยะยาว จากสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ Long-term Carbon Emissions Prediction from the Impact of Electricity Mix and Climate Change Using Dynamic Life Cycle Assessment

รับบทความ 03/03/2568
แก้ไขบทความ 08/04/2568
ยอมรับบทความ 17/04/2568

เอกดนัย ฤทธิกิจ* สริน พินิจ อรรถนัย เศรษฐบุตร
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Akdanai Rothakit, Sarin Pinich, Atch Sreshthaputra
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
akdanai19@gmail.com, Sarin.pi@chula.ac.th, Atch.s@chula.ac.th
*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยปัญหาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงจึงมีความจำเป็นในการตั้งเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการก่อสร้าง การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารเป็นแนวคิดที่ใช้แพร่หลายในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตามการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ใช้กันโดยทั่วไปหรือการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่เป็นการคำนึงถึงผลกระทบเฉพาะในปัจจุบัน และใช้เป็นค่าคงที่ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในอนาคตสำหรับอาคารซึ่งมีอายุการใช้งานที่ยาว การประเมินวัฏจักรชีวิตจึงคลาดเคลื่อนไปจากความจริงจากสาเหตุดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบพลวัต (dynamic life cycle assessment) ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยที่คาดว่าจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา

งานวิจัยนี้ได้ใช้บ้านพักอาศัยเดี่ยวในกรุงเทพฯ เป็นกรณีศึกษา นำมาเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่และแบบพลวัต โดยพิจารณาปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต ซึ่งส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าและแบบจำลองสภาพอากาศในอนาคต รวมไปถึงประเมินผลกระทบต่อมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งก็คือ ประสิทธิภาพการกันความร้อนของกรอบอาคาร

จากการศึกษาด้วยวิธีการจำลองพลังงานผ่านโปรแกรม EnergyPlus พบว่า ตลอด 50 ปี การประเมินแบบคงที่อาคารมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,741 kgCO₂e/m² ในขณะที่การประเมินแบบพลวัตซึ่งคำนึงถึงสถานการณ์ในอนาคต ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกลับลดลงเหลือ 1,293 kgCO₂e/m² (ลดลง 25.67%) ในสถานการณ์ที่ดำเนินไปตามปกติ และ 836 kgCO₂e/m² (ลดลง 51.99%) ในสถานการณ์ตามนโยบายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของประเทศไทย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นโยบายภาครัฐที่มีประสิทธิภาพส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารที่ลดลง นอกจากนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานที่เคยเป็นส่วนหลักถึง 80.1% ในการประเมินแบบคงที่ กลับลดลงเหลือ 58.5–73.2% ในการประเมินแบบพลวัต และส่งผลต่อขนาดเปลือกอาคารที่เหมาะสมต่อการป้องกันความร้อน โดยพบว่า บ้านพักอาศัยสามารถเลือกความหนาของฉนวนกันความร้อนผนังลดลงได้เมื่อเทียบกับการประเมินแบบคงที่ ในสถานการณ์ตามนโยบายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ความหนาที่ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารตลอดวัฏจักรชีวิตน้อยที่สุดของฉนวน Rockwool จาก 150 มม. ลดลงเหลือ 100 มม. และฉนวนใยแก้วจาก 150 มม. ลดลงเหลือ 75 มม.

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัต สถานการณ์ในอนาคต สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้า ไฟล์ข้อมูลอากาศ บ้านเดี่ยว

Abstract

Given the challenges posed by climate change, it is imperative to establish targets for the emissions reduction in construction sector. Life cycle assessment (LCA) is a framework for evaluating environmental impacts. However, the conventional (static) LCA assumes constant values through life cycles, leading to discrepancies for buildings with long service lives. This leads to the concept of dynamic life cycle assessment, which considers time-varying factors.

This study compares greenhouse gas emissions from static and dynamic LCA using single-detached houses in Bangkok as a case study. This comparison considers two time-varying factors: future electricity mix and future weather data. Additionally, the study evaluates the impact of greenhouse gas mitigation measures, specifically the thermal insulation performance of building envelopes.

Using EnergyPlus for an energy simulation, the static LCA estimated emissions at 1,741 kgCO₂e/m². In contrast, dynamic LCA, which accounts for future scenarios, projected 1,293 kgCO₂e/m² (a 25.67% reduction) under a business-as-usual scenario and 836 kgCO₂e/m² (a 51.99% reduction) under Thailand's carbon neutrality policies. This results emphasize the role of effective policies in lowering emissions. Furthermore, operational carbon emissions, which previously accounted for up to 80.1% in static assessments, was found to decrease to 58.5%–73.2% in dynamic assessments. Additionally, operational carbon emissions, previously up to 80.1% in static assessments, decreased to 58.5%–73.2% in dynamic assessments, influencing optimal building envelope design. Notably, optimal thickness of insulation was lower in dynamic assessments, with rockwool thickness reduced from 150 mm to 100 mm and fiberglass from 150 mm to 75 mm under policies scenarios.

Keywords: *dynamic life cycle assessment, future scenarios, electricity mix, weather data file, single-detached houses*

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบวิกฤตภาวะโลกร้อนและสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง โดยสาเหตุส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อมของมนุษย์ (UNFCCC, 2011) จากการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงอากาศ สมัยที่ 26 (COP26) นานาชาติได้ให้คำมั่นสัญญาตามข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ในการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นจากก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมเกิน 1.5 °C นำไปสู่เป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2050 (United Nations, 2021) ภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีการปล่อยถึงร้อยละ 38 ของทั้งหมด (UNEP, 2020)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นกรอบแนวคิดในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์รวมถึงอาคารตลอดช่วงอายุการใช้งาน (Fnais et al., 2022) แต่การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารมีความแตกต่างจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ทั่วไป เนื่องจากอาคารมีการใช้งานที่ยาวนานประมาณ 40–70 ปี (Nwodo & Anumba, 2019) ในตลอดช่วงอายุการใช้งานของอาคารจึงมีโอกาสที่สภาพแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีอาคารจะเปลี่ยนไปจากช่วงเวลาที่ย่อการก่อสร้างเสร็จ และส่งผลกับการคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ (static life cycle assessment) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป ทำโดยการคิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในปีตัวแทนและใช้เป็นค่าเดิมตลอดวัฏจักรชีวิต จึงมีโอกาสคลาดเคลื่อนไปมาก (Su et al., 2017)

จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีการเสนอแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบพลวัต (Dynamic Life Cycle Assessment: DLCA) ซึ่งคือ การพัฒนาการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่โดยคำนึงถึงปัจจัยที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลา (time-varying factors) ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้า และแบบจำลองสภาพอากาศในอนาคต เพื่อให้แสดงสถานการณ์ถึงความเป็นจริงและมีความแม่นยำที่สูงขึ้น (Fnais et al., 2022; Nwodo & Anumba, 2019; Shanbhag & Dixit, 2024; Su et al., 2023) นอกจากนี้การประเมินแบบพลวัตซึ่งคำนึงถึงการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว ยังส่งผลต่อการกำหนดมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น ความหนาของฉนวนกันความร้อนเปลือกอาคาร (Su et al., 2023; Van de moortel et al., 2022)

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงแสดงให้เห็นถึงปัญหาของการประเมินวัฏจักรชีวิตรูปแบบเดิม ส่งผลให้เกิดการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัต นำไปสู่การตั้งคำถามในงานวิจัยที่ว่า “เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตซึ่งคำนึงถึงปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ได้แก่ สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต และแบบจำลองสภาพอากาศในอนาคต จะส่งผลให้ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารเปลี่ยนแปลงไปมากเพียงใด เมื่อเทียบกับการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ และจะส่งผลต่อการเลือกความหนาฉนวนกันความร้อนสำหรับการเป็นอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาวอย่างไร” งานวิจัยนี้มีกรณีศึกษา คืออาคารพักอาศัยแบบบ้านเดี่ยวในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำเพื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในอนาคต จากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้า และแบบจำลองสภาพอากาศในอนาคต จากนั้นนำข้อมูลมาศึกษาเปรียบเทียบปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่และแบบพลวัต รวมไปถึงผลต่อการหาความหนาฉนวนที่เหมาะสมสำหรับการเป็นอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาทำโดยเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่และแบบพลวัต ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา 2 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต และแบบจำลองสภาพอากาศในอนาคตจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงภายใต้ 2 สถานการณ์ในอนาคต ได้แก่ Business as Usual หรือสถานการณ์ที่ดำเนินไปตามปกติ และ Policies หรือสถานการณ์ที่เป็นไปตามเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

การทบทวนวรรณกรรม

การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัต (Dynamic Life Cycle Assessment; DLCA)

งานวิจัยของซู และคณะ (Su et al.) (2017) แบ่งตัวแปรซึ่งเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) การพัฒนาของเทคโนโลยี 2) พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปของผู้ใช้อาคาร 3) การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 4) การเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักระหว่างผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละหมวด โดยปัจจัยการพัฒนาของเทคโนโลยีเป็นกลุ่มที่มีการศึกษามากที่สุดในปัจจุบัน ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากการลดลงของสัดส่วนพลังงานฟอสซิลส่งผลให้ค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าลดลง (Pei et al., 2022; Phillips et al., 2022; Roux et al., 2016; Su et al., 2019) การพัฒนาของเทคโนโลยีระบบปรับอากาศส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในอาคารลดลง (Rodrigues et al., 2024) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในหลายงานวิจัยที่ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปลี่ยนแปลงในอนาคต เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัต (Phillips et al., 2022; Shanbhag & Dixit, 2024)

สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้า (Electricity mix)

สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้า คือสัดส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากทรัพยากรต่าง ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ เชื้อเพลิงฟอสซิล (Pei et al., 2022) ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย จากข้อมูลของ IEA (2022) ในปี ค.ศ. 2022 การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยมีที่มาจากแก๊สธรรมชาติเป็นหลัก (56%) รองลงมาคือ ถ่านหิน (19.6%) พลังงานชีวมวล (9.8%) น้ำมัน (5.7%) พลังงานน้ำ (3.7%) พลังงานแสงอาทิตย์ (2.7%) และอื่น ๆ (2.5%)

งานวิจัยของซู และคณะ (Su et al.) (2023) ทำการศึกษาสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในประเทศจีน โดยใช้โปรแกรม Global Change Analysis Model (GCAM) ภายใต้ 2 สถานการณ์ ได้แก่ ความหนาแน่นของ CO₂ ในชั้นบรรยากาศ 550 ppm และ 450 ppm พบว่า ค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าลดลงในทุก ๆ ปี จนเหลือค่าเท่ากับ 0.098 kgCO₂/kWh ในปี ค.ศ. 2045 จากนั้นจะลดลงในระดับที่เกือบเป็นค่าคงที่ นอกจากนี้งานวิจัยของฟิลลิปส์และคณะ (Phillips et al.) (2022) ซึ่งทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ยังแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ

การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตโดยคำนึงถึงสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้า ในหลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าถูกประเมินไว้สูงเกินไปในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ และส่งผลกระทบต่อมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เข้มงวดเกินไป ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของซู และคณะ (Su et al.) (2023) ซึ่งทำการศึกษาในประเทศจีน แสดงให้เห็นว่า เมื่อคำนึงถึงสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต optimal thickness ของฉนวนกันความร้อนอาคารจาก 250 มม. ในกรณีการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่จะลดลงเป็น 120 มม. และ 130 มม. ในกรณีการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบพลวัตงานวิจัยของลี และคณะ (Li et al.) (2024) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าถูกประเมินไว้สูงเกินไปประมาณ 49.0%–64.8% นำมาซึ่งการออกแบบฉนวนที่หนาเกินไป นอกจากนี้การคำนึงถึงปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงตามเวลายังส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดชีวิตได้ถึง 5.2%–6.1% จึงมีผลสำคัญอย่างยิ่งกับการตัดสินใจในระยะแรกของโครงการ

ไฟล์อากาศในอนาคตจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Future weather data)

ไฟล์ข้อมูลอากาศ คือข้อมูลของสภาพอากาศที่ประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ความเร็วลม ไฟล์อากาศเป็นข้อมูลจำเป็นสำหรับการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร (Cellura et al., 2018; Jentsch et al., 2008) ซึ่งหลักการในการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เรียกว่า Morphing หลักการนี้ถูกพัฒนาโดยเบลเชอร์ และคณะ (Belcher et al.) (2005) จากการรวบรวมปัจจัยต่าง ๆ ในไฟล์ข้อมูลอากาศที่สังเกตได้ในปัจจุบันเข้ากับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต ต่อมา เจนซ์ช และคณะ (Jentsch et al.) (2013) นำวิธีดังกล่าวพัฒนาเป็นโปรแกรม CCWorldWeatherGen สำหรับการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080

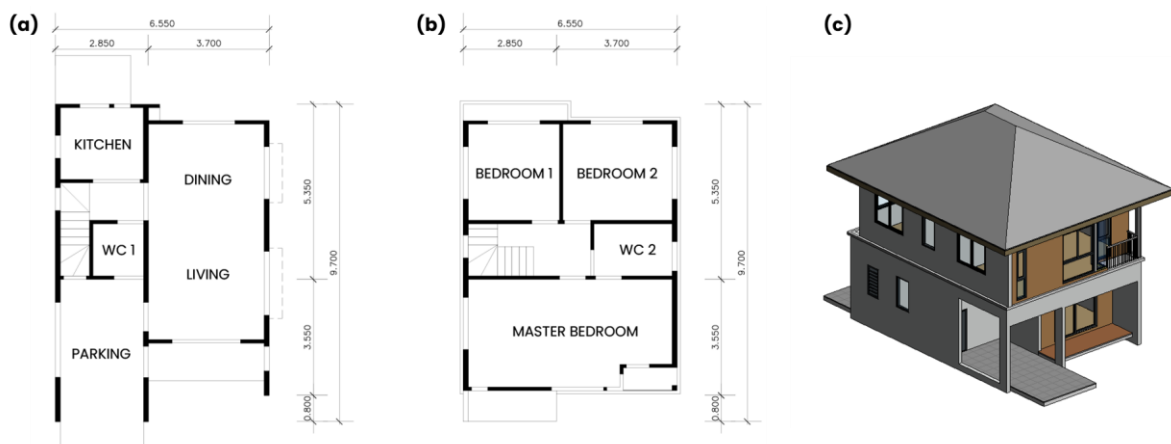
สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเช่นเดียวกัน โดยการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นจะมีแนวโน้มลดลง (Waite et al., 2017) จากการศึกษางานวิจัยของณัฏฐา ตระกูลไทย (2558) ซึ่งทำการศึกษาลักษณะของภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในประเทศไทย โดยทำการสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตด้วยโปรแกรม CCWorldWeatherGen พบว่า การใช้พลังงานโดยใช้ไฟล์ข้อมูลอากาศ ค.ศ. 2080 จะส่งผลให้การใช้พลังงานในอาคารโดยรวมเพิ่มขึ้น 8% เมื่อเทียบกับไฟล์ข้อมูลอากาศ ค.ศ. 1990 นอกจากนี้งานวิจัยของอภิญญา เวชกามา (2565) ซึ่งทำการศึกษาลักษณะของภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยพบว่า ตลอดการใช้งานอาคาร 60 ปี อาคารมีการใช้พลังงานโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 43 และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นร้อยละ 40

ระเบียบวิธีการวิจัย

การกำหนดแบบอาคารอ้างอิง

จากงานวิจัยของจรีมิตร และคณะ (Jareemit et al.) (2016) ซึ่งทำการศึกษารูปแบบบ้านเดี่ยวในกรุงเทพฯ พบว่า สัดส่วนความกว้างต่อความยาวของผังพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ประมาณ 1:1.1–1:1.2 มีจำนวนชั้น 2 ชั้น ชั้น 1 ประกอบไปด้วย พื้นที่นั่งเล่น พื้นที่รับประทานอาหาร ครั้ว และห้องน้ำ ในขณะที่ชั้น 2 ประกอบไปด้วยห้องนอน 2–3 ห้อง อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่นั่งทั้งหมด (WWR) อยู่ที่ประมาณ 7.0%–33.6% สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธันญวีร์ มีสรพวงค์ (2561) ซึ่งพบว่า แบบบ้านที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น ขนาด 121–140 ตร.ม. ราคาขายอยู่ในช่วง 2,000,000–3,000,000 บาท

งานวิจัยนี้จึงอ้างอิงแบบบ้านจากงานวิจัยของ ธันญวีร์ มีสรพวงค์ (2561) ซึ่งทำการสำรวจแบบบ้านจัดสรรจากสื่ออินเทอร์เน็ตจำนวน 15 แบบ แบบบ้านอ้างอิงเป็นไปตามภาพ 1 โดยมี 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 114 ตร.ม.



ภาพ 1 อาคารอ้างอิง

(a) ผังพื้นที่ชั้นที่ 1 (b) ผังพื้นที่ชั้นที่ 2 (c) ภาพ Isometric

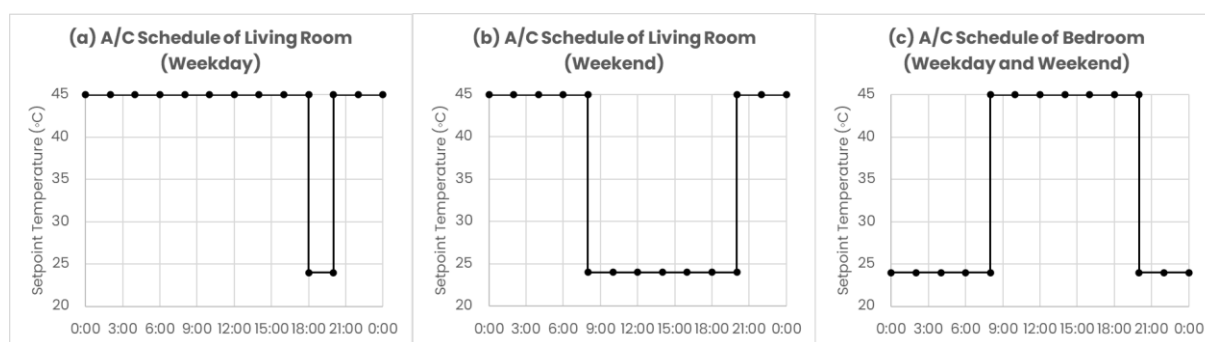
ที่มา: ดัดแปลงจาก การออกแบบบ้านสมัยใหม่ โดยประยุกต์ภูมิปัญญาในการระบายอากาศของเรือนไทย โดย ธันญวีร์ มีสรพวงค์, 2561. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. CUIR. DOI: 10.58837/CHULA.THE.2018.1387

วัสดุผนังเป็นคอนกรีตสำเร็จรูปหนา 10 ซม. กระจกเป็นกระจกใสหนา 6 มม. 1 ชั้น โดยคุณสมบัติของเปลือกอาคารเป็นไปตามตาราง 1 สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่นั่งทั้งหมด (WWR) เท่ากับร้อยละ 17.58–40.72 ตามแต่ละด้านของอาคาร หลังคาเป็นทรงปั้นหยาลาดเอียง 30 องศา หลังคาเป็นกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ ระยะพื้นถึงพื้นสูง 3.00 เมตร และพื้นถึงฝ้าสูง 2.60 เมตรทั้ง 2 ชั้น ระบบปรับอากาศเป็นแบบแยกส่วน ค่า COP = 3.40 โดยภาพ 2 แสดงให้เห็นตารางการใช้งานอาคารสำหรับการตั้งค่าระบบปรับอากาศในโปรแกรมจำลองพลังงาน

ตาราง 1 คุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร

วัสดุเปลือกอาคาร	คุณสมบัติ	ค่า
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ความหนา 10 ซม.	Thermal Conductivity	1.442 W/m.K
	Specific Heat	920 J/kg.K
	Density	2,400 kg/m ³
	Thermal Absorptance	0.90
	Solar Absorptance	0.30
กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์	Thermal Conductivity	0.395 W/m.K
	Specific Heat	840 J/kg.K
	Density	2,000 kg/m ³
	Thermal Absorptance	0.90
	Solar Absorptance	0.70
กระจกใสหนา 6 มม. 1 ชั้น	U-value	5.74 W/m ² .K
	SHGC	0.82

ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร โดย กระทรวงพลังงาน, 2564. กระทรวง.



ภาพ 2 ตารางการใช้งานสำหรับการตั้งค่าระบบปรับอากาศ

(a) ห้องนั่งเล่นในวันธรรมดา (b) ห้องนั่งเล่นในวันหยุด (c) ห้องนอน

ที่มา: ผู้วิจัย

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในอาคาร

การคาดการณ์สัดส่วนแหล่งพลังงานในอนาคตพิจารณาตั้งแต่ ค.ศ. 2020–2065 โดยใช้โปรแกรม Global Change Analysis Model (GCAM) ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้ในการคาดการณ์สถานการณ์ในอนาคตจาก 5 ปัจจัย ได้แก่ พลังงาน น้ำ การใช้ที่ดิน สภาพเศรษฐกิจ และสังคม สภาพภูมิอากาศ (Calvin et al., 2019) ผ่านการประเมินผลด้วยไฟล์สถานการณ์ (configuration file) โดยเลือกใช้สถานการณ์ Business as Usual (BaU) ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ดำเนินไปตามปกติ และสถานการณ์ Policies (POL) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทยในการตั้งเป้าหมายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutral) ภายในปี ค.ศ. 2050 ไฟล์สถานการณ์ดังกล่าวอ้างอิงจากงานวิจัยของ เวท และคณะ (Waite et al.) (2024) ซึ่งเป็นการร่วมมือระหว่าง Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) กับมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในการวิจัยเรื่องการประเมินแนวทางสู่การปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศไทยในอนาคต

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) จากการใช้ไฟฟ้าในอนาคตจะใช้ข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นค่ากลางจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าต่าง ๆ ดังตาราง 2 (Schlömer et al., 2014)

ตาราง 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแหล่งพลังงานแต่ละประเภท

แหล่งพลังงาน	เทคโนโลยี	Emission factor (kgCO ₂ e/kWh)
Coal	Conventional	0.820
	IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)	0.740
Refined Liquid	CT (Combustion Turbine)	0.600
	CC (Combined Cycle)	0.450
Natural Gas	CT (Combustion Turbine)	0.490
	CC (Combined Cycle)	0.350
Biomass	Conventional	0.740
	IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)	0.230

ที่มา: จาก Annex III: Technology-specific cost and performance parameters โดย Schlömer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczyk, J., Roy, D., Schaeffer, R., Sims, R., Smith, P., & Wiser, R., 2014. In Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (pp. 1329–1356). Cambridge University Press.

การสูญเสียพลังงานจากระบบสายส่ง (Transmission and Distribution losses: T&D losses) หรือการสูญเสียพลังงานจากการส่งระหว่างที่ตั้งการผลิต (generation site) ไปยังอาคารหรือพื้นที่ใช้ไฟฟ้า (demand side) จะส่งผลให้ค่า emission factor จากการผลิตไฟฟ้าและการใช้ไฟฟ้ามีค่าแตกต่างกัน (Sadovskaia et al., 2019) การคำนวณค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงค่าดังกล่าวทั้งในปัจจุบันและอนาคต ในปี ค.ศ. 2021 ประเทศไทยมีค่า T&D losses อยู่ที่ประมาณ 6% (CEIC, 2021) และมีแนวโน้มลดลงในอนาคตจากการพัฒนาของเทคโนโลยีที่สูงขึ้น จากงานวิจัยของ ซาโดฟสกายา และคณะ (Sadovskaia et al.) (2019) ค่า T&D losses ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงปี ค.ศ. 2045 ซึ่งจะมีค่า T&D losses ลดลงประมาณ 2.5% จากปัจจุบัน หลังจากนั้นค่าจะเปลี่ยนแปลงน้อยจนเกือบเป็นค่าคงที่

การสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

ไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตซึ่งได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงจัดทำจากไฟล์อากาศของกรุงเทพฯ ปีเก่า (ค.ศ. 1983–1993) รวมกับข้อมูล HadCM3 (Centre Couple Model 3) ในโปรแกรม CCWorldWeatherGen ซึ่งโปรแกรมมีการคาดการณ์ไว้ทุก ๆ 30 ปี ได้แก่ ค.ศ. 2020, 2050, และ 2080 สำหรับไฟล์ข้อมูลอากาศในสถานการณ์ Business as Usual เลือกใช้สถานการณ์ HadCM3 A2 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และไม่ได้มีมาตรการลดภาวะโลกร้อนอย่างจริงจัง ส่งผลให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีค่าประมาณ 850 ppm ในปี ค.ศ. 2100 ในขณะที่สถานการณ์ Policies เลือกใช้สถานการณ์ HadCM3 B2 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่นานาชาติมุ่งบังคับใช้มาตรการลดภาวะโลกร้อน ส่งผลให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเท่ากับประมาณ 600 ppm ในปี ค.ศ. 2100 (IPCC, n.d.)

การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ (embodied carbon) คำนวณจากการถอดปริมาณวัสดุอาคารโดยการขึ้นโมเดล BIM ในโปรแกรม Autodesk Revit ระดับความละเอียด LOD (300) การขึ้นโมเดล BIM ดังกล่าว เป็นการขึ้นเฉพาะงานสถาปัตยกรรมและงานโครงสร้าง แต่ไม่รวมถึงงานระบบอาคารต่าง ๆ และเหล็กเสริม (rebar) ปริมาณของเหล็กเสริมจะถูกคำนวณจากการประมาณค่าในปริมาณของคอนกรีตโดยใช้ข้อมูลจาก OneClickLCA (2021) อาคารกรณีศึกษา กำหนดให้มีอายุการใช้งานอาคาร 50 ปี ระยะทางการขนส่งวัสดุไปยังพื้นที่ก่อสร้างไม่เกิน 300 กิโลเมตร (ชนิกานต์ ยัมประยูร และคณะ, 2564) จากนั้นข้อมูลจากการถอดปริมาณวัสดุจะถูกนำไปประเมินวัฏจักรชีวิตและคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO₂e) ในโปรแกรม OneClickLCA โดยมีขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ Cradle-to-Cradle

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน คำนวณจากการจำลองพลังงานในโปรแกรม OpenStudio (EnergyPlus) การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานตลอด 50 ปี ในขณะที่การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตจะมีการจำลองการใช้พลังงานในปี ค.ศ. 2020, 2050, และ 2080 โดยเปลี่ยนแปลงไฟล์ข้อมูลอากาศ

จากนั้นใช้การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรสร้างเป็นสมการเพื่อหาค่าการใช้พลังงานของแต่ละปี และคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO_2e) โดยนำค่าการใช้พลังงานของแต่ละปีไปคูณกับค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าของแต่ละปีซึ่งเปลี่ยนแปลงจากสัดส่วนพลังงานไฟฟ้า

ผลกระทบต่อปริมาณฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว

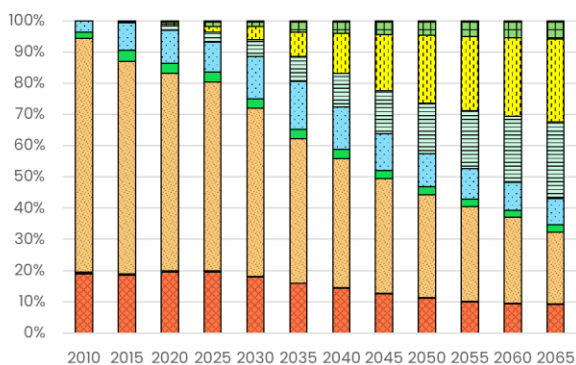
ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของการกำหนดมาตรการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเปรียบเทียบระหว่างการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่ กับการคำนึงถึงการไปสู่อาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ในอนาคตผ่านการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบพลวัต การศึกษาเปรียบเทียบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคารของ 2 วัสดุ ได้แก่ ฉนวน Rockwool (Thermal conductivity = 0.035 W/m.K , density = 60 kg/m^3) และฉนวนใยแก้ว (Thermal conductivity = 0.036 W/m.K , density = 12 kg/m^3) ในความหนาที่ต่างกันตั้งแต่ 25 มม.–150 มม. (1–6 นิ้ว) สำหรับการติดตั้งฉนวนเป็นการติดตั้งระหว่างผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและผนังไฟเบอร์ซีเมนต์ปิดผิวภายนอกบนโครงเคร่าที่ถูกติดตั้งเพิ่มสำหรับปิดผิวฉนวน จากนั้นวิเคราะห์ความหนาเหมาะสม (optimal thickness) หรือความหนาที่ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมลดลงมากที่สุด การติดตั้งฉนวนที่น้อย ทำให้บ้านใช้พลังงานจากการทำความเย็นมากขึ้น และปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้อาคารสูงขึ้น แต่หากติดตั้งฉนวนที่มากเกินไปก็จะไปเพิ่มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการก่อสร้างอาคารมากเกินไปจากวัสดุฉนวน

ผลการศึกษา

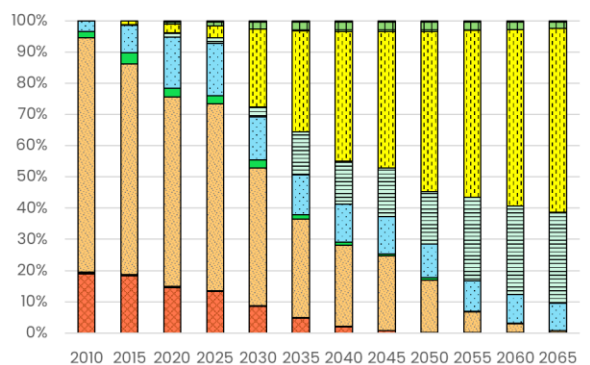
การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในอนาคต

จากการจำลองสถานการณ์ในอนาคตผ่านโปรแกรม GCAM สัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทยทั้งสองสถานการณ์ คือ Business as Usual และ Policies เป็นไปดังภาพ 3 เมื่อเปรียบเทียบจะพบว่า สถานการณ์ Policies มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนที่มากกว่าสถานการณ์ Business as Usual ยกตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 2065 ซึ่งเป็นปีที่ประเทศไทยตั้งเป้าหมายสู่การลดคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ สถานการณ์ Policies มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนถึงร้อยละ 99 ขณะที่สถานการณ์ Business as Usual มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนเพียงร้อยละ 68

(a) Business as Usual (BAU)



(b) Policies (POL)



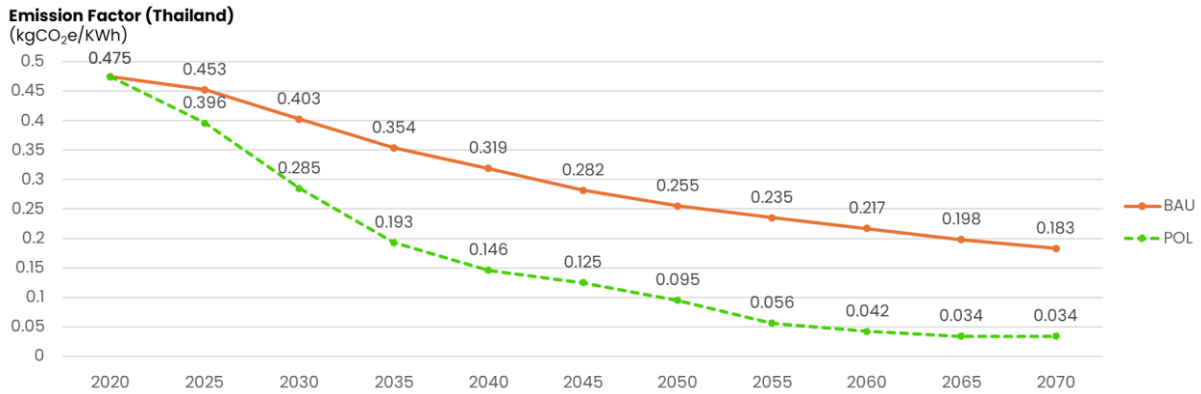
Coal Oil Natural Gas Biofuel Hydro Wind Solar Others Coal Oil Natural Gas Biofuel Hydro Wind Solar Others

ภาพ 3 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทยจากการจำลองในโปรแกรม GCAM

(a) สถานการณ์ Business as Usual (b) สถานการณ์ Policies

ที่มา: ผู้วิจัย

ข้อมูลสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าในอนาคตดังกล่าวจึงถูกนำมาคำนวณเป็นค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ดังภาพ 4 ตั้งแต่ ค.ศ. 2020–2070 ซึ่งเป็นช่วงอายุการใช้งานของอาคารกรณีศึกษา เมื่อเปรียบเทียบค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าในปี ค.ศ. 2065 สำหรับสถานการณ์ Business as usual ค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.198 kgCO₂e/kWh ในขณะที่สถานการณ์ Policies ค่า Emission factor จากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.034 kgCO₂e/kWh ซึ่งแตกต่างกันกว่า 6 เท่า



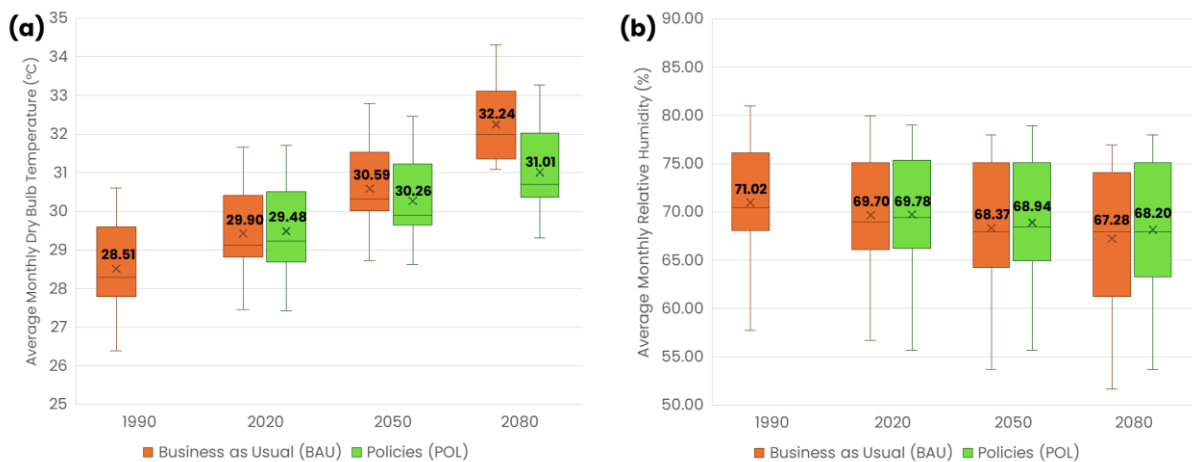
ภาพ 4 การคาดการณ์ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทย

ที่มา: ผู้วิจัย

การสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศในอนาคตจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

สำหรับการวิเคราะห์ไฟล์อากาศที่ใช้ในการจำลองพลังงาน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบไฟล์อากาศเก่าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 จนถึง ค.ศ. 2080 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีดังภาพ 5 (a) โดยสถานการณ์ Business as Usual จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมากกว่า ไฟล์อากาศปี ค.ศ. 1990 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 28–29.5°C ในขณะที่ปี ค.ศ. 2080 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือนของสถานการณ์ Business as Usual เท่ากับประมาณ 31.5–33°C (เพิ่มขึ้นประมาณ 3–4°C) และสถานการณ์ Policies เท่ากับประมาณ 30.5–32°C (เพิ่มขึ้นประมาณ 2–3°C)

ส่วนค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนมีแนวโน้มลดลงทุกปีแสดงดังภาพ 5 (b) โดยสถานการณ์ Business as Usual จะมีแนวโน้มที่ลดลงมากกว่า โดยพบว่า ในปี ค.ศ. 2080 สถานการณ์ Business as Usual ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนลดลงประมาณ 4% และสถานการณ์ Policies ลดลงประมาณ 3% เมื่อเทียบกับไฟล์อากาศปี ค.ศ. 1990



ภาพ 5 ข้อมูลอากาศรายเดือน ปี ค.ศ. 1990, 2020, 2050, และ 2080 ของกรุงเทพฯ

(a) อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือน (b) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน

ที่มา: ผู้วิจัย

การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่และแบบพลวัต

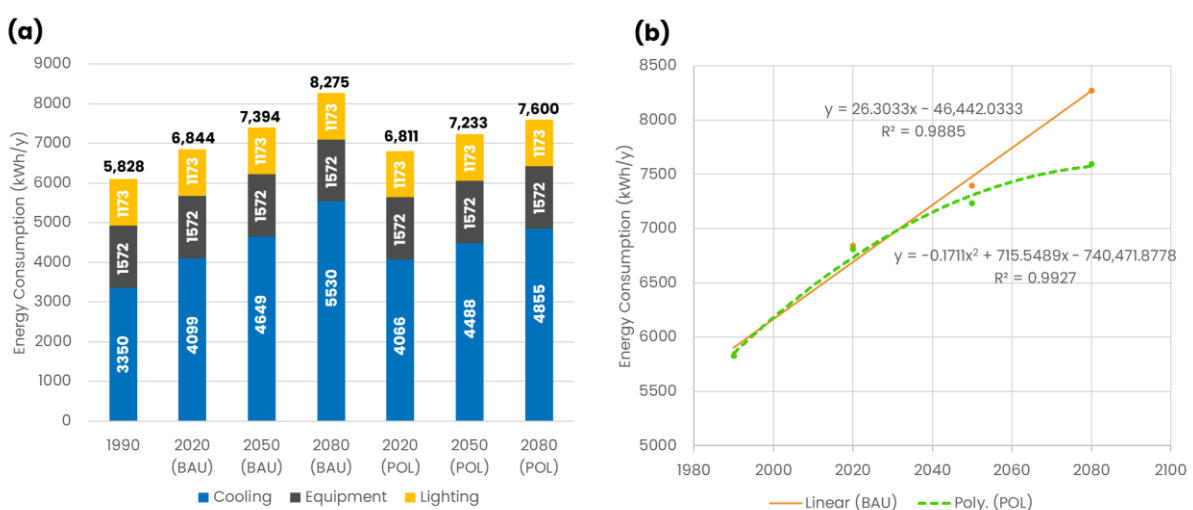
เมื่อทำการจำลองการใช้พลังงานด้วยไฟล์อากาศปีเก่า (ค.ศ. 1990) จะพบว่า อาคารกรณีศึกษาจะมีการใช้พลังงานรวมทั้งหมดเท่ากับ 5,828 kWh/y และค่า EUI (Energy Use Index) เท่ากับ 62.32 kWh/m²/y

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ การจำลองการใช้พลังงานจะใช้ไฟล์อากาศ ปี ค.ศ. 2020 และใช้เป็นค่าคงที่ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยพลังงานรวมทั้งหมดเท่ากับ 6,844 kWh/y และค่า EUI เท่ากับ 73.19 kWh/m²/y การใช้พลังงานรวมทั้งหมด 50 ปี จึงเท่ากับ 342,200 kWh

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัต การจำลองการใช้พลังงานจะใช้ไฟล์อากาศ ปี ค.ศ. 2020, 2050 และ 2080 โดยแสดงดังภาพ 6 (a) จากนั้นทำการวิเคราะห์การถดถอยในสถานการณ์ Business as Usual ในปี ค.ศ. 2050 พลังงานรวมทั้งหมดจะเท่ากับ 7,394 kWh/y และค่า EUI เท่ากับ 79.08 kWh/m²/y ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.04 เมื่อเทียบกับ ค.ศ. 2020 และในปี ค.ศ. 2080 พลังงานรวมทั้งหมดจะเท่ากับ 8,275 kWh/y และค่า EUI เท่ากับ 88.49 kWh/m²/y ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.91 เมื่อเทียบกับ ค.ศ. 2020

ส่วนสถานการณ์ Policies การใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบันน้อยกว่าสถานการณ์ Business as Usual จากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันน้อยกว่า โดยในปี ค.ศ. 2050 พลังงานรวมทั้งหมดจะเท่ากับ 7,233 kWh/y และค่า EUI เท่ากับ 77.35 kWh/m²/y ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.68 เมื่อเทียบกับ ค.ศ. 2020 และในปี ค.ศ. 2080 พลังงานรวมทั้งหมดจะเท่ากับ 7,600 kWh/y และค่า EUI เท่ากับ 81.27 kWh/m²/y ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.05 เมื่อเทียบกับ ค.ศ. 2020

เมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยจากข้อมูลการจำลองพลังงานไฟล์อากาศปี ค.ศ. 1990, 2020, 2050, 2080 แสดงดังภาพ 6 (b) พบว่าในสถานการณ์ Business as Usual ซึ่งพิจารณาการถดถอยเชิงเส้นสามารถสรุปเป็นสมการ $y = 26.3033x - 46,442.03$ ค่าความผันแปรทั้งหมด (R^2) เท่ากับ 0.989 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สถานการณ์ Policies จะพบว่า การถดถอยเชิงพหุนาม (polynomial regression) ในสมการกำลังสองส่งผลให้ค่าความผันแปรเข้าใกล้ 1 มากกว่า โดยสามารถสรุปเป็นสมการ $y = -0.1711x^2 + 715.5489x - 740,471.88$ ค่าความผันแปรทั้งหมด (R^2) เท่ากับ 0.993 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง แต่มีแนวโน้มที่ลดลงจากความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมนุษย์ ทั้งสองสมการจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานรายปีตั้งแต่ปีแรกจนถึงปีที่ 50

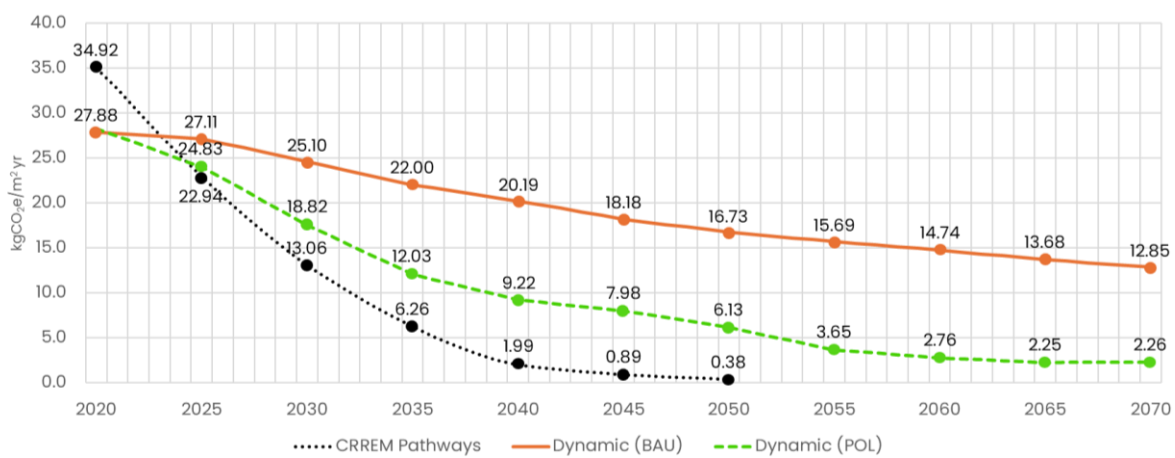


ภาพ 6 การจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาปี ค.ศ. 1990, 2020, 2050 และ 2080 ในสถานการณ์ Business as Usual และ Policies

(a) ปริมาณและสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา (b) การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อคำนวณการใช้พลังงานแต่ละปี

ที่มา: ผู้วิจัย

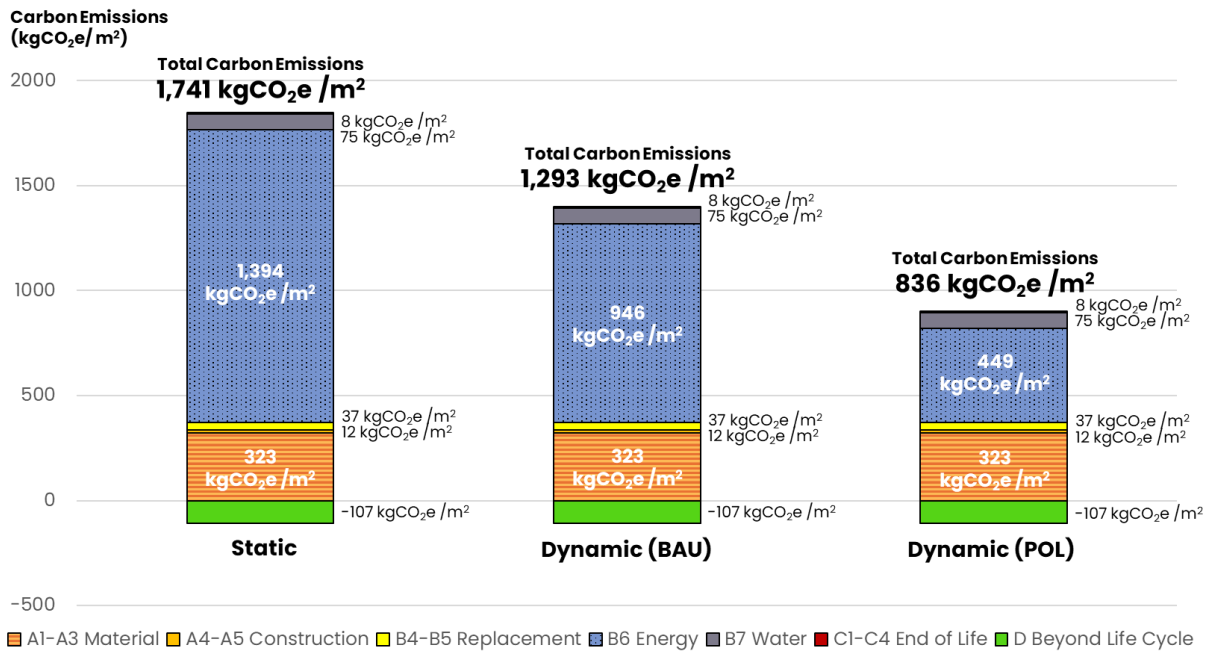
เมื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารซึ่งเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในอนาคต มาคำนวณเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากข้อมูลค่า emissions factor ของการใช้ไฟฟ้าซึ่งได้รับผลกระทบจากสัดส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต จะพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าลดลงในทุก ๆ ปี เป็นผลมาจากปัจจัยหลัก คือการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าในอนาคต ภาพ 7 แสดงให้เห็นว่า ปี ค.ศ. 2020 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าต่อตารางเมตรใน 1 ปีเท่ากับประมาณ 27.88 kgCO₂e/m² ในขณะที่ปี ค.ศ. 2070 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าต่อตารางเมตรใน 1 ปีเท่ากับประมาณ 12.85 kgCO₂e/m² (ลดลงร้อยละ 53.91) ในสถานการณ์ Business as Usual และ 2.26 kgCO₂e/m² ในสถานการณ์ Policies (ลดลงร้อยละ 91.89) อย่างไรก็ตามถึงแม้จะเป็นแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสถานการณ์ Policies ก็ยังไม่สามารถลดลงได้เท่ากับ Decarbonization pathways - Operational carbon emissions โดย CRREM (2023) เพื่อควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้ไม่เพิ่มไปกว่า 1.5 °C แสดงให้เห็นว่า การพึ่งพาการลดลงของ emission factor จากการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการไปสู่การปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์



ภาพ 7 ปริมาณการปล่อย Operational carbon ต่อตารางเมตรรายปีของอาคารกรณีศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย

ข้อมูลการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า (B6) เมื่อนำไปรวมกับปริมาณการปล่อยคาร์บอนส่วนอื่น (A1–C4) ซึ่งได้จากการคำนวณในโปรแกรม OneClickLCA เพื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารดังภาพ 8 โดยพบว่า เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม (global warming potential) เท่ากับ 198,465 kgCO₂e หรือ 1,740 kgCO₂e/m² โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (B6) เป็นสัดส่วนหลักมากถึงร้อยละ 80.1 ในขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ (A1–A3) มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 18.5 ในขณะที่เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัต ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 147,431 kgCO₂e หรือ 1,293 kgCO₂e/m² (ลดลงร้อยละ 25.67) ในสถานการณ์ Business as Usual และ 95,285 kgCO₂e หรือ 836 kgCO₂e/m² (ลดลงร้อยละ 51.99) ในสถานการณ์ Policies การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตยังส่งผลให้สัดส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ (A1–A3) เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25.0 ในสถานการณ์ Business as Usual และร้อยละ 38.6 ในสถานการณ์ Policies จากการลดลงของส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (B6)



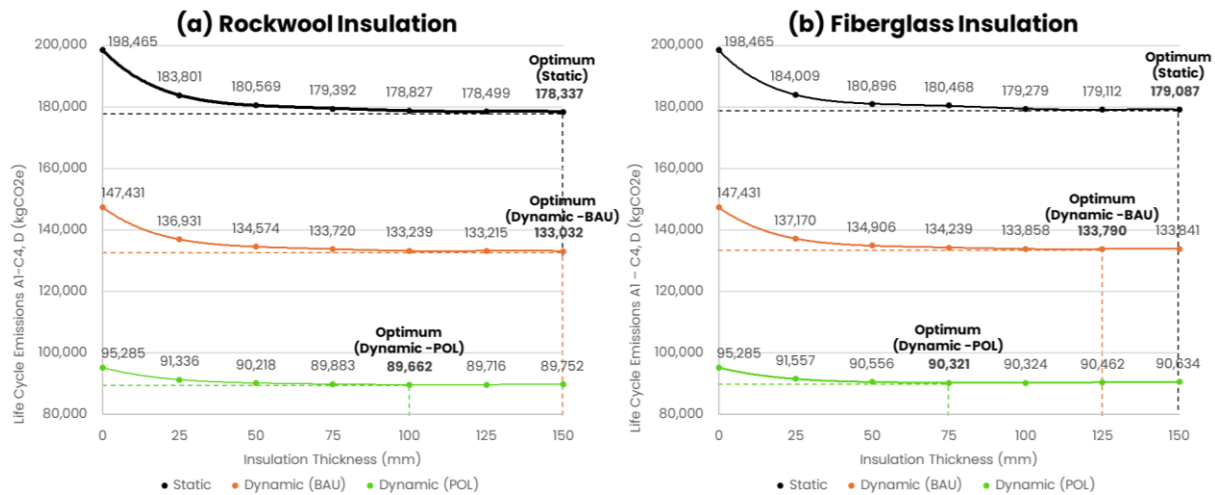
ภาพ 8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารกรณีศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิต 50 ปี

ที่มา: ผู้วิจัย

ผลกระทบต่อปริมาณฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (B6) เป็นหลัก ในขณะที่เมื่อพิจารณาสถานการณ์อนาคตในการประเมินแบบพลวัต สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานลดลงเป็นอย่างมาก ส่งผลต่อการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างการตัดสินใจกันความร้อน สำหรับการจัดเป้าหมายอาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว การตัดสินใจที่มีความหนาวยังลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุดในการประเมินแบบคงที่ แต่เมื่อพิจารณาในระยะยาวในการประเมินแบบพลวัตแล้ว ความหนาที่มากกลับส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุที่เพิ่มขึ้น

ภาพ 9 แสดงให้เห็นความหนาของฉนวนผนังที่ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยคาร์บอนตลอดวัฏจักรชีวิต สำหรับฉนวน Rockwool จะพบว่า optimal thickness หรือความหนาที่ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนตลอดวัฏจักรชีวิตลดลงมากที่สุด เมื่อทำการประเมินแบบคงที่จะเท่ากับ 150 มม. ในขณะที่การประเมินแบบพลวัตในสถานการณ์ Business as Usual มีความหนาเท่าเดิมคือ 150 มม. และในสถานการณ์ Polices ลดลงเหลือ 100 มม. ส่วนฉนวนใยแก้ว ซึ่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุต่อหน่วยมากกว่าฉนวน Rockwool ค่า optimal thickness ในการประเมินแบบคงที่จะเท่ากับ 150 มม. ขณะที่การประเมินแบบพลวัตในสถานการณ์ Business as Usual และสถานการณ์ Polices จะลดลงเหลือ 125 มม. และ 75 มม. ตามลำดับ



ภาพ 9 ความหนาของฉนวนกันความร้อนที่ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร

(a) ฉนวน Rockwool (b) ฉนวนใยแก้ว

ที่มา: ผู้วิจัย

อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตโดยคำนึงถึง 2 ปัจจัย ได้แก่ สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าในอนาคต และแบบจำลองสภาพอากาศในอนาคต การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงจากสัดส่วนของการใช้พลังงาน (B6) ซึ่งเคยเป็นสัดส่วนหลักที่มากถึงร้อยละ 80.1 ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ที่กลับลดลงเหลือร้อยละ 73.2 เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตในสถานการณ์ Business as Usual และร้อยละ 58.5 ในสถานการณ์ Policies นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า นโยบายของภาครัฐที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์ Business as Usual ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากับ 1,293 kgCO₂e/m² กับสถานการณ์ Policies ซึ่งเป็นสถานการณ์ตามแผนสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของประเทศไทย ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเหลือเพียง 836 kgCO₂e/m² (ลดลงจาก Business as Usual ร้อยละ 35.37)

การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบคงที่ซึ่งมีการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไว้มากเกินไป สถานการณ์จริง เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงสถานการณ์ในอนาคต นำมาซึ่งมาตรการที่ลงทุนกับการลดในส่วนดังกล่าวมากเกินไปถึง การเลือกความหนาของฉนวนความร้อนที่มีความหนาแน่น โดยไม่คำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ การประเมินวัฏจักรชีวิตแบบคงที่จึงไม่ตอบโจทย์การตั้งเป้าสู่อาคารปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตจึงแสดงให้เห็นการลดลงของความหนาเหมาะสม (optimal thickness) หรือความหนาซึ่งส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตน้อยที่สุดของฉนวนกันความร้อน โดยฉนวน Rockwool ลดลงจาก 150 มม. เป็น 100 มม. ในสถานการณ์ Policies ส่วนในสถานการณ์ Business as Usual มีความหนาเท่าเดิม คือ 150 มม. ขณะที่ฉนวนใยแก้ว ลดลงจาก 150 มม. เป็น 75 มม. ในสถานการณ์ Policies และ 125 มม. ในสถานการณ์ Business as Usual

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการคำนวณค่า emission factor จากการใช้ไฟฟ้าคือ ไม่ได้มีการคำนึงถึงเทคโนโลยีของ Carbon Capture and Storage (CCS) ในอนาคต รวมไปถึงค่า emission factor จากทรัพยากรแหล่งผลิตไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งพิจารณาจากค่ากลางของ IPCC หากมีการนำข้อมูลของประเทศไทยโดยเฉพาะมาใช้ในการคำนวณก็จะส่งผลให้มีความแม่นยำสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารแบบพลวัตที่ไม่ได้ถูกกล่าวถึง เช่น การพัฒนาของประสิทธิภาพระบบปรับอากาศในอนาคต อันเป็นโอกาสสำหรับการวิจัยในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. (2564). *ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร*. กระทรวง.
- ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, ภัทรนันท์ ทักษนันท, และสิงห์ อินทรชูโต. (2564). เกณฑ์ประเมินและให้ฉลากแบบบ้านประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยอิงการจำลองพลังงานและการประเมินวัฏจักรชีวิต. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 19(1), 179–200.
<https://doi.org/10.56261/jars.v19i1.243880>
- ณัฐฐา ตระกูลไทย. (2558). *ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้น* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. CUIR. DOI: 10.58837/CHULA.THE.2015.1685
- ฉันทวิรุทธิ์ มีสรพวงค์. (2561). *การออกแบบบ้านสมัยใหม่ โดยประยุกต์ภูมิปัญญาในการระบายอากาศของเรือนไทย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. CUIR. DOI: 10.58837/CHULA.THE.2018.1387
- อภิญา เวชกามา. (2565). *ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงกับการออกแบบพลังงานหมุนเวียน เพื่อไปสู่อาคารพักอาศัยปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. CUIR. DOI: 10.58837/CHULA.THE.2022.951
- Belcher, S. E., Hacker, J., & Powell, D. S. (2005, February). Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology*, 26(1), 49-61.
<https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa>
- Calvin, K., Patel, P., Clarke, L., Asrar, G., Bond-Lamberty, B., Cui, R., Di Vittorio, A., Dorheim, K., Edmonds, J., Hartin, C., Hejazi, M., Horowitz, R., Iyer, G., Kyle, P., Kim, S., Link, R., McJeon, H., Smith, Steven J., Snyder, A., & Wise, M. (2019, February). GCAM v5.1: Representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. *Geoscientific Model Development*, 12(2), 677–698. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019>
- CEIC. (2021). *Thailand TH: Electric power transmission and distribution losses: % of output*.
<https://www.ceicdata.com/en/thailand/energy-production-and-consumption/th-electric-power-transmission-and-distribution-losses--of-output>
- Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., & Tumminia, G. (2018, August). Climate change and the building sector: Modelling and energy implications to an office building in southern Europe. *Energy for Sustainable Development*, 45, 46–65. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.001>
- CRREM. (2023). *CRREM risk assessment reference guide - User manual for the CRREM risk assessment tool V2*.
https://www.crrem.eu/wp-content/uploads/2023/04/CRREM-Risk-Assessment-Reference-Guide-V2_20_03_2023.pdf
- Fnaiss, A., Rezgui, Y., Petri, I., Beach, T., Yeung, J., Ghoroghi, A., & Kubicki, S. (2022, May). The application of life cycle assessment in buildings: Challenges, and directions for future research. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(6), 627–654. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02058-5>
- IEA. (2022). *Energy system of Thailand*. <https://www.iea.org/countries/thailand>

- IPCC. (n.d.). *HadCM3 climate scenario data*. https://www.ipcc-data.org/sim/gcm_clim/SRES_TAR/hadcm3_download.html
- Jareemit, D., Inprom, N., & Sukseeda, J. (2016). *Uncertainty distributions in architectural design parameters for detached houses located In Bangkok Nneighborhoods*. ASHRAE - IBPSA-USA SimBuild 2016 Building Performance Modeling Conference Salt Lake City, Utah.
- Jentsch, M. F., Bahaj, A. S., & James, P. A. B. (2008, December). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 40(12), 2148–2168. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.005>
- Jentsch, M. F., James, P. A. B., Bourikas, L., & Bahaj, A. S. (2013, July). Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*, 55, 514-524. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.049>
- Li, C., Pan, Y., Liu, Z., Liang, Y., Yuan, X., Huang, Z., & Zhou, N. (2024, November 15). Optimal design of building envelope towards life cycle performance: Impact of considering dynamic grid emission factors. *Energy and Buildings*, 323, 114770. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114770>
- Nwodo, M. N., & Anumba, C. J. (2019, July). A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach. *Building and Environment*, 162, 106290. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106290>
- OneClickLCA. (2021). *Average material quantities*. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015033400-Average-Material-Quantities>
- Pei, L., Schalbart, P., & Peuportier, B. (2022, July 15). Life cycle assessment of a residential building in China accounting for spatial and temporal variations of electricity production. *Journal of Building Engineering*, 52, 104461. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104461>
- Phillips, R., Fannon, D., & J. Eckelman, M. (2022, February 1). Dynamic modeling of future climatic and technological trends on life cycle global warming impacts and occupant satisfaction in US office buildings. *Energy and Buildings*, 256, 111705. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111705>
- Rodrigues, C., Rodrigues, E., S. Fernandes, M., & Tadeu, S. (2024, October 15). Prospective life cycle approach to buildings' adaptation for future climate and decarbonization scenarios. *Applied Energy*, 372, 123867. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123867>
- Roux, C., Schalbart, P., Assoumou, E., & Peuportier, B. (2016, December 15). Integrating climate change and energy mix scenarios in LCA of buildings and districts. *Applied Energy*, 184, 619–629. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.043>
- Sadovskaia, K., Bogdanov, D., Honkapuro, S., & Breyer, C. (2019, May). Power transmission and distribution losses – A model based on available empirical data and future trends for all countries globally. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 107(2), 98-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.11.012>
- Schlömer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczyk, J., Roy, D., Schaeffer, R., Sims, R., Smith, P., & Wiser, R. (2014). Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change* (pp. 1329–1356). Cambridge University Press.

- Shanbhag, S. S., & Dixit, M. K. (2024, September 15). A review of evolving climate and energy economy trends to enhance the dynamic life cycle assessment of buildings. *Sustainable Cities and Society*, 111(11), 105560. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105560>
- Su, S., Li, X., & Zhu, Y. (2019, July). Dynamic assessment elements and their prospective solutions in dynamic life cycle assessment of buildings. *Building and Environment*, 158, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.008>
- Su, S., Li, X., Zhu, Y., & Lin, B. (2017, August 15). Dynamic LCA framework for environmental impact assessment of buildings. *Energy and Buildings*, 149, 310–320. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.042>
- Su, X., Huang, Y., Chen, C., Xu, Z., Tian, S., & Peng, L. (2023, September). A dynamic life cycle assessment model for long-term carbon emissions prediction of buildings: A passive building as case study. *Sustainable Cities and Society*, 96, 104636. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104636>
- UNEP. (2020). *2020 global status report for buildings and construction sector*. https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf
- UNFCCC. (2011). *Definitions of climate change - Fact sheet: Climate change science the status of climate change science today*. <https://www.unccllearn.org/wp-content/uploads/library/unfccc01.pdf>
- United Nations. (2021). *COP26: Together for our planet*. <https://www.un.org/en/climatechange/cop26>
- Van de moortel, E., Allacker, K., De Troyer, F., Schoofs, E., & Stijnen, L. (2022). Dynamic versus static life cycle assessment of energy renovation for residential buildings. *Sustainability*, 14(11), 6838. <https://doi.org/10.3390/su14116838>
- Waite, M., Cohen, E., Torbey, H., Piccirilli, M., Tian, Y., & Modi, V. (2017, May 15). Global trends in urban electricity demands for cooling and heating. *Energy*, 127(6), 786–802. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.095>
- Waite, T., Pradhan, B. B., Winyuchakrit, P., Khan, Z., Weber, M., Pressburger, L., Chaichaloempreecha, A., Rajbhandari, S., Pita, P., Westphal, M. I., Jonvisait, A., Jareemit, D., Limmeechokchai, B., & Evans, M. (2024, February 9). Stakeholder-driven carbon neutral pathways for Thailand and Bangkok: Integrated assessment modeling to inform multilevel climate governance. *Frontiers in Energy Research*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1335290>