ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร

นายวีรชัย ลิ้มมณฑล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT SYSTEM FOR MANUFACTURING AND INSTALLING PROCESSES OF BUILDING WALLS

Mr. Weerachai Limmonthol

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร
โดย	นายวีรชัย ลิ้มมณฑล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อักษรา พฤทธิวิทยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อักษรา พฤทธิวิทยา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.เทอดธิดา ทิพย์รัตน์)

วีรชัย ลิ้มมณฑล : ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร (A CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT SYSTEM FOR MANUFACTURING AND INSTALLING PROCESSES OF BUILDING WALLS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.อักษรา พฤทธิวิทยา, 261 หน้า.

ภาวะโลกร้อนมีต้นเหตุจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมากเกินไปซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วผิดปกติของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกและนำไปสู่ภัยพิบัติทางธรรมชาติ อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นต้นกำเนิดหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุก่อสร้าง การตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวทำให้มีการริเริ่มประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุก่อสร้าง อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีอยู่ยังคงมีข้อบกพร่องบางประการที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไข งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ซึ่งสามารถประเมินปัจจัยสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องได้ทั้งหมด โดยระบบถูกออกแบบมาเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารซึ่งมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดในกลุ่มวัสดุก่อสร้าง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผนังอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ (1) ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (2) อิฐมวลเบา และ (3) อิฐมอญ ระบบที่นำเสนอได้ผนวกวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ P-LCA และ IOA โดยระบบประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ (1) ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้า (2) ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ (3) ส่วนการแสดงผลลัพธ์ และ (4) ส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ขั้นตอนการประเมินเริ่มจากการสร้างผังการไหลกระบวนการของผนังอาคารควบคู่กับการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม จากนั้นรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิและป้อนข้อมูลลงในเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ข้อมูลที่รวบรวมจากหน่วยงานผลิต 3 หน่วยงาน และโครงการก่อสร้างอาคารสูง 3 โครงการ ถูกนำมาใช้แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบนี้ ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ที่ปล่อยออกมาสำหรับผนังชนิดต่างๆ คือ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (67.43 $kgCO_2e/m^2$) ผนังอิฐมวลเบา (74.15 $kgCO_2e/m^2$) และผนังอิฐมอญ (79.05 $kgCO_2e/m^2$) ผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด คือ การฉาบผนังอิฐมวลเบา (ร้อยละ 65.83) การฉาบผนังอิฐมอญ (ร้อยละ 53.37) และการเทคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป (ร้อยละ 45.23) เนื่องจากต้นกำเนิดหลักของคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนัง 3 ประเภท คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ คิดเป็นร้อยละ 68, 95 และ 89 ตามลำดับ ทำให้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆถูกพิจารณาให้ไม่มีนัยสำคัญ ระบบที่นำเสนอสามารถใช้ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารชนิดต่างๆได้ และยังสามารถนำไปปรับเปลี่ยนเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุก่อสร้างหรือส่วนประกอบอาคารอื่นๆได้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5470377921 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: CARBON FOOTPRINT / BUILDING WALL

WEERACHAI LIMMONTHOL: A CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT SYSTEM FOR MANUFACTURING AND INSTALLING PROCESSES OF BUILDING WALLS. ADVISOR: ASSOC. PROF. VEERASAK LIKHITRUANGSILP, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. AKSARA PUTTHIVIDHYA, Ph.D., 261 pp.

Global warming stems from an excessive amount of greenhouse gas emission in the atmosphere leading to an unusual rapid increment in the average temperature of the earth's surface and natural disasters. The construction industry is a main source of greenhouse gas emission, especially construction materials. To raise the awareness of these problems, the carbon footprint assessment of construction materials is introduced. However, available carbon footprint assessment methods entail some drawbacks that need to be addressed. This research develops a carbon footprint assessment system that can assess all important contributing factors. It is designed for assessing the carbon footprint of building wall-manufacturing and -installing processes, which contribute to the greatest carbon footprint among construction materials. In this research, three types of building walls are investigated: (1) precast wall panel, (2) aerated brick, and (3) brick. The proposed system combines two life cycle inventory analysis methods: P-LCA and IOA. The system consists of four main parts: (1) the input analysis, (2) the carbon footprint assessment, (3) the display result, and (4) the result analysis. The assessment procedure begins with creating the process flows of building walls along with the life cycle inventory analysis, collecting primary and secondary data, and filling them in a carbon footprint assessment template. The data collected from three manufacturing factories and three high-rise building projects were used to illustrate the application of this system. The carbon footprint emissions for different types of wall are precast wall panel (67.43 $kgCO_2e/m^2$), aerated brick (74.15 $kgCO_2e/m^2$), and brick (79.05 $kgCO_2e/m^2$). The results also show that the processes that emit the greatest carbon footprint are aerated brick wall plastering (65.83%), brick wall plastering (53.37%), and concrete mixed process for precast wall panel (45.23%). Since the main source of carbon footprint of the three types of wall is material acquisition (68, 95, and 89%, respectively), the other contributing factors are considered insignificant. The proposed system can be used to assess carbon footprint of different types of building wall. It can also be modified to assess the carbon footprint of other construction materials or building components.

Department:	Civil Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Civil Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2014	Co-Advisor's Signature	.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำ ความร่วมมือ และกำลังใจจากผู้ที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พฤทธิวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านซึ่งประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร และอาจารย์ ดร. เทอดธิดา ทิพย์รัตน์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าช่วยให้คำแนะนา และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ควบคุมการก่อสร้างในโครงการก่อสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ทำการศึกษาทั้ง 2 โครงการ และหน่วยงานผลิตผนังอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาทั้ง 3 หน่วยงาน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนข้อมูลและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนกำลังใจจากเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องทุกท่านที่มิได้กล่าวมาไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอสำนึกและกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ และคอยสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ด
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1
1.2 ความสำคัญของปัญหา 2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 ก๊าซเรือนกระจก 7
2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 10
2.2.1 นิยามของคาร์บอนฟุตพรินต์ 10
2.2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต 11
2.2.3 แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย 16
2.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม 18
2.3.1 Process Life Cycle Assessment (P-LCA) 19
2.3.2 Input-Output Analysis (IOA) 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3.3 Hybrid Life Cycle Assessment 22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
2.5 สรุป 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 32
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 32
3.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 34
3.3 การเลือกกรณีศึกษาสำหรับศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร 34
3.4 ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร 35
3.5 เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 35
3.6 สร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า 36
3.7 ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร 36
3.8 วิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร 37
3.9 สรุปผลการศึกษา ระบุข้อจำกัด ข้อเสนอแนะ และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ 38
3.10 สรุป 38
บทที่ 4 วัสดุก่อสร้างสำหรับงานผนัง 39
4.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 39
4.1.1 นิยามและประเภทของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 39
4.1.2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 41
4.1.3 กระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 46
4.2 อิฐมวลเบา 47
4.2.1 นิยามและประเภทของอิฐมวลเบา 47
4.2.2 กระบวนการผลิตอิฐมวลเบา 49
4.2.3 กระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบา 52

หน้า

4.3 อิฐมอญ 53
4.3.1 นิยามและประเภทของอิฐมอญ 54
4.3.2 กระบวนการผลิตอิฐมอญ 55
4.3.3 กระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญ 59
4.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารประเภทต่างๆ 61
4.5 สรุป 64
บทที่ 5 ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร 65
5.1 โครงสร้างระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 65
5.1.1 ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้า 65
5.1.2 ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 69
5.1.3 ส่วนการแสดงผลลัพธ์ 72
5.1.4 ส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ 72
5.2 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 72
5.2.1 การกำหนดขอบเขตการประเมิน 72
5.2.2 การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ 74
5.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ 75
5.2.4 การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 76
5.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม 76
5.3.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี P-LCA 76
5.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IOA 83
5.4 สรุป 90
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในกรณีศึกษา 92
6.1 กรณีศึกษาที่ 1: การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 92

หน้า

6.2 กรณีศึกษาที่ 2: การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมวลเบา 108
6.3 กรณีศึกษาที่ 3: การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมอญ 122
6.4 สรุป 139
บทที่ 7 การวิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารในกรณีศึกษา 145
7.1 ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 145
7.2 อิฐมวลเบา 160
7.3 อิฐมอญ 172
7.4 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ 181
7.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ 182
7.6 สรุป 188
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย 191
8.1 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร 191
8.2 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร 195
8.3 ข้อจำกัดของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร 197
8.4 แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร 197
8.5 สัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญสำหรับกรณีศึกษา 199
8.6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 200
รายการอ้างอิง 201
ภาคผนวก ก 206
ภาคผนวก ข 230
ภาคผนวก ค 247
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 261

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (อบก., 2554ค) 10

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ชลิตา สุวรรณ, 2553) 13

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Melissa, 2007 ; Suh และคนอื่นๆ, 2003) 23

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบองค์ประกอบที่พิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

ตารางที่ 4.1 ความหมายของสัญลักษณ์และการเชื่อมโยงพื้นฐานในมาตรฐาน BPMN (White, 2004) 42

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารประเภทต่างๆ 63

ตารางที่ 5.1 แนวทางการศึกษาข้อมูลสิ่งนำเข้า 68

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างเทมเพลทสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้น 71

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 75

ตารางที่ 5.4 ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในการสร้างผังงาน 78

ตารางที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดของเสีย 83

ตารางที่ 5.6 เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างสาขาเศรษฐกิจ (*A*) 87

ตารางที่ 5.7 เมตริกซ์เอกลักษณ์ลบเมตริกซ์ความสัมพันธ์ (*I – A*) 87

ตารางที่ 5.8 Leontief's inverse matrix (*L*) 87

ตารางที่ 5.9 เมตริกซ์ความเข้มข้นพลังงาน 88

ตารางที่ 5.10 เมตริกซ์ความเข้มข้นพลังงานต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ 89

ตารางที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงมูลค่าความต้องการขั้นสุดท้ายของสิ่งนำเข้า 89

ตารางที่ 5.12 ความต้องการใช้พลังงานในการผลิตสิ่งนำเข้า 89

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในกรณีศึกษา 92

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในกรณีศึกษา 93
ตารางที่ 6.3 การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 98
ตารางที่ 6.4 การรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 100
ตารางที่ 6.5 ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 101
ตารางที่ 6.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 105
ตารางที่ 6.7 รายละเอียดหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบา 108
ตารางที่ 6.8 รายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอิฐมวลเบา 108
ตารางที่ 6.9 การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา 112
ตารางที่ 6.10 ผลการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา 116
ตารางที่ 6.11 ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา 117
ตารางที่ 6.12 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา 123
ตารางที่ 6.13 รายละเอียดหน่วยงานผลิตอิฐมอญ 128
ตารางที่ 6.14 รายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอิฐมอญ 128
ตารางที่ 6.15 การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ 130
ตารางที่ 6.16 ผลการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ 134
ตารางที่ 6.17 ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมอญ 135
ตารางที่ 6.18 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ 140
ตารางที่ 7.1 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมเหล็กเพื่อสร้างแบบหล่อ 146
ตารางที่ 7.2 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ 147
ตารางที่ 7.3 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ 148

ตารางที่ 7.4 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเสริมเหล็ก 149
ตารางที่ 7.5 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต 150
ตารางที่ 7.6 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิว 150
ตารางที่ 7.7 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 151
ตารางที่ 7.8 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ 152
ตารางที่ 7.9 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 153
ตารางที่ 7.10 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 153
ตารางที่ 7.11 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 154
ตารางที่ 7.12 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 155
ตารางที่ 7.13 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก 156
ตารางที่ 7.14 อัตราส่วนปริมาณการสูญเสียของปูนซีเมนต์ (Kokkaew, 2002) 158
ตารางที่ 7.15 คาร์บอนฟุตพรินต์จากการลดปริมาณการสูญเสียของปูนซีเมนต์ 159
ตารางที่ 7.16 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปกับผลการทดลองในอดีต 159
ตารางที่ 7.17 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต 161
ตารางที่ 7.18 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมโฟม 162
ตารางที่ 7.19 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิว 163
ตารางที่ 7.20 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดและทำความสะอาดแบบหล่อ 163
ตารางที่ 7.21 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา 164

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7.22 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก..... 165
ตารางที่ 7.23 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ 166
ตารางที่ 7.24 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา..... 166
ตารางที่ 7.25 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา..... 167
ตารางที่ 7.26 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา 168
ตารางที่ 7.27 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือน
กระจก..... 169
ตารางที่ 7.28 สาเหตุและแนวทางการลดการเกิดของเสียประเภทอิฐบล็อก
(Srichana และ Khwalamthan, 2012)..... 170
ตารางที่ 7.29 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของอิฐมวลเบากับผลการทดลองในอดีต 172
ตารางที่ 7.30 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ..... 174
ตารางที่ 7.31 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ 174
ตารางที่ 7.32 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก..... 175
ตารางที่ 7.33 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ 175
ตารางที่ 7.34 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ 176
ตารางที่ 7.35 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ 177
ตารางที่ 7.36 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ..... 178
ตารางที่ 7.37 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือน
กระจก..... 179
ตารางที่ 7.38 อัตราส่วนปริมาณการสูญเสียของอิฐมอญ (Kokkaew, 2002)..... 180
ตารางที่ 7.39 คาร์บอนฟุตพรินต์จากการลดปริมาณการสูญเสียของอิฐมอญ..... 180
ตารางที่ 7.40 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของอิฐมอญกับผลการทดลองในอดีต..... 180
ตารางที่ 8.1 รายละเอียดหน่วยงานผลิตและหน่วยงานติดตั้งผนังอาคาร 191
ตารางที่ 8.2 การแยกองค์ประกอบผนังอาคารออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอนการผลิตและติดตั้ง ... 193
ตารางที่ 8.3 ข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 194

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 8.4 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก 196
ตารางที่ 8.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารกับงานวิจัยในอดีต 196
ตารางที่ 8.6 ปัจจัยที่มีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์อย่างมีนัยยะสำคัญ 199
ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ 208
ตารางที่ ก.2 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ 211
ตารางที่ ก.3 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ 213
ตารางที่ ก.4 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม 215
ตารางที่ ก.5 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต 218
ตารางที่ ก.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวคอนกรีต 220
ตารางที่ ก.7 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 221
ตารางที่ ก.8 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ 223
ตารางที่ ก.9 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 225
ตารางที่ ก.10 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 227
ตารางที่ ก.11 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 229
ตารางที่ ข.1 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต 231
ตารางที่ ข.2 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมโฟม 233
ตารางที่ ข.3 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีต 234
ตารางที่ ข.4 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาด 235
ตารางที่ ข.5 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา 236

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป..... 238
ตารางที่ ข.7 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ..... 240
ตารางที่ ข.8 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา..... 242
ตารางที่ ข.9 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา..... 245
ตารางที่ ค.1 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ..... 249
ตารางที่ ค.2 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ..... 250
ตารางที่ ค.3 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม . 252
ตารางที่ ค.4 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ..... 254
ตารางที่ ค.5 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ..... 256
ตารางที่ ค.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ..... 259

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 ขอบเขตของงานวิจัย..... 5

ภาพที่ 2.1 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก
(Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007) 8

ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนและความสัมพันธ์ของกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต
(ISO 14040, 2006 ; ชลิตา สุวรรณ, 2553)..... 12

ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของ PAS 2050: 2011
(Jiamvoraphong, 2012)..... 14

ภาพที่ 2.4 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 17

ภาพที่ 2.5 วัสดุก่อสร้างที่ศึกษาในงานวิจัยของ Monahan และ Powell (2011)..... 26

ภาพที่ 2.6 ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ในกิจกรรมก่อสร้างของ Mah และคนอื่นๆ (2011) 27

ภาพที่ 2.7 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากกรณีศึกษาอาคารเหล็กรูปพรรณ (Melissa, 2007) 28

ภาพที่ 2.8 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากกรณีศึกษาชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Melissa, 2007)... 28

ภาพที่ 2.9 สถิติการค้าเครื่องจักรกลของประเทศไทย..... 29

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 33

ภาพที่ 4.1 ผังการไหลของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 43

ภาพที่ 4.2 วางแบบเหล็กกั้นข้างแบบหล่อชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป..... 44

ภาพที่ 4.3 การวางเหล็กเสริมชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป..... 44

ภาพที่ 4.4 การเทคอนกรีตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 45

ภาพที่ 4.5 การขัดผิวหน้าชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป..... 45

ภาพที่ 4.6 รอยต่อแบบแห้งสำหรับชิ้นส่วนผนังผนังคอนกรีตสำเร็จรูป..... 46

ภาพที่ 4.7 ผังการไหลของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาด้วยระบบ CLC..... 50

ภาพที่ 4.8 ผังการไหลของกระบวนการผลิตอิฐมอญ..... 56

ภาพที่ 4.9 การผสมดิน แกลบ และน้ำในบ่อผสม 57

ภาพที่ 4.10 การอัดดินผสมแกลบเข้าในแบบพิมพ์ 58
ภาพที่ 4.11 การบดอัดและปรับแต่งระนาบอิฐ 58
ภาพที่ 4.12 ขั้นตอนการเผาอิฐ 58
ภาพที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 66
ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 73
ภาพที่ 5.3 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 77
ภาพที่ 5.4 การแยกย่อยองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป 78
ภาพที่ 5.5 การแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนตัดเหล็กเตรียมสร้างแบบหล่อคอนกรีต 79
ภาพที่ 5.6 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , ออนไลน์) 88
ภาพที่ 6.1 รายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 93
ภาพที่ 6.2 รายละเอียดรูปร่างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 93
ภาพที่ 6.3 ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 97
ภาพที่ 6.4 การแยกองค์ประกอบขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 98
ภาพที่ 6.5 ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา 109
ภาพที่ 6.6 รายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ติดตั้งผนังอิฐมวลเบา 110
ภาพที่ 6.7 การแยกองค์ประกอบขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา 111
ภาพที่ 6.8 ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ 129
ภาพที่ 6.9 รายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ติดตั้งผนังอิฐมอญ 129
ภาพที่ 6.10 การแยกองค์ประกอบขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ 133
ภาพที่ 7.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนซีเมนต์ 184
ภาพที่ 7.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการ
ขนส่งปูนซีเมนต์เที่ยวไป 185
ภาพที่ 7.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการ
ขนส่งปูนซีเมนต์เที่ยวกลับ 185

ภาพที่ 7.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า 186
ภาพที่ 7.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากเพลทเหล็ก ... 187
ภาพที่ 7.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตเครื่องมือเครื่อง 187
ภาพที่ ก.1 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสำหรับสร้างแบบหล่อ 207
ภาพที่ ก.2 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ 210
ภาพที่ ก.3 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ 213
ภาพที่ ก.4 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม 214
ภาพที่ ก.5 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผสมคอนกรีต 217
ภาพที่ ก.6 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวคอนกรีต 219
ภาพที่ ก.7 การแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป. 221
ภาพที่ ก.8 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ 222
ภาพที่ ก.9 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีต
สำเร็จรูป 224
ภาพที่ ก.10 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้ง ชิ้นส่วนผนังคอนกรีต
สำเร็จรูป 226
ภาพที่ ก.11 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 228
ภาพที่ ข.1 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผสมคอนกรีต 231
ภาพที่ ข.2 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผสมโฟม 232
ภาพที่ ข.3 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเทคอนกรีต 234
ภาพที่ ข.4 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาด 235
ภาพที่ ข.5 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา 236
ภาพที่ ข.6 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป 237
ภาพที่ ข.7 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ 240
ภาพที่ ข.8 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา 241

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ ข.9 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา 244
ภาพที่ ค.1 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ 248
ภาพที่ ค.2 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ 250
ภาพที่ ค.3 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม 251
ภาพที่ ค.4 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ 254
ภาพที่ ค.5 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ 255
ภาพที่ ค.6 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ 258

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสังคมโลกในปัจจุบันอย่างรุนแรงและต่อเนื่อง สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อน คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่มากเกินระดับสมดุลซึ่งมีต้นเหตุมาจากกิจวัตรประจำวันของมนุษย์ ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ที่ระบุว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ พฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่ใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานอย่างสิ้นเปลืองเกินความจำเป็น ได้แก่ การใช้พลังงานในด้านเกษตรกรรม, อุตสาหกรรม, การขนส่ง และการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ รวมถึงกิจกรรมก่อสร้างด้วย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [อบก.], 2553)

ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เริ่มชัดเจนขึ้นทำให้มนุษย์ตระหนักถึงแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainability) รวมถึงแนวคิดการใช้ทรัพยากรเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อนำทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมาใช้พัฒนาคุณภาพชีวิตของมนุษย์ให้มีมาตรฐานคุณภาพชีวิตที่ดีโดยไม่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมด้อยประสิทธิภาพหรือส่งผลกระทบต่อคนรุ่นหลัง สำนักงานโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nation Environment Programme: UNEP) ร่วมกับองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorogical Organization: WMO) จึงได้จัดตั้งคณะกรรมการ IPCC ขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประยุกต์มาตรฐานสากลขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้แก่ ISO 14040 และ ISO 14044 มาใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อเป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น ต่อมาได้ถูกพัฒนาเป็นแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพรินต์ (Carbon Footprint) การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะมุ่งเน้นที่การนำผลลัพธ์ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ก่อนและหลังการดำเนินการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ (Benchmarking)

แนวคิดการเปรียบเทียบผลต่างของคาร์บอนฟุตพรินต์เป็นพื้นฐานของกลไกการพัฒนาที่สะอาดซึ่งเป็นกลไกยืดหยุ่นประเภทหนึ่งที่กำหนดขึ้นภายใต้พิธีสารเกียวโต กลไกนี้เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่างประเทศในกลุ่มภาคผนวกที่ I หรือประเทศที่พัฒนาแล้ว (Annex I Countries) และ

ประเทศในกลุ่มนอกภาคผนวกที่ I หรือประเทศกำลังพัฒนา (Non-Annex I Countries) ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย ผู้ดำเนินโครงการจะได้รับเครดิตที่เรียกว่า คาร์บอนเครดิต (Certified Emission Reductions: CERs) โดย CERs สามารถนำไปหักลบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกลุ่มภาคผนวกที่ I ได้ ประเทศกลุ่มนี้จึงมีความต้องการซื้อ CERs เพื่อให้สามารถบรรลุพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามที่กำหนดไว้ในพิธีสารเกียวโตและช่วยให้ประเทศในกลุ่มนอกภาคผนวกที่ I สามารถบรรลุการพัฒนาที่ยั่งยืนได้และได้รับผลตอบแทนในทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีขึ้นในรูปแบบของโครงการพัฒนาที่สะอาดอีกด้วย (อบก., 2554ก)

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่ถูกพัฒนาจากมาตรฐานสากล ISO 14040 และ ISO 14044 ที่ได้รับการยอมรับและเผยแพร่มากที่สุด คือ แนวทางการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพรินต์ตามหลักมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (Publicly Available Specification: PAS 2050) ซึ่งใช้สำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ (Greenhouse Gas Protocol, 2011) ในเวลาต่อมาประเทศต่างๆได้พัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์โดยประยุกต์ใช้มาตรฐานการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ข้างต้นและปรับเปลี่ยนข้อกำหนดรวมถึงค่าสัมประสิทธิ์บางชนิดให้สอดคล้องกับภูมิประเทศของประเทศเหล่านั้น เช่นเดียวกับประเทศไทยที่ได้ประยุกต์ใช้มาตรฐานสากล ISO 14040 และ PAS 2050 ในการพัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผลิตภัณฑ์ขึ้น อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังไม่เคยมีการพัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับวัสดุและกิจกรรมในงานก่อสร้าง

1.2 ความสำคัญของปัญหา

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่ามีข้อจำกัดมากมายในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกิจกรรมในงานก่อสร้าง แต่ละงานวิจัยมีการกำหนดรายละเอียดและขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการก่อสร้างที่แตกต่างกัน เช่น บางงานวิจัยจะพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานเครื่องจักร และการขนส่งวัสดุและเครื่องจักร แต่บางงานวิจัยจะไม่พิจารณาปัจจัยดังกล่าว (Jiamvoraphong, 2012) นอกจากนั้นการศึกษาองค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากงานวิจัยในอดีตพบว่ายังมีองค์ประกอบสำคัญหลายประการที่ยังมิได้ถูกพิจารณา ได้แก่ คาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างสินค้าทุนประเภทเครื่องมือเครื่องจักร ฯลฯ ตรงข้ามกับความต้องการใช้เครื่องมือเครื่องจักรก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้งานวิจัยบางส่วนยังชี้ให้เห็นว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ยังมีข้อผิดพลาดบางประการที่ทำให้เกิดการมองข้ามสิ่งนำเข้า (Input) บางชนิดหรือที่เรียกว่า “Truncation error” (Limmeechokchai และ Suksuntornsiri, 2007)

การกำหนดความแตกต่างขององค์ประกอบที่จะพิจารณาจะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า LCI สามารถจำแนกได้ 3 วิธี ได้แก่ Process Life Cycle Assessment (P-LCA) ซึ่งใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบงาน (Work breakdown structure) ในการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหา Truncation error วิธี Input-Output Analysis (IOA) ใช้แนวคิดการวิเคราะห์ความต้องการทางเศรษฐกิจเพื่อเปลี่ยนเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้สามารถประเมินวัฏจักรชีวิตได้อย่างครอบคลุม อย่างไรก็ตามวิธีทั้งสองยังคงมีข้อจำกัดอยู่จึงทำให้มีการพัฒนาแนวคิด Hybrid LCA ซึ่งเป็นการรวมสองวิธีแรกเข้าด้วยกันเพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธี อนึ่งขั้นตอนและรายละเอียดของแนวคิด Hybrid LCA ยังไม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่สามารถแก้ไขข้อจำกัดจากการมองข้ามองค์ประกอบสำคัญได้โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของวิธี Hybrid LCA เพื่อขยายขอบเขตการประเมินให้ครอบคลุมองค์ประกอบสำคัญที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์มากขึ้น

รายงานของ IPCC ระบุว่าอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มอุตสาหกรรมหลักของภาคการผลิตมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ในปริมาณมาก (Jiamvoraphong, 2012) เหตุผลข้างต้นบ่งชี้ว่าชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งมีปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลักสมควรได้รับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เนื่องจากเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีแนวโน้มที่จะมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Burnett (2006) ซึ่งระบุว่างานก่อสร้างผนังมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับงานก่อสร้างประเภทอื่น นอกจากชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแล้วเทคโนโลยีการก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นทำให้ผนังอาคารหลายชนิดถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นตัวเลือกให้ผู้บริโภคเลือกใช้ตามความต้องการและความเหมาะสมของงาน เช่น อิฐมวลเบา รวมถึงอิฐมอญซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมอย่างมากในอดีต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิเคราะห์วัสดุผนังในงานก่อสร้าง 3 ชนิดข้างต้นมาเป็นเป้าหมายในการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพรินต์

ด้วยเหตุนี้การศึกษารายละเอียดการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับผนังอาคารจึงมีความสำคัญ เนื่องจากผนังอาคารมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับกิจกรรมก่อสร้างอื่น ระบบที่พัฒนาขึ้นจะมุ่งเน้นการขยายขอบเขตการวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริงที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารซึ่งครอบคลุมองค์ประกอบสำคัญต่างๆที่ต้องพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ โดยมุ่งเน้นการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างสินค้าทุนประเภทเครื่องมือเครื่องจักร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด งานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผนังอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

(1) ศึกษาเฉพาะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปการคาร์บอนฟุตพรินต์เท่านั้น

(2) ครอบคลุมการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ

(3) ครอบคลุมการประเมินตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การขนส่งวัสดุมายังหน่วยงานผลิต การสร้างผนังอาคาร การขนส่งผนังอาคารไปยังโครงการก่อสร้าง และการติดตั้งผนังอาคารรวมถึงช่วงการกำจัดเศษซากของสิ่งนำเข้าดังแสดงในภาพที่ 1.1

(4) ศึกษาเฉพาะรายละเอียดของขั้นตอนและกระบวนการผลิตผนังอาคารจากหน่วยงานผลิต 3 หน่วยงาน และรายละเอียดของขั้นตอนและกระบวนการติดตั้งผนังอาคารจากโครงการก่อสร้าง 3 โครงการ

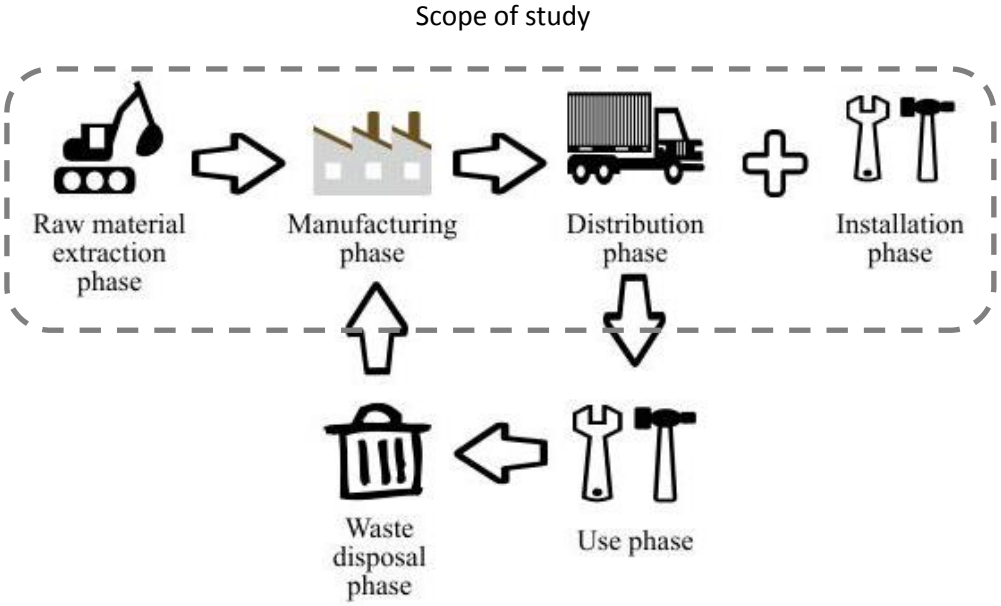
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการของงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ได้แก่

(1) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ เพื่อศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับงานวิจัย โดยรวบรวมจากวิทยานิพนธ์ บทความทางวิชาการ หนังสือเรียน และเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากนั้นสรุปความรู้และทฤษฎีที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและนำข้อสรุปที่ได้มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร

(2) เลือกกรณีศึกษาสำหรับศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ได้แก่ หน่วยงานผลิตผนังอาคารและโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคาร



ภาพที่ 1.1 ขอบเขตของงานวิจัย

(3) ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร โดยใช้ผลการศึกษาจากทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นแนวทางขั้นต้น จากนั้นวิเคราะห์สิ่งนำเข้าในแต่ละขั้นตอนเพื่อประยุกต์และจัดทำแนวทางการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับผนังอาคาร จากนั้นสร้างผังการไหลของกระบวนการ (Process Flow) และวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

(4) เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) จากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต และข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) จากหน่วยงานผลิตผนังอาคารและโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคาร ผู้วิจัยจะเข้าพบผู้มีประสบการณ์ที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการผลิตและติดตั้งผนังอาคารเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งนำเข้า และสิ่งนำออก (Output) ที่ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ โดยกำหนดขอบเขตตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การขนส่งวัสดุมายังหน่วยงานผลิต การสร้างผนังอาคาร การขนส่งผนังอาคารไปยังโครงการก่อสร้าง การติดตั้งผนังอาคาร และการกำจัดเศษซากของสิ่งนำเข้าจากขั้นตอนการผลิตและติดตั้ง

(5) สร้างเทมเพลต (Template) สำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า โดยใช้การจำลอง Spreadsheet (Spreadsheet simulation) ด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel

(6) ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร โดยป้อนข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมจากหน่วยงานผลิตและหน่วยงานติดตั้งผนังอาคารที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษาลงในเทมเพลตที่สร้างขึ้น

(7) วิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร โดยจำแนกการวิเคราะห์ผลลัพธ์ออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์แนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ และการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์โดยการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยในอดีต

(8) สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย ได้แก่ รายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร และผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร รวมถึงระบุข้อจำกัดและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบบางประการที่งานวิจัยในอดีตมองข้ามได้ เช่น คาร์บอนฟุตพรินต์จากสินค้าทุนประเภทเครื่องมือเครื่องจักรก่อสร้าง เป็นต้น ทำให้ได้ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่สะท้อนความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

(2) ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์กับกรณีศึกษาที่เป็นผนังอาคาร 3 ชนิด จะเป็นส่วนช่วยสำหรับผู้ออกแบบในการพิจารณาเลือกใช้ผนังอาคารในงานก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงการวิเคราะห์หาวิธีการที่สามารถลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ และเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อบุคลากรหรือองค์กรที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของประเทศไทย

(3) ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สามารถระบุปัจจัยและขั้นตอนที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุดได้ ผลสรุปในส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยในอนาคตได้ เช่น การศึกษาการใช้วัสดุทดแทน หรือการบริหารจัดการขั้นตอน

(4) ขั้นตอนและรายละเอียดการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นส่วนช่วยให้งานวิจัยในอนาคตสามารถนำไปปรับเปลี่ยนเพื่อใช้ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับวัสดุก่อสร้างหรือกิจกรรมอื่นในงานก่อสร้างได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้นำเสนอประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ได้แก่ นิยามและแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจก นิยามของคาร์บอนฟุตพรินต์ แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ วิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

2.1 ก๊าซเรือนกระจก

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในความหมายตามกรอบอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศที่ทำให้องค์ประกอบของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีสาเหตุหลักจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยปกติรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศและลงมายังผิวโลกจะถูกดูดกลืนไว้โดยธรรมชาติ แหล่งน้ำ พืช สัตว์ และคายรังสีกลับออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยร้อยละ 70 ของรังสีจะถูกดูดซับไว้ที่ชั้นบรรยากาศ เพื่อทำหน้าที่เก็บกักความร้อนภายในชั้นบรรยากาศและรักษาอุณหภูมิโลกให้คงที่ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า “ปรากฏการณ์เรือนกระจก” แต่หากก๊าซเหล่านี้มีปริมาณมากเกินไปการดูดซับรังสีที่คายกลับออกสู่ชั้นบรรยากาศก็จะมากขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนทำได้น้อยลง และอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นจนเกิด “ภาวะโลกร้อน” (อบก., 2554ก)

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าภาวะโลกร้อนหรือสภาวะโลกร้อน หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดจากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในประเภทของ “ก๊าซเรือนกระจก” (Greenhouse Gases: GHG) เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศ การใช้เครื่องจักร และเครื่องยนต์

<u>นิยามของก๊าซเรือนกระจก</u>

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับนิยามของก๊าซเรือนกระจกจากบทความและงานวิจัยในอดีตพบว่านักวิจัยหลายท่านให้คำจำกัดความก๊าซเรือนกระจกในแนวทางเดียวกัน ดังนี้

“ก๊าซเรือนกระจก หมายถึง ก๊าซชนิดต่างๆ ที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และสารประกอบจำพวกฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ ไฮโดรฟลูออโร-คาร์บอน (Hydrofluoro carbon: HFC), เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluoro carbon: PFC) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfurhexa fluoride: SF_6) ก๊าซเหล่านี้ส่วนหนึ่งถูกปล่อยออกสู่

บรรยากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมและกระบวนการเกษตรกรรม” (อบก., 2553)

“ก๊าซเรือนกระจก คือ ส่วนประกอบก๊าซในบรรยากาศทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติและสร้างขึ้นโดยมนุษย์ซึ่งสามารถดูดซับและปล่อยรังสีที่ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงความถี่ของรังสีอินฟาเรดที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นผิวโลก ชั้นบรรยากาศ และก้อนเมฆ” (อบก., 2554ข)

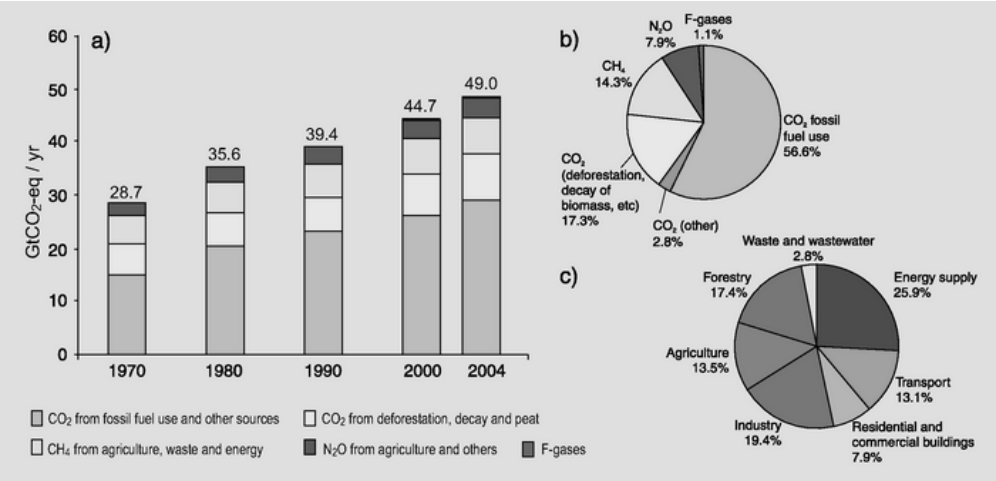
“ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่เมื่อมีก๊าซเหล่านี้ในบรรยากาศมากขึ้นจึงทำให้บรรยากาศโลกจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิด เช่น ไอน้ำ โอโซนถือเป็นกลุ่มก๊าซที่จะก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก เมื่อพิจารณาตามพิธีสารโตเกียวแล้วจะระบุก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญไว้ 6 ชนิด ได้แก่ CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs และ SF_6” (อบก., 2554ค)

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าก๊าซเรือนกระจก หมายถึง ส่วนประกอบของก๊าซที่มีความสามารถในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดที่มีอยู่ในธรรมชาติเองหรือถูกผลิตขึ้นโดยมนุษย์ซึ่งมีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิของโลก พิธีสารเกียวโตอาจจำแนกก๊าซเรือนกระจกได้ 6 ชนิด ได้แก่ CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs และ SF_6 ก๊าซเหล่านี้เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

<u>แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก</u>

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกสามารถจัดหมวดหมู่ได้ดังภาพที่ 2.1 ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.1 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

(Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007)

(1) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการใช้พลังงาน (Energy Supply) คิดเป็นร้อยละ 26 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงสำหรับพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน รวมถึงการรั่วไหลของเชื้อเพลิง

(2) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทต่างๆในกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (Industrial Processes and Product Use) คิดเป็นร้อยละ 19 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับหน่วยงานผลิต การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมทางเคมี และผลิตภัณฑ์ประเภทเหล็กต่างๆ

(3) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และป่าไม้ (Forestry and Other Land Use) คิดเป็นร้อยละ 17 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการตัดไม้ทำลายป่า การทำนา และการจัดการพื้นที่ว่างเปล่า

(4) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการเกษตร (Agriculture) คิดเป็นร้อยละ 14 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการดินสำหรับงานเกษตร, ปศุสัตว์, การผลิตข้าว และการเผาไหม้ชีวมวล

(5) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมการขนส่ง (Transportation) คิดเป็นร้อยละ 13 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งด้วยยานพาหนะรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การขนส่งทางถนน, การขนส่งทางรถไฟ, การขนส่งทางอากาศ และการขนส่งทางน้ำ

(6) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารพาณิชย์และที่อยู่อาศัย (Commercial and Residential Buildings) คิดเป็นร้อยละ 8 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากอาคารพาณิชย์และที่อยู่อาศัย

(7) ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมประเภทการใช้กำจัดของเสีย (Waste) คิดเป็นร้อยละ 3 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจก เช่น การจัดการน้ำเสีย

<u>ค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน</u>

ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนมีศักยภาพทำให้เกิดภาวะโลกร้อนต่างกัน IPCC ได้ศึกษาค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ของก๊าซเรือนกระจกประเภทต่างๆโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับก๊าซประเภทอื่น จากนั้นแปลงให้อยู่ในหน่วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปี (GWP 100 yr) ของ IPCC ตัวอย่างค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (อบก., 2554ค)

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน
CO_2	1
CH_4	25
N_2O	298
CFC-11	4,750
CFC-12	10,900
CFC-13	14,400
HCFC-22	1,810
HCFC-123	77
HCFC-124	609
HFC-23	14,800
HFC-32	675
HFC-125	3,500
HFC-134a	1,430
HFC-143a	4,470
HFC-152a	124
PFC-14	7,390
PFC-116	12,200
CCl_4	1,400
CH_2Br	5
SF_6	22,800

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

หัวข้อนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับนิยามและรายละเอียดของคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยศึกษาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผลิตภัณฑ์ PAS 2050:2011 ควบคู่กับแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยที่จัดทำและเผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

2.2.1 นิยามของคาร์บอนฟุตพรินต์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่าแม้นิยามของคาร์บอนฟุตพรินต์มีหลากหลายแต่มีความหมายไปในแนวทางเดียวกันดังนี้

“คาร์บอนฟุตพรินต์ หมายถึง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากการสร้างผลิตภัณฑ์ควบคู่ไปกับห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์นั้น ในบางครั้งยังหมายรวมถึงการใช้ผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่ และกำจัดเศษซาก” (European Platform on Life Cycle Assessment, 2007)

“คาร์บอนฟุตพรินต์ หมายถึง การวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการประเมินวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การหาวัตถุดิบ การสร้างผลิตภัณฑ์จากโรงงาน และการกำจัดเศษซากผลิตภัณฑ์” (Wiedmann และ Minx, 2008)

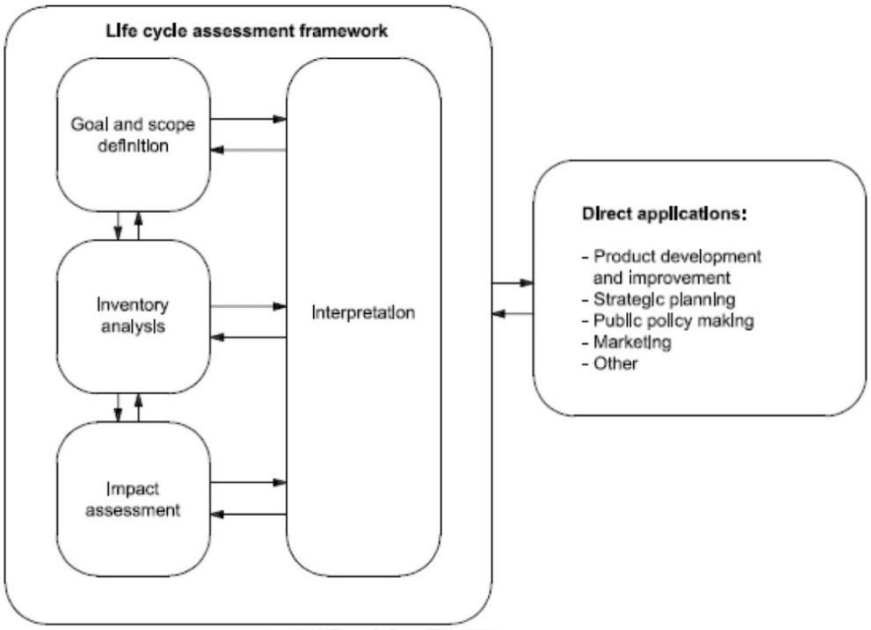
“คาร์บอนฟุตพรินต์ คือ การวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ หรือผลิตภัณฑ์” (Abbott, 2008)

จากการศึกษานิยามของคาร์บอนฟุตพรินต์ในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ คือ การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆที่ปล่อยออกมาในช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การใช้งาน จนถึงการกำจัดซาก โดยจะแสดงผลในหน่วยน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ใช้แนวคิดเดียวกับกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งแนวคิดดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นโดยประยุกต์ใช้มาตรฐานสากล ISO 14040 และ ISO 14044 ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อจุดประสงค์ในการประเมินผลกระทบของสิ่งแวดล้อม

2.2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต

คำนิยามขององค์กรมาตรฐานสากล ISO 14040 ให้นิยามว่าการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ “เทคนิคการประเมินลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspects) และโอกาสของการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Potential Environmental Impacts) ของผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินค่าของปัจจัยการผลิตและสารขาออก รวมถึงการแปลผลของการวิเคราะห์รายการผลิตภัณฑ์ (Inventory Analysis) และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment)” (ชลิตา สุวรรณ, 2553) โดยมาตรฐานสากล ISO 14040 ระบุว่าขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อย่อยๆ ได้แก่ การกำหนดวัตถุประสงค์, หน่วยการทำงาน (Functional Unit), ขอบเขตของระบบ (System Boundary), สมมติฐาน รวมถึงข้อจำกัดในการประเมินวัฏจักรชีวิต



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนและความสัมพันธ์ของกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต
(ISO 14040, 2006 ; ชลิตา สุวรรณ, 2553)

(2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory analysis: LCI) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอน ได้แก่ วัตถุดิบ, ทรัพยากร, พลังงานที่ใช้, ปริมาณน้ำ และสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมพร้อมสารขาออก

(3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle impact Assessment: LCA) มีเป้าหมายเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น โดยจำแนกข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เป็นกลุ่มผลกระทบ (Classification) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จากนั้นจึงประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละกลุ่ม (Characterization) เพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบของแต่ละสิ่งนำเข้า

(4) การแปรผล (Interpretation) ทำได้โดยใช้ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการในขั้นตอนที่ 2 และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนที่ 3 เพื่อวิเคราะห์ผล ประเมินหาข้อสรุปและข้อเสนอแนะ รวมถึงจัดทำรายงานผลการศึกษาให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เมื่อได้ข้อสรุปจากการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแล้ว ผู้ทำการวิจัยสามารถสรุปผลและสามารถระบุขั้นตอนที่มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (Hot Spots) เพื่อหาวิธีลดผลกระทบและนำไปสู่การปรับปรุงโดยหาวัสดุทดแทน

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ชลิตา สุวรรณ, 2553)

กลุ่มผลกระทบ	ความหมาย
Abiotic Depletion Potential	ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาตที่ใช้แล้วหมดไปลง
Global Warming Potential	ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
Ozone Depletion Potential	ศักยภาพที่ทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง
Human Toxicity Potential (HTP)	ศักยภาพการก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์
Aquatic/ Terrestrial Ecotoxicity	ศักยภาพการก่อให้เกิดพิษต่อระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ
Acidification Potential (AP)	ศักยภาพในการก่อให้เกิดฝนกรด
Photochemical Oxidation	ศักยภาพในการเกิดออกซิเดชัน เนื่องจากปฏิกิริยาแสง - เคมี
Nutrification Potential (NP)	ศักยภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

ต่อมาสหราชอาณาจักรได้มีการพัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์หรือที่เรียกว่าแนวทางการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพรินต์ตามหลักมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (PAS 2050) แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงแนวคิดพื้นฐานจากมาตรฐานสากล ISO 14040, ISO 14044 แนวทางการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพรินต์ PAS 2050 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักซึ่งแบ่งออกเป็นกระบวนการย่อยทั้งสิ้น 15 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.3 แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ PAS 2050:2011 ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายและถูกประยุกต์ใช้เป็นแนวทางหลักในการพัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของประเทศต่างๆ มาตรฐานการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของประเทศไทยซึ่งจัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทยและปรับเปลี่ยนข้อกำหนดของแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ PAS 2050:2011 ให้เข้ากับข้อกำหนดทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทย จากนั้นจึงเรียบเรียงและสรุปเป็นคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ PAS 2050:2011 จำแนกแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการและกิจกรรมออกเป็น 8 กลุ่ม ได้แก่

(1) การจัดหาวัตถุดิบจากกระบวนการและกิจกรรมระหว่างการจัดหาวัตถุดิบ

(2) การใช้พลังงานของเครื่องจักร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักร

(3) กระบวนการผลิต เช่น ก๊าซเรือนกระจกจากปฏิกิริยาเคมี และการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดขอบเขต	1.1	อธิบายผลิตภัณฑ์เป้าหมาย และหน่วยที่ใช้ประเมิน
	1.2	สร้างแผนภาพการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์เป้าหมายตลอดวัฏจักรชีวิต
	1.3	กำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา
	1.4	ลำดับความสำคัญของกิจกรรมที่ต้องเก็บข้อมูล
ขั้นตอนที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	2.1	สร้างแผนภาพการเก็บข้อมูล
	2.2	ติดต่อผู้จัดส่งวัตถุดิบ เพื่อเก็บข้อมูลกิจกรรม
	2.3	เก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	2.4	ตรวจสอบและประเมินคุณภาพข้อมูล
ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณคาร์บอน-ฟุตพรินต์	3.1	รวบรวมข้อมูลกิจกรรม และบันทึกในรูปหน่วยงาน (Functinal unit)
	3.2	แปลงข้อมูลกิจกรรมให้อยู่ในรูปคาร์บอนฟุตพรินต์เทียบเท่า
	3.3	ตรวจสอบการคำนวณ และบันทึกแหล่งที่มาของข้อมูล และสมมติฐานที่ประยุกต์
ขั้นตอนที่ 4 การแปรผลลัพธ์ของคาร์บอน-ฟุตพรินต์ และการลดคาร์บอน-ฟุตพรินต์	4.1	ระบุสาเหตุสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	4.2	ทดสอบความอ่อนไหว (Sensitivity analysis)
	4.3	ระบุโอกาสในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	4.4	รับรองความโปร่งใสของข้อมูล เพื่อสื่อสารต่อผู้เกี่ยวข้อง

ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของ PAS 2050: 2011 (Jiamvoraphong, 2012)

(4) การดำเนินงานภายในสถานที่ เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่าง เชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบทำความร้อน การรั่วไหลของสารทำความเย็นที่ใช้ในสถานที่ดำเนินงาน

(5) การขนส่ง ได้แก่ การขนส่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิตครอบคลุมตั้งแต่การขนส่งทางถนน ระบบราง ทางน้ำ และทางอากาศ การขนส่งในสถานที่

(6) การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบ ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงในกระบวนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบ เช่น ระบบส่องสว่าง

(7) ปัจจัยที่ใช้ในระหว่างการใช้งานผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้งาน

(8) การสิ้นสุดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ เช่น การฝังกลบ การแปรรูปผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ PAS 2050:2011 ได้ระบุองค์ประกอบของที่จะไม่พิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสิ้น 4 องค์ประกอบ ได้แก่

(1) คาร์บอนฟุตพรินต์จากสินค้าทุน (Capital Goods) ที่มีอายุการใช้งานเกิน 1 ปี

(2) คาร์บอนฟุตพรินต์จากพลังงานของมนุษย์ในกระบวนการต่างๆ

(3) คาร์บอนฟุตพรินต์จากการเดินทางไปกลับของลูกค้า ณ จุดขายปลีก

(4) คาร์บอนฟุตพรินต์จากการเดินทางของพนักงาน

<u>ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์</u>

วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ช่วงได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ, การผลิตและขนส่ง, การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการหลังการใช้งาน ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1) วัตถุดิบ คำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์จากทุกกระบวนการที่มีการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน และการกำจัดของเสียของวัตถุดิบ

2) พลังงาน ที่ใช้ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของการจัดหาวัตถุดิบ ครอบคลุมถึงช่วงการได้มาซึ่งพลังงานด้วย ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน

3) การขนส่ง ครอบคลุมตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบ เครื่องมือเครื่องจักร แรงงาน ที่จำเป็นในการจัดหาวัตถุดิบ ความสำคัญของข้อมูลเรียงตามลำดับ คือ ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิง และข้อมูลระยะทางการขนส่ง

(2) ช่วงการผลิตและขนส่ง

1) สินค้าทุน ได้แก่ เครื่องมือเครื่องจักรถูกนำมาประเมินโดยใช้หลักการปันส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตสินค้าทุน

2) การใช้พลังงานสำหรับปฏิบัติงานในพื้นที่ผลิต ได้แก่ ระบบแสงสว่าง, ระบบทำความเย็นและความร้อน หรือระบบระบายอากาศ ในขั้นตอนการผลิต

3) ช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ระบบแสงสว่าง ระบบทำความเย็นและความร้อน ระบบระบายอากาศ ที่ใช้ในช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์

(3) ช่วงหลังการใช้งาน

กรณีที่ไม่มีข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลการกำจัดซากที่ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในช่วงกำจัดซากผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้โดยใช้การคูณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) จากการกำจัดซากด้วยวิธีการฝังกลบกับข้อมูลน้ำหนักของเศษซาก

2.2.3 แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ได้จัดทำเอกสารแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ เพื่อกำหนดแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งพัฒนามาจากมาตรฐานสากล ISO 14040 และ PAS 2050:2011

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์นำเสนอกระบวนการหลักในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 4 ขั้นตอน เช่นเดียวกับหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ระบุไว้ในมาตรฐานสากล ISO 14040 (ISO 14040, 2006) ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบ และการแปรผล แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกได้เพิ่มเติมรายละเอียดสำหรับการพิจารณาขอบเขตการประเมินดังนี้

<u>ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์</u>

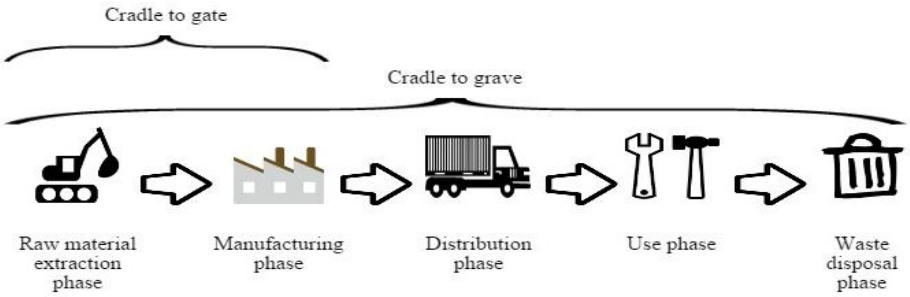
ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท โดยสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) Cradle to Gate (Business to Business) มีขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ช่วงการผลิต และช่วงการขนส่งไปยังหน่วยงาน แต่ไม่พิจารณาช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์และช่วงการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์

(2) Cradle to Grave (Business to Customer) มีขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ช่วงการผลิต ช่วงการขนส่งไปยังหน่วยงาน ช่วงการใช้งาน ตลอดจนช่วงการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์หรือการกำจัดเศษซาก

<u>แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก</u>

เนื่องจากเอกสารแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ถูกพัฒนาขึ้นจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ PAS 2050: 2011 การระบุแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจึงมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยจำแนกออกเป็น 9 ชนิด ได้แก่



ภาพที่ 2.4 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต

(1) การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ทุกประเภท

(2) การผลิตพลังงานที่ใช้ทุกประเภท

(3) กระบวนการเผาไหม้

(4) ปฏิกิริยาเคมี

(5) การสูญเสียน้ำยาทำความเย็น และการรั่วไหลของก๊าซ

(6) การปฏิบัติงาน

(7) การขนส่งทุกประเภทที่เกี่ยวข้อง

(8) การปศุสัตว์ และกระบวนการผลิตทางการเกษตรอื่นๆ

(9) ของเสียจากกระบวนการกำจัดของเสีย

อย่างไรก็ตามเอกสารแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ได้ระบุองค์ประกอบของกระบวนการและกิจกรรมที่จะไม่พิจารณาในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 5 องค์ประกอบ ได้แก่ (อบก., 2554ค)

(1) พลังงานของมนุษย์ที่ใช้สำหรับกระบวนการต่างๆ

(2) การเดินทางไป-กลับของลูกค้า ณ จุดขายปลีก

(3) สินค้าทุน สำนักงาน การวิจัยและพัฒนา การควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ

(4) การเดินทางไปของพนักงานทั้งไปและกลับจากที่ทำงาน

(5) การบริการขนส่งโดยใช้สัตว์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ช่วงได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ, การผลิตและขนส่ง, การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการหลังการใช้งาน ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

(1) วัตถุดิบ คำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์จากทุกกระบวนการที่มีการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน และการกำจัดของเสียของวัตถุดิบ

(2) พลังงาน ที่ใช้ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของการจัดหาวัตถุดิบ ครอบคลุมถึงช่วงการได้มาซึ่งพลังงานด้วย ได้แก่พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน

(3) การขนส่ง ครอบคลุมตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบ เครื่องมือเครื่องจักร แรงงาน ที่จำเป็นในการจัดหาวัตถุดิบ ความสำคัญของข้อมูลเรียงตามลำดับได้แก่ ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิง และข้อมูลระยะทางการขนส่ง

ช่วงการผลิตและขนส่ง

(1) สินค้าทุน จำพวกเครื่องมือเครื่องจักรถูกนำมาประเมินโดยใช้หลักการปันส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตสินค้าทุน

(2) การใช้พลังงานสำหรับปฏิบัติงานในพื้นที่ ได้แก่ระบบแสงสว่าง, ระบบทำความเย็นความร้อน หรือระบบระบายอากาศที่เกิดที่สถานที่ทำงานนั้นๆ

ช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์

การใช้พลังงานสำหรับปฏิบัติงานในพื้นที่ ได้แก่ระบบแสงสว่าง ระบบทำความเย็นความร้อน ระบบระบายอากาศ ที่ใช้ในช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์

ช่วงหลังการใช้งาน

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของช่วงนี้ จำเป็นต้องวิเคราะห์ในช่วงกำจัดซากผลิตภัณฑ์ หากไม่มีข้อมูลปฐมภูมิสามารถคำนวณได้โดยใช้การคูณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดซากด้วยวิธีการฝังกลบ

2.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นขั้นตอนหนึ่งในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาชนิดของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกจากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมสามารถ

จำแนกได้ 3 วิธี ได้แก่ Process Life Cycle Assessment (P-LCA), Input-Output Analysis (IOA) และ Hybrid LCA ซึ่งเป็นวิธีที่รวมสองวิธีแรกเข้าด้วยกันเพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธี (Melissa, 2007) รายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังต่อไปนี้

2.3.1 Process Life Cycle Assessment (P-LCA)

เป็นขั้นตอนหนึ่งของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพัฒนาขึ้นโดยใช้แนวคิดจากมาตรฐานสากล ISO 14040 มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สิ่งนำเข้ากระบวนการ และสิ่งนำออก อันเป็นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผังการไหลของกระบวนการ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธี IOA เนื่องจากดำเนินการเก็บรวบรวมและคำนวณจากข้อมูลปฐมภูมิเป็นหลัก

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์โดยวิธี P-LCA มีหลักการประเมินดังต่อไปนี้

- การใช้ข้อมูลกิจกรรม (Activity data) ที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการผลิตและดำเนินการเก็บรวบรวมด้วยตนเองคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของข้อมูลกิจกรรม

- แปลงปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในข้างต้นให้อยู่ในรูปกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ทำได้โดยการนำผลลัพธ์จากข้อหนึ่งคูณกับค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนตามชนิดของก๊าซ

- กรณีที่ไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้าบางชนิดจากฐานข้อมูลได้ จะอนุโลมให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันมาใช้ในการประเมินแทน และกรณีที่ไม่สามารถจำแนกหรือพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ได้อนุโลมให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าสูงสุดของกลุ่มนั้นมาคำนวณ

- กรณีที่ผลลัพธ์มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ของปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ผู้วิจัยสามารถตัดรายการดังกล่าวออกได้เนื่องจากถือว่าไม่มีนัยสำคัญในการประเมิน เมื่อตัดรายการออกแล้วให้ทำการเพิ่มสัดส่วนปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ทุกรายการให้กลับมาเท่ากับร้อยละ 100

ความแตกต่างด้านภูมิประเทศและภูมิอากาศส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเทศไม่เท่ากัน การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าหลายงานวิจัย

เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพื้นที่นั้นๆโดยเฉพาะ (State-Dependent Factors) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากการประเมินที่น่าเชื่อถือมากที่สุด (Padgett และคนอื่นๆ, 2008)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA จะใช้ฐานข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลายแหล่ง ได้แก่ IPCC default value, National Research, Literature Review และ International driver ฐานข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้เป็นตัวเลือกฐานข้อมูลเฉพาะพื้นที่หรือภูมิประเทศของประเทศไทย องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกได้รวบรวมข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์กรต่างๆ ในระดับประเทศรวมถึงวารสารที่ได้รับการยอมรับและตีพิมพ์ เช่น IPCC และ Thai National Database มาศึกษาและสรุปเพื่อจัดทำเอกสารสรุปค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในประเทศไทยโดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ต้นปี 2557 เป็นต้นมา (อบก., 2554ง)

2.3.2 Input-Output Analysis (IOA)

Wassily Leontief นักเศรษฐศาสตร์ชาวรัสเซียได้พัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ซึ่งใช้ในการแสดงสัดส่วนความสัมพันธ์ของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระบบเศรษฐกิจ โดยใช้แนวคิดที่ว่ากระบวนการผลิตสินค้าหรือบริการแต่ละประเภท จำเป็นต้องใช้สินค้าและบริการประเภทต่างๆมาเป็นสิ่งนำเข้าของกระบวนการผลิต ขณะที่ผลผลิตหรือสิ่งนำออกของแต่ละสาขาจะถูกนำไปใช้เพื่อสนองความต้องการในการบริโภคขั้นสุดท้ายของระบบเศรษฐกิจ (Final Demand) นอกจากนี้ความต้องการในการบริโภคขั้นสุดท้ายบางส่วนถูกนำไปใช้เป็นปัจจัยการผลิตขั้นกลาง (Intermediate Input) เพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตสินค้าและบริการประเภทอื่น วิธี IOA เป็นวิธีที่ประยุกต์ใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับข้อมูลการใช้ทรัพยากร โดยวิธี IOA ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถประเมินได้ครอบคลุมทั้งผลกระทบทางตรงและผลกระทบทางอ้อม ยกตัวอย่างเช่น การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทางตรงของเครื่องจักรจะหมายรวมถึงวัตถุดิบสำหรับผลิตเครื่องจักร ในทางตรงกันข้ามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอ้อมหมายถึงผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการสร้างวัตถุดิบสำหรับเครื่องจักร

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี IOA มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) สร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตและผลผลิต “L” (Leontief’s inverse matrix)

(2) สร้างเมตริกซ์ความเข้มข้นของพลังงาน (Energy Intensity) โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจซึ่งอยู่ในหน่วยพันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (Kilo Tonne of oil equivalent: ktoe) ให้อยู่ในหน่วยความร้อนระบบอังกฤษ (British Thermal Unit: BTU) จากนั้นจึง

คูณด้วยเมตริกซ์ L และหารด้วยมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ซึ่งอยู่ในหน่วยบาท ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในหน่วยพลังงาน BTU ต่อมูลค่า 1 บาท

(3) การจำแนกประเภทของสิ่งนำเข้าให้เหมาะสมกับสาขาเศรษฐกิจ จากผลลัพธ์ข้อ 1) และ 2) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการขั้นสุดท้าย (y) จะส่งผลต่อผลรวมความต้องการทั้งหมดของแต่ละสาขา (x) ไล่ย้อนจนอนันต์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง y จะหมายถึงราคาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบบจำลอง augmented process-based ได้ระบุปัจจัยที่จะถูกนำมาคำนวณด้วยวิธี IOA ได้แก่ วัสดุชั่วคราว เครื่องมือเครื่องจักร และสิ่งนำเข้าที่ไม่สามารถใช้ P-LCA ในการประเมินได้ เช่น ตู้เชื่อมมูลค่า 21,990 บาท (y) ถูกจำแนกอยู่ในสาขาเศรษฐกิจที่ 115 หรือกลุ่มสาขาเศรษฐกิจ “Manufacturing” ซึ่งเป็นสาขาที่อยู่อันดับสาม

(4) การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ทำได้โดยคูณเมตริกซ์ความเข้มข้นของพลังงาน (BTU/ baht) กับเมตริกซ์ผลรวมความต้องการขั้นสุดท้ายของแต่ละสาขา (y) ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปความต้องการใช้พลังงานในการสร้างผลิตภัณฑ์ของแต่ละสาขา จากนั้นนำผลลัพธ์ไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานในหน่วย BTU ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.1097×10^{-5} $kgCO_2e$/ BTU ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จะอยู่ในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของแต่ละสาขาเศรษฐกิจ ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของทุกสาขาเศรษฐกิจ

ข้อมูลทุติยภูมิที่จำเป็นต้องศึกษาและนำมาใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ประกอบด้วยฐานข้อมูลสองประเภท ได้แก่ ข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output table: I-O Table) และข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ (Final Energy Consumption by Economic Sectors) การเลือกใช้ข้อมูลทุติยภูมิเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณา เนื่องจากความแตกต่างของข้อมูล I-O table ของแต่ละประเทศจะสะท้อนให้เห็นความแตกต่างของความต้องการใช้ปัจจัยการผลิตขั้นต้น, ขั้นกลาง และความต้องการขั้นสุดท้าย เช่นเดียวกับข้อมูลการใช้พลังงานประจำปีในแต่ละประเทศ

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมแต่ละวิธีที่ได้นำเสนอไปข้างต้นมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดที่เหมือนและแตกต่างกันออกไป ข้อแตกต่างที่ชัดเจนที่สุด คือ ข้อจำกัดเรื่องการมองข้ามสิ่งนำเข้าบางชนิดของวิธี P-LCA จะมีผลกระทบต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์มาก ในทางตรงข้ามวิธี IOA ที่มีขอบเขตการประเมินครอบคลุมทั้งระบบเศรษฐกิจนั้นจะทำให้ข้อจำกัดด้านนี้หมดไป อย่างไรก็ตามการใช้วิธี IOA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์สองชนิดที่อยู่ในกลุ่มสาขาเศรษฐกิจเดียวกันพบว่าผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองจะ

มีกระบวนการผลิตแตกต่างกัน **ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้วิธี IOA จะไม่สามารถระบุค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์เฉพาะได้**

2.3.3 Hybrid Life Cycle Assessment

การเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้กล่าวไปแล้ว คือ วิธี P-LCA และ วิธี IOA มีขอบเขตการประเมินและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน นักวิจัยจึงพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่สามารถลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีซึ่งเป็นการรวมวิธี P-LCA และ วิธี IOA เข้าด้วยกันเพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีเรียกว่า “Hybrid Life Cycle Assessment” หรือ Hybrid LCA (Acquaye, Duffy และ Basu, 2008) ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 วิธี

การประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยวิธี Hybrid LCA จำแนกเป็น 4 แบบ ได้แก่ Tiered, Input-output based, Integrated และ Augmented process-based ซึ่ง Hybrid LCA ทุกรูปแบบเป็นการรวมวิธี P-LCA และ IOA แต่จะแตกต่างกันที่อัตราการใช้วิธี P-LCA และ IOA เช่น รูปแบบ Tiered hybrid จะใช้วิธี IOA เป็นวิธีหลักตรงกันข้ามกับรูปแบบ Augmented process-based ซึ่งใช้วิธี P-LCA เป็นหลัก โดยแต่ละแบบมีรายละเอียดดังนี้

Tiered hybrid ถูกพัฒนาโดย Clark, Peter และ David (1978) แบบจำลองนี้ใช้วิธี IOA เป็นวิธีหลักในการประเมินวัฏจักรชีวิต แบบจำลองนี้จึงมีข้อเสียของวิธี IOA คือ ผลลัพธ์จากการประเมินจะเป็นค่าประมาณ โดยขอบเขตการประเมินจะครอบคลุมตั้งแต่การประเมินการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและการใช้พลังงานไฟฟ้า การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถคำนวณได้จากผลคูณของมูลค่าสินค้าและความเข้มข้นพลังงาน (Energy Intensity) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในประเทศเบื้องต้น (Gross Domestic Product: GDP) แบบจำลองนี้เริ่มต้นจากการวิเคราะห์และแยกย่อยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ จากนั้นจำแนกชนิดขององค์ประกอบให้ตรงกับกลุ่มสาขาเศรษฐกิจเพื่อใช้ในการคำนวณความต้องการใช้พลังงานสำหรับสร้างสิ่งนำเข้า (Clark, Peter และ David, 1978 อ้างถึงใน Melissa, 2007)

Input-output based hybrid แบบจำลองนี้สามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทเรียกว่า Model II, Model III และ Model IV (Satish, 2000 อ้างถึงใน Melissa, 2007) เนื่องจาก Model I จะไม่มีลักษณะเป็น Hybrid LCA จึงขอไม่กล่าวถึง สำหรับ Model II เหมาะสำหรับประเมินผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกจำแนกเข้าหมวดหมู่ใดๆของสาขาเศรษฐกิจ ส่วน Model III ใช้หลักการปรับเปลี่ยนเมตริกซ์ค่า

สัมประสิทธิ์การผลิต (Technical Coefficient Matrix) และ Model IV ใช้หลักการขยายขนาดของ Technical Matrix และ Environmental Matrix เพื่อสร้างเป็นสาขาเศรษฐกิจใหม่ แบบจำลองประเภทนี้จะใช้วิธี IOA เป็นหลักในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมทำให้ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์น้อยกว่าแบบจำลองประเภทอื่นที่ใช้วิธี P-LCA เป็นหลัก

Integrated hybrid ถูกพัฒนาโดย Suh และคนอื่นๆ (2003) ซึ่งเป็นการใช้วิธี P-LCA ควบคู่กับ IOA ข้อมูลกิจกรรมสำหรับวิธี P-LCA จะแสดงในรูปเมตริกซ์ซึ่งเป็นหน่วยทางกายภาพต่อหน่วยเวลาขณะที่หน่วยของวิธี IOA จะเป็นหน่วยมูลค่า จากนั้นรวมข้อมูลทั้งสองวิธีให้อยู่ในเมตริกซ์เดียวกัน ข้อดีของแบบจำลองนี้ คือ สามารถวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตได้อย่างครอบคลุม แต่มีข้อเสีย คือ มีความซับซ้อนของข้อมูลมากเพราะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังใช้เวลาในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลนาน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Melissa, 2007 ; Suh และคนอื่นๆ, 2003)

		ข้อดี	ข้อจำกัด
Process LCA		o วิเคราะห์เป้าหมายได้อย่างละเอียด	o ขอบเขตการประเมินครอบคลุมบางส่วนเท่านั้น
		o เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ได้	o ใช้เวลาในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลมาก
		o สามารถพัฒนาระบบเป้าหมายได้	o เป็นข้อมูลเฉพาะในบางหน่วยงาน
I-O analysis		o ขอบเขตการประเมินครอบคลุมทั้งระบบเศรษฐกิจ	o กระบวนการของระบบไม่ได้รับการศึกษาทำให้ไม่มีความเข้าใจในระบบผลิตภัณฑ์อย่างถ่องแท้
		o ข้อมูลที่ต้องใช้ได้รับการรวบรวมและเผยแพร่จากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ	o ไม่สามารถวิเคราะห์วัสดุที่เฉพาะเจาะจงได้ แต่สามารถหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มวัสดุนั้นได้
		o สามารถทำการคำนวณซ้ำได้	o ขอบเขตการวิเคราะห์ไม่ครอบคลุมช่วงการใช้งานและช่วงสิ้นสุดวัฏจักรชีวิต
Hybrid LCA	Tiered hybrid	o สามารถประยุกต์ใช้ได้ง่าย ต้องการข้อมูลน้อย	o เนื่องจากใช้วิธี IOA ในการวิเคราะห์เป็นหลักทำให้มีข้อจำกัดด้านผลลัพธ์ที่เป็นค่าเฉลี่ยด้วย
		o รวบรวมแหล่งข้อมูลทุติยภูมิได้ง่าย	o การนับซ้ำ การกำหนดขอบเขตของวิธี LCI ทำให้เกิดการเหลื่อมของข้อมูล P-LCA และ IOA
		-	o ไม่สามารถวิเคราะห์ผังการไหลของกระบวนการได้
	Input-output based hybrid	o ส่วน Process LCA และ IOA มีความเชื่อมโยงกัน	o หากมูลค่าการส่งออกของประเทศมีค่ามากจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นเข้ามาช่วยวิเคราะห์ด้วย
		o หลีกเลี่ยงปัญหาการนับซ้ำ	o ไม่นับรวมช่วงการใช้งานและช่วงสิ้นสุดวัฏจักรชีวิต
		-	o ไม่สามารถวิเคราะห์ผังการไหลของกระบวนการได้
	Integrated hybrid	o ขอบเขตการประเมินครอบคลุมทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	o มีความซับซ้อนของข้อมูลมาก
		o หลีกเลี่ยงปัญหาการนับซ้ำ	o ใช้ในการศึกษามากและต้องเก็บข้อมูลจำนวนมาก
		o สามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นได้ง่าย	-

Augmented process-based เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารพาณิชย์ (Melissa, 2007) แบบจำลองนี้เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ผังการไหลของกระบวนการของระบบเป้าหมายเพื่อการศึกษาชนิดและปริมาณของวัตถุดิบควบคู่กับมูลค่าวัตถุดิบและระบุสิ่งนำเข้าที่มีนัยสำคัญ โดยใช้วิธี P-LCA ในการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับสิ่งนำเข้าที่ใช้ใน ช่วงการขนส่งในช่วงก่อสร้าง, ช่วงการบำรุงรักษา และช่วงสิ้นสุดวัฏจักรชีวิต และใช้วิธี IOA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าบางชนิด ได้แก่ วัสดุชั่วคราว (Temporary materials), การเผาไหม้เชื้อเพลิง, การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้อาคารและการบำรุงอาคาร เพื่อลดข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุชั่วคราวและเครื่องจักรผลลัพธ์ของแบบจำลองนี้จะมีความใกล้เคียงกับ Model IV ของแบบจำลอง Input-output based hybrid

จากการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่างานวิจัยของ Melissa (2007) ซึ่งใช้แบบจำลอง Augmented process-based LCA ในการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของกิจกรรมในงานก่อสร้างครอบคลุมทุกองค์ประกอบเนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวผนวกรวมวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม P-LCA และ IOA ในการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์

การวิเคราะห์องค์ประกอบที่ต้องพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เนื่องจากมีผลต่อการกำหนดขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์และขอบเขตในการเก็บรวบรวมข้อมูล จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่าแต่ละงานวิจัยมีองค์ประกอบที่พิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ประกอบด้วย การศึกษาขอบเขตและรายละเอียดของการประเมินที่มีความเหมาะสมกับระบบเป้าหมายซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึง ระบบการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่านักวิจัยหลายท่านได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ดังต่อไปนี้

Monahan และ Powell (2011) ศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์และพลังงานของการก่อสร้างอาคารประเภทบ้านพักอาศัยมีรายละเอียดวัสดุก่อสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.5 องค์ประกอบที่ต้องพิจารณาทั้งสิ้น 5 กลุ่ม ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง, การขนส่งวัสดุเข้าสู่สถานที่ก่อสร้าง, การกำจัดของเสีย, การขนส่งเศษซากวัสดุ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงระหว่างการก่อสร้าง งานวิจัยดังกล่าวได้ระบุองค์ประกอบที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการประเมินหรือไม่

นับรวมในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ คือ สิ่งก่อสร้างประเภทอื่นๆที่เกี่ยวกับการก่อสร้างและการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับแรงงานมนุษย์ งานวิจัยพบว่าการก่อสร้างบ้านพักอาศัยใช้วัสดุก่อสร้างมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์รวมทั้งสิ้น 34,625 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็น 405 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร โดยพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุรวมถึงผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้าง

Mah และคนอื่นๆ (2011) ศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการก่อสร้างบ้านพักอาศัย โดยแยกย่อยองค์ประกอบกิจกรรมก่อสร้างออกเป็น 17 กิจกรรม และกำหนดขอบเขตการประเมินตั้งแต่การขนส่งวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้าง, การใช้เครื่องจักรหรือยานพาหนะในการขนส่งวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้าง, การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะในการขนส่งคนงานและเครื่องจักร และการใช้งานเครื่องจักรก่อสร้าง การประเมินแสดงดังภาพที่ 2.6 จะเห็นได้ว่ากิจกรรมก่อสร้างที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด คือ งานขุดเจาะฐานราก เนื่องจากเป็นกิจกรรมในงานก่อสร้างที่มีการใช้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรขุดเจาะทำให้มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรมากที่สุด

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบองค์ประกอบที่พิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

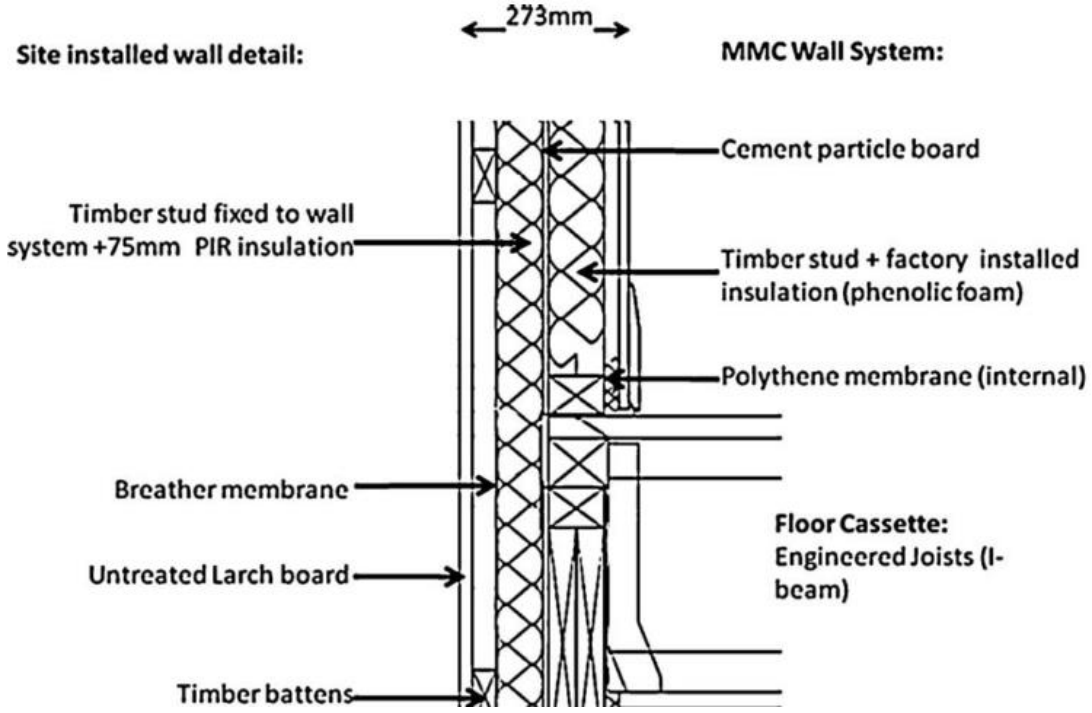
องค์ประกอบที่พิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์	Monahan, Powell (2010)	Cass, Mukherjee (2011)	แนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของประเทศไทย	Jiamvoraphong (2013)
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ	✓	✓	✓	✓
การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรก่อสร้าง	X	✓	X	X
การผลิตและใช้งานเชื้อเพลิง	X	✓	✓	✓
การขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง	✓	✓	✓	✓
การขนส่งเครื่องมือเครื่องจักรมายังสถานที่ก่อสร้าง	X	X	✓	✓
การขนส่งคนงานมายังสถานที่ก่อสร้าง	X	X	X	✓
การขนส่งโดยใช้เครื่องจักรภายในสถานที่ก่อสร้าง	X	X	✓	✓
การขนส่งของเสียจากสถานที่ก่อสร้างไปกำจัด	✓	X	✓	✓
การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องมือเครื่องจักรในสถานที่ก่อสร้าง	✓	✓	✓	✓
การกำจัดของเสียที่เกิดจากแต่ละกระบวนการ	✓	X	✓	✓

โดย ✓ หมายถึง องค์ประกอบที่สามารถพิจารณาได้

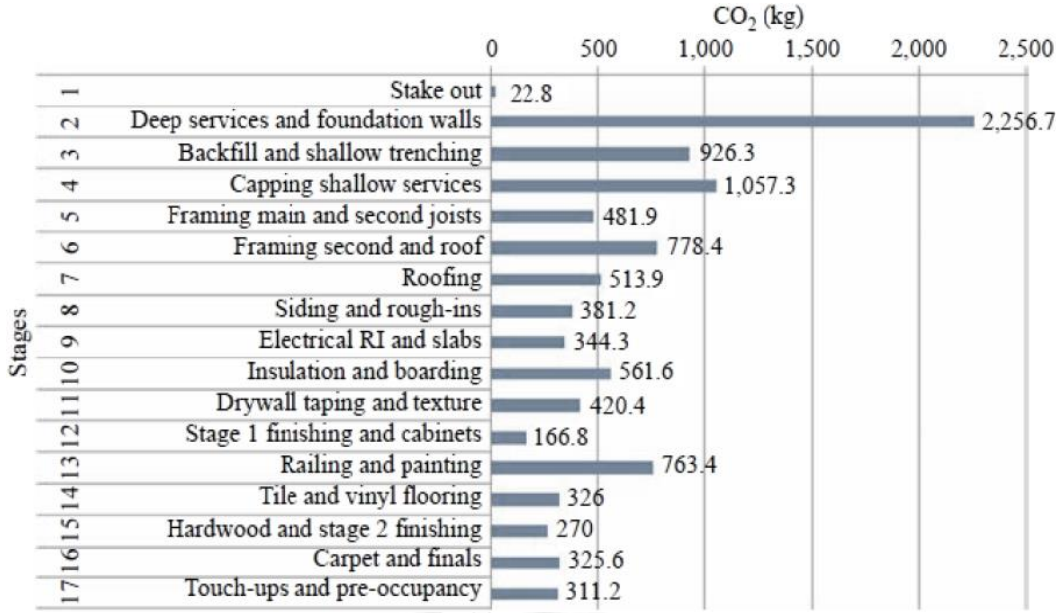
X หมายถึง องค์ประกอบที่ยังไม่ได้พิจารณา

นอกจากประเด็นเรื่องการกำหนดขอบเขตและรายละเอียดการประเมินแล้ว การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมยังเป็นอีกประเด็นที่ต้องพิจารณา เนื่องจากการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะส่งผลต่อขอบเขตขององค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ดังที่ได้นำเสนอรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3 จากทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีหลายงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Limmeechokchai และ Suksuntornsiri (2007) ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของประเทศไทยโดยใช้วิธี IOA งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูล I-O table ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2538 ควบคู่กับข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจของปี พ.ศ. 2541 ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกรณีศึกษาเครื่องปั่นไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์พบว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงและกระบวนการผลิต และปัจจัยที่มีคาร์บอนฟุตพรินต์มากเป็นอันดับที่สอง คือ การใช้พลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 2.5 วัสดุก่อสร้างที่ศึกษาในงานวิจัยของ Monahan และ Powell (2011)



ภาพที่ 2.6 ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ในกิจกรรมก่อสร้างของ Mah และคนอื่นๆ (2011)

Melissa (2007) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบบจำลอง Hybrid LCA ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการก่อสร้าง ประกอบด้วยกรณีศึกษา 2 กรณี ได้แก่ งานโครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณ และงานที่จอดรถจากชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โดยผู้วิจัยจำแนกกลุ่มของข้อมูลนำเข้าเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่

(1) กลุ่มข้อมูลทั่วไปของโครงการ

(2) กลุ่มการเตรียมพื้นที่ก่อสร้างและงานฐานราก

(3) กลุ่มการใช้คอนกรีต

(4) กลุ่มงานก่อ

(5) กลุ่มการใช้เหล็กเสริมคอนกรีต

(6) กลุ่มงานทาสี

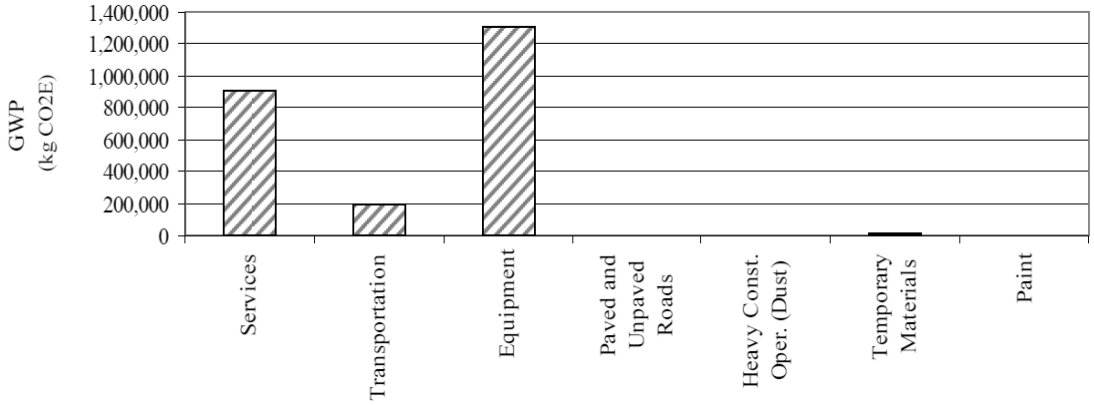
(7) กลุ่มการขนส่งวัสดุและเครื่องจักรในงานก่อสร้างโดยใช้ยานพาหนะ

(8) กลุ่มการขนส่งวัสดุโดยใช้เครื่องจักรก่อสร้าง

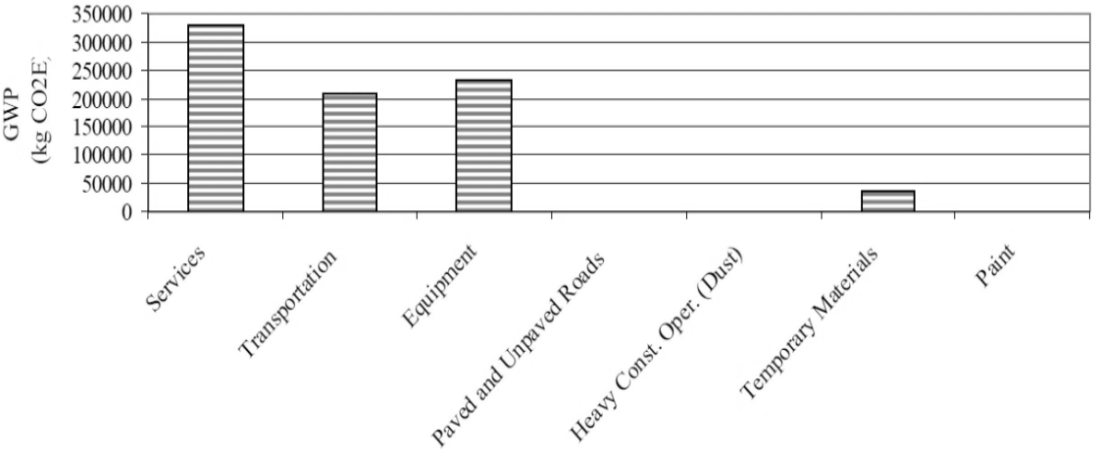
(9) กลุ่มเครื่องผลิตไฟฟ้า

Melissa (2007) แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์โดยจำแนกกลุ่มของผลลัพธ์เป็น 7 กลุ่ม เช่น ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์จากการขนส่ง หรือผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตเครื่องจักร

โดยแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบค่าศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่าง เช่น ค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ผลลัพธ์จากงานวิจัยสำหรับกรณีศึกษางานโครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณพบว่าปัจจัยที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุด 3 อันดับได้แก่ กลุ่มการผลิตและใช้งานเครื่องจักรในงานก่อสร้าง, การบริการ และการขนส่งตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.7 และสำหรับกรณีศึกษาที่จอดรถจากชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าปัจจัยที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุด 3 อันดับ ได้แก่ การบริการ, กลุ่มการผลิตและใช้งานเครื่องจักรในงานก่อสร้าง และการขนส่งตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.7 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากกรณีศึกษาอาคารเหล็กรูปพรรณ (Melissa, 2007)



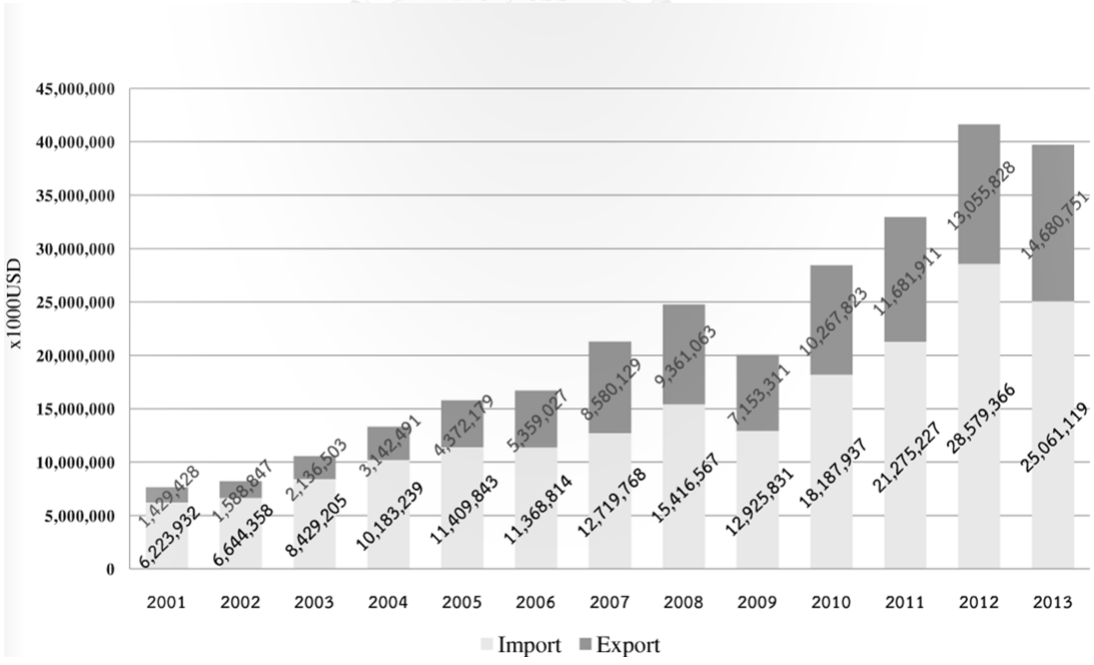
ภาพที่ 2.8 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากกรณีศึกษาชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Melissa, 2007)

Cass และ Mukherjee (2011) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบบจำลอง Hybrid LCA ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการก่อสร้างทางหลวง โดยกำหนดขอบเขตเฉพาะงานก่อสร้างถนนคอนกรีตในรัฐมิชิแกนเท่านั้น ผลการใช้แบบจำลอง Hybrid LCA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกประเภทต่างๆพบว่า คาร์บอนฟุตพรินต์จากวัสดุยังคงมีค่าสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 89.5 ผลลัพธ์ยังชี้ให้เห็นว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตเครื่องจักรยังคงมีค่าต่ำอย่างไม่มีนัยสำคัญคิดเป็นร้อยละ 1 เท่านั้น

อย่างไรก็ตามนักวิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้าง เนื่องจากสถิติความต้องการใช้งานเครื่องจักรก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดในทุกปีดังแสดงในภาพที่ 2.9

2.5 สรุป

บทนี้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์และสรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ผลการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องสามารถจำแนกเป็น 3 ประเด็นหลัก



ภาพที่ 2.9 สถิติการค้าเครื่องจักรกลของประเทศไทย

ประเด็นแรก คือ ที่มาและความสำคัญของปัญหา จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพรินต์เพื่อศึกษาที่มาและความสำคัญของปัญหาพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน คือ ก๊าซเรือนกระจกซึ่งเกิดจากกิจวัตรประจำวันของมนุษย์โดยเฉพาะอุตสาหกรรมก่อสร้างที่มีแนวโน้มที่จะมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์จำนวนมากเนื่องจากเป็นกิจกรรมที่มีการใช้วัสดุและเครื่องมือเครื่องจักรจำนวนมาก นอกจากนี้ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่างานก่อสร้างผนังมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเมื่อเทียบกับงานก่อสร้างประเภทอื่น อย่างไรก็ตามผนังอาคารถูกพัฒนาขึ้นหลายชนิดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและถูกจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้งานและความเหมาะสมของโครงการ ซึ่งผนังอาคารที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมี 3 ชนิด ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป อิฐมวลเบา และอิฐมอญ

ประเด็นที่สอง คือ ขั้นตอนและวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ โดยดำเนินการศึกษาจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่จัดทำขึ้นทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ ผลการศึกษาพบว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จำเป็นต้องวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย ได้แก่ การกำหนดขอบเขตและรายละเอียดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์, การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ และการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้าชนิดเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกันไปตามลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศและปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรพิจารณาตามความเหมาะสมของภูมิประเทศหรือเลือกใช้ตามค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับประเทศนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับประเทศไทยซึ่งจัดเก็บโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นหน่วยงานของประเทศไทย

ประเด็นที่สาม คือ การศึกษาและเปรียบเทียบแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากเอกสารและงานวิจัยในอดีต พบว่าแนวคิดของแบบจำลอง augmented process-based มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในงานก่อสร้าง เนื่องจากแบบจำลองนี้มีขอบเขตการประเมินครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ผนวกแนวคิดการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมวิธี P-LCA และวิธี IOA เข้าด้วยกันเพื่อลดข้อจำกัดในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของแต่ละวิธี แบบจำลองนี้มีการใช้อัตราส่วนของวิธี P-LCA มากกว่าวิธี IOA ซึ่งให้ผลลัพธ์การประเมินที่ครอบคลุมและแม่นยำมากกว่าแบบจำลองประเภทอื่น ด้วยเหตุผลข้างต้นทำให้แนวคิดของแบบจำลอง augmented process-based มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA จะพบข้อผิดพลาดจากการมองข้ามสิ่งนำเข้าบางตัวซึ่งอาจทำให้เกิดการมองข้ามสิ่งนำเข้าที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้ามการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA จะไม่เกิดข้อผิดพลาดจากการมองข้ามสิ่งนำเข้าแต่จะได้ผลลัพธ์ที่เป็นค่าประมาณเท่านั้นซึ่งไม่สะท้อนความเป็นจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แบบจำลองประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ augmented process-based ที่ผนวกวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันเพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารให้ครอบคลุมองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์มากยิ่งขึ้น โดยเลือกวิเคราะห์ผนังอาคารจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

บทนี้นำเสนอวิธีดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 8 ขั้นตอน ได้แก่ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพรินต์ การเลือกกรณีศึกษา การศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร การเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ การสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร การวิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร สุดท้ายจึงสรุปผลการศึกษา ระบุข้อจำกัดและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 8 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ เพื่อศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับงานวิจัย โดยรวบรวมจากวิทยานิพนธ์ บทความทางวิชาการ หนังสือเรียน และเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากนั้นสรุปความรู้และทฤษฎีที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและนำข้อสรุปที่ได้มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร

(2) เลือกกรณีศึกษาสำหรับศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ได้แก่ หน่วยงานผลิตผนังอาคารและโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคาร

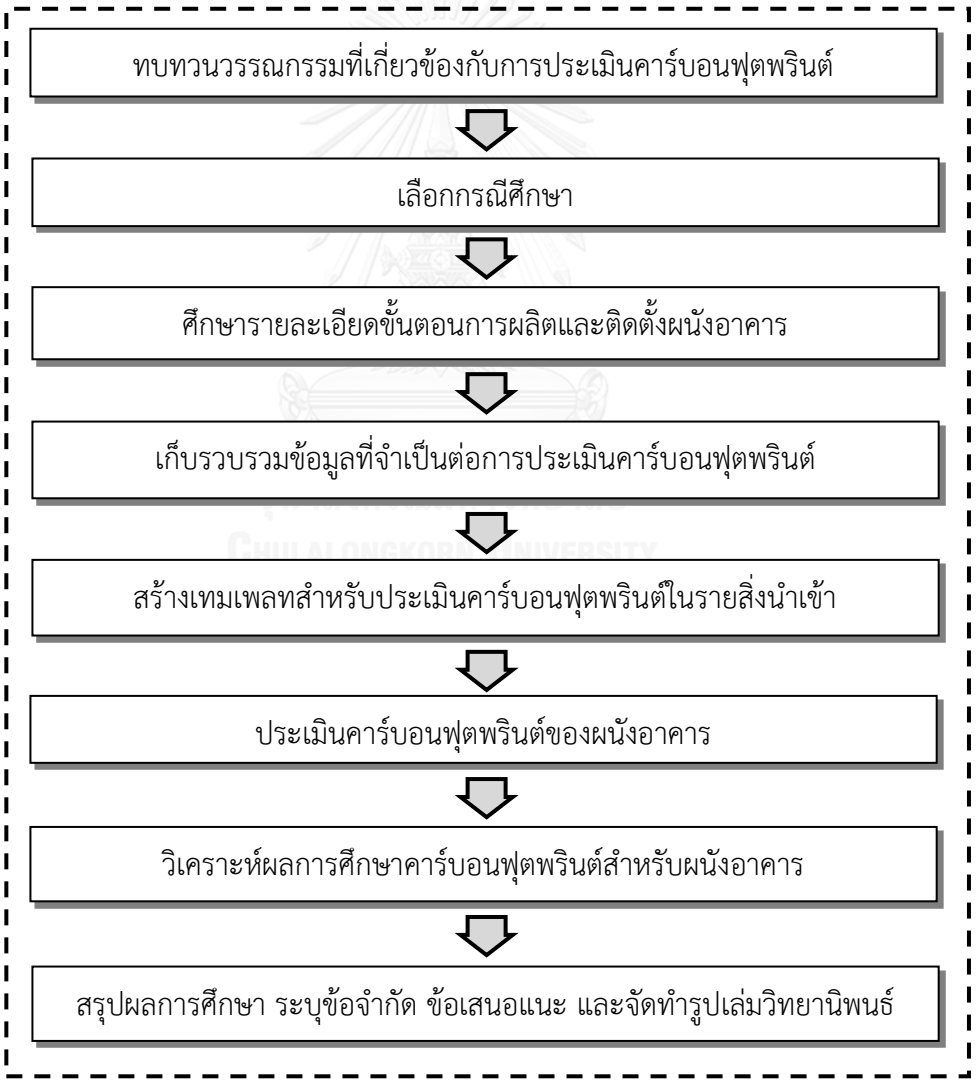
(3) ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร โดยใช้ผลการศึกษาจากทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นแนวทางขั้นต้น จากนั้นวิเคราะห์สิ่งนำเข้าในแต่ละขั้นตอนเพื่อประยุกต์และจัดทำแนวทางการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับผนังอาคาร จากนั้นสร้างผังการไหลของกระบวนการและวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

(4) เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต และข้อมูลปฐมภูมิจากหน่วยงานผลิตผนังอาคารและโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคาร ผู้วิจัยจะเข้าพบผู้มีประสบการณ์ที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการผลิตและติดตั้งผนังอาคารเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก โดยกำหนดขอบเขตตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การขนส่งวัสดุมายังหน่วยงานผลิต การสร้างผนังอาคาร การขนส่งผนังอาคารไปยังโครงการก่อสร้าง การติดตั้งผนังอาคาร และการกำจัดเศษซากที่เกิดขึ้นทุกขั้นตอน

(5) สร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า โดยใช้การจำลอง Spreadsheet

(6) ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร โดยป้อนข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมจากหน่วยงานผลิตและหน่วยงานติดตั้งผนังอาคารที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษาลงในเทมเพลตที่สร้างขึ้น

(7) วิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร โดยจำแนกการวิเคราะห์ผลลัพธ์ออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ แนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ และการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์โดยการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยในอดีต



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

(8) สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย ได้แก่ รายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร และผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร รวมถึงระบุข้อจำกัดและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

3.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่าปัจจุบันยังไม่มีแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับวัสดุก่อสร้างหรือกระบวนการก่อสร้าง นอกจากนี้การศึกษาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยในอดีตพบว่ายังคงมีข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์บางประการ เช่น องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ งานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์โดยการรวบรวมทฤษฎีและแนวความคิดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เพื่อจุดประสงค์ในการกำหนดวิธีการและรายละเอียดที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

3.3 การเลือกกรณีศึกษาสำหรับศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร

การเลือกกรณีศึกษาจะใช้เกณฑ์การเลือกดังต่อไปนี้

- เลือกโครงการก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณที่สามารถเก็บข้อมูลได้สะดวก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด
- การเลือกหน่วยงานผลิตมาเป็นกรณีศึกษาจะต้องตามรอยจากโครงการก่อสร้างกลับไปยังหน่วยงานผลิตผนังอาคารเพื่อให้ผลลัพธ์สะท้อนความเป็นจริงที่สุด
- กรณีศึกษาที่เลือกจะต้องให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลได้อย่างละเอียด

กรณีศึกษาที่เลือกประกอบด้วยหน่วยงานผลิตผนังอาคารจำนวน 3 หน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งเป็นหน่วยงานเอกชนที่ใช้ระบบผลิตกึ่งอัตโนมัติ หน่วยงานผลิตอิฐมวลเบาซึ่งเป็นหน่วยงานเอกชนที่ผลิตด้วยวิธี Cellular lightweight concrete (CLC) และหน่วยงานผลิตอิฐมอญซึ่งใช้ระบบผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือการเกษตรในการผลิตเป็นหลัก งานวิจัยเลือกโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคารจำนวน ได้แก่ โครงการอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในการก่อสร้างผนังภายนอก โครงการอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้อิฐมวลเบาในการก่อสร้างผนังภายใน และโครงการอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้อิฐ

มอญในการก่อสร้างผนังภายใน โดยอธิบายรายละเอียดของโครงการที่ศึกษาไว้ในหัวข้อที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ

3.4 ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของขั้นตอนในกระบวนการผลิตและกระบวนการติดตั้งผนังอาคาร การศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารทำได้โดยการสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการติดตั้งจากผู้มีประสบการณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนนี้ไปสร้างผังการไหลของกระบวนการซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางขั้นต้นในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตและติดตั้ง ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกจะถูกนำไปใช้ในการจำลองผังงาน (Flow chart) ด้วยโปรแกรม Microsoft Office Visio เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งนำเข้า ขั้นตอน และสิ่งนำออก ผังงานที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบความครบถ้วนของการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามผังงานนี้ประกอบด้วยสัญลักษณ์ที่เป็นรูปทรงจำนวนมากแต่สัญลักษณ์เหล่านั้นมิได้ใช้เพื่อแทนรูปแบบหรือความหมายใดๆ แต่จะใช้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการจำแนกกลุ่มของสิ่งนำเข้า กลุ่มของกระบวนการ และกลุ่มของสิ่งนำออก

3.5 เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ และยังสามารถจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) กลุ่มข้อมูลกิจกรรม ได้แก่ ประเภท ชนิด และปริมาณ ของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกจากขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ข้อมูลกลุ่มนี้ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์และขอข้อมูลจากผู้ควบคุมการก่อสร้าง ควบคู่กับการศึกษาบันทึกภาคสนามซึ่งประกอบด้วยการบันทึกประจำวัน บันทึกรายการใช้สิ่งนำเข้า ได้แก่ วัสดุ เครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้า รายการสั่งซื้อวัสดุ และแบบแปลนก่อสร้าง

(2) กลุ่มข้อมูลมูลค่าของสิ่งนำเข้า ได้แก่ มูลค่าวัตถุดิบ เครื่องมือเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตผนังอาคาร ข้อมูลนี้ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มข้อมูลปฐมภูมิซึ่งใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการค้นหาข้อมูลราคากลางสินค้าในฐานข้อมูลออนไลน์จากอินเทอร์เน็ต

(3) กลุ่มข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มข้อมูลทุติยภูมิ ข้อมูลกลุ่มนี้ถูกใช้สำหรับการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ของแต่ละประเภทสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก

(4) กลุ่มข้อมูล I-O table ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มข้อมูลทุติยภูมิ ข้อมูลกลุ่มนี้เป็นฐานข้อมูลที่เก็บรวบรวมและจัดทำในรูป Spreadsheet และถูกเผยแพร่ในฐานข้อมูลออนไลน์จากอินเทอร์เน็ตของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

(5) กลุ่มข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มข้อมูลทุติยภูมิ ข้อมูลนี้ถูกเผยแพร่ในเอกสารรายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยปี 2556 ผ่านทางฐานข้อมูลออนไลน์จากอินเทอร์เน็ตของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

3.6 สร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากทำให้เกิดความซับซ้อนของข้อมูลอย่างมาก ดังนั้นการสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จึงมีความจำเป็นมาก การสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การจำแนกชนิดของสิ่งนำเข้า และการสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

ขั้นตอนการจำแนกชนิดของสิ่งนำเข้ามีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกกลุ่มสิ่งนำเข้าโดยจะพิจารณาตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะใช้สมการสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่แตกต่างกันซึ่งจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5.3.1 ขั้นตอนนี้ทำได้โดยการนำข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมมาพิจารณาและจัดจำแนกกลุ่ม ขั้นตอนต่อมา คือ การสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ เมื่อจัดหมวดหมู่ของข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์แล้วเสร็จจึงนำกลุ่มข้อมูลไปป้อนลงในโปรแกรม Spreadsheet เพื่อสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า

3.7 ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคาร

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าทำได้โดยการป้อนข้อมูลปฐมภูมิที่ได้เก็บรวบรวมมาลงในเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่สร้างขึ้น โดยเทมเพลตนี้สามารถจำแนกกลุ่มการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มที่ใช้วิธี P-LCA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ และกลุ่มที่ใช้วิธี IOA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ รายละเอียดการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5.3 และจะแสดงตัวอย่างรายการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ไว้ในภาคผนวก การแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น คาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่ง

หน่วยพื้นที่ของผนังอาคาร คาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้ง และคาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก 5 กลุ่ม ได้แก่

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากวัสดุ
- คาร์บอนฟุตพรินต์จากเครื่องมือและเครื่องจักร
- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง
- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการขนส่งวัสดุ, เครื่องจักร และของเสีย
- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดของเสีย

3.8 วิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์ผลการศึกษาจำนวน 4 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) การวิเคราะห์เพื่อหาสิ่งนำเข้าหรือสิ่งนำออกที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด การใช้เทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ทำให้สามารถประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าได้ ดังนั้นการแสดงและเปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ระหว่างสิ่งนำเข้าจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาสิ่งนำเข้าหรือสิ่งนำออกที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในส่วนนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวทางการลดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์

(2) การวิเคราะห์หาแนวทางการลดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ ทำได้โดยการพิจารณาเลือกปัจจัยหลักที่มีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดจากกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร จากนั้นจึงวิเคราะห์หาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ของสิ่งนำเข้านั้นโดยการพิจารณาแนวทางการลดขั้นตอน การใช้วัสดุทดแทน หรือการสร้างมาตรการควบคุมเพื่อลดการเกิดเศษซาก สุดท้ายจึงสรุปผลและนำเสนอแนวทางการลดค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร

(3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือหรือความผิดพลาดที่เกิดจากผู้เก็บรวบรวมข้อมูลขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จำเป็นต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลปฐมภูมิเพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบขอบเขตความเป็นไปได้ของตัวแปรและการลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดของผลลัพธ์ รวมถึงตรวจสอบความมั่นคงของผลลัพธ์หรือข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัย การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การกำหนดตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอน และการระบุขอบเขตของข้อมูลที่เป็นไปได้เมื่อตัวแปรข้างต้นเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทำการแทนที่ตัวแปรข้างต้นด้วยตัวเลขที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งที่สองและคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อพิจารณา

ผลลัพธ์ว่ายังอยู่ในขอบเขตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญหรือไม่ หากผลลัพธ์ยังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นนัยสำคัญต่อผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์แสดงว่าความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้และไม่เป็นผลต่อความมั่นคงของผลลัพธ์ จึงสามารถสรุปได้ว่าผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือและถูกต้อง

(4) การเปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์กับงานวิจัยในอดีต มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร โดยเปรียบเทียบกับค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารในงานก่อสร้างจากงานวิจัยในอดีต

3.9 สรุปผลการศึกษา ระบุข้อจำกัด ข้อเสนอแนะ และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนนี้เป็นการสรุปผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์กับผนังอาคารทั้งสามชนิด ได้แก่ รายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร และผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร นอกจากนี้งานวิจัยยังได้วิเคราะห์ผลลัพธ์และเรียบเรียงข้อจำกัดของงานวิจัย รวมถึงนำเสนอปัญหาและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต สุดท้ายจึงทำการสรุปและเรียบเรียงตามประเด็นการศึกษาควบคู่กับการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

3.10 สรุป

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 8 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและสรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัย ต่อมาจึงเลือกกรณีศึกษาเพื่อศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารควบคู่กับการสร้างผังการไหลของกระบวนการและวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตและติดตั้งโดยการเดินทางไปยังหน่วยงานผลิตและติดตั้งผนังอาคารเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลทำได้โดยการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ที่ทำหน้าที่รับผิดชอบขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ต่อมาจึงสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์โดยใช้การจำลอง Spreadsheet แล้วจึงนำข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาเรียบเรียงและประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธีที่เหมาะสม ขั้นตอนต่อมาคือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์หาสิ่งนำเข้าและแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดควบคู่กับการวิเคราะห์แนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ และการเปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์กับงานวิจัยในอดีตเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ ส่วนสุดท้ายของงานวิจัย คือ การระบุข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของงานวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยในอนาคต จากนั้นจึงทำการสรุปและเรียบเรียงตามประเด็นการศึกษาควบคู่กับการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 4
วัสดุก่อสร้างสำหรับงานผนัง

บทนี้นำเสนอรายละเอียดของผนังอาคารที่ถูกเลือกมาเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ 3 ประเภท ได้แก่ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อิฐมวลเบา และอิฐมอญ รายละเอียดในบทนี้ประกอบด้วย นิยามของผนังอาคาร ประเภทของผนังอาคาร ประเภทของหน่วยงานผลิตผนังอาคาร กระบวนการผลิตผนังอาคาร กระบวนการติดตั้งผนังอาคาร และการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารประเภทต่างๆ

4.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

4.1.1 นิยามและประเภทของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

<u>นิยามของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

งานวิจัยในอดีตนิยามความหมายของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปไว้หลากหลาย ดังนี้

พรีคาสต์คอนกรีต (Precast Concrete) หมายถึง การหล่อชิ้นส่วนคอนกรีต ณ สถานที่ใดๆ และนำไปประกอบกันเป็นโครงสร้างในภายหลัง (Tobarameekul, 1997)

ระบบก่อสร้างสำเร็จรูป (Prefabrication) คือ ระบบการก่อสร้างอาคารโดยใช้ชิ้นส่วนอาคารที่ถูกผลิตจากโรงงานเป็นชิ้นส่วนมาประกอบและติดตั้งที่หน่วยงานก่อสร้าง

ระบบการก่อสร้างกึ่งสำเร็จรูป (Semi Prefabrication) คือ ระบบการก่อสร้างที่มีโครงสร้างบางส่วนของการก่อสร้างหล่อกับที่ เช่น ฐานราก เสา และมีการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาประกอบส่วนที่เหลือของอาคาร เช่น พื้น ผนัง คาน โดยวัสดุที่นำมาใช้ประกอบสามารถใช้ได้ทั้งคอนกรีต เหล็ก หรือวัสดุอื่นๆ (Majiswala, 1998)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถสรุปได้ว่าชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete Element) คือ ชิ้นส่วนสำเร็จรูปของอาคารที่หล่อจากคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งถูกผลิตเป็นชิ้นส่วนพร้อมใช้งาน ณ สถานที่หนึ่งๆ จากนั้นจึงขนส่งไปที่หน่วยงานติดตั้งและประกอบเข้ากับโครงสร้างอาคาร

<u>ประเภทของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

ประเภทของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถจำแนกตามลักษณะของหน้าที่ทางโครงสร้างได้ดังต่อไปนี้ เสา (Precast Concrete Columns), คาน (Precast Concrete Beams and Girders) พื้นและหลังคา (Precast Concrete Floors and Roof Elements) สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีต

สำเร็จรูปประเภทผนัง (Precast Concrete Wall Panels) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม สามารถจำแนกเป็นผนังกั้นทั่วไปไม่รับน้ำหนัก (Non-Load Bearing Wall) และผนังรับน้ำหนัก (Load Bearing Wall)

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถแบ่งระบบโครงสร้างรับแรงออกเป็น 3 ระบบหลัก คือ ระบบแผ่นรับน้ำหนัก ระบบเสาและคาน และระบบกล่อง (Tanompongseree, 2006) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ระบบแผ่นรับน้ำหนัก (Load Bearing Structure of Panel System)

การก่อสร้างระบบนี้ใช้ทฤษฎีการถ่ายน้ำหนักจากแผ่นพื้นไปยังแผ่นผนังและลงสู่ฐานรากของอาคารตามลำดับ ระบบนี้จะมุ่งเน้นที่โครงสร้างแผ่นพื้นและผนังรับแรง (Load Bearing Wall) ขนาดของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้นอยู่กับการออกแบบและความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร

(2) ระบบโครง (Frame Structure System)

การก่อสร้างระบบนี้ใช้ทฤษฎีการถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงสู่ระบบคานจากนั้นถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาและฐานรากตามลำดับ หรืออาจใช้ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตควบคู่กับงานก่อสร้างระบบโครง

(3) ระบบกล่อง (Modular System)

การก่อสร้างระบบนี้ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นกล่องที่มีการตกแต่งทางสถาปัตยกรรมมาจากโรงงานผลิตแล้วเสร็จมาประกอบเรียงเป็นชั้น ณ สถานที่ก่อสร้างนั้น

<u>ประเภทของหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

การศึกษาระบบการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าหน่วยงานผลิตอาจแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานผลิตแบบชั่วคราวและหน่วยงานผลิตแบบถาวร หน่วยงานผลิตแบบชั่วคราวควรสร้างขึ้นบริเวณใกล้หน่วยงานก่อสร้างหรือภายในหน่วยงานก่อสร้าง ส่วนมากจะมีลักษณะเป็นการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในที่กลางแจ้งที่ไม่มีการสร้างอาคารถาวร โดยการผลิตแบบชั่วคราวจะใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลักและใช้เครื่องมือเครื่องจักรภายในหน่วยงานผลิต เช่น การสร้างแบบหล่อจากไม้แบบจากนั้นใช้เครนของโครงการก่อสร้างในการยกแผ่นที่หล่อแล้วเสร็จ หน่วยงานประเภทนี้มีข้อดี คือ ใช้ต้นทุนไม่มากเนื่องจากไม่จำเป็นต้องสร้างอาคารถาวรหรือไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่มากนัก อีกทั้งยังมีระยะทางการขนส่งไปติดตั้งที่ไม่ไกลมากทำให้ประหยัดค่าขนส่ง อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังคงมีข้อเสีย คือ การไม่มีเครื่องจักรเฉพาะทางที่จำเป็นแต่จะใช้เครื่องจักรที่สามารถทดแทนกันได้จึงอาจทำให้คุณภาพและกำลังการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปลดต่ำลง

หน่วยงานผลิตแบบถาวรเป็นหน่วยงานที่สร้างขึ้นในพื้นที่อย่างถาวรเพื่อจุดประสงค์ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปและจัดเก็บอย่างต่อเนื่องเพื่อเตรียมจัดส่งไปยังโครงการก่อสร้างต่อไป ซึ่งหน่วยงานประเภทนี้มีลักษณะเป็นโรงงานอาจพบได้ 2 รูปแบบ คือ หน่วยงานที่มีลักษณะคล้ายแบบชั่วคราวแต่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ดีกว่า เช่น มีหลังคาคลุมที่มั่นคงแข็งแรง, มีการจัดเก็บวัสดุภายใน รูปแบบที่สอง คือ หน่วยงานผลิตแบบถาวรที่เป็นสถานที่ผลิตที่รองรับการทำงานด้วยระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรม โดยจะมีการประยุกต์ระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป กระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในหน่วยงานถาวรจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และระบบอำนวยความสะดวกที่สามารถเพิ่มสมรรถภาพและคุณภาพทางการผลิตได้ ระบบที่ใช้ในหน่วยงานผลิตแบบถาวรสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ระบบอัตโนมัติที่ใช้เครื่องจักรและระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการผลิตอัตโนมัติในทุกขั้นตอน และระบบกึ่งอัตโนมัติซึ่งเป็นระบบที่ใช้ทั้งแรงงานมนุษย์และเครื่องจักรควบคู่กันในการสร้าง

4.1.2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

กระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบด้วยขั้นตอนการจัดเตรียมแบบหล่อ ขั้นตอนการจัดวางเหล็กเสริมและอุปกรณ์อื่นๆ ขั้นตอนการผสมและเทคอนกรีต ขั้นตอนการตกแต่งและซ่อมแซมผิวหน้าคอนกรีต และขั้นตอนการบ่มคอนกรีต (Tanompongseree, 2006)

อย่างไรก็ตามขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน เช่น โรงงานที่ใช้ระบบอัตโนมัติจะใช้เครื่องจักรในการดำเนินการเกือบทุกขั้นตอนเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตและลดการใช้แรงงานมนุษย์เพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ เช่น การใช้เครื่องจักรประมวลผลแบบสำหรับขึ้นรูปชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จากนั้นเครื่องจักรจะกำหนดขอบเขตหรือรูปร่างของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปให้ได้ตามที่แบบระบุ แต่สำหรับระบบการผลิตกึ่งอัตโนมัติหรือระบบการก่อสร้างที่หน่วยงานในขั้นตอนการกำหนดจุดเพื่อวาดแบบที่ต้องการผลิตจะใช้คนงานในการกำหนดจุดวาด แต่โดยทั่วไปแล้วทั้งสองระบบการผลิตมีขั้นตอนการผลิตใกล้เคียงกันแต่อาจมีความแตกต่างกันในส่วนของการใช้เครื่องจักรซึ่งสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 แสดงผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ได้จากการศึกษาขั้นตอนการผลิตด้วยการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนร่วมในขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ควบคู่กับการร่วมสังเกตการณ์อย่างละเอียดใกล้ชิดในช่วงการผลิตและติดตั้ง จากนั้นนำผลการศึกษาผังการไหลของกระบวนการมาสรุปโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Visio สุดท้ายจึงนำผังการไหลของกระบวนการที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบความถูกต้องกับผู้ควบคุมการผลิตด้วยการอธิบายและแสดงผังการไหลของกระบวนการ

การสร้างผังการไหลของกระบวนการได้ประยุกต์ใช้มาตรฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองกระบวนการ (Business Process Model and Notation: BPMN) ตารางที่ 4.1 แสดงความหมายของสัญลักษณ์และการเชื่อมโยงของมาตรฐาน BPMN อย่างไรก็ตามผังการไหลของกระบวนการที่สร้างขึ้นมีเป้าหมายเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมระหว่างหน่วยงานผลิต, โครงการก่อสร้างและผู้ค้ารายย่อยเท่านั้น รายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละขั้นตอน เช่น ชนิดของวัสดุที่ใช้ในขั้นตอน หรือเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน จะถูกวิเคราะห์ในขั้นตอนการแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าอีกครั้ง

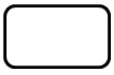
ระบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนการผลิตของโรงงานทั้งสิ้นประมาณ 10 ขั้นตอน แต่จะมีความแตกต่างด้านการใช้เครื่องจักรในแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

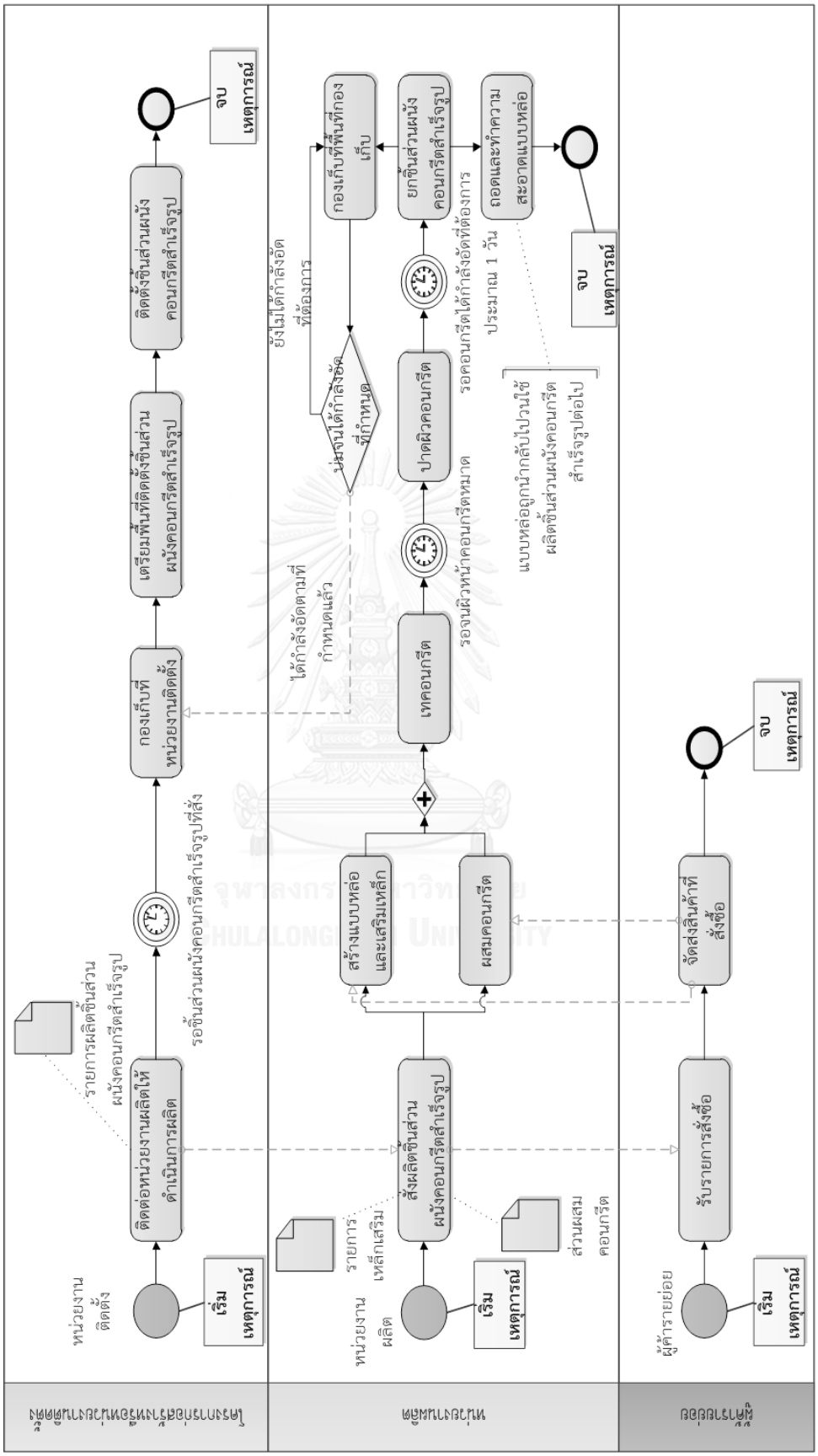
(1) ขั้นตอนการเตรียมความพร้อม (Cleaning and Oiling) ป้องกันคอนกรีตติดแบบหล่อ

(2) ขั้นตอนการกำหนดจุดเพื่อวาดแบบที่ต้องการผลิต (Plotting) เพื่อกำหนดขอบเขต

(3) การวางเหล็กแบบกั้นข้าง (Shuttering) ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้คอนกรีตคงรูปร่างตามที่ต้องการ

ตารางที่ 4.1 ความหมายของสัญลักษณ์และการเชื่อมโยงพื้นฐานในมาตรฐาน BPMN (White, 2004)

สัญลักษณ์ (Symbol)		**การเชื่อมโยง (Connection)**	
	จุดเริ่มต้นเหตุการณ์ (Start event)		ลำดับการไหล (Sequence flow)
	จุดขัดจังหวะ (เวลา) [Intermediate (Timer)]		ข้อความการไหล (Message flow)
	จุดสิ้นสุด (End event)		การเชื่อมโยงอื่นๆ (Association)
	กิจกรรม (Task)	-	-
	ตัวควบคุม (Gateway)	-	-
	เอกสาร (Data object)	-	-



ภาพที่ 4.1 ผังการไหลของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ภาพที่ 4.2 วางแบบเหล็กกั้นข้างแบบหล่อชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

(4) การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน (Embedding) เช่น การฝังอุปกรณ์ ท่อน้ำ ท่อประปา วงกบประตู หน้าต่าง ท่อร้อยสายไฟ ลงไปในชิ้นงาน

(5) การวางโครงเหล็กเสริม (Reinforcement) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีเจ้าหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์

(6) การเทคอนกรีต (Concrete Placing) ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ขั้นตอนนี้มีความสำคัญที่สุดและต้องใช้คนงานเกลี่ยคอนกรีตให้เรียบ หากเป็นการผลิตในโรงงานที่ใช้ระบบผลิตอัตโนมัติจะใช้ระบบเขย่าระหว่างขั้นตอนการเทคอนกรีตทำให้มีความเรียบมากขึ้น

ภาพที่ 4.3 การวางเหล็กเสริมชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ภาพที่ 4.4 การเทคอนกรีตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

(7) การขัดผิวหน้าคอนกรีต (Smoothening) ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ข้อควรระวังในขั้นตอนนี้ คือ ต้องรอให้คอนกรีตแข็งตัวในระดับหนึ่งก่อนจึงจะเริ่มขัดผิวหน้าคอนกรีตได้

(8) การบ่มคอนกรีต (Curing) คอนกรีตที่ขัดผิวหน้าเสร็จแล้วจะถูกส่งมาบ่มและใช้เวลาบ่มประมาณ 8 – 10 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีต

(9) การถอดแบบ (Shuttering Removing) ขั้นตอนนี้จะมีเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ

(10) การยกชิ้นงาน (Tilting) ในแนวตั้งทำมุมประมาณ 70 - 85 องศา เพื่อเตรียมพร้อมขนย้ายไปสู่สถานที่ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.5 การขัดผิวหน้าชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

4.1.3 กระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

กระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การยกติดตั้งชิ้นส่วนที่หน่วยงาน การต่อประกอบชิ้นงาน การจัดการรอยต่อของชิ้นงาน และการตกแต่งและทำความสะอาดพื้นผิว การเชื่อมรอยต่อในกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการเสริมความแข็งแกร่งระหว่างโครงสร้างอาคารและชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งงานวิจัยในอดีตได้จำแนกประเภทรอยเชื่อมเป็น 3 ประเภทดังนี้

(1) รอยต่อแบบเปียก (Wet Joint) เป็นวิธีเชื่อมรอยต่อและใช้การเทเกราท์ (Grouting) ด้วยวัสดุเชื่อมรอยต่อ เช่น ปูนเกราท์ (Cement Non-Shrink Grout) แต่วัสดุเชื่อมรอยต่อจะยังไม่มีความสามารถในการรับแรงในทันทีต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งจึงจะมีความสามารถรับแรงตามกำหนด

(2) รอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint) เป็นวิธีการเชื่อมระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยวัสดุเชื่อมรอยต่อที่สามารถรับแรงได้ในทันทีที่ติดตั้ง เช่น การเชื่อมด้วยลวดเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยหลังจากทำการเชื่อมรอยต่อแล้วจะทำการปิดรอยต่อด้วยวัสดุปิดหน้า (Joint Sealant) เพื่อกันความชื้นและเพื่อความเรียบร้อยของงาน เช่น ซิลิโคน (Silicone) หรือวัสดุกันสนิมอื่นๆ

(3) รอยต่อแบบอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned) เป็นรอยต่อที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแต่ละชิ้นหรือระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดยใช้เหล็กเสริมอัดแรง (Prestressing Steel) เป็นวัสดุที่ใช้ดึงและยึดปลายเหล็กเสริมไว้ในชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปภายหลังติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแล้วจึงดำเนินการดึงเหล็กเสริมอัดแรงซึ่งโดยปกติลวดอัดแรงจะถูกร้อยผ่านท่อและอัดน้ำปูน (Mortar) เข้าสู่ท่อหลังการดึงลวดอัดแรง

Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.6 รอยต่อแบบแห้งสำหรับชิ้นส่วนผนังผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

วิธีที่ได้รับความนิยม คือ รอยต่อแบบเปียกและรอยต่อแบบแห้ง เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและประหยัดตรงกันข้ามกับรอยต่อแบบอัดแรงภายหลัง แต่วิธีที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด คือ “รอยต่อแบบแห้ง” เนื่องจากหลังจากที่ทำการติดตั้งและเชื่อมรอยต่อแล้วสามารถรับแรงได้ทันที

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยรอยเชื่อมแห้ง

การติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยรอยเชื่อมแห้ง โดยทั่วไปนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การจัดเตรียมพื้นที่ติดตั้ง การยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้นแขวน และการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การเลือกใช้เครื่องจักรก่อสร้างสำหรับอำนวยความสะดวกในกระบวนการติดตั้งจะแตกต่างกันไปตามขนาดของหน่วยงานติดตั้ง กล่าวคือ หากหน่วยงานติดตั้งมีขนาดใหญ่มากและมีความจำเป็นต้องใช้งานทาวเวอร์เครน (Tower Crane) ดังนั้นจึงอาจประยุกต์ใช้ทาวเวอร์เครนในขั้นตอนการยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้นแขวน แต่ในกรณีที่หน่วยงานติดตั้งมีขนาดเล็กอาจมีการเลือกใช้โมบายเครน (Mobile Crane) แทน

4.2 อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของอิฐมอญทั้งด้านค่าแรง ราคาต่อหน่วย ความง่ายในการใช้งาน ความเร็วในการทำงาน และมีมาตรฐานการผลิตที่แน่นอนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเท่ากันหมด อีกทั้งคุณสมบัติทางกายภาพที่สูงกว่าอิฐมอญและมีน้ำหนักเบากว่าที่ทำให้ประหยัดค่าโครงสร้างอาคารเพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจุบันบทบาทของอิฐมวลเบาเพิ่มมากขึ้นจนทัดเทียมหรือมากกว่าอิฐมอญ อิฐมวลเบาถูกพัฒนาขึ้นในครั้งแรกในประเทศสวีเดนในช่วงปี ค.ศ. 1900 จากการทดลองพบว่าส่วนผสมของปูนขาวกับแร่ควอตซ์สามารถนำมาผสมกับผงอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเกิดฟองอากาศ และนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุก่อสร้าง

4.2.1 นิยามและประเภทของอิฐมวลเบา

นิยามของอิฐมวลเบา

งานวิจัยในอดีตนิยามความหมายของอิฐมวลเบาไว้หลากหลาย ดังนี้

“คอนกรีตมวลเบา” (Autoclaved Aerated Concrete: AAC) คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้น โดยมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนความร้อน (เสาวลักษณ์ บุญฤทธิ์ , สไลด์)

“คอนกรีตมวลเบา” (Lightweight Concrete) คือ วัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบามีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาทำให้ตัวอาคารมีน้ำหนักเบา ขนาดโครงสร้างมี

ขนาดเล็กลง มีการใช้พลังงานน้อยลง ลดการปล่อยของเสีย และประหยัดค่าก่อสร้าง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา (ซีแอลซี โปรลิคอนซิสเตมส์, ออนไลน์)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่าอิฐมวลเบา คือ วัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบามีทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผนังหรือพื้น โดยผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับวัสดุอื่น เช่น ปูนขาว ยิปซั่ม หรือโฟมคอนกรีต โดยอาศัยเทคนิคการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดฟองฟูและนำไปผสมในเนื้อคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตเกิดรูพรุนเล็กๆกระจายตัวอยู่ทั่วทำให้วัสดุก่อสร้างมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนใกล้เคียงกับโฟมอาจเรียกว่า “โฟมคอนกรีต”

ลักษณะของอิฐมวลเบามีทั้งชนิดเสริมเหล็ก ได้แก่ พวกแผ่นผนัง/ พื้น/ หลังคา และแบบไม่เสริมเหล็ก คือ อิฐบล็อกสำหรับก่อผนังหนา 7.5, 8, 9, 20-30 ซ.ม. สูง 20, 30 ซ.ม. ยาว 60 ซ.ม. สามารถเลื่อยตัดได้เหมือนไม้ ทนแรงกดได้ 30 -80 กก. สามารถก่อเป็นผนังรับแรงได้ มีน้ำหนักประมาณ 80 กก./ ตร.ม.

<u>ประเภทของอิฐมวลเบา</u>

อิฐมวลเบาสามารถจำแนกชนิดได้จากกระบวนการผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(1) ชนิดที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง (Non-Autoclaved System) ซึ่งผลิตจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบาซึ่งสามารถจำแนกชนิดของวัสดุได้ 2 ชนิด คือ วัสดุมวลเบาตามธรรมชาติ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขี้เถ้า เม็ดโฟม ซึ่งมีอายุการใช้งานสั้นและมีการปล่อยมลพิษเมื่อไหม้ไฟ และวัสดุมวลเบาประเภทสารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อทำปฏิกิริยาให้คอนกรีตเกิดฟองฟู ซึ่งเมื่อทิ้งให้แข็งตัวจะมีการหดตัวของคอนกรีตสูงมากจนทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่ายและไม่แข็งแรงแตกต่างจากกรรมวิธีอบไอน้ำแรงดันสูง

(2) ชนิดที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง (Autoclaved System) สามารถแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ วัตถุดิบประเภท Lime Base ซึ่งใช้ปูนขาวเป็นวัตถุดิบหลัก การใช้วัตถุดิบนี้จะควบคุมคุณภาพยากทำให้ได้คุณภาพคอนกรีตที่ไม่สม่ำเสมอ และวัตถุดิบประเภท Cement Base ซึ่งใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 เป็นวัตถุดิบหลักซึ่งจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพและมาตรฐานสม่ำเสมอและทำให้เกิดการตกผลึกในเนื้อคอนกรีตและมีความแข็งแรงทนทาน

<u>ประเภทของหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบา</u>

จากการศึกษาเกี่ยวกับหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบาพบว่าหน่วยงานผลิตอาจแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานผลิตขนาดเล็กและหน่วยงานผลิตขนาดใหญ่ โดยทั้งสองหน่วยงานจะสร้างขึ้นในพื้นที่

อย่างถาวรเพื่อจุดประสงค์ในการผลิตอิฐมวลเบาและจัดเก็บอย่างต่อเนื่อง จนถึงการกระจายสินค้าไปสู่ผู้ค้ารายย่อย โดยการผลิตขนาดเล็กจะใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลักและใช้เครื่องมือเครื่องจักรก่อสร้างที่หน่วยงานในการผลิต เช่น การใช้เครื่องผสมปูน (Concrete mixer) ในการผสมมอร์ต้าร์ (mortar) หรือการใช้งานแบบหล่อเหล็กสำหรับอิฐมวลเบา ข้อดีของหน่วยงานขนาดเล็ก คือ ใช้ต้นทุนน้อยเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่มากนัก แต่มีข้อจำกัด คือ หน่วยงานประเภทนี้จะไม่มีเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่จำเป็นแต่สามารถใช้เครื่องจักรก่อสร้างทั่วไปทดแทนกันได้ แต่จะทำให้คุณภาพและกำลังการผลิตต่ำลง

หน่วยงานผลิตขนาดใหญ่เป็นหน่วยงานที่สร้างขึ้นในพื้นที่อย่างถาวรเพื่อจุดประสงค์ในการผลิตอิฐมวลเบาและจัดเก็บอย่างต่อเนื่องเพื่อเตรียมจัดส่งไปสู่หน่วยงานต่อไป ซึ่งหน่วยงานประเภทนี้มีลักษณะเป็นโรงงานขนาดใหญ่ที่ดำเนินการผลิตด้วยระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรม มีการนำระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา

4.2.2 กระบวนการผลิตอิฐมวลเบา

เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตอิฐมวลเบามีความแตกต่างกันตามขนาดและกำลังการผลิตของหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งการเลือกใช้เครื่องมือเครื่องจักรจะส่งผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตด้วย โดยทั่วไปแล้วการเลือกใช้เครื่องจักรจะแตกต่างกันตามมาตรฐานคุณภาพ และลิขสิทธิ์ในการผลิตของแต่ละบริษัท การเลือกชนิดและขนาดของเครื่องมือเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยงานผลิต ได้แก่ หน่วยงานผลิตขนาดเล็กและหน่วยงานผลิตขนาดใหญ่

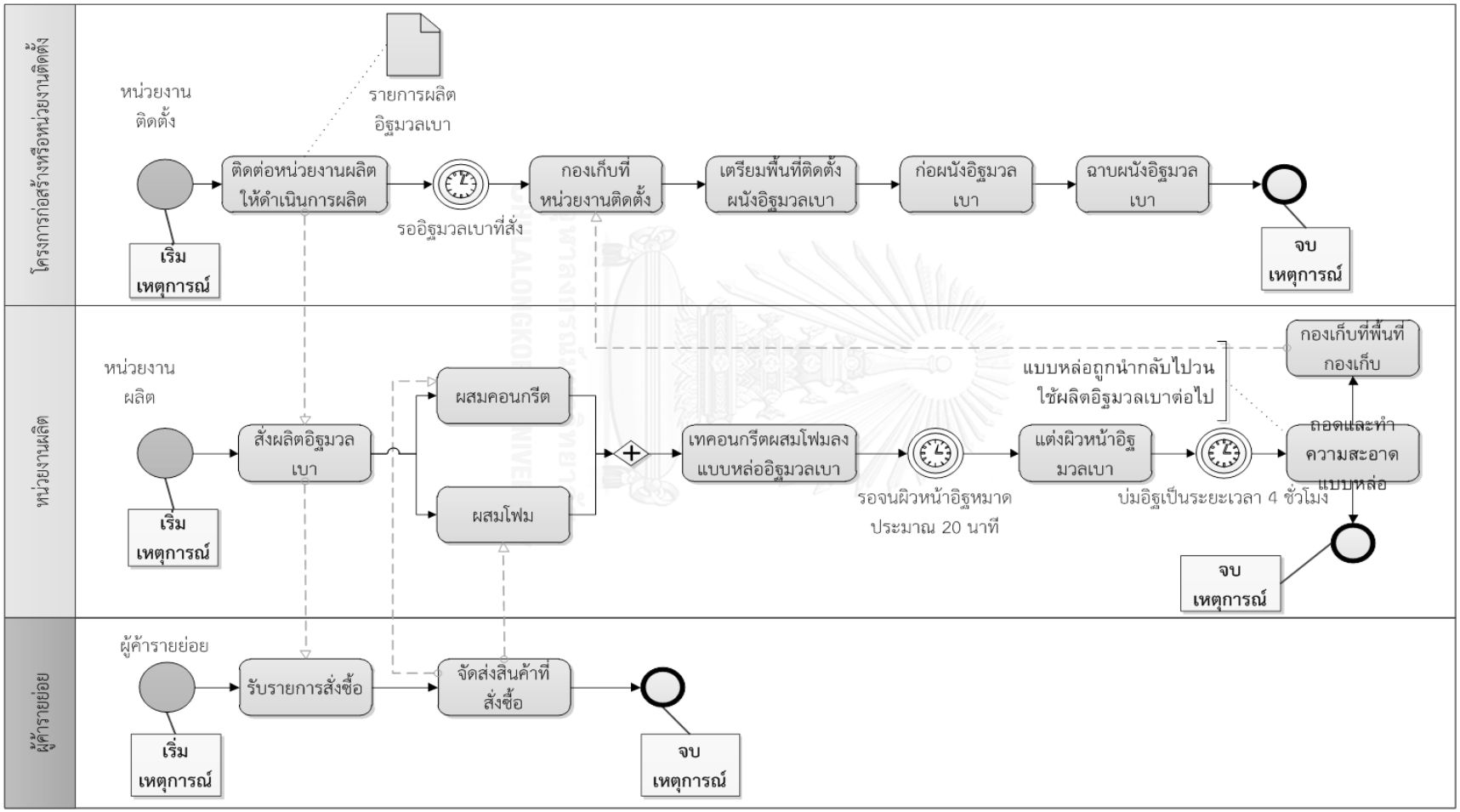
<u>การผลิตอิฐมวลเบาโดยหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบาขนาดเล็ก</u>

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าหน่วยงานผลิตขนาดเล็กจะใช้เครื่องมือและเครื่องจักรจำนวนมากได้แก่ เครื่องผสมคอนกรีตสำหรับผสมมอร์ต้าร์และฟองโฟม เครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ เครื่องกำเนิดฟองโฟม (Foam Generator) ปั๊มลม (Air Compressor) ใช้ร่วมกับเครื่องสร้างฟองโฟม แบบหล่อเหล็ก เจียรไฟฟ้าใช้สำหรับทำความสะอาด และรถบรรทุกสำหรับขนย้ายอิฐมวลเบา

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานผลิตขนาดเล็กพบว่าขั้นตอนการผลิตแบบไม่ผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงสามารถแสดงรายละเอียดผังการไหลของกระบวนการได้ดังภาพที่ 4.7 และสามารถสรุปขั้นตอนการผลิตได้อย่างคร่าวๆ 5 ขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) นำวัสดุที่เตรียมไว้มาร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด

(2) คลุกเคล้าส่วนผสม คือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์, ทราย, น้ำ ให้สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 4.7 ผังการไหลของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาด้วยระบบ CLC

(3) นำวัสดุแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ เทลงในเครื่องผสมคลุกเคล้าให้กระจายตัว จากนั้นเติมน้ำแปรรูป และสารผลิตโฟมที่ได้จากเครื่องจักรผลิตโฟมในขั้นตอนสุดท้ายและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

(4) นำวัสดุผสมเทลงแบบหล่อเป็นก้อนอิฐตามขนาดที่ต้องการ

(5) หลังจากถอดแบบหล่อ ให้ผึ่งแดดทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้อิฐมวลเบาแห้งสนิท

<u>การผลิตอิฐมวลเบาโดยหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบาขนาดใหญ่</u>

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอิฐมวลเบาพบว่า ขั้นตอนการผลิตอิฐมวลเบาโดยมากจะเป็นลิขสิทธิ์ของแต่ละบริษัทผู้ผลิต โดยมีการนำเทคโนโลยีมาจากต่างประเทศจึงอาจมีความแตกต่างกันในบางรายละเอียด หน่วยงานผลิตขนาดใหญ่ซึ่งใช้เครื่องมือเครื่องจักรเป็นส่วนมาก ได้แก่ เครื่องผสมคอนกรีตสำหรับผสมมอร์ต้าร์และฟองโฟม, สายพานลำเลียง (Bolt Conveyor) สำหรับลำเลียงวัตถุดิบ, ถังบรรจุชั่งน้ำหนักทรายและปูนซีเมนต์ (Weighting Machine) สำหรับชั่งตวงน้ำหนัก, รถลำเลียงสำหรับลำเลียงอิฐมวลเบาไปยังพื้นที่กองเก็บ, แบบหล่อ, เครื่องตัดอิฐ สำหรับกรณีที่ใช้แบบหล่อขนาดใหญ่ จากนั้นจึงตัดแบ่งตามขนาดที่ต้องการของรายการสั่งอิฐมวลเบา ซึ่งโดยมากเครื่องจักรประเภทนี้มักถูกนำมาใช้งานสำหรับมาตรฐานการผลิตระดับสูง เช่น บริษัท Q-CON ซึ่งใช้ลิขสิทธิ์การผลิตอิฐมวลเบาของประเทศเยอรมัน สำหรับการผลิตอิฐมวลเบาด้วยระบบการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) นำวัตถุดิบหลัก คือ ทรายหรือซิลิกามาบดด้วยเครื่องบดอัด วิธีการบดทรายมี 2 วิธี คือ การบดแบบแห้ง (Dry-mill) และการบดแบบเปียก (Wet-mill) แต่นิยมแบบเปียกมากกว่าเนื่องจากสามารถลดความร้อนขณะบดทรายได้ โดยจะเติมน้ำลงไปตลอดขั้นตอนการบดทรายด้วย

(2) ผสมวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างอิฐมวลเบา เช่น ปูนขาว, ผงอลูมิเนียม, ทรายหรือซิลิกา, ซีเมนต์, ยิปซั่ม และน้ำ โดยจะผสมกันตามอัตราส่วนด้วยเครื่องผสมคอนกรีต เริ่มจากการผสมทรายและยิปซั่มก่อน ขณะเดียวกันผสมปูนขาวและซีเมนต์ แล้วจึงนำทั้งหมดมาผสมกัน แล้วจึงนำไปผสมกับอลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบสุดท้าย

(3) เทของเหลวจากการผสมลงแบบหล่อ

(4) นำเข้าห้องบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจากการผสมปูนขาวและปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับผงอลูมิเนียมเกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่งจะขยายขนาดของมวลให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นและฟองอากาศจะเข้าไปแทนที่ก๊าซไฮโดรเจนนั้น ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา

(5) นำคอนกรีตมวลเบาเข้าเครื่องตัด (Cutting Machine) โดยใช้เส้นลวดที่มีความแม่นยำสูง

(6) นำอิฐมวลเบาเข้าเครื่องอบ (Oven Dryer) ที่ควบคุมอุณหภูมิและความดันสูงสุดที่ 180-190 องศาเซลเซียสและ 12 บาร์ตามลำดับ เป็นเวลา 12 ชั่วโมงผ่านระบบลำเลียงด้วยสายพาน

(7) ตรวจสอบคุณภาพและบรรจุผลิตภัณฑ์ รวมถึงการกองเก็บผลิตภัณฑ์เข้าสถานที่กองเก็บ

(8) ขนส่งจากสถานที่กองเก็บไปยังหน่วยงานติดตั้ง

4.2.3 กระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

กระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การติดตั้งเสาเอ็นและคานทับหลัง การก่ออิฐมวลเบา และการฉาบผนังอิฐมวลเบา โดยแต่ละขั้นตอนมีการใช้วัสดุ เครื่องมือ และรายละเอียดการติดตั้งดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและทับหลัง</u>

การติดตั้งเสาเอ็นและทับหลังใช้สำหรับกรณีที่ใช้ผนังอิฐมวลเบามีพื้นที่ก่อมากกว่า 4 ตร.ม. จำเป็นต้องมีการสร้างเสาเอ็นทับหลังหรือคานทับหลังเพื่อเสริมความแข็งแรงของผนังก่อบริเวณนั้น เสาเอ็นทับหลังหรือคานทับหลังผลิตจากปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ทรายหยาบ และน้ำ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปเทบริเวณที่ตั้งแบบหล่อไว้หรือในกรณีที่ผนังอิฐมวลเบามีความหนาเกิน 10 ซม. สามารถใช้ทับหลังสำเร็จรูปแทนทับหลังประเภทหล่อในที่ได้ โดยทับหลังสำเร็จรูปจะมีส่วนผสมเช่นเดียวกับทับหลังหล่อในที่แต่จะถูกผลิตที่โรงงานและขนส่งไปยังโครงการก่อสร้าง

ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นทับหลังประกอบด้วยการขนส่งเสาเอ็นสำเร็จรูปไปยังโครงการก่อสร้าง จากนั้นเตรียมพื้นที่ติดตั้งโดยใช้สว่านไฟฟ้าเจาะผนัง หรือพื้นและเพดานในตำแหน่งที่ต้องการติดตั้ง สุดท้ายใช้น้ำยาเจาะเสียบเหล็ก (Epoxy resin) ในการประสานระหว่างเหล็กที่เสียบเข้ากับโครงสร้างกับเหล็กเสริมของเสาเอ็นหรือทับหลังสำเร็จรูป

<u>ขั้นตอนการก่ออิฐมวลเบา</u>

การก่ออิฐมวลเบามีการใช้วัสดุและเครื่องมือ ได้แก่ ปูนก่ออิฐมวลเบา เกรียงใบโพธิ์ เกรียงก่ออิฐมวลเบา เกรียงฟันปลา เกรียงกระดาษทราย ค้อนยาง เลื่อยอิฐมวลเบา และหัวปั่นปูน โดยมีขั้นตอนการก่ออิฐมวลเบาดังต่อไปนี้

(1) ตรวจดูแบบก่อนก่อและกำหนดตำแหน่งแนวก่อ

(2) ทำความสะอาดบริเวณที่จะทำการก่ออิฐมวลเบา ปรับวางแนวดิ่งและแนวฉาก และใช้แปรงสลัดน้ำใส่บริเวณที่จะก่อ

(3) เริ่มก่ออิฐชั้นแรก โดยการใช้ปูนทรายปรับระดับให้มีความหนาประมาณ 3-4 ซม.

(4) ผสมปูนก่ออิฐมวลเบากับน้ำสะอาดโดยใช้หัวปั่นปูน

(5) ก่อก้อนแรกโดยป้ายปูนก่อบริเวณด้านข้างเสาและด้านล่างก้อนด้วยเกรียงก่ออิฐมวลเบา โดยมีความหนาของปูนก่อระหว่างก้อนเพียง 1-2 มม.

(6) เริ่มก่อขั้นแรกโดยใช้ค้อนยางปรับระดับให้ได้ระดับตามแนวเอ็นที่ระดับตามแนวเอ็นที่ขึงไว้และตรวจสอบด้วยระดับน้ำ

(7) ก่อก้อนที่สองโดยใช้เกรียงก่อป้ายปูนก่อด้านข้างและด้านล่างของก้อน โดยให้มีความหนา 1-2 มม. จากนั้นปรับระดับด้วยค้อนยางให้ได้ระดับเดียวกัน กรณีที่มีการตัดก้อนอิฐต้องใช้เครื่องเลื่อยตัดเฉพาะแล้วจึงใช้เกรียงกระดาษทรายขัดให้เรียบ

(8) ก่อชั้นต่อไปในลักษณะสลับแนวระหว่างชั้น และมีการขึงแนวก่อน โดยต้องมีระยะเหลื่อมไม่น้อยกว่า 10 ซม. แต่ละก้อนต้องป้ายปูนรอบก้อนหนา 2-3 มม.

(9) ปลายก้อนที่ก่อชนเสาโครงสร้าง จะต้องยึดด้วยตะปูคอนกรีตเข้ากับโครงสร้าง

<u>ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา</u>

การฉาบผนังอิฐมวลเบาจำเป็นต้องใช้วัสดุและเครื่องมือ ได้แก่ ปูนฉาบมวลเบา สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน เกรียงไม้ เกรียงขัดมัน เกรียงโป๊ว และกระดาษทราย โดยขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบามีรายละเอียดดังนี้

(1) ติดตั้งตะแกรงกันแตกที่จุดต่อโครงสร้างกับอิฐมวลเบาหรือเสาเอ็นทับหลังกับอิฐมวลเบา

(2) เตรียมพื้นผิวโดยทำความสะอาดเศษฝุ่นผงบนอิฐมวลเบาจากนั้นราดน้ำให้ผนังดูดซับน้ำ

(3) ฉาบปูนที่มีคุณสมบัติพิเศษทำการฉาบด้วยความหนาประมาณ 2-3 มม. การฉาบไม่ควรหนากว่า 1 ซม. โดยใช้อัตราส่วนน้ำสะอาดปริมาณ 14-15 ลิตรต่อปูน 1 ถุง

(4) บางกรณีหน่วยงานติดตั้งจะใช้ปูนฉาบแต่งผิวเรียบตกแต่งผิวต่อ ซึ่งจะทำให้เกิดฝุ่นผงจากปูนแต่งผิวเรียบ ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการฉาบจึงจำเป็นต้องมีการขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อลดเศษฝุ่น

4.3 อิฐมอญ

ชนชาติแรกที่เริ่มนำอิฐมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง คือ อียิปต์ โดยใช้โคลนมาทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมก่อนนำไปผึ่งแดดจนได้อิฐที่คงทน ต่อมาชาวบาบิโลเนียนนำอิฐชนิดนี้ไปพัฒนาขึ้นด้วยการนำแท่งดินไปเผาไฟจนได้อิฐคุณภาพสูงและกลายเป็นต้นแบบที่แพร่หลายไปทั่วโลกและถูกนำเข้ามาในประเทศไทยโดยชาวขอมซึ่งอิฐมอญของชาวขอมมีลักษณะ คือ การทำอิฐให้แบนและกว้างเพื่อวางเรียงซ้อนกันเป็นโครงสร้าง แต่ต่อมาพัฒนามาใช้ศิลาแลงและหินทรายแทน

อิฐมอญเริ่มเข้ามามีบทบาทในงานก่อสร้างของประเทศไทยตั้งแต่สมัยอยุธยาจนกระทั่งรัตนโกสินทร์ตอนต้น ตลอดจนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรมตะวันตกที่เริ่มมีอิทธิพลต่อวิถีชีวิตและค่านิยมของชาวไทย และเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในประเทศไทยทำให้ง่ายต่อการขนส่งและผลิต วัตถุดิบหลักของอิฐมอญของไทย คือ ดินเหนียวผสมแกลบและน้ำ

4.3.1 นิยามและประเภทของอิฐมอญ

นิยามของอิฐมอญ

อิฐมอญ เป็นอิฐก่อผนังที่ได้รับความนิยมยาวนานต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันทำจากดินเหนียวผสมขี้เถ้าแกลบ จากนั้นนำมาบดอัดเป็นก้อนแล้วจึงนำเข้าเตาเผาโดยจะดำเนินการเผาที่อุณหภูมิสูง อิฐที่ได้จะมีคุณสมบัติแข็งแรงทนทาน เนื้อแน่น และดูดซึมน้ำต่ำ โดยอิฐมอญส่วนมากมักมีลักษณะเป็นก้อนทรงเหลี่ยมมีสีแดงปนส้ม (บางที่เรียกว่าอิฐแดง) มีขนาดทั่วไปอยู่ที่ 7x15x3 ซม.เนื่องจากขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและการใช้วัตถุดิบหาง่ายจากธรรมชาติ ทำให้อิฐมอญมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดจึงเป็นที่นิยมของช่างก่อสร้างมาโดยตลอด

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับอิฐมอญพบว่า งานวิจัยเหล่านั้นได้ให้นิยามความหมายของอิฐมอญไว้หลากหลายทำให้สามารถสรุปได้พอสังเขปว่าอิฐมอญ คือ วัสดุก่อสร้างสำหรับผนังอาคารที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างทั้งผนังภายในและผนังภายนอก โดยมีส่วนผสมหลัก คือ ดินเหนียวผสมแกลบหรือวัตถุดิบประเภทอื่น จากนั้นจึงนำไปผสมคลุกเคล้าเข้ากับน้ำภายในบ่อผสม ขั้นตอนต่อมา คือ นำส่วนผสมดังกล่าวขึ้นมาปั้นลงในแบบหล่ออิฐและนำไปผึ่งแดดให้ก้อนอิฐแห้งหมาด จากนั้นจึงเผาอิฐด้วยเตาเผาอิฐจนได้ที่ อิฐที่ได้จากการเผาอิฐจะมีสีแดงกึ่งส้ม สุดท้ายจึงนำอิฐที่ได้จากการเผาไปกองเก็บ

ประเภทของอิฐมอญ

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าอิฐมอญสามารถจำแนกประเภทตามการใช้งานอย่างคร่าวๆได้สามประเภท คือ อิฐมอญตัน, อิฐมอญสองรู และอิฐมอญสี่รู ซึ่งทุกประเภทจะดำเนินการผลิตด้วยวัตถุดิบประเภทเดียวกัน ใช้เครื่องจักรชนิดเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันที่ขนาดของก้อนอิฐและคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ความสามารถในการดูดซับเสียง โดยอิฐมอญตันและอิฐมอญสองรูจะมีขนาดเท่ากัน คือ กว้าง 5.5 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร และหนา 3 เซนติเมตร สำหรับอิฐมอญสี่รูจะมีขนาดโดยประมาณ คือ กว้าง 5.5 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร และหนา 6 เซนติเมตร หรือใหญ่กว่าสองเท่าโดยประมาณ นอกจากนี้อิฐมอญสองรูจะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า และมีความสามารถในการดูดซับเสียงมากกว่าเมื่อเทียบกับอิฐมอญสี่รู แต่เนื่องจากอิฐมอญตันและอิฐมอญสองรูมีขนาดเล็กกว่า

ประมาณครึ่งหนึ่งของอิฐมอญสี่รู ดังนั้นในขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญตันและอิฐมอญสองรูที่มีขนาดเล็กกว่าจึงอาจใช้เวลาการก่อมากกว่าอิฐมอญสี่รูเมื่อเปรียบเทียบกันที่พื้นที่ก่อเท่ากัน

นอกจากการจำแนกประเภทของอิฐมอญโดยการใช้งานแล้ว อิฐมอญยังสามารถจำแนกประเภทตามการใช้งานอย่างอื่นได้อีก เช่น การใช้อิฐมอญในการประดับหรือตกแต่งผนังห้องหรือตกแต่งสวน เนื่องจากอิฐมอญสามารถนำมาใช้ในการประดับและตกแต่งได้โดยการเพิ่มส่วนผสมบางชนิด เช่น หินกรวด ทราย หรือซิลิกา ในการผสมในอิฐมอญ จากนั้นจึงดำเนินการผลิตด้วยเครื่องจักรที่มีความเฉพาะเจาะจงเพื่อให้ได้อิฐมอญที่มีคุณภาพสูงเหมาะแก่การนำมาใช้ประดับ

<u>ประเภทของหน่วยงานผลิตอิฐมอญ</u>

หน่วยงานผลิตอิฐมอญสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ หน่วยงานผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรในการผลิตเป็นหลักและหน่วยงานผลิตอิฐมอญที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตเป็นหลัก เช่น เตาเผาอิฐอัตโนมัติ แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีราคาสูงมากทำให้ผลผลิตมีต้นทุนสูงและมีโอกาสขาดทุนสูงทำให้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจเลือกระบบการผลิตที่เหมาะสมกับต้นทุน

หน่วยงานผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมเป็นหน่วยงานผลิตอิฐมอญที่ถูกพบได้มากในจังหวัดอยุธยา ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีการผลิตอิฐมอญมากเป็นอันดับแรกของประเทศไทย จากการสอบถามพบว่าอุตสาหกรรมในครัวเรือนเหล่านี้เป็นที่นิยมมาก เนื่องจากความต้องการใช้อิฐมอญที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อีกทั้งยังอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบหลักของอิฐมอญ คือ ดินเหนียว

4.3.2 กระบวนการผลิตอิฐมอญ

งานวิจัยนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานผลิตอิฐมอญดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรในการผลิตเป็นหลัก โดยสามารถสรุปผังการไหลของกระบวนการผลิตอิฐมอญได้ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งกระบวนการผลิตอิฐมอญประกอบด้วยวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือเครื่องจักรดังต่อไปนี้

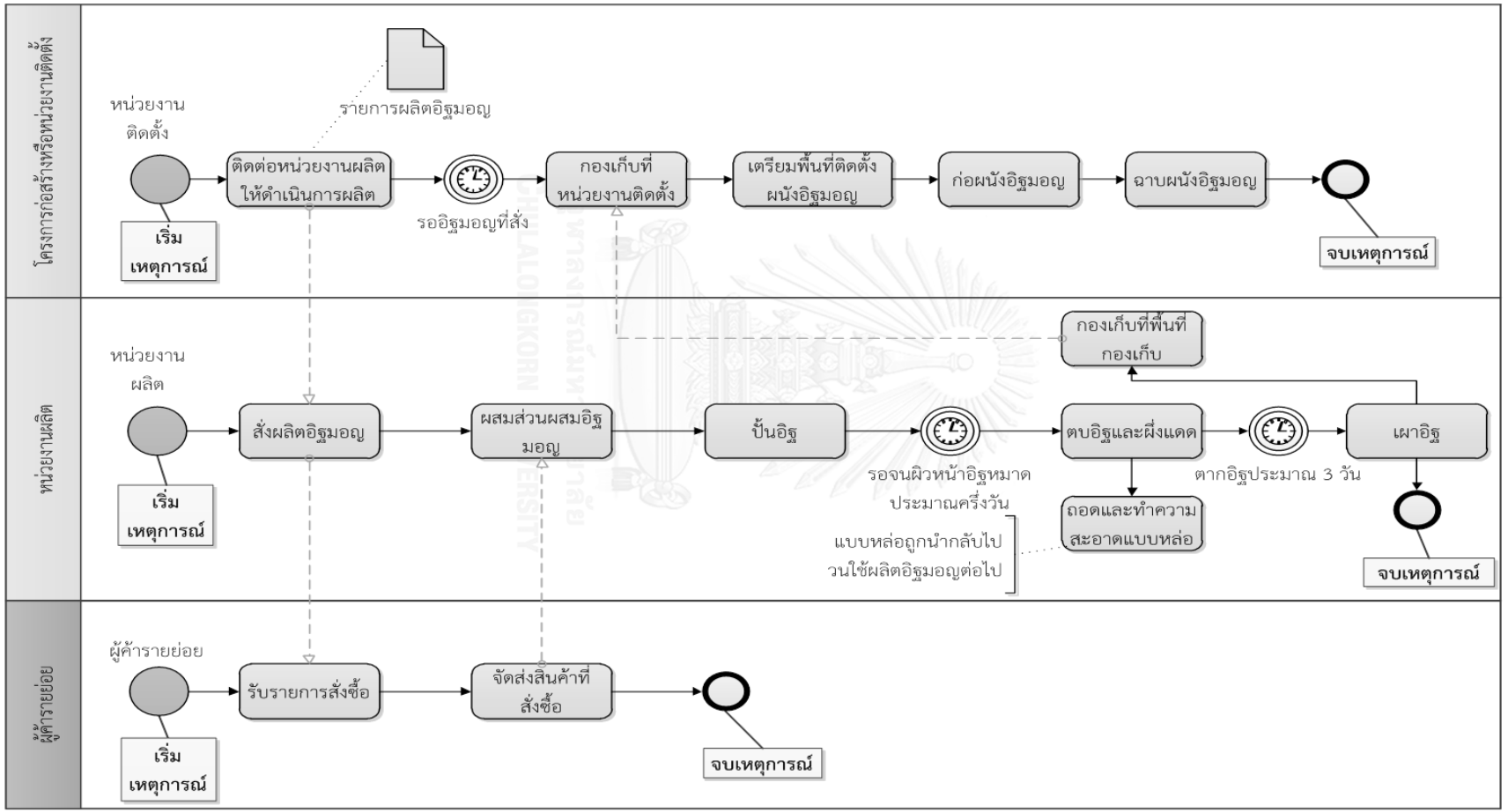
(1) ดิน ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ

(2) แกลบ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ และเป็นวัสดุในการเผาอิฐ

(3) น้ำ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ

(4) รถเข็น ใช้สำหรับการขนส่งวัตถุดิบจากพื้นที่กองเก็บไปยังสถานที่ผลิตอิฐมอญ

(5) จอบ เป็นเครื่องมือสำหรับขั้นตอนการผสมส่วนผสมอิฐมอญให้เข้ากัน



ภาพที่ 4.8 ผังการไหลของกระบวนการผลิตอิฐมอญ

(6) ถังน้ำ

(7) แบบพิมพ์

(8) มีดปาดดิน ใช้สำหรับตกแต่งผิวหน้าอิฐก่อนนำไปเผา

(9) เตาเผาอิฐมอญ

<u>ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ</u>

ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญจะเปลี่ยนไปตามความต้องการผลิตและลิขสิทธิ์การผลิตของแต่ละบริษัท ซึ่งหน่วยงานผลิตอิฐมอญที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตเป็นหลักจะมีขั้นตอนการผลิตน้อยและใช้แรงงานน้อย ในทางตรงกันข้ามหน่วยงานผลิตอิฐมอญดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรในการผลิตเป็นหลักจะใช้เครื่องมือทางการเกษตรเป็นจำนวนมากทำให้มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอนกว่า ซึ่งงานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมซึ่งใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางเกษตรเป็นหลัก ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลทำให้สามารถสรุปขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้

(1) ทำความสะอาดแบบพิมพ์ เพื่อไม่ให้มีเศษดินจากการพิมพ์ครั้งก่อน

(2) หว่านขี้เถ้าลงไปในลานพอประมาณ ป้องกันดินติดบนลานตาก

(3) นำดินไปผสมแกลบและน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.9

(4) อัดดินที่ผสมแกลบและน้ำเข้าแบบพิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 4.10 จากนั้นจึงยกแบบพิมพ์ออกและทิ้งไว้ 6-8 ชั่วโมงพอให้ดินแห้งหมาดๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4.9 การผสมดิน แกลบ และน้ำในบ่อผสม

ภาพที่ 4.10 การอัดดินผสมแกลบเข้าในแบบพิมพ์

ภาพที่ 4.11 การบดอัดและปรับแต่งระนาบอิฐ

ภาพที่ 4.12 ขั้นตอนการเผาอิฐ

(5) ใช้ไม้นาบบนแท่งดิน เพื่อบดอัดและปรับแต่งระนาบอิฐดังแสดงในภาพที่ 4.11

(6) ตกแต่งผิวด้วยมีดปาดดิน

(7) ลำเลียงเข้าเตาเผา ดังแสดงในภาพที่ 4.12 โดยใช้เวลาเผาประมาณ 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง คอยเกลี่ยไฟและเติมแกลบจนได้อิฐที่สุกเป็นสีส้ม

4.3.3 กระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญ

กระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การติดตั้งเสาเอ็นและคานทับหลัง การก่ออิฐมอญ และการฉาบผนังอิฐมอญ โดยแต่ละขั้นตอนมีการใช้วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการติดตั้งดังนี้

<u>ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นทับหลัง</u>

การติดตั้งเสาเอ็นทับหลังใช้สำหรับกรณีที่ใช้ผนังอิฐมอญมีพื้นที่ก่อมากกว่า 4 ตร.ม. จำเป็นต้องมีการสร้างเสาเอ็นทับหลังหรือคานทับหลังเพื่อเสริมความแข็งแรงของผนังก่อบริเวณนั้น เสาเอ็นทับหลังหรือคานทับหลังผลิตจากปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ทรายหยาบ และน้ำ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปเทบริเวณที่ตั้งแบบหล่อไว้ หรือในกรณีที่ผนังอิฐมอญมีความหนาเกิน 10 ซม. สามารถใช้ทับหลังสำเร็จรูปแทนทับหลังประเภทหล่อได้

ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นทับหลังประกอบด้วยการขนส่งเสาเอ็นสำเร็จรูปมายังหน่วยงานติดตั้ง จากนั้นเตรียมพื้นที่ติดตั้งโดยใช้สว่านไฟฟ้าเจาะผนัง หรือพื้นและเพดานในตำแหน่งที่ต้องการติดตั้ง สุดท้ายใช้น้ำยาเจาะเสียบเหล็ก (Epoxy resin) ในการประสานระหว่างเหล็กของเสาเอ็นสำเร็จรูปและพื้นที่ติดตั้งเช่นเดียวกับผนังอิฐมอญ

<u>ขั้นตอนการก่ออิฐมอญ</u>

การก่ออิฐมอญประกอบด้วยวัสดุและเครื่องมือ ได้แก่ ปูนก่อสำเร็จรูป เกรียงใบโพธิ์ รถเข็น กระบะปูน กระป๋องเล็กใส่ปูน และจอบ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการก่อดังต่อไปนี้

(1) ตรวจดูแบบก่อนก่อ และกำหนดตำแหน่งแนวก่อ

(2) เจาะเสียบเหล็กเส้นกลมเข้าไปในโครงสร้างตลอดแนวก่อห่างกันประมาณ 40 ซ.ม. และกรอกกาวหุ้มรอบเหล็ก

(3) ทำความสะอาดบริเวณที่จะทำการก่ออิฐมอญ ปรับวางแนวดิ่งและแนวฉากและใช้แปรงสลัดน้ำใส่บริเวณที่จะก่อ

(4) ขึงเอ็นเพื่อกำหนดแนวระดับในการก่ออิฐมอญ

(5) เริ่มก่ออิฐชั้นแรก โดยการใช้ปูนทรายปรับระดับให้มีความหนาประมาณ 3-4 ซม.

(6) ผสมปูนก่ออิฐมอญกับน้ำสะอาดโดยใช้เครื่องผสมคอนกรีตหรือผสมด้วยตนเอง

(7) ก่อก้อนแรกโดยป้ายปูนก่อบริเวณด้านข้างเสาและด้านล่างก้อนด้วยเกรียงก่ออิฐมอญ โดยมีความหนาของปูนก่อเพียง 1 ซ.ม. ระหว่างก้อน

(8) เริ่มก่อชั้นแรกโดยใช้ค้อนยางปรับระดับให้ได้ระดับตามแนวเอ็นที่ระดับตามแนวเอ็นที่ขึงไว้และตรวจสอบด้วยระดับน้ำ

(9) ก่อก้อนที่สองโดยใช้เกรียงก่อป้ายปูนก่อด้านข้างและด้านล่างของก้อน โดยให้มีความหนา 1-1.5 ซม. และปรับระดับด้วยค้อนยางให้ได้ระดับเดียวกัน

(10) ก่อชั้นต่อไปในลักษณะสลับแนวระหว่างชั้น และมีการขึงแนวก่อน โดยต้องมีระยะเหลื่อมไม่น้อยกว่า 8 ซม. แต่ละก้อนต้องป้ายปูนรอบก้อนหนา 1-1.5 ซม.

(11) ปลายก้อนที่ก่อชนเสาโครงสร้าง จะต้องยึดด้วยตะปูคอนกรีตเข้ากับโครงสร้าง ทุกระยะสองชั้นของก้อน

<u>ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ</u>

การฉาบผนังอิฐมอญจะใช้วัสดุและเครื่องมือ ได้แก่ ปูนฉาบสำเร็จ, สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน, เกรียงไม้, เกรียงขัดมัน, เกรียงโป๊ว และกระดาษทราย โดยขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ติดตั้งตะแกรงกันแตกที่จุดต่อโครงสร้างกับอิฐมอญหรือเสาเอ็นทับหลังกับอิฐมอญ

(2) เตรียมพื้นผิวโดยทำความสะอาดเศษฝุ่นผงบนอิฐมอญ จากนั้นราดน้ำให้ผนังดูดซับน้ำ

(3) กำหนดความหนาของผนังโดยการจับเซี้ยมหรือจับปุ่ม

(4) ฉาบปูนรองพื้นที่มีคุณสมบัติพิเศษ ได้แก่ มีแรงยึดเกาะสูง เนื้อละเอียด เหนียว ลื่น อุ้มน้ำได้ดี ทำการฉาบด้วยความหนาประมาณ 0.5 – 1.0 ซม. การฉาบไม่ควรหนากว่า 1.5 ซม. โดยใช้อัตราส่วนน้ำสะอาดปริมาณ 10-12 ลิตรต่อปูน 1 ถุง

(5) ทำการตีน้ำและฉาบลงฟองเมื่อผนังเริ่มหมาดเพื่อขจัดเม็ดทรายส่วนเกินออก

(6) บางกรณีหน่วยงานติดตั้งจะใช้ปูนฉาบแต่งผิวเรียบตกแต่งผิวต่อ ซึ่งจะทำให้เกิดฝุ่นผงจากปูนแต่งผิวเรียบ ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการฉาบจึงจำเป็นต้องมีการขัดด้วยกระดาษทราย

4.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารประเภทต่างๆ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร จำนวน 3 ชนิด คือ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดโดยละเอียด หัวข้อนี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารประเภทต่างๆ เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ผนังอาคารของผู้ออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการก่อสร้างลง เนื่องจากเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถเตรียมการผลิตได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ อีกทั้งยังสามารถผลิตและกองเก็บล่วงหน้าได้ที่หน่วยงานผลิต ทำให้สามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย อีกทั้งหน่วยงานผลิตยังสามารถควบคุมคุณภาพการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปได้ด้วยการตรวจสอบภายหลังการผลิตทันที อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปยังคงมีข้อจำกัดบางอย่าง ได้แก่

- รูปแบบของอาคารควรจะเหมือนหรือซ้ำกันเพราะหากมีการใช้รูปแบบที่แตกต่างกันมากจะส่งผลต่อต้นทุนและระยะเวลาของการออกแบบและการผลิต
- วัสดุอาจโก่งหรือมีรอยร้าวในระหว่างการขนส่งไปยังหน่วยงานติดตั้ง
- จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรหนักในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีขนาดใหญ่

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปควบคู่กับการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทำให้สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาจำเป็นต้องพิจารณาในการเลือกใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป คือ การพิจารณาจุดคุ้มทุนของการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป กล่าวคือ รูปแบบของอาคารควรจะเหมือนหรือซ้ำกันเพราะหากมีการใช้รูปแบบที่แตกต่างกันมากจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการออกแบบและความคุ้มค่าของการสร้างแบบหล่อคอนกรีต ดังนั้นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจึงเหมาะสมกับโครงสร้างที่มีความเหมือนกันเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น อาคารชุดพักอาศัยหรือคอนโดมิเนียม อาคารพักอาศัยรวมหรือหอพัก และโครงการบ้านพักอาศัย

วัสดุประเภทที่สอง คือ อิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแทนที่อิฐมอญซึ่งเป็นวัสดุผนังอาคารดั้งเดิมที่ถูกใช้มาตั้งแต่อดีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อจำกัดบางประการของอิฐมอญ เช่น ค่าการนำความร้อนซึ่งอิฐมวลเบามีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าอิฐมอญ และความสามารถในการดูดซับเสียงซึ่งอิฐมวลเบามีค่าการดูดซับเสียงน้อยกว่าอิฐมอญเมื่อเปรียบเทียบที่ความหนาเดียวกัน นอกจากนี้อิฐมวลเบายังมีน้ำหนักน้อยกว่าอิฐมอญเมื่อเปรียบเทียบ

ภายใต้พื้นที่ก่อเท่ากันซึ่งเป็นการลดภาระน้ำหนักคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้างพื้น อีกทั้งยังเป็นวัสดุผนังที่มีรูปทรงเที่ยงตรงได้มาตรฐานซึ่งจะลดปัญหาการก่ออิฐเบี้ยวของแรงงานลง อย่างไรก็ตามอิฐมวลเบายังมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าอิฐมอญเนื่องจากมีการใช้ซีเมนต์เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแต่สามารถทดแทนได้ด้วยการลดต้นทุนด้านแรงงาน ขั้นตอนการก่อจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะสำหรับก่ออิฐมวลเบาเท่านั้นและจะต้องกระทำโดยช่างผู้ชำนาญการ และความไม่สมบูรณ์ของงานผนังเช่น การแตกร้าวของผนังฉาบอันเนื่องมาจากความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศเนื่องจากอิฐมวลเบาถูกพัฒนาขึ้นสำหรับงานผนังก่อสร้างในประเทศที่มีอากาศหนาว ดังนั้นเมื่อมีการนำมาใช้ในประเทศอากาศร้อนจึงทำให้เกิดการหดตัวของปูนฉาบจนผนังแตกร้าว

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องควบคู่กับการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทำให้สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาในการเลือกใช้อิฐมวลเบา คือ ความรวดเร็วในการทำงาน กล่าวคือวัสดุผนังชนิดนี้เหมาะสมสำหรับโครงการที่ต้องการความรวดเร็วในการทำงาน เนื่องจากเป็นวัสดุผนังที่ติดตั้งได้อย่างง่ายดายและรวดเร็วถึงประมาณ 20 ตารางเมตรต่อวันต่อคนงานก่อหนึ่งคนซึ่งเร็วกว่าอิฐมอญถึงสองเท่า อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยบางประการที่ต้องพิจารณา เช่น คุณสมบัติบางประการที่ผู้ผลิตนำเสนอขึ้นมานั้น เมื่อเปรียบเทียบกันที่ข้อกำหนดเดียวกันแล้วมีความแตกต่างกับอิฐมอญน้อยมากจนแทบไม่มีนัยสำคัญ เช่น การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงกับอิฐมอญที่ก่อชั้นเดียวพบว่าอิฐมวลเบาจะมีค่าการดูดซับเสียงดีกว่าอิฐมอญ แต่สำหรับการก่ออิฐมอญสองชั้นซึ่งเป็นที่นิยมของงานผนังก่อสร้างช่องตรงกลางจะทำหน้าที่ดูดกลืนเสียงทำให้อิฐมอญก่อสองชั้นมีค่าการดูดซับเสียงมากกว่าอิฐมวลเบา ดังนั้นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพจึงสมควรทำควบคู่กับการขอปรึกษาจากผู้ออกแบบและผู้รับเหมาก่อสร้าง

วัสดุผนังประเภทสุดท้าย คือ ผนังอิฐมอญเป็นวัสดุก่อสร้างที่ถูกนำมาใช้งานผนังตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน ซึ่งเป็นวัสดุผนังที่ได้รับการยอมรับเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน ทั้งยังมีต้นทุนการผลิตที่น้อยมากเนื่องจากใช้วัตถุดิบหลักจากธรรมชาติได้แก่ ดินเหนียว, แกลบ และน้ำ อย่างไรก็ตามแม้ต้นทุนการผลิตจะน้อยมากแต่จะถูกทดแทนด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่สูงมากอันเนื่องมาจากค่าปูนก่อและปูนฉาบซึ่งต้องใช้ในปริมาณมาก เนื่องจากข้อกำหนดทั่วไปของการก่ออิฐกำหนดว่างานก่อควรมีความหนาของปูนเท่ากับ 1 นิ้ว และงานฉาบควรมีความหนาของปูนประมาณ 1.5 เซนติเมตร

อย่างไรก็ตามอิฐมอญยังมีข้อจำกัดบางประการได้แก่ กระบวนการผลิตที่ใช้แรงงานมนุษย์เป็นหลักอาจทำให้ได้อิฐมอญที่มีรูปร่างบิดเบี้ยวไม่ได้มาตรฐาน และขั้นตอนการก่อจำเป็นต้องใช้เวลามากเมื่อเทียบกับวัสดุผนังชนิดอื่นโดยมีผลิตผลหรืออัตราการก่ออิฐประมาณ 12 ตารางเมตรต่อวันต่อคนงานหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของขั้นตอนการก่ออิฐมวลเบา

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารประเภทต่างๆ

	ข้อดี	ข้อจำกัด	ปัจจัยที่พิจารณาในการเลือกใช้วัสดุผนัง
ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	o สามารถเตรียมการผลิตล่วงหน้าได้ จึงช่วยย่นระยะเวลาก่อสร้าง o สามารถติดตั้งได้สะดวก รวดเร็ว และง่าย o หน่วยงานผลิตสามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นงานได้ในทุกขั้นตอนการผลิต o มีความแข็งแรงและปลอดภัย	o ข้อจำกัดเรื่องความคุ้มค่าในการผลิต รูปแบบควรจะซ้ำกันหลายชิ้นจึงจะคุ้มค่า o จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการติดตั้ง เช่น ทาวเวอร์เครน o อาจเกิดการแตกร้าวหรือโก่งงอระหว่างการขนส่งหรือขนย้ายได้ o มีน้ำหนักมาก เนื่องจากใช้คอนกรีตเป็นวัตถุดิบหลัก	การพิจารณาจุดคุ้มทุนของการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป กล่าวคือ รูปแบบของอาคารควรจะเหมือนหรือซ้ำกันเพราะหากมีการใช้รูปแบบที่แตกต่างกันมากจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการออกแบบและความคุ้มค่าของการสร้างแบบหล่อคอนกรีต เช่น อาคารชุดพักอาศัย หรืออาคารพักอาศัยรวม
อิฐมวลเบา	o เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เป็นการลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้างพื้น o อิฐมวลเบามีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเบาจึงสามารถติดตั้งได้สะดวกรวดเร็ว o คุณสมบัติทางกายภาพที่สูงกว่าอิฐมอญ เมื่อเปรียบเทียบภายใต้ข้อกำหนดเดียวกัน o รูปทรงมีความเที่ยงตรงได้มาตรฐาน	o ต้นทุนการผลิตสูงกว่าอิฐมอญ แต่สามารถทดแทนกับการลดต้นทุนด้านแรงงาน o ขั้นตอนการก่อจะต้องใช้เครื่องมือเฉพาะสำหรับก่ออิฐมวลเบาเท่านั้น และต้องกระทำโดยช่างที่ชำนาญ o ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับงานก่อสร้างในประเทศที่มีอากาศหนาว ทำให้เกิดข้อจำกัดบางประการเมื่อมีการนำมาใช้ o รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวของปูนฉาบ	เหมาะสมสำหรับโครงการที่ต้องการความรวดเร็วในการทำงาน เนื่องจากเป็นวัสดุผนังที่ติดตั้งได้อย่างง่ายดายและรวดเร็วถึงประมาณ 20 ตารางเมตรต่อวันต่อคนงานก่อหนึ่งคน ซึ่งเร็วกว่าอิฐมอญถึงสองเท่า
อิฐมอญ	o มีความแข็งแรง ทนทานและปลอดภัยมากกว่าอิฐมวลเบา o ต้นทุนต่ำ	o ขั้นตอนการก่อจะใช้เวลานานกว่าผนังอิฐมวลเบา ซึ่งจะส่งผลต่อค่าแรง o รูปทรงบิดเบี้ยว เกิดจากความผิดพลาดระหว่างการผลิต	เป็นวัสดุผนังที่ใช้มาตั้งแต่อดีต โดยเชื่อว่ามีความแข็งแรงและทนทานมากกว่าวัสดุผนังประเภทอื่น

4.5 สรุป

บทนี้นำเสนอเกี่ยวกับรายละเอียดของผนังอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อิฐมวลเบา และอิฐมอญ โดยครอบคลุมนิยามและประเภทของผนังอาคาร ประเภทของหน่วยงานผลิตผนังอาคาร กระบวนการผลิตและกระบวนการติดตั้งผนังอาคาร นอกจากนี้ยังได้สรุปผังการไหลของกระบวนการผลิตและกระบวนการติดตั้งผนังอาคาร สุดท้ายได้สรุปข้อดีและข้อจำกัดของผนังอาคารทั้งสามชนิดเพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้ที่เกี่ยวข้อง

ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดการใช้เวลาในช่วงการผลิตและการติดตั้ง เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถดำเนินการผลิตและกองเก็บล่วงหน้าได้และยังสะดวกต่อการติดตั้ง หน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบก่อสร้างอัตโนมัติซึ่งใช้เครื่องจักรและระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการผลิตอัตโนมัติในทุกขั้นตอน และระบบก่อสร้างกึ่งอัตโนมัติซึ่งใช้ทั้งแรงงานมนุษย์และเครื่องจักรควบคู่กันในกระบวนการผลิต สำหรับการเชื่อมรอยต่อในกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อการเสริมความแข็งแกร่งระหว่างโครงสร้างอาคารและชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถจำแนกชนิดรอยต่อเป็น 3 ชนิดได้แก่ รอยต่อเปียก รอยต่อแบบอัดแรงภายหลัง และรอยต่อแห้งซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุด

ผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ใช้อิฐมอญ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ผลดีกว่าทั้งด้านค่าแรง ราคาต่อหน่วย ความง่ายในการใช้งาน ความเร็วในการติดตั้ง คุณสมบัติทางกายภาพที่เหนือกว่า และมาตรฐานการผลิตที่แน่นอนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเท่ากันหมด กระบวนการผลิตอิฐมวลเบาสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูงและประเภทที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง อิฐมวลเบายังสามารถจำแนกตามขนาดของหน่วยงานผลิตเป็น 2 ประเภท คือ หน่วยงานผลิตขนาดเล็กและหน่วยงานผลิตขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในขั้นตอนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะในการก่อและฉาบผนังอิฐมวลเบา

อิฐมอญเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ง่ายและประหยัดเนื่องจากใช้ดินเหนียวและแกลบซึ่งมีราคาถูกเป็นวัตถุดิบหลัก อีกทั้งยังมีผลผลิตสูงจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมาตั้งแต่อดีต หน่วยงานผลิตอิฐมอญสามารถจำแนกได้ 2 ระบบ คือ หน่วยงานผลิตอิฐมอญดั้งเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรในการผลิตเป็นหลักและหน่วยงานผลิตอิฐมอญที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตเป็นซึ่งมีราคาสูงมากทำให้ผลผลิตมีต้นทุนสูงและมีโอกาสขาดทุนสูง ผู้ประกอบการส่วนมากจึงนิยมใช้ระบบการผลิตที่ใช้แรงงานมนุษย์ควบคู่กับเครื่องมือการเกษตรซึ่งใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่า

บทที่ 5
ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

บทนี้นำเสนอระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารอันได้แก่ โครงสร้างของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม การกำหนดขอบเขตการประเมิน ข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลปฐมภูมิ

5.1 โครงสร้างระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

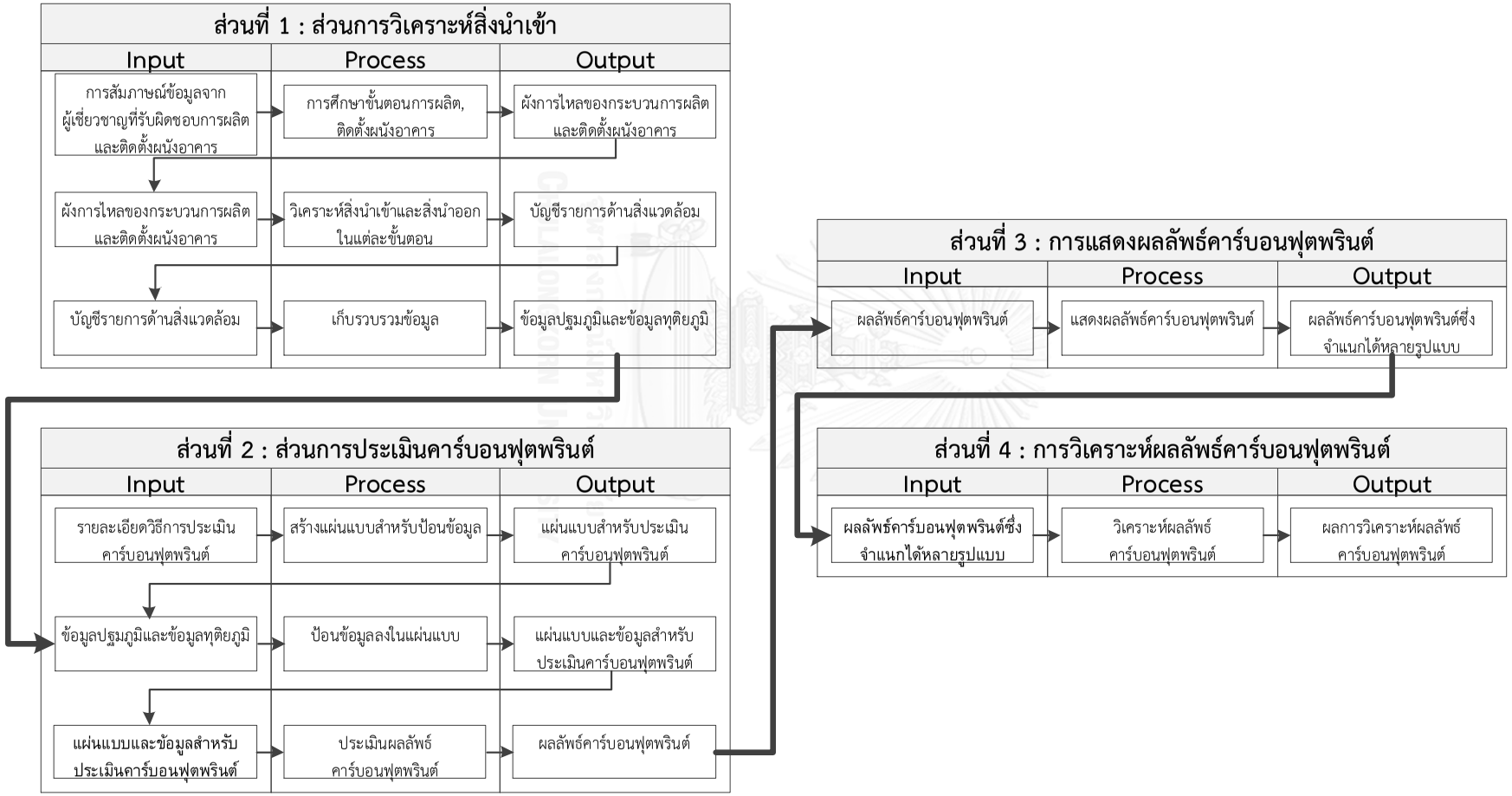
จากการศึกษาขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากมาตรฐานคาร์บอนฟุตพรินต์ เช่น PAS 2050 หรือ GHG Protocol ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 ส่วน แบ่งตามผลลัพธ์ที่ได้รับในแต่ละส่วน ได้แก่ ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้า ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ส่วนการแสดงผลลัพธ์ และส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้ามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอินพุต (Input) ของระบบ ได้แก่ การศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร การสร้างผังการไหลของกระบวนการ การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของแต่ละขั้นตอน และการเก็บรวบรวมข้อมูล ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเทมเพลตสำหรับป้อนข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาในส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ไปนำเสนอในส่วนการแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในรูปแบบต่างๆ ส่วนสุดท้าย คือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ประกอบด้วยการวิเคราะห์และสรุปผลลัพธ์ ภาพที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.1 ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้า

ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้ามีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และสร้างผังการไหลของกระบวนการควบคู่กับการวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก ส่วนนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อย คือ การศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารและการสร้างผังการไหลของกระบวนการ การวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในแต่ละขั้นตอน และการเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารายละเอียดของขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม จากนั้นจึงสร้างผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนและใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการวิเคราะห์และเก็บรวบรวมข้อมูล



ภาพที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของแต่ละขั้นตอน รวมถึงการสร้างผังงานเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในแต่ละขั้นตอน จากนั้นจึงกำหนดวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งนำเข้าซึ่งสามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกได้ 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุ เครื่องมือและเครื่องจักร การใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักร การกำจัดเศษซากสิ่งนำเข้า และการเดินทางและการขนส่ง ส่วนสุดท้าย คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลตามแนวทางการเก็บข้อมูล ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดการเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยมีรายละเอียดดังนี้

<u>วัสดุ</u>

ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ วัสดุชั่วคราว และวัสดุถาวร วัสดุชั่วคราว หมายถึง วัสดุที่ไม่ถูกนับรวมเข้าไปในโครงสร้างอาคาร เช่น แบบหล่อ ข้อมูลวัสดุชั่วคราวจะอยู่ในหน่วยมูลค่าวัสดุ (บาท) ซึ่งสามารถเก็บรวบรวมได้โดยการสัมภาษณ์และเปรียบเทียบราคา และฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต ส่วนวัสดุถาวร หมายถึง วัสดุที่ถูกนับรวมเข้าไปในโครงสร้างอาคาร เช่น คอนกรีต ข้อมูลวัสดุถาวรโดยมากจะอยู่ในหน่วยน้ำหนักสามารถเก็บรวบรวมได้โดยการชั่งน้ำหนักวัสดุโดยตรง การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารเบิกวัสดุประจำวัน หรือการศึกษาจากบัญชีแสดงรายการวัสดุ (Bill of quantities) ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุจะถูกนำไปใช้สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน

<u>ข้อมูลเครื่องมือและเครื่องจักร</u>

ข้อมูลเครื่องมือและเครื่องจักรสามารถจำแนกออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มเครื่องมือก่อสร้าง หมายถึง อุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการทำงาน เช่น เกรียงฉาบปูน สามเหลี่ยมแต่งผิวหน้าผนังปูนฉาบ ส่วนกลุ่มเครื่องจักรก่อสร้าง หมายถึง อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อน เช่น เจียรไฟฟ้า ข้อมูลชนิดนี้สามารถวิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับสิ่งนำเข้าประเภทวัสดุ แต่จะต้องใช้วิธี IOA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องเก็บรวบรวมข้อมูลในหน่วยมูลค่าเครื่องมือเครื่องจักรซึ่งทำได้โดยการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานและรวบรวมจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต

นอกจากนี้การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับเครื่องมือและเครื่องจักรจำเป็นต้องพิจารณาจำนวนรอบการนำกลับมาใช้ซ้ำของเครื่องมือและเครื่องจักร กล่าวคือการคำนวณส่วนภาระการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสัดส่วนการใช้งาน เช่น การผลิตเครื่องมือทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 100 $kgCO_2e$ และตั้งสมมติฐานว่าเครื่องมือสามารถนำมาวนใช้ได้ 100 ครั้ง ดังนั้นการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรแต่ละครั้งจะมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 1 $kgCO_2e$

ตารางที่ 5.1 แนวทางการศึกษาข้อมูลสิ่งนำเข้า

ข้อมูลสิ่งนำเข้า	ข้อมูลที่ต้องใช้	หน่วย	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
วัสดุชั่วคราว	มูลค่าวัสดุ	บาท	สัมภาษณ์ และรวบรวมจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเตอร์เน็ต
วัสดุถาวร	น้ำหนัก	กิโลกรัม	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล, เอกสารเบิกวัสดุ, บัญชีแสดงรายการวัสดุ
เครื่องมือเครื่องจักร	มูลค่าเครื่องมือเครื่องจักร	บาท	สัมภาษณ์ และรวบรวมจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเตอร์เน็ต
	จำนวนรอบการใช้ซ้ำ	ครั้ง	สัมภาษณ์, คู่มือการใช้เครื่องจักร
การใช้ไฟฟ้า	เวลาการใช้เครื่องจักร	ชั่วโมง	นาฬิกาจับเวลา
	การใช้ไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	คู่มือการใช้เครื่องจักร
การกำจัดเศษซาก	น้ำหนัก	กิโลกรัม	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
การขนส่งสิ่งนำเข้า	น้ำหนัก	กิโลกรัม	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
	ระยะทาง	กิโลเมตร	สัมภาษณ์, Google Map

<u>ข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องจักร</u>

ข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องจักร หมายถึง ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร ในกรณีของการเก็บรวบรวมข้อมูลพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการศึกษาคู่มือของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทซึ่งจะทำให้ทราบอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วยวัตต์ (Watt) จากนั้นจึงจับเวลาการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในหน่วยชั่วโมง (Hour) เพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในหนึ่งชั่วโมง (วัตต์*ชั่วโมง หรือ Watt*Hour) และสำหรับกรณีของการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสามารถทำได้โดยการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงจะถูกบันทึกในหน่วยลิตร (litre) และจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในหน่วยกิโลกรัม

<u>ข้อมูลการกำจัดเศษซาก</u>

ข้อมูลการกำจัดเศษซากที่เกิดจากสิ่งนำเข้าในแต่ละขั้นตอน เช่น เศษเหล็กจากขั้นตอนเสริมเหล็ก หรือเศษคอนกรีตจากขั้นตอนผสมคอนกรีต การเก็บรวบรวมข้อมูลชนิดนี้ทำได้โดยการสังเกตอย่างละเอียดและมีส่วนร่วมในงานเพื่อรวบรวมข้อมูลชนิดและน้ำหนักของเศษซากด้วยการชั่งตวง จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาใช้ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซาก ข้อมูลประเภทนี้จะอยู่ในหน่วยน้ำหนัก เช่น กิโลกรัมหรือตัน

<u>ข้อมูลการเดินทางและการขนส่ง</u>

กิจกรรมการเดินทางและการขนส่งวัสดุรวมถึงการขนส่งเศษซากไปกำจัดทุกประเภทก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะที่ใช้สำหรับขนส่ง ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จะแตกต่างกันไปตามชนิดและน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการเดินทางและการขนส่งทำได้โดยการบันทึกระยะทางที่

เดินทางหรือระยะทางที่ขนส่งในหน่วยกิโลเมตร ในงานวิจัยนี้ข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการใช้ Google map ควบคู่กับการสัมภาษณ์เส้นทางจากพนักงานขนส่งเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเส้นทาง จากนั้นจึงบันทึกน้ำหนักขนส่งของสิ่งนำเข้าซึ่งอยู่ในหน่วยน้ำหนัก เช่น ตันหรือกิโลกรัม

5.1.2 ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อย คือ การสร้างเทมเพลตสำหรับป้อนข้อมูล การป้อนข้อมูลลงในเทมเพลตที่พัฒนาขึ้น และการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า

การสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลหลายประเภท เช่น ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ และข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศไทย ข้อมูลทุติยภูมิเหล่านี้จำเป็นต้องผ่านการวิเคราะห์อีกขั้นหนึ่งก่อนที่จะนำมาใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ดังจะแสดงการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 5.3 จากนั้นจึงสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์โดยการจัดกลุ่มข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ให้เป็นแถวในแนวตั้งโดยใช้โปรแกรม Spreadsheet เช่น Microsoft Office Excel เป็นพื้นฐานในการสร้าง ผลการศึกษาพบว่ามีข้อมูลที่จำเป็นต้องแสดงทั้งสิ้น 12 ตัว ซึ่งเรียงลำดับตั้งแต่แถวที่ 1 ถึง 12 ตารางที่ 5.2 แสดงภาพรวมของเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) แถว 1 ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์และผังงาน แถวนี้สามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกได้ 9 ตัวแปร ได้แก่

1) I (Inputs) หมายถึง วัสดุชั่วคราวและวัสดุถาวร

2) M (Tools and machines) หมายถึง เครื่องมือและเครื่องจักรก่อสร้าง รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้า

3) E (Electricity) หมายถึง การใช้พลังงานไฟฟ้า

4) TG (Transport go) หมายถึง การขนส่งเที่ยวไป

5) TB (Transport back) หมายถึง การขนส่งเที่ยวกลับ

6) TWG (Transport waste go) หมายถึง การขนส่งของเสียเที่ยวไป

7) TWB (Transport waste back) หมายถึง การขนส่งของเสียเที่ยวกลับ

8) W (Waste) หมายถึง เศษซากที่เกิดในแต่ละขั้นตอน

9) P (Product) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน

(2) แถว 2 หมายถึง กลุ่มของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

(3) แถว 3 หมายถึง ชนิดของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

(4) แถว 4 หมายถึง ประเภทของข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกที่จำเป็นต้องศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

(5) แถว 5 หมายถึง ปริมาณของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก

(6) แถว 6 หมายถึง หน่วยของปริมาณสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกซึ่งจะสอดคล้องกับประเภทของข้อมูลที่จำเป็นต้องศึกษาในแถวที่ 4

(7) แถว 7 หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้า สามารถศึกษาได้จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

(8) แถว 8 หมายถึง หน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะอยู่ในหน่วย $kgCO_2e$/ unit โดย unit หมายถึงหน่วยของสิ่งนำเข้าที่ได้จากการศึกษาแถวที่ 6 เช่น 2.32 $kgCO_2e$/ กิโลกรัมของของเสีย

(9) แถว 9 หมายถึง ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก ทำได้โดยการป้อนข้อมูลลงในเทมเพลตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ รายละเอียดการประเมินและเกณฑ์การจำแนกสิ่งนำเข้าให้เหมาะสมกับวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

(10) แถว 10 หมายถึง ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในกรณีที่มีการปันส่วนหรือนำสิ่งนำเข้ากลับมาวนใช้ได้หลายครั้ง กรณีนี้จะเกิดขึ้นในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของเครื่องมือหรือเครื่องจักรในงานก่อสร้างที่สามารถนำมาใช้ได้จนกว่าจะสิ้นอายุการทำงาน การปันส่วนภาระความรับผิดชอบในงานวิจัยนี้จะจำแนกเป็น 2 กรณี คือ จำนวนครั้งการวนใช้งานและระยะเวลาที่สามารถวนใช้งานได้

(11) แถว 11 หมายถึง สมการที่ถูกเลือกมาใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ เนื่องจากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับแต่ละสิ่งนำเข้าจะใช้หลักการคำนวณที่แตกต่างกัน

(12) แถว 12 หมายถึง การจำแนกชนิดของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกซึ่งจำเป็นอย่างมากในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ซึ่งต้องจำแนกชนิดสิ่งนำเข้าให้ตรงกับสาขาเศรษฐกิจของตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างเทมเพลทสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้น

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 101	**วัสดุชั่วคราว**		น้ำหนัก		kg.		kg.			สมการที่ 5.1	
I 102	**วัสดุถาวร**		มูลค่า		บาท		-			สมการที่ 5.13	
			จำนวนครั้งที่ใช้		รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ		รอบ						
M 101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**		มูลค่า		บาท		-			สมการที่ 5.13	
			เวลาที่ใช้		min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง		min						
E 101	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**		กำลังไฟฟ้า		kW		kWh			สมการที่ 5.4	
			เวลาที่ใช้		min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า		kWh						
W 101	**การกำจัดของเสีย**		น้ำหนักของเสีย		kg.		kg.			สมการที่ 5.6	
TG 101	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร (เที่ยวไป)**		ระยะทางขนส่ง		km.		tkm.			สมการที่ 5.2	
			น้ำหนักบรรทุก		kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 101	**การขนส่งของเสียไป กำจัดเที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**		ระยะทางขนส่ง		km.		tkm.			สมการที่ 5.2	
			น้ำหนักบรรทุก		kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 101	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**		ระยะทางขนส่ง		km.		km.			สมการที่ 5.3	
			น้ำหนักบรรทุก		kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 101	**การขนส่งของเสียไป กำจัดเที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**		ระยะทางขนส่ง		km.		km.			สมการที่ 5.3	
			น้ำหนักบรรทุก		kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

เมื่อสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์แล้วเสร็จ ขั้นตอนต่อมา คือ การป้อนข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจากส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าลงในเทมเพลตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในแถวที่ 1 ถึงแถวที่ 8 และแสดงผลลัพธ์การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในแถวที่ 9 และ 10

5.1.3 ส่วนการแสดงผลลัพธ์

ส่วนการแสดงผลลัพธ์สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น คาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผนังอาคาร คาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้ง และคาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก ผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ในส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์

5.1.4 ส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์

ส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุดในกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร การวิเคราะห์แนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ และการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยในอดีตเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

5.2 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

การศึกษาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากทั้งในและต่างประเทศทำให้สามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์โดยมากจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 5.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การกำหนดขอบเขตการประเมิน

ขั้นตอนการกำหนดขอบเขตการประเมิน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

(1) การอธิบายผลิตภัณฑ์และกำหนดหน่วยอ้างอิงที่ใช้ในการประเมิน ประกอบด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับหน่วยงานผลิตและโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคารแต่ละชนิด ทำได้โดยการสัมภาษณ์รายละเอียดของหน่วยงานจากผู้ควบคุมการผลิตและผู้ควบคุมการก่อสร้าง โดยจะแสดงรายละเอียดของผนังอาคารแต่ละชนิดไว้ในบทที่ 6

(2) การศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเป้าหมายการประเมิน เป็นการศึกษารายละเอียดขั้นตอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารเพื่อจุดประสงค์ในการทำความเข้าใจวัฏจักรชีวิตของระบบการผลิตและระบบการติดตั้งผนังอาคาร โดยกำหนดขอบเขตตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัตถุดิบ ช่วงการผลิตผนังอาคาร ช่วงการขนส่งผนังอาคาร ช่วงการ

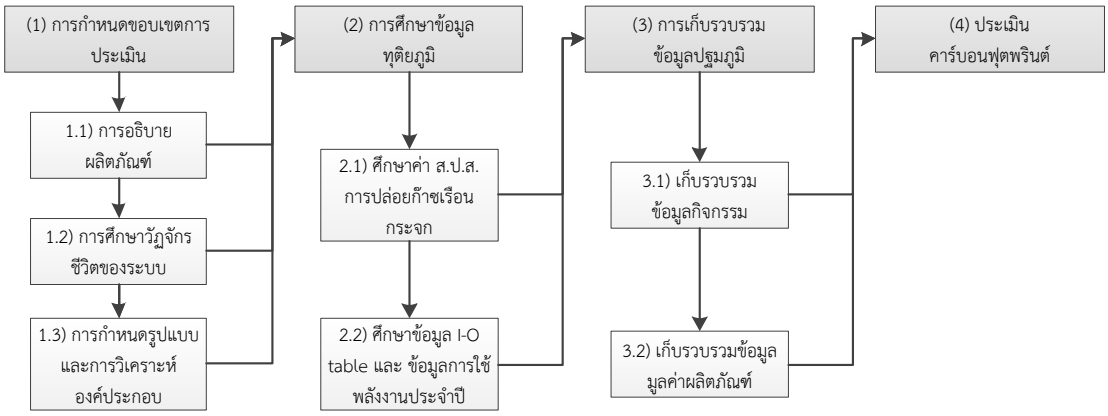
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ติดตั้งผนังอาคาร และช่วงการกำจัดเศษซากสิ่งนำเข้า จากนั้นจึงสร้างผังการไหลของกระบวนการขึ้นเพื่อสรุปและแสดงรายละเอียดของขั้นตอนควบคู่กับการสอบถามผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิตและติดตั้งผนังอาคารที่มีประสบการณ์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผังการไหลของกระบวนการ ผังการไหลของกระบวนการจะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้า

(3) การกำหนดรูปแบบการประเมินและวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้

- การกำหนดรูปแบบการประเมิน งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบการประเมินแบบ “Cradle-to-install” ซึ่งจะครอบคลุมตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การติดตั้งผนังอาคาร และการกำจัดเศษซาก

- การวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ เป็นขั้นตอนที่ระบุว่ากิจกรรมใดอยู่ภายใต้ขอบเขตการประเมินและกิจกรรมใดที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการประเมินเป็นปัจจัยสำคัญ ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีผลต่อการกำหนดขอบเขตของการเก็บรวบรวมข้อมูล จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่าแต่ละงานวิจัยมีองค์ประกอบที่จะพิจารณาแตกต่างกันดังที่ได้สรุปในบทที่ 2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่างานวิจัยที่ใช้แบบจำลอง Augmented process-based ซึ่งผนวกวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม P-LCA และ IOA ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ได้อย่างครอบคลุมทุกองค์ประกอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แนวคิดการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของแบบจำลอง Augmented process-based เป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์



ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

- การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้ง สามารถเรียกอย่างเฉพาะเจาะจงว่าการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากและเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาค่อนข้างมากเพื่อทำการศึกษาองค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้ง ได้แก่ การศึกษาชนิดและความสัมพันธ์ของสิ่งนำเข้าในแต่ละขั้นตอน ขั้นตอนนี้จะเป็นตัวกำหนดความครอบคลุมของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์เนื่องจากอาจเกิดการมองข้ามสิ่งนำเข้าบางตัวที่อาจจะเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญและอาจทำให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนได้ การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งของผนังอาคารทำได้โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ การแยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอนและการแยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน

5.2.2 การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยข้อมูลทุติยภูมิ 2 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA และข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตสิ่งนำเข้าซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตควบคู่กับข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้า เป็นค่าคงที่ซึ่งได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุและเปรียบเทียบให้อยู่ในหนึ่งหน่วยข้อมูลกิจกรรม แต่เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างครบทุกชนิด ดังนั้นในกรณีที่ไม่มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ต้องการ งานวิจัยนี้จะใช้การเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุก่อสร้างบางชนิดที่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกันตามข้อกำหนดขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก ตัวอย่างการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงดังตารางที่ 5.3 การศึกษาหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้ผู้วิจัยทราบหน่วยของข้อมูลกิจกรรมที่จำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์วิธีและเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลกิจกรรมเพื่อให้สอดคล้องกับหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการศึกษา

- การศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตสิ่งนำเข้า ข้อมูลนี้ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตควบคู่กับข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจในรูปสมการเมตริกซ์ การศึกษาข้อมูลชนิดนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินความต้องการใช้พลังงานในการ

สร้างสิ่งนำเข้ามูลค่า 1 บาท โดยใช้แนวคิดเรื่องการเปลี่ยนแปลงความต้องการของวัตถุดิบจะแปรผันตามราคาผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ มูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้องการวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนเช่นกันซึ่งส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานในการสร้างผลิตภัณฑ์รวมถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์เพิ่มขึ้น รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้าจะแสดงในหัวข้อที่ 5.3.2

5.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ

ข้อมูลปฐมภูมิสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้า

- ข้อมูลกิจกรรม ข้อมูลนี้ถูกใช้สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA ควบคู่กับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนนี้ทำได้โดยการเดินทางไปเก็บข้อมูลที่หน่วยงานผลิตและโครงการก่อสร้างที่ดำเนินการติดตั้งผนังอาคารด้วยตนเอง โดยใช้วิธีศึกษาข้อมูลจากบันทึกภาคสนามควบคู่กับการสัมภาษณ์ และสังเกตการณ์อย่างละเอียดต่อเนื่อง ข้อมูลกิจกรรมมักอยู่ในหน่วยทางกายภาพและสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน เช่น น้ำหนักวัสดุเก็บรวบรวมได้ด้วยการชั่งน้ำหนัก ระยะเวลาการใช้งานเครื่องจักรสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ด้วยการใช้นาฬิกาจับเวลา

- ข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้า ข้อมูลนี้ถูกใช้สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ควบคู่กับข้อการใช้พลังงานในการผลิตสิ่งนำเข้า การเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนนี้ทำได้โดยการสัมภาษณ์และตรวจสอบราคาจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต อย่างไรก็ตามวัสดุของแต่ละเว็บไซต์อาจมีราคาแตกต่างกัน แต่จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดจากความแตกต่างของราคาในแต่ละเว็บไซต์พบว่าความแตกต่างของราคาจะส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยมาก โดยข้อมูลราคาวัสดุจะอยู่ในหน่วยมูลค่าเงินบาท เช่น ตู้เชื่อมราคา 21,990 บาท

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วัสดุก่อสร้าง	ค่าสัมประสิทธิ์ ($kgCO_2$ ต่อหน่วย)	หน่วย	แหล่งข้อมูล
น้ำยาผสมคอนกรีต Sika Latex	0.9732	kg.	Franklin USA 98
เหล็กเส้น	1.7600	kg.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
ทราย	0.0037	kg.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2556)
ปูนซีเมนต์	1.0380	kg.	บริษัท เอสซีจีซีเมนต์ จำกัด

5.2.4 การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

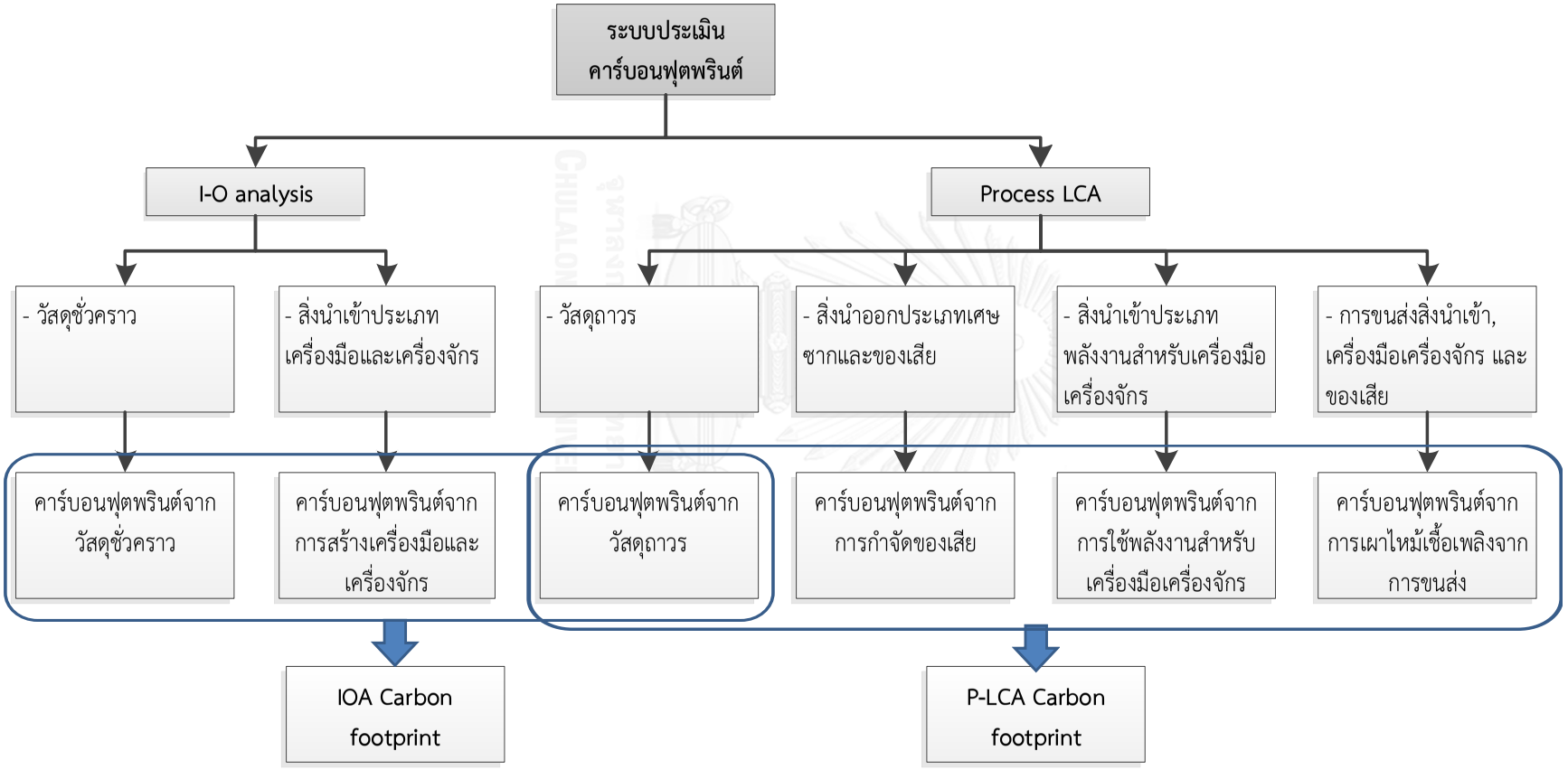
การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถจำแนกออกเป็น 2 วิธี คือ P-LCA และ IOA ในงานวิจัยนี้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้นได้กำหนดเกณฑ์การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ดังแสดงในภาพที่ 5.3 กล่าวคือ วิธี P-LCA จะใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุถาวร การขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร การใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักร และการกำจัดเศษซากในแต่ละขั้นตอน และวิธี IOA จะใช้สำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการใช้พลังงานในการสร้างวัสดุชั่วคราว และการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักร

5.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

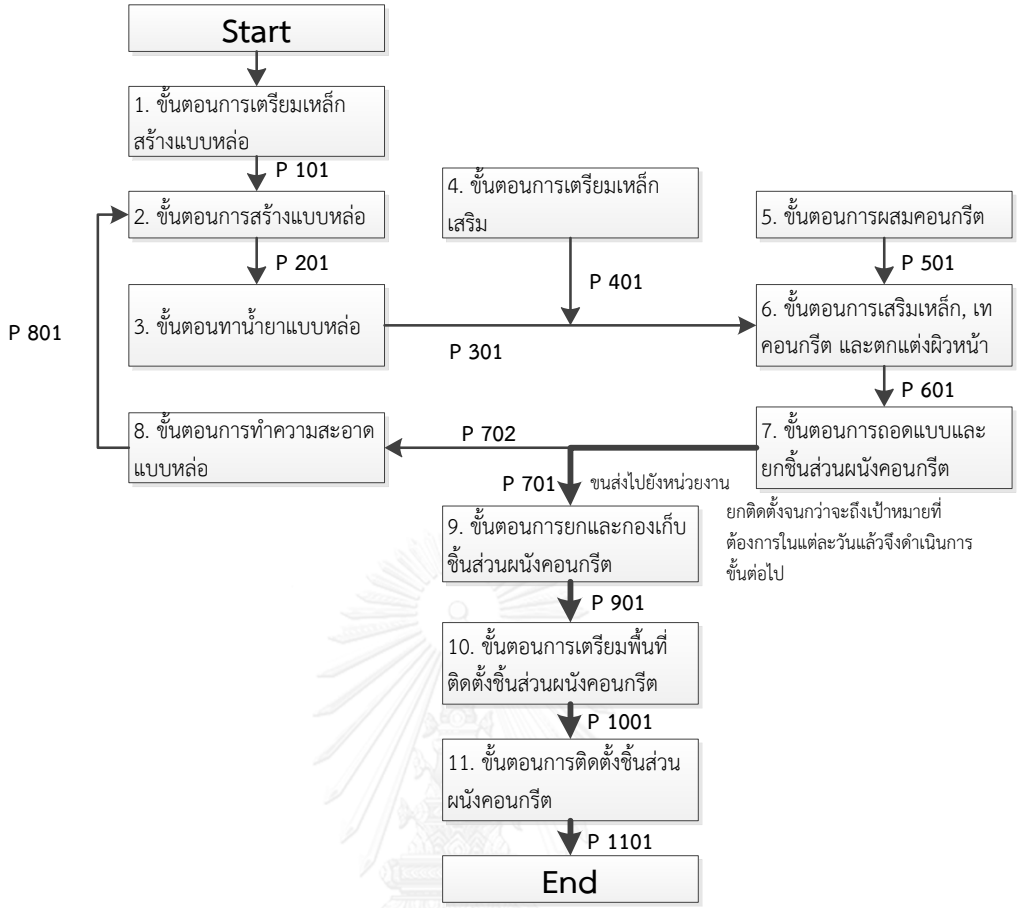
การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สิ่งนำเข้าที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการกำหนดขอบเขตการประเมิน จากนั้นกำหนดองค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร สุดท้ายจึงแยกองค์ประกอบภายในของผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอนโดยประยุกต์เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบงาน ภาพที่ 5.4 แสดงตัวอย่างการแยกย่อยองค์ประกอบภายในของระบบการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอนทั้งสิ้น 11 ขั้นตอน จากนั้นจึงแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าเพื่อวิเคราะห์ชนิดและความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งนำเข้า กระบวนการ และผลผลิต ภาพที่ 5.5 แสดงตัวอย่างการแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนตัดเหล็กเพื่อเตรียมสร้างแบบหล่อของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้า ตารางที่ 5.4 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในการสร้างผังงาน

5.3.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี P-LCA

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี P-LCA เป็นการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของระบบโดยใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบ การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA จำเป็นต้องใช้ข้อมูล 2 ชนิด คือ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และข้อมูลกิจกรรม



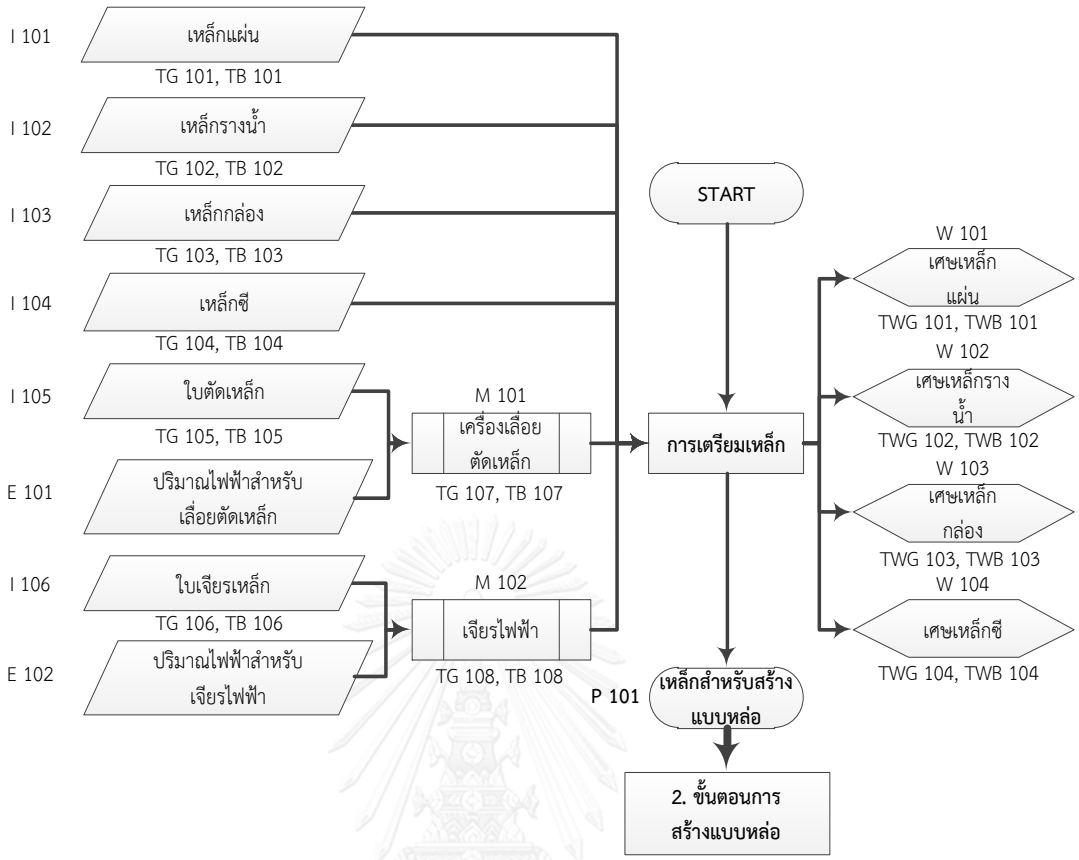
ภาพที่ 5.3 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์



ภาพที่ 5.4 การแยกย่อยองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

ตารางที่ 5.4 ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในการสร้างผังงาน

รหัส	สัญลักษณ์	ความหมาย
I	Material	สิ่งนำเข้าประเภทวัสดุ และไฟฟ้า
M	Tool and machine	สิ่งนำเข้าประเภทเครื่องมือเครื่องจักร
-	Process	กระบวนการ
P	Product	ผลลัพธ์จากขั้นตอน
W	Waste	สิ่งนำออกประเภทของเสีย
TG	-	การขนส่งเที่ยวไป
TB	-	การขนส่งเที่ยวกลับ
TWG	-	การขนส่งเศษซากไปกำจัดเที่ยวไป
TWB	-	การขนส่งเศษซากไปกำจัดเที่ยวกลับ



ภาพที่ 5.5 การแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนตัดเหล็กเตรียมสร้างแบบหล่อคอนกรีต

ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการนำข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ซึ่งรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบมาใช้งาน รายละเอียดการศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะนำเสนอในหัวข้อที่ 5.2.2 สำหรับข้อมูลกิจกรรมเป็นข้อมูลปฐมภูมิซึ่งได้จากการที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง ทั้งนี้หน่วยของข้อมูลกิจกรรมจะเป็นหน่วยเดียวกันกับหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ขั้นตอนเสริมเหล็กจะมีการใช้เหล็กข้ออ้อยซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.76 กิโลกรัมคาร์บอนฟุตพรินต์เทียบเท่า (Kilogram Carbon dioxide equivalent: $kgCO_2e$) ต่อกิโลกรัมเหล็ก หมายถึง การผลิตเหล็กน้ำหนัก 1 กิโลกรัมมีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 1.76 $kgCO_2e$ ดังนั้นผู้วิจัยจำเป็นต้องรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างละเอียดเพื่อกำหนดแนวทางการเก็บข้อมูลก่อนแล้วจึงค่อยเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าทำได้โดยการนำข้อมูลกิจกรรมที่ได้จากการเก็บรวบรวมไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่ง

นำเข้าชนิดนั้น อย่างไรก็ตามการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA สำหรับสิ่งนำเข้าแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุถาวร</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุถาวรทำได้โดยการใช้สมการที่ 5.1

$$CF_P = AD_P \times EF_P \quad \text{... (5.1)}$$

สมการที่ 5.1 ประกอบด้วยตัวแปรที่มีความหมายดังต่อไปนี้

โดยที่ CF_P (Carbon Footprint of Permanent material) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทวัสดุถาวร หน่วยคือ $kgCO_2e$

AD_P (Activity Data of Permanent material) หมายถึง ข้อมูลกิจกรรม เช่น เหล็กแผ่นที่ใช้ในการสร้างแบบหล่อ หรือลวดเชื่อมใช้ในการเชื่อมชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป หน่วยของข้อมูลกิจกรรมจะเป็นหน่วยเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

EF_P (Emission Factor for Permanent material) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของสิ่งนำเข้า หน่วยของค่าสัมประสิทธิ์จะเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยของข้อมูลกิจกรรม

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่ง</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการขนส่งวัสดุ เครื่องมือเครื่องจักร คนงาน และเศษซาก สามารถจำแนกได้เป็น 2 กรณี คือ การขนส่งเที่ยวไปและการขนส่งเที่ยวกลับ โดยแต่ละกรณีจะใช้สมการที่แตกต่างกัน ได้แก่ สมการ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ

$$CF_{TG} = VL \times D \times EF_{TG} \quad \text{... (5.2)}$$

โดยที่ CF_{TG} (Carbon Footprint of Transport: go) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งเที่ยวไป หน่วยคือ $kgCO_2e$

VL (Vehicle Load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกของสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น กิโลกรัมหรือตัน

D (Distance) หมายถึง ระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้าไปยังที่หมาย หน่วยเป็นกิโลเมตร

EF_{TG} (Emission Factor for Transportation: go) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของยานพาหนะและน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะเที่ยวไป หน่วยคือ $kgCO_2e$/ t*km (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ ตัน*กิโลเมตร)

ข้อมูลกิจกรรมของการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งเที่ยวไป คือ น้ำหนักสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก ชนิดของยานพาหนะ และระยะทางขนส่ง โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะขึ้นอยู่กับชนิดของยานพาหนะที่จัดส่ง

$$CF_{TB} = VLR \times D \times EF_{TB} \quad \text{... (5.3)}$$

โดยที่ CF_{TB} (Carbon Footprint of Transport: back) คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งเที่ยวกลับ โดยครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการผลิตเชื้อเพลิง หน่วยคือ $kgCO_2e$

VLR (Vehicle Load Ratio) หมายถึง อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกของสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออกต่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะ ข้อมูลชนิดนี้ไม่มีหน่วย

D (Distance) หมายถึง ระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก หน่วยเป็นกิโลเมตร

EF_{TB} (Emission Factor for Transportation: back) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของยานพาหนะและน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะเที่ยวกลับ หน่วยคือ $kgCO_2e/km$ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลเมตร)

ข้อมูลกิจกรรมของการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งเที่ยวกลับ คือ น้ำหนักสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก ชนิดของยานพาหนะ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด และระยะทางขนส่ง โดยค่าสัมประสิทธ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะขึ้นอยู่กับชนิดของยานพาหนะ ทั้งนี้การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเดินทางกลับภายหลังการขนส่งสินค้าแล้วเสร็จ น้ำหนักของสินค้าจะเท่ากับ 0 ทำให้ต้องประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการวิ่งรถเที่ยวเปล่า

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า</u>

กิจกรรมก่อสร้างบางชนิดมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น การใช้ไฟฟ้าของเครื่องตัดเหล็กในขั้นตอนเสริมเหล็กชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป หรือการใช้ไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าในการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้ไฟฟ้าในการกิจกรรมก่อสร้างสามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลกิจกรรม คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างที่เครื่องจักรทำงานในหน่วย กิโลวัตต์*ชั่วโมง (kWh) คูณกับข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตพลังงานไฟฟ้าดังแสดงในสมการที่ 5.4

$$CF_E = AD_E \times EF_E \quad \text{... (5.4)}$$

โดยที่ CF_E (Carbon Footprint of Electricity) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการผลิตไฟฟ้า มีหน่วย คือ $kgCO_2e$

AD_E (Activity Data of Electricity) คือ ข้อมูลกิจกรรมของการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถจำแนกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กำลังไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งานเครื่องจักร โดยมีหน่วย คือ กิโลวัตต์ (kW) และชั่วโมง (Hour) ตามลำดับ ข้อมูลกิจกรรมทั้งสองชนิดจะต้องถูกนำมาใช้วิเคราะห์อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง กิโลวัตต์*ชั่วโมง (kWh)

EF_E (Emission Factor for Electricity) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตพลังงานไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 0.6093 $kgCO_2e$/ kWh

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้และเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องจักรในงานก่อสร้าง</u>

ในกรณีที่เครื่องจักรที่ใช้ในกิจกรรมก่อสร้างเป็นเครื่องจักรที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทเบนซินหรือดีเซลจะก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของเครื่องจักร การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องจักรก่อสร้างทำได้โดยใช้สมการที่ 5.5

$$CF_F = AD_F \times EF_F \quad \text{... (5.5)}$$

โดยที่ CF_F (Carbon Footprint of Fuel) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งจะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการผลิตเชื้อเพลิง มีหน่วย คือ $kgCO_2e$

AD_F (Activity Data of Fuel) หมายถึง ข้อมูลกิจกรรมจากการใช้และเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องจักรที่ใช้ในงานก่อสร้างหรือปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ข้อมูลกิจกรรมนี้จะอยู่ในหน่วยปริมาตรซึ่งจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในหน่วยน้ำหนักในภายหลัง

EF_F (Emission Factor for Fuel) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องจักรในงานก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซาก</u>

เศษซากสิ่งนำเข้าที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การผลิตผนังอาคาร การขนส่งผนังอาคาร และการติดตั้งผนังอาคาร จำเป็นต้องถูกขนส่งไปยังสถานที่กำจัดและดำเนินการกำจัดเศษซาก การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการขนส่งเศษซากทำได้โดยใช้สมการที่ 5.2 และ 5.3 สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากทำได้โดยใช้สมการที่ 5.6

$$CF_W = AD_W \times EF_W \quad \text{... (5.6)}$$

โดยที่ CF_W (Carbon Footprint of Waste) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากในแต่ละขั้นตอน มีหน่วย คือ $kgCO_2e$

AD_W (Activity Data of Waste) หมายถึง ข้อมูลกิจกรรมจากการกำจัดเศษซากในแต่ละขั้นตอน โดยจะอยู่ในหน่วยน้ำหนัก เช่น ตันหรือกิโลกรัม

EF_W (Emission Factor for Waste) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดเศษซากที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน ข้อมูลนี้จะอยู่ในหน่วย $kgCO_2e$/ น้ำหนัก

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดเศษซากถูกกำหนดให้ใช้ค่าการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีฝังกลบ (landfill) จากการกองขยะแบบตื้นมีหน่วยเท่ากับ tCO_2e/ ตันมูลฝอย ($kgCO_2e$/ Ton waste) จากเอกสาร 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 5: Waste ดังตารางที่ 5.5 สำหรับของเสียที่อยู่นอกเหนือจากตารางนี้จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2.32 tCO_2e/tons

5.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี IOA

การผลิตสินค้าหรือบริการแต่ละประเภทจำเป็นต้องใช้สินค้าและบริการประเภทต่างๆมาเป็นสิ่งนำเข้าของกระบวนการผลิต ขณะที่ผลผลิตของแต่ละสาขาจะถูกนำไปใช้เพื่อสนองความต้องการในการบริโภคขั้นสุดท้ายของระบบเศรษฐกิจและยังมีบางส่วนถูกนำไปใช้เป็นสิ่งนำเข้าขั้นกลางเพื่อสนับสนุนการผลิตสินค้าและบริการประเภทอื่นๆ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความต้องการขั้นสุดท้ายจะส่งผลต่อความต้องการสิ่งนำเข้าและสิ่งนำเข้าขั้นกลางของแต่ละสาขาเศรษฐกิจ ข้อมูลเหล่านี้เรียกว่าตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้การวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานในการผลิตสิ่งนำเข้าโดยใช้สมการที่ 5.7

$$x_i = \sum_{j=1}^{n} X_{ij} + y_i \qquad \text{... (5.7)}$$

โดยที่ x_i แทนค่าเวกเตอร์ขนาด n x 1 แสดงผลรวมความต้องการสินค้าของระบบเศรษฐกิจสำหรับอุตสาหกรรมสาขา i = 1, .., n

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดของเสีย

องค์ประกอบของมูลฝอย	**ค่าสัมประสิทธิ์การกำจัดของเสีย (tCO_2e/tons)**
กระดาษ / กระดาษกล่อง	2.93
ผ้า	2
เศษอาหาร	2.53
เศษไม้	3.33
กิ่งไม้ ต้นหญ้า จากสวน	3.27
ผ้าอ้อมเด็กทำด้วยกระดาษ	4
ยางและหนัง	3.13

X_{ij} แทนค่าเมตริกซ์ขนาด n x n ซึ่งองค์ประกอบภายในเมตริกซ์ (X_{ij}) จะแสดงมูลค่าการผลิตของอุตสาหกรรม i ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นปัจจัยการผลิตขั้นกลางสำหรับสร้างผลิตภัณฑ์สาขา j

y_i แทนค่าเวกเตอร์ขนาด n x 1 แสดงมูลค่าความต้องการสินค้าขั้นสุดท้ายของระบบเศรษฐกิจสำหรับอุตสาหกรรมสาขา i = 1, .., n

สมการที่ 5.6 หมายถึง มูลค่าความต้องการรวมสำหรับสาขาเศรษฐกิจ i =1, .., n ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของความต้องการสินค้าขั้นกลางรวมกับความต้องการสินค้าขั้นสุดท้าย

โดยสมมติให้ A เป็นเมตริกซ์ขนาด n x n ซึ่งมีตัวประกอบในเมตริกซ์ขนาด i และ j (A_{ij}) แสดงขนาดของค่าสัมประสิทธิ์มูลค่าความต้องการของปัจจัยการผลิตขั้นกลาง i ในการผลิตสินค้า j มูลค่า 1 บาท ดังแสดงในสมการที่ 5.8

$$Xij = Aij * xj \quad \text{... (5.8)}$$

แทนค่าสมการที่ 5.8 ในสมการที่ 5.7 ได้สมการที่ 5.9

$$x = Ax + y \quad \text{... (5.9)}$$

จัดเรียงสมการใหม่เพื่อหาค่า x ได้สมการที่ 5.10

$$x = (I - A)^{-1} y \quad \text{... (5.10)}$$

โดย I หมายถึง Identity matrix หรือเมตริกซ์เอกลักษณ์ซึ่งแปรผันตามขนาดของเมตริกซ์ A

สมการที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของความต้องการสินค้าขั้นสุดท้ายกับมูลค่าของผลรวมความต้องการสินค้าและมูลค่าความต้องการของปัจจัยการผลิตขั้นกลางที่ระบบเศรษฐกิจจำเป็นต้องผลิตขึ้นมาเพื่อสร้างความต้องการสินค้าขั้นสุดท้ายโดย

$$(I - A)^{-1} = (1 + A + A^2 + A^3 + ...)$$

ดังนั้น $$[(I - A)^{-1} y] = (y + Ay + A^2y + A^3y + ...) = x \quad \text{... (5.11)}$$

ฟังก์ชั่น $(I - A)^{-1}$ ถูกเรียกว่า Leontief's inverse matrix เมื่อนำไปคูณกับความต้องการสินค้าขั้นสุดท้ายจะมีค่าเท่ากับผลคูณของขนาดมูลค่าของ y กับมูลค่าสิ่งนำเข้าที่ใช้ในการผลิต y ($A * y$) รวมกับมูลค่าของสิ่งนำเข้าที่ใช้ในการผลิตปัจจัยการผลิตเหล่านั้นย้อนกลับไปเรื่อยๆจนถึงอนันต์ ($A^2y + A^3y + ...$) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมมูลค่าของผลผลิตที่ต้องผลิตขึ้นเพื่อรองรับความต้องการขั้นสุดท้าย

จากลักษณะของ Leontief's inverse matrix ที่สามารถประเมินมูลค่าของปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการผลิตปัจจัยการผลิตรวมย้อนกลับไปเรื่อยๆจนถึงอนันต์ จึงทำให้นักวิจัยหลายกลุ่มประยุกต์วิธี IOA ในการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคารบอนฟุตพรินต์ การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรูปพลังงาน (*e*) จากขนาดของผลผลิตรวม (*x*) ทำได้โดยใช้สมการที่ 5.12

$$e = c^T Fx \quad \text{... (5.12)}$$

ซึ่งแต่ละตัวแปรแทนความหมายดังต่อไปนี้

โดยที่ *e* หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดจากการใช้พลังงาน ($kgCO_2e$)

c (Conversion factor vector) หมายถึง เวกเตอร์ขนาด *k* x 1 ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง/แหล่งพลังงานแต่ละประเภท

F (Energy input matrix) หมายถึง เมตริกซ์ขนาด *k* x *n* แสดงสัมประสิทธิ์ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแต่ละประเภทต่อมูลค่าของผลผลิตที่ได้จากแต่ละภาคอุตสาหกรรม

x (Total demand vector) หมายถึง เวกเตอร์ขนาด *n* x 1 แสดงผลรวมความต้องการสินค้าของระบบเศรษฐกิจ

เมื่อแทนค่าจากสมการที่ 5.10 ลงในสมการที่ 5.12 จะได้สมการที่ 5.13

$$e = c^T F (I - A)^{-1} y \quad \text{... (5.13)}$$

สมการที่ 5.13 ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นในประเทศตามทฤษฎีภาระการรับผิดชอบตามการปลดปล่อยที่จุดผลิต โดยใช้ข้อมูลมูลค่าของผลผลิตรวมทุกสาขาการผลิตที่มีการผลิตขึ้นมาในประเทศ (*x*) และข้อมูลมูลค่าของผลผลิตขั้นสุดท้าย (*y*) ที่หักผลผลิตขั้นกลางออกแล้วของประเทศไทย ซึ่งสมการที่ 5.13 จะต้องวิเคราะห์ข้อมูลจาก 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูล I-O tale และข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ข้อมูล I-O Table ของประเทศไทยถูกรวบรวมและจัดทำในรูปแบบ Spreadsheet และถูกเผยแพร่ในเว็บไซต์ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) หรือ "สภาพัฒน์" ข้อมูล I-O table ถูกจำแนกออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ ขนาด 16 x 16, 26 x 26, 58 x 58 และ 180 x 180 ถูกจัดทำขึ้นทุก 5 ปี โดยข้อมูลที่มีเผยแพร่ในเว็บไซต์แล้วได้แก่ปี ค.ศ. 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 1998, 2000 และ 2005 อย่างไรก็ตามจากการเดินทางเข้าพบและสัมภาษณ์โดยตรงจาก คุณ ประภาศรี พงษ์วัฒนา ซึ่งเป็นผู้อำนวยการส่วนตารางปัจจัยการผลิตและผลการผลิต ได้ข้อสรุปว่าขณะนี้หน่วยงานกำลังจัดทำข้อมูล I-O table ของปี ค.ศ. 2010 แต่มีแนวโน้มว่าจะยังทำไม่เสร็จภายในปี

ค.ศ. 2015 ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้ฐานข้อมูล I-O Table ของปี 2005 ซึ่งเป็นข้อมูลล่าสุดที่สามารถหาได้ภายใต้สมมติฐานของงานวิจัยว่าเศรษฐกิจปี ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548) ไม่มีความแตกต่างอย่างเป็นนัยสำคัญจากโครงสร้างเศรษฐกิจในปีปัจจุบัน เช่นเดียวกับข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจจากรายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยปี 2556 ซึ่งเป็นข้อมูลการใช้พลังงานประจำปีล่าสุดที่ถูกเผยแพร่ในเว็บไซต์กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน งานวิจัยนี้จึงต้องกำหนดสมมติฐานอีกข้อ คือ ปริมาณการใช้พลังงานปี 2556 และ ปริมาณการใช้พลังงานในปี 2548 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA สามารถสรุปรายละเอียดขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

(1) สร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตและผลผลิต “Leontief’s inverse matrix” โดยใช้เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาขาเศรษฐกิจ 7 สาขา ได้แก่ สาขา Agriculture, Mining, Manufacturing, Residential, Construction, Transportation และ Commercial เมตริกซ์นี้ เรียกว่า Transaction Matrix (*A*) ตารางที่ 5.6 แสดง Transaction Matrix ระหว่างสาขาเศรษฐกิจ 7 สาขาของประเทศไทยประกอบด้วยแถวในแนวตั้งซึ่งหมายถึง มูลค่าการซื้อผลิตภัณฑ์จากสาขาในแนวนอน 7 สาขา เพื่อนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์ในสาขาของแถวแนวตั้งมูลค่า 1 บาท และแถวแนวนอนหมายถึง มูลค่าการขายผลิตภัณฑ์จากสาขาในแนวนอนให้แก่สาขาในแนวตั้งทั้ง 7 สาขา จากนั้นนำเมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างสาขาเศรษฐกิจไปลบออกจากเมตริกซ์เอกลักษณ์จะได้เมตริกซ์ $I - A$ ดังแสดงในตารางที่ 5.7 จากนั้นนำเมตริกซ์เอกลักษณ์ $I - A$ ไปใช้ในการวิเคราะห์ Leontief’s Inverse Matrix (*L*) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(I - A)^{-1}$ ดังแสดงในตารางที่ 5.8

(2) วิเคราะห์เมตริกซ์ความเข้มข้นของพลังงาน (Energy Intensity) โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ (*G*) ดังแสดงในภาพที่ 5.6 ไปแปลงหน่วยจากพันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ให้อยู่ในหน่วย BTU และคูณด้วย Leontief’s inverse matrix จะได้ผลดังตารางที่ 5.9 จากนั้นหารด้วยมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ในหน่วยบาท ผลลัพธ์จะอยู่ในหน่วยการใช้พลังงาน BTU ต่อมูลค่า 1 บาท ได้ผลดังตารางที่ 5.10

(3) จากผลลัพธ์ข้อ 1 และ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการขั้นสุดท้าย (y) จะส่งผลต่อผลรวมความต้องการทั้งหมดของแต่ละสาขาไล่ย้อนจนถึงอนันต์ การเปลี่ยนแปลง y จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงราคาของผลิตภัณฑ์ เช่น ตู้เชื่อมซึ่งถูกจำแนกอยู่ในสาขาเศรษฐกิจที่ 115 ซึ่งอยู่ในหมวดสาขาเศรษฐกิจ Manufacturing เป็นสาขาที่อยู่ตำแหน่งเมตริกซ์ 3 x 3 มีมูลค่า 21,990 บาท จะส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานในการสร้างตู้เชื่อมเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.11 และตารางที่ 5.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างสาขาเศรษฐกิจ (*A*)

	Technical coefficient matrix						หน่วย: -
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	0.0776	0.0003	0.0695	0.0003	0.0027	0.0004	0.0205
Sec 2	0.0001	0.0369	0.0796	0.2673	0.0546	0.0000	0.0003
Sec 3	0.2167	0.1470	0.4671	0.0930	0.4960	0.2316	0.1175
Sec 4	0.0025	0.0090	0.0266	0.1538	0.0084	0.0302	0.0255
Sec 5	0.0005	0.0006	0.0006	0.0010	0.0006	0.0007	0.0014
Sec 6	0.0648	0.0322	0.0718	0.0179	0.1674	0.1317	0.0485
Sec 7	0.0272	0.1034	0.0273	0.0499	0.0379	0.1303	0.0648

ตารางที่ 5.7 เมตริกซ์เอกลักษณ์ลบเมตริกซ์ความสัมพันธ์ (*I – A*)

	I - A						หน่วย: -
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	0.9224	-0.0003	-0.0695	-0.0003	-0.0027	-0.0004	-0.0205
Sec 2	-0.0001	0.9631	-0.0796	-0.2673	-0.0546	0.0000	-0.0003
Sec 3	-0.2167	-0.1470	0.5329	-0.0930	-0.4960	-0.2316	-0.1175
Sec 4	-0.0025	-0.0090	-0.0266	0.8462	-0.0084	-0.0302	-0.0255
Sec 5	-0.0005	-0.0006	-0.0006	-0.0010	0.9994	-0.0007	-0.0014
Sec 6	-0.0648	-0.0322	-0.0718	-0.0179	-0.1674	0.8683	-0.0485
Sec 7	-0.0272	-0.1034	-0.0273	-0.0499	-0.0379	-0.1303	0.9352

ตารางที่ 5.8 Leontief's inverse matrix (*L*)

	(L) LEONTIEF INVERSE MATRIX $(I\text{-}A)^{-1}$						หน่วย: -
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	1.1278	0.0327	0.1634	0.0328	0.0969	0.0527	0.0491
Sec 2	0.0541	1.0789	0.1985	0.3668	0.1742	0.0719	0.0405
Sec 3	0.5559	0.3856	2.1291	0.3899	1.2005	0.6313	0.3250
Sec 4	0.0286	0.0310	0.0805	1.2048	0.0654	0.0705	0.0473
Sec 5	0.0011	0.0012	0.0018	0.0019	1.0019	0.0016	0.0019
Sec 6	0.1372	0.0832	0.2044	0.0807	0.3155	1.2235	0.0948
Sec 7	0.0757	0.1448	0.1216	0.1285	0.1451	0.2021	1.1004

หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ unit : ktoe

ร้อยละ %

สาขา	2552 2009	2553 2010	2554 2011	2555 2012	2556[P] 2013[P]	SECTOR
เกษตรกรรม	3,477	3,499	3,686	3,790	3,906	AGRICULTURE
เหมืองแร่	110	123	130	139	142	MINING
อุตสาหกรรมการผลิต	23,798	25,281	24,603	26,653	26,930	MANUFACTURING
การก่อสร้าง	152	167	112	118	121	CONSTRUCTION
บ้านอยู่อาศัย	10,089	10,963	11,040	10,305	11,367	RESIDENTIAL
ธุรกิจการค้า	4,940	5,621	5,511	6,081	5,805	COMMERCIAL
การขนส่ง	24,132	24,594	25,480	26,230	26,943	TRANSPORTATION
รวม	66,698	70,248	70,562	73,316	75,214	TOTAL

ภาพที่ 5.6 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , ออนไลน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.9 เมตริกซ์ความเข้มข้นพลังงาน

	Enegy Intensity (G*L) หน่วย: BTU						
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	1.76E+14	5.12E+12	2.56E+13	5.14E+12	1.52E+13	8.25E+12	7.68E+12
Sec 2	3.08E+11	6.14E+12	1.13E+12	2.09E+12	9.91E+11	4.09E+11	2.30E+11
Sec 3	5.99E+14	4.16E+14	2.30E+15	4.21E+14	1.29E+15	6.81E+14	3.50E+14
Sec 4	1.30E+13	1.41E+13	3.67E+13	5.48E+14	2.98E+13	3.21E+13	2.16E+13
Sec 5	5.47E+09	5.62E+09	8.94E+09	9.07E+09	4.85E+12	7.75E+09	9.02E+09
Sec 6	1.48E+14	8.98E+13	2.21E+14	8.71E+13	3.40E+14	1.32E+15	1.02E+14
Sec 7	1.76E+13	3.37E+13	2.83E+13	2.99E+13	3.37E+13	4.70E+13	2.56E+14

ตารางที่ 5.10 เมตริกซ์ความเข้มข้นพลังงานต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ

	Energy Intensity/ GDP						หน่วย: BTU/ บาท
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	34.02	0.99	4.93	0.99	2.92	1.59	1.48
Sec 2	0.06	1.18	0.22	0.40	0.19	0.08	0.04
Sec 3	115.61	80.19	442.81	81.10	249.67	131.30	67.58
Sec 4	2.51	2.72	7.07	105.76	5.74	6.19	4.16
Sec 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00
Sec 6	28.55	17.32	42.52	16.79	65.65	254.58	19.72
Sec 7	3.39	6.49	5.45	5.76	6.51	9.06	49.33

ตารางที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงมูลค่าความต้องการขั้นสุดท้ายของสิ่งนำเข้า

	Commodity price change						หน่วย: บาท
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 3	0.00	0.00	21990.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 5.12 ความต้องการใช้พลังงานในการผลิตสิ่งนำเข้า

	Energy Consumption for commodity manufacturing						หน่วย: BTU
	Sec 1	Sec 2	Sec 3	Sec 4	Sec 5	Sec 6	Sec 7
Sec 1	0.00	0.00	108,409.44	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 2	0.00	0.00	4,785.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 3	0.00	0.00	9,737,442.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 4	0.00	0.00	155,454.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 5	0.00	0.00	37.91	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 6	0.00	0.00	935,116.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Sec 7	0.00	0.00	119,885.31	0.00	0.00	0.00	0.00

(4) การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า ทำได้โดยการคูณความเข้มข้นของพลังงาน (BTU/baht) กับผลรวมความต้องการขั้นสุดท้ายของสาขา (*y*) ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปความต้องการใช้พลังงานในการสร้างผลิตภัณฑ์ในหน่วย BTU ของแต่ละสาขาดังตารางที่ 5.12 จากนั้นนำผลลัพธ์ไปคูณกับค่า Emission factors ของพลังงานในหน่วย BTU ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.1097×10^{-5} $kgCO_2e/BTU$ ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จะอยู่ในหน่วยกิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของแต่ละสาขาเศรษฐกิจ สุดท้ายจึงรวมค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของแต่ละสาขาเศรษฐกิจเพื่อประเมินผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้าด้วยวิธี IOA สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 5.14

$$CF_{IOA} = FD \times E_{GDP} \times EF_e \quad \text{... (5.14)}$$

โดยที่ CF_{IOA} (Carbon Footprint: IOA) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทที่ต้องใช้วิธี IOA ในการประเมินเท่านั้น ได้แก่ วัสดุชั่วคราว เครื่องมือเครื่องจักร และวัสดุชั่วคราวบางประเภท มีหน่วย คือ $kgCO_2e$

FD (Final Demand) หมายถึง มูลค่าความต้องการขั้นสุดท้ายอยู่ในหน่วย บาท

E_{GDP} (Energy per GDP) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของพลังงานที่ใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่า 1 บาท จะอยู่ในหน่วย BTU/บาท

EF_e (Emission Factor for energy) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน มีค่าเท่ากับ 2.1097×10^{-5} $kgCO_2e/BTU$

อย่างไรก็ตามการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีภาระการรับผิดชอบตามการปลดปล่อยที่จุดผลิตควบคู่กันด้วย กล่าวคือ การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของเครื่องจักรที่สามารถนำมาใช้ซ้ำได้หลายครั้งจะต้องปันส่วนตามจำนวนครั้งหรืออายุการใช้งาน งานวิจัยนี้ได้จำแนกกรณีการใช้งานซ้ำได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีปันส่วนตามจำนวนครั้งการใช้งานจะกำหนดให้สิ่งนำเข้าสามารถใช้งานซ้ำได้เท่ากับ 100 ครั้ง ยกเว้นกรณีของแบบหล่อคอนกรีตจะกำหนดให้มีจำนวนรอบการใช้งานซ้ำได้ 50 ครั้ง และกรณีที่ปันส่วนตามอายุจะกำหนดให้สิ่งนำเข้ามีอายุการใช้งานหนึ่งปีหรือเท่ากับ 525,600 นาที

5.4 สรุป

ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดจากการมองข้ามคาร์บอนฟุตพรินต์จากการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้าง โดยใช้แนวคิดของ

แบบจำลอง Augmented process-based ควบคู่กับการศึกษามาตรฐานและแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ เช่น PAS 2050 หรือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของประเทศไทย ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์นี้เป็นการผนวกวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ P-LCA และ IOA โดยกำหนดให้วิธี P-LCA ใช้สำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับวัสดุถาวร, การใช้พลังงานไฟฟ้า, การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง, การขนส่งของเสียไปกำจัด และการกำจัดของเสีย สำหรับวิธี IOA จะใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุชั่วคราว และเครื่องมือเครื่องจักร

ระบบการประเมินประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้า ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ส่วนการแสดงผลลัพธ์ และส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ส่วนการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) การศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร (2) การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก ส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าในขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร จากนั้นจึงสร้างผังการไหลของกระบวนการพร้อมกับตรวจสอบความถูกต้องของผังการไหลของกระบวนการด้วยการสอบถามจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิตและติดตั้งผังอาคารที่มีประสบการณ์ จากนั้นวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของสิ่งนำเข้า ขั้นตอน และสิ่งนำออก และ (3) การเก็บรวบรวมข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกซึ่งจะถูกนำไปป้อนลงในเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่สร้างขึ้น

ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ถูกสร้างขึ้นโดยการจำลอง Spreadsheet ส่วนนี้เริ่มต้นจากการจัดหมวดหมู่ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์เพื่อสร้างเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ จากนั้นป้อนข้อมูลสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกที่ได้เก็บรวบรวมมาลงในเทมเพลตเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้า จากนั้นแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบต่างๆ ในส่วนการแสดงผลลัพธ์ เช่น คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก หรือคาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามพื้นที่ใช้สอย ผลลัพธ์จะถูกนำไปวิเคราะห์ในส่วนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อันได้แก่ การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด การวิเคราะห์แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหว และการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยในอดีตเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

บทที่ 6
การประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในกรณีศึกษา

บทนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ซึ่งได้พัฒนาขึ้นและนำเสนอรายละเอียดในบทที่ 5 สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ ผนังอาคารทั้งสามประเภทได้เลือกอาคารชุดพักอาศัยมาเป็นกรณีศึกษา โดยผลลัพธ์จะถูกแสดงอย่างละเอียดในบทที่ 7

6.1 กรณีศึกษาที่ 1: การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรุป มีรายละเอียดดังนี้

<u>การกำหนดขอบเขต</u>

การกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การอธิบายผลิตภัณฑ์และกำหนดหน่วยอ้างอิงที่ใช้ในการประเมิน

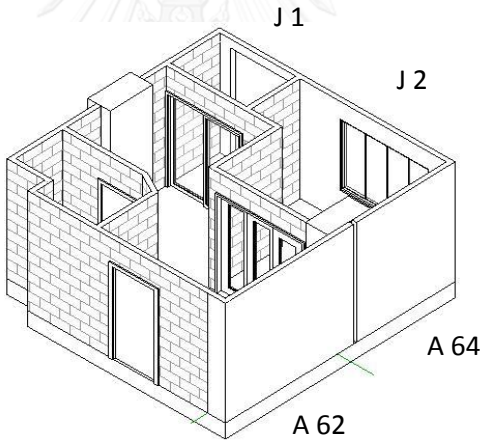
การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เริ่มจากเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประเภทหน่วยงานถาวรที่ใช้ระบบผลิตกึ่งอัตโนมัติจำนวน 1 โรงงาน ตารางที่ 6.1 แสดงรายละเอียดหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และการเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 1 โครงการ ประกอบด้วยห้องชุดพักอาศัยที่มีพื้นที่ใช้สอยขนาด 26 ตารางเมตร จำนวน 1 ห้อง ตารางที่ 6.2 แสดงรายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ภาพที่ 6.1 และภาพที่ 6.2 แสดงรายละเอียดโครงสร้างอาคารชุดพักอาศัยและรายละเอียดรูปร่างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในกรณีศึกษา

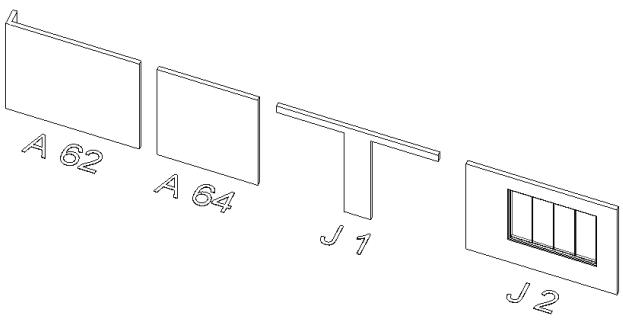
รายละเอียด		**หน่วยงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป**
หน่วยงานผลิต		หน่วยงานเอกชน
ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทำงานวิจัย		พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม พ.ศ.2556
ข้อมูลหน่วยงาน	**ระบบผลิต**	หน่วยงานผลิตกึ่งอัตโนมัติ
	ผลิตภัณฑ์	ผนัง, พื้น, เสา, คาน, บันได

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในกรณีศึกษา

รายละเอียด		**ห้องชุดพักอาศัยขนาด 26 ตร.ม.**
เจ้าของโครงการ		หน่วยงานเอกชน
ประเภทโครงการ		ห้องชุดพักอาศัย
ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทำงานวิจัย		ธันวาคม พ.ศ.2556
แบบห้องชุดพักอาศัย	**จำนวนชั้น**	25
	พื้นที่ใช้สอย	26 ตร.ม.
	พื้นที่ผนัง	25.49 ตร.ม.
	จำนวนชิ้นส่วน	4 ชิ้น (A62, A64, J1, J2)
	ชนิดรอยเชื่อม	รอยเชื่อมแห้ง
ระบบการก่อสร้าง	**คานและพื้น**	ระบบโครงสร้างพื้น Post Tensioned Slab
	เสา	ระบบคอนกรีตหล่อในที่
	ผนังภายใน	ผนังก่ออิฐและฉาบปูน
	ผนังภายนอก	ผนังชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป



ภาพที่ 6.1 รายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



ภาพที่ 6.2 รายละเอียดรูปร่างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน จำนวน 4 ชิ้น ประกอบด้วยชิ้นส่วน A62 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นตัวอักษร “L”ด้านที่ยาวกว่ามีความกว้าง 2.625 เมตร สูง 2.84 เมตร และหนา 0.10 เมตร และด้านสั้นมีความกว้าง 0.30 เมตร สูง 2.84 เมตร และหนา 0.10 เมตร ชิ้นส่วน A64 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปขนาดกว้าง 2.655 เมตร สูง 2.84 เมตร และหนา 0.10 เมตร ชิ้นส่วน J1 เป็นชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีลักษณะเป็นตัวอักษร “T” ในภาษาอังกฤษประกอบด้วยแนวนอนของตัว T ซึ่งมีความกว้าง 3.624 เมตร สูง 0.50 เมตร หนา 0.10 เมตร และแนวตั้งของตัวอักษร T มีความกว้าง 0.60 เมตร สูง 2.34 เมตร และหนา 0.10 เมตร สุดท้ายชิ้นส่วน J2 เป็นชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีลักษณะเป็นช่องว่างตรงกลางสำหรับติดตั้งหน้าต่างอลูมิเนียมโดยชิ้นส่วนมีความกว้าง 3.388 เมตร สูง 2.84 เมตร หนา 0.10 เมตร และช่องว่างตรงกลางมีขนาดกว้าง 2.00 เมตร สูง 1.60 เมตร ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

(2) การศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

เมื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การสร้างผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ภาพที่ 6.3 แสดงผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

(3) การกำหนดรูปแบบการประเมินและองค์ประกอบที่จะพิจารณา

การกำหนดรูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การกำหนดรูปแบบการประเมิน</u>

งานวิจัยนี้ประเมินด้วยรูปแบบ “Cradle to Install” ซึ่งมีขอบเขตการพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การขนส่งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไปยังโครงการก่อสร้าง การติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป รวมถึงการกำจัดเศษซากสิ่งนำเข้าในแต่ละขั้นตอน อย่างไรก็ตามขอบเขตการประเมินรูปแบบนี้จะไม่ครอบคลุมช่วงการใช้งานอาคาร และช่วงการซ่อมบำรุงหรือการกำจัดซากอาคาร

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์</u>

ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารที่พัฒนาขึ้นอาศัยแนวคิดพื้นฐานของวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม Hybrid LCA ซึ่งเป็นการผนวกวิธีวิเคราะห์บัญชีรายการด้าน

สิ่งแวดล้อม P-LCA และ IOA เข้าด้วยกันเพื่อให้ครอบคลุมองค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสิ้น 10 องค์ประกอบ ได้แก่

(1) การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ

(2) การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้าง

(3) การผลิตเชื้อเพลิง ได้แก่ เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรก่อสร้าง

(4) การผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้กับเครื่องจักรก่อสร้างและอุปกรณ์ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตและติดตั้ง

(5) การขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง

(6) การขนส่งเครื่องมือเครื่องจักรมายังสถานที่ก่อสร้าง

(7) การขนส่งคนงานมายังสถานที่ก่อสร้าง

(8) การขนส่งภายในสถานที่ก่อสร้าง ได้แก่ การขนย้ายชิ้นส่วนผนังคอนกรีตจากสถานที่กองเก็บไปยังตำแหน่งติดตั้ง

(9) การขนส่งของเสียไปยังสถานที่กำจัดของเสีย

(10) การกำจัดของเสียในแต่ละขั้นตอน

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้ง</u>

องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถวิเคราะห์โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบ เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่

(1) แยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอน ภาพที่ 6.3 แสดงการแยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นขั้นตอนทั้งสิ้น 11 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ การสร้างแบบหล่อ การทาน้ำยาแบบหล่อ การเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม การผสมคอนกรีต การเสริมเหล็ก การเทและตกแต่งผิวคอนกรีต การถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การทำความสะอาดแบบหล่อ การยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

(2) แยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน การแยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าเป็นการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าของแต่ละขั้นตอน ภาพที่ 6.4 แสดงชนิดของสิ่งนำเข้า เครื่องมือเครื่องจักร กระบวนการ และของเสียที่ได้จากการ

วิเคราะห์ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก ได้ 9 ตัวแปร ได้แก่

1) I (Inputs) หมายถึง วัสดุชั่วคราวและวัสดุถาวร

2) M (Tools and machines) หมายถึง เครื่องมือและเครื่องจักรก่อสร้าง รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้า

3) E (Electricity) หมายถึง การใช้พลังงานไฟฟ้า

4) TG (Transport go) หมายถึง การขนส่งเที่ยวไป

5) TB (Transport back) หมายถึง การขนส่งเที่ยวกลับ

6) TWG (Transport waste go) หมายถึง การขนส่งของเสียเที่ยวไป

7) TWB (Transport waste back) หมายถึง การขนส่งของเสียเที่ยวกลับ

8) W (Waste) หมายถึง การกำจัดเศษซาก

9) P (Product) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน

ตัวแปรเหล่านี้สอดคล้องกับตารางแสดงผลการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปดังแสดงในตารางที่ 6.3

<u>การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

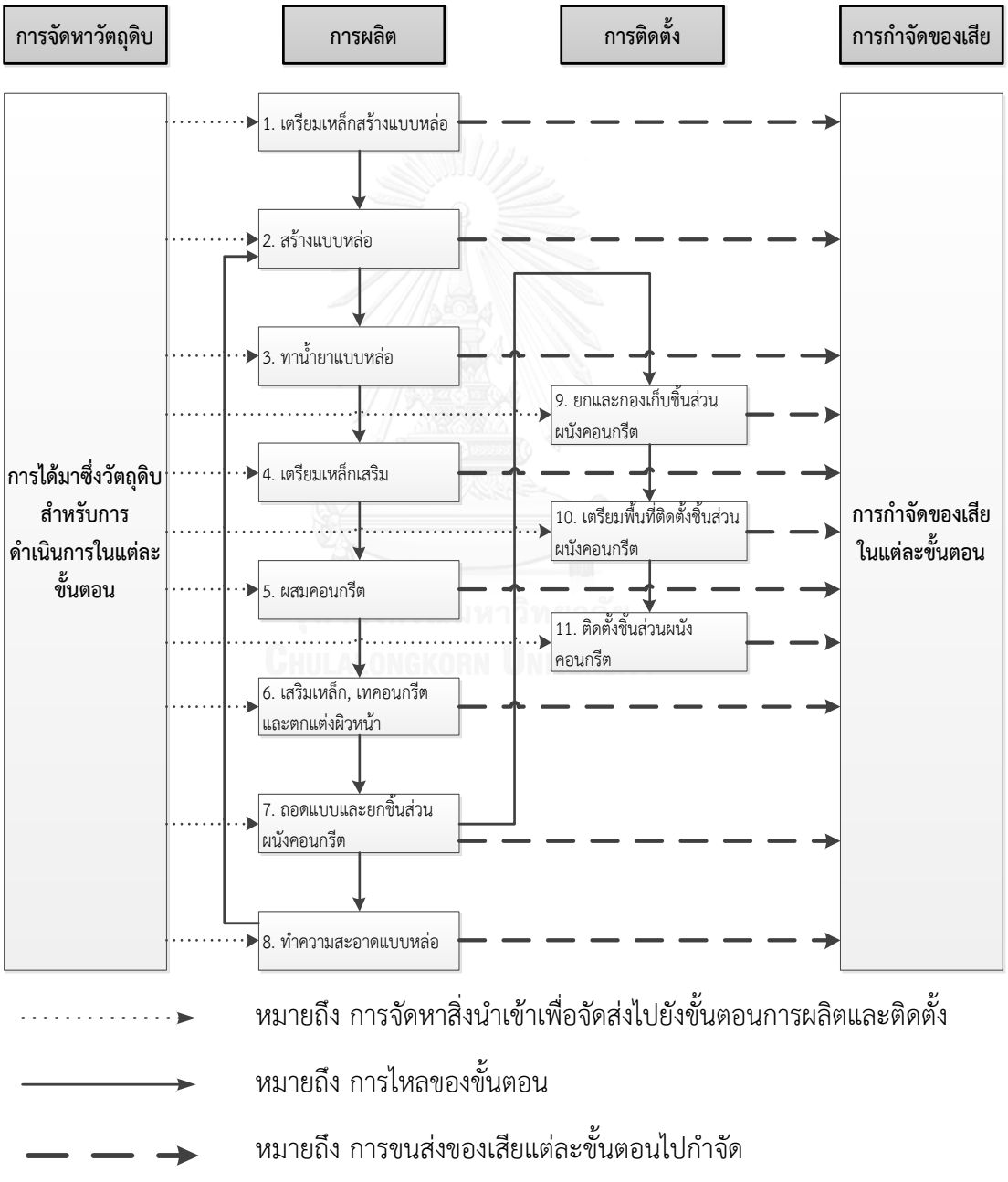
ข้อมูลทุติยภูมิที่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และกลุ่มข้อมูลการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้าสำหรับกระบวนการผลิตหรือติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

(1) การรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

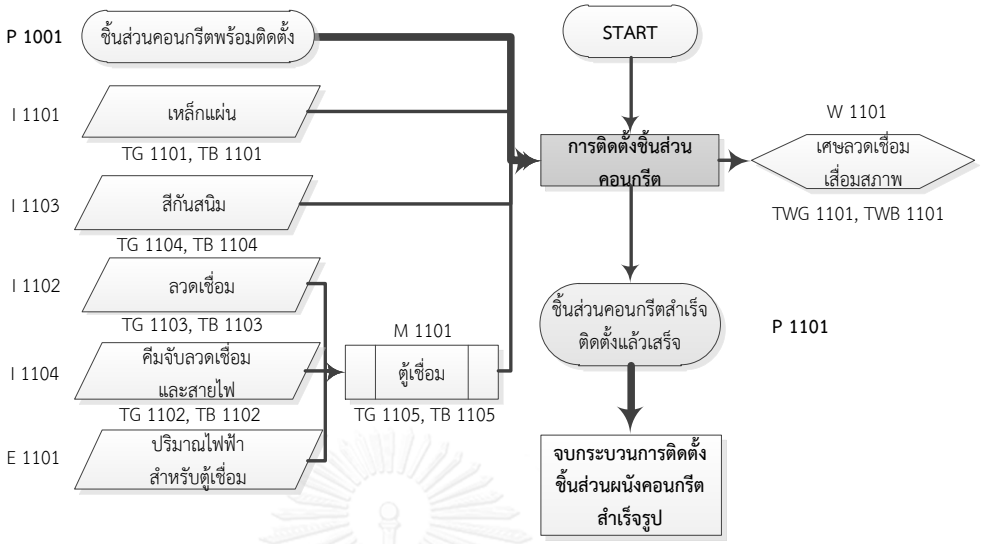
การศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้าทำได้โดยการจัดหมวดหมู่สิ่งนำเข้าโดยอ้างอิงตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก จากนั้นจึงเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นหน่วยงานของประเทศไทยทำหน้าที่ประเมินและจัดเก็บข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของประเทศไทย ผลการศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงดังตารางที่ 6.4 ซึ่งเป็นตัวอย่างการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

(2) การใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้าทำได้โดยการวิเคราะห์ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตประจำปีควบคู่กับข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ผลการวิเคราะห์เมตริกซ์ความต้องการใช้พลังงานต่อหนึ่งบาทเพื่อสร้างสิ่งนำเข้าจะถูกอธิบายในหัวข้อที่ 5.3.2



ภาพที่ 6.3 ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



ภาพที่ 6.4 การแยกองค์ประกอบขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ตารางที่ 6.3 การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
I 1101	**วัสดุ**	เหล็กแผ่น	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 1102		ลวดเชื่อม	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 1103		สีกันสนิม	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 1104		คีมจับลวดเชื่อมและ สายไฟ	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 1101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน
E 1101	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
TG 1101	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อม และสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
TG 1103	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 1104		บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 1104	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
W 1101	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษลวดเชื่อม	น้ำหนักของเสีย	ชั่งตวง
TWG 1101	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			หมายเหตุ	-
TWG 1102	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			หมายเหตุ	-

ตารางที่ 6.4 การรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

กลุ่มปัจจัยนำเข้า	ชนิดของปัจจัยนำเข้า	Emission factor	หน่วย	ที่มาของฐานข้อมูล
วัสดุ	เหล็กแผ่น	1.7600	kg.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	ลวดเชื่อม	1.7600	kg.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	สีกันสนิม	2.3200	kg.	Kougoulis et al. (2012)
การใช้ไฟฟ้า	ตู้เชื่อม	0.6093	kWh	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง (ด้วยรถบรรทุกสี่ล้อบรรทุกน้ำหนักสูงสุด 7 ตัน เที่ยวไป วิ่ง 75%)	บรรทุกเหล็กแผ่น	0.1829	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	0.1829	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกลวดเชื่อม	0.1829	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกสีกันสนิม	0.1829	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกตู้เชื่อม	0.1829	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง (ด้วยรถบรรทุกสี่ล้อบรรทุกน้ำหนักสูงสุด 7 ตัน เที่ยวกลับ วิ่ง 0%)	บรรทุกเหล็กแผ่น	0.3111	km.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	0.3111	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกลวดเชื่อม	0.3111	km.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกสีกันสนิม	0.3111	km.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
	บรรทุกตู้เชื่อม	0.3111	km.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
การกำจัดของเสีย	เศษลวดเชื่อม	2.3200	kg.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
การขนส่งของเสีย (เที่ยวไป)	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	0.0687	tkm.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)
การขนส่งของเสีย (เที่ยวกลับ)	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	0.5863	km.	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)

<u>การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

ข้อมูลปฐมภูมิที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้า ซึ่งมีรายละเอียดการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลกิจกรรม

ข้อมูลกิจกรรมเป็นข้อมูลที่จะถูกนำไปใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA ข้อมูลนี้สามารถเก็บรวบรวมได้จากข้อมูลภาคปฏิบัติในแต่ละขั้นตอน เช่น ศึกษาจากบันทึกภาคสนามของผู้ก่อสร้างร่วมกับการตรวจสอบปริมาณงานก่อสร้างจากแบบก่อสร้าง การสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานและการสังเกตการณ์อย่างละเอียดและต่อเนื่อง การเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้โดยใช้วิธีการที่แตกต่างกันตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งรายละเอียดวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลจะแสดงในหัวข้อที่ 5.2.3 ตารางที่ 6.5 แสดงผลการรวบรวม

ข้อมูลกิจกรรมในขั้นตอนติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบด้วยข้อมูลที่สามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.5 ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
I 1101	**วัสดุ**	เหล็กแผ่น	น้ำหนัก	8.64	kg.
I 1102		ลวดเชื่อม	น้ำหนัก	0.80	kg.
I 1103		สีกันสนิม	น้ำหนัก	0.10	kg.
I 1104		คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	มูลค่า	200.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 1101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	มูลค่า	21,990.00	บาท
			เวลาที่ใช้	35.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
E 1101	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	กำลังไฟฟ้า	13.00	kW
			เวลาที่ใช้	35.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	7.58	kWh
TG 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	8.64	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-

ตารางที่ 6.5 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
TG 1104	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TB 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	8.64	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 1104		บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-

ตารางที่ 6.5 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
W 1101	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษลวดเชื่อม	น้ำหนักของเสีย	0.17	kg.
TWG 1101	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.17	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TWG 1102	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.17	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-

1) ข้อมูลวัสดุ หมายถึงวัสดุถาวรที่ใช้ในขั้นตอนติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น เหล็กแผ่น ลวดเชื่อม และสีกันสนิม ข้อมูลส่วนนี้เก็บรวบรวมได้จากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงาน หรือชั่งตวงน้ำหนักโดยตรง จากนั้นประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าโดยใช้สมการที่ 5.1

2) ข้อมูลการใช้พลังงาน หมายถึงพลังงานไฟฟ้าของเครื่องมือและเครื่องจักร กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องมือและเครื่องจักรบริโภคในช่วงเวลาที่ใช้งาน ปริมาณไฟฟ้าจะอยู่ในหน่วยกิโลวัต* ชั่วโมง (kWh) ข้อมูลส่วนนี้เก็บรวบรวมได้จากการศึกษาคู่มือการใช้งานเครื่องจักรควบคู่กับการจับเวลาการใช้งานเครื่องจักรด้วยนาฬิกาจับเวลา จากนั้นประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ 5.4

3) ข้อมูลการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง หมายรวมถึง การขนส่งสิ่งนำเข้า การขนส่งเครื่องมือและเครื่องจักร รวมถึงการขนส่งของเสียเพื่อนำไปกำจัดด้วย ข้อมูลปฐมภูมิที่จำเป็นสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง คือ ระยะทาง, น้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการบันทึกการเดินทางของพนักงานขับรถโดยการสัมภาษณ์ควบคู่กับการใช้ Google map ในการประเมินระยะทาง ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกสามารถเก็บรวบรวมได้จากเอกสารส่งวัสดุ และข้อมูลน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเก็บรวบรวมจากการสัมภาษณ์ผู้ขับรถบรรทุก การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งทั้ง

เที่ยวไปและเที่ยวกลับทำได้โดยใช้สมการที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ ทั้งนี้องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกยังได้ระบุเพิ่มเติมอีกว่ากรณีที่ไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลระยะทางการขนส่งของเสียไปกำจัดจะอนุโลมให้ใช้ระยะทางการขนส่งเท่ากับ 40 กิโลเมตร

4) ข้อมูลการกำจัดเศษซาก การเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งนำออกประเภทนี้ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักของเสียด้วยเครื่องมือชั่งตวงที่ได้มาตรฐาน จากนั้นประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการกำจัดเศษซากโดยใช้สมการที่ 5.6

(2) ข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้า

ข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับการศึกษาการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า การเก็บรวบรวมข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าทำได้โดยการสัมภาษณ์และเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต ตารางที่ 6.5 แสดงผลการรวบรวมข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าทำได้โดยการจัดเตรียมข้อมูลสิ่งนำเข้าที่เก็บรวบรวมมาและป้อนข้อมูลลงในเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่สร้างขึ้น จากนั้นจึงเลือกใช้สมการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เหมาะสม (ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.3) การแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก หรือจำแนกตามพื้นที่ใช้สอย

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงรายการคำนวณผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเพียงหนึ่งตัวอย่างเท่านั้น ตารางที่ 6.6 แสดงรายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จะถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 7.1

ตารางที่ 6.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 1101	**วัสดุ**	เหล็กแผ่น	น้ำหนัก	8.64	kg.	1.7600	kg.	15.20	**15.20**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 1102		ลวดเชื่อม	น้ำหนัก	0.80	kg.	1.7600	kg.	1.41	**1.41**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 1103		สีกันสนิม	น้ำหนัก	0.10	kg.	2.3200	kg.	0.23	**0.23**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 1104		คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Temporary Material sector 117
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 1101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	มูลค่า	21,990.00	บาท	-	-	233.36	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 1101	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	กำลังไฟฟ้า	13.00	kW	0.6093	kWh	4.62	**4.62**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	7.58	kWh						
TG 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.	0.1829	tkm.	0.11	**0.11**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	8.64	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ 6.6 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TG 1104	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.	0.3111	km.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	8.64	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.3111	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1104		บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

ตารางที่ 6.6 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
P 1101	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปติดตั้งแล้วเสร็จ**									
W 1101	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษลวดเชื่อม	น้ำหนักของเสีย	0.17	kg.	2.32	kg.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 1101	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.17	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 1102	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.17	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

สรุปผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

หน่วย	kgCO2e	%
วัสดุ	16.86	kgCO2e
เครื่องมือและเครื่องจักร	0.02	kgCO2e
การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง	4.62	kgCO2e
การขนส่งวัสดุ,เครื่องจักร,ของเสีย	0.25	kgCO2e
การกำจัดของเสีย	0.39	kgCO2e
TOTAL	**22.14**	**kgCO2e**

6.2 กรณีศึกษาที่ 2: การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมวลเบา

ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมวลเบา มีรายละเอียดดังนี้

<u>การกำหนดขอบเขต</u>

การกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การอธิบายผลิตภัณฑ์และกำหนดหน่วยอ้างอิงที่ใช้ในการประเมิน

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนการผลิตอิฐมวลเบาจากหน่วยงานเอกชนขนาดเล็ก จำนวน 1 หน่วยงาน ตารางที่ 6.7 แสดงรายละเอียดหน่วยงานดังกล่าว กรณีศึกษาที่ใช้เป็นโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยซึ่งเป็นอาคารสูงจำนวน 1 โครงการ เก็บรวบรวมข้อมูลห้องชุดพักอาศัยซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยขนาด 59.55 ตร.ม. จำนวน 2 ห้อง ตารางที่ 6.8 แสดงรายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษาซึ่งใช้อิฐมวลเบาที่มีขนาดกว้าง 0.20 เมตร สูง 0.60 เมตร และหนา 0.075 เมตร

ตารางที่ 6.7 รายละเอียดหน่วยงานผลิตอิฐมวลเบา

รายละเอียด		**หน่วยงานผลิตอิฐมวลเบา**
หน่วยงานผลิต		หน่วยงานเอกชน
ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทำงานวิจัย		เมษายน พ.ศ.2557
ข้อมูลหน่วยงาน	**ระบบผลิต**	หน่วยงานผลิตขนาดเล็ก
	ผลิตภัณฑ์	อิฐมวลเบา, บล็อกคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 6.8 รายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

รายละเอียด		**ห้องชุดพักอาศัยขนาด 59.55 ตร.ม.**
เจ้าของโครงการ		หน่วยงานเอกชน
ประเภทโครงการ		ห้องชุดพักอาศัย
ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทำงานวิจัย		เมษายน พ.ศ.2557
แบบห้องชุดพักอาศัย	**จำนวนชั้น**	8
	พื้นที่ใช้สอย	59.55 ตร.ม.
	พื้นที่ก่อ	65.41 ตร.ม.
	พื้นที่ฉาบ	156.01 ตร.ม.
ระบบการก่อสร้าง	**คานและพื้น**	ระบบโครงสร้างพื้น Post Tensioned Slab
	เสา	ระบบคอนกรีตหล่อในที่
	ผนังภายใน	ผนังอิฐมวลเบาและฉาบปูน
	ผนังภายนอก	ผนังชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

(2) การศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

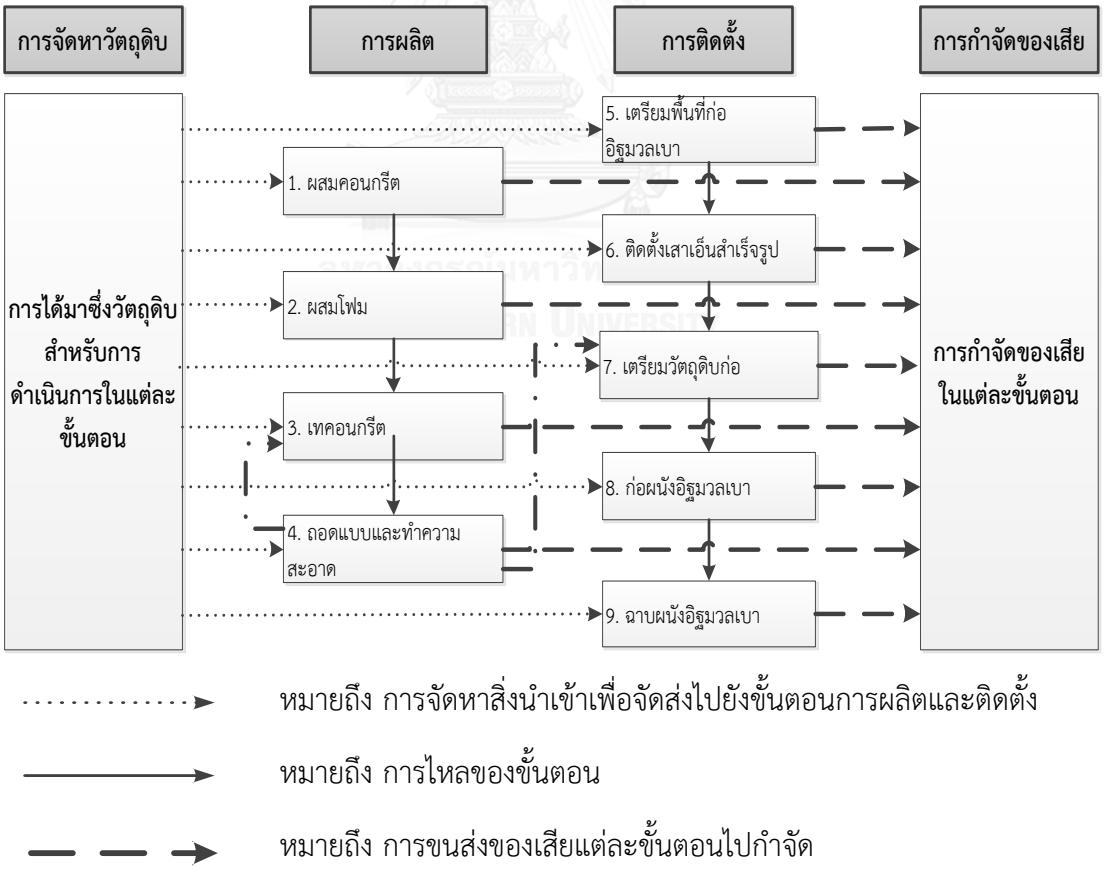
เมื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบาแล้วเสร็จ ขั้นตอนต่อไป คือ การสร้างผังการไหลของกระบวนการ ภาพที่ 6.5 แสดงรายละเอียดผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

(3) การกำหนดรูปแบบการประเมินและองค์ประกอบที่จะพิจารณา

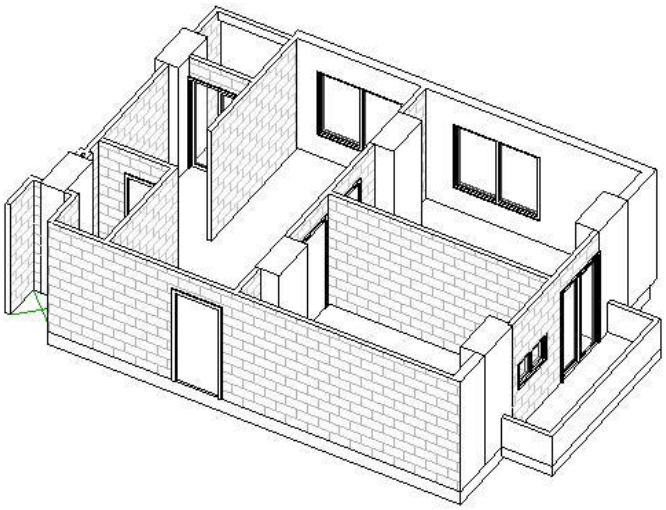
การกำหนดรูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

<u>การกำหนดรูปแบบการประเมิน</u>

ภาพที่ 6.6 แสดงรายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษา งานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ด้วยรูปแบบ “Cradle to Install” ในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



ภาพที่ 6.5 ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา



ภาพที่ 6.6 รายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

การวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

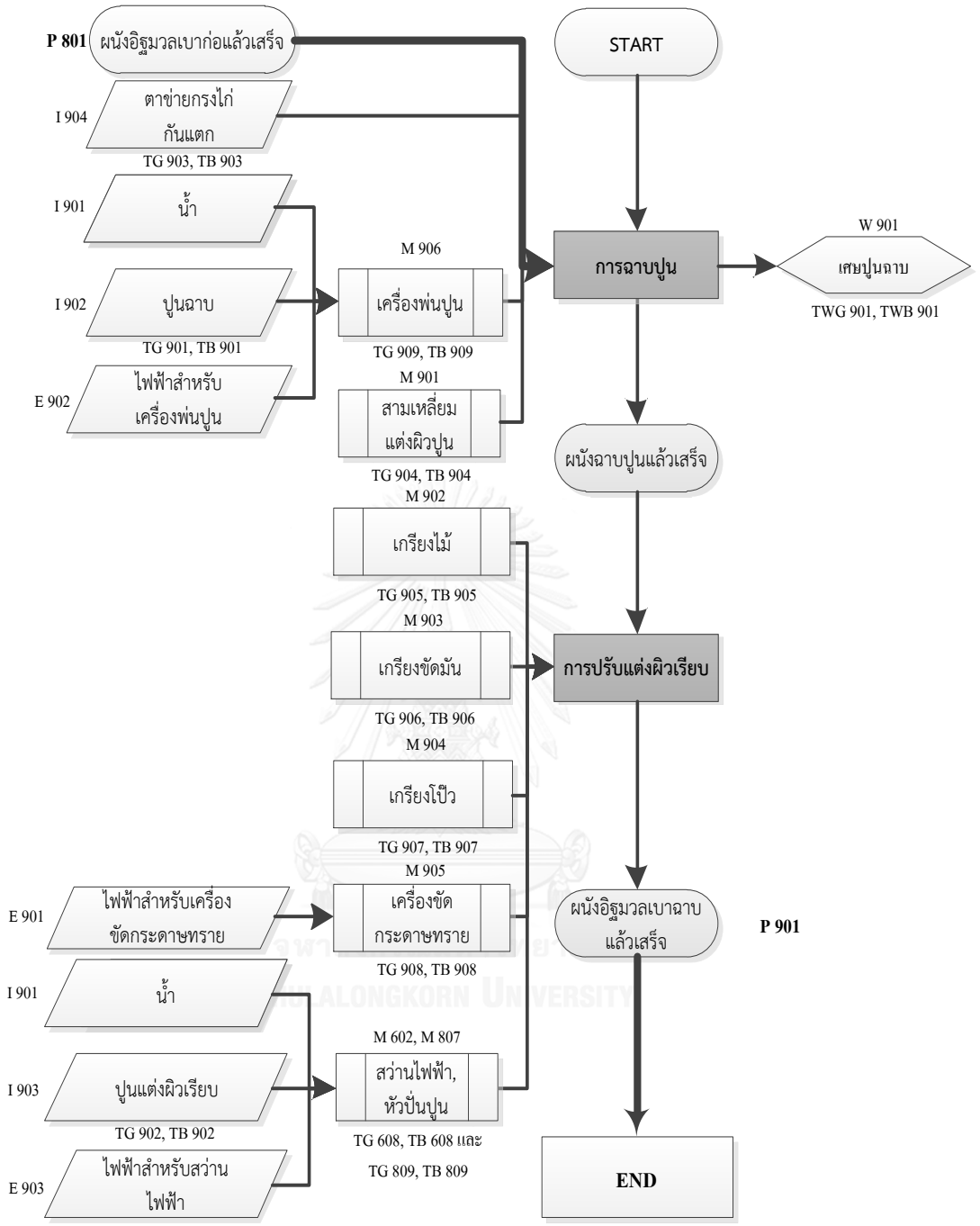
องค์ประกอบที่พิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์มีทั้งสิ้น 10 ปัจจัย เช่นเดียวกับในกรณีการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้ง

การประยุกต์ใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

(1) แยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอน ประกอบด้วย 9 ขั้นตอน ได้แก่ การผสมคอนกรีต การผสมโฟม การเทคอนกรีต การถอดแบบและทำความสะอาดแบบหล่อ การเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา การติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป การเตรียมวัตถุดิบก่อ การก่อผนังอิฐมวลเบา และการฉาบผนังอิฐมวลเบา

(2) แยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออก ภาพที่ 6.7 แสดงการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา ตัวแปรเหล่านี้จะสอดคล้องกับตารางที่ 6.9 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา



ภาพที่ 6.7 การแยกองค์ประกอบขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 6.9 การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
I 901	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	Bill of Quantities
I 902		ปูนฉาบ 1.5 cm	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 903		ปูนแต่งผิวเรียบ 1mm	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 904		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	น้ำหนัก	ชั่งตวง
M 901	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 902		เกรียงไม้	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 903		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 904		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 905		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน
M 906		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน
M 907		หัวปั่นปูน	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 908		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน
E 901	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
E 902		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
E 903		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
TG 901	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-

ตารางที่ 6.9 (ต่อ) การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
TG 903	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 908		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 909	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-

ตารางที่ 6.9 (ต่อ) การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
TB 903	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 906	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 908		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
W 901	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	ชั่งตวง
TWG 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			หมายเหตุ	-
TWB 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			หมายเหตุ	-

การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิของผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 6.10 แสดงผลการรวบรวมข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 6.10 ผลการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (0)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (1)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออกจากระบบ (2)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF)	หน่วย EF (7)
I 701	**วัสดุ**	น้ำ	0.0264	kg.
I 702		ปูนฉาบ 1.5 cm	1.0380	kg.
I 703		ปูนแต่งผิวเรียบ 1mm	1.0380	kg.
I 704		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	1.7600	kg.
E 701	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	0.6093	kWh
E 702		เครื่องพ่นปูนฉาบ	0.6093	kWh
E 703		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.6093	kWh
TG 701	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 75%load)	0.0687	tkm.
TG 702		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ (สิบล้อ 16 ตัน 75%load)	0.0687	tkm.
TG 703		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก (สี่ล้อ 7 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 704		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน (สี่ล้อ 7 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 705		บรรทุกเกรียงไม้ (สี่ล้อ 7 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 706		บรรทุกเกรียงขัดมัน (สี่ล้อ 7 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 707		บรรทุกเกรียงโป๊ว (สี่ล้อ 7 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 708		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย (สี่ล้อ 7 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 709		เครื่องพ่นปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 75%load)	0.0687	tkm.
TB 701	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.
TB 702		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.
TB 703		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก (สี่ล้อ 7 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 704		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน (สี่ล้อ 7 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 705		บรรทุกเกรียงไม้ (สี่ล้อ 7 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 706		บรรทุกเกรียงขัดมัน (สี่ล้อ 7 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 707		บรรทุกเกรียงโป๊ว (สี่ล้อ 7 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 708		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย (สี่ล้อ 7 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 709		เครื่องพ่นปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.
W 701	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	2.3200	kg.
TWG 701	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.0687	tkm.
TWB 701	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.

การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิของผนังอิฐมวลเบา

(1) ข้อมูลกิจกรรม

ทำได้โดยการวัดตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตารางที่ 6.11 แสดงผลการรวบรวมข้อมูลกิจกรรมของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบาของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

(2) ข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้า

ข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าเป็นหนึ่งในข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ข้อมูลชนิดนี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า การเก็บรวบรวมข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าทำได้โดยการสอบถามและรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต ตารางที่ 6.11 แสดงผลการรวบรวมข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบาเช่นเดียวกับข้อมูลปฐมภูมิ

ตารางที่ 6.11 ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
I 901	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	508.14	kg.
I 902		ปูนฉาบ 1.5 cm	น้ำหนัก	2,785.86	kg.
I 903		ปูนแต่งผิวเรียบ 1mm	น้ำหนัก	195.01	kg.
I 904		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	น้ำหนัก	5.20	kg.
M 901	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	320.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 902		เกรียงไม้	มูลค่า	160.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 903		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	60.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 904		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	12.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ

ตารางที่ 6.11 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
M 905	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	2,422.00	บาท
			เวลาที่ใช้	60.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
M 906		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	99,277.50	บาท
			เวลาที่ใช้	30.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
M 907		หัวปั่นปูน	มูลค่า	120.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 908		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	มูลค่า	5,850.00	บาท
			เวลาที่ใช้	40.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
E 901	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	0.23	kW
			เวลาที่ใช้	60.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.23	kWh
E 902		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW
			เวลาที่ใช้	30.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3.58	kWh
E 903		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	กำลังไฟฟ้า	0.78	kW
			เวลาที่ใช้	40.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.52	kWh
TG 901	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	2,785.86	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	195.01	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-

ตารางที่ 6.11 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
TG 903	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 908		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-

ตารางที่ 6.11 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
TG 910	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการก่อผนังอิฐมวลเบาแล้ว	
			น้ำหนักบรรทุก		
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		
			หมายเหตุ		
TG 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว	
			น้ำหนักบรรทุก		
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		
			หมายเหตุ		
TB 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	2,785.86	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	195.01	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 903		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-

ตารางที่ 6.11 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
TB 907	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 908		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการก่อผนังอิฐมวลเบาแล้ว	
			น้ำหนักบรรทุก		
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		
			หมายเหตุ		
TB 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว	
			น้ำหนักบรรทุก		
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด		
			หมายเหตุ		
W 901	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	18.00	kg.
TWG 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	18.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TWB 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	18.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบา

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าทำได้โดยการเรียบเรียงข้อมูลสิ่งนำเข้าที่เก็บรวบรวมมาและป้อนข้อมูลลงในเทมเพลตสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่สร้างขึ้น โดยเลือกใช้สมการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เหมาะสมดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.3 การแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบาสามารถทำได้หลายรูปแบบเช่น จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกหรือจำแนกตามพื้นที่ใช้สอย

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงรายการคำนวณผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาเพียงหนึ่งตัวอย่างเท่านั้น ตารางที่ 6.12 แสดงรายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบาจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก การวิเคราะห์ผลลัพธ์จะนำเสนอในหัวข้อที่ 7.2

6.3 กรณีศึกษาที่ 3: การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมอญ

ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมอญ มีรายละเอียดดังนี้

การกำหนดขอบเขต

การกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การอธิบายผลิตภัณฑ์และกำหนดหน่วยอ้างอิงที่ใช้ในการประเมิน

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนการผลิตอิฐมอญจากหน่วยงานผลิตอิฐมอญซึ่งเป็นหน่วยงานผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมจำนวน 1 หน่วยงาน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.13 และเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาจากโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยมีลักษณะเป็นอาคารสูงจำนวน 1 โครงการ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลห้องชุดพักอาศัยที่มีพื้นที่ใช้สอยขนาด 26 ตร.ม. จำนวน 2 ห้อง ตารางที่ 6.14 แสดงรายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษาซึ่งใช้อิฐมอญที่มีขนาดกว้าง 0.03 เมตร ยาว 0.06 เมตร และหนา 0.15 เมตร

(2) การศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 6.8 แสดงผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ

(3) การกำหนดรูปแบบการประเมินและองค์ประกอบที่จะพิจารณา

การกำหนดรูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

ตารางที่ 6.12 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 901	วัสดุ	น้ำ	น้ำหนัก	508.14	kg.	0.0264	kg.	13.41	**13.41**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 902		ปูนฉาบ 1.5 cm	น้ำหนัก	2,785.86	kg.	1.0380	kg.	2,891.72	**2,891.72**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 903		ปูนแต่งผิวเรียบ 1mm	น้ำหนัก	195.01	kg.	1.0380	kg.	202.42	**202.42**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 904		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	น้ำหนัก	5.20	kg.	1.7600	kg.	9.15	**9.15**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 901	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	320.00	บาท	-	-	3.40	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 902		เกรียงไม้	มูลค่า	160.00	บาท	-	-	1.70	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 104
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 903		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.64	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 904		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	12.00	บาท	-	-	0.13	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 905		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	2,422.00	บาท	-	-	25.70	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	60.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 906		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	99,277.50	บาท	-	-	1,053.53	**0.06**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 907		หัวปั่นปูน	มูลค่า	120.00	บาท	-	-	1.27	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 908		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	มูลค่า	5,850.00	บาท	-	-	62.08	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	40.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						

ตารางที่ 6.12 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
E 901	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	0.23	kW	0.6093	kWh	0.14	**0.14**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	60.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.23	kWh						
E 902		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW	0.6093	kWh	2.18	**2.18**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3.58	kWh						
E 903		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	กำลังไฟฟ้า	0.78	kW	0.6093	kWh	0.32	**0.32**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	40.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.52	kWh						
TG 901	**การขนส่งวัสดุและ**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	13.01	**13.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,785.86	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	0.91	**0.91**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	195.01	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 903		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ 6.12 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TG 905	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 908		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.0687	tkm.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการก่อผนังอิฐมวลเบาแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
TG 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								

ตารางที่ 6.12 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.5863	km.	6.94	**6.94**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,785.86	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.06	**0.06**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	195.01	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 903		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

ตารางที่ 6.12 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 908	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.5863	km.	0.21	**0.21**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการก่อผนังอิฐมวลเบาแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
TB 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
P 901	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ผนังอิฐมอญฉาบแล้วเสร็จ**									
W 901	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	18.00	kg.	2.32	kg.	41.76	**41.76**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	18.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	18.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

สรุปผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

หน่วย	kgCO2e	%
วัสดุ	3,116.71	kgCO2e
เครื่องมือและเครื่องจักร	0.14	kgCO2e
การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง	2.64	kgCO2e
การขนส่งวัสดุ,เครื่องจักร,ของเสีย	21.62	kgCO2e
การกำจัดของเสีย	41.76	kgCO2e
TOTAL	**3,182.86**	**kgCO2e**

ตารางที่ 6.13 รายละเอียดหน่วยงานผลิตอิฐมอญ

รายละเอียด		**หน่วยงานผลิตอิฐมอญ**
หน่วยงานผลิต		หน่วยงานเอกชน
ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทำงานวิจัย		มกราคม พ.ศ.2557
ข้อมูลหน่วยงาน	**ระบบผลิต**	ระบบผลิตดั้งเดิม
	ผลิตภัณฑ์	อิฐมอญ

ตารางที่ 6.14 รายละเอียดโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอิฐมอญ

รายละเอียด		**ห้องชุดพักอาศัยขนาด 26 ตร.ม.**
เจ้าของโครงการ		หน่วยงานเอกชน
ประเภทโครงการ		ห้องชุดพักอาศัย
ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทำงานวิจัย		กุมภาพันธ์ พ.ศ.2557
แบบห้องชุดพักอาศัย	**จำนวนชั้น**	25
	พื้นที่ใช้สอย	26 ตร.ม.
	พื้นที่ก่อ	43.97 ตร.ม.
	พื้นที่ฉาบ	91.38 ตร.ม.
ระบบการก่อสร้าง	**คานและพื้น**	ระบบโครงสร้างพื้น Post Tensioned Slab
	เสา	ระบบคอนกรีตหล่อในที่
	ผนังภายใน	ผนังก่ออิฐและฉาบปูน
	ผนังภายนอก	ผนังชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

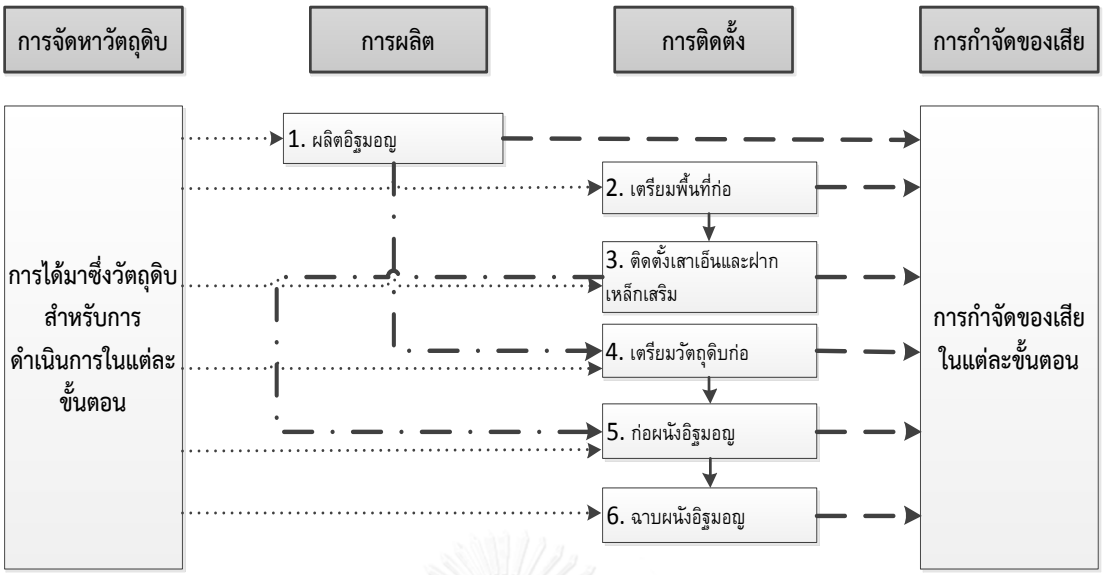
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การกำหนดรูปแบบการประเมิน</u>

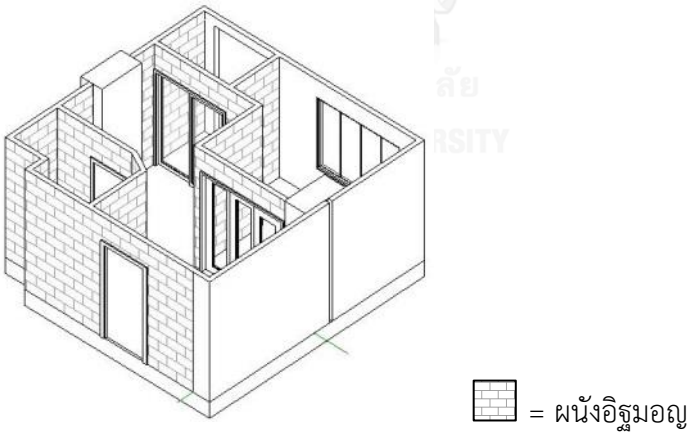
ภาพที่ 6.9 แสดงรายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษา งานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ด้วยรูปแบบ “Cradle to Install” เช่นเดียวกับผนังอาคารชนิดอื่น

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์</u>

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพรินต์จากกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ ภายใต้องค์ประกอบที่จะต้องพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสิ้น 10 ปัจจัย เช่นเดียวกับองค์ประกอบที่จะพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารทั้งสองชนิด



ภาพที่ 6.8 ผังการไหลของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ



ภาพที่ 6.9 รายละเอียดโครงสร้างห้องชุดพักอาศัยที่ติดตั้งผนังอิฐมอญ

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้ง</u>

การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญทำได้โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

(1) แยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้ การผลิตอิฐมอญ การเตรียมพื้นที่ก่อ การติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม การเตรียมวัตถุดิบก่อ การก่อผนังอิฐมอญ และการฉาบผนังอิฐมอญ

(2) แยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน การแยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าเพื่อวิเคราะห์สิ่งนำเข้าของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญดังแสดงในตารางที่ 6.15 ซึ่งตัวแปรในแถวแรกจะสอดคล้องกับผังการวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกในภาพที่ 6.10

ตารางที่ 6.15 การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
I 601	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	Bill of Quantities
I 602		ปูนฉาบ	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 603		ปูนแต่งผิวเรียบ	น้ำหนัก	ชั่งตวง
I 604		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	น้ำหนัก	ชั่งตวง
M 601	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 602		เกรียงไม้	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 603		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 604		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			จำนวนครั้งที่ใช้	สมมติฐาน
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	สมมติฐาน
M 605		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน
M 606		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน
M 607		ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	มูลค่า	สอบถามและตรวจสอบกับฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เนต
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	สมมติฐาน

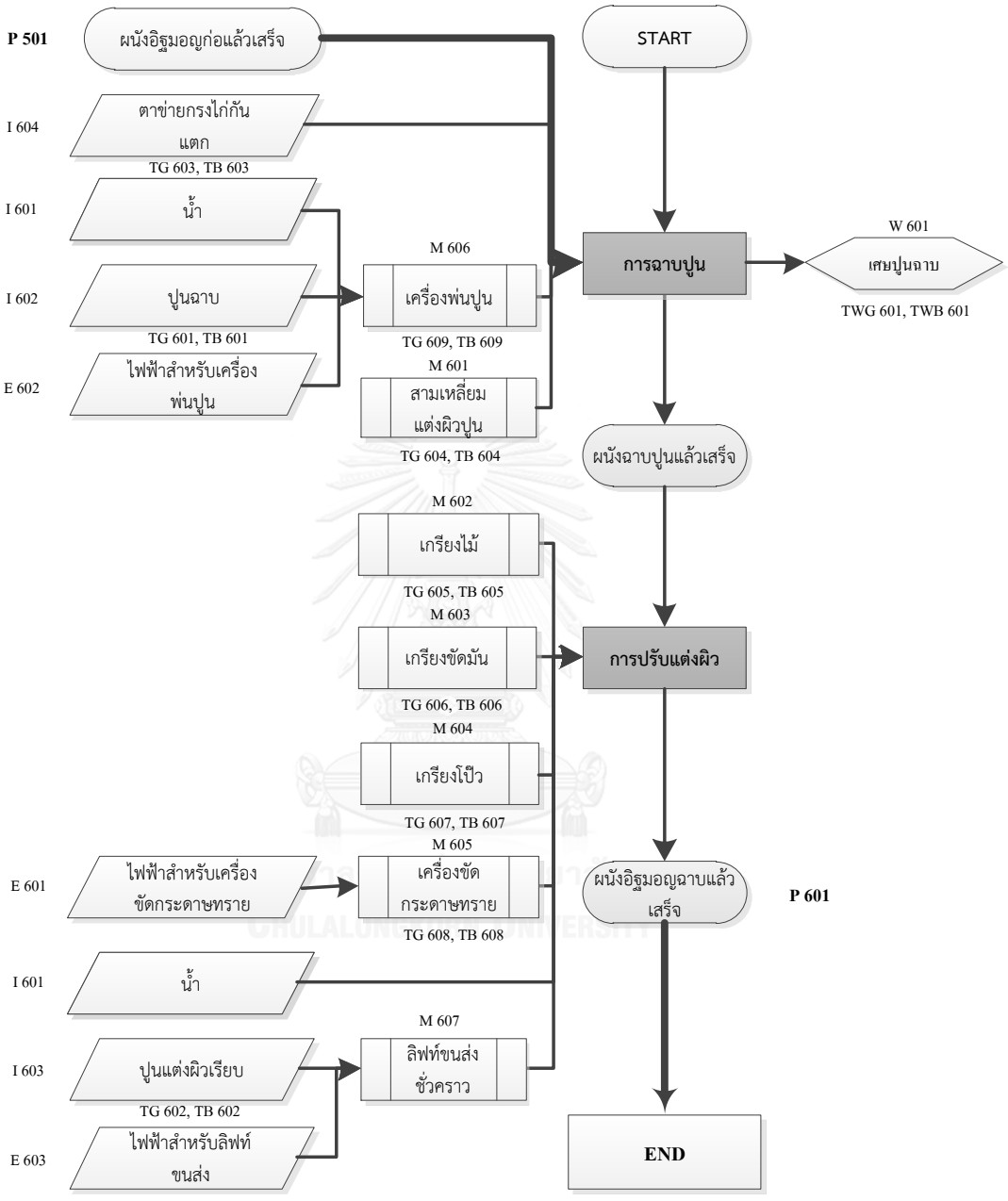
ตารางที่ 6.15 (ต่อ) การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
E 602		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
E 603		ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	กำลังไฟฟ้า	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			เวลาที่ใช้	นาฬิกาจับเวลา
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ผลคูณของกำลังไฟฟ้าและเวลาการใช้งาน
TG 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TG 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-

ตารางที่ 6.15 (ต่อ) การวิเคราะห์สิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
TB 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	สัมภาษณ์ และตรวจสอบด้วยการคำนวณ
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TB 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	Google map
			น้ำหนักบรรทุก	คู่มือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	สัมภาษณ์
			หมายเหตุ	-
TWG 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			หมายเหตุ	-
TWB 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			น้ำหนักบรรทุก	ชั่งตวง
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	ข้อกำหนดของแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์
			หมายเหตุ	-

6. ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ



ภาพที่ 6.10 การแยกองค์ประกอบขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

<u>การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิของผนังอิฐมอญ</u>

ตารางที่ 6.16 แสดงผลการศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 6.16 ผลการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (0)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (1)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออกจากระบบ (2)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (6)	หน่วย EF (7)
I 601	**วัสดุ**	น้ำ	0.0264	kg.
I 602		ปูนฉาบ	0.6120	kg.
I 603		ปูนแต่งผิวเรียบ	0.6120	kg.
I 604		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	1.7600	kg.
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	0.6093	kWh
E 602		เครื่องพ่นปูนฉาบ	0.6093	kWh
E 603		ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	0.6093	kWh
TG 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.0687	tkm.
TG 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.0687	tkm.
TG 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 605		บรรทุกเกรียงไม้ (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.1829	tkm.
TG 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.0687	tkm.
TB 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.
TB 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.
TB 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 605		บรรทุกเกรียงไม้ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.3111	km.
TB 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.
W 601	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	2.32	kg.
TWG 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวไป**	บรรทุกเศษปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 75% load)	0.0687	tkm.
TWB 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวกลับ**	บรรทุกเศษปูนฉาบ (สิบล้อ 16 ตัน 0% load)	0.5863	km.

<u>การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิของผนังอิฐมอญ</u>

การเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถทำได้โดยการวัดตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการวัดที่แตกต่างกันไปตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์ ตารางที่ 6.17 แสดงผลการรวบรวมข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญ

ตารางที่ 6.17 ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
I 601	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	613.76	kg.
I 602		ปูนฉาบ	น้ำหนัก	2,757.96	kg.
I 603		ปูนแต่งผิวเรียบ	น้ำหนัก	157.20	kg.
I 604		ตาข่ายกรงไก่ กัน	น้ำหนัก	5.20	kg.
M 601	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	320.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 602		เกรียงไม้	มูลค่า	160.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 603		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	60.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 604		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	12.00	บาท
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ
M 605		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	2,422.00	บาท
			เวลาที่ใช้	55.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
M 606		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	99,277.50	บาท
			เวลาที่ใช้	45.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
M 607		ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	มูลค่า	1,000,000.00	บาท
			เวลาที่ใช้	80.00	min
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	0.23	kW
			เวลาที่ใช้	55.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.21	kWh

ตารางที่ 6.17 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
E 602	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW
			เวลาที่ใช้	45.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	5.36	kWh
E 603		ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	กำลังไฟฟ้า	0.38	kW
			เวลาที่ใช้	80.00	min
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.51	kWh
TG 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	2,757.96	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	157.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-

ตารางที่ 6.17 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
TG 607	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TG 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TB 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	2,757.96	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	157.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-

ตารางที่ 6.17 (ต่อ) ผลการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในขั้นตอนติดตั้งผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)
TB 605	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
TB 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-
W 601	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	5.90	kg.
TWG 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	5.90	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-
TWB 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.
			น้ำหนักบรรทุก	5.90	kg.
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญ

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงรายการคำนวณผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญเพียงหนึ่งตัวอย่างเท่านั้น ตารางที่ 6.18 แสดงรายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญโดยจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก การวิเคราะห์ผลลัพธ์จะถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 7.3

6.4 สรุป

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารที่ถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษา ประกอบด้วยการกำหนดขอบเขต การกำหนดรูปแบบการประเมิน การวิเคราะห์องค์ประกอบภายใน การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิ สุดท้ายจึงประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ครอบคลุมองค์ประกอบสำคัญทั้งสิ้น 10 ชนิด ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้าง การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้าง การผลิตเชื้อเพลิง การขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง การขนส่งเครื่องมือเครื่องจักรมายังสถานที่ก่อสร้าง การขนส่งคนงานมายังสถานที่ก่อสร้าง การขนส่งภายในสถานที่ก่อสร้าง การขนส่งของเสียไปยังสถานที่กำจัดของเสีย และการกำจัดของเสียในแต่ละขั้นตอน

การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่ากระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตจำนวน 8 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ การสร้างแบบหล่อ การทาน้ำยาแบบหล่อ การเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม การผสมคอนกรีต การเสริมเหล็ก การเทคอนกรีตและตกแต่งผิวคอนกรีต การถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และการทำความสะอาดแบบหล่อ สำหรับกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบด้วยขั้นตอนการติดตั้งจำนวน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งอิฐมวลเบาพบว่าการผลิตอิฐมวลเบาประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตจำนวน 4 ขั้นตอน ได้แก่ การผสมคอนกรีต การผสมโฟม การเทคอนกรีต และการถอดแบบและทำความสะอาดแบบหล่อ สำหรับการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาประกอบด้วยขั้นตอนการติดตั้งจำนวน 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา การติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป การเตรียมวัตถุดิบก่อ การก่อผนังอิฐมวลเบา และการฉาบผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 6.18 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 601	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	613.76	kg.	0.0264	kg.	16.20	**16.20**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 602		ปูนฉาบ	น้ำหนัก	2,757.96	kg.	0.6120	kg.	1,687.87	**1,687.87**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 603		ปูนแต่งผิวเรียบ	น้ำหนัก	157.20	kg.	0.6120	kg.	96.21	**96.21**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 604		ตาข่ายกรงไก่ กัน	น้ำหนัก	5.20	kg.	1.7600	kg.	9.15	**9.15**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 601	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	320.00	บาท	-	-	3.40	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 602		เกรียงไม้	มูลค่า	160.00	บาท	-	-	1.70	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 104
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 603		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.64	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 604		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	12.00	บาท	-	-	0.13	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 605		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	2,422.00	บาท	-	-	25.70	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	55.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 606		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	99,277.50	บาท	-	-	1,053.53	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	45.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 607		ลิฟท์ขนส่งวัสดุ ชั่วคราว	มูลค่า	1,000,000.00	บาท	-	-	10,611.95	**1.62**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	80.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	0.23	kW	0.6093	kWh	0.13	**0.13**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	55.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.21	kWh						
E 602		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW	0.6093	kWh	3.27	**3.27**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	45.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	5.36	kWh						

ตารางที่ 6.18 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
E 603	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	กำลังไฟฟ้า	0.38	kW	0.6093	kWh	0.31	**0.31**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	80.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.51	kWh						
TG 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	12.88	**12.88**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,757.96	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	0.73	**0.73**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	157.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 604		บรรทุก สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ 6.18 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TG 608	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.0687	tkm.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.5863	km.	6.87	**6.87**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,757.96	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	157.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 604		บรรทุก สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

ตารางที่ 6.18 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 607	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.5863	km.	0.21	**0.21**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
W 601	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	5.90	kg.	2.32	kg.	13.69	**13.69**	สมการที่ 5.5	Waste
TWG 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

สรุปผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

หน่วย	kgCO2e	%
วัสดุ	1,809.44	kgCO2e
เครื่องมือและเครื่องจักร	1.77	kgCO2e
การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง	3.70	kgCO2e
การขนส่งวัสดุ,เครื่องจักร,ของเสีย	21.18	kgCO2e
การกำจัดของเสีย	13.69	kgCO2e
TOTAL	**1,849.78**	**kgCO2e**

การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญพบว่า กระบวนการผลิตอิฐมอญประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตจำนวน 1 ขั้นตอน คือ การผลิตอิฐมอญ สำหรับกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญประกอบด้วยขั้นตอนการติดตั้งจำนวน 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมพื้นที่ก่อ การติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม การเตรียมวัตถุดิบก่อ การก่อผนังอิฐมอญ และการฉาบผนังอิฐมอญ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบการประเมินที่แสดงในบทนี้จะเลือกนำมาแสดงเฉพาะขั้นตอนที่มีนัยสำคัญ เช่น ขั้นตอนที่มีตัวแปรครบถ้วน หรือขั้นตอนที่มีคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุดในกระบวนการ จากการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่าระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถนำไปใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
การวิเคราะห์ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารในกรณีศึกษา

จากผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับแต่ละผนังอาคารที่ได้นำเสนอในบทที่ 6 บทนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์เพื่อหาสิ่งนำเข้าหรือสิ่งนำออกที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด การวิเคราะห์หาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์ และการเปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์กับงานวิจัยในอดีต

7.1 ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

หัวข้อที่ 6.1 นำเสนอการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งจำแนกขั้นตอนการผลิตและติดตั้งได้ทั้งสิ้น 11 ขั้นตอน โดยสามารถแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ได้ดังต่อไปนี้

<u>การแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในรายสิ่งนำเข้า</u>

ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าสามารถประเมินได้โดยการป้อนข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาลงในเทมเพลตที่พัฒนาขึ้น ตารางที่ 7.1 – 7.11 แสดงรายละเอียดคาร์บอนฟุตพรินต์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ตารางที่ 7.1 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมเหล็กเพื่อสร้างแบบหล่อของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 236.94 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อคอนกรีตมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 9.30 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร

เมื่อพิจารณาค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อพบว่ากิจกรรมการกำจัดเศษซากเหล็กแผ่นมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 77.26 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 32.61 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมเหล็กเพื่อสร้างแบบหล่อ

ตารางที่ 7.2 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการสร้างแบบหล่อของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 21.72 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการสร้างแบบหล่อคอนกรีตมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.85 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่ง

หน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ พบว่ากิจกรรมการกำจัดเศษซากลวดเชื่อมมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 9.88 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 45.51 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ

ตารางที่ 7.1 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมเหล็กเพื่อสร้างแบบหล่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	เหล็กแผ่น	4.64	4.69	5.65	5.99	20.97
	เหล็กรางน้ำ	0.55	0.58	0.66	0.85	2.64
	เหล็กกล่อง	0.67	0.52	0.61	0.67	2.47
	เหล็กชี	1.59	1.25	1.88	1.78	6.49
	ใบตัดเหล็ก	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	ใบเจียรเหล็ก	0.04	0.04	0.04	0.04	0.17
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องเลื่อยตัดเหล็ก	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
	เจียรไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องเลื่อยตัดเหล็ก	0.59	0.66	0.57	0.73	2.55
	เจียรไฟฟ้า	0.19	0.16	0.28	0.24	0.86
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กแผ่น	9.67	9.77	11.78	12.49	43.72
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กรางน้ำ	1.15	1.21	1.37	1.76	5.50
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กกล่อง	1.25	1.09	1.27	1.39	5.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กชี	3.31	2.60	3.91	3.72	13.53
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งใบตัดเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งใบเจียรเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องเลื่อยตัดเหล็ก	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเจียรไฟฟ้า	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากเหล็กแผ่น	17.40	9.28	27.14	23.43	77.26
	การกำจัดเศษซากเหล็กรางน้ำ	9.98	1.74	7.19	15.54	34.45
	การกำจัดเศษซากเหล็กกล่อง	2.32	0.23	2.55	5.10	10.21
	การกำจัดเศษซากเหล็กชี	4.41	0.23	3.25	2.78	10.67
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็กแผ่น	0.03	0.02	0.05	0.04	0.14
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็กรางน้ำ	0.02	0.00	0.01	0.03	0.06
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็กกล่อง	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็กชี	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ		**57.87**	**34.12**	**68.28**	**76.67**	**236.94**

ตารางที่ 7.3 แสดงผลลัพธ์การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 3.69 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อคอนกรีตมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.15 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตน้ำยาทาแบบหล่อมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 3.33 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 90.23 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ

ตารางที่ 7.2 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	ลวดเชื่อม	1.34	1.11	1.34	1.34	5.13
	คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
	ใบเจียรเหล็ก	0.04	0.04	0.04	0.04	0.17
	น็อตตัวผู้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	น็อตตัวเมีย	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06
เครื่องมือและเครื่องจักร	ตู้เชื่อม	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
	เจียรไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	เครื่องขันน็อตไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
การใช้ไฟฟ้า	ตู้เชื่อม	0.41	0.44	0.50	0.54	1.89
	เจียรไฟฟ้า	0.18	0.12	0.17	0.23	0.70
	เครื่องขันน็อตไฟฟ้า	0.10	0.03	0.06	0.11	0.30
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งลวดเชื่อม	0.04	0.04	0.04	0.00	0.13
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งใบเจียรเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งน็อตตัวผู้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งน็อตตัวเมีย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งตู้เชื่อม	0.44	0.44	0.44	0.44	1.77
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากลวดเชื่อม	2.83	2.20	1.74	3.11	9.88
	การกำจัดเศษซากใบเจียรเหล็ก	0.46	0.23	0.23	0.46	1.39
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากลวดเชื่อม	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากใบเจียรเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ		**5.93**	**4.75**	**4.64**	**6.40**	**21.72**

ตารางที่ 7.3 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	น้ำยาทาแบบ Sika	0.83	0.83	0.83	0.83	3.33
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องพ่นยา	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-	-	-	-	-	-
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งน้ำยาทาแบบ	0.08	0.08	0.08	0.08	0.31
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องพ่นยา	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ		**0.92**	**0.92**	**0.92**	**0.92**	**3.69**

ตารางที่ 7.4 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเสริมเหล็กของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 449.91 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการเสริมเหล็กมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 17.65 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเหล็กเส้นมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 270.10 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 60.04 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเสริมเหล็ก

ตารางที่ 7.5 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผสมคอนกรีตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนนี้มีค่าเท่ากับ 777.40 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการผสมคอนกรีตมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 30.50 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนซีเมนต์มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 714.18 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 91.87 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ

ตารางที่ 7.6 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 46.36 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 1.82

$kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต Bucket Concrete มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 20.73 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 44.72 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิว

ตารางที่ 7.4 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเสริมเหล็ก

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	เหล็กเส้น	78.76	79.46	36.90	74.98	270.10
	ลวดผูกเหล็ก	1.58	1.59	0.74	1.50	5.40
	เหล็กแผ่น	8.29	8.29	8.29	8.29	33.16
	ลวดเชื่อม	0.18	0.18	0.18	0.18	0.73
	คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องตัดเหล็ก	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10
	เครื่องดัดเหล็ก	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10
	เครนราง	0.09	0.11	0.08	0.12	0.40
	ตู้เชื่อม	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
	คีมผูกเหล็ก	0.26	0.26	0.26	0.26	1.04
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องตัดเหล็ก	0.34	0.19	0.19	0.19	0.90
	เครื่องดัดเหล็ก	0.34	0.19	0.19	0.19	0.90
	เครนราง	0.45	0.56	0.56	0.56	2.14
	ตู้เชื่อม	3.17	2.64	2.64	2.64	11.09
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กเส้น	0.49	0.50	0.23	0.47	1.70
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งลวดผูกเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กแผ่น	0.05	0.05	0.05	0.05	0.21
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องตัดเหล็ก	7.58	7.58	7.58	7.58	30.30
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องดัดเหล็ก	7.88	7.88	7.88	7.88	31.50
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งลวดเชื่อม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งคีมผูกเหล็ก	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากเหล็กเส้น	14.62	8.12	6.26	9.28	38.28
	การกำจัดเศษซากลวดผูกเหล็ก	0.23	0.23	0.46	0.46	1.39
	การกำจัดเศษซากเหล็กแผ่น	4.87	3.25	4.18	6.73	19.02
	การกำจัดเศษซากลวดเชื่อม	0.23	0.23	0.23	0.46	1.16
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็กเส้น	0.03	0.01	0.00	0.02	0.06
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากลวดผูกเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็กแผ่น	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากลวดเชื่อม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเสริมเหล็ก		**129.54**	**121.44**	**76.98**	**121.94**	**449.91**

ตารางที่ 7.5 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	น้ำ	2.96	2.69	1.15	2.29	9.08
	หิน	3.22	2.93	1.25	2.50	9.90
	ทราย	2.37	2.16	0.92	1.83	7.28
	ปูนซีเมนต์	232.62	211.44	90.13	179.99	714.18
	น้ำยาผสมคอนกรีต	1.82	1.65	0.70	1.41	5.58
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครนราง	0.41	0.44	0.39	0.46	1.70
	-	-	-	-	-	-
การใช้ไฟฟ้า	เครนราง	2.14	2.25	2.03	2.37	8.79
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งหิน	2.06	1.87	0.80	1.59	6.31
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งทราย	1.55	1.41	0.60	1.20	4.77
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปูนถุง	3.19	2.90	1.23	2.47	9.78
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งน้ำยาผสมคอนกรีต	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต		**252.35**	**229.74**	**99.21**	**196.10**	**777.40**

ตารางที่ 7.6 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิว

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
เครื่องมือและเครื่องจักร	Bucket Concrete	5.18	5.18	5.18	5.18	20.73
	สายจี้คอนกรีต	0.51	0.51	0.51	0.51	2.04
	เครื่องจี้คอนกรีต	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03
	สามเหลี่ยมแต่งผิวหน้า	0.03	0.03	0.03	0.03	0.14
	เครนราง	0.20	0.24	0.18	0.20	0.83
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องจี้คอนกรีต	0.05	0.03	0.05	0.07	0.19
	เครนราง	1.05	1.24	0.94	1.05	4.28
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Bucket Concrete	4.46	4.46	4.46	4.46	17.82
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสายจี้คอนกรีต	0.04	0.04	0.04	0.04	0.15
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องจี้คอนกรีต	0.04	0.04	0.04	0.04	0.15
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสามเหลี่ยมแต่งผิวหน้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและแต่งผิว		**11.57**	**11.77**	**11.43**	**11.59**	**46.36**

ตารางที่ 7.7 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนคอนกรีตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 4.40 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนคอนกรีตมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.17 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครนรางมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 3.04 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 69.12 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ

ตารางที่ 7.8 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 5.09 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.20 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตน๊อตตัวผู้มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 1.53 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 30.00 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ

ตารางที่ 7.7 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องขันน๊อตไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	เครื่องสกัดคอนกรีต	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
	เครนราง	0.12	0.14	0.15	0.18	0.59
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องขันน๊อตไฟฟ้า	0.03	0.03	0.04	0.03	0.13
	เครื่องสกัดคอนกรีต	0.08	0.06	0.15	0.15	0.44
	เครนราง	0.60	0.71	0.79	0.94	3.04
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องสกัดคอนกรีต	0.04	0.04	0.04	0.04	0.17
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนคอนกรีต		**0.87**	**0.99**	**1.19**	**1.36**	**4.40**

ตารางที่ 7.8 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	แปลงลวดถ้วย	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
	น๊อตตัวผู้	0.38	0.38	0.38	0.38	1.53
	น๊อตตัวเมีย	0.13	0.13	0.13	0.13	0.51
เครื่องมือและเครื่องจักร	ปั๊มลม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	เจียรไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	เครื่องขันน๊อตไฟฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
การใช้ไฟฟ้า	ปั๊มลม	0.18	0.22	0.09	0.20	0.69
	เจียรไฟฟ้า	0.09	0.07	0.06	0.07	0.29
	เครื่องขันน๊อตไฟฟ้า	0.07	0.07	0.07	0.06	0.27
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งแปลงลวดถ้วย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปั๊มลม	0.35	0.35	0.35	0.35	1.38
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งน๊อตตัวผู้	0.07	0.07	0.07	0.07	0.26
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งน๊อตตัวเมีย	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ		**1.30**	**1.32**	**1.18**	**1.29**	**5.09**

ตารางที่ 7.9 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปของกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 80.69 $kgCO_2e$ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 3.17 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตน๊อตตัวผู้มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 49.00 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 60.72 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ตารางที่ 7.10 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปของกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 3.36 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.13 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตรอกโซ่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 1.63 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 48.70 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ตารางที่ 7.9 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	เศษเหล็กสำหรับแขวน	1.06	1.06	1.06	1.06	4.24
เครื่องมือและเครื่องจักร	Tower Crane	1.41	0.71	1.01	1.21	4.34
	สลิง	0.11	0.11	0.11	0.11	0.42
การใช้ไฟฟ้า	Tower Crane	0.57	0.28	0.41	0.49	1.75
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งคนงาน	0.24	0.24	0.24	0.24	0.95
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสลิง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	12.25	12.25	12.25	12.25	49.00
	-	-	-	-	-	-
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากสลิง	1.86	5.34	2.32	2.32	11.83
	การกำจัดเศษซากเหล็ก	2.32	1.86	1.16	2.78	8.12
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากสลิง	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากเหล็ก	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป		**19.82**	**21.85**	**18.56**	**20.47**	**80.69**

ตารางที่ 7.10 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
เครื่องมือและเครื่องจักร	ชะแลง	0.07	0.07	0.07	0.07	0.30
	ดอกสว่าน	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
	รอกโซ่	0.41	0.41	0.41	0.41	1.63
	เลเซอร์ระดับอัตโนมัติ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	สว่านกระแทก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การใช้ไฟฟ้า	เลเซอร์ระดับอัตโนมัติ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	สว่านกระแทก	0.07	0.08	0.05	0.06	0.26
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งชะแลง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งดอกสว่าน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งรอกโซ่	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเลเซอร์ระดับอัตโนมัติ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสว่านกระแทก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากคอนกรีต	0.35	0.23	0.28	0.21	1.07
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากคอนกรีต	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป		**0.93**	**0.82**	**0.83**	**0.78**	**3.36**

ตารางที่ 7.11 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปของกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 89.26 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 3.50 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเหล็กแผ่นมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 60.79 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 68.11 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

<u>ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

การประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์มีค่าเท่ากับ 1,718.81 $kgCO_2e$ ต่อการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีพื้นที่ผนังเท่ากับ 25.49 ตารางเมตร

ตารางที่ 7.11 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
วัสดุ	เหล็กแผ่น	15.20	15.20	15.20	15.20	60.79
	ลวดเชื่อม	1.41	1.41	1.41	1.41	5.63
	สีกันสนิม	0.23	0.23	0.23	0.23	0.93
	คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
เครื่องมือและเครื่องจักร	ตู้เชื่อม	0.02	0.01	0.01	0.02	0.06
	-	-	-	-	-	-
การใช้ไฟฟ้า	ตู้เชื่อม	4.62	3.96	4.22	5.94	18.75
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเหล็กแผ่น	0.14	0.14	0.14	0.14	0.55
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งคีมจับลวดเชื่อม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งลวดเชื่อม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสีกันสนิม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งตู้เชื่อม	0.11	0.11	0.11	0.11	0.44
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากลวดเชื่อม	0.39	0.44	0.49	0.70	2.02
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากลวดเชื่อม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป		**22.14**	**21.52**	**21.83**	**23.76**	**89.26**

ตารางที่ 7.12 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับอาคารชุดพักอาศัย จากการพิจารณาผลลัพธ์พบว่าขั้นตอนการผสมคอนกรีตเป็นขั้นตอนที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดเท่ากับ 777.40 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 45.23 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์จากกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ทั้งนี้พบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ในขั้นตอนการผสมคอนกรีต คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 714.18 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 41.55 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ สำหรับขั้นตอนที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์เป็นอันดับสอง คือ ขั้นตอนการเสริมเหล็กของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยมีค่าเท่ากับ 449.91 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 26.18 ทั้งนี้พบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเสริมเหล็ก คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเหล็กเสริมซึ่งมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 270.10 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 15.71 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์

ตารางที่ 7.12 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

No.	ขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	ร้อยละ (%)
1	ขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ	236.94	13.78%
2	ขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ	21.72	1.26%
3	ขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ	3.69	0.21%
4	ขั้นตอนการเสริมเหล็ก	449.91	26.18%
5	ขั้นตอนการผสมคอนกรีต	777.40	45.23%
6	ขั้นตอนการเทคอนกรีตและแต่งผิว	46.36	2.70%
7	ขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนคอนกรีต	4.40	0.26%
8	ขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ	5.09	0.30%
9	ขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	80.69	4.69%
10	ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	3.36	0.20%
11	ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	89.26	5.19%
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป		**1718.81**	**100.00%**

การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทำให้สามารถจำแนกกลุ่มแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมได้ทั้งสิ้น 5 ประเภท ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุก่อสร้าง การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเครื่องมือและเครื่องจักร การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรไฟฟ้า การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุ เครื่องมือเครื่องจักร ของเสีย และการกำจัดเศษซากของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน ตารางที่ 7.13 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป จากผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบของการผลิตวัสดุ การกำจัดของเสีย และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุเครื่องมือเครื่องจักรและของเสีย ซึ่งมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 1170.82 $kgCO_2e$, 226.76 $kgCO_2e$ และ 226.26 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 68.12, 13.19 และ 13.16 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปตามลำดับ

ผลลัพธ์ในตารางที่ 7.13 พบว่ามีข้อสังเกตบางประการ ได้แก่ ตัวอย่างที่ 3 (Sample 3) ซึ่งมีพื้นที่ผนังน้อยกว่าตัวอย่างอื่นแต่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น หรือค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากของตัวอย่างที่ 3 มีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ 2 ที่มีพื้นที่มากกว่า เป็นต้น ข้อสังเกตข้างต้นมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของรูปร่างตัวอย่างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและข้อจำกัดของหน่วยงานผลิตซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกได้ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.13 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป					ร้อยละ (%)
	Sample 1 (8.31 m^2)	Sample 2 (7.54 m^2)	Sample 3 (3.22 m^2)	Sample 4 (6.42 m^2)	Total (25.49 m^2)	
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ	360.01	337.97	169.82	303.02	**1,170.82**	**68.12%**
การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรก่อสร้าง	8.96	8.36	8.52	8.90	**34.74**	**2.02%**
การใช้พลังงานไฟฟ้า	15.33	13.99	14.05	16.86	**60.23**	**3.50%**
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง	56.68	55.30	55.17	59.12	**226.26**	**13.16%**
การกำจัดเศษซากปัจจัยนำเข้า	62.27	33.62	57.49	73.38	**226.76**	**13.19%**
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	**503.24**	**449.24**	**305.05**	**461.28**	**1,718.81**	**100.00%**
คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อพื้นที่ผนัง ($kgCO_2e/ m^2$)	**60.56**	**59.58**	**94.74**	**71.85**	**67.43**	

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากวัสดุจะแปรผันตามปริมาตรของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป กล่าวคือ ความต้องการใช้วัสดุในการสร้างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันอาจสรุปได้ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression)

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรมีค่าใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง เนื่องจากสมมติฐานการปันส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ในงานวิจัยนี้จะคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อการใช้งานหนึ่งครั้ง ดังนั้นการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหนึ่งครั้งจะมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างที่ 3 ที่มีพื้นที่ผนังน้อยแต่มีจำนวนกิจกรรมในขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารเท่ากับตัวอย่างอื่น เช่น มีการติดตั้งด้วยรอยเชื่อมแห้งจำนวน 4 จุดเท่ากัน ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการขนส่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น เนื่องจากหน่วยงานผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีข้อจำกัด คือ เครื่องมือเครื่องจักรถูกจัดเก็บที่หน่วยงานผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ดังนั้นคาร์บอนฟุตพรินต์จากการขนส่งจะเกิดขึ้นเพียงครั้งแรกที่ขนส่งเท่านั้นทำให้คาร์บอนฟุตพรินต์ในส่วนนี้มีค่าใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซาก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เช่น ในขั้นตอนการสร้างแบบหล่อสำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปอาจเกิดความผิดพลาดจากแรงงานมนุษย์ในการตัดเหล็กเพื่อสร้างแบบหล่อทำให้เกิดเศษเหล็กขึ้น ส่งผลให้คาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากเพิ่มขึ้น

จากความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ข้างต้นจึงสรุปได้ว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินต์และพื้นที่ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจะมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear regression)

<u>การวิเคราะห์หาแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป</u>

จากการวิเคราะห์ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดของเสียมีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 2 งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยการลดปริมาณการสูญเสียของวัสดุที่เกิดในแต่ละขั้นตอน โดยอ้างอิงผลงานวิจัยอัตราส่วนปริมาณการสูญเสียจากงานวิจัยในอดีตดังแสดงในตารางที่ 7.14 (Kokkaew, 2002) ซึ่งระบุว่าอัตราส่วนปริมาณความสูญเสียของคอนกรีต

และปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.57 ของปริมาณวัสดุก่อสร้าง ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทำให้สามารถประเมินค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดของปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุประเภทคอนกรีตได้ดังตารางที่ 7.15

จากแนวทางข้างต้นเมื่อวิเคราะห์จากอัตราการสูญเสียที่ต่ำที่สุดพบว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทำให้สามารถสรุปได้ว่าการบริหารและจัดการปริมาณของเสียจากการผลิตปูนซีเมนต์จะสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ได้มากถึง 134.40 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 7.82 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์

ผลการวิเคราะห์พบว่าการควบคุมปริมาณความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณความสูญเสียของการผลิตปูนซีเมนต์จะส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนซีเมนต์อย่างมาก การควบคุมปริมาณความสูญเสียของวัสดุก่อสร้างประเภทนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการวิเคราะห์หาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์

<u>การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปกับงานวิจัยในอดีต</u>

การวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยในอดีตมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของงานวิจัยในอดีตจะดำเนินการภายใต้ข้อกำหนดเดียวกัน กล่าวคือ การเปรียบเทียบภายใต้หน่วยการวัดเดียวกันและขอบเขตการวิเคราะห์เดียวกัน งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตรโดยกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป การขนส่งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไปยังโครงการก่อสร้าง ตารางที่ 7.16 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยในอดีต

ตารางที่ 7.14 อัตราส่วนปริมาณการสูญเสียของปูนซีเมนต์ (Kokkaew, 2002)

ชนิดของวัสดุ	**ปริมาณความสูญเสีย (%)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่าเฉลี่ย**	**ค่าสูงสุด**
ปูนซีเมนต์	3.71	4.57	5.24

ตารางที่ 7.15 คาร์บอนฟุตพรินต์จากการลดปริมาณการสูญเสียของปูนซีเมนต์

	ปริมาณความสูญเสีย ($kgCO_2e$)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
คาร์บอนฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการผลิตปูนซีเมนต์	579.78	714.18	818.88

ตารางที่ 7.16 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปกับผลการทดลองในอดีต

งานวิจัย	Peng และ Pheng (2011)	นิกร เจียมวรพงศ์ (2012)	งานวิจัยฉบับนี้
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้	ชิ้นส่วนเสาคอนกรีตสำเร็จรูป	โครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป	ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป
ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร ($kgCO_2e/m^3$)	830.42 $kgCO_2e/m^3$	638.04 $kgCO_2e/m^3$	673.68 $kgCO_2e/m^3$

ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยนี้เมื่อถูกนำมาจำแนกให้อยู่ในหน่วยคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตรแล้วมีค่าเท่ากับ 673.68 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร ผลลัพธ์นี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของงานวิจัยในอดีตซึ่งทำการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปในงานก่อสร้างจำนวน 1 โครงการ พบว่ามีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์จำนวน 638.04 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตร (Jiamvoraphong, 2012) ผลลัพธ์ข้างต้นชี้ให้เห็นว่าผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีต อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ยังคงมีค่าสูงกว่าผลลัพธ์ของงานวิจัยในอดีตอันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักร ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่ได้ถูกพิจารณาสำหรับงานวิจัยในอดีต

นอกจากนี้ผลลัพธ์จากงานวิจัยของ (Peng และ Pheng, 2011)) ซึ่งประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับชิ้นส่วนเสาคอนกรีตสำเร็จรูปยังคงมีค่าสูงกว่าผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ สาเหตุอาจเนื่องจากชิ้นส่วนเสาคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้เหล็กเสริมเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับผนังอาคารซึ่งมีการเสริมเหล็กเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ด้วยสาเหตุข้างต้นทำให้ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเหล็กเสริมมีค่าสูงมาก

<u>สัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญ</u>

ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของกรณีศึกษาจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่กำหนดให้สามารถพิจารณาตัดรายการที่มี

สัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ไม่เกินร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ โดยหลังการตัดออกจะต้องทำการเพิ่มสัดส่วน (Scale up) ของคาร์บอนฟุตพรินต์ให้เท่ากับ 100 การประยุกต์ใช้ข้อกำหนดนี้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปทำให้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์อย่างมีนัยสำคัญได้ และสามารถตัดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ออกได้

ผลการวิเคราะห์พบว่าวัสดุที่มีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญและไม่ถูกตัดออกมีเพียง 2 ชนิด เท่านั้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ในขั้นตอนการผสมคอนกรีตและเหล็กเส้นในขั้นตอนการเสริมเหล็กมีค่าเท่ากับ 714.18 และ 270.10 $kgCO_2e$ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 41.55 และ ร้อยละ 15.71 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ตามลำดับ โดยปัจจัยที่เหลือจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์และถูกคัดออก จากนั้นเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนฟุตพรินต์ของปูนซีเมนต์และเหล็กเส้นให้เท่ากับ 100 จะพบว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นเป็น 1,247.32 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 72.57 และคาร์บอนฟุตพรินต์จากเหล็กเส้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 471.49 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 27.43 ผลลัพธ์ข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถมุ่งเน้นไปที่ข้อมูลจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ซีเมนต์และเหล็กเส้น

7.2 อิฐมวลเบา

หัวข้อที่ 6.2 นำเสนอการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาซึ่งจำแนกขั้นตอนการผลิตและติดตั้งได้ทั้งสิ้น 9 ขั้นตอน โดยแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ได้ดังนี้

Chulalongkorn University

<u>การแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาในรายสิ่งนำเข้า</u>

ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าสามารถประเมินได้โดยการป้อนข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาลงในเทมเพลตที่พัฒนาขึ้น ตารางที่ 7.17 – 7.25 แสดงรายละเอียดคาร์บอนฟุตพรินต์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 7.17 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผสมคอนกรีตของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของแต่ละห้องตัวอย่างเท่ากับ 514.38 และ 527.14 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการผสมคอนกรีตมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 7.86 และ 8.06 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการผสมคอนกรีตพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนซีเมนต์มีการ

ปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 485.56 และ 498.48 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 94.40 และ 94.56 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผสมคอนกรีตตามลำดับ

ตารางที่ 7.18 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผสมโฟมของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา ผลการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 8.48 และ 9.60 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการเทคอนกรีตมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.18 และ 0.18 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเทคอนกรีตพบว่ากิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผสมคอนกรีตมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.87 และ 1.87 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 22.02 และ 19.44 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผสมโฟมตามลำดับ

ตารางที่ 7.19 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเทคอนกรีตของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา ผลการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 11.71 และ 11.71 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการเทคอนกรีตมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.18 และ 0.18 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเทคอนกรีตพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตแบบหล่อคอนกรีตมวลเบามีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 10.61 และ 10.61 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 90.61 และ 90.61 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวตามลำดับ

ตารางที่ 7.17 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	Portland Cement	485.56	94.40	498.48	94.56	984.03
	ทราย	1.42	0.28	1.48	0.28	2.90
	น้ำ	1.84	0.36	1.97	0.37	3.81
เครื่องมือและเครื่องจักร	Concrete Mixer	0.20	0.04	0.17	0.03	0.37
	-	-	-	-	-	-
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องเลื่อยตัดเหล็ก	4.11	0.80	3.55	0.67	7.65
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Portland Cement	3.31	0.64	3.40	0.64	6.71
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งทราย	3.40	0.66	3.55	0.67	6.94
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Concrete Mixer	14.55	2.83	14.55	2.76	29.10
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต		**514.38**	100.00	**527.14**	100.00	1,041.52

ตารางที่ 7.20 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการถอดและทำความสะอาดแบบหล่อของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.58 และ 0.62 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการถอดและทำความสะอาดแบบหล่อมีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.01 และ 0.01 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการถอดและทำความสะอาดแบบหล่อพบว่ากิจกรรมการใช้ไฟฟ้าของเจียรไฟฟ้ามีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.43 และ 0.47 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 74.83 และ 76.54 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการถอดและทำความสะอาดแบบหล่อตามลำดับ

ตารางที่ 7.21 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบาของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.01 และ 0.01 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.0002 และ 0.0002 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบาพบว่ากิจกรรมการใช้พลังงานในการผลิตแปรงขัดพื้นมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.01 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 50.16 และ 50.16 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.18 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมโฟม

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	Foaming Agent	1.76	20.75	1.84	19.18	3.60
	Sikament®-FF	0.09	1.01	0.09	0.93	0.17
	น้ำ	1.75	20.61	1.84	19.21	3.59
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องผลิตโฟม	0.06	0.71	0.10	1.05	0.16
	Concrete Mixer	0.09	1.08	0.09	0.95	0.18
	ปั๊มลม	0.00	0.04	0.01	0.06	0.01
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องผลิตโฟม	0.67	7.93	1.12	11.66	1.79
	Concrete Mixer	1.87	22.02	1.87	19.44	3.73
	ปั๊มลม	0.67	7.91	1.12	11.63	1.79
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Foaming Agent	0.03	0.40	0.04	0.37	0.07
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Sikament	0.02	0.25	0.02	0.23	0.04
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องผลิตโฟม	0.92	10.88	0.92	9.61	1.84
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปั๊มลม	0.54	6.42	0.54	5.67	1.09
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมโฟม		**8.48**	100.00	**9.60**	100.00	18.08

ตารางที่ 7.19 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิว

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
เครื่องมือและเครื่องจักร	แบบหล่อคอนกรีตมวลเบา	10.61	90.61	10.61	90.61	21.22
	สามเหลี่ยมแต่งผิวคอนกรีต	0.17	1.45	0.17	1.45	0.34
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสามเหลี่ยมแต่งผิวคอนกรีต	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
การกำจัดของเสีย	การกำจัดเศษซากคอนกรีตมวลเบา	0.93	7.92	0.93	7.92	1.86
การขนส่งของเสียไปกำจัด	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากคอนกรีตมวลเบา	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิว		**11.71**	100.00	**11.71**	100.00	23.42

ตารางที่ 7.20 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดและทำความสะอาดแบบหล่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	น้ำ	0.05	9.15	0.05	8.51	0.11
	แปลงลวดถ้วย	0.06	11.01	0.06	10.24	0.13
เครื่องมือและเครื่องจักร	เจียรไฟฟ้า	0.00	0.51	0.00	0.52	0.01
	-	-	-	-	-	-
การใช้ไฟฟ้า	เจียรไฟฟ้า	0.43	74.83	0.47	76.54	0.91
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Foaming Agent	0.00	0.53	0.00	0.49	0.01
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง Sikament	0.02	3.97	0.02	3.69	0.05
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาด		**0.58**	100.00	**0.62**	100.00	1.20

ตารางที่ 7.22 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 282.95 และ 286.09 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 4.33 และ 4.37 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่ง

หน่วยตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเสาเอ็นสำเร็จรูปมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 256.84 และ 256.84 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 90.77 และ 89.78 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากตามลำดับ

ตารางที่ 7.23 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่ออิฐมวลเบาในกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบา พบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 25.06 และ 25.39 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่ออิฐมวลเบามีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.38 และ 0.39 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่ออิฐมวลเบาพบว่ากิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งก้อนอิฐมวลเบามีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 14.13 และ 14.13 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 56.41 และ 55.66 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่ออิฐมวลเบาตามลำดับ

ตารางที่ 7.24 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบาของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 808.77 และ 823.54 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบามีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 12.36 และ 12.59 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.21 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
เครื่องมือและเครื่องจักร	แปรงขัดพื้น	0.01	50.16	0.01	50.16	0.01
	ตลับเต๊า	0.01	46.53	0.01	46.53	0.01
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกแปรงขัดพื้น	0.00	1.65	0.00	1.65	0.00
	บรรทุกตลับเต๊า	0.00	1.65	0.00	1.65	0.00
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐ		**0.01**	100.00	**0.01**	100.00	0.03

ตารางที่ 7.22 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	เอ็นขึงระดับ	0.69	0.24	0.69	0.24	1.38
	ตะปูคอนกรีต	0.93	0.33	0.93	0.33	1.86
	ดอกสว่าน 12 mm.	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
	เสาเอ็นสำเร็จรูป	256.84	90.77	256.84	89.78	513.68
	เหล็กเสริม RB 9 (0.4m.)	10.01	3.54	12.43	4.34	22.44
	โลตัส อีพอกซี่	13.37	4.73	14.04	4.91	27.41
เครื่องมือและเครื่องจักร	ค้อน	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04
	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
การใช้ไฟฟ้า	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.24	0.08	0.28	0.10	0.51
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกเอ็นขึงระดับ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกตะปูคอนกรีต	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกดอกสว่าน 12 mm.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเสาเอ็นสำเร็จรูป	0.78	0.28	0.78	0.27	1.56
	บรรทุกเหล็กเสริม RB 9	0.06	0.02	0.07	0.02	0.13
	บรรทุกโลตัส อีพอกซี่	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกค้อน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก		**282.95**	100.00	**286.09**	100.00	569.04

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบาพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนก่ออิฐมวลเบามีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 572.44 และ 588.81 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 70.78 และ 71.50 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบาตามลำดับ

ตารางที่ 7.25 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบาในกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมวลเบา ผลการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 3,182.86 และ 3,181.75 $kgCO_2e$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมวลเบาพบว่าขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่ออิฐมวลเบามีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 48.66 และ 48.64 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบาพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนฉาบมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 2,891.72 และ 2,898.21 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 90.85 และ 91.09 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบาตามลำดับ

ตารางที่ 7.23 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องลำเลียงปูน	0.14	0.56	0.13	0.51	0.27
	Tower crane	3.53	14.10	4.04	15.90	7.57
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องลำเลียงปูน	5.08	20.28	4.72	18.59	9.80
	Tower crane	1.42	5.67	1.62	6.40	3.05
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	ก้อนอิฐมวลเบา	14.13	56.41	14.13	55.66	28.27
	เครื่องลำเลียงปูน	0.75	2.97	0.75	2.93	1.49
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ		**25.06**	100.00	**25.39**	100.00	50.45

ตารางที่ 7.24 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	ปูนก่อ	128.66	15.91	136.00	16.51	264.66
	ปูนก่ออิฐมวลเบา	572.44	70.78	588.81	71.50	1,161.25
	น้ำ	8.15	1.01	8.40	1.02	16.55
เครื่องมือและเครื่องจักร	เกรียงใบโพธิ์	0.03	0.00	0.03	0.00	0.05
	เกรียงก่ออิฐมวลเบา ขนาด 10 cm.	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
	เกรียงฟันปลา	0.03	0.00	0.03	0.00	0.05
	เกรียงกระดาษทราย	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05
	ฆ้อนยาง	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
	เลื่อยอิฐมวลเบา	0.09	0.01	0.09	0.01	0.18
	หัวปั่นปูน	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	Tower crane	3.53	0.44	3.03	0.37	6.56
การใช้ไฟฟ้า	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.24	0.03	0.24	0.03	0.48
	Tower crane	1.42	0.18	1.22	0.15	2.64
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกปูนก่อ	1.20	0.15	1.27	0.15	2.46
	บรรทุกปูนก่ออิฐมวลเบา	5.54	0.68	5.70	0.69	11.23
	บรรทุกเกรียงใบโพธิ์	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงก่ออิฐมวลเบาขนาด 10 cm.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงฟันปลา	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงกระดาษทราย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกฆ้อนยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเลื่อยอิฐมวลเบา	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกหัวปั่นปูน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การกำจัดของเสีย	เศษปูนก่อ	25.98	3.21	24.13	2.93	50.11
	เศษอิฐมวลเบา	61.25	7.57	54.40	6.61	115.65
การขนส่งของเสียไปกำจัด	บรรทุกเศษปูนก่อที่ตกระหว่างขนส่ง	0.05	0.01	0.04	0.01	0.09
	บรรทุกเศษอิฐมวลเบา	0.11	0.01	0.10	0.01	0.20
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา		**808.77**	100.00	**823.54**	100.00	1,632.30

ตารางที่ 7.25 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	น้ำ	13.41	0.42	13.52	0.43	26.94
	ปูนฉาบ 1.5 cm	2,891.72	90.85	2,898.21	91.09	5,789.93
	ปูนแต่งผิวเรียบ 1mm	202.42	6.36	206.56	6.49	408.98
	ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	9.15	0.29	13.20	0.41	22.35
เครื่องมือและเครื่องจักร	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	0.03	0.00	0.03	0.00	0.07
	เกรียงไม้	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03
	เกรียงขัดมัน	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
	เกรียงโป๊ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	เครื่องขัดกระดาษทราย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	เครื่องพ่นปูนฉาบ	0.06	0.00	0.07	0.00	0.13
	หัวปั่นปูน	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องขัดกระดาษทราย	0.14	0.00	0.12	0.00	0.26
	เครื่องพ่นปูนฉาบ	2.18	0.07	2.54	0.08	4.72
	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.32	0.01	0.28	0.01	0.59
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกปูนฉาบ	19.96	0.63	20.00	0.63	39.96
	บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	0.98	0.03	1.00	0.03	1.97
	บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
	บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงขัดมัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงโป๊ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	เครื่องพ่นปูนฉาบ	0.60	0.02	0.60	0.02	1.19
การกำจัดของเสีย	เศษปูนฉาบ	41.76	1.31	25.52	0.80	67.28
การขนส่งของเสียไปกำจัด	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	0.08	0.00	0.05	0.00	0.12
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา		**3,182.86**	100.00	**3,181.75**	100.00	6,364.61

<u>ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบา</u>

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบาซึ่งผลิตจากโรงงานผลิตอิฐมวลเบาขนาดเล็กที่ใช้ระบบก่อสร้าง CLC (Cellular Lightweight concrete) และดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการติดตั้งที่โครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 2 ห้อง มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์รวมทั้งสิ้น 4,834.80 และ 4,865.86 $kgCO_2e$ ต่อการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวล

เบาที่มีพื้นที่ผนังเท่ากับ 65.41 ตารางเมตร ตารางที่ 7.26 แสดงผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบาสำหรับอาคารชุดพักอาศัยพบว่าขั้นตอนที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ การฉาบผนังอิฐมวลเบา (ร้อยละ 65.83 และ 65.39) การก่อผนังอิฐมวลเบา (ร้อยละ 16.73 และ 16.92) และการผสมคอนกรีต (ร้อยละ 10.64 และ 10.83) ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าสิ่งนำเข้าที่เป็นสาเหตุหลักของขั้นตอนการฉาบผนังมวลเบา คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนฉาบคิดเป็นคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 2,891.72 และ 2,898.21 $kgCO_2e$ หรือเท่ากับร้อยละ 59.81 และ 59.56 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ 7.27 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกของผนังอิฐมวลเบา ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุดสามกลุ่มหลัก คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบของการผลิตวัสดุ การกำจัดของเสีย และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุเครื่องมือเครื่องจักรและของเสีย โดยพบว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุมีค่าเท่ากับ 4,600.33 และ 4,655.46 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 95.15 และ 95.68 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบาตามลำดับ

ตารางที่ 7.26 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

No.	ขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา	ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์			
		Sample 1		Sample 2	
		$kgCO_2e$	%	$kgCO_2e$	%
1	ขั้นตอนการผสมคอนกรีต	514.38	10.64	527.14	10.83
2	ขั้นตอนการผสมโฟม	8.48	0.18	9.60	0.20
3	ขั้นตอนการเทคอนกรีตและแต่งผิว	11.71	0.24	11.71	0.24
4	ขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาด	0.58	0.01	0.62	0.01
5	ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ	0.01	0.00	0.01	0.00
6	ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก	282.95	5.85	286.09	5.88
7	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ	25.06	0.52	25.39	0.52
8	ขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา	808.77	16.73	823.54	16.92
9	ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา	3182.86	65.83	3181.75	65.39
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา		**4834.80**	**100.00**	**4865.86**	**100.00**

ตารางที่ 7.27 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์			
	Sample 1		Sample 2	
	$kgCO_2e$	%	$kgCO_2e$	%
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ	4,600.33	95.15	4,655.46	95.68
การกำจัดของเสีย	129.92	2.69	104.98	2.16
การขนส่งวัสดุ,เครื่องจักร,ของเสีย	67.04	1.39	67.53	1.39
การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง	18.78	0.39	19.14	0.39
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเครื่องมือเครื่องจักร	18.71	0.39	18.73	0.38
TOTAL	4,834.80	100.00	4,865.86	100.00

<u>การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของผนังอิฐมวลเบาเพื่อหาแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์</u>

จากการวิเคราะห์ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาซึ่งจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดของเสียมีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 2 งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการลดปริมาณการสูญเสียของวัสดุที่เกิดในแต่ละขั้นตอน เมื่อพิจารณาผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากพบว่ากิจกรรมการกำจัดเศษซากอิฐมวลเบามีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกหักของอิฐมวลเบา คือ การขนย้ายอิฐมวลเบาคิดเป็นคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสิ้น 61.25 $kgCO_2e$ ดังนั้นการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ในส่วนนี้ทำได้โดยการศึกษาแนวทางการลดเศษซากอิฐมวลเบาโดยอ้างอิงผลการวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะและวัสดุก่อสร้างจากงานวิจัยในอดีตของ (Srichana และ Khwalamthan, 2012) ซึ่งดำเนินการศึกษาแนวทางการลดของเสียในกระบวนการขนย้ายอิฐบล็อกพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเสียของอิฐบล็อก คือ ปัจจัยด้านบุคลากร ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม และวิธีปฏิบัติงาน ผลการศึกษายังชี้ชัดอีกว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกหักของอิฐมวลเบามีทั้งสิ้น 7 สาเหตุ พร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขดังตารางที่ 7.28

งานวิจัยดังกล่าวได้เสนอแนวทางการลดของเสียโดยการจัดให้มีการฝึกอบรมพนักงานและเฝ้าติดตามกระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานให้ถูกวิธีอย่างใกล้ชิด เพื่อให้พนักงานเกิดความตั้งใจที่จะปฏิบัติงานให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลจากการฝึกอบรมพนักงานและเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิดพบว่าพนักงานมีความตั้งใจในการทำงานมากขึ้นทำให้ได้งานที่มีคุณภาพและทำให้สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้

ตารางที่ 7.28 สาเหตุและแนวทางการลดการเกิดของเสียประเภทอิฐบล็อก (Srichana และ Khwalamthan, 2012)

ต้นกำเนิดการสูญเสีย	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
บุคลากร	การจัดเรียงที่ไม่ดี	ควรมีการกำหนดวิธีและแนวทางการจัดเรียงเพื่อกำหนดให้เป็นมาตรฐานของฝ่ายโรงงาน
	พนักงานจัดส่งมีความประมาท	ควรเพิ่มบทลงโทษกับพนักงานที่มีความประมาทและไม่เชื่อฟังผู้บังคับบัญชา
	ขาดทักษะในการขับรถโฟร์คลิฟ	ฝ่ายโรงงานควรส่งพนักงานเข้ารับการฝึกอบรมข้อบังคับการใช้โฟล์คลิฟ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถให้พนักงานขับรถโฟล์คลิฟมีประสิทธิภาพ
สิ่งแวดล้อม	เกิดอุบัติเหตุระหว่างการเดินทาง	ควรมีการปลูกฝังให้พนักงานมีความระมัดระวังมากขึ้นเพื่อป้องกันผลเสียที่จะตามมา
	พื้นผิวของถนนไม่ดี	ควรหลีกเลี่ยงการเดินทางในส่วนที่พื้นถนนไม่ดี หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรให้พนักงานเพิ่มความระมัดระวังให้มากขึ้น
วิธีการปฏิบัติงาน	การใช้พาเลทที่ชำรุด	ควรมีการตรวจสอบและหาแนวทางกำหนดให้ชัดเจนของทางฝ่ายโรงงาน เพื่อกำหนดให้เป็นมาตรฐานที่ชัดเจน
	รีบเร่งในการเคลื่อนย้ายและการจัดส่ง	ให้การอบรมแก่พนักงานเพื่อให้พนักงานเกิดความเชี่ยวชาญในการขนย้ายและลดปริมาณของที่ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนย้าย

ผลจากการจัดฝึกอบรมให้พนักงานและทำการเปรียบเทียบปริมาณของเสียก่อนและหลังปรับปรุงโดยคิดเป็นร้อยละของเสียที่เกิดขึ้นเทียบกับยอดการผลิต โดยความถี่ของของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 705 ก้อน และหลังจากได้ทำการปรับปรุงในแผนกผลิตอิฐบล็อกพบว่าความถี่ของของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 564 ก้อนหรือคิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณของเสียในช่วงก่อนการปรับปรุง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้แนวทางแก้ไขนี้จะทำให้ปริมาณของเสียจากเศษวัสดุประเภทอิฐบล็อกและอิฐมวลเบาลดลงเหลือร้อยละ 80 ของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากอิฐมวลเบาหรือคิดเป็นค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 49.0 $kgCO_2e$

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผนังอิฐมวลเบากับงานวิจัยในอดีต

ตารางที่ 7.29 แสดงผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยนี้ซึ่งดำเนินการผลิตด้วยระบบ CLC เมื่อถูกนำมาจำแนกให้อยู่ในหน่วยคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรแล้วมีค่าเท่ากับ 8.08 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับผลทดสอบจากห้องปฏิบัติการ ISO 14025, EN 15804 ซึ่งประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาด้วยระบบ ALC (Autoclaved Lightweight Concrete) ที่ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นวัตถุดิบหลักพบว่ามีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์จำนวน 10.79 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร ผลลัพธ์ข้างต้นชี้ให้เห็นว่าผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของการผลิตอิฐมวลเบาในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผลทดสอบในห้องปฏิบัติการเนื่องจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ซึ่งผลิตด้วยระบบที่แตกต่างกัน เนื่องจากระบบการผลิต ALC จะใช้เครื่องจักรเฉพาะในขั้นตอนการผลิต ได้แก่ สายพานลำเลียง, เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill), ถังบรรจุชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ, แบบหล่อขนาดใหญ่, เครื่องตัดอิฐ และรถลำเลียง ซึ่งล้วนแต่เป็นเครื่องจักรหนักทั้งสิ้น จึงทำให้มีทั้งต้นทุนและความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่าระบบการผลิต CLC และทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าและคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรขึ้นในขั้นตอนการผลิตของระบบผลิตอิฐมวลเบาทั้งสองระบบ

สัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์วัสดุที่มีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญและไม่ถูกตัดออกสำหรับผนังอิฐมวลเบาพบว่าวัสดุที่มีนัยยะสำคัญ ได้แก่

- ปูนซีเมนต์ฉาบสำเร็จรูปในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบามีค่าเท่ากับ 2,891.72 คิดเป็นร้อยละ 59.81 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์
- ปูนก่ออิฐมวลเบาในขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบามีค่าเท่ากับ 572.44 คิดเป็นร้อยละ 11.84 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์
- ปูนซีเมนต์ในขั้นตอนการผสมคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 485.56 คิดเป็นร้อยละ 10.04 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์
- เสาเอ็นสำเร็จรูปในขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากมีค่าเท่ากับ 256.84 คิดเป็นร้อยละ 5.31 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์

โดยปัจจัยที่เหลือจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์และถูกคัดออก จากนั้นเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุที่มีนัยสำคัญให้เท่ากับ 100 พบว่า

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนซีเมนต์ฉาบสำเร็จรูปจะเพิ่มขึ้นเป็น 3,322.89 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 68.73

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนก่ออิฐมวลเบาจะเพิ่มขึ้นเป็น 657.93 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 13.61

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นเป็น 558.25 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 11.54

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากเสาเอ็นสำเร็จรูปจะเพิ่มขึ้นเป็น 295.74 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.11

ผลลัพธ์ข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมวลเบาสามารถมุ่งเน้นไปที่ข้อมูลจากวัสดุ 4 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ฉาบสำเร็จรูป ปูนก่ออิฐมวลเบา ปูนซีเมนต์ และเสาเอ็นสำเร็จรูป

7.3 อิฐมอญ

หัวข้อที่ 6.3 นำเสนอการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญ ซึ่งจำแนกขั้นตอนการผลิตและติดตั้งได้ทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน โดยสามารถแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ได้ดังต่อไปนี้

<u>การแสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญในรายสิ่งนำเข้า</u>

ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าสามารถประเมินได้โดยการป้อนข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาลงในเทมเพลตที่พัฒนาขึ้น ตารางที่ 7.30 – 7.35 แสดงรายละเอียดคาร์บอนฟุตพรินต์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ

ตารางที่ 7.29 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของอิฐมวลเบากับผลการทดลองในอดีต

	คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อ 1 kg	**คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อ 1 m^2**	Test by
ICE database	**0.24 $kgCO_2e$**	**10.79 $kgCO_2e$**	ISO 14025, EN 15804
งานวิจัยฉบับนี้	**0.18 $kgCO_2e$**	**8.08 $kgCO_2e$**	Pending

ตารางที่ 7.30 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผลิตอิฐมอญของกระบวนการผลิตอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 259.99 และ 259.99 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 5.91 และ 5.91 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญพบว่ากิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งดินเหนียวสำหรับผลิตอิฐมอญมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 159.34 และ 159.34 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 61.29 และ 61.29 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการผลิตอิฐมอญตามลำดับ

ตารางที่ 7.31 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.02 และ 0.02 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.0005 และ 0.0005 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อพบว่ากิจกรรมการใช้พลังงานในการผลิตแปรงขัดพื้นมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.01 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 44.13 และ 44.13 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อตามลำดับ

ตารางที่ 7.32 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 828.92 และ 831.85 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 18.85 และ 18.92 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเสาเอ็นสำเร็จรูปมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 735.55 และ 735.55 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 88.73 และ 88.42 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากตามลำดับ

ตารางที่ 7.33 แสดงผลลัพธ์จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อของกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 12.08 และ 12.70 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังอิฐมอญพบว่าขั้นตอนนี้มีคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 0.28 และ 0.29 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อพบว่ากิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งอิฐมอญมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 9.53 และ 9.53 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 78.90 และ 75.08 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อตามลำดับ

ตารางที่ 7.30 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวม คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	ดิน	12.68	4.88	12.68	4.88	25.36
	แกลบ สำหรับผสม	11.90	4.58	11.90	4.58	23.80
	น้ำ	10.47	4.03	10.47	4.03	20.94
	แกลบ สำหรับเผา	11.61	4.46	11.61	4.46	23.21
เครื่องมือและเครื่องจักร	พลั่ว	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
	รถเข็น	0.04	0.01	0.04	0.01	0.07
	ไม้ตบอิฐ ต่อการเผาอิฐ 1 ครั้ง	0.84	0.32	0.84	0.32	1.68
	แบบพิมพ์ไม้ ต่อการเผาอิฐ 1 ครั้ง	3.37	1.30	3.37	1.30	6.73
	แบบเหล็ก	0.25	0.10	0.25	0.10	0.51
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกดิน (6 เที่ยว)	159.34	61.29	159.34	61.29	318.69
	บรรทุกแกลบ	49.25	18.94	49.25	18.94	98.50
	บรรทุกพลั่ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกรถเข็น	0.17	0.07	0.17	0.07	0.35
	บรรทุกไม้ตบอิฐ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	บรรทุกแบบพิมพ์ไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกแบบเหล็ก	0.06	0.02	0.06	0.02	0.12
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ		**259.99**	100.00	**259.99**	100.00	519.99

ตารางที่ 7.31 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวม คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
เครื่องมือและเครื่องจักร	แปรงขัดพื้น	0.01	44.13	0.01	44.13	0.01
	ตลับเต้า	0.01	41.57	0.01	41.57	0.01
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือ	บรรทุกแปรงขัดพื้น	0.00	13.09	0.00	13.09	0.00
	บรรทุกตลับเต้า	0.00	1.22	0.00	1.22	0.00
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ		**0.02**	100.00	**0.02**	100.00	0.03

ตารางที่ 7.32 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก

กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวม คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	เอ็นขึงระดับ	0.69	0.08	0.69	0.08	1.38
	ตะปูคอนกรีต	1.03	0.12	1.03	0.12	2.06
	ดอกสว่าน 12 mm.	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
	เสาเอ็นสำเร็จรูป	735.55	88.73	735.55	88.42	1,471.09
	เหล็กเสริมRB 9 (0.3m.)	64.64	7.80	66.25	7.96	130.88
	โลตัส อีพอกซี่	20.06	2.42	21.40	2.57	41.45
เครื่องมือและ เครื่องจักร	ค้อน	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04
	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
การใช้ไฟฟ้า	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.36	0.04	0.32	0.04	0.67
การเผาไหม้ เชื้อเพลิงจากการ ขนส่งวัสดุและ เครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกเอ็นขึงระดับ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกตะปูคอนกรีต	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	บรรทุกดอกสว่าน 12 mm.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเสาเอ็นสำเร็จรูป	5.91	0.71	5.91	0.71	11.82
	บรรทุกเหล็กเสริม RB 9	0.65	0.08	0.67	0.08	1.32
	บรรทุกโลตัส อีพอกซี่	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
	บรรทุกค้อน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก		**828.92**	100.00	**831.85**	100.00	1,660.77

ตารางที่ 7.33 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวม คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	กระสอบปุ๋ย 2 ใบ	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01
เครื่องมือและ เครื่องจักร	เครื่องพ่นปูน	0.02	0.17	0.03	0.24	0.05
	ลิฟต์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	1.01	8.36	1.21	9.54	2.22
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องพ่นปูน	0.73	6.01	1.09	8.58	1.82
	ลิฟต์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	0.19	1.60	0.23	1.82	0.42
การเผาไหม้ เชื้อเพลิงจากการ ขนส่งวัสดุและ เครื่องมือเครื่องจักร	กระสอบปุ๋ย 2 ใบ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ก้อนอิฐมอญ	9.53	78.90	9.53	75.08	19.07
	เครื่องพ่นปูน	0.60	4.94	0.60	4.70	1.19
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ		**12.08**	100.00	**12.70**	100.00	24.78

ตารางที่ 7.34 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ ผลการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 514.69 และ 521.75 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังพบว่าขั้นตอนนี้มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 11.71 และ 11.87 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนก่อสำเร็จรูปมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 377.73 และ 384.48 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 73.39 และ 73.69 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญตามลำดับ

ตารางที่ 7.34 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวม คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	ปูนก่อ	377.73	73.39	384.48	73.69	762.20
	น้ำ	10.53	2.05	10.68	2.05	21.21
	ซีเมนต์	12.53	2.44	12.61	2.42	25.15
	หิน	0.17	0.03	0.18	0.03	0.35
	ทราย	0.13	0.02	0.13	0.02	0.26
	ตะปูคอนกรีต	1.41	0.27	1.41	0.27	2.82
	ไม้อัดดำ AA 15 mm.	6.83	1.33	6.83	1.31	13.67
เครื่องมือและเครื่องจักร	เกรียงใบโพธิ์	0.03	0.00	0.03	0.00	0.05
	รถเข็น	0.09	0.02	0.09	0.02	0.19
	กระบะปูน	0.03	0.00	0.03	0.00	0.05
	กระป๋องเล็กใส่ปูน	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05
	จอบ	0.03	0.01	0.03	0.01	0.06
	ค้อน	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกปูนก่อ	4.42	0.86	4.50	0.86	8.92
	บรรทุกซีเมนต์	0.09	0.02	0.09	0.02	0.17
	บรรทุกหิน	0.04	0.01	0.04	0.01	0.09
	บรรทุกทราย	0.03	0.01	0.03	0.01	0.07
	บรรทุกตะปูคอนกรีต	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกไม้อัดดำ AA 15 mm.	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04
	บรรทุกเกรียงใบโพธิ์	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกรถเข็น	0.33	0.06	0.33	0.06	0.65
	บรรทุกกระบะปูน	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03
	บรรทุกกระป๋องเล็กใส่ปูน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกจอบ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกค้อน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การกำจัดของเสีย	เศษปูนก่อ	27.61	5.36	27.61	5.29	55.22
	เศษอิฐมอญ	72.38	14.06	72.38	13.87	144.77
การขนส่งของเสียไปกำจัด	เศษปูนก่อ	0.05	0.01	0.05	0.01	0.10
	เศษอิฐมอญ	0.13	0.03	0.13	0.03	0.26
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ		**514.69**	100.00	**521.75**	100.00	1,036.44

ตารางที่ 7.35 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ ผลการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนนี้มีผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 1,849.78 และ 1,859.45 $kgCO_2e$ เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ร่วมกับพื้นที่ก่อของผนังพบว่าขั้นตอนนี้มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 42.07 และ 42.29 $kgCO_2e$ ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญพบว่ากิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนฉาบสำเร็จรูปมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 1,687.87 และ 1,690.11 $kgCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 91.25 และ 90.89 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญตามลำดับ

ตารางที่ 7.35 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)				ผลรวม คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)
		Sample 1		Sample 2		
		($kgCO_2e$)	(%)	($kgCO_2e$)	(%)	
วัสดุ	น้ำ	16.20	0.88	16.28	0.88	32.48
	ปูนฉาบ	1,687.87	91.25	1,690.11	90.89	3,377.98
	ปูนแต่งผิวเรียบ	96.21	5.20	99.90	5.37	196.11
	ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	9.15	0.49	13.02	0.70	22.18
เครื่องมือและเครื่องจักร	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	0.03	0.00	0.03	0.00	0.07
	เกรียงไม้	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03
	เกรียงขัดมัน	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
	เกรียงโป๊ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	เครื่องขัดกระดาษทราย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	เครื่องพ่นปูนฉาบ	0.09	0.00	0.08	0.00	0.17
	ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	1.62	0.09	1.72	0.09	3.33
การใช้ไฟฟ้า	เครื่องขัดกระดาษทราย	0.13	0.01	0.12	0.01	0.25
	เครื่องพ่นปูนฉาบ	3.27	0.18	2.90	0.16	6.17
	ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	0.31	0.02	0.33	0.02	0.64
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักร	บรรทุกปูนฉาบ	19.76	1.07	19.78	1.06	39.54
	บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	0.79	0.04	0.82	0.04	1.60
	บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03
	บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงขัดมัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเกรียงโป๊ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	เครื่องพ่นปูนฉาบ	0.60	0.03	0.60	0.03	1.19
การกำจัดของเสีย	เศษปูนฉาบ	13.69	0.74	13.69	0.74	27.38
การขนส่งของเสียไปกำจัด	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05
	-	-	-	-	-	-
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ		**1,849.78**	100.00	**1,859.45**	100.00	3,709.22

ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญ

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญซึ่งผลิตจากหน่วยงานผลิตอิฐมอญแบบดั้งเดิมซึ่งใช้แรงงานมนุษย์และเครื่องมือทางการเกษตรเป็นหลัก จากนั้นดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการติดตั้งที่โครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 2 ห้อง มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์รวมทั้งสิ้น 3,465.49 และ 3,485.75 $kgCO_2e$ ต่อการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญที่มีพื้นที่ผนังเท่ากับ 43.97 ตารางเมตร ตารางที่ 7.36 แสดงผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญสำหรับอาคารชุดพักอาศัย พบว่าขั้นตอนที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ การฉาบผนังอิฐมอญ (ร้อยละ 53.38 และ 53.34) การติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก (ร้อยละ 23.92 และ 23.86) และการก่อผนังอิฐมอญ (ร้อยละ 14.85 และ 14.97) ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าสิ่งนำเข้าหลักที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนฉาบซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,687.87 และ 1,690.11 $kgCO_2e$ หรือเท่ากับร้อยละ 48.71 และ 48.49 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญตามลำดับ

ตารางที่ 7.37 แสดงผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกของผนังอิฐมอญ จากผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดสามกลุ่มหลัก คือ กลุ่มการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการผลิตวัสดุ, กลุ่มการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุเครื่องมือเครื่องจักรและของเสีย และกลุ่มการกำจัดของเสีย โดยพบว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุมีค่าเท่ากับ 3,087.40 และ 3,107.20 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 89.09 และ 89.14 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7.36 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จำแนกตามขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ

No.	ขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ	ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์			
		Sample 1		Sample 2	
		$kgCO_2e$	%	$kgCO_2e$	%
1	ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ	259.99	7.50	259.99	7.46
2	ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ	0.02	0.00	0.02	0.00
3	ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝาก	828.92	23.92	831.85	23.86
4	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ	12.08	0.35	12.70	0.36
5	ขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ	514.69	14.85	521.75	14.97
6	ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ	1849.78	53.38	1859.45	53.34
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ		**3465.49**	**100.00**	**3485.75**	**100.00**

ตารางที่ 7.37 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์			
	Sample 1		Sample 2	
	$kgCO_2e$	%	$kgCO_2e$	%
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ	3087.40	89.09	3107.20	89.14
การขนส่งวัสดุ,เครื่องจักร,ของเสีย	251.86	7.27	252.02	7.23
การกำจัดของเสีย	113.68	3.28	113.68	3.26
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเครื่องมือเครื่องจักร	7.56	0.22	7.87	0.23
การใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง	4.98	0.14	4.99	0.14
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ	**3465.49**	**100.00**	**3485.75**	**100.00**

<u>การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของผนังอิฐมอญเพื่อหาแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์</u>

จากการวิเคราะห์ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดของเสียมีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 3 งานวิจัยนี้จึงพิจารณาแนวทางการลดปริมาณการสูญเสียของวัสดุที่เกิดในแต่ละขั้นตอน โดยอ้างอิงผลงานวิจัยอัตราส่วนปริมาณการสูญเสียจากงานวิจัยในอดีต (Kokkaew, 2002) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการสูญเสียของวัสดุก่อสร้างที่ได้จากผลการศึกษาซึ่งระบุว่าอัตราส่วนปริมาณความสูญเสียของอิฐมอญมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.89 ของปริมาณวัสดุก่อสร้างดังแสดงในตารางที่ 7.38 เมื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญสำหรับอาคารชุดพักอาศัยควบคู่กับอัตราการสูญเสียของอิฐมอญทำให้สามารถประเมินค่าสูงสุด, ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดของปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดของเสียประเภทอิฐมอญได้ดังตารางที่ 7.39

จากแนวทางข้างต้นเมื่อวิเคราะห์อัตราการสูญเสียที่ต่ำที่สุดจากค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากกระบวนการผลิตผนังอิฐมอญทำให้สามารถสรุปได้ว่าการบริหารและจัดการปริมาณของเสียจากการผลิตอิฐมอญจะสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ 12.36 $kgCO_2e$ และจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามจำนวนอิฐมอญที่ขนส่ง ผลการวิเคราะห์พบว่าการควบคุมปริมาณความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตและการขนส่งอิฐมอญจากหน่วยงานผลิตไปยังหน่วยงานติดตั้งในสถานที่ก่อสร้างเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการ อีกทั้งยังส่งผลโดยตรงต่อผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดจากการกำจัดของเสียและการขนส่งของเสียไปกำจัด การควบคุมปริมาณความสูญเสียของวัสดุก่อสร้างประเภทอิฐมอญจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องวิเคราะห์

ตารางที่ 7.38 อัตราส่วนปริมาณการสูญเสียของอิฐมอญ (Kokkaew, 2002)

ชนิดของวัสดุ	ปริมาณความสูญเสีย (%)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
อิฐมอญ	5.61	5.89	6.17

ตารางที่ 7.39 คาร์บอนฟุตพรินต์จากการลดปริมาณการสูญเสียของอิฐมอญ

	ปริมาณความสูญเสีย ($kgCO_2e$)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
คาร์บอนฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการผลิตอิฐมอญ	247.63	259.99	272.35

<u>การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผนังอิฐมอญกับงานวิจัยในอดีต</u>

ตารางที่ 7.40 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เมตรกับงานวิจัยในอดีต ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากงานวิจัยในอดีต อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ยังคงมีค่าสูงกว่าผลลัพธ์ของงานวิจัยในอดีตอันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภท 2 ชนิด คือ การใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้าบางชนิด, เครื่องมือ และเครื่องจักร และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งแรงงานซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่ได้ถูกพิจารณาสำหรับงานวิจัยในอดีต

อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ข้างต้นนี้เป็นผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของอิฐมอญจำนวนหนึ่งเท่านั้น ซึ่งในการผลิตและขนส่งไปยังหน่วยงานติดตั้งนั้นยังจำเป็นต้องใช้อิฐมอญอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผลต่างของคาร์บอนฟุตพรินต์จะยิ่งทวีขึ้นตามขนาดของโครงการก่อสร้าง นอกจากนี้ผลลัพธ์ข้างต้นยังเป็นการวิเคราะห์ในช่วงขอบเขตการประเมินตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตอิฐมอญเท่านั้นยังไม่ได้หมายรวมถึงผลลัพธ์ในช่วงการติดตั้งผนังอิฐมอญ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของอิฐมอญซึ่งครอบคลุมขอบเขตกระบวนการติดตั้งผนังอิฐมอญแล้วจะยิ่งชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างที่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 7.40 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของอิฐมอญกับผลการทดลองในอดีต

	คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อ 1 kg	คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อ 1 m^2	Test by
องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก	0.2414 $kgCO_2e$	5.41 $kgCO_2e$	Ecoinvent 2.2 database
ICE database	0.2200 $kgCO_2e$	4.93 $kgCO_2e$	ISO 14025, EN 15804
งานวิจัยฉบับนี้	0.2495 $kgCO_2e$	5.59 $kgCO_2e$	Pending

<u>สัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญ</u>

ผลการวิเคราะห์วัสดุที่มีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญและไม่ถูกตัดออกสำหรับผนังอิฐมอญพบว่าวัสดุที่มีนัยยะสำคัญ ได้แก่

- ปูนซีเมนต์ฉาบสำเร็จรูปในขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญมีค่าเท่ากับ 1,687.87 คิดเป็นร้อยละ 48.71 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์
- เสาเอ็นสำเร็จรูปในขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากมีค่าเท่ากับ 735.55 คิดเป็นร้อยละ 21.22 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์
- ปูนก่ออิฐมวลเบาในขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบามีค่าเท่ากับ 377.73 คิดเป็นร้อยละ 10.90 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์

โดยปัจจัยที่เหลือจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์และถูกคัดออก จากนั้นเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุที่มีนัยสำคัญให้เท่ากับ 100 พบว่า

- คาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนซีเมนต์ฉาบสำเร็จรูปจะเพิ่มขึ้นเป็น 2,087.65 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 60.24
- คาร์บอนฟุตพรินต์จากเสาเอ็นสำเร็จรูปจะเพิ่มขึ้นเป็น 910.21 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 26.27
- คาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนก่ออิฐมวลเบาจะเพิ่มขึ้นเป็น 467.63 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นร้อยละ 13.49

ผลลัพธ์ข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอิฐมอญสามารถมุ่งเน้นไปที่ข้อมูลจากวัสดุ 4 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ฉาบสำเร็จรูป เสาเอ็นสำเร็จรูป และปูนก่ออิฐมวลเบา

7.4 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของผลลัพธ์

ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารที่ถูกพัฒนาขึ้นพบข้อจำกัดที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนจำนวน 3 ข้อ ได้แก่ การขาดแคลนข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับสิ่งนำเข้าบางชนิด จำนวนครั้งของการใช้งานสิ่งนำเข้าที่สามารถนำมาวนใช้ได้อีก และระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้าไปยังเป้าหมาย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การขาดแคลนข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีที่ไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้าบางชนิดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้

ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกว่าด้วยการเทียบเคียงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีจากสิ่งนำเข้าจากสิ่งนำเข้าที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

(2) จำนวนครั้งของการใช้งานสิ่งนำเข้าที่สามารถนำมาวนใช้ได้อีก ได้แก่ สิ่งนำเข้าประเภทเครื่องมือเครื่องจักรที่ถูกนำมาวนใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากงานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้ทฤษฎีที่ว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จะถูกแบ่งตามภาระการรับผิดชอบที่ใช้งาน กล่าวคือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรจะถูกนำไปหารด้วยจำนวนครั้งที่สามารถนำมาวนใช้งานได้เพื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งครั้งที่ใช้งาน งานวิจัยนี้ได้จำแนกกรณีการใช้งานซ้ำได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีปันส่วนตามจำนวนครั้งการใช้งานจะกำหนดให้สิ่งนำเข้าสามารถใช้งานซ้ำได้เท่ากับ 100 ครั้ง ยกเว้นกรณีของแบบหล่อคอนกรีตจะกำหนดให้มีจำนวนรอบการใช้งานซ้ำได้ 50 ครั้ง และกรณีที่ปันส่วนตามอายุจะกำหนดให้สิ่งนำเข้ามีอายุการใช้งานหนึ่งปีหรือเท่ากับ 525,600 นาที ดังนั้นการตั้งข้อสมมติฐานหรือการศึกษาและสัมภาษณ์จากผู้เชี่ยวชาญอย่างละเอียดอาจทำให้ได้ข้อมูลจำนวนครั้งการวนใช้ที่มากขึ้นหรืออาจน้อยลงกว่าข้อจำกัดของงานวิจัยนี้และจะส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ที่ถูกปันส่วน

(3) ระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้า ระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยงานผลิต หน่วยงานติดตั้ง จุดกระจายสินค้า ตัวแทนจำหน่าย และสถานที่อื่นๆจะแตกต่างกันไปตามกรณีศึกษาที่ทำการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางขนส่งได้

7.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ยังคงมีความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งนำเข้าซึ่งอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือหรือความผิดพลาดที่เกิดจากผู้เก็บรวบรวมข้อมูล ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลปฐมภูมิเพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบขอบเขตความเป็นไปได้ของตัวแปรและการลดความเสี่ยงของความผิดพลาดในการคำนวณผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่กำหนดว่าปัจจัยใดๆที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยกว่าร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ถือว่าเป็นปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในงานวิจัยนี้จะทำการคำนวณร้อยละ 5 ของคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับสิ่งนำเข้าเพื่อกำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นจึง

แปลงปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์เป็นข้อมูลกิจกรรม แนวคิดข้างต้นจะทำให้สามารถวิเคราะห์ขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้อันเป็นสาเหตุมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม ขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การกำหนดตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอน และการระบุขอบเขตของข้อมูลที่เป็นไปได้เมื่อตัวแปรข้างต้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารจำเป็นต้องวิเคราะห์ตัวแปรหรือข้อมูลกิจกรรมสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ผลจากการวิเคราะห์พบว่ามีตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในแต่ละสมการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ดังต่อไปนี้

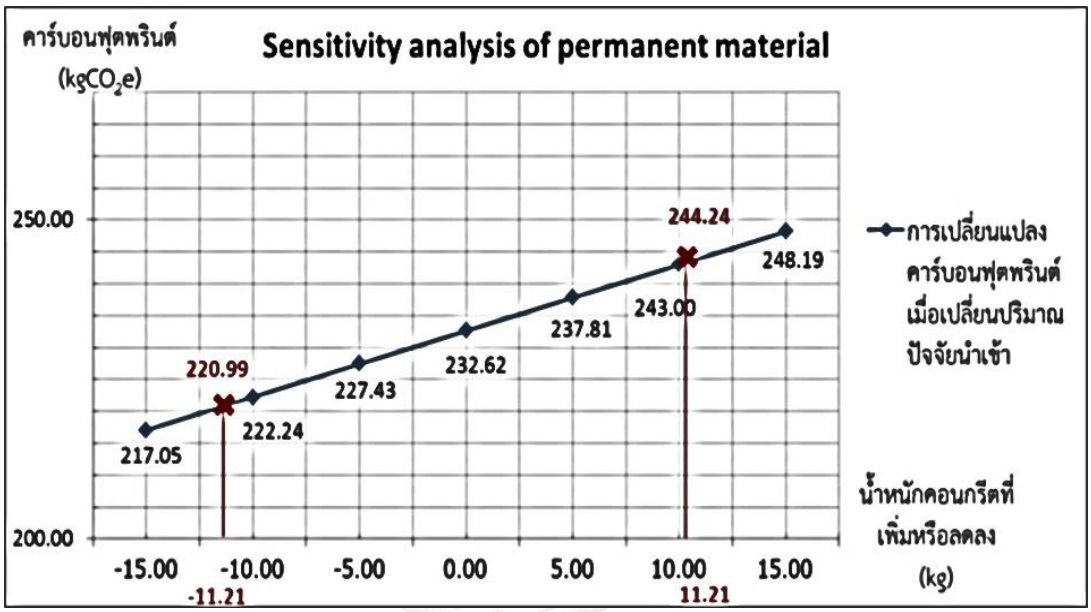
<u>การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของวัสดุถาวร</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทวัสดุถาวรทำได้โดยการใช้สมการที่ 5.1 พบว่าตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ คือ ข้อมูลวัสดุถาวรซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในการเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักวัสดุถาวร

ภาพที่ 7.1 แสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลกิจกรรมหรือน้ำหนักปูนซีเมนต์ จากภาพแสดงให้เห็นว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 232.62 $kgCO_2e$ ขั้นตอนต่อมา คือ การกำหนดขอบเขตจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญโดยการประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่กำหนดว่าปัจจัยใดๆที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยกว่าร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ถือว่าเป็นปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ การวิเคราะห์ผลลัพธ์พบว่าขอบเขตของปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง 11.64 $kgCO_2e$ หรือเทียบเท่ากับน้ำหนักปูนซีเมนต์ซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลง 11.21 กิโลกรัม ผลลัพธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ปูนซีเมนต์ที่สามารถยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 11.21 กิโลกรัม แนวคิดข้างต้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลกิจกรรมประเภทอื่นได้

<u>การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งทำได้โดยการใช้สมการที่ 5.2 และ 5.3 พบว่าตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ คือ ความผิดพลาดที่เกิดจากข้อมูลน้ำหนักบรรทุกและข้อมูลระยะทางขนส่ง ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปูนซีเมนต์เที่ยวไปและเที่ยวกลับแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดังภาพที่ 7.2 และภาพที่ 7.3 ตามลำดับ



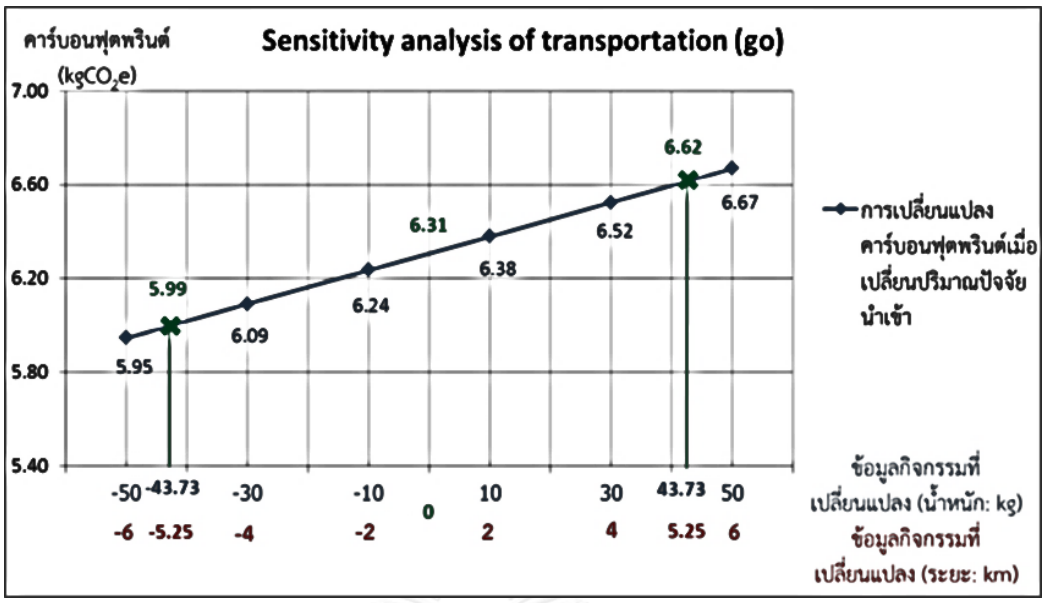
ภาพที่ 7.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากปูนซีเมนต์

จากภาพแสดงให้เห็นว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปูนซีเมนต์เที่ยวไปและเที่ยวกลับมีค่าเท่ากับ 6.31 และ 3.18 $kgCO_2e$ ตามลำดับ จากการประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของน้ำหนักบรรทุกพบว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่สามารถยอมรับได้คิดเป็นค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงเท่ากับ 0.31 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นข้อมูลน้ำหนักบรรทุกปูนซีเมนต์ที่สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้เท่ากับ 43.73 กิโลกรัม

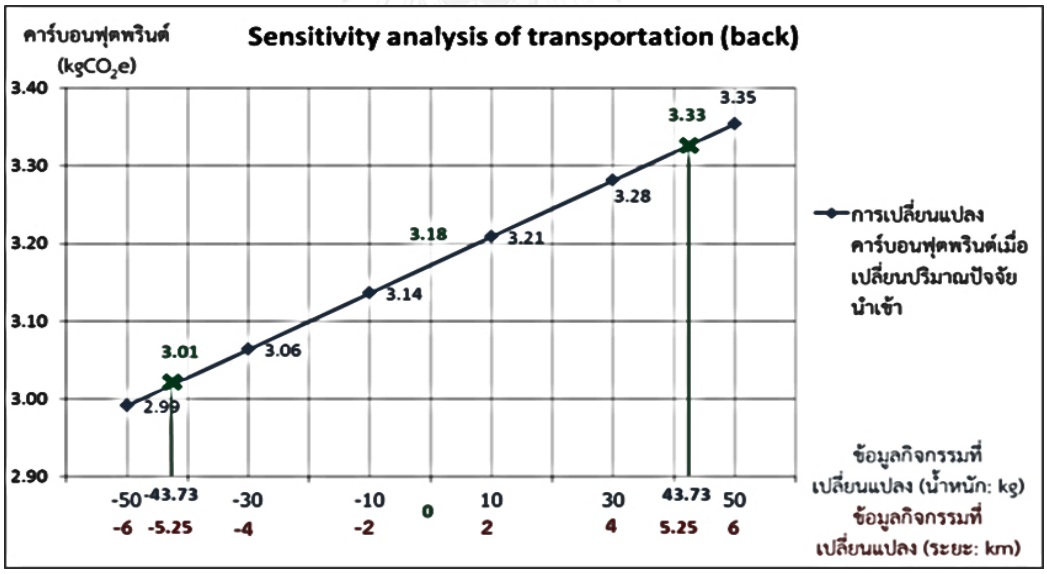
กรณีของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรระยะทางขนส่งนั้น เมื่อประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกสำหรับวิเคราะห์ขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ของระยะทางขนส่งที่สามารถยอมรับได้คิดเป็นค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงเท่ากับ 0.15 $kgCO_2e$ หรือคิดเป็นข้อมูลระยะทางที่สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้เท่ากับ 5.25 กิโลเมตร แนวคิดข้างต้นนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลกิจกรรมอื่นได้

<u>การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพลังงานไฟฟ้า</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทพลังงานไฟฟ้าทำได้โดยการใช้สมการที่ 5.4 พบว่าตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ คือ ความผิดพลาดจากการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะเวลาการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักร โดยยกตัวอย่างการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เชื่อมดังภาพที่ 7.4



ภาพที่ 7.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปูนซีเมนต์เที่ยวไป



ภาพที่ 7.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งปูนซีเมนต์เที่ยวกลับ

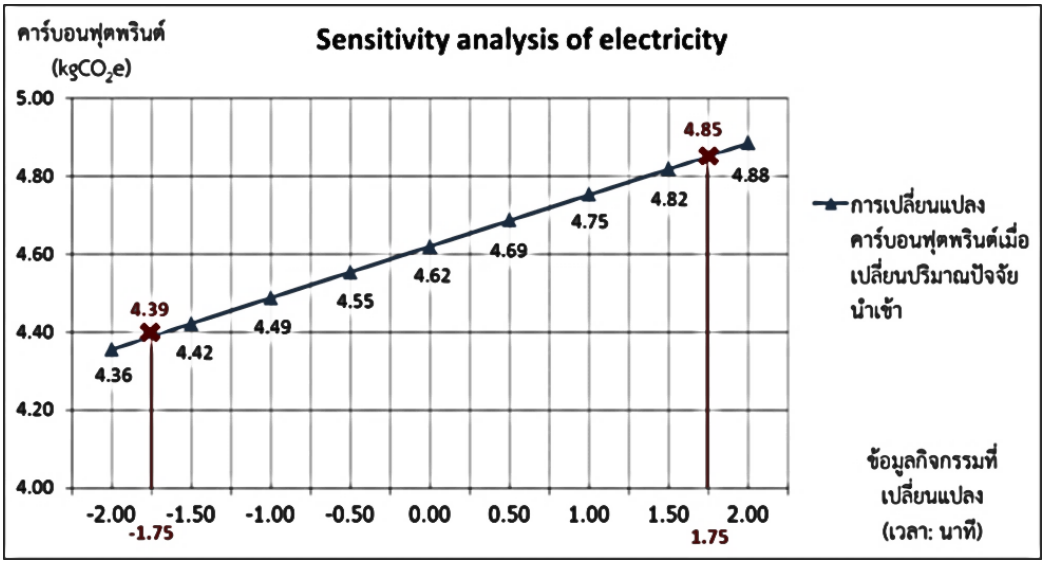
ภาพที่ 7.4 แสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพริ้นต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลระยะเวลาการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เชื่อม จากภาพแสดงให้เห็นว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับตู้เชื่อมในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนัง

คอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าเท่ากับ 4.62 $kgCO_2e$ เมื่อประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่สามารถยอมรับได้คิดเป็นคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ 0.23 $kgCO_2e$ หรือเทียบเท่ากับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเก็บข้อมูลระยะเวลาการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เชื่อมซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ 1 นาที 45 วินาที แนวคิดข้างต้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลกิจกรรมจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นได้

<u>การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการกำจัดเศษซาก</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากสิ่งนำเข้าประเภทการกำจัดเศษซากทำได้โดยใช้สมการที่ 5.6 พบว่าตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับการกำจัดเศษซาก คือ ความคลาดเคลื่อนจากการเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักเศษซาก ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากของเพลทเหล็กและแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดังภาพที่ 7.5 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากของเพลทเหล็กมีค่าเท่ากับ 6.96 $kgCO_2e$ เมื่อประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่สามารถยอมรับได้คิดเป็นคาร์บอนฟุตพรินต์เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ 0.35 $kgCO_2e$ เทียบเท่ากับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักเศษซากเพลทเหล็กซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.15 กิโลกรัม แนวคิดข้างต้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลกิจกรรมของเศษซากชนิดอื่นได้

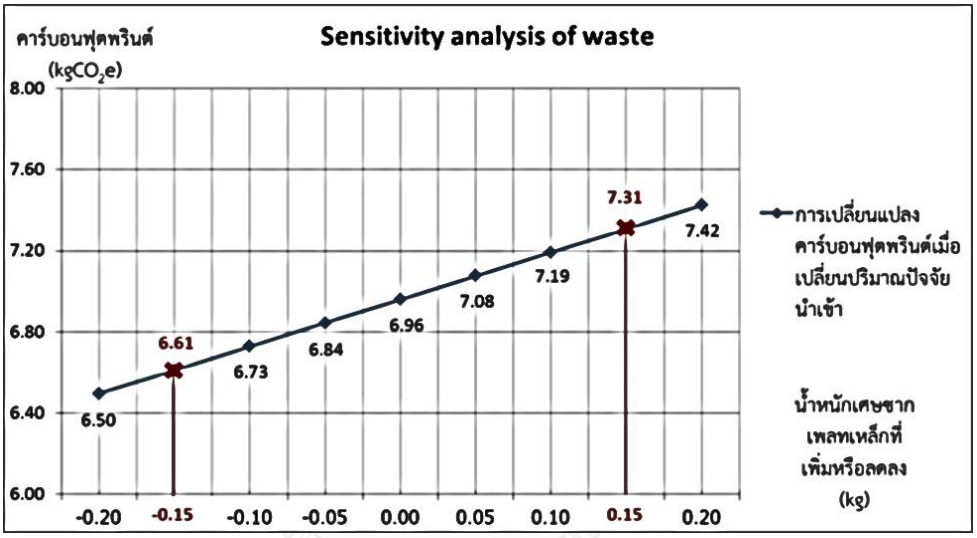
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 7.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า

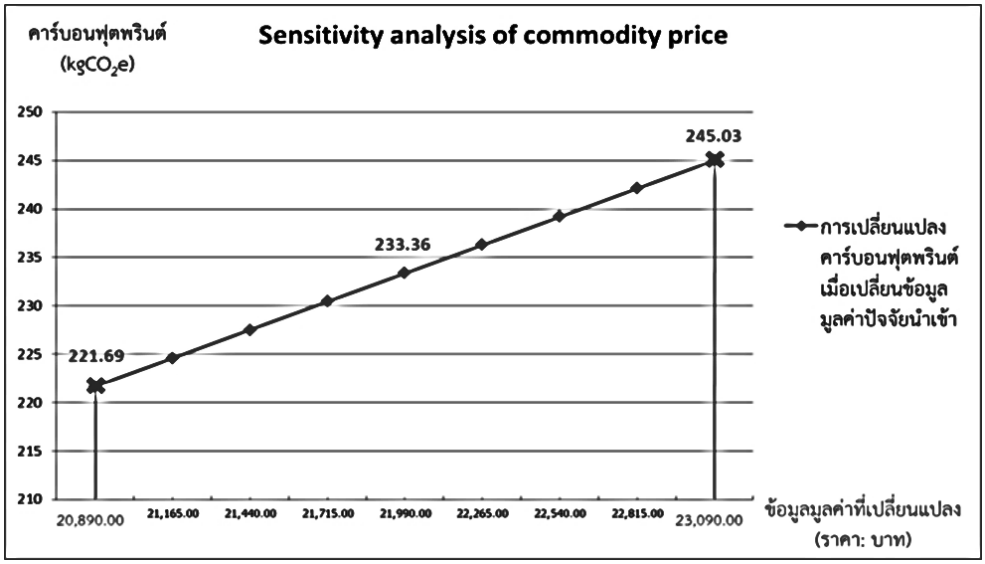
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของมูลค่าสิ่งนำเข้า

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากมูลค่าสิ่งนำเข้าทำได้โดยการใช้สมการสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ซึ่งแสดงรายละเอียดดังสมการที่ 5.13 พบว่าตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ คือ ความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลมูลค่าสินค้า ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการผลิตตู้เชื่อมแสดงดังภาพที่ 7.6 พบว่าการผลิตตู้เชื่อมที่มีมูลค่า 21,990 บาท มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 233.36 $kgCO_2e$



ภาพที่ 7.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากเพลทเหล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 7.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการผลิตเครื่องมือเครื่อง

จากการประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่สามารถยอมรับได้คิดเป็นคาร์บอนฟุตพรินต์เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ 11.67 $kgCO_2e$ เทียบเท่ากับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเก็บรวบรวมข้อมูลมูลค่าตู้เชื่อมจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ตซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากมูลค่าเดิมได้ 1,100 บาท แนวคิดข้างต้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลมูลค่าผลิตภัณฑ์หรือสิ่งนำเข้าประเภทอื่นได้

7.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้เกี่ยวกับการนำผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในบทที่ 6 มาวิเคราะห์ผลลัพธ์ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุดในกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร การวิเคราะห์หาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต การวิเคราะห์ข้อจำกัดของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบหรือสิ่งนำเข้าที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดในกระบวนการผลิตและติดตั้งของผนังอาคาร ทำได้โดยการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในรายสิ่งนำเข้าและเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์พบว่าผนังอาคารทั้ง 3 ชนิดมีแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์สูงที่สุดสามอันดับคล้ายคลึงกัน คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งสิ่งนำเข้า และการกำจัดเศษซากสิ่งนำเข้า ในเบื้องต้นนั้นการวิเคราะห์แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ทำได้โดยการลดขั้นตอนหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ในแต่ละขั้นตอนลงซึ่งแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกสองกลุ่มแรกนั้นมีขั้นตอนและปัจจัยที่ค่อนข้างเป็นที่แน่นอนและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกทั้งสองกลุ่มแรกนั้นจึงดำเนินการได้ยาก งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากซึ่งสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์และจัดการกับต้นเหตุที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์ ได้แก่ การศึกษาขั้นตอนหรือแนวทางการดำเนินการที่สามารถลดปริมาณของเสียได้ ผลการศึกษาพบว่าการจัดอบรมและการตั้งมาตรการหรือบทลงโทษให้แก่พนักงานผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้วัสดุก่อสร้างเสียหายสามารถลดอัตราการเสียหายของวัสดุก่อสร้างได้

การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์โดยการเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ที่ได้จากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

ผลการวิเคราะห์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและผนังอิฐมอญพบว่าผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกันและน่าเชื่อถือ โดยผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะมีค่าสูงกว่างานวิจัยในอดีตเนื่องจากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ครอบคลุมองค์ประกอบบางประการที่งานวิจัยในอดีตไม่สามารถประเมินได้ ได้แก่ การใช้พลังงานในการสร้างสินค้าทุนจำพวกเครื่องมือและเครื่องจักร และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งแรงงานมนุษย์ อย่างไรก็ตามกรณีของผนังอิฐมวลเบาที่มีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงข้อมูลนั้นทำให้จำเป็นต้องเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตซึ่งใช้ระบบผลิตที่แตกต่างกันจึงทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบกัน แต่ยังสามารถทำการเปรียบเทียบขั้นต้นและตั้งข้อสังเกตได้พอเป็นสังเขป คือ งานวิจัยในอดีตใช้ระบบการผลิต ALC ซึ่งเป็นระบบที่ใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนกว่ามากจึงทำให้มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์สูงกว่าตัวอย่างในงานวิจัยนี้ซึ่งดำเนินการผลิตด้วยระบบ CLC ซึ่งใช้เครื่องจักรก่อสร้างขนาดเล็กเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิต

ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้นยังคงมีข้อจำกัดบางประการที่อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการเข้าถึงข้อมูลหรือเกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ชี้ให้เห็นว่าสมควรดำเนินการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ จากการวิเคราะห์พบว่ามีข้อจำกัดทั้งสิ้น 3 ข้อ ได้แก่ การขาดแคลนข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสิ่งนำเข้าบางชนิด จำนวนครั้งของการใช้งานสิ่งนำเข้าที่สามารถนำมาวนใช้ได้อีก และระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้าไปยังเป้าหมาย

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบขอบเขตความเป็นไปได้ของตัวแปรและการลดความเสี่ยงของความผิดพลาดในการคำนวณผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ โดยประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่กำหนดว่าปัจจัยใดๆที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยกว่าร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ถือว่าเป็นปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่ากลุ่มสิ่งนำเข้าที่มีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยที่สุด คือ คาร์บอนฟุตพรินต์จากเครื่องมือเครื่องจักรซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 2.02 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาและอิฐมอญที่แสดงให้เห็นว่ากลุ่มสิ่งนำเข้าประเภทการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 0.39 และ 0.22 ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ของสิ่งนำเข้าที่ได้กล่าวมา ณ ข้างต้นถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ ตามข้อกำหนดของแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์แห่งประเทศไทยซึ่งกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 5 จะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากปัจจัยดังกล่าวของวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นอาจมีค่าสูงขึ้นจนอาจกลายเป็นปัจจัยที่มี

นัยสำคัญต่อผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ สาเหตุที่ทำให้ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของสิ่งนำเข้าประเภทเครื่องมือเครื่องจักรในกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารมีค่าต่ำเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม จึงมีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้างน้อย ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรรวมถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์น้อยตามไปด้วย อย่างไรก็ตามผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรอาจเพิ่มขึ้นได้ในวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุก่อสร้างที่มีขั้นตอนการผลิตและติดตั้งที่มีการใช้เครื่องจักรเป็นจำนวนมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8
สรุปผลการวิจัย

บทนี้นำเสนอผลสรุปจากการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร เนื้อหาประกอบด้วย ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ข้อจำกัดของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

8.1 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน คือ การกำหนดขอบเขตการประเมิน การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ และการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

<u>การกำหนดขอบเขตการประเมิน</u>

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารจำนวน 3 ชนิด คือ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตจากหน่วยงานผลิตจำนวน 3 หน่วยงานประกอบด้วยหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หน่วยงานผลิตอิฐมวลเบา และหน่วยงานผลิตอิฐมอญ และเก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งผนังอาคารจำนวน 3 หน่วยงานประกอบด้วยโครงการก่อสร้างที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ ตารางที่ 8.1 แสดงรายละเอียดหน่วยงานผลิตและหน่วยงานติดตั้งผนังอาคาร

ตารางที่ 8.1 รายละเอียดหน่วยงานผลิตและหน่วยงานติดตั้งผนังอาคาร

	ผนังอาคาร		
	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	**อิฐมวลเบา**	**อิฐมอญ**
หน่วยงานผลิต	หน่วยงานเอกชนระบบผลิตกึ่งอัตโนมัติ	หน่วยงานเอกชนระบบผลิตขนาดเล็ก	หน่วยงานเอกชนที่ใช้แรงงานและเครื่องมือเป็นหลัก
หน่วยงานติดตั้ง	ห้องชุดพักอาศัยขนาด 26 ตร.ม. จำนวน 1 ห้อง	ห้องชุดพักอาศัยขนาด 59.55 ตร.ม. จำนวน 2 ห้อง	ห้องชุดพักอาศัยขนาด 26 ตร.ม. จำนวน 2 ห้อง
รายละเอียดวัสดุผนังในงานก่อสร้าง	ผนังมีพื้นที่ก่อ 25.49 ตร.ม. ประกอบด้วยชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 4 ชิ้น (A62, A64, J1, J2) ซึ่งดำเนินการติดตั้งด้วยวิธีรอยเชื่อมแห้ง	ผนังอิฐวลเบา มีพื้นที่ก่อ 65.41 ตร.ม. พื้นที่ฉาบ 156.01 ตร.ม.	ผนังอิฐมวลเบา มีพื้นที่ก่อ 43.97 ตร.ม. พื้นที่ฉาบ 91.38 ตร.ม.

งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบการประเมินแบบ “Cradle to Install” ซึ่งกำหนดขอบเขตการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ การสร้างผนังอาคาร การขนส่งผนังอาคาร การติดตั้งผนังอาคาร และการกำจัดเศษซากที่เกิดจากกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคาร ผลการศึกษาพบว่ามีองค์ประกอบที่จะต้องพิจารณาในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสิ้น 10 ปัจจัย ได้แก่

(1) การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ

(2) การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรในงานก่อสร้าง

(3) การผลิตเชื้อเพลิง

(4) การผลิตพลังงานไฟฟ้า

(5) การขนส่งวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง

(6) การขนส่งเครื่องมือเครื่องจักรมายังสถานที่ก่อสร้าง

(7) การขนส่งคนงานมายังสถานที่ก่อสร้าง

(8) การขนส่งภายในสถานที่ก่อสร้าง

(9) การขนส่งของเสียไปยังสถานที่กำจัดของเสีย

(10) การกำจัดของเสีย

การวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารทำได้โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแยกย่อยองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ การแยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอน และการแยกองค์ประกอบขั้นตอนออกเป็นองค์ประกอบสิ่งนำเข้าที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน ตารางที่ 8.2 แสดงการแยกองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอนของผนังอาคารทั้งสามชนิด

<u>การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ</u>

ข้อมูลทุติยภูมิที่จำเป็นสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและข้อมูลการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า การศึกษาข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการทำได้โดยการจัดหมวดหมู่สิ่งนำเข้าโดยอ้างอิงตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก จากนั้นจึงค้นหาชนิดของสิ่งนำเข้าในฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานในการสร้างวัสดุจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศ

ไทยประจำปี 2548 ควบคู่กับข้อมูลการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจของประเทศไทยประจำปี พ.ศ. 2556 โดยประยุกต์ใช้คุณสมบัติทางเมตริกซ์เพื่อวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่า 1 บาท ซึ่งจะอยู่ในหน่วย BTU/ บาท

<u>การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ</u>

ข้อมูลปฐมภูมิที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้า ข้อมูลกิจกรรมเป็นข้อมูลที่จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี P-LCA ข้อมูลนี้สามารถเก็บรวบรวมได้ด้วยการศึกษาข้อมูลจากบันทึกภาคสนามของผู้ก่อสร้างร่วมกับการตรวจสอบปริมาณงานก่อสร้างจากแบบก่อสร้าง การสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงาน และการสังเกตการณ์อย่างละเอียดและต่อเนื่อง การเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถทำได้โดยการวัดตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการวัด ที่แตกต่างกันไปตามหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์ ข้อมูลกิจกรรมถูกจำแนกออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ข้อมูลวัสดุถาวร ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ข้อมูลการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง และข้อมูลการกำจัดเศษซาก สำหรับข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงมูลค่าของวัสดุชั่วคราวและเครื่องมือเครื่องจักรรวมถึงวัสดุถาวรบางชนิดที่ไม่สามารถใช้วิธี P-LCA ในการประเมินได้ ข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าจะถูกนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า การเก็บรวบรวมข้อมูลมูลค่าสิ่งนำเข้าทำได้โดยการสอบถามและรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต ตารางที่ 8.3 สรุปประเภทของข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8.2 การแยกองค์ประกอบผนังอาคารออกเป็นองค์ประกอบขั้นตอนการผลิตและติดตั้ง

	ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ผนังอิฐมวลเบา	ผนังอิฐมอญ
กระบวนการผลิตวัสดุผนังในงานก่อสร้าง	ขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ	ขั้นตอนการผสมคอนกรีต	ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ
	ขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ	ขั้นตอนการผสมโฟม	
	ขั้นตอนทาน้ำยาแบบหล่อ	ขั้นตอนการเทคอนกรีต	
	ขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม	ขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาดแบบหล่อ	
	ขั้นตอนผสมคอนกรีต		
	ขั้นตอนการเสริมเหล็ก เทคอนกรีตและตกแต่งผิวคอนกรีต		
	ขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป		
	ขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ		
กระบวนการติดตั้งวัสดุผนังในงานก่อสร้าง	ขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา	ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ
	ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป	ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและฝากเ
	ขั้นตอนติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ
		ขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา	ขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ
		ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา	ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

ตารางที่ 8.3 ข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	ประเภทของสิ่งนำเข้า	ชนิดของข้อมูลปฐมภูมิที่ต้องใช้	ชนิดของข้อมูลทุติยภูมิที่ต้องใช้
วัสดุถาวร	การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ	ปริมาณหรือน้ำหนักของวัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุ	ปริมาณหรือน้ำหนักของวัสดุที่ขนส่ง	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามชนิดของยานพาหนะ
		ระยะทางการขนส่ง	
		ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง	
วัสดุชั่วคราว	การใช้พลังงานในการผลิตวัสดุ	มูลค่าวัสดุชั่วคราว	ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต
			ผลรวมการใช้พลังงานประจำปี
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งวัสดุ	ปริมาณหรือน้ำหนักของวัสดุที่ขนส่ง	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามชนิดของยานพาหนะ
		ระยะทางการขนส่ง	
		ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง	
เครื่องมือเครื่องจักร	การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องจักร	มูลค่าเครื่องมือเครื่องจักร	ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต
			ผลรวมการใช้พลังงานประจำปี
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเครื่องจักร	ปริมาณหรือน้ำหนักของเครื่องจักรที่ขนส่ง	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามชนิดของยานพาหนะ
		ระยะทางการขนส่ง	
		ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง	
พลังงาน	การผลิตไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานไฟฟ้า
		ระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า	
	การผลิตเชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิง
การกำจัดเศษซากวัสดุ	การกำจัดเศษซากวัสดุ	ปริมาณหรือน้ำหนักของเศษซาก	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดเศษซาก
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งเศษซากไปกำจัด	ปริมาณหรือน้ำหนักของเศษซากที่ขนส่ง	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามชนิดของยานพาหนะ
		ระยะทางการขนส่ง	
		ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง	

Chulalongkorn University

<u>การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์</u>

การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารสามารถจำแนกได้ 2 วิธี คือ การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี P-LCA ซึ่งสามารถคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ด้วยการคูณข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ด้วยวิธี IOA สามารถคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ด้วยการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานต่อมูลค่า 1 บาทจากฐานข้อมูลการใช้พลังงานในการสร้างสิ่งนำเข้า จากนั้นวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานในการสร้างวัสดุซึ่งแปรผันตามมูลค่าวัสดุ สุดท้าย คือ การแปลงหน่วยพลังงานให้เป็นหน่วยคาร์บอนฟุตพรินต์

8.2 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

การประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารจำนวน 3 ชนิด ทำให้สามารถสรุปผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารได้ดังตารางที่ 8.4 พบว่าผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังอิฐมวลเบา และผนังอิฐมอญ มีค่าเท่ากับ 1,718.81, 9,700.63 และ 6,951.23 $kgCO_2e$ ตามลำดับ โดยสามารถวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผนังได้เท่ากับ 67.43, 74.15 และ 79.05 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลลัพธ์ยังชี้ให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารมากที่สุด คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุของผนังอาคารทั้งสามชนิดโดยคิดเป็นร้อยละ 68.12, 95.41 และ 89.12 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารแต่ละชนิดตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จะถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของงานวิจัยในอดีตที่ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของวัสดุก่อสร้างประเภทเดียวหรือใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 8.5 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผนังอาคารที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษากับงานวิจัยในอดีต พบว่าผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีตมาก อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบผลการศึกษาในตารางข้างต้นยังคงมีข้อสังเกตบางประการ คือ ผลการวิเคราะห์สำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีความใกล้เคียงกันโดยผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะมีค่าสูงกว่างานวิจัยในอดีตประมาณร้อยละ 5 เนื่องจากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ครอบคลุมองค์ประกอบบางประการที่งานวิจัยในอดีตไม่สามารถประเมินได้ ได้แก่ การใช้พลังงานในการสร้างสินค้าทุนจำพวกเครื่องมือและเครื่องจักรซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 2 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ดังแสดงในตารางที่ 8.4 โดยความแตกต่างของผลลัพธ์ในส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนของความแตกต่างของกรณีศึกษา เช่น ระยะทางการขนส่งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น

อย่างไรก็ตามผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างสินค้าทุนที่แสดงนี้เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีศึกษาหน่วยงานผลิตชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้ระบบผลิตกึ่งสำเร็จรูปซึ่งเป็นระบบผลิตที่ใช้แรงงานมนุษย์ควบคู่กับเครื่องจักรเท่านั้น ดังนั้นค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากองค์ประกอบนี้จะมีแนวโน้มสูงขึ้นหากกรณีศึกษาเป็นหน่วยงานผลิตที่ใช้ระบบผลิตอัตโนมัติซึ่งใช้เครื่องจักรในการผลิตเพียงอย่างเดียว

ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมอญยังคงมีค่าสูงกว่างานวิจัยในอดีตประมาณร้อยละ 3 โดยคิดเป็นสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรนั้นเพียงร้อยละ 0.22 เท่านั้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลการผลิตอิฐมอญจากหน่วยงานผลิตที่ใช้ระบบผลิตแบบ

ดั้งเดิมที่ใช้เครื่องมือการเกษตรและแรงงานมนุษย์ในการผลิตอิฐมอญ ดังนั้นจึงทำให้ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตอิฐมอญมีค่าต่ำมาก ผลลัพธ์ในส่วนนี้มีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นหากกรณีศึกษาเป็นหน่วยงานผลิตที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตอิฐมอญ

การเปรียบเทียบผลลัพธ์อาจทำได้เพียง 2 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปและผนังอิฐมอญ เนื่องจากข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลการผลิตผนังอิฐมวลเบาทำให้ไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลวิธีการผลิตอิฐมวลเบาจากระบบผลิตเดียวกันกับงานวิจัยในอดีตได้ งานวิจัยผนังอิฐมวลเบาในอดีตประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาด้วยระบบ ALC แต่งานวิจัยนี้ประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาด้วยระบบ CLC โดยระบบ ALC จะมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากรวมถึงเทคโนโลยีการผลิตที่ค่อนข้างทันสมัยและจำนวนขั้นตอนที่มากกว่าระบบ CLC ทำให้มีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานในการสร้างเครื่องจักรขนาดใหญ่และคาร์บอนฟุตพรินต์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเดินเครื่องจักรมีค่าสูงกว่าระบบ CLC ส่งผลให้ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของระบบ ALC มีค่ามากกว่าระบบ CLC

ตารางที่ 8.4 ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป 25.49 m^2 ($kgCO_2e$)		ผนังอิฐมวลเบา 130.82 m^2 ($kgCO_2e$)		ผนังอิฐมอญ 87.94 m^2 ($kgCO_2e$)	
	$kgCO_2e$	%	$kgCO_2e$	%	$kgCO_2e$	%
การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ	1,170.82	68.12	9,255.79	95.41	6,194.60	89.12
การใช้พลังงานในการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรก่อสร้าง	34.74	2.02	37.44	0.39	15.43	0.22
การใช้พลังงานไฟฟ้า	60.23	3.50	37.92	0.39	9.97	0.14
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง	226.26	13.16	134.57	1.39	503.87	7.25
การกำจัดเศษซากปัจจัยนำเข้า	226.76	13.19	234.90	2.42	227.36	3.27
ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	**1,718.81**	**100.00**	**9,700.63**	**100.00**	**6,951.23**	**100.00**
คาร์บอนฟุตพรินต์ต่อพื้นที่ผนัง ($kgCO_2e/m^2$)	**67.43**		**74.15**		**79.05**	

ตารางที่ 8.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอาคารกับงานวิจัยในอดีต

ผนังอาคาร	หน่วยที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	คาร์บอนฟุตพรินต์ ($kgCO_2e$)	
		งานวิจัยในอดีต	งานวิจัยฉบับนี้
ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ลูกบาศก์เมตร (m^3)	638.04	673.68
ผนังอิฐมอญ	ตารางเมตร (m^2)	5.41	5.59
*ผนังอิฐมวลเบา	ตารางเมตร (m^2)	10.79	8.08

8.3 ข้อจำกัดของระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคารโดยใช้ผลจากการศึกษางานวิจัยและแบบจำลองสำหรับประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในอดีต อย่างไรก็ตามผลการศึกษาข้างต้นยังมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน 3 ประการ ได้แก่ การขาดแคลนฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก จำนวนครั้งของการใช้งานสิ่งนำเข้าที่สามารถนำมาวนใช้ได้อีก และระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้าไปยังเป้าหมาย ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การขาดแคลนข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีที่ไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้าบางชนิดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกว่าด้วยการเทียบเคียงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีจากสิ่งนำเข้าในหมวดเดียวกัน

(2) จำนวนครั้งของการใช้งานสิ่งนำเข้าที่สามารถนำมาวนใช้ได้อีก เนื่องจากงานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้ทฤษฎีที่ว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์จากการสร้างเครื่องมือเครื่องจักรจะถูกนำไปหารด้วยจำนวนครั้งที่สามารถนำมาวนใช้งานได้เพื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ต่อหนึ่งครั้งที่ใช้งาน งานวิจัยนี้ได้จำแนกกรณีการใช้งานซ้ำได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีปันส่วนตามจำนวนครั้งการใช้งานจะกำหนดให้สิ่งนำเข้าสามารถใช้งานซ้ำได้เท่ากับ 100 ครั้ง ยกเว้นกรณีของแบบหล่อคอนกรีตจะกำหนดให้มีจำนวนรอบการใช้งานซ้ำได้ 50 ครั้ง และกรณีที่ปันส่วนตามอายุจะกำหนดให้สิ่งนำเข้ามีอายุการใช้งานหนึ่งปีหรือเท่ากับ 525,600 นาที

(3) ระยะทางการขนส่งสิ่งนำเข้า ระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยงานผลิต หน่วยงานติดตั้ง จุดกระจายสินค้า ตัวแทนจำหน่าย และสถานที่อื่นๆจะแตกต่างกันไปตามกรณีศึกษาที่ทำการประยุกต์ใช้ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ค่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางขนส่งซึ่งถือเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งที่จะส่งผลต่อผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์

8.4 แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์สำหรับผนังอาคาร

จากผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ข้างต้นพบว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดสามอันดับ คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตวัสดุ, การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง และการกำจัดเศษซาก โดยพบว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกประเภทการกำจัดเศษซากที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด คือ เศษซากวัสดุที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตและเศษซากวัสดุที่เกิดจากขั้นตอนการขนส่งวัสดุผนัง ดังนั้นการวิเคราะห์แนวทางการลดคาร์บอน

ฟุตพรินต์จึงควรมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสองขั้นตอนข้างต้น หากสามารถทำการควบคุมปริมาณของเสียของสิ่งนำเข้าได้จะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ลดลง

จากการวิเคราะห์แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์โดยการควบคุมปริมาณของเสียของสิ่งนำเข้าสำหรับชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปพบว่าสิ่งนำเข้าที่มีผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด คือ การใช้ปูนซีเมนต์ในขั้นตอนการผสมคอนกรีต งานวิจัยนี้จึงพิจารณาแนวทางการลดปริมาณการสูญเสียของวัสดุที่เกิดในแต่ละขั้นตอน โดยอ้างอิงผลงานวิจัยอัตราส่วนปริมาณการสูญเสียของปูนซีเมนต์จากงานวิจัยในอดีตที่ทำการศึกษาซึ่งมีค่าต่ำสุด, ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 3.71, 4.57 และ 5.24 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์อัตราการสูญเสียของวัสดุควบคู่กับคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเมื่อวิเคราะห์จากอัตราการสูญเสียที่ต่ำที่สุดพบว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าลดลงกว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 134.40 $kgCO_2e$ หรือเท่ากับร้อยละ 7.83 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ หรือหากพิจารณาค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบของการผลิตปูนซีเมนต์พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินต์ขั้นต่ำมีค่าลดลงกว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 104.70 $kgCO_2e$ หรือเท่ากับร้อยละ 6.10 ของคาร์บอนฟุตพรินต์จากการได้มาซึ่งการวัตถุดิบและการผลิตปูนซีเมนต์

จากการวิเคราะห์ผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ของผนังอิฐมวลเบาจำแนกตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกพบว่าคาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดของเสียมีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 2 งานวิจัยนี้จึงพิจารณาแนวทางการลดปริมาณการสูญเสียของวัสดุที่เกิดในแต่ละขั้นตอน เมื่อพิจารณาผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์จากการกำจัดเศษซากพบว่ากิจกรรมการกำจัดเศษซากอิฐมวลเบามีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุดโดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกหักของอิฐมวลเบา คือ การขนย้ายอิฐมวลเบาซึ่งคิดเป็นคาร์บอนฟุตพรินต์ทั้งสิ้น 61.25 $kgCO_2e$ ดังนั้นการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินต์ในส่วนนี้ทำได้โดยการศึกษาแนวทางการลดเศษซากอิฐมวลเบาโดยอ้างอิงผลการวิเคราะห์แนวทางการจัดการขยะและวัสดุก่อสร้างจากงานวิจัยในอดีตซึ่งได้เสนอแนวทางการลดของเสียโดยการจัดให้มีการฝึกอบรมพนักงานและเฝ้าติดตามกระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานให้ถูกวิธีอย่างใกล้ชิด เพื่อให้พนักงานเกิดความตั้งใจที่จะปฏิบัติงานให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลจากการจัดฝึกอบรมให้พนักงานและทำการเปรียบเทียบปริมาณของเสียก่อนและหลังปรับปรุงพบว่าการประยุกต์ใช้แนวทางแก้ไขนี้จะทำให้ปริมาณของเสียจากเศษวัสดุประเภทอิฐบล็อกและอิฐมวลเบาลดลงเหลือร้อยละ 80 หรือเท่ากับ 49.0 $kgCO_2e$

จากการวิเคราะห์แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพรินต์โดยการควบคุมปริมาณของเสียของสิ่งนำเข้าสำหรับผนังอิฐมอญพบว่าสิ่งนำเข้าที่มีผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพรินต์มากที่สุด คือ การกำจัดเศษซากอิฐมอญซึ่งเกิดจากความผิดพลาดระหว่างการขนส่งและกองเก็บ งานวิจัยนี้มุ่งเน้น

พิจารณาแนวทางการลดปริมาณการสูญเสียของวัสดุโดยอ้างอิงผลงานวิจัยอัตราส่วนปริมาณการสูญเสียของอิฐมอญจากงานวิจัยในอดีตที่ทำการศึกษาซึ่งมีค่าต่ำสุด, ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 5.61, 5.89 และ 6.17 ตามลำดับ การบริหารและจัดการปริมาณของเสียจากปูนซีเมนต์จะทำให้สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ 12 $kgCO_2e$ และจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามจำนวนอิฐมอญที่ต้องใช้ในโครงการก่อสร้าง

8.5 สัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ที่มีนัยสำคัญสำหรับกรณีศึกษา

ผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ของกรณีศึกษาจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยใช้ข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่กำหนดให้สามารถพิจารณาตัดรายการที่มีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์ไม่เกินร้อยละ 5 ของผลรวมคาร์บอนฟุตพรินต์ได้ โดยหลังการตัดออกจะต้องทำการเพิ่มสัดส่วน (Scale up) ของคาร์บอนฟุตพรินต์ให้เท่ากับ 100 การประยุกต์ใช้ข้อกำหนดนี้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตและติดตั้งผนังอาคารทำให้สามารถระบุปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดคาร์บอนฟุตพรินต์อย่างมีนัยสำคัญได้ และยังสามารถตัดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ออกได้ การวิเคราะห์ส่วนนี้ทำให้ทราบว่างานวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นที่การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์จากปัจจัยใดรวมถึงการเลือกที่จะไม่ประเมินปัจจัยที่มีคาร์บอนฟุตพรินต์ต่ำ ตารางที่ 8.6 แสดงผลการวิเคราะห์วัสดุที่มีนัยยะสำคัญสำหรับผนังอาคาร 3 ชนิดที่ถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษา

ตารางที่ 8.6 ปัจจัยที่มีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพรินต์อย่างมีนัยยะสำคัญ

ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ		ก่อนพิจารณาตัดปัจจัย		หลังพิจารณาตัดปัจจัย	
		คาร์บอนฟุตพรินต์	ร้อยละ	คาร์บอนฟุตพรินต์	ร้อยละ
กรณีศึกษา: ชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	ปูนซีเมนต์	714.18	41.55	1,247.23	72.57
	เหล็กเส้น	270.10	15.71	471.58	27.43
ผลรวม		984.28	57.26	1,718.81	100.00
กรณีศึกษา: ผนังอิฐมวลเบา	ปูนฉาบสำเร็จรูป	2,891.72	59.81	3,322.89	68.73
	ปูนก่ออิฐมวลเบา	572.44	11.84	657.93	13.61
	ปูนซีเมนต์	485.56	10.04	558.25	11.54
	เสาเอ็นสำเร็จรูป	256.84	5.31	295.74	6.12
ผลรวม		4,206.56	87.00	4,834.81	100.00
กรณีศึกษา: ผนังอิฐมอญ	ปูนฉาบสำเร็จรูป	1,687.87	48.71	2,087.65	60.24
	เสาเอ็นสำเร็จรูป	735.55	21.22	910.21	26.27
	ปูนก่อ	377.73	10.90	467.63	13.49
ผลรวม		2,801.15	80.83	3,465.49	100.00

8.6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

(1) การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตหรือติดตั้งวัสดุก่อสร้างจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากหลายภาคส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสิ่งนำเข้าที่ใช้ในกระบวนการ รวมถึงการศึกษาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์และใช้เครื่องมือสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้มาตรฐานและเหมาะสมกับข้อมูล การศึกษาข้างต้นอย่างละเอียดถี่ถ้วนจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินต์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

(2) ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดของการเข้าถึงข้อมูลล่าสุด คือ การใช้ข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตซึ่งจัดทำและเผยแพร่โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ข้อมูลดังกล่าวยังคงเป็นข้อมูลของปี ค.ศ. 2005 ยังไม่ได้รับการปรับปรุงให้เป็นข้อมูลปัจจุบัน ดังนั้นในอนาคตหากมีการเผยแพร่ข้อมูลที่ใหม่กว่าออกมาจะต้องใช้ข้อมูลตัวนั้นในการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์

(3) การประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาภายใต้ขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การติดตั้งผนังอาคาร รวมถึงการกำจัดเศษซากของสิ่งนำเข้า แต่ไม่ครอบคลุมช่วงการใช้งานโครงสร้างและการซ่อมบำรุงโครงสร้างอาคาร ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจึงสมควรดำเนินการศึกษาคาร์บอนฟุตพรินต์ในช่วงที่เหลือ เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ครอบคลุมตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สถิติพลังงานของประเทศไทย. ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2556): 78.

ชลิตา สุวรรณ. การประเมินวัฏจักรชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 พ.ค. - ส.ค., (2554): 9.

ซีแอลซี โปรลิคอนซิสเตมส์ จำกัด. คอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตมวลเบา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.clcprolicon.com/th/index.php?page=article [2014, November 12].

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. Input-output tables 2005 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nesdb.go.th/Portals/0/eco_datas/account/io/data/2005/I-O%20Book%202005.pdf [2013, January 23].

เสาวลักษณ์ บุญฤทธิ์. คอนกรีตมวลเบา, 2553.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. หลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการใช้เครื่องหมายรับรองคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร, อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, (2553): 33.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. พื้นฐานด้านกลไกการพัฒนาที่สะอาด. 120 หมู่ 3 ชั้น 9 อาคารรวมหน่วยราชการ ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), (2554ก): 32.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, (2554ข): 46.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. คู่มือการพัฒนาโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดด้านชีวมวล. 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, (2554ค): 139.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, (2554ง): 58.

ภาษาอังกฤษ

Abbott, J. What is a Carbon Footprint? (2008): 23.

Acquaye, C. A., Duffy, P. A. and Basu, B. Development of a Construction Sub-Sector Embodied Energy Hybrid Analysis, 2008.

Burnett, J. Forestry Commission Scotland Greenhouse Gas Emissions Comparison - Carbon benefits of Timber in Construction. ECCM Report 196, 2006.

Cass, D. and Mukherjee, A. Calculation of Greenhouse Gas Emissions for Highway Construction Operations by Using a Hybrid Life-Cycle Assessment Approach: Case Study for Pavement Operations. Journal of Construction Engineering and Management 137(11) (2011): 1015-1025.

Clark, W. B., Peter, S. P. and David, A. P. Net energy analysis: handbook for combining process and input-output analysis, 1978.

European Platform on Life Cycle Assessment. Carbon footprint – what it is and how to measure it, 2007.

Greenhouse Gas Protocol. Quantifying the Greenhouse Gas Emissions of Products [online]. Source: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/GHG%20Protocol%20PAS%202050%20Factsheet.pdf [2012, April 4]

Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report [online]. Source: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm [2014, August 22]

ISO 14040. Environmental management — Life cycle assessment —Principles and framework. Österreichisches Normungsinstitut (ON) Heinestraße 38, 1020 Wien, Austrian Standards Institute (2006): 10.

Jiamvoraphong, N. A Study of Cconstruction Processes in Reinforced Concrete Houses Affecting the Environment by Using Carbon footprint Aanlysis. Master's Thesis,

Department of Civil Engineering, Facalty of Engineering, Chulalongkorn University, 2012.

Kokkaew, N. A Study of a Guideline for Minimizing Construction Waste in Thailand. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Facalty of Engineering, Chulalongkorn University, 2002.

Limmeechokchai, B. and Suksuntornsiri, P. Embedded energy and total greenhouse gas emissions in final consumptions within Thailand. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007): 259-281.

Mah, D., Manrique, J. D., Yu, H., Al-Hussein, M. and Nasseri, R. House construction CO2 footprint quantification: a BIM approach. Construction Innovation 11(2) (2011): 18.

Majiswala, S. The evaluation of semi-prefabricated housing in Bangkok Metropolitan and suburbs. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Facalty of Engineering, Chulalongkorn University, 1998.

Melissa, M. B. A Hybrid Life Cycle Assessment Model for Construction Processes. Doctoral dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Facalty of Engineering, University of Pittsburgh, 2007.

Monahan, J. and Powell, J. C. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. Energy and Buildings 43(1) (2011): 179-188.

Padgett, P. J., Steinemann, C. A., Clarke, H. J. and Vandenbergh, P. M. A comparison of carbon calculators. Environmental Impact Assessment Review 28(2-3) (2008): 106-115.

Peng, W. and Pheng, L. S. Managing the Embodied Carbon of Precast Concrete Columns. Journal of Materials in Civil Engineering (2011): 23.

Satish, J. Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques. Journal of Industrial Ecology (2000): 26.

Srichana, P. and Khwalamthan, P. The Reduction Wasted Materials in Concrete Brick Production Process Study: Maha-Anajak Company Limited. Bachelor's Degree,

Department of industrial management, Facalty of Technology, Udonthani Rajabhat University, 2012.

Suh, S., et al. System Boundary Selection in Life-Cycle Inventories Using Hybrid Approaches. Environmental Science & Technology 38(3) (2003): 657-664.

Tanompongseree, N. Analysis of precast concrete element management process in housing projects using case studies. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Facalty of Engineering, Chulalongkorn University, 2006.

Tobarameekul, M. A study of prefabrication systems for building construction in Bangkok Metropolitan area. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Facalty of Engineering, Chulalongkorn University, 1997.

White, S. A. Introduction to BPMN [online]. Source: http://www.omg.org/bpmn/Documents/Introduction_to_BPMN.pdf [2015, February 19]

Wiedmann, T. and Minx, J. A Definition of 'Carbon Footprint' (2008): 11.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

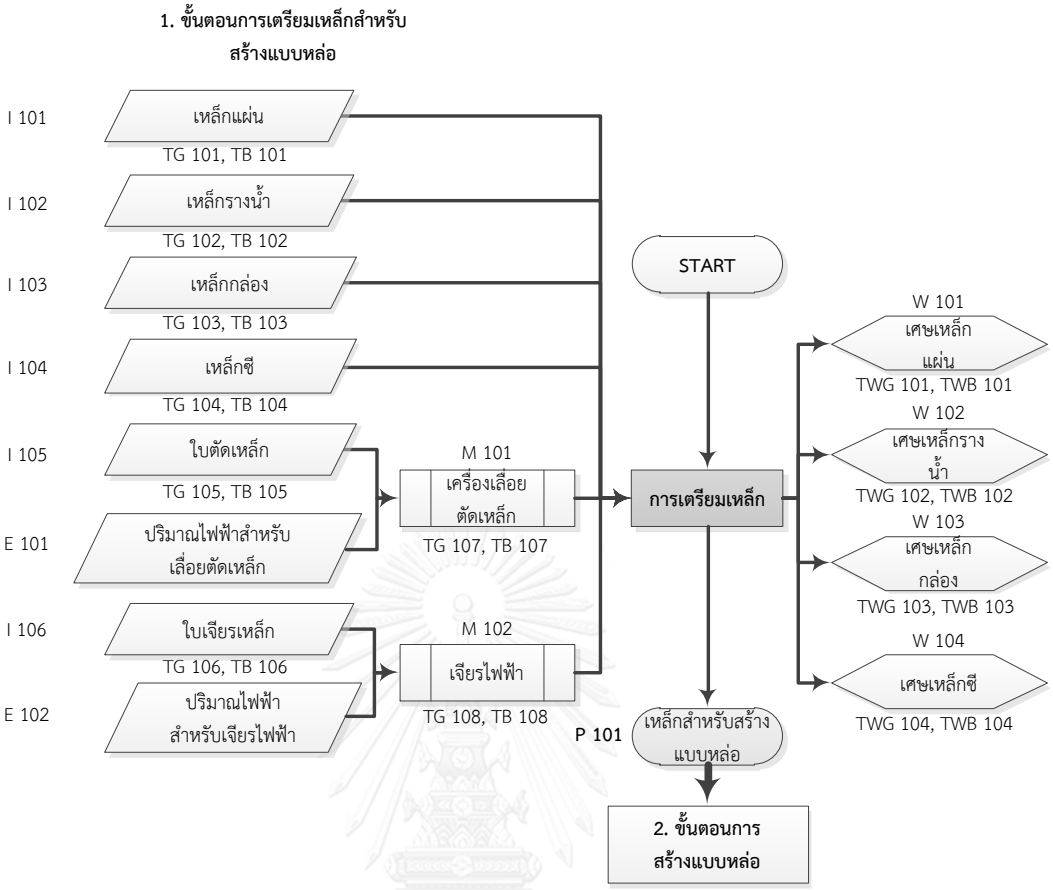
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการแยกย่อยองค์ประกอบของกระบวนการและรายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ ก.1 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสำหรับสร้างแบบหล่อ

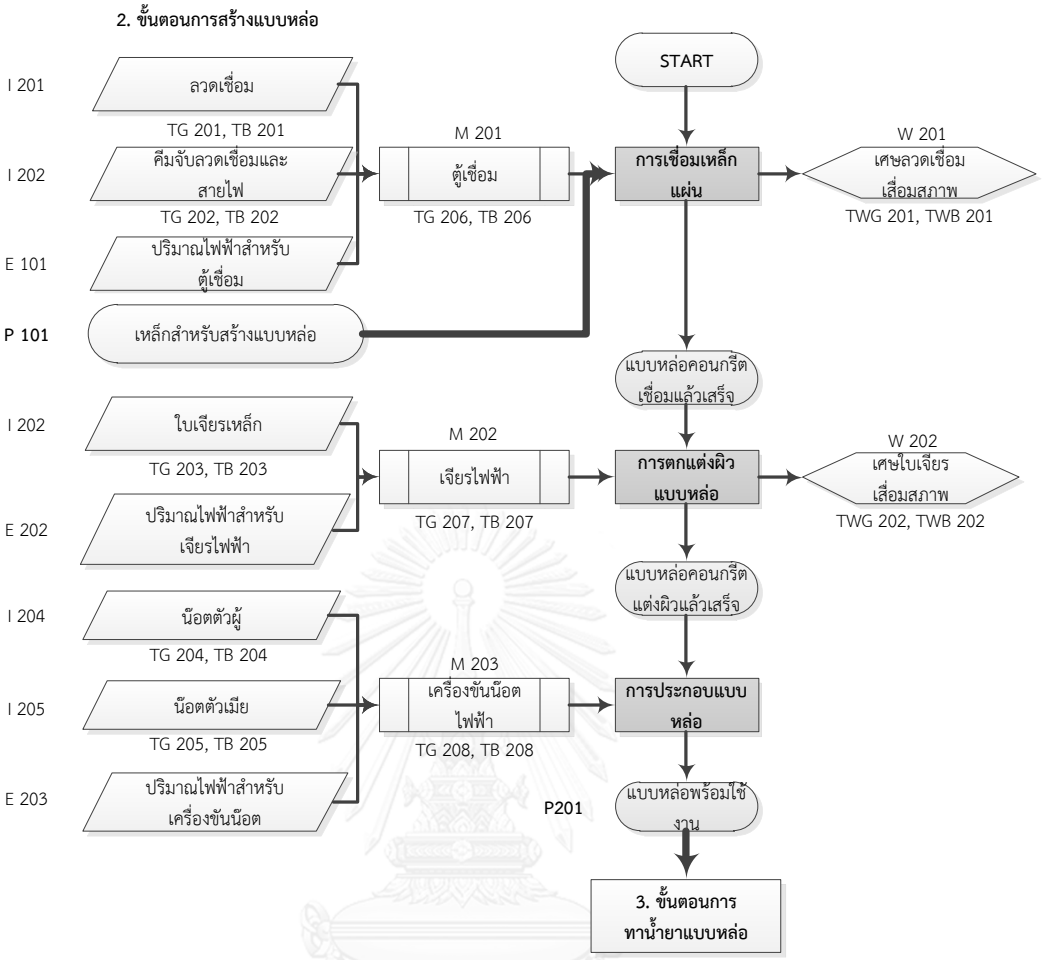
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 101	**วัสดุ**	เหล็กแผ่นสำหรับสร้างแบบเหล็ก	มูลค่า	21,862.64	บาท	-	-	232.01	**4.64**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	50.00	รอบ						
I 102		เหล็กรางน้ำสำหรับสร้างแบบเหล็ก	มูลค่า	2,609.10	บาท	-	-	27.69	**0.55**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	50.00	รอบ						
I 103		เหล็กกล่องสำหรับสร้างแบบเหล็ก	มูลค่า	3,156.84	บาท	-	-	33.50	**0.67**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	50.00	รอบ						
I 104		เหล็กซีสำหรับสร้างแบบเหล็ก	มูลค่า	7,474.19	บาท	-	-	79.32	**1.59**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	50.00	รอบ						
I 105		ใบตัดเหล็ก	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.64	**0.01**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 115
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
I 106		ใบเจียรเหล็ก	มูลค่า	400.00	บาท	-	-	4.24	**0.04**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 115
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องเลื่อยตัดเหล็ก 1.10 kW (50 min)	มูลค่า	17,120.00	บาท	-	-	181.68	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	53.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 102		เจียรไฟฟ้า 0.85 kW (20 min)	มูลค่า	2,890.00	บาท	-	-	30.67	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	22.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 101	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องเลื่อยตัดเหล็ก 1.10 kW (50 min)	กำลังไฟฟ้า	1.10	kW	0.6093	kWh	0.59	**0.59**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	53.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.97	kWh						
E 102		เจียรไฟฟ้า 0.85 kW (20 min)	กำลังไฟฟ้า	0.85	kW	0.6093	kWh	0.19	**0.19**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	22.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.31	kWh						
TG 101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	เหล็กแผ่นสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.0687	tkm.	6.31	**6.31**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	874.51	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 102		เหล็กรางน้ำสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.0687	tkm.	0.75	**0.75**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	104.36	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 103		เหล็กกล่องสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.0687	tkm.	0.81	**0.81**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	112.74	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 104		เหล็กซีสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.0687	tkm.	2.16	**2.16**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	298.97	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 105		บรรทุกใบตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 106		บรรทุกใบเจียรเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 107		บรรทุกเครื่องเลื่อยตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 108		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมเหล็กสร้างแบบหล่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	เหล็กแผ่นสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.5863	km.	3.36	**3.36**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	874.51	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 102		เหล็กรางน้ำสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.5863	km.	0.40	**0.40**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	104.36	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 103		เหล็กกล่องสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.5863	km.	0.43	**0.43**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	112.74	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 104		เหล็กซีสำหรับสร้างแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.5863	km.	1.15	**1.15**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	298.97	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 105		บรรทุกใบตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 106		บรรทุกใบเจียรเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 107		บรรทุกเครื่องเลื่อยตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 108		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 101	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**เหล็กสำหรับสร้างแบบหล่อ**									
W 101	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษเหล็กแผ่น	น้ำหนักของเสีย	7.50	kg.	2.32	kg.	17.40	**17.40**	สมการที่ 5.6	Waste
W 102		เศษเหล็กรางน้ำ	น้ำหนักของเสีย	4.30	kg.	2.32	kg.	9.98	**9.98**	สมการที่ 5.6	Waste
W 103		เศษเหล็กกล่อง	น้ำหนักของเสีย	1.00	kg.	2.32	kg.	2.32	**2.32**	สมการที่ 5.6	Waste
W 104		เศษเหล็กซี	น้ำหนักของเสีย	1.90	kg.	2.32	kg.	4.41	**4.41**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 101	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	เศษเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	7.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 102		เศษเหล็กรางน้ำ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	4.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 103		เศษเหล็กกล่อง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 104		เศษเหล็กซี	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 101	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	เศษเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	7.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 102		เศษเหล็กรางน้ำ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	4.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 103		เศษเหล็กกล่อง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 104		เศษเหล็กซี	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						



ภาพที่ ก.2 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

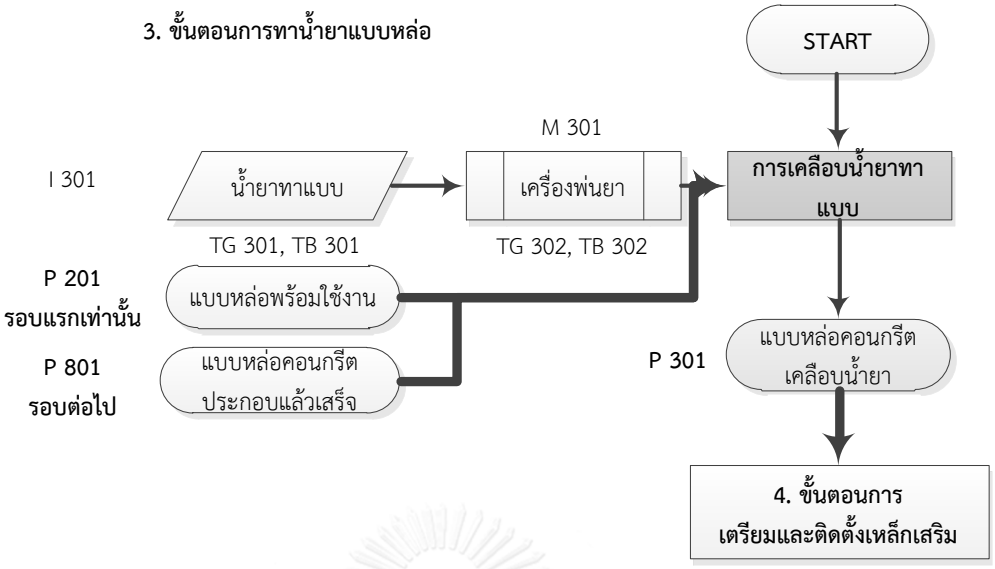
ตารางที่ ก.2 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 201	**วัสดุ**	ลวดเชื่อม (x12)	มูลค่า	126.00	บาท	-	-	1.34	**1.34**	สมการที่ 5.13	Temporary material
I 202		คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 117
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
I 203		ใบเจียรเหล็ก	มูลค่า	400.00	บาท	-	-	4.24	**0.04**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 115
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
I 204		น็อตตัวผู้ /3 baht/25 g	มูลค่า	3.82	บาท	-	-	0.04	**0.00**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	10.00	รอบ						
I 205		น็อตตัวเมีย /1 baht/8 g	มูลค่า	14.97	บาท	-	-	0.16	**0.02**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	10.00	รอบ						
M 201	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (40 min)	มูลค่า	21,990.00	บาท	-	-	233.36	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	37.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 202		เจียรไฟฟ้า 0.85 kW (15 min)	มูลค่า	2,890.00	บาท	-	-	30.67	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	16.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 203		เครื่องขันน็อตไฟฟ้า Makita TW0200 0.38 kW (10 min)	มูลค่า	10,500.00	บาท	-	-	111.43	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	9.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 201	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (40 min)	กำลังไฟฟ้า	1.10	kW	0.6093	kWh	0.41	**0.41**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	37.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.68	kWh						
E 202		เจียรไฟฟ้า 0.85 kW (15 min)	กำลังไฟฟ้า	1.10	kW	0.6093	kWh	0.18	**0.18**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	16.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.29	kWh						
E 203		เครื่องขันน็อตไฟฟ้า Makita TW0200 0.38 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	1.10	kW	0.6093	kWh	0.10	**0.10**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	9.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.17	kWh						
TG 201	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 202		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.04	**0.04**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	20.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 203		บรรทุกใบเจียรเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 204		บรรทุกน็อตตัวผู้	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.02	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 205		บรรทุกน็อตตัวเมีย	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.09	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 206		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.36	**0.36**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 207		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการตัดเหล็กเตรียมแบบหล่อแล้ว								
TG 208		บรรทุกเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการสร้างแบบหล่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 201	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 202		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	20.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 203		บรรทุกใบเจียรเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 204		บรรทุกน็อตตัวผู้	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.02	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 205		บรรทุกน็อตตัวเมีย	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.09	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 206		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 207		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการตัดเหล็กเตรียมแบบหล่อแล้ว								
TB 208		บรรทุกเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 201	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**แบบหล่อคอนกรีตเหล็ก**									
W 201	**ของเสียจากการสร้าง**	เศษลวดเชื่อม	น้ำหนักของเสีย	1.22	kg.	2.32	kg.	2.83	**2.83**	สมการที่ 5.6	Waste
W 202	**ผลิตภัณฑ์**	เศษใบเจียรเหล็ก	น้ำหนักของเสีย	0.20	kg.	2.32	kg.	0.46	**0.46**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 201	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.22	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 202		บรรทุกเศษใบเจียรเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 201	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.22	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 202		บรรทุกเศษใบเจียรเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

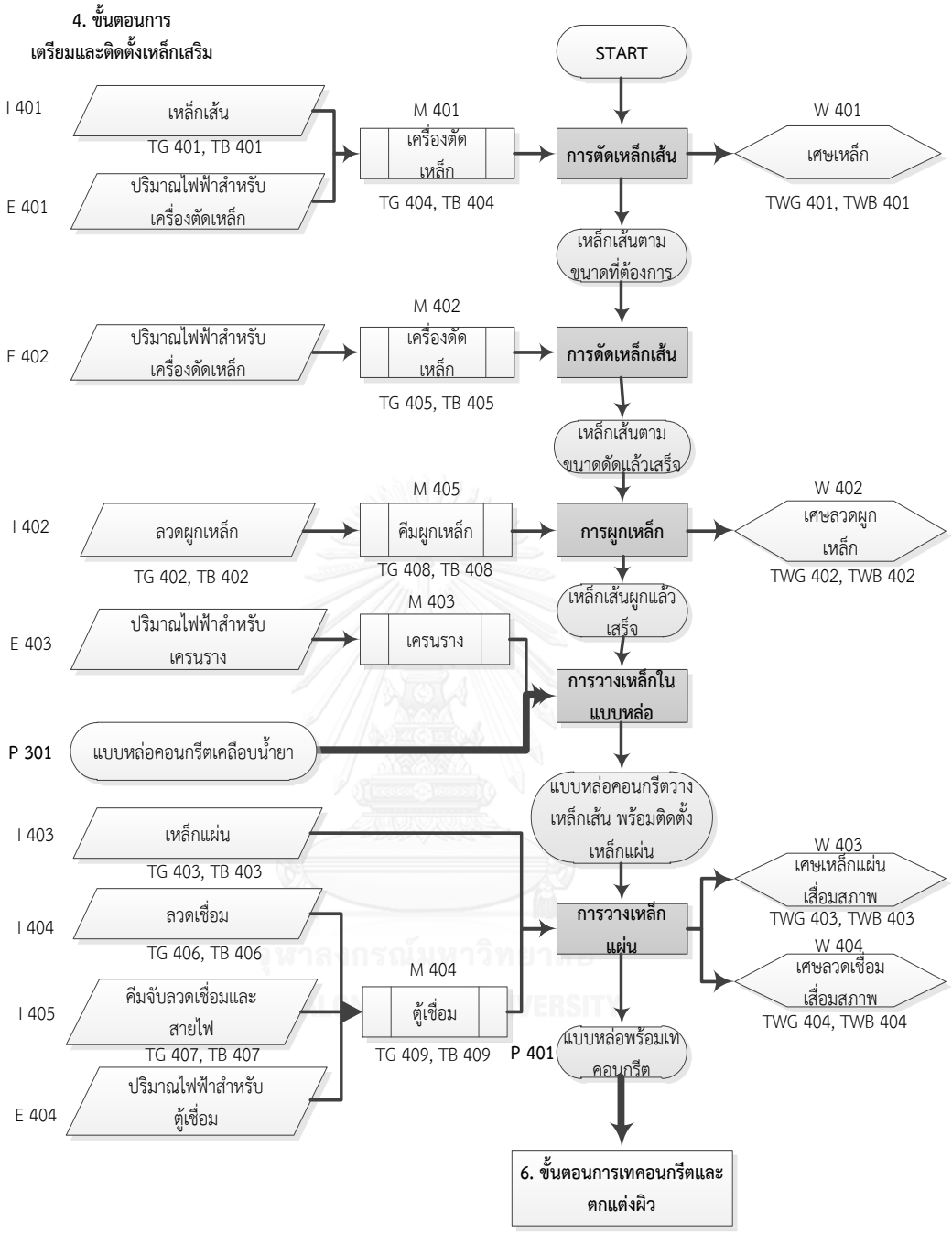
Chulalongkorn University



ภาพที่ ก.3 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ

ตารางที่ ก.3 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทาน้ำยาแบบหล่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 301	**วัสดุ**	น้ำยาทาแบบ sika	น้ำหนัก	1.00	kg.	0.8319	kg.	0.83	**0.83**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 301	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องพ่นยา	มูลค่า	790.00	บาท	-	-	8.38	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 113
			เวลาที่ใช้	18.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
TG 301	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกน้ำยาทาแบบ	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.06	**0.06**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	21.25	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 302		บรรทุกเครื่องพ่นยาไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 301	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกน้ำยาทาแบบ	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	21.25	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 302		บรรทุกเครื่องพ่นยาไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 301	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**แบบหล่อคอนกรีตเหล็กเคลือบน้ำยาทาแบบ**									



ภาพที่ ก.4 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม

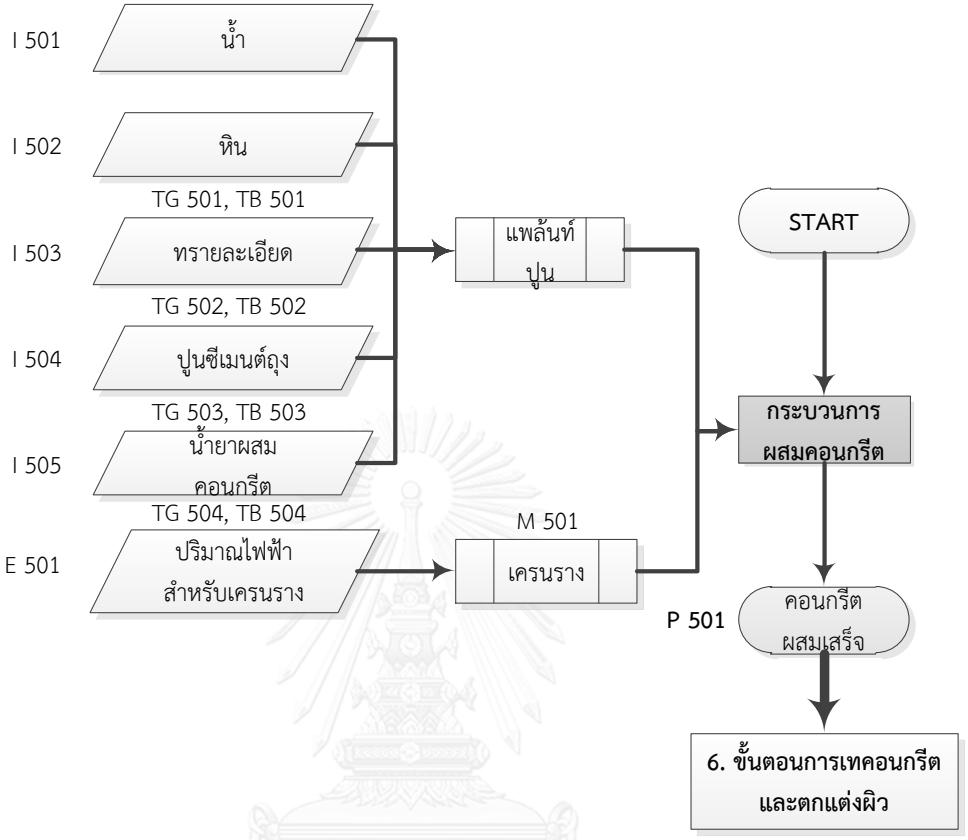
ตารางที่ ก.4 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 401	**วัสดุ**	เหล็กเส้น	น้ำหนักเหล็ก	44.75	kg.	1.7600	kg.	78.76	**78.76**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 402		ลวดผูกเหล็ก	น้ำหนักเหล็ก	0.89	kg.	1.7600	kg.	1.58	**1.58**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 403		เหล็กแผ่น	น้ำหนักเหล็ก	4.71	kg.	1.7600	kg.	8.29	**8.29**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 404		ลวดเชื่อม	น้ำหนักเหล็ก	0.10	kg.	1.7600	kg.	0.18	**0.18**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 405		คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Temporary Material sector 117
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 401	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องตัดเหล็ก 3.7 kW (3 min)	มูลค่า	156,000.00	บาท	-	-	1,655.46	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	9.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 402		เครื่องตัดเหล็ก 3.7 kW (3 min)	มูลค่า	156,000.00	บาท	-	-	1,655.46	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	9.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 403		เครนราง 3.7 kW (15 min)	มูลค่า	360,000.00	บาท	-	-	3,820.30	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	12.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 404		ตู้เชื่อม 13 kW (20 min)	มูลค่า	21,990.00	บาท	-	-	233.36	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	24.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 405		คีมผูกเหล็ก (7)	มูลค่า	350.00	บาท	-	-	26.00	**0.26**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 108
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
E 401	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องตัดเหล็ก 3.7 kW (3 min)	กำลังไฟฟ้า	3.70	kW	0.6093	kWh	0.34	**0.34**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	9.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.56	kWh						
E 402		เครื่องตัดเหล็ก 3.7 kW (3 min)	กำลังไฟฟ้า	3.70	kW	0.6093	kWh	0.34	**0.34**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	9.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.56	kWh						
E 403		เครนราง 3.7 kW (15 min)	กำลังไฟฟ้า	3.70	kW	0.6093	kWh	0.45	**0.45**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	12.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.74	kWh						
E 404		ตู้เชื่อม 13 kW (20 min)	กำลังไฟฟ้า	13.00	kW	0.6093	kWh	3.17	**3.17**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	24.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	5.20	kWh						
TG 401	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเหล็กเส้น	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.0687	tkm.	0.32	**0.32**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	44.75	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 402		บรรทุกลวดผูกเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.89	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 403		บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.0687	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	4.71	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 404		บรรทุกเครื่องตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.1829	tkm.	6.09	**6.09**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	680.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 405		บรรทุกเครื่องตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.1829	tkm.	6.34	**6.34**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	707.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 406		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 407		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
TG 408		บรรทุกคีมผูกเหล็ก (7)	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.95	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 409		บรรทุกตู้เชื่อม	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งเหล็กเสริม

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 401	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเหล็กเส้น	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.5863	km.	0.17	**0.17**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	44.75	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 402		บรรทุกลวดผูกเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.89	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 403		บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	105.00	km.	0.5863	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	4.71	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 404		บรรทุกเครื่องตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.3111	km.	1.48	**1.48**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	680.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 405		บรรทุกเครื่องตัดเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.3111	km.	1.54	**1.54**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	707.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 406		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 407		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
TB 408		บรรทุกคีมผูกเหล็ก (7)	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.95	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 409		บรรทุกตู้เชื่อม	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
P 401	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**เหล็กเสริมผูกสำเร็จของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป**									
W 401	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษเหล็กเส้น	น้ำหนักของเสีย	6.30	kg.	2.32	kg.	14.62	**14.62**	สมการที่ 5.6	Waste
W 402		เศษลวดผูกเหล็ก	น้ำหนักของเสีย	0.10	kg.	2.32	kg.	0.23	**0.23**	สมการที่ 5.6	Waste
W 403		เศษเหล็กแผ่น	น้ำหนักของเสีย	2.10	kg.	2.32	kg.	4.87	**4.87**	สมการที่ 5.6	Waste
W 404		เศษลวดเชื่อม	น้ำหนักของเสีย	0.10	kg.	2.32	kg.	0.23	**0.23**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 401	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษเหล็กเส้น	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	6.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 402		บรรทุกเศษลวดผูกเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 403		บรรทุกเศษเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 404		บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 401	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษเหล็กเส้น	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	6.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 402		บรรทุกเศษลวดผูกเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 403		บรรทุกเศษเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 404		บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

5. ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

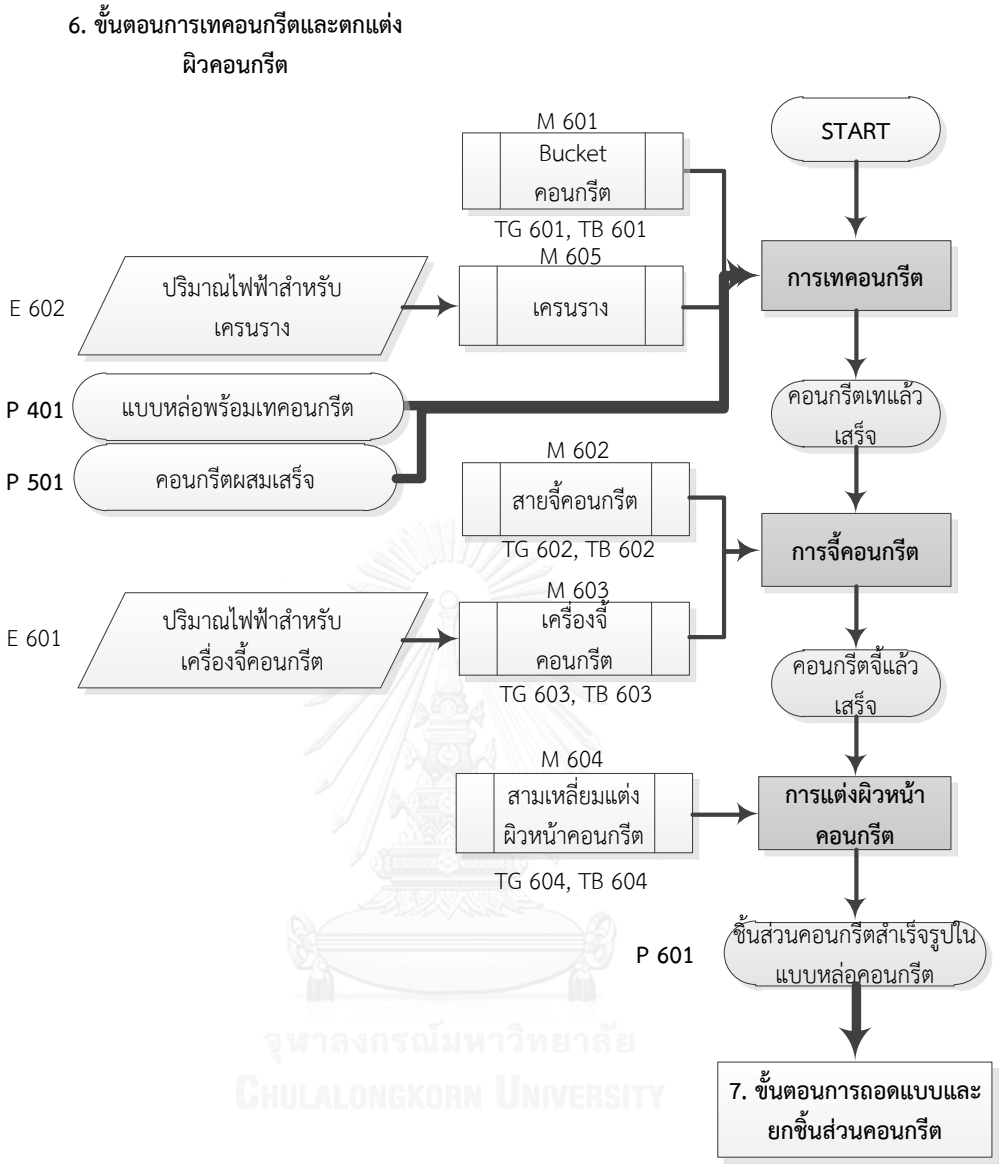


ภาพที่ ก.5 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผสมคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.5 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 501	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	112.05	kg.	0.0264	kg.	2.96	**2.96**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 502		หิน	น้ำหนัก	848.59	kg.	0.0038	kg.	3.22	**3.22**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 503		ทราย	น้ำหนัก	640.93	kg.	0.0037	kg.	2.37	**2.37**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 504		ปูนซีเมนต์	น้ำหนัก	224.10	kg.	1.0380	kg.	232.62	**232.62**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 505		น้ำยาผสมคอนกรีต	น้ำหนัก	1.87	kg.	0.9732	kg.	1.82	**1.82**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 501	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครนราง (ไป-กลับ) (60 min)	มูลค่า	360,000.00	บาท	-	-	3,820.30	**0.41**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	57.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 501	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครนราง (ไป-กลับ) (60 min)	กำลังไฟฟ้า	3.70	kW	0.6093	kWh	2.14	**2.14**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	57.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3.52	kWh						
TG 501	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกหิน	ระยะทางขนส่ง	23.00	km.	0.0687	tkm.	1.34	**1.34**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	848.59	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 502		บรรทุกทราย	ระยะทางขนส่ง	23.00	km.	0.0687	tkm.	1.01	**1.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	640.93	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 503		บรรทุกปูนถุง	ระยะทางขนส่ง	135.00	km.	0.0687	tkm.	2.08	**2.08**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	224.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 504		บรรทุกน้ำยาผสม คอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.87	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 501	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกหิน	ระยะทางขนส่ง	23.00	km.	0.5863	km.	0.72	**0.72**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	848.59	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 502		บรรทุกทราย	ระยะทางขนส่ง	23.00	km.	0.5863	km.	0.54	**0.54**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	640.93	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 503		บรรทุกปูนถุง	ระยะทางขนส่ง	135.00	km.	0.5863	km.	1.11	**1.11**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	224.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 504		บรรทุกน้ำยาผสม คอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.87	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 501	**ผลิตภัณฑ์ของ กระบวนการ**	**คอนกรีตผสมเสร็จพร้อมเท**									

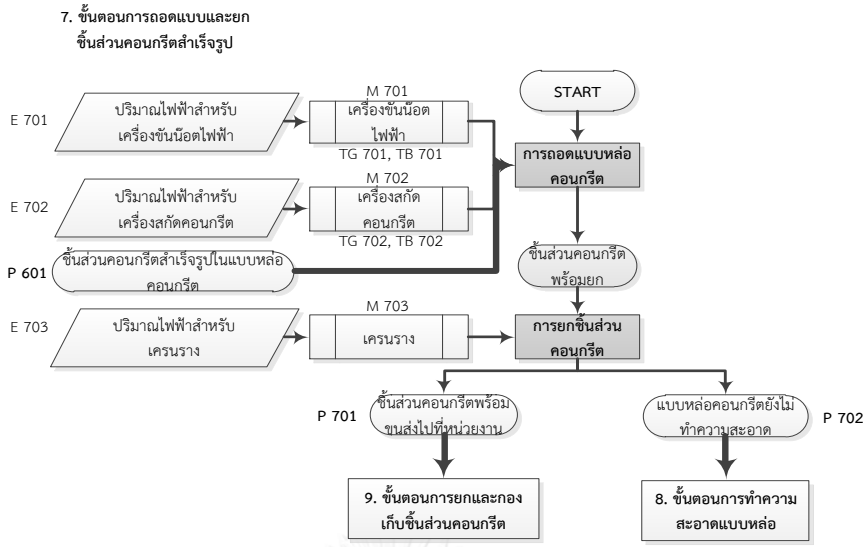


ภาพที่ ก.6 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีตและตกแต่งผิวคอนกรีต

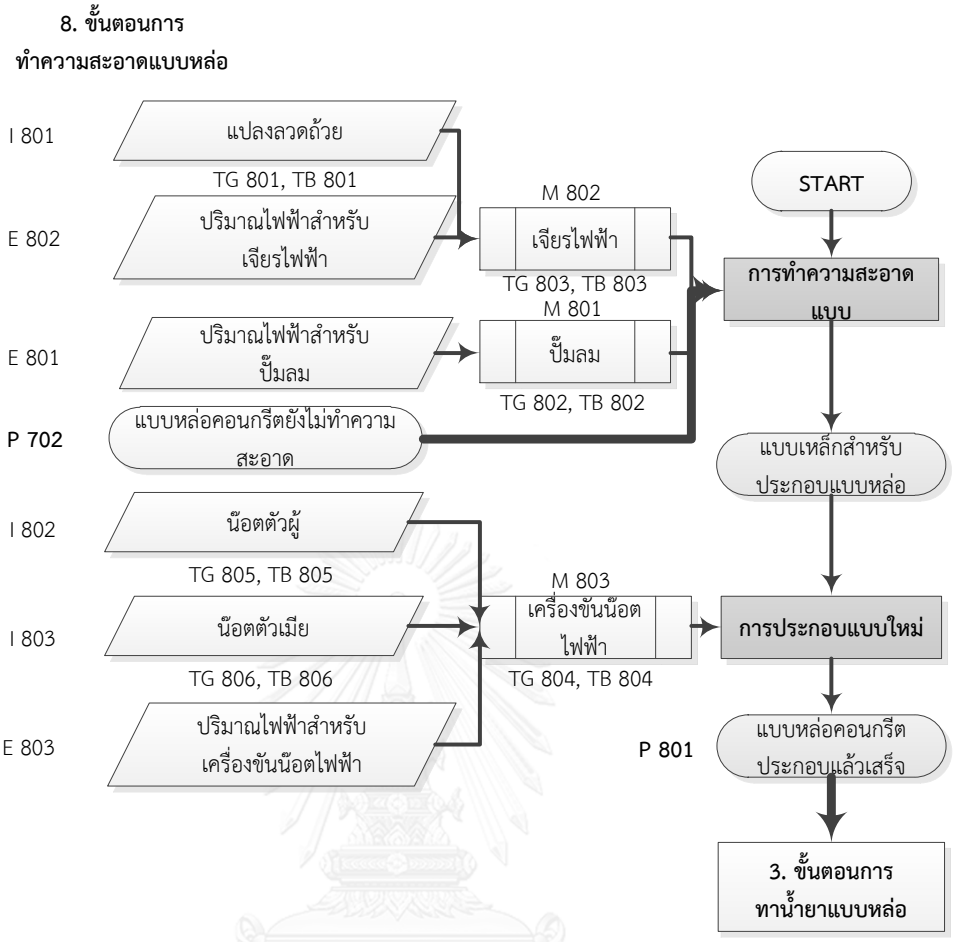
CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 601	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	Bucket Concrete	มูลค่า	48,847.53	บาท	-	-	518.37	**5.18**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 602		สายจี้คอนกรีต	มูลค่า	4,800.00	บาท	-	-	50.94	**0.51**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 603		เครื่องจี้คอนกรีต	มูลค่า	21,600.00	บาท	-	-	229.22	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
		0.28 kW (20 min)	เวลาที่ใช้	19.00	min						
		Mikasa MGX 38-1.5	เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 604		สามเหลี่ยมแต่งผิวหน้า	มูลค่า	320.00	บาท	-	-	3.40	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 605		เครนราง 3.7 kW	มูลค่า	360,000.00	บาท	-	-	3,820.30	**0.20**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
		(30 min)	เวลาที่ใช้	28.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องจี้คอนกรีต	กำลังไฟฟ้า	0.28	kW	0.6093	kWh	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.4	Electricity
		0.28 kW (20 min)	เวลาที่ใช้	19.00	min						
		Mikasa MGX 38-1.5	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.09	kWh						
E 602		เครนราง 3.7 kW	กำลังไฟฟ้า	3.70	kW	0.6093	kWh	1.05	**1.05**	สมการที่ 5.4	Electricity
		(30 min)	เวลาที่ใช้	28.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	1.73	kWh						
TG 601	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกBucket	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.1829	tkm.	3.58	**3.58**	สมการที่ 5.2	Transportation
		Concrete	น้ำหนักบรรทุก	400.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 602		บรรทุกสายจี้คอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	10.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 603		บรรทุกเครื่องจี้คอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.1829	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	10.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่ง	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
		ผิวหน้า	น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 601	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกBucket	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.3111	km.	0.87	**0.87**	สมการที่ 5.3	Transportation
		Concrete	น้ำหนักบรรทุก	400.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 602		บรรทุกสายจี้คอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	10.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 603		บรรทุกเครื่องจี้คอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.	0.3111	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	10.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่ง	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
		ผิวหน้า	น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 601	**ผลิตภัณฑ์ของ กระบวนการ**	**ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่แต่งผิวหน้าแล้วในแบบหล่อคอนกรีตเหล็ก**									



ภาพที่ ก.7 การแยกย่อยองค์ประกอบขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

ตารางที่ ก.7 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและยกชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 701	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องขันน็อตไฟฟ้า	มูลค่า	10,500.00	บาท						
		Makita TW0200	เวลาที่ใช้	7.00	min	-	-	111.43	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
		0.38 kW (10 min)	เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 702		เครื่องสกัดคอนกรีต	มูลค่า	31,000.00	บาท						
		Makita HM1214C	เวลาที่ใช้	5.00	min	-	-	328.97	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
		1.5 kW (5 min)	เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 703		เครนราง 3.7 kW	มูลค่า	360,000.00	บาท						
		(15 min)	เวลาที่ใช้	16.00	min	-	-	3,820.30	**0.12**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 701	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขันน็อตไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	0.38	kW						
		Makita TW0200	เวลาที่ใช้	7.00	min	0.6093	kWh	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.4	Electricity
		0.38 kW (10 min)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.04	kWh						
E 702		เครื่องสกัดคอนกรีต	กำลังไฟฟ้า	1.50	kW						
		Makita HM1214C	เวลาที่ใช้	5.00	min	0.6093	kWh	0.08	**0.08**	สมการที่ 5.4	Electricity
		1.5 kW (5 min)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.13	kWh						
E 703		เครนราง 3.7 kW	กำลังไฟฟ้า	3.70	kW						
		(15 min)	เวลาที่ใช้	16.00	min	0.6093	kWh	0.60	**0.60**	สมการที่ 5.6	Electricity
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.99	kWh						
TG 701	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
TG 702		บรรทุกเครื่องสกัดคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.						
			น้ำหนักบรรทุก	11.70	kg.	0.1829	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 701	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
TB 702		บรรทุกเครื่องสกัดคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	16.20	km.						
			น้ำหนักบรรทุก	11.70	kg.	0.3111	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 701	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป**									
P 702		**แบบหล่อคอนกรีตยังไม่ทำความสะอาด**									

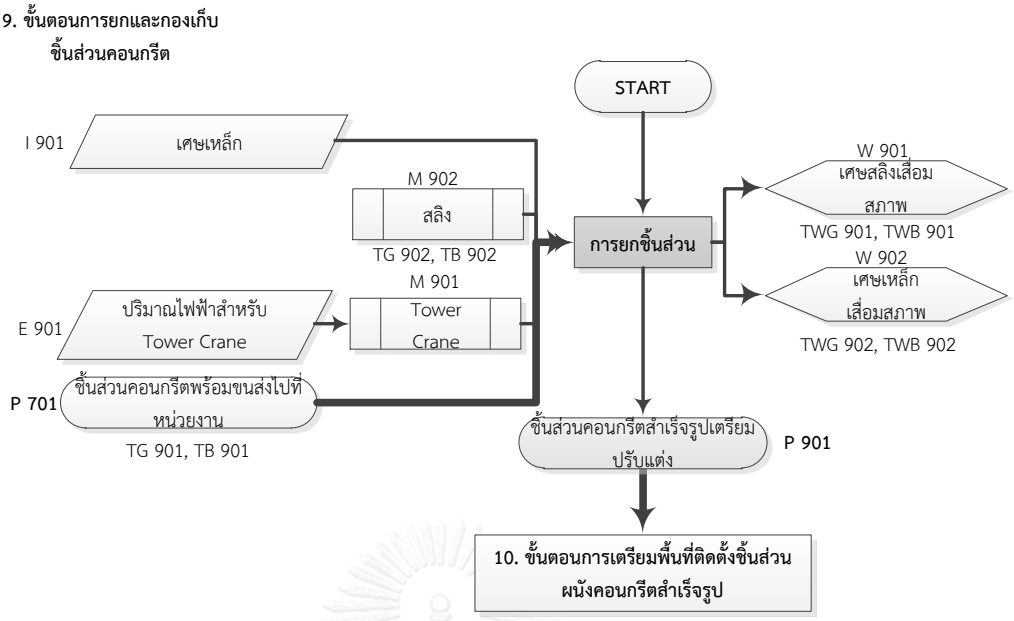


ภาพที่ ก.8 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.8 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการทำความสะอาดแบบหล่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 801	**วัสดุ**	แปลงลวดถ้วย	มูลค่า	120.00	บาท	-	-	1.27	**0.01**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 111
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
I 802		น็อตตัวผู้ /3 baht/25 g	มูลค่า	360.00	บาท	-	-	3.82	**0.38**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	10.00	รอบ						
I 803		น็อตตัวเมีย /1 baht/8 g	มูลค่า	120.00	บาท	-	-	1.27	**0.13**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	10.00	รอบ						
M 801	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ปั๊มลม 2.2 kW (5 min)	มูลค่า	5,500.00	บาท	-	-	58.37	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	8.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 802		เจียรไฟฟ้า 0.85 kW (10 min)	มูลค่า	2,890.00	บาท	-	-	30.67	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	11.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 803		เครื่องขันน็อตไฟฟ้า 0.38 kW (20 min)	มูลค่า	10,500.00	บาท	-	-	111.43	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	18.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 801	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	ปั๊มลม 2.2 kW (5 min)	กำลังไฟฟ้า	2.20	kW	0.6093	kWh	0.18	**0.18**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	8.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.29	kWh						
E 802		เจียรไฟฟ้า 0.85 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	0.85	kW	0.6093	kWh	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	11.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.16	kWh						
E 803		เครื่องขันน็อตไฟฟ้า 0.38 kW (20 min)	กำลังไฟฟ้า	0.38	kW	0.6093	kWh	0.07	**0.07**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	18.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.11	kWh						
TG 801	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกแปลงลวดถ้วย	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 802		บรรทุกปั๊มลม	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.1829	tkm.	0.28	**0.28**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	31.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 803		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการตัดเหล็กเตรียมแบบหล่อแล้ว								
TG 804		บรรทุกเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
TG 805		บรรทุกน็อตตัวผู้	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	30.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 806		บรรทุกน็อตตัวเมีย	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.1829	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	9.60	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 801	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกแปลงลวดถ้วย	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 802		บรรทุกปั๊มลม	ระยะทางขนส่ง	49.00	km.	0.3111	km.	0.07	**0.07**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	31.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 803		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการตัดเหล็กเตรียมแบบหล่อแล้ว								
TB 804		บรรทุกเครื่องขันน็อตไฟฟ้า	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการสร้างแบบหล่อแล้ว								
TB 805		บรรทุกน็อตตัวผู้	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	30.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 806		บรรทุกน็อตตัวเมีย	ระยะทางขนส่ง	9.60	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	9.60	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 801	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**แบบหล่อคอนกรีตเหล็กพร้อมใช้งาน**									

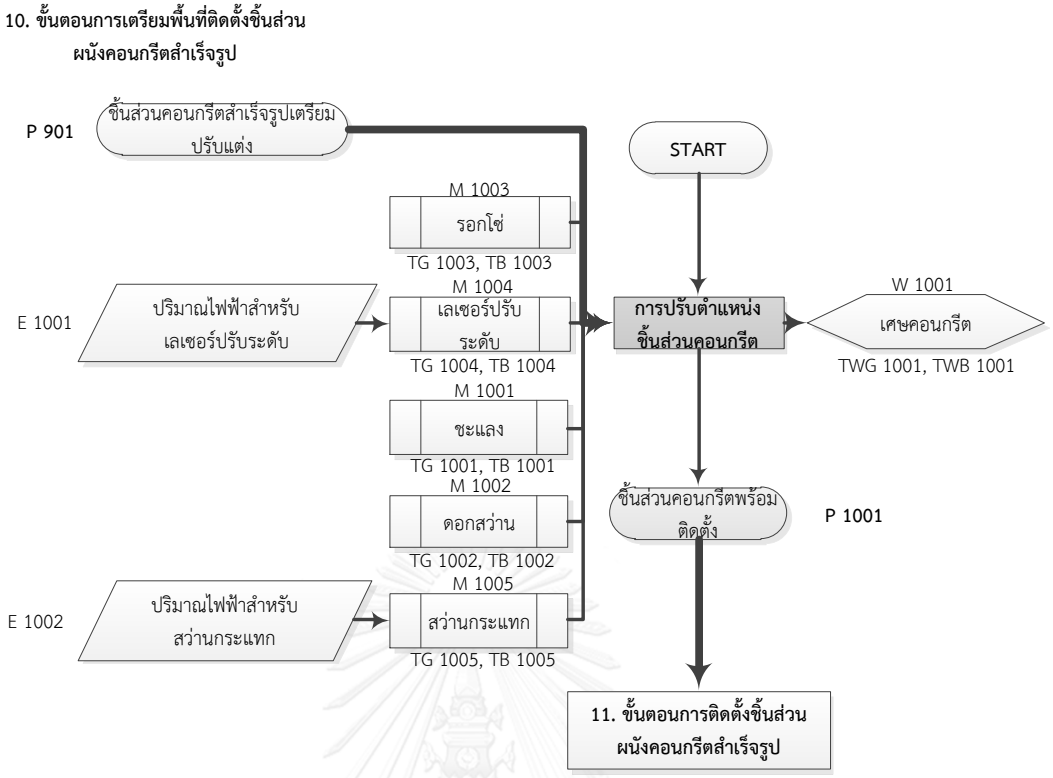


ภาพที่ ก.9 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.9 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการยกและกองเก็บชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 901	**วัสดุ**	เศษเหล็กสำหรับแขวน	มูลค่า	100.00	บาท	-	-	1.06	**1.06**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
M 901	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	Tower crane 4 kW (10 min)	มูลค่า	#########	บาท	-	-	53,059.73	**1.41**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	14.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 902		สลิง	มูลค่า	1,000.00	บาท	-	-	10.61	**0.11**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
E 901	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	Tower crane 4 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	4.00	kW	0.6093	kWh	0.57	**0.57**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	14.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.93	kWh						
TG 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกคนงาน	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.19	**0.19**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	260.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 902		บรรทุกสลิง	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 903		บรรทุกชิ้นส่วนผนัง ค.ส.ล.	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.	0.0687	tkm.	7.99	**7.99**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1,661.17	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกคนงาน	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	260.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 902		บรรทุกสลิง	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 903		บรรทุกชิ้นส่วนผนัง ค.ส.ล.	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.	0.5863	km.	4.26	**4.26**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1,661.17	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 901	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ชิ้นส่วนคอนกรีตแขวนพร้อมปรับแต่ง**									
W 901	**ของเสียจากการสร้าง**	เศษสลิงเสื่อมสภาพ	น้ำหนักของเสีย	0.80	kg.	2.32	kg.	1.86	**1.86**	สมการที่ 5.6	Waste
W 902	**ผลิตภัณฑ์**	เศษเหล็กเสื่อมสภาพ	น้ำหนักของเสีย	1.00	kg.	2.32	kg.	2.32	**2.32**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษสลิงเสื่อมสภาพ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 902		บรรทุกเศษเหล็กเสื่อมสภาพ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษสลิงเสื่อมสภาพ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 902		บรรทุกเศษเหล็กเสื่อมสภาพ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						



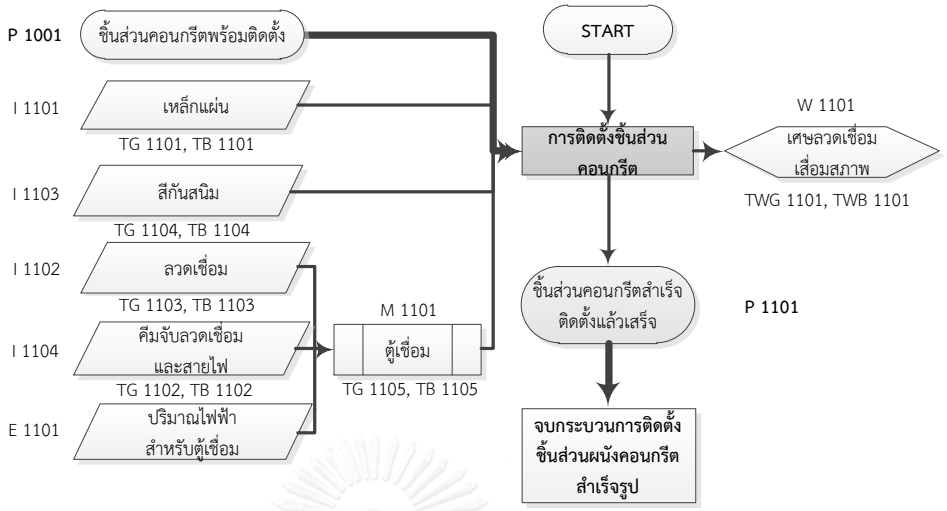
ภาพที่ ก.10 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.10 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 1001	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ชะแลง	มูลค่า	700.00	บาท	-	-	7.43	**0.07**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 1002		ดอกสว่าน 12 mm.	มูลค่า	52.00	บาท	-	-	0.55	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 1003		รอกโซ่ vital 1.5 ton	มูลค่า	3,850.00	บาท	-	-	40.86	**0.41**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 106
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 1004		เลเซอร์ระดับอัตโนมัติ 1 mW (5 min)	มูลค่า	8,550.00	บาท	-	-	90.73	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	11.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 1005		สว่านกระแทก 0.6 kW (10 min)	มูลค่า	2,590.00	บาท	-	-	27.48	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	12.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 1001	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เลเซอร์ระดับอัตโนมัติ 1 mW (5 min)	กำลังไฟฟ้า	0.00	kW	0.6093	kWh	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	11.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.00	kWh						
E 1002		สว่านกระแทก 0.6 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	0.60	kW	0.6093	kWh	0.07	**0.07**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	12.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.12	kWh						
TG 1001	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกชะแลง	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1002		บรรทุกดอกสว่าน	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.41	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1003		บรรทุกรอกโซ่	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	15.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1004		บรรทุกเลเซอร์ระดับอัตโนมัติ	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.25	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1005		บรรทุกสว่านกระแทก	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.60	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 1001	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกชะแลง	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1002		บรรทุกดอกสว่าน	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.41	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1003		บรรทุกรอกโซ่	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	15.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1004		บรรทุกเลเซอร์ระดับอัตโนมัติ	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.25	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1005		บรรทุกสว่านกระแทก	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.60	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 1001	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ชิ้นส่วนคอนกรีตปรับแต่งตำแหน่งพร้อมติดตั้ง**									
W 1001	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษคอนกรีต	น้ำหนักของเสีย	0.15	kg.	2.32	kg.	0.35	**0.35**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 1001	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.15	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 1001	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.15	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

11. ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีต
สำเร็จรูป



ภาพที่ ก.11 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

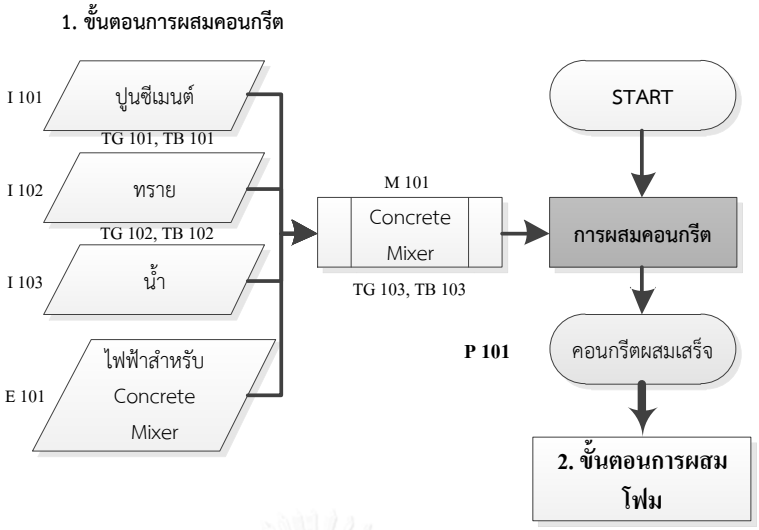
ตารางที่ ก.11 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 1101	**วัสดุ**	เหล็กแผ่น	น้ำหนัก	8.64	kg.	1.7600	kg.	15.20	**15.20**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 1102		ลวดเชื่อม	น้ำหนัก	0.80	kg.	1.7600	kg.	1.41	**1.41**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 1103		สีกันสนิม	น้ำหนัก	0.10	kg.	2.3200	kg.	0.23	**0.23**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 1104		คีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Temporary Material sector 117
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 1101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	มูลค่า	21,990.00	บาท	-	-	233.36	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 1101	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	ตู้เชื่อม 13 kW (35 min)	กำลังไฟฟ้า	13.00	kW	0.6093	kWh	4.62	**4.62**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	7.58	kWh						
TG 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.	0.1829	tkm.	0.11	**0.11**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	8.64	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1104		บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.1829	tkm.	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 1101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกเหล็กแผ่น	ระยะทางขนส่ง	70.00	km.	0.3111	km.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	8.64	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1102		บรรทุกคีมจับลวดเชื่อมและสายไฟ	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.3111	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1103		บรรทุกลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.80	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1104		บรรทุกสีกันสนิม	ระยะทางขนส่ง	2.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 1105		บรรทุกตู้เชื่อม	ระยะทางขนส่ง	4.00	km.	0.3111	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	120.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 1101	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปติดตั้งแล้วเสร็จ**									
W 1101	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษลวดเชื่อม	น้ำหนักของเสีย	0.17	kg.	2.32	kg.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 1101	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.17	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 1102	**การขนส่งของเสียไปกำจัดเที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษลวดเชื่อม	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.17	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการแยกย่อยองค์ประกอบของกระบวนการและรายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

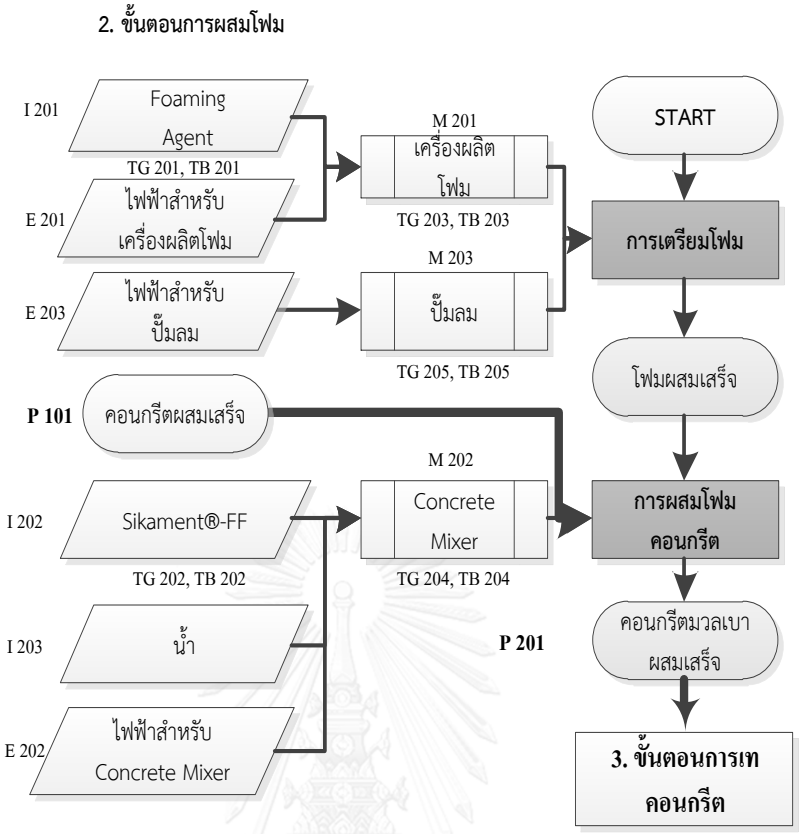
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ ข.1 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผสมคอนกรีต

ตารางที่ ข.1 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมคอนกรีต

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 101	**วัสดุ**	Portland Cement	น้ำหนัก	467.78	kg.	1.0380	kg.	485.56	**485.56**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 102		ทราย	น้ำหนัก	383.13	kg.	0.0037	kg.	1.42	**1.42**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 103		น้ำ	น้ำหนัก	69.80	kg.	0.0264	kg.	1.84	**1.84**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	Concrete Mixer bergin_bm250s 5 HP KAMA 220V	มูลค่า	90,500.00	บาท	-	-	960.38	**0.20**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	110.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 101	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	Concrete Mixer bergin_bm250s 5 HP KAMA 220V	กำลังไฟฟ้า	3.68	kW	0.6093	kWh	4.11	**4.11**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	110.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	6.74	kWh						
TG 101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุก Portland Cement	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.0687	tkm.	2.16	**2.16**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	467.78	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 102		บรรทุกทราย	ระยะทางขนส่ง	84.20	km.	0.0687	tkm.	2.22	**2.22**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	383.13	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 103		บรรทุก Concrete Mixer	ระยะทางขนส่ง	84.20	km.	0.1829	tkm.	11.70	**11.70**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	760.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุก Portland Cement	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.5863	km.	1.15	**1.15**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	467.78	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 102		บรรทุกทราย	ระยะทางขนส่ง	84.20	km.	0.5863	km.	1.18	**1.18**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	383.13	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 103		บรรทุก Concrete Mixer	ระยะทางขนส่ง	84.20	km.	0.3111	km.	2.84	**2.84**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	760.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 101	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**คอนกรีตผสมเสร็จ**									



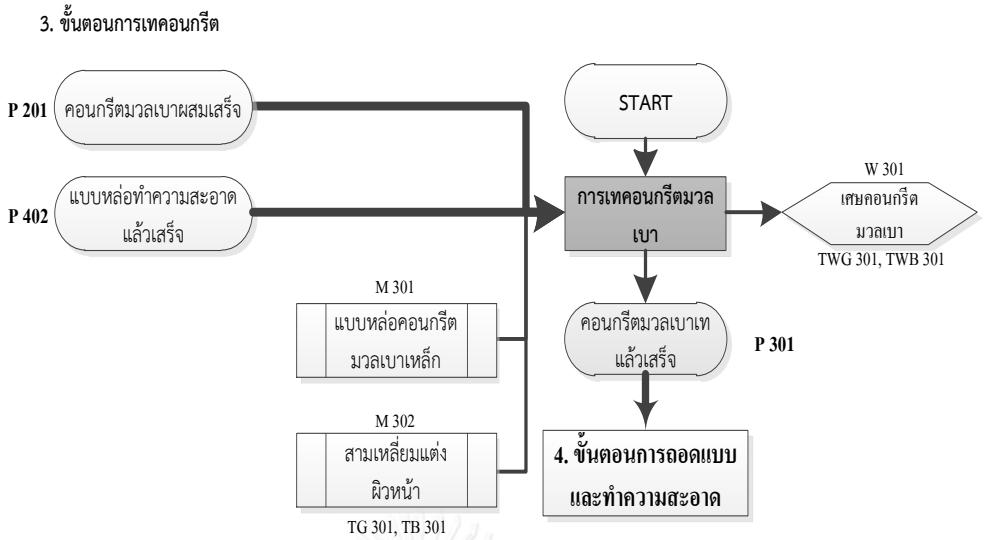
ภาพที่ ข.2 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผสมโฟม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.2 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผสมโฟม

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 201	**วัสดุ**	Foaming Agent	น้ำหนัก	2.33	kg.	0.7550	kg.	1.76	**1.76**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 202		Sikament®-FF	น้ำหนัก	2.33	kg.	0.0366	kg.	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 203		น้ำ	น้ำหนัก	66.19	kg.	0.0264	kg.	1.75	**1.75**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 201	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องผลิตโฟม G-PRO102	มูลค่า	100,000.00	บาท	-	-	1,061.19	**0.06**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 202		Concrete Mixer bergin_bm250s 5 HP KAMA 220V	มูลค่า	90,500.00	บาท	-	-	960.38	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	50.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 203		ปั๊มลม (IOA) 2.2 kW (5 min)	มูลค่า	5,500.00	บาท	-	-	58.37	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 201	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องผลิตโฟม G-PRO102	กำลังไฟฟ้า	2.21	kW	0.6093	kWh	0.67	**0.67**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	1.10	kWh						
E 202		Concrete Mixer bergin_bm250s 5 HP KAMA 220V	กำลังไฟฟ้า	3.68	kW	0.6093	kWh	1.87	**1.87**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	50.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3.06	kWh						
E 203		ปั๊มลม (IOA) 2.2 kW (5 min)	กำลังไฟฟ้า	2.20	kW	0.6093	kWh	0.67	**0.67**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	1.10	kWh						
TG 201	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุก Foaming Agent	ระยะทางขนส่ง	64.50	km.	0.1829	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.33	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 202		บรรทุก Sikament®-FF	ระยะทางขนส่ง	39.50	km.	0.1829	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.33	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 203		บรรทุกเครื่องผลิตโฟม G-PRO102	ระยะทางขนส่ง	54.10	km.	0.1829	tkm.	0.74	**0.74**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	75.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 204		บรรทุก Concrete Mixer	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการผสมคอนกรีตแล้ว								
TG 205		บรรทุกปั๊มลม	ระยะทางขนส่ง	48.00	km.	0.1829	tkm.	0.27	**0.27**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	31.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 201	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุก Foaming Agent	ระยะทางขนส่ง	64.50	km.	0.3111	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.33	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 202		บรรทุก Sikament®-FF	ระยะทางขนส่ง	39.50	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.33	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 203		บรรทุกเครื่องผลิตโฟม G-PRO102	ระยะทางขนส่ง	54.10	km.	0.3111	km.	0.18	**0.18**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	75.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 204		บรรทุก Concrete Mixer	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการผสมคอนกรีตแล้ว								
TB 205		บรรทุกปั๊มลม	ระยะทางขนส่ง	48.00	km.	0.3111	km.	0.27	**0.27**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	31.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
P 201	**ผลิตภัณฑ์ของ กระบวนการ**	**คอนกรีตผสมโฟมแล้วเสร็จ**									

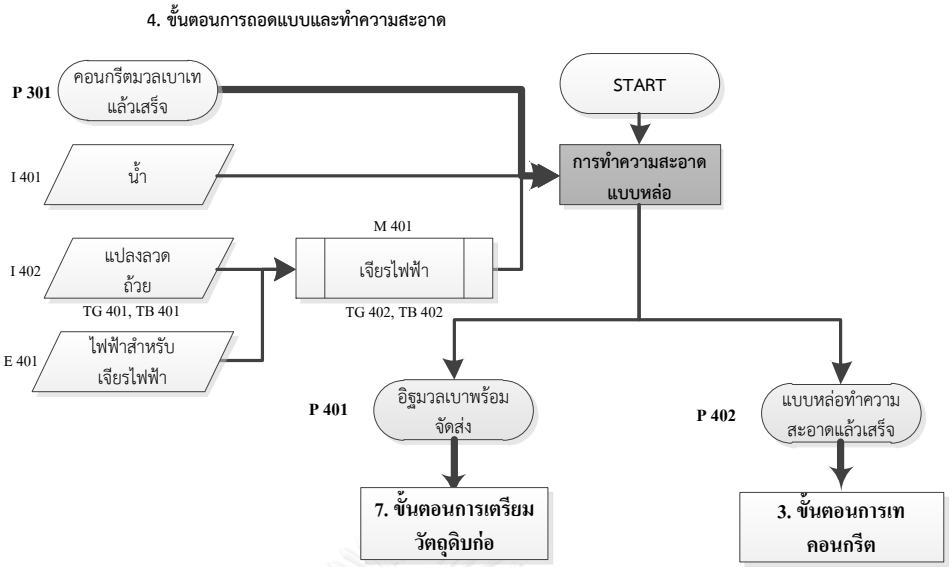
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ ข.3 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเทคอนกรีต

ตารางที่ ข.3 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเทคอนกรีต

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 301	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	แบบหล่อคอนกรีตมวลเบาเหล็ก (25 ชิ้น)	มูลค่า	20,000.00	บาท	-	-	212.24	**10.61**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			จำนวนครั้งที่ใช้	5.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 302		สามเหลี่ยมแต่งผิวหน้า	มูลค่า	320.00	บาท	-	-	3.40	**0.17**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	5.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
TG 301	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวหน้า	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 301	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวหน้า	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 301	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**อิฐมวลเบาแต่งผิวแล้วเสร็จ**									
W 301	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษคอนกรีตมวลเบา	น้ำหนักของเสีย	0.40	kg.	2.32	kg.	0.93	**0.93**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 301	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษคอนกรีตที่ตกระหว่างเท	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0689	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.40	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 301	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษคอนกรีตที่ตกระหว่างเท	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5412	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.40	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

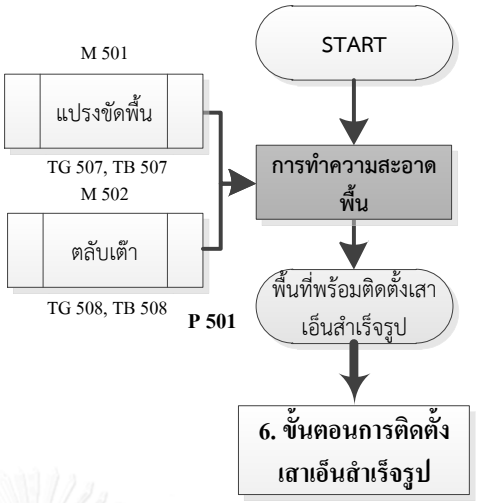


ภาพที่ ข.4 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาด

ตารางที่ ข.4 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการถอดแบบและทำความสะอาด

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 401	วัสดุ	น้ำ	น้ำหนัก	2.00	kg.	0.0264	kg.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 402		แปลงลวดถ้วย	มูลค่า	120.00	บาท	-	-	1.27	**0.06**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 111
			จำนวนครั้งที่ใช้	5.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 401	เครื่องมือและเครื่องจักร	เจียรไฟฟ้า (IOA) 0.85 kW (10 min)	มูลค่า	2,890.00	บาท	-	-	30.67	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	50.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 401	การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร	เจียรไฟฟ้า (IOA) 0.85 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	0.85	kW	0.6093	kWh	0.43	**0.43**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	50.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.71	kWh						
TG 401	การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร	บรรทุกแปลงลวดถ้วย	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 402		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.1829	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 401	การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร	บรรทุกแปลงลวดถ้วย	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 402		บรรทุกเจียรไฟฟ้า	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 401	ผลิตภัณฑ์ของ	อิฐมวลเบาพร้อมจัดส่ง									
P 402	กระบวนการ	แบบหล่อทำความสะอาดแล้วเสร็จ									

5. ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา

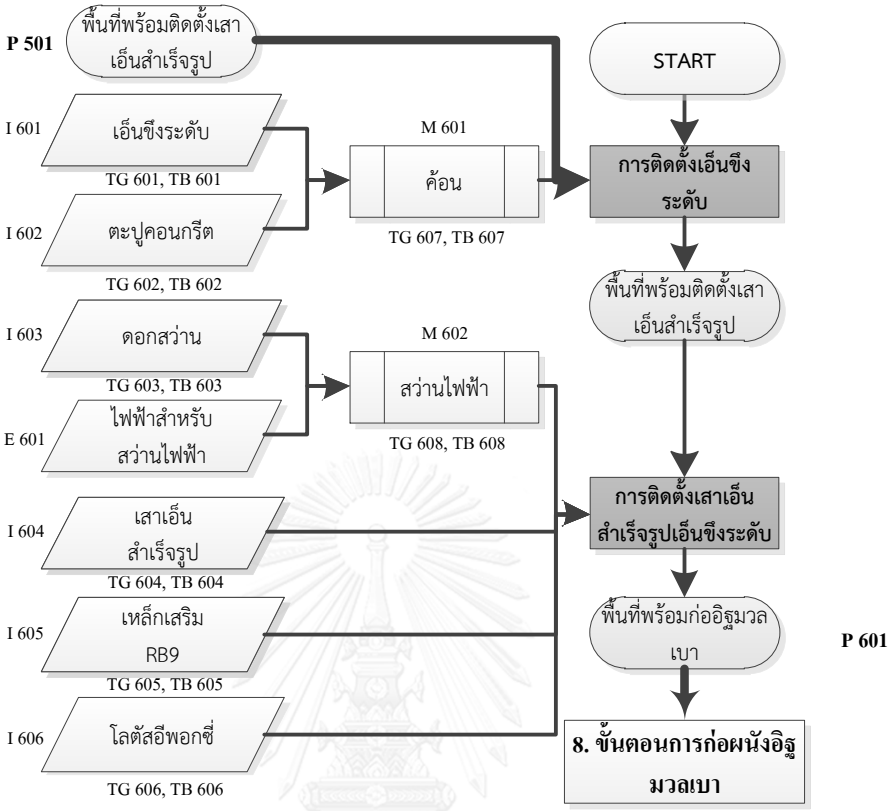


ภาพที่ ข.5 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา

ตารางที่ ข.5 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่ออิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 501	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	แปรงขัดพื้น	มูลค่า	65.00	บาท	-	-	0.69	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 087
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 502		ตลับเต้า	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.64	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 092
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
TG 501	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกแปรงขัดพื้น	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 502		บรรทุกตลับเต้า	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 501	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกแปรงขัดพื้น	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 502		บรรทุกตลับเต้า	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 501	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**พื้นที่พร้อมติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป**									

6. ขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป



ภาพที่ ข.6 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

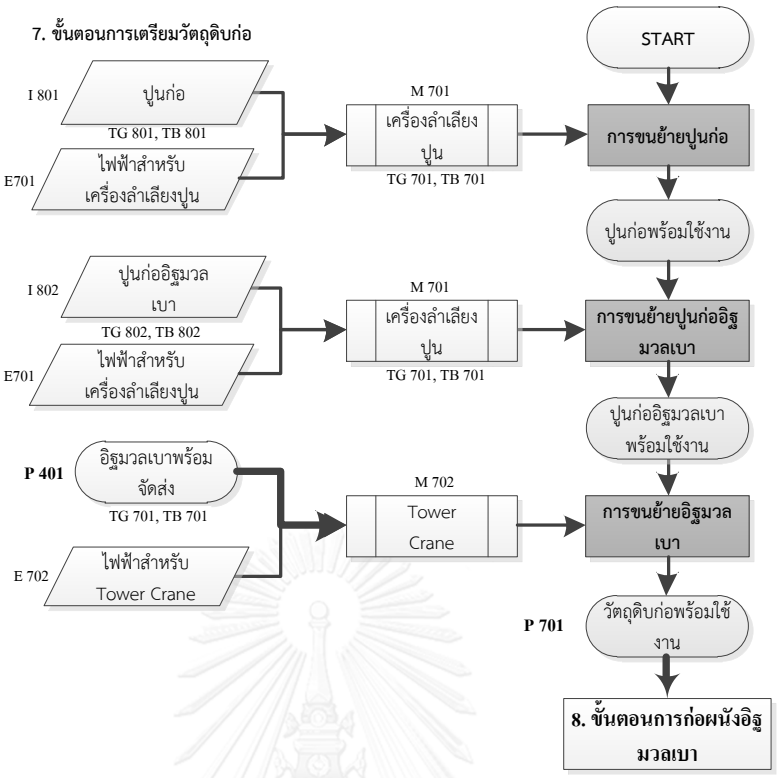
ตารางที่ ข.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 601	**วัสดุ**	เอ็นขึงระดับ	มูลค่า	65.00	บาท	-	-	0.69	**0.69**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 098
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
I 602		ตะปูคอนกรีต	มูลค่า	88.00	บาท	-	-	0.93	**0.93**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
I 603		ดอกสว่าน 12 mm.	มูลค่า	52.00	บาท	-	-	0.55	**0.01**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
I 604		เสาเอ็นสำเร็จรูป	น้ำหนักเหล็ก	122.16	kg.	1.7600	kg.	215.01	**215.01**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
			น้ำหนักคอนกรีต	40.30	kg.	1.0380	kg.	41.83	**41.83**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 605		เหล็กเสริม RB 9	น้ำหนักเหล็ก	5.69	kg.	1.7600	kg.	10.01	**10.01**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 606		โลตัส อีพอกซี่	น้ำหนัก	2.00	kg.	6.6860	kg.	13.37	**13.37**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 601	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ค้อน	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 108
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 602		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F (IOA) 0.78 kW (30 min)	มูลค่า	5,850.00	บาท	-	-	62.08	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F (IOA) 0.78 kW (30 min)	กำลังไฟฟ้า	0.78	kW	0.6093	kWh	0.24	**0.24**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.39	kWh						
TG 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเอ็นขึงระดับ	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.05	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 602		บรรทุกตะปูคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.53	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 603		บรรทุกดอกสว่าน 12 mm.	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.41	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 604		บรรทุกเสาเอ็นสำเร็จรูป	ระยะทางขนส่ง	45.60	km.	0.0687	tkm.	0.51	**0.51**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	162.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 605		บรรทุกเหล็กเสริม RB 9	ระยะทางขนส่ง	102.00	km.	0.0687	tkm.	0.04	**0.04**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.69	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 606		บรรทุกโลตัส อีพอกซี่	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 607		บรรทุกค้อน	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 608		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 601	การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร	บรรทุกเอ็นขึงระดับ	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	0.00	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.05	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 602		บรรทุกตะปูคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	0.00	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.53	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 603		บรรทุกดอกสว่าน 12 mm.	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	0.00	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.41	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 604		บรรทุกเสาเอ็นสำเร็จรูป	ระยะทางขนส่ง	45.60	km.	0.5863	km.	0.27	0.27	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	162.46	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 605		บรรทุกเหล็กเสริม RB 9	ระยะทางขนส่ง	102.00	km.	0.5863	km.	0.02	0.02	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.69	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 606		บรรทุกโลตัส อีพอกซี่	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	0.00	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 607		บรรทุกค้อน	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	0.00	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 608		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	0.00	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 601	ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ	พื้นที่ติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูปพร้อมก่อ									

CHULALONGKORN UNIVERSITY

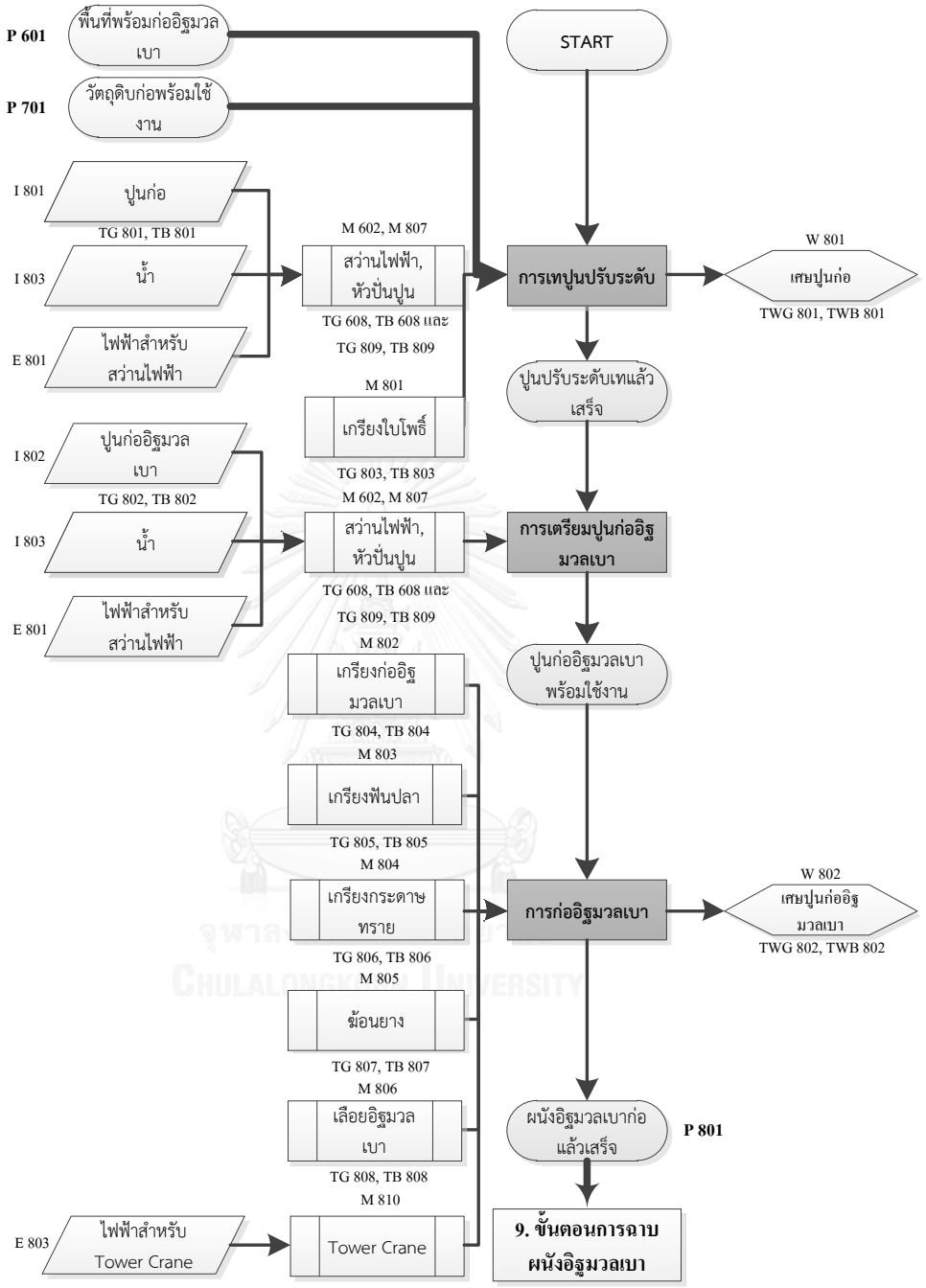


ภาพที่ ข.7 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ

ตารางที่ ข.7 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 701	เครื่องมือและเครื่องจักร	เครื่องลำเลียงปูน IOA 7.15 kW (20 min)	มูลค่า	99,277.50	บาท	-	-	1,053.53	**0.14**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	70.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 702		Tower crane (IOA) 4 kW (10 min)	มูลค่า	##########	บาท	-	-	53,059.73	**3.53**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 701	การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร	เครื่องลำเลียงปูน IOA 7.15 kW (20 min)	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW	0.6093	kWh	5.08	**5.08**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	70.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	8.34	kWh						
E 702		Tower crane (IOA) 4 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	4.00	kW	0.6093	kWh	1.42	**1.42**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	2.33	kWh						
TG 701	การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร	ก้อนอิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	45.60	km.	0.0687	tkm.	9.22	**9.22**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,942.27	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 702		เครื่องลำเลียงปูน	ระยะทางขนส่ง	26.20	km.	0.0687	tkm.	0.49	**0.49**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 701	การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร	ก้อนอิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	45.60	km.	0.5863	km.	4.92	**4.92**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,942.27	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 702		เครื่องลำเลียงปูน	ระยะทางขนส่ง	26.20	km.	0.5863	km.	0.26	**0.26**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 701	ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ	วัตถุดิบพร้อมก่อ									

8. ขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา



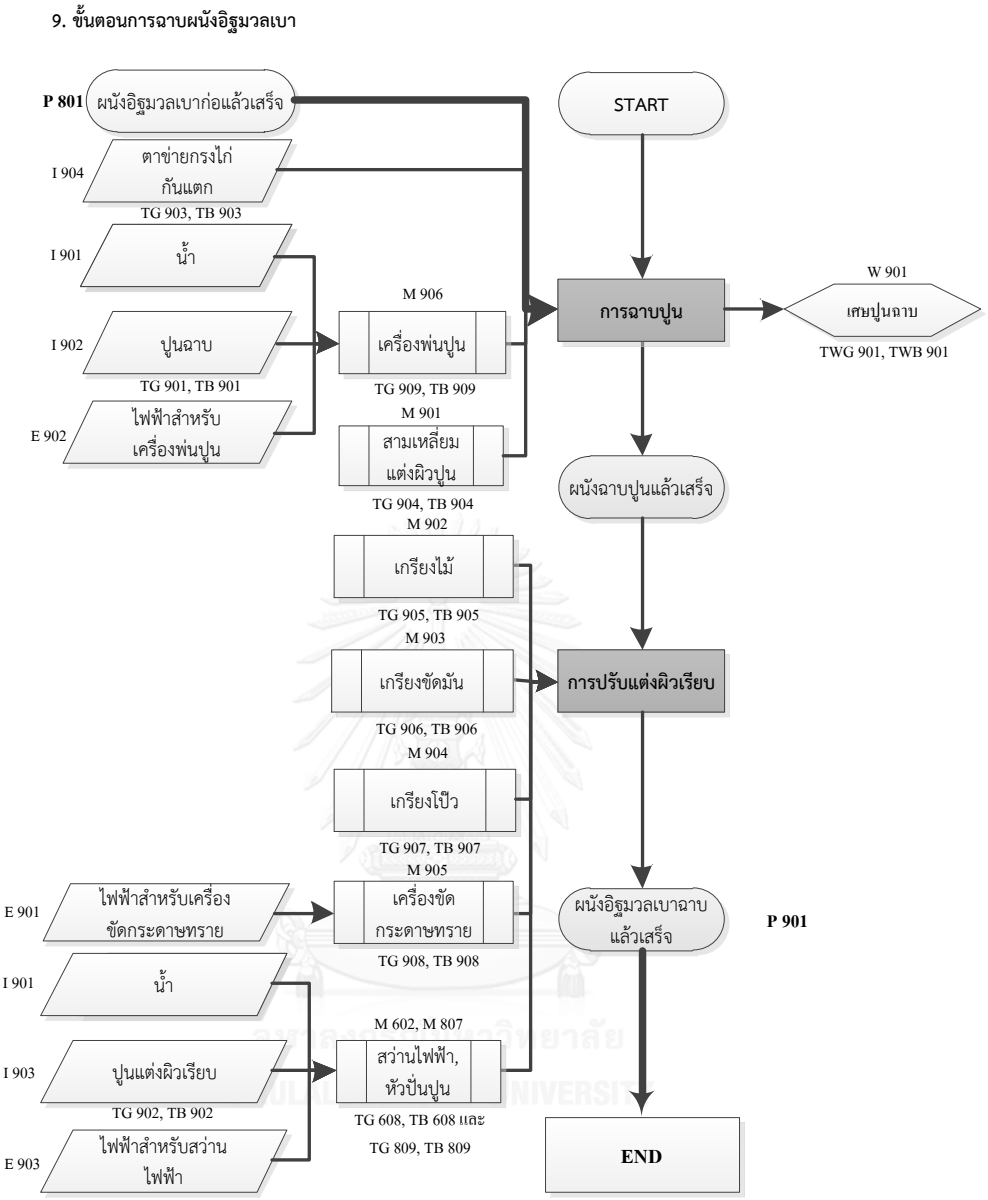
ภาพที่ ข.8 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ ข.8 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 801	**วัสดุ**	ปูนก่อ	น้ำหนัก	210.23	kg.	0.6120	kg.	128.66	**128.66**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 802		ปูนก่ออิฐมวลเบา	น้ำหนัก	935.36	kg.	0.6120	kg.	572.44	**572.44**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 803		น้ำ	น้ำหนัก	308.62	kg.	0.0264	kg.	8.15	**8.15**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 801	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เกรียงใบโพธิ์	มูลค่า	240.00	บาท	-	-	2.55	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 802		เกรียงก่ออิฐมวลเบา ขนาด 10 cm.	มูลค่า	95.00	บาท	-	-	1.01	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 803		เกรียงฟันปลา	มูลค่า	250.00	บาท	-	-	2.65	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 079
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 804		เกรียงกระดาษทราย	มูลค่า	230.00	บาท	-	-	2.44	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 079
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 805		ช้อนยาง	มูลค่า	75.00	บาท	-	-	0.80	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 108
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 806		เลื่อยอิฐมวลเบา	มูลค่า	850.00	บาท	-	-	9.02	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 807		หัวปั่นปูน	มูลค่า	120.00	บาท	-	-	1.27	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 808		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F (IOA) 0.78 kW (30 min)	มูลค่า	5,850.00	บาท	-	-	62.08	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 809		Tower crane (IOA) 4 kW (10 min)	มูลค่า	#########	บาท	-	-	53,059.73	**3.53**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 801	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F (IOA) 0.78 kW (30 min)	กำลังไฟฟ้า	0.78	kW	0.6093	kWh	0.24	**0.24**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.39	kWh						
E 802		Tower crane (IOA) 4 kW (10 min)	กำลังไฟฟ้า	4.00	kW	0.6093	kWh	1.42	**1.42**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	35.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	2.33	kWh						
TG 801	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกปูนก่อ	ระยะทางขนส่ง	56.20	km.	0.0621	tkm.	0.73	**0.73**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	210.23	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 802		บรรทุกปูนก่ออิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	56.20	km.	0.0687	tkm.	3.61	**3.61**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	935.36	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 803		บรรทุกเกรียงใบโพธิ์	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 804		บรรทุกเกรียงก่ออิฐมวลเบาขนาด 10 cm.	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 805		บรรทุกเกรียงฟันปลา	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 806		บรรทุกเกรียงกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 807		บรรทุกช้อนยาง	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.45	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 808		บรรทุกเลื่อยอิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 809		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 810		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว								

ตารางที่ ข.8 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 801	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกปูนก่อ	ระยะทางขนส่ง	56.20	km.	0.6277	km.	0.46	**0.46**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	210.23	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 802		บรรทุกปูนก่ออิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	56.20	km.	0.5863	km.	1.93	**1.93**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	935.36	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 803		บรรทุกเกรียงโบโพธิ์	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 804		บรรทุกเกรียงก่ออิฐมวลเบาขนาด 10 cm.	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 805		บรรทุกเกรียงฟันปลา	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 806		บรรทุกเกรียงกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 807		บรรทุกล้อยาง	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.45	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 808		บรรทุกเลื่อยอิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 809		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	1.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 810		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว								
P 801	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ผนังอิฐมวลเบาก่อแล้วเสร็จ**									
W 801	**ของเสียจากการสร้าง**	เศษปูนก่อ	น้ำหนักของเสีย	11.20	kg.	2.32	kg.	25.98	**25.98**	สมการที่ 5.6	Waste
W 802	**ผลิตภัณฑ์**	เศษอิฐมวลเบา	น้ำหนักของเสีย	26.40	kg.	2.32	kg.	61.25	**61.25**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 801	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนก่อที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0689	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	11.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 802		บรรทุกเศษอิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0689	tkm.	0.07	**0.07**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	26.40	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 801	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนก่อที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5412	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	11.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 802		บรรทุกเศษอิฐมวลเบา	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5412	km.	0.04	**0.04**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	26.40	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						



ภาพที่ ข.9 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

ตารางที่ ข.9 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 901	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	508.14	kg.	0.0264	kg.	13.41	**13.41**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 902		ปูนฉาบ 1.5 cm	น้ำหนัก	2,785.86	kg.	1.0380	kg.	2,891.72	**2,891.72**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 903		ปูนแต่งผิวเรียบ 1mm	น้ำหนัก	195.01	kg.	1.0380	kg.	202.42	**202.42**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 904		ตาข่ายกรงไก่ กันแตก	น้ำหนัก	5.20	kg.	1.7600	kg.	9.15	**9.15**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 901	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	320.00	บาท	-	-	3.40	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 902		เกรียงไม้	มูลค่า	160.00	บาท	-	-	1.70	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 104
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 903		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.64	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 904		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	12.00	บาท	-	-	0.13	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 905		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	2,422.00	บาท	-	-	25.70	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	60.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 906		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	99,277.50	บาท	-	-	1,053.53	**0.06**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 907		หัวขัดปูน	มูลค่า	120.00	บาท	-	-	1.27	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 908		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	มูลค่า	5,850.00	บาท	-	-	62.08	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	40.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 901	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	0.23	kW	0.6093	kWh	0.14	**0.14**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	60.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.23	kWh						
E 902		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW	0.6093	kWh	2.18	**2.18**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	30.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3.58	kWh						
E 903		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F 0.78 kW	กำลังไฟฟ้า	0.78	kW	0.6093	kWh	0.32	**0.32**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	40.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.52	kWh						
TG 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	13.01	**13.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,785.86	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	0.91	**0.91**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	195.01	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 903		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

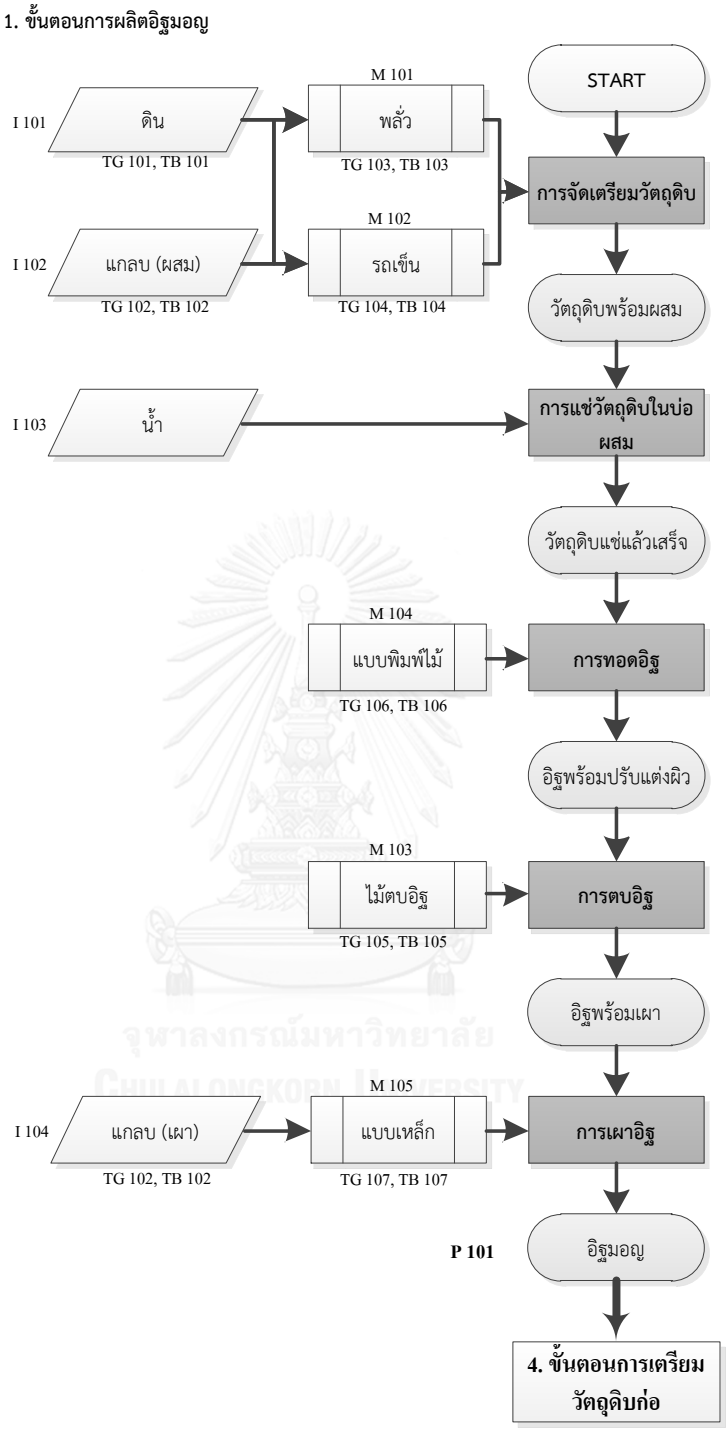
ตารางที่ ข.9 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมวลเบา

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TG 908	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.0687	tkm.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการก่อผนังอิฐมวลเบาแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
TG 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
TB 901	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.5863	km.	6.94	**6.94**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,785.86	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 902		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.06	**0.06**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	195.01	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 903		บรรทุกตาข่ายกรงไก่กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 904		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 905		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 906		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 907		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 908		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 909		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.5863	km.	0.21	**0.21**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 910		บรรทุกหัวปั่นปูน	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการก่อผนังอิฐมวลเบาแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
TB 911		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	ถูกบรรทุกมาในกระบวนการติดตั้งเสาเอ็นและเหล็กฝากแล้ว							
			น้ำหนักบรรทุก								
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด								
			หมายเหตุ								
P 901	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ผนังอิฐมวลฉาบแล้วเสร็จ**									
W 901	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	18.00	kg.	2.32	kg.	41.76	**41.76**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	18.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 901	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	18.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการแยกย่อยองค์ประกอบของกระบวนการและรายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังอิฐมอญ

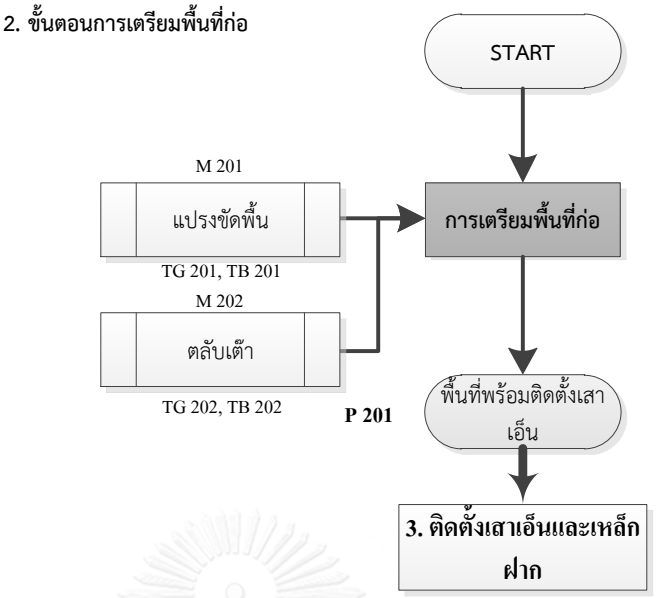
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ ค.1 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ

ตารางที่ ค.1 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ

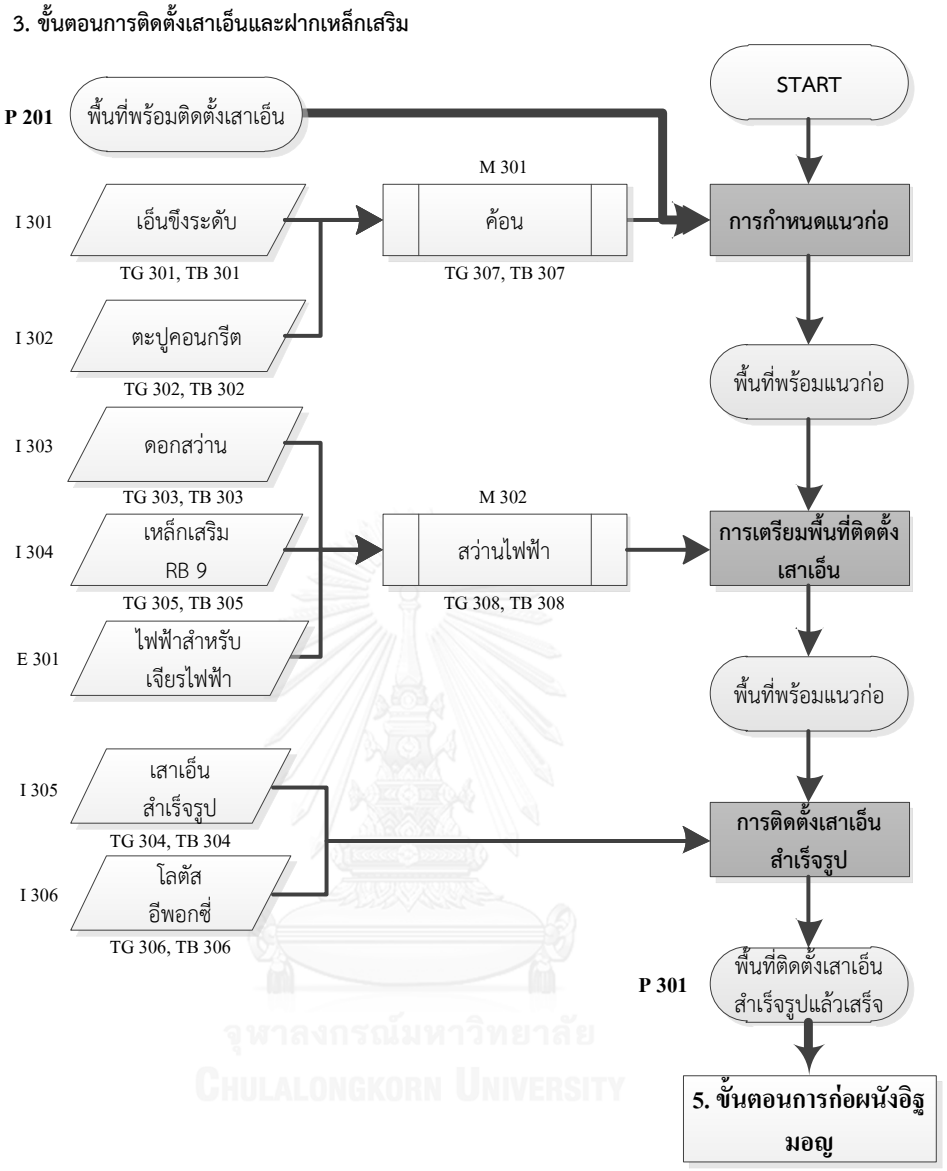
CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 101	วัสดุ	ดิน	น้ำหนัก	79,920.00	kg.	0.0004	kg.	31.97	**31.97**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 102		แกลบ สำหรับผสม	น้ำหนัก	10,000.00	kg.	0.0030	kg.	30.00	**30.00**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 103		น้ำ	น้ำหนัก	1,000.00	kg.	0.0264	kg.	26.40	**26.40**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 104		แกลบ สำหรับเผา	มูลค่า	7,142.86	บาท	-	-	29.26	**29.26**	สมการที่ 5.1	Temporary Material
M101	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	พลั่ว	มูลค่า	150.00	บาท	-	-	1.59	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 108
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 102		รถเข็น	มูลค่า	890.00	บาท	-	-	9.44	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 096
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 103		ไม้ตบอิฐ ต่อการเผาอิฐ 1 ครั้ง	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**2.12**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 079
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
M 104		แบบพิมพ์ไม้ ต่อการเผาอิฐ 1 ครั้ง	มูลค่า	800.00	บาท	-	-	8.49	**8.49**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 079
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 105		แบบเหล็ก	มูลค่า	6,000.00	บาท	-	-	63.67	**0.64**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 110
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
TG 101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกดิน (6 เที่ยว)	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.0687	tkm.	368.96	**368.96**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	79,920.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	96.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 102		บรรทุกแกลบ	ระยะทางขนส่ง	84.20	km.	0.0687	tkm.	80.98	**80.98**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	14,000.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 103		บรรทุกพลั่ว	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 104		บรรทุกรถเข็น	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.1829	tkm.	0.35	**0.35**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	160.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 105		บรรทุกไม้ตบอิฐ	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 106		บรรทุกแบบพิมพ์ไม้	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 107		บรรทุกแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	28.30	km.	0.0687	tkm.	0.10	**0.10**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	50.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 101	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกดิน (6 เที่ยว)	ระยะทางขนส่ง	67.20	km.	0.5863	km.	32.80	**32.80**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	79,920.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	96.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 102		บรรทุกแกลบ	ระยะทางขนส่ง	84.20	km.	0.5863	km.	43.20	**43.20**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	14,000.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 103		บรรทุกพลั่ว	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 104		บรรทุกรถเข็น	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.3111	km.	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	160.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 105		บรรทุกไม้ตบอิฐ	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 106		บรรทุกแบบพิมพ์ไม้	ระยะทางขนส่ง	12.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 107		บรรทุกแบบเหล็ก	ระยะทางขนส่ง	28.30	km.	0.5863	km.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	50.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 101	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**อิฐมอญพร้อมจัดส่ง**									



ภาพที่ ค.2 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ

ตารางที่ ค.2 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
M 201	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	แปรงขัดพื้น	มูลค่า	65.00	บาท	-	-	0.69	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 087
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 202		ตลับเต๊า	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.65	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 092
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
TG 201	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกแปรงขัดพื้น	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 202		บรรทุกตลับเต๊า	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.09	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 201	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกแปรงขัดพื้น	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 202		บรรทุกตลับเต๊า	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.09	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 201	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**พื้นที่พร้อมติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูป**									



ภาพที่ ค.3 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม

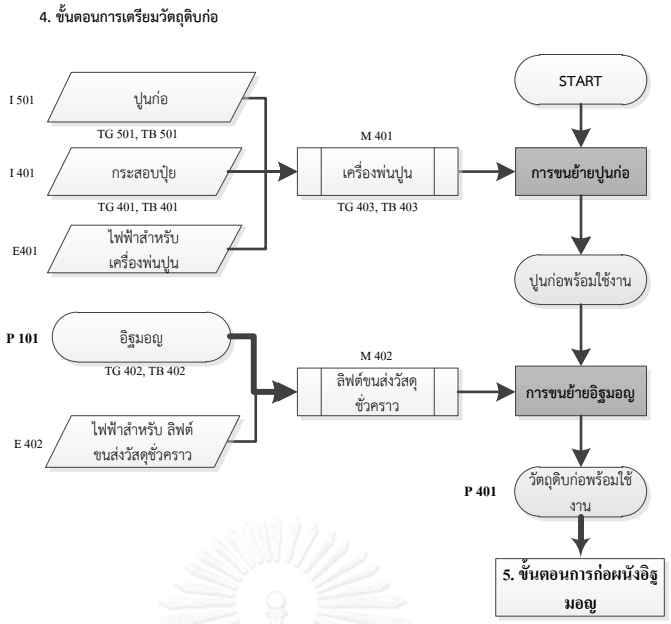
ตารางที่ ค.3 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 301	**วัสดุ**	เอ็นยึดระดับ	มูลค่า	65.00	บาท	-	-	0.69	**0.69**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 098
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
I 302		ตะปูคอนกรีต	มูลค่า	97.50	บาท	-	-	1.03	**1.03**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
I 303		ดอกสว่าน 12 mm.	มูลค่า	52.00	บาท	-	-	0.55	**0.01**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
I 304		เสาเอ็นสำเร็จรูป	น้ำหนักเหล็ก	23.78	kg.	1.7600	kg.	41.85	**41.85**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
			น้ำหนักคอนกรีต	668.30	kg.	1.0380	kg.	693.70	**693.70**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 305		เหล็กเสริมRB 9	น้ำหนักเหล็ก	36.73	kg.	1.7600	kg.	64.64	**64.64**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 306		โลตัส อีพอกซี่	น้ำหนัก	3.00	kg.	6.6860	kg.	20.06	**20.06**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 301	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	ค้อน	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 108
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 302		สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F (IOA) 0.78 kW (15 min)	มูลค่า	5,850.00	บาท	-	-	62.08	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 115
			เวลาที่ใช้	45.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 301	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	สว่านไฟฟ้า Makita HR2470F (IOA) 0.78 kW (15 min)	กำลังไฟฟ้า	0.78	kW	0.6093	kWh	0.36	**0.36**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	45.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.59	kWh						
TG 301	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	บรรทุกเอ็นยึดระดับ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.05	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 302		บรรทุกตะปูคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.70	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 303		บรรทุกดอกสว่าน 12 mm.	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.41	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 304		บรรทุกเสาเอ็นสำเร็จรูป	ระยะทางขนส่ง	56.00	km.	0.0687	tkm.	2.66	**2.66**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	692.08	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 305		บรรทุกเหล็กเสริม RB 9	ระยะทางขนส่ง	116.00	km.	0.0687	tkm.	0.29	**0.29**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	36.73	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 306		บรรทุกโลตัส อีพอกซี่	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 307		บรรทุกค้อน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 308		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการติดตั้งเสาเอ็นและฝากเหล็กเสริม

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TB 301	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกเอ็นขึงระดับ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.05	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 302		บรรทุกตะปูคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.70	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 303		บรรทุกดอกสว่าน 12 mm.	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.41	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 304		บรรทุกเสาเอ็นสำเร็จรูป	ระยะทางขนส่ง	56.00	km.	0.5863	km.	3.25	**3.25**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	692.08	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 305		บรรทุกเหล็กเสริม RB 9	ระยะทางขนส่ง	116.00	km.	0.5863	km.	0.36	**0.36**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	36.73	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 306		บรรทุกโลหัส อีพอกซี่	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	3.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 307		บรรทุกค้อน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 308		บรรทุกสว่านไฟฟ้า Makita HR2470F	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 301	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**พื้นที่ติดตั้งเสาเอ็นสำเร็จรูปพร้อมก่อ**									

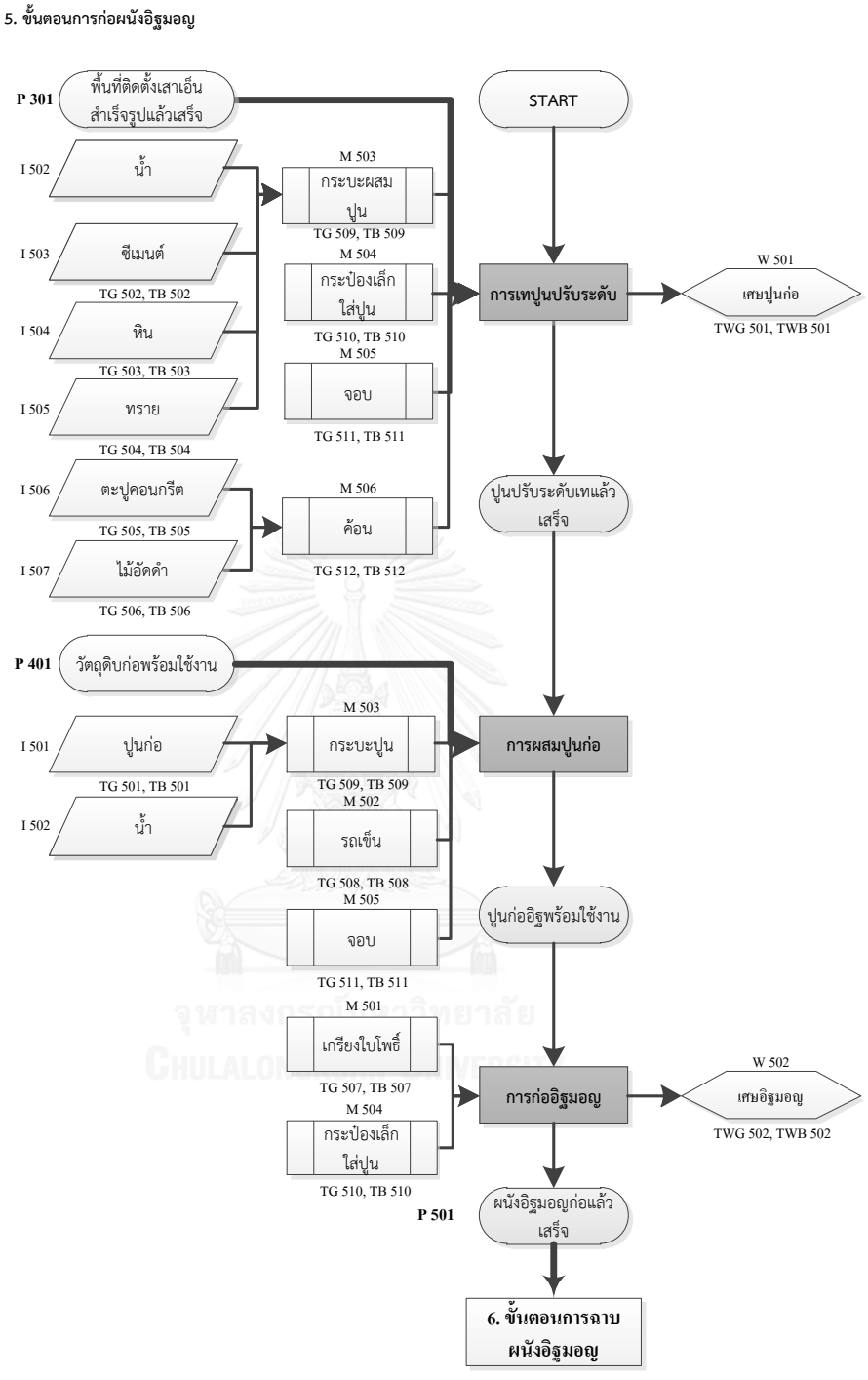
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ ค.4 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ

ตารางที่ ค.4 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 401	**วัสดุ**	กระสอบปุ๋ย 2 ใบ	มูลค่า	10.00	บาท	-	-	0.04	**0.00**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 013
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	10.00	รอบ						
M 401	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	เครื่องพ่นปูน	มูลค่า	99,277.50	บาท	-	-	1,053.53	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	10.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 402		ลิฟต์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	มูลค่า	##########	บาท	-	-	10,611.95	**1.01**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	50.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 401	**การใช้ไฟฟ้าของ เครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องพ่นปูน	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW	0.6093	kWh	0.73	**0.73**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	10.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	1.19	kWh						
E 402		ลิฟต์ขนส่งวัสดุชั่วคราว	กำลังไฟฟ้า	0.38	kW	0.6093	kWh	0.19	**0.19**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	50.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.32	kWh						
TG 401	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	กระสอบปุ๋ย 2 ใบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.01	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 402		ก้อนอิฐมอญ	ระยะทางขนส่ง	89.40	km.	0.0687	tkm.	6.22	**6.22**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1,012.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 403		เครื่องพ่นปูน	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.0687	tkm.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 401	**การขนส่งวัสดุและ เครื่องจักร**	กระสอบปุ๋ย 2 ใบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.01	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 402		ก้อนอิฐมอญ	ระยะทางขนส่ง	89.40	km.	0.5863	tkm.	3.32	**3.32**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1,012.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 403		เครื่องพ่นปูน	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.5863	km.	0.21	**0.21**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 401	**ผลิตภัณฑ์ของ กระบวนการ**	**วัตถุดิบพร้อมก่อ**									



ภาพที่ ค.5 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ

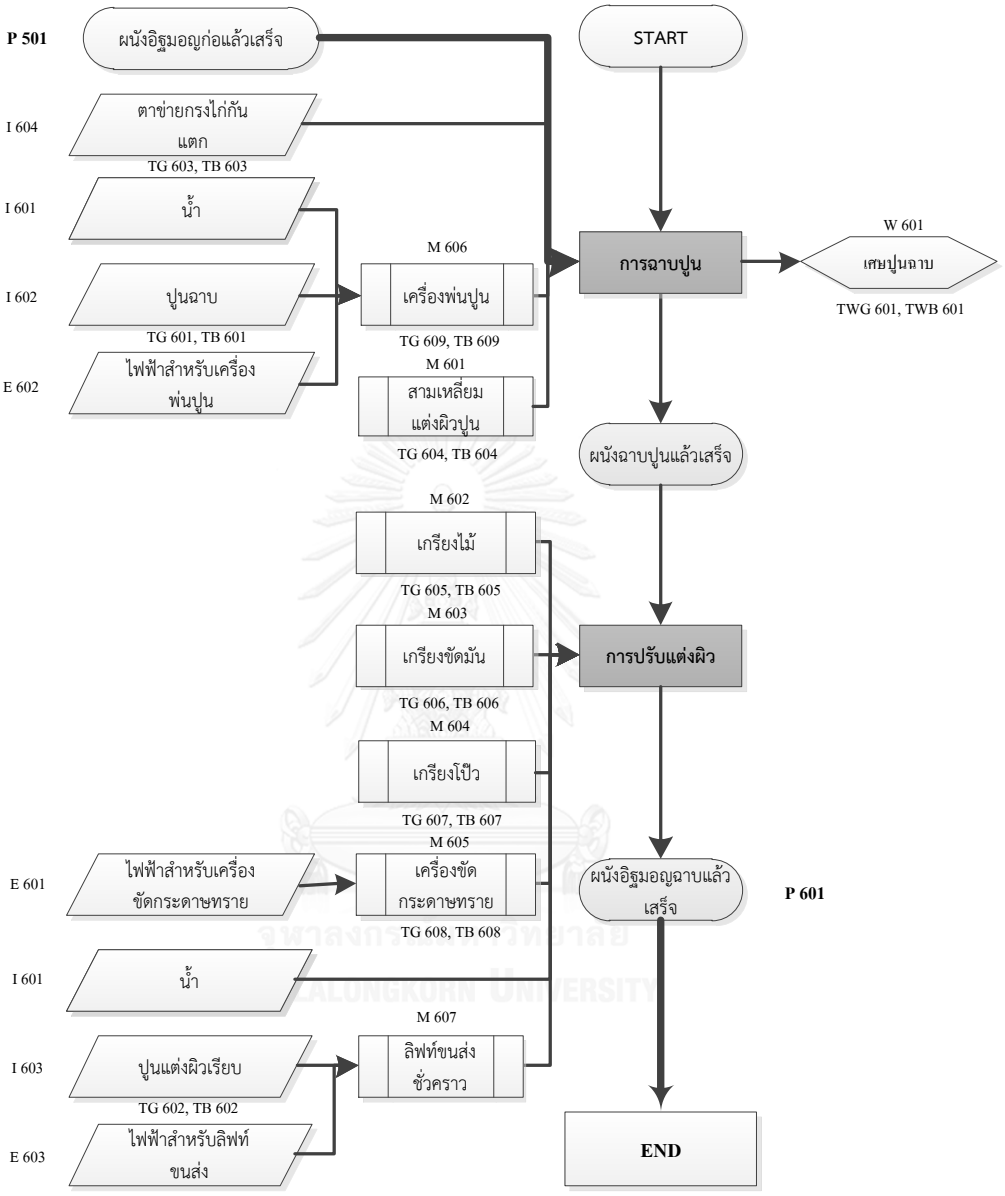
ตารางที่ ค.5 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 501	วัสดุ	ปูนก่อ	น้ำหนัก	617.20	kg.	0.6120	kg.	377.73	**377.73**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 502		น้ำ	น้ำหนัก	399.03	kg.	0.0264	kg.	10.53	**10.53**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 503		ซีเมนต์	น้ำหนัก	12.08	kg.	1.0380	kg.	12.53	**12.53**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 504		หิน	น้ำหนัก	45.72	kg.	0.0038	kg.	0.17	**0.17**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 505		ทราย	น้ำหนัก	34.53	kg.	0.0037	kg.	0.13	**0.13**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 506		ตะปูคอนกรีต	มูลค่า	128.80	บาท	-	-	1.41	**1.41**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	1.00	รอบ						
I 507		ไม้อัดดำ AA 15 mm.	มูลค่า	1,854.34	บาท	-	-	20.50	**6.83**	สมการที่ 5.13	Temporary material sector 078
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	3.00	รอบ						
M 501	เครื่องมือและเครื่องจักร	เกรียงไบโพธิ์	มูลค่า	240.00	บาท	-	-	2.55	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 502		รถเข็น	มูลค่า	890.00	บาท	-	-	9.44	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 096
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 503		กระบะปูน	มูลค่า	240.00	บาท	-	-	2.55	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 098
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 504		กระป๋องเล็กใส่ปูน	มูลค่า	231.00	บาท	-	-	2.45	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 098
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 505		จอบ	มูลค่า	300.00	บาท	-	-	3.18	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 105
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 506		ค้อน	มูลค่า	200.00	บาท	-	-	2.12	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 108
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
TG 501	การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร	บรรทุกปูนก่อ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	2.88	**2.88**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	617.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 502		บรรทุกซีเมนต์	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	0.06	**0.06**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	12.08	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 503		บรรทุกหิน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.0687	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	45.72	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 504		บรรทุกทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.0687	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	34.53	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 505		บรรทุกตะปูคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.91	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 506		บรรทุกไม้อัดดำ AA 15 mm.	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.0687	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	21.40	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 507		บรรทุกเกรียงไบโพธิ์	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 508		บรรทุกรถเข็น	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.26	**0.26**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	160.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 509		บรรทุกกระบะปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	8.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 510		บรรทุกกระป๋องเล็กใส่ปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการก่อผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TG 511	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกจอบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 512		บรรทุกค้อน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 501	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร**	บรรทุกปูนก่อ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.5863	km.	1.54	**1.54**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	617.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 502		บรรทุกซีเมนต์	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.5863	km.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	12.08	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 503		บรรทุกหิน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	45.72	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 504		บรรทุกทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	34.53	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 505		บรรทุกตะปูคอนกรีต	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.91	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 506		บรรทุกไม้อัดดำ AA 15 mm.	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	21.40	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 507		บรรทุกเกรียงไบโพลี่	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 508		บรรทุกรถเข็น	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.06	**0.06**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	160.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 509		บรรทุกกระบะปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	8.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 510		บรรทุกกระป๋องเล็กใส่ปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.50	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 511		บรรทุกจอบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 512		บรรทุกค้อน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.37	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
P 501	**ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ**	**ผนังอิฐมอญก่อแล้วเสร็จ**									
W 501	**ของเสียจากการสร้าง**	เศษปูนก่อ	น้ำหนักของเสีย	11.90	kg.	2.32	kg.	27.61	**27.61**	สมการที่ 5.6	Waste
W 502	**ผลิตภัณฑ์**	เศษอิฐมอญ	น้ำหนักของเสีย	31.20	kg.	2.32	kg.	72.38	**72.38**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 501	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนก่อที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.03	**0.03**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	11.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWG 502		บรรทุกเศษอิฐมอญ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.09	**0.09**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	31.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 501	**การขนส่งของเสียไปกำจัด (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนก่อที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	11.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TWB 502		บรรทุกเศษอิฐมอญ	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	31.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

6. ขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ



ภาพที่ ค.6 การแยกย่อยองค์ประกอบของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

ตารางที่ ค.6 รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/ สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/ หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
I 601	**วัสดุ**	น้ำ	น้ำหนัก	613.76	kg.	0.0264	kg.	16.20	**16.20**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 602		ปูนฉาบ	น้ำหนัก	2,757.96	kg.	0.6120	kg.	1,687.87	**1,687.87**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 603		ปูนแต่งผิวเรียบ	น้ำหนัก	157.20	kg.	0.6120	kg.	96.21	**96.21**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
I 604		ตาข่ายกรงไก่ กัน	น้ำหนัก	5.20	kg.	1.7600	kg.	9.15	**9.15**	สมการที่ 5.1	Permanent Material
M 601	**เครื่องมือและเครื่องจักร**	สามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	มูลค่า	320.00	บาท	-	-	3.40	**0.03**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 602		เกรียงไม้	มูลค่า	160.00	บาท	-	-	1.70	**0.02**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 104
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 603		เกรียงขัดมัน	มูลค่า	60.00	บาท	-	-	0.64	**0.01**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 604		เกรียงโป๊ว	มูลค่า	12.00	บาท	-	-	0.13	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Equipment sector 107
			จำนวนครั้งที่ใช้	1.00	รอบ						
			จำนวนรอบใช้ซ้ำ	100.00	รอบ						
M 605		เครื่องขัดกระดาษทราย	มูลค่า	2,422.00	บาท	-	-	25.70	**0.00**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	55.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 606		เครื่องพ่นปูนฉาบ	มูลค่า	99,277.50	บาท	-	-	1,053.53	**0.09**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	45.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
M 607		ลิฟท์ขนส่งวัสดุขัดราว	มูลค่า	1,000,000.00	บาท	-	-	10,611.95	**1.62**	สมการที่ 5.13	Construction Machine sector 115
			เวลาที่ใช้	80.00	min						
			เวลาที่ใช้ก่อนซ่อมบำรุง	525,600.00	min						
E 601	**การใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ และเครื่องจักร**	เครื่องขัดกระดาษทราย	กำลังไฟฟ้า	0.23	kW	0.6093	kWh	0.13	**0.13**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	55.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.21	kWh						
E 602		เครื่องพ่นปูนฉาบ	กำลังไฟฟ้า	7.15	kW	0.6093	kWh	3.27	**3.27**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	45.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	5.36	kWh						
E 603		ลิฟท์ขนส่งวัสดุขัดราว	กำลังไฟฟ้า	0.38	kW	0.6093	kWh	0.31	**0.31**	สมการที่ 5.4	Electricity
			เวลาที่ใช้	80.00	min						
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	0.51	kWh						
TG 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	12.88	**12.88**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,757.96	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.0687	tkm.	0.73	**0.73**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	157.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) รายการคำนวณคาร์บอนฟุตพรินต์ของขั้นตอนการฉาบผนังอิฐมอญ

CODE (1)	กลุ่มสิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (2)	สิ่งนำเข้า/สิ่งนำออก (3)	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (4)	ปริมาณ (5)	หน่วย (6)	ค่าสัมประสิทธิ์ (kg CO2e/หน่วย EF) (7)	หน่วย EF (8)	Carbon footprint (kg CO2e) (9)	Carbon footprint allocation (kg CO2e) (10)	สมการที่ใช้ประเมิน (11)	Input Category (12)
TG 608	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวไป)**	บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.1829	tkm.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TG 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.0687	tkm.	0.39	**0.39**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TB 601	**การขนส่งวัสดุและเครื่องจักร (เที่ยวกลับ)**	บรรทุกปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	68.00	km.	0.5863	km.	6.87	**6.87**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	2,757.96	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 602		บรรทุกปูนแต่งผิวเรียบ	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.5863	km.	0.05	**0.05**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	157.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 603		บรรทุกตาข่ายกรงไก่ กันแตก	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 604		บรรทุกสามเหลี่ยมแต่งผิวปูน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 605		บรรทุกเกรียงไม้	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.35	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 606		บรรทุกเกรียงขัดมัน	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.20	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 607		บรรทุกเกรียงโป๊ว	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	0.10	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 608		บรรทุกเครื่องขัดกระดาษทราย	ระยะทางขนส่ง	9.00	km.	0.3111	km.	0.00	**0.00**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	1.30	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	7.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
TB 609		เครื่องพ่นปูนฉาบ	ระยะทางขนส่ง	21.00	km.	0.5863	km.	0.21	**0.21**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	270.00	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						
W 601	**ของเสียจากการสร้างผลิตภัณฑ์**	เศษปูนฉาบ	น้ำหนักของเสีย	5.90	kg.	2.32	kg.	13.69	**13.69**	สมการที่ 5.6	Waste
TWG 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวไป (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.0687	tkm.	0.02	**0.02**	สมการที่ 5.2	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวไป	-						
TWB 601	**การขนส่งของเสียไปกำจัด เที่ยวกลับ (ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ)**	บรรทุกเศษปูนฉาบที่ตกระหว่างขนส่ง	ระยะทางขนส่ง	40.00	km.	0.5863	km.	0.01	**0.01**	สมการที่ 5.3	Transportation
			น้ำหนักบรรทุก	5.90	kg.						
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	16.00	tons						
			หมายเหตุ	เที่ยวกลับ	-						

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีรชัย ลิ้มมณฑล เกิดวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2530 ที่ประเทศไทย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University