Carbon Footprint Calculation of House Construction with Solar Cell Installations

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

*Corresponding author; E-mail address: sanya.riverhillbuilder@gmail.com

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) เป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิโลกร้อน คาร์บอนด์ฟุตพรินต์เป็นตัวชี้วัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์จากการก่อสร้างบ้านพักอาศัยพื้นที่ 140 ตารางเมตร พร้อมติดตั้งโซลาร์เซลล์ ขนาด 3.27 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาที่มาของการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์และหาวิธีการลด จากการศึกษาพบว่า การก่อสร้างบ้านเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ 101,760.35 kgCO_2e คิดเป็นร้อยละ 99.18 การติดตั้งโซลาร์เซลล์เกิด 846.49 kgCO_2e คิดเป็นร้อยละ 0.82 เฉพาะระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุด 57,802. 15 kgCO_2e คิดเป็นร้อยละ 56.33 ของงานทั้งหมด รองลงมาคืองานผนังอิฐมวลเบา 4,887.81 kgCO2e คิดเป็นร้อยละ 4.76 ดังนั้น วิธีการลดคาร์บอนฟุตพรินต์โดยออกแบบบ้านให้อากาศถ่ายเทดีเพื่อการติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศ และใช้วัสดุที่มีค่า Emission Factor ต่ำกว่ามาทดแทน เช่น เปลี่ยนผนังอิฐมวลเบาเป็นคอนกรีตบล็อก คาร์บอนฟุตพรินต์ลดลงจากเดิมร้อยละ 1.87 แต่เปลี่ยนเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.38 เพราะมีค่า Emission Factor ที่สูงกว่า ขณะที่การติดตั้งโซลาร์เซลล์ ที่การใช้งาน 20 ปี ลดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ลงได้ 48,583.21 kgCO_2e จากการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่น

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพรินต์, ก่อสร้างบ้านพักอาศัย, ติดตั้งโซลาร์เซลล์

Abstract

Greenhouse gases cause global warming. Carbon footprint is an indicator of the amount of greenhouse gases produced. This research therefore studied the carbon footprint of a 140 square meter house with a 3.27 kilowatt-hour (kWh) solar cell installation. The objectives are to study the source of carbon footprint and find ways to reduce it. The study found that the construction of the house had a carbon footprint of 101,760.35 kgCO2e, or 99.18 percent. The installation of solar cells produced 846.49 kgCO2e, or 0.82 percent. The air conditioning and ventilation system alone produced the highest carbon footprint at 57,802. 15 kgCO2e, or 56.33 percent of the total work, followed by lightweight brick walls at 4,887.81 kgCO2e, or 4.76 percent. Therefore, the method of reducing carbon footprint is to design the house for good ventilation for installing air conditioning and ventilation systems. And use materials with lower Emission Factor values to replace them, such as changing lightweight brick walls to concrete blocks, the carbon footprint was reduced by 1.87 percent, but changing to precast reinforced concrete walls increased by 4.38 percent because it has a higher Emission Factor value, while installing solar cells, after 20 years of use, reduces the carbon footprint by 48,583.21 kgCO2e from using electricity from other energy sources.

Keywords: Carbon Footprint, Residential Construction, Solar Cell Installation

ก๊าซเรือนกระจก เป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของโลก ก๊าซเรือนกระจกสามารถส่งผลกระทบโดยตรง คือทำให้โลกมีพลังงานความร้อนสะสมอยู่บนผิวโลกและชั้นบรรยากาศมากขึ้น อันเป็นต้นเหตุให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ผลที่ตามมาก็คือการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม การผันแปรของสภาพภูมิอากาศของโลกและท้องถิ่น [1] และจากปรากฏการณ์เรือนกระจกที่เกิดขึ้น ทำให้หลาย ๆ องค์กรทั่วโลก ต่างให้ความสนใจและตื่นตัวกับการลดโลกร้อนและลดก๊าซเรือนกระจก จึงเกิดการนำเอาคาร์บอนฟุตพรินต์ (Carbon Footprint) ซึ่งก็คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม (ตามข้อกำหนด ISO 14040) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ มาเป็นตัวชี้วัดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในหลายอุตสาหกรรม โดยคาร์บอนฟุตพรินต์ (Carbon Footprint) จะถูกคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ซึ่งเป็นหนึ่งตัวชี้วัดสำคัญ ที่จะประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยจากกิจกรรมต่างๆ จึงทำให้มีฉลาก Carbon Footprint ติดไว้บนตัวผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้บริโภค

ได้ทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคและกระตุ้นให้ผู้ประกอบการ ปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ฝังตัวอยู่ในขั้นตอนการผลิตวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง การเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการใช้พลังงานทางเลือกจากโซลาร์เซลล์ ก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่น่าจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษา การคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ ในขั้นตอนของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย คสล. 1 ชั้น พื้นที่ 140 ตร.ม. พร้อมติดตั้งโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาที่มาของการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ ของการใช้วัสดุก่อสร้างในขั้นตอนการก่อสร้างบ้านพร้อมติดตั้งโซลาร์เซลล์ และเพื่อศึกษาหาการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ จากการเกิดขึ้นดังกล่าว

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมและได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยมีจำนวน 4 รายการได้แก่

กิตติพัฒน์ เจนวรพจน์ และ นที สุริยานนท์ (2567) ได้วิจัยเกี่ยวกับการประมาณค่าคาร์บอนแฝงการก่อสร้างผิวถนนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและทางระบายน้ำ ครอบคลุมช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ระยะ A1 ถึง A5 ตามมาตรฐาน BS EN 15978 ได้แก่ ระยะการผลิตและได้มาซึ่งวัตถุดิบ ระยะการขนส่งไปยังหน่วยงานก่อสร้าง และระยะการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างกรณีศึกษาตั้งอยู่ภายในหมู่บ้านอมรนิเวศน์โครงการ 2 จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ค่าคาร์บอนแฝงของงานก่อสร้างผิวถนนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตขนาดความกว้าง 6.70 เมตร ยาว 307.00 เมตร หนา 0.05 เมตร มีค่าเท่ากับ 140.16 kgCO_2e และงานก่อสร้างทางระบายน้ำความกว้าง 1.20 เมตร ยาว 307.00 เมตร มีค่าเท่ากับ 39.44 kgCO_2e ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยตามวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในระยะการผลิตและได้มาซึ่งวัตถุดิบ (ระยะ A1-A3) มีค่าเท่ากับ 175.52 kgCO_2e ระยะการขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้าง(ระยะ A4) มีค่าเท่ากับ 2,247.63 kgCO_2e และระยะการก่อสร้างโครงการ(ระยะA5) มีค่าเท่ากับ 1,831.31 kgCO_2e กิจกรรมการก่อสร้างที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดสามอันดับแรกคือ การปูผิวถนนแอสฟัลต์ การวางท่อระบายน้ำ และการเทคอนกรีตหยาบบริเวณทางระบายน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 138.53 kgCO_2e 15.96 kgCO_2e และ 11.74 kgCO_2e ตามลำดับ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างโครงการลักษณะเดียวกันกับกรณีศึกษาสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการการออกแบบและการก่อสร้าง เพื่อควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่ให้มีปริมาณเกินกว่าที่จำเป็นได้ [2]

อภิมุข แสงพราย, นที สุริยานนท์ และ สมจินตนา แขนงแก้ว (2567) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพรินต์ ของคอนกรีตบล็อก มอก. 58-2560 โดยทำการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของคอนกรีตบล็อก มอก. 58-2560 ในหน่วยหน้าที่การทำงาน (Functional Unit) จำนวน 1 ตัน ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment; LCA) ขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนสิ้นสุดการผลิตในโรงงาน (Cradle to Gate) ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ผลิตโดยโรงผลิตคอนกรีตบล็อกกองพันทหารช่างที่ 302 จ.พิษณุโลก ซึ่งมีกำลังการผลิตคอนกรีตบล็อก จำนวน 185,791 ก้อนต่อปี (ขนาด 19x39x7

งานเสาเข็ม เจาะที่รับงานในเขตพื้นที่เขตภาคเหนือ กำหนดระยะเวลาติดตามผล คือวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2565 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2565 การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ขององค์กร ครอบคลุมสามขอบเขตตามข้อกำหนด การคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพรินต์ขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน): ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์องค์กร เกิดจากกิจกรรมในขอบเขตที่ 3 เป็นส่วนใหญ่ และตามด้วยกิจกรรมในขอบเขตที่ 1 และขอบเขต 2 บริษัทรับเหมางานเสาเข็มเจาะ รวมถึงองค์กรกรณีศึกษา สามารถนำข้อมูลผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ ไปใช้ระบุแหล่งก่อเกิดที่สำคัญของก๊าซเรือนกระจกในองค์กร อันจะเอื้อให้การกำหนดกลยุทธ์การลดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ขององค์กร มีประสิทธิภาพมากขึ้น [5]

3

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขั้นตอนดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ ได้ดังนี้

3.1 กำหนดขอบเขตของการคำนวณ

การวิจัยครั้งนี้กำหนดขอบเขตในการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ โดยใช้กรณีศึกษาของการก่อสร้างบ้าน 1 หลัง โดยมีขอบเขตของการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งหมดดังนี้

1. คำนวณเฉพาะช่วงการก่อสร้าง ซึ่งเป็นแค่ช่วงหนึ่งของ Life Cycle Assessment (LCA).

2. ในการคำนวณ จะไม่รวมงานเตรียมพื้นที่ งานถางป่า งานปรับพื้นที่ และงานถมดิน

3. ขนาดบ้านพักอาศัย คสล. 1 ชั้น พื้นที่ 101 ตารางเมตร โรงจอดรถ 2 คัน พื้นที่ 39 ตารางเมตร ดินแข็ง เสาเข็มยาว 4 เมตร รวมทางเดินรอบบ้าน รั้วก่อคอนกรีบล็อกรอบบ้าน ปลูกหญ้า พื้นที่ดินรวม 55 ตารางเมตร

4. ติดตั้งโซลาร์เซลล์บนหลังคา ขนาด 3.27 kWh ประเภท on grid ประเภท string inverter

5. การขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง จากผู้ขายใกล้พื้นที่ขนส่งเป็นระยะทาง 10 กม.

6. การขนส่งเสาเข็มและเครื่องจักรตอกเสาเข็มจากผู้ผลิตมายังสถานที่ก่อสร้าง ระยะทาง 200 กม.

7. ไม่รวมการเดินทางของผู้ทำงาน ที่เดินทางจากที่พักภายนอกเข้ามายังสถานที่ก่อสร้าง

8. งานขุดดินฐานราก กองข้างหลุมชั่วคราว ไม่ขนย้ายออกนอกสถานที่ ดินที่เหลือจากการกลบกลับ ขนทิ้งระยะทาง 2 กม.

9. ไม้แบบ ฐานราก เสา คาน พื้น เป็นการเช่าแบบเหล็กสำเร็จรูป ขนส่งเป็นระยะทาง 10 กม.

10. การติดตั้ง Inverter ติดตั้งในสถานที่ที่เตรียมไว้แล้ว ไม่มีการก่อสร้างห้อง Inverter ใหม่

11. การคำนวณทั้งหมด เน้นให้เห็นรูปแบบการคำนวณที่ถูกต้องตามหลักการ จึงใช้ค่า Emission Factor ที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ประกอบการคำนวณ

12. เป็นการค้นคว้าอิสระประกอบการเรียนปริญญาโท ไม่ทำการทวนสอบ ตามมาตรฐาน องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)



แบบบ้านที่ใช้ในการคำนวณ

3.2 รวบรวมปริมาณงานและขั้นตอนการก่อสร้างบ้าน

การก่อสร้างเป็นไปตามขั้นตอนการก่อสร้างบ้านทั่วไป โดยเริ่มจากการวางผังการก่อสร้าง การตอกเสาเข็ม การก่อสร้างฐานราก คานคอดิน พื้นชั้นล่างและเสา ต่อด้วยงานโครงสร้างหลังคาพร้อมการมุงหลังคา เมื่อเสร็จงานโครงสร้างหลักแล้ว ทำงานสถาปัตยกรรมต่อ คืองานก่อฉาบผนัง งานฝ้า งานเดินท่อไฟฟ้าบนฝ้า งานประตูหน้าต่าง งานสุขาภิบาล งานติดตั้งสุขภัณฑ์และงานปูกระเบื้อง งานรั้วรอบบ้าน แล้วทำงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือ เก็บงานทาสีทั้งหมด จบด้วยงานติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศเป็นขั้นตอนสุดท้าย

3.3 รวบรวมปริมาณงานและขั้นตอนการติดตั้งโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh

การติดตั้งโซลาร์เซลล์ มีขั้นตอนไม่มากเท่าการก่อสร้างบ้าน โดยเริ่มจากทำงานสำรวจและออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าพร้อมทั้งดูพื้นที่การติดตั้งที่เหมาะสม ส่วนขั้นตอนการติดตั้งเริ่มจากติดตั้ง rail mounting ติดตั้ง PV Panel ติดตั้ง Wire way ติดตั้ง Inverter เมื่อชุดอุปกรณ์ติดตั้งเสร็จแล้ว จึงทำการเดินสายไฟ ทั้งสายไฟ DC และสายไฟ AC และทำงานเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์เข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นขั้นตอนสุดท้าย

ส่วนเหตุผลที่เลือกติดตั้งโซลาร์เซลล์ขนาด 3.27 kWh นั้น มาจากการคำนวณประมาณการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานในช่วงกลางวัน ซึ่งใช้ไฟฟ้าประมาณ 2.218 kWh จึงเลือกติดตั้งโซลาร์เซลล์ ขนาด 545 kWh ต่อแผง จำนวน 6 แผง รวมเป็น 3.27 kWh โดยคิดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ร้อยละ 80 และมีค่าการสูญเสียการแปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ร้อยละ 15 เหลือกำลังไฟฟ้าใช้ได้สุทธิ 2.236 kWh ซึ่งมากกว่าความต้องการ 2.218 kWh จึงเลือกติดตั้งโซลาร์เซลล์ ขนาด 3.27 kWh ในการศึกษาค้นคว้า

3.4 รวบรวมค่า Emission Factor (EF)

3.4.1 การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) โดยเรียงลำดับความสำคัญ ความน่าเชื่อถือและคุณภาพ ดังนี้

ลำดับที่ 1 ฐานข้อมูลที่ทำการศึกษาและเผยแพร่โดยองค์กรภายในประเทศที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมนั้น ๆ

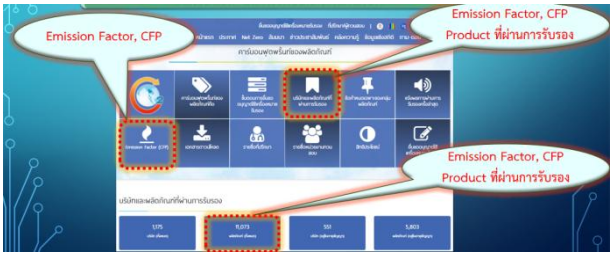
ลำดับที่ 2 ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย (Thai LCI Database) ซึ่งรวบรวมและจัดการโดยสถาบันเทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (สทสย.) หรือ TIIS

ลำดับที่ 3 ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศ ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (Peer-Reviewed Publications)

ลำดับที่ 4 ข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Software) ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม หรือฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศที่มี

ลำดับที่ 5 ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาล ว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) องค์กรของสหประชาชาติ

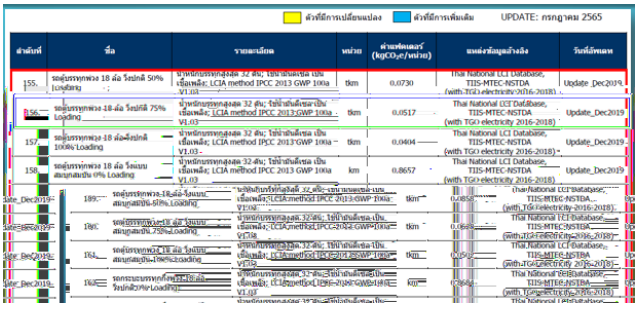
3.4.2 ค้นหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) จากแหล่งข้อมูลภายในประเทศ ในเว็บไซต์ ของ อบก.



การค้นหาค่า EF ในเว็บไซต์ ของ อบก.

3.4.3 รวบรวมค่า Emission Factor (EF) จากฐานข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งการค้นคว้าค่า Emission Factor



ตัวอย่างค่า Emission Factor (EF) ของการขนส่ง

3.5 คำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์การก่อสร้างบ้าน

3.5.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

สมการที่ (1) ใช้สำหรับการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ของการก่อสร้างบ้าน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม × EF (1)

กำหนดให้

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นจากการใช้วัดุและการก่อสร้างบ้าน

ข้อมูลกิจกรรม หมายถึง ทุกกิจกรรมของการก่อสร้างบ้าน การใช้วัสดุ การขนส่ง การติดตั้ง การก่อสร้าง

EF หมายถึง ค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุหรือกิจกรรมต่อหนึ่งหน่วย ของข้อมูลกิจกรรมนั้นๆ

3.5.2 จัดทำตารางรายการวัสดุและกิจกรรมการก่อสร้างทั้งหมดพร้อมทั้งแสดงการคำนวณค่า Emission Factor (EF) ของแต่ละรายการ

3.6 คำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์การติดตั้งโซลาร์เซลล์

3.6.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

โดยใช้ สมการที่ (1) สำหรับการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ของการติดตั้งโซลาร์เซลล์

3.6.2 จัดทำตารางรายการวัสดุและการติดตั้งโซลาร์เซลล์ทั้งหมด พร้อมทั้งแสดงการคำนวณค่า Emission Factor (EF) ของแต่ละรายการ

3.7 รวมค่าคาร์บอนฟุตพรินต์การก่อสร้างบ้านและการติดตั้งโซลาร์เซลล์

ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์การก่อสร้างบ้าน = 101,760.35 $kgCO_2e$

ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์การติดตั้งโซลาร์เซลล์ = 846.49 $kgCO_2e$

รวมค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสองส่วน = 102,606.84 $kgCO_2e$

3.8 คำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ตามหลักการของ อบก. หาได้จาก ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์รวม/พื้นที่บ้าน(ตารางเมตร)

3.9 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

4.1 การคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์

การคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ ถูกแบ่งตามขั้นตอนของการก่อสร้างทุกขั้นตอน คิดปริมาณงานที่เกิดขึ้นในกิจกรรมนั้นคูณกับค่า Emission Factor ทุกกิจกรรมของงานก่อสร้างบ้านพร้อมติดตั้งโซลาร์เซลล์ ดังที่แสดงในตารางที่ 1

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแยกตามงาน

ลำดับ	ประเภทงาน	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
1.1	งานวางผังการก่อสร้าง				
	กล้องสำรวจ	2.00	วัน	0	0
1.2	งานตอกเสาเข็ม				

ลำดับ	ประเภทงาน	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
	เสาเข็มคอนกรีต	3.10	ลบ.ม.	294.0000	910.69
	ขนส่งเสาเข็มมา	5,575.68	ตัน-กม.	0.0730	407.02
	รถขนส่งเสาเข็มกลับ	400.00	กม.	0.7870	314.80
	ขนส่งเครื่องตอกเสาเข็มไป-กลับ	8,000.00	ตัน-กม.	0.0517	413.60
	เครื่องจักรตอกเสา	32.00	ลิตร	2.9793	95.34
	รถส่งเครื่องตอกเสาเข็มกลับ	200.00	กม.	0.7870	157.40
1.3	งานฐานราก				
	คอนกรีต fc'240	2.64	ลบ.ม.	223.000	588.72
	เหล็กเสริม	0.34	ตัน	886.000	304.08
	ขนส่งรถแบ็คโฮมา	132.00	ตัน-กม.	0.0617	8.14
	รถแบ็คโฮขุดดิน	20.00	ลิตร	2.9793	59.59
	ขนส่งทรายรองพื้นมา	57.00	ตัน-กม.	0.1083	6.17
	รถส่งทรายรองพื้นกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งเหล็กเสริมมา	3.43	ตัน-กม.	0.1083	0.37
	รถส่งเหล็กเดินกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ตัดเหล็กเสริม	17.60	kWh	0.5986	10.54
	ขนส่งไม้แบบเหล็กมา	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	รถส่งไม้แบบเหล็กกลับ	10.00	ตัน-กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งคอนกรีตมา	63.36	กม.	0.1083	6.86
	รถส่งคอนกรีต	10.00	kWh	0.4923	4.92
	จี้ปูนขณะเทปูน	3.60	กม.	0.5986	2.15
	รถขนส่งมารับไม้แบบ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งไม้แบบเหล็กกลับ	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	แบ็คโฮกลบดินฐานราก	20.00	ลิตร	2.9793	59.59
	ขนส่งรถแบ็คโฮกลับ	132.00	ตัน-กม.	0.0617	8.14
1.4	งานคานคอดิน				
	คอนกรีต fc'240	8.06	ลบ.ม.	223.0000	1,798.12
	เหล็กเสริม	1.21	ตัน	886.0000	1,071.62
	ตัดเหล็กเสริม	17.60	kWh	0.5986	10.54
	ขนส่งไม้แบบเหล็กมา	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	รถส่งไม้แบบกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งคอนกรีตมา	193.52	ตัน-กม.	0.1083	20.96
	รถส่งคอนกรีตกลับ	20.00	กม.	0.4923	9.85
	จี้ปูนขณะเทปูน	3.60	kWh	0.5986	2.15
	รถส่งแบบเหล็กมารับแบบ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งแบบเหล็กกลับ	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
1.5	งานพื้น				
	ขนส่งดินมาถมพื้น	760.00	ตัน-กม.	0.0679	51.60
	รถส่งดินกลับ	80.00	กม.	0.4923	39.38
	ทรายรองพื้น	12,600.00	กก.	0.0037	46.62
	คอนกรีต fc'240	10.83	ลบ.ม.	223.0000	2,414.00
	เหล็กเสริม	1.41	ตัน	886.0000	1,246.84
	ตัดเหล็กเสริม	4.40	kWh	05986	2.63
	บดอัดดินด้วยเครื่องตบดิน	8.20	kWh	05986	4.91

ลำดับ	ประเภทงาน	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
	ขนส่งตะแกรงไวน์เมทมา	2.00	ตัน-กม.	0.1083	0.22
	รถส่งตะแกรงไวน์เมชกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งไม้แบบเหล็กมา	5.00	ตัน-กม.	0.1083	0.54
	รถส่งไม้แบบมา	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งคอนกรีตมา	259.80	ตัน-กม.	0.1083	28.14
	รถส่งคอนกรีตกลับ	20.00	กม.	0.4923	9.85
	จี้ปูนขณะเทปูน	3.60	kWh	0.5986	2.15
	รถมารับไม้แบบเหล็ก	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนไม้แบบเหล็กกลับ	5.00	ตัน-กม.	0.1083	0.54
1.6	งานเสา				
	คอนกรีต fc'240	2.52	ลบ.ม.	223.0000	561.25
	เหล็กเสริม	0.45	ตัน	886.0000	401.38
	ตัดเหล็กเสริม	8.80	kWh	0.5986	5.27
	ขนส่งไม้แบบเหล็กมา	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	รถส่งไม้แบบเหล็กกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งคอนกรีตมา	60.40	ตัน-กม.	0.1083	6.54
	รถส่งคอนกรีตกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	จี้ปูนขณะเทปูน	8.80	kWh	0.5986	5.27
	รถมารับไม้แบบเหล็ก	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งไม้แบบเหล็กกลับ	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
1.7	งานโครงหลังคา				
	เหล็กโครงสร้าง	2842.40	กก.	1.3600	3,865.66
	สีกันสนิม	81.21	ตร.ม.	0.1420	11.53
	ขนส่งเหล็กโครงสร้างมา	15.00	ตัน-กม.	0.1083	1.62
	รถส่งเหล็กโครงสร้างกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ตัดเหล็กโครงสร้าง	35.20	kWh	0.5986	21.07
	เชื่อมเหล็กโครงสร้าง	704.00	kWh	0.5986	421.41
	เจียร์แต่งผิวรอยเชื่อม	17.60	kWh	0.5986	10.54
1.8	งานมุงหลังคา				
	แผ่นหลังคาคอนกรีต	169.83	ตร.ม.	16.5000	2,802.04
	แผ่นหลังคาmetal sheet	31.30	ตร.ม.	2.2754	71.21
	ฉนวนกันความร้อน PU	31.30	ตร.ม.	2.1300	66.66
	ขนส่งแผ่นหลังคามา	30.00	ตัน-กม.	0.1083	3.25
	รถส่งแผ่นหลังคากลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	มุงแผ่นหลังคา	7.20	kWh	0.5986	4.31
	ตัดแผ่นหลังคา	17.60	kWh	0.5986	10.54
1.9	งานผนัง				
	อิฐมวลเบา	19.02	ลบ.ม.	257.000	4,887.81
	ปูนก่ออิฐมวลเบา	9.06	ถุง	16.1000	145.81
	ปูนฉาบอิฐมวลเบา	155.85	ถุง	13.9000	2,166.27
	ปูนฉาบแต่งผิว Skim Coat	29.79	ถุง	8.2400	245.50
	ขนส่งอิฐมวลเบามา	30.00	ตัน-กม.	0.1083	3.25
	รถส่งอิฐมวลเบากลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งปูนก่อและปูนฉาบมา	20.00	ตัน-กม.	0.1083	2.17
	รถส่งปูนก่อและปูนฉาบกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
1.10	งานฝ้า				

ลำดับ	ประเภทงาน	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
	ฝ้าแผ่นยิปซั่มบอร์ด	142.53	ตร.ม.	2.1500	306.44
	ปูนฉาบยิปซั่ม	0.99	ถุง	13.9000	13.76
	ขนส่งแผ่นยิปซั่มบอร์ดมา	5.00	ตัน-กม.	0.1083	0.54
	รถส่งแผ่นยิปซั่มบอร์ดกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
1.11	งานประตู หน้าต่าง				
	กระจกไสเขียวหนา	212.87	กก.	1.2710	270.55
	วงกบอลูมิเนียมหนา	0.09	ตัน	7.5400	0.69
	ประตู UPVC	14.49	ตร.ม.	39.7000	575.25
	บล็อกแก้ว	0.23	ตร.ม.	120.000	28.08
	ซิลิโคนยาแนว	2.80	kg	2.8649	8.02
	ช่างมาวัดขนาดช่องเปิด	10.00	กม.	0.3345	3.35
	ช่างเดินทางกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	ขนส่งประตูหน้าต่างมา	10.00	ตัน-กม.	0.3401	3.40
	การติดตั้งประตู หน้าต่าง	1.80	kWh	0.5986	1.08
	รถส่งประตูหน้าต่างกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	ขนส่งประตู UPVC มา	3.00	ตัน-กม.	0.1083	0.32
	ติดตั้งประตู UPVC	0.90	kWh	0.5986	0.54
	รถส่งประตู UPV กลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
1.12	งานสุขาภิบาล				
	ท่อ PVC 4" พร้อมข้อต่อ	546.89	ลบ.ซม.	0.6800	371.88
	ท่อ PVC 2" พร้อมข้อต่อ	574.03	ลบ.ซม.	0.6800	390.34
	ท่อ PVC 1/2" พร้อมข้อต่อ	402.12	ลบ.ซม.	1.2800	514.72
	ถังบำบัด HDPE	50.00	กก.	6.7071	335.36
	บ่อวงคอนกรีต	5.65	ลบ.ม.	291.0000	1,645.57
	ฝาบ่อวงคอนกรีต	0.38	ลบ.ม.	291.0000	109.70
	ขนส่งท่อคอนกรีตมา	2.00	ตัน-กม.	0.1083	0.22
	รถส่งท่อกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	ขนส่งบ่อวงคอนกรีตมา	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	รถส่งบ่อวงคอนกรีตกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	ตัดท่อ PVC	8.80	kWh	0.5986	5.27
	เจาะบ่อวงคอนกรีต	4.20	kWh	0.5986	2.51
	แบ็คโฮขุดดินวางถังบำบัด	10.00	ลิตร	2.9793	29.79
	แบ็คโฮยกบ่อวงลงหลุม	10.00	ลิตร	2.9793	29.79
	แบ็คโฮกลบดินกลับ	5.00	ลิตร	2.9793	14.90
1.13	งานปูกระเบื้อง				
	กระเบื้องเซรามิค	205.00	ตร.ม.	15.6000	3,198.00
	กาวยาแนวกระเบื้อง	41.00	ถุง	14.7000	602.70
	ตัดกระเบื้อง	26.40	kWh	0.5986	15.80
	ขนส่งกระเบื้องมา	20.00	ตัน-กม.	0.1083	2.17
	รถส่งกระเบื้องกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
1.14	งานสุขภัณฑ์				
	สุขภัณฑ์เซรามิค	6.00	ชุด	234.0000	1,404.00
	กาวยาแนวกระเบื้อง	4.00	ถุง	1.3500	5.40
	ขนส่งกระเบื้องมา	2.00	ตัน-กม.	0.1083	0.22
	รถส่งกระเบื้องกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	ตัดท่อ PVC	2.20	kWh	0.5986	1.32
	สกัดคอนกรีตติดตั้งสุขภัณฑ์	4.20	kWh	0.5986	2.51
1.15	งานรั้วรอบบ้าน				
	คอนกรีต fc'240	8.11	ลบ.ม.	223.0000	1,808.98
	เหล็กเสริม	0.97	ตัน	886.0000	862.47
	ขนส่งไม้แบบเหล็กมา	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	รถส่งไม้แบบเหล็กกลับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	คอนกรีตบล็อก	6.80	ลบ.ม.	157.0000	1,068.23
	ปูนก่อคอนกรีตบล็อก	24.30	ถุง	16.1000	391.23
	ปูนฉาบคอนกรีตบล็อก	41.40	ถุง	13.9000	575.46
	เหล็กโครงสร้าง	900.00	กก.	1.3600	1,224.00
	สีกันสนิมทาเหล็ก	0.03	ตร.ม.	0.1420	0.004
	สีน้ำมันทาเหล็ก	0.05	ตร.ม.	0.6650	0.034
	ขนส่งรถแบ็คโฮมา	132.00	ตัน-กม.	0.1083	14.30
	ขุดทำฐานราก	20.00	ลิตร	2.9793	59.59
	ขนส่งแบ็คโฮกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	รถขนไม้แบบเหล็กมารับ	10.00	กม.	0.4923	4.92
	ขนส่งไม้แบบเหล็กกลับ	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
1.16	งานระบบระบายน้ำ				
	ท่อซีเมนต์ใยหิน	25.45	ตร.ม.	9.0000	229.02
	บ่อพักสำเร็จรูป	1.04	ลบ.ม.	251.0000	260.29
	ปูนทรายยาแนว	2.00	ถุง	22.4000	44.80
	ขนส่งท่อและบ่อพักมา	10.00	ตัน-กม.	0.1083	1.08
	รถส่งท่อซีเมนต์ใยหินกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
1.17	งานทาสี				
	ขนส่งสีมา	5.00	ตัน-กม.	0.3401	1.70
	รถส่งสีกลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	สีน้ำรองพื้นทาผนัง	458.37	ตร.ม.	0.1250	57.30
	สีน้ำทับหน้าทาผนัง	458.37	ตร.ม.	0.6100	279.61
	สีน้ำทาฝ้า	142.53	ตร.ม.	0.4460	63.57
1.18	งานไฟฟ้า				
	ขนส่งวัสดุไฟฟ้ามา	2.00	ตัน-กม.	0.3401	0.68
	รถส่งวัสดุไฟฟ้ากลับ	10.00	กม.	0.3345	3.35
	เมนเบรคเกอร์ 50 AT	1.00	ตัว	45.0000	45.00
	เบรคเกอร์ลูกย่อย 16 AT	8.00	ตัว	28.0000	224.00
	เบรคเกอร์ลูกย่อย 10 AT	8.00	ตัว	27.0000	216.00
	เต้ารับ	25.00	อัน	5.0000	125.00
	สวิช	40.00	อัน	3.0000	120.00
	หลอดไฟ	40.00	หลอด	0.1090	4.36
	สายไฟ 2x1.5 ตร.มม.	8.00	100 เมตร	16.9000	135.20
	สายไฟ 2x2.5 ตร.มม.	2.00	100 เมตร	24.0000	48.00
	สายไฟ 2x4 ตร.มม.	4.00	100 เมตร	37.5000	150.00
	สายไฟ 2x10 ตร.มม.	0.12	100 เมตร	93.7500	11.25
	สายไฟ 2x16 ตร.มม.	0.30	100 เมตร	150.0000	45.00
	หลักดินทองแดง	0.02	100 เมตร	375.0000	9.00
	ท่อร้อยสาย PVC	603.19	ลบ.ซม.	0.0007	0.44
	ติดตั้งอุปกรณ์	3.60	kWh	0.5986	2.15

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ของงานตามขั้นตอนการก่อสร้าง พบว่า ขั้นตอนการทาสีเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์แยกตามขั้นตอนของการก่อสร้าง

ประเภทงานตามขั้นตอนการก่อสร้าง	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	
1.		
งานตอกเสาเข็ม	2,298.86	2.24045
งานฐานราก	1,081.13	1.05367
งานคานคอดิน	2,925.25	2.85093
งานพื้น	3,862.19	3.76407
งานเสา	996.64	0.97132
งานโครงหลังคา	15,857.24	4.22658
งานมุงหลังคา	2,963.13	2.88785
งานผนัง	7,460.65	7.27111
งานฝ้า	325.66	0.31739
งานประตู หน้าต่าง	902.90	0.87996
งานสุขาภิบาล	3,457.82	3.36997
งานปูกระเบื้อง	3,822.01	3.72491
งานสุขภัณฑ์	1,416.79	3.38080
งานรั้วรอบบ้านรวมฐานรากแผ่	6,057.45	5.86670
งานระบบระบายน้ำในพื้นที่บ้าน	538.54	0.52486
งานทาสี	405.52	0.39521
งานไฟฟ้า	1,144.70	1.11562
งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	57,802.15	56.33363
	,760	
2.		
งานสำรวจออกแบบ	133.80	0.13040
งานติดตั้ง rail mounting	9.89	0.00964
งานติดตั้ง PV Panel	0.13	0.00013
งานติดตั้ง Wire way	0.65	0.00063
งานติดตั้ง Inverter	686.81	0.66936
งานเดินสายระบบไฟ DC	10.14	0.00988
งานเดินสายระบบไฟ AC	5.07	0.00494
งานเชื่อมต่อไฟ	0.00	0.00000
	,	**100.00**

งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด เป็นปริมาณมากถึง 57,802.15 $kgCO_2e$ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 56.33 ของปริมาณทั้งหมด ลำดับต่อมาเป็นงานผนัง 7,460.65 $kgCO_2e$ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 7.27 ตามด้วยงานรั้วรอบบ้าน 6,057.45 $kgCO_2e$ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.87 ส่วนงานที่เหลือเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์รวมกัน 31,286.59 $kgCO_2e$ คิดรวมกันเป็นสัดส่วนร้อยละ 30.53

4.2.5 งานที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด 5 อันดับแรก

จากการศึกษา งานที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด 5 อันดับแรก พบว่างานที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุด อันดับแรก คืองานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ 57,802.15 $kgCO_2e$ คิดเป็นสัดส่วนมากที่สุดถึงร้อยละ 56.33 อันดับที่สอง คืองานผนังอิฐมวลเบา 4,887.81 $kgCO_2e$ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 4.76 อันดับที่สาม คืองานโครงเหล็กของหลังคา 3,865.66 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 3.77 ดังแสดงในตารางที่ 6

6 งานที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด 5 อันดับแรก

อันดับที่	ประเภทงาน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	
1	งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	57,802.15	56.33
2	งานผนังอิฐมวลเบา	4,887.81	4.76
3	งานโครงเหล็กของหลังคา	3,865.66	3.77
4	งานกระเบื้องเซรามิค	3,198.00	3.12
5	งานแผ่นหลังคาซีแพคโมเนีย	2,802.24	2.73
		, .	.

4.3 ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

4.3.1 ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตามขอบเขตงาน

จากผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตามขอบเขตงาน พบว่า การก่อสร้างบ้านโดยรวม มีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ 726.86 $kgCO_2e$/ตร.ม. และการติดตั้งโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh มีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ 258.87 $kgCO_2e$ / kWh ดังแสดงในตารางที่ 7

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตามขอบเขตงาน

ขอบเขตงาน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	ปริมาณ	หน่วยผลิตภัณฑ์	คาร์บอนฟุตพรินต์/หน่วยผลิตภัณฑ์
การก่อสร้างบ้าน	101,760.35	140.00	ตร.ม.	726.86
ติดตั้งโซลาร์เซลล์	846.49	3.27	kWh.	258.87

4.3.2 ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตามประเภทงานก่อสร้าง

เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แยกตามประเภทงานก่อสร้าง พบว่า งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มากที่สุด เท่ากับ 412.87 $kgCO_2e$/ตร.ม. ลำดับต่อมาคือโครงสร้าง 146.81 $kgCO_2e$/ตร.ม. งานสถาปัตยกรรม 130.44 $kgCO_2e$/ตร.ม. งานระบบประปาและสุขาภิบาล 28.55 $kgCO_2e$/ตร.ม. และงานระบบไฟฟ้า 8.18 $kgCO_2e$ / ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 8

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตามประเภทงานก่อสร้าง

ขอบเขตงาน	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	พื้นที่บ้าน (ตร.ม.)	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$/ตร.ม.)
งานสถาปัตยกรรม	18,262.04	140	130.44
งานโครงสร้าง	20,553.77	140	146.81
งานระบบประปาและสุขาภิบาล	3,997.68	140	28.55

งานระบบไฟฟ้า	1,144.70	140	8.18
งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	57,802.15	140	412.86

4.3.3 ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ สูงสุด 5 อันดับแรก

เมื่อพิจารณา ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ พบว่างานที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด คือ งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ 412.86 $kgCO_2e$/ตร.ม. รองลงลงมาคือ งานผนังอิฐมวลเบา 34.91 $kgCO_2e$/ตร.ม. และงานโครงเหล็กหลังคา 27.61 $kgCO_2e$/ตร.ม. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 9

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ของงานที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ สูงสุด 5 อันดับแรก

ขอบเขตงาน	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	พื้นที่บ้าน (ตร.ม.)	คาร์บอนฟุตพรินต์/หน่วยผลิตภัณฑ์
งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	57,802.15	140	412.86
งานผนังอิฐมวลเบา	4,887.81	140	34.91
งานโครงเหล็กของหลังคา	3,865.66	140	27.61
งานปูกระเบื้องเซรามิค	3,198.00	140	22.84
งานแผ่นหลังคาซีแพค	2,802.00	140	20.02

4.4 วิธีการลดคาร์บอนฟุตพรินต์

วิธีการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ได้อย่างมีนัยสำคัญคือ ลดการติดตั้งงานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ควรออกแบบบ้านให้อากาศถ่ายเทได้ดีและเพิ่มการปลูกต้นไม้บริเวณบ้านเพื่อให้อากาศโดยรวมเย็นลง เพื่อลดความต้องการใช้งานระบบปรับอากาศ ส่วนผนังที่เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์มากอันดับสอง การศึกษาได้ศึกษาการใช้วัสดุผนังดังนี้

4.4.1 เปลี่ยนวัสดุผนังจากอิฐมวลเบาเป็นผนังคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษา พบว่าการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ลดลงเป็น 99,858.47 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 98.13 สามารถลดลงได้ร้อยละ 1.87 เมื่อเทียบกับผนังก่ออิฐมวลเบา ดังแสดงในตารางที่ 10

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์บ้านทั้งหลังเปรียบเทียบการใช้วัสดุผนังก่ออิฐมวลเบาเทียบกับผนังคอนกรีตบล็อก

ขอบเขตงาน	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	ร้อยละ
บ้านผนังอิฐมวลเบา	101,760.35	100.00
บ้านผนังก่อคอนกรีตบล็อก	99,858.47	98.13

4.4.2 เปลี่ยนวัสดุผนังจากอิฐมวลเบาเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ (Pre-casted concrete)

จากการศึกษา พบว่าการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์เพิ่มขึ้นเป็น 106,215.12 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 104.38 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.38 เมื่อเทียบกับผนังก่ออิฐมวลเบา สาเหตุที่ทำให้เพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะว่าผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จนั้นมีค่า Emission Factor ที่สูงกว่าผนังก่ออิฐมวลเบา ข้อมูลเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 11

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์บ้านทั้งหลังเปรียบเทียบการใช้วัสดุผนังก่ออิฐมวลเบาเทียบกับผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ

ขอบเขตงาน	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	ร้อยละ
บ้านผนังก่ออิฐมวลเบา	101,760.35	100.00
บ้านผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ	106,215.12	104.38

4.4.3 การลดคาร์บอนฟุตพรินต์จากการติดตั้งโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานไฟฟ้าระยะยาว ตลอดอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ 20 ปี

จากการศึกษา การลดคาร์บอนฟุตพรินต์ในระยะยาว พบว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี มีกำลังการผลิต 81,161.40 kWh ซึ่งโซลาร์เซลล์จะผลิตไฟฟ้าโดยไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกขณะใช้งาน ส่วนกำลังการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตเท่ากันคือ 81,161.40 kWh ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ 48,583.21 $kgCO_2e$ แสดงว่า การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh สามารถลดปริมาณการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ 48,583.21 $kgCO_2e$ ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี ดังตารางที่ 12

ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ของการใช้งานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และระบบโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh เป็นระยะเวลา รวม 20 ปี

แหล่งผลิตไฟฟ้า	การใช้งานไฟฟ้า (kWh)	Emission Factor ($kgCO_2e$/kWh)	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
โซลาร์เซลล์	81,161.40	0.0000	0.00
การไฟฟ้า	81,161.40	0.5986	48,583.21

5

ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของการก่อสร้างบ้านพร้อมกับติดตั้งโซลาร์เซลล์ รวมกันมีค่าเท่ากับ 102,606.84 $kgCO_2e$ โดยแยกเป็นงานก่อสร้างบ้าน 101,760.25 $kgCO_2e$ และงานการติดตั้งโซลาร์เซลล์ 846.49 $kgCO_2e$

ตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย สามารถสรุปได้ 3 ประเด็นหลักดังนี้

1. การเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์หลักๆของการก่อสร้างบ้านพร้อมติดตั้งโซลาเซลล์ เกิดมาจากงานระบบปรับอากาศและระบายอากาศเกิดสูงสุดถึง 57,802.15 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 56.33 ของงานทั้งหมด อันดับสองงานผนังก่ออิฐมวลเบา 4,887.81 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 4.67 อันดับสามงานโครงเหล็กหลังคา 3,865.66 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 3.77 ดังนั้นหากสามารถหาวิธีลดจากทั้งสามงานนี้ได้ ก็จะสามารถลดคาร์บอนฟุตพรินต์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2. การลดคาร์บอนฟุตพรินต์จากการติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ควรเริ่มจากการออกแบบบ้านให้อากาศถ่ายเทได้ดี และปลูก

ต้นไม้โดยรอบบ้าน เพื่อลดความต้องการติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ส่วนงานอื่นๆ ควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่ามี Emission Factor วัสดุที่ใช้อยู่เดิมมาทดแทน ก็จะสามารถลดคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ เช่น กรณีที่ 1 เปลี่ยนผนังก่ออิฐมวลเบาเป็นผนังก่ออิฐบล็อก สามารถลดคาร์บอนฟุตพรินต์ได้มากถึงร้อยละ 1.87 แต่การเปลี่ยนผนังก่ออิฐมวลเบาเป็นผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่มีค่า Emission Factor สูงกว่า ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์สูงกว่าเดิมร้อยละ 4.38 แสดงให้เห็นว่า ยิ่งเลือกใช้วัสดุที่มีค่า Emission Factor ต่ำได้มากเท่าใหร่ ก็ยิ่งจะสามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ ของการก่อสร้างบ้านได้มากขึ้นเท่านั้น

3. เฉพาะในขั้นตอนของการติดตั้งโซลาร์เซลล์ขนาด 3.27 kWh ในครั้งแรก เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์เพียง 846.49 $kgCO_2e$ แต่เมื่อระยะยาวใช้งานรวม 20 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์แล้ว สามารถลดการเกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ได้มากถึง 48,583.21 $kgCO_2e$ แทนการใช้ไฟฟ้าจากหน่วยงานของการไฟฟ้ามหานครหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งโซลาร์เซลล์นั้น สามารถลดคาร์บอนฟุตพรินต์ในระยะยาวได้มาก

หากเปรียบเทียบกับวิจัยในอดีตที่คล้ายคลึงกัน พบว่า ผลการศึกษางานวิจัยนี้ เกิดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อพื้นที่บ้านเท่ากับ 726.86 $kgCO_2e$/ตร.ม. (รวมงานระบบปรับอากาศ ซึ่งมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อพื้นที่บ้านรวมกันเท่ากับ 412.86 $kgCO_2e$/ตร.ม.) แต่หากไม่รวมงานระบบปรับอากาศ จะมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อพื้นที่บ้านเท่ากับ 314.00 $kgCO_2e$/ตร.ม. ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ นิคม วัดเกตุ และ นที สุริยานนท์ (2567) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่าคาร์บอนแผงอาคารโรงงาน และได้ค่าคาร์บอนแผงต่อพื้นที่อาคารเท่ากับ 300.01 $kgCO_2e$/ตร.ม. เนื่องจากงานวิจัยของ นิคม วัดเกตุ ไม่รวมวัสดุก่อสร้างบางชนิดที่ไม่สามารถหาค่า Emission Factor ได้ และไม่รวมงานเสาเข็ม งานทาสี งานระบบปรับอากาศ งานเครื่องกล งานไฟฟ้า และงานประปา งานรั้วรอบพื้นที่ ขณะที่งานวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งหมดทุกงานที่กล่าวมา

6

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตการคำนวณหาคาร์บอนฟุตพรินต์ของการใช้วัสดุก่อสร้าง การขนส่งจากจุดขายวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง ไปยังสถานที่ก่อสร้าง โดยกำหนดขอบเขตเฉพาะช่วงการก่อสร้างเท่านั้น ซึ่งเป็นเพียงบางส่วนของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ยังไม่รวมการขนส่งการกระจายสินค้าจากแหล่งผลิตหลักไปยังจุดขายตามภูมิภาค ไม่รวมช่วงการใช้งานบ้านและการกำจัดซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน ประกอบกับการหาค่า Emission Factor ของแผงโซลาร์เซลล์ ยังไม่พบว่า มีผู้ผลิตรายใดที่ได้การรับรองผลิตภัณฑ์และประกาศใช้อย่างเป็นทางการจาก อบก. จึงใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก National Renewable Energy Laboratory (NREL) เปรียบเทียบกับข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ในประเทศไทยรายหนึ่ง มาเป็นข้อมูลอ้างอิง และงานวิจัยนี้ ก่อสร้างบนชั้นดินแข็งเสาเข็มยาว 4 เมตร ไม่รวมการปรับที่ดินก่อนก่อสร้างและใช้วิธีเข่าไม้แบบเหล็กแทนไม้แบบขนิดไม้อัด ดังนั้น หากนำข้อมูลนี้ไปใช้งานควรพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบการใช้งานเพิ่มเติม

สำหรับแนวทางในการทำวิจัยในครั้งต่อไป หากพิจารณาเพิ่มเติมขั้นตอนของการกระจายสินค้าจากแหล่งผลิตหลักไปยังจุดขายในภูมิภาค ช่วงการใช้งานบ้านและช่วงการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน ก็จะได้ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ ที่เกิดจากการก่อสร้างบ้าน พื้นที่ 140 ตร.ม. พร้อมติดตั้งโซลาร์เซลล์ 3.27 kWh ที่ครบถ้วนสมบูรณ์มากขึ้น และจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการก่อสร้างบ้านจัดสรรต่อไป

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. วันโชค เครือหงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการจัดทำงานวิจัย วางแผนงาน ตรวจทานงานวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ ครูธิดารัตน์ นิยมถิ่น ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนจันทร์หุ่นบำเพ็ญ ที่ได้ให้คำแนะนำในการเขียนรายงานการวิจัย การค้นคว้าค่า Emission Factor ที่น่าเชื่อถือได้ทั้งจากแหล่งสืบค้นภายในประเทศและต่างประเทศ และขอขอบคุณบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างบ้าน บริษัท ริเวอร์ฮิลล์ บิวเดอร์ จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูล ปริมาณงาน แบบก่อสร้าง แบบสามมิติ ขั้นตอนวิธีการก่อสร้างบ้าน และขอขอบคุณ บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นผู้ผลิต จัดจำหน่ายและติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณงาน ขั้นตอนการติดตั้งโซลาร์เซลล์ ค่า Emission Factor ของการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งเป็นประกอบที่สำคัญของการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดี

[1] Thai Meteorological Department. (2024). *Greenhouse effect*. http://climate.tmd.go.th/content/article/10

[2] กิตติพัฒน์ เจนวรพจน์ และ นที สุริยานนท์. (2567). การประมาณค่าคาร์บอนแผงการก่อสร้างผิวถนนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตและทางระบายน้ำ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 29*, เชียงใหม่, 29-31 พฤษภาคม 2567, หน้า CEM 23-1 – 23-8.

[3] อภิมุข แสงพราย, นที สุริยานนท์ และสมจินตนา แขนงแก้ว. (2567). คาร์บอนฟุตพรินต์ของคอนกรีตบล็อก มอก. 58-2560. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 29*, เชียงใหม่, 29-31 พฤษภาคม 2567, หน้า CEM09-1 – 09-8.

[4] นิคม วัดเกตุ และนที สุริยานนท์. (2567). การประมาณค่าคาร์บอนแผงอาคารโรงงาน. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 29*, เชียงใหม่, 29-31 พฤษภาคม 2567, หน้า CEM 26-1 – 26-11.

[5] ณัฐวัฒน์ บุญแสง และนที สุริยานนท์. (2567). การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์องค์กร : กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัดเจ.เอส.ยูเนี่ยน คอนสตรัคชั่น. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 29*, เชียงใหม่, 29-31 พฤษภาคม 2567, หน้า CEM24-1 – 24-8.