

การวิเคราะห์พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกของอาคารจากการก่อสร้างด้วยวิธี

Life Cycle Energy Analysis

THE ANALYSIS OF ENERGY EMBODIED & GREENHOUSE GAS IN BUILDING

CONSTRUCTION BY LIFE CYCLE ENERGY ANALYSIS METHOD

ธิบดินทร์ แสงสว่าง^{1*}, ธีระชัย สุระโชติเวศย์²

Thibordin Sangsawang^{1*}, Teerachai Surachotivet²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Silpakorn University.

*Corresponding author, e-mail: sangsawang_t@su.ac.th

Received: 5 May 2021; **Revised:** 28 June 2022; **Accepted:** 27 July 2022

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพลังงานสะสม (Embodied Energy) และปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ของอาคารอเนกประสงค์แห่งหนึ่ง โดยแบ่งขอบเขตการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุก่อสร้าง การขนส่งและการใช้พลังงานในการก่อสร้าง ผลจากการศึกษาพบว่า อาคารแห่งนี้มีพลังงานสะสมทั้งสิ้น 162,981,382.39 MJ แบ่งเป็นจากวัสดุก่อสร้าง 162,239,677.40 MJ การขนส่ง 643,934.89 MJ และการใช้พลังงานในการก่อสร้าง 97,770.10 MJ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารนี้มีทั้งสิ้น 14,511,534.50 kgCO₂e แบ่งเป็นจากวัสดุก่อสร้าง 14,447,105.97 kgCO₂e จากการขนส่ง 47,879.62 kgCO₂e และจากการใช้พลังงานในการก่อสร้าง 16,548.91 kgCO₂e วัสดุก่อสร้างที่มีค่าพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูง คือวัสดุประเภทเหล็กและคอนกรีต เมื่อนำค่าที่ได้ไปเฉลี่ยต่อพื้นที่พบว่า พลังงานสะสมมีค่า 9.59 GJ/m² และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกสะสม 853.62 kgCO₂e/m²

คำสำคัญ: พลังงานสะสม; ก๊าซเรือนกระจก; การก่อสร้างอาคาร

Abstract

In this research, the embodied energy and greenhouse gas emissions of a multi-purpose building were studied. There are 3 parts; the embodied energy and greenhouse gas from building materials, transportation and energy consumption in construction. The results showed that the total embodied energy was 162,981,382.39 MJ, from building materials for 162,239,677.40 MJ, transportation for 643,934.89 MJ and energy consumption in construction for 97,770.10 MJ. The total greenhouse gas in this building was

14,511,534.50 kgCO₂e, from building materials for 14,447,105.97 kgCO₂e, transportation for 47,879.62 kgCO₂e, and energy consumption in construction for 16,548.91 kgCO₂e. The highest embodied energy and greenhouse gas emission were from steel and concrete. When the obtained values were averaged per area, found that for the embodied energy has 9.59 GJ/m² and greenhouse gas has 853.62 kgCO₂e/m².

Keywords: Embodied Energy; Greenhouse Gas; Building Construction

บทนำ

จากรายงานของวิจัยกรุงศรีโดย T. Mahattanalai [1] ได้ระบุว่าในช่วงปี 2563 และปี 2564 นั้น อุตสาหกรรมก่อสร้างมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้น 5.7-9.5% จากข้อความดังกล่าวจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นและจากการขยายตัวดังกล่าวย่อมต้องส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้วัสดุก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมก่อสร้าง ในการผลิตวัสดุก่อสร้างนั้นจะต้องมีการนำพลังงานมหาศาลมาใช้เพื่อการผลิต ซึ่งการนำพลังงานมาใช้อย่างมหาศาลนั้นย่อมต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

พลังงานสะสม (Embodied Energy, EE) ได้รับการนิยามโดย Su and Zhang [2] และ Hammond et al [3] ว่าคือพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์พลังงานขั้นต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยวิเคราะห์ในรูปแบบของ Cradle to gate ที่เป็นลักษณะการวิเคราะห์ของ Life cycle analysis method (LCA) อาจกล่าวสรุปได้ว่าพลังงานสะสมหมายถึงพลังงานต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตสิ่งใดสิ่งหนึ่งตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนพร้อมใช้งาน

ซึ่ง LCA นั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความนิยมอย่างมาก มีหลายงานวิจัยที่มีการใช้เครื่องมือชนิดนี้มาใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น N. Llantoy et al. [4] ที่ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการก่อสร้างในรูปแบบของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas : GHG) โดยใช้ LCA ในรูปแบบของ gate to gate (ระหว่างการผลิตและประกอบ) และยังได้ทำการวิเคราะห์พลังงานสะสมและคาร์บอนสะสมของอาคารอีกด้วย นอกจากนี้การวิเคราะห์โดยใช้ LCA มีการนำไปใช้โดยวิเคราะห์พลังงานเพียงอย่างเดียว แต่ยังคงรูปแบบหลักการวิเคราะห์ของ LCA การวิเคราะห์ชนิดนี้เรียกว่า Life cycle energy assessment (LCEA) ในการวิเคราะห์ประเภทนี้ได้รับความนิยมนำมาใช้กับการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในอาคาร เช่น ในงานวิจัยของ O.F. Kofoworola & S.H. Gheewala [5] ที่ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารที่มีลักษณะเป็นอาคารสำนักงาน โดยใช้ LCEA method โดยผลการวิเคราะห์พบว่า การเลือกวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานงานของอาคาร และในงานวิจัยของ N.R. Aneesh et al. [6] ที่ได้นำ LCEA method มาใช้ในการวิเคราะห์พลังงานของสถานีรถไฟขนาดใหญ่ สำหรับการวิเคราะห์ LCEA นั้นเป็นการวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งที่มาของการใช้พลังงานงานในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อกำหนดแนวทางในการลดใช้พลังงานเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าในหลาย ๆ งานวิจัยได้มีการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งเป็นพลังงานสะสม (EE) และก๊าซเรือนกระจก (GHG) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกของอาคารในประเทศไทยโดยใช้ LCEA ในรูปแบบของ gate to gate ด้วยเหตุที่ว่าแต่ละอาคารมีความแตกต่างของรูปแบบในการใช้งานและอายุการใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซาก ดังนั้น การใช้ LCEA เพื่อระบุแหล่งที่มาของพลังงานสะสมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการปรับลดพลังงานสะสมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณพลังงานงานสะสมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารตั้งแต่การผลิตวัสดุจนถึงอาคารก่อสร้างเสร็จ (gate to gate) และไม่นับรวมเฟอร์นิเจอร์และอุปกรณ์ตกแต่งของอาคาร โดยงานวิจัยนี้ไม่รวมการวิเคราะห์การใช้งานและการกำจัดซาก แบ่งขอบเขตงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ วัสดุก่อสร้าง การขนส่งและพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านพลังงานสะสมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์แห่งหนึ่งในมหาวิทยาลัยที่มีวัสดุหลักเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแห่งหนึ่งที่มีพื้นที่ใช้สอย 17,000 ตารางเมตร มีขนาด 10 ชั้นแสดงดังภาพที่ 1 แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วยชั้นที่ 1-3 เป็นลานจอดรถมีพื้นที่ 5,100 ตารางเมตร ชั้น 4-6 เป็นลานอเนกประสงค์มีพื้นที่ 5,100 ตารางเมตร ชั้น 7-9 เป็นห้องพักมีพื้นที่ 5,100 ตารางเมตร และส่วนตาดฟ้าหลังคามีพื้นที่ 1,700 ตารางเมตร ใช้ระยะเวลาในการสร้าง 25 เดือน



ภาพที่ 1 อาคารอเนกประสงค์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า (Life Cycle Energy Analysis : LCEA) ที่อยู่ในรูปแบบของ gate to gate มาใช้ในการคำนวณและได้แบ่งขอบเขตการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. วัสดุก่อสร้าง

การวิเคราะห์พลังงานสะสมของวัสดุก่อสร้างจะคำนวณจากการใช้ปริมาณวัสดุก่อสร้างที่ได้มีการนำมาใช้ในอาคารโดยนำมาแยกประเภทของวัสดุ หลังจากนั้นก็นำมาคำนวณร่วมกับค่า Energy factor และค่า Emission Factor โดยอ้างอิงจาก G.Hammond et al. ตามสมการที่ 1 สำหรับปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะมีลักษณะการคำนวณคล้ายกับพลังงานสะสม โดยใช้ปริมาณการใช้วัสดุทั้งหมดคูณกับค่า Emission factor โดยอ้างอิงจาก G. Hammond et al. [3] ตามสมการที่ 2

$$EE_M = Q_M \times EEF \quad (1)$$

$$GHG_M = Q_M \times EMF \quad (2)$$

เมื่อ EE_M คือปริมาณพลังงานสะสมของวัสดุก่อสร้าง (MJ), Q_M คือปริมาณการใช้วัสดุ (kg) และ EEF คือค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสะสมของวัสดุแต่ละชนิด (Energy Factor) (MJ/kg), GHG_M คือปริมาณการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง (kgCO_2e) และ EMF คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุแต่ละชนิด (Emission Factor) ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$) จะเห็นได้ว่าหน่วยที่ใช้นั้นเป็นหน่วยกิโลกรัม ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าหนักทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในแต่ละประเภทก่อนจึงจะสามารถนำมาคำนวณได้

2. การขนส่ง

พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งหาได้จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงโดยปริมาณการใช้เชื้อเพลิงนั้นหาได้จากระยะทางของการขนส่งต่อรอบคูณกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถแต่ละประเภท (FCR) โดยอ้างอิงจาก T. Naparswad [7] แล้วนำมาคูณกับจำนวนรอบที่ทำการขนส่ง เมื่อได้ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมดแล้วก็นำไปคำนวณตามสมการที่ 3 และ 4

$$EE_T = (D_T \times FCR) \times R_M \times EEF \quad (3)$$

$$GHG_T = (D_T \times FCR) \times R_M \times EMF \quad (4)$$

เมื่อ EE_T คือปริมาณพลังงานสะสมของการขนส่ง (MJ) D_T คือระยะทางในการขนส่งแต่ละรอบ (km) FCR คืออัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถที่ใช้ในการขนส่ง (km/L) R_M คือจำนวนรอบในการขนส่งวัสดุ นั้น ๆ (รอบ) เมื่อได้ทำการคำนวณเพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งได้แล้วก็จะนำมาคูณกับ EEF ซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสะสมของการใช้เชื้อเพลิง (MJ/L) GHG_T คือปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง (kgCO_2e) และ EMF คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้เชื้อเพลิง ($\text{kgCO}_2\text{e/L}$)

3. พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการก่อสร้างหาได้จากการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างโดยติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อวัดปริมาณไฟฟ้าที่ได้มีการใช้ในสถานที่ หลังจากได้ปริมาณไฟฟ้าก็จะนำมาคำนวณหาพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามสมการที่ 5 และ 6

$$EE_C = Q_E \times EEF \quad (5)$$

$$GHG_C = Q_E \times EMF \quad (6)$$

โดยที่ EE_C คือพลังงานสะสมจากการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (MJ) GHG_C คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (kgCO_2e) Q_E คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการก่อสร้าง (kWh) EEF คือค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานสะสมของการใช้ไฟฟ้า (MJ/kWh) EMF คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้า ($\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$)

ผลการวิจัย

จากพิมพ์เขียวของอาคารเมื่อทำการถอดแบบจะได้ปริมาณวัสดุที่มีการนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารนี้ วัสดุหลักที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีตและเหล็กซึ่งรายละเอียดของวัสดุสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ในตารางยังแสดงการขนส่งของวัสดุก่อสร้างประกอบด้วยประเภทของรถที่ใช้ อัตราการบรรทุก (Load) อัตราการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง จำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่ง

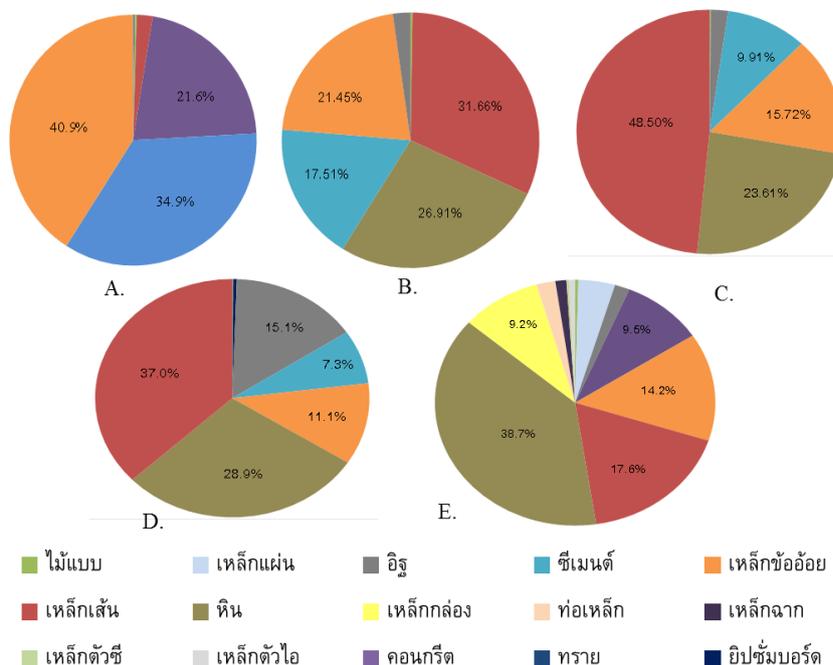
ตารางที่ 1 ปริมาณวัสดุที่ใช้และรายละเอียดการขนส่ง

วัสดุ	จำนวน (kg)	ประเภท รถที่ใช้ ขนส่ง	Load	อัตราการใช้ เชื้อเพลิง (km/L)*	ระยะทาง (km)	จำนวน รอบ
คอนกรีตผสมเสร็จ	8,540,805	รถโม้	75%	1.7	8.1	1800
ปูนซีเมนต์	19,982,869	รถพ่วง	50%	3.2	88.4	129
ทราย	268,150	รถ 10 ล้อ	75%	1.7	56.8	40
ไม้แบบ	40,872	กระบะ	75%	13	56.4	8
เหล็กเส้น	2,454,291					
เหล็กข้ออ้อย	83,311	รถพ่วง	100%	1.8	88.1	31
เหล็กแผ่น	7,178.67					
เหล็ก I-H	41,560	รถพ่วง	100%	1.8	57.2	3
ท่อเหล็ก	36,482					
ยิปซั่มบอร์ด	32,679	รถ 6 ล้อ	75%	2.5	83.9	1
อิฐ	1,828,074	รถ 6 ล้อ	75%	2.5	180	29
หิน	3,833,523	รถพ่วง	100%	1.8	51.8	21
PVC	10,807	รถ 6 ล้อ	50%	3.2	50.9	10
กระจก	2,696	รถ 6 ล้อ	75%	2.5	115.2	12

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าวัสดุที่มีน้ำหนักมากที่สุดคือปูนซีเมนต์และคอนกรีตผสมเสร็จคือ 19,982.87 และ 8,540.8 ตันตามลำดับ สำหรับวัสดุที่มีระยะทางในการขนส่งไกลที่สุดได้แก่อิฐมีระยะทางจากโรงงานผลิตจนถึงสถานที่ก่อสร้าง 180 กิโลเมตรและไกลที่สุดคือ คอนกรีตผสมเสร็จ มีระยะทางจากแหล่งผลิตถึงสถานที่ก่อสร้าง 8.1 กิโลเมตร วัสดุที่มีจำนวนรอบการขนส่งมากที่สุดได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ มีจำนวน 1,800 รอบ

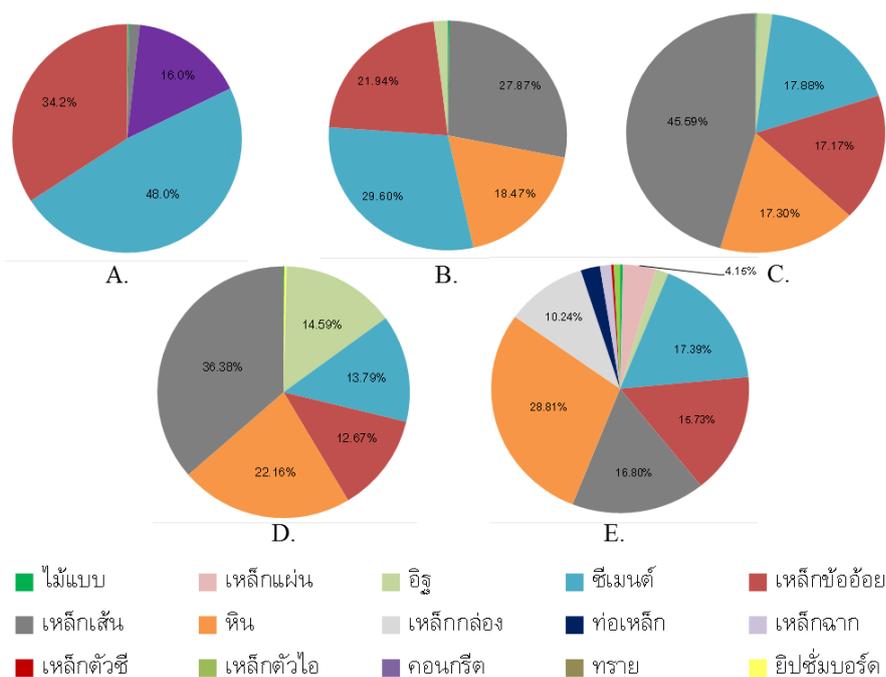
ภายหลังจากการนำข้อมูลในตารางที่ 1 มาแจกแจงตามขอบเขตที่ได้แบ่งไว้คือการฐานราก (A) ลานจอดรถ (B) ลานเอนกประสงค์ (C) ห้องพัก (D) และตาดฟ้าหลังคา (E) แล้ว ก็จะนำไปคำนวณตามสมการ 1 เพื่อหาพลังงานสะสมของการใช้วัสดุในการก่อสร้างพบว่าฐานราก (A) นั้นมีพลังงานสะสมทั้งสิ้น 9,968,158.98 MJ โดยมาจากเหล็กข้ออ้อย 4,080,729.20 MJ ซีเมนต์ 3,480,724.32 MJ และคอนกรีต 2,151,267.84 MJ หรือคิดเป็น 40.9%, 34.9% และ 21.6% ตามลำดับ ในส่วนของลานจอดรถ (B) พลังงานสะสมทั้งสิ้น 49,007,920.78 MJ โดยเกิดจากเหล็กเส้น 15,514,935 MJ หิน(ก่อสร้างและหินอ่อน) 13,189,432.69 MJ เหล็กข้ออ้อย 10,511,970.8 MJ และซีเมนต์ 8,583,025.45 MJ คิดเป็น 31.66%, 26.91%, 21.45% และ 17.51% ตามลำดับ สำหรับลานเอนกประสงค์ (C) มีพลังงานสะสมทั้งสิ้น 44,011,729.87 MJ แบ่งเป็นเหล็กเส้น 21,346,695.60 MJ หิน 10,392,613.82 MJ เหล็กข้ออ้อย 10,392,613.82 MJ และซีเมนต์ 4,361,349.27 MJ คิดเป็น 48.5%, 23.61%, 15.72% และ 9.91% ตามลำดับ พลังงานสะสมของห้องพัก (D) มีทั้งสิ้น 50,175,801.19 MJ แบ่งเป็นเหล็กเส้น 18,567,221.88 MJ หิน 14,510,578.22 MJ และอิฐ 7,599,197.40 MJ คิดเป็น 37%, 28.9% และ 15.1% ตามลำดับ ส่วนสุดท้ายคือตาดฟ้าหลังคา (E) มีพลังงานสะสม 9,076,066.58 MJ โดยมาจาก หิน 3,514,847.60 MJ

เหล็กเส้น 1,597,442.70 MJ เหล็กข้อย้อย 1,286,902.40 MJ ซีเมนต์ 861,134.49 MJ และเหล็กกล่อง 837,683.76 MJ คิดเป็นร้อยละ 38.7, 17.6, 14.2, 9.5 และ 9.2 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2

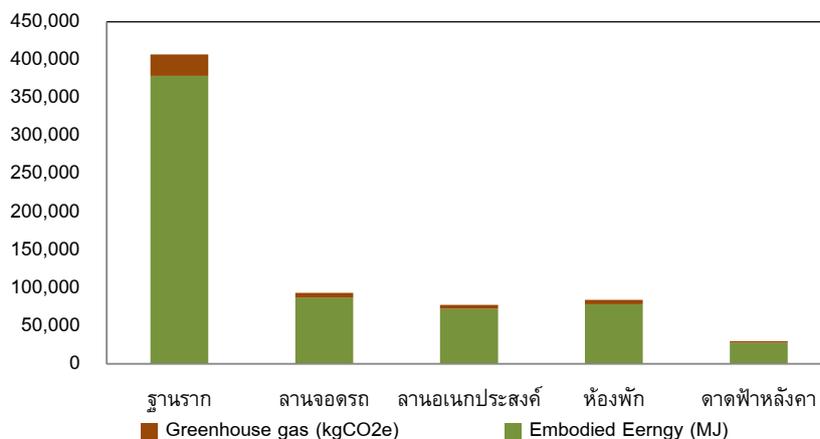


ภาพที่ 2 พลังงานสะสมของวัสดุก่อสร้าง

สำหรับภาพที่ 3 เป็นรูปแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในวัสดุก่อสร้างพบว่าฐานราก (A) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 1,135,753.59 kgCO₂e ประกอบด้วยซีเมนต์ 545,627.06 kgCO₂e (48%) เหล็กข้อย้อย 388,049.27 kgCO₂e (34.2%) คอนกรีต 181,831.97 kgCO₂e (16%) ส่วนของลานจอดรถ (B) มีก๊าซเรือนกระจก 4,545,503.90 kgCO₂e เกิดจากซีเมนต์ 1,345,447.23 kgCO₂e เหล็กเส้น 1,266,614.75 kgCO₂e เหล็กข้อย้อย 997,197.23 kgCO₂e และหิน 839,327.53 kgCO₂e คิดเป็นร้อยละ 29.6, 27.87, 21.94 และ 18.47 ตามลำดับ สำหรับลานอเนกประสงค์ (C) มีก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 3,822,988.85 kgCO₂e ประกอบด้วยเหล็กเส้น 1,742,710.46 kgCO₂e ซีเมนต์ 683,670.97 kgCO₂e หิน 661,348.15 kgCO₂e และเหล็กข้อย้อย 656,492.77 kgCO₂e คิดเป็น 45.59%, 17.88%, 17.3% และ 17.17% ส่วนของห้องพัก (D) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น เกิดจากเหล็กเส้น 1,515,798.62 kgCO₂e หิน 923,400.43 kgCO₂e อิฐ 607,935.79 kgCO₂e ซีเมนต์ 574,723.42 kgCO₂e และเหล็กข้อย้อย 528,075.57 kgCO₂e คิดเป็น 36.38%, 22.6%, 14.59%, 13.79% และ 12.67% ตามลำดับ ดาดฟ้าหลังคา (E) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 776,324.13 kgCO₂e เกิดจากหิน 223,672.12 kgCO₂e ซีเมนต์ 134,988.65 kgCO₂e เหล็กเส้น 130,412.70 kgCO₂e เหล็กข้อย้อย 122,079.44 kgCO₂e และเหล็กกล่อง 79,465.21 kgCO₂e คิดเป็น 28.81%, 17.39% 16.8%, 15.73% และ 10.24% ตามลำดับ

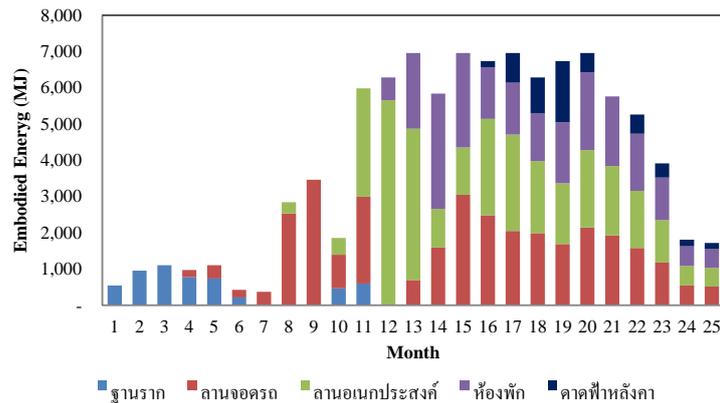


ภาพที่ 3 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง



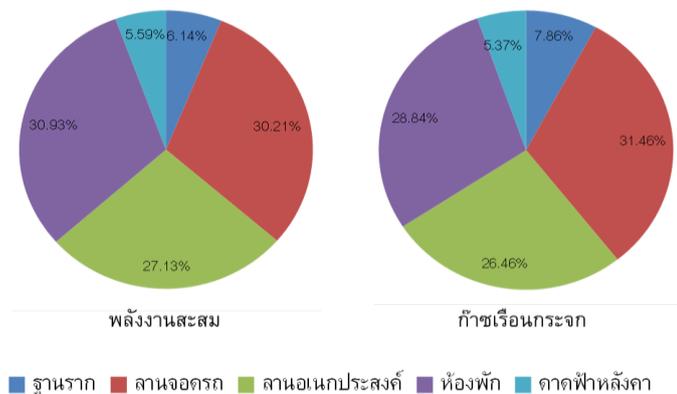
ภาพที่ 4 พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่ง

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อนำมาวิเคราะห์พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกของภาคการขนส่งพบว่า สำหรับการพลังงานสะสมของการขนส่งพบว่ามีทั้งสิ้น 643,934.89 MJ มีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 47,879.62 kgCO₂e ในส่วนของฐานรากมีการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งมากที่สุดคือ 378,499.68 MJ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก 28,176.34 kgCO₂e ลานจอดรถมีพลังงานสะสม 86,796.76 MJ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก 6,453.4 kgCO₂e ถัดมาเป็นส่วนของห้องพักมีพลังงานสะสม 78,374.92 MJ ก๊าซเรือนกระจก 5,827.55 kgCO₂e พลังงานสะสมของลานอเนกประสงค์คือ 72,199.82 และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 5,368.4 kgCO₂e ส่วนสุดท้ายเป็นดาดฟ้าหลังคา มีพลังงานสะสม 27,618.71 MJ และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 2,053.58 kgCO₂e แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 5 อาคารอเนกประสงค์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ภาพที่ 5 แสดงการใช้พลังงานในการก่อสร้างมีพลังงานสะสมทั้งสิ้น 97,770.1 MJ แบ่งเป็นฐานราก 5,382 MJ ลานจอดรถ 31,847.83 MJ ลานอเนกประสงค์ 32,825.59 MJ ห้องพัก 22,237.6 MJ และฝ้าเพดาน 5,477.08 MJ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 16,548.91 kgCO₂e เกิดจากฐานราก 910.98 kgCO₂e ลานจอดรถ 5,390.68 kgCO₂e ลานอเนกประสงค์ 5,556.17 kgCO₂e ห้องพัก 3,764.01 kgCO₂e และฝ้าเพดาน 927.07 kgCO₂e นอกจากนี้จากกราฟจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างของอาคารนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทำงาน คือในช่วงแรกจะเป็นการก่อสร้างตัวโครงสร้างและช่วงที่สองจะเป็นการตกแต่งเติม ซึ่งไม่รวมเฟอร์นิเจอร์อุปกรณ์ตกแต่ง จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าหากมีการเพิ่มหรือลดระยะเวลาที่จะส่งผลต่อค่าพลังงานสะสมของอาคารตามไปด้วย



ภาพที่ 6 สัดส่วนพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกของอาคาร

จากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ทั้งหมดอาคารแห่งนี้มีค่าพลังงานสะสมทั้งสิ้น 162,981,382.39 MJ แบ่งเป็นฐานราก 10,352,485.65 MJ (วัสดุ 9,968,158.98 MJ, การขนส่ง 378,944.68 MJ, พลังงานที่ใช้จากการก่อสร้าง 5,382.00 MJ) คิดเป็น 6.14% ของพลังงานสะสมทั้งหมด ลานจอดรถ 49,126,565.37 MJ (วัสดุ 49,007,920.78 MJ, การขนส่ง 86,796.76 MJ และพลังงานที่ใช้จากการก่อสร้าง 31,847.83 MJ) คิดเป็นร้อยละ 30.21 ของพลังงานสะสมทั้งหมดของอาคาร สำหรับลานอเนกประสงค์ 44,116,755.28 MJ (วัสดุ 44,011,729.87 MJ, การขนส่ง 72,199.82 MJ และพลังงานที่ใช้จากการก่อสร้าง 32,825.59 MJ) คิดเป็นร้อยละ 27.13 ของ

พลังงานสะสมทั้งหมด ส่วนของห้องพักมีพลังงานสะสม 50,276,413.71 MJ (วัสดุ 50,175,801.19 MJ, การขนส่ง 78,374.92 MJ และพลังงานที่ใช้จากการก่อสร้าง 22,237.60 MJ) หรือ 30.93% ของพลังงานสะสมและส่วนสุดท้ายคือดาตไฟฟ้าหลังคามีพลังงานสะสม 9,109,162.38 MJ (วัสดุ 9,076,066.58 MJ, การขนส่ง 27,618.71 MJ และการใช้พลังงานจากการก่อสร้าง 5,477.08 MJ) คิดเป็น 5.59% ของการใช้พลังงานทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 6 นอกจากนี้ในภาพที่ 6 ยังได้แสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกไว้อีกด้วย โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารนี้มีทั้งสิ้น 14,511,534.50 kgCO₂e โดยฐานรากมี 1,164,840.90 kgCO₂e (วัสดุ 1,135,753.59 kgCO₂e, การขนส่ง 28,176.34 kgCO₂e, การใช้พลังงานจากการก่อสร้าง 910.98 kgCO₂e) คิดเป็น 7.86% ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดลานจอดรถมีก๊าซเรือนกระจก 4,557,348.33 kgCO₂e (วัสดุ 4,545,503.90 kgCO₂e, การขนส่ง 6,453.75 kgCO₂e, การใช้พลังงานจากการก่อสร้าง 5,390.68 kgCO₂e) คิดเป็น 31.46% ลานอเนกประสงค์มีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 3,833,913.42 kgCO₂e (วัสดุ 3,822,988.85 kgCO₂e, การขนส่ง 5,368.40 kgCO₂e, การใช้พลังงานจากการก่อสร้าง 5,556.17 kgCO₂e) คิดเป็น 26.46% ก๊าซเรือนกระจกของห้องพักมีปริมาณ 4,176,127.07 kgCO₂e (วัสดุ 4,166,535.51 kgCO₂e, การขนส่ง 5,827.55 kgCO₂e, การใช้พลังงานจากการก่อสร้าง 3,764.01 kgCO₂e) คิดเป็น 28.84% และสุดท้ายคือดาตไฟฟ้าหลังคา 779,304.78 kgCO₂e (วัสดุ 776,324.13 kgCO₂e, การขนส่ง 2,053.58 kgCO₂e, การใช้พลังงานจากการก่อสร้าง 927.07 kgCO₂e) คิดเป็น 5.37% ของการใช้พลังงานทั้งหมด

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า อาคารอเนกประสงค์แห่งหนึ่งที่มีลักษณะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีพื้นที่ใช้สอย 17,000 ตารางเมตรมีพลังงานสะสมทั้งสิ้น จากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ทั้งหมดอาคารแห่งนี้มีค่าพลังงานสะสมทั้งสิ้น 162,981,382.39 MJ แบ่งเป็นฐานราก 10,352,485.65 MJ (6.14%) (วัสดุ 9,968,158.98 MJ ขนส่ง 378,944.68 MJ และการก่อสร้าง 5,382 MJ) ลานจอดรถ 49,126,565.37 MJ (30.21%) (วัสดุ 49,007,920.78 MJ ขนส่ง 86,796.76 MJ ก่อสร้าง 31,847.83 MJ) ลานอเนกประสงค์ 44,116,755.28 MJ (27.13%) (วัสดุ 44,011,729.87 MJ ขนส่ง 72,199.82 MJ ก่อสร้าง 32,825.59 MJ) ห้องพัก 50,276,413.71 MJ (30.93%) (วัสดุ 50,175,801.19 MJ ขนส่ง 78,374.92 MJ ก่อสร้าง 22,237.60 MJ) และส่วนดาตไฟฟ้าหลังคามีพลังงานสะสม 9,109,162.38 MJ (5.59%) (วัสดุ 9,076,066.58 MJ ขนส่ง 27,618.71 MJ ก่อสร้าง 5,477.08 MJ) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารนี้มีทั้งสิ้น 14,511,534.50 kgCO₂e โดยฐานรากมี 1,164,840.90 kgCO₂e (7.86%) (วัสดุ 1,135,753.59 kgCO₂e ขนส่ง 28,176.34 kgCO₂e ก่อสร้าง 910.98 kgCO₂e) ลานจอดรถมีก๊าซเรือนกระจก 4,557,348.33 kgCO₂e (31.46%) (วัสดุ 4,545,503.90 kgCO₂e ขนส่ง 6,453.75 kgCO₂e ก่อสร้าง 5,390.68 kgCO₂e) ลานอเนกประสงค์ 3,833,913.42 kgCO₂e (26.46%) (วัสดุ 3,822,988.85 kgCO₂e ขนส่ง 5,368.40 kgCO₂e ก่อสร้าง 5,556.17 kgCO₂e) ห้องพัก 4,176,127.07 kgCO₂e (28.84%) (วัสดุ 4,166,535.51 kgCO₂e ขนส่ง 5,827.55 kgCO₂e ก่อสร้าง 3,764.01 kgCO₂e) และดาตไฟฟ้าหลังคา 779,304.78 kgCO₂e (5.37%) (วัสดุ 776,324.13 kgCO₂e ขนส่ง 2,053.58 kgCO₂e ก่อสร้าง 927.07 kgCO₂e) จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่มีพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือเหล็กและคอนกรีต ซึ่งวัสดุกลุ่มที่เป็นหลักนั้นมีการผลิตที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูงการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ในปริมาณมากย่อมส่งผลต่อค่าพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกด้วย กลุ่มที่สองคือกลุ่มคอนกรีตเนื่องจากอาคารนี้มีปริมาณการใช้คอนกรีตค่อนข้างสูงดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกสูงตามไปด้วย

เมื่อได้พลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกแล้วทางผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่มีการวิเคราะห์ลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยนี้ตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่าค่าพลังงานสะสมของอาคารนี้มีค่า

อยู่ที่ 9.59 GJ/m² ซึ่งถือว่าไม่สูงมากนัก แต่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารนี้มีค่า 853.62 kgCO₂e/m² ค่อนข้างสูงกว่าอาคารอื่น ๆ ซึ่งเกิดจากการเลือกใช้วัสดุ ระยะทางในการขนส่งและวิธีการที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ดังนั้นในการสร้างอาคารอาคารในอนาคตอาจนำข้อมูลในงานวิจัยนี้ไปกำหนดรูปแบบการก่อสร้าง การใช้วัสดุที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดปัญหาสภาวะโลกร้อนที่ส่งผลกระทบต่อสังคมในปัจจุบัน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบพลังงานสะสมกับงานวิจัยอื่น ๆ

No	Reference	ปี	ลักษณะอาคาร	ประเทศ	หน่วย GJ/m ²	วิธีที่ใช้วิเคราะห์
1	Xing Su and Xu Zhang. [2]	2016	ที่พักอาศัย	จีน	3.33	Process LCA
2	Honey and Buchanan [8]	1994	ที่พักอาศัย	นิวซีแลนด์	5	Process LCA
3	Giordano et al. [9]	2015	ที่พักอาศัย	อิตาลี	6.4	Process LCA
4	Ramesh and Khan [10]	2013	ที่พักอาศัย	อินเดีย	8.07	Process LCA
5	Aneesh N.R. et al. [6]	2018	สถานีขนส่ง	อินเดีย	8.57	Process LCA
6	กรณีศึกษา*		อาคาร อเนกประสงค์	ไทย	9.59	Process LCA
7	Robert H.Crawford [11]	2008	ที่พักอาศัย	ออสเตรเลีย	10.1	I-O analysis
8	Jie Wang et al. [12]	2018	สำนักงาน	ฮ่องกง	10.35	Process LCA
9	Rauf et al. [13]	2014	ที่พักอาศัย	ออสเตรเลีย	13.4	Process LCA
10	Fay et al. [14]	2000	ที่พักอาศัย	ออสเตรเลีย	14.09	Process LCA

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกกับงานวิจัยอื่น ๆ

No	Reference	ปี	ลักษณะอาคาร	ประเทศ	หน่วย kgCO ₂ e/m ²	วิธีการที่ใช้ วิเคราะห์
1	Rossi et al. [15]	2012	ที่พักอาศัย	เบลเยียม	189	Process LCA
2	Salazar and Meil. [16]	2009	ที่พักอาศัย	แคนาดา	294	Process LCA
3	Konig and Cristofaro. [17]	2010	ที่พักอาศัย	เยอรมนี	430	Process LCA
4	Hui Yan et al. [18]	2012	ศูนย์การค้า	ฮ่องกง	525	Process LCA
5	Blengini and Carlo. [19]	2010	ที่พักอาศัย	อิตาลี	770	Process LCA
6	Georgios Syngros et al. [20]	2017	ที่พักอาศัย	กรีซ	777	Process LCA
7	Wu et al. [21]	2012	สำนักงาน	จีน	803	Process LCA
8	กรณีศึกษา*		อาคาร อเนกประสงค์	ไทย	853.62	Process LCA
9	Suzuki M et al. [22]	1995	ที่พักอาศัย	ญี่ปุ่น	985	I-O analysis
10	Suzuki M et al. [23]	1998	สำนักงาน	ญี่ปุ่น	1,100	Process LCA

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mahattanalai, T. (2019). Business/Industry Outlook 2019-2021: Construction Business. Krungsri Research. Retrieved April 9, 2021, from <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Construction-Construction-Materials/Construction-Contractors/IO>
- [2] Su, X., and Zhang, X. (2016). A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China. *Energy and Buildings*, 119, 323-330.
- [3] Hammond, G., Jones, C., Lowrie, F., and Tse, P. (2011). Embodied Carbon the Inventory of Carbon and Energy (ICE): BSRIA.
- [4] Llantoy, N., Chàfer, M., and Cabeza, L. F. (2020). A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 22, 2-11.
- [5] Kofoworola, O. F., and Gheewala, S. H. (2009). Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand. *Energy and Buildings*, 41, 1076-1083.
- [6] Aneesh, N. R., Shivaprasad, K. N., and Das, B. B. (2018). Life cycle energy analysis of a metro station building envelope through computer based simulation. *Sustainable Cities and Society*, 39, 135-143.
- [7] Naparswad, T. (2012). A Study of fuel consumption of trucks. Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University.
- [8] Buchanan, A. H., and Honey, B. G. (1994). Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, 20(3), 205-217.
- [9] Giordano, R., Serra, V., Tortalla, E., Valentini, V., and Aghemo, C. (2015). Embodied Energy and Operational Energy assessment in the framework of Nearly Zero Energy Building and Building Energy Rating. *Energy Procedia*, 78, 3204-3209.
- [10] Ramesh, and Khan, E. (2013). Energy efficiency in green buildings – Indian Concept. *International Journal of Technical Research and Applications*, 4, 77-80.
- [11] Crawford, R. H. (2008). Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. *Journal of Environmental Management*, 88(3), 496-506.
- [12] Wang, J., Yu, C., and Pan, W. (2018). Life Cycle Energy of High-rise Office Buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 167(1), 152-164.
- [13] Rauf, A., and Crawford, R. H., (2014). The Effect of Material Service Life on the Life Cycle Embodied Energy of Multi-Unit Residential Buildings. 1-8 In 49th International Conference of the Architectural Science Association. Melbourne, Australia.
- [14] Fay, R., Treloar, G., and Iyer-Raniga, U. (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Building Research & Information*, 28(1), 31-34.
- [15] Rossi, B., Marique, A.-F., and Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building and Environment*, 51, 402-407.

- [16] Salazar, J., and Meil, J. (2009). Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence. *Journal of Cleaner Production*, 17(17), 1563-1571.
- [17] König, H., and De Cristofaro, M. L. (2012). Benchmarks for life cycle costs and life cycle assessment of residential buildings. *Building Research and Information*, 40(5), 1-23.
- [18] Yan, H., Shen, Q., Fan, L. C. H., Wang, Y., and Zhang, L. (2010). Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. *Building and Environment*, 45, 949-955.
- [19] Blengini, G. A., and Carlo, T. D. (2010). Energy-saving policies and low-energy residential buildings: an LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(7), 652-665.
- [20] Syngros, G., Balaras C. A., and Koubogiannis, D. G. (2017). Embodied CO₂ Emissions in Building Construction Materials of Hellenic Dwellings. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 500-508.
- [21] Wu, H., Yuan, Z., Zhang, L., and Bi, J. (2012). Erratum to: Life cycle energy consumption and CO₂ emission of an office building in China. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(2), 105-118.
- [22] Suzuki, M., Oka, T., and Okada, K. (1995). The estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. *Energy and Buildings*, 22(2), 165-169.
- [23] Suzuki, M., and Oka, T. (1998). Estimation of life cycle energy consumption and CO₂ emission of office buildings in Japan. *Energy and Buildings*, 28(1), 33-41.