

แนวทางการเลือกวัสดุก่อสร้างในองค์ประกอบของอาคารเพื่อลดผลกระทบ
ตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารสำนักงานในประเทศไทย
Guidelines for Material Selection in Building Components to
Reduce Life Cycle Impacts in Office Buildings in Thailand

รับบทความ	10/04/2567
แก้ไขบทความ	10/07/2567
ยอมรับบทความ	11/07/2567

มนัญชัย ภัทรพงศ์มณี สริน พินิจ อรรถจรณ์ เศรษฐบุตร
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Mananchai Pattarapongmanee, Sarin Pinich, Atch Sreshthaputra
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
Popmanan@gmail.com, Sarin.Pi@chula.ac.th, Atch.S@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน สาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจกในภาคอาคารนอกจากการใช้พลังงานระหว่างช่วงใช้สอยแล้ว การผลิตวัสดุก่อสร้างยังถือเป็นอีกส่วนหนึ่งในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน ด้วยเหตุนี้การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงตั้งแต่ช่วงการออกแบบอาคาร เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในองค์ประกอบของอาคารสำนักงานในประเทศไทยจำนวน 2 แห่ง ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร แต่มีความแตกต่างของวัสดุอาคาร ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางที่ช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม กระบวนการวิจัยเริ่มต้นจากรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการวัสดุจากแบบจำลองสารสนเทศและแบบก่อสร้าง ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม One Click LCA และตรวจสอบการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus จากการศึกษาพบว่า ระบบพื้นเป็นองค์ประกอบที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดตามด้วยระบบเสาเข็มและระบบผนังภายนอก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ 1) การใช้ระบบพื้นไร้คานท้องเรียบแบบกลวง (bubble deck slab) แทนระบบพื้นอัดแรง 2) การใช้ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นเป็น 30% 3) การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา และ 4) การใช้ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์แทนผนังเดิม (กรณีศึกษาที่ 1 เปลี่ยนจากระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และ อาคารกรณีศึกษาที่ 2 เปลี่ยนจากผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังเหล็กชุบสังกะสี) ซึ่งแต่ละแนวทางต่างลดการใช้พลังงานและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากแบบอาคารอ้างอิงได้อย่างตรงเป้าหมายตามเกณฑ์ LEED BD+C V4.1

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัสดุ องค์ประกอบอาคาร วัสดุอาคาร
อาคารสำนักงาน

Abstract

Nowadays, the primary cause of the greenhouse effect in the building sector is energy use during the operational phase. However, construction material manufacturing is another significant contributor to greenhouse gas emissions. For this reason, choosing environmentally friendly construction materials is crucial and should be considered at the building design stage to reduce environmental impacts as much as possible.

This research focuses on assessing the environmental impact of office buildings in Thailand through two case studies, each with a gross floor area not exceeding 10,000 square meters and different building materials, using the life cycle assessment method according to the EN-15978 (2011) standard. Data on material quantities were collected from building information modeling (BIM) and construction documents. The impacts were evaluated using One Click LCA, and the energy use was analyzed using EnergyPlus. Findings indicate that flooring systems emit the most greenhouse gases, followed by piles and exterior wall systems. Four mitigation strategies aligned with these high-impact components are proposed, including 1) Replacing post-tensioned slabs with bubble deck slabs, 2) Increasing the use of fly ash in concrete, 3) Replacing external walls with autoclaved aerated concrete block walls, and 4) Replacing external wall with fiber cement walls (Case Study 1 switch from a precast concrete wall system, and Case Study 2 switch from a Masonry wall system). Each strategy could reduce energy use and environmental impact compared to the reference building design, aligning with LEED BD+C V4.1 criteria.

Keywords: *life cycle assessment, embodied impact, building components, building materials, office building*

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันภาคอาคารและอุตสาหกรรมมีการก่อสร้างใช้พลังงานเป็นร้อยละ 37 ของการใช้พลังงานทุกระบบในโลก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (United Nations Environment Programme, 2022) ก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนหรือ global warming ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่เกิดขึ้นบ่อย (World Health Organization [WHO], 2023)

ทั้งนี้ ภาวะเรือนกระจกเป็นเพียงหนึ่งในผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์มีความตระหนัก การเกิดฝนกรด และการลดลงของชั้นโอโซนยังเป็นผลจากการกระทำของมนุษย์เช่นกัน ส่งผลให้องค์กรภาครัฐ เอกชน เห็นถึงผลกระทบและตระหนักที่จะแก้ไขปัญหา ในองค์กรต่างประเทศได้สนับสนุนให้มีการก่อสร้างและใช้งานอาคารเขียว โดย LEED BD+C V4.1 เป็นเกณฑ์จาก U.S. Green Building Council ในข้อ MR CREDIT: BUILDING LIFE-CYCLE IMPACT REDUCTION มีเนื้อหาในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัสดุและองค์ประกอบอาคาร โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (life cycle assessment)

ประเทศไทยมีการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตกับอาคารหลายประเภท โดยในงานวิจัยของโคโฟโวล่าและเกวลา (Kofoworola & Gheewala, 2008) ซึ่งได้ประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารสำนักงานในประเทศไทย โดยใช้ 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ ภาวะโลกร้อน การก่อให้เกิดความเป็นกรดและการก่อให้เกิดโอโซนในภาคพื้นดิน พบว่าช่วงการผลิตวัสดุปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นร้อยละ 42 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคาร ในขณะที่เดียวกัน คอนกรีตและเหล็กเป็นวัสดุที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เป็นร้อยละ 27 และ 7.1 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคารตามลำดับ ต่อมาในปี พ.ศ. 2555 อรรถน ศรีฐบุตร ได้ศึกษารูปแบบการก่อสร้างอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ บ้านเดี่ยว คอนโดมิเนียม 7 ชั้น และสำนักงาน 7 ชั้น โดยนำแบบและวัสดุก่อสร้างมาประเมินด้วย ICE Version 2 (Hammond & Jones, 2004) และใช้โปรแกรม VisualDOE ในการประเมินผลกระทบฯ จากช่วงใช้สอยอาคาร จากการศึกษาพบว่าในช่วงก่อสร้างและการเลือกใช้วัสดุของอาคารสำนักงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นร้อยละ 10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร หลังจากนั้น กนต์พงศ์ ศรีเมือง และคณะ (2565) ศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการปรับปรุงอาคารที่พักอาศัยและสำนักงานให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า อาคารสำนักงานปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 5.72 จากช่วงการก่อสร้างและการเลือกใช้วัสดุ จากการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นได้ว่า มีการศึกษาสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุก่อสร้างในช่วงก่อสร้างอาคารเทียบกับช่วงใช้สอยอาคารของอาคารหลายประเภทมาแล้ว แต่ยังไม่มีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์ประกอบอาคาร เช่น ผนัง พื้น หลังคา ฐานราก เป็นต้น อีกทั้งยังขาดการศึกษาในผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ ตามเกณฑ์ LEED BD+C V4.1

ในประเทศไทย อาคารสำนักงานมีความนิยมสูงในการออกแบบและก่อสร้างเพื่อเป็นอาคารเขียว (U.S. Green Building Council, 2019) อาคารที่ได้รับการรับรองจากเกณฑ์ LEED จะเป็นที่ต้องการและได้รับผลตอบแทนในเรื่องค่าเช่าพื้นที่สูงขึ้นกว่าอาคารที่ไม่ผ่านการรับรอง อย่างไรก็ตาม การประเมินวัฏจักรชีวิต ในข้อ MR CREDIT: BUILDING LIFE-CYCLE IMPACT REDUCTION ในประเทศไทยยังมีการศึกษาน้อยจึงยังไม่เป็นที่นิยมในการขอรับรองสำหรับข้อนี้ ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมขององค์ประกอบอาคารสำนักงานในประเทศไทย ด้วยการประเมินผลกระทบฯ ตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร อาคารกรณีศึกษาได้ถูกเลือกจากอาคารสำนักงานในประเทศไทยที่ก่อสร้างเสร็จแล้วในระยะเวลาอย่างน้อยไม่เกิน 5 ปี จำนวน 2 อาคาร ขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร การเลือกอาคารจริงมาศึกษาในครั้งนี้เพื่อให้ผลประเมินผลกระทบฯ ที่ได้เกิดจากปริมาณวัสดุที่เกิดการใช้จริง จากนั้นนำผลประเมินฯ ที่ได้ไปวิเคราะห์และหาแนวทางที่ช่วยลดผลกระทบฯ จากปริมาณสัดส่วนผลกระทบฯ ขององค์ประกอบอาคารแต่ละส่วน การวิจัยชิ้นนี้จะช่วยให้ผู้ออกแบบและเจ้าของโครงการเห็นแนวทางในการเลือกใช้ประเภทของโครงสร้างและวัสดุอาคารที่ช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพและตรงเป้าหมายที่สุดได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบอาคาร โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต แล้วสรุปผลการศึกษาเป็นสัดส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบอาคารแต่ละส่วนเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งอาคาร
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความแตกต่างของผลกระทบฯ จากองค์ประกอบอาคาร อันเกิดจากการใช้วัสดุที่ต่างกันของอาคารสำนักงาน
3. เพื่อสร้างแนวทางในการเลือกวัสดุและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละองค์ประกอบเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพและตรงเป้าหมายที่สุดตามเกณฑ์ระดับนานาชาติ

ขอบเขตการศึกษา

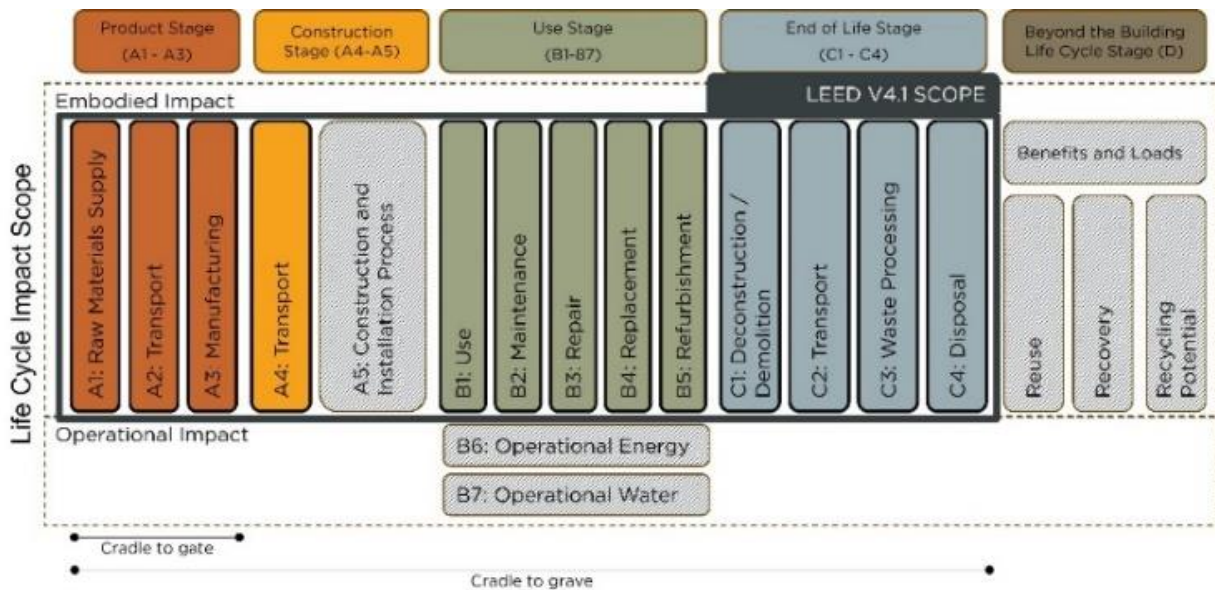
- ศึกษาอาคารสำนักงานในประเทศไทย 2 อาคารกรณีศึกษา ขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร สูงไม่เกิน 23 เมตร
- ศึกษาข้อมูลวัสดุที่ใช้ในประเทศไทยที่มีสัดส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled content) สำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต
- ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารตามขอบเขต LEED BD+C V4.1 ข้อ MR CREDIT: BUILDING LIFE-CYCLE IMPACT REDUCTION และหาแนวทางการเลือกใช้วัสดุและการก่อสร้างเพื่อบรรลุข้อดังกล่าว

การทบทวนวรรณกรรม

การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารตามแนวทางของเกณฑ์ LEED BD+C V4.1

เกณฑ์ LEED BD+C V4.1 อ้างอิงกรอบการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารตามมาตรฐาน EN15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method (European Committee for Standardization, 2012) โดยขอบเขตของเกณฑ์ LEED มีช่วงการประเมินอายุอาคารที่ 60 ปี และนับเพียงผลกระทบฯ จากวัสดุ (embodied impact) ซึ่งรวมถึงตั้งแต่การผลิตวัสดุ (A1-A3) การขนส่งไปยังพื้นที่ก่อสร้าง (A4) การเปิดใช้งานอาคารในแง่การดูแลซ่อมบำรุงอาคาร (B1-B5) จนถึงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (C1-C4) แต่ไม่นับรวมช่วงก่อสร้าง (A5) การใช้พลังงานและการใช้น้ำ (operational impact; B6, B7) (U.S. Green Building Council, 2019)

ดั่งภาพ 1



ภาพ 1 กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร EN15978 ตามกรอบของ LEED V4.1

ที่มา: ปรับปรุงจาก LCA stages matter when tracking embodied carbon โดย Overbey, D., 2021.

(<https://www.buildingenclosureonline.com/blogs/14-the-be-blog/post/89547-lca-stages-matter-when-tracking-embodied-carbon>).

การศึกษาการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามขอบเขตของเกณฑ์ LEED BD+C V4.1 ต้องเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างแบบอาคารอ้างอิงกับแบบที่มีการปรับปรุงแล้ว ซึ่งต่างต้องมีขอบเขตการประเมินผลกระทบ เหมือนกัน ขนาดพื้นที่ที่ใช้สอยอาคารเท่ากัน แต่อาจมีปริมาตรอาคารที่ต่างกันได้ ประเภทการใช้สอยเหมือนกัน ตำแหน่งที่ตั้งโครงการเดียวกันทิศทางการวางอาคารเหมือนกัน และใช้ไฟล์สภาพภูมิอากาศ (weather file) เดียวกันในการจำลองการใช้พลังงาน นอกจากนี้ประสิทธิภาพทางพลังงานต้องผ่านเกณฑ์ LEED BD+C V4.1 ข้อ EA: Prerequisite minimum energy performance และประสิทธิภาพของเปลือกอาคารที่ปรับปรุงแล้วจะต้องไม่ด้อยกว่าแบบอาคารอ้างอิงและพลังงานรวมของอาคารจะต้องไม่เพิ่มขึ้น

ตัวชี้วัดในการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามขอบเขตของเกณฑ์ LEED BD+C V4.1 ประกอบด้วย 6 ตัวชี้วัดดังนี้

- การเกิดภาวะโลกร้อน หรือ Global warming potential (GWP)
- การลดลงของชั้นโอโซน Depletion of the stratospheric ozone layer (ODP)
- การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด หรือ Acidification of land and water sources (AP)
- การเกิดสาหร่ายขาดสะพรั่ง หรือ Eutrophication (EP)
- การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือ Depletion of nonrenewable energy resources (ADPF)
- การเกิดของโอโซนภาคพื้นดิน หรือ Formation of tropospheric ozone (POCP)

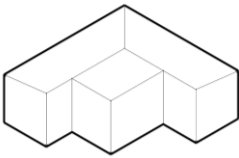
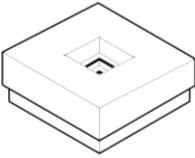
สำหรับการศึกษาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารจากวัสดุ (embodied impact) เพื่อยื่นขอการรับรองจากเกณฑ์ LEED BD+C V4.1 ในข้อ MR CREDIT: BUILDING LIFE-CYCLE IMPACT REDUCTION จะต้องศึกษาทั้ง 6 ตัวชี้วัด โดยจะได้รับ 2 คะแนนในกรณีที่สามารถลดผลกระทบต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (GWP) ลงร้อยละ 5 จากอาคารอ้างอิง ประกอบกับลดผลกระทบจากตัวชี้วัดอื่น ๆ อีกอย่างน้อย 2 ตัวชี้วัด ลงร้อยละ 5 จากอาคารอ้างอิงเช่นกัน นอกจากนี้ ในกรณีที่สามารถลดผลกระทบต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกกับอีกอย่างน้อย 2 ตัวชี้วัด ลงได้ร้อยละ 10 จะได้รับ 3 คะแนน อย่างไรก็ตาม ต้องไม่มีตัวชี้วัดใดส่งผลกระทบเพิ่มขึ้นเกินร้อยละ 5 จากอาคารอ้างอิง

วิธีการวิจัย

การกำหนดอาคารกรณีศึกษา

เนื่องจากอาคารสำนักงานในไทยขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร ส่วนมากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีการใช้ร่วมกับผนังก่อ หรือผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (กันตพงศ์ ศรีเมือง และคณะ, 2565) นอกจากนี้ ในปัจจุบันการใช้เหล็กชุบสังกะสีเป็นวัสดุผนังภายนอกอาคารสำนักงานเป็นที่นิยมมากขึ้น การศึกษานี้จึงเลือกตัวแทนอาคารสำนักงานในประเทศไทย ขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร ที่ใช้ประเภทผนังภายนอกอาคารดังที่กล่าวมาทั้ง 2 แบบเป็นอาคารกรณีศึกษา อาคารที่ขนาดและรูปแบบการก่อสร้างทั้งระบบโครงสร้างและระบบผนังอาคารแตกต่างกัน จะทำให้เกิดสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบอาคารที่ต่างกัน อาคารกรณีศึกษา 2 อาคารมีข้อมูลและรายละเอียดดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ข้อมูลและรายละเอียดของแต่ละกรณีศึกษา

องค์ประกอบ	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2
ขนาดพื้นที่	1,990 ตร.ม.	3,182 ตร.ม.
จำนวนชั้น	3 ชั้น	
ความสูงพื้น-พื้น/พื้น-ฝ้า	3.65 เมตร/ 2.7 เมตร	4 เมตร/ 3 เมตร
ช่วงเสา	10 เมตร	8 เมตร
ระบบผนังภายนอก	1.ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ความหนาเฉลี่ย 22.5 ซม. 2. ระบบผนังกระจก (Curtain wall)	1.ผนังเมทัลชีท 2. ผนังก่ออิฐฉาบปูน
การวางอาคาร	 แกนอาคารอยู่กลางอาคาร พื้นที่ใช้สอยล้อม 2 ด้าน	 มีคอร์ที่อยู่กลางอาคาร พื้นที่ใช้สอยล้อมรอบคอร์ท
โครงสร้าง	1.ระบบเสา-คาน (คสล.) 2.ผนังรับน้ำหนัก	ระบบเสา-คาน (คสล.)
โครงสร้างใต้ดิน	1.คานคอดิน 2.ฐานราก	1.คานคอดิน 2.ฐานราก 3.ถังเก็บน้ำใต้ดิน
เสาเข็ม	เสาเข็มอัดแรง ลึก 20 เมตร	
พื้นที่ผนัง/พื้นที่อาคาร	0.87	0.94
ฉนวนผนัง/หลังคา	ไม่มี / ฉนวนใยแก้ว 50 มม.	ฉนวนใยหิน 100 มม./ ฉนวนใยหิน 100 มม.
ระบบพื้น	Post-tension slab หนา 30 ซม.	Post-tension slab หนา 25 ซม.
หน้าต่าง	กระจกลามิเนต 4+4 มม.	
ประตู	ประตูกระจก หนา 12 mm	ประตูเหล็ก (hollow steel door)
หลังคา	1.หลังคาคสล. 2.โครงเหล็กมุงเหล็กชุบสังกะสี	โครงเหล็กมุงเหล็กชุบสังกะสี

ข้อมูลการผลิตวัสดุก่อสร้างในประเทศไทย

เนื่องจากความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ผลิตใหม่ (virgin material) กับวัสดุที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled material) สามารถส่งผลให้การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสัดส่วนผลกระทบจากองค์ประกอบฯ ของแต่ละอาคารกรณีศึกษาเกิดความคลาดเคลื่อน จึงรวบรวมข้อมูลการใช้วัสดุที่ผลิตและใช้ในประเทศไทยจาก 20 อาคารพบว่า คอนกรีตผสมเสร็จในไทยมีส่วนผสมของเถ้าลอย หรือ Pulverized fuel ash (Fly ash) ในสัดส่วนร้อยละ 20 สำหรับเหล็กและอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ในสัดส่วนที่สูง ดังที่แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการผลิต (A1-A3) ระหว่างวัสดุผลิตใหม่กับวัสดุที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ที่น่าสนใจในการศึกษา

รายการวัสดุ	Virgin material kgCO ₂ e/kg	Recycled material kgCO ₂ e/kg	รายการวัสดุ	Virgin material kgCO ₂ e/kg	Recycled material kgCO ₂ e/kg
เหล็กเสริม (rebar)	2.29	0.62 (97%)	กรอบอลูมิเนียม	16.5256	1.812 (100%)
คอนกรีตผสมเสร็จ 320 ksc	0.129	0.107 (20% ถ้าวาง)	แผ่นเหล็กชุบสังกะสี	3.05	2.82 (15%)
คอนกรีตผสมเสร็จ 280 ksc	0.122	0.101 (20% ถ้าวาง)	เหล็กรูปพรรณ	3.21	0.74 (90%)
คอนกรีตผสมเสร็จ 250 ksc	0.114	0.101 (20% ถ้าวาง)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	18.32	13.672 (30%)
ผนังคอนกรีตสำเร็จ 450 ksc	0.179	0.166 (10% ถ้าวาง)			

ที่มา: One Click LCA student version

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบอาคาร

ผู้วิจัยดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารกรณีศึกษาตามมาตรฐาน ISO14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework ซึ่งจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต 2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ 3) การประเมินผลกระทบ และ 4) การแปลผลการประเมิน (International Organization for Standardization, 2006)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต ขอบเขตและตัวแปรในการประเมินอ้างอิงตามเกณฑ์ LEED BD+C V4.1

ข้อ MR CREDIT: BUILDING LIFE-CYCLE IMPACT REDUCTION ดังนั้นองค์ประกอบอาคารที่เลือกใช้จึงประกอบด้วย ระบบเปลือกอาคาร และโครงสร้างอาคาร ไม่รวมวัสดุตกแต่ง ผนังภายใน งานระบบอาคาร และอุปกรณ์ติดตั้ง

การวิเคราะห์บัญชีรายการ ในงานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้าง โดยอาศัย 2 วิธี ได้แก่ 1) การคำนวณโดยอาศัยบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ.) ที่ได้จากทางโครงการและ 2) การถอดปริมาณจากแบบจำลองสารสนเทศ หรือ BIM model ด้วยโปรแกรม Revit ผ่าน Plug-in ของ One Click LCA student version

การประเมินผลกระทบ การประเมินผลกระทบเป็นการนำข้อมูลปริมาณวัสดุ ที่ได้จากการรวบรวมบัญชีรายการของกรณีศึกษา มาใช้ในการประเมินโดยอาศัยโปรแกรม One Click LCA student version ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร ที่มีการรวบรวมฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของผลกระทบในด้านต่าง ๆ หรือ Emission factor จากทั่วโลก เช่น Ecoinvent database (Ecoinvent, n.d.), GABI database (Sphera, n.d.) และมาตรฐานสิ่งแวดล้อม EPD (Environmental Product Declarations) อีกทั้งโปรแกรมยังรองรับการประเมินตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ LEED (Zijlstra, n.d.) ทั้งนี้ การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุในการประเมิน จะอ้างอิงจากวัสดุที่ใช้ในประเทศเป็นหลัก และมีการคำนึงถึงการนำมากลับมาใช้ใหม่ในวัสดุตาราง 2 เพื่อให้ผลการประเมินของแต่ละกรณีศึกษา มีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

การแปลผลการศึกษา เป็นการนำผลที่ได้จากการประเมินมาจัดลำดับสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์ประกอบอาคารแต่ละส่วน โดยอาศัยตัวชี้วัดด้านผลกระทบต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (GWP) เป็นหลัก หน่วยที่ใช้คือ kg CO₂e จากนั้นนำผลการประเมินที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางการลดผลกระทบ ตลอดจนวัฏจักรชีวิต

การศึกษาแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบอาคาร

เสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการเลือกใช้วัสดุอาคารของแต่ละองค์ประกอบ ขั้นตอนนี้ทำโดยอาศัยการวิเคราะห์จากผลการประเมินผลกระทบฯ ในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อให้ได้มาซึ่งลำดับขององค์ประกอบอาคารรวมถึงการใช้วัสดุที่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อย จากนั้นนำผลวิเคราะห์ที่ได้มาประกอบการตัดสินใจเพื่อเลือกแนวทางจากการทบทวนวรรณกรรม ที่เกิดประสิทธิผลต่อการลดผลกระทบฯ ตลอดจนวิถีชีวิตของอาคารจากวัสดุอาคาร (embodied impact) มากที่สุด โดยไม่ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคารสูงขึ้น ในการศึกษานี้ผู้วิจัยกำหนดให้แนวทางลดผลกระทบฯ ใช้วัสดุที่มีอายุการใช้งานไม่ต่ำกว่า 60 ปี ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนวัสดุระหว่างช่วงชีวิต (Replacement: B4) ทำให้แนวทางที่นำเสนอมุ่งเน้นไปที่การลดผลกระทบฯ ของวัสดุก่อสร้างในขั้นตอนการผลิต (A1-A3) ซึ่งเป็นส่วนหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในวัสดุ โดยการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างในช่วงการผลิต (A1-A3) (Gibbon et al, 2022) แสดงได้ดังสมการ (1)

$$EC_{A13} = \sum_{i=1}^n [Q_i(ECFA_{13,i})] \quad (1)$$

EC_{A13}	คือ ก๊าซเรือนกระจกในวัสดุก่อสร้างช่วง A1-A3	หน่วย kg CO ₂ e
Q_i	คือ ปริมาณวัสดุที่ถูกใช้	หน่วย kg
$ECFA_{13,i}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วง A1-A3	หน่วย kg CO ₂ e/kg

คำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมของการปรับปรุงอาคารแต่ละทางเลือก ขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานรวมระหว่าง อาคารอ้างอิง (baseline building) กับอาคารที่ปรับปรุงแล้วตามแต่ละแนวทาง การจำลองการใช้พลังงานใช้โปรแกรม EnergyPlus ที่อาศัยโปรแกรม SketchUp และ OpenStudio plugin ในการสร้างโมเดลสามมิติและกำหนดค่าของการจำลองต่าง ๆ EnergyPlus เป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกา (EnergyPlus, n.d.) ทั้งนี้ สำหรับการจำลองการใช้พลังงานในการศึกษานี้ใช้ไฟล์สภาพอากาศกรุงเทพฯ รายชั่วโมงชื่อ THA_CRG_Bangkok.Metropolis.484550_TMYx.epw จาก Climate One Building (Lawrie & Crawley, 2022) โดยที่ค่าที่นำมาวิเคราะห์ผล ได้แก่ ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร มีหน่วยเป็น kWh และ ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Operation Energy Use Index : EUUI) ซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานในหนึ่งปีต่อหนึ่งตารางเมตรของพื้นที่ใช้งานอาคาร มีหน่วยเป็น kWh/m²Yr

ผลการศึกษา

ผลกระทบต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากองค์ประกอบอาคาร

จากการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในองค์ประกอบอาคารกรณีศึกษา สามารถแสดงลำดับของผลกระทบฯ ออกมาในรูปแบบสัดส่วนผลกระทบขององค์ประกอบอาคารและสัดส่วนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร โดยพิจารณาผลกระทบต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) เป็นหลัก เพื่อนำไปสู่การหาแนวทางการลดผลกระทบฯ แสดงได้ดังภาพ 2-3 และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์ประกอบต่อการเกิดภาวะโลกร้อน ได้ดังนี้

ระบบพื้น เป็นองค์ประกอบที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงสุดในอาคารทั้ง 2 หลัง ปริมาณสัดส่วนผลกระทบฯ ของ กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นร้อยละ 36.82 และ 33.28 ตามลำดับ ซึ่งมีความใกล้เคียงกันกล่าวคือ ระบบพื้นเป็นองค์ประกอบของอาคารที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงตามพื้นที่อาคารและมีปริมาตรของวัสดุประเภทคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น

สัดส่วนที่สูง แม้ระบบพื้นของทั้ง 2 อาคารเป็นระบบ Post-tension slab ใช้กำลังคอนกรีตที่ 320 ksc เท่ากัน แต่ถูกออกแบบให้มีความหนาต่างกัน ส่งผลให้กรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่มากกว่าจะส่งผลกระทบต่อ

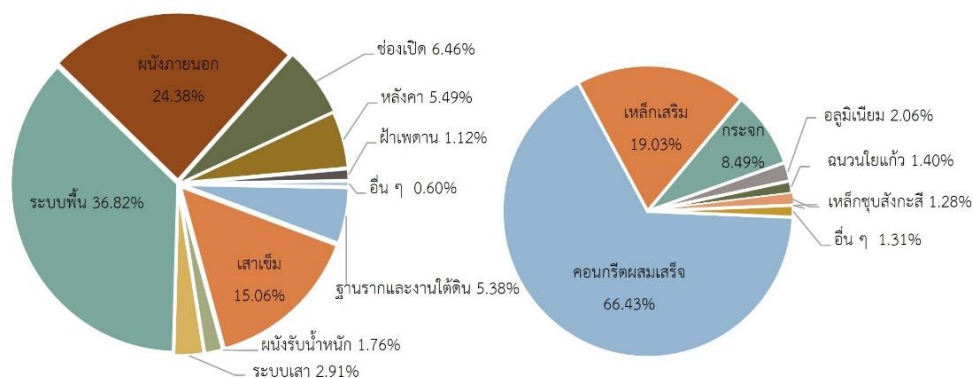
เสาเข็ม เป็นองค์ประกอบที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นลำดับที่ 2 ในกรณีศึกษาที่ 2 เป็นสัดส่วนร้อยละ 19.19 และเป็นลำดับที่ 3 ในกรณีศึกษาที่ 1 เป็นสัดส่วนร้อยละ 15.06 รองลงมาจากระบบพื้นและถือเป็นสัดส่วนที่สูงผลกระทบต่อ จากองค์ประกอบเสาเข็มเกิดขึ้นจากปริมาณของคอนกรีตเสริมเหล็กและกำลังคอนกรีต กรณีศึกษาทั้งคู่ใช้เสาเข็มอัดแรง (เสาเข็มสำเร็จรูป) มีกำลังคอนกรีตคือ 450 ksc

ผนังภายนอกอาคาร เป็นองค์ประกอบที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นลำดับที่ 2 ในกรณีศึกษาที่ 1 เป็นสัดส่วนร้อยละ 24.38 และเป็นลำดับที่ 3 ในกรณีศึกษาที่ 2 เป็นสัดส่วนร้อยละ 18.55 ผนังภายนอกแต่ละอาคารมีความแตกต่างไปตามวัสดุที่ใช้และขนาดพื้นที่ผิวของผนัง ซึ่งมาจากการวางผังอาคารและการออกแบบรูปด้านอาคาร

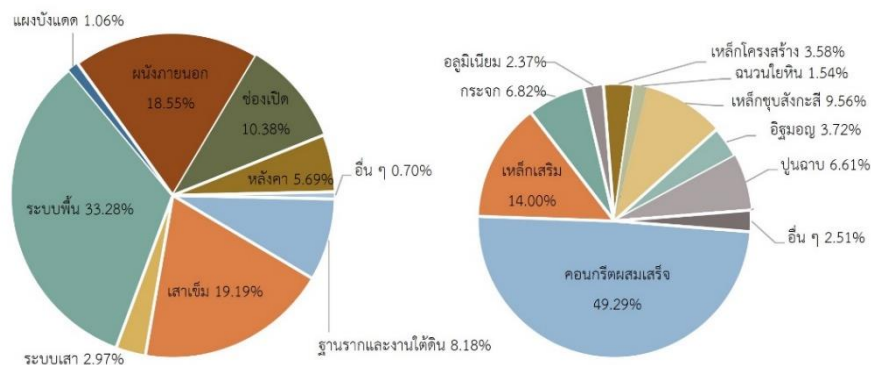
ช่องเปิดอาคาร ประกอบด้วย ประตูและหน้าต่าง ช่องเปิดอาคารเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นลำดับที่ 4 ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นสัดส่วนร้อยละ 6.46 และ 10.38 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังของแต่ละอาคารและการวางผัง ส่งผลให้อาคารกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งมีคอร์ทตรงกลางอาคาร จะถูกนับประตูและหน้าต่างส่วนที่ติดกับคอร์ทกลางส่งผลให้มีผลกระทบต่อ มากกว่ากรณีศึกษาที่ 1

หลังคา เป็นองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อ เป็นลำดับที่ 5 ในกรณีศึกษาที่ 1 เป็นร้อยละ 5.49 และเป็นลำดับที่ 6 ในกรณีศึกษาที่ 2 เป็นร้อยละ 5.69 เป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอาคารมีความสูงใกล้เคียงกันและพื้นที่หลังคา

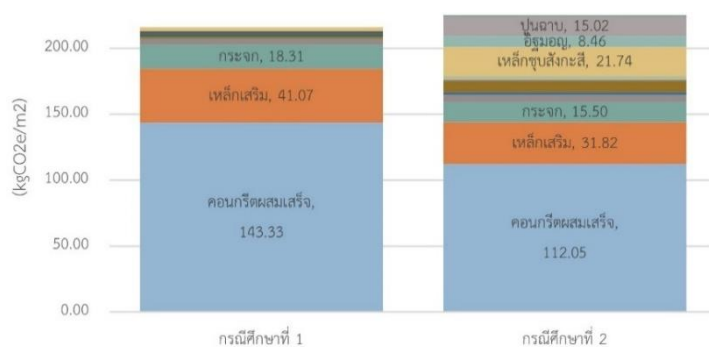
ฐานรากและงานชั้นใต้ดิน เป็นองค์ประกอบที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นลำดับที่ 5 ในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 เป็นสัดส่วนร้อยละ 8.18 และเป็นลำดับที่ 6 ในกรณีศึกษาที่ 1 เป็นสัดส่วนร้อยละ 5.38 ของผลกระทบต่อ กรณีศึกษาทั้ง 2 มีการออกแบบผังอาคารที่แตกต่างกัน เช่น การกันผนังและระยะเสา ส่งผลต่อปริมาณคานคอดินและขนาดฐานราก นอกจากนี้กรณีศึกษายังมีการออกแบบกำลังคอนกรีตที่ต่างกันเป็น 240 ksc สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 280 ksc สำหรับการศึกษาที่ 2 ซึ่งจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก เมื่อนำปริมาณและค่าสัมประสิทธิ์ มาคำนวณรวมกันจะยิ่งเกิดความต่างด้านผลกระทบต่อ มากขึ้น



ภาพ 2 สัดส่วนผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนจากองค์ประกอบอาคาร (ภาพซ้าย) และวัสดุอาคาร (ภาพขวา) ของกรณีศึกษาที่ 1



ภาพ 3 สัดส่วนผลกระทบต่อการเกิดภาวะโลกร้อนจากองค์ประกอบอาคาร (ภาพซ้าย) และวัสดุอาคาร (ภาพขวา) ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพ 4 ผลกระทบต่อการเกิดภาวะโลกร้อนจากวัสดุอาคารต่อตารางเมตรพื้นที่อาคาร ของแต่ละกรณีศึกษา

จากผลการประเมินการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากวัสดุอาคารตลอดช่วงการศึกษา 60 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณีศึกษา สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุอาคารต่อการเกิดภาวะโลกร้อน ได้ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ส่งผลกระทบฯ 215.77 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ และมีผลกระทบจากการใช้วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นร้อยละ 85.46 (จากองค์ประกอบผนังและโครงสร้าง) แต่เมื่อคำนวณเพียงโครงสร้างคอนกรีต (ไม่นับรวมผนัง) พบว่า มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 61.08 ขององค์ประกอบทั้งหมด กรณีศึกษาที่ 1 มีสัดส่วนของพื้นที่ผนังภายนอกต่อพื้นที่อาคาร 0.97 โดยผนังภายนอกเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จใช้กำลังคอนกรีต 450 ksc ส่งผลกระทบต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นร้อยละ 24.38 หรือประมาณ 1 ใน 4 ของผลกระทบรวมทั้งอาคาร สูงกว่ากรณีศึกษาที่ 2 ที่มีสัดส่วนพื้นที่ผนังต่อพื้นที่อาคารสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 2 ส่งผลกระทบฯ 224.92 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ และมีผลกระทบฯ จากองค์ประกอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นร้อยละ 63.64 และมีสัดส่วนการใช้คอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนโครงสร้างมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เล็กน้อยจากงานโครงสร้างใต้ดิน กรณีศึกษาที่ 2 มีสัดส่วนพื้นที่ผนังภายนอกต่อพื้นที่อาคาร เป็น 0.87 ผนังภายนอกประกอบด้วย ผนังก่ออิฐฉาบปูนส่งผลกระทบต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นร้อยละ 10.33 ในขณะที่ผนังเหล็กชุบสังกะสีส่งผลกระทบฯ เป็นร้อยละ 9.56 ซึ่งสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เนื่องจากเป็นวัสดุหลักของผนังภายนอก

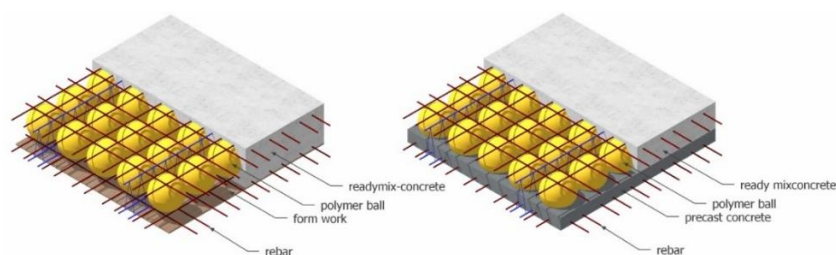
จากผลการศึกษาผลกระทบต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากองค์ประกอบและวัสดุอาคาร พบว่า โครงสร้างจากวัสดุคอนกรีตส่งผลกระทบฯ เป็นร้อยละ 61-63 ขององค์ประกอบทั้งหมด โดยองค์ประกอบพื้นส่งผลกระทบฯ มากที่สุดในองค์ประกอบทั้งหมดของทั้ง 2 กรณีศึกษาเป็นร้อยละ 33.28-36.82 คอนกรีตเป็นวัสดุที่ถูกใช้ในปริมาณมากแต่มีสัดส่วนจากวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่ำ ต่างจากเหล็กเสริมที่ถูกใช้ในการก่อสร้างเป็นปริมาณมากเช่นกัน แต่มีการนำกลับมาใช้ใหม่อ้อยลง 97 ดังตาราง 2 ส่งผลให้ก่อผลกระทบฯ ต่ำกว่าคอนกรีต ทั้งนี้ ระบบผนังภายนอกอาคารส่งผลกระทบฯ เป็นลำดับที่ 2 (กรณีศึกษาที่ 1) และ 3 (กรณีศึกษาที่ 2) เมื่อนำมาวิเคราะห์ประกอบกับผลที่แสดงในภาพ 4 จะพบว่า สองกรณีศึกษามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตารางเมตรใกล้เคียงกัน แต่มีสัดส่วนของผลกระทบฯ จากวัสดุอาคารต่างกันอันเนื่องมาจากองค์ประกอบผนัง เช่น

ผนังคอนกรีตสำเร็จ (จากวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก) ผนังเหล็กชุบสังกะสี และผนังก่ออิฐ ดังนั้นการลดผลกระทบฯ จึงควร มุ่งเน้นในการลดผลกระทบจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังภายนอกของอาคารเป็นหลัก

แนวทางการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

จากผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนขององค์ประกอบและวัสดุพบว่า โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและ ผนังภายนอกมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูง แนวทางการลดผลกระทบฯ จึงมุ่งเน้นแนวทางที่สามารถลดการใช้วัสดุ หรือเป็น แนวทางที่เลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำลง มีช่วงชีวิตเกิน 60 ปี และไม่ส่งผลให้ ประสิทธิภาพทางพลังงานด้อยลง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมมีดังต่อไปนี้

ระบบพื้นไร้คานต้องเรียบแบบกลวง (Bubble deck slab) พื้นมีส่วนประกอบของคอนกรีตที่สูงและถูกใช้ ในปริมาณมากจึงเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบฯ มากที่สุด ดังนั้นระบบพื้นไร้คานต้องเรียบแบบกลวง จึงเป็น แนวทางที่สามารถลดการใช้คอนกรีตจากการใช้ลูกบอลพลาสติกแทนที่ในสัดส่วนร้อยละ 35 ของปริมาณการใช้ คอนกรีตของระบบพื้นไร้คานต้องเรียบปกติ (Oukaili & Merie, 2019) พื้นชนิดนี้มีแนวคิดเดียวกันกับแผ่นพื้นสำเร็จ แบบกลวง (hollow core precast slab) แต่แตกต่างกันที่แผ่นพื้นสำเร็จแบบกลวงรับแรงแบบทางเดียว แต่แบบ พื้นสำเร็จแบบกลวงเป็นการรับน้ำหนักแบบพื้นสองทาง (ภาควิชา วนิช, 2561) นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการ ออกแบบมากกว่าพื้นสำเร็จแบบกลวง เนื่องจากไม่ต้องมีคานในการรองรับพื้น และสามารถยื่นแผ่นพื้นออกไปได้ และยังสามารถเลือกเป็นระบบหล่อในที่ หรือระบบกึ่งสำเร็จได้ ดังภาพ 5



ภาพ 5 โดอะแกรมระบบพื้นไร้คานต้องเรียบแบบกลวงชนิดหล่อในที่ (ภาพซ้าย) และกึ่งหล่อในที่ (ภาพขวา)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sustainability analysis and shear capacity of bubble deck slabs with openings โดย Oukaili, N., & Merie, H., 2019. In Proceedings in 2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE) (pp. 250-255). IEEE. (<https://doi.org/10.1109/DeSE.2018.00051>).

โครงสร้างคอนกรีตจากซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 30% โดยน้ำหนัก เป็นแนวทางลดผลกระทบฯ โดยเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำลง ในปัจจุบันคอนกรีตจากไฮดรอลิกซีเมนต์ที่มีการ ใช้งานทั่วไปมีส่วนผสมของเถ้าลอยอยู่ในช่วง 15%-25% ของปริมาณซีเมนต์ทั้งหมดที่ใช้ (Thomas, 2007) การศึกษานี้เสนอให้ใช้คอนกรีตจากซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 30 % เนื่องจาก ชนิกันต์ ยัมประยูร และคณะ (2564) กล่าวถึงการใช้ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 30% ว่าจะยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติเหมือนเดิม ทั้งนี้ บาบาลู และ คณะ (Babalu et al., 2023) ยังกล่าวว่า การเพิ่มส่วนผสมของเถ้าลอยเกิน 30% จะส่งผลให้การรับแรงอัดและแรง ดัดด้อยลง

ผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated concrete, Aac) คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่มีความต้านทานความร้อนสูงกว่าคอนกรีต มีน้ำหนักเบาและมีความสามารถในการป้องกันไฟ (Fouad et al, 2023) ผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา ความหนา 10 ซม. ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.053 kgCO₂e/m²

ผนังโครงคร่าวโลหะกรุแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยซีเมนต์ผสมกับเส้นใยไม้ หรือวัสดุอื่น ๆ ซึ่งเป็นวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ มีการบำรุงรักษาที่ต่ำ ทนทานต่อสภาพอากาศ และสามารถมีอายุการใช้

งานได้ถึง 60 ปี ในกรณีที่มีการดูแลรักษาและติดตั้งอย่างเหมาะสม (Layton, 2023) ผนังโครงเคร่าคร่าวโลหะกรุแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ใส่นวนใยหิน 75 มม. ปลอยก๊าซเรือนกระจก 0.025 kgCO₂e/m²⁺

ในแต่ละแนวทางผู้วิจัยได้เลือกองค์ประกอบที่มีศักยภาพสูงในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและเสนอทางเลือกที่เป็นไปได้ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา แนวทางการปรับเปลี่ยนผนัง เลือกใช้วัสดุที่ปลอยก๊าซเรือนกระจกลดลงจากผนังเดิมของอาคารกรณีศึกษาที่ 1 (ผนังคอนกรีตสำเร็จความหนาเฉลี่ย 22.5 ซม. ปลอยก๊าซเรือนกระจก 0.106 kgCO₂e/m²) และผนังเดิมของกรณีศึกษาที่ 2 (ผนังก่ออิฐฉาบปูน ปลอยก๊าซเรือนกระจก 0.073 kgCO₂e/m² และผนังเหล็กชุบสังกะสี ใส่นวนใยหิน 100 มม.ปลอยก๊าซเรือนกระจก 0.042 kgCO₂e/m²) และมีการเพิ่มนวนใยหิน (mineral wool) ในองค์ประกอบผนังอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในอาคาร การศึกษานี้ในแต่ละกรณีศึกษาจึงถูกเพิ่มนวนใยหินในปริมาณที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบอาคารก่อนและหลังปรับปรุงในแต่ละแนวทาง

วิธี	กรณีศึกษา	องค์ประกอบเดิม	องค์ประกอบที่ปรับปรุงแล้ว
1	1	พื้น post-tension หนา 30 ซม.	พื้น bubble deck หนา 28 ซม.
	2	พื้น post-tension หนา 25 ซม.	พื้น bubble deck หนา 23 ซม.
2	1-2	ซีเมนต์ผสมเถ้าลอย (PFA) 20%	ซีเมนต์ผสมเถ้าลอย (PFA) 30%
3	1	ระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา
	2	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 ซม. และ 20 ซม.	ผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา
4	1	ระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์ ใส่นวนใยหิน 75 มม.
	2	1.ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 ซม.	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์ ใส่นวนใยหิน 50 มม.
		2.ผนังเหล็กชุบสังกะสี ใส่นวนใยหิน 100 มม.	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์ ใส่นวนใยหิน 100 มม.

ผลประโยชน์ของแนวทางลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของแต่ละแนวทางได้ผลการประเมินกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ตัวชี้วัด สามารถอธิบายผลของแนวทางของแต่ละอาคารกรณีศึกษา ได้ดังนี้

ระบบพื้นไร้คานทองเรียบแบบกลวง สามารถลดผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) และการลดลงของชั้นโอโซน (ODP) ลงจากแบบอาคารอ้างอิงได้เกินร้อยละ 5 ใน 2 กรณีศึกษา แต่ในทางกลับกันผลกระทบฯ เพิ่มขึ้น ในด้านการก่อให้เกิดกรด (AP) และการก่อให้เกิดโอโซนในภาคพื้นดิน (POCP) ความสามารถในการลดผลกระทบฯ ของแนวทางนี้เกิดจากการลดปริมาณคอนกรีตในวัสดุ ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ความหนาของระบบพื้นนี้จากระยะห่างของช่วงเสาของแต่ละอาคารที่ต่างกันอ้างอิงตามคำแนะนำของผู้ผลิต ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของผลกระทบอาจเกิดขึ้นจากการผลิตวัสดุ

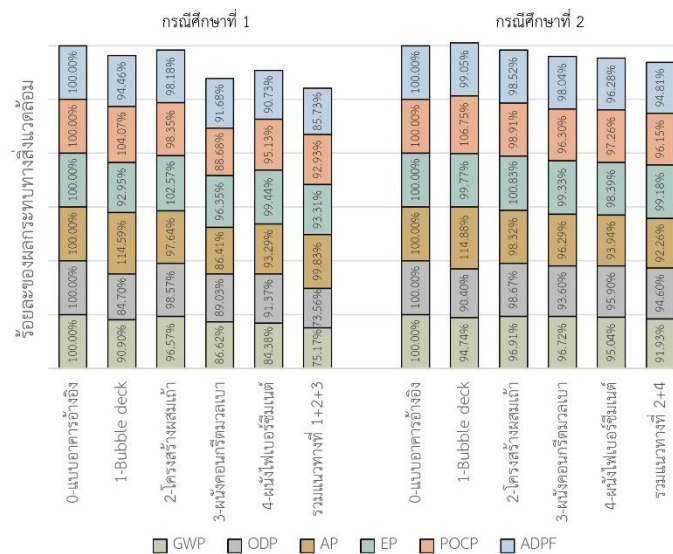
โครงสร้างคอนกรีตจากซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 30% สามารถลดผลกระทบต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ร้อยละ 3 จากแบบอาคารอ้างอิงของใน 2 กรณีศึกษา แต่ส่งผลกระทบในด้านการก่อให้เกิดสาหร่ายบานสะพรั่ง (EP) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5-2 จากแบบอ้างอิง

ผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา สามารถลดผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ลงได้เกินร้อยละ 10 ในกรณีศึกษาที่ 1 เนื่องจากแนวทางนี้ปรับเปลี่ยนผนังคอนกรีตสำเร็จซึ่งส่งผลกระทบฯ เป็นสัดส่วนสูง เป็นผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา ทั้งนี้ แนวทางนี้ยังไม่เพิ่มผลกระทบในตัวชี้วัดอื่น ๆ ของทั้ง 2 กรณี จากแบบอาคารอ้างอิง

ผนังจากแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ สามารถลดผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ลงได้เกินร้อยละ 20 ในกรณีศึกษาที่ 1 และไม่เพิ่มผลกระทบฯ อื่นในทั้งสองกรณีศึกษาจากแบบอาคารอ้างอิง ในส่วนอาคารกรณีศึกษาที่ 2

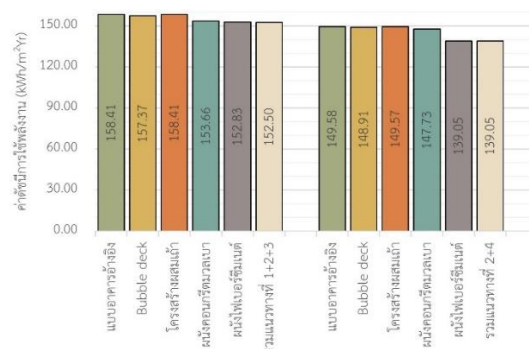
แนวทางนี้สามารถลดผลกระทบ ได้มากกว่าแนวทางที่ 3 (เปลี่ยนเป็นผนังก่อจากคอนกรีตมวลเบา) เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการปรับองค์ประกอบมากกว่า

จากแนวทางทั้ง 4 ที่นำเสนอ ผู้วิจัยศึกษาการเพิ่มขึ้นและลดลงของผลกระทบในแต่ละตัวชี้วัดของแต่ละแนวทาง แล้วจึงนำแนวทางที่เหมาะสมระหว่างการปรับเปลี่ยนในส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและระบบผนังภายนอกอาคารมาปรับใช้ร่วมกัน ส่งผลให้เกิดแนวทางที่สามารถลดผลกระทบ ได้สูงสุด โดยกรณีศึกษาที่ 1 รวมแนวทางที่ 1 (Bubble deck) แนวทางที่ 2 (30% Fly Ash) และแนวทางที่ 3 (Autoclaved aerated concrete) มาใช้ ซึ่งช่วยลดผลกระทบ ได้เกินร้อยละ 10 ของปริมาณผลกระทบที่เกิดจากแต่ละตัวชี้วัด 3 ตัวชี้วัด และกรณีศึกษาที่ 2 รวมแนวทางที่ 2 (30% Fly Ash) และแนวทางที่ 4 (Fiber cement) สามารถลดผลกระทบสูงสุดลงร้อยละ 5 ใน 4 ตัวชี้วัด ทำให้ทั้งสองกรณีศึกษาสามารถผ่านข้อกำหนดตามเกณฑ์ LEED BD+C V4.1 และได้รับคะแนน 2-3 คะแนนได้และไม่ส่งผลกระทบในตัวชี้วัดอื่น ๆ เพิ่มเกินร้อยละ 5 จากแบบอาคารอ้างอิง ดังภาพ 6



ภาพ 6 ร้อยละของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละแนวทางในแต่ละอาคาร

หลังจากศึกษาผลกระทบ แล้วจึงตรวจสอบประสิทธิภาพของวัสดุจากการเปลี่ยนแปลงทางการใช้พลังงานของแต่ละแนวทางพบว่า การใช้พลังงานในแต่ละแนวทางลดลง หรือเท่าเดิมเมื่อเทียบกับแบบอาคารอ้างอิง ส่งผลให้ยังคงรักษาประสิทธิภาพทางพลังงานได้ตามข้อกำหนดของเกณฑ์ LEED ดังแสดงในภาพ 7



ภาพ 7 การเปลี่ยนแปลงด้านใช้พลังงานต่อตารางเมตรต่อปีของแนวทางของ 2 กรณีศึกษา

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี พบว่า ระบบพื้นเป็นส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึงร้อยละ 33-36 รองลงมาคือ ระบบเสาเข็ม และระบบผนังภายนอก ตามลำดับ แนวทางในการลดผลกระทบฯ จึงมุ่งเน้นที่การลดปริมาณวัสดุที่ใช้และการใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำลงในองค์ประกอบนั้น ๆ โดยนำเสนอเป็น 4 แนวทาง ดังนี้ 1) การใช้ระบบพื้นไร้คานต้องเรียบแบบกลวงแทนระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง 2) การใช้ซีเมนต์ในโครงสร้างวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีส่วนประกอบของเถ้าลอยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 30 3) การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาแทนผนังเดิม (กรณีศึกษาที่ 1 เปลี่ยนจากระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และอาคารกรณีศึกษาที่ 2 เปลี่ยนจากผนังก่ออิฐฉาบปูน) 4) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์แทนระบบผนังเดิมของแต่ละกรณีศึกษา และแนวทางสุดท้ายที่เกิดจากการรวมแนวทางที่ก่อให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุดของแต่ละกรณีศึกษา

ผลจากการศึกษาทุกแนวทางที่นำเสนอสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวัฏชีวิตต่าง ๆ ได้ทั้งหมด โดยกรณีศึกษาและแนวทางที่ลดผลกระทบมากที่สุด ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 ที่รวมแนวทางที่ 1 (Bubble deck) แนวทางที่ 2 (30% Fly Ash) และแนวทางที่ 3 (Autoclaved aerated concrete) มาใช้ ซึ่งช่วยลดผลกระทบฯ ได้เกินร้อยละ 10 ของปริมาณผลกระทบที่เกิดจากแต่ละตัวชี้วัด 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ การเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) การลดลงของชั้นโอโซน (ODP) และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (ADPF) โดยตัวชี้วัดที่เหลือไม่เพิ่มขึ้นเกินร้อยละ 5 อีกทั้งกรณีดังกล่าวมีการใช้พลังงานลดลงจากแบบอาคารอ้างอิง 3% ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 เนื่องจากมีสัดส่วนองค์ประกอบอาคารต่างจากอาคารแรก แนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจึงแตกต่างกันออกไป อาคารกรณีศึกษาที่ 2 มีส่วนประกอบของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง และผนังมีการปล่อยปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เมื่อผู้วิจัยได้ทดสอบการรวมแนวทางการลดผลกระทบพบว่า การรวมแนวทางที่ 2 (30% Fly ash) และ แนวทางที่ 4 (Fiber cement) สามารถลดผลกระทบสูงสุดลดร้อยละ 5 ใน 4 ตัวชี้วัด ได้แก่ การเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) การลดลงของชั้นโอโซน (ODP) การก่อให้เกิดกรด (AP) และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (ADPF) อีกทั้งกรณีดังกล่าวมีการใช้พลังงานลดลงจากแบบอาคารอ้างอิง 6% จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า อาคารสำนักงานในประเทศไทยสามารถปรับปรุงการออกแบบให้สามารถผ่านเกณฑ์ LEED BD+C V4.1 และได้คะแนนในข้อ MR CREDIT: BUILDING LIFE-CYCLE IMPACT REDUCTION 2-3 คะแนนได้ ผลการศึกษานี้ยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขของรูปแบบโครงสร้างและปริมาณวัสดุอาคารตามกรณีศึกษาที่เลือกมา จึงทำให้ไม่สามารถนำผลที่ได้ไปใช้กับกรณีอาคารอื่นได้ทันที แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะออกแบบอาคารให้สามารถผ่านลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามข้อกำหนดของเกณฑ์ประเมินอาคารเกณฑ์ LEED ได้ และทราบถึงแนวทางการออกแบบที่สามารถช่วยลดผลกระทบเหล่านั้น นอกจากนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการศึกษานี้ บางส่วนคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์ของผลกระทบฯ (emission factor) จากแหล่งข้อมูลจากต่างประเทศ เนื่องจากในปัจจุบันไม่มีข้อมูลจากผู้ผลิตวัสดุดังกล่าวในประเทศไทย จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการประเมินได้ การปรับปรุงฐานข้อมูลที่ใช้ในประเมินจะช่วยให้เกิดความถูกต้องของผลการประเมินมากขึ้น นอกจากนี้แนวทางที่นำเสนอในการศึกษานี้ ให้ความสำคัญกับองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบสูง จึงยังไม่ครอบคลุมการลดผลกระทบในองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ระบบเสาเข็ม หลังคา และระบบผนังภายนอกอาคารอื่น เป็นต้น จึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

บรรณานุกรม

- กันตพงศ์ ศรีเมือง, อรรถนั ศรีษฐบุตร, และสริน พินิจ. (2565). การประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารสำนักงานและคอนโดมิเนียมพักอาศัย ด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน. *สารศาสตร์*, 5(3), 509-522.
- ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, ภัทรนันท์ ทักขณนท์, และสิงห์ อินทรชูโต. (2564). เกณฑ์ประเมินและให้ฉลากแบบบ้านประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยอิงการจำลองพลังงานและการประเมินวัฏจักรชีวิต. *วารสารวิจัยและสารสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 19(1), 179-200. <https://doi.org/10.56261/jars.v19i1.243880>
- ภาคภูมิ วานิช. (2561, 28 เมษายน). ระบบพื้นที่คำนวณต้องเรียบแบบกลวง. SNP-POST. <https://snp-precast.snp-post.com/knowledge-read/14>
- อรรถนั ศรีษฐบุตร. (2555). ดัชนีปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารในประเทศไทย. *วารสารสถาปัตยกรรม*, 61, 147-162.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2016). *ASHRAE standard 90.1-2016: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. ASHRAE.
- Babalu, R., Anil, A., Sudarshan, K., & Amol, P. (2023). Compressive strength, flexural strength, and durability of high-volume fly ash concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8, 154. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01120-x>
- Ecoinvent. (n.d.). *ecoinvent database*. <https://ecoinvent.org/database/>
- EnergyPlus. (n.d.). *EnergyPlus*. <https://energyplus.net/>
- European Committee for Standardization. (2012). *CEN EN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/62c22cef-5666-4719-91f9-c21cb6aa0ab3/en-15978-2011>
- Fouad, F., Ramadan, W., Schoch, T., & Kirby, J. (2023). Environmental performance of autoclaved aerated concrete in the USA. *ICAAC 2023: 7th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete*, 6(2), 5-14. <https://doi.org/10.1002/cepa.2223>
- Gibbon, O., Orr, J., Archer-Jones, C., Arnold, W., & Green, D. (2022). *How to calculate embodied carbon* (2nd ed.). The Institution of Structural Engineers. <https://www.egbc.ca/getmedia/a7603519-43cc-4795-8558-6960b2b7b5d1/HTCEC-2nd-edition.pdf.aspx>
- Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy*, 161(2), 87-98. <https://doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>
- International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040: 2006(en) Environmental management Life cycle assessment principles and framework*. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- Kofoworola, O., & Gheewala, S. (2008). Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 498-511. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0012-1>
- Lawrie, L., & Crawley, D. (2022). *Development of global typical meteorological years (TMYx)*. <http://climate.onebuilding.org>

- Layton, M. (2023, December 26). *How long does fiber cement siding last?* Today's Homeowner. <https://todayshomeowner.com/siding/guides/how-long-does-fiber-cement-siding-last/>
- Oukaili, N., & Merie, H. (2019). Sustainability analysis and shear capacity of bubble deck slabs with openings. In *Proceedings in 2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)* (pp. 250-255). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DeSE.2018.00051>
- Overbey, D. (2021, January 29). *LCA stages matter when tracking embodied carbon*. Building Enclosure Online. <https://www.buildingenclosureonline.com/blogs/14-the-be-blog/post/89547-lca-stages-matter-when-tracking-embodied-carbon>
- Sphera. (n.d.). *Product sustainability gabi data search*. <https://sphera.com/product-sustainability-gabi-data-search/>
- Thomas, M. D. A. (2007). *Optimizing the use of fly ash in concrete* (Vol. 5420). Portland Cement Association.
- United Nations Environment Programme. (2022). *2022 Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings, and construction sector*. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- U.S. Green Building Council. (2019). *LEED v4.1*. <https://www.usgbc.org/leed/v41>
- World Health Organization [WHO]. (2023, October 12). *Climate change*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- Zijlstra, S. (n.d.). *Impact assessment categories: CML, TRACI, and PEF*. One Click LCA. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015036980-Impact-Assessment-Categories-CML-TRACI-and-PEF>