ค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Atch.S@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการการวิเคราะห์เพื่อจัดทำดัชนีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของอาคารในประเทศไทย ด้วยวิธีการประเมินตลอดช่วงก่อสร้างและใช้งาน โดยทำการเก็บข้อมูลการก่อสร้างอาคาร 3 ชนิด เพื่อสร้างอาคารอ้างอิงได้แก่บ้านเดี่ยว คอนโดมีเนียม และสำนักงานพื้นที่ประมาณ 10,000 m^2 หลังจากนั้นได้ทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2.1E เพื่อนำผลที่ได้มากำหนดเป็นค่าดัชนีการใช้พลังงานรายปี (Energy Utilization Index – EUI) ของอาคารอ้างอิง รวมทั้งค่าการปลดปล่อย CO_2 ในช่วงใช้สอยอาคาร (Operation CO_2) สำหรับช่วงการผลิตวัสดุและก่อสร้างอาคาร ได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุจากฐานข้อมูลในประเทศ เช่นข้อมูลจากองค์การจัดการก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งหาข้อมูลจากต่างประเทศเพื่อนำมาคำนวณค่าการปลดปล่อย CO_2 โดยทำการถอดแบบอาคารเพื่อคำนวณหาปริมาณวัสดุก่อสร้างที่ใช้ต่ออาคารหนึ่งหลัง เมื่อทำการรวมค่าการปลดปล่อย CO_2 จากวัสดุก่อสร้างอาคาร รวมกับการใช้สอยอาคารตลอด 30 ปี จึงได้ค่าการปลดปล่อย CO_2 ตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร แต่ทั้งนี้ยังไม่รวมการย่อยสลายทำลาย (disposal) และเมื่อนำมาหารด้วยจำนวนผู้ใช้อาคารเฉลี่ยจึงได้ค่าการปลดปล่อย CO_2 ต่อหัวสำหรับอาคารหลังหนึ่งๆ เป็นค่าดัชนีอ้างอิงได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ: ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดัชนีการใช้พลังงานในอาคาร การอนุรักษ์พลังงาน วัสดุก่อสร้าง คาร์บอนฟุตปรินต์

Building CO_2 Emission Index per capita in Thailand

Asst. Prof. Dr.Atch Sreshthaputra
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
Atch.S@chula.ac.th

Abstract

This paper presents the results of a research aiming at developing Carbon Footprints of buildings in Thailand using the Life Cycle Assessment (LCA) method. Data of three typical building types (i.e., single detached house, condominium, and office building) were collected in order to establish reference cases for energy simulation using the DOE-2.1E program. The Energy Utilization Index (EUI) were obtained and used for calculating the operational CO_2 emission. For the embodied CO_2, the production energy of building materials is estimated by taking off construction materials and their related energy used in the process of manufacturing. By using the global database of material production energy and country-specific Emission Factor, the CO_2 footprints of buildings for a period of 30 years without disposal are derived. Once the CO_2 footprints were divided by the average numbers of building users, the standardized building CO_2 emission per capita were established.

Keywords: CO_2 Emission, Life-Cycle Assessment, DOE-2 program, Energy Utilization Index, Carbon Footprint

ความเป็นมา

การก่อสร้างและใช้สอยอาคารเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมาก ตั้งแต่การขุดค้นหาวัตถุดิบ การแปรรูปวัตถุดิบ การขนส่ง รวมถึงกิจกรรมการก่อสร้างจนสำเร็จออกมาเป็นอาคารหนึ่งหลัง หลังจากที่อาคารก่อสร้างแล้วเสร็จ การใช้งานตลอดช่วงชีวิตของอาคารยังต้องใช้พลังงาน ซึ่งอาคารแต่ละหลังที่ได้รับการก่อสร้างจนมาถึงช่วงการใช้งานต่างใช้พลังงานรวมแตกต่างกันไป การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารหนึ่งหลังจึงไม่อาจประเมินได้ด้วยการก่อสร้างหรือการใช้สอยอาคารเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง จำเป็นต้องคำนึงถึงทั้งสองอย่างตลอดช่วงชีวิตของอาคาร การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าด้วยการวัดการใช้จริงจากการใช้สอยอาคาร สามารถทำได้ เพียงแต่มิใช่มาตรฐานระดับสากล เพราะในระดับสากลจะใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ (carbon footprint) ในหน่วยตันของ CO_2 ที่ถูกปล่อยออกมาตามประเภทของพลังงานที่ต่างกัน ปัจจุบันยังไม่มีการประเมินผลกระทบของอาคารต่อสิ่งแวดล้อม ในแง่ของการปลดปล่อย CO_2 ตลอดช่วงชีวิตของอาคารออกมาเป็นมาตรฐานของประเทศไทย เพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์การประเมินอาคาร งานวิจัยนี้จะพยายามสร้างวิธีและเครื่องมือการประเมินการปลดปล่อย CO_2 ของอาคารในประเทศไทย เพื่อนำมาใช้ประเมินอาคารที่มีอยู่เพื่อให้ได้ฐานการปล่อย CO_2 จากอาคาร

การวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อสำรวจลักษณะการก่อสร้างอาคารในประเทศ ในแง่ชนิดและปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร นำมาสร้างเป็นแบบอาคารอ้างอิง (reference building) เพื่อประเมินการใช้พลังงานจากการใช้สอยอาคารตลอดช่วงอายุ 30 ปี ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2.1E ผลที่ได้จะนำมาประเมินปริมาณการปลดปล่อย CO_2 จากอาคาร ทั้งจากกระบวนการผลิตวัสดุ การก่อสร้าง รวมทั้งการใช้สอย โดยเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนกับจำนวนผู้ใช้อาคาร

ขั้นตอนการศึกษา

ผู้วิจัยได้เก็บสำรวจลักษณะการปลูกสร้างและการใช้วัสดุอาคารในประเทศเพื่อสร้างรูปแบบอาคารอ้างอิงสำหรับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งเป็นบ้านพักอาศัย

สำนักงาน และอาคารชุดพักอาศัย หลังจากนั้นจึงทำการถอดปริมาณวัสดุเพื่อประเมินค่าการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุและก่อสร้างอาคาร พร้อมกับจำลองค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และแปลงเป็นค่าการปลดปล่อย CO_2 จากการก่อสร้างและใช้งานตลอด 30 ปี ค่ามาตรฐานที่ได้สามารถใช้ประกอบเป็นเกณฑ์การประเมินการออกแบบก่อสร้างและใช้สอยอาคาร ในหน่วยตันของคาร์บอนต่อผู้ใช้อาคาร ($TonCO_2$/คน) และตันของคาร์บอนต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้อาคาร ($TonCO_2/m^2$) อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้มีสมมติฐานว่าการใช้พลังงานของอาคารส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (emission factor) คงที่ตามประกาศขององค์การจัดการก๊าซเรือนกระจก และจะใช้ค่าดังกล่าวตลอด 30 ปีข้างหน้า ซึ่งค่าดังกล่าวอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคตที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเชื้อเพลิงที่อาจจะเปลี่ยนไป เช่น การใช้พลังงานนิวเคลียร์แทนพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ

การสำรวจเก็บตัวอย่างอาคาร

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจเก็บตัวอย่างอาคารในท้องตลาดเพื่อศึกษาลักษณะรูปแบบการวางผัง การใช้สอยพื้นที่อาคาร การใช้วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร งานระบบอาคาร ลักษณะการใช้สอยพื้นที่ ช่วงเวลาที่ใช้งานอาคาร สัดส่วนเนื้อที่ใช้สอยที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (window-to-wall ratio – WWR) วัสดุการก่อสร้างเปลือกอาคาร เพื่อนำมาสร้างเป็นรูปแบบอาคารอ้างอิงสำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม DOE-2.1 E

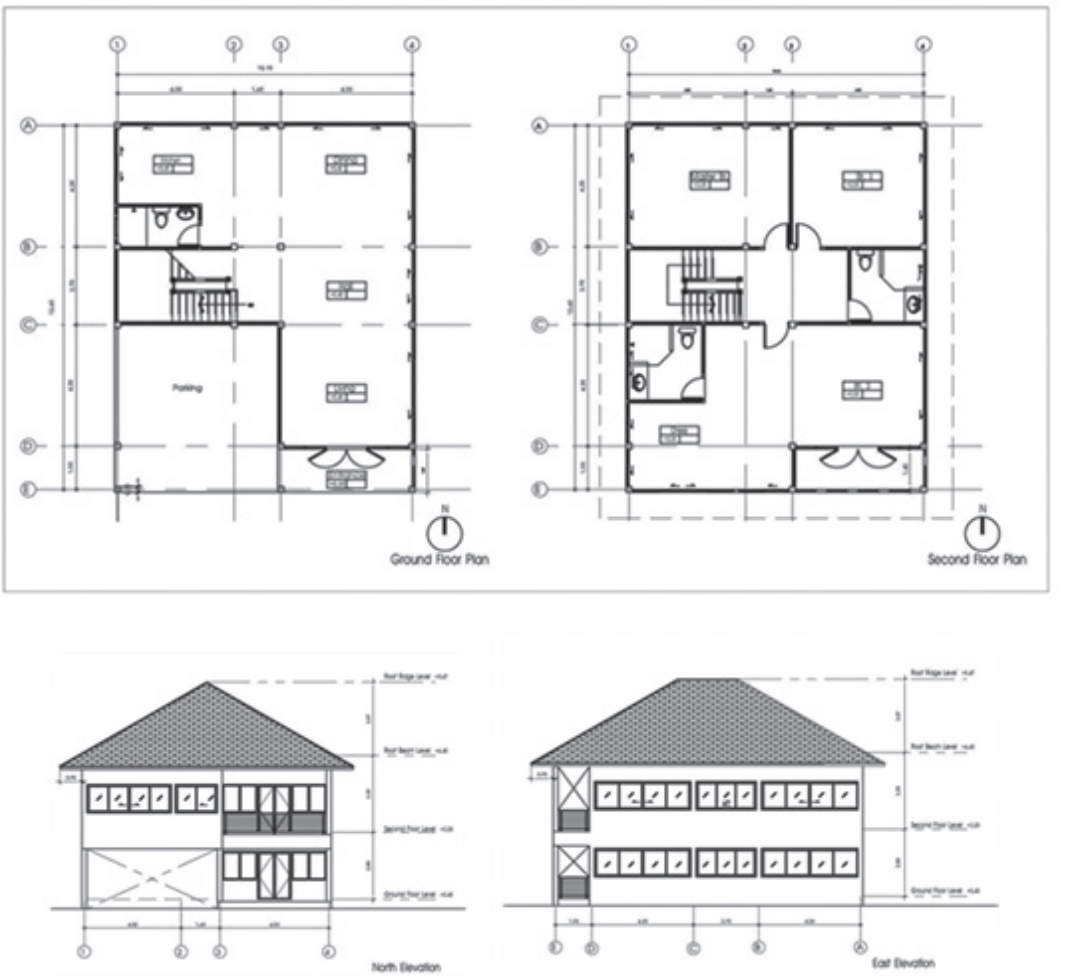
โปรแกรม DOE-2.1E เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งพัฒนาโดยกระทรวงพลังงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ช่วยคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากสถานีตรวจอากาศในที่ต่างๆ ทั่วโลก DOE-2.1E เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบความแม่นยำโดยนักวิจัยจากทั่วโลกมาตลอดระยะเวลากว่า 40 ปี ตั้งแต่โปรแกรมได้รับการเขียนขึ้นมา ซึ่ง DOE-2.1E ยังได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยพัฒนามาตรการและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการใช้พลังงานในหลายประเทศทั่วโลก โดยองค์ประกอบหลักของ DOE-2.1E จะมีทั้งสิ้น 2 ส่วน ได้แก่ LOADS SYSTEM PLANT และ ECONOMIC (LBNL 1994; 2001) ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระการทำความเย็น จนถึงการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารทั้งในส่วนของระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า DOE-2.1E จะคำนวณภาระการทำความเย็นจากปัจจัยภายนอกอาคารซึ่งได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศภายนอก นำมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคารซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อนำภาระการทำความเย็นจากภายนอกมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในแล้ว DOE-2.1E ก็จะสามารถคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน ในการจำลองการใช้พลังงานด้วย DOE-2.1E นี้ ได้ใช้ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพ ที่ถูกจัดให้อยู่ในรูป TMY ซึ่งไฟล์ข้อมูลนี้จัดทำโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และคณะ 2542) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอากาศรายชั่วโมงตลอดหนึ่งปีได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิหยดน้ำค้าง ความเร็วลม ทิศทางลม ความกดอากาศ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย)

การสำรวจเก็บข้อมูลรูปแบบบ้านพักอาศัย

การศึกษาการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอยไม่ต่ำกว่า 150 m^2 เริ่มต้นโดยการสุ่มเลือกตัวอย่าง อาคารที่ปลูกสร้างในบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล การศึกษาอาคารตัวอย่างมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ขนาดอาคาร ลักษณะพื้นที่ใช้สอย ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร

และลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคาร การเลือกเก็บตัวอย่างอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้นได้ทำโดยการสุ่มเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างบ้านที่ก่อสร้างในปัจจุบัน และภายใน 5 ปีที่ผ่านมา โดยได้ข้อมูลจากผู้ประกอบการบ้านจัดสรร บริษัทรับสร้างบ้าน และบ้านพักส่วนตัวที่เจ้าของทำการสั่งสร้างเอง

จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างบ้านพักอาศัย 2 ชั้นจำนวน 82 หลัง พบว่าลักษณะโดยรวมส่วนใหญ่ของอาคารบ้านจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนที่ว่างชั้นล่างสำหรับจอดรถ บางหลังอาจมีระเบียงห้องชั้นบน ทำโดยการยื่นส่วนของพื้นออกจากโครงสร้างหลักหรือถอยช่วงผนังเข้าไป ในตัวโครงสร้างหลัก จากการประมวลภาพรวมของกลุ่มอาคารศึกษา อาคารอ้างอิงที่ใช้ในการจำลองเพื่อศึกษาการใช้พลังงาน และการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารนี้ มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนชั้นล่างมีที่ว่างใต้อาคารสำหรับจอดรถ และมีระเบียงด้านบนของส่วนห้องนอนด้านหน้า สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคารประมาณ 20-30% อาคารอ้างอิงมีพื้นที่ใช้สอยรวม 264 m^2 คิดเป็นพื้นที่ใช้สอยภายในเท่ากับ 209 m^2 รูปแบบอาคารและแปลนอาคารแสดงในภาพที่ 1



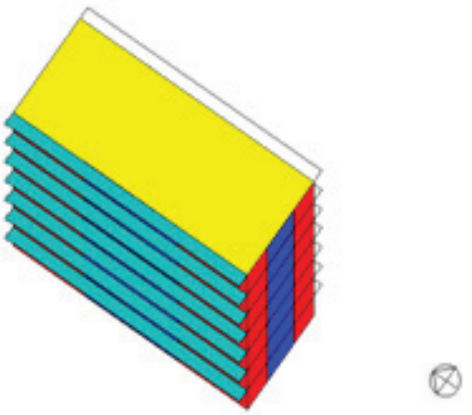
ภาพที่ 1: *แสดงรูปแบบอ้างอิงของบ้านเดี่ยว 2 ชั้น แบบมาตรฐาน*

ทางด้านสภาพแวดล้อมในอาคารในการจำลองอาคารอ้างอิงบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ได้กำหนดค่าสภาพแวดล้อมในอาคารที่ศึกษาให้มี ผู้อาศัย 4 คนต่อหลัง ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศเท่ากับ 25°C กำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นการกำหนดสำหรับห้องนอนชั้นบน และ ห้องรับแขกชั้นล่าง ในส่วนห้องนอน วันจันทร์-ศุกร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 22:00–06:00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ใช้เวลา 21:00–07:00 น. ส่วนห้องรับแขกชั้นล่าง วันจันทร์-ศุกร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 19:00–21:00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ใช้เวลา 18:00–21:00 น. ตั้งแต่วันจันทร์-ศุกร์ กำหนดให้มีผู้อาศัยเต็มจำนวนในระหว่างเวลา 18:00–07:00 น. การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างคำนวณจากแบบก่อสร้าง คิดเป็น 7.53 Watt/m^2 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ คิดเป็น 8.61 Watt/m^2 การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ทั้งหมด คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40% ในแต่ละชั่วโมง การใช้ไฟฟ้าอุปกรณ์ในพื้นที่ทั้งหมด คิดรวมเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35% ในแต่ละชั่วโมง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ประกอบด้วย โทรทัศน์ 3 เครื่อง วิทยุเครื่องเสียง 2 ชุด พัดลมตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง คอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ 2 ชุด เตาไมโครเวฟ 1 เครื่อง หม้อหุงข้าว 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำร้อน 2 เครื่อง เครื่องสูบน้ำ 1 เครื่อง

การสำรวจเก็บข้อมูลรูปแบบคอนโดมีเนียมและอาคารพักอาศัยรวม

การศึกษานี้ได้โดยเลือกเก็บตัวอย่างจากอาคารพักอาศัยรวม ทั้งแบบขายและให้เช่าที่มีพื้นที่อาคารประมาณ 10,000 m^2 โดยได้เลือกอาคารตัวอย่างจากบริษัทที่อยู่ในตลาดหลักทรัพย์ กลุ่มอาคารจากบริษัทเหล่านี้จะผ่านการออกแบบที่เอื้อให้ได้พื้นที่ใช้สอยเป็นอัตราส่วนที่มากที่สุดต่อขนาดของที่ดิน และใช้วัสดุที่เป็นมาตรฐานอาคารชุดพักอาศัย เช่น ตัวอาคารใช้กระจกสีเขียวตัดแสงหลังคามีฉนวนกันความร้อน เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถใช้อ้างอิงถึงรูปแบบอาคารที่เป็นมาตรฐานสำหรับในประเทศได้เพราะอาคารต่างๆ เหล่านี้ประสบความสำเร็จในการขาย ซึ่งจะสามารถเป็นแบบอย่างให้ผู้ประกอบการรายอื่นทั้งในระดับเดียวกันและรายย่อยใช้เป็นมาตรฐานในการทำโครงการ

จากการสำรวจเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษาจำนวน 20 อาคาร โดยเลือกอาคารพักอาศัยรวมที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 10,000 m^2 พบว่าส่วนใหญ่เป็นอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 7 ชั้น เพื่อมิให้มีความสูงอาคารเกิน 23 m อันที่จะทำให้ต้องเข้าข่ายอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร ซึ่งห้องพักจะมีขนาดไม่ใหญ่มาก โดยเฉลี่ยจะมีพื้นที่ห้องพักต่อหน่วยไม่เกิน 60 m^2 สำหรับการวางผัง พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปทรงสี่เหลี่ยม การเรียงห้องพักและเส้นทางสัญจรภายในสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดหลักๆ ได้แก่การใช้ทางเดินกลางอยู่ระหว่างห้องพักสองข้าง (double-loaded corridor) และการใช้ทางเดินริมนอกอาคาร (single-loaded corridor) โดยทั้งสองแบบจะมีการจัดวางตำแหน่งห้องน้ำแบบทั้งที่ที่ติดผนังภายนอกอาคาร และไม่ติดผนังภายนอกอาคาร และมีการใช้ห้องชั้นล่างสุดเป็นพื้นที่ร้านขายของ หรือมิฉะนั้นก็จะเป็นพื้นที่โล่งสำหรับจอดรถ ลักษณะอาคารที่จะใช้ในการจำลองนี้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านกว้าง ยาว 25 m ด้านยาว ยาว 50 m ความสูงต่อชั้นจากพื้นถึงพื้นสูง 3.25 m ความสูงของอาคารทั้งหมด 7 ชั้น ที่ความสูงรวม 22.75 m รูปแบบอาคารและแปลนอาคารแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2: *แสดงรูปแบบมาตรฐานของคอนโดมีเนียมพักอาศัย 7 ชั้น สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E*

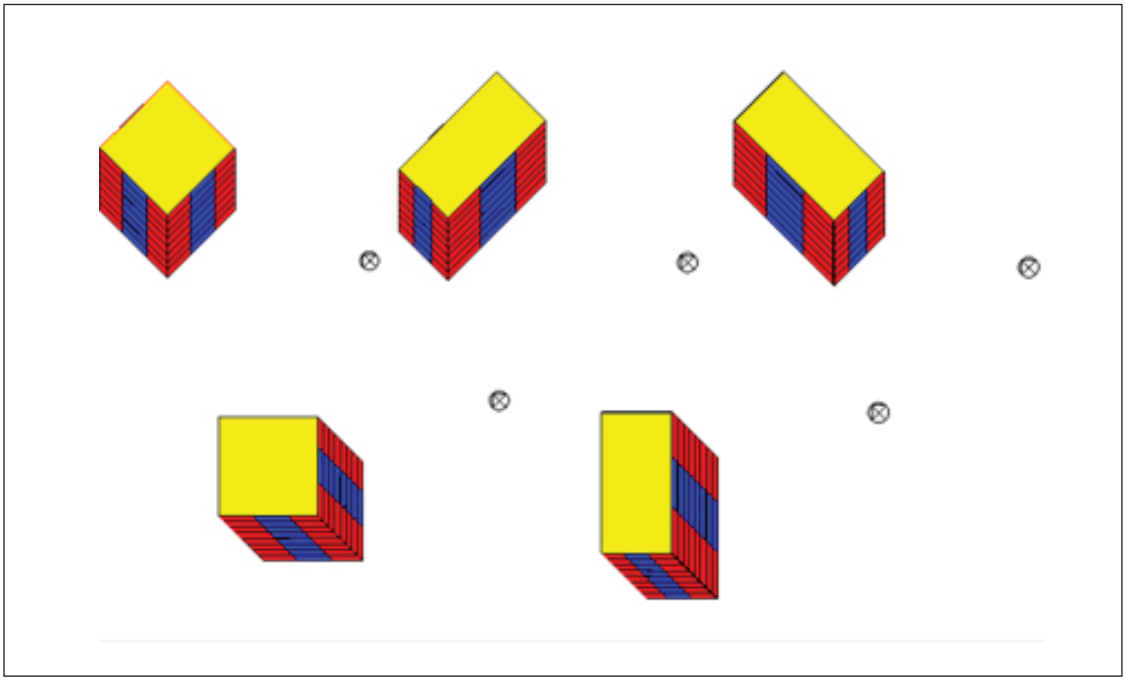
ในการกำหนดสภาพแวดล้อมในการจำลองอาคารอ้างอิง ได้มีการกำหนดค่าสภาพแวดล้อมในอาคารให้มีผู้อาศัย 2 คนต่อห้อง ห้องละ 60 m^2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 25°C กำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ ในวันจันทร์-ศุกร์ ใช้เครื่องปรับอากาศที่เวลา 22:00–06:00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ที่เวลา 21:00–07:00 น. ตั้งแต่วันจันทร์-ศุกร์ กำหนดให้มีผู้อาศัยในระหว่างเวลา 18:00–07:00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีผู้อาศัยคิดเป็นจำนวน 80% ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างคิดเป็น 7.53 Watt/m^2 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์คิดเป็นปริมาณ 8.61 Watt/m^2 การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ทั้งหมดคิดรวมเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40% ในแต่ละชั่วโมง การใช้ไฟฟ้าอุปกรณ์ในพื้นที่ทั้งหมดคิดรวมเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35% ในแต่ละชั่วโมง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละยูนิตประกอบด้วย โทรทัศน์ 1 เครื่อง วิทยุเครื่องเสียง 1 ชุด พัดลมตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง คอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ 1 ชุด เตาไมโครเวฟ 1 เครื่อง หม้อหุงข้าว 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำร้อน 1 เครื่อง

การสำรวจเก็บข้อมูลรูปแบบอาคารสำนักงาน

ในการสำรวจอาคารสำนักงาน ได้ทำการจัดเก็บข้อมูลจากสิ่งพิมพ์ และฐานข้อมูลเกี่ยวกับอาคารประเภทต่าง ๆ โดยผู้วิจัยได้สืบค้นข้อมูลอาคารที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารสมาคมสถาปนิกสยามภายในระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุอาคาร รวมทั้งงานระบบวิศวกรรมอาคาร นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทำการสืบค้นข้อมูลและสัมภาษณ์สถาปนิกจากสำนักงานสถาปนิกจำนวนหนึ่งเกี่ยวกับแนวโน้มในการออกแบบอาคารพาณิชย์ประเภทต่างๆ จากการสำรวจอาคารกรณีศึกษาประเภทสำนักงานที่มีพื้นที่ใช้สอยระหว่าง 1,000–10,000 m^2 จำนวน 12 อาคาร พบว่าส่วนใหญ่มีรูปทรงไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างที่ดิน ส่วนใหญ่จะเป็นอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 7 ชั้น เพื่อมิให้มีความสูงอาคารเกิน 23 m อันที่จะทำให้ต้องเข้าข่ายอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร แต่ในบางกรณีจะพบอาคารที่มีความสูงถึง 10–11 ชั้น สำหรับการวางผังอาคาร พบว่าส่วนใหญ่จะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมเพื่อใช้ประโยชน์จากพื้นที่ขายหรือพื้นที่ให้เช่าอย่างเต็มที่ นอกจากนี้ทางด้านการวางผังอาคารก็จะถูกจำกัดโดยขนาดและพื้นที่ของที่ดิน รวมทั้งระยะช่วงเสาโครงสร้างอาคารที่ประหยัดที่สุดคือ 8 m รูปแบบอาคารและแปลนอาคารแสดงในภาพที่ 3

ทางด้านระบบโครงสร้างอาคาร พบว่าใช้ระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนมาก ในส่วนของหลังคาจะใช้คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่เพื่อวางอุปกรณ์งานระบบอาคารเช่นระบบประปา ระบบลิฟท์ ระบบปรับอากาศ ทางด้านการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร งานผนังภายนอกที่พบส่วนใหญ่จะใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหรือก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีเป็นวัสดุหลัก อาจมีการบุผนังด้วยแผ่นหินแกรนิตหรือกระเบื้องเซรามิคอีกด้วย แต่ในอาคารสำนักงานเอกชนรุ่นใหม่จะมีการใช้ผนังอลูมิเนียมคอมโพสิทมากขึ้น ทางด้านการเลือกวัสดุหน้าต่าง มีการใช้หน้าต่างวงกบอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ ลูกฟักกระจกใสและกระจกตัดแสง มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดบ้าง โดยเฉพาะในอาคารสำนักงานราชการที่ใช้กระจกใส สำหรับสัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังภายนอก พบว่าในอาคารภาครัฐที่ใช้กระจกใสร่วมกับอุปกรณ์บังแดด จะมีค่า WWR น้อย ประมาณ 40% แต่ในอาคารเอกชนที่ใช้กระจกที่ประสิทธิภาพสูง ได้แก่ กระจกสะท้อนแสง จะมีค่า WWR สูง โดยจะมีค่าประมาณ 60–70%

สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พบว่าส่วนใหญ่ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นชนิดกล่องไฟฝังในฝ้าเพดาน ส่วนระบบปรับอากาศ จะสามารถแบ่งได้เป็นสองกลุ่มได้แก่ ระบบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และระบบเครื่องปรับอากาศรวมศูนย์แบบมีท่อลม โดยระบบแยกส่วนมักจะใช้ในอาคารสำนักงานขนาดเล็กที่มีภาระการทำความเย็นไม่มาก หรือมิฉะนั้นก็จะเป็นอาคารราชการที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายหลัง ในการจำลองอาคารอ้างอิง ได้มีการกำหนดค่าสภาพแวดล้อม



ภาพที่ 3: *รูปแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงาน 7 ชั้น ที่ได้ทำการจำลองหลายทิศทางเพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน*

ในอาคารที่ศึกษาให้มีผู้ใช้งาน 7 ตรม. ของพื้นที่นั่งทำงานต่อคน เมื่อรวมพื้นที่ทั้งอาคารจะได้ 25 m^2/คน มีการตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 25°C กำหนดเวลาการใช้อาคารในวันจันทร์-ศุกร์ เวลา 8:00–18:00 น. การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 16 Watt/m^2 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์สำนักงานเท่ากับ 16 Watt/m^2 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกชิ้น (EER) เท่ากับ 11.5 ค่า WWR เท่ากับ 50%

ผลการจำลองการใช้พลังงานอาคารประเภทต่างๆ ด้วยโปรแกรม DOE-2.1E สามารถสรุปดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทต่างๆ โดยการหาค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานต่อตรม.ต่อปีเฉลี่ยของอาคารรูปทรงต่างๆ (ผู้วิจัยได้ทำการจำลองอาคารหลายรูปทรง เช่นอาคารชุดพักอาศัย อาคารสำนักงาน) พบว่าบ้านพักอาศัย 2 ชั้นมีการใช้พลังงาน 78 kWh/m^2.Yr อาคารชุดพักอาศัย 7 ชั้นมีการใช้พลังงาน 135 kWh/m^2.Yr และสำนักงาน 7 ชั้นมีการใช้พลังงาน 166.12 kWh/m^2.Yr

การปลดปล่อยคาร์บอนจากการก่อสร้างอาคาร

สำหรับการคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ งานวิจัยนี้ได้ใช้ฐานข้อมูลนานาชาติจาก Inventory of Carbon and Energy -- ICE Version 2 จัดทำโดย Sustainable Energy Research Team (SERT) the Department of Mechanical Engineering University of Bath, UK (Hammond and Jones, 2004) เนื่องจากฐานข้อมูลดังกล่าวสำหรับประเทศไทยยังไม่มีการจัดทำและเปิดเผยอย่างเป็นทางการในขณะที่ทำวิจัยนี้ ในส่วนของการแปลงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เป็นค่าการปลดปล่อย CO_2 ของประเทศไทย งานวิจัยนี้ใช้ค่าที่จัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.594 kgCO_2/kWh โดยทั้งนี้ได้กำหนดให้พลังงานไฟฟ้าผลิตได้จากพลังงานเชื้อเพลิงความร้อนมีค่า 1 Mj เท่ากับ 0.28 kWh (สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ 2553)

รูปแบบอาคารมาตรฐานดังกล่าวได้ถูกนำมาถอดหาพื้นที่และปริมาณวัสดุก่อสร้าง ทั้งด้านโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็ก ปูน กระจก อลูมิเนียม ประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดาน ตามตารางแจกแจงวัสดุ ตารางที่ 1-2 แสดงตัวอย่างการถอดปริมาณวัสดุเพื่อคำนวณการใช้พลังงานในการผลิตของบ้านเดี่ยวและคอนโดมีเนียมตามลำดับ โดยทั้งนี้ไม่รวมวัสดุตกแต่งภายใน เครื่องเรือน สีทาอาคาร กาวและสารยาแนว ระบบไฟฟ้า ระบบประปาสุขาภิบาล และโถส้วมสุขภัณฑ์

หลังจากทำการคำนวณและถอดปริมาณวัสดุทั้งหมดแล้ว จึงนำปริมาณวัสดุไปหาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุ (embodied energy) โดยอ้างอิงมาตรฐาน ICE Version 2 ในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัม (Mj/kg) ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมดจึงถูกนำคำนวณหาอัตราการปลดปล่อย CO_2 หรือที่เรียกว่า embodied CO_2 emission ในหน่วยกิโลกรัมของ CO_2 ($kgCO_2$)

ผลการประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนของอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น พื้นที่ 264 m^2 พบว่ามีการปลดปล่อยรวมทั้งสิ้น 278,494.40 $kgCO_2$ หรือ 278.49 $TonCO_2$ วัสดุที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยมากที่สุดคือกระเบื้องหลังคาคอนกรีต ผนังก่ออิฐมอญ และโครงสร้างคอนกรีตโดยทั้งนี้วัสดุประเภทอลูมิเนียม กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและเหล็ก พบว่ามีการใช้พลังงานในการผลิตที่สูงมากกว่า

ตารางที่ 1: แสดงการถอดแบบหาปริมาณวัสดุก่อสร้างอาคาร และการคำนวณ embodied energy และการปลดปล่อย CO_2 ของบ้านพักอาศัย 2 ชั้นมาตรฐาน

วัสดุ (บ้านพักอาศัย 264 m^2)	ปริมาณที่ใช้ในอาคาร	unit	น้ำหนัก kg/unit	embodied energy Mj/kg	embodied carbon $kgCO_2$
คอนกรีต	88.53	m^3	2,400.00	0.75	26,294.18
เหล็กRB6	2,155.80	m	0.22	17.40	1,361.65
เหล็กDB12	2,477.20	m	2.47	17.40	17,566.74
อิฐมอญ	239.36	m^2	360.00	3.00	42,653.95
ปูนฉาบ	4.79	m^3	2,403.00	0.82	1,556.44
เหล็กโครงหลังคา (2x6)	110.80	m	26.00	21.50	10,219.64
เหล็กโครงหลังคา (2x4)	185.30	m	19.10	22.50	13,139.39
เหล็กโครงหลังคา (1x2)	557.90	m	10.10	23.50	21,848.90
กระเบื้องหลังคาซีแพคโมเนีย	204.38	m^2	81.75	37.00	102,005.23
ฝ้ายิปซั่มบอร์ด	218.49	m^2	6.25	1.80	405.57
ฝ้าซีเมนตแผ่นเรียบ	0.18	m^3	1,260.00	10.40	390.14
เคร่าฝ้า	329.50	m	5.00	21.50	5,844.51
พื้นไม้	94.39	m^2	14.00	10.00	2,180.41
พื้นกระเบื้องเซรามิค	124.10	m^2	1.93	12.00	474.24
วงกบและบานกรอบอลูมิเนียม powder coat	474.90	m	0.16	214.00	2,716.53
ลูกฟักกระจกใส	52.08	m^2	14.60	15.00	1,881.91
วงกบประตูไม้	29.60	m^3	510.00	10.00	24,908.40
ประตูไม้	4.08	m^2	408.00	10.00	2,746.66
ประตูMDF	0.18	m^3	900.00	11.00	299.91
Total embodied carbon					**278,494.40**

ตารางที่ 2: แสดงการถอดแบบหาปริมาณวัสดุก่อสร้างอาคาร และการคำนวณ embodied energy และการปลดปล่อย CO_2 ของอาคารคอนโดมีเนียมพักอาศัยแบบ double loaded corridor

วัสดุ (คอนโดมิเนียม 9,205 m^2) (double loaded corridor)	ปริมาณที่ใช้ในอาคาร	unit	น้ำหนัก kg/unit	embodied energy Mj/kg	embodied carbon $kgCO_2$
คอนกรีต	3,363.72	m^3	2,400.00	0.75	999,025.79
เหล็กRB6	94,756.58	m	0.22	17.40	59,850.15
เหล็กDB12	27,091.08	m	2.47	17.40	192,112.87
อิฐมอญ	11,386.34	m^2	360.00	3.00	2,029,045.79
ปูนฉาบ	216.16	m^3	2,403.00	0.82	70,279.21
ฝ้ายิปซั่มบอร์ด	8,083.32	m^2	6.25	1.80	15,004.66
เคร่าฝ้า	10,104.15	m	5.00	21.50	179,222.36
พื้นกระเบื้องเซรามิค	8,083.32	m^2	1.93	12.00	30,889.60
วงกบและบานกรอบอลูมิเนียม	6,895.84	m	0.16	214.00	39,445.72
ลูกฟักกระจกใส	1,444.38	m^2	14.60	15.00	52,192.67
วงกบประตูไม้	3.60	m^3	510.00	10.00	3,029.40
ประตูไม้	230.40	m^2	408.00	10.00	155,105.28
Total embodied carbon					**3,825,203.51**

วัสดุก่อสร้างอื่นๆ เมื่อเทียบต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก เมื่อทำการประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่อาคารพบว่ามีค่าการปลดปล่อย 1,055 $kgCO_2/m^2$ ของพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งอาคาร และหากเทียบต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร 4 คนต่อบ้าน 1 หลัง พบว่าอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนคือ 69,624 $kgCO_2$/คน

ผลการประเมินอาคารคอนโดมีเนียมพักอาศัย 7 ชั้น แบบ double loaded corridor พื้นที่ 9,205 m^2 พบว่ามีการปลดปล่อยรวมทั้งสิ้น 3,825,203.51 $kgCO_2$ หรือ 3,825.20 $TonCO_2$ คิดเป็น 416 $kgCO_2/m^2$ ของพื้นที่ใช้สอย ซึ่งน้อยกว่าบ้านเดี่ยว 2 ชั้นมากกว่าเท่าตัว และหากเทียบต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร 292 คนต่ออาคาร 1 หลัง (146 ยูนิตๆ ละ 2 คน) พบว่าอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนคือ 13,100 $kgCO_2$/คน ซึ่งน้อยกว่าบ้านเดี่ยว 2 ชั้น ถึง 5 เท่า

ผลการประเมินอาคารคอนโดมีเนียมพักอาศัย 7 ชั้น แบบ single loaded corridor พื้นที่ 9,205 m^2 พบว่ามีการปลดปล่อยรวมทั้งสิ้น 3,423,161.49 $kgCO_2$ หรือ 3,423.16 $TonCO_2$ ซึ่งไม่แตกต่างจากคอนโดมีเนียมพักอาศัยแบบ double loaded corridor คิดเป็น 372 $kgCO_2/m^2$ ของพื้นที่ใช้สอย และหากเทียบต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร พบว่าอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนคือ 11,723 $kgCO_2$/คน

ผลการประเมินอาคารสำนักงาน 7 ชั้น พื้นที่ 11,375 m^2 พบว่ามีการปลดปล่อยรวมทั้งสิ้น 3,763,776.04 $kgCO_2$ หรือ 3,763.77 $TonCO_2$ ซึ่งไม่แตกต่างจากอาคารประเภทคอนโดมีเนียมพักอาศัย โดยวัสดุที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยมากที่สุดคือผนังก่ออิฐมอญ โครงสร้างคอนกรีต และโครงเคร่าฝ้าเพดานอลูมิเนียม เมื่อทำการประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่อาคารพบว่า อาคารสำนักงานมีค่าการปลดปล่อย 331 $kgCO_2/m^2$ ของพื้นที่ใช้สอย ซึ่งใกล้เคียงกับคอนโดมีเนียมพักอาศัย เมื่อเทียบต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร 455 คนต่ออาคาร 1 หลัง (25 m^2/คน) พบว่าค่าการปลดปล่อยคาร์บอนคือ 8,272 $kgCO_2$/คน ซึ่งน้อยกว่าอาคารคอนโดมีเนียมพักอาศัย เนื่องมาจากความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารต่อพื้นที่อาคาร

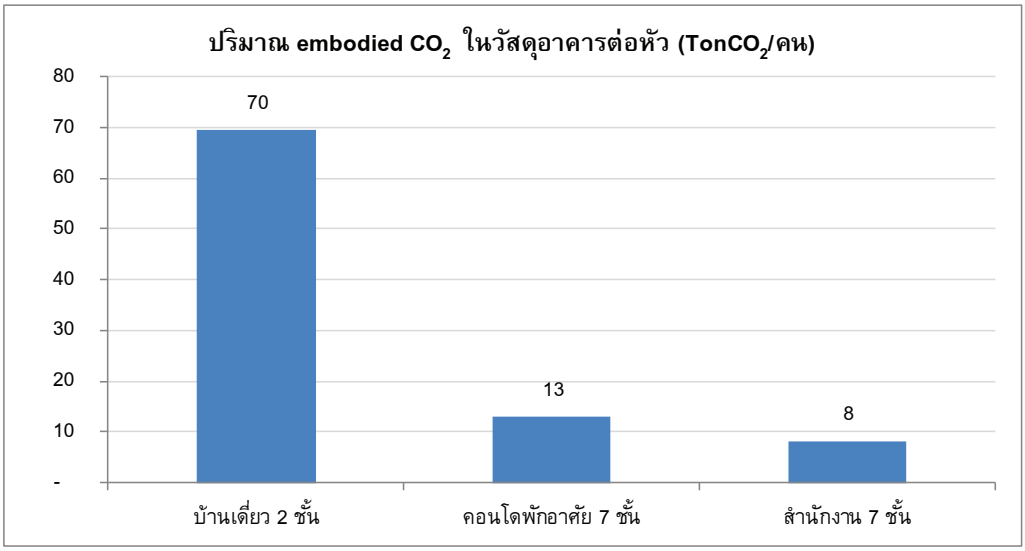
ตารางที่ 3: สรุปปริมาณการปลดปล่อย CO_2 จากการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคาร และการใช้สอยอาคารตลอดอายุการใช้งานอาคาร 30 ปี เปรียบเทียบอาคาร 3 ประเภท

	หน่วย	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	คอนโดพักอาศัย 7 ชั้น	สำนักงาน 7 ชั้น
พื้นที่อาคาร	m^2	264	9,205	11,375
จำนวนคนใช้อาคาร	คน	4	292	455
Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	$TonCO_2$	278	3,825	3,764
Embodied CO_2 ต่อคนใช้อาคาร	$TonCO_2$/คน	70	13	8
Embodied CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร	$TonCO_2/m^2$	1.05	0.42	0.33
Operation Energy Use Index (EUI)	$kWh/m^2.Yr$	78	135	166
Annual Operation Energy	kWh/Yr	20,592	1,242,675	1,888,250
Annual Operation CO_2	$TonCO_2$/Yr	12.2	738.1	1,122
อายุการใช้งานอาคาร	Yr	30	30	30
Total Life Operation CO_2	$TonCO_2$	367	22,144	33,649
Total Life CO_2 (Embodied + Operation)	$TonCO_2$	**645**	**25,970**	**37,412**
% of Embodied CO_2 จาก Total Life CO_2	%	**43%**	**15%**	**10%**
Total Life CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร	$TonCO_2/m^2$	**2.4**	**2.8**	**3.3**
Total Life CO_2 ต่อคนใช้อาคาร	$TonCO_2$/คน	**161**	**89**	**82**

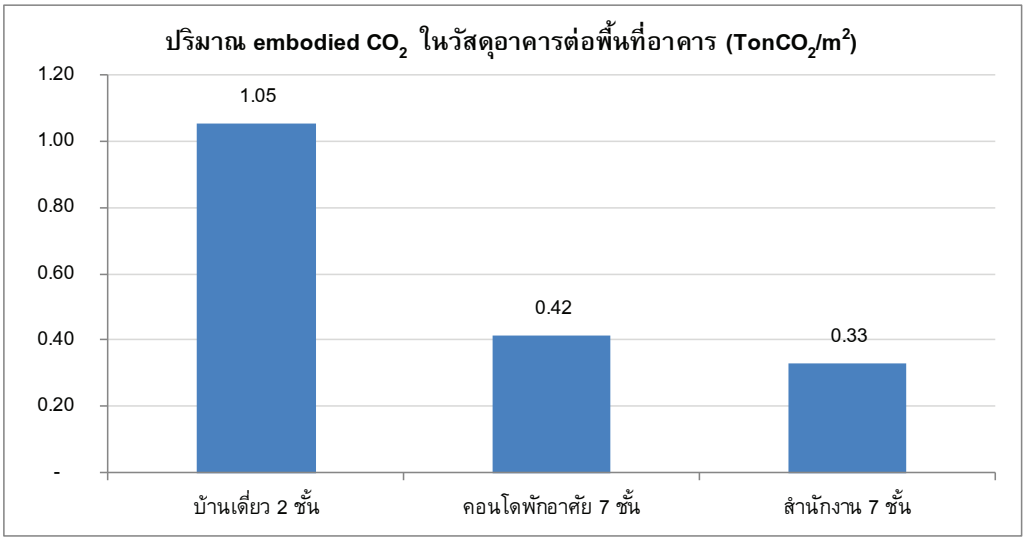
การปลดปล่อย CO_2 ตลอด 30 ปี

ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการก่อสร้างอาคารแสดงในตารางที่ 3 ในแผนภูมิที่ 1 แสดงว่า อาคารบ้านเดี่ยว 2 ชั้นมีค่าการปล่อยคาร์บอนจากการก่อสร้างต่อคนสูงที่สุด มากกว่าคอนโดมิเนียมและอาคารสำนักงานถึง 6-10 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของการใช้อาคารบ้านเดี่ยว 2 ชั้นมีค่าต่ำกว่าอาคารอีก 2 ประเภทหรือในอีกนัยหนึ่ง อาคารทั้งสองประเภทหลังมีการใช้ทรัพยากรอย่างเต็มที่ และมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ทรัพยากรในการก่อสร้างบ้านเดี่ยว 2 ชั้น การก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่มีผู้ใช้อาคารจำนวนมาก หากมีการจัดการและออกแบบให้ใช้ประโยชน์พื้นที่ และทรัพยากรอย่างเต็มประสิทธิภาพจะช่วยลดอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญ แผนภูมิที่ 2 แสดงให้เห็นค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหน่วยพื้นที่อาคารของบ้านเดี่ยว 2 ชั้นมีค่าที่สูงกว่าอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยและอาคารสำนักงานมากถึง 2-3 เท่า

หากพิจารณาการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของอาคาร 30 ปี กิจกรรมการใช้สอยอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการปรับอากาศ แสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อรวมกันทั้งหมด อาคารขนาดใหญ่เช่นคอนโดมิเนียมพักอาศัยและสำนักงานจะมีปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าบ้านเดี่ยว 2 ชั้น เนื่องมาจากความหนาแน่นต่อพื้นที่ที่มากกว่า การใช้ลิฟท์ขนส่งทางตั้งและกิจกรรมการใช้สอยอาคารสำนักงานที่ทำงานในเวลากลางวัน และเดินเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางวันที่อากาศร้อน และมีแสงแดด ทำให้การใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศมีค่าที่สูงกว่าบ้านเดี่ยว 2 ชั้นที่ผู้ใช้อาคารใช้งานในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่อาคารต่อปีแสดงในแผนภูมิที่ 3 ที่ได้มาจากการจำลองการใช้พลังงานของอาคารทั้ง 3 ประเภทด้วยโปรแกรม DOE-2.1E โดยค่าที่โปรแกรมคำนวณออกมาจะอยู่ในรูปของการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) โดย 1 หน่วยของการใช้พลังงานไฟฟ้า จะนำมาซึ่งปริมาณการปลดปล่อย CO_2 เท่ากับ 0.594 $kgCO_2$ (อ้างอิงจากข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก หรือ TGO – Thailand Greenhouse Gas Management Organization)

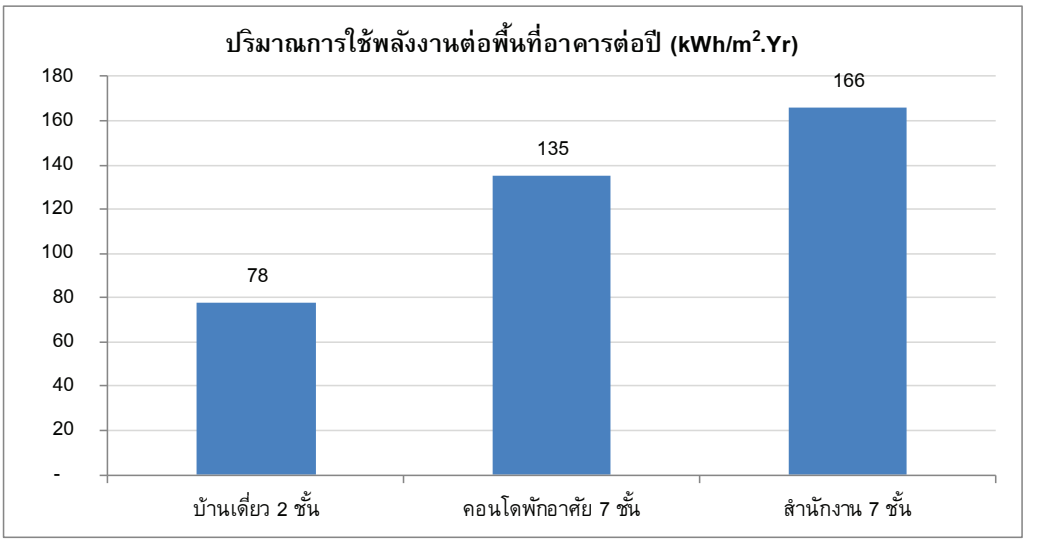


แผนภูมิที่ 1: *แสดงปริมาณ Embodied CO_2 ในวัสดุก่อสร้างเทียบต่อหัวผู้ใช้อาคาร (TonCO_2/คน)*

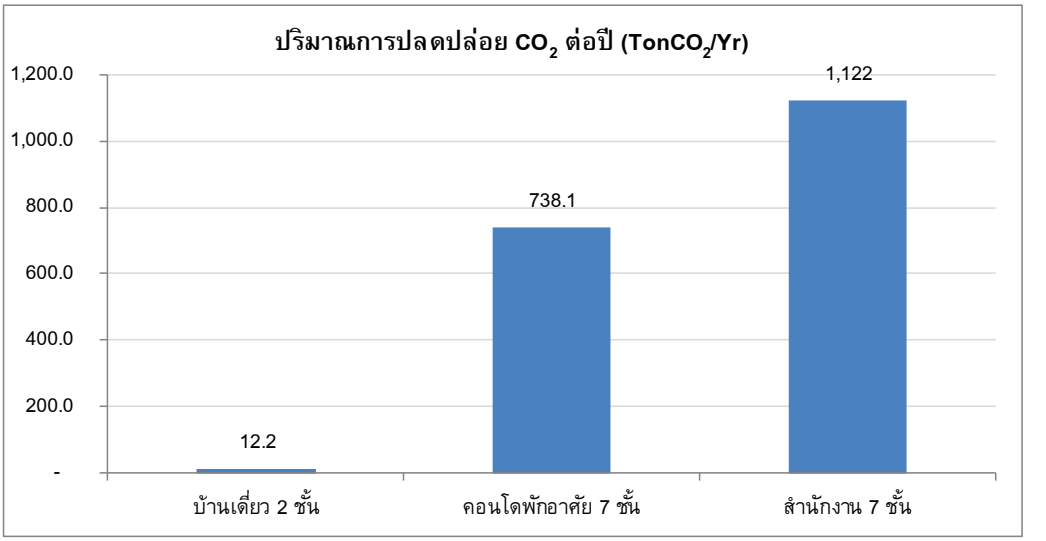


แผนภูมิที่ 2: *แสดงปริมาณ Embodied CO_2 ในวัสดุก่อสร้างเทียบต่อพื้นที่ใช้สอย (TonCO_2/m^2)*

เมื่อทำการแปลงค่าการใช้พลังงานเป็นปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน จึงได้ค่าการปลดปล่อยช่วงการใช้งานอาคารตามแผนภูมิที่ 4 ซึ่งพบว่าอาคารสำนักงานมีค่าการปลดปล่อย CO_2 สูงมากตามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แผนภูมิที่ 5 แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ตลอด 30 ปีจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในช่วงระยะเวลาการใช้งานอาคาร 30 ปี อาคารสำนักงานและคอนโดมีเนียมพักอาศัย มีการปลดปล่อยคาร์บอนเป็นปริมาณที่มากกว่าบ้านเดี่ยว 2 ชั้นเกือบ 100 เท่า แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยจากวัสดุก่อสร้างอาคาร ความแตกต่างยังคงสูงถึง 50 เท่า ดังแสดงในแผนภูมิที่ 6

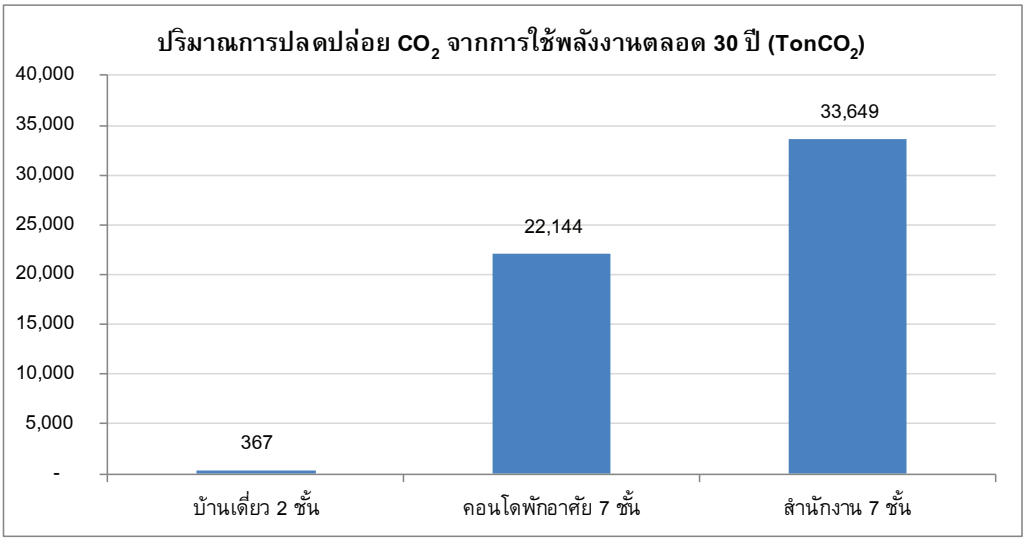


แผนภูมิที่ 3: *แสดงดัชนีการใช้พลังงานอาคาร 3 ประเภท (Energy Use Index: EUI) (kWh/m².yr)*

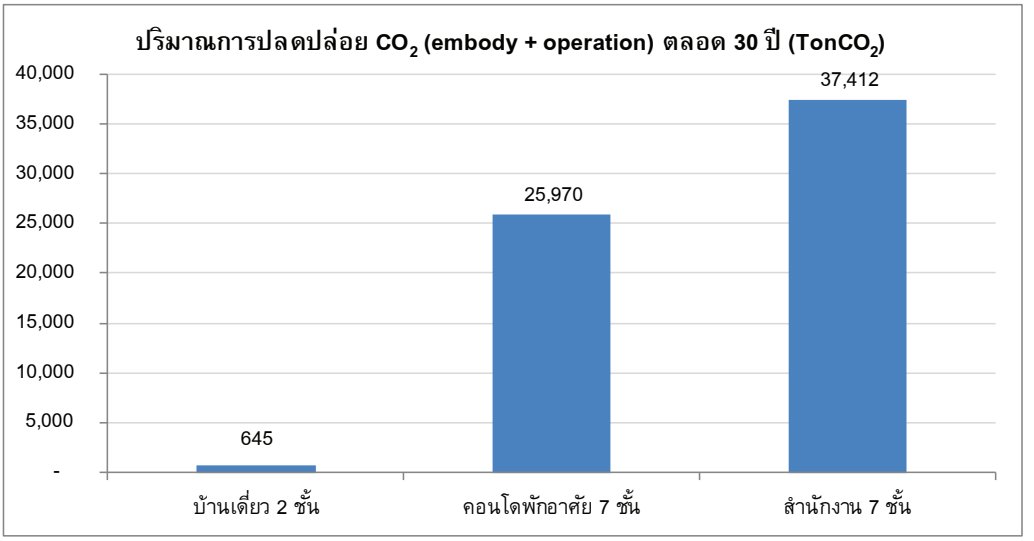


แผนภูมิที่ 4: *แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ต่อปีจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 3 ชนิด (ใช้ค่า Carbon Intensity เท่ากับ 0.594 $kgCO_2$/kWh)*

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร ($TonCO_2/m^2$) ของอาคารขนาดเล็กเช่นบ้านเดี่ยว 2 ชั้นมีค่าสูงเมื่อเทียบกับอาคารขนาดใหญ่ก็คือพื้นที่วัสดุผนังอาคารทั้งภายนอก และผนังกั้นห้องภายใน ซึ่งมีปริมาณเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบสัดส่วนกับพื้นที่และปริมาตรของทั้งอาคาร ในขณะที่ปริมาณการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับจำนวนคนที่อาศัย กิจกรรมการทำงาน และช่วงเวลาใช้สอยอาคาร โดยอาคารในเขตร้อนจะใช้พลังงานจากการปรับอากาศสูงในเวลากลางวัน ทำให้ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนมีค่าสูง สำหรับอาคารที่ใช้งานใน

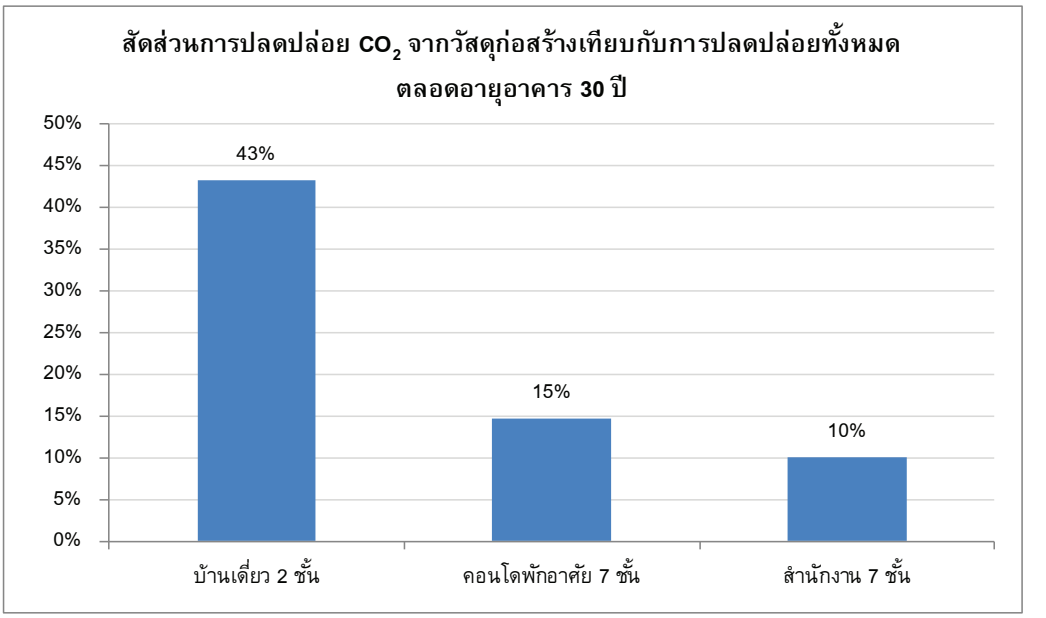


แผนภูมิที่ 5: *แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ตลอด 30 ปีจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 3 ชนิด (ใช้ค่า Carbon Intensity เท่ากับ 0.594 $kgCO_2/kWh$)*



แผนภูมิที่ 6: *แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ตลอด 30 ปีจากทั้งการก่อสร้างและการใช้พลังงานไฟฟ้า*

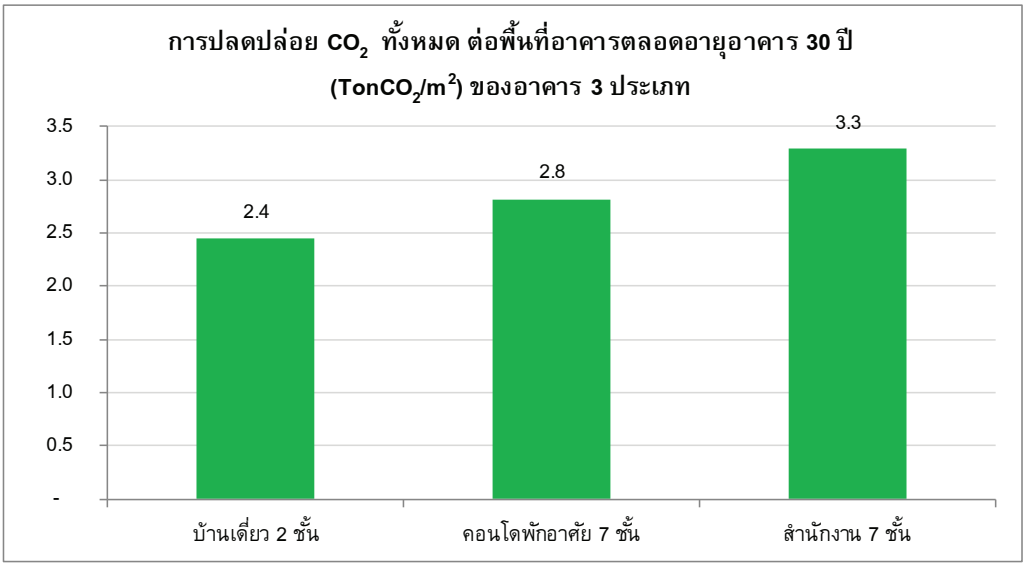
เวลากลางคืนเป็นหลักเช่นบ้านพักอาศัย การปลดปล่อยคาร์บอนจากบ้านพักอาศัยในแต่ละเขตอากาศจะแตกต่างกันอย่างมาก บ้านพักอาศัยในเขตหนาวจะมีการใช้พลังงานสูงในเวลากลางคืน เนื่องจากการทำความอบอุ่นด้วยเครื่องทำความร้อนมีปริมาณสูงในเวลากลางคืนที่มีอากาศหนาวเย็น แต่ในเมืองร้อนอย่างประเทศไทย การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยจะต่ำกว่า ดังนั้นในแผนภูมิที่ 7 พบว่ามีการปลดปล่อยคาร์บอนในช่วงการก่อสร้างบ้านเดี่ยว 2 ชั้นในอัตราที่สูงถึง 43% ของการปลดปล่อยตลอดช่วงอายุของบ้าน ในขณะที่ค่านี้มักจะมีสัดส่วนที่ต่ำ



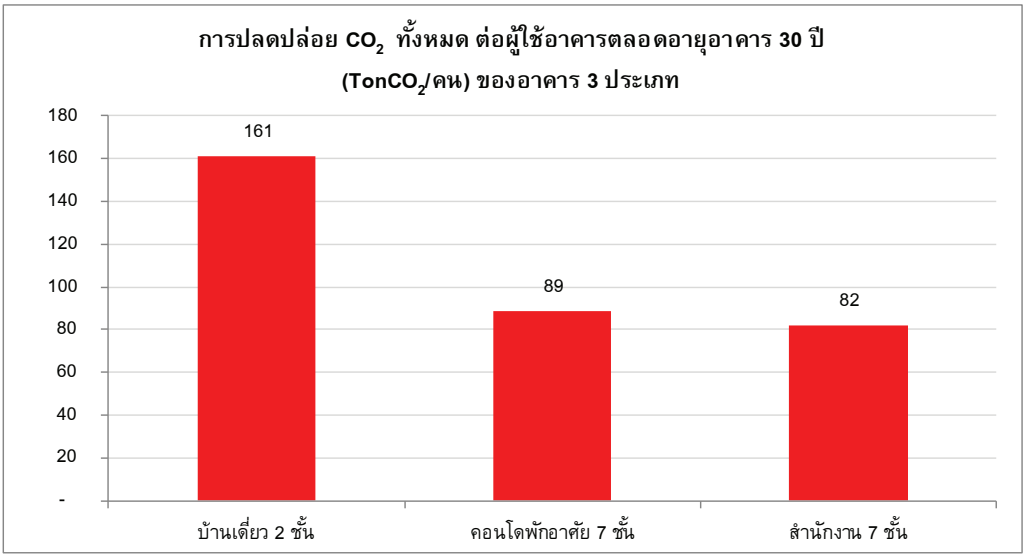
แผนภูมิที่ 7: *แสดงสัดส่วนปริมาณการปลดปล่อย CO_2 จากการก่อสร้างกับการปลดปล่อยทั้งหมดตลอด 30 ปี*

กว่าในบ้านพักอาศัยในเขตหนาว แต่สำหรับอาคารที่ใช้งานเวลากลางวันจะพบว่าอาคารสำนักงานจะมีค่าสัดส่วนดังกล่าวที่ต่ำกว่า คือมีประมาณเพียง 10% เนื่องจากพลังงานจำนวนมากจะถูกใช้ในช่วงการใช้สอยอาคารมากกว่าช่วงการก่อสร้างอาคาร

หากพิจารณาการปลดปล่อยคาร์บอนในอัตราส่วนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใช้สอย พบว่าตัวแปรที่มีผลมากต่อการปลดปล่อยคาร์บอนตลอดช่วงชีวิตอาคารคือการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ ดังนั้นการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานในการปรับอากาศจึงช่วยการลดการปลดปล่อยคาร์บอนอย่างมาก โดยอาคารที่มีการใช้พลังงานมากได้แก่อาคารสำนักงาน ซึ่งปลดปล่อยคาร์บอนในช่วงการใช้งานสูงถึง 90% การทำให้สำนักงานประหยัดพลังงาน อาจจะต้องทำโดยการใช้วัสดุประหยัดพลังงาน เช่นฉนวนกันความร้อนที่อาจจะเพิ่มค่าการปลดปล่อยคาร์บอนช่วงก่อสร้าง แต่จะคุ้มค่ากว่าหากพิจารณาถึงการปลดปล่อยคาร์บอนในระยะยาว ในขณะที่การเพิ่มฉนวนหรือการพยายามเพิ่มวัสดุประกอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า แต่กลับจะส่งผลให้เพิ่มปริมาณปลดปล่อยคาร์บอนในช่วงก่อสร้างสูงขึ้นอย่างชัดเจน แผนภูมิที่ 8 แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 รวมทั้งจากการก่อสร้างและการใช้สอยอาคาร เทียบต่อพื้นที่อาคาร 1 ตรม. ตลอดระยะเวลา 30 ปี จะเห็นว่าเมื่อเทียบสัดส่วนต่อพื้นที่อาคาร บ้านเดี่ยว 2 ชั้น จะมีอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนที่ต่ำกว่าอาคารอีกสองประเภทอย่างชัดเจน เนื่องจาก operation energy ที่น้อยกว่ากันมาก แต่อย่างไรก็ดี การพิจารณาต่อพื้นที่อาคารไม่ใช่ดัชนีชี้วัดการปลดปล่อยคาร์บอนที่ดีที่สุด เพราะยังมีดัชนีการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหัวผู้ใช้อาคารที่มักใช้กันมาก ผลการคำนวณการปลดปล่อยตลอดช่วงชีวิต พบว่าอาคารสำนักงานที่มีการปรับอากาศเวลากลางวันจะมีค่าการปลดปล่อย CO_2 สูงกว่าอาคารพักอาศัยจะส่งผลต่อการปลดปล่อย CO_2ถึง 90% มาจากการใช้สอย และอีก 10% จะมาจากการก่อสร้าง ในขณะที่บ้านพักอาศัย 2 ชั้น จะมีการปลดปล่อย CO_2 ในช่วงการใช้สอยอาคาร 57% โดยที่เหลืออีก 43% ของค่าการปลดปล่อย CO_2 จากการก่อสร้าง



แผนภูมิที่ 8: *แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 รวมทั้งจากการก่อสร้างและการใช้พลังงานของอาคาร เทียบต่อพื้นที่อาคาร 1 m^2 ตลอดระยะเวลา 30 ปีของอาคาร 3 ชนิด*



แผนภูมิที่ 9: *แสดงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 รวมทั้งจากการก่อสร้างและการใช้พลังงานของอาคาร เทียบต่อผู้ใช้อาคาร 1 คน ตลอดระยะเวลา 30 ปีของอาคาร 3 ชนิด*

สรุปผลการศึกษา

เมื่อทำการรวมค่าการปลดปล่อย CO_2 จากวัสดุก่อสร้างอาคารรวมกับการใช้สอยอาคารตลอดระยะเวลา 30 ปี จึงได้ค่าการปลดปล่อย CO_2 ตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร (total life CO_2 emission) ซึ่งยังไม่รวมการย่อยสลายทำลาย และเมื่อนำมาหารด้วยพื้นที่อาคาร จึงได้ค่าการปลดปล่อย CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร สำหรับการก่อสร้างและใช้สอยอาคารหลังหนึ่งๆ เป็นระยะเวลา 30 ปี แสดงผลตามแผนภูมิที่ 8 แต่เมื่อนำมาหารต่อหัวของผู้ใช้อาคารจะแสดงผลตาม แผนภูมิที่ 9 ซึ่งพบว่าถึงแม้อาคารพักอาศัยจะมีอัตราการปลดปล่อยโดยรวมต่ำกว่าอาคารสำนักงาน อันเนื่องมาจากการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศที่ต่ำกว่า แต่อาคารพักอาศัยมีการใช้ทรัพยากรต่อหัวของผู้ใช้อาคารมากกว่าอาคารสำนักงาน เนื่องจากการใช้พื้นที่ต่อคนของอาคารพักอาศัยจะอยู่ที่ 30-60 m^2/คน ในขณะที่สำนักงานมีความหนาแน่นของการใช้สอยอยู่ที่ 25 m^2/คน และเนื่องด้วยการออกแบบอาคารขนาดเล็กกว่าทำให้มีพื้นที่ผนังกั้นห้องภายในมากกว่า และมีปริมาณวัสดุเปลือกอาคารมากกว่าอาคารสำนักงานที่มีขนาดใหญ่ ยิ่งทำให้อาคารพักอาศัยมีปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ต่อหัวผู้ใช้อาคารที่มากกว่าอาคารสำนักงาน

ผลที่ได้จากการคำนวณค่าการปลดปล่อยดังกล่าวนี้ จะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนาการออกแบบก่อสร้างอาคารในอนาคตให้มีค่าการปลดปล่อย CO_2 ที่ลดลงได้ ทั้งด้านการลด embodied CO_2 ในการเลือกใช้วัสดุอาคารคาร์บอนต่ำและการประหยัดพลังงานจากการใช้สอยอาคารที่จะต้องเน้นทางด้านการประหยัดพลังงานและการใช้สอยทรัพยากรอย่างพอเพียงสืบต่อไป งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช โดยความร่วมมือจากสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้โครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง ปีงบประมาณ 2552 โดยมีคณะผู้ร่วมวิจัยได้แก่ ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ อ.ณัฐนี วงศ์วีระนนท์ชัย

บรรณานุกรม

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์, และสุรสิทธิ์ ทองจินทรัพย์. 2542. รายงานวิจัยเรื่องข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายการใช้พลังงานของอาคาร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธรรม ปทุมสวัสดิ์. 2553. การศึกษาและกำหนดค่า Carbon Intensity ของอุตสาหกรรมพลังงาน (โรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล). กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Hammond, G. P. and Jones, C. I. 2008. "Embodied Energy and Carbon in Construction Materials". Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy 161 (2): 87-98.

LBNL. 1994. The DOE-2.1E Supplement. Berkeley, CA.: Lawrence Berkeley National Laboratory.

LBNL. 2001. The DOE-2.1E Documentation Update Package # 4. Berkeley, CA.: Lawrence Berkeley National Laboratory.