การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก

อภิชา โซ่จินดามณี

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

พฤษภาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก

อภิชา โซ่จินดามณี

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
พฤษภาคม 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

CARBON FOOTPRINT EVALUATION FROM ALTERNATIVE CONSTRUCTION MATERIALS OF RESIDENCE WALL

APHICHA SOJINDARMANEE

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirements for the Master of Engineering Degree

in Environmental Engineering

May 2023

Copyright 2023 by University of Phayao

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

เรื่อง

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก

ของ อภิชา โซ่จินดามณี

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

(ดร. ศตวรรษ ทนารัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง

(ดร. โสมนัส สมประเสริฐ)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร. วนาวัลย์ ปรากฏ)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก

ผู้ศึกษาค้นคว้า: อภิชา โซ่จินดามณี, การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง: วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. โสมนัส สมประเสริฐ

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, ผนังอาคารพักอาศัย, วัสดุทางเลือก, คาร์บอนฟุตพริ้นท์

บทคัดย่อ

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ได้ทำการประเมินผนังอาคารที่เป็นผนังอิฐมอญ และผนังอิฐมวลเบา โดยใช้วิธีการคำนวณตามคู่มือ IPCC (2006) และกำหนดขอบเขตของการประเมินแบบ Business to Business : B2B ซึ่งทำการประเมินในขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและขั้นการผลิต จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผนังอิฐมอญมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 58.23 $kgCO_2eq.$ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผนังอิฐมวลเบามีค่าเท่ากับ 37.25 $kgCO_2eq.$ ต่อพื้นที่ผนัง 1 ตารางเมตร ซึ่งปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผนังอิฐมวลเบามีค่าน้อยกว่าผนังอิฐมอญถึง 20.98 $kgCO_2eq.$ ต่อผนัง 1 ตารางเมตร จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ แสดงให้ถึงความจำเป็นในการคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างทางเลือก รวมถึงวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบาทำให้สามารถลดรอบของการขนส่งวัสดุก่อสร้างลงได้ ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าลดลงตาม แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอาคารพักอาศัยเท่านั้น ยังไม่รวมถึงการอยู่อาศัยและการรื้อถอนของผนัง

Title: CARBON FOOTPRINT EVALUATION FROM ALTERNATIVE CONSTRUCTION MATERIALS OF RESIDENCE WALL

Author: Aphicha Sojindarmanee, Independent Study: M.Eng. (Environmental Engineering), University of Phayao, 2022

Advisor: Dr. Somanat Somprasert

Keywords: Greenhouse gas, Residence Wall, Alternative material, Carbon Footprint

ABSTRACT

This research aims to study the carbon footprint evaluation from alternative construction materials of residence wall. The research evaluates brick wall and lightweight concrete wall by using IPCC (2006) computation. Business to Business: B2B is used to determine the framework of this evaluation. It was found that greenhouse gas emission of brick wall is 58.23 $kgCO_2eq$ and lightweight concrete wall is 37.25 $kgCO_2eq$ per square meter. Greenhouse gas emission of lightweight concrete wall is less than brick wall 20.98 $kgCO_2eq$. per square meter. This research shows that alternative construction materials and lightweight construction materials help to decrease transportation of the construction materials. And greenhouse gas emission also decreases. However, this research evaluates only greenhouse gas emission of materials of residence wall which the living and demolition aren't evaluated in this research.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์และมีคุณค่าทางวิชาการก็ด้วยความช่วยเหลือของผู้มีพระคุณหลายท่าน ดร. โสมนัส สมประเสริฐ ที่ทุ่มเท อุทิศเวลา ตั้งแต่งานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ยังไม่เป็นรูปเป็นร่างคอยแนะนำ ชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์และมีคุณค่าต่องานวิจัย ตลอดจนช่วยอ่าน ตรวจทานแก้ไขและให้กำลังใจ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความเมตตา เสียสละที่อาจารย์กรุณามอบให้ตลอดการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. ศตวรรษ ทนารัตน์ ประธานกรรมการสอบโครงการวิทยานิพนธ์ ดร.วนาวัลย์ ปรากฏ กรรมการสอบโครงการวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าช่วยอ่านงานวิจัย และให้คำแนะนำทำให้เนื้อหาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านจนกระทั่งโครงการวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

อภิชา โซ่จินดามณี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

อาคารบ้านพักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 5

อาคารต้นแบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา 12

วัสดุที่ใช้ก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างผนังอาคาร 18

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHG) 32

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Carbon footprint) 37

การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency Assessment) 43

ทบทวนวรรณกรรม 45

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 49

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 49

บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย 55
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา.....55
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนังผนังอิฐมอญ 67
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนังคอนกรีต.....82
เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของของการก่อสร้างผนังอาคารขนาด 1 ตารางเมตร จากวัสดุทั้ง 3 ประเภท 95
การคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท.....100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 102
สรุปผลการวิจัย 102
ข้อเสนอแนะของงานวิจัย.....103
บรรณานุกรม 105
ภาคผนวก 112
ภาคผนวก ก ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนัง (Product Category Rules for Building Material Product: Wall and Floor).....113
ประวัติผู้วิจัย 136

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงขนาดของทรายละเอียด 21

ตาราง 2 หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกวัสดุที่มีความยั่งยืน 24

ตาราง 3 ก๊าซเรือนกระจกและค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อน..... 32

ตาราง 4 กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 53

ตาราง 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร..... 58

ตาราง 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร 61

ตาราง 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร..... 66

ตาราง 8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร..... 71

ตาราง 9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร 74

ตาราง 10 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลมอญ ขนาด 1 ตาราง 79

ตาราง 11 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร 85

ตาราง 12 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร 87

ตาราง 13 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร..... 91

ตาราง 14 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่ง(ขั้นตอนการผลิต)ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร.....92

ตาราง 15 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ขนาด 1 ตารางเมตร ของผนังทั้ง 3 ประเภท.....100

ตาราง 16 เปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ขนาด 1 ตารางเมตร ของผนังทั้ง 3 ประเภท 101

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการผลิต 2
ภาพ 2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผนังทึบแต่ละชนิด 14
ภาพ 3 ตัวอย่างบ้านแฝด 130 ตารางเมตร 17
ภาพ 4 รูปแบบของการก่ออิฐ 25
ภาพ 5 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 27
ภาพ 6 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก 35
ภาพ 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 36
ภาพ 8 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2B 38
ภาพ 9 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2C 39
ภาพ 10 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2C และ B2B 40
ภาพ 11 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์กระดาษสาไทยไม่ฟอก 41
ภาพ 12 องค์ประกอบของการพัฒนาอย่างยั่งยืน 44
ภาพ 13 วัสดุก่อสร้างที่ศึกษาในงานวิจัยของ Monahan and Powell, 2011 47
ภาพ 14 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะของการก่อสร้างต่าง ๆ 48
ภาพ 15 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 49
ภาพ 16 แผนภาพกระบวนการผลิตของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา 51
ภาพ 17 แผนภาพกระบวนการผลิตของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ 52
ภาพ 18 แผนภาพกระบวนการผลิตของการก่อสร้างผนังคอนกรีต 52
ภาพ 19 ลักษณะผนังอิฐมวลเบาที่ก่อสร้างจริงของงานวิจัยนี้ 55
ภาพ 20 แผนภาพกระบวนการผลิตและปริมาณวัสดุ (BOQ) ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร 56

ภาพ 21 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา.....67

ภาพ 22 ลักษณะผนังอิฐมอญที่ก่อสร้างจริงของงานวิจัยนี้.....68

ภาพ 23 แผนภาพกระบวนการผลิตและปริมาณวัสดุ (BOQ) ของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร 69

ภาพ 24 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ..... 81

ภาพ 25 ลักษณะผนังคอนกรีตที่ก่อสร้างจริงของงานวิจัยนี้.....82

ภาพ 26 แผนภาพกระบวนการผลิตและปริมาณวัสดุ (BOQ) ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร 83

ภาพ 27 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังคอนกรีต 94

ภาพ 28 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการ.....95

ภาพ 29 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการ 96

ภาพ 30 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง.....97

ภาพ 31 เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมของการก่อสร้างผนัง.....98

ภาพ 32 เปรียบเทียบปริมาณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นของแต่ละขั้นตอนในการก่อสร้างผนัง 99

ภาพ 33 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระเบื้องเซรามิคภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับองค์กรธุรกิจ (Business-to-Business: B2B) และแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business-to-Consumer: B2C).....116

ภาพ 34 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business-to-Consumer: B2C).....116

ภาพ 35 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แผ่นบุผนังจากกระดาษรีไซเคิลภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับองค์กรธุรกิจ.....117

บทที่ 1

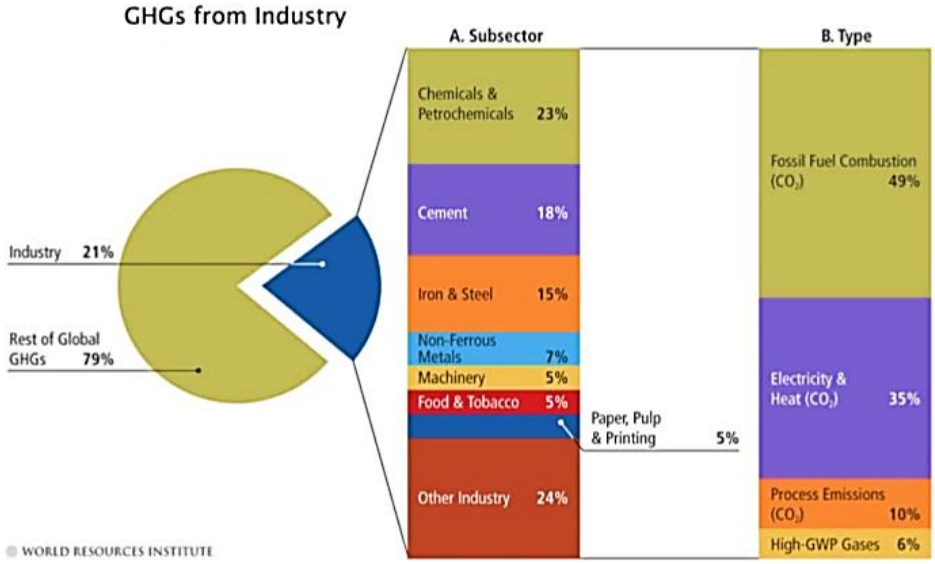
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทางตรงและทางอ้อม ทั้งการใช้พลังงาน การเกษตรกรรม การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change, 2007) ซึ่งส่งผลกระทบต่อวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต และมีแนวโน้มทวีความรุนแรงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน ทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมในฐานะผู้ผลิต ภาคบริการในฐานะผู้ขับเคลื่อนกิจกรรม รวมถึง ภาคประชาชนในฐานะผู้บริโภคที่จะร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศและของโลก

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องตระหนักถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม ในขณะที่ต้องรักษามาตรฐานและคุณภาพในการก่อสร้างกว่า 1 ใ น 3 ของสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกมาจากภาคการก่อสร้าง โดยสาเหตุหลักมาจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นหลักในการผลิตวัสดุก่อสร้างสำหรับระบายความร้อน ระบบแสงสว่าง ระบบน้ำร้อน อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ดังแสดงในภาพ 1 อีกทั้ง จากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovermental Panel on Climate Change: IPCC) ยังพบว่าอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์เป็นหนึ่งในกลุ่มอุตสาหกรรมหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปริมาณมากในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปี พ.ศ. 2547 (IPCC, 2006) จากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ได้ประเมินว่าภาคการก่อสร้างปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานสู่ชั้นบรรยากาศประมาณ 3 กิกะตันต่อปี ทั้งนี้ภาคการก่อสร้างเสนอการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบประหยัดต้นทุนในทุกภูมิภาคภายในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งมีตั้งแต่ 0–2 ดอลล่าสหรัฐต่อกิกะตันของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในประเทศกำลังพัฒนาโดยใช้มาตรการการออกแบบ

ภายในอาคารแบบบูรณาการ การปรับปรุงซ่อมแซมอย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้อาคารที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์และอาคารที่ไม่ใช้พลังงาน



ภาพ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการผลิต

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2550)

จะเห็นได้ว่าในภาคการก่อสร้างนั้นก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง กระบวนการก่อสร้าง ไปจนถึงกระบวนการกำจัดเศษซาก โดยเฉพาะในขั้นตอนของการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้างถือเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบสูงที่สุด ดังนั้น แนวทางในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างจะส่งผลถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ซึ่งการบรรเทาและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในด้านการก่อสร้างนอกจากจะสร้างโอกาสในการสร้างระบบเศรษฐกิจที่ยั่งยืนแล้ว ยังสร้างโอกาสการทำงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

ด้วยความตระหนักในผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคาร การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารพักอาศัย มีขอบเขตการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการก่อสร้างแบบ Business to Business (B2B) โดยจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า Carbon Intensity ของการก่อสร้างใน

หน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2eq.) เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยนี้มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอาคารที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (เกศิณี เรือนคำ และปุ่น เทียงบูรณธรรม, 2558) และสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาทางเลือกวัสดุก่อสร้างอาคารต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย และทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวิธีการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย ขนาด 1 ตารางเมตร

2. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างวัสดุก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบเดิมและแบบแนวทางเลือกใหม่

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. ผนังอาคารบ้านพักอาศัยที่ศึกษาคือ ผนังอาคารบ้านพักอาศัยของโครงสร้างอาคารบ้านเดี่ยวแบบ 1 ชั้น โครงการบ้านพักข้าราชการชำนาญงาน/ปฏิบัติการ (ระดับ 3-6) จังหวัดลำปาง เทียบเท่าเนื้อที่ 87 ตารางเมตร สำหรับเป็นบ้านพักอาศัยต้นแบบ โดยไม่พิจารณารวมช่วงของวัฏจักรชีวิตภายหลังการก่อสร้าง สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เลือกวัสดุก่อสร้างอาคารจำนวน 3 แบบ ได้แก่ คอนกรีตสำเร็จรูป ที่ผลิตโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติเป็นวัสดุผนังอาคารต้นแบบ, วัสดุทางเลือก ได้แก่ อิฐมวลเบา ที่ผลิตด้วยวิธี Cellular lightweight concrete (CLC) และอิฐมอญ ที่ผลิตด้วยระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรเป็นหลัก

2. หน่วยการทำงานของผนังอาคารบ้านพักอาศัยที่ศึกษา (Functional Unit): 1 ตารางเมตร

3. ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผนังอาคารบ้านพักอาศัย (Carbon Footprint of Product: CFP): ประเมินแบบ Business to Business (B2B) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการศึกษา ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) ของผนัง 1 ตารางเมตร

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล: ข้อมูลที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ

5. ระยะเวลาในการศึกษารวบรวมข้อมูล: 1 ปี (1 มกราคม – 31 ธันวาคม พ.ศ. 2563)

6. ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rule: PCR) ที่ใช้อ้างอิง: ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนัง (Product Category Rules for Building Material Product: Wall and Floor)

7. ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Emission Factor): เลือกใช้ค่า Emission Factor จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), CFP มีนาคม 2564

8. ในการประเมินครั้งนี้ไม่นับรวมวัสดุสิ้นเปลืองและของเสีย จากไม้แบบที่ใช้ในการก่อสร้างผนัง เนื่องจากไม้แบบสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างผนังครั้งต่อไปได้

9. การก่อสร้างผนังมีการใช้น้ำเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นส่วนผสมของปูนที่ต้องใช้ในงานก่อและฉาบผนังโดยตรง

10. ในการก่อสร้างผนังคอนกรีต จะคำนวณการใช้ไฟฟ้าจากตู้เชื่อม และน้ำมันดีเซลสำหรับรถขนส่งและรถเครนยกผนังคอนกรีตที่หล่อขึ้นรูปแล้ว มาติดตั้งยังหน้างาน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผนังอาคารบ้านพักอาศัย ขนาด 1 ตารางเมตร ในภาพรวมของวัสดุที่ใช้ และทราบถึงรายละเอียดกิจกรรมใดในกระบวนการผลิตที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด

2. เป็นตัวช่วยในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างอาคารที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความหมายของอาคารบ้านพักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน นิยามและแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจก นิยามของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากด้านการก่อสร้าง โดยสามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

อาคารบ้านพักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความรู้เป็นจุดเริ่มต้นของนวัตกรรมการก่อสร้างอาคารและสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ยิ่งอยู่ในพื้นที่ที่มีความเจริญมากเท่าใด จำนวนสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างของมนุษย์ก็มีมากขึ้นเท่านั้น จากข้อมูลของ (United Nations, 1998) ระบุว่า ในปี 2023 โลกมีประชากรมากกว่า 8 พันล้านคน โดยประชากรในหลายภูมิภาคเริ่มประสบกับภาวะขาดแคลนทรัพยากร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งยังคาดว่าจำนวนประชากรโลกจะเพิ่มขึ้นอีก 2.4 พันล้านรายภายในปี 2080 จากอัตราการพัฒนากลุ่มประเทศและฐานอุตสาหกรรมการผลิตระบบเมือง สามารถคาดการณ์ได้ว่าในปี 2050 ภูมิภาคเอเชียและแอฟริกาจะมีแนวโน้มเติบโตความเป็นเมืองในอัตราสูงถึงร้อยละ 64 และร้อยละ 56 ตามลำดับ นั่นหมายความว่าในอนาคตจำนวนอาคารก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นตึกสูง ตึกแถว และบ้านเรือนจะมีจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ผลกระทบจากอาคารต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมก็จะยิ่งมีความรุนแรงมากขึ้น

โดยผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 6 ด้านดังนี้

1. ด้านทรัพยากรพลังงาน เนื่องจากตึกหรืออาคารส่วนใหญ่มีการเผาผลาญทรัพยากรพลังงานไปกับสิ่งต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เครื่องปรับอากาศ การระบายอากาศ การสูบน้ำ หลอดไฟทั้งในและนอกอาคาร ลิฟต์ และอื่น ๆ

2. ด้านทรัพยากรน้ำ ในที่นี้หมายถึงปริมาณน้ำที่ถูกใช้ทั้งในการบริโภค ทำความสะอาด รดน้ำต้นไม้ในสวนรอบ ๆ บริเวณพื้นที่อาคาร

3. ด้านสภาพอากาศในพื้นที่และชั้นบรรยากาศ ตึกอาคารต่าง ๆ มีส่วนในการเพิ่มอุณหภูมิของพื้นที่รอบข้าง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า urban heat island นอกจากนี้การใช้

ทรัพยากรพลังงานเกือบตลอดทั้งวันยังส่งผลให้อาคารปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศในปริมาณมาก

4. ด้านการใช้พื้นที่ หากก่อสร้างอาคารบนพื้นที่สีเขียวก็จะต้องมีการตัดไม้ทำลายป่าหรือรุกล้ำพื้นที่ธรรมชาติ นอกจากนี้การก่อสร้างยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนรอบข้างได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น ขยะมลพิษจากกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งรวมถึงมลพิษทางเสียง นอกจากนี้แสงไฟจากตึก อาคารเอง ก็ยังรบกวนชุมชนรอบข้างในตอนกลางคืน

5. ด้านสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร หลายคนอาจมองว่ามลพิษข้างนอกบ้านนั้นอันตราย โดยไม่รู้ว่ามลพิษภายในอาคารก็อันตรายเหมือนกัน มลพิษทางอากาศที่อันตรายที่สุดอันหนึ่งคือ ก๊าซเรดอน ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ทั่วไป ทุกหนแห่ง ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสใด ๆ ของมนุษย์ ก๊าซเรดอนเป็นสารก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดในมนุษย์ สามารถพบได้ทั่วไปในดินหินตามธรรมชาติ เมื่อมนุษย์นำดิน หิน หรือทราย ที่มีแร่เรเดียมเจือปนมาก่อสร้างอาคาร วัสดุเหล่านั้นก็จะปล่อยก๊าซเรดอนออกมาตามปริมาณเรเดียมที่ปะปนอยู่ อีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ แร่ใยหิน (asbestos) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มักพบในวัสดุก่อสร้าง เช่น กระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องแผ่นเรียบ ฝ้าเพดาน หากไม่มีการระบายอากาศที่ดี แร่ใยหินก็จะเป็นอันตรายต่อปอดของมนุษย์ได้ถ้าสูดดมเข้าไป ทำให้เป็นโรคมะเร็งปอดหรือโรคปอดอักเสบ นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์เองก็สร้างมลพิษได้เหมือนกัน เช่น บุหรี่ ยาฆ่าแมลง สเปรย์ต่าง ๆ เป็นต้น

6. ด้านวัตถุดิบก่อสร้างและขยะ ยิ่งมีการก่อสร้างมากขึ้น วัตถุดิบธรรมชาติที่นำมาแปรรูปเพื่อใช้ก่อสร้าง ซ่อมแซม และบำรุงก็ต้องถูกเผาผลาญมากขึ้น แร่หิน น้ำ น้ำมัน พลังงานต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการก่อสร้าง ก็จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่นเดียวกับขยะจากขั้นตอนเหล่านั้น

6.1 นิยามอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ กล่าวไว้ว่า “อาคารสีเขียว คือโครงสร้างที่ผ่านกระบวนการซึ่งไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรโลก ตลอดอายุ Life-Cycle ของอาคาร ตั้งแต่การออกแบบ, ก่อสร้าง, ดำเนินการใช้งาน, ดูแลรักษา, ต่อเติม ไปจนถึงการทำลาย”นอกจากนี้ ยังสามารถขยายความได้อีกว่าเป็นอาคารที่ออกแบบโดยคำนึงถึง เศรษฐวิทยา, สาธารณูปโภค, ความแข็งแรงทนทาน และความสะดวกในการใช้งาน ได้อีกด้วย

6.2 วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติถูกทำลายมากกว่า 1 ใน 3 ทั่วโลก ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา ที่เห็นได้ชัดที่สุดคือ “สภาวะโลกร้อน” เนื่องจากป่าไม้ถูกทำลาย จนทำให้

เกิดมลพิษเรือนกระจกปกคลุมบนชั้นอากาศ ดังนั้นการสร้างวัสดุและผลิตภัณฑ์ทดแทนจากธรรมชาติ จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยลดปัญหาเหล่านั้นลงได้ และในปี 2019 นี้ วัสดุทดแทนธรรมชาติ หรือ Polypropylene Recycle จะกลายมาเป็นวัสดุที่ถูกเลือกใช้มากที่สุด เนื่องจากแบรนด์สินค้ามีความตระหนัก รวมถึงการใช้นวัตกรรมทางด้านเทคโนโลยีเข้ามาช่วยงานจะช่วยลดต้นทุนทำให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพสูง

วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่จะช่วยให้อยู่รวมกับธรรมชาติได้อย่างกลมกลืนและเป็นหนึ่งเดียวกัน

6.2.1 ไม้สังเคราะห์

ไม้สังเคราะห์เป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นมาเพื่อทดแทนวัสดุจากธรรมชาติ ใช้งานได้ทั้งภายนอกและภายใน รวมถึงตกแต่งได้ทุกพื้นที่ไม่ว่าจะเป็น พื้น, ผนัง, ฝ้าเพดาน อีกทั้งยังมีลวดลายและสีสันที่เหมือนไม้จากธรรมชาติ บวกกับนวัตกรรมในการผลิตจึงทำให้มีคุมสมบัติบางประการที่ไม้ตามธรรมชาติไม่มี ในส่วนของกระบวนการผลิตแบ่งออกได้ 3 ประเภท ที่ผสมกับผงไม้ คือ ที่มีส่วนผสม Polyethylene, Polypropylene, Polyvinyl chloride จึงทำเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีในการตอบโจทย์การใช้งานในการก่อสร้าง ด้วยคุณสมบัติที่หลากหลาย ทนแดด–ฝน และมาพร้อมกับนวัตกรรมที่ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ได้ได้ในทุกพื้นที่

6.2.2 หินเทียม

หินเทียมถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหินธรรมชาติ ที่ปัจจุบันเริ่มลดน้อยลง อีกทั้งยังมีราคาสูง ส่วนกระบวนการผลิตของหินเทียมเลือกใช้ ปูนขาว, เม็ดหินภูเขาไฟ และเคลือบด้วยสารกันเชื้อราและตะไคร้น้ำ จึงทำให้มีความคงทนต่อสภาพอากาศได้เป็นอย่างดี ด้วยคุณสมบัติที่แข็งแรงทนทาน บวกกับมีสีสัน–ลวดลายที่สวยงาม มีให้เลือกใช้งานหลากหลาย จึงทำให้หินเทียมถูกเลือกไปใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร การใช้งานหินเทียมสำหรับภายนอกอาคารนั้น หลักๆจะถูกใช้เป็นวัสดุปิดผิวตามโครงสร้างเช่น เสา, ผนัง กำแพง รวมไปถึงการปูพื้นบริเวณกลางแจ้ง ส่วนพื้นที่ภายในมักจะถูกนำไปประยุกต์ใช้บริเวณหน้าบานของ Counter ครัว รวมถึงอ่างล้างหน้าและอื่น ๆ

6.2.3 อลูมิเนียม

อลูมิเนียมเป็นอีกหนึ่งวัสดุที่สถาปนิกและช่างก่อสร้างมักเลือกใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวด้วยผิวสัมผัสที่แวววาวจึงถูกใช้งานแบ่งเป็น 2 ประเภท คือโครงสร้างบริเวณหน้างต่าง–ประตู และอีกประเภทคือการนำมาใช้ปิดผิวบริเวณผนังภายในอาคาร รวมถึงเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ และด้วยนวัตกรรมที่ก้าวไกล จึงทำให้อลูมิเนียมกลายเป็นวัสดุหลักที่ถูกเลือกใช้ตกแต่งในงานสถาปัตยกรรม และจะเห็นได้อย่าง

ชัดเจนจาก อลูมิเนียม คอมโพสิท เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรทนทาน นอกจากนั้นยังมีความยืดหยุ่นในตัวสูง และมีพื้นผิวให้เลือกใช้งานหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นลายไม้ ลายอิฐ ทำให้สามารถนำไปใช้ได้ทุกงานดีไซน์

6.2.4 ปูนซีเมนต์โปร่งแสง

ปูนซีเมนต์โปร่งแสง หรือ I.light เกิดจากปูนซีเมนต์ ที่มีส่วนผสมของเคมีภัณฑ์ชนิดพิเศษผสมกับเรซิ่นชนิดพิเศษ ทำให้เกิดเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ ที่มีคุณสมบัติที่แข็งแรงอีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นเป็นฉนวนกั้นความร้อน และที่สำคัญมีความโปร่งแสงทำให้แสงจากธรรมชาติลอดผ่าน ช่วยเพิ่มมิติความสวยงามตามช่วงเวลาที่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องผ่าน วัสดุชนิดนี้เป็นเป็นการเปลี่ยนโฉมของวัสดุก่อสร้างรูปแบบเดิม สู่นวัตกรรมวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยแท้จริง ซึ่งจะเห็นได้จากกระบวนการผลิต รวมไปถึงประเภทงานสถาปัตยกรรมที่เลือกใช้ มักจะถูกใช้กับอาคารขนาดใหญ่ และโครงการที่มีมูลค่ามหาศาล เนื่องจากปูนซีเมนต์โปร่งแสงมีราคาสูง

6.2.5 ผ้าทอจากโลหะ

ผ้าทอจากโลหะผลิตจากเส้นใยสแตนเลส, ทองแดง, ทองเหลือง, ดีบุก รวมถึงแร่ต่าง ๆ เช่น หินบะซอลต์ คาร์บอนไฟเบอร์ และเคฟลาร์ โดยผ้าทอจากโลหะมีความพิเศษคือมีเส้นใยขนาดเล็กได้ถูกพัฒนาในด้านวัตถุดิบที่ใช้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับการออกแบบวัสดุชนิดนี้มีผิวสัมผัสที่เรียบลื่น แปลกตา เหมาะกับการใช้ภายในอาคาร เช่น บ้านพักอาศัย,โรงแรม, พิพิธภัณฑ์ รวมไปถึงการจัดแสดงศิลปะต่าง ๆ ถือเป็นอีกหนึ่งวัสดุที่เป็นการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่าความสวยงาม สร้างเอกลักษณ์ที่โดดเด่นให้กับวัสดุและพื้นที่ใช้งาน

6.2.6 กระจก

กระจกมีหลายประเภททั้ง กระจกสะท้อนแสง กระจกตัดเงา กระจกนิรภัย และอื่น ๆ ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุดคือกระจกแบบ Low-E ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานเป็นได้ทั้งกระจกเก็บเสียง กระจกกันความร้อน และที่สำคัญดัดโค้งได้ตามการออกแบบ การนำเข้าไปตกแต่งในพื้นที่เพื่อลดการใช้พลังงาน คือการเลือกใช้กระจกให้เหมาะกับพื้นที่ อย่างเช่น ห้องนอนควรเลือกวางกระจกในทิศทางที่ทำให้แสงส่องมาถึง เพื่อให้แสงจากธรรมชาติส่องสว่างเข้ามาภายในอย่างเพียงพอ เป็นการช่วยลดพลังงานได้มากถึงร้อยละ 50

6.2.7 โฟม

โฟมกับงานก่อสร้าง เมื่อพูดถึงโฟมหลายคนคงคุ้นชินกับการนำไปใช้งานในชีวิตประจำวัน แต่ถ้ามองในเรื่องของงานทางด้านสถาปัตยกรรมที่ใช้งานส่วนใหญ่ คือ Expanded Polystyrene Foam (EPS Foam) ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าโฟมทั่วไปถึง 2 เท่าตัว นอกจากนั้นโฟม EPS Foam ยังทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากเป็นวัสดุที่นำความร้อนต่ำ กั้นการรั่วซึม โดยทั่วไปแล้วมักถูกหยิบมาใช้งานเป็นส่วนผสมเข้ากับผนังก่ออิฐ ก่อนฉาบปูนทับบนผิวโฟมอีกชั้น ทำให้ภายในพื้นที่กั้นความร้อน ลดการรั่วซึม และยังสามารถนำไปดัดแปลงเป็นเฟอร์นิเจอร์ได้หลายรูปแบบ

6.2.8 สี

สีผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ต้องเลือกใช้นวัตกรรม VOC หรือกระบวนการผลิตที่มีสารปรอทต่ำ จึงทำให้สีมีคุณสมบัติที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้งาน นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันจากสภาพอากาศ โดยการสะท้อนแสงแดดเมื่อมากระทบบริเวณผนังที่ทาสี ส่วนของการนำสีเข้าไปใช้งานควรเลือกให้เหมาะสม เนื่องจากสีมีหลายประเภททั้งภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน อย่างเช่น สีสำหรับภายนอกอาคารจะมีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้ดี ไม่หลุดร่อน ถ้าหากเป็นสีสำหรับทาภายในจะมีความยืดหยุ่น และมีความละเอียดของเนื้อสีค่อนข้างสูง

6.2.9 โซล่าร์เซลล์

โซล่าร์เซลล์คือแผงควบคุมพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนค่าให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่ผลิจากโซลาร์เซลล์จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หากนำมาใช้งานในรูปของไฟฟ้ากระแสสลับ 220V จะต้องใช้ Inverter เพื่อทำการแปลงค่าให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า รูปแบบการใช้งานที่เราเห็นได้ทั่วไปคือการนำแผงโซล่าร์เซลล์ติดตั้งบริเวณหลังคาบ้าน หันหน้าไปทางทิศตะวันออกเพื่อรับแสงจากดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังมีการประยุกต์แผงโซล่าร์เซลล์เป็นม่านบังกระจกนอกจากทำหน้าที่เป็นม่านบังสายตาแล้ว ยังช่วยในเรื่องของการปรับเปลี่ยนพลังงานเพื่อนำมาใช้งานอีกด้วย อายุของแผงโซล่าร์เซลล์จะมีอายุเฉลี่ยที่ 20–25 ปี โดยประมาณ

3. วิธีการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย

ขั้นตอนพื้นฐานสร้างบ้าน แบ่งออกเป็น 10 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 เตรียมพื้นที่

3.1.1 เคลียร์พื้นที่หน้างาน

3.1.2 วางแผนและเตรียมขนย้ายอุปกรณ์สำหรับการใช้งานเข้าพื้นที่หน้างานและเครื่องมือต่าง ๆ เข้าพื้นที่หน้างานเตรียมสถานที่ ที่พักคนงาน

3.1.3 ดำเนินการขอน้ำขอไฟฟ้าชั่วคราวกับหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้าง

3.2 ขั้นตอนงานวางผังอาคาร

การวางผังอาคารเป็นไปตามกำหนดตำแหน่งและขอบเขตของสิ่งก่อสร้างโดยอ้างอิงจากแบบก่อสร้างเพื่อให้สามารถก่อสร้างบ้านบนพื้นที่ดินได้อย่างครบถ้วนและถูกต้องตามแบบก่อสร้าง ก่อนจะทำการก่อสร้างโครงสร้างอาคาร (เช่น เสาเข็ม,ฐานราก,ตอม่อ)

3.2.1 ทำการวางผังแนวอาคาร

3.2.2 กำหนดตำแหน่งลงเสาเข็มต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากแบบแปลน

3.3 งานขุดเจาะเสาเข็ม

3.3.1 เลือกประเภทเสาเข็มที่เหมาะสม เช่น เสาเข็มตอก เสาเข็มเจาะ

3.3.2 ตรวจสอบคุณภาพชั้นดิน สามารถรับน้ำหนักได้ตามมาตรฐาน

3.3.3 ตรวจสอบคุณภาพเสาเข็ม สามารถรับน้ำหนักได้ตามมาตรฐาน

3.3.4 ขุดเจาะ กดหรือตอกเสาเข็มตามตำแหน่งที่กำหนด

3.3.5 ตัดหัวเสาเข็มเพื่อเตรียมหล่อฐานราก

3.4 งานฐานรากโครงสร้างชั้นล่าง

ฐานรากโครงสร้างอาคาร คือส่วนประกอบที่คอยรองรับน้ำหนักของอาคารที่ถูกถ่ายเทลงมา ซึ่งปกติแล้วน้ำหนักทั้งหมดจะถูกส่งต่อมายังตัวเสาแล้วถ่ายเทผ่านฐานรากโครงสร้างอาคารก่อนจะค่อยเคลื่อนตัวไปยังชั้นดินหรือชั้นหินที่อยู่ชั้นล่างสุด โดยฐานรากแบบพื้นฐานหรือ ฐานรากแผ่ เป็นฐานรากโครงสร้างอาคารประเภทหนึ่งที่ไม่มีเสาเข็มมาช่วยรับน้ำหนัก ดังนั้นฐานรากแผ่ใช้โครงสร้างของตัวเองในการรับน้ำหนัก

ดังนั้นฐานรากแผ่ที่เหมาะสมจึงควรมีขนาดเพียงพอสำหรับการกระจายน้ำหนักลงไปยังพื้นผิวด้านใต้โครงสร้างหรือในกรณีที่ฐานรากแผ่

3.4.1 โครงสร้างฐานราก ประกอบด้วย ฐานรากและเสาตอม่อ

3.4.2 ขึ้นโครงสร้างชั้นที่ 1 ประกอบด้วย คานคอดิน, เสา, คาน, พื้นชั้นล่าง

3.4.3 เตรียมขุดดิน เพื่อเตรียมโครงสร้างงานระบบสุขาภิบาลรอบบ้าน เช่น บ่อพัก Manhole ระบบท่อน้ำทิ้ง ท่อประปา

3.5 งานโครงสร้างชั้นบน โครงหลังคา และวางระบบสุขาภิบาล

ขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยงานโครงสร้างชั้นบน โครงหลังคา วางระบบสุขาภิบาล โครงสร้างเสา คาน อะเส (ส่วนประกอบของโครงสร้างหลังคา) ติดตั้งถังบำบัดน้ำเสียและถังเก็บน้ำใต้ดิน ซึ่งแต่ละงานสามารถทำได้พร้อมกันหรือเรียงลำดับความสำคัญก่อนหลังตามความสะดวกหน้างาน

3.5.1 ขึ้นโครงสร้างเสา คาน อะเส (ส่วนประกอบของโครงสร้างหลังคา)

3.5.2 ติดตั้งถังบำบัดน้ำเสียและถังเก็บน้ำใต้ดิน

3.6 งานมุงหลังคา โครงสร้างบันได งานหล่อชิ้นส่วนต่าง ๆ

3.6.1 เริ่มติดตั้งวัสดุมุงหลังคา เพื่อลดอุปสรรคจากลมฟ้าอากาศในการทำงาน

3.6.2 เริ่มหล่อโครงสร้างบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือติดตั้งบันไดเหล็กตามที่แบบระบุ

3.6.3 เก็บงานโครงสร้างในส่วนอื่น ๆ ให้พร้อมก่อนเริ่มงานก่อผนังและติดตั้งวัสดุปิดผิว

3.7 ก่อผนัง ติดตั้ง เตรียมงานระบบไฟฟ้า-ประปา

ติดตั้งวงกบเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างผนังของตัวบ้านกลับบ้านประตู หน้าต่าง เป็นสิ่งที่ยึดเหนี่ยว ผนังกลับบ้านประตู หน้าต่าง ให้อยู่ด้วยกันอย่างมั่นคงแข็งแรงและร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

เตรียมงานระบบ ในการก่อสร้างนั้นหมายถึงกลุ่มงานระบบสุขาภิบาล ระบบไฟฟ้า ระบบสื่อสาร ระบบดับเพลิง ระบบปรับอากาศ ซึ่งระบบเหล่านี้ทำให้บ้านน่าอยู่มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น งานระบบมีความสำคัญมากกว่าที่คิดหากวางแผนติดตั้งให้ดีและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสามารถลดปัญหาบำรุงรักษาในอนาคตได้มาก

3.7.1 ก่อผนัง และหล่อเสาเอ็น – คานเอ็น (ขึ้นอยู่กับแต่ละบ้านจะเลือกใช้ผนังแบบใด)

3.7.2 ผู้รับเหมาทำการเดินท่อระบบไฟฟ้า-ประปา ที่ต้องฝังในผนัง และติดตั้งวงกบไม้ประตูหน้าต่างให้เรียบร้อย

3.8 งานฉาบผนัง และติดตั้งฝ้าเพดาน

3.8.1 ฉาบผนังให้เรียบและสม่ำเสมอ ด้วยการ จับปุ่มทำระดับ จับเซี้ยม หรืออาจขึงลวดกรงไก่

3.8.2 ผนังเบาจะต้องฉาบเก็บรอยต่อระหว่างแผ่นผนังให้เรียบเนียน

3.8.3 กำหนดความสูงของฝ้าเพดานทั้งภายใน ภายนอกและฝ้าชายคา โดยติดตั้งโครงฝ้าและปิดด้วยวัสดุฝ้าเพดาน

3.8.4 ติดตั้งระบบไฟฟ้า โคมไฟ และช่องเซอร์วิสไปพร้อมกัน

3.9 งานติดตั้งประตู–หน้าต่าง รวมถึงวัสดุตกแต่ง พื้น–ผนัง และงาน Build–in

3.9.1 วัสดุตกแต่งผนังและพื้น

1) วัสดุพื้นผิวผนัง เช่น ทาสี ฉาบสกิมโค้ท ปูกระเบื้องเซรามิก ติดวอลล์เปเปอร์

2) วัสดุพื้น เช่น หินขัด กรวดล้าง/ทรายล้าง ปูกระเบื้องเซรามิก ไม้ปาร์เกต์ ไม้ลามิเนต เป็นต้น

3.9.2 ระบบแสงสว่างและติดตั้งดวงโคม

3.9.3 ติดตั้งบานประตู หน้าต่างไม้ ชุดประตู–หน้าต่างไวนิล/อะลูมิเนียม

3.9.4 งาน Build–in เช่น ตู้เสื้อผ้า ชั้นวางของ เคาน์เตอร์ครัว เป็นต้น

3.9.5 ติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ สุขภัณฑ์ในห้องน้ำ และอุปกรณ์เครื่องครัว

3.9.6 ก่อนการทาสี ควรป้องกันการเลอะเทอะ และปกป้องพื้นผิว ด้วยการห่อหุ้มอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยกระดาษหรือแผ่นพลาสติกก่อน

3.10 ทำความสะอาด และตรวจความเรียบร้อย

3.10.1 ทำความสะอาดและตรวจความเรียบร้อย

3.10.2 ตรวจสอบระบบต่าง ๆ ก่อนส่งมอบงาน

อาคารต้นแบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

บ้านคาร์บอนต่ำ หรือ Low Carbon Home (LCH) เป็นบ้านที่มีขั้นตอนตั้งแต่การก่อสร้าง ตกแต่ง การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการสร้างและออกแบบบ้านที่ให้ความสำคัญกับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เพื่อให้เป็นบ้านที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของบ้านนั้น ๆ น้อยที่สุด โดยการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างบ้านที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน โดยการใช้แหล่งพลังงานและเทคโนโลยีคาร์บอนต่ำ นอกจากนี้ในส่วนของผู้อยู่อาศัยเอง ก็จำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากร เช่น พลังงาน ไฟฟ้า น้ำประปา อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมถึงการตระหนักถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้ทรัพยากร และการจัดการของเสียด้วย แนวคิดเกี่ยวกับบ้านคาร์บอนต่ำเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินกิจกรรมที่สอดคล้องกับ

หลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน และช่วยพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำต่อไป (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และคณะ, 2562)

การสร้างบ้านคาร์บอนต่ำ ต้องเริ่มคำนึงตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกพื้นที่ การวางตัวบ้าน การออกแบบ และการวางระบบต่าง ๆ เช่น ระบบปรับ/ระบายอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบสุขาภิบาล และการจัดการขยะของเสียต่าง ๆ ให้เหมาะสม รวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อช่วยให้บ้านมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน ส่วนผู้อยู่อาศัยเองก็ต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพให้มากที่สุด โดยเริ่มจากสร้างความตระหนัก และการเปลี่ยนพฤติกรรมของตนเองและคนในครอบครัว ในชีวิตประจำวัน เช่น การลดการใช้พลังงาน ไฟฟ้า น้ำประปา การจัดการของเสีย การบริโภคอย่างพอเพียง การเลือกใช้วัสดุที่มีอายุยืนยาว และนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เป็นต้น ผนังบ้านเป็นส่วนที่รับความร้อนรองจากหลังคา (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2556) จึงแนะนำให้ทำผนังกันความร้อน ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น

1. เพิ่มค่าต้านทานความร้อน (R) ด้วยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านนอก หรือใช้ผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศระหว่างชั้น

2. เลือกใช้วัสดุทำผนังที่ช่วยหน่วงความร้อนได้ดี หลีกเลี่ยงการใช้ผนังมวลมากที่จะส่งผลให้เกิดการกักเก็บความร้อน

3. ออกแบบผนังด้านทิศใต้และทิศตะวันตกซึ่งโดนแดดมากให้เป็นผนังทึบมากกว่าช่องเปิด ก็จะป้องกันความร้อนได้ดีขึ้น

วัสดุ		ค่าต้านทานความร้อน (R-value)*	ความหนา (ซม.)	ราคา (บาท/ตร.ม)	ร้อยละค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ลดลง* (%)
อิฐมอญ		0.15 (m^2.°C)/W	7	75	-
คอนกรีตบล็อค		0.16 (m^2.°C)/W	9	139	4
คอนกรีตมวลเบา		0.56 (m^2.°C)/W	10	198	57

หมายเหตุ: * ค่าต้านทานความร้อนในหน่วย (m^2.°C)/W ของวัสดุยิ่งมีค่ามากยิ่งดี

** ร้อยละค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ลดลงเทียบกับอิฐมอญ

ภาพ 2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผนังทึบแต่ละชนิด

ที่มา: อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และคณะ (2562)

1. ลักษณะอาคารบ้านแฝด 130 ตารางเมตร

1.1. การก่อผนัง

1.1.1 ผนังก่อบนพื้น ค.ส.ล. ทุกแห่ง ผิวหน้าของพื้น ค.ส.ล. ต้องสกัดผิวให้ขรุขระแล้วทำความสะอาด และราดน้ำให้เปียกก่อนที่จะก่อผนัง โดยเฉพาะการก่อผนังริมนอกโดยรอบอาคาร และโดยรอบห้องน้ำต้องเทคอนกรีตกว้างเท่ากับผนังก่อสูงจากพื้น ค.ส.ล. 10 เซนติเมตร ก่อนจึงก่อผนังทับได้เพื่อกันน้ำรั่วซึม

1.1.2 ผนังก่อชนเสา ค.ส.ล. ผิวหน้าของเสาต้องสกัดผิวให้ขรุขระ แล้วทำความสะอาด และราดน้ำให้เปียกเสียก่อน ก่อนที่จะก่อผนัง และจะต้องใช้เหล็กเสริมขนาด RB 6 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ทุกระยะ 60 เซนติเมตร เสริมยึดผนังอิฐกับโครงสร้าง ค.ส.ล. ตลอดแนวผนังอิฐที่มาชน โดยใช้วิธีเจาะโครงสร้าง ค.ส.ล. ด้วยสว่านเจาะคอนกรีต

1.1.3 การก่อผนังจะต้องได้แนว ได้ดิ่งและได้ระดับ และต้องเรียบโดยการทิ้งดิ่งและใช้เชือกดึงจับระดับทั้ง 2 แนวตลอดเวลา ผนังก่อที่ก่อเปิดเป็นช่องต่าง ๆ เช่น DUCT สำหรับระบบปรับอากาศหรือไฟฟ้า ต้องเรียบร้อยมีขนาดตามระบุในแบบก่อสร้าง และต้องมีเสาเอ็นหรือทับหลังโดยรอบ

1.1.4 ปูนก่อสำหรับก่อผนัง ให้ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทรายหยาบ 3 ส่วน โดยปริมาตร นอกจากจะได้รับอนุมัติจากผู้ควบคุมงาน หรือคณะกรรมกสนตรวจการจ้างเป็นอย่างอื่น การผสมปูนก่อ ให้ผสมแห้งระหว่างปูนซีเมนต์และทรายให้เข้ากันดีเสียก่อนจึงเติมน้ำส่วนผสมของน้ำ จะต้องไม่ทำให้ปูนก่อเหลวเกินไป การผสมปูนก่อให้ผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีต การผสมปูนก่อด้วยมืออาจอนุมัติให้ใช้ได้ในกรณีที่สามารถผสมปูนก่อให้มีคุณภาพเท่ากับการผสมด้วยเครื่อง ปูนก่อจะต้องถูกผสมตลอดเวลาจนกว่าจะนำมาใช้ ปูนก่อที่ผสมแล้วเกินกว่า 1 ชั่วโมง ห้ามนำมาใช้

1.1.5 แนวปูนจะต้องหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ต้องใส่ปูนก่อให้เต็มรอยต่อโดยรอบแผ่นวัสดุก่อการเรียงก่อต้องกดก้อนวัสดุก่อและใช้เกรียงอัดปูนให้แน่นไม่ให้มีซอก มีรู ห้ามใช้ปูนก่อที่กำลังเริ่มแข็งตัวหรือเศษปูนก่อที่เหลือร่วงจากการก่อมาใช้ก่ออีก

1.1.6 การก่อผนังในช่วงเดียวกัน ต้องก่อให้มีความสูงใกล้เคียง ห้ามก่อผนังส่วนหนึ่งส่วนใดสูงกว่าส่วนที่เหลือเกิน 1.00 เมตร และผนังก่อหากก่อไม่แล้วเสร็จในวันนั้น ส่วนบนของผนังก่อที่ก่อค้างไว้จะต้องหาสิ่งปกคลุมเพื่อป้องกันฝน

1.1.7 ผู้รับจ้างต้องทำช่องเตรียมไว้ในขณะก่อสร้าง สำหรับงานของระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่นระบบไฟฟ้า ระบบสุขาภิบาล ระบบปรับอากาศ ฯลฯ การสกัดและการเจาะผนังก่อเพื่อติดตั้งระบบดังกล่าว จะต้องยื่นขออนุมัติจากผู้ควบคุมงานเสียก่อน เมื่อได้รับอนุมัติแล้วจึงจะดำเนินการได้ ทั้งนี้ จะต้องดำเนินการสกัดเจาะด้วยความประณีต และต้องระมัดระวังมิให้ผนังก่อบริเวณใกล้เคียงแตกร้าวเสียความแข็งแรงไป

1.2 การทำเสาเอ็นและคานเอ็น ค.ส.ล.

1.2.1 เสาเอ็นที่มุมผนังก่อทุกมุม หรือที่ผนังก่อหยุดลอย โดยไม่ติดเสา ค.ส.ล. หรือตรงที่ผนังก่อติดกับวงกบประตู–หน้าต่าง ต้องมีเสาเอ็น โดยขนาดของเสาเอ็นต้องไม่เล็กกว่า 10 เซนติเมตร และมีความกว้างเท่ากับผนังก่อเสาเอ็น และเสริมด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้น โดยมีเหล็กปลอกรัดรอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ทุก ๆ ระยะ 20 เซนติเมตร และเหล็กเสริมเสาเอ็นต้องฝังลึกลงในพื้นและคานด้านบน โดยโผล่เหล็กเตรียมไว้ผนังก่อที่กว้างเกินกว่า 3 เมตร ต้องมีเสาเอ็นแบ่งครึ่งช่วงสูงตลอดความสูงของผนังคอนกรีต ที่ใช้เทเสาเอ็นต้องใช้ส่วนผสม 1:2:4 โดยปริมาตร ส่วนหินที่ใช้หินเล็ก

1.2.2 คานทับเหล็ก ผนังก่อที่ก่อสูงไม่ถึงท้องคาน หรือพื้น ค.ส.ล. หรือผนังที่ก่อชนใต้วงกบหน้าต่างหรือเหนือวงกบประตู–หน้าต่างที่ก่อผนังทับด้านบน ต้องมีคานทับหลังและขนาดจะต้องไม่เล็กกว่าเอ็นตามที่ระบุมาแล้ว และผนังก่อที่สูงเกินกว่า 3 เมตร จะต้องมี

คานทับหลัง ระยะระหว่างทับหลังจะต้องไม่เกิน 3 เมตร เหล็กเสริมคานทับหลังจะต้องต่อกับเหล็กที่เสียบไว้ในเสาหรือเสาเอ็น ค.ส.ล.

1.3 การทำความสะอาด

เมื่อก่อผนังเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องทำความสะอาดผิวผนังและแนวปูนก่อทั้ง 2 ด้าน ให้ปราศจากเศษปูนก่อเกาะติดผนัง เศษปูนที่ตกที่พื้นจะต้องเก็บกวาดทิ้งให้หมด ให้เรียบร้อยทุกครั้งก่อนปูนแข็งตัว

1.4 งานฉาบปูน

1.4.1 วัสดุงานฉาบ

1) ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.80–2517

2) ทราย เป็นทรายน้ำจืดที่สะอาด คมแข็ง ปราศจากดินหรือสิ่งสกปรกเจือปนหรือเคลือบอยู่ ขนาดของทรายจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

ก. ผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 4 (100%)

ข. ผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 16 (60–90%)

ค. ผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 50 (5–40%)

ง. ผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 100 (1–10%)

3) น้ำยาผสมปูนฉาบ ให้ใช้น้ำยาสำหรับผสมปูนฉาบหรือ LATEX สำหรับผสมปูนฉาบโดยเฉพาะ แทนการใช้ปูนขาวและน้ำ อัตราส่วนผสม และวิธีใช้ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

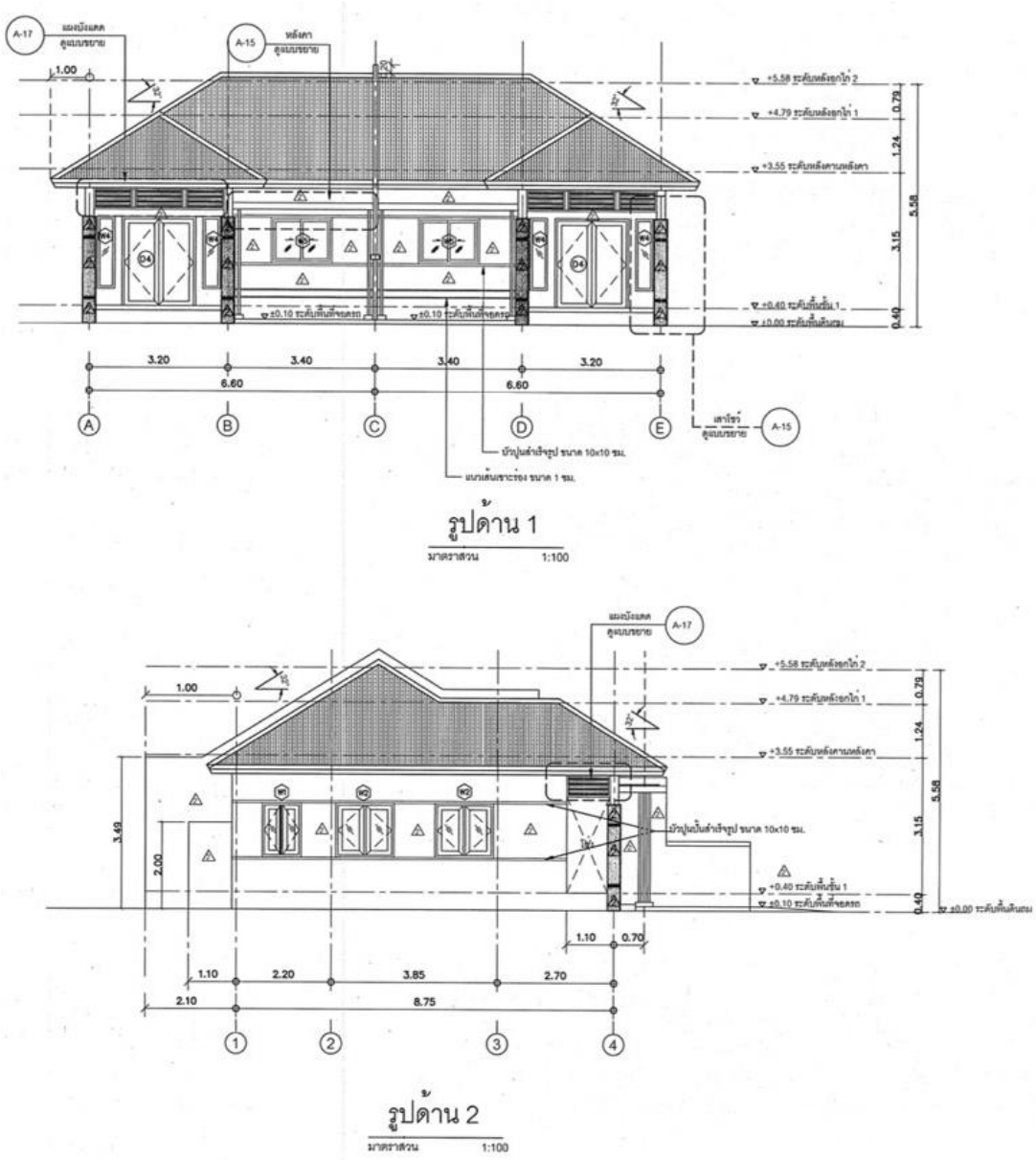
4) น้ำ ต้องใสสะอาดปราศจากน้ำมัน กรดต่าง ๆ ด่าง เกลือ พฤกษาธาตุ และสิ่งสกปรกเจือปน ห้ามใช้น้ำจาก คู คลองหรือแหล่งอื่นใดก่อนได้รับอนุญาต และน้ำที่ขุ่นจะต้องทำให้ใสและตกตะกอนเสียก่อน จึงจะนำมาใช้ได้

5) ปูนฉาบสำเร็จรูป ให้เป็นไปตามมาตรฐานผู้ผลิต

1.4.2 ส่วนผสมปูนฉาบ

1) ปูนฉาบรองพื้น อัตราส่วน 1:3 โดยใช้ปูนรีเมนต์ 1 ส่วน ผสมกับทรายกลาง 3 ส่วน และน้ำยาผสมปูนฉาบ

2) ปูนฉาบตกแต่ง อัตราส่วน 1 :5 โดยใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายละเอียด 5 ส่วน และน้ำยาผสมปูนฉาบ



ภาพ 3 ตัวอย่างบ้านแฝด 130 ตารางเมตร

ที่มา: กรมโยธา (2563)

วัสดุที่ใช้ก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างผนังอาคาร

งานก่อสร้างผนังอาคารแบ่งได้เป็น 2 งานหลัก ได้แก่ งานก่อและงานฉาบ

1. วัสดุที่ใช้ในงานก่อ

1.1 ปูนซีเมนต์

ประเภทของปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานก่อโดยทั่วไป คือ ปูนซีเมนต์ผสม เช่น ปูนตราเสือและปูนตราแรด เป็นต้น เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสม หรือ มอก. 80 แต่ไม่นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ทำปูนก่อ เนื่องจากมีระยะเวลาแห้งตัว (Setting Time) เร็วเกินไป

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ดีสำหรับงานก่อ จะต้องมีความเหนียวนุ่ม เวลาปั้นจะจับตัวเป็นก้อนไม่แห้งแตก ยึดเกาะก้อนอิฐได้ดี แต่ไม่เหนียวติดเกรียง ไม่ร่วงหล่นในขณะเคาะอิฐให้ได้ระดับ หรือยุบตัวได้ง่าย มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ เมื่อแข็งตัวจะได้ผนังที่แข็งแรง มีการหดตัวน้อย จึงลดโอกาสแตกร้าวได้

ปูนซีเมนต์ผสม โดยทั่วไปมีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม สามารถก่อพื้นที่ประมาณ 3 – 4 ตารางเมตร (ระยะห่างระหว่างอิฐประมาณ 1.5 เซนติเมตร) ปูนซีเมนต์ที่ดีนอกจากจะต้องผลิตจากบริษัทผู้ผลิตที่ได้มาตรฐานแล้ว คุณภาพปูนซีเมนต์ในขณะที่นำมาใช้งาน ก็ต้องอยู่ในสภาพดีด้วย เนื่องจากปูนซีเมนต์มีอายุการกองเก็บ ปูนซีเมนต์ที่เก็บไว้นาน เมื่อถูกความชื้นคุณภาพจะลดลงบางส่วนอาจจับตัวเป็นเม็ด การนำมาใช้จะต้องร่อนเอาส่วนที่เป็นเม็ดออกเสียก่อน หรือถ้าชื้นมากจนแข็งเป็นก้อน บี้ไม่แตกก็ไม่ควรนำมาใช้ ดังนั้นการเก็บรักษาปูนซีเมนต์จึงต้องพยายามเก็บให้ถูกความชื้นน้อยที่สุด ควรทำการกองเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในสถานที่ที่สามารถป้องกันน้ำหรือความชื้นได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์จับตัวเป็นก้อนก่อนนำไปใช้งาน

1.2 ทราย

ทรายที่ใช้สำหรับงานก่อ คือ ทรายหยาบ ซึ่งควรมีคุณภาพสอดคล้องตาม มอก.598 กล่าวคือ ควรเป็นทรายน้ำจืดที่มีขนาดลอดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มิลลิเมตร โดยทำการร่อนเอากรวดเม็ดใหญ่ ๆ ออกก่อน มีลักษณะแข็ง แน่นทนทาน เป็นแง่ มีเหลี่ยมมุม เม็ดทรายที่เป็นแง่ มีเหลี่ยมมุม จะช่วยเพิ่มการยึดเกาะและทำให้ได้กำลังที่ดีกว่า ไม่ควรมีลักษณะแบนหรือยาว หรือพรุน ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดของเม็ดทรายควรมีหลายขนาดคละกัน สะอาดไม่มีส่วนผุกร่อนหรือวัชพืชปนอยู่ ไม่มีสารอินทรีย์ เช่น เมล็ดพืช ซากพืช ซากสัตว์ ฝุ่น ดิน เปลือกหอย หรือสารเคมีเจือปน ทั้งยังจะต้องไม่มีสภาพเป็นกรดด่าง หรือเกลือปนอยู่ในเนื้อทราย

การเลือกใช้ทรายที่มีคุณภาพไม่เหมะสำหรับงานก่อ เช่น การใช้ทรายที่มีความละเอียดมาก จะทำให้ต้องใช้น้ำมาก เพราะทรายละเอียดมีพื้นที่ผิวมากกว่าผลที่ตามมาคือ ปูนก่อจะหดตัวมาก และอาจเกิดการแตกร้าวได้ นอกจากนี้ ปูนก่อที่ใช้ทรายละเอียด ยังต้องใช้ปูนซีเมนต์มากขึ้น เพื่อให้กำลังเท่าเดิม จึงไม่ประหยัด หรือกรณีใช้ทรายที่สกปรกมากเกินไป ทำให้เนื้อปูนซีเมนต์ยึดเกาะเม็ดทรายได้ไม่ดีเท่าที่ควร และส่วนผสมปูนก่อมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ปูนก่อมีความแข็งแรงลดลง

1.3 ปูนก่อสำเร็จรูป

ปัญหาทรายมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ในเรื่องขนาดเม็ดที่ไม่เหมาะสม และมักจะมีสิ่งสกปรกหรือสารเคมีเจือปนอยู่ และยังมีปัญหาที่เกิดจากการผสมที่ไม่ได้สัดส่วน ซึ่งสัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างแต่ละคน ซึ่งใช้สัดส่วนการผสมที่ไม่เหมือนกัน ปัญหาเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของงานได้ทั้งสิ้น แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้ปูนก่อสำเร็จรูป เช่น ปูนก่อตราเสือคู่ และปูนก่ออิฐมวลเบาตราเสือคู่ คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินบดละเอียด และสารเคมีพิเศษ ตามสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับงานก่ออิฐ โดยการควบคุมสัดส่วนการผสมและคุณภาพของวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ จึงได้เนื้อปูนที่มีความเหนียว มีแรงยึดเกาะสูง ทำให้ผนังมีความแข็งแรงคงทน และมีความสะดวกในการใช้งาน เพียงฉีกถุงผสมน้ำ ก็สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องผสมทราย หรือสารเคมีเพิ่มเติม จึงสามารถป้องกันปัญหาทรายมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานและการผสมที่ไม่ถูกสัดส่วนได้เป็นอย่างดีอีกทั้งการบรรจุถุง ยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากการกองเก็บและการขนย้าย และยังใช้พื้นที่ในการกองเก็บหน้างานน้อย จึงช่วยแก้ปัญหาพื้นที่กองเก็บวัสดุในหน่วยงานที่มีพื้นที่ก่อสร้างจำกัดได้อีกด้วย

ปูนก่อสำเร็จรูป โดยทั่วไป มีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม สามารถก่อได้พื้นที่ประมาณ 1 – 3 ตารางเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดและรูปแบบของการก่ออิฐ)

1.4 อิฐ

ควรเลือกอิฐที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน เช่น อิฐมอญหรืออิฐก่อสร้างสามัญ ควรมีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ หรือ มอก. 77 เป็นต้น กล่าวคือ ต้องมีความแข็งแรงเหมาะสมกับงาน มีเหลี่ยมมุมสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่บิดงอ

1.5 อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อะลูมิเนียมที่ใช้ก่อฟองอากาศ ยิปซัม ปูนขาว และทรายละเอียด โดยผ่านการอบไอน้ำด้วยอุณหภูมิและแรงดันสูง เกิดเป็น

ฟองอากาศในเนื้ออิฐ โดยฟองอากาศที่ว่านี้เป็นแบบปิด (Closed Cell) เนื้ออิฐจึงยังคงความแข็งแรง และไม่ดูดซึมน้ำง่ายแบบฟองน้ำ จึงสามารถใช้ก่อผนังบ้านได้ทุกส่วนทั้งภายในและภายนอก โดยฟองอากาศนี้ทำให้อิฐมวลเบามีน้ำหนักเบากว่าอิฐมอญประมาณ 2 เท่า ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องโครงสร้างได้ นอกจากนี้ ฟองอากาศยังทำให้อิฐมวลเบากันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ (พิภพ สุนทรสมัย, 2546)

2. วัสดุที่ใช้ในงานฉาบ

2.1 ปูนซีเมนต์

ประเภทของปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบโดยทั่วไป คือ ปูนซีเมนต์ผสม เช่น ปูนตราเสือ เป็นต้น เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสม หรือ มอก. 80 ซึ่งจะทำให้ได้เนื้อปูนที่เหนียวนุ่ม ยึดเกาะได้ดี มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ เมื่อแข็งตัวจะได้ผนังที่แข็งแรง มีการหดตัวน้อย จึงช่วยลดโอกาสเกิดการแตกร้าวได้ อีกประเภทหนึ่ง คือ ปูนซีเมนต์ Masonry เช่น ปูนตราเสือพลัส เป็นต้น เป็น ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM C 91 มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานฉาบโดยเฉพาะ เนื้อปูนมีคุณสมบัติ ผสมง่าย ฉาบเบา (ใช้แรงในการฉาบน้อย) ลื่นไหลดี จึงทำงานง่าย มีระยะเวลาการแห้งตัวพอเหมาะ อุ้มน้ำได้ดี เมื่อแข็งตัวจะได้ผนังที่เรียบเนียน มีการหดตัวน้อยจึงช่วยลดโอกาสเกิดการแตกร้าวได้

ไม่นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากมีระยะเวลาแห้งตัว (Setting Time) สั้น ทำให้ไม่เหมาะกับงานฉาบ เนื่องจากช่างจะทำงานฉาบและแต่งผนังไม่ทันและมีการหดตัวมากกว่าปูนซีเมนต์ผสมและปูนซีเมนต์ Masonry จึงมีโอกาสเกิดรอยแตกร้าวได้ง่ายกว่า ปูนซีเมนต์ผสม โดยทั่วไป มีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม ส่วนปูนซีเมนต์ Masonry (ปูนตราเสือพลัส) มีน้ำหนักถุงละ 40 กิโลกรัม ปูนซีเมนต์ทั้งสองชนิดสามารถฉาบได้พื้นที่ใกล้เคียงกันประมาณ 6 – 7 ตารางเมตร (ฉาบหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร)

2.2 ทราย

ทรายที่ใช้สำหรับงานฉาบโดยปกติจะใช้ทรายละเอียดซึ่งผ่านการร่อนเอากรวดเม็ดใหญ่ ๆ ออกก่อน (ทรายละเอียด หมายถึง ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดแล้ว มีเม็ดทรายขนาด 0.5 – 1.5 มิลลิเมตร) หรือในบางงานที่ต้องการผนังเรียบมาก ๆ อาจใช้ทรายแล่ง (ขนาดเล็กกว่า 0.6 มิลลิเมตร) แต่เนื่องจากการใช้ทรายเม็ดเล็กมาก ๆ หรือทรายแล่งเพียงอย่างเดียวในการฉาบจะทำให้เกิดรอยแตกลายงาได้ง่าย และทรายแล่งจะมีราคาสูงกว่าทรายปกติ ดังนั้น จึงนิยมใช้ทรายแล่ง เฉพาะในงานไล้ผิวหน้าผนังปูนฉาบให้เกิดความเรียบเนียนเป็นพิเศษ เท่านั้น

ทรายที่ใช้สำหรับงานฉาบ ควรมีคุณภาพสอดคล้องตาม มอก. 1776 กล่าว คือ ควรเป็นทรายน้ำจืดที่มีขนาดของทรายผ่านแร่ง 1.1 8 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า 70% และผ่านแร่ง 75 ไมโครเมตร ไม่มากกว่า 10% ดังตาราง 1 มีลักษณะแข็ง แน่น ทนทาน เป็นแง่ มีเหลี่ยมมุม เม็ดทรายที่เป็นแง่ มีเหลี่ยมมุมจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะและทำให้ได้กำลังที่ดีกว่า ไม่ควรมีลักษณะแบนหรือยาวหรือพรุน ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดของเม็ดทรายควรมีหลายขนาดคละกัน สะอาด ไม่มีส่วนผุกร่อนหรือวัชพืชปนอยู่ ไม่มีสารอินทรีย์ เช่น เมล็ดพืช ซากพืช ซากสัตว์ ฝุ่น ดิน เปลือกหอย หรือสารเคมีเจือปน ทั้งยังจะต้องไม่มีสภาพเป็นกรดด่าง หรือเกลือปนอยู่ในเนื้อทราย ทรายทรายที่ใช้สำหรับงานฉาบ ถ้ามีสิ่งสกปรก หรือวัสดุปลอมปนมาก ควรนำทรายมาร่อน เพื่อคัดเอาวัสดุปลอมปนออกก่อนนำไปใช้งาน และเก็บให้พ้นจากการชะล้างของน้ำฝน หรือการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก

ตาราง 1 แสดงขนาดของทรายละเอียด

ขนาดแร่ง	ส่วนที่พานแร่งโดยน้ำหนัก (%)	
	ส่วนหยาบ	ส่วนละเอียด
6.30 มิลลิเมตร	100	100
4.75 มิลลิเมตร	95 – 100	95 – 100
2.36 มิลลิเมตร	60 – 100	80 – 100
1.18 มิลลิเมตร	30 – 100	70 – 100
600 ไมโครเมตร	15 – 80	55 – 100
300 ไมโครเมตร	5 – 50	5 – 75
150 ไมโครเมตร	0 – 15	0 – 20
75 ไมโครเมตร	ไม่มากกว่า 10	ไม่มากกว่า 10

ที่มา : พิภพ สุนทรสมัย (2546)

2.3 ปูนฉาบสำเร็จรูป

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับการฉาบปูน คือ ไม่สามารถควบคุมคุณภาพทรายที่นำมาผสมปูนฉาบให้มีขนาดเม็ดที่เหมาะสม และมักจะมีสิ่งสกปรกหรือสารเคมีเจือปนอยู่นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากการผสมที่ไม่ใส่สัดส่วนที่เทมาะสมอย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยการใช้ปูนฉาบสำเร็จรูป

ปูนฉาบสำเร็จรูป คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินบดละเอียด และสารผสมเพิ่มคุณสมบัติสำหรับงานฉาบ ตามสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับงานฉาบ และมีการควบคุมส่วนผสมและคุณภาพของวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ ทำให้ได้ปูนฉาบที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานฉาบ มีแรงยึดเกาะที่ดีกว่า เพื่อช่วยลดปัญหาการแตกร้าว หลุดล่อน สะดวกในการใช้งาน เพียงฉีกถุงผสมน้ำ ก็สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องผสมทรายหรือสารเคมีเพิ่มเติม จึงสามารถป้องกันปัญหาทรายที่มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน และการผสมที่ไม่ถูกสัดส่วนได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการบรรจุถุงยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากการกอง เก็บการขนย้าย และยังใช้พื้นที่ในการกองเก็บหน้างานน้อย จึงช่วยแก้ปัญหาพื้นที่กองเก็บวัสดุในหน่วยงานที่มีพื้นที่ก่อสร้างจำกัดได้อีกด้วย

ปัจจุบันปูนฉาบสำเร็จรูป มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดเพื่อให้เหมาะกับผนังแต่ละประเภท เช่น ปูนฉาบทั่วไปตราเสือคู่ ปูนฉาบละเอียดตราเสือคู่ ปูนฉาบชาวตราเสือคู่, และปูนฉาบละเอียดขาวตราเสือคู่ ปูนฉาบสำเร็จรูปโดยทั่วไปมีน้ำหนักถุงละ 50 กิโลกรัม สามารถฉาบได้พื้นที่ประมาณ 1.8 – 2.3 ตารางเมตร (ฉาบหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร)

2.4 ปูนขาว

มีคุณสมบัติช่วยหน่วงระยะเวลาการก่อตัวของปูนฉาบ ในสมัยก่อนช่างไทยนิยมใช้ปูนขาวผสมในปูนฉาบ เพราะจะทำให้เนื้อปูนฉาบมีความนุ่มลื่น อุ้มน้ำทำงานง่ายขึ้น แต่การใช้ปูนขาว จะต้องเลือกปูนขาวที่สุกใหม่ ไม่มีก้อนแข็งปนร่อนผสมกับทรายตามสัดส่วนที่ต้องการโดยมากจะผสมเท่ากับปริมาณปูนซีเมนต์ใส่น้ำแล้วหมักไว้ก่อนใช้งาน 24 ชั่วโมง (หรือทั่วไปจะหมักไว้หนึ่งคืนก่อนการฉาบในวันรุ่งขึ้น) เพื่อให้ปูนขาวอิ่มตัว (Hydrated Lime) ทำให้มีขั้นตอนยุ่งยาก จะต้องทำบ่อหมักและเสียเวลาเตรียมงานนาน อีกทั้งปูนขาวที่อุ้มน้ำมาก ก็จะหดตัวได้มากเช่นกัน การผสมมากเกินไปก็จะเป็นสาเหตุของการแตกร้าว

ปัจจุบัน ปูนขาวได้รับความนิยมลดน้อยลงไป เนื่องจากมีน้ำยาผสมปูนฉาบที่ให้คุณสมบัติในการทำงานที่ดีกว่า และขั้นตอนการทำงานไม่ยุ่งยาก

2.5 น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมปูนฉาบ ควรเป็นน้ำสะอาดที่ไม่มีความเป็นกรดหรือด่าง ไม่มีสารเคมีเจือปน เพราะจะทำให้คุณภาพปูนฉาบลดลง

2.6 สี

ในกรณีที่ต้องการฉาบผนังให้มีสีสัน เราสามารถผสมสีลงไปในเนื้อปูนฉาบได้ สีที่ใช้ ได้แก่ สีฝุ่น ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีต่าง ๆ

2.7 สารผสมปูนฉาบ

สารผสมปูนฉาบหรือน้ำยาผสมปูนฉาบ เป็นสารเคมีที่ใช้ผสมในขั้นตอนการผสมปูนฉาบ ทำให้เนื้อปูนฉาบ มีความเหนียว นุ่ม ลื่น ทำงานง่ายขึ้น มีทั้งชนิดที่เป็นผงและชนิดที่เป็นน้ำ (พิภพ สุนทรสมัย,2546)

3. นิยามวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน

วัสดุก่อสร้างบางชนิดอาจเป็นวัสดุที่มีความยั่งยืน ด้วยคำจำกัดความหรือเงื่อนไขบางอย่าง ยกตัวอย่างเช่น ไม้ อาจถือเป็นวัสดุที่มีความยั่งยืนถ้าปลูกขึ้นด้วยการจัดการป่าแบบยั่งยืน และแปรรูปด้วยพลังงานยั่งยืนและจัดส่งด้วยการขนส่งที่ยั่งยืน แต่อาจไม่ถือเป็นวัสดุที่ความยั่งยืนภายใต้เงื่อนไขที่ต่างออกไป ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยมิชิแกนจากสหรัฐอเมริกาได้ทำการแจกแจงลักษณะของวัสดุก่อสร้างที่มีความยั่งยืนโดยพิจารณาตามแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้ดังนี้

3.1 มีการควบคุมและป้องกันการเกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการผลิตของวัสดุ

3.2 มีการลดปริมาณการเกิดของเสียตลอดกระบวนการผลิตของวัสดุ

3.3 ใช้วัตถุดิบจากการรีไซเคิลในการผลิตวัสดุ

3.4 มีการลดการใช้พลังงานตลอดกระบวนการผลิตวัสดุ

3.5 เป็นวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ ดิน เป็นต้น

3.6 วัสดุที่มีการออกแบบมาให้ลดการเกิดของเสียในระหว่างการก่อสร้างหรือการติดตั้ง

3.7 วัสดุที่ผลิตในท้องถิ่น

3.8 วัสดุที่มีการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

3.9 วัสดุที่ช่วยประหยัดน้ำหรือลดการใช้น้ำ

3.10 วัสดุที่ไม่มีหรือมีสารพิษเป็นส่วนประกอบน้อย

3.11 วัสดุที่ไม่มีหรือมีสารพิษเป็นส่วนประกอบน้อย

3.12 วัสดุหรืออุปกรณ์สำหรับผลิตพลังงานหมุนเวียน

3.13 วัสดุที่มีอายุการใช้งานยาวนาน

3.14 ความสามารถในการนำกลับมาใช้ซ้ำของวัสดุ

3.15 ความสามารถในการนำกลับมารีไซเคิลของวัสดุ

3.16 ความสามารถในการย่อยสลายตามธรรมชาติของวัสดุ

ลักษณะเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นหลักเกณฑ์การเลือกวัสดุที่มีความยั่งยืนได้ดังที่สรุปไว้ดังนี้

ตาราง 2 หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกวัสดุที่มีความยั่งยืน

หลักเกณฑ์ความยั่งยืน		
ระหว่างกระบวนการผลิตวัสดุ	**ระหว่างการก่อสร้างและติดตั้ง**	**หลังหมดอายุอายุการใช้งาน**
– การลดการเกิดของเสีย – การป้องกันการเกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม – การใช้วัสดุรีไซเคิล – ลดการใช้พลังงาน – ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ	– ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน – ประสิทธิภาพในการใช้น้ำและลดการใช้น้ำ – ความไม่เป็นพิษ – ผลิตพลังงานทดแทน – อายุการใช้งานยาวนาน	– ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ – รีไซเคิลได้ – นำมาใช้ซ้ำได้ – อื่น ๆ

ที่มา: Jong-Jin et al. (1998)

4. วิธีการก่อ

งานก่อเป็นเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มนุษย์รู้จักใช้มาตั้งแต่ยุคโบราณ นับตั้งแต่การสร้างพีรามิดในอียิปต์สมัยโบราณ จวบจนกระทั่งสมัยปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคนิคการก่อสร้างที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย สามารถจัดเรียงให้เกิดลวดลายได้สวยงามแข็งแรงและประหยัด เกิดเป็นสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ที่ทั้งยิ่งใหญ่และสวยงาม

ในเมืองไทยงานก่อเป็นเทคนิควิธีการก่อสร้างที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย เนื่องจากใช้วัสดุที่หาง่าย ราคาถูก การก่อสร้างไม่ซับซ้อน และมีช่างที่มีฝีมืออยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ การทำงานก่อให้ได้ดีนั้น จะต้องประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ หลายประการ (ประณีต กุลประสูติ, 2535)

การก่ออิฐ (Bricklaying) เป็นการจัดหรือการเรียงแผ่นอิฐสลับกันในรูปแบบต่าง ๆ อย่างมีระเบียบ เพื่อให้เกิดรูปทรงตามต้องการ นอกจากนั้นจะต้องมีการยึดประสานกันระหว่างแผ่นอิฐ เพื่อให้ผนังหรือสิ่งที่ก่อมีความแข็งแรง คงทนอยู่ได้ และสามารถรับน้ำหนักของตัวเอง

และน้ำหนักอื่น ๆ ที่วางทับได้โดยไม่เกิดการเสียหรือเกิดการพังทลายรูปแบบของการก่ออิฐ มีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน โดยแบ่งตามความหนาของผนังได้ 5 ประเภท ดังภาพ 4 ได้แก่

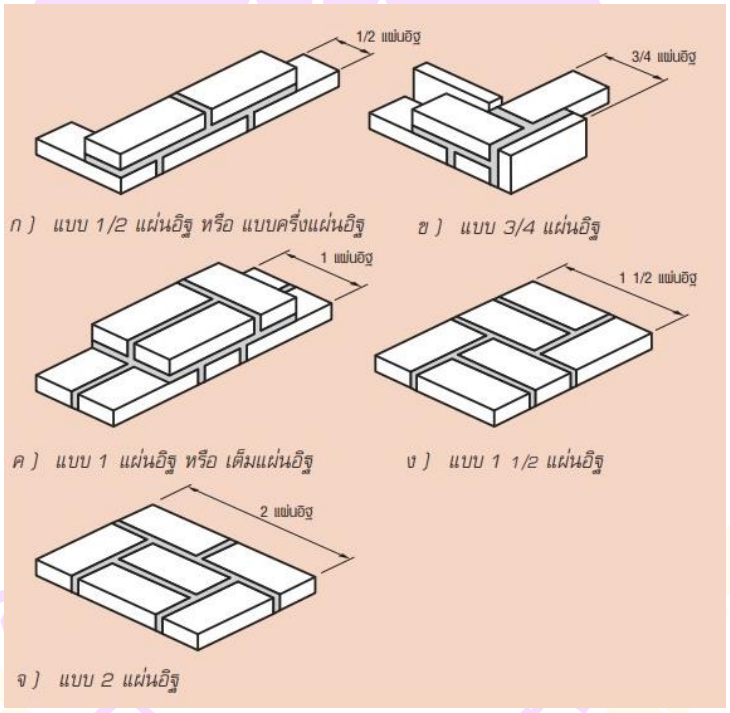
4.1 แบบ 1/2 แผ่นอิฐ หรือแบบครึ่งแผ่นอิฐ

4.2 แบบ 3/4 แผ่นอิฐ

4.3 แบบ 1 แผ่นอิฐ หรือแบบเต็มแผ่นอิฐ

4.4 แบบ 1 1/2 แผ่นอิฐ

4.5 แบบ 2 แผ่นอิฐ



ภาพ 4 รูปแบบของการก่ออิฐ

ที่มา: ประณีต กุลประสูติ (2535)

วงการก่อสร้างไทย นิยมก่อผนังแบบครึ่งแผ่นอิฐ ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะกับงานผนังหรือกำแพงที่รับน้ำหนักไม่มาก รองลงมาคือ การก่อเต็มแผ่นอิฐ ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถรับน้ำหนักหรือแรงภายนอกได้มากกว่า มักพบกันเสมอว่าผนังที่ก่อโยไปโย้มา รอยปูนก่อไม่เท่ากัน และยังพบลักษณะต่าง ๆ ของการก่อผนังที่ไม่ถูกวิธีอีกเป็นอันมาก ผู้ตรวจคุมงานส่วนมากจะอนุโลมกันเรื่อยมา เพราะการก่ออิฐแล้วฉาบแก้ก็คงไม่เห็นความบกพร่อง การฉาบ

ปูนแก้ผนังที่เอียงนั้น เป็นผลทำให้ผนังแตกร้าวได้ง่ายกว่าการก่ออย่างถูกหลักเป็นอันมาก นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองปูนก่อมากกว่าอีกด้วย

5. วิธีการฉาบ

5.1 การรดน้ำผนังอย่างเพียงพอและทั่วถึง ก่อนทำการฉาบ

เนื่องจากวัสดุก่อแต่ละประเภทส่วนใหญ่จะมีรูพรุนอยู่ในเนื้อวัสดุและจะดูดซึมน้ำในขณะที่ปูนฉาบยังไม่แข็งตัวดีนั้น หากถูกวัสดุก่อดูดน้ำออกไปมาก จะส่งผลต่อความแข็งแรงของผนัง เป็นสาเหตุของการแตกร้าวและหลุดล่อนได้ในภายหลัง ดังนั้น ก่อนทำการฉาบทุกครั้งจะต้องทำการรดน้ำให้ทั่วผนังที่จะทำการฉาบ จนผนังก่อดูดน้ำจนอิ่มตัว ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่รด จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุก่อ บางชนิดดูดน้ำได้เร็ว สามารถรดน้ำครั้งเดียวก็ทำการฉาบได้ แต่วัสดุก่อบางชนิดจะดูดน้ำได้ช้า อาจจะต้องรดน้ำซ้ำจนเห็นว่าวัสดุก่อนั้นอิ่มตัวดีแล้วจึงจะฉาบได้ การรดน้ำให้ชุ่มในช่วงเย็นก่อนทำการฉาบ 1 วัน และในวันรุ่งขึ้นก่อนจะเริ่มฉาบ ควรพรมน้ำซ้ำอีกครั้งจนกว่าจะสังเกตเห็นน้ำซึมออกมาอีกต้านหนึ่งของผนังที่ไม่ได้พรม

5.2 การฉาบชั้นแรก

การฉาบปูน ควรฉาบอย่างน้อย 2 ชั้น การฉาบชั้นแรก เป็นชั้นที่ปูนฉาบสัมผัสกับวัสดุก่อหรือโครงสร้าง ควบคุมการฉาบให้ได้ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร การฉาบชั้นนี้จะส่งผลต่อการแตกร้าวและหลุดล่อนได้มาก จึงนิยมใช้ปูนเค็มในการฉาบ เนื่องจากปูนเค็มมีการยึดเกาะที่ดี เพราะมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์มาก แล้วจึงใช้ปูนจืดฉาบชั้นสุดท้าย

5.3 การปรับระดับโดยใช้บรรทัดปาดปูน

เป็นการปรับผิวหน้าของปูนฉาบให้ได้ระดับตามที่ จับเซี้ยม จับปุ่มไว้ โดยการใช้บรรทัดปาดปูนถูไปมา ระหว่างปุ่มหรือเซี้ยม เพื่อตัดเนื้อปูนส่วนเกินออก และหากเนื้อปูนไม่ถึงระดับที่ทำไว้ก็สามารถฉาบเพิ่มเติมเข้าไปได้

5.4 การฉาบชั้นที่สอง

หรือการฉาบทับผิวหน้า หรือการฉาบชั้นสุดท้าย ควบคุมการฉาบให้ได้ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร และเมื่อรวมความหนาปูนฉาบทั้งสองชั้นแล้ว ต้องไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร สำหรับการฉาบในชั้นนี้ จะใช้ปูนจืดในการฉาบ และสำหรับในบางงาน ที่ต้องการผนังที่เรียบเนียนมากเป็นพิเศษ ช่างจะใช้ทรายแล่งในการฉาบไส้ผิวหน้าบาง ๆ ให้ทั่วผนัง

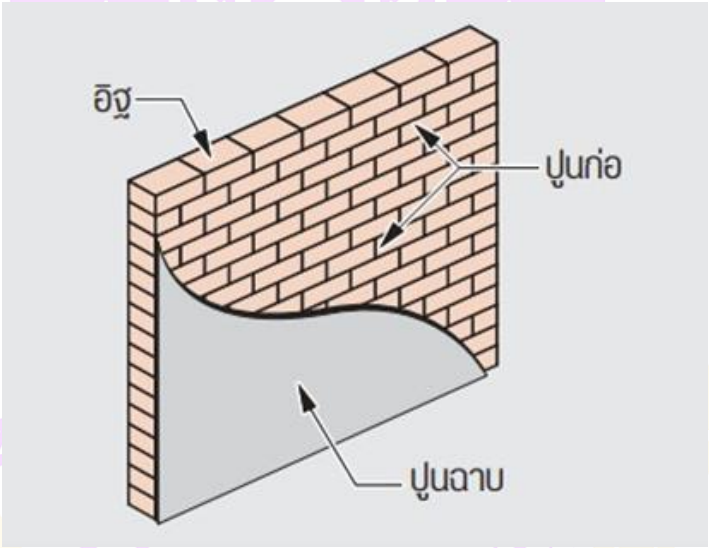
5.5 การตีน้ำลงฟอง

เป็นขั้นตอนที่จะทำให้ผนังปูนฉาบ มีความเรียบเนียนมากขึ้น โดยการใช้แปรงสลัดน้ำไปที่ผนังปูนฉาบที่เริ่มแห้งหมาด ๆ แล้วใช้เกรียงไม้ลูบไปมาให้ทั่ว เพื่อเกลี่ยผิวหน้าปูนฉาบให้มีความเสมอกันทั่วทั้งผนังจากนั้นใช้ฟองน้ำชุบน้ำบิดให้แห้ง ประกบบนเกรียงไม้ ลูบไป

มาให้ทั่วผนังอีกครั้งก็จะได้ผนังที่เนียนเรียบสวยงาม ไม่ควรตีน้ำขณะที่ปูนฉาบยังไม่แห้งหรือปล่อยให้ปูนฉาบแห้งไปแล้วจึงตีน้ำเพราะจะทำให้ผนังปูนฉาบเกิดการแต่กลายงาภายหลัง ไม่ควรใช้ฟองน้ำที่แห้งเกินไป เพราะจะดูดน้ำปูนออกจากปูนฉาบ ทำให้ปูนฉาบแห้งตัวเร็วและแตกร้าวได้

5.6 การบ่มผิว

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสาเหตุสำคัญของปัญหาการแตกร้าวส่วนหนึ่งมาจากการที่ปูนฉาบสูญเสียน้ำเร็วเกินไป ในขณะที่ปูนยังไม่แข็งตัว การบ่มทำได้โดยการใช้น้ำพ่นเป็นหมอกหรือละอองไปบนผิวปูนฉาบที่เริ่มแข็งตัวแล้ว เพื่อให้ผนังชุ่มขึ้นอยู่เสมอเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วันแรก ส่วนใหญ่ช่างที่ไม่ค่อยพิถีพิถันในการทำงานมักจะละเลยไม่บ่มผิวหรือบ่มน้อยเกินไป จึงเป็นสาเหตุให้แตกลายงา



ภาพ 5 ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ที่มา: ประณีต กุลประสูติ (2535)

6. วิธีการก่อสร้างผนังอาคาร

6.1 ผนังคอนกรีต

การก่อสร้างอาคารคอนกรีตในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นหลายรูปแบบ ซึ่งเกิดจากปัญหาแรงงานในประเทศไทย การขาดแคลนคนงานและช่างที่เข้ามาทำงานก่อสร้าง และได้มีการนำระบบการก่อสร้างแบบใหม่เข้ามาใช้ใน คือ ระบบการก่อสร้างแบบการก่อสร้าง

ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ก็เป็นการก่อสร้างปนะเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ เป็นอย่างมากในปัจจุบัน และเป็นระบบการก่อสร้างที่มีใช้ในมานาน แต่ส่วนใหญ่จะใช้ในโครงสร้างที่ไม่ใช่อาคาร เช่น การหล่อคานสะพาน งานก่อสร้างทางด่วน หรือพื้นสำเร็จรูปที่ใช้ในปัจจุบัน ก็เป็นส่วนหนึ่งของงานก่อสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในส่วนโครงสร้างอาคารเข้ามาภายหลัง แต่ยังไม่ค่อยมาก เพราะระบบต่าง ๆ ยังไม่เหมาะสมกับระบบการก่อสร้าง ระบบป้องกันการรั่วซึม ยังไม่เหมาะกับภูมิอากาศแบบเขตร้อน รวมถึงปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ค่าแรงงานยังถูกและมีฝีมือ

ขั้นตอนที่ 1 การทำความสะอาด โดยใช้แปรงทำความสะอาดให้เรียบร้อยและไม่มีผิวขรุขระ และเคลือบน้ำมัน ตรวจสอบความสะอาด ไม่ให้มีคราบปูนเก่าเหลือติดอยู่ มีน้ำมันเคลือบจนทั่ว

ขั้นตอนที่ 2 การวาดผังสำหรับการวางอุปกรณ์และขอบฝัง เช่น วงกบประตู ปลั๊กไฟ ท่อร้อยสายไฟ ท่อน้ำ ตามแบบที่กำหนดไว้ จะทำการตรวจสอบ ความกว้าง ความยาว ความลึก และค่าทแยงมุมของแบบหล่อด้วยตลับเมตรว่าถูกต้องตามแบบหรือไม่ เพื่อให้ทราบตำแหน่งที่จะต้องเว้นช่องว่างในการหล่อขึ้นรูปคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 3 การวางเหล็กแบบเพื่อกั้นข้างตามแบบที่กำหนดไว้เป็นแนวในการเทคอนกรีต การประกอบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจึงทำได้โดยง่าย และมีคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 4 การวางโครงเหล็กเสริม โดยใส่ตะแกรงเหล็กและวัสดุฝังทั้งหมดตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งเครื่องจักรจะทำการยกโครงเหล็กเสริมที่ทำการทอตามแบบที่ถูกกำหนดไปติดตั้งลงบนโต๊ะหล่อ และจะตรวจสอบความถูกต้องของแบบก่อนเทคอนกรีต และในขั้นตอนการวางเหล็กเสริมนี้จะมีการวางท่อน้ำและท่อร้อยสายไฟที่ถูกต้องตามแบบ และทำการหนุนด้วยลูกปูนให้ได้ระยะตามหลักวิศวกรรม โดยมีระยะห่างกันตามความเหมาะสมของขนาดชิ้นงาน เพื่อป้องกันตะแกรงเหล็ก และวัสดุฝังติดกับพื้นผิวแบบหล่อ

ขั้นตอนที่ 5 การเทคอนกรีต ก่อนการเทคอนกรีต จะต้องทำการตรวจสอบช่องว่างหรือรอยต่อของแบบข้าง หากมีช่องว่างที่รอยต่อให้ทำการ ซิลิโคนปิด เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำปูนไหลออกจากช่องว่าง หลังจากนั้นเทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วลงบนโต๊ะหล่อ ตามรูปร่างตามความเหมาะสมของรูปแบบชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 6 การอัดคอนกรีตให้แน่น จะทำให้เนื้อคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากฟองอากาศระหว่างเนื้อคอนกรีตจะลดลง จากนั้นจะดำเนินการปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบและเสมอ ไม่ล้นออกมา เพื่อปรับความหนาของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปให้เท่ากันตลอดทั้งแผ่น

ขั้นตอนที่ 7 การขัดผิวหน้าของคอนกรีต ทำการเก็บรายละเอียดผิวหน้าคอนกรีตส่วนที่ขาดและเกิน พร้อมทั้งใช้เกรียง ขัดมันเก็บรายละเอียดให้เรียบร้อยโดยใช้ฟองน้ำแห้งถูผิวคอนกรีตให้เรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นคอนกรีต และใช้เครื่องขัดหน้า ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการทาสี หรือติด Wallpaper

ขั้นตอนที่ 8 การบ่มคอนกรีต ลำเลียงชิ้นงานเข้าบ่มคอนกรีต เพื่อให้ชิ้นงานได้กำลังอัดตามมาตรฐานกำหนด โดยห้องบ่มคอนกรีตนั้นจะถูกควบคุมอุณหภูมิทำให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดได้เร็วและไม่มีการแตกลายงาน

ขั้นตอนที่ 9 การถอดแบบ เมื่อคอนกรีตได้กำลังตามหลักวิศวกรรมแล้วจึงเริ่มทำาการถอดแบบข้างของแบบผลิต รวมทั้งกรอบช่องเปิด และอุปกรณ์ของฝังต่าง ๆ ออกเพื่อนำผนังคอนกรีตที่แห้งและแข็งตัวแล้วไปใช้ในงานต่อไป

ขั้นตอนที่ 10 การยกชิ้นงานออกจากโต๊ะหล่อวางที่พื้นที่มีโครงเหล็กหนุนแผ่นเพื่อป้องกันการกระแทกของชิ้นงานไม่ให้ เกิดความเสียหายและไปจัดเก็บที่คลังสินค้า รอการจัดส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างต่อไป

6.2 ผนังอิฐมอญ

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการเตรียมดิน โดยการนำดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายเล็กน้อย หมักรวมกับเถ้าแกลบ จากการเผาครั้งก่อนหน้านี้และน้ำ ในบ่อหมัก ที่มีน้ำผสมให้ดินกับเถ้าแกลบเข้ากัน หมักทิ้งไว้ประมาณ 1 – 2 คืน เพื่อรอการรีดขึ้นรูป

ขั้นตอนที่ 2 นำดินมานวด ย่ำหรือปั่นในเครื่องปั่นตามความถนัด ให้ดินเป็นเนื้อละเอียดหรือใช้เท้าย่ำดินเหนียว เพื่อให้ดินเหนียวและเถ้าแกลบเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน อิฐที่ได้จะมีความหนาแน่น ละเอียดและเรียบเนียน

ขั้นตอนที่ 3 การรีดหรืออัด ขึ้นรูป นำดินเหนียวมารีดขึ้นรูปด้วยเครื่องรีด อัด หรือแม่พิมพ์ไม้ และตัดดินให้เป็นก้อนตามที่ต้องการ เครื่องรีด อัด ใช้สำหรับการผลิตอิฐชนิดกลวง และอิฐตันเครื่อง แม่พิมพ์ไม้ใช้บล็อกไม้ที่ใช้สำหรับเป็นแม่พิมพ์อิฐตันมือ เสร็จเรียบร้อยเตรียมตัวตาก

ขั้นตอนที่ 4 นำอิฐดิบที่รีดหรืออัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วไปผึ่งลมในที่ร่มประมาณ 2 – 3 วัน .ให้ดินแข็งตัวอย่างช้า ๆ เพราะหากนำไปตากแดดทันทีจะทำให้น้ำที่อยู่ในดินเหนียวระเหยเร็ว ส่งผลให้อิฐแตกได้ หลังจากนั้นจึงนำไปตากแดดต่ออีกประมาณ 3–4 วัน หรืออาจนานกว่านั้น ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าอิฐดินดิบมีความพร้อมที่จะนำไปเผาแล้วหรือไม่

ขั้นตอนที่ 5 นำอิฐดิบที่ตากแห้งดีแล้ว ซึ่งมี 2 แบบ คือไปเผาในเตาชั่วคราว ลักษณะเป็นเตาสี่เหลี่ยมนำอิฐมาเรียงซ้อนกันล้อมรอบ และใช้แผ่นสังกะสีปิดทับอีกที ซึ่งขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุด เพราะต้องใช้เชื้อเพลิงอย่างแกลบราคาตันละเกือบ 2,000 บาท ไม่น้อยกว่า 2 คัน รถสิบล้อ ผู้ผลิตจึงนิยมเผาอิฐแดงครั้งละมาก ๆ ประมาณ 70,000 – 100,000 ก้อน ในอุณหภูมิ 800–900 องศาเซียลเซียส ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 7–15 วัน ที่อิฐดิบจะสุก เป็นสีส้มสวย อิฐที่ได้จะมีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าวเสียหาย ไม่บิดเบี้ยวและแข็งแกร่ง ทนทาน พร้อมใช้งาน

6.3 ผนังอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท

6.3.1 ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non – Autoclaved System) ซึ่งจะแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทน เช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ชานอ้อย หรือเม็ดโฟมทำให้ คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นและเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัว ผลิตภัณฑ์มักจะมีสีปูนซีเมนต์คอนกรีตจะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรงต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว

สำหรับขั้นตอนการผลิตไม่ผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

ขั้นตอนที่ 1 นำวัสดุที่เตรียมไว้มาร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด เอาส่วนหยาบออกให้เหลือแต่ส่วนละเอียด

ขั้นตอนที่ 2 คลุกเคล้าส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 นำวัสดุแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ ค่อย ๆ เทลงในเครื่องผสม เพื่อคลุกเคล้าให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดี จากนั้นเติมน้ำแปรรูปพิเศษลงไปคลุกเคล้าเป็นลำดับสุดท้าย คลุกเคล้าต่อไปกระทั่งส่วนผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียว

ขั้นตอนที่ 4 วัสดุผสมที่ได้ก็พร้อมนำไปอัดรูป เป็นอิฐตามขนาดที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 นำไปอัดพิมพ์ควรสังเกตด้วยว่าส่วนผสมนั้นมีความชื้นพอเหมาะดีหรือไม่ หากแห้งเกินไป เมื่ออัดพิมพ์แล้วอาจแตกร้าวได้ จำเป็นต้องปรับส่วนผสมใหม่ให้มีความชื้นพอเหมาะ คลุกเคล้าส่วนผสมด้วยเครื่องผสม

ขั้นตอนที่ 6 กรอกส่วนผสมลงแม่พิมพ์ ค่อยๆ กรอกส่วนผสมลงแม่พิมพ์พร้อม ๆ กับใช้มืออัดส่วนผสมให้แน่นและให้ส่วนผสมนั้นล้นแม่พิมพ์เล็กน้อยจึงอัดพิมพ์ เพื่อให้ได้มวลอิฐที่แน่น ไม่แตกร้าว เมื่อถอดพิมพ์อัดส่วนผสมในพิมพ์ให้แน่นอัดพิมพ์เป็นขั้นตอนสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากถอดแบบพิมพ์ ให้ผึ่งลมทิ้งไว้ ประมาณ 3 วัน อิฐมวลเบาที่ได้จะแห้งสนิทสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้ามีแสงแดดจัด นำไปผึ่งแดดจะช่วยให้อิฐแห้งเร็วขึ้น อิฐมวลนี้ใช้ระยะเวลาผึ่งให้แห้งสั้นกว่าอิฐที่ทำจากซีเมนต์ ซึ่งต้องใช้เวลาผึ่งนานถึง7 วัน ทั้งมีขั้นตอน และกรรมวิธีในการหมักซับซ้อนกว่าแต่มีข้อพึงระวังระหว่างผึ่ง อิฐต้องระมัดระวังมิให้ถูกฝน หรือน้ำมิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากขณะที่อิฐมวลเบาแปรรูปยังไม่แห้งตัวจะละลายไปกับน้ำนั่นเอง

6.3.2 ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) ซึ่งแบ่งการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้ปูนขาว ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ประเภทที่ 2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิดการตกผลึกในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง ทนทาน กว่าการผลิตในระบบอื่น

สำหรับขั้นตอนการผลิตแบบผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

ขั้นตอนที่ 1 นำวัตถุดิบหลักคือทรายมาบดด้วยเครื่องบด บดผสมกับน้ำ

ขั้นตอนที่ 2 นำวัตถุดิบที่ใช้ในกรรมวิธีทำอิฐมวลรวมเบา (ปูนขาว, ผงอลูมิเนียม, ทราย, ซีเมนต์, ยิบซั่ม) ผสมให้เข้ากัน โดยส่วนผสมหลักคือทราย และซีเมนต์ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสม) โดยนำทรายและยิบซั่มมาผสมกันก่อนในขณะเดียวกันปูนขาวผสมกับซีเมนต์จากนั้นจึงนำทั้งหมดมาผสมกัน และจึงผสมกับอลูมิเนียม

ขั้นตอนที่ 3 เทเข้าแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้รูปทรงที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 นำเข้าห้องบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกริยา เป็นฟองอากาศและฟูขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 5 ใช้เครื่องตัดเข้าช่วย เพื่อให้ได้อิฐมวลเบาขนาดที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 6 นำผ่านเข้าไปอบด้วยเครื่องอบไอน้ำ โดยสายพานลำเลียง

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบคุณภาพของอิฐ

ขั้นตอนที่ 8 บรรจุ โดยทุกขั้นตอนการผลิตมีการใช้คอมพิวเตอร์ทั้งกระบวนการผลิต

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHG)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในความหมายตามกรอบอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศที่ทำให้องค์ประกอบของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีสาเหตุหลักจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งการใช้พลังงาน การเกษตรกรรม การพัฒนาและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ โดยปกติรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศและลงมายังผิวโลกจะถูกดูดกลืนไว้โดยธรรมชาติ แหล่งน้ำ พืช สัตว์ และคายรังสีกลับออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยร้อยละ 70 ของรังสีจะถูกดูดซับไว้ที่ชั้นบรรยากาศ เพื่อทำหน้าที่เก็บกักความร้อนภายในชั้นบรรยากาศและรักษาอุณหภูมิโลกให้คงที่ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า **“ปรากฏการณ์เรือนกระจก”** แต่หากก๊าซเหล่ามีปริมาณมากเกินไปการดูดซับรังสีที่คายกลับออกสู่ชั้นบรรยากาศก็จะมากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนทำได้น้อยลง และอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นจนเกิด **“ภาวะโลกร้อน” (**องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2558**)**

ก๊าซเรือนกระจกที่เป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน ที่ถูกควบคุมโดยการลงนามในพิธีสารเกียวโตเพียง 7 ชนิด ที่เป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ทั้งนี้ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแล้ว ก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานความร้อนเรียกว่า “ศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)” ทำให้ชั้นบรรยากาศของโลกดูดกลืนพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น ศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน

ตาราง 3 ก๊าซเรือนกระจกและค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อน

Greenhouse gases	Chemical formula	GWP_{100}
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	25
Nitrous oxide	N_2O	298

ตาราง 3 (ต่อ)

Greenhouse gases	Chemical formula	GWP_{100}
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	25
Nitrous oxide	N_2O	298
Hydro fluorocarbon	HFC_S	124–14,800
Sulphur hexafluoride	SF_6	22,800
Per fluorocarbon	PFC_S	7,390–12,200
Nitrogen Trifluoride	NF_3	17,200

ที่มา: พงศ์เทพ สุวรรณวารี (2557) และ IPCC (2007)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (**CO_2**)

เป็นก๊าซที่สะสมพลังงานความร้อนในบรรยากาศโลกไว้มากที่สุดและมีผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นมากที่สุดในบรรดาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น CO_2 ส่วนมากเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง การผลิตซีเมนต์ การเผาไม้ทำลายป่า และการตัดไม้ทำลายป่า โดนเฉพาะอย่างยิ่งการตัดไม้ทำลายป่านับเป็นตัวการสำคัญที่สุดในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ เนื่องจากต้นไม้และป่าไม้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ก่อนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเมื่อพื้นที่ป่าไม้ลดลง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงขึ้นไปสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้มากขึ้น

ก๊าซมีเทน (**CH_4**)

เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ที่มาของก๊าซมีเทน เช่น ขยะอินทรีย์ที่กำลังย่อยสลาย การเลี้ยงปศุสัตว์ นอกจากนี้ยังถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้มวลชีวภาพ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ และเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ สามารถทำให้เกิดก๊าซมีเทนในบรรยากาศสูงถึง 20**%** ของก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศทั้งหมด และก๊าซมีเทนยังมีคุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือด้วยปริมาตรที่เท่ากันก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีอายุสะสมเฉลี่ยในชั้นบรรยากาศประมาณ 11 ปี

ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (**N_2O**)

ไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 310 เท่า และคงอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลา 114 ปี ก๊าซนี้ถูกปล่อยออกมาโดย

ธรรมชาติจากมหาสมุทรและดิน แต่ไนตรัสออกไซด์ที่มนุษย์ก่อให้เกิดนั้นกำลังเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซชนิดนี้ กิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซนี้ ได้แก่ เกษตรกรรม (ส่วนมากนิยมใช้ปุ๋ยไนโตรเจน) อุตสาหกรรม การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและวัตถุอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนี้ไนตรัสออกไซด์ยังถูกนำไปใช้โดยตรง ได้แก่ ใช้เป็นตัวเร่งละอองของเหลว (Aerosol) และยาซา (แก๊สหัวเราะ)

ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (**HFC_s**)

ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน ถูกนำมาใช้เป็นตัวทำความเย็น ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารขยายตัวของโฟม ตัวทำละลาย สารสำหรับการดับเพลิง และตัวเร่งละอองของเหลว (Aerosol) ถึงแม้ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนจะเป็นส่วนเล็กน้อยของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมา แต่เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สร้างผลกระทบสูงมาก โดยมีศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 140 ถึง 11,700 เท่า

ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (**PFC_s**)

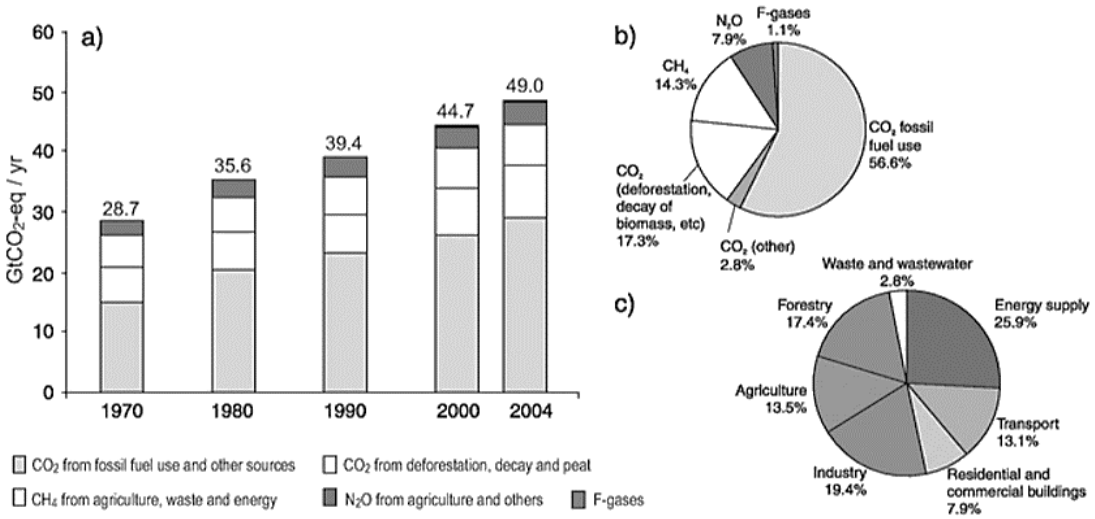
เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 6,500 ถึง 9,200 เท่า และคาร์บอนมีศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนมาก มีอายุยาว ทำให้คงอยู่ในชั้นบรรยากาศ 50,000 ปี การปล่อย PFC_s เกิดขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับ HFC_s อย่างไรก็ตามการที่ PFC_s มีศักยภาพที่ทำให้โลกร้อนมาก มีอายุยาว และการที่มีทางเลือกอื่นในตลาดทำให้ควรค่อย ๆ เลิกใช้ PFC_s ไปอย่างเร่งด่วน

ซัลเฟอร์เฮ็กซะฟลูออไรด์ (**SF_6**)

ซัลเฟอร์เฮ็กซะฟลูออไรด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนมากที่สุดจากการประเมินของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาล ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) โดยมีศักยภาพมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 23,900 เท่า และมีอายุในบรรยากาศ 3,200 ปี ก๊าซนี้ถูกนำไปใช้ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ยางยนต์ ฉนวนไฟฟ้า การผลิต สารกึ่งตัวนำ และในอุตสาหกรรมแมกนีเซียม

1. แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกสามารถจัดหมวดหมู่ได้ 7 ประเภท ดังแสดงในร ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Dario, 2007)



ภาพ 6 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

ที่มา: IPCC (2007)

1.1 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการใช้พลังงาน (Energy Supply) คิดเป็นร้อยละ 26 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงสำหรับพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน รวมถึงการรั่วไหลของเชื้อเพลิง

1.2 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ ในกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (Industrial Processes and Product Use) คิดเป็นร้อยละ 19 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับหน่วยงานผลิต การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมเคมี และผลิตภัณฑ์ประเภทเหล็กต่าง ๆ

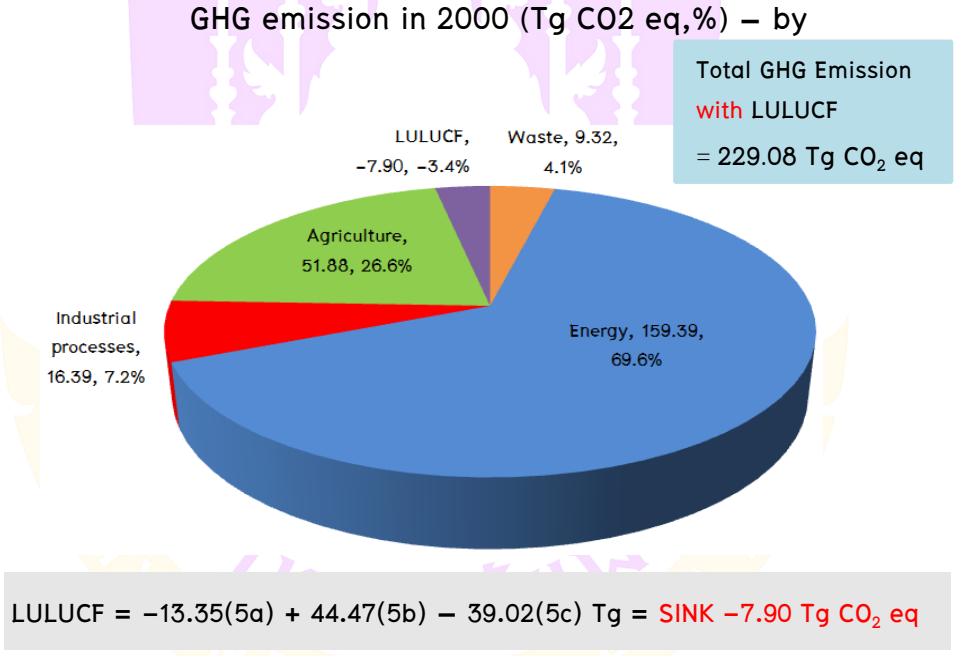
1.3 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและป่าไม้ (Forestry and Other Land Use) คิดเป็นร้อยละ 17 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการตัดไม้ทำลายป่า การทำนา และการจัดการพื้นที่ว่างเปล่า

1.4 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการเกษตร (Agriculture) คิดเป็นร้อยละ 14 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการดินสำหรับงานเกษตร, ปศุสัตว์, การผลิตข้าว และการเผาไหม้ชีวมวล

1.5 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมการขนส่ง (Transportation) คิดเป็นร้อยละ 13 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งด้วยยานพาหนะรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การขนส่งทางถนน, การขนส่งทางรถไฟ, การขนส่งทางอากาศ และการขนส่งทางน้ำ

1.6 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารพานิชย์และที่อยู่อาศัย (Commercial and Residential Buildings) คิดเป็นร้อยละ 8 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากอาคารพานิชย์และที่อยู่อาศัย

1.7 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการกำจัดของเสีย (Waste) คิดเป็นร้อยละ 3 ของผลรวมก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ได้แก่ การกำจัดน้ำเสีย



ภาพ 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมดของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2543 (Tg หรือ ล้านตัน)

ที่มา: บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (2553)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Carbon footprint)

"คาร์บอนฟุตพริ้นท์" หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2554) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นจากการใช้พลังงาน การเกษตร การพัฒนา และขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า และการทำลายสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งได้ส่งผลกระทบ ต่อการดำรงชีพของมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้สามารถแบ่งการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (สมฤทัย ชรรณษานนท์ และคณะ, 2551) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of product) หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งานและการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2554) เพื่อเป็นการแสดงข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาปริมาณเท่าใด ตั้งแต่กระบวนการหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดเมื่อกลายเป็นของเสีย ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และยังเป็นการส่งเสริมให้ผู้บริโภคทราบข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นให้ผู้ประกอบการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น (Thanawong, 2014)

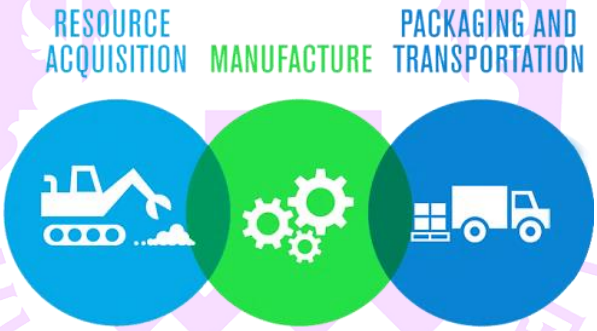
คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon footprint for organization) **หรือ** Corporate carbon footprint) หมายถึง การประเมินปริมาณการปล่อยและดูดกลับของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการดำเนินงานขององค์ (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2554) อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับโรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และระดับประเทศ โดยวัดออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

1. รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ คือ การประเมินผลรวมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ การผลิต การกระจายสินค้า การใช้งานและการกำจัดเศษซากจากการบริโภคหรือการใช้งาน โดยมีขอบเขตการประเมินอยู่ 2 แบบ คือ

1.1 การประเมินแบบธุรกิจสู่ธุรกิจ (Business to Business: B2B)

เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น หรือผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง โดยการประเมินจะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การใช้ทรัพยากร น้ำ ไฟฟ้า พลังงาน การขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงาน การผลิต และการจัดการของเสียจากกระบวนการผลิต แต่ไม่รวมผลกระทบในขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดเศษซาก ดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 8 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2B

ที่มา: มณเฑียร สติมานนท์ (2559)

1.2 การประเมินแบบธุรกิจสู่ลูกค้า (Business to Customer: B2C)

เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้ายที่ส่งไปจนถึงผู้บริโภค โดยจะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การใช้ทรัพยากร น้ำ ไฟฟ้า พลังงาน การขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงาน การผลิต การกระจายสินค้า การใช้งาน และรวมไปจนถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ดังแสดงในภาพ 9

ภาพ 9 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2C

ที่มา: มณเฑียร สติมานนท์ (2559)

2. วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดซากหลังการใช้งาน

2.1 การกำหนดวัตถุประสงค์

การกำหนดวัตถุประสงค์ คือ การระบุวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายในการศึกษา เช่น เพื่อหาแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์

2.2 เลือกผลิตภัณฑ์

2.2.1 กำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะศึกษา เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มียอดขายสูงสุด ผลิตภัณฑ์ที่ผู้ซื้อร้องขอค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.2.2 กำหนดหน่วยผลิตภัณฑ์ เป็นสิ่งที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นพื้นฐานในการวัดหรือเก็บรวบรวมข้อมูลที่เข้า/ออกจากระบบ

1) มีการระบุรายละเอียดที่ชัดเจน (หน่วยในการนับ)

2) มีการระบุรายละเอียดผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการศึกษา (วัตถุดิบ กระบวนการผลิต สี และอื่น ๆ)

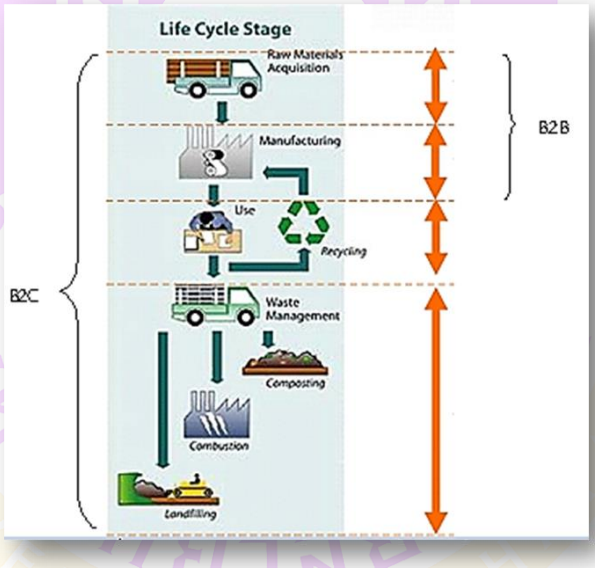
3) หน่วยการทำงาน (Functional Unit: FU) คือการระบุหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์มีหน้าที่ได้หลากหลายอย่างทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รอง

2.3 การกำหนดขอบเขต

ขอบเขตการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถดำเนินการด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งตามวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

2.3.1 แบบ Cradle-to-Grave หรือ Business-to-Consumer (B2C) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพ 10

2.3.2 แบบ Cradle-to-Gate หรือ Business-to-Business (B2B) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตจนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก หรือจนถึงที่เป็นสารขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตรายต่อไปตามที่กำหนดใน PCRs ของแต่ละผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพ 10

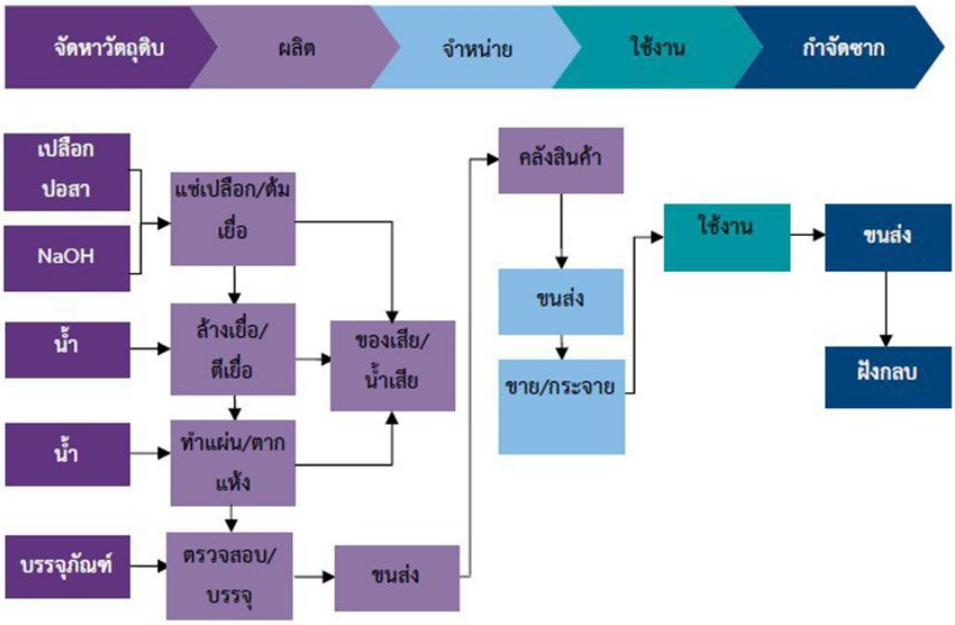


ภาพ 10 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2C และ B2B

ที่มา: องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (2554)

2.4 การสร้างแผงผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

เป็นการระบุรายละเอียดแต่ละขั้นตอนในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงตัวอย่างการสร้างแผงผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในภาพ 11



ภาพ 11 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์กระดาษสาไทยไม่ฟอก

ที่มา: องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (2554)

2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.5.1 ระบุข้อมูลที่ต้องการเก็บรวบรวมแต่ละกระบวนการ ประกอบด้วย

1) สิ่งที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ (Inputs) ได้แก่ วัตถุดิบ พลังงานและเชื้อเพลิงต่าง ๆ สารเคมี และทรัพยากรธรรมชาติและอื่น ๆ

2) สิ่งที่ออกมาจากกระบวนการ (Outputs) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ร่วม ผลิตภัณฑ์พลอยได้ มลพิษและของเสียต่าง ๆ

2.5.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและทำสมดุลมวลรายละเอียดของข้อมูลที่เก็บรวบรวม ข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ลิตร กิโลกรัม กิโลวัตต์-ชั่วโมง และข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ชนิด ประเภท ความเข้มข้น องค์ประกอบ

1) การเก็บข้อมูล Inputs ได้แก่ จากการตรวจวัด จากการคำนวณ และจากข้อมูลการซื้อขายและสินค้าคงคลัง

2) การเก็บข้อมูล Outputs ได้แก่ จากการตรวจวัด จากการคำนวณ และจากการใช้ค่า Emission Factor

2.5.3 การปันส่วน เกิดขึ้นในกรณีที่มีการผลิตภัณฑ์หลายชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน มีการใช้ระบบสาธารณูปโภคร่วมกันระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องมีการจำแนกกระบวนการที่มีการใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการดุลมวลสารที่เป็น Inputs/Outputs อาศัยข้อมูลทางเทคนิค และพิจารณาตามสัดส่วนมวล ปริมาณ จำนวนของผลิตภัณฑ์ หรือพิจารณาตามมูลค่าของผลิตภัณฑ์

2.5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) เป็นค่าซึ่งเปลี่ยนข้อมูลจากกิจรรมต่าง ๆ ให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีหน่วยเป็นกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย ($kgCO_2e$/หน่วย) โดยสัมประสิทธิ์การปล่อยสามารถใช้ค่าจากการตรวจวัดจริง หรือสืบค้นได้จากฐานข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) หรือบทความจากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC)

2.5.5 การแสดงผลต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากทุกกระบวนการต้องถูกนำมาคำนวณให้เป็นค่าต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ เช่น ต่อกิโลกรัม ต่อลิตร ต่อชิ้น เป็นต้น

2.6 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดและวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ ผลรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิต สินค้า ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\mathbf{GHG = Activity\ Data \times EF} \quad (1)$$

โดยที่

GHG (Greenhouse Gases) หมายถึง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity Data หมายถึง ข้อมูลการใช้พลังงาน เชื้อเพลิง หรือวัตถุดิบที่ใช้ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

Emission Factor (EF) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

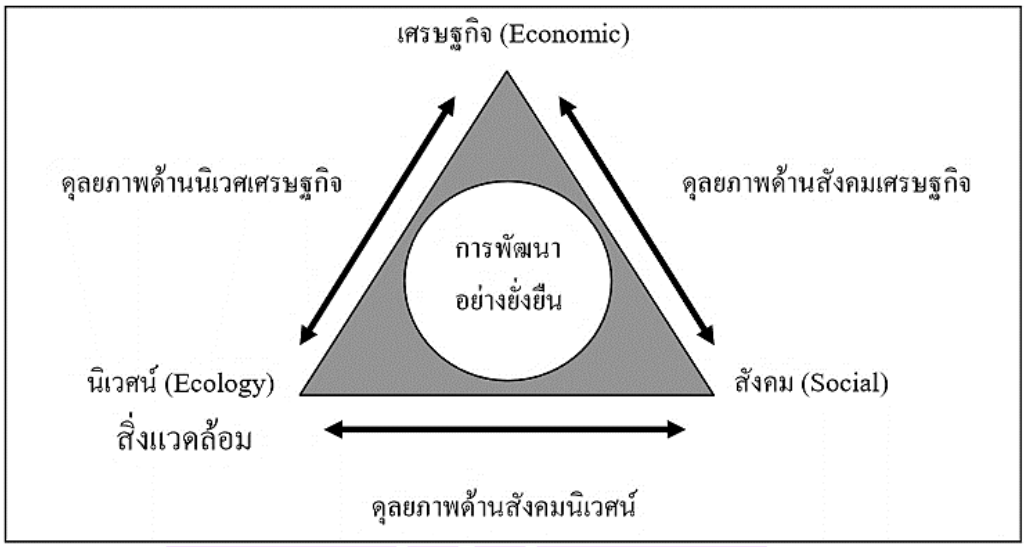
การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency Assessment)

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ หรือ Eco-efficiency มาจากการรวมกันของคำว่า "Ecology" ที่หมายความได้ถึงระบบนิเวศ และ "Economy" ที่หมายความได้ถึงเศรษฐกิจ กับคำว่า "Efficiency" ที่แปลตามภาษาไทยว่าประสิทธิภาพ ดังนั้น นิยามของคำว่า "Eco-efficiency" คือการจัดการให้ภาคธุรกิจมีศักยภาพในการแข่งขันมากขึ้น ควบคู่ไปกับความรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

แนวคิด Eco-efficiency นี้ ริเริ่มโดยคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก หรือ World Business Council for Sustainable Development หรือ WBCSD ซึ่งเป็นการรวมตัวของกลุ่มบริษัทชั้นนำระหว่างประเทศ และได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการในการประชุมสุดยอดด้านสิ่งแวดล้อม หรือ Earth Summit เมื่อปี 2535 โดย WBCSD ได้กำหนดแนวทางที่จะช่วยให้การดำเนินงานด้านธุรกิจประสบความสำเร็จในเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 7 ประการ ดังนี้

1. ลดการใช้ทรัพยากรหรือวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตและบริการ (Reduce material intensity)
2. ลดการใช้พลังงานในการผลิตและบริการ (Reduce energy intensity)
3. ลดการปล่อยสารพิษต่าง ๆ (Reduce dispersion of toxic substance)
4. เสริมสร้างสักภาพการแปรใช้ใหม่ของวัสดุ (Enhance recyclability)
5. เพิ่มบริมาณการใช้ทรัพยากรที่หมุนเวียนได้ (Maximize use of renewables)
6. เพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Extend product durability)
7. เพิ่มระดับการให้บริการแก่ผลิตภัณฑ์และเสริมสร้างธุรกิจบริการ (Increase service intensity)

แนวคิด Eco-efficiency ดังกล่าว เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับภาคธุรกิจ เนื่องจากเป็นการสร้างความสมดุลระหว่างความเจริญก้าวหน้าทางธุรกิจ (การเพิ่มผลกำไรให้กับองค์กร) และการรักษาระบบนิเวศโดยการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ ยังเป็นดัชนีชี้วัดความสัมพันธ์ด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่มุ่งไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน อันเป็นเป้าหมายโดยรวมของนานาประเทศในระยะยาวต่อไป



ภาพ 12 องค์ประกอบของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ที่มา: Sukhothai Thammathirat open University (2014)

หลักการเชิงทฤษฎีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 3 ประการดังนี้

1. มุ่งลดการบริโภคทรัพยากร (Reducing the consumption of resources) พยายามลดการใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตพลังงาน น้ำ และที่ดิน ส่งเสริมการใช้ซ้ำ (Reuse) และการแปรใช้ใหม่ (Recycle) ของผลิตภัณฑ์

2. มุ่งลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม (Reducing the impact on nature) ลดการปล่อยของเสีย ได้แก่ น้ำทิ้งขยะและสารพิษ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

3. มุ่งเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์และการบริการ (Increasing product or service value) ทำให้ผู้บริโภคได้รับผลประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ สินค้าและการบริการสูงสุด แต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติน้อยที่สุด

ขั้นตอนการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency Assessment)

การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมนั้น โดยปกติแล้วเป็นการคำนวณเพื่อหาสัดส่วนระหว่างมูลค่าของผลิตภัณฑ์หรือบริการ (Product or service value) กับผลกระทบสิ่งแวดล้อม(Environmental impact) โดยในส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมเอง มักจะเน้นการพิจารณาที่การใช้พลังงาน วัสดุ น้ำ (Consumption of energy, materials, and water) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green house gas) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นั่นเอง

การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจตามแนวทางวิธีการประเมินที่กำหนดขึ้นโดย WBCSD สามารถประเมินค่าประสิทธิภาพเศรษฐกิจได้จากการพิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์ และการบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดย WBCSD ได้กำหนดวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ(Eco–Efficiency)} = \frac{\text{มูลค่าผลิตภัณฑ์หรือการบริการ (Product or service value)}}{\text{ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental influence)}}$$

การวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco–Efficiency) เป็นดัชนีที่ใช้ชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความสำคัญในการใช้เพื่อชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างผลกำไรเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อผลกระทลสิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้คือการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจก ตามสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco–Efficiency)} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมา (kg}CO_2\text{eq.)}}{\text{มูลค่าการก่อสร้างผนัง (บาท)}}$$

ทบทวนวรรณกรรม

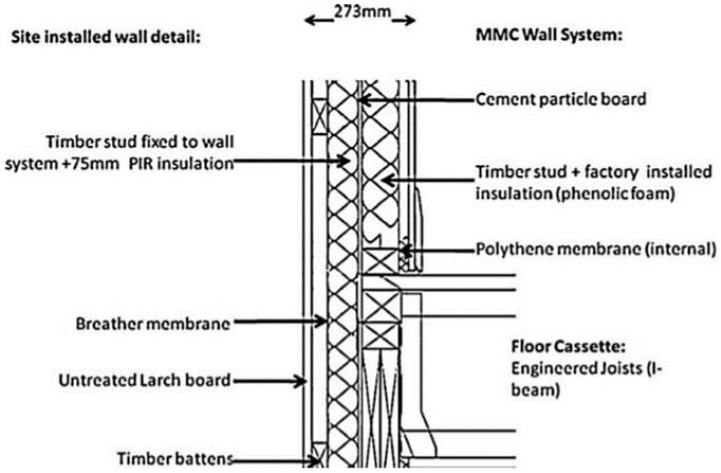
ในการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์จากการก่อสร้างสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องตระหนักถึง คือ การศึกษาขอบเขตและรายละเอียดของการประเมินที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของระบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการประเมิน ซึ่งในการศึกษานี้ คือ การก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง, อาคาร, บ้านพักที่อยู่อาศัย โดยจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีงานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการก่อสร้าง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สิริรักษ์ เจียราการ และพัฒนะ รักความสุข (2544) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการผลิตวัสดุก่อสร้างและในช่วงกระบวนการก่อสร้างของบ้านเอื้ออาทร พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 98 มาจากวัสดุประกอบอาคาร และอีกร้อยละ 2 มาจากกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งได้สอดคล้องกับการศึกษาของ (Wahidul K. Biswas, 2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างอาคารที่ออสเตรีย โดยที่การ

ก่อสร้างอาคารทั่วไปมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึงร้อยละ 30 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งโลก (UNEP, 2009) ซึ่งการศึกษานี้ได้ผลสรุปคือ วัสดุก่อสร้างที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ คอนกรีต ซึ่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงร้อยละ 42 ของวัสดุรวมอาคาร

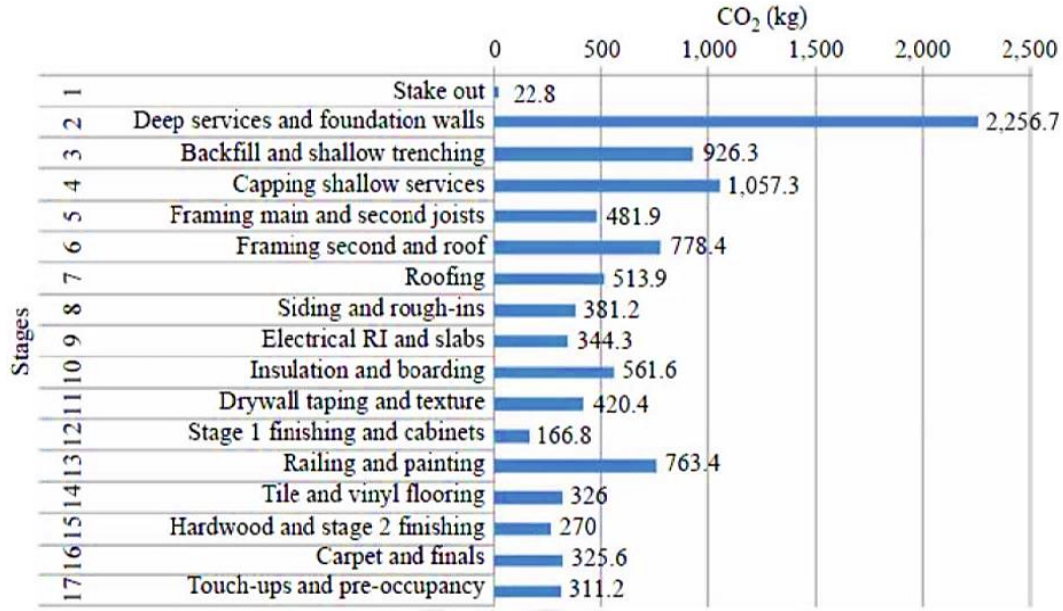
นลินี อเนกแสน (2554) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานของการก่อสร้าง โดยได้ทำการศึกษาตั้งแต่การได้มาของวัสดุก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) ไปจนถึงกระบวนการก่อสร้าง (Gate-to-Gate) และการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย (Use-Phase) พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าร้อยละ 90 มาจากวัสดุก่อสร้าง และอีกงานวิจัยของ (กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคาร จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุประกอบอาคารที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคือ อิฐมอญ ซึ่งงานวิจัยนี้ยังพบว่า วัสดุเปลือกอาคารนั้นมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานภายในอาคารอีกด้วย

Monahan (2011) ได้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และพลังงานของการก่อสร้างอาคารประเภทบ้านพักอาศัย โดยมีรายละเอียดวัสดุก่อสร้างดังแสดงใน ภาพ 13 โดยพิจารณาองค์ประกอบทั้งสิ้น 5 กลุ่ม ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง, การขนส่งวัสดุเข้าสู่สถานก่อสร้าง, การกำจัดของเสีย, การขนส่งเศษซากวัสดุ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงระหว่างการก่อสร้าง จากงานวิจัยพบว่า การก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยโดยใช้วัสดุก่อสร้างที่ศึกษาดังกล่าว มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมทั้งสิ้น 34,625 $kgCO_2eq$ หรือคิดเป็น 405 $kgCO_2eq$ ต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร โดยพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีต



ภาพ 13 วัสดุก่อสร้างที่ศึกษาในงานวิจัยของ Monahan and Powell, 2011

Mah (2011) ได้ทำการศึกษาการวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัย โดยในการวิจัยนี้พิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจาก 3 กิจกรรมหลัก ได้แก่ (1) การขนส่งวัสดุก่อสร้างและการใช้เครื่องจักรก่อสร้างที่เกี่ยวกับการขนส่งวัสดุดังกล่าว (2) การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะในการขนส่งคนงานและเครื่องจักร (3) การดำเนินงานของเครื่องจักรก่อสร้าง โดยงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างโดยแบ่งการก่อสร้างออกเป็นกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 17 กิจกรรม การประเมินแสดงในภาพ 14 ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การขุดเจาะฐานราก เนื่องจากเป็นกิจกรรมในการก่อสร้างที่มีการใช้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องขุดเจาะทำให้มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรมากที่สุด



ภาพ 14 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะของการก่อสร้างต่าง ๆ

ที่มา: Mah et al. (2011)

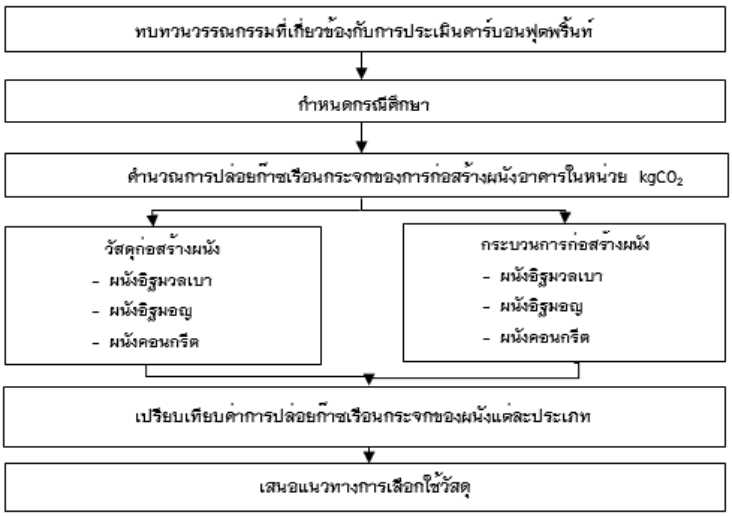
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย และทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวิธีการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย ขนาด 1 ตารางเมตร โดยมีขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผนังอาคารบ้านพักอาศัย (Carbon Footprint of Product: CFP): ประเมินแบบ Business to Business (B2B) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการศึกษา ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต ข้อมูลได้จากรายการบัญชีแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (Bill of Quantities) คำนวณโดยใช้ฐานข้อมูลจากองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างวัสดุก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยทั้ง 3 แบบ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกทั้งสิ้น 5 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพ 15 ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนวิจัยดังนี้



ภาพ 15 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ทบทวนเอกสารทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคการก่อสร้าง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตริ้นท์ พบว่า ปัจจุบันยังไม่มีแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง หรือกระบวนการก่อสร้าง ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์โดยการรวบรวมทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการกำหนดวิธีการและรายละเอียดที่จำเป็นสำหรับการศึกษาในงานวิจัยนี้

2. กำหนดกรณีศึกษาสำหรับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยต้นแบบ และการเลือกใช้วัสดุทดแทน

2.1 เลือกโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยต้นแบบที่อยู่ในพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย เก็บข้อมูลได้สะดวก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด

2.2 การเลือกหน่วยงานผลิตมาเป็นกรณีศึกษาจะต้องตามรอยจากโครงสร้างกลับไปยังหน่วยงานผลิตวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเพื่อให้ผลผลัพธ์สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด

เลือกกรณีศึกษาสำหรับศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ได้แก่ หน่วยงานผลิตผนังอาคารและโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคาร สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เลือกวัสดุก่อสร้างอาคารจำนวน 3 แบบ ได้แก่

1) คอนกรีตสำเร็จรูป ที่ผลิตโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติ

2) อิฐมวลเบา ที่ผลิตด้วยวิธี Cellular lightweight concrete (CLC)

3) อิฐมอญ ที่ผลิตด้วยระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรเป็นหลัก

กรณีศึกษาจำนวน 3 โครงการ ซึ่งใช้ระบบก่อสร้างแบบเดียวกัน แตกต่างกันตรงวัสดุก่อสร้างตัวอาคาร โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ใช้คอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ใช้อิฐมวลเบาในการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ใช้อิฐมอญในการก่อสร้าง

การศึกษารายละเอียดรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ พิจารณาประเภทและวัสดุการก่อสร้างอาคารรวมถึงขนาดพื้นที่ใช้สอย โดยเก็บข้อมูลและทำแผนผังชนิดและปริมาณการใช้วัสดุ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
2. โครงสร้างตัวอาคาร
3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

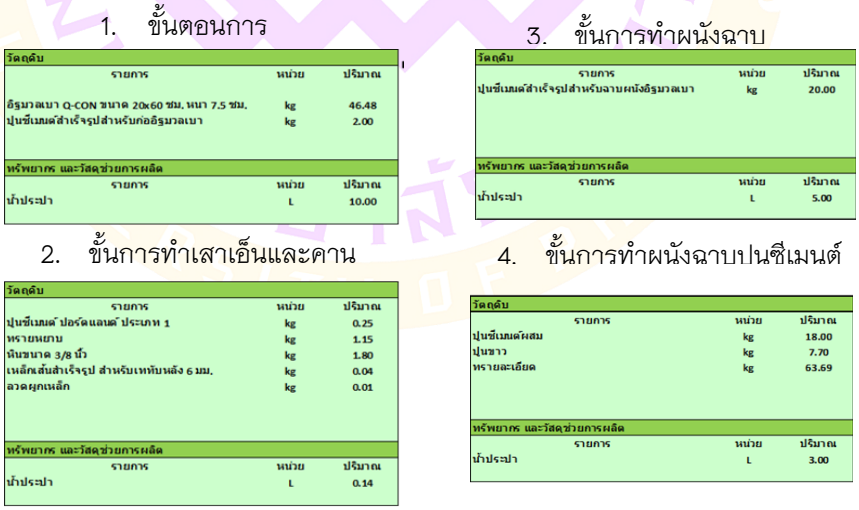
4. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการก่อสร้าง

5. ศึกษาและรวบรวมฐานข้อมูลวัสดุก่อสร้างในไทยและต่างประเทศ

6. ถอดแบบแปลนและบัญชีแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (Bill of Quantities; B.O.Q.) ของบ้านพักอาศัยต้นแบบ

3. คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอาคารในหน่วย $kgCO_2$ eq./m^2

ผนังอาคารบ้านพักอาศัยที่ศึกษาคือ ผนังอาคารบ้านพักอาศัยของโครงสร้างอาคารบ้านเดี่ยวแบบ 1 ชั้น โครงการบ้านพักข้าราชการชำนาญงาน/ปฏิบัติการ (ระดับ 3-6) จังหวัดลำปาง เทียบเท่าเนื้อที่ 87 ตารางเมตร สำหรับเป็นบ้านพักอาศัยต้นแบบ โดยไม่พิจารณารวมช่วงของวัฏจักรชีวิตภายหลังการก่อสร้าง สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เลือกวัสดุก่อสร้างอาคารจำนวน 3 แบบ ได้แก่ คอนกรีตสำเร็จรูป วัสดุที่ผลิตโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติเป็นผนังอาคารต้นแบบ, วัสดุทางเลือก ได้แก่ อิฐมวลเบา ที่ผลิตด้วยวิธี Cellular lightweight concrete (CLC) และอิฐมอญ ที่ผลิตด้วยระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรเป็นหลัก ขอบเขตที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผนังอาคารบ้านพักอาศัยงานวิจัยนี้ คือ Business to Business (B2B) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการศึกษา ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต โดยกำหนดให้มีกระบวนการผลิตและการใช้วัสดุของแต่ละผนัง ดังแสดงในภาพ 16- 18



ภาพ 16 แผนภาพกระบวนการผลิตของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา

1. ขั้นตอนการก่อผนัง

วัตถุดิบ		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
อิฐมอญ แดง ชนิด 3 รู ขนาด 11:	kg	132.00
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	5.50
ปูนขาว	kg	3.00
ทรายหยาบ	kg	45.88
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำประปา	L	10.00

2. ขั้นการทำเสาเอ็นและคานทับหลัง

วัตถุดิบ		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท	kg	0.25
ทรายหยาบ	kg	1.15
หินขนาด 3/8 นิ้ว	kg	1.80
เหล็กเส้นสำเร็จรูป สำหรับเทหับ	kg	0.04
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.01
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำประปา	L	0.14

3. ขั้นการทำผนังฉาบปูนเรียบ

วัตถุดิบ		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	12.05
ปูนขาว	kg	7.70
ทรายละเอียด	kg	61.17
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำประปา	L	3.00

4. ขั้นการทำผนังฉาบปูนซีเมนต์ขัดมัน

วัตถุดิบ		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.00
ปูนขาว	kg	7.70
ทรายละเอียด	kg	63.69
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำประปา	L	3.00

ภาพ 17 แผนภาพกระบวนการผลิตของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ

1. ขั้นตอนการหล่อผนัง

วัตถุดิบ		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ RB ขนาด 9 มม, มอก,	kg	6.64
เหล็กเส้นกลมข้ออ้อย DB ขนาด 12 มม, มอก,	kg	11.81
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.55
ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	kg	64.80
ทรายหยาบ	kg	181.51
หินขนาด 3/4"	kg	316.10
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำประปา	L	36.00

2. ขั้นการทำผนังฉาบปูนซีเมนต์ขัดเรียบ

วัตถุดิบ		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.00
ปูนขาว	kg	7.70
ทรายละเอียด	kg	61.17
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต		
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
น้ำประปา	L	3.00

ภาพ 18 แผนภาพกระบวนการผลิตของการก่อสร้างผนังคอนกรีต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ โดยเปรียบเทียบวัสดุที่ต่างชนิดกัน และทำการหาผลการทดลองด้วยการคำนวณ เพื่อนำผลการคำนวณมาเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ เพื่อปรับปรุงแนวทางการเลือกใช้วัสดุอาคารแล้วทำ

การวิเคราะห์เพื่อสรุปผลหาแนวทางเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ดีที่สุด จากนั้นนำปริมาณวัสดุที่ได้มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้างอิงวิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการ (IPCC, 2006) ดังรายละเอียดในสมการ 2

GHG = Activity Data x Emission Factor (2)

โดยที่

GHG (Greenhouse Gases) หมายถึง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity Data หมายถึง ข้อมูลการใช้พลังงาน เชื้อเพลิง หรือวัตถุดิบที่ใช้ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

Emission Factor (EF) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตาราง 4 กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ
การปล่อยจากวัสดุ	ปริมาณวัสดุที่ใช้ × EF ของวัสดุ
การปล่อยจากกระบวนการก่อสร้าง	ปริมาณใช้น้ำ × EF ของของน้ำ

การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor: EF) ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะเลือกใช้จากแหล่งข้อมูลดังต่อไปนี้

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ซึ่งสามารถสืบค้นได้จาก www.tgo.or.th โดยข้อมูลอ้างอิงมาจากฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของประเทศไทยและฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของต่างประเทศจากโปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยรวบรวมจากรายการข้อมูลที่มีการใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนหน้านี้ และมีการปรับปรุงให้ทันสมัยตามรายการข้อมูลที่มีการพัฒนาในฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของประเทศไทย โดยมีการปรับปรุงรายการข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุก ๆ 2 ปี

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer–reviewed publications) โดยสืบค้นจากฐานข้อมูลวารสารทางวิชาการ

ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ LCA Software ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม และฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ

ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC และสหประชาชาติ

1. การแปลผลและเปรียบเทียบผลการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผนังแต่ละประเภท (Interpretation and Comparison)

การแปลผลและเปรียบเทียบผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างผนังแต่ละประเภท ซึ่งจะเปรียบเทียบกันทั้ง 3 ผนัง ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะทำให้เห็นว่าวัสดุที่ใช้และกระบวนการใดที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก

2. เสนอแนวทางการเลือกใช้วัสดุ

ในการเสนอแนวทางการเลือกใช้นั้น จะทำการวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ เป็นดัชนีใช้ชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเป็นเครื่องมือการจัดการที่ทำให้ภาคธุรกิจมีศักยภาพในการ แข่งขันมากยิ่งขึ้นควบคู่ไปกับความรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจจึงมีความสำคัญในการใช้ชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างผลกำไรเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม (ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์, 2556) ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ การศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ตามสมการ 3

$$\text{Eco–Efficiency} = \frac{\textbf{มูลค่าผนังต่อตารางเมตร (บาท)}}{\textbf{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย (kg}CO_2\textbf{eq)}} \quad (3)$$

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

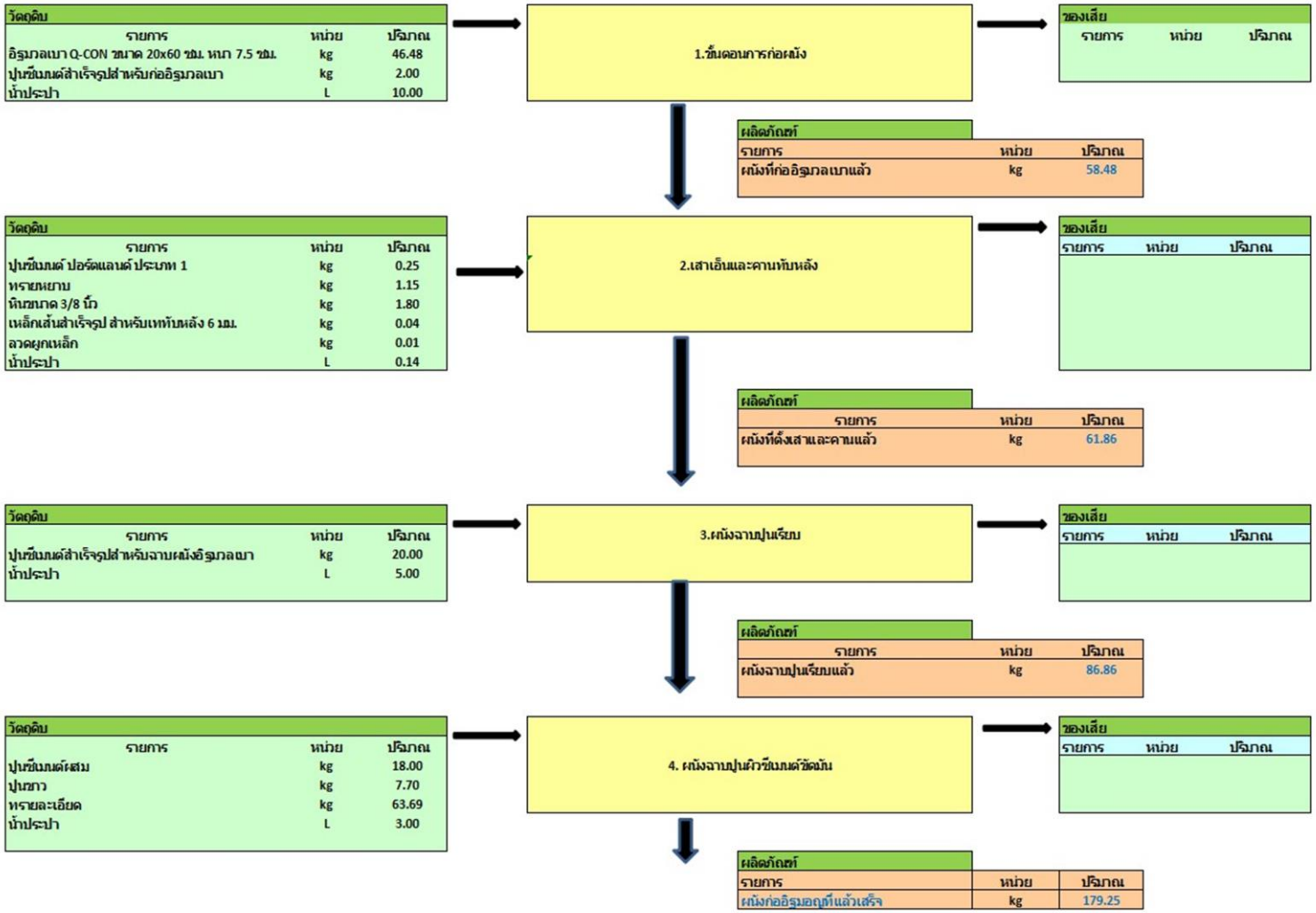
จากการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังทั้ง 3 ประเภท ทำให้ทราบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต เพื่อพิจารณาหาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังผลการศึกษาต่อไปนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา

1. ปริมาณวัสดุในการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

จากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร ดังแสดงภาพ 19 ทำการประเมินแบบ B2B ประกอบไปด้วยการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) โดยใช้ข้อมูลแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) จากการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบาของบ้านแฝด 130 ตารางเมตร (กรมโยธา, 2563) ดังแสดงในภาพ 20 โดยมีขั้นตอนการก่อสร้างแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1.ขั้นการก่อผนัง 2.ขั้นการทำเสาเอ็นและคานทับหลัง 3.ขั้นผนังฉาบปูนเรียบ และ 4.ขั้นผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมัน ซึ่งอิฐมวลเบาที่ใช้งานวิจัยนี้ผลิตด้วยวิธี Cellular lightweight concrete (CLC) โดยในการประเมินครั้งนี้มีการใช้วัสดุของไม้แบบที่มาจากแหล่งเดียวกันแล้ว มีการใช้ในปริมาณที่เท่ากันของผนังทั้ง 3 ประเภท รวมทั้งสามารถนำไม้แบบไปใช้งานต่อในกระบวนการก่อสร้างได้อีก ทั้งนี้จึงไม่นำส่วนของไม้แบบมาทำการเมิน

ภาพ 19 ลักษณะผนังอิฐมวลเบาที่ก่อสร้างจริงของงานวิจัยนี้



ภาพ 20 แผนภาพกระบวนการผลิตและปริมาณวัสดุ (BOQ) ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พบว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 36.7281 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ อิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 21.5505 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 58.68 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา) รองลงมาคือ ปูนขาวมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 7.8656 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 21.42 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา) และปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับฉาบผนังอิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.1240 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 8.51 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	($kgCO_2eq$/หน่วย)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq$)	(%)
1.ขั้นตอนการก่อผนัง						
อิฐมวลเบา Q-CON ขนาด 20x60 ซม. หนา 7.5 ซม.	kg	46.4814	0.4636	TGO CFP บล็อกคอนกรีตมวลเบา	21.5505	58.68
ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับก่ออิฐมวลเบา	kg	2.0000	0.3200	TGO ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ก่ออิฐมวลเบาบรรจุถุง	0.6400	1.74
2.เสาเอ็นและคานทับหลัง						
ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	kg	0.2520	0.9180	TGO ปูนงานโครงสร้าง สูตรไฮบริด	0.2313	0.63
ทรายหยาบ	kg	1.1469	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564) :703.ทราย	0.0042	0.01
หินขนาด 3/8 นิ้ว	kg	1.8000	0.0907	TGO หินปูนขนาด 3/4 นิ้ว	0.1633	0.44

ตาราง 5 (ต่อ)

กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
รายการ	**หน่วย**	**ปริมาณ/ตร.ม.**	**(kgCO_2eq/หน่วย)**	**ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)**	**(kgCO_2eq)**	
เหล็กเส้นสำเร็จรูป สำหรับเททับหลัง 6 มม.	kg	0.0420	2.1400	TGO เหล็กข้ออ้อย	0.0899	0.24
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.0053	2.3000	TGO ลวดเหล็กกล้า	0.0121	0.03
3.ผนังฉาบปูนเรียบ						
ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับฉาบผนังอิฐมวลเบา	kg	20.0000	0.1562	TGO ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับฉาบอิฐมวลเบาบรรจุถุง	3.1240	8.51
4. ผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมัน						
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.0000	0.1562	TGO ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับฉาบอิฐมวลเบาบรรจุถุง	2.8116	7.66
ปูนขาว	kg	7.7000	1.0215	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564): 601.Lime	7.8656	21.42
ทรายละเอียด	kg	63.6880	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564): 703. ทราย	0.2356	0.64
รวม		161.1156			36.7281	100.00

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ พบว่าการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.5138 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การขนส่งทรายละเอียดมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.2546 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 49.56 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา) รองลงมาคือการขนส่งอิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1163 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 22.64 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา) และการขนส่งปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับฉาบผนังอิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0501 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 9.74 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 6

โดยการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งตามประเภทของพาหนะที่ใช้ ซึ่งแต่ละวัตถุดิบจะใช้พาหนะที่แตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า Emission Factor ของพาหนะเที่ยวไปที่ 100% และเที่ยวกลับที่ 0%

การคำนวนค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเที่ยวไป = ปริมาณ x ระยะทาง x Emission Factor ของพาหนะที่ 100%

การคำนวนค่าการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจกเที่ยวกลับ = (ปริมาณ/น้ำหนักบรรทุกสูงสดของรถ) x ระยะทาง x Emission Factor ของพาหนะที่ 0%

เพราะฉะนั้นผลรวมของก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง = การคำนวนค่าการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจกเที่ยวไป + การคำนวนค่าการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจกเที่ยวกลับ

ตาราง 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
1.ขั้นตอนการก่อผนัง										
อิฐมวลเบา Q-CON ขนาด 20x60 ซม. หนา 7.5 ซม.	kg	46.4814	23.6 จาก อ.เมือง ลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทาง ลำปาง	1.097	0.100	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.1163
ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับก่ออิฐมวลเบา	kg	2.0000	23.6 จาก อ.เมือง ลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทาง ลำปาง	0.047	0.004	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0050

ตาราง 6 (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)			
รายการ	**หน่วย**	**ปริมาณ/ ตร.ม.**	**ระยะทาง (Km)**	**ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)**	**ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)**	**พาหนะ**	**เที่ยวไป**	**เที่ยวกลับ**	**แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)**	**ผลคูณ ($kgCO_2eq$)**
2.เสาเอ็นและคานทับหลัง										
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	kg	0.2520	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.006	0.001	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564): 117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0006
ทรายหยาบ	kg	1.1469	37.7 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.043	0.004	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564): 117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0046
หินขนาด 3/8 นิ้ว	kg	1.8000	18.63 จาก อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.034	0.003	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564): 117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0036

ตาราง 6 (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	**หน่วย**	**ปริมาณ/ตร.ม.**	**ระยะทาง (Km)**	**ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)**	**ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)**	**พาหนะ**	**เที่ยวไป**	**เที่ยวกลับ**		
เหล็กเส้นสำเร็จรูปสำหรับเททับหลัง 6 มม.	kg	0.0420	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.001	9.01×10^{-5}	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564): 117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0001
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.0053	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	1.24×10^{-5}	1.77×10^{-5}	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1411	0.3131	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):85,82.รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน (วิ่งปกติ)	2.30E-05
3.ผนังฉาบปูนเรียบ										
ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับฉาบผนังอิฐมวลเบา	kg	20.0000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.472	0.043	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0501

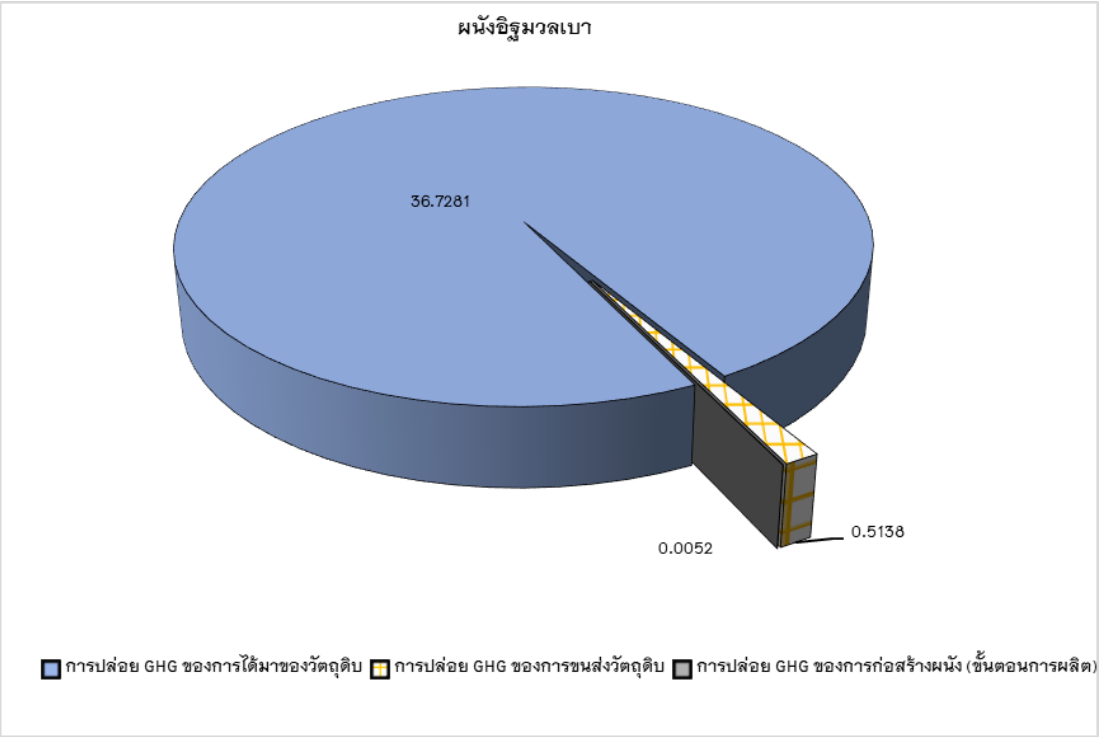
ตาราง 6 (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
4. ผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมัน										
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.0000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.425	0.039	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0451
ปูนขาว	kg	7.7000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.182	0.026	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1411	0.3131	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):85,82.รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0338
ทรายละเอียด	kg	63.6880	37.7 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	2.401	0.218	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.2546
					รวม					0.5138

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) พบว่าขั้นการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0052 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ขั้นตอนการก่อผนังมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.0028 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 55.14 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังอิฐมวลเบา) รองลงมาคือขั้นการฉาบปูนเรียบมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0014 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 27.57 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังอิฐมวลเบา) และขั้นฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมัน มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0009 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 16.54 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังอิฐมวลเบา) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	($kgCO_2eq$/ตร.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq.$)	
การก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)						
1.ขั้นตอนการก่อผนัง						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	10.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61.น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0028	55.14
2.เสาเอ็นและคานทับหลัง						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	0.1350	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61.น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	3.84×10^{-5}	0.74
3.ผนังฉาบปูนเรียบ						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	5.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61.น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0014	27.57
4. ผนังฉาบปูนซีเมนต์ขัดมัน						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	3.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61.น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0009	16.54
			รวม		0.0052	100.00



ภาพ 21 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ขนาด 1 ตารางเมตร

จากภาพ 21 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และ การก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของผนังอิฐมวลเบาพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 36.7281 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยขั้นการปล่อยรองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 0.5138 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) มีค่าเท่ากับ 0.0052 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ

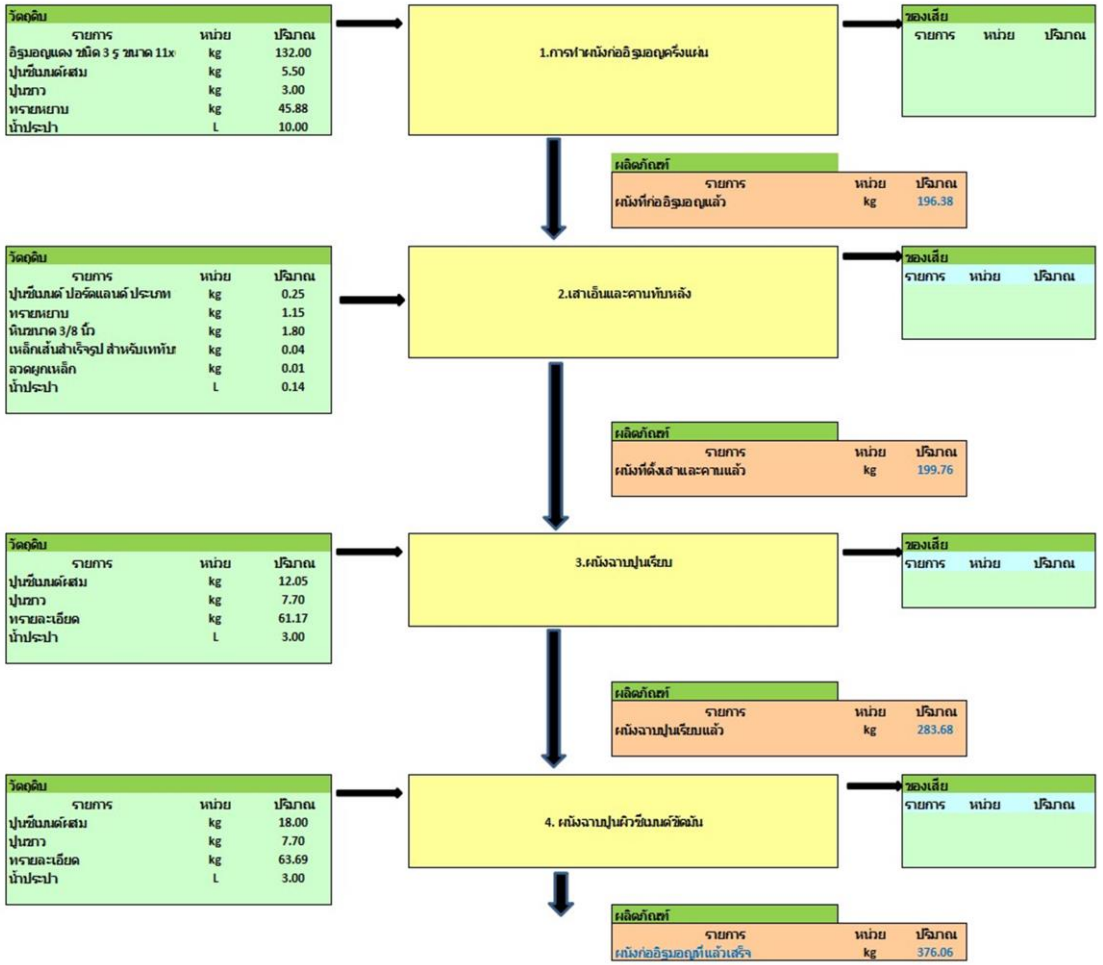
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนังผนังอิฐมอญ

1. ปริมาณวัสดุในการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร

จากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร ดังแสดงภาพ 22 ทำการประเมินแบบ B2B ประกอบไปด้วยการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) โดยใช้

ข้อมูลแสดงปริมาณวัสดุ (**BOQ**) จากการก่อสร้างผนังอิฐมอญ บ้านแฝด 130 ตารางเมตร (กรมโยธา, 2563) ดังแสดงในภาพ 23 โดยมีขั้นตอนการก่อสร้างแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1. การทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น 2.ขั้นการทำเสาเอ็นและคานทับหลัง 3.ขั้นผนังฉาบปูนเรียบ และ 4.ขั้นผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมัน ซึ่งอิฐมอญที่ใช้ผลิตด้วยระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์ โดยในการประเมินครั้งนี้มีการใช้วัสดุของไม้แบบที่มาจากแหล่งเดียวกันแล้ว มีการใช้ในปริมาณที่เท่ากันของผนังทั้ง 3 ประเภท รวมทั้งสามารถนำไม้แบบไปใช้งานต่อในกระบวนการก่อสร้างได้อีก ทั้งนี้จึงไม่นำส่วนของไม้แบบมาทำการเมิน

ภาพ 22 ลักษณะผนังอิฐมอญที่ก่อสร้างจริงของงานวิจัยนี้



ภาพ 23 แผนภาพกระบวนการผลิตและปริมาณวัสดุ (BOQ) ของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร

2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พบว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 56.7486 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ อิฐมอญแดงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 31.8648 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 56.15 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมอญ) รองลงมาคือ ปูนขาวสำหรับฉาบปูนเรียบและฉาบผิวซีเมนต์ขัดมัน ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 7.8656 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากัน (คิดเป็นร้อยละ 13.86 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมอญ) และปูนขาวสำหรับการก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.0645 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 5.40 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมอญ) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	($kgCO_2eq$/หน่วย)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq$)	
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ						
1.การทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น						
อิฐมอญแดง ชนิด 3 รู ขนาด 11x6.5x25 มม. (มอก.)	kg	132.0000	0.2414	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):704.Brick (อิฐ)	31.8648	56.15
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	5.5000	0.1394	TGO ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป	0.7667	1.35
ปูนขาว	kg	3.0000	1.0215	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):601.Lime	3.0645	5.40
ทรายหยาบ	kg	45.8760	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):703.ทราย	0.1697	0.30
2.เสาเอ็นและคานทับหลัง						
ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	kg	0.2520	0.9180	TGO ปูนงานโครงสร้าง สูตรไฮบริด	0.2313	0.41
ทรายหยาบ	kg	1.1469	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):703.ทราย	0.0042	0.01
หินขนาด 3/8 นิ้ว	kg	1.8000	0.0907	TGO หินปูนขนาด 3/4 นิ้ว	0.1633	0.29
เหล็กเส้นสำเร็จรูป สำหรับเททับหลัง 6 มม.	kg	0.0420	2.1400	TGO เหล็กข้ออ้อย	0.0899	0.16
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.0053	2.3000	TGO ลวดเหล็กกล้า	0.0121	0.02

ตาราง 8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร (ต่อ)

กิจกรรม รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ค่า EF ($kgCO_2eq$/หน่วย)	แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)	สัดส่วน (%)
3.ผนังฉาบปูนเรียบ						
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	12.0500	0.1394	TGO ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป	1.6798	2.96
ปูนขาว	kg	7.7000	1.0215	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):601.Lime	7.8656	13.86
ทรายละเอียด	kg	61.1680	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):703. ทราย	0.2263	0.40
4. ผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมัน						
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.0000	0.1394	TGO ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป	2.5092	4.42
ปูนขาว	kg	7.7000	1.0215	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):601.Lime	7.8656	13.86
ทรายละเอียด	kg	63.6880	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):703. ทราย	0.2356	0.342
รวม		**359.9282**			**56.7486**	**100.00**

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ พบว่าการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.481 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การขนส่งอิฐมอญแดงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.6202 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 41.86 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมอญ) รองลงมาคือการขนส่งทรายละเอียดของขั้นฉาบปูนผิวซีเมาต์ขัดมันมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.2546 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 17.19 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมอญ) และการขนส่งทรายละเอียดของขั้นฉาบปูนเรียบมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.2446 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 16.51 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังอิฐมอญ) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
1.การทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น										
อิฐมอญแดง ชนิด 3 รู ขนาด 11x6.5x25 มม. (มอก.)	kg	132.0000	44.3 จาก อ.เกาะคา จ.ลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	5.848	0.532	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.6202
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	5.5000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.130	0.012	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0138
ปูนขาว	kg	3.0000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.071	0.010	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1411	0.3131	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):85,82.รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0132

ตาราง 9 (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
ทรายหยาบ	kg	45.8760	37.7 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	1.730	0.157	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.1834
2.เสาเอ็นและคานทับหลัง										
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	kg	0.2520	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.006	0.001	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0006
ทรายหยาบ	kg	1.1469	37.7 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.043	0.004	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0046

ตาราง 9 (ต่อ)

รายการ	กิจกรรม			แบบการใช้ระยะทาง		EF ($kgCO_2eq/tkm$)				ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ	แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	
หินขนาด 3/8 นิ้ว	kg	1.8000	18.63 จาก อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.034	0.003	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0036
เหล็กเส้นสำเร็จรูป สำหรับเททับหลัง 6 มม.	kg	0.0420	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.001	9.01×10^{-5}	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0001
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.0053	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	1.24×10^{-5}	1.77×10^{-5}	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1411	0.3131	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):85,82.รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน (วิ่งปกติ)	2.03×10^{-5}

ตาราง 9 (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	**หน่วย**	**ปริมาณ/ตร.ม.**	**ระยะทาง (Km)**	**ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)**	**ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)**	**พาหนะ**	**เที่ยวไป**	**เที่ยวกลับ**		
3.ผนังฉาบปูนเรียบ										
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	12.0500	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.284	0.026	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0302
ปูนขาว	kg	7.7000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.182	0.026	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1411	0.3131	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):85,82.รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0338
ทรายละเอียด	kg	63.6880	37.7 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	2.401	0.218	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.2546

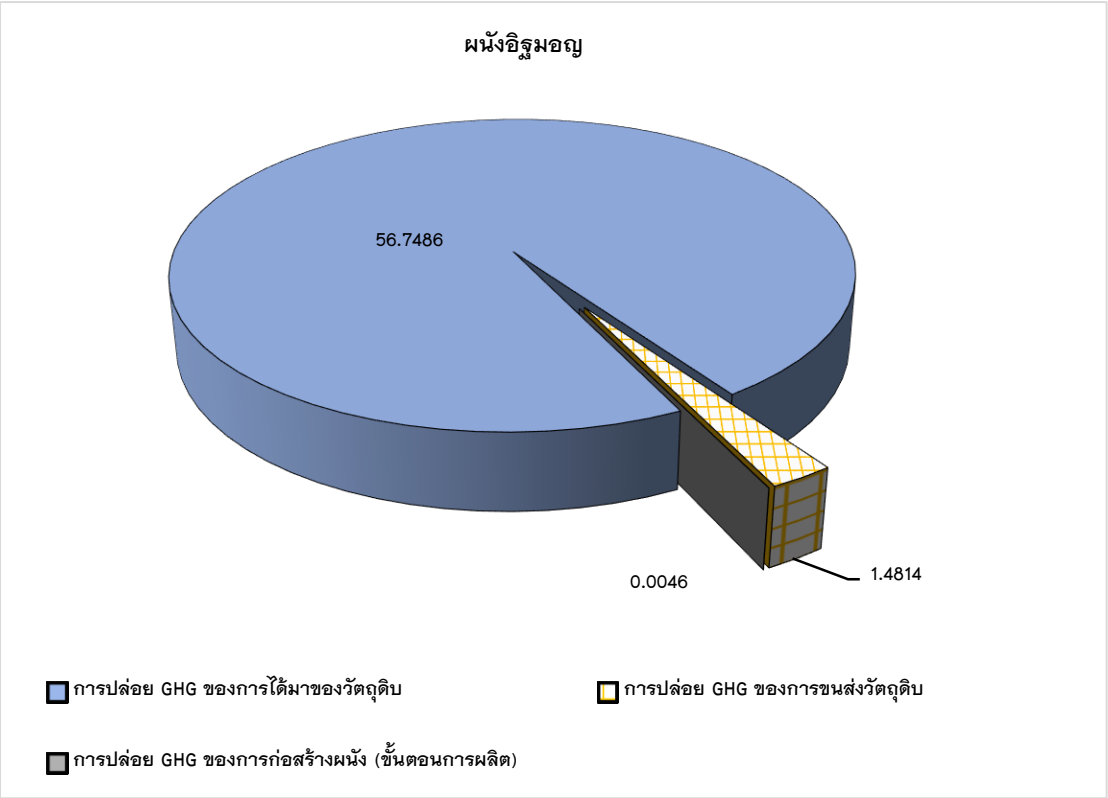
จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) พบว่าขั้นการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0046 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ขั้นตอนการทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.0028 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 61.98 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังอิฐมอญ) รองลงมาคือขั้นการฉาบปูนเรียบและฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมันมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0009 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากัน (คิดเป็นร้อยละ 18.59 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังอิฐมอญ) และขั้นการทำเสาเอ็นและคานทับหลัง มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.48×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 0.84 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังอิฐมอญ) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ของการก่อสร้างผนังอิฐมวลมอญ ขนาด 1 ตาราง

กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	($kgCO_2eq$/หน่วย)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq$)	
การผลิต						
1.การทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	10.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61. น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0028	61.98
2.เสาเอ็นและคานทับหลัง						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	0.1350	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61. น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	3.84×10^{-5}	0.84
3.ผนังฉาบปูนเรียบ						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	3.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61. น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0009	18.59

ตาราง 10 (ต่อ)

กิจกรรม รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ค่า EF ($kgCO_2eq$/หน่วย)	แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)	สัดส่วน (%)
4. ผนังฉาบปูนซีเมนต์ขัดมัน						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	3.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61. น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0009	18.59
			รวม		**0.0046**	**100.00**



ภาพ 24 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ขนาด 1 ตารางเมตร

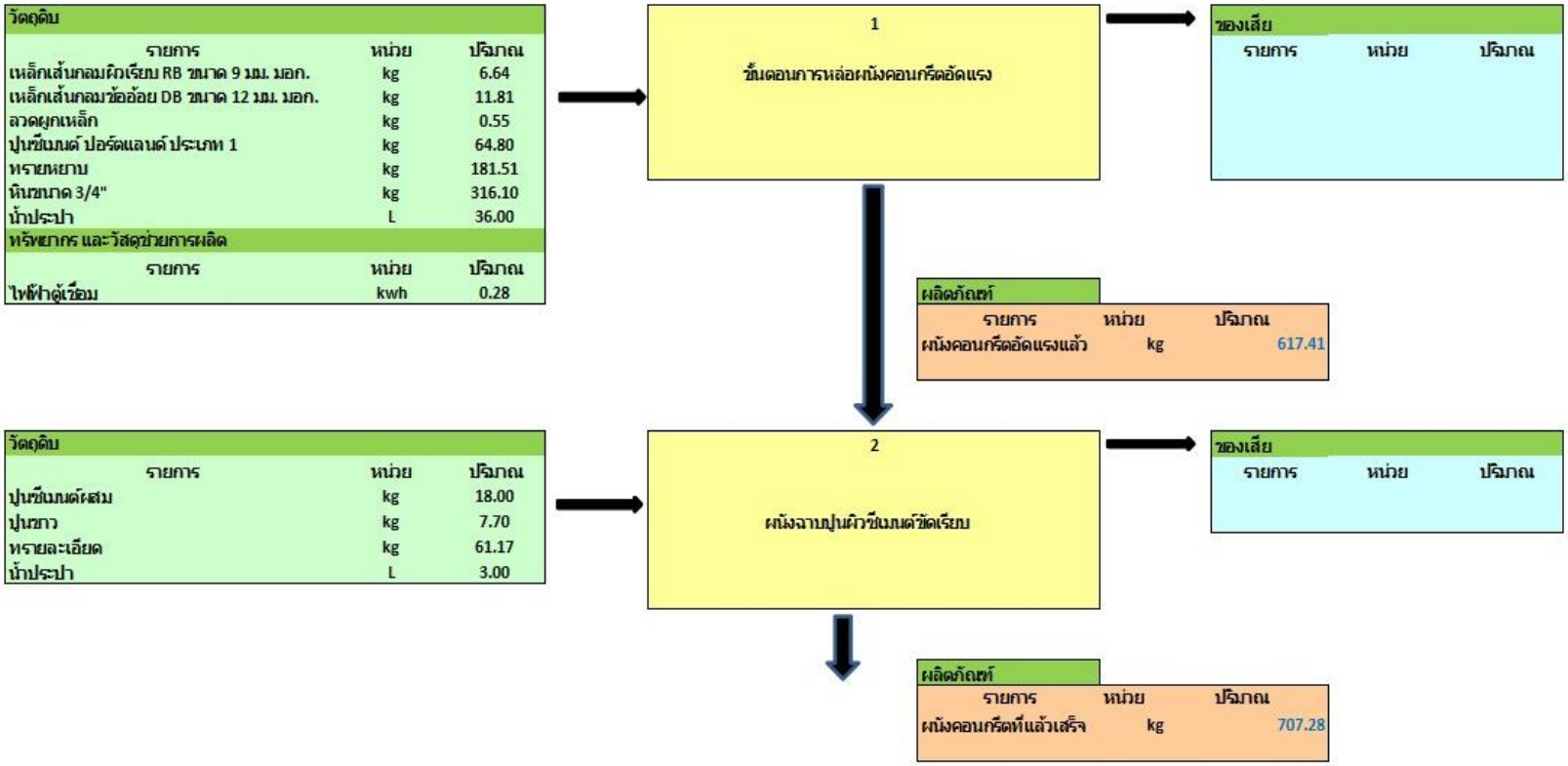
จากภาพ 24 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และ การก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของผนังอิฐมอญพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 56.7486 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 1.4814 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) มีค่าเท่ากับ 0.0046 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนังคอนกรีต

1. ปริมาณวัสดุในการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

จากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร ดังแสดงภาพ 25 ทำการประเมินแบบ B2B ประกอบไปด้วยการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) โดยใช้ข้อมูลแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) จากการก่อสร้างผนังคอนกรีต บ้านแฝด 130 ตารางเมตร (กรมโยธา, 2563) ดังแสดงในภาพ 26 โดยมีขั้นตอนการก่อสร้างแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ 1.ขั้นการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรง 2.ขั้นผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดเรียบ ซึ่งคอนกรีตสำเร็จรูปจะใช้วัสดุที่ผลิตโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติเป็นผนังอาคารต้น โดยในการประเมินครั้งนี้มีการใช้วัสดุของไม้แบบที่มาจากแหล่งเดียวกันแล้ว มีการใช้ในปริมาณที่เท่ากันของผนังทั้ง 3 ประเภท รวมทั้งสามารถนำไม้แบบไปใช้งานต่อในกระบวนการก่อสร้างได้อีก ทั้งนี้จึงไม่นำส่วนของไม้แบบมาทำการเมินแต่ในขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของผนังคอนกรีตจะแตกต่างกับผนังชนิดอื่นในส่วนของการใช้ไฟฟ้าสำหรับตู้เชื่อม และการขนส่งผนังคอนกรีตจากโรงหล่อผนังไปติดตั้งยังหน้างาน

ภาพ 25 ลักษณะผนังคอนกรีตที่ก่อสร้างจริงของงานวิจัยนี้



ภาพ 26 แผนภาพกระบวนการผลิตและปริมาณวัสดุ (BOQ) ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พบว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 148.6848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 59.4864 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 40.01 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังคอนกรีต) รองลงมาคือ หินขนาด 3/4” ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 28.6703 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 19.28 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังคอนกรีต) และเหล็กเส้นกลมข้ออ้อย DB ขนาด 12 มม. มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 25.2743 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 17.00 ของขั้นการได้มาวัตถุดิบการก่อสร้างผนังคอนกรีต) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนัง คอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ ตร.ม.	($kgCO_2eq$/หน่วย)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq$)	(%)
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ						
1.ขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรง						
เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ RB ขนาด 9 มม. มอก.	kg	6.6367	2.1400	TGO เหล็กข้ออ้อย	14.2025	9.55
เหล็กเส้นกลมข้ออ้อย DB ขนาด 12 มม. มอก.	kg	11.8104	2.1400	TGO เหล็กข้ออ้อย	25.2743	17.00
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.5530	2.3000	TGO ลวดเหล็กกล้า	1.2719	0.86
ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	kg	64.8000	0.9180	TGO ปูนงานโครงสร้าง สูตรไฮบริด	59.4864	40.01
ทรายหยาบ	kg	181.5108	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):703.ทราย	0.6716	0.45
หินขนาด 3/4"	kg	316.1000	0.0907	TGO หินปูนขนาด 3/4 นิ้ว	28.6703	19.28
2. ผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดเรียบ						
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.0000	0.6120	TGO ปูนซีเมนต์ผสม	11.0160	7.41
ปูนขาว	kg	7.7000	1.0215	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):601.Lime	7.8656	5.29
ทรายละเอียด	kg	61.1680	0.0037	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):703.ทราย	0.2263	0.15
รวม		**668.2789**			**148.6848**	**100.00**

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ พบว่าการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.6177 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยค่าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การขนส่งหินขนาด 3/4” มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.9588 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 59.27 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังคอนกรีต) รองลงมาคือ การขนส่งทรายหยาบมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.2618 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ16.18 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังคอนกรีต) และการขนส่งทรายละเอียดมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.2446 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 15.12 ของขั้นการขนส่งวัตถุดิบการก่อสร้างผนังคอนกรีต) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
1.ขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรง										
เหล็กเส้นกลม ผิวเรียบ RB ขนาด 9 มม. มอก.	kg	6.6367	8.3 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังโรงหล่อผนัง อ. เมืองลำปาง	0.055	0.005	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0058
เหล็กเส้นกลม ข้ออ้อย DB ขนาด 12 มม. มอก.	kg	11.8104	8.3 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังโรงหล่อผนัง อ. เมืองลำปาง	0.098	0.009	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0104
ลวดผูกเหล็ก	kg	0.5530	8.3 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังโรงหล่อผนัง อ. เมืองลำปาง	0.005	$4.17x10^{-4}$	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0005

ตาราง 12 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	kg	64.8000	8.3 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังโรงหล่อผนัง อ.เมืองลำปาง	0.538	0.0049	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0570
ทรายหยาบ	kg	181.5108	13.6 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังโรงหล่อผนัง อ.เมืองลำปาง	2.469	0.224	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.2618
หินขนาด 3/4"	kg	316.1000	28.6 จาก ต.ผาลาด อ.แม่เมาะ ไปยังโรงหล่อผนัง อ.เมืองลำปาง	9.040	0.822	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.9588

ตาราง 12 (ต่อ)

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
2. ผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดเรียบ										
ปูนซีเมนต์ผสม	kg	18.0000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.425	0.039	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0451
ปูนขาว	kg	7.7000	23.6 จาก อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	0.182	0.026	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1411	0.3131	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):82,85.รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ 7 ตัน (วิ่งปกติ)	0.0338
ทรายละเอียด	kg	61.1680	37.7 จาก ต.ทุ่งม่าน อ.เมืองลำปาง ไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	2.306	0.210	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0613	0.4923	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):117,114.รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน (วิ่งปกติ)	0.2446
					รวม					**1.6177**

จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) พบว่าขั้นการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1811 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการใช้ไฟฟ้าตู้เชื่อมในขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.1700 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 93.88 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ผนังคอนกรีต) รองลงมาคือ การใช้น้ำในขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0102 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (คิดเป็นร้อยละ 5.65 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังคอนกรีต) และการใช้น้ำในขั้นการฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดเรียบ มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0009 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเท่ากัน (คิดเป็นร้อยละ 0.47 ของการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ผนังคอนกรีต) ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 13

นอกจากนี้ในขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ยังมีการขนส่งผนังคอนกรีตที่อัดแรงแล้ว จากโรงหล่อผนังอำเภอเมืองลำปางมายังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง โดยมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.4347 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง14

ซึ่งทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) มีค่ารวมเท่ากับ 3.6158 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตาราง 13 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

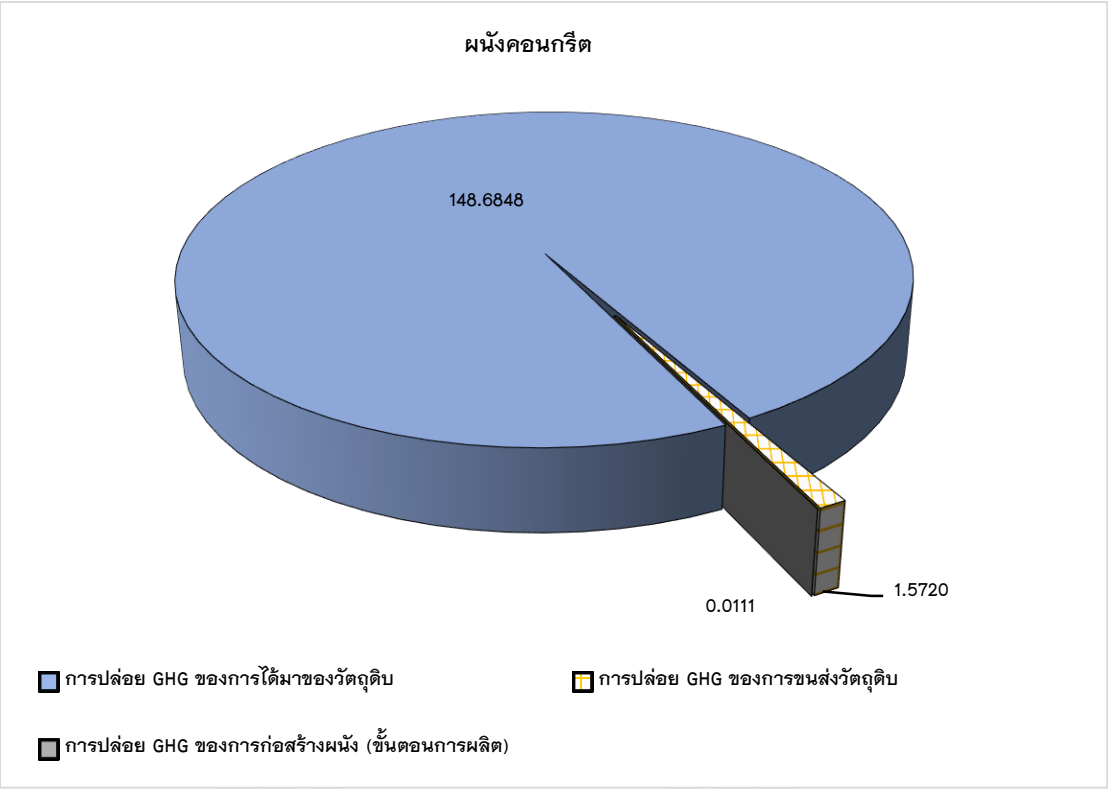
กิจกรรม			ค่า EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	($kgCO_2eq$/หน่วย)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq$)	
การผลิต						
1.ขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรง						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	36.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61. น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0102	5.65
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต						
ไฟฟ้าตู้เชื่อม	kWh	0.2840	0.5986	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):59.Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)	0.1700	93.88
2. ผนังฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดเรียบ						
วัตถุดิบ						
น้ำประปา	L	3.0000	0.0003	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):61. น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	0.0009	0.47
			รวม		**0.1811**	**100.00**

ตาราง 14 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่ง(ขั้นตอนการผลิต)ของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

กิจกรรม				แบบการใช้ระยะทาง			EF ($kgCO_2eq/tkm$)		แหล่งอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	ผลคูณ ($kgCO_2eq$)
รายการ	หน่วย	ปริมาณ/ตร.ม.	ระยะทาง (km)	ภาระบรรทุกเที่ยวไป (tkm)	ภาระบรรทุกเที่ยวกลับ (km)	พาหนะ	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ		
1.ขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรง										
ผนังคอนกรีตอัดแรงแล้ว	kg	617.41	29.1 จาก โรงหล่อผนัง อ.เมืองลำปางไปยังหน้างานศูนย์สร้างทางลำปาง	17.967	1.123	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	0.0533	0.5900	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):141., 138 รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน (วิ่งปกติ)	1.6201

ตาราง 14 (ต่อ)

กิจกรรม				EF	แหล่งอ้างอิง	ผลคูณ
รายการ	ชนิดเชื้อเพลิง	หน่วย	ปริมาณ	($kgCO_2eq/tkm$)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)	($kgCO_2eq$)
1.ขั้นตอนการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรง						
การได้มาของน้ำมันเชื้อเพลิงรถเครนยกผนังคอนกรีตอัดแรงแล้ว	ดีเซล	L	0.5981	0.2930	TGO CFP Emission Factor (มี.ค. 2564):55.Diesel (น้ำมันดีเซล / น้ำมันโซล่าร์)	0.1753
การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงรถเครนยกผนังคอนกรีตอัดแรงแล้ว	ดีเซล	L	0.5981	2.7406	TGO CFO Emission Factor (เม.ย. 2565):56.Diesel เคลื่อนที่ on road	1.6393
			รวม			**3.4347**

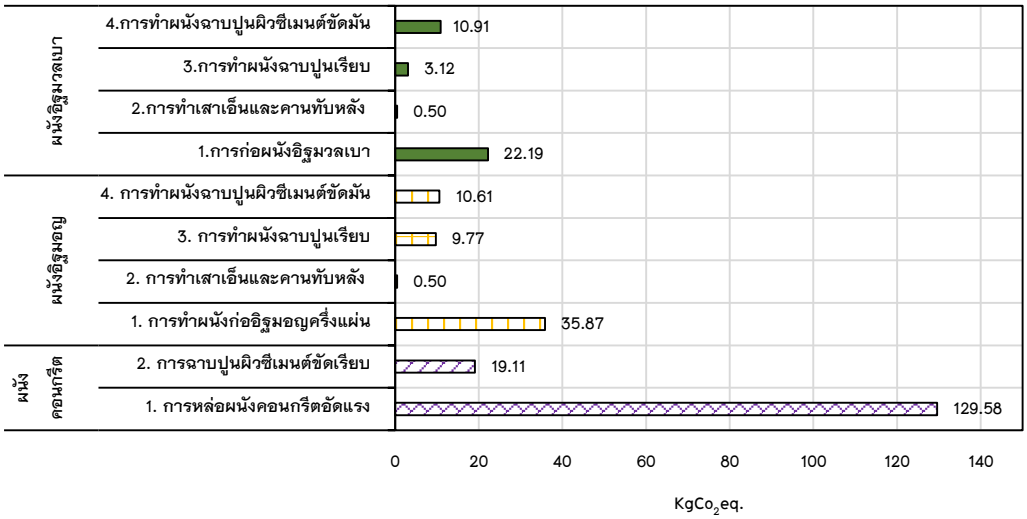


ภาพ 27 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ขนาด 1 ตารางเมตร

จากภาพ 27 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบและการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของผนังคอนกรีตพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 148.6848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) มีค่าเท่ากับ 3.6158 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (โดยมาจากการผลิต 0.1811 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการขนส่งการผลิต 3.4347กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 1.6177 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของของการก่อสร้างผนังอาคารขนาด 1 ตารางเมตร จากวัสดุทั้ง 3 ประเภท

1. เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอาคาร ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท



ภาพ 28 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอาคาร ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท

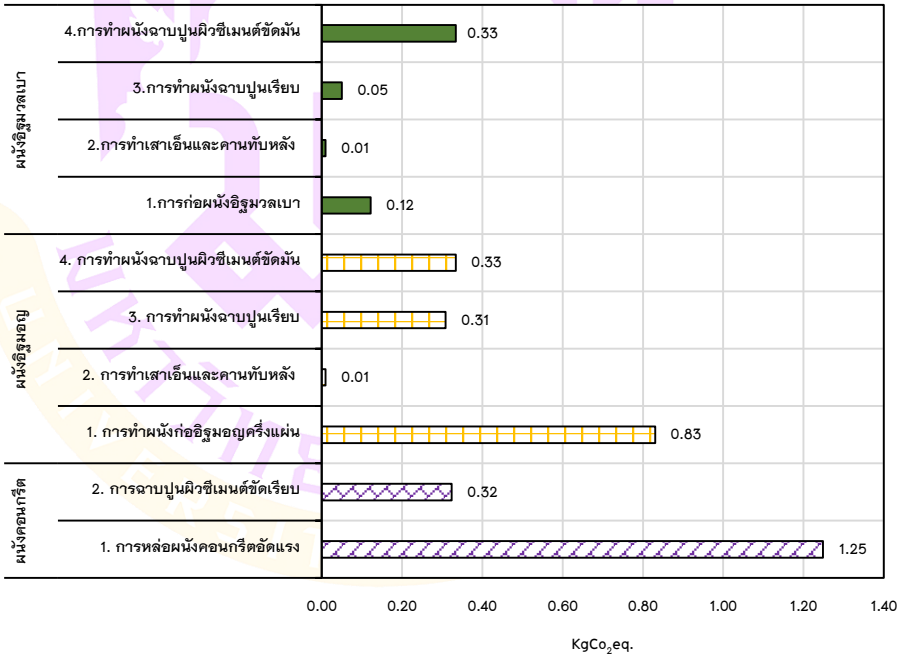
จากภาพ 28 แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างผนังคอนกรีตมีกระบวนการผลิต 2 ขั้นตอน โดยวัสดุที่ใช้ในการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 129.58 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการใช้ปูนซีเมนต์มากที่สุดถึง 59.4864 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 11 ซึ่งปูนซีเมนต์เป็นวัตถุดิบหลักของการก่อสร้างผนังคอนกรีต

การก่อสร้างผนังอิฐมอญมีกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอน โดยวัสดุที่ใช้ในการทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 35.87 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการใช้อิฐมอญแดงมากที่สุดถึง 31.8648 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 8 ซึ่งอิฐมอญแดงเป็นวัตถุดิบหลักของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ

การก่อสร้างผนังอิฐมวลเบามีกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอน โดยวัสดุที่ใช้ในการก่อผนังอิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 22.19 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการใช้อิฐมวลเบามากที่สุดถึง 21.5505 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 5 ซึ่งอิฐมวลเบาเป็นวัตถุดิบหลักของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา

จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบหลักของแต่ละผนัง (ปูนซีเมนต์ของผนังคอนกรีต อิฐมอญแดงของผนังอิฐมอญ และอิฐมวลเบาของผนังอิฐมวลเบา) ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของการก่อสร้างผนังอาคาร ทั้ง 3 ประเภท ที่แตกต่างกันคือการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างอาคารของแต่ละประเภท จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้วัตถุดิบหลักที่เป็นอิฐมวลเบา มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าอิฐมอญ และปูนซีเมนต์ของผนังคอนกรีต

2. เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอาคาร ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท



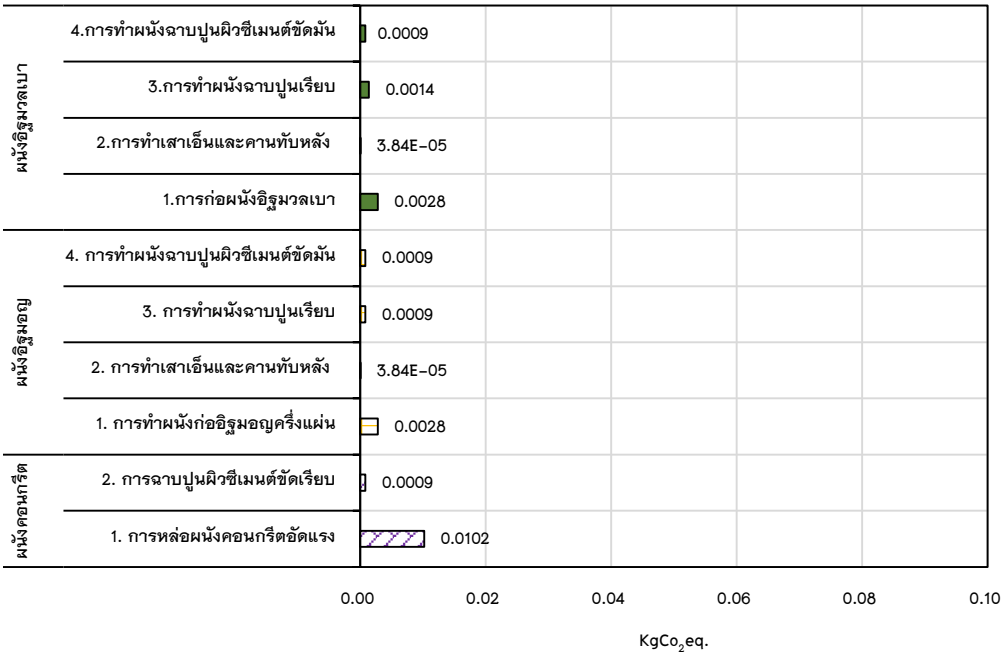
ภาพ 29 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอาคาร ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท

จากภาพ 29 แสดงให้เห็นว่าการขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังคอนกรีต ในขั้นการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.29 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการขนส่งหินขนาด 3/4” มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.9588 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 12

การขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมอญ ในขั้นการทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.83 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการขนส่งอิฐมอญแดงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.6202 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 9

การขนส่งวัตถุดิบของการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา ในขั้นการฉาบปูนผิวซีเมนต์ขัดมันมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.33 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการขนส่งทรายละเอียดมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.2546 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 6

3. เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) ผนังอาคาร ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท



ภาพ 30 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) ผนังอาคาร ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท

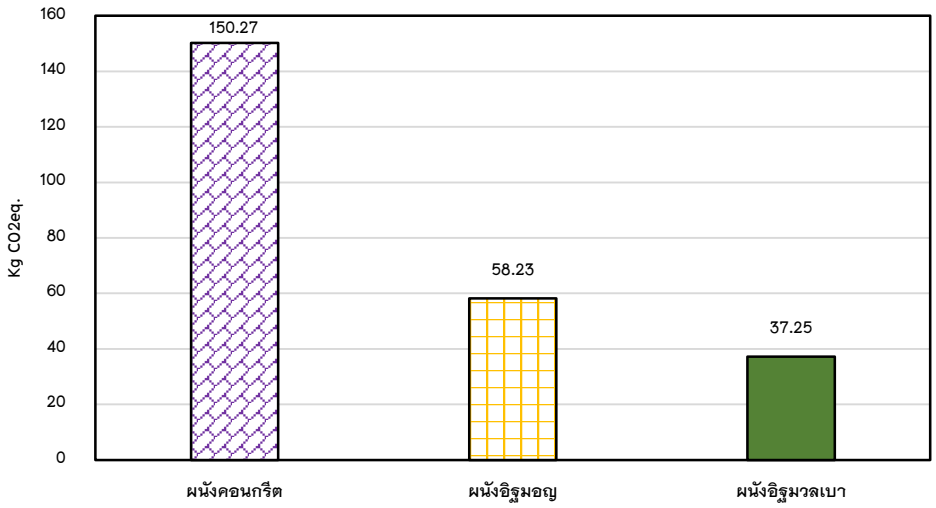
จากภาพ 30 แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต)ของผนังคอนกรีต ในขั้นการขนส่งการผลิต ของการหล่อผนังคอนกรีตอัดแรงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.4347 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 14

การก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของผนังอิฐมอญ ในขั้นการทำผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.0028 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 10

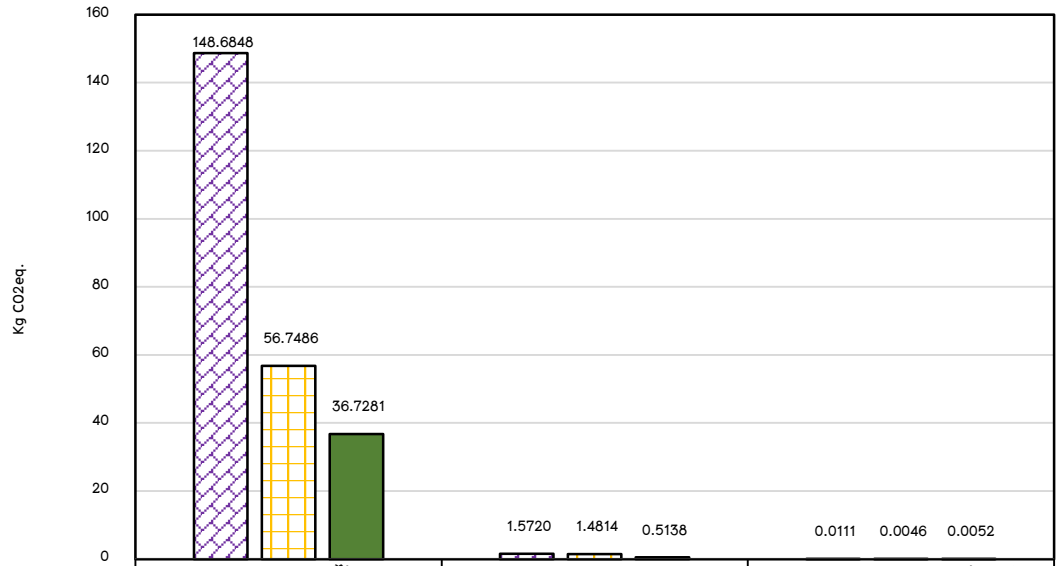
การก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของผนังอิฐมวลเบา ในขั้นการก่อผนังอิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.0028 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตาราง 7

4. เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมของการก่อสร้างผนังขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท

จากการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนัง จากวัสดุก่อสร้างทางเลือกทั้ง 3 ประเภท ขนาด 1 ตารางเมตร พบว่า การก่อสร้างผนังคอนกรีต มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดเท่ากับ 153.92 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือการก่อสร้างผนังอิฐมอญ มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 58.23 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 37.25 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 31



ภาพ 31 เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมของการก่อสร้างผนังขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท



	การปล่อย GHG ของการได้มาของวัตถุดิบ	การปล่อย GHG ของการขนส่งวัตถุดิบ	การปล่อย GHG ของการก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต)
ผนังคอนกรีต	148.6848	1.5720	0.0111
ผนังอิฐมอญ	56.7486	1.4814	0.0046
ผนังอิฐมวลเบา	36.7281	0.5138	0.0052

ภาพ 32 เปรียบเทียบปริมาณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นของแต่ละขั้นตอนในการก่อสร้างผนังต่อ 1 ตารางเมตร ของวัสดุก่อสร้างทางเลือกทั้ง 3 ประเภท

จากการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างผนังจากวัสดุก่อสร้างทางเลือกทั้ง 3 ประเภท พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างผนังตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ของวัสดุก่อสร้างทางเลือกทั้ง 3 ประเภท มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ซึ่งผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบา มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองลงมาคือ การขนส่งวัตถุดิบ และการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) ตามลำดับ ไปในทางเดียวกันทั้ง 2 ประเภท แต่ในทางกลับกันผนังคอนกรีตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองลงมาคือ การก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) และการขนส่งวัตถุดิบ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 32

จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังจากวัสดุก่อสร้างทางเลือกทั้ง 3 ประเภท มากกว่าร้อยละ 98 มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการก่อสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สิริรักษ์ เจียราการ และพัฒนะ รักความสุข, 2544) ที่ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการผลิตวัสดุก่อสร้างและในช่วง

กระบวนการก่อสร้างของบ้านเอื้ออาทร พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 98 มาจากวัสดุประกอบอาคาร และอีกร้อยละ 2 มาจากกระบวนการก่อสร้าง

ทั้งนี้งานวิจัยนี้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างผนังคอนกรีตเท่ากับ 153.92 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตร ซึ่งงานวิจัย (ชลิตา สุวรรณ และธณัฏฐ์ยศ สมใจ, 2563) ที่ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัยระหว่างแบบบ้านทั่วไปกับบ้านบล็อกประสาน พบว่า แบบบ้านทั่วไปที่ใช้คอนกรีต มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของงานผนังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 102.66 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ ค่าที่แตกต่างเกิดจากการเลือกใช้ EF ที่ต่างกัน

การคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างผนังอาคารทั้ง 3 ประเภท พบว่า ผนังคอนกรีตมีค่าใช้จ่ายสูงที่สุด มีมูลค่าที่ต้องจ่ายเท่ากับ 899.82 บาทต่อตารางเมตร รองลงมาคือผนังอิฐมอญ มีมูลค่าที่ต้องจ่ายเท่ากับ 771.25 บาทต่อตารางเมตร และผนังอิฐมวลเบา มีมูลค่าที่ต้องจ่ายเท่ากับ 576.80 บาทต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง15

ตาราง 15 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ขนาด 1 ตารางเมตร ของผนังทั้ง 3 ประเภท

รายการ	อิฐมวลเบา	อิฐมอญ มอก.	ผนังคอนกรีต	หน่วย
ค่าอิฐ	216.00	343.75	–	บาท/ตร.ม
ค่าปูนก่อ	5.80	72.50	–	บาท/ตร.ม
ค่าคอนกรีต	–	–	270.00	บาท/ตร.ม
ค่าเหล็กเสริมคอนกรีต	–	–	259.82	บาท/ตร.ม
ค่าปูนฉาบ 2 ด้าน	110.00	110.00	110.00	บาท/ตร.ม
ค่าแรงก่อ	90.00	90.00	150.00	บาท/ตร.ม
ค่าแรงฉาบ	100.00	100.00	80.00	บาท/ตร.ม
ค่าเสาเอ็นทับหลัง	25.00	25.00	–	บาท/ตร.ม
ค่าไม้แบบ	30.00	30.00	30.00	บาท/ตร.ม
รวม	576.80	771.25	899.82	บาท/ตร.ม

จากตาราง 15 แสดงให้เห็นถึงมูลค่าที่ต้องจ่ายของการก่อสร้างผนังแต่ละประเภท สำหรับการนำไปประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) จากการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจพบว่า การก่อสร้างผนังอิฐมวลเบามีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจดีที่สุด เท่ากับ 0.065 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อบาท รองลงมาคือการก่อสร้างผนังอิฐมอญและการก่อสร้างผนังคอนกรีตเท่ากับ 0.076และ 0.171 ตามลำดับ ดังแสดงตาราง 16

ตาราง 16 เปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ขนาด 1 ตารางเมตร ของผนังทั้ง 3 ประเภท

ชนิดผนัง	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท/m^2)	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($KgCO_2eq/m^2$)	Eco-Efficiency (บาท/ $KgCO_2eq$)
อิฐมวลเบา	576.80	37.25	0.065
อิฐมอญ	771.25	58.23	0.076
ผนังคอนกรีต	899.82	153.92	0.171

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแนะนำให้ใช้วัสดุทางเลือกที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดในการก่อสร้างผนังอาคาร คือ ผนังอิฐมวลเบา ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 37.25 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตร และมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจดีที่สุด เท่ากับ 0.065 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อบาท หากจะพิจารณาเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้นงานวิจัยนี้แนะนำให้เลือกใช้วัสดุอิฐมวลเบาก่อนเป็นอันดับแรก รองลงมาคืออิฐมอญ และคอนกรีต ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย และทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวิธีการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย ขนาด 1 ตารางเมตร รวมถึงเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างวัสดุก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบเดิมและแบบแนวทางเลือกใหม่ เพื่อนำไปสู่แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีขอบเขตการประเมินผนังอาคารบ้านพักอาศัยที่ใช้วัสดุก่อสร้างอาคารจำนวน 3 แบบ ได้แก่ คอนกรีตสำเร็จรูป ที่ผลิตโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติเป็นวัสดุผนังอาคารต้นแบบ, วัสดุทางเลือก ได้แก่ อิฐมวลเบา ที่ผลิตด้วยวิธี Cellular lightweight concrete (CLC) และอิฐมอญ ที่ผลิตด้วยระบบแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรเป็นหลัก ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผนังอาคารบ้านพักอาศัย (Carbon Footprint of Product: CFP): ประเมินแบบ Business to Business (B2B) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการศึกษา ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนก่อสร้างผนัง (ขั้นตอนการผลิต) ของผนัง 1 ตารางเมตร

สรุปผลการวิจัย

1. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัยและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวิธีการก่อสร้างผนังอาคารบ้านพักอาศัย ขนาด 1 ตารางเมตร ทั้ง 3 ประเภท ได้ดังนี้

1.1 การก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 58.23 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบา มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 37.25 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 36.7281 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 0.5138 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) มีค่าเท่ากับ 0.0052 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

1.2 การก่อสร้างผนังอิฐมอญ มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 58.23 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 56.7486 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 1.4814 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) มีค่าเท่ากับ 0.0046 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

1.3 การก่อสร้างผนังคอนกรีตมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 153.92 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 148.6848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างผนัง(ขั้นตอนการผลิต) มีค่าเท่ากับ 3.6158 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (โดยมาจากการผลิต 0.1811 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และการขนส่งการผลิต 3.4347 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 1.6177 ตามลำดับ

2. การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) จากการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจได้ดังนี้

2.1 การก่อสร้างผนังอิฐมวลเบามีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเท่ากับ 0.065 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อบาท

2.2 การก่อสร้างผนังอิฐมอญมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเท่ากับ 0.076 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อบาท

2.3 การก่อสร้างผนังคอนกรีตมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเท่ากับ 0.171 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อบาท

ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

งานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้วัสดุก่อสร้างผนังเป็นอิฐมวลเบา เนื่องจากมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด และมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากที่สุด อีกทั้งการก่อสร้างผนังอิญมวลเบาขนาด 1 ตารางเมตร ใช้อิฐมวลเบาเป็นวัสดุในการก่อสร้างผนังเพียง 12 ก้อน ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาการก่อสร้างที่น้อยที่สุด ลำดับถัดมาคือการใช้วัสดุก่อสร้างผนังเป็นอิฐมอญ เนื่องจากมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจรองลงมาจากอิฐมวลเบา แต่การก่อสร้างผนังอิญมอญขนาด 1 ตารางเมตร ใช้อิฐมอญเป็นวัสดุในการก่อสร้างผนัง 70 ก้อน ส่งผลให้ใช้ระยะเวลามากการก่อสร้างมากกว่าผนังอิฐมวลเบา และ

ลำดับสุดท้ายที่ไม่แนะนำคือ การใช้วัสดุก่อสร้างผนังเป็นคอนกรีต เนื่องจากมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากที่สุด จากวัสดุทั้ง 3 ประเภท รวมทั้งการก่อสร้างผนังคอนกรีตจะต้องหล่อให้เป็นขนาดใหญ่ก่อนจะนำไปติดตั้ง ส่งผลให้ใช้ระยะเวลานานที่สุดเนื่องจากจำเป็นต้องขึ้นรูปเป็นแผ่นใหญ่

บรรณานุกรม

Climate Change. (2007). **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assess-ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**.

Dario, R. G., John, D. W., Branca, B. A., Chai, H., Gregg, M., Emmanuel, M., and Karen. (2007). **Chapter 2 Stationary combustion,** 2006 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** (**Vol.2 Energy**). from http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public /2006gl/vol2.html.

IPCC. (2006). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. B. L. Eggleston H.S: Japan: IGES.

IPCC. (2007). **Climate Change 2007 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assess-ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Retrieved from IPCC, Geneva, Switzerland:

Mah, D., Manrique, J. D., Yu, H., Al-Hussein, M., and Nasseri, R,. (2011). **House construction CO_2 footprint quantification: a BIM approach**. Construction Innovation, 11(2), 18.

Monahan, J. a. P., J. C,. (2011). **An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework**. Energy and Buildings, 55(1), 179-188.

Thanawong, K., Perret, S.R., and Basset-Mens, C,. (2014). **Eco-efficiency of paddy rice production in Northeastern Thailand: a comparison of rain-fed and irrigated cropping systems**. Cleaner Production, 1-14.

UNEP. (2009). **Seizing the green opportunity** (pp. 94): United Nations Environment Programme.

United Nations. (1998). **Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change**. Retrieved Feb 12 2018

Wahidul K. Biswas. (2014). **Carbon footprint and embodied energy Consumption assessment of building Construction works in Western Australia**. International Journal of Sustainable Built Environment, 179–186.

เกศิณี เรือนคำ และปุ่น เทียงบูรณธรรม. (2558). **การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับกิจกรรมการก่อสร้างงานอาคาร.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่**,** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 8–10 กรกฎาคม 2558. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

กมลทิพย์ อรัญศิริ. (2553). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัย**การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้าง.** เทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

ชลิตา สุวรรณ และธณัฏฐ์ยศ สมใจ. (2563). **การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัย: เปรียบเทียบระหว่างบ้านแบบทั่วไปกับบ้านบล็อกประสาน.** วิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 30, 570–577.

ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์. (2556). **จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน.** คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทิร์น,

นลินี อเนกแสน. (2554). **การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทย.** คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.,

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม. (2553). **การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ประณีต กุลประสูติ. (2535). **เทคนิคงานปูน–คอนกรีต** (พิมพ์ครั้งที่). กรุงเทพฯ: เอกสารวิชาการ บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด.

พงศ์เทพ สุวรรณวารี. (2557). **วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา: จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**,** นครราชสีมา.

พิภพ สุนทรสมัย. (2546). **วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง** (พิมพ์ครั้งที่). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย–ญี่ปุ่น).

สมฤทัย ชรรณษานนท์, อภิญญา ภาณุภัทร, อารี ธนบุญสมบัติ และบัญชา ธนบุญสมบัติ. (2551). **เทคโนโลยีและมาตรการเพื่อควบคุมปริมาณก๊าซเรือนกระจกแบบครบวงจร.** สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562,

สิริรักษ์ เจียราการ และพัฒนะ รักความสุข. (2544). **ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสร้างบ้านพักอาศัยของผู้มีรายได้น้อยในประเทศไทย** (พิมพ์ครั้งที่). กรุงเทพฯ: คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. (2554). **แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.** สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562, จาก http://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/post/

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2558). **ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม.** สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562, จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, นันทมล ลิมป์พิทักษ์พงศ์, วิไลลักษณ์ นิยมมณีรัตน์, อทิตินนท์ ภูพาดทอง และพารณ มั่นใจอางค์. (2562). **คู่มือคาร์บอนต่ำ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2556). **คู่มือการออกแบบบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำ** (พิมพ์ครั้งที่). กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนัง (Product Category Rules for Building Material Product: Wall and Floor)

ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนัง (Product Category Rules for Building Material Product: Wall and Floor)

ข้อกำหนดเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Product Category Rules: PCRs) นี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อกำหนดการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กลุ่มวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนัง (Wall and Floor) ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันและเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการตลอดจนผู้ที่สนใจสามารถนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปประยุกต์ใช้ต่อไป

1. ขอบเขตของเอกสาร

ข้อกำหนดเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์นี้จัดทำขึ้นภายใต้ระบบการขอการรับรองเครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ดำเนินการโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ข้อกำหนดเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์นี้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนัง ซึ่งหมายถึง วัสดุปูพื้นและบุผนังที่ทำจากของแข็งทั้งที่มาจากธรรมชาติ และวัสดุปูพื้นที่ต้องผ่านกระบวนทางอุตสาหกรรม

2. รายละเอียดผลิตภัณฑ์

การนิยามผลิตภัณฑ์ให้ระบุชื่อผลิตภัณฑ์ ระบุชนิดวัตถุดิบชื่อทางการค้า ชื่อแบรนด์ (เพื่อแยกแยะความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เดียวกันจากผู้ผลิตคนละแห่ง) น้ำหนักต่อพื้นที่ ตลอดจนข้อมูลทางเทคนิคอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (ตามมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับของผลิตภัณฑ์)

3. เอกสารอ้างอิง

3.1 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2561. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์

3.2 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2561. Emission Factor. จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc

3.3 สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2533. กฎการปัดเศษ. มอก. 929-2533.

3.4 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2553. หลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการใช้เครื่องหมายรับรองคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ .

3.5 ข้อกำหนดฉลากเขียว TGL-61-11 ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อผนัง (Bricks and blocks)

3.6 ข้อกำหนดฉลากเขียว TGL-58-11 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิคปูพื้น/บุผนัง (Ceramic floor/wall tiles)

4. บทนิยาม

4.1 วัสดุปูพื้น

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการลาดพื้น ด้วยวัสดุชนิดใด ชนิดหนึ่ง

4.2 วัสดุบุผนัง

วัสดุที่ใช้ในการบุขัน หุ้ม หรือรองด้านในของผนัง

5. ขอบเขตการประเมิน

5.1 หน่วยผลิตภัณฑ์

กำหนดเป็น 1 หน่วยพื้นที่ เช่น กระเบื้องเซรามิคบุผนัง ขนาด 8x12 นิ้ว 1 ตารางเมตร

5.2 ขั้นตอนโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ให้กำหนดตามขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนังสามารถพิจารณาได้ทั้งแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับองค์กรธุรกิจ (Business-to-Business, B2B) และระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business-to-Consumer, B2C) หากขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เป็นแบบ B2B ขั้นตอนโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต้องครอบคลุมขั้นตอนที่ 5.2.1 และ 5.2.2 และหากขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เป็นแบบ B2C ขั้นตอนโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต้องครอบคลุมขั้นตอนที่ 5.2.1 ถึง 5.2.5 ดังนี้

5.2.1 การได้มาของวัตถุดิบ

พิจารณาการได้มาของวัตถุดิบและสารเคมีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งวัตถุดิบทางตรงและวัตถุดิบทางอ้อม ทั้งวัตถุดิบที่ป้อนเข้ากระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสารตั้งต้นเพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตหลักและวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยตรงโดยพิจารณาตั้งแต่การสกัดทรัพยากรจากธรรมชาติ การแปรรูปทรัพยากรจนได้เป็นวัตถุดิบ ตลอดจนก๊าซเรือนกระจกการขนส่งวัตถุดิบจากผู้ผลิตวัตถุดิบมายังผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งการขนส่งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ และทางท่อ

5.2.2 การผลิต

พิจารณากระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ตั้งแต่การรับ-จัดเก็บ-จ่ายวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การบรรจุผลิตภัณฑ์ การรับ-จัดเก็บ-จ่ายสินค้า รวมถึงระบบสนับสนุนการผลิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นการผลิตไฟฟ้า การผลิตไอน้ำ การปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้ การบำบัดน้ำเสีย การผลิตแก๊ส การทำความเย็นการซ่อมบำรุง การทำความสะอาด การขนย้าย/ขนส่งภายในโรงงาน การจัดการของเสียจาก กระบวนการผลิตเป็นต้น

5.2.3 การกระจายสินค้าและจำหน่าย

พิจารณาการขนส่งผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า จุดกระจายสินค้าหลักหรือตัวแทนจำหน่ายขนาดใหญ่รวมถึงการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างรอจำหน่าย

5.2.4 การใช้งาน

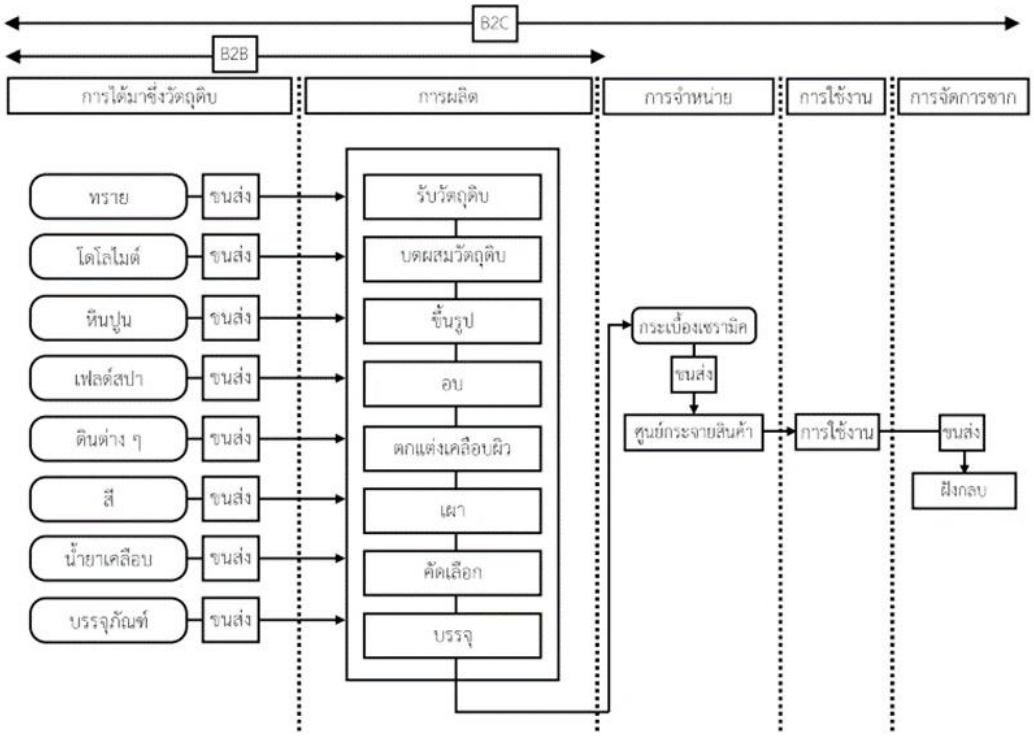
สมมติฐานการใช้งานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตครอบคลุมข้อมูลการติดตั้ง การใช้งาน และการดูแลรักษาระหว่างการใช้งาน พิจารณาวัสดุและพลังงานที่ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ในการใช้งาน และวัสดุและพลังงานสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

5.2.5 การจัดการซาก

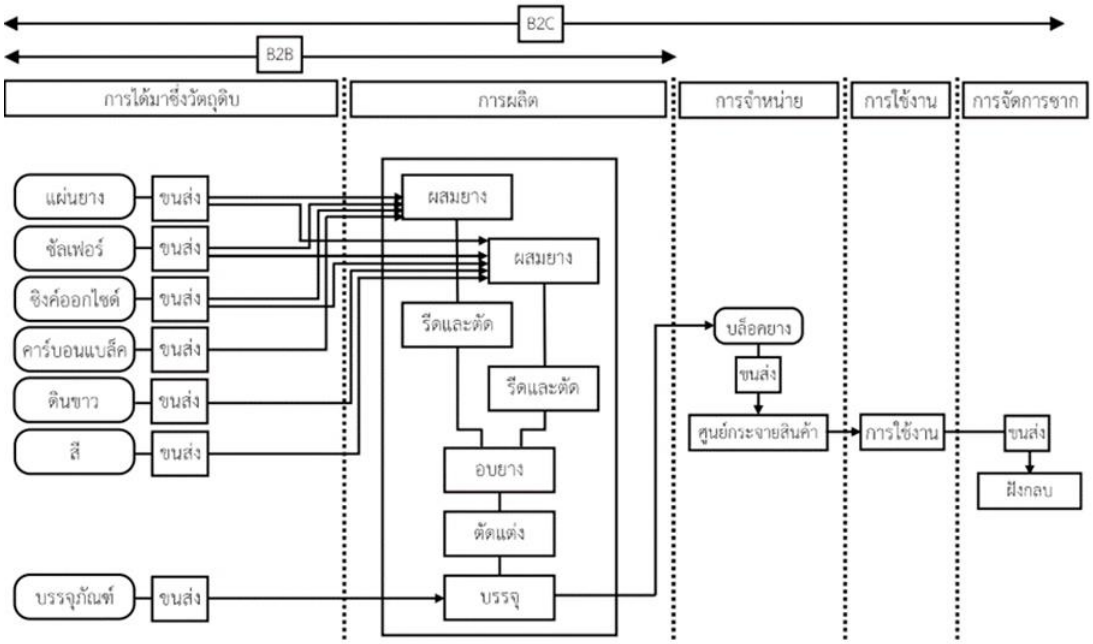
พิจารณาการบำบัดและกำจัดบรรจุภัณฑ์และของเสียที่เหลือภายหลังการใช้งานอื่น ๆ รวมถึงการขนส่งของเศษซากและของเสียไปยังแหล่งรับบำบัดและกำจัด โดยของเสียที่สามารถติดตามและเก็บรวบรวมข้อมูลได้ว่ามีการนำกลับมาใช้ใหม่ จะไม่ถูกนำมาพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนนี้

5.1 แผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

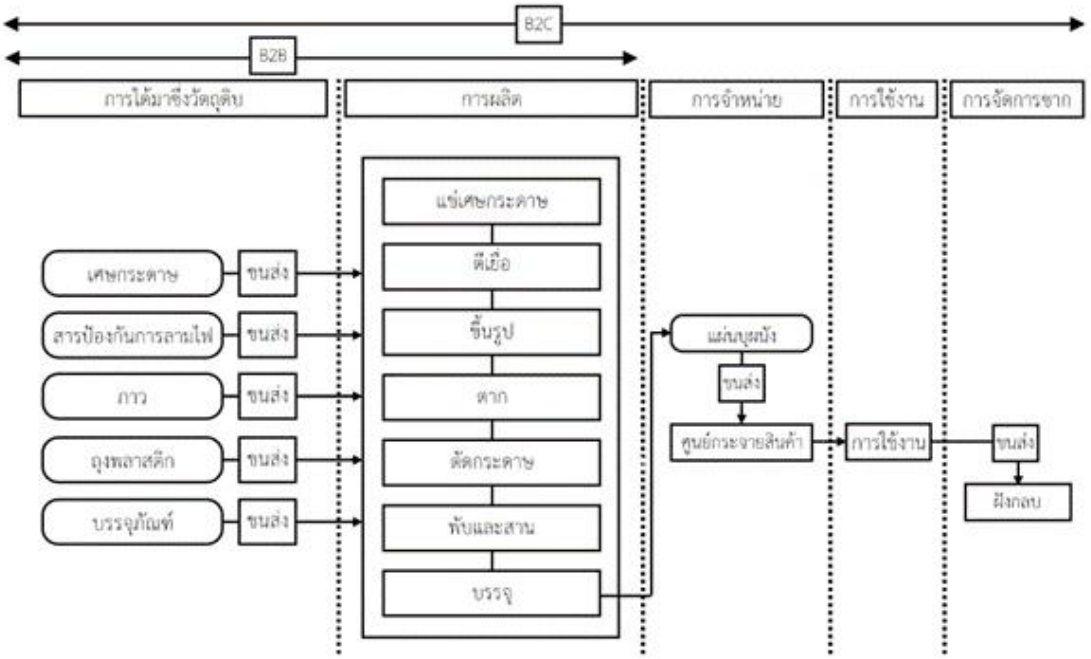
ให้จัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ภาพ 33 – ภาพ 35 แสดงตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้นและบุผนังภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับองค์กรธุรกิจ (Business-to-Business: B2B) และแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business-to-Consumer: B2C)



ภาพ 33 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระเบื้องเซรามิคภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับองค์กรธุรกิจ (Business–to–Business: B2B) และแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business–to–Consumer: B2C)



ภาพ 34 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business–to–Consumer: B2C)



ภาพ 35 ตัวอย่างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แผ่นบุผนังจากกระดาษรีไซเคิล ภายใต้ขอบเขตการประเมินแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับองค์กรธุรกิจ (Business-to-Business: B2B) และแบบระหว่างองค์กรธุรกิจกับผู้บริโภค (Business-to-Consumer: B2C)

6. การเก็บข้อมูลแต่ละขั้นตอนโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

6.1 ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

6.1.1 ขอบเขตการจัดเก็บข้อมูล

พิจารณาการได้มาของวัตถุดิบและสารเคมีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งวัตถุดิบทางตรงและวัตถุดิบทางอ้อม ทั้งวัตถุดิบที่ป้อนเข้ากระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสารตั้งต้นเพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตหลักและวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยตรงโดยพิจารณาตั้งแต่การสกัดทรัพยากรจากธรรมชาติ การแปรรูปทรัพยากรจนได้เป็นวัตถุดิบ ตลอดจนก๊าซเรือนกระจกการขนส่งวัตถุดิบจากผู้ผลิตวัตถุดิบมายังผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งการขนส่งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ และทางท่อ

6.1.2 รายการข้อมูลที่ต้องรวบรวม

- ข้อมูลกิจกรรมการผลิต ได้แก่ ปริมาณสารขาเข้าและสารขาออก
- ข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Factor: EF) ได้แก่ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตวัตถุดิบ

6.1.3 รายการข้อมูลที่ต้องเป็นข้อมูลปฐมภูมิ

– ปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากกิจกรรมการผลิตโดยตรงของบริษัท รวมทั้งกิจกรรมการผลิตที่บริษัทผู้ผลิตสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ จากกิจกรรมการผลิตดังต่อไปนี้

1) การทำเหมืองดิน

2) การสกัดหิน

3) การผลิตสีเคลือบและสารเคมี

4) การจัดการของเสียและควบคุมมลพิษ

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการคำนวณข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตวัตถุดิบโดยตรงของบริษัท (เช่น พลังงานน้ำอ่อน เป็นต้น) รวมทั้งกิจกรรมการผลิตวัตถุดิบที่บริษัทผู้ผลิตสามารถเข้าถึงข้อมูลได้

6.1.4 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลปฐมภูมิ

– ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตและระบบสนับสนุนทั้งหมดให้ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บต่อเนื่อง 12 เดือนเป็นอย่างน้อย กรณีที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่อง 12 เดือนได้ ต้องระบุเหตุผลวิธีการขอบเขต และเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลให้ชัดเจนรวมถึงอธิบายรายละเอียดในการเป็นตัวแทนของข้อมูลได้

– การเก็บข้อมูลสามารถทำได้ 2 วิธีคือ (1) การเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับแต่ละหน่วยการผลิต เช่น ชั่วโมงในการปฏิบัติงาน พื้นที่ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (2) การเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกรวมของทุกหน่วยการผลิตของบริษัทตลอดระยะเวลาที่กำหนดและใช้วิธีการปันส่วนที่เหมาะสมเพื่อแบ่งสัดส่วนของสารขาเข้าและสารขาออกโดยต้องเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์

– กรณีที่มีการผลิตวัตถุดิบ หรือสารเคมีใช้เองในกระบวนการผลิต หรือจากบริษัทในเครือ ต้องมีการจัดเก็บปริมาณวัตถุดิบ และพลังงานที่ใช้ผลิตวัตถุดิบหรือสารเคมีนั้น ๆ และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตวัตถุดิบหรือสารเคมีนั้น ๆ จากวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้โดยพิจารณาครอบคลุมกระบวนการต้นน้ำทั้งหมดด้วย

– กรณีที่ต้องใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ผลิตวัตถุดิบโดยที่วัตถุดิบนั้น ๆ มีผู้ผลิตมากกว่า 1 ราย ให้ใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ผลิตทุกรายและนำมาหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วง

น้ำหนักตามสัดส่วนของวัตถุดิบที่สั่งซื้อ หรือ ให้เก็บข้อมูลครอบคลุมจำนวนผู้ผลิตที่สามารถใช้เป็นตัวแทนได้ตามหลักสถิติ หรือให้เก็บข้อมูลจากผู้ผลิตที่มีการจัดส่งวัตถุดิบปริมาณมากที่สุด กรณีที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลทั้งหมดได้ ต้องระบุเหตุผล วิธีการ ขอบเขต และเงื่อนไขการเก็บข้อมูลให้ชัดเจน รวมถึงอธิบายรายละเอียดในการเป็นตัวแทนของข้อมูลได้

– การขนส่งวัตถุดิบสามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ (1) กรณีขนส่งวัตถุดิบภายในประเทศ ให้พิจารณาตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2) กรณีขนส่งวัตถุดิบจากต่างประเทศ ให้พิจารณาตั้งแต่ท่าเรือหรือสนามบินจากประเทศที่ส่งวัตถุดิบถึงท่าเรือหรือสนามบินในประเทศไทยรวมกับการขนส่งภายในประเทศจากท่าเรือถึงโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ (โดยให้พิจารณาทั้งการขนส่งทางรถ เรือ และรถไฟ) โดยในส่วนของการขนส่งภายในประเทศให้พิจารณาตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

6.1.5 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลทุติยภูมิ

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) โดยทั่วไป เช่น น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสียให้ยึดตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลที่เผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) อื่น ๆ ที่ไม่ปรากฏในฐานข้อมูลของ อบก. ให้ใช้ข้อมูลที่ปรากฏในภาคผนวก ก ของเอกสารนี้

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ที่ผู้ประเมินคำนวณเองโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นมาประกอบการคำนวณข้อมูลต้องนำมาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีที่มาจากแหล่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ในกรณีที่มีการใช้ฐานข้อมูลอื่น ๆ ควรมีการอ้างเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการใช้งานด้วย เช่น ความคล้ายคลึงของเทคโนโลยี ขณะเวลาที่ทำวิจัย

– หากไม่มีข้อมูลทุติยภูมิที่กำหนดให้แล้ว ให้เลือกข้อมูลที่มีขอบเขตในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือน กระจกจากการผลิตวัตถุดิบ พลังงานหรือทรัพยากรอื่น ๆ จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีความเป็นตัวแทนและมีความแม่นยำสูง หรือเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ ตามลำดับความสำคัญดังนี้

1) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
2) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer reviewed publications)

3) ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป เช่น LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ

4) ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

– หากมีข้อมูลหลายรายการที่สอดคล้องจากแหล่งข้อมูลที่อยู่ในลำดับเดียวกัน ให้เลือกใช้ค่าสูงที่สุด

– กรณีที่เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่สอดคล้องกับการผลิตจริงมากที่สุด

6.1.6 สถานการณ์สมมติ (Scenario setting)

1) การขนส่งวัตถุดิบ

หากทางโรงงานไม่มีข้อมูลเชื้อเพลิงสeหรับการขนส่งวัตถุดิบ หรือประเภทพาหนะที่ใช้ในการขนส่งระยะทางและอัตราบรรทุก ให้ใช้วิธีการประเมินด้วยหน่วยการขนส่งดังนี้

– ระยะทางขนส่ง คือ 700 กิโลเมตรต่อเที่ยว (ประมาณการกทม.–เชียงใหม่)

– พาหนะที่ใช้ คือ รถตู้บรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาด 32 ตัน วิ่งปกติ

– พิจารณาทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับโดยอัตราการขนส่งเที่ยวไปบรรทุกเต็มคัน (100% Loading) และเที่ยวกลับไม่มีการบรรทุก (0% Loading)

6.1.7 เงื่อนไขอื่น ๆ

1) ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล

กรณีที่ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากข้อมูลการผลิตประจeปีได้เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อทดสอบตลาด (ยังไม่ได้เริ่มผลิตจริง) ให้รวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากการทดลองผลิตและนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้คำนวณ (เป็นลักษณะ Trial) โดยอาจระบุไว้เป็นหมายเหตุว่าเป็นผลการคำนวณในช่วง R&D และหากผลิตภัณฑ์ทดลองตลาดดังกล่าวได้ถูกผลิตจำหน่ายในรูปสินค้าปกติก็ให้ผู้ทวนสอบไปตรวจสอบข้อมูล ณ แหล่งผลิตอีกครั้งโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสมัครขึ้นทะเบียนเพิ่มเติมกับ อบก.

<u>กรณีที่ 2</u> ผลิตภัณฑ์ใหม่ (มีการผลิตยังไม่ถึง 1 ปี) ให้รวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาที่ผลิตตามจริงหรือ

ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง พร้อมทั้งอธิบายรายละเอียดการเป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูล

2) การปันส่วน

– การปันส่วนวัตถุดิบและของเสียให้ปันส่วนตามสัดส่วนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์

– การปันส่วนพลังงานให้ปันส่วนตามสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ ในแต่ละผลิตภัณฑ์

– หากไม่สามารถทำได้ให้ระบุว่าใช้วิธีการปันส่วนแบบใด เช่น การปันส่วนตามมูลค่า เป็นต้น พร้อมระบุเหตุผลที่เหมาะสม

– ปันส่วนให้เฉพาะผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วมที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบเท่านั้น ไม่ปันส่วนให้ของเสียที่กำจัดโดยการขาย และหากของเสียที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์อื่นให้พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการของเสียนั้นด้วย

3) การตัดออก

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่มีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม สามารถพิจารณาตัดออกได้ แต่ต้องตัดออกไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม หากมีการตัดออก ให้เพิ่มสัดส่วน (Scale up) ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์

4) การสุ่มตัวอย่าง (กรณีที่มีการผลิตหลายแหล่ง)

ในกรณีที่มีผู้จัดหาวัตถุดิบมากกว่า 1 แห่งให้พิจารณาการรวบรวมข้อมูลของตัวแทน จำนวนตัวอย่างที่รวบรวมจะต้องครอบคลุมการผลิตอย่างน้อยร้อยละ 50 ของปริมาณวัตถุดิบที่เข้าสู่โรงงาน

5) กรณีที่ใช้วัสดุรีไซเคิลหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse)

กรณีที่มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตอื่น ๆ และ/หรือใช้เศษขยะของเสียจากกระบวนการผลิตภายในโรงงานเองเพื่อเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต จะถือว่าไม่มีก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการได้มา / ซึ่งวัตถุดิบนั้น หรือกล่าวคือ Emission Factor ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบนั้นมีค่าเป็น “ศูนย์” การประเมินก๊าซเรือนกระจกของได้มาซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวจะพิจารณา

จากการรวบรวม คัดแยก แปรรูป เตรียมวัตถุดิบก่อนการนำไปใช้ และขนส่งวัตถุดิบทดแทนดังกล่าวเท่านั้น

6.2 ขั้นตอนการผลิต

6.2.1 ขอบเขตการจัดเก็บข้อมูล

พิจารณากระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ตั้งแต่การรับ–จัดเก็บ–จ่ายวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การบรรจุผลิตภัณฑ์ การรับ–จัดเก็บ–จ่ายสินค้าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (เฉพาะผลิตภัณฑ์ใหม่)รวมถึงระบบสนับสนุนการผลิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นการผลิตไฟฟ้า การผลิตไอน้ำ การปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้ การบำบัดน้ำเสีย การผลิตแก๊ส การทำความเย็นการซ่อมบำรุง การทำความสะอาด การขนย้าย/ขนส่งภายในโรงงาน การจัดการของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นต้น

6.2.2 รายการข้อมูลที่ต้องรวบรวม

– ปริมาณพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ไฟฟ้า ไอน้ำ เชื้อเพลิง รวมถึงพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทน

– ปริมาณสาธารณูปโภค เช่น น้ำบาดาล น้ำประปา น้ำปราศจากแร่ธาตุ

– ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและนำออกจากกระบวนการผลิต เช่น น้ำเสีย เศษวัสดุจากการบรรจุหีบห่อ

– ปริมาณวัสดุสึกหรอ หรือวัสดุเพื่อการซ่อมบำรุง เช่น อะไหล่ น้ำมันเครื่อง น้ำมันหล่อลื่น

– ปริมาณวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ในระบบสนับสนุนการผลิตต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

– ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ที่รั่วไหล เช่น สารทำความเย็น

– ปริมาณเชื้อเพลิงในการขนส่งของเสียจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อปลาบด ไปยังผู้รับกำจัดและบำบัดของเสีย (ทั้งเที่ยวมาและกลับ) หรือประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง น้ำหนักบรรทุก สัดส่วนการบรรทุก ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ และระยะทางในการขนส่งของเสียจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไปยังผู้รับกำจัดและบำบัดของเสีย (ทั้งเที่ยวมาและกลับ)

– รายการและวิธีการบำบัดและกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ที่เกี่ยวข้อง

6.2.3 รายการข้อมูลที่ต้องเป็นข้อมูลปฐมภูมิ

– ปริมาณพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ไฟฟ้า ไอน้ำ เชื้อเพลิง รวมถึงพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทน

– ปริมาณสาธารณูปโภค เช่น น้ำบาดาล น้ำประปา น้ำปราศจากแร่ธาตุ

– ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและนำออกจากกระบวนการผลิต เช่น น้ำเสีย เศษวัสดุจากการบรรจุหีบห่อ

– ปริมาณวัสดุสึกหรอ หรือวัสดุเพื่อการซ่อมบำรุง เช่น อะไหล่ น้ำมันเครื่อง น้ำมันหล่อลื่น

– ปริมาณวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ในระบบสนับสนุนการผลิตต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

– ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ที่รั่วไหล เช่น สารทำความเย็น

– ปริมาณเชื้อเพลิงในการขนส่งของเสียจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อปลาบด ไปยังผู้รับกำจัดและบำบัดของเสีย (ทั้งเที่ยวมาและกลับ)

– รายการและวิธีการบำบัดและกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) สำหรับกิจกรรมที่บริษัทมีกระบวนการผลิตเองหรือ บริษัทมีความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลการผลิตจะต้องคำนวณโดยใช้ข้อมูลการผลิตที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิ

6.2.4 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลปฐมภูมิ

– ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตและระบบสนับสนุนทั้งหมดให้ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บต่อเนื่อง 12 เดือนเป็นอย่างน้อย กรณีที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่อง 12 เดือนได้ ต้องระบุเหตุผลวิธีการขอบเขต และเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลให้ชัดเจนรวมถึงอธิบายรายละเอียดในการเป็นตัวแทนของข้อมูลได้

– การเก็บข้อมูลสามารถทำได้ 2 วิธีคือ (1) การเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับแต่ละหน่วยการผลิต เช่น ชั่วโมงในการปฏิบัติงาน พื้นที่ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (2) การเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกรวมของทุกหน่วยการผลิตของบริษัทตลอดระยะเวลาที่กำหนดและใช้วิธีการปันส่วนที่เหมาะสมเพื่อแบ่งสัดส่วนของสารขาเข้าและสารขาออกโดยต้องเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์

– กรณีที่มีการผลิตพลังงานหรือสาธารณูปโภคใช้เองในกระบวนการผลิต หรือจากบริษัทในเครือ ต้องมีการจัดเก็บปริมาณวัตถุดิบ และพลังงานที่ใช้ผลิตพลังงานหรือสาธารณูปโภคนั้น ๆ และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตพลังงานหรือสาธารณูปโภคนั้น ๆ จากวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้โดยพิจารณาครอบคลุมกระบวนการต้นน้ำทั้งหมดด้วย

– กรณีที่ต้องใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ผลิตพลังงานหรือสาธารณูปโภคโดยที่พลังงานหรือสาธารณูปโภคนั้น ๆ มีผู้ผลิตมากกว่า 1 ราย ให้ใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ผลิตทุกรายและนำมาหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนของพลังงานหรือสาธารณูปโภคที่สั่งซื้อ หรือให้เก็บข้อมูลครอบคลุมจำนวนผู้ผลิตที่สามารถใช้เป็นตัวแทนได้ตามหลักสถิติ หรือให้เก็บข้อมูลจากผู้ผลิตที่มีการจัดส่งพลังงานหรือสาธารณูปโภคปริมาณมากที่สุด กรณีที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลทั้งหมดได้ ต้องระบุเหตุผล วิธีการ ขอบเขต และเงื่อนไขการเก็บข้อมูลให้ชัดเจน รวมถึงอธิบายรายละเอียดในการเป็นตัวแทนของข้อมูลได้

6.2.5 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลทุติยภูมิ

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) โดยทั่วไป เช่น น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสียให้ยึดตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลที่เผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) อื่น ๆ ที่ไม่ปรากฏในฐานข้อมูลของ อบก. ให้ใช้ข้อมูลที่ปรากฏในภาคผนวก ก ของเอกสารนี้

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ที่ผู้ประเมินคำนวณเองโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นมาประกอบการคำนวณข้อมูลต้องนำมาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีที่มาจากแหล่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ในกรณีที่มีการใช้ฐานข้อมูลอื่น ๆ ควรมีการอ้างเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการใช้งานด้วย เช่น ความคล้ายคลึงของเทคโนโลยี ขณะเวลาที่ทำวิจัย

– หากไม่มีข้อมูลทุติยภูมิที่กำหนดให้แล้ว ให้เลือกข้อมูลที่มีขอบเขตในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ พลังงานหรือทรัพยากรอื่น ๆ จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีความเป็นตัวแทนและมีความแม่นยำสูง หรือเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ ตามลำดับความสำคัญดังนี้

1) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
2) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer reviewed publications)
3) ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป เช่น LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
4) ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

– หากมีข้อมูลหลายรายการที่สอดคล้องจากแหล่ งข้อมูลที่อยู่ในลำดับเดียวกันให้เลือกใช้ค่าสูงที่สุด

– กรณีที่เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่สอดคล้องกับการผลิตจริงมากที่สุด

6.2.6 สถานการณ์สมมติ

1) การขนส่งของเสียจากการผลิต

หากทางโรงงานไม่มีข้อมูลเชื้อเพลิงสำหรับขนส่งของเสียจากการผลิตหรือประเภทพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทาง และอัตราบรรทุก ให้ใช้วิธีการประเมินด้วยหน่วยการขนส่งดังนี้

1.1) กรณีของเสียที่มีการจัดการด้วยบริษัทที่รับจ้างกำจัด

– ระยะทางขนส่ง คือ 700 กิโลเมตรต่อเที่ยว (ประมาณการจาก กทม.–เชียงใหม่)

– พาหนะที่ใช้ คือ รถตู้บรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาด 32 ตัน วิ่งปกติ

– พิจารณาทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยอัตราการขนส่งเที่ยวไปบรรทุกเต็มคัน (100% Loading) และ เที่ยวกลับไม่มีการบรรทุก (0% Loading)

1.2) กรณีของเสียที่ทิ้งเป็นขยะมูลฝอยชุมชน

– ระยะทางขนส่ง 40 กิโลเมตรต่อเที่ยว

– พาหนะที่ใช้ คือ รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ ขนาด 16 ตัน วิ่งปกติ

– พิจารณาทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยอัตราการขนส่งเที่ยวไปบรรทุกเต็มคัน (100% Loading) และ เที่ยวกลับไม่มีการบรรทุก (0% Loading)

1.3) กรณีของเสียถูกนำไปใช้ประโยชน์หรือสามารถจำหน่ายได้ให้ประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น “ศูนย์ ”

6.2.7 เงื่อนไขอื่น ๆ

1) ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล

ให้รวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากข้อมูลการผลิตประจำปีเป็นอย่างน้อย กรณีที่ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากข้อมูลการผลิตประจำปีได้ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อทดสอบตลาด (ยังไม่ได้เริ่มผลิตจริง) ให้รวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลทดแทน พร้อมทั้งอธิบายรายละเอียดการเป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูล

<u>กรณีที่ 2</u> ผลิตภัณฑ์ใหม่ (มีการผลิตยังไม่ถึง 1 ปี) ให้รวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาที่ผลิตตามจริงหรือระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง พร้อมทั้งอธิบายรายละเอียดการเป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูล

2) การปันส่วน

- การปันส่วนวัตถุดิบและของเสียให้ปันส่วนตามสัดส่วนของน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

- การปันส่วนพลังงานให้ปันส่วนตามสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ ในแต่ละผลิตภัณฑ์

- หากไม่สามารถทำได้ให้ระบุว่าใช้วิธีการปันส่วนแบบใด เช่น การปันส่วนตามมูลค่า เป็นต้น พร้อมระบุเหตุผลที่เหมาะสม

- ปันส่วนให้เฉพาะผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วมที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบเท่านั้น ไม่ปันส่วนของเสียที่กำจัด โดยการขาย และหากของเสียที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์อื่นให้พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการของเสียนั้นด้วย

3) การตัดออก

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่มีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม สามารถพิจารณาตัดออกได้ แต่ต้องตัดออกไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม หากมีการตัดออกให้เพิ่มสัดส่วนค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์

3) การสุ่มตัวอย่าง (กรณีที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายแห่ง)

กรณีที่ผู้ผลิต 1 รายมีสถานที่ผลิตผลิตภัณฑ์ หลายแห่ง ต้องแสดงสัดส่วนการผลิตจากสถานที่ผลิตแต่ละแห่ง ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากสถานที่ผลิตแต่ละแห่ง และทำการหาค่าเฉลี่ยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ของทุกสถานที่ผลิตโดยการถ่วงน้ำหนัก

4) กรณีที่ผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนเอง

ให้เก็บข้อมูลปฐมภูมิของปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับการผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน และนำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) สำหรับไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนนั้น ๆ หากต้องมีการปันส่วนให้ปันส่วนวัตถุดิบ ของเสีย และพลังงานตามสัดส่วนของพลังงานที่ได้ โดยให้ปันส่วนให้กับพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เท่านั้น

5) การบำบัดน้ำเสีย

ให้พิจารณาไฟฟ้า สารเคมี และปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย โดยการคิดผลกระทบจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายให้อ้างอิงวิธีการตามที่ระบุในแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรฉบับล่าสุด

6.3 ขั้นตอนการขนส่งและกระจายสินค้า

6.3.1 ขอบเขตการจัดเก็บข้อมูล

พิจารณาการขนส่งผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า จุดกระจายสินค้าหลักหรือตัวแทนจำหน่ายขนาดใหญ่รวมถึงการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างรอจำหน่าย

6.3.2 รายการข้อมูลที่ต้องรวบรวม

– น้ำหนักผลิตภัณฑ์

– ปริมาณบรรจุภัณฑ์ที่ต้องใช้ในการขนส่ง การจัดเก็บ และการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างรอจำหน่าย

– ปริมาณไฟฟ้าสำหรับการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ต้องเก็บในที่เย็น

– ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง การจัดเก็บ และการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างรอจำหน่าย

– ปริมาณเชื้อเพลิงในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไปยังศูนย์กระจายสินค้า (ทั้งเที่ยวมาและกลับ) หรือประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง น้ำหนักบรรทุก

สัดส่วนการบรรทุก ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ และระยะทางในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไปยังศูนย์กระจายสินค้า (ทั้งเที่ยวมาและกลับ)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ต่าง ๆ

6.3.3 รายการข้อมูลที่ต้องเป็นข้อมูลปฐมภูมิ

– น้ำหนักผลิตภัณฑ์

– ปริมาณบรรจุภัณฑ์ที่ต้องใช้ในการขนส่ง การจัดเก็บ และการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างรอจำหน่าย

– ปริมาณไฟฟ้าสำหรับการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ต้องเก็บในที่เย็น

– ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง การจัดเก็บ และการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างรอจำหน่าย

– ปริมาณเชื้อเพลิงในการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไปยังศูนย์กระจายสินค้า (ทั้งเที่ยวมาและกลับ)

6.3.4 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลปฐมภูมิ

– ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตและระบบ สนับสนุนทั้งหมดให้ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บต่อเนื่อง 12 เดือนเป็นอย่างน้อย กรณีที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่อง 12 เดือนได้ ต้องระบุเหตุผลวิธีการขอบเขต และเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลให้ชัดเจนรวมถึงอธิบายรายละเอียดในการเป็นตัวแทนของข้อมูลได้

– การเก็บข้อมูลสามารถทำได้ 2 วิธีคือ (1) การเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับแต่ละหน่วยการผลิต เช่น ชั่วโมงในการปฏิบัติงาน พื้นที่ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (2) การเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกรวมของทุกหน่วยการผลิตของบริษัทตลอดระยะเวลาที่กำหนดและใช้วิธีการปันส่วนที่เหมาะสมเพื่อแบ่งสัดส่วนของสารขาเข้าและสารขาออกโดยต้องเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์

6.3.5 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลทุติยภูมิ

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) โดยทั่วไป เช่น น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสียให้ยึดตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลที่เผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) อื่น ๆ ที่ไม่ปรากฏในฐานข้อมูลของ อบก. ให้ใช้ข้อมูลที่ปรากฏในภาคผนวก ก ของเอกสารนี้

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ที่ผู้ประเมินคำนวณเองโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นมาประกอบการคำนวณข้อมูลต้องนำมาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีที่มาจากแหล่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ในกรณีที่มีการใช้ฐานข้อมูลอื่น ๆ ควรมีการอ้างเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการใช้งานด้วย เช่น ความคล้ายคลึงของเทคโนโลยี ขณะเวลาที่ทำวิจัย

– หากไม่มีข้อมูลทุติยภูมิที่กำหนดให้แล้ว ให้เลือกข้อมูลที่มีขอบเขตในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ พลังงานหรือทรัพยากรอื่น ๆ จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีความเป็นตัวแทนและมีความแม่นยำสูง หรือเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ ตามลำดับความสำคัญดังนี้

1) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
2) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer reviewed publications)
3) ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป เช่น LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
4) ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

– หากมีข้อมูลหลายรายการที่สอดคล้องจากแหล่งข้อมูลที่อยู่ในลำดับเดียวกัน ให้เลือกใช้ค่าสูงที่สุด

– กรณีที่ เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่สอดคล้องกับการผลิตจริงมากที่สุด

6.3.6 สถานการณ์สมมติ (Scenario setting)

1) การขนส่งผลิตภัณฑ์

หากไม่มีข้อมูลเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์ หรือ ประเภทพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางและอัตราบรรทุก ให้ ประเมินโดยใช้ข้อมูลต่อไปนี้

- ระยะทางขนส่ง คือ 700 กิโลเมตรต่อเที่ยว (ประมาณการ กทม.–เชียงใหม่)
- พาหนะที่ใช้ คือ รถตู้บรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาด 32 ตัน วิ่งปกติ
- พิจารณาทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยอัตราการขนส่งเที่ยวไปบรรทุกเต็มคัน (100% Loading) และ เที่ยวกลับไม่มีการบรรทุก (0% Loading)

6.3.7 เงื่อนไขอื่น ๆ

1) การปันส่วน

ปันส่วนตามน้ำหนักระหว่างผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่ขนส่งพร้อมกัน

2) การตัดออก

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่มีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม สามารถพิจารณาตัดออกได้ แต่ต้องตัดออกไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม หากมีการตัดออกให้เพิ่มสัดส่วนค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6.4 ขั้นตอนการใช้งาน

6.4.1 ขอบเขตการจัดเก็บข้อมูล

สมมติฐานการใช้งานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตครอบคลุมข้อมูลการติดตั้ง การใช้งาน และการดูแลรักษาระหว่างการใช้งาน พิจารณาวัสดุและพลังงานที่ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ในการใช้งาน และวัสดุและพลังงานสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

6.4.2 รายการข้อมูลที่ต้องรวบรวม

– ข้อมูลกิจกรรมการผลิต ได้แก่ ปริมาณสารขาเข้าและสารขาออก

– ข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ได้แก่ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตวัตถุดิบ

6.4.3 รายการข้อมูลที่ต้องเป็นข้อมูลปฐมภูมิ

– ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานในการติดตั้งผลิตภัณฑ์

– ปริมาณการใช้วัตถุดิบ

– ปริมาณการใช้พลังงาน

– ปริมาณการใช้ วัตถุดิบและพลังงานในการดูแลรักษาระหว่างการใช้งาน

6.4.4 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลปฐมภูมิ

– ไม่มี

6.4.5 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลทุติยภูมิ

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) โดยทั่วไป เช่น น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสียให้ยึดตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลที่เผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซ

เรือนกระจก (อบก.)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) อื่น ๆ ที่ไม่ปรากฏในฐานข้อมูลของ อบก. ให้ใช้ข้อมูลที่ปรากฏในภาคผนวก ก ของเอกสารนี้

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ที่ผู้ประเมินคำนวณเองโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นมาประกอบการคำนวณข้อมูลต้องนำมาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีที่มาจากแหล่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ในกรณีที่มีการใช้ฐานข้อมูลอื่น ๆ ควรมีการอ้างเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการใช้งานด้วย เช่น ความคล้ายคลึงของเทคโนโลยี ขณะเวลาที่ทำวิจัย

– หากไม่มีข้อมูลทุติยภูมิที่กำหนดให้แล้ว ให้เลือกข้อมูลที่มีขอบเขตในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ พลังงานหรือทรัพยากรอื่น ๆ จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีความเป็นตัวแทนและมีความแม่นยำสูง หรือเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ ตามลำดับความสำคัญดังนี้

1) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
2) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer reviewed publications)
3) ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป เช่น LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
4) ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

– หากมีข้อมูลหลายรายการที่สอดคล้องจากแหล่งข้อมูลที่อยู่ในลำดับเดียวกัน ให้เลือกใช้ค่าสูงที่สุด

– กรณีที่เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่สอดคล้องกับการผลิตจริงมากที่สุด

6.4.6 สถานการณ์สมมติ (Scenario setting)

– ไม่มี

6.4.7 เงื่อนไขอื่น ๆ

1) การตัดออก

ในขั้นตอนการขนส่งผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีการตัดรายการการขนส่งออก

6.5 ขั้นตอนการจัดการซากผลิตภัณฑ์

6.5.1 ขอบเขตการจัดเก็บข้อมูล

พิจารณาการบำบัดและกำจัดบรรจุภัณฑ์และของเสียที่เหลือภายหลังการใช้งานอื่น ๆ รวมถึงการขนส่งของเศษซากและของเสียไปยังแหล่งรับบำบัดและกำจัด โดยของเสียที่สามารถติดตามและเก็บรวบรวมข้อมูลได้ว่ามีการนำกลับมาใช้ใหม่ จะไม่ถูกนำมาพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนนี้

6.5.2 รายการข้อมูลที่ต้องรวบรวม

– ปริมาณเศษซากผลิตภัณฑ์ เศษซากบรรจุภัณฑ์ และของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้งานผลิตภัณฑ์

– วิธีการบำบัดและกำจัดเศษซากผลิตภัณฑ์ เศษซากบรรจุภัณฑ์ และของเสียที่เกิดขึ้นตามความเป็นจริง หรือตามสถานการณ์สมมติ

– ปริมาณเชื้อเพลิงในการขนส่งเศษซากผลิตภัณฑ์ เศษซากบรรจุภัณฑ์ และของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้งานผลิตภัณฑ์ไปยังแหล่งรับบำบัดและกำจัด (ทั้งเที่ยวมาและกลับ) หรือประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง น้ำหนักบรรทุก สัดส่วนการบรรทุก ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ และระยะทางในการขนส่งเศษซากผลิตภัณฑ์ เศษซากบรรจุภัณฑ์ และของเสียจากจุดใช้งานไปยังแหล่งบำบัดและกำจัด (ทั้งเที่ยวมาและกลับ)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ต่าง ๆ

6.5.3 รายการข้อมูลที่ต้องเป็นข้อมูลปฐมภูมิ

– ไม่มี

6.5.4 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลปฐมภูมิ

– ไม่มี

6.5.5 เงื่อนไขในการจัดทำข้อมูลทุติยภูมิ

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) โดยทั่วไป เช่น น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ให้ยึดตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และข้อมูลที่เผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.)

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) อื่น ๆ ที่ไม่ปรากฏในฐานข้อมูลของ อบก. ให้ใช้ข้อมูลที่ปรากฏในภาคผนวก ก ของเอกสารนี้

– ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (E.F.) ที่ผู้ประเมินคำนวณเองโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่นมาประกอบการคำนวณข้อมูลต้องนำมาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีที่มาจากแหล่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ในกรณีที่มีการใช้ฐานข้อมูลอื่นๆ

ควรมีการอ้างเปรียบเทียบความเหมาะสมกับการใช้งานด้วย เช่น ความคล้ายคลึงของเทคโนโลยี ขณะเวลาที่ทำวิจัย

– หากไม่มีข้อมูลทุติยภูมิที่กำหนดให้แล้ว ให้เลือกข้อมูลที่มีขอบเขตในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ พลังงานหรือทรัพยากรอื่น ๆ จากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีความเป็นตัวแทนและมีความแม่นยำสูง หรือเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ ตามลำดับความสำคัญดังนี้

1) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
2) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทยซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer reviewed publications)
3) ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป เช่น LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
4) ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

– หากมีข้อมูลหลายรายการที่สอดคล้องจากแหล่งข้อมูลที่อยู่ในลำดับเดียวกัน ให้เลือกใช้ค่าสูงที่สุด

– กรณีที่เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศให้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่สอดคล้องกับการผลิตจริงมากที่สุด

6.5.6 สถานการณ์สมมติ (Scenario setting)

1) การจัดการของเสียหลังการบริโภค

– ให้คำนวณปริมาณของเสียต่าง ๆ ตามหลักสมดุลมวลสาร

– ให้พิจารณาบรรจุภัณฑ์ที่ต้องกำจัดทิ้งเป็นมูลฝอยชุมชนซึ่งมีอัตราการรีไซเคิลของวัสดุแต่ละชนิดตามที่ระบุในแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

– หากมีของเสียจากการบริโภคอื่น ๆ นอกเหนือจากบรรจุภัณฑ์ เช่น กากชา กากกาแฟ ให้คำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการของเสียเหล่านั้นด้วย

2) การขนส่งของเสียหลังการบริโภค

หากไม่มีข้อมูลเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งของเสียหลังการบริโภค หรือประเภทพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทาง และอัตราบรรทุก ให้ ประเมินโดยใช้ข้อมูลต่อไปนี้

– ระยะทางขนส่ง คือ 40 กิโลเมตรต่อเที่ยว

– พาหนะที่ใช้ คือ รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ ขนาด 16 ตัน วิ่งปกติ

– พิจารณาทั้งเที่ยวมาและเที่ยวกลับโดยอัตราการขนส่งเที่ยวมาไม่มีการบรรทุก (0% Loading) และ เที่ยวกลับบรรทุกเต็มคัน (100% Loading)

6.5.7 เงื่อนไขอื่น ๆ

1) การตัดออก

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่มีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม สามารถพิจารณาตัดออกได้ แต่ต้องตัดออกไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม หากมีการตัดออกให้เพิ่มสัดส่วนค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์

7. การแสดงข้อมูล

7.1 รูปแบบของเครื่องหมาย ตำแหน่งและขนาด

ขนาดของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ประเมินได้ต้องแสดงด้วยตัวเลข 3 ตัว (Three significant numbers) เช่น 3.15, 152 และแสดงหน่วยเป็น g, kg หรือ ton ทั้งนี้ให้มีช่องระหว่างตัวเลขและหน่วย 1 ตัวอักษรการปัดเศษทศนิยมให้เป็นไปตามกฎการปัดเศษตามมาตรฐาน มอก. 929–2533 นั่นคือ ถ้าเศษตัวแรกมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดเศษทิ้งและคงตัวเลขตัวสุดท้ายที่ต้องการคงไว้ ถ้าเศษตัวแรกมีค่ามากกว่า 5 หรือเท่ากับ 5 แล้วตามด้วยตัวเลขอื่นที่ไม่ใช่ศูนย์ทั้งหมด ให้ปัดเศษขึ้น (เพิ่มค่าตัวเลขตัวสุดท้ายที่ต้องการอีก 1) ถ้าเศษตัวแรกมีค่าเท่ากับ 5 โดยไม่มีตัวเลขอื่นต่อท้ายหรือเท่ากับ 5 แล้วตามด้วยเลขศูนย์ทั้งหมด ให้ปฏิบัติดังนี้ ตัวเลขตัวสุดท้ายที่ต้องการคงไว้เป็นเลขคี่ ให้เพิ่มขึ้น 1 ตัวเลขตัวสุดท้ายที่ต้องการคงไว้เป็นเลขคู่หรือศูนย์ ให้ปัดเศษทิ้ง

รูปแบบของเครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องสอดคล้องกับ “หลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการใช้เครื่องหมายรับรองคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ”

การแสดงเครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์สามารถแสดงบนผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ แผ่นพับแนะนำ สินค้า จุลสาร อินเทอร์เน็ต หรือแสดงบนเอกสารอื่น ๆ ในการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ สำหรับการประเมินแบบ Business–to–Business: B2B ซึ่งวัดการปล่อยก๊าซเรือน

กระจกบางช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์ได้ เพื่อป้องกันมิให้ผู้บริโภคสับสนกับค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ แต่สามารถแสดงไว้ในแหล่งอื่น ๆ หรือเอกสารอื่น ๆ ในการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ได้

7.2 ข้อมูลและเนื้อหาประกอบเพิ่มเติม

ผู้ผลิตสามารถให้ข้อมูลหรือเนื้อหาเพิ่มเติมอื่น ๆ แก่ผู้บริโภคหรือผู้ใช้ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เช่น สภาวะหรือสถานการณ์ที่สมมติขึ้นสำหรับใช้ในการประเมินข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันในการนำข้อมูลไปประโยชน์ต่อ คำแนะนำหรือแนวปฏิบัติในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อสร้างความตระหนักในการมีส่วนร่วมลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นต้น

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	อภิชา โซ่จินดามณี
วัน เดือน ปี เกิด	10 กรกฎาคม 2527
สถานที่เกิด	ลำปาง
วุฒิการศึกษา	2552 วศ.ม., (วิศวกรรมโยธา). มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ, จ.เชียงใหม่.
ที่อยู่ปัจจุบัน	132-132/1-132/3 ถ.ประสารไมตรี ต.สบตุ๋ย อ.เมืองลำปาง จ.ลำปาง 52100
ผลงานตีพิมพ์	อภิชา โซ่จินดามณี (ผู้บรรยาย). (25 มกราคม 2565). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผนังอาคารพักอาศัยจากวัสดุก่อสร้างทางเลือก ในการประชุมวิชาการระดับชาติ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 11 (PRC11) (SCI-025) (หน้า 1074-1082). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.