การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการก่อสร้างบ้านในประเทศไทย เปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

โดย
นางสาวเวธินี ประภาธนานันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ระดับปริญญา
มหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการก่อสร้างบ้านในประเทศไทย เปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

โดย
นางสาวเวธินี ประภาธนานันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ระดับปริญญา
มหาบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CONSTRUCTION PROCESSES FOR COMMON HOUSES IN THAILAND: A COMPARISON BETWEEN CONVENTIONAL AND PRECAST SYSTEMS

By

MISS Wethinee PRAPATANANAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Architecture (Architecture)

Department of Architecture

Silpakorn University

Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการก่อสร้างบ้านในประเทศไทย เปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป
โดย	นางสาวเวธินี ประภาธนานันท์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. อภิรดี เกษมศุข)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาริณี รามสูต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. นวลวรรณ ทวยเจริญ)

630220048 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การประเมินวัฏจักรชีวิต, แก๊สเรือนกระจก, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม, วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม, วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

นางสาว เวธินี ประภาธนานันท์: การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการก่อสร้างบ้านในประเทศไทย เปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณแก๊สเรือนกระจก (GHG) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการก่อสร้างบ้านพักอาศัยต้นแบบชั้นเดียว จำนวน 2 หลัง ที่มีวิธีการก่อสร้างที่ต่างกัน ได้แก่ บ้านก่อสร้างด้วยวิธีแบบดั้งเดิม และบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment ; LCA) ขอบเขตการวิเคราะห์ครอบคลุมการขนส่งวัสดุก่อสร้าง และขั้นตอนการก่อสร้างอาคาร งานวิจัยนี้เลือกกระบวนการตามหลักการคณะกรรมการระหว่างรัฐว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change ; IPCC) เพื่อคำนวณปริมาณแก๊สเรือนกระจก และเลือกกระบวนการ Impact 2002+ เพื่อหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องมือเป็นโปรแกรม Simapro 9.1.1

จากการประเมินผลกระทบที่เกิดจากวิธีการก่อสร้างบ้านทั้ง 2 วิธี พบว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม และบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,436 และ 33,889 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือเท่ากับ 446.93 และ 394.06 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้าน 1 ตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม และบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป มีผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ 0.0576 DALY และ 0.0574 DALY ส่วนผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ แบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ 26,400 PDF*m2*yr ระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบ 24,300 PDF*m2*yr ผลกระทบด้านสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง แบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ 39,700 kgCO2eq ขณะที่ระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเพียง 34,500 kgCO2eq และผลกระทบด้านทรัพยากรธรรมชาติแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ 405,000 MJ primary ส่วนระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบ 510,000 MJ primary

630220048 : Major (Architecture)
Keyword : LIFE CYCLE ASSESSMENT, GREENHOUSE GAS EMISSIONS (GHG), ENVIRONMENTAL IMPACT, CONVENTIONAL, PRECAST SYSTEMS

MISS Wethinee PRAPATANANAN : LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CONSTRUCTION PROCESSES FOR COMMON HOUSES IN THAILAND: A COMPARISON BETWEEN CONVENTIONAL AND PRECAST SYSTEMS Thesis advisor : Professor Satta Panyakaew

This research aimed to compare the greenhouse gas emissions (GHG) and the environmental impact of 2 types of single-family pilot houses with different construction processes, conventional and precast systems, following the principles of life cycle assessment (LCA). The scope of the study covered the transportation of construction materials and the building construction process. This research selected the IPCC process to calculate greenhouse gas emissions. And the Impact 2002+ process to calculate the environmental impact. The Simapro 9.1.1 program was used as a research tool.

The results of the study showed that the total amount of greenhouse gas emissions (GHG) released from conventional and precast systems was 38,436 and 33,889 kgCO2eq, respectively. It was 446.93 and 394.06 kgCO2eq per 1 sq.m. of the utility space of the house, respectively. When assessing the impact on the environment, it was found that conventional affected human health was 0.0576 DALY. Precast systems have affected human health by 0.0574 DALY. The ecosystem quality conventional impact has an impact of 26,400 PDF*m2*yr and precast systems have an impact of 24300 PDF*m2*yr.The impact on climate change is conventional having an impact of 39,700 kgCO2eq , while the impact of the precast system is only 34,500 kgCO2eq. The impact on resources conventional has an impact of 405,000 MJ primary. Precast systems affect 510,000 MJ primary.

กิตติกรรมประกาศ

ในวิจัยนี้ขอขอบพระคุณ อ.ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และเสนอแนะแนวทางของงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอบพระคุณประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ธาริณี รามสูต และรศ.ดร. นวลวรรณ ทวยเจริญ ผู้ให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำ แนวทางในการปรับแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆท่านในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ที่คอยช่วยเหลือเรื่องกระบวนการและประสานงานต่างๆ

ขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ที่คอยช่วยเหลือ ทั้งการให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาที่ดี

และสุดท้ายนี้ขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และคุณยายที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดการศึกษา

เวธินี ประภาธนานันท์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญแผนภูมิ ..... ต
บทที่ 1 5
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 5
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6
ขอบเขตของการวิจัย 6
ขั้นตอนของการวิจัย 6
สมมติฐานของการวิจัย 6
อุปกรณ์สำหรับการค้นคว้า 7
วิธีการศึกษา 7
ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ 7
บทที่ 2 8
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8
รูปแบบการก่อสร้างอาคารในประเทศไทย 8
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment : LCA) 55
แบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ 70

ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร....72
บทที่ 3....80
ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย....80
การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)....80
การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis : LCI....87
การประเมินผลกระทบและการแปรผลการศึกษา....98
บทที่ 4....99
ผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม....100
ผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)....106
การเปรียบเทียบผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)....112
ผลการประเมินผลกระทบในกรณีการปรับปรุงการขนส่ง....115
บทที่ 5....124
รายการอ้างอิง....137
ประวัติผู้เขียน....143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงความลาดชันของหลังคา	32
2	ตารางแสดงระยะของการทับซ้อนของวัสดุหลังคา	32
3	ตารางสรุปงานหลังคา	33
4	ตารางแสดงสรุปคุณสมบัติของอิฐ	40
5	ตารางแสดงสรุปข้อดีและข้อจำกัดของการก่อสร้างแบบดั้งเดิม	48
6	ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป	50
7	ตารางแสดงข้อดีและข้อจำกัดของวิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป	54
8	ตารางเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป	54
9	ตารางแสดงอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000	56
10	ตารางแสดงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต	62
11	ตารางแสดงประเมินโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต	62
12	ตารางแสดงตัวอย่างกระบวนการ(Method)ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต	63
13	ตารางแสดงรายละเอียดสสารที่เป็นปัจจัยทำให้เกิดผลกระทบที่ใช้ใน Impact 2002+	68
14	ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	77
15	ตารางแสดงข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างบ้านพักอาศัยตัวอย่างในการทดสอบของวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)	87
16	ตารางแสดงปริมาณวัสดุของวิธีการก่อสร้างแบบวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม	89
17	ตารางแสดงข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างบ้านพักอาศัยตัวอย่างในการทดสอบของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)	90
18	ตารางแสดงปริมาณวัสดุของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป	92

ตารางที่ หน้า

19 ตารางแสดงปริมาณการขนส่งของวัสดุก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม 96

20 ตารางแสดงปริมาณการขนส่งของวัสดุก่อสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 97

21 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method IPCC 100

22 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method IPCC คิดเป็นร้อยละ..... 101

23 ตารางแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของประเภทกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม 101

24 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของวัสดุและกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม 103

25 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method Impact 2002+..... 104

26 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ... 105

27 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC..... 107

28 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC คิดเป็นร้อยละ..... 107

29 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของประเภทกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป..... 108

30 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของวัสดุและกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป..... 109

ตารางที่ หน้า

31 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method Impact 2002+ 110

32 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ..... 111

33 ตารางแสดงเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC..... 113

34 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method Impact 2002+..... 114

35 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ..... 114

36 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันทดสอบโดย Method IPCC..... 116

37 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันทดสอบโดย Method Impact 2002+..... 117

38 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันทดสอบโดย Method Impact 2002+..... 118

39 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method IPCC..... 119

ตารางที่ หน้า

40 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+..... 120

41 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ..... 121

42 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดยMethod IPCC 122

43 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+..... 123

44 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ 124

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ฐานรากตื้น หรือฐานรากแผ่ (Shallow foundation)	9
2	ฐานรากแผ่เดี่ยว (Isolated Footing) และฐานรากแบบชิดเขตหรือฐานรากตีนเป็ด	10
3	ฐานรากแผ่ร่วม (Combined Footing)	10
4	ฐานรากแผ่ปูพรม หรือฐานรากแพ (Mat or Raft Footing)	11
5	ฐานรากวางบนเสาเข็ม (Piled Foundation)	11
6	เสาเข็ม (Piled Foundations)	12
7	เสาเข็มรูปตัวไอ	12
8	เสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน	12
9	เสาเข็มหกเหลี่ยมชนิดกลวง	13
10	เสาเข็มรูปตัวที	13
11	เสาเข็มขนาดเล็ก	13
12	เสาเข็มขนาดใหญ่	14
13	เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง (Prestressed concrete spun pile)	14
14	เสาเข็มตอก (Driven pile)	15
15	ส่วนประกอบของเสาเข็มตอก	15
16	กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มตอก	16
17	เสาเข็มเจาะ (Bored pile)	17
18	กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง (Dry Process Bored Pile)	17
19	ขั้นตอนที่ 1 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง	17

ภาพที่ หน้า

20 ขั้นตอนที่ 2 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง 18

21 ขั้นตอนที่ 3 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง 18

22 ขั้นตอนที่ 4 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง 18

23 ขั้นตอนที่ 5 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง 19

24 กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก (Wet Process Bored Pile) 19

25 ขั้นตอนที่ 1 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก 19

26 ขั้นตอนที่ 2 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก 20

27 ขั้นตอนที่ 3 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก 20

28 ขั้นตอนที่ 4 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก 20

29 ขั้นตอนที่ 5 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก 20

30 ขั้นตอนที่ 6 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก 21

31 ตัวอย่างแปเหล็กรูปตัวซี 22

32 ตำแหน่งของจันทัน 23

33 ตำแหน่งของตะเข้สัน ตะเข้ราง และอกไก่ 23

34 ชิ้นส่วนโครงสร้างหลังคา 24

35 หลังคาแบบ (Flat Slap) 26

36 หลังคาเพิงหมาแหงน (Lean To) 26

37 หลังคาแบบผีเสื้อ (Butterfly) 27

38 หลังคาทรงหน้าจั่ว (Gable Roof) 27

39 หลังคาทรงปั้นหยา (Hip Roof) 28

ภาพที่ หน้า

40 หลังคาแบบร่วมสมัย (Modern & Contemporary) 28

41 กระเบื้องดินเผา 29

42 กระเบื้องคอนกรีต 29

43 กระเบื้องคอนกรีตแผ่นเรียบ 29

44 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 30

45 กระเบื้องลอนคู่ 30

46 วัสดุมุงหลังคาโลหะ หรือหลังคาเหล็กรีด 31

47 วัสดุประเภทพลาสติก 31

48 วัสดุปะเภทแผ่นซิงเกิ้ล 31

49 วัสดุประเภททองแดง 32

50 พื้นคอนกรีตวางบนพื้น (Slabs on ground) 34

51 พื้นคอนกรีตวางบนคาน (Slabs on beam) 34

52 แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบท้องเรียบ (Prestressed concrete floor plank) 35

53 พื้นสำเร็จรูปแบบกลวง (Hollow core slab) 36

54 พื้นระบบ Post tension 36

55 อิฐมอญ (Clay brick) 38

56 อิฐบล็อก (Concrete block) 38

57 อิฐขาว (White brick) 39

58 อิฐประสาน (Interlocking brick) 39

59 อิฐมวลเบา (Lightweight brick) 40

ภาพที่ หน้า

60 ผนังโครงคร่าว หรือผนังโครงเบา 41

61 ผนังบล็อกแก้ว (Glass block) 42

62 โครงสร้างเหล็ก (Steel structure system) 43

63 โครงสานเหล็กรับแรงดึง (Tension Rod System) 44

64 โครงสันกระจก (Glass Rib System) 44

65 โครงเคเบิลขึง (Cable Net System) 44

66 งานระบบภายในบ้าน 46

67 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิม 47

68 ระบบเสา คาน (Frame structure system) 49

69 ระบบผนังรับน้ำหนัก (Panel System) 49

70 ระบบกล่อง (Modular System) 50

71 ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 52

72 จุดรอยต่อแบบเปียก (Wet joint) 53

73 จุดรอยต่อแบบแห้ง (Dry joint) 53

74 จุดรอยต่อแบบภายหลัง (Post-Tensioned) 53

75 กรอบการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ 57

76 กรอบการดำเนินงานประเมินวัฏจักรชีวิตตามขั้นตอนอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 61

77 แผนภูมิรายละเอียดของกระบวนการ Impact2002+แสดงให้เห็นการแบ่งประเภทจาก Mid-point Impact เป็น Damagecategories 67

78 แปลนแบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ 71

ภาพที่ หน้า

79 รูปด้าน1และ3ของแบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ 71

80 รูปด้าน2และ4ของแบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ 72

81 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร 80

82 สรุปขั้นตอนการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) 81

83 สรุปขั้นตอนการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) 82

84 สรุปขั้นตอนการก่อสร้างผนัง 83

85 แบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ 86

86 ระยะทางการขนส่งวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างมายังพื้นที่ก่อสร้าง 94

87 ระยะทางการขนส่งคอนกรีตผสมสำเร็จมายังพื้นที่ก่อสร้าง 95

88 ระยะทางการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมายังพื้นที่การก่อสร้าง 95

89 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร 99

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	แผนภูมิผลการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method IPCC	100
2	แผนภูมิผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method Impact 2002+.....	104
3	แผนภูมิผลการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตาประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method IPCC	106
4	แผนภูมิผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method Impact 2002+..	110
5	แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC	112
6	แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method Impact 2002+.....	113
7	แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดยMethod IPCC.....	116
8	แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+.....	117
9	แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางและขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method IPCC.....	119

แผนภูมิที่ หน้า

10 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากันทดสอบโดย Method Impact 2002+ 120

11 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากันแต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method IPCC 122

12 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ 123

13 แผนภูมิแสดงสัดส่วนปริมาณแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมการก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 126

14 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพจากกิจกรรมก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 127

15 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านระบบนิเวศน์จากกิจกรรมก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบ กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 128

16 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากกิจกรรมก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 129

17 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านทรัพยากรธรรมชาติจากกิจกรรมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 130

แผนภูมิที่ หน้า

18 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 130

19 แผนภูมิแสดงสัดส่วนปริมาณการปล่อยแก๊ซเรือนกระจกจากการศึกษางานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 131

20 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 132

21 แผนภูมิแสดงปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ จากการศึกษาการปรับปรุงการขนส่งระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 133

22 แผนภูมิแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ จากการศึกษาการปรับปรุงการขนส่งระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป 135

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันยังมีความต้องการก่อสร้างอาคาร และสิ่งปลูกสร้างอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองการใช้สอยใหม่ๆ อย่างไรก็ตามแนวโน้มในการก่อสร้างในประเทศไทยมีความเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่มีการใช้แรงงานเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง ทำให้อุตสาหกรรมก่อสร้างมีแนวโน้มหาแนวทางการก่อสร้างที่ลดการใช้แรงงาน โดยใช้เครื่องมือ และเทคโนโลยีการก่อสร้างใหม่ๆมาทดแทน เช่น การก่อสร้างแบบสำเร็จรูป โดยผลิตชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจากโรงงาน แล้วนำมาประกอบที่บริเวณหน้างานก่อสร้าง (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2563) เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง การก่อสร้าง การใช้อาคาร จนถึงรื้อทำลายพบว่ามีการใช้พลังงาน และทรัพยากรในปริมาณสูง รวมถึงก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมที่ตลอดจนสภาวะโลกร้อน โดยพบว่าร้อยละ 30 ของพลังงาน และประมาณ 1 ใน 3 ของทรัพยากร นำมาใช้เพื่อกิจกรรมก่อสร้าง นอกจากนี้อาคารและสิ่งปลูกยังก่อให้เกิดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนถึงร้อยละ 25 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (ชลิตา สุวรรณ, 2563)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกเป็นวิกฤตการณ์ที่อยู่ในความสนใจ และประชาชนโลกมีความตื่นตัวที่จะลดปัญหาดังกล่าว รวมไปถึงวงการก่อสร้างเองก็มีการให้ความสนใจเกี่ยวกับเรื่องนี้ โดยมุ่งเน้นไปที่การออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ประชาชนมีความต้องการที่จะมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และต้องการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงหันมาสนใจอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ในหลายประเทศได้มีการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment ; LCA) สำหรับอาคารและสิ่งปลูกสร้างมากขึ้น เพื่อกำหนดแนวทางในการออกแบบให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (H.Birgisdottir and F.Nygaard Rasmussen, 2016)

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและด้านอื่นๆที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัยต้นแบบชั้นเดียว ขนาดพื้นที่ 86 ตารางเมตร จำนวน 2 หลังที่มีขั้นตอนการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ บ้านแบบแรกเป็นการก่อสร้างแบบบดั้งเดิม(Conventional) และบ้านแบบที่สอง เป็นการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

โดยผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกใช้วิธีการก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นเกณฑ์ และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนของการก่อสร้างบ้านพักอาศัย
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัย ระหว่างวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

ขอบเขตของการวิจัย

1. **ขอบเขตด้านเนื้อหา** การประเมินวัฏจักรชีวิตของบ้านพักอาศัยในขั้นตอนการก่อสร้อาคาร เปรียบเทียบกันระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับ การก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จ (Precast System) โดยดูจากปริมาณก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขั้นตอนการก่อสร้าง แต่การศึกษานี้ยังไม่รวมถึงการใช้อาคารและการรื้อถอนอาคาร โดยการประเมินใช้เครื่องมือในการประเมินเป็นโปรแกรม SimaPro 9.1.1 กระบวนการหาผลกระทบด้วย IPCC GMP 100a และ Impact 2002+
2. **ขอบเขตของพื้นที่** เป็นการก่อสร้างบ้านพักอาศัยชั้นเดียว ในตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ขนาดพื้นที่ 86 ตารางเมตร

ขั้นตอนของการวิจัย

1. รวบรวมและวิเคราะห์เนื้อหาจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น ศึกษาในหัวข้อต่างๆ ได้แก่วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต วิธีการก่อสร้างอาคาร แบบก่อสร้างของอาคารต้นแบบประเภทบ้าน
2. รวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจากวัสดุก่อสร้างที่เลือกใช้ ทั้งจำนวนของวัสดุ วิธีการขนส่งของวัสดุ
3. วิเคราะห์ข้อมูล โดยกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบอาคารต้นแบบมาวิเคราะห์ผลการประเมิน
4. สรุปผลและเปรียบเทียบข้อมูล

สมมติฐานของการวิจัย

บ้านพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยแบบดั้งเดิม (Conventional) มีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มากกว่าบ้านพักอาศัยที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

อุปกรณ์สำหรับการค้นคว้า

1. การศึกษาและวิเคราะห์ผลประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro
2. เก็บรวมรวบของวัสดุก่อสร้างโดยใช้ โปรแกรม Excel และ Word
3. คอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลและจัดทำเอกสาร

วิธีการศึกษา

1. เก็บรวบรวมข้อมูลกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน International Reference Life Cycle Data System (ILCD Format) และสอดคล้องกับ ISO 14048 (LCI Data Documentation)
2. จัดทำฐานข้อมูลLCI จากฐานข้อมูล Eco-invent และประเมินด้วยโปรแกรม SimaPro 9.1.1 ซึ่งข้อมูลที่ได้มานั้นจะต้องนำมาวิเคราะห์โดยมีกระบวนการขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่
    1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope)
    2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)
    3) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Imapact Assessment)
    4) การแปลผล (Interpretation) ได้จากกระบวนการ IPCC GMP 100a และ Impact 2002+ เชื่อมโยงกับงานวิจัยเพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่องานสถาปัตยกรรม
3. สรุปผลการวิจัยและจัดทำข้อมูลวิจัย

ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบว่าระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป วิธีการก่อสร้างแบบใด มีการปล่อยปริมาณแก๊ซเรือนกระจก และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่ากันในขั้นตอนการก่อสร้าง
2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการก่อสร้างบ้านให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง และเป็นแนวทางในการสร้างความเข้าใจในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการก่อสร้างบ้าน

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบการก่อสร้างอาคารในประเทศไทย

1. การก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

1.1. ความหมายของการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

เป็นการก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้าง จะต้องมีการผูกเหล็ก ตั้งแบบ และเทคอนกรีต ในส่วนประกอบขององค์อาคาร เช่น เสา คาน โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นๆ ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างซึ่งเป็นที่นิยมในประเทศไทย (ไตรรัตน์ จารุทัศน์, 2535)

1.2. ขั้นตอนการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

1.2.1. งานปรับดิน

ก่อนการก่อสร้างอาคารทุกครั้งจำเป็นต้องมีการปรับที่ดินให้มีความเหมาะสมต่อการก่อสร้าง โดยวิธีการถม หรือวิธีการการขุด หรืออาจจะใช้ทั้งการถมและการขุด เช่น การขุดดินเพื่อทำสระน้ำ แล้วนำดินที่เหลือจากการขุดสระน้ำนำไปถมในส่วนที่จะทำการก่อสร้างให้สูงขึ้น การถมดินควรเป็นการทำก่อนหน้าฝน เมื่อฝนตกลงมาจะช่วยทำให้ดินที่ถมไปอัดแน่นมากขึ้น (รุ่งรัตน์ ลิ่มทองแท่ง, 2548) โดยการปรับดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

1.2.1.1. การถมดิน

เป็นการใช้รถตักดินแล้วนำมากองๆไว้ ดินเต็มเร็ว แต่จะไม่แน่น จะทรุดตัวภายหลังอย่างมากด้วย ถ้าถมดินในลักษณะ ถมแล้วใช้รถบรรทุกถอยทับ ดินจะแน่นขึ้น จะได้ดินปริมาณมากและทรุดตัวในภายหลังน้อย การถมดินแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

การถมแบบอัด คือการถมดินไปทีละชั้นโดยมีความหนาชั้นประมาณ 20–50 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและการกำหนดของผู้ออกแบบโดยการบดอัดจะบดอัดให้แน่นทีละชั้น แล้วจึงค่อยถมดินในชั้นต่อไป ทำเช่นนี้จนกว่าจะได้ระดับตามที่ต้องการ การถมแบบเช่นนี้จะได้ดินที่อัดแน่นดี มีการทรุดตัวน้อยลง

การถมแบบไม่อัด คือ การถมให้เต็มไปหมดทั้งพื้นที่ในคราวเดียว แล้วจึงบดอัดเฉพาะด้านหน้าผิวดิน การถมลักษณะนี้ ใช้ในการถมดินที่ไม่ต้องการความสูงมากนัก เพราะถ้าเป็นการถมค่อนข้างลึกเกินกว่า 1 เมตร การถมแบบไม่อัดมักจะมีปัญหา การทรุดตัวของดินทำให้เกิดเป็นหลุมเป็นบ่อได้ภายหลัง

1.2.1.2. การขุดดิน

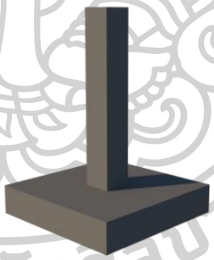
ถ้ามีการขุดระดับต่ำกว่า 2.50 เมตรเพื่อทำห้องใต้ดิน สระว่ายน้ำ หรือถังเก็บน้ำ จะใช้วิธีตอกเข็มไม้ยาวตลอดแนวการขุด เพื่อกันดินถล่ม หรือขุดดินปรับเป็นแนวเอียง ถ้าดินมีความเหนียวพอ ก็ไม่ต้องใช้เข็มไม้ตอก ถ้ามีการขุดระดับลึก 5 เมตร จะยิ่งมีราคาแพง เนื่องจากต้องใช้แผ่นเหล็ก (sheet pile) ตอกเป็นแนวกันดินถล่น และใช้เครื่องตอกที่เป็นเครื่องกลซึ่งมีราคาแพงมาก

1.2.2. งานฐานรากและเสาเข็ม

1.2.2.1. ฐานราก (Footing / Foundation)

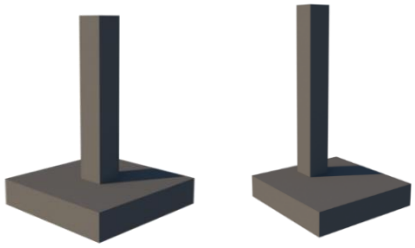
คือ ส่วนที่รับน้ำหนักของตัวอาคารหรือรับน้ำหนักจากโครงสร้างทั้งหมด แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นดิน หรือถ่ายน้ำหนักลงมายังเสาเข็ม ซึ่งสามารถแบ่งฐานรากออกเป็น 3 ประเภทได้ดังนี้

ฐานรากตื้น , ฐานรากแผ่ (Shallow foundation) หรือ ฐานรากที่วางบนดิน (Spread Foundation) คือฐานรากที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นดิน เป็นประเภทฐานรากที่ไม่ใช้เสาเข็ม เหมาะกับสิ่งก่อสร้างที่ปลูกบนพื้นดินที่มีดินชั้นบนแข็ง และมีความหนาแน่นพอที่จะรองรับน้ำหนักได้ ทำให้ยากต่อการขุดเจาะ ฐานรากตื้น หรือ ฐานรากแผ่จึงเหมาะกับโครงสร้างที่มีน้ำหนักไม่มาก โดยมักจะวางบนดินทรายที่บดอัดแน่น โดยฐานรากประเภทนี้สามารถแบ่งแยกย่อยได้อีก 3 ประเภท คือ คือ ฐานรากแผ่เดี่ยว ฐานรากแผ่ปูพรม และฐานรากร่วม



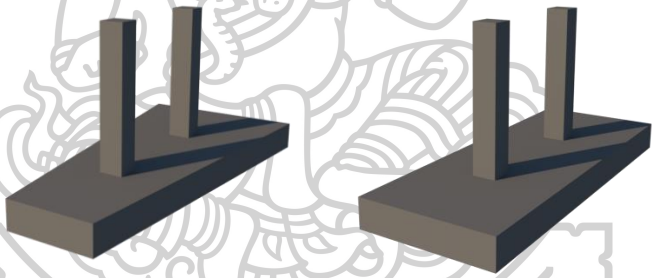
ภาพที่ 1 ฐานรากตื้น หรือฐานรากแผ่ (Shallow foundation)

1) ฐานรากแผ่เดี่ยว (Isolated footing) คือฐานรากที่รับน้ำหนักจากเสาอาคารเพียงต้นเดียวแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นดินอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยความหนาของฐานรากต้องสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนได้เพียงพอและป้องกันการกัดกร่อนเนื่องจากความชื้นที่อาจทำให้เหล็กเกิดสนิมได้ ซึ่งฐานรากแผ่เดี่ยวที่ดี ตำแหน่งของตอม่อ หรือ เสาจะอยู่ตรงศูนย์กลางของฐานราก แต่บางกรณีที่ต้องสร้างฐานรากชิดแนวเขตที่ดิน ทำให้ไม่สามารถสร้างเกินไปในเขตของผู้อื่นได้ ทางผู้ออกแบบจะวางตำแหน่งของตอม่อ หรือเสาไว้ด้านในด้านหนึ่งของฐานราก หรือเรียกได้ว่า ฐานรากตีนเป็ด หรือ ฐานรากชิดเขต (Strap Footing)



ภาพที่ 2 ฐานรากแผ่เดี่ยว (Isolated Footing) และฐานรากแบบชิดเขตหรือฐานรากตีนเป็ด (Strap Footing)

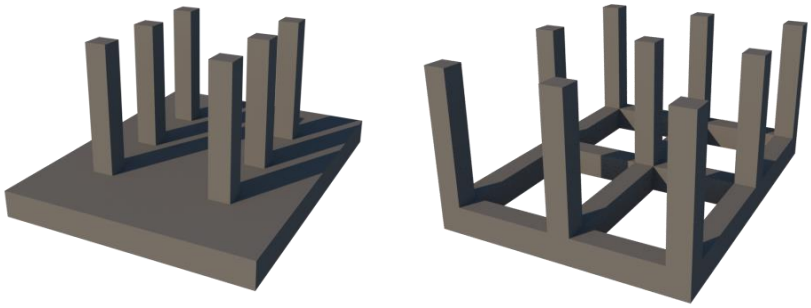
2) ฐานรากแผ่ร่วม (Combined footing) คือฐานรากที่ใช้รับน้ำหนักของเสา 2 ต้นขึ้นไป ใช้ในกรณีที่เสามีระยะใกล้กันมากๆ เช่น มีเสาห่างกันประมาณ 1.5 – 2 เมตร เป็นฐานรากที่ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาในกรณีไม่สามารถสร้างฐานรากเดี่ยวที่สมมาตรได้ หากฐานรากไม่สมมาตร เมื่อรับน้ำหนักที่ถ่ายลงบนฐานรากไม่เท่ากัน จะทำให้เกิดแรงเยื้องศูนย์ซึ่งอาจทำให้อาคารหรือโครงสร้างทรุดตัวได้ โดยทำให้ฐานรากมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู



ภาพที่ 3 ฐานรากแผ่ร่วม (Combined Footing)

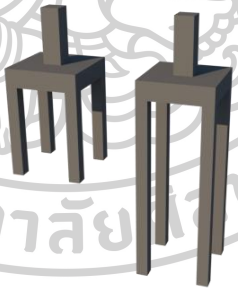
3) ฐานรากแผ่ปูพรม หรือฐานรากรากแพ (Mat or Raft Foundation)

คือ ฐานรากที่มีลักษณะเป็นฐานแผ่ร่วมขนาดใหญ่ หรือผืนเดียวกันทั้งหมด ใช้รับน้ำหนักของเสาหลายๆต้นได้ ฐานรากแพ หรือ ฐานรากแผ่ปูพรม มักจะนิยมใช้กับอาคารสูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้เสาเข็มแต่มีพื้นที่คับแคบ โดยจะมีข้อดีที่สามารถกระจ่ายน้ำหนักสู่ดิน หรือหินได้ดีกว่า และไม่มีปัญหาทรุดตัว เพราะฐานรากมีความต่อเนื่องตลอดเป็นแพ แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงและใช้เวลาในการก่อสร้างค่อนข้างมาก



ภาพที่ 4 ฐานรากแผ่ปูพรม หรือฐานรากแพ (Mat or Raft Footing)

ฐานรากวางบนเสาเข็ม (Piled foundation) คือฐานรากที่เหมาะกับโครงสร้างที่สร้างบนชั้นดินที่มีพื้นดินอ่อน หรือดินไม่มีแรงพอที่จะรองรับโครงสร้าง โดยต้องอาศัยเสาเข็มในการถ่ายน้ำหนักลงไปยังชั้นดินแข็งที่อยู่ลึกลงไป ซึ่งแต่ละพื้นที่นั้นก็มีระยะของชั้นดินแข็งที่ลึกลงไปแตกต่างกัน เช่น พื้นที่เขตกรุงเทพฯ จะมีความลึกของชั้นดินแข็งประมาณ 17-23 เมตร โดยเสาเข็มที่ใช้ก่อนจะวางฐานรากจะสามารถแบ่งเสาเข็มได้เป็น 2 ประเภท คือ ฐานรากเสาเข็มสั้น และ ฐานรากเสาเข็มยาว ซึ่งจะมีความเหมาะสมตามการใช้งานแตกต่างกันไป เช่น อาคารบ้านพักอาศัย อาคารที่อยู่อาศัยที่ปลูกในบริเวณภาคกลาง โดยขนาดของเข็มจะมีความยาวตั้งแต่ 6 – 16 เมตร โดยส่วนใหญ่จะใช้กับบ้านชั้นเดียว หรือบ้านสองชั้น และในส่วนของฐานรากเสาเข็มยาว จะเหมาะกับการก่อสร้างที่รับน้ำหนักจำนวนมาก อย่างเช่น อาคารสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ



ฐานรากเสาเข็มสั้น ฐานรากเสาเข็มยาว

ภาพที่ 5 ฐานรากวางบนเสาเข็ม (Piled Foundation)

ฐานรากแบบตอม่อ คือการทำฐานรากคอนกรีตหล่อลึกลงไปใน ดิน หรือน้ำโดยจะมีความแข็งแรงค่อนข้างมาก แต่ไม่นิยมใช้กันในการสร้างบ้านพักอาศัย

1.2.2.2. เสาเข็ม (Pile foundations)

เป็นตัวกลางในการถ่ายเทน้ำหนักของตัวอาคารลงสู่พื้นดิน โดยถ่ายน้ำหนักจากหลังคา ,พื้น ,คาน ,เสา ,ตอม่อ และฐานราก ลงไปสู่ชั้นดินตามลำดับ รูปแบบของงานเสาเข็ม ที่ถูกนำมาใช้เพื่อรับน้ำหนัก

อาคาร แตกต่างกันตามประเภทของเสาเข็ม ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน หรือรูปแบบของอาคาร สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะของการผลิต และการใช้งาน ได้แก่

ภาพที่ 6 เสาเข็ม (Piled foundations)

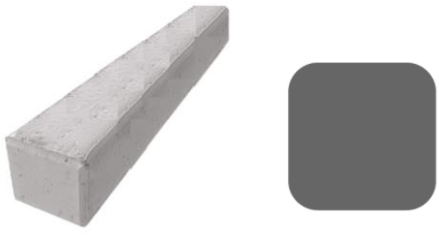
เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Prestressed concrete pile) คือ เสาเข็มมที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็ว กับลวดเหล็กอัดแรงกำลังสูงมาทำเป็นโครงภายใน เสาเข็มชนิดนี้นิยมใช้ในอาคารพาณิชย์ และบ้านพักอาศัย โดยวิธีที่ใช้ในการลงเสาเข็ม คือการตอกลงไปในดินโดยใช้ปั้นจั่น ข้อดีของการใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง คือวิธีการตอกที่ไม่ยุ่งยาก และประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงสามารถแบ่งตามรูปร่างลักษณะได้เป็นดังนี้

1) เสาเข็มรูปตัวไอ

ภาพที่ 7 เสาเข็มรูปตัวไอ

ที่มา : (Wongwaipiling, 2561)

2) เสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน



ภาพที่ 8 เสาเข็มสี่เหลี่ยมตัน

ที่มา : (Wongwaipiling, 2561)

3) เสาเข็มหกเหลี่ยมชนิดกลวง

ภาพที่ 9 เสาเข็มหกเหลี่ยมชนิดกลวง

ที่มา : (Wongwaipiling, 2561)

4) เสาเข็มรูปตัวที

ภาพที่ 10 เสาเข็มรูปตัวที

ที่มา : (Wongwaipiling, 2561)

เสาเข็มเจาะ (Bored Pile) คือเสาเข็มที่นำเครื่องเจาะขุดลงบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง โดยความลึกตามขนาดของเสาเข็ม แล้วจึงทำการหล่อเสาเข็มด้วยการนำเหล็กเสริมใส่ลงไปภายในหลุม เทคอนกรีต ประเภทเสาเข็มเจาะมี 2 ประเภท คือ

1) เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก (Small diameter bored pile) เป็นเสาเข็มที่มีกรรมวิธีที่ใช้ในการเจาะ คือการเจาะแบบแห้ง เจาะลึกลงไปประมาณ 18-23 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 35-60 เซนติเมตร

ภาพที่ 11 เสาเข็มขนาดเล็ก

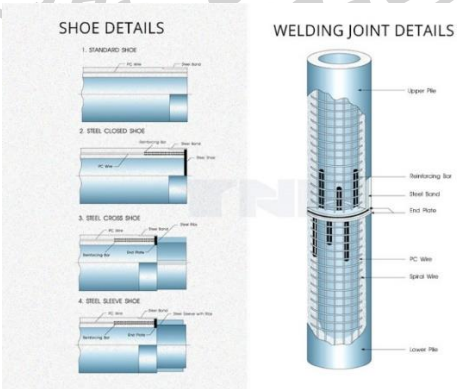
ที่มา : (ปรรณวัฒน์, 2017)

2) เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ (Large diameter bored pile) เป็นเสาเข็มที่มีกรรมวิธีที่ใช้ในการเจาะ คือการเจาะระบบเปียก เจาะลึกลงไปประมาณ 25-65 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 เซนติเมตรขึ้นไป

ภาพที่ 12 เสาเข็มขนาดใหญ่

ที่มา : (ปรรณวัฒน์, 2017)

เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง (Prestressed concrete spun pile) เป็นเสาเข็มที่มีกรรมวิธีที่ใช้ในการเจาะได้หลากหลายวิธี ทั้งวิธีการตอกด้วยปั่นจั่น หรือใช้ระบบเจาะ โดยลักษณะของเสาเข็มสปันเป็นเสากลมตรงกลางกลวง มีโครงลวดเหล็กอัดแรงฝังอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตโดยรอบ การสร้างเสาเข็มสปันนั้นใช้วิธีการปั่นคอนกรีตในแบบหล่อด้วยความเร็วสูง เพื่อทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่น แข็งแรง รับน้ำหนักได้มากกว่าเสาเข็มที่หล่อด้วย และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-100 เซนติเมตร ความหนาของเนื้อคอนกรีต 6-14 เซนติเมตร ความยาว 6-18 เซนติเมตร และสามารถเพิ่มความยาวได้โดยการนำเสาเข็มมาเชื่อมต่อกัน

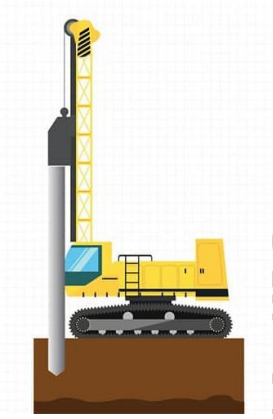


ภาพที่ 12 เสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง

ที่มา : (บริษัทไทย เนชั่นแนล โปรดัคท์ จำกัด, 2016)

แบ่งตามรูปแบบการก่อสร้าง สามารถแบ่งเสาเข็มออกได้ 3 ประเภทคือ

1) เสาเข็มตอก (Driven Pile) คือเสาเข็มต้องใช้ปั้นจั่นตอกเสาเข็มลงไปในดินจนได้ความลึกที่ต้องการ ข้อดีคือ ทำงานได้เร็ว มีราคาค่อนข้างประหยัด แต่ข้อเสีย คือก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในเวลาตอกมากกว่าเข็มทุกประเภท อาจจะทำให้อาคารข้างเคียงแตกร้าว อันเนื่องจากแรงสั่นสะเทือน นอกจากนั้นการดำเนินการยังต้องใช้พื้นที่ เช่น การติดตั้งปั้นจั่น เข็มที่มีความยาวก่อให้เกิดความไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย หน้าตัดของเข็มตอกอาจจะเป็นรูปตัวไอ หรือ สี่เหลี่ยมตัน โดยทั่วไปจะมีขนาดยาวประมาณ 8 - 9 เมตรต่อท่อน แต่สามารถต่อ 2 ท่อ เพื่อเพิ่มความลึกได้



ภาพที่ 14 เสาเข็มตอก (Driven pile)

ที่มา : (FIRM, 2562)

เสาเข็มตอกมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

ภาพที่ 15 ส่วนประกอบของเสาเข็มตอก

ที่มา : (SGGENE, 2560)

ขั้นตอนในการก่อสร้างเสาเข็มตอก

ขั้นตอนที่ 1 : สำรวจชั้นดินที่จะก่อสร้าง

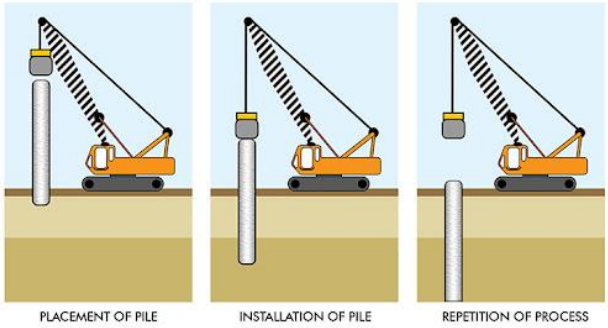
ขั้นตอนที่ 2 : ออกแบบเสาเข็มให้เหมาะสมกับชั้นดิน

ขั้นตอนที่ 3 : การก่อสร้างเสาเข็ม

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดเงื่อนไขในการควบคุมการตอก ซึ่งมีหลายสูตรให้ใช้ เช่น Hiley, Janbu และ Gate

ขั้นตอนที่ 5 : ตอกเสาเข็ม ตรวจสอบคุณภาพขณะตอก

ขั้นตอนที่ 6 : ควบคุมคุณภาพเสาเข็มที่ตอกแล้ว เพื่อพิสูจน์ว่าเสาเข็มนั้นรับน้ำหนักบรรทุกได้จริงตามที่ออกแบบ โดยใช้วิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) หรือ วิธีพลศาสตร์ (Dynamic load test)

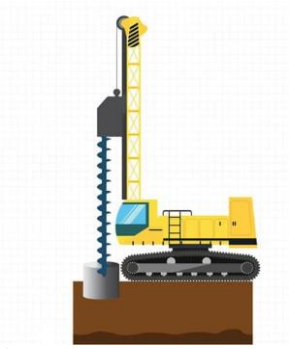


ภาพที่ 16 กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มตอก

ที่มา : (PILINSERVICE, 2563)

2) เสาเข็มกลมกลวง (Auger Press Pile) คือเสาเข็มที่สามารถรับแรงได้มากกว่าเสาเข็มแบบตอก เพราะสามารถก่อสร้างเสาเข็มให้ขนาดใหญ่กว่าเข็มตอก โดยการปั่นหมุนคอนกรีตให้เสาเข็มออกมากลมกลวง การขุดหลุมมักจะขุดหลุมไว้ก่อน แล้วจึงกดเสาเข็มลงไปพอถึงระดับที่ต้องการจึงจะเริ่มตอก ทำให้มีส่วนของเสาเข็มไปแทนที่ดินน้อยลง เนื่องจากมีดินถูกขุดออกมาบางส่วนแล้ว อาคารข้างเคียงเดือดร้อนน้อยลงจากการเคลื่อนตัวของดิน แต่ความดัง ฝุ่นละออง และความสะเทือนยัง คงอยู่

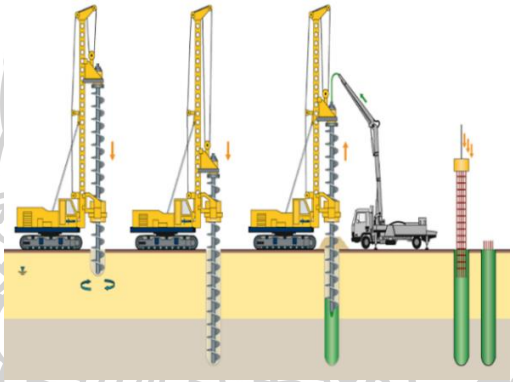
3) เสาเข็มเจาะ (Bored Pile) คือเสาเข็มที่ก่อสร้าง โดยหล่อคอนกรีตลงไปในดินที่ถูกเจาะเป็นหลุมไว้ล่วงหน้าให้เต็ม เพื่อช่วยแก้ปัญหาที่พบจากการใช้เสาเข็มตอก ทั้งการขนย้ายเสาเข็มเข้าพื้นที่ก่อสร้าง การรบกวนอาคารรอบข้างเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจากการตอก รวมทั้งการควบคุมตำแหน่ง และแนวของเสาเข็ม แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ



ภาพที่ 17 เสาเข็มเจาะ (Bored pile)

ที่มา : (FIRM, 2562)

วิธีที่ 1 กระบวนการแห้ง (Dry Process) คือกระบวนการที่ใช้กรณีที่ดินข้างเคียงหลุมมีเสถียรภาพ โดยการเจาะแบบแห้งสามารถเครื่องมือเจาะลงไปได้เลยไม่จำเป็นต้องใช้น้ำ และขนาดเสาเข็มที่ใช้เป็นขนาดเล็ก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 35-60 เซนติเมตร มีความลึก 18-23 เซนติเมตร



ภาพที่ 18 กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง (Dry Process Bored Pile)

ที่มา : (PILINSERVICE, 2563)

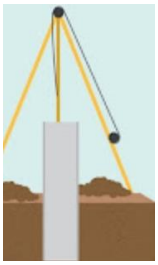
กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง (Dry process bored pile) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ตั้ง 3 ขา แล้วใช้ลูกตุ้มเหล็ก หรือกระบะตักดินกระแทกลงไปในดินลึกประมาณ 1 เมตร

ภาพที่ 19 ขั้นตอนที่ 1 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

ขั้นตอนที่ 2 : หลังจากนั้นนำปลอกเหล็กตอกลงไปในหลุมเจาะ ลึกประมาณ 15-19 เมตร ซึ่งระดับความลึกระดับนี้จะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน



ภาพที่ 20 ขั้นตอนที่ 2 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง

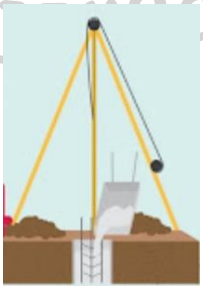
ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

ขั้นตอนที่ 3 : ทำการเจาะดินโดยทิ้งกระบะตักดินลงไปในปลอกเหล็ก แล้วตักขึ้นมาทิ้งบริเวณปากหลุม การเจาะดินจะทำการเจาะไปถึงชั้นทรายแล้วจึงหยุดเจาะ เนื่องจากชั้นทรายจะมีน้ำไหลซึมออกมาตลอดซึ่งจะทำให้ก้นหลุมพัง

ภาพที่ 21 ขั้นตอนที่ 3 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

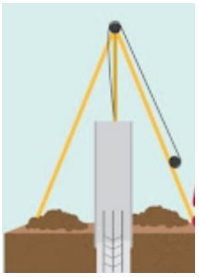
ขั้นตอนที่ 4 : ใส่เหล็กเสริมลงไปในปลอกเหล็ก แล้วเทคอนกรีตลงไปในปลอกเหล็ก



ภาพที่ 22 ขั้นตอนที่ 4 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้ง

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

ขั้นตอนที่ 5 : หลังจากเทคอนกรีตเสร็จให้รีบดึงปลอกเหล็กขึ้นทันที

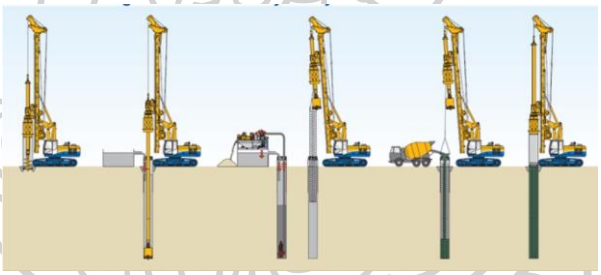


ภาพที่ 23 ขั้นตอนที่ 5 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มแบบแห้ง

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

ข้อดี ของเสาเข็มเจาะชนิดนี้ คือเข้าทำงานในที่แคบ ๆ ได้ แต่**ข้อเสีย** คือรับน้ำหนักได้ค่อนข้างน้อย

วิธีที่ 2 กระบวนการเปียก (Wet Process) คือกระบวนการที่ใช้กรณีที่ดินข้างเคียงหลุมไม่มีความเสถียร พังทลายได้ง่าย โดยการเจาะในกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้น้ำผสมกับสารเบนโทไนท์ หรือน้ำกับสารโพลิเมอร์เพื่อเป็นการเคลือบผิวดิน และพยุงดินบริเวณข้างหลุดที่ทำการเจาะไม่ให้พังลงมาเสาเข็มเจาะที่ใช้กระบวนการนี้เป็นเสาเข็มขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า60 เซนติเมตรขึ้นไป มีความลึก 25-65 เมตร

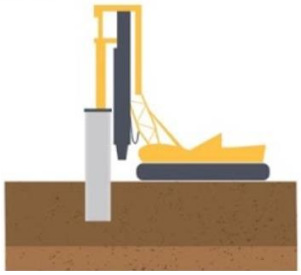


ภาพที่ 24 กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก (Wet Process Bored Pile)

ที่มา : (AUSIPILE, 2560)

กระบวนการในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก (Wet process bored pile) มีขั้นตอนดังนี้

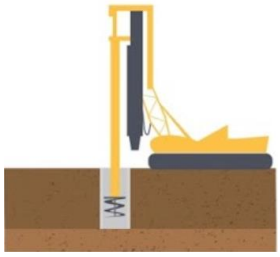
ขั้นตอนที่ 1 : ปักท่อเหล็กโดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนไฮโดรลิคความถี่สูง (VIBRO HAMMER)



ภาพที่ 25 ขั้นตอนที่ 1 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

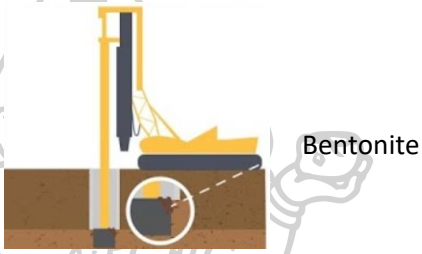
ขั้นตอนที่ 2 : เริ่มต้นการเจาะโดยใช้เครื่องเจาะเจาะจนถึงชั้นแรกของดินทราย



ภาพที่ 26 ขั้นตอนที่ 2 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

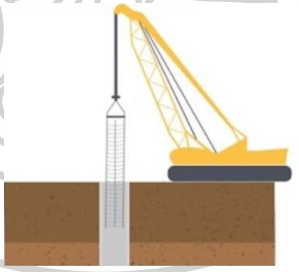
ขั้นตอนที่ 3 : ใช้ Bucket เจาะชั้นทรายพร้อมปล่อยสารเบนโทไนท์ เพื่อเคลือบผิวดินป้องกันดินพัง



ภาพที่ 27 ขั้นตอนที่ 3 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

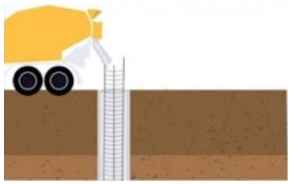
ขั้นตอนที่ 4 : เจาะจนได้ความลึกที่ต้องการจึงวางเหล็กเส้นลงไป



ภาพที่ 28 ขั้นตอนที่ 4 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

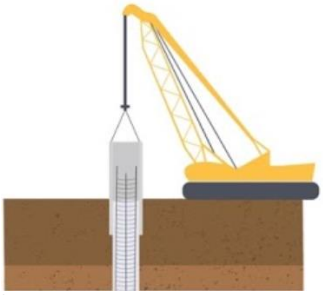
ขั้นตอนที่ 5 : เทคอนกรีตจนสูงกว่าระดับที่ต้องการ 2 - 3 เมตร



ภาพที่ 29 ขั้นตอนที่ 5 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

ขั้นตอนที่ 6 : ถอดปลอกเหล็กโดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนไฮโดรลิคความถี่สูง (VIBRO HAMMER)



ภาพที่ 30 ขั้นตอนที่ 6 ในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ที่มา : (ช่างมันส์, 2560)

ข้อดี สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเสาเข็มเจาะระบบแห้ง และยังเกิดมลภาวะน้อย

1.2.3. งานโครงสร้างหลังคา

ทำหน้าที่คุ้มแดดคุ้มฝนให้แก่ตัวบ้านและผู้อยู่อาศัย นอกจากนี้โครงสร้างหลังคา และตัวหลังคายังเป็นส่วนที่อยู่สูงสุดของตัวบ้าน ดังนั้นปัญหาเรื่องการรับน้ำหนักของตัวหลังคาจึงไม่ค่อยพบ แต่ที่พบบ่อยจะเป็นปัญหาเรื่องการเกาะยึดของตัวหลังคาและโครงหลังคา เช่น เมื่อมีลมพายุพัดแรงหลังคาที่สร้างไว้ไม่มั่นคง หรือมีการเกาะยึดไม่ดี จะมีโอกาสจะปลิวหลุด หรือเกิดความเสียหายด้านอื่นนอกจากนี้ปัญหาที่ได้บ่อยอีกเรื่องคือการแตกร้าวของหลังคา หรือการรั่วของหลังคาปัญหาเหล่านี้มักมีสาเหตุมาจากวัสดุที่ใช้ทำหลังคา หรือขาดความประณีตในการทำหลังคา เพราะว่าหลังคาเป็นส่วนที่อยู่สูงที่สุดของตัวบ้าน เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นมักมองไม่เห็น และทำการแก้ไขได้ยาก ฉะนั้นขั้นตอนการก่อสร้างที่ประณีต และการควบคุมดูแลอย่างถูกต้องจะช่วยลดปัญหาต่างๆได้อย่างมาก โครงสร้างของหลังคาแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ โครงหลังคา และวัสดุมุงหลังคา

1.2.3.1. โครงหลังคา

ทำหน้าที่รับน้ำหนักของวัสดุมุงหลังคา และทำหน้าที่ยึดตัวหลังคาทั้งหมดให้เชื่อมต่อกับโครงสร้างของเสาและคานของตัวบ้านให้แข็งแรง โครงหลังคาที่ดีนอกจากจะต้องมีการเชื่อมต่อ หรือเกาะยึดที่แข็งแรง ยังต้องมีความคงทนต่อสภาพภูมิอากาศ และสภาพกาลเวลาที่ผ่านไป อีกทั้งการสร้างโครงหลังคาจะต้องสร้างด้วยความประณีตและถูกต้องในเรื่องของขนาดและระยะต่าง ๆ เพื่อให้แนวหลังคาที่มุงเสร็จอยู่ในลักษณะเข้าที่เรียบร้อย โครงหลังคา ที่ใช้ในบ้านเรือนทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ตามวัสดุที่ใช้ คือ

โครงหลังคาไม้ เป็นที่นิยมในสมัยก่อน เนื่องจากต้นทุนของวัสดุต่ำขั้นตอนการปลูกสร้างไม่ยุ่งยาก ในปัจจุบันบ้านส่วนใหญ่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต ทำให้ยากต่อการเชื่อมต่อกัน นอกจากนั้นไม้เป็นวัสดุที่หายาก มีราคาแพง และโครงหลังคาไม้ยังพบปัญหาของปลวก

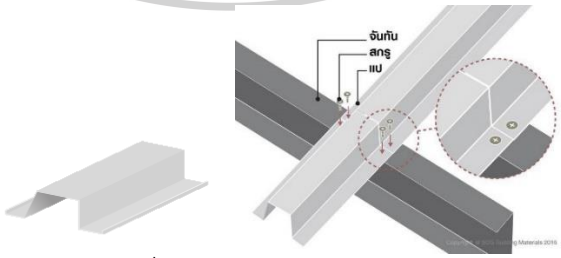
โครงหลังคาเหล็ก เป็นโครงหลังคาที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากเหล็กเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง คงรูป แต่มีข้อคำนึงเรื่องอายุการใช้งาน เนื่องจากเมื่อผ่านเวลาไประยะเวลาหนึ่งบริเวณผิวของเหล็กจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และความชื้น ทำให้เกิดสนิม และทำให้คุณสมบัติของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปจึงจำเป็นต้องมีวิธีการป้องกันสนิม เช่นการชุบสังกะสี หรือการเคลือบสีเพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนาน นอกจากนี้เหล็กยังเป็นวัสดุที่มีรูปแบบ และขนาดให้เลือกที่หลากหลายจึงเหมาะกับรูปทรงหลังคา

ส่วนประกอบของหลังคา (Roof structure)

ระแนง หรือ แป

ระแนง (Batten) สมัยก่อนใช้เป็นไม้สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดหน้าตัดประมาณ 1 x 1 นิ้ว หรือ 1 1/2 x 1 1/2 นิ้ว วางห่างกันตามขนาดของกระเบื้องแต่ละชนิด ปัจจุบันวัสดุมุงหลังคามีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้วัสดุไม้ไม่สามารถใช้ได้ รวมกับไม้หายาก มีราคาแพง จึงเปลี่ยนมาใช้เหล็กกล่อง ขนาด 25 x 25 x 1.6มม. หรือ 50 x 50 x 1.6 มม. วางห่างกันตามมาตรฐานที่กระเบื้องแต่ละประเภทกำหนด เพื่อให้มีความแข็งแรง แบกรับน้ำหนักกระเบื้องได้ดี

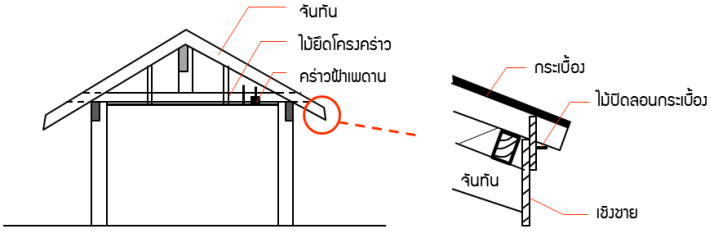
แป (Purlin) ประเภทไม้ซึ่งจะใช้ไม้ยางมีขนาดหน้าตัดทั่วไปคือ 1 1/2 x 3 นิ้ว และ 2 x 4 นิ้ว ใช้รองรับกระเบื้องแผ่นใหญ่ที่มีน้ำหนักไม่มาก เช่น กระเบื้อง ลอนคู่ กระเบื้องลูกฟูก ระยะห่างโดยทั่วไปจะประมาณ 1 เมตร สำหรับกระเบื้องที่ยาว 1.2 ม. หรือระยะห่าง 1.3 ม. สำหรับกระเบื้องที่ยาว 1.5ม. ถ้าเป็นเมทัลชีท หรือสังกะสีที่มีน้ำหนักเบามาก ปัจจุบันนิยมใช้แปเหล็กตัวซีบาง หรือเหล็กกล่องขนาดทั่วไปคือ C 75 x 40 x 15 x 2.3 มม. หรือ C 100 x 50 x 20 x 3.2 มม. นอกจากนี้ ยังมีระบบแปที่เป็นเหล็กเคลือบกัลวาไนซ์ ทำให้โครงสร้างไม่เป็นสนิม ไม่ต้องทาสีซ้ำ ซึ่งมีหลายขนาดให้เลือกตามประเภทของกระเบื้อง และการรับน้ำหนักที่ต้องการ



ภาพที่ 31 ตัวอย่างแปเหล็กรูปตัวซี
ที่มา : (CJ Metallic 2022)

จันทัน (Rafter) เป็นส่วนโครงสร้างที่รับน้ำหนักหลังคาจากแป การพิจารณาหน้าตัดของจันทันจากพื้นที่รับหลังคา และน้ำหนักของกระเบื้องแต่ละชนิดที่จะนำมาใช้ โดยจันทันจะวางพาด

ระหว่างอะเสเพื่อถ่ายน้ำหนักให้อะเส โดยทั่วไปหน้าตัดที่ใช้ได้แก่ 1 1/2" x 6", 2" x 6", 1 1/2" x 8", 2" x 8" เป็นต้น โดยจันทันแบ่งออกเป็น จันทันพราง และจันทันเอก มีความแตกต่างกันที่จันทันเอกเป็นจันทันที่อยู่ ณ ตำแหน่งหัวเสา ส่วนจันทันพราง เป็นจันทันที่อยู่ระหว่างช่วงเสาถึง โดยทั่วไปจันทันจะเป็นไม้เนื้อแข็งมีขนาดหน้าตัดประมาณ 1 1/2 x 5นิ้ว และ 2 x 6 นิ้ว หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซีหรือเหล็กกล่องขนาด C 125 x 50 x 20 x 3.2 มม. หรือ C 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. วางห่างกันประมาณ 60 – 80 ซม. ถ้าใช้รองรับระแนง และวางห่างกันประมาณ 1 - 1.2 ม. ถ้าใช้รองรับแป

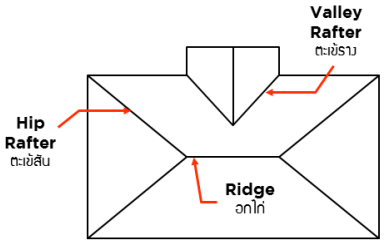


ภาพที่ 32 ตำแหน่งของจันทัน

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

ตะเข้สัน (Hip Rafter) หรือ ตะเข้ราง (Valley Rafter) เป็นชิ้นส่วนที่พบได้ในหลังคาทรงปั้นหยา โดยทำหน้าที่เสมือนกับจันทันเอก การวางระดับหลังของจันทันและตะเข้จะต้องเท่ากันเพื่อให้สามารถวางแปร หรือระแนง ได้ทุกด้านของหลังคา พบว่าตะเข้สัน หรือตะเข้รางจะอยู่เป็นคู่ หรือใช้การเสริมค้ำยันยันใต้ตะเข้สัน เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และลดการแอ่นตัว เนื่องจากต้องรับน้ำหนักจากจันทันหลายตัว และไม่สามารถขยายหน้าตัดได้ ตะเข้สันมีหน้าตัดเป็น 2-1 1/2 x 5 นิ้ว และ 2-2 x 6 นิ้ว เป็นวัสดุไม้ 2C-125x50x20x3.2 มม. หรือ 2C-150x50x20x3.2 มม. ถ้าเป็นเหล็กตัวซี หรือเหล็กกล่อง

อกไก่ (Ridge) เป็นชิ้นส่วนที่พบได้ในหลังคาทรงปั้นหยา หรือทรงจั่ว ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนคานอยู่บริเวณส่วนกลาง แบกรับน้ำหนักจากจันทันทุกตัว โดยทั่วไปจะเป็นไม้เนื้อแข็งขนาด 2 – 2 x 6 นิ้ว และ 2 x 8 นิ้ว หรือใช้เป็นเหล็กตัวซี หรือเหล็กกล่อง เช่น C 150 x 50 x 20 x 3.2 มม. และ 2C 150 x 50 x 20 x 3.2 มม.



ภาพที่ 33 ตำแหน่งของตะเข้สัน ตะเข้ราง และอกไก่

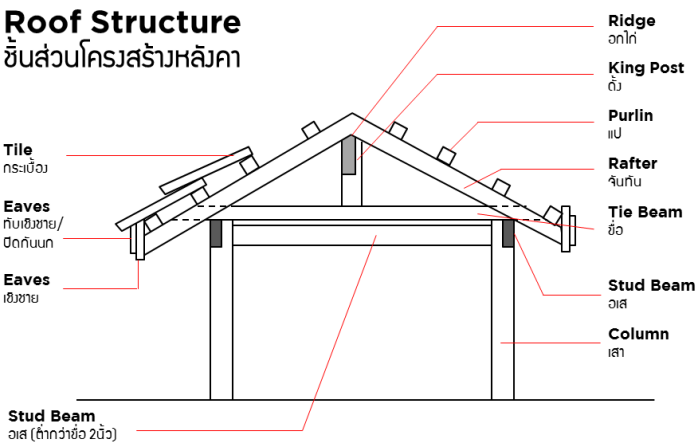
ที่มา : (Onestockhome, 2563)

ดั้ง (King Post) เป็นเสาเสริมขึ้นมารองรับในกรณีตำแหน่งของอกไก่วางไม่ตรงกับเสาของอาคาร โดยมีหน้าที่รองรับอกไก่ทดแทนเสาจริงของอาคาร โดยทั่วไปจะเป็นไม้เนื้อแข็งสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 4 x 4 นิ้ว และ 6 x 6 นิ้ว อาจใช้เป็นเหล็กตัวซี หรือเหล็กกล่อง เช่น 2C 100x50x20x3.2 มม. และ 2C 125x50x20x3.2มม. วางประกบเข้ากันเป็นรูปเสา

ขื่อ (Tie Beam) หรือ สะพานรับดั้ง เป็นคานที่รับน้ำหนักมาจากดั้ง และถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาอาคาร โดยทั่วไปจะเป็นไม้เนื้อแข็งขนาด 2 - 2x6 นิ้ว และ 2 - 2x8 นิ้ว หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซี หรือเหล็กกล่อง เช่น 2C 125x50x20x3.2 มม. และ 2C 150x50x20x3.2 มม.

อะเส (Stud Beam) เป็นคานชั้นบนสุดของอาคาร ซึ่งทำหน้าที่เสมือนคานรัดรอบตัวอาคาร และถ่ายน้ำหนักโครงหลังคาสู่เสา ขนาดของอเสมาจจากการคำนวณตามความยาวของเสาและพื้นที่หลังคาที่รับน้ำหนัก โดยทั่วไปจะเป็นไม้เนื้อแข็งขนาด 2x6 และ 2 x 8 นิ้ว หรืออาจใช้เป็นเหล็กตัวซี หรือเหล็กกล่อง เช่น C 125x50x20x3.2 มม. และ C 150x50x20x3.2 มม.

เชิงชาย หรือทับเชิงชาย หรือทับปั้นลม หรือปิดกันนก และปั้นลม เป็นไม้ที่ใช้ปิดปลายชายคาของจันทันทุกตัว เพื่อป้องกันจากแดดและฝน ที่จะทำให้เกิดการผุเปื่อยของไม้ที่ปลายจันทัน ทับเชิงชายหรือทับปั้นลม หรือที่เรียกว่า แผ่นปิดกันนก เป็นไม้ที่ตีทับลงไปบนไม้เชิงชายหรือปั้นลมอีกครั้งหนึ่ง เพื่อปิดช่องระหว่างจันทันกับหลังคา เพื่อป้องกันไม่ให้ นก หนู หรือแมลงใดๆ เข้าไปทำรังใต้หลังคาได้ ในหลังคาทรงจั่วจะมีการเอาไม้ตีทับลงไปบนด้านข้างของจันทันตัวนอกสุดของหลังคาเรียกว่า ปั้นลม ขนาดของเชิงชายและปั้นลมคือ 3/4 x 6 นิ้ว และ 3/4 x 8 นิ้ว และขนาดของทับเชิงชายหรือทับปั้นลมหรือปิดกันนกคือ 3/8 x 4 นิ้ว และ 1/2 x 6 นิ้ว ความยาวของไม้เชิงชาย ควรเลือกที่มีขนาดยาวที่สุดเพื่อให้ไม่มีรอยต่อ



ภาพที่ 34 ชิ้นส่วนโครงสรางหลงคา

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

การเลือกใช้หลังคา มีข้อควรคำนึงดังต่อไปนี้

ข้อที่ 1 หลังคาต้องมีความเหมาะสม กับสถาพภูมิอากาศ คือสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งมีทั้งความร้อนจากแสงอาทิตย์ และความชื้นในอากาศ ดังนั้นการเลือกใช้หลังคาจึงต้องคำนึงถึงความสามารถ ในการป้องกันความร้อน รวมถึงการออกแบบ ระบบการระบายความร้อน ใต้หลังคา และการป้องกันความร้อน โดยใช้วัสดุประเภท ฉนวน ที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดี ส่วนกรณี การระบาย ความร้อนใต้หลังคา ควรมีการเจาะช่องลม ให้ลมพัดมาเอา ความร้อนใต้หลังคา ออกจากตัวบ้านออกไปได้สะดวก ไม่เก็บความร้อน จนระบายผ่าน ฝ้าเพดาน สู่ห้องด้านล่าง รูปทรงหลังคาที่เป็นที่ยอมรับกันว่าเหมาะกับสภาพภูมิอากาศบ้านเราคือ หลังคาทรงจั่ว และหลังคาทรงปั้นหยา เพราะสามารถ กันแดดกันฝน ทั้งยังระบายความร้อนใต้หลังคาได้ดี หลังคาประเภทอื่นก็ใช้ได้ หากมีการแก้ปัญหา เรื่องกันแดดกันฝน และเรื่องการระบายความร้อน ใต้หลังคา

ข้อที่ 2 ความสวยงามกลมกลืนกับรูปทรงของบ้านตลอดจนสภาพแวดล้อม และลักษณะเฉพาะ สะท้อนภาพลักษณ์ของเจ้าของบ้าน

ข้อที่ 3 เหมาะสมกับงบประมาณ โดยงบประมาณการก่อสร้าง ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการก่อสร้างที่แตกต่างกันรวมถึงวัสดุที่ใช้

ข้อที่ 4 ความแข็งแรงทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศ

ข้อที่ 5 วัสดุที่มีความสามารถในการทนไฟเพื่อป้องกันเหตุเพลิงไหม้

ข้อที่ 6 วัสดุที่ไม่เก็บความร้อนและป้องกันเสียง

ประเภทของหลังคา พิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสม

หลังคาแบน (Flat Slab) มีลักษณะแบนราบ มักถูกใช้เป็นพื้นดาดฟ้า แต่เนื่องจากรับความร้อนมาก และกันแดดกันฝนได้น้อย ส่วนใหญ่จึงนำมาใช้กับอาคารตึกแถวหรืออาคารพาณิชย์สูงหลายชั้น การก่อสร้างหลังคาประเภทนี้คล้ายกับการก่อสร้างพื้น แต่มีควรจะผสมน้ำยากันซึม หรือควรมีวัสดุกันซึมปูทับอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้สามารถขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้

ข้อดี : สร้างง่าย ประหยัดวัสดุโครงสร้าง และสามารถใช้พื้นที่บนหลังคา

ข้อควรระวัง : หลังคาทั้งผืนต้องรับความร้อนตลอดทั้งวัน และ มีความเสี่ยงในการเกิดการรั่วซึมได้มาก ระบายน้ำฝนได้ไม่ดี ควรจะผสมน้ำยากันซึม หรือควรมีวัสดุกันซึมปูทับอีกชั้นหนึ่ง

ภาพที่ 35 หลังคาแบน (Flat Slab)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

หลังคาเพิงหมาแหงน (Lean To) เป็นหลังคาที่ยกด้านหนึ่งให้สูงกว่า เพื่อให้สามารถระบายน้ำฝนได้ เหมาะสมสำหรับบ้านขนาดเล็ก เนื่องจากก่อสร้างง่าย รวดเร็ว ราคาประหยัด แต่ต้องระวังองศาความลาดเอียงของหลังคาควรมีมากพอที่จะระบายน้ำฝน ไม่ให้ไหลย้อนซึมกลับเข้ามา โดยองศาหลังคาต้องพิจารณาจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ความชันจากขนาดของหลังคา วัสดุมุงหลังคา และระยะซ้อนของหลังคา เป็นต้น ในกรณีที่มีโอกาสหรือความเสี่ยงที่น้ำฝนจะไหลย้อนซึมเข้ามาได้ ก็ควรใช้ความลาดชันมากขึ้น

ข้อดี : เนื่องจากโครงสร้างหลังคาไม่สลับซับซ้อนเหมือนหลังคาประเภทอื่น ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้หลายอย่าง ตั้งแต่ประหยัดโครงสร้างอาคาร, หลังคา, ค่าแรง, เวลา, โดยรวมประหยัดเงิน

ข้อควรระวัง : บังแดดและฝนได้ทิศทางเดียว ควรระวังเรื่ององศาความลาดเอียงหลังคาที่จะทำให้เกิดปัญหารั่วซึมในภายหลังได้

ภาพที่ 36 หลังคาเพิงหมาแหงน (Lean To)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

หลังคาแบบผีเสื้อ (Butterfly) เป็นหลังคาที่เกิดจากหลังคาเพิงหมาแหงน 2 หลังหันด้านที่ต่ำกว่ามาชนกัน หลังคาแบบผีเสื้อไม่ค่อยเหมาะกับสภาพภูมิอากาศ ที่ฝนตกชุก เนื่องจากต้องมีรางน้ำที่รองรับน้ำฝนจากหลังคาทั้ง 2 ด้าน ทำให้รางน้ำมีโอกาสรั่วซึมได้สูง

ข้อดี : ความสวยงาม ดูแปลกตา และทำให้อาคารมีความโดดเด่น

ข้อควรระวัง : เป็นทรงหลังคาที่รองรับน้ำ จึงมีโอกาสสูงมากที่จะมีโอกาสรั่วซึมของน้ำ

ภาพที่ 37 หลังคาแบบผีเสื้อ (Butterfly)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

หลังคาทรงหน้าจั่ว (Gable Roof) เป็นหลังคา ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบเมืองไทยเรา มีลักษณะเป็นหลังคาเพิงหมาแหงน 2 หลังมาชนกัน มีสันสูงตรงกลาง เป็นหลังคาที่มีความสะดวกในการก่อสร้าง สามารถกันแดดกันฝนได้ดี และสามารถระบายความร้อนใต้หลังคาได้ดีอีกด้วย

ข้อดี : เป็นทรงหลังคาที่ระบายความร้อนได้ดีกว่ารูปทรงอื่นๆ

ข้อควรระวัง : ฝนสาดได้หากตัวบ้านและหน้าจั่วหันผิดทิศ

ภาพที่ 38 หลังคาทรงหน้าจั่ว (Gable Roof)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

หลังคาทรงปั้นหยา (Hip Roof) เป็นหลังคาที่กันแดดกันฝนได้ดีทุกๆด้าน แต่หลังคาชนิดนี้มีราคาแพง เนื่องจากเปลืองวัสดุก่อสร้างมากกว่า หลังคาชนิดอื่น ตลอดจนต้องใช้ช่างที่มีฝีมือในการก่อสร้าง เพราะมีรายละเอียดเยอะกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ

ข้อดี : มีความแข็งแรงที่สุดเมื่อเทียบกับทรงหลังคาทุกแบบสามารถรับลมและฝนได้จากทุกทิศทาง รวมถึงเข้ากันได้กับตัวบ้านหลากหลายสไตล์

ข้อควรระวัง : รับลมเข้ามาระบายอากาศได้ไม่ดีเท่าหลังคาแบบอื่น และ ช่างติดตั้งต้องมีความชำนาญ

ภาพที่ 39 หลังคาทรงปั้นหยา (Hip Roof)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

หลังคาแบบร่วมสมัย (Modern & Contemporary) เป็นหลังคาที่แตกต่างจาก 5 แบบข้างต้น มีการใช้วัสดุทันสมัย ทำให้รูปทรงแปลกตา

ข้อดี : มีรูปทรงหลับคาที่แปลกตา

ข้อควรระวัง : เรื่องความร้อน และการรั่วซึม

ภาพที่ 40 หลังคาแบบร่วมสมัย (Modern & Contemporary)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

1.2.3.2. วัสดุมุงหลังคา

หน้าที่คือ กันลม กันแดด กันฝน และป้องกันไฟ โดยจำแนกประเภทได้ดังนี้

วัสดุมุงหลังคาชนิดแผ่นกระเบื้อง

กระเบื้องดินเผา เป็นกระเบื้องขนาดเล็ก เช่น กระเบื้องว่าว กระเบื้องหางมน กระเบื้องดินขอ เป็นต้น โดยระแนง หรือแปที่ใช้ขนาด 1"x 1" วางห่างกันประมาณ 120 มม. ปัจจุบันไม่นิยมใช้สำหรับบ้านพักอาศัย เนื่องจากต้องให้หลังคาลาดชันมาก เปลืองระแนง และรั่วง่าย จึงต้องออกแบบกันน้ำฝนใต้หลังคา กระเบื้องดินเผาใช้กับอาคารรูปทรงเก่า หรือทรงอนุรักษ์ตามแบบเดิม อาคารเกี่ยวกับศาสนา โบสถ์

ภาพที่ 41 กระเบื้องดินเผา

ที่มา : (PRS CERAMICS, 2022)

กระเบื้องคอนกรีต หรือกระเบื้องซีเมนต์ เป็นกระเบื้องที่น้ำหนักมาก จึงทำโครงสร้างที่รองรับกระเบื้องชนิดนี้ต้องมีความแข็งแรงมาก เพื่อรองรับน้ำหนักของกระเบื้อง นอกจากน้ำหนักเยอะแล้วกระเบื้องยังมีความแข็งแรงมาก สามารถต้านทานต่อการพัดปลิวของแรงลมได้ นอกจากนั้นกระเบื้องชนิดนี้ไม่เป็นเชื้อรา แต่มีราคาแพง กระเบื้องชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ กระเบื้องสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ซึ่งมีขนาดเล็กไว้ใช้มุงกับหลังคาที่มีความลาดเอียงตั้งแต่ 30 - 45 องศา ส่วนอีกชนิดคือ กระเบื้องโมเนียร์ เป็นวัสดุมุงที่สามารถมุงหลังคาในความชันตั้งแต่ 17 องศา ซึ่งปัจจุบันมีการนำกระเบื้องชนิดนี้มามุงกับหลังคาทรงปั้นหยา

ภาพที่ 42 กระเบื้องคอนกรีต

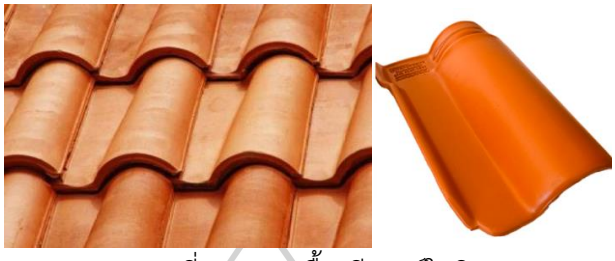
ที่มา : (บุญถาวร, 2560)

กระเบื้องคอนกรีตแผ่นเรียบ เป็นกระเบื้องที่มีความแข็งแรง ทนทาน เหมาะสำหรับหลังทรงโมเดิร์น

ภาพที่ 43 กระเบื้องคอนกรีตแผ่นเรียบ

ที่มา : (บุญถาวร, 2560)

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน หรือเอสเบสทอสซีเมนต์ เป็นกระเบื้องที่มีคุณสมบัติกันไฟ และเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ใช้มุงกับหลังคาที่มีความลาดเอียงตั้งแต่ 10 องศา กระเบื้องชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ กระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก ใช้กับบ้านพักอาศัย ส่วนลูกฟูกลอนใหญ่ใช้กับอาคารขนาดใหญ่



ภาพที่ 44 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน

ที่มา : (PD HOUSE, 2022)

กระเบื้องลอนคู่ เป็นกระเบื้องที่มีคุณสมบัติในการระบายน้ำได้ดี เนื่องจากมีลอนที่ลึกและมีขนาดลอนกว้าง

ภาพที่ 45 กระเบื้องลอนคู่

ที่มา : (Global house, 2022)

วัสดุมุงหลังคาโลหะ หรือหลังคาเหล็กรีต เป็นวัสดุมุงที่ทำจากแผ่นเหล็กอาบสังกะสีดัดเป็นลอน ข้อจำกัดของวัสดุชิ้นนี้ คือความร้อน เนื่องจากหลังคาโลหะกันความร้อนได้น้อย และเรื่องเสียง ตัวอย่างวัสดุมุงหลังคาประเภทนี้ คือแผ่นเมทัลชีท ซึ่งทำมาจากเหล็กคอยล์เคลือบด้วยโลหะผสมอลูมิเนียม 55% กับสังกะสี 45% มารีดเป็นแผ่นด้วยเครื่องจักรจากโรงงาน ซึ่งเหล็กคอยล์ มีคุณสมบัติทนทานต่อความร้อนแต่ไม่กันความร้อน อายุการใช้งานยาวนาน ไม่เป็นสนิม ตัดโค้งได้ตามรูปทรงของหลังคา น้ำหนักเบา รอยต่อที่น้อยจึงไม่ค่อยเกิดปัญหาการรั่วซึม

ภาพที่ 46 วัสดุมุงหลังคาโลหะ หรือหลังคาเหล็กรีด

ที่มา : (Jorakay, 2021)

วัสดุประเภทพลาสติก หรือไฟเบอร์ เป็นวัสดุมุงที่มีรูปร่างเหมือนกระเบื้อง และมีความโปร่ง โดยทั่วไปมักพบในบริเวณที่ต้องการแสงสว่าง เช่น ห้องน้ำ สามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภทตามวัสดุที่ผลิต คือ โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate), ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass), อะคริลิก (Acrylic), ยูพีวีซี (UPVC) และไวนิล (VINYL)

ภาพที่ 47 วัสดุประเภทพลาสติก

ที่มา : (จระเข้, 2021)

วัสดุประเภทแผ่นชิงเกิ้ล เป็นวัสดุมุงใช้ประเภทวัสดุสังเคราะห์และสามารถใช้ได้กับหลายรูปทรงหลังคา ปัจจุบันนิยมใช้กับที่อาคารประเภทรีสอร์ท

ภาพที่ 48 วัสดุประเภทแผ่นชิงเกิ้ล

ที่มา : (Adheseal, 2563)

วัสดุมุงประเภทอื่นๆ เช่น วัสดุประเภททองแดง หรือแผ่นตะกั่ว

ภาพที่ 49 วัสดุประเภททองแดง

ที่มา : (บ้านและสวน, 2022)

1.2.4. ความลาดชันของหลังคา

ตารางที่ 1 : ตารางแสดงความลาดชันของหลังคา

ชนิดของกระเบื้อง	ความลาดชันของหลังคา (องศา)
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ตั้งแต่ 10
กระเบื้องคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน	30 - 45
กระเบื้องโมเนียร์	ตั้งแต่ 17
กระเบื้องดินเผา	ตั้งแต่ 20
หลังคาประเภทอื่นๆ	30 - 45

1.2.5. ระยะของการทับซ้อนของวัสดุมุงหลังคา

ตารางที่ 2 : ตารางแสดงระยะของการทับซ้อนของวัสดุหลังคา

ความลาดชันของหลังคา	ระยะของการทับซ้อนของวัสดุมุงหลังคา (ซม.)
ความลาดชันของหลังคา 10 - 20 องศา	20
ความลาดชันของหลังคา 21 – 40 องศา	15
ความลาดชันของหลังคา 41 – 60 องศา	10
ความลาดชันของหลังคา 60 องศาขึ้นไป	5

ระยะทับซ้อนดังกล่าวเป็นระยะอย่างน้อย หากมากกว่านี้จะทำให้เปลืองวัสดุมุงเพิ่มขึ้น วัสดุที่ใช้สำหรับงานหลังคาอีกชิ้นคือ ครอบหลังคา การเลือกครอบหลังคาควรเลือกชนิดเดียวกับวัสดุมุงหลังคา เช่น ครอบหลังคา 30, 35, 40 องศา หากเป็นมุงลาดชันอื่น ๆ ใช้ครอบหลังคาปูนปั้น นอกจากนี้ครอบปูนปั้นนั้นควรที่จะผสมน้ำยากันซึมเข้ากับปูนปั้น เพื่อป้องกันการซึมของน้ำฝน

ตารางที่ 3 : ตารางสรุปงานหลังคา

รูปทรงของหลังคา	ลักษณะของหลังคา	วัสดุมุง หรือวัสดุใช้ในการก่อสร้าง	องศาหลังคา	ข้อดี	ข้อควรระวัง
หลังคาทรงแบน (Flat slab)	เป็นระนาบเดียวกัน อาจลาดเอียงเล็กน้อย เพื่อให้สามารถระบายน้ำฝนได้	คอนกรีตหล่อในที่		ก่อสร้างง่าย ประหยัดค่าวัสดุ เพิ่มพื้นที่การใช้งานของบ้าน	ปัญหารั่วซึม ปัญหาความร้อนภายในบ้าน
หลังคาเพิงหมาแหงน (Lean To)	มีองศาเอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่ง ด้านเดียว	เมทัลชีท กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องเซรามิค	30 – 40 องศา	ประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะก่อสร้างง่าย	การบังแดด บังฝนได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น
หลังคาแบบผีเสื้อ (Butterfly roof)	หลังคาทรงเพิงหมาแหงน 2 หลังหันด้านที่ต่ำกว่าเข้าหากัน	เมทัลชีท กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องเซรามิค	30 – 40 องศา	โครงสร้างไม่ซับซ้อนมาก	โอกาสการรั่วซึมของน้ำฝนมีสูงมาก
หลังคาทรงหน้าจั่ว (Gable Roof)	เป็นรูปทรงคล้ายสามเหลี่ยม โดยผืนหลังคาที่มีความลาดเอียงทั้งสองด้านเทออกสู่ด้านนอก แล้วไปจรดกันที่จุดสูงสุดกึ่งกลางบ้าน หรือ องศาความลาดเอียงของทั้งสองฝั่งอาจจะไม่จำเป็นต้องเท่ากัน	เมทัลชีท กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องหลังคาเซรามิค	30 องศา	เป็นทรงหลังคาที่เหมาะกับบ้านทุกรูปแบบ และเหมาะกับสภาพอากาศประเทศไทย	ปัญหาฝนสาดเข้าหน้าบ้าน
หลังคาแบบปั้นหยา (Hip Roof)	ทรงสามเหลี่ยมหันพิงเข้าหากัน และ มุมลาดเอียงน้อยกว่าหลังคาทรงหน้าจั่ว	กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องหลังคาเซรามิค	30 องศา	ความแข็งแรงมากกว่าหลังคาทรงอื่น สามารถรับลม และ ฝนได้จากทุกทิศทาง	ระบายความร้อนได้ไม่ดีเท่าหลังคาทรงอื่น

1.2.6. งานพื้น

เป็นส่วนโครงสร้างที่รับน้ำหนักจากการอยู่อาศัย ได้แก่ น้ำหนักตัวของผู้อยู่อาศัย เครื่องเรือน อุปกรณ์สัมภาระ ฯลฯ แล้วน้ำหนักทั้งหมด ถ่ายไปที่เสาโดยโครงสร้างของพื้นที่ใช้กับบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป แบ่งตามประเภทของวัสดุได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ โครงสร้างพื้นไม้ และโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2.6.1. โครงสร้างพื้นไม้

ใช้คานไม้แล้ววางแผ่นพื้นเรียงกันด้วยวิธีเข้าลิ้น แล้วตอกตะปูยึด ไม้ที่ใช้เป็นเนื้อแข็ง เช่น ไม้แดง ไม้มะค่า ไม้สัก ไม้เต็ง เป็นต้น โครงสร้างไม้มีข้อดี คือทำง่าย ประหยัดเวลา แต่มีข้อเสีย คือรับน้ำหนักได้น้อย อาจมีเสียงดังเวลาใช้งานเนื่องจากไม้หดตัว ไม้หายาก มีราคาแพง

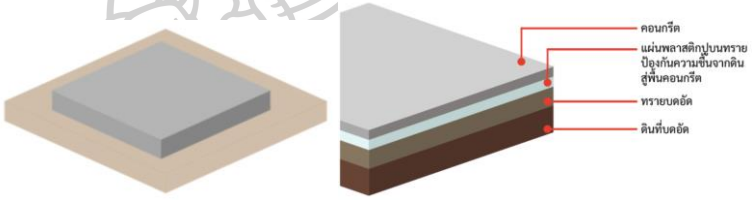
1.2.6.2. โครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อกับที่ โดยกรรมวิธีในการหล่อพื้นจะต้องมีการทำไม้แบบ ผูกเหล็กเส้นในลักษณะเป็นตะแกรง โดยขนาดของเหล็กเส้นที่ใช้ และความถี่ของช่วงตารางจะขึ้นอยู่กับการคำนวณการรับน้ำหนักในการใช้งานแล้วเทคอนกรีตหล่อลงไป ในปัจจุบันใช้การหล่อกับที่ในงานพื้นชั้นล่างที่ไม่ได้ยกพื้นอยู่บนคาน พื้นห้องน้ำที่จะต้องมีการเจาะรูเพื่อเดินท่อ

เนื่องจากสามารถวางตำแหน่งของโครงเหล็กเส้นไม่ให้ตรงกับรูที่เจาะได้ หรือการทำโครงสร้างของบันไดคอนกรีต เพราะประเภทพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อกับที่ มีข้อจำกัดคือ ใช้เวลานาน ต้องเสียเวลาในการทำไม้แบบ และต้องรอปูนที่หล่อแห้ง เราสามารถแบ่งลักษณะพื้นคอนกรีตหล่อในที่ได้อีก 2 ประเภท คือ พื้นคอนกรีตวางบนดิน หรือ Slabs on ground และ พื้นคอนกรีตวางบนคาน หรือ Slabs on beam

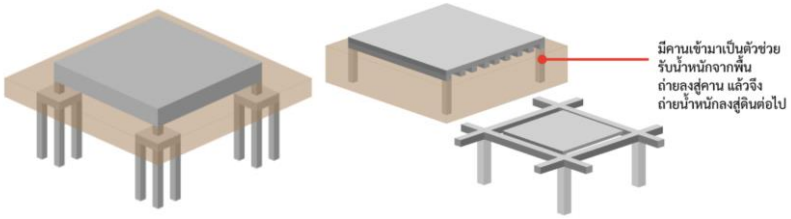
แผ่นพื้นวางบนดิน Slab on ground พื้นประเภทนี้ใช้กับพื้นอาคารชั้นล่าง ถนนภายใน หรือทางเท้า โดยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กถ่ายน้ำหนักโดยตรงไปที่ดินอัดแน่นใต้พื้น ข้อดีของแผ่นพื้นประเภทนี้คือ ช่วยลดขนาดของคาน ไม่ให้ต้องรับน้ำหนักจากพื้น แต่ถ้าบดอัดพื้นดินที่จะรองรับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไม่แน่นพอ พื้นชนิดนี้จะทรุดตัวตามลงไปด้วย จึงต้องมีคานคอดิน Ground Beam อยู่ล้อมรอบพื้นที่ เพื่อทำหน้าที่ช่วยกันดิน ทราย ใต้พื้น ไม่ให้ไหลออกด้านนอก อันจะเป็นสาเหตุให้เกิดช่องว่างใต้พื้นดิน และพื้นขาดส่วนที่จะรับน้ำหนักทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ทั้งนี้โดยการหล่อคานคอดินเสียก่อนทำการบดอัดดินภายในให้แน่น แล้วถมทรายอัดแน่นขึ้นมาจนถึงระดับต่ำกว่าคานคอดิน 100 มิลลิเมตร หรือเท่าความหนาของพื้นที่เทคอนกรีต จากนั้นจึงวางเหล็กตะแกรงให้อยู่กรอบในของคานคอดิน แล้วจึงเทพื้นให้หนาเสมอระดับหลังคาน



ภาพที่ 50 พื้นคอนกรีตวางบนพื้น (Slabs on ground)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

แผ่นพื้นวางบนคาน Slab on beam พื้นประเภทนี้ใช้กับพื้นอาคารอยู่สูงจากระดับพื้นดิน โดยหล่อแผ่นพื้นติดเป็นเนื้อเดียวกันกับคาน ซึ่งจะทำให้ต้องเพิ่มเหล็กทั้งในพื้นและคานเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นต้องรับน้ำหนักของตัวมันเอง น้ำหนักจร แล้วจึงถ่ายน้ำหนักให้คาน คานต้องรับน้ำหนักตัวเอง น้ำหนักผนัง และน้ำหนักทั้งหมดจากพื้น แล้วจึงถ่ายน้ำหนักลงเสาตามลำดับ



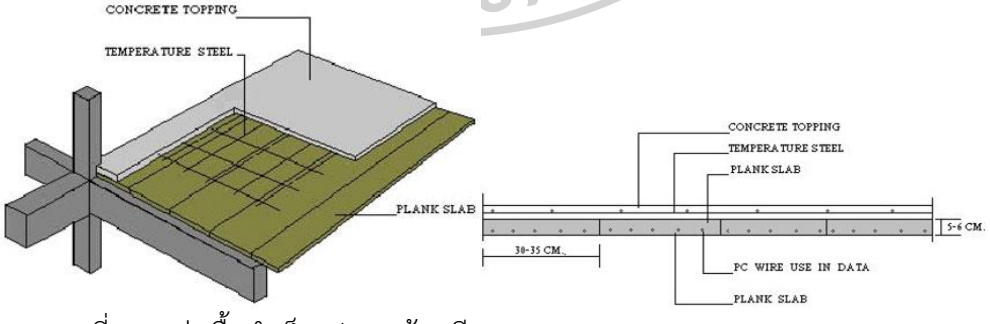
ภาพที่ 51 พื้นคอนกรีตวางบนคาน (Slabs on beam)

ที่มา : (Onestockhome, 2563)

ประเภทพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบพื้นสำเร็จรูป โดยกรรมวิธีในการหล่อพื้นประเภทนี้เป็นการหล่อโครงสร้างพื้นที่หล่อมาจากโรงงาน ทำให้มีความสะดวก ประหยัดทั้งเวลา และไม้แบบ พื้นคอนกรีตแบบสำเร็จมีวิธีการก่อสร้าง คือหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือตั้งคานเหล็กเตรียมไว้ แล้ววางพื้นสำเร็จรูปพาดเรียงระหว่างคานแล้วจึงดำเนินการผูกเหล็กตะแกรง ด้านบนพื้น หลังจากนั้นเทคอนกรีตปรับระดับทับหน้าเมื่อคอนกรีตทับหน้าเซ็ตตัวดีแล้วสามารถทำผิวพื้นหรือใช้งานได้ แต่พื้นสำเร็จยังมีข้อจำกัด คือไม่สามารถเจาะพื้นได้ ดังนั้นส่วนที่เป็นงานระบบท่อที่ต้องผ่านพื้นจะต้องมีการวางแผน และสั่งล่วงหน้าอีกทั้งพื้นสำเร็จจะมีการรั่วซึมน้ำได้ส่วนของบ้านที่เป็นห้องน้ำ และระเบียงหรือพื้นที่ต้องสัมผัสกับน้ำตลอดเวลาจึงไม่ควรใช้พื้นสำเร็จ พื้นสำเร็จรูปมีมากมายหลายชนิดให้เลือกใช้โดยที่นิยมใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

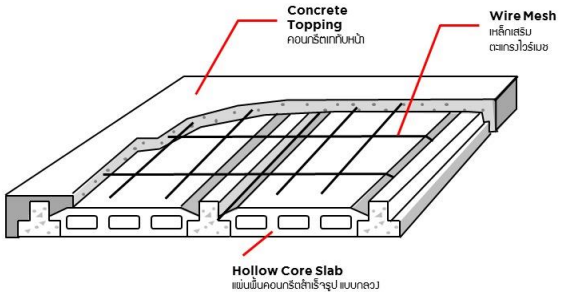
พื้นสำเร็จรูปแบบแผ่นท้องเรียบ (Prestressed concrete floor plank)

โครงสร้างของพื้นชนิดนี้จะประกอบด้วยพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปแบบแผ่นท้องเรียบ (prestressed concrete floor plank) นำมาจัดวางเรียงกันเป็นพื้นห้องแล้วเททับด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กอีกชั้นหนึ่ง พื้นประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้ในการปลูกสร้างอาคารบ้านเรือนทั่วไป เพราะขั้นตอนไม่ยุ่งยาก และประหยัดเวลา เนื่องจากไม่ต้องทำไม้แบบอีกทั้งเมื่อทำสำเร็จแล้ว สามารถใช้งานรับน้ำหนักได้ในระยะเวลาอันสั้น ไม่ต้องคอยให้คอนกรีตอยู่ตัวหรือบ่มตัวนานเหมือนกับการทำพื้นคอนกรีตแบบหล่อกับที่ และสามารถรับน้ำหนักได้ดี พื้นคอนกรีตอัดแรงแบบแผ่นท้องเรียบที่นิยมใช้กันและมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ทำจากปูนซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็ว เสริมด้วยลวดเหล็กอัดแรงกำลังสูงส่วนใหญ่จะเป็นพื้นสำเร็จรูปที่มีขนาดความกว้าง 30 - 35 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร และมีช่วงความยาว (span length) 1.0 - 4.5 เมตร ใช้โครงลวดเหล็กอัดแรงขนาด 4 - 5 มิลลิเมตร ฝังตามแนวยาวเป็นจำนวน 4 - 7 เส้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของแผ่นพื้นสำเร็จรูป และการใช้งานว่าต้องการให้รับน้ำหนักได้มากน้อยเพียง



ภาพที่ 52 แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบท้องเรียบ (Prestressed concrete floor plank)
ที่มา : (Pound concrete, 2554)

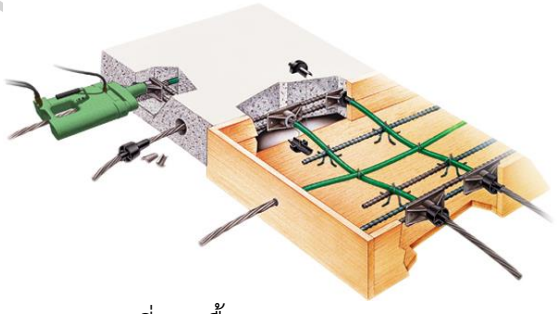
พื้นสำเร็จรูปแบบกลวง (Hollow core slab) พื้นชนิดนี้จะมีช่วงความยาวที่ยาวกว่า มีช่วงพาดยาวได้ถึง 12 เมตร โดยไม่เกิดการแอ่นตัวและไม่ต้องใช้ไม้ค้ำยันชั่วคราวในการก่อสร้าง มีขนาดและความหนาให้เลือกมากกว่า สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่า มักใช้กับอาคารสำนักงาน อาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารจอดรถมากกว่าการใช้ตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป การเทคอนกรีตทับหน้านั้นอาจทำหรือไม่ทำก็ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และเนื่องจากพื้นสำเร็จรูปชนิดนี้เป็นแบบกลวง ฉะนั้นช่องภายในที่กลวงยังสามารถใช้ประโยชน์ในการเดินสายไฟหรือท่อน้ำได้



ภาพที่ 53 พื้นสำเร็จรูปแบบกลวง (Hollow core slab)

ที่มา : (Onestockhome, 2023)

พื้นระบบ Post tension คือระบบพื้นคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตที่มีเหล็กชนิดพิเศษ ที่ออกแบบมาให้สามารถรับแรงดึงได้มากเสริมอยู่ภายใน และทำการดึงเหล็กชนิดพิเศษนั้นให้ตึงเมื่อหล่อคอนกรีตเสร็จแล้ว เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพื้น ช่วยให้พื้นรับน้ำหนักมากขึ้น การที่มีเหล็กแรงดึงสูงเสริม และดึงอยู่ในพื้นคอนกรีต ทำให้โครงสร้างชนิดนี้มีหน้าตัดที่บางลง และไม่จำเป็นต้องมีคานมารัดหัวเสา เพื่อถ่ายน้ำหนักพื้นสู่เสาด้วย แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้กับอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่ ไม่ค่อยพบเห็นพื้นชนิดนี้ ในบ้านพักอาศัย เนื่องจากต้องใช้เทคนิคการก่อสร้างชั้นสูงมีความยุ่งยากในการก่อสร้าง และมีราคาแพง



ภาพที่ 54 พื้นระบบ Post tension

ที่มา : (Onestockhome, 2023)

ข้อแตกต่างระหว่างพื้นสำเร็จรูป และพื้นหล่อในที่

พื้นหล่อในที่มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า เนื่องจากต้องใช้ไม้แบบ ซึ่งจำนวนไม้แบบขั้นต่ำคิดได้จาก 30% ของค่าเหล็กโครงสร้าง แต่ข้อดีคือ มีความคงทน เมื่อนานไปลดโอกาสบิดงอของแผ่นพื้น ในปัจจุบันมีการเลือกใช้แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จแบบตัน หรือแบบกลวงเพิ่มมากขึ้น

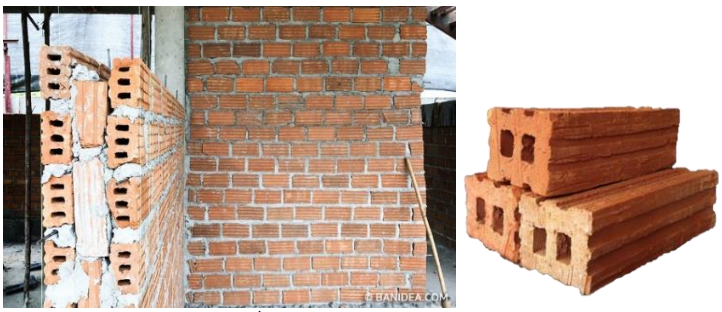
1.2.7. งานผนัง

เป็นเหมือนกับผิวหนังของบ้าน (skin) สำหรับผนังภายนอก ซึ่งมีหน้าที่ปกป้องตัวบ้านจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ส่วนผนังภายใน มีหน้าที่แบ่งส่วนใช้สอย โดยผนังภายในจะแยกย่อยออกเป็น ผนังรับน้ำหนัก หรือผนังที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง โดยโครงสร้างของผนังส่วนนี้ทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็ก หรืออิฐก่อ ส่วนผนังอีกประเภทคือ ผนังปกติ หรือผนังที่ไม่ได้รับน้ำหนัก โดยโครงสร้างของผนังส่วนนี้ทำมาจากอิฐก่อ หรือแผ่นยิปซั่มบอร์ด งานผนังมีการใช้วัสดุหลายชนิด เช่น ผนังก่ออิฐ ผนังหิน ผนังคอนกรีตบล็อก ผนัง Glass Block ผนังแก้ว หรือผนังกระจก (Curtain wall) นิยมใช้กับตึกสูง และมีการนำมาใช้กับบ้านพักอาศัยในส่วนที่ต้องการเปิดมุมมองสู่ภายนอก เช่น ห้องรับแขก ห้องพักผ่อน เป็นต้น ในวิธีการก่อสร้างนั้นผนังแต่ละอย่างมีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกันออกไปตามประเภทของวัสดุที่เลือกใช้ โดยโครงสร้างของผนังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ผนังที่เป็นส่วนหนึ่งของงานโครงสร้าง และผนังที่ใช้กั้นสัดส่วนพื้นที่ใช้งาน

1.2.7.1. ผนังที่เป็นส่วนหนึ่งของงานโครงสร้าง

ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การก่ออิฐเป็นวิธีการดั้งเดิมใช้มานานใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ผนังชนิดนี้จะแข็งแรง ทนทาน เจาะหรือยึดผนังได้ และสามารถทุบหรือต่อเติมได้โดยไม่มีผลกับโครงสร้างอาคาร ผนังก่ออิฐเป็นผนังที่เกิดจากการก่ออิฐ และฉาบทับหน้าด้วยปูนหรือไม่ฉาบปูน โดยใช้อิฐในการก่อผนัง บางครั้งจะมีการเรียกผนังก่ออิฐว่า ผนังก่อ หรือผนังหนัก เนื่องจากมีน้ำหนักที่หนักโดยจะใช้อิฐในการก่อผนัง มีทั้งหมด 5 ชนิด คือ

อิฐมอญ (Clay Brick) ทำมาจากดินเหนียวและแกลบผสมใส่แบบพิมพ์แล้วนำมาเผาเพื่อคงรูปอิฐที่อุณหภูมิ 700 – 800 องศาเซลเซียส อิฐมอญ เหมาะกับงานก่อสร้างอาคารที่ไม่สูง เช่น บ้านพักอาศัย 1-2 ชั้น มักจะถูกเลือกใช้ในบริเวณที่โดนความชื้นบ่อยครั้ง เช่น ห้องน้ำ ห้องครัว ผนังส่วนที่โดนฝนสาดโดยตรง หรือส่วนที่ต้องรับน้ำหนัก เช่น อ่างล้างหน้า ท็อปโต๊ะ ซึ่งถือว่าเป็นอิฐที่เหมาะกับสภาพภูมิอากาศบ้านเรา เพราะมีคุณสมบัติเรื่องการทนร้อนทนฝนได้ดี อิฐมอญมีข้อจำกัดในเรื่องของน้ำหนัก และการกักเก็บความร้อน จึงมักไม่เหมาะกับบ้านหรืออาคารสูง



ภาพที่ 55 อิฐมอญ (Clay brick)

ที่มา : (WAZZADU, 2020)

อิฐบล็อก (Concrete Block) ซีเมนต์บล็อก หรือคอนกรีตบล็อก ผลิตจากปูนซีเมนต์กับทราย มีลักษณะคือ รูกลวงตรงกลางช่วยให้น้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ สามารถรับแรงอัดได้สูงประมาณ 300 กก./ตร.ซม. และช่วยถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ โดยนิยมใช้กับงานก่อสร้างทั่วไปทั้งภายในและภายนอก ที่ต้องการลดน้ำหนักของโครงสร้าง เหมาะสำหรับงานที่เน้นการคุมค่าใช้จ่าย เพราะราคาถูกและใช้เวลาสร้างเร็วกว่าอิฐมอญ

ภาพที่ 56 อิฐบล็อก (Concrete block)

ที่มา : (WAZZADU, 2020)

อิฐขาว (White Brick) ผลิตจากปูขาวและทราย โดยกระบวนการอัดด้วยเครื่องจักรที่มีความกดดันสูง 500 ตัน แล้วอบด้วยความร้อนสูง ซึ่งอิฐขาวถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนอิฐมอญและอิฐบล็อก มีลักษณะเนื้ออิฐเป็นสีขาว เรียบเนียน และมีความหนาแน่นมาก จึงทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก และไม่อมความชื้น สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดถึง 180 กก./ตร.ซม. นอกจากนั้นอิฐขาวยังมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและป้องกันเสียงได้ดี สามารถลดรอยร้าวในการฉาบได้เพราะมีการดูดซึมน้ำน้อย

ภาพที่ 57 อิฐขาว (White Brick)

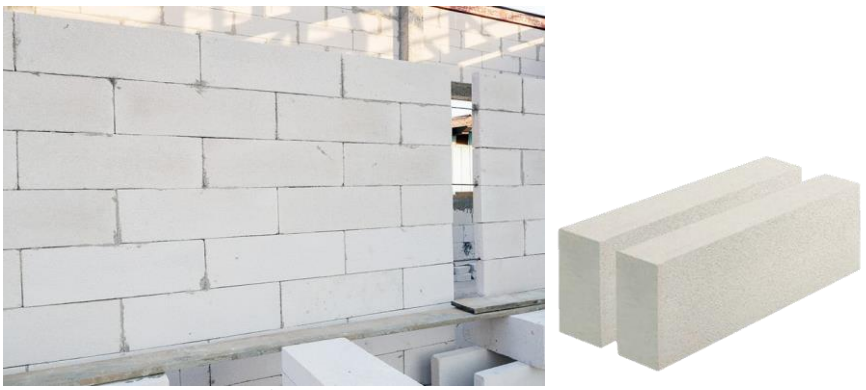
ที่มา : (K.S.contrade, 2022)

อิฐประสาน (Interlocking Brick) ผลิตจากดินลูกรังและปูนซีเมนต์อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม นิยมนำมาทำเป็นผนังรับน้ำหนักเนื่องจากอิฐประสานสามารถประกอบ และต่อเข้าด้วยกันได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์ช่วยในการก่อสร้างซึ่งมีผลทำให้การทำงานรวดเร็ว

ภาพที่ 58 อิฐประสาน (Interlocking Brick)

ที่มา : (QuinL, 2016)

อิฐมวลเบา (Lightweight Brick) ผลิตจากทราย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว น้ำ ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียมที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มฟองอากาศนำมาผสมกันในปริมาณที่เหมาะสม และผ่านการอบไอน้ำด้วยแรงดันสูง มีลักษณะเด่น คือภายในจะมีฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากถึง 75% ซึ่งส่งผลทำให้อิฐชนิดนี้มีน้ำหนักเบากว่าอิฐหลายชนิด รวมถึงฟองอากาศเหล่านี้ยังเป็นฉนวนกันความร้อนได้



ภาพที่ 59 อิฐมวลเบา (Lightweight Brick)

ที่มา : (YCR, 2560)

ตารางที่ 4 : ตารางแสดงสรุปคุณสมบัติของอิฐ

ชนิดของอิฐ	ข้อมูลทั่วไป	การนำไปใช้งาน	คุณสมบัติ	ข้อกำจัด
อิฐมอญ	ทำมาจากดินเหนียว แกลบ ทราย และน้ำ	บ้านพักอาศัย 1-2 ชั้น ก่อโชว์แนว ผนังภายนอก ผนังห้องน้ำ อ่างล้างหน้า	ทนแดด ทนฝน ความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง เป็นวัสดุที่ยึดเกาะได้ดี	มีน้ำหนักมากกว่าอิฐชนิดอื่น สะสมความร้อนมากกว่า ระบายความร้อน แตกหักง่าย
อิฐบล็อก	ทำมาจากปูนซีเมนต์ ทราย มีช่องระบายความร้อน	ใช้ในงานก่อสร้าง งานต่อเติม นิยมใช้ก่อผนังอาคารทั่วไปพบมากในโรงงาน และโกดัง	ถ่ายเทความร้อนดี ประหยัดแรงงาน เนื่องจากขนาดใหญ่ ทำให้งานจบไว และราคาถูก	ไม่เหมาะกับการเจาะผนัง เนื่องจากเปราะง่าย และไม่ควรใช้อิฐบล็อกในการก่อผนังห้องน้ำ เพราะมีโอกาสรั่วซึมสูง
อิฐขาว	ทำมาจากปูนขาวและทราย	ใช้ในงานก่อสร้าง หรืองานตกแต่ง นิยมใช้ก่อผนังอาคารสูง และโรงงาน	มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ ป้องกันเสียงได้ดี ทนไฟได้นานกว่า 4 ชั่วโมง	หาซื้อค่อนข้างยาก ราคาสูง
อิฐประสาน	ทำมาจากดินลูกรังและปูนซีเมนต์อัดเป็นก้อน	ใช้ในงานก่อสร้าง หรืองานรั้ว	ผนังรับแรงโดยบล็อกประสานแต่ละก้อนจะมีโครงสร้างที่สามารถประกอบ และต่อเข้าด้วยกันได้ จบงานได้ไว ราคาถูก	มีน้ำหนักมาก ไม่ทนต่อความชื้น และผิวค่อนข้างไม่เรียบต้องฉาบคอนกรีตมาก
อิฐมวลเบา	ทำมาจากยิปซัม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ทราย ละเอียด และน้ำ ภายในเป็นฟองอากาศเล็กๆภายใน	ใช้ในงานก่อสร้างและต่อเติม นิยมใช้กับอาคารสูง หรืออาคารสาธารณะ โดยเฉพาะใช้กับงานก่อที่ห้องนอน และห้องรับแขก	น้ำหนักเบา จบงานได้ไว เนื่องจากผิวเรียบทำให้ฉาบบางได้ ระบายความร้อนได้ดี ทำให้บ้านเย็นประหยัดพลังงาน	ราคาสูง ไม่ทนต่อความชื้น จึงไม่เหมาะกับการก่อสร้างในห้องน้ำหรือห้องครัว และการเจาะผนังค่อนข้างยาก

ข้อดีของผนังก่ออิฐ

- ช่างก่ออิฐหาได้ไม่ยาก และสามารถใช้ช่างงานโครงสร้างคอนกรีตได้ เพราะมีลักษณะงานที่ใกล้เคียงกัน
- การตกแต่งผนังค่อนข้างอิสระ ทั้งอิฐโชว์แนว ปั้นปูนตกแต่ง หรือกรุหินธรรมชาติ ง่ายต่อการเจาะยึดสิ่งของต่างๆ

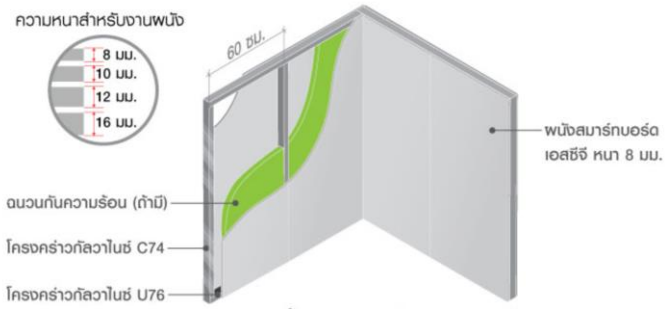
ข้อจำกัดของผนังก่ออิฐ

- ผนังก่ออิฐทำให้โครงสร้างอาคารมีน้ำหนักมาก
- ระยะเวลาในการก่อสร้างที่นานกว่าผนังชนิดอื่นๆ
- ใช้ได้เฉพาะการก่อบนแนวคาน ก่อผนังได้บนเฉพาะแนวคาน

1.2.7.2. ผนังที่ใช้กั้นสัดส่วนพื้นที่ใช้งาน

เป็นผนังที่ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนักส่วนมากผนังชนิดนี้จะใช้วัสดุเป็นอิฐ แผ่นยิปซั่มบอร์ด หิน คอนกรีตบล็อก บล็อกแก้ว นอกจากนี้ยังมีกระจก ซึ่งมักพบในตึกสูง และมีการนำมาใช้กับบ้านพักอาศัยในส่วนที่ต้องการเปิดมุมมองสู่ภายนอก เช่น ห้องรับแขก ห้องพักผ่อน เป็นต้น

ผนังโครงคร่าว หรือผนังโครงเบา เป็นผนังที่เกิดจากการวางโครงคร่าวไม้ หรือโครงคร่าวเหล็ก และนำเอาแผ่นบอร์ดเช่น แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ แผ่นยิปซั่ม หรือไม้อัดซีเมนต์มาใช้ทำเป็นแผ่นผนัง โดยมักจะใช้กับผนังภายในมากกว่าภายนอก เพราะเนื่องจากเป็นผนังที่เป็นโครงคร่าวซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าผนังอิฐ และไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของงานโครงสร้าง



ภาพที่ 60 ผนังโครงคร่าว หรือผนังโครงเบา

ที่มา : (Smart home products, 2018)

ข้อดีของผนังเบา

- ซ่อมแซม และ รื้อถอนได้ง่าย
- ติดตั้งได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการก่ออิฐฉาบปูน
- มีน้ำหนักเบา จึงไม่จำเป็นต้องวางตามแนวคานโครงสร้าง
- สามารถนำแนบอร์ดไปใช้ซ้ำได้ กรณีที่แผ่นบอร์ดไม่ได้เสียหายมาก

- เนื่องจากผนังมีช่องว่างระหว่างแผ่นบอร์ดจึงทำให้การทำ maintenance ระบบไฟหรือท่อภายในผนังเป็นเรื่องง่าย และสามารถวางฉนวนกันเสียงและความร้อนระหว่างผนังได้อีกด้วย

ข้อจำกัดของผนังเบา

- ผนังที่มีความเปราะบาง ทนทานต่ำ
- ไม่เก็บเสียง เหมาะใช้ในการกั้นแบ่งพื้นที่มากกว่าใช้เป็นผนังโครงสร้าง
- การเจาะหรือแขวนต้องทำอย่างระมัดระวังว่าจะไม่โดนโครงภายใน

ผนังบล็อกอิฐแก้ว (Glass Block) เป็นผนังในส่วนที่ต้องการต้องการแสงสว่าง ข้อควรระวังคือ เกิดการแตกร้าวของก้อนบล็อกอิฐแก้วระหว่างการก่อสร้าง เพราะเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะยากแก่การปรับเปลี่ยนแก้ไข ดังนั้นจึงนิยมที่จะทำในพื้นที่ไม่ใหญ่มาก ในกรณีที่ก่อเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรมีเสาเอ็นคอนกรีตเสริมในทุกๆ 3 เมตร

ภาพที่ 61 ผนังบล็อกแก้ว (Glass Block)

ที่มา : (Siam urbana Development, 2016)

ข้อดีของผนังบล็อกแก้ว

- บล็อกแก้วมีลักษณะโปร่งใส สามารถปล่อยให้แสงทะลุผ่านได้ตั้งแต่ 40-75% ช่วยให้บรรยากาศในห้องดูกว้างขึ้น และยังลดการเปิดไฟในเวลากลางวัน
- อิฐแก้วนั้นมีความหนามากจึงรองรับแรงอัดได้มากถึง 7 Mpa. มากกว่าอิฐมอญถึง 2.5 เท่า อีกทั้งยังทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การตกแต่งบ้านด้วยผนังบล็อกแก้วจึงแข็งแรงทนทาน ใช้งานได้อย่างยาวนาน
- เป็นวัสดุที่ทำความสะอาดง่าย เพียงเช็ดด้วยน้ำยาทำความสะอาด น้ำยาเช็ดกระจก หรือเช็ดด้วยน้ำเปล่า โดยไม่ต้องขัดหรือทำสี จึงมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยกว่าผนังประเภทอื่นๆ

ข้อจำกัดของผนัง

- ไม่ควรใช้บล็อกแก้ว สร้างเป็นกำแพงยาวหรือผนังที่สูง ใหญ่ เพราะหากก้อนใดก้อนหนึ่งเกิดเสียหาย ต้องทำการรื้อทิ้งและทำใหม่ทั้งหมด หากจะทำผนังสูงต้องมีการออกแบบโครงสร้างขั้นกลางทั้งแนวตั้งและแนวนอนหรือที่เรียกว่าเสาเอ็น คานเอ็น
- มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูง ทั้งค่าอุปกรณ์และค่าแรงงาน
- อุณหภูมิที่เข้าสู่ตัวบ้านหากเป็นวันที่มีอุณหภูมิสูงมาก ตัวบ้านจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นชัดเจน เพราะแสงแดดที่ลอดผ่านเข้ามาได้มาก

ผนังกระจก (Curtain wall) ผนังที่ทำจากกระจกทั้งผืน โดยมีความสูงตั้งแต่พื้นถึงท้องคาน หรือท้องพื้นชั้นบน หรืออาจสูงต่อเนื่องมากกว่าหนึ่งชั้น สามารถแบ่งตามรูปแบบการติดตั้งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

ระบบโครงสร้างผนังกระจก (Structural Glass Wall หรือ Glass Wall)

เป็นผนังกระจกสูงผืนใหญ่นิยมใช้กับห้องเพดานสูง ห้องโถง โถงบันได โถงลิฟต์ หรืออาคารสาธารณะที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า ศูนย์ประชุม ระบบนี้จะประกอบด้วยกระจกและโครงสร้างที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้ผนังกระจกทั้งผืนสามารถตั้งอยู่ได้ โดยโครงสร้างดังกล่าวจะมีรูปแบบและวิธีการติดตั้งอยู่ 4 ลักษณะ คือ

โครงสร้างเหล็ก (Steel Structure System)

ภาพที่ 62 โครงสร้างเหล็ก (Steel structure system)

ที่มา : (iStock, 2015)

โครงสานเหล็กรับแรงดึง (Tension Rod System)

ภาพที่ 63 โครงสานเหล็กรับแรงดึง (Tension Rod System)

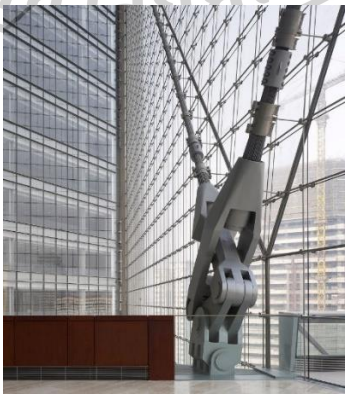
ที่มา : (novocon, 2021)

โครงสันกระจก (Glass Rib System)

ภาพที่ 64 โครงสันกระจก (Glass Rib System)

ที่มา : (leungchopan, 2019)

โครงเคเบิลขึง (Cable Net System)



ภาพที่ 65 โครงเคเบิลขึง (Cable Net System)

ที่มา : (som.com, 2019)

ระบบผนัง Curtain wall เป็นระบบที่ยึด หรือแขวนผนังกระจกเข้ากับโครงสร้างของอาคารบริเวณหน้าคาน สันของแผ่นพื้น หรือสันของแผ่นพื้นไร้คาน โดยประกอบกระจกเข้ากับโครงเหล็ก หรืออะลูมิเนียม ซึ่งมีทั้งรูปแบบ 2 แบบคือ แบบเห็นโครงสร้างทั้งแบบแนวตั้ง หรือแนวนอนทั้งที่อยู่ภายใน และภายนอกอาคาร แบบซ่อนโครงสร้างไว้ภายในอาคาร ส่วนภายนอกเห็นเป็นกระจกประกอบชนกัน ซึ่งระบบนี้มักใช้กับอาคารสูง หรืออาคารที่มีผนังกระจกสูงต่อเนื่องหลายชั้น ซึ่งอาจมีบางส่วนเป็นเปลือกอาคารหรือเป็นผนังอาคารซ้อนกันสองชั้นที่ติดตั้งระบบผนังโครงเบาและฉนวนกันความร้อนไว้

ข้อดีของผนังกระจก

- การก่อสร้างทำได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย
- ผนังมีน้ำหนักเบา
- สามารถรับแรงดันลมในที่สูง และดูดซับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้
- ให้ความปลอดโปร่ง แสงสว่างผ่านได้อย่างเหมาะสม สามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ชัดเจน

ข้อจำกัดของผนังกระจก

- การรั่วของน้ำ ต้องระมัดระวังในการติดตั้งโครงและรอยต่อของระบบ
- ลูกฟักกระจกอาจได้รับความเสียหาย เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกระจกแบบฉับพลัน
- การถ่ายเทความร้อนสูงหากใช้กระจกที่ไม่ช่วยป้องกันความร้อน การออกแบบต้องคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนก่อนเข้าสู่ตัวอาคาร รวมถึงการรักษาสมดุลอุณหภูมิภายในอาคาร เพื่อลดค่าใช้จ่ายของการปรับอากาศ
- ซิลิโคน ซีล หรือ ยาแนวจะมีอายุจำกัด ต้องมีการเปลี่ยนตามอายุการใช้งาน

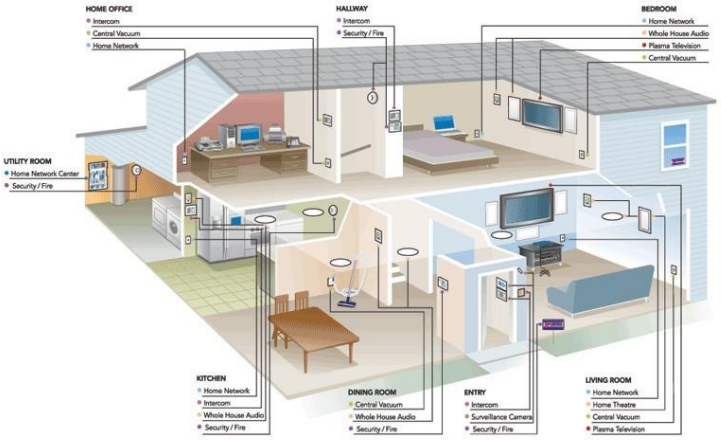
1.2.8. งานสถาปัตยกรรม

เป็นงานตกแต่งเพื่อถึงความสวยงาม เรียบร้อย หรือสร้างความประทับใจให้คนที่พบเห็น ซึ่งเป็นงานกึ่งก่อสร้าง กึ่งตกแต่ง ได้แก่ การบุฝ้าเพดาน การปูพื้น บุผนัง การทาสี การติดตั้งสุขภัณฑ์ การติดตั้งดวงโคม ตลอดจนการติดตั้งเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งจะเป็นงานในขั้นตอนหลังของการก่อสร้างอาคาร และเป็นขั้นตอนที่ไม่สามารถเรียงลำดับงานได้แน่ชัด งานบางขั้นตอนอาจจะทำก่อน ทำภายหลังหรือทำควบคู่กันไป ขึ้นอยู่กับความพร้อมของการก่อสร้าง ในช่วงเวลานั้น นอกจากงานบางขั้นตอนที่สัมพันธ์กัน เช่น การบุฝ้าเพดานต้องทำหลังจากการมุงหลังคา การเดินระบบท่อน้ำ ท่อร้อยสายไฟ และสายไฟต่างๆในส่วนที่อยู่เหนือฝ้าเพดานเสร็จก่อน การปูพื้น และบุผนังต้องทำหลังจากการเดินท่อและติดตั้ง

อุปกรณ์ต่างๆในส่วนที่ฝังอยู่ภายใต้ผังพื้น และภายในผนังเสร็จเรียบร้อย การติดตั้งดวงโคมควรทำหลังจากการบุฝ้าเพดาน

1.2.9. งานระบบ

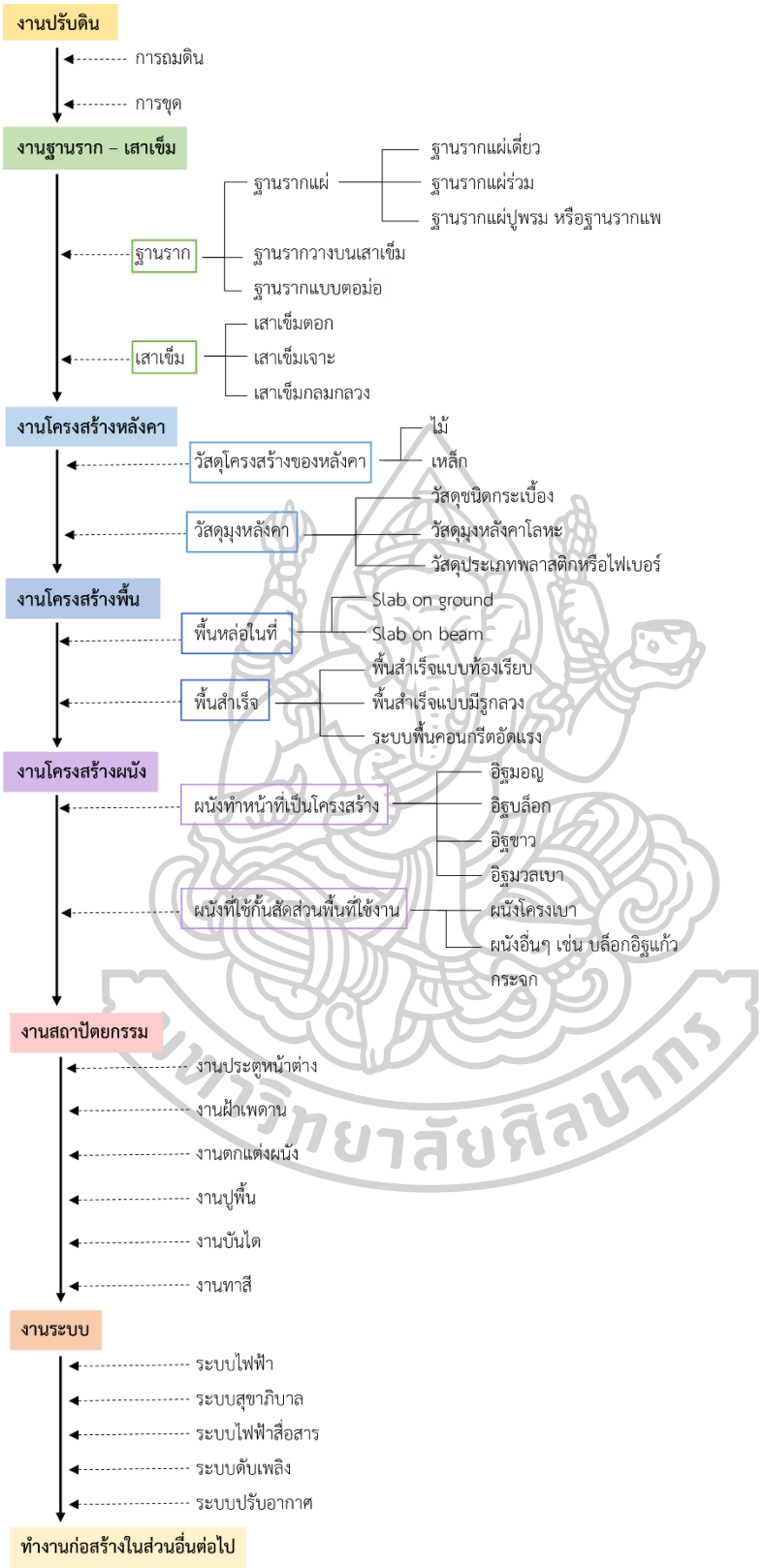
ประกอบด้วย ระบบสุขาภิบาล, ระบบไฟฟ้า, ระบบไฟฟ้าสื่อสาร,ระบบดับเพลิง, ระบบปรับอากาศ



ภาพที่ 66 งานระบบภายในบ้าน

ที่มา : (hometips, 2012)

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 67 ขั้นตอนการก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิม

ข้อดีและข้อจำกัดของการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 5 : ตารางแสดงสรุปข้อดีและข้อจำกัดของการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

ข้อดี	ข้อจำกัด
ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	กำหนดระยะเวลาในการสร้างไม่แน่นอน
สามารถ ใช้กับอาคารที่มีวางระยะห่างเสาไม่เท่ากันได้ทำให้ ออกแบบได้หลากหลายขึ้น	ไม่เหมาะกับอาคารสูง
ก่อสร้างง่าย	สิ้นเปลืองค่าไม้แบบ
ให้ความมั่นคงแข็งแรง และปลอดภัย	

2. การก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast system)

2.1. ความหมายของการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast system)

คือวิธีการก่อสร้างโดยการผลิตส่วนประกอบ (Precast Elements) ของอาคารสำเร็จรูปในโรงงาน แล้วนำมาประกอบติดตั้งเป็นอาคาร โดยอาศัยอุปกรณ์ยกประกอบ (เจนจิรา กันภัย, 2562)

2.2. ประเภทของระบบโครงสร้างอาคารสำเร็จรูปที่ใช้ในงานก่อสร้าง

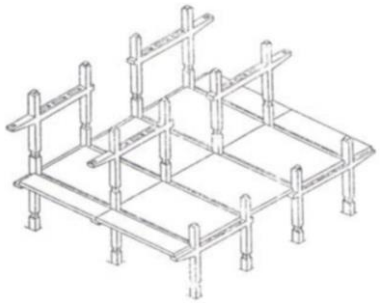
จัดแบ่งตามลักษณะของการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ Frame Structure และ Panel Structure จากรูปแบบการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปทั้ง 2 ประเภท และสามารถแบ่งเป็นระบบโครงสร้างตามการใช้งาน และการก่อสร้างเป็น 3 ระบบ (ชาญชัย ธวัชเกียรติศักดิ์, 2547) คือ

2.2.1. ระบบโครงเฟรม หรือระบบเสา คาน (Frame Structure System)

เป็นระบบโครงสร้างที่รับน้ำหนักลงบนคานส่งผ่านน้ำหนักไปยังเสา และลงสู่ฐานรากตามลำดับ ความแตกต่างของระบบนี้กับโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตกับที่ คือโครงสร้างเสาและคานเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป นอกจากนั้นมีคานเฉพาะในแนวที่รับน้ำหนักจากพื้นเท่านั้น ส่วนในแนวที่ไม่มีคานยึด จะถูกยึดโดยแผ่นพื้นหรือผนัง ทำให้วิธีการต่อชิ้นส่วนของเสาและคานคอนกรีตเข้าด้วยกันมีความยากมากกว่าระบบแผ่นพื้นรับน้ำหนัก โดยวิธีการต่อรอยต่อระหว่างเสาและคาน มีวิธีคล้ายกับแบบโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก ระบบนี้นิยมใช้สำหรับอาคารที่ไม่ได้สามารถใช้ระบบผนังรับน้ำหนักได้ เนื่องจากความจำเป็นทางด้านการใช้สอยที่ต้องการเปิดเนื้อที่ให้ผ่านถึงกันได้ตลอด เช่น อาคารโครงงาน สำนักงาน โรงเรียน เป็นต้น

ข้อดีของระบบเสาและคาน คือขนาดของชิ้นส่วนมีขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบาทำให้ขนย้ายได้ง่าย ใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถขนส่งไปได้ไกลจากโรงผลิตมาก

ข้อจำกัดของระบบเสาและคาน คือเวลาในการติดตั้งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนชิ้นส่วนที่มาก และการออกแบบรอยต่อควรออกแบบให้ง่าย ต่อเนื่องเป็นชิ้นเดียวกันบ้างจากโรงงานเพื่อให้เกิดความรวดเร็ว มีความแข็งแรง



ภาพที่ 68 ระบบเสา คาน (Frame structure system)

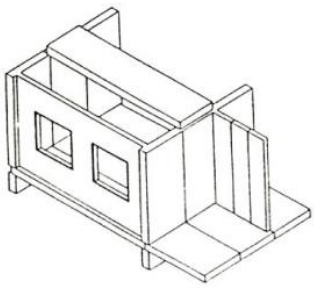
ที่มา : (CMWebOrigin, 2017)

2.2.2. ระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก (Panel System)

เป็นระบบโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป 2 ส่วน คือแผ่นผนังรับแรง และแผ่นพื้น โดยระบบโครงสร้างรับน้ำหนักจากแผ่นพื้นแล้วส่งต่อไปยังแผ่นผนัง และลงสู่ฐานรากตามลำดับ ซึ่งขนาดของชิ้นส่วน Panel จะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักร ที่ใช้ในการผลิต การขนส่ง และติดตั้งโครงสร้าง

ข้อดีของระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก คือความหนาของแผ่นสามารถปรับได้ นอกจากนั้นยังสามารถฝังท่อน้ำ และท่อเดินไฟฟ้าก่อนที่จะเทคอนกรีต จึงทำให้ผิวคอนกรีตมีความเรียบโดยไม่ต้องฉาบปูนอีก

ข้อจำกัดของระบบแผ่นผนังรับน้ำหนัก คือบริเวณช่องเปิด เช่น ประตู หน้าต่าง จะต้องเจาะตั้งแต่การผลิตผนัง จึงจำเป็นต้องออกแบบช่องเปิดมาเป็นอย่างดีก่อนมาผลิต ในด้านการขนส่งชิ้นส่วนและการติดตั้งชิ้นส่วนจะค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมาก และชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่ ต้องอาศัยช่างที่มีความชำนาญ และมีความประณีตในการทำงาน



ภาพที่ 69 ระบบผนังรับน้ำหนัก (Panel System)

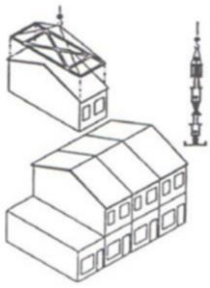
ที่มา : (CMWebOrigin, 2017)

2.2.3. ระบบกล่อง (Modular System)

เป็นระบบโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นชิ้นงาน 3 มิติ โดยแต่ละชิ้นส่วนจะมีขนาดเท่ากับห้อง 1 ห้อง ที่ประกอบด้วย พื้น ผนัง หลังคา และเพดานรวมเป็น 1 หน่วย ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นรูปตัวยู รูปตัวซี รูประฆัง รูปกล่องสี่เหลี่ยม จากนั้นจะมีการตกแต่งภายใน หรือบางชิ้นส่วนอาจประกอบด้วยงานระบบไฟฟ้า และระบบประปาภายในชิ้นงาน แล้วนำมาติดตั้งโดยการวางประกอบเรียงกันเป็นชั้นในบริเวณก่อสร้าง

ข้อดีของระบบกล่อง คือเป็นการก่อสร้างทุกอย่างมาจากโรงงาน ทำให้ง่ายต่อการก่อสร้างในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง สามารถลดแรงงานและเวลาที่ต้องใช้ในบริเวณก่อสร้าง

ข้อจำกัดของระบบกล่อง คือ การขนส่งและการยกติดตั้ง ซึ่งต้องพิจารณาทั้งรถขนส่ง ความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน เครื่องจักรที่จะทำการยกติดตั้ง เนื่องจากชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก



ภาพที่ 70 ระบบกล่อง (Modular System)

ที่มา : (CMWebOrigin, 2017)

ตารางที่ 6 : ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

รายการ	ระบบ Frame Structure System	ระบบ Panel System	ระบบกล่อง (Modular System)
ระบบโครงสร้าง			
ข้อดี	ใช้โครงสร้างเป็นเสา-คานสำเร็จรูปเจาะผนังดัดแปลงง่าย	ผนังรับแรงมีความคงทนแข็งแรง กันเสียง และทนไฟได้ดี	ผนังรับแรงความคงทนแข็งแรง และกันเสียงทนไฟได้ดี
ข้อเสีย	มีจำนวนชิ้นส่วนมาก และต้องนำชิ้นส่วนมายกติดตั้งมากครั้ง	โครงสร้างมีน้ำหนักมาก และดัดแปลงโครงสร้างภายในได้ยาก	โครงสร้างมีน้ำหนักมาก และดัดแปลงโครงสร้างภายในได้ยาก
การผลิต			
ข้อดี	ใช้พื้นที่ในโรงงาน และแบบหล่อน้อย	ในการผลิตทำงานง่าย	สามารถควบคุมคุณภาพได้ดี
ข้อเสีย		ใช้พื้นที่ในโรงงานและแบบหล่อมาก	ใช้พื้นที่ในโรงงาน แบบหล่อ เครื่องมือ และอุปกรณ์มาก
การเก็บสต๊อก			
ข้อดี	ใช้พื้นที่น้อยสำหรับคานช่วงเดียว		
ข้อเสีย	ใช้พื้นที่มากสำหรับคานต่อเนื่องพร้อมเสา	ใช้พื้นที่มาก	ใช้พื้นที่มากที่สุด

ตารางที่ 6 : ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (ต่อ)

รายการ	ระบบ Frame Structure System	ระบบ Panel System	ระบบกล่อง (Modular System)
การขนส่ง			
ข้อดี	ขนส่งง่ายสำหรับคานช่วงเดียว		มีจำนวนชิ้นส่วนน้อย
ข้อเสีย	ขนส่งยากสำหรับคานต่อเนื่องพร้อมเสา	ใช้รถขนส่งที่ต้องออกแบบเฉพาะ ต้นทุนขนส่งขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักชิ้นส่วนสำเร็จรูป	ใช้รถขนส่งที่ต้องออกแบบเฉพาะ ต้นทุนขนส่งขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนัก มีข้อจำกัดของการรับน้ำหนักของถนน
การติดตั้ง			
ข้อดี	ง่ายสำหรับเสา-คานช่วงเดียว	ขั้นตอนการติดตั้งง่าย	
ข้อเสีย	การติดตั้งยากสำหรับคานต่อเนื่องพร้อมเสาใช้แรงงานที่มีฝีมือ	ใช้เครื่องจักรกลหนัก ใช้แรงงานที่มีฝีมือ	ใช้เครื่องจักรกลหนัก ใช้แรงงานที่มีฝีมือ
จุดรอยต่อ			
ข้อดี	ง่ายสำหรับคานช่วงเดียว	ลักษณะจุดรอยต่อประกอบง่าย	ลักษณะจุดรอยต่อประกอบง่าย
ข้อเสีย	ต้องมีการควบคุมคุณภาพสูง	แนวและดิ่งของจุดรอยต่อควบคุมยาก ระบบกันน้ำต้องควบคุมคุณภาพมาก	
สถาปัตยกรรม			
ข้อดี	มีช่องว่างพื้นที่มาก แบบแปลนมีความยืดหยุ่นมาก ดัดแปลงภายในอาคารได้ง่าย	ผิวหนังเรียบ สวยงาม ไม่มีขอบและมุมเสา-คาน	
ข้อเสีย		ดัดแปลงภายในอาคารยาก และแบบแปลนมีความยืดหยุ่นน้อย	แบบแปลนมีความยืดหยุ่นน้อย เพราะมีข้อจำกัดเรื่องขนาดห้องและน้ำหนัก

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (มานี โตบารมีกุล, 2540)

2.3. ข้อคำนึงในการออกแบบของขั้นตอนการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

เพื่อให้ได้รูปแบบของชิ้นส่วนคอนสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

ข้อที่ 1 พื้นที่ทางเข้าและถนน (Access Area) พื้นที่ก่อสร้างควรมีทางเข้าออกที่สะดวก เพื่อให้สามารถขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปได้ง่าย ในกรณีทางเข้ากว้าง สามารถเลือกใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จขนาดใหญ่ได้ โดยเครื่องมือที่ใช้ยกเป็นประเภทรถเครน แต่หากพื้นที่มีจำกัดอาจใช้ทาวเวอร์เครนแทน

ข้อที่ 2 รูปร่างลักษณะของอาคาร (Building Layout) อาคารที่มีรูปแบบของชิ้นงานที่ซ้ำกันจะเหมาะสมกับการผลิตในลักษณะอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถผลิตซ้ำเป็นจำนวนมากจากโรงงาน

ข้อที่ 3 โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Factory) กรณีที่มีโรงงานผลิตชิ้นส่วนอยู่ใกล้หน่วยงานก่อสร้างจะสามารถเอื้อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง

ข้อที่ 4 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Erection Process) ขั้นตอนการประกอบติดตั้งขณะก่อสร้างจะเป็นตัวบังคับให้ชิ้นส่วนคอนกรีตมีรูปแบบที่แตกต่าง

ข้อที่ 5 พื้นที่เก็บชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Stocking Area) การก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูปมีความจำเป็นต้องจัดพื้นที่เก็บชิ้นส่วนสำเร็จรูป และการจัดเก็บจำเป็นต้องเรียงตามลำดับการติดตั้งเพื่อให้สะดวกในการยกติดตั้งชิ้นส่วนต่อไป

2.4. ขั้นตอนการก่อสร้างอาคารด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

การก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูปมีความจำเป็นต้องจัดพื้นที่เก็บชิ้นส่วนสำเร็จรูป และการจัดเก็บจำเป็นต้องเรียงตามลำดับการติดตั้งเพื่อให้สะดวกในการยกติดตั้งชิ้นส่วนต่อไป

2.4.1. ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปตามแบบที่ออกแบบ

ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ จัดทำโรงงานหล่อ หรือลานหล่อ ,การทำแบบหล่อ และผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

2.4.2. ขั้นตอนการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจากโรงงานไปยังพื้นที่

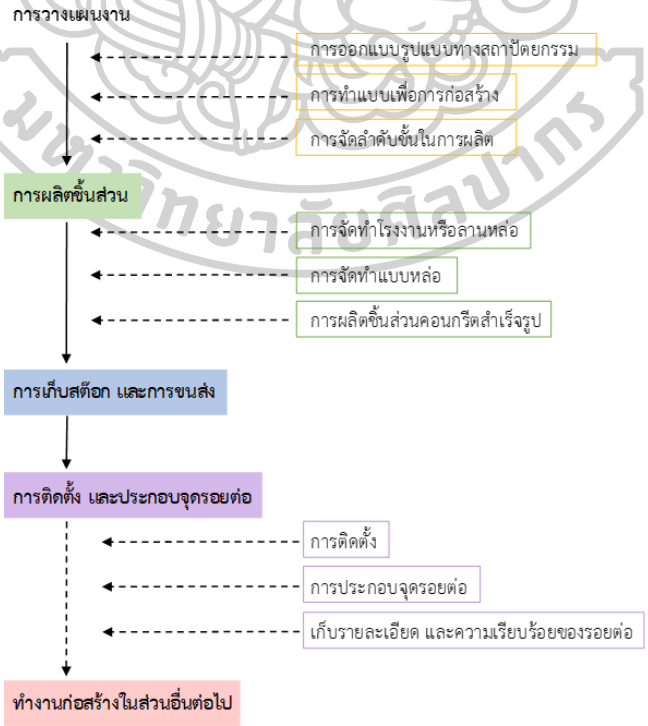
การก่อสร้างโดยประเภทรถบรรทุกที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาด และน้ำหนักของชิ้นส่วนสำเร็จรูป ซึ่งปกติใช้รถบรรทุกขนาด 10 ล้อในการขนส่ง

2.4.3. ขั้นตอนการยกชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อทำการติดตั้ง โดยใช้

เครื่องจักรกลหนัก คือโมบายเครน หรือทาวเวอร์เครน ซึ่งใช้เครื่องจักรไหนยกนั้นขึ้นอยู่กับขนาด และน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

2.4.4. ขั้นตอนการประกอบจุดรอยต่อ มีหลากหลายวิธี เช่น ใช้วิธีการเชื่อม

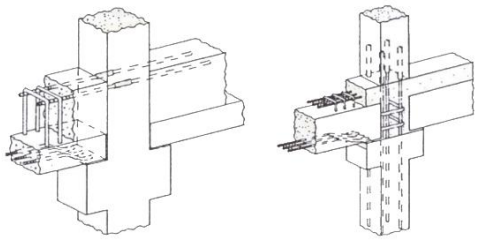
การเกร๊าท์ หรือแบบใช้เหล็กโดเวล ซึ่งในขณะการประกอบจุดรอยต่อจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการค้ำยัน เพื่อให้ชิ้นส่วนอยู่ในตำแหน่งของชิ้นส่วนนั้นก่อน



ภาพที่ 71 แสดงการแสดงขั้นตอนการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

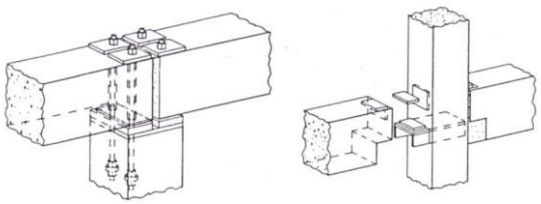
2.5. การออกแบบจุดรอยต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป เป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะมีผลต่อ
ความมั่นคงและแข็งแรงของโครงสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.5.1. จุดรอยต่อแบบเปียก (Wet Joint) **เป็นลักษณะของจุดรอยต่อที่เกิด**
ขึ้นจากการเกร๊าท์ ซึ่งจุดรอยต่อนี้สามารถรับแรงต่างได้ เมื่อวัสดุมีความแข็งแรงตามที่กำหนด



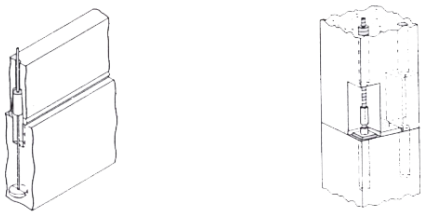
ภาพที่ 72 จุดรอยต่อแบบเปียก (Wet joint)
ที่มา : (สุกฤต อนันตชัยยง, 2545)

2.5.2. จุดรอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint) **เป็นลักษณะของจุดรอยต่อที่เกิด**
จากการเชื่อมต่อของวัสดุ หลังจากนั้นจำเป็นต้องปิดรอยต่อด้วยมอร์ต้า อีพอกซี่ วัสดุกันซึม หรือวัสดุกันสนิม ซึ่งจุดรอยต่อแบบแห้งจะสามารถรับแรงต่างๆได้ในทันที



ภาพที่ 73 จุดรอยต่อแบบแห้ง (Dry joint)
ที่มา : (สุกฤต อนันตชัยยง, 2545)

2.5.3. จุดรอยต่อแบบภายหลัง (Post-Tensioned) **เป็นลักษณะของ**
จุดรอยต่อเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนสำเร็จรูปแต่ละชิ้น หรือระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยจะใช้เทนดอน (Tendon) เป็นวัสดุที่ใช้ดึงและยึดปลายของเทนดอนไว้ที่ชิ้นส่วนสำเร็จรูป การดึงจะกระทำหลังจากหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสร็จแล้ว



ภาพที่ 74 จุดรอยต่อแบบภายหลัง (Post-Tensioned)
ที่มา : (สุกฤต อนันตชัยยง, 2545)

ข้อดีข้อจำกัดของวิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จ

ตารางที่ 7 : ตารางแสดงข้อดีข้อจำกัดของวิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จ

ข้อดี	ข้อจำกัด
มีความแข็งแรง เนื่องจากถูกออกแบบมาให้สามารถรับน้ำหนักตัวบ้านได้	ตรงรอยต่อของการเชื่อมต่อกันของชิ้นส่วย ถ้าช่างฝีไม่ดีจะทำให้เกิดการรั่วซึมตามรอยต่อผนัง
ไม่มีเหลี่ยมมุมเสา วางเฟอร์นิเจอร์ได้ลงตัว เนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้ผนังสามารถรับน้ำหนัก	ไม่สามารถต่อเติมผนัง ทุบผนัง เจาะ และยึดเกาะภายหลังเองได้ เพราะจะทำให้เกิดการแตกร้าวของผนัง ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของโครงสร้างบ้านที่น้อยลง
ผนังสามารถเก็บเสียงได้ดี เนื่องจากผนังที่เป็นคอนกรีตมีความทึบตัน	ผนังเป็นคอนกรีตทึบตัน ทำให้การระบายอากาศและความร้อนได้ไม่ค่อยดีเท่าที่ควร

เปรียบเทียบข้อดีข้อจำกัดระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิมและก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป

ตารางที่ 8 : ตารางแสดงเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับระบบก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จ

หัวข้อ	การก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)	การก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)
ความแข็งแรงของผนัง	มีความแข็งแรงน้อยกว่า เนื่องจากขึ้นอยู่กับฝีมือของช่าง และโครงสร้างยังจำเป็นต้องมีเสาคานช่วยในการรับน้ำหนัก	มีความแข็งแรงมาก เนื่องจากสามารถออกแบบให้ผนังสามารถรับน้ำหนักได้ และมีความเสถียรมากเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนมาจากโรงงาน
รอยร้าวบนผิวผนัง	ผนังบ้างส่วนมีการเดินท่อน้ำดี และท่อไฟฟ้าด้วยที่อยู่ภายในของผนัง ซึ่งปกติช่างมักจะก่อผนังก่อน และค่อยมากรีดผนังเพื่อเดินท่อน้ำ ท่อไฟ จากนั้นฉาบเก็บทับ ดังนั้นจึงมักเกิดปัญหารอยร้าวบนผิวผนังบริเวณที่กรีดผนังฝังท่ออยู่บ่อยครั้ง	ผนังจะถูกออกแบบมาเป็นเซต คือผนังมีการเจาะช่องว่างเพื่อวางประตู-หน้าต่าง และมีการเดินท่อน้ำ ท่อไฟ มาให้เสร็จและจบที่โรงงาน ดังนั้นเรื่องของรอยร้าวผิวผนังต่างๆ จะแทบไม่พบการเกิดรอยร้าวบนผิวผนัง

ตารางที่ 8 : ตารางแสดงเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับระบบก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จ (ต่อ)

หัวข้อ	การก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)	การก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)
การรั่วซึมตามรอยต่อผนัง	ไม่ค่อยเกิดปัญหารั่วซึมที่เกิดจากผนัง แต่มักมีรอยรั่วบริเวณฝา เนื่องจากรอยรั่วของหลังคา	เนื่องจากโรงงานผลิตเป็นแผ่น แล้วนำมาประกอบที่บริเวณหน้างาน แต่จะต้องพึ่งพาฝีมือของช่าง ถ้าช่างไม่มีความชำนาญทำให้เกิดปัญหารั่วซึมของอยู่ที่รอยต่อระหว่างแผ่น
ความสวยงามของผนัง และการจัดวางเฟอร์นิเจอร์	เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้เสาคานรับน้ำหนัก ทำให้ผนังจะมีเสา ซึ่งไม่ง่ายต่อการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ภายใน	เนื่องจากระบบก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จ สามรถออกแบบให้ผนังสามารถรับน้ำหนักได้จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ในการวางเฟอร์นิเจอร์ได้มากขึ้น
การเก็บเสียงของผนัง	เก็บเสียงไม่ค่อยดี เนื่องจากวัสดุในการก่อผนังเป็นอิฐมอญที่ทำมาจากดิน หรืออิฐมวลเบาที่มีรูพรุนมากกว่า	ทำหน้าที่ได้ดีกว่าพอสมควร เนื่องจากผนังที่เป็นคอนกรีตมีความทึบตัน
การระบายอากาศ	ผนังก่ออิฐ โดยเรียงลำดับการระบายอากาศดีสุดไปแย่สุดดังนี้ อิฐมวลเบา > อิฐมอญแดง	เป็นคอนกรีตที่มีความทึบตัน ทำให้การระบายอากาศแย่ลง
การต่อเติม และการทุบของผนัง	การต่อเติม และการทุบของผนังได้ ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้าง ต้องระวังบริเวณรอยต่อของผนังกับเสาหรือคาน	ผนังถูกออกแบบมาเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง ถ้าทำการต่อเติมหรือทุบอาจจะทำให้เกิดการแตกร้าวของผนังได้

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment : LCA)

1. ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment : LCA)

คือกระบวนการที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การจัดหาและสกัดวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การจำหน่าย การใช้งาน จนถึงการทำลายและนำไปกำจัดหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการประเมินตั้งแต่เกิดจนตาย โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงาน และวัตถุดิบที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization : ISO) ซึ่งได้ให้นิยามความหมายของ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment : LCA) ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 - 14044 ว่าเป็น การเก็บรวบรวมและทำการประเมินค่าของสารขาเข้าและขาออก รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2551)

ตารางที่ 9 : ตารางแสดงอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000

มาตรฐานเลขที่	หัวข้อ
ISO 14001/4	Environmental Management System
ISO 14010-14012	Environmental Auditing
ISO 1431	Environmental Performance Evaluation
ISO 14020-14024	Environmental Labeling
ISO 14040-14044	Life Cycle Assessment
ISO 14050	Term and Definitions
ISO 14062	Design for Environment
ISO 14063	Environmental Communication

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (ISO Central Secretariat, 2556)

2. หลักการสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย 3 หลักสำคัญดังนี้

2.1. การกำหนด และระบุปริมาณของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Loads) ในทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์และบริการนั้นๆ เช่น พลังงาน และวัตถุดิบที่ใช้รวมไปถึงการปลดปล่อยของเสีย และการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2.2. การประเมินและการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts) คือการประเมินผลจากปริมาณต่างๆที่ได้มาจากขั้นตอนกำหนดและระบุปริมาณของผลกระทบ

2.3. การประเมินกาวิธีทางการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม

คือการใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมที่เกิดขึ้นเพื่อหาทางปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือบริการ

2.4. ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต จากคู่มือการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิต

ของผลิตภัณฑ์ของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ได้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานของการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้ 2 วิธี คือ

2.4.1. กรอบการดำเนินงานตามขั้นตอนของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP) แบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอนย่อย คือ

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการประเมิน หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้งาน และรายละเอียดที่ต้องการศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างผังการไหล (Flow chart) ของกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดทั้งผลิตภัณฑ์หรือบริการ

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ (Life Cycle Inventory)

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดขอบเขตระบบ (System boundary)

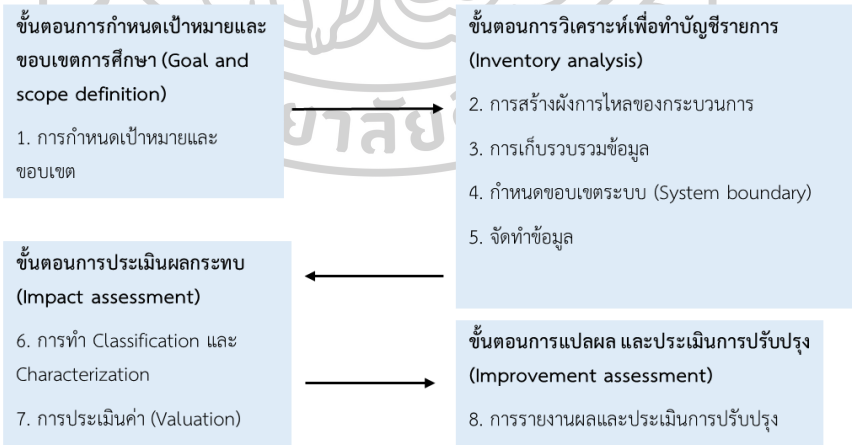
ขั้นตอนที่ 5 การจัดทำข้อมูล

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (Impact assessment) ทำได้โดยจำแนกกลุ่มของผลกระทบ(Classification) และการคำนวณศักยภาพการเกิดผลกระทบ

ขั้นตอนที่ 7 การประเมินค่า (Valuation) และการให้น้ำหนักความสำคัญ(Weighting)

ขั้นตอนที่ 8 การแปลผลและการประเมินการปรับปรุง (Improvement assessment)

สามารถสรุปกรอบการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติได้ตามแผนภาพดังนี้



ภาพที่ 75 กรอบการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

2.4.2. กรอบการดำเนินงานตามขั้นตอนขององค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) แบ่งขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

เป้าหมายของการศึกษา (Goal definition) เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการทำประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อให้เกิดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการศึกษาและกำหนดระบบที่ใช้ศึกษาให้ตรงตามความต้องการ

หน่วยการทำงาน (Functional Unit) เป็นตัวใช้ในการเปรียบเทียบกันของผลการประเมิน ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเปรียบกันแบบต่างระบบของผลิตภัณฑ์เดียว หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการรวมกัน เพื่อให้ข้อมูลของปริมาณสารขาเข้า และออกอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน

ปริมาณอ้างอิง (Reference Flow) คือจำนวนปริมาณของผลิตภัณฑ์ หรือบริการต่อการใช้งาน เพื่อใช้คำนวณหาสารขาเข้า และสารขาออกของระบบ

ขอบเขตของระบบ (System Boundary) คือหน่วยที่รวบรวมวัสดุ และพลังงาน โดยมีการเชื่อมโยงกันระหว่างหน่วยหน้าที่ต่างๆ และยังสามารถแบ่งขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบ หรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ ซึ่งเป็นขอบเขตที่อยู่ระหว่างผลิตภัณฑ์หรือบริการ กับสิ่งแวดล้อม หรือผลิตภัณฑ์ หรือบริการตัวอื่นๆ โดยขอบเขตของระบบประกอบไปด้วยการผลิตวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การนำไปใช้ การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การนำกลับไปใช้ใหม่ และการจัดการของเสีย วิธีการกำหนดขอบเขตของระบบเช่น ขอบเขตการศึกษาตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) หรือการศึกษาตั้งแต่การเกิดไปจนถึงการผลิตเสร็จพร้อมใช้งาน (Cradle to Gate)

คุณภาพของข้อมูล (Quality of Data) เป็นตัวที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่าผลของการประเมินมีความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับการนำข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมิน โดยการระบุคุณภาพของข้อมูลจะต้องขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งข้อมูลน่าเชื่อถือหรือไม่ขึ้นอยู่กับ

- ช่วงเวลาของข้อมูล ทำให้ทราบถึงระยะเวลาในการเก็บข้อมูลนั้นๆ หรือทำให้ทราบว่าข้อมูลมีความเก่าใหม่แค่ไหน
- ที่มาของข้อมูล ทำให้ทราบถึงที่มาของข้อมูลว่ามาจากการผลิตจริง หรือจากสถิติ
- ด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับข้อมูลที่นำมาศึกษา ทำให้ทราบว่าข้อมูลที่ได้มานี้ มาจากสภาวะการผลิตที่ปกติ ผิดปกติ หรือได้ข้อมูลจากช่วงที่มีกำลังในการผลิต เนื่องจากสิ่งต่างๆเหล่านี้มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ผล และมีผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อม เช่นการหาข้อมูลที่ได้ต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอธิบายสมมติฐานต่างๆที่ใช้ในการศึกษา

ทั้งหมด เพื่อที่จะให้ผู้อ่านผลการศึกษาได้ทราบที่มาของข้อมูล และผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory ; LCI)

เป็นขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลของสารขาเข้า และสารขาออก โดยข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูลทำได้โดยการร่างผังการไหล (Flow chart) กระบวนการย่อย (Unit process) ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย และกำหนดระบุหน่วยที่ใช้ในการวัด ร่างวิธีการได้มาซึ่งข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูล และการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูลให้ทราบถึงแหล่งที่มาเพื่อใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในครั้งนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูลต้องแสดงรายละเอียดของสาขาเข้า และสารขาออก การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพของสารขาเข้า จะต้องมีการกำหนดว่ากระบวนการนั้นเริ่มต้น และสิ้นสุดที่ใด พร้อมทั้งกำหนดหน้าที่ และหน่วยการทำงานด้วย เมื่อกระบวนการย่อยมีสารขาเข้าเข้าไปหลายชนิด หรือสารขาออกหลายชนิด จะต้องมีขั้นตอนการปันส่วน (Allocation) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับพลังงานขาเข้า และพลังงานขาออกเมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง อาจใช้แหล่งข้อมูลอื่นๆต่อไปนี้

- ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้น หรือนักออกแบบกระบวนการ
- การคำนวณทางวิศวกรรมซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบ เคมีของกระบวนการ
- การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน
- สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment LCIA)

ขั้นตอนนี้เป็นการแปลงบัญชีรายการ (Inventory) ให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจำเป็นต้องเป็นหน่วยที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 คือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Mid-point impact) เช่น การใช้พลังงาน การแพร่กระจายของสารพิษ ใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น

แนวทางที่ 2 คือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปลายทาง (End-point impact) เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นในระดับท้องถิ่นหรือระดับโลก เช่นการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน เป็นต้น (ณัฐกานต์ สมตัว, 2553) โดยในขั้นการประเมินผลกระทบมีขั้นตอนดังนี้

การเลือกข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้อง และสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Section) คือ การเลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการต่างๆแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิตโดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับกลไกด้านสิ่งแวดล้อม และกระบวนการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่จุดกำเนิดของ

ปัญหา อันเนื่องมาจากกิจกรรมต่างๆในวัฏจักรชีวิต จนถึงการแพร่กระจายมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมว่าสร้างความเสียหายตั้งแต่ระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลก

การจัดแบ่ง หรือจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification) คือ การจำแนกข้อมูลสารขาเข้า และสารขาออกในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถจำแนกเป็นกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Mid-point Impact) หรือขั้นปลายทาง (End-point Impact) โดยดูจากความสัมพันธ์ของสารเข้า และสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบนั้นๆในการจำแนกข้อมูล

การแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) คือ การแปรข้อมูลสารขาเข้า และสารขาออก ที่อยู่ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ให้อยู่ในรูปตัวชี้วัดตามมาตรฐาน ซึ่งคิดมาจากการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยคำนวณจากแบบจำลองที่อธิบายกลไกทางฟิสิกส์และเคมี ที่ทำให้เกิดสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม

การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) คือการเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในภาพรวม โดยการนำผลกระทบที่ศึกษานำไปเปรียบเทียบกับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ทั้งในระดับประเทศ ภูมิภาค หรือระดับโลก

การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) คือ การจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่ เพื่อให้ทราบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละหมวดหมู่ในภาพรวม ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ระดับ คือ ในระดับประเภท เช่น การทำลายคุณภาพของระบบนิเวศน์ การลดลงของปริมาณทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงาน ผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัยของมนุษย์ เป็นต้น ถ้าในระดับภูมิภาค เช่น การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร เป็นต้น และในระดับโลก เช่น ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น

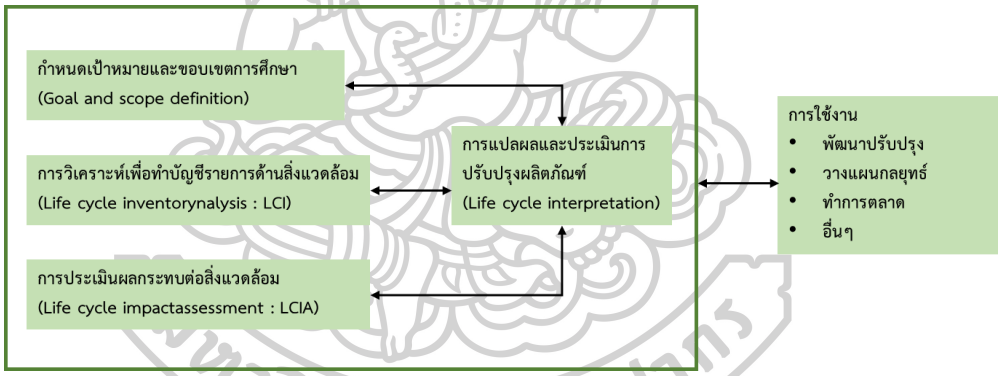
การให้น้ำหนักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Weighting) คือการเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท เรียกว่า Weighting Factor โดยเกณฑ์ในการกำหนดลำดับความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาจเป็นการเปรียบเทียบ เชิงปริมาณ หรือเชิงคุณภาพ ใช้หลักเกณฑ์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ผู้วิจัยจะนำมาพิจารณา เช่น ขนาด และความรุนแรงของผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลกระทบสิ่งแวดล้อม เฉพาะประเภทที่ต้องการปรับปรุงแก้ไข การแปลงค่าความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมเป็นค่าเงินเพื่อวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์ การใช้หลักเกณฑ์เชิงสังคม เป็นต้น

การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) คือ การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก่อนที่จะนำผลดังกล่าวไปใช้ต่อไป ปัจจัยที่

นำมาพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพข้อมูล ได้แก่ ความเหมาะสม และสอดคล้องของข้อมูลที่ใช้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยดูจากแหล่งที่มาของข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ความถูกต้องของวิธีการวัด และการคำนวณ การเป็นตัวแทนที่เหมาะสมของข้อมูลที่ขาดหายไป ตัวอย่างเทคนิคในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Analysis) เพื่อจำแนกข้อมูลวิธีปันส่วน (Allocation) วิธีคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการตัดออก (Cut-off) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation) นำผลการศึกษามาวิเคราะห์ผลลัพธ์ เพื่อนำผลมาสรุปตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมไปถึงสามารถนำผลการศึกษามาอธิบายข้อจำกัด และข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ยังสามารถเป็นองค์ประกอบนึงที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้หรือปรับปรุงระบบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ศึกษาต่อไปได้

จากขั้นตอนทั้งหมดสามารถสรุปการดำเนินงานตามกรอบการดำเนินงานประเมินวัฏจักรชีวิต ตามขั้นตอนอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ได้ตามแผนภาพดังนี้



ภาพที่ 76 กรอบการดำเนินงาน ประเมินวัฏจักรชีวิต ตามขั้นตอนอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

2.5. เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาวิธีการก่อสร้าง อาคารวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร รวมไปถึงกรขนส่งวัสดุก่อสร้าง เครื่องมือที่จะใช้จึงเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมีตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 10 : ตารางแสดงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
Simapro	Pre'Consultants	Netherland
Gabi	IKP Stuttgart	Germany
Team	Ecobilan	France
LCAiT	Chalmers	Sweden
Umberto	Ifu/ifeu	Germany
Boustead	Boustead	England
NIRE-LCA	NIRE	Japan
JEMAI-LCA	JEMAI	Japan

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (ณิชญา ถนอมพลรัง, 2557)

ตารางที่ 11 : ตารางแสดงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

หัวข้อ	SimaPro	Gabi	Team	Umberto
ฟังก์ชั่น Functionality	-	++	+	++
ความยืดหยุ่น Flexibility	O	O	+	++
ฐานข้อมูล Database	+	+	++	-
การใช้งาน User-friendliness	-	++	O	O
คุณสมบัติ Software properties	O	O	-	-
บริการ Service	O	++	++	+
ค่าใช้จ่าย Cost	++	+	--	O

หมายเหตุ - - , - , o , + , ++ หมายถึง แย่มาก , แย่ , ปานกลาง , ดี , ดีมาก ตามลำดับ

ที่มา : (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2551)

โดยโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ คือโปรแกรม SimaPro ซึ่งพัฒนาโดย PRé Consultant ของประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นโปรแกรมที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดในการทำ LCA เพราะมีข้อดีคือเป็นโปรแกรมที่มีการเก็บรวบรวมฐานข้อมูลไว้หลากหลายสาขาการผลิตโดยเฉพาะ Eco Invent ที่ครอบคลุมกระบวนการ ผลิตถึง 4,000 กระบวนการ ซึ่งส่วนใหญ่มาการศึกษา LCA ในยุโรป จากภาคอุตสาหกรรม เช่น ข้อมูลวัตถุดิบ พลังงาน การขนส่ง และสภาพมลพิษที่เกิดขึ้นจริง และสามารถนำโปรแกรมมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นจำนวนตัวเลขที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ส่วนการแปลงบัญชีรายการเป็นตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 แนวทางคือ

Problem Oriented Method เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Mid-point Impact) เช่น การเกิดฝนกรด การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การแพร่กระจายของสารพิษ เป็นต้น กระบวนการที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ EDIP 97 , EDIP2003 ,CML Baseline Method , Impact 2002+

Damaged Oriented Method เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปลายทาง เช่น ปัญหาสิ่งแวดล้อม การทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion) การเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นต้น กระบวนการที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ Eco-indicator 99 และ Impact 2002+

ตารางที่ 12 : ตารางแสดงตัวอย่าง กระบวนการ (Method) ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

Method	รายละเอียด
CML 2 baseline 200	เป็นฐานข้อมูลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อมูลจาก Eco-invent 2.0 และเพิ่มข้อมูลสำคัญต่างๆที่ไม่มีในโปรแกรมนี้โดยตั้งชื่อใหม่เป็น CML 2 baseline 2000 โดย Method นี้จะประเมินผลกระทบสำคัญที่มีการแนะนำใน Handbook on life cycle assessment เท่านั้น
CML 2001 (All impact categories)	เหมือวิธี CML 2 baseline 2000 แต่แตกต่างจาก CML 2 baseline 2000 คือ CML 2 baseline 2000 มีแค่ผลประเมินที่สำคัญเพียงเท่านั้น แต่ CML2001 เป็นการประเมินผลกระทบทั้งหมด
Eco-indicator 99(E)	เป็นการให้น้ำหนักผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆโดยแบ่งเป็นผลกระทบต่อมนุษย์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปละผลกระทบต่อทรัพยากรโดย E มาจาก Egalitarian perspective

ตารางที่ 12 : ตารางแสดงตัวอย่าง กระบวนการ (Method) ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (ต่อ)

Method	รายละเอียด
Eco-indicator 99(I)	เช่นเดียวกับ Eco-indicator 99(E) โดย Individualist perspective มาจาก Hierarchist perspective ซึ่งมองคนละมุมมองกับ Eco-indicator 99(E)
Ecological Scarcity 2006	เป็น method ที่นำฐานข้อมูลจาก http://www.esu-service.ch/cms/indexphp?id=ubp06 ซึ่งรวบรวมข้อมูลโดยบริษัท ESU-service ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาด้าน LCA โดยเฉพาะ โดยพิจารณาผลกระทบ 7 ประเภทด้วยกันได้แก่ Emission into air , emission into surface water , emission into ground water , emission into top soil , Energyresources , Natural resources , Deposited waste โดยใช้หน่วยเดียวกัน คือ UBP
EDIP 2003	เป็น Method ในการทำ LCA ของประเทศเดนมาร์ก ดัดแปลงจาก EDP 2007
EPS2000	Method นี้เป็นมาตรฐานที่นักวางแผนทางด้านสิ่งแวดล้อมนิยมใช้ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 13 ประเภท
Impact 2002+	เป็นการรวม Method Impact 2002 , Eco-indicator99 , CML และ IPCC เข้าด้วยกันโดยเน้นไปที่สารก่อมะเร็งความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและความเป็นพิษต่อดิน โดยมีผลกระทบ 14 ประเภท
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)	เป็นการประเมินคาร์บอลฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ทำการประเมินศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก หรือภาวะโลกร้อนในช่วง 20 100 500 ปีซึ่งเป็นฐานข้อมูลบัญชีที่รวมอยู่ในวิธีของ ReCipe Midpoin

ที่มา : (มนตรี บุญนาค, 2540)

2.6. การประเมินผลกระทบโดย IPCC ย่อมาจาก Intergovernmental Panel on Climate Change โดยการประเมินผลกระทบด้วย IPCC เป็นการประเมินผลกระทบทางด้านที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก รวมถึงหาแนวทางเพื่อหามาตรการบรรเทา และมาตรการเพื่อการปรับตัวรับกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยอาศัยข้อมูลรายงานทางวิทยาศาสตร์ ที่รวบรวม และสังเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญหลายสาขาจากหลากหลายประเทศ ลักษณะของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้ IPCC มีดังนี้

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวัดการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากการปล่อยของคาร์บอนมอนนอกไซด์

ไม่รวมการเปลี่ยนแปลงรูปไดไนโตรเจน โมนอกไซด์จากการปล่อยไนโตรเจน

ไม่พิจารณาการปล่อยรังสีของไนโตรเจนออกไซด์ น้ำ ซัลเฟตและอื่นๆ

วิธีการประเมินนี้ไม่พิจารณาขนาดผลกระทบและการให้น้ำหนัก

และนอกจากนี้การการประเมินผลกระทบโดยใช้ IPCC จะแบ่งระยะเวลาการประเมินได้ 3 ช่วง คือ ระยะเวลา 20 , 100 และ 500 โดยการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก อ้างอิงจากหลักการของคณะกรรมการระหว่างรัฐว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change ; IPCC) โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะแสดงในหน่วยปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\mathbf{CO_2e}$) โดยคำนวณจากผลคูณของปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง (Activity Data) กับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ (Emission Factor) (ฤชา เหมสุทธิ์, 2563) ดังแสดงในสมการ

$$\mathbf{CO_2e} = \text{Activity Data x Emission Factor}$$

2.7. การประเมินผลกระทบโดย Impact 2002+ คือกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต ที่พัฒนาขึ้นโดย Swiss Federal Institute of Technology เป็นกระบวนการที่รวมผลประเมินกระทบขั้นกลาง คือการนำ Method ของ CML 2003 , IPCC, Impact2002 และ Eco-indicator มาพัฒนาเป็น Impact 2002+ ซึ่งมีกระบวนการประเมินโดยให้น้ำหนักข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ หรือกระบวนการ ซึ่งมีการแจกแจงผลกระทบจากวัตถุดิบ หรือกระบวนการออกเป็น 14 ประเภท คือ

ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีสาร : Photochemical oxidation [Respiratory (organics) for human health]

สภาวะโลกร้อน : Global warming

การแผ่รังสี : Ionizing radiations

การลดลงของชั้นโอโซน : Ozone layers depletion

การใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง : Non-renewable energy

ความเป็นพิษต่อมนุษย์ : Human toxicity สารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็ง (Carcinogens+non-carcinogens)

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ในน้ำ : Aquatic ecotoxicity

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในดิน : Terrestrial ecotoxicity

สภาวะความเป็นกรดในดิน : Terrestrial acidification / nitrification

สภาวะความเป็นกรดในน้ำ : Aquatic acidification

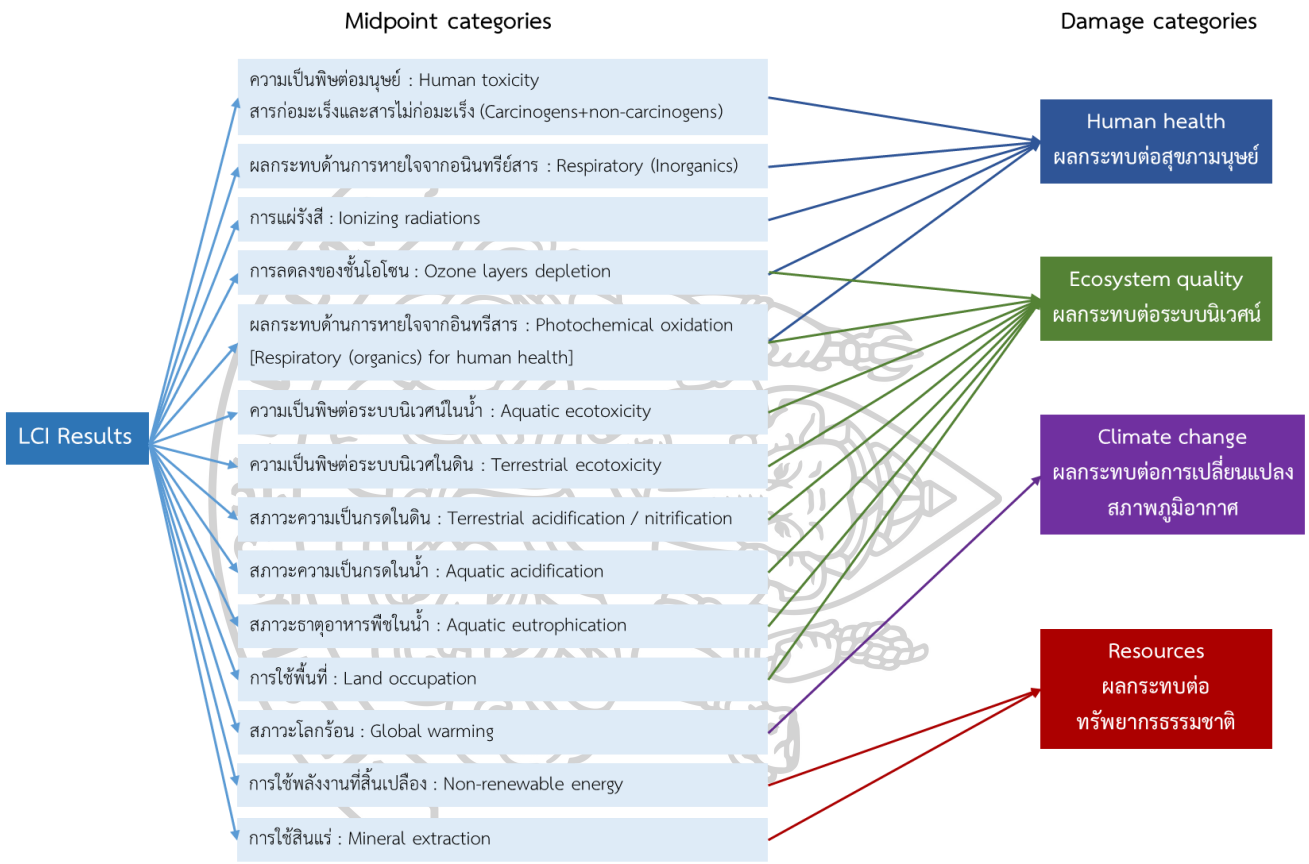
สภาวะธาตุอาหารพืชในน้ำ : Aquatic eutrophication

ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร : Respiratory (Inorganics)

การใช้พื้นที่ : Land occupation

การใช้สินแร่ : Mineral extraction

และแบ่งผลกระทบต่างๆเป็นหมวดหมู่ดังนี้



ภาพที่ 77 แผนภูมิรายละเอียดของกระบวนการ Impact2002+ แสดงให้เห็นการแบ่งประเภทจาก Mid-point Impact เป็น Damagecategories

ตารางที่ 13 : ตารางแสดงรายละเอียดสสารที่เป็นปัจจัยทำให้เกิดผลกระทบที่ใช้ใน Impact 2002+

ลำดับ	15ประเภทของผลกระทบ (Mid-point category)	ค่าอ้างอิงของผลกระทบ (Midpoint reference substance)	กลุ่มผลกระทบ (Damage category)	สารมลพิษ
1	ความเป็นพิษต่อมนุษย์ : Human toxicity สารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็ง (Carcinogens+non-carcinogens)	kg_{eq} Chloroethylene into air	Human health	Arsenic , Cadmium
2	ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร : Respiratory (Inorganics)	kg_{eq} PM2.5 into air		Methane , Benzene
3	การแผ่รังสี : Ionizing radiations	Bq_{eq} Carbon-14 into air		Nuclear energy
4	การลดลงของชั้นโอโซน : Ozone layers depletion	kg_{eq} CRC-11 into air		CFCs , HFCs
5	ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีสาร : Photochemical oxidation [Respiratory (organics) for human health]	kg_{eq} Ethylene into air		CO , SO_x , NH_3
6	ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำ : Aquatic ecotoxicity	kg_{eq} Triethylene glycol into water	Ecosystem quality	Phenol , Methanol
7	ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในดิน : Terrestrial ecotoxicity	kg_{eq} Triethylene glycol into water		Styrene , Xylene
8	สภาวะความเป็นกรดในดิน : Terrestrial acidification / nitrification	$kg_{eq}SO_2$ into air		SO_x , NO_x , NH_3
9	สภาวะความเป็นกรดในน้ำ : Aquatic acidification	$kg_{eq}SO_2$ into air		SO_x , NO_x , NH_3 , HCl
10	สภาวะธาตุอาหารพืชในน้ำ : Aquatic eutrophication	$kg_{eq}PO_4{}^{3-}$ into water		Phosphate , Nitrate
11	การใช้พื้นที่ : Land occupation	$m^2{}_{eq}$ Organic arable land year	Climate change	Grassland , Wood
12	สภาวะโลกร้อน : Global warming	$kg_{eq}CO_2$ into air		CO_2 , Methane , CFCs
13	การใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง : Non-renewable energy	MJ or kg_{eq} Crude oil (860 kg/m^3)	Resources	Crude oil , Coal
14	การใช้สินแร่ : Mineral extraction	MJ or kg_{eq} Iron (in ore)		Copper , Nickel , Zinc

ที่มา : (ekoconception, 2003)

ขั้นตอนการประเมินด้วย Impact 2002+ สามารถทำตามขั้นตอน (วีณา ชุติมานิตสกุล, 2552) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจำแนกประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง (Classification) เป็นขั้นตอนจำแนกและจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมข้อมูลสารขาเข้า และสารขาออกในบัญชีรายการว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใด เช่น กิจกรรมหนึ่งๆมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้ก่อภาวะโลกร้อน (Global warming)

ขั้นตอนที่ 2 การแปลงค่าข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการเกิดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเดียวกัน (Characterization) เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลสารมาเปรียบเทียบค่าความสามารถกับสารอ้างอิงพื้นฐาน ซึ่งได้มาจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสารแต่ละตัว ที่จะทำให้เกิดผลกระทบทั้ง 14 ประเภท โดยคำนวณด้วยสมการ

Characterization = Characterization factor x kg emission

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบ (Damage Assessment) เป็นขั้นตอนในการแปรค่าผลกระทบขั้นกลาง (Mid-point) เป็นผลกระทบขั้นปลาย (End-point) หรือเป็นการแปลงค่าผลกระทบจากแต่ละประเภทให้เข้ากลุ่มผลกระทบทั้ง 4 ประเภทสามารถคำนวณได้จากสมการ

Damage Assessment = Damage Factor x Characterization

ซึ่งหน่วยของ Damage assessment จะแตกต่างกันไปตามกลุ่มของผลกระทบดังนี้

ผลกระทบต่อสุขอนามัยของมนุษย์ (Human Health) หน่วยคือ DALY (Disability Adjusted Life Year) เป็นหน่วยบ่งชี้การเสียสุขภาพในหน่วย 1 ปี คือมนุษย์จะมีชีวิตอยู่ลดลงกี่ปี

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) หน่วยคือ $\mathrm{PDF} \times \mathrm{m}^2 \times \mathrm{yr}$ (Potentially of disappeared fraction) เป็นหน่วยที่แสดงถึงสัดส่วนของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายลดลงใน 1 ปีในพื้นที่ 1 ตารางเมตร

ผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) หน่วยคือ $\mathrm{kg_{eq}Co_2}$ คือปริมาณของผลกระทบของภาวะที่ภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ค่าของผลกระทบนี้จะนำผลโดยตรงจาก Mid-point มาใช้โดยตรง

ผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) หน่วยคือ MJ เป็นปริมาณของพลังงานส่วนที่ใช้ในการสกัดสินแร่ หรือเชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 4 การเปรียบเทียบด้วยค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Normalization) หน่วยคือ Pt (Per people per year) เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ ต่ออายุการใช้งาน นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบกับสัดส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นต่อคนต่อปี ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการหาความสำคัญของผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมในภาพรวม ดังสมการ

$$\text{Normalization} = \frac{\text{Damage assessment}}{\text{Normalization value}}$$

ขั้นตอนที่ 5 การให้น้ำหนัก (Weighting) เป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นและก่อให้เกิดข้อโต้แย้งมากที่สุด เพราะการให้น้ำหนัก (Weighting) มีการให้ค่าที่หลากหลายขึ้นอยู่กับบุคคลและองค์กร ที่จะให้น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มผลกระทบทั้ง 4 ประเภทว่าจะให้น้ำหนักผลกระทบใดมากน้อยกว่ากันซึ่งคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

Weighting = Weight factor x Normalization

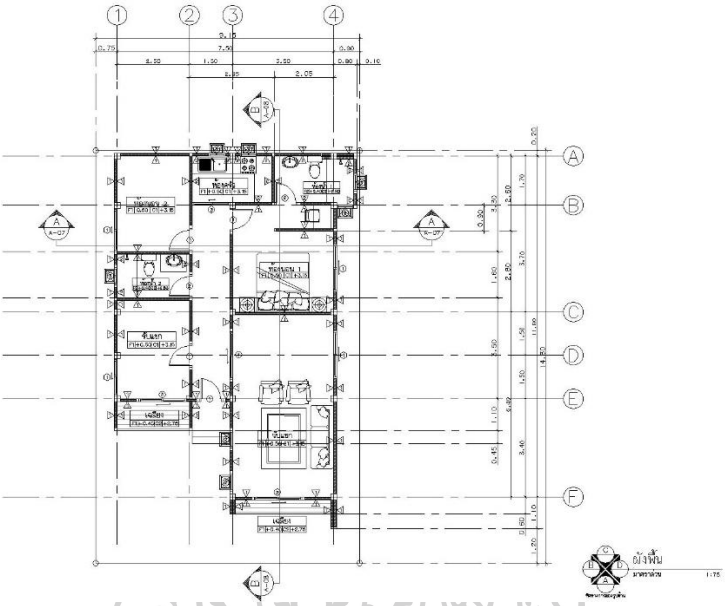
ในงานวิจัยนี้ไม่ใช้การให้น้ำหนัก (Weighting) และการเปรียบเทียบด้วยค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Normalization) ในการประเมิน เพราะในประเทศไทยยังไม่มีเกณฑ์ที่แน่นอน

แบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ

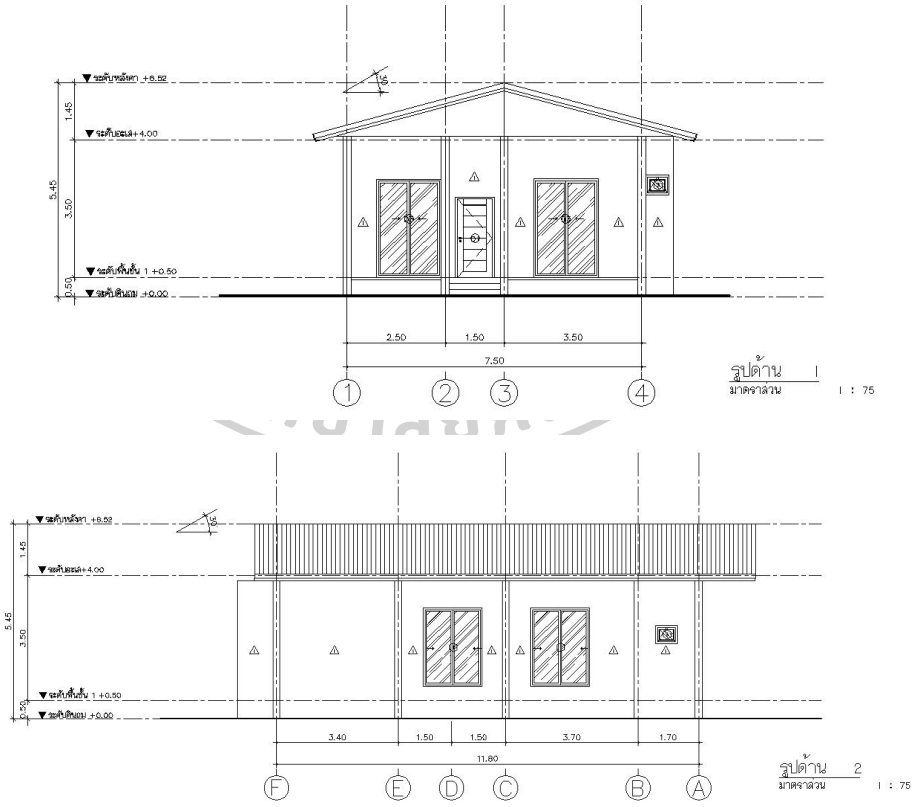
ประเภทของอาคารพักอาศัยตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 พ.ศ.2543 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 ดังนี้

1) อาคารที่อยู่อาศัย คืออาคารบุคคลใช้อยู่อาศัยได้ทั้งกลางวันและกลางคืน ไม่ว่าจะถาวรหรือชั่วคราว เช่นบ้านเดี่ยว
2) ห้องแถว คืออาคารที่ก่อสร้างต่อเนื่องเป็นแถวยาวตั้งแต่ 2 คูหาขึ้นไปใช้ผนังแบ่งอาคารเป็นคูหา
3) บ้านแถว ห้องแถว หรือตึกแถว คืออาคารที่ใช้อยู่อาศัย ความสูงไม่เกิน 3 ชั้น มีที่ว่างด้านหน้าและด้านหลังระหว่างรั้ว หรือแนวเขตที่ดินแต่ละคูหา
4) บ้านแฝด คืออาคารที่ใช้อยู่อาศัยที่ก่อสร้างติดกัน 2 หลัง ใช้ผนังแบ่งอาคารเป็นหลัง มีที่ว่าด้านหน้า ด้านหลัง ด้านข้างและแต่ละหลังมีทางเข้าออกแยกจากกันเป็นสัดส่วน
5) อาคารอยู่อาศัยรวม คืออาคารหรือส่วนหนึ่งของอาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยสำหรับหลายครอบครัว โดยพื้นที่ของแต่ละครอบครัวแยกออกจากกัน

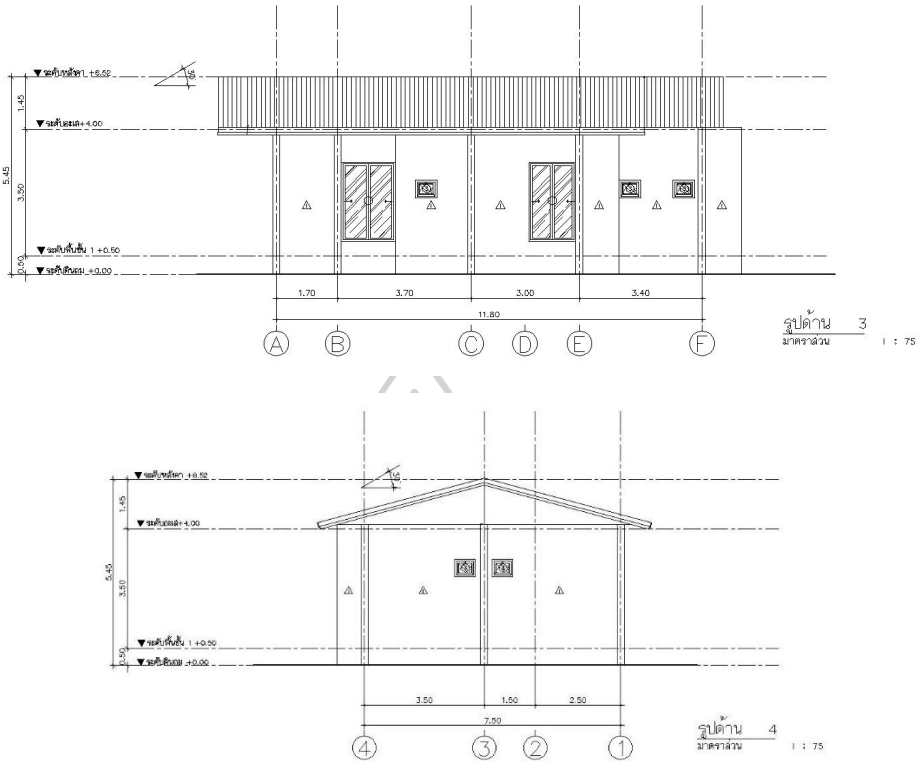
จากสำนักงานสถิติแห่งชาติพบว่าประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยอยู่อาศัยในประเภทอาคารที่อยู่อาศัย อย่างบ้านเดี่ยวมากที่สุด จึงได้เลือกที่พักอาศัยประเภทนี้ใช้ในการทดลอง โดยรายละเอียดของบ้านที่ใช้ในการทดลองเป็นดังนี้



ภาพที่ 78 แปลนแบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 79 รูปด้าน1และ3ของแบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 80 รูปด้าน 2 และ 4 ของแบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ

ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวดังนี้ งานวิจัยของ Nalanie Mithraratne และ Brenda Vale จาก School of Architecture,The University of Auckland ได้ทำการศึกษาเรื่อง Life cycle analysis model for New Zealand Houses เป็นการศึกษาวัฏจักรชีวิตของบ้านพักอาศัยตัวอย่างที่ออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศนิวซีแลนด์ บ้านตัวอย่างมีขนาด 94 ตารางเมตร และใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเปรียบเทียบพลังงานสะสมรวม (Energy embodies) ของวัสดุของบ้านตัวอย่างทั้งสามหลัง ได้แก่ บ้านคอนกรีต บ้านไม้ และบ้านโครงสร้างเหล็กบุฉนวนกันความร้อน ในงานศึกษานี้ต้องการศึกษาการใช้พลังงานในการดำเนินการก่อสร้างอาคาร และศึกษาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยใช้ ALF 3.0เป็นเครื่องมือในการทำการศึกษา ซึ่ง ALF พัฒนาโดย Building research Association of New Zealand จากผลการศึกษาพบว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยหาพลังงานสะสมรวม 100 ปี โดยเปรียบเทียบรูปแบบบ้านทั้งสามแบบได้แก่ บ้านไม้ Light wood frame บ้านคอนกรีต และบ้านเหล็กบุฉนวนกันความ

ร้อนได้พลังงานสะสมรวม คือ 4,425 $\mathbf{MJ/m^2}$ 4,764 $\mathbf{MJ/m^2}$ และ 5,041 $\mathbf{MJ/m^2}$ ตามลำดับ โดยสรุปได้ว่า บ้านจากเหล็กบุฉนวนกันความร้อนมีพลังงานสะสมรวมมากที่สุด รองลงมา คือบ้านจากคอนกรีต และบ้านไม้ตามลำดับ เมื่อศึกษาพลังงานตลอดชีวิตกลับพบว่าบ้านเหล็กบุฉนวนกันความร้อนมีพลังงานสะสมน้อยที่สุด ในขณะที่ไม้มีพลังงานสะสมมากที่สุด คล้ายกับงานของ M.Asif , T.Muneer , R.Kelley ที่ได้ทำการศึกษาบ้านใน Scotland ขนาด 3 ห้องนอน โดยประเมิน LCA ของวัสดุก่อสร้าง 5 ชนิด คือ ไม้ อะลูมิเนียม กระจก คอนกรีต และกระเบื้องเซรามิก โดยพิจารณาจากพลังงานสะสมรวม (Embodied energy) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพลังงานสะสมรวมของบ้านหลังนี้จากการประเมินมีค่าเท่ากับ 227.4 GJ ซึ่งพบว่าพลังงานสะสมรวมจากวัสดุ 3 อย่างหลักๆ คือ คอนกรีต ไม้ และกระเบื้องเซรามิก พลังงานสะสมรวมจากเฉพาะคอนกรีตมีมากถึงร้อยละ 65 (Nalanie Mithraratne and Brenda Vale, 2004)

ในประเทศไทยได้มีการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้เมื่อปี พ.ศ. 2540 จึงทำให้เกิดงานวิจัยตามมา ตัวอย่างงานวิจัย ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ได้ทำโครงการวิจัยเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างอาคารโครงสร้างเหล็กและอาคารโครงสร้างคอนกรีตในไทย พบว่าในประเทศไทยอาคารไม้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด แต่เนื่องจากราคาของไม้ที่ค่อนข้างสูงจึงไม่เป็นที่นิยม ผู้วิจัยจึงทำการประเมินอาคารเหล็ก และอาคารคอนกรีตที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่การผลิตวัสดุก่อสร้าง การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร การปรับปรุงอาคาร จนถึงการทำลายอาคาร ขอบเขตงานวิจัยในด้านพื้นที่คือใช้อาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ที่มีอายุการใช้งาน 50 ปี พื้นที่ใช้สอย 200 ตารางเมตร ในการทดสอบ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อาคารคอนกรีตส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าอาคารเหล็กเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากอาคารคอนกรีตมีการใช้ปริมาณของปูน หิน ทราย ในกระบวนการก่อสร้างที่มากกว่าอาคารเหล็กคิดเป็นร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการใช้อาคารเป็นขั้นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และยังให้ข้อเสนอแนะว่าควรประหยัดพลังงานในช่วงการใช้งาน (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2551)

อัจฉรียา ชัยยะสมุทร ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอลไดออกไซด์ ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย ทำการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้พลังงานของวัสดุผนังทึบตลอดวัฏจักรชีวิต โดยวัสดุ 5 ประเภท ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังคอนกรีตมวลเบส ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูน ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต และผนังระบบฉนวนกันความร้อนจากภายนอก ของบ้านพักอาศัย 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 98.64 ตารางเมตร โดยศึกษาช่วงอายุอาคารในระยะเวลา 1 ปี 15 ปี 30 ปี และ 50 ปี ทำการศึกษาโดยรวบรวมปริมาณของพลังงานสะสมรวมของวัสดุตลอดชีวิตของวัสดุ นอกจากนี้ขั้นการใช้อาคารทางผู้วิจัยกรอกค่าพลังงานมาจากการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ในการทดสอบ ซึ่งผล

การศึกษาพบว่าทั้งในด้านวัสดุก่อสร้าง หรือในส่วนขั้นตอนการก่อสร้างและการใช้งานอาคาร ผนังโฟมคอนกรีตบล็อก และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยกว่าผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน ทางผู้วิจัยจึงสรุปว่าการใช้ผนังระบบฉนวนกันความร้อน และผนังโฟมคอนกรีตบล็อก เหมาะสมกับการนำมาใช้มากที่สุดเพราะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อัจฉรียา ชัยยะสมุทร, 2552)

กมลทิพย์ อรัญศิริ ได้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการสร้างบ้านด้วยวิธีการก่ออิฐ ,วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Construction) และวิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน (Knock down) ทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการะบวนการสร้างบ้าน ระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้ SimaPro 7 ในการทำการทดสอบบ้านจำนวน 3 หลัง ที่มีพื้นที่การใช้สอยขนาด 155 ตารางเมตร , 150 ตารางเมตร และ 30 ตารางเมตร ซึ่งผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากวัสดุก่อสร้าง เรียงจากน้อยไปมากมีผลดังนี้ วิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน ตามด้วยวิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และการสร้างบ้านด้วยวิธีการก่ออิฐ ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากขั้นตอนการก่อสร้างพบว่าการก่อสร้างบ้านด้วยการก่ออิฐ มีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 5.08 $kgCO_2eq./m^2$ ตามด้วยวิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน มีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 4.19 $kgCO_2eq./m^2$ และวิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป มีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.65 $kgCO_2eq./m^2$ (กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553)

ชลิตา สุวรรณ ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัย: เปรียบเทียบระหว่างบ้านแบบทั่วไปกับบ้านบล็อกประสาน โดยบ้านที่ใช้ในการศึกษาเป็นบ้านพักอาศัยต้นแบบชั้นเดียว จำนวน 2 หลัง ที่มีลักษณะรูปทรง และขนาดพื้นที่ใช้สอยที่เหมือนกัน มีความแตกต่างในส่วนของวัสดุผนัง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านแบบทั่วไป และบ้านบล็อกประสานมีค่าเท่ากับ 13,152.02 และ 8,322.62 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือเท่ากับ 257.88 และ 155.28 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้าน 1 ตร.ม. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบล็อกประสานมีค่าน้อยกว่าบ้านแบบทั่วไป เนื่องจากบ้านบล็อกประสานเป็นระบบผนังรับน้ำหนัก ไม่มีโครงสร้างเสาและคาน ไม่มีการฉาบผนังทั้งภายในและภายนอก เมื่อพิจารณาตามรายวัสดุพบว่าปูนซีเมนต์และผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มของเหล็กเสริมคอนกรีต และเหล็กโครงสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีการใช้ในการก่อสร้างในปริมาณมาก รวมถึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างในปริมาณสูง (ชลิตา สุวรรณ, 2563)

ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล ทำงานวิจัยเรื่องการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ ขอบเขตงานวิจัยในด้านพื้นที่เป็นบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ และขอบเขตด้านเนื้อหาเป็นการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้วัสดุ โดยไม่พิจารณากระบวนการขนส่ง พบว่าการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารมีผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคาร ซึ่งเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น มีผลให้การใช้พลังงานในการทำความเย็นลดลง โดยสามารถสรุปได้ คือ ค่าก่อสร้างโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.73 สามารถลดค่าไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นได้เฉลี่ยร้อยละ 28.86 และมีค่าความคุ้มทุนในการก่อสร้างโดยเฉลี่ย 4 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.3 เท่า โดยปริมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 43.93 ซึ่งสามารถเสนอเป็นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 20 - 25 ภายในปี 2573 ตามที่รัฐบาลไทยได้เสนอตัวเลขในการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 21 (ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2560)

ณัฐกานต์ สมตัว ทำงานวิจัยเรื่องการประเมินสรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของอาคารที่พักอาศัย โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านทรงไทย 4 ภาค โดยใช้การพิจารณาพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร และพิจารณาการใช้งานอาคาร จากการใช้ข้อมูลไฟฟ้านครหลวง และใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 และBEES 4.0 ผลการศึกษาพบว่าบ้านภาคกลางเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาเป็นบ้านภาคเหนือ อีสาน และภาคใต้ ด้วยคะแนน 666.85E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$, 7.24E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$, 8.44E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$ และ 8.70E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$ตามลำดับ และเมื่อประเมินจาก BEES 4.0 พบว่าภาคกลางเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาเป็นบ้านภาคใต้ ภาคอีสาน และภาคเหนือ ตามลำดับ ด้วยคะแนน 1.34E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$ 1.46E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$ 1.52E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$และ1.59E+01 $\mathbf{Pts/m^2}$ตามลำดับ ข้อแตกต่างของสองโปแกรม คือ Eco-Indicator99 จะแยกกลุ่มผู้ได้รับผลกระทบรวมเป็นคะแนนเชิงเดี่ยว BEES 4.0 รวมผลกระทบจากกลุ่มผลกระทบ 12 กลุ่มเป็นคะแนนเชิงเดี่ยว (ณัฐกานต์ สมตัว, 2553) ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยของมนตรี บุญนาค ทำงานวิจัยเรื่องการออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจบ้านพักอาศัยในประเทศไทย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า บ้านที่สร้างจากคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 170 ตารางเมตร ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาจากการปล่อยก๊าซที่มีผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน เท่ากับ 233,370 $kgCO_{2eq}$ ซึ่งมาจากขั้นตอนการใช้งานมากที่สุดถึงร้อยละ 82 และในขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากถึงร้อยละ 50 เมื่อมีการปรับปรุงบ้านพักอาศัยโดยการใช้บล็อกประสาน พบว่าลดการปลดปล่อยก๊าซที่มีผลต่อสภาวะโลกร้อน เท่ากับ 9,889.92 $kgCO_{2eq}$ สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซที่มีผลต่อสภาวะโลกร้อน คิดเป็นร้อยละ 4.24 ของการปลดปล่อยก๊าซทั้งหมด จากการ

ปรับปรุงโครงสร้างอาคารในขั้นตอนการก่อสร้าง และการใช้วัสดุทดแทนเพื่อลดพลังงาน ในขั้นตอนการใช้งาน พบว่า ลดการเกิดก๊าซที่มีผลต่อสภาวะโลกร้อนได้ถึง 44,863.37 $kgCO_{2eq}$ คิดเป็นร้อยละ 19.22 (มนตรี บุญนาค, 2540)

จากการทบทวนวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารที่ผ่านมาสามารถสรุปภาพรวมได้ดังนี้

ตารางที่ 14 : ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	เรื่อง	ขอบเขตของงานวิจัย	กระบวนการ	เครื่องมือ	ผลการศึกษา
กมลทิพย์ อรัญศิริ	การศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากวัสดุ และกระบวนการก่อสร้างบ้านด้วยวิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป(Precast Construction) และวิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน(Knock down)	บ้านพักอาศัยที่มีพื้นที่ใช้สอยขนาด 155 ตารางเมตร, 150 ตารางเมตรและ 30 ตารางเมตรตามลำดับ		SimaPro 7.0	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากวัสดุก่อสร้างบ้านจากวิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน(Knock down) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด ตามด้วยคอนกรีตสำเร็จ และบ้านอิฐ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้าง พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน บ้านคอนกรีตสำเร็จ และบ้านอิฐ
ชนิกานต์ ยิ้มประยูร	โครงการวิจัยเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างอาคารโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย	บ้านพักอาศัย	Eco-indicator 99	SimaPro 7.0	อาคารโครงสร้างเหล็กส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอาคารโรงสร้างคอนกรีตเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 14 : ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ขอบเขตของงานวิจัย	กระบวนการ	เครื่องมือ	ผลการศึกษา
ชลิตา สุวรรณ	การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัย:เปรียบเทียบระหว่างบ้านแบบทั่วไปกับบ้านบล็อกประสาน	บ้านพักอาศัยชั้นเดียว จำนวน 2 หลัง ที่มีลักษณะรูปทรง และขนาดพื้นที่ใช้สอยที่เหมือนกัน มีความแตกต่างในส่วนของวัสดุผนัง		SimaPro	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบล็อกประสานมีค่าน้อยกว่าบ้านแบบทั่วไป ถ้าพิจารณาตามรายวัสดุพบว่าปูนซีเมนต์และผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มของเหล็กเสริมคอนกรีต และเหล็กโครงสร้าง
อัจฉรียา ชัยยะสมุทร	การประเมินวัฏจักรชีวิตและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย	วัสดุผนังทึบ 5 ประเภทของบ้านพักอาศัย 2 ชั้นพื้นที่ใช้สอย 98.64 ตารางเมตร		SimaPro	ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดผนังโฟมคอนกรีตบล็อก และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด

ตารางที่ 14 : ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ขอบเขตของงานวิจัย	กระบวนการ	เครื่องมือ	ผลการศึกษา
Nalanie Mithraratne และ Brenda Vale	Life cycle analysis model for New Zealand Houses	ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตบ้านพักอาศัยขนาด 94 ตารางเมตร พลังงานสะสม 100 ปี		ALF 3.0	บ้านจากเหล็กบุฉนวนกันความร้อนมีพลังงานสะสมรวมมากที่สุด รองมาคือบ้านจากคอนกรีต และบ้านไม้ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

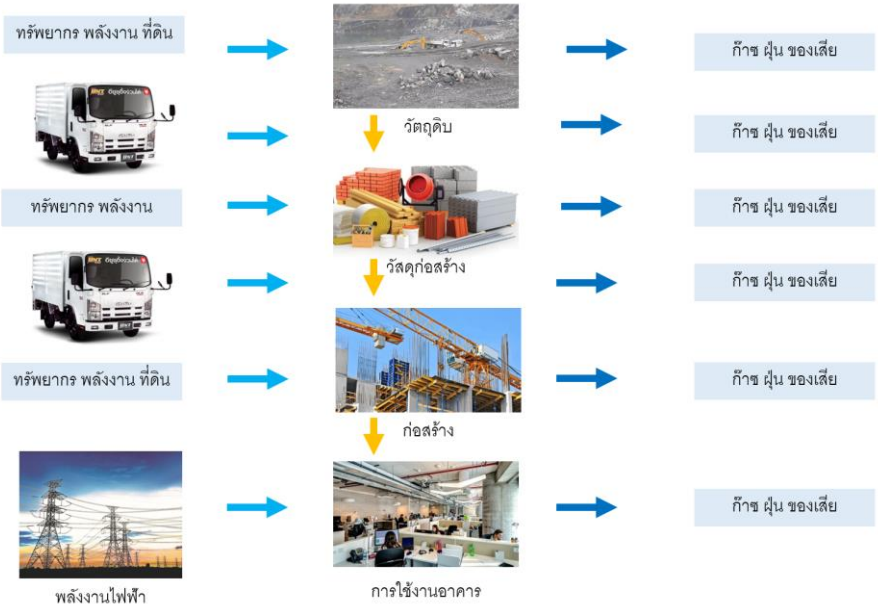
การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของบ้านพักอาศัย โดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis: LCI) การประเมินผลกระทบ (Life cycle impact assessment: LCIA) และการแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

การศึกษาทำโดยการสำรวจการก่อสร้างบ้าน และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SimaPro ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และใช้การประมวลผลโดยวิธีการ IPCC GWP 100a ในการหาปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และ Impact 2002+ หาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของการขนส่งวัสดุ และวิธีการก่อสร้างบ้านพักอาศัย

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

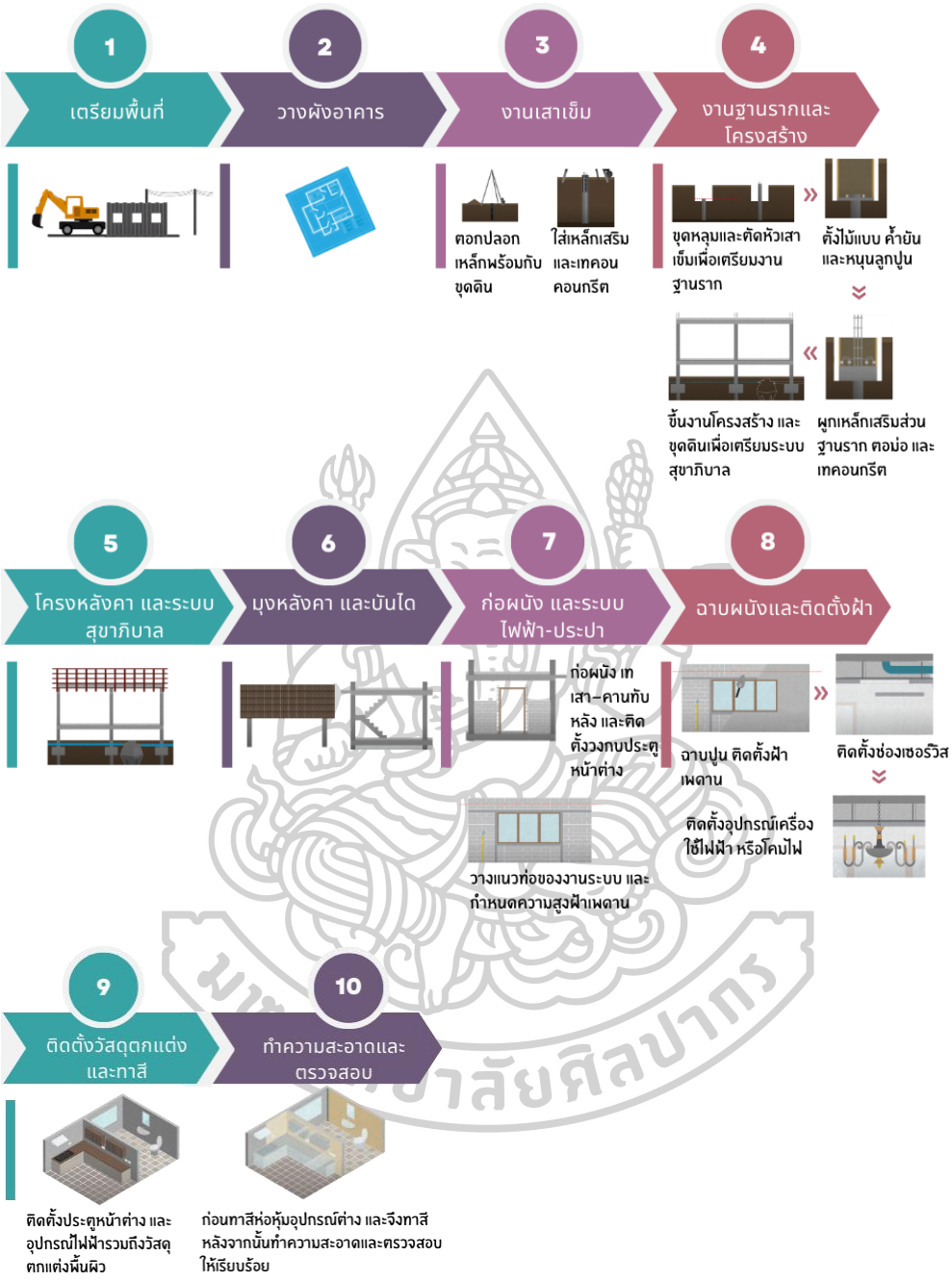
การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)

งานวิจัยนี้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการการขนส่งและวิธีการก่อสร้างอาคาร



ภาพที่ 81 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร

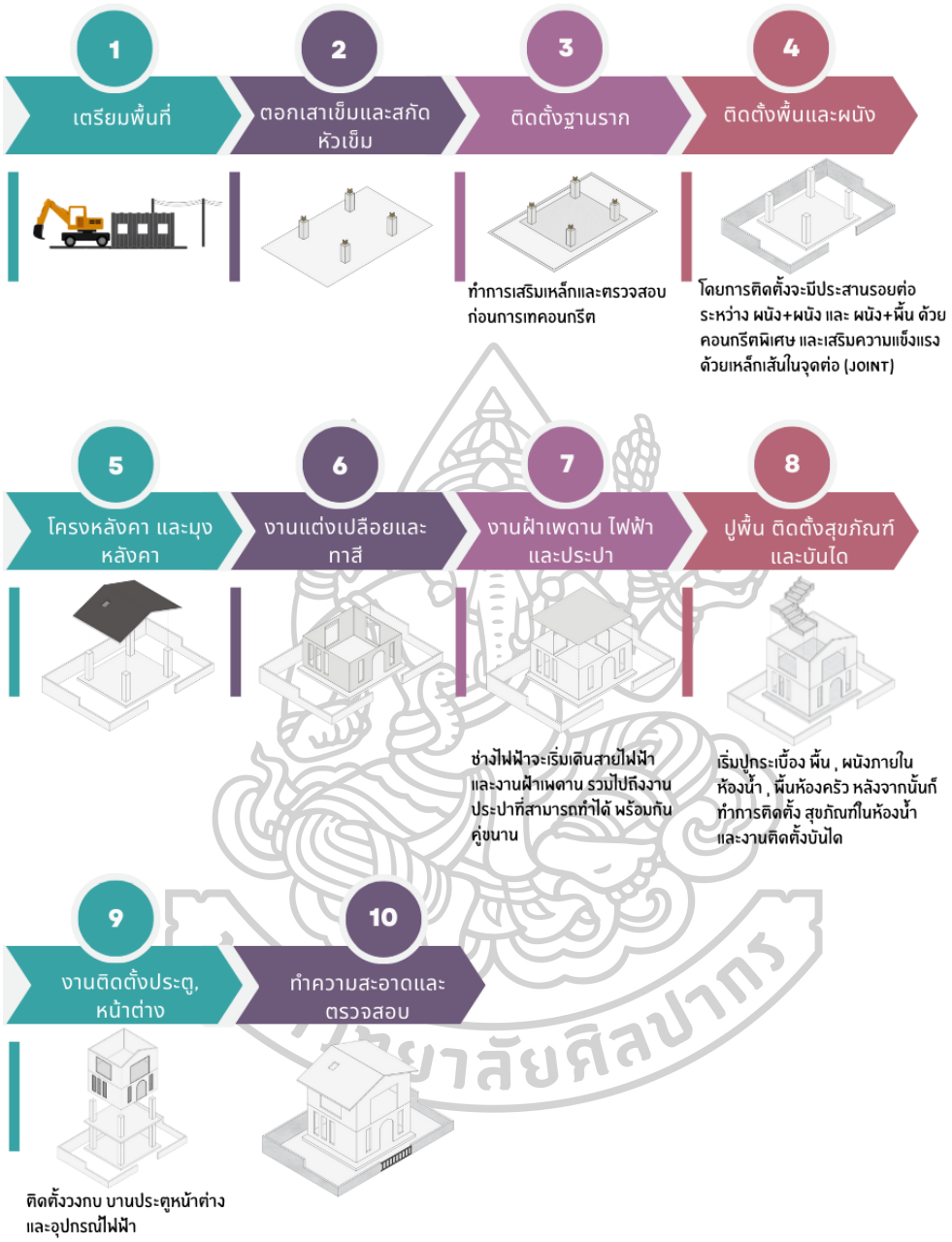
วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)



ภาพที่ 82 สรุปขั้นตอนการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (SCG Experirnce, 2562)

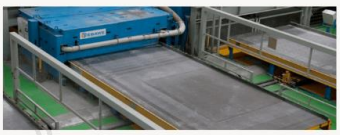
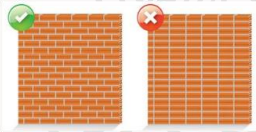
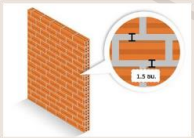
วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)



ภาพที่ 83 สรุปขั้นตอนการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก (พฤกษา เรียลเอสเตท, 2565)

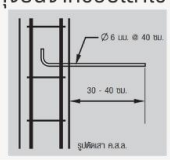
เปรียบเทียบขั้นตอนการก่อสร้างผนังแบบก่ออิฐฉาบปูนกับขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป

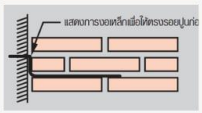
ขั้นตอนการก่อผนังก่ออิฐฉาบปูน		ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป
รดน้ำ หรือแช่อิฐในน้ำ ก่อนก่อจะต้องนำอิฐแช่น้ำหรือดูดน้ำ แล้วนำไปผึ่งให้หมาดๆป้องกันการอิฐดูดน้ำจากปูน 	1	**ทำความสะอาด เคลือบน้ำมัน** ทำความสะอาดเศษฝุ่นหรือเศษวัสดุ และพ่นเคลือบน้ำมันเพื่อป้องกันชิ้นงานติดกับ Pallet 
การขึงเอ็นทั้งแนวนอนและแนวดิ่ง เพื่อแสดงแนวผนังที่จะก่อ 	2	**กำหนดตำแหน่งอุปกรณ์** กำหนดตำแหน่งสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น วงกบประตู วงกบหน้าต่าง ปลั๊กไฟ ท่อร้อยสายไฟ ท่อน้ำ เป็นต้น
เริ่มก่อและเรียงอิฐ เริ่มก่อจากริมทั้งสองข้างของแนวก่อ ทำเป็นขั้นบันได 3-5 ชั้น และเรียงอิฐให้มีการสับหว่างกันในแต่ละชั้นตามแนวที่ขึงเอ็น 	3	**วางแบบกั้นข้าง** เพื่อเป็นแนวในการเทคอนกรีต
ผสมปูนสำหรับการก่อ ต้องก่อให้มีความหนาประมาณ 1.5-2.0 ซม. 	4	**วางโครงเหล็กเสริมความแข็งแรง** วางตะแกรงเหล็กและวัสดุฝังทั้งหมด ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้
การตรวจสอบแนวและระดับในขณะก่อ ก่ออิฐต้องทำการจับดิ่ง ฉาก และความหนา โดยจับไครั้งเมื่อก่อครบ 3-5 ชั้น	5	**เทคอนกรีต** กระสวยบรรจุคอนกรีตรับคอนกรีตผสมเสร็จมาเทลงในเครื่อง และเครื่องเทคอนกรีตลงบนโต๊ะ Pallet

ขั้นตอนการก่อผนังก่ออิฐฉาบปูน

6 การเสียบเหล็กกับผนังก่ออิฐ

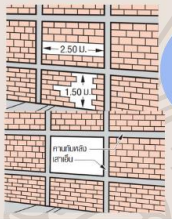
แนวขอบผนังที่ติดกับเสา จะต้องเสียบเหล็กหนวดกุ้งยื่นจากขอบเสาเข้ามาเสียบในผนังก่ออิฐ





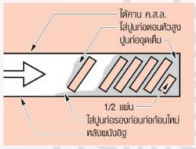
7 การทำเสาเอ็นและคานทับหลัง

การก่ออิฐแบบ 1/2 แผ่น ควรมีเสาเอ็น 1 ต้นที่กว้างอย่างน้อยทุก 2.5 เมตร ถ้ามีความสูงเกินกว่า 1.5 เมตร ควรมีคานทับหลังด้วย โดยขนาดของเสาเอ็นหรือคานทับหลังจะต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 15 ซม. หนาเท่ากับความหนาของผนังที่ก่อ



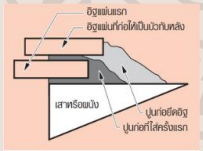
8 การก่อใต้ท้องคาน

ผนังที่ก่อชนท้องคาน จะต้องเว้นช่องไว้ 10 ซม. และทิ้งไว้จนปูนก่อแข็งตัว



9 การก่ออิฐยื่นเป็นบัวใต้กรอบหน้าต่าง

การก่ออิฐแผ่นแรกจะใส่ปูนก่อให้มากกว่าปกติเล็กน้อย



10 การบ่มชิ้นผนังให้เพียงพอ

หลังจากก่อผนังอิฐเสร็จแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง หรือเมื่อปูนก่อเริ่มแห้งแล้วควรทำการบ่ม โดยการรดน้ำให้ผนังชุ่มชื้นอยู่อย่างสม่ำเสมออย่างน้อย 7 วัน

ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป

6 ปาดหน้าคอนกรีต

เพื่อปรับความหนาของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปให้เท่ากันตลอดทั้งแผ่น

7 ขัดผิวหน้าคอนกรีต

ขัดผิวหน้าให้เรียบ โดยใช้เครื่องขัดหน้า (Helicopter)

8 บ่มคอนกรีต

ลำเลียง Pallet ชิ้นงานเข้าบ่มคอนกรีต โดยใช้เวลาบ่มคอนกรีตประมาณ 8-10 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานได้กำลังอัดตามมาตรฐาน

9 ถอดแบบ

ทำการถอดเหล็กแบบข้างออก รวมทั้งกรอบช่องเปิด และอุปกรณ์ของฝังต่างๆ

10 ยกชิ้นงานเก็บ

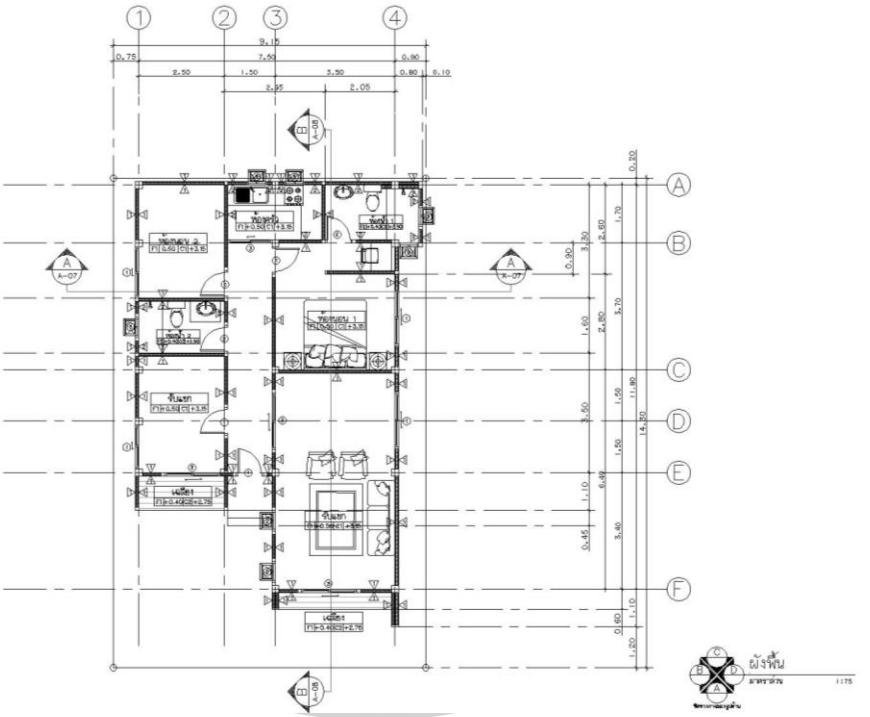
ทำการยกโต๊ะหล่อ (Pallet) จากแนวราบเป็นแนวตั้ง 85 องศา เพื่อถอดชิ้นงานออกจากโต๊ะหล่อฯ ในแนวดิ่ง และบรรจุลงในกล่องเก็บชิ้นงาน (Rack) เพื่อทำการจัดส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างต่อไป

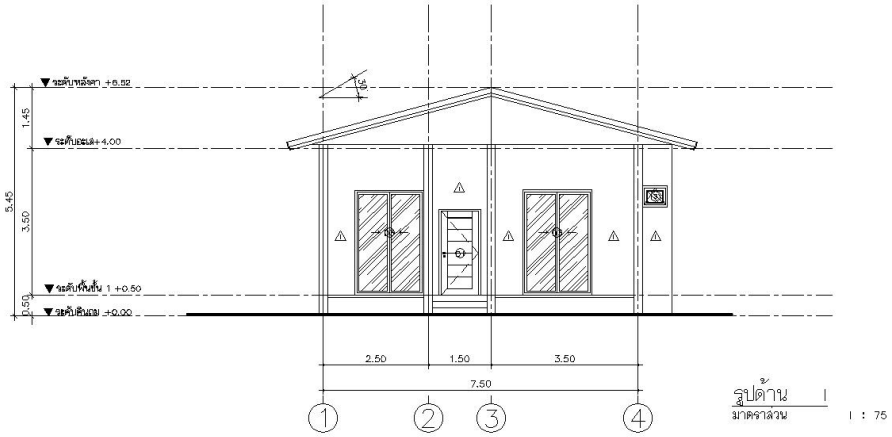
ภาพที่ 84 สรุปขั้นตอนการก่อสร้างผนัง

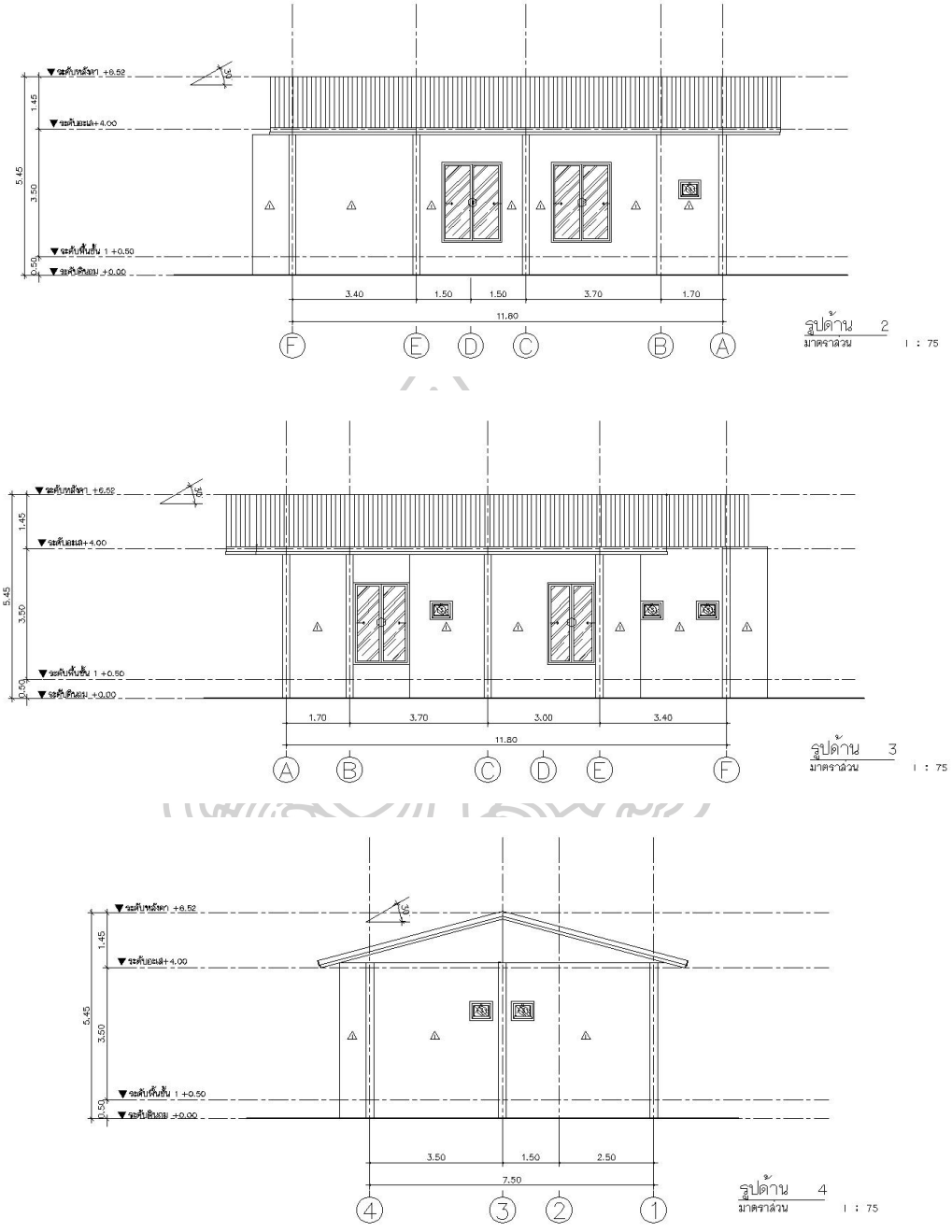
ที่มา : (ประณีต กุลประสูติ, 2535) และ (พฤกษา เรียลเอสเตท, 2565)

1. กำหนดเป้าหมายที่จะศึกษา

งานวิจัยนี้เลือกบ้านพักอาศัย ตั้งอยู่พื้นที่ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งลักษณะอาคารเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นระบบเสาและคาน หน้าต่างวงกบเหล็ก ผนังก่อคอนกรีตก่ออิฐฉาบปูน พื้นปูกระเบื้องเซรามิก ฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ด หลังคาแผ่นเหล็กรีดลอนเคลือบอะลูซิงค์ โดยผู้วิจัยต้องการศึกษาวิธีการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย จึงเลือกเป็นวิธีการก่อสร้างสองรูปแบบที่นิยมใช้ภายในไทย คือวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ที่ใช้ในการก่อสร้างในปัจจุบัน และวิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast System)ที่จำลองขึ้นมา โดยบ้านเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากโรงงาน เป็นระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก ไม่มีการฉาบผนังทั้งภายนอกและภายใน







ภาพที่ 85 แบบบ้านพักอาศัยที่ใช้ในการทดสอบ

2. กำหนดหน่วยหน้าที่ (Unit)

งานวิจัยนี้ได้กำหนดหน่วยของอาคารเป็น “อาคารบ้านพักอาศัย มีพื้นที่ใช้สอย 86 ตารางเมตร ตั้งอยู่ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่”

การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis : LCI เป็นกระบวนการรวบรวมสารข้อมูลขาเข้า (inputs) และสารขาออก (outputs) ของ
วัตถุดิบ พลังงาน การปลดปล่อยของเสียและมลภาวะต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

1. **ช่วงการผลิตวัตถุดิบและปริมาณวัสดุก่อสร้าง เป็นข้อมูลจากบัญชีแสดงรายการปริมาณวัสดุ (Bill of Quantity ; BOQ) ของบ้านต้นแบบ**

ตารางที่ 15 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างบ้านพักอาศัยตัวอย่างในการทดสอบของวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย
โครงสร้างอาคาร			
1	คอนกรีตโครงสร้าง 240 ksc (ฐานราก,คาน,เสา,พื้นเทในที่)	30.38	ลบ.ม.
2	คอนกรีตโครงสร้าง 180 ksc (Topping)	5.37	ลบ.ม.
3	เหล็ก RB 6 mm.	127.00	เส้น
4	เหล็ก RB 9 mm.	58.00	เส้น
5	เหล็ก DB 6 mm.	162.00	เส้น
6	Wire Mesh DB 4 mm. @ 0.20 m.	98.00	ตร.ม.
7	ไม้แบบและค้ำยัน	205.70	ตร.ม.
8	ตะปู	51.43	กก.
9	ลวด	50.25	กก.
งานโครงสร้างเหล็กหลังคา			
1	Plate เหล็ก 0.20x0.20x0.05 m. พร้อมเซ็คระดับปิดปูนหัวเสา	1.00	ท่อน
2	อะเส 2C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	26.00	ท่อน
3	ดั้ง 2C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	4.00	ท่อน
4	อกไก่ 2C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	8.00	ท่อน
5	แปสำเร็จรูป หนา 0.7 mm.	51.00	ท่อน
6	จันทัน C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	14.00	ท่อน
งานมุงหลังคา			
1	หลังคาแผ่นเหล็กรีดลอนเคลือบอะลูซิงค์ หนา 0.4 มม.	79.40	ตร.ม.

ตารางที่ 15 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างบ้านพักอาศัยตัวอย่างในการทดสอบของวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) (ต่อ)

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย
งานผนัง			
1	ผนังก่ออิฐมอญ ครึ่งแผ่น	185.95	ตร.ม.
2	ฉาบปูนเรียบ	334.43	ตร.ม.
3	เสาเอ็น-คานทับหลัง คสล.	136.07	เมตร
4	กรุกระเบื้องสูงชนฝ้าเพดานห้องน้ำ	53.04	ตร.ม.
งานพื้น			
1	พื้นปูกระเบื้องกระเบื้องแกรนิตโต้ ขนาด 0.60 x 0.60 ม. สีครีม	63.98	ตร.ม.
2	พื้นปูกระเบื้องเคลือบ ขนาด16" x 16" ในห้องน้ำ	7.35	ตร.ม.
3	พื้นซีเมนต์ขัดหยาบ ทางเดินหรือฟุตบาท (ทางเท้า)	13.16	ตร.ม.
งานฝ้าเพดาน			
1	ยิปซัมบอร์ด 9มม. ฉาบเรียบ	63.98	ตร.ม.
2	ยิปซัมบอร์ด 9มม. ฉาบเรียบ กันชื้น	7.346	ตร.ม.
3	โครงเหล็กชุบสังกะสี แบบ METAL STUD	304	ม.
งานประตูหน้าต่าง			
1	บานประตูไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.70x 2.00 ม.	2	บาน
2	บานประตูไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.80 x 2.00 ม.	2	บาน
3	วงกบไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.70 x 2.00 ม.	2	ชุด
4	วงกบไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.80 x 2.00 ม.	2	ชุด
5	ประตู - หน้าต่างอลูมิเนียม	39.831	ตร.ม.

ที่มา: จากตารางที่ แสดงถึงปริมาณวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย

จากตารางที่ 15 แสดงถึงปริมาณวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย จากข้างต้นไม่ได้รวมของสีและสุขภัณฑ์สุขาภิบาล เมื่อนำข้อมูลจากตารางดังกล่าวมาคิดเป็นหน่วยสำหรับกรอกข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 9.1.1 จะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 16 ตารางแสดงปริมาณวัสดุของวิธีการก่อสร้างแบบวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

ลำดับ	ประเภทวัสดุ	จำนวน	หน่วย
งานโครงสร้างอาคาร			
1.	คอนกรีตโครงสร้าง	37.470	ลบ.ม.
2.	วัสดุไม้	4.114	ลบ.ม.
3.	เหล็ก	2,172.960	กก.
4.	ตะปูและลวด	101.680	กก.
งานผนัง			
1.	ผนังก่ออิฐมอญ	9,892.5400	กก.
2.	ปูนฉาบ	8,386.7500	กก.
3.	คอนกรีตโครงสร้าง	1.3607	ลบ.ม.
4.	กระเบื้องเซรามิก	769.0800	กก.
งานหลังคา			
1.	เหล็ก	3,518.71	กก.
2.	หลังคาอะลูซิงค์	299.46	กก.
งานพื้น			
1.	กระเบื้องปูพื้นเซรามิก	1,919.400	กก.
2.	กระเบื้องปูห้องน้ำเซรามิก	106.575	กก.
3.	ซีเมนขัดหยาบ	329.000	กก.
งานฝ้าเพดาน			
1.	ยิปซัมบอร์ดพร้อมเหล็กโครงเคร่าชุบสังกะสี	873.8	กก.
งานประตูและหน้าต่าง			
1.	ประตูไม้ และวงกบไม้	7.14	ตร.ม.
2.	ประตู และหน้าต่างอะลูมิเนียม	39.83	ตร.ม.

ตารางที่ 17 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างบ้านพักอาศัยตัวอย่างในการทดสอบของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย
โครงสร้างอาคาร			
1	คอนกรีตโครงสร้าง 240 ksc (ฐานราก,คาน เทในที่)	24.58	ลบ.ม.
2	แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จ	141.355	ตร.ม.
3	เหล็ก RB 6 mm.	127.00	เส้น
4	เหล็ก RB 9 mm.	12.00	เส้น
5	เหล็ก DB 12 mm.	70.00	เส้น
6	เหล็ก DB 16 mm.	74.00	เส้น
7	Wire Mesh DB 4 mm. @ 0.20 m.	8.125	ตร.ม.
8	ไม้แบบและค้ำยัน	20.5	ตร.ม.
9	ตะปู และลวด	51.43	กก.
10	ปูนปิดรอย	150	กก.
11	เหล็กฉาก 75x75x6 mm.	5	ชิ้น
12	Plate เหล็ก 100x100x6 mm.	30	แผ่น
งานโครงสร้างเหล็กหลังคา			
1	Plate เหล็ก 0.20x0.20x0.05 m. พร้อมเข็คระดับปิดปูนหัวเสา	1.00	ท่อน
2	อะเส 2C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	26.00	ท่อน
3	ดั้ง 2C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	4.00	ท่อน
4	อกไก่ 2C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	8.00	ท่อน
5	แปสำเร็จรูป หนา 0.7 mm.	51.00	ท่อน
6	จันทัน C ขนาด 100x50x20x2.3 mm.	14.00	ท่อน
งานมุงหลังคา			
1	หลังคาแผ่นเหล็กรีดลอนเคลือบอะลูซิงค์ หนา 0.4 มม.	79.40	ตร.ม.

ตารางที่ 17 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณวัสดุก่อสร้างบ้านพักอาศัยตัวอย่างในการทดสอบของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) (ต่อ)

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย
งานผนัง			
1	แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จ	88.9	ตร.ม.
2	ปูนปิดรอย	100	กก.
3	เหล็ก RB 6 mm.	4.00	เส้น
4	เหล็ก RB 9 mm.	2.00	เส้น
5	เหล็ก DB 12 mm.	1.00	เส้น
6	เหล็กฉาก 75x75x6 mm.	1	ชิ้น
7	Plate เหล็ก 100x100x6 mm.	3	แผ่น
8	กรุกระเบื้องสูงชนฝ้าเพดานห้องน้ำ	53.04	ตร.ม.
งานพื้น			
1	พื้นปูกระเบื้องกระเบื้องแกรนิตโต้ ขนาด 0.60 x 0.60 ม. สีครีม	63.98	ตร.ม.
2	พื้นปูกระเบื้องเคลือบ ขนาด16" x 16" ในห้องน้ำ	7.35	ตร.ม.
3	พื้นซีเมนต์ขัดหยาบ ทางเดินหรือฟุตบาท (ทางเท้า)	13.16	ตร.ม.
งานฝ้าเพดาน			
1	ยิปซัมบอร์ด 9มม. ฉาบเรียบ	63.98	ตร.ม.
2	ยิปซัมบอร์ด 9มม. ฉาบเรียบ กันชื้น	7.346	ตร.ม.
3	โครงเหล็กชุบสังกะสี แบบ METAL STUD	304	ม.
งานประตูหน้าต่าง			
1	บานประตูไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.70x 2.00 ม.	2	บาน
2	บานประตูไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.80 x 2.00 ม.	2	บาน
3	วงกบไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.70 x 2.00 ม.	2	ชุด
4	วงกบไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.80 x 2.00 ม.	2	ชุด
5	ประตู - หน้าต่างอลูมิเนียม	39.831	ตร.ม.

ที่มา: จากตารางที่ แสดงถึงปริมาณวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย

จากตารางที่ 17 แสดงถึงปริมาณวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย จากข้างต้นไม่ได้รวมของสีและสุขภัณฑ์สุขาภิบาล เมื่อนำข้อมูลจากตารางดังกล่าวมาคิดเป็นหน่วยสำหรับกรอกข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 9.1.1 จะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 18 ตารางแสดงปริมาณวัสดุของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

ลำดับ	ประเภทวัสดุ	จำนวน	หน่วย
งานโครงสร้างอาคาร			
1.	คอนกรีตโครงสร้าง	24.5834	ลบ.ม.
2.	วัสดุไม้	0.4114	ลบ.ม.
3.	เหล็ก	4,851.5308	กก.
4.	Pre-cast	6,785.0400	กก.
5.	ปูนปิดรอย	100.0000	กก.
งานผนัง			
1.	Pre-cast	2,133.60	กก.
2.	ปูนปิดรอย	50.00	กก.
3.	กระเบื้องเซรามิก	769.08	กก.
4.	เหล็ก	312.54	กก.
งานหลังคา			
1.	เหล็ก	3,518.71	กก.
2.	หลังคาอะลูซิงค์	299.46	กก.
งานพื้น			
1.	กระเบื้องปูพื้นเซรามิก	1,919.400	กก.
2.	กระเบื้องปูห้องน้ำเซรามิก	106.575	กก.
3.	ซีเมนขัดหยาบ	329.000	กก.
งานฝ้าเพดาน			
1.	ยิปซัมบอร์ดพร้อมเหล็กโครงเคร่าชุบสังกะสี	873.8	กก.
งานประตูและหน้าต่าง			
1.	ประตูไม้ และวงกบไม้	7.14	ตร.ม.
2.	ประตู และหน้าต่างอะลูมิเนียม	39.83	ตร.ม.

2. การขนส่ง

จากกฎกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ.2524) ตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ.2522 แบ่งรถบรรทุกออกเป็น 9 ชนิด ดังนี้

ประเภทที่ 1 รถกระบะบรรทุก เป็นรถยนต์บรรทุก มีหลังคาหรือไม่มีก็ได้ นำมาใช้การขนส่งสินค้าขนาดเล็ก มีความคล่องตัวสูง

ประเภทที่ 2 รถตู้บรรทุก เป็นรถบรรทุกที่มีหลังคา และตู้ทึบเป็นพื้นที่ไว้บรรทุกสิ่งของ

ประเภทที่ 3 รถบรรทุกของเหลว เป็นรถยนต์บรรทุกที่มีไว้สำหรับการบรรทุกของเหลวโดยเฉพาะ

ประเภทที่ 4 รถบรรทุกวัสดุอันตราย เป็นรถยนต์บรรทุกที่มีไว้สำหรับการบรรทุกของเหลวเหมือนรถบรรทุกของเหลวแต่มีอัตรายกว่า เช่นน้ำมัน หรือแก๊ส

ประเภทที่ 5 รถบรรทุกเฉพาะกิจ เป็นรถบรรทุกที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะที่แตกต่างที่มีไว้ใช้บรรทุกสิ่งต่างๆแบบเฉพาะกิจและมีความพิเศษ เช่น รถบรรทุก เครื่องดื่ม รถผสมปูนซีเมนต์ รถขยะมูลฝอย รถราดยาง หรือ รถเครื่องทุ่นแรงต่างๆ

ประเภทที่ 6 รถพ่วง เป็นรถยนต์ที่ต้องสามารถการลาก มีส่วนหัวรถ และ ส่วนพ่วงท้าย คือ รถพ่วงที่มีล้อ ที่พ่วงกันด้วยอุปกรณ์ยึด

ประเภทที่ 7 รถกึ่งพ่วง เป็นรถยนต์คล้ายกับรถพ่วง ส่วนหัวเทรลเลอร์ และ ตัวรถพ่วงรับน้ำหนักร่วมกัน

ประเภทที่ 8 รถกึ่งพ่วงบรรทุกวัสดุยาว เป็นรถยนต์ที่สามารถขนส่งได้เยอะ และ ยาว ด้วยโครงเหล็กที่สามารถปรับระดับได้

ประเภทที่ 9 รถลากจูง เป็นรถยนต์ที่มีหน้าที่ในการลากจูง อย่างพวกรถกึ่งพ่วง

และจากกฎหมายกำหนดของรถบรรทุก กรมทางหลวง 2562 เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ถนนทางหลวงเสียหายจากน้ำหนักที่มากเกินขีดจำกัดของถนน กรมทางหลวงจึงต้องออกกฎหมายห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก หรือน้ำหนักลงเพลาเกินกว่าที่ได้กำหนด เพราะอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย ไม่ว่าจะเป็นทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน

แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

กลุ่มที่ 1 น้ำหนักบรรทุกยานพาหนะขนิดรถเดี่ยว (Single Unite) แบ่งออกเป็น

1) รถบรรทุก 4 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 9.5 ตัน หรือ 9,500 กิโลกรัม
2) รถบรรทุก 6 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 15 ตัน หรือ 15,000 กิโลกรัม
3) รถบรรทุก 10 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 25 ตัน หรือ 25,000 กิโลกรัม
4) รถบรรทุก 12 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 30 ตัน หรือ 30,000 กิโลกรัม

กลุ่มที่ 2 น้ำหนักบรรทุก ยานพาหนะชนิดกึ่งพ่วง แบ่งออกเป็น

1) รถกึ่งพ่วงบรรทุก 10 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 26 ตัน หรือ 26,000 กิโลกรัม

2) รถกึ่งพ่วงบรรทุก 14 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 35 ตัน หรือ 35,000 กิโลกรัม

3) รถกึ่งพ่วงบรรทุก 18 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 45 ตัน หรือ 45,000 กิโลกรัม

4) รถกึ่งพ่วงบรรทุก 22 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 50 ตัน หรือ 50,000 กิโลกรัม

กลุ่มที่ 3 น้ำหนักบรรทุก ยานพาหนะชนิดพ่วง

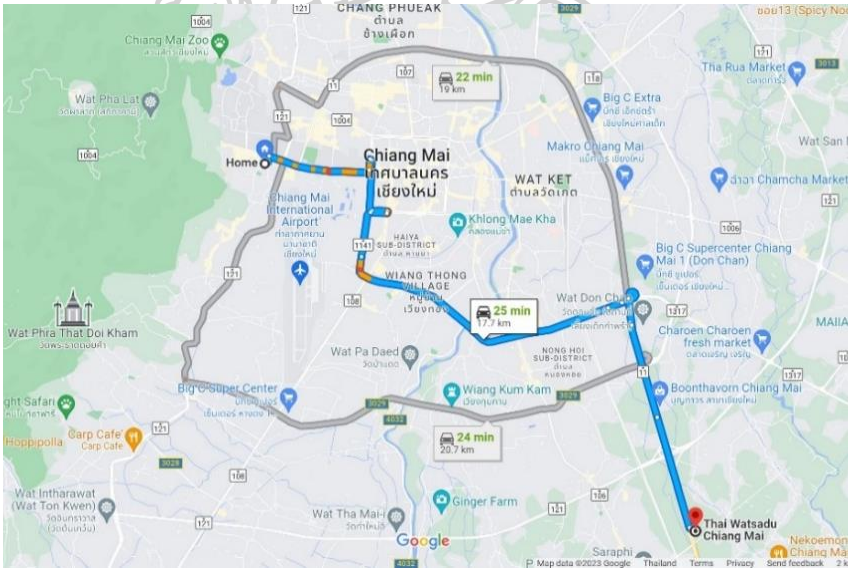
1) รถพ่วง 18 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 47 ตัน หรือ 47,000 กิโลกรัม

2) รถพ่วง 20 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 50.5 ตัน หรือ 50,500 กิโลกรัม

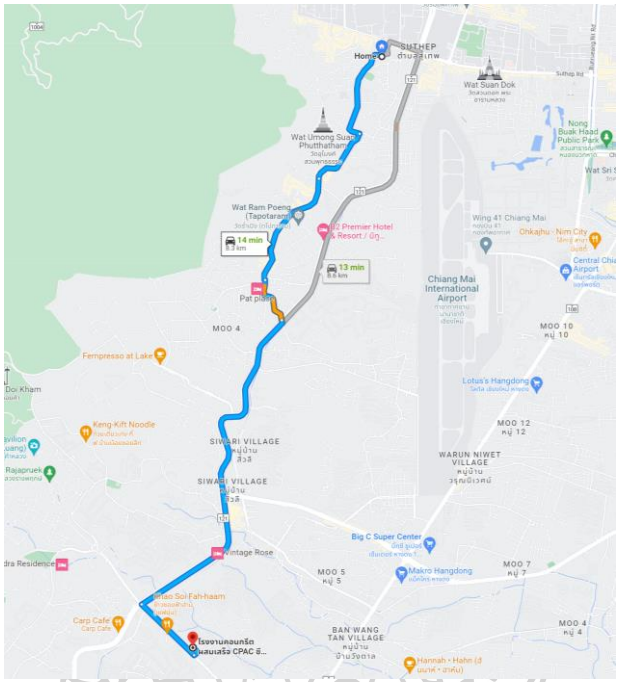
3) รถพ่วง 22 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 50.5 ตัน หรือ 50,500 กิโลกรัม

4) รถพ่วง 24 ล้อ ต้องบรรทุกไม่เกิน 50.5 ตัน หรือ 50,500 กิโลกรัม

ผู้วิจัยเลือกเป็นรถประเภทที่ 5 รถบรรทุกเฉพาะกิจ และพาหนะที่ใช้ขนส่งนั้นเป็นรถบรรทุก 12 ล้อ เครื่องยนต์ดีเซล บรรทุก ไม่เกิน 30 ตัน ซึ่งระยะทางการขนส่งจำเป็นต้องนำมาคิดในการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยในการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยจากวิธีการก่อสร้างแบบวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional System) สามารถแบ่งระยะการขนส่งเป็น 2 แหล่ง คือ ส่วนแรก ระยะแรกจากแหล่งขนส่งวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างมายังพื้นที่การก่อสร้าง มีระยะทางเป็น คือ 17.7 กิโลเมตร ส่วนที่สอง ระยะการจากพื้นที่ผสมคอนกรีตไปพื้นที่การก่อสร้าง คือ 8.3 กิโลเมตร

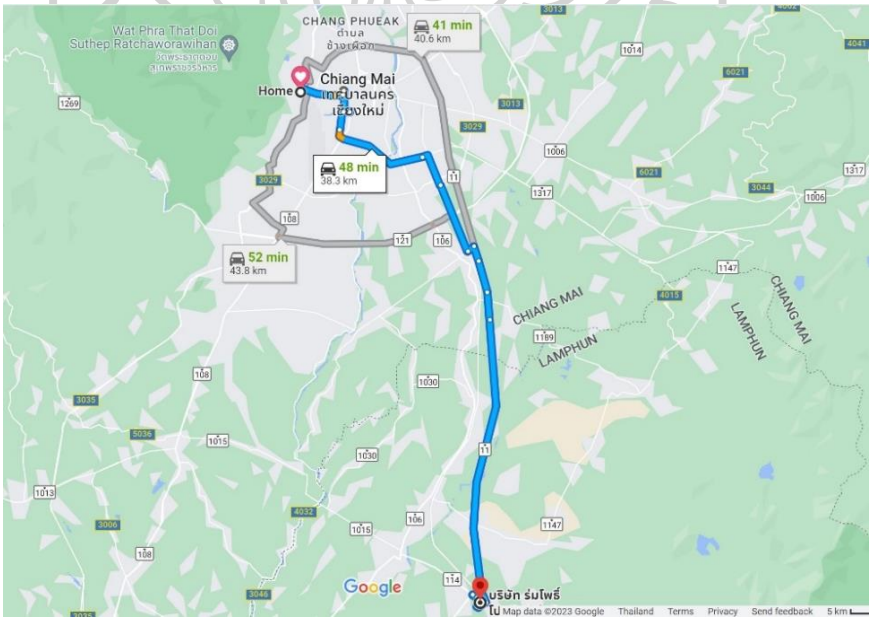


ภาพที่ 86 ระยะทางการขนส่งวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างมายังพื้นที่ก่อสร้าง



ภาพที่ 87 ระยะทางการขนส่งคอนกรีตผสมสำเร็จรูปมายังพื้นที่ก่อสร้าง

ส่วนการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้าง ด้วยวิธีการก่อสร้างแบบวิธีการการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) สามารถแบ่งระยะการขนส่งเป็น 2 แหล่ง คือ ส่วนแรก ระยะแรกจากแหล่งขนส่งวัสดุอุปกรณ์การก่อสร้างมายังพื้นที่การก่อสร้าง มีระยะทางเป็น คือ 17.7 กิโลเมตร ส่วนที่สอง ระยะโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมาพื้นที่การก่อสร้าง ซึ่งมีระยะทางเป็น 38.3 กิโลเมตร



ภาพที่ 88 ระยะทางการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมายังพื้นที่ก่อสร้าง

เมื่อได้ระยะ และพาหนะในการขนส่งวัสดุ นำมาคิดซึ่งจะได้ผลตามที่ 19 และ 20 ดังนี้

ตารางที่ 19 ตารางแสดงปริมาณการขนส่งของวัสดุก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

ลำดับ	ประเภทวัสดุ	การขนส่ง (tkm)
งานโครงสร้าง		
1.	คอนกรีตโครงสร้าง	746.40
2.	วัสดุไม้	53.74
3.	เหล็ก	38.46
4.	ตะปูและลวด	1.80
งานผนัง		
1.	ผนังก่ออิฐมอญ	175.10
2.	ปูนฉาบ	148.45
3.	คอนกรีตโครงสร้าง	27.11
4.	กระเบื้องเซรามิก	13.61
งานหลังคา		
1.	เหล็ก	62.28
2.	หลังคาอะลูซิงค์	5.30
งานพื้น		
1.	กระเบื้องปูพื้นเซรามิกรวม	35.86
2.	ซีเมนขัดหยาบ	5.82
งานฝ้าเพดาน		
1.	ยิปซัมบอร์ดพร้อมเหล็กโครงเคร่าชุบสังกะสี	15.47
งานผนัง		
1.	ประตูไม้ และวงกบไม้	5.36
2.	ประตู และหน้าต่างอะลูมิเนียม	10.72
รวม		1,345.48

ตารางที่ 20 ตารางแสดงปริมาณการขนส่งของวัสดุก่อสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

ลำดับ	ประเภทวัสดุ	การขนส่ง (tkm)
งานโครงสร้าง		
1.	คอนกรีตโครงสร้าง	489.63
2.	วัสดุไม้	5.37
3.	เหล็ก	85.87
4.	Pre-cast	259.87
5.	ปูนปิดรอย	1.77
งานผนัง		
1.	Pre-cast	81.72
2.	ปูนปิดรอย	0.89
3.	กระเบื้องเซรามิก	13.61
4.	เหล็ก	5.53
งานหลังคา		
1.	เหล็ก	62.28
2.	หลังคาอะลูซิงค์	5.30
งานพื้น		
1.	กระเบื้องปูพื้นเซรามิกรวม	35.86
2.	ซีเมนขัดหยาบ	5.82
งานฝ้าเพดาน		
1.	ยิปซัมบอร์ดพร้อมเหล็กโครงเคร่าชุบสังกะสี	15.47
งานประตูและหน้าต่าง		
1.	ประตูไม้ และวงกบไม้	5.36
2.	ประตู และหน้าต่างอะลูมิเนียม	10.72
รวม		1,068.99

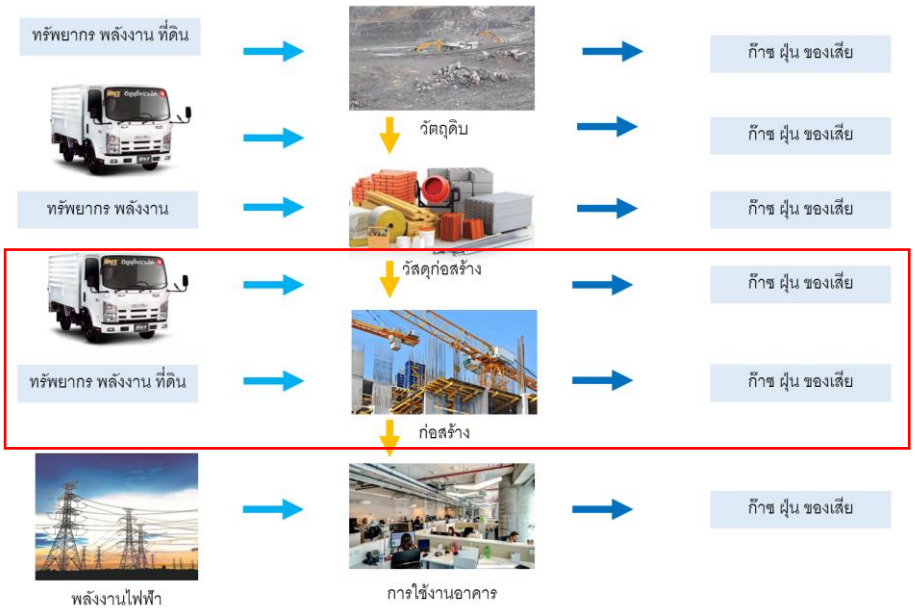
การประเมินผลกระทบและการแปรผลการศึกษา

ในขั้นตอนนี้เป็นการแปรผลข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและขาออก ให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยการใช้โปรแกรม SimaPro ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลก ทางผู้วิจัยใช้ Method IPCC GWP 100a เพื่อทำการศึกษาการปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า (KaCO2eq) ที่เกิดขึ้นจากวิธีการก่อสร้างอาคารพักอาศัย 2 รูปแบบการก่อสร้าง และ Impact2002+ ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและด้านอื่นๆเพิ่มเติม เพราะสามารถครอบคลุมผลกระทบที่เป็นวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่กลางทาง (Mid-point Impact) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ปลายทาง (End-point Impact) โดยจะแสดงผลในรูปกลุ่มความเสียหาย (Damage Category) 4 ด้าน คือทำลายสุขภาพของมนุษย์ (Human health) ระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ซึ่งผลการศึกษาจะกล่าวไว้ในบทที่ 4

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลการศึกษา

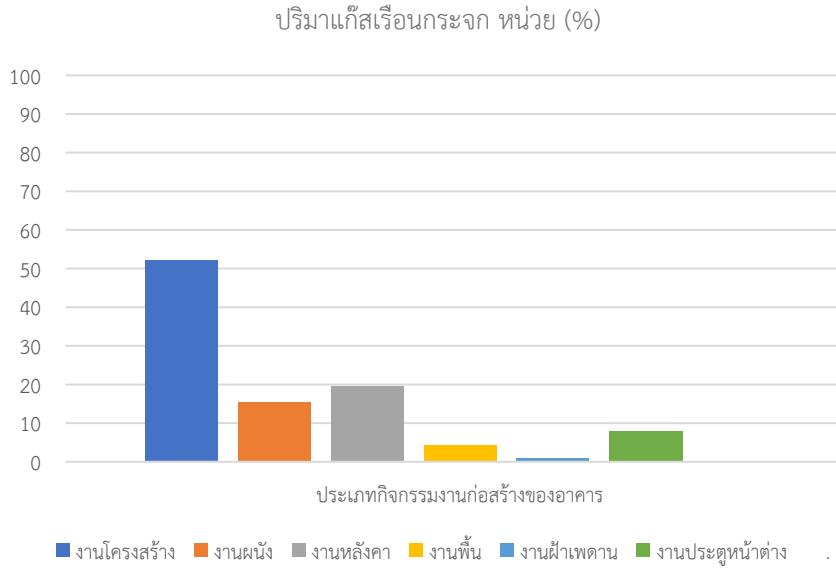
บทนี้ได้ศึกษาผลการศึกษา LCA ของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้โปรแกรม SimaPro 9.1.1 ซึ่งได้อาศัยวิธี IPCC GWP 100a เพื่อทำการศึกษาการปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า (KgCO2eq) ที่เกิดขึ้นจากวิธีการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย 2 รูปแบบ และศึกษาผลกระทบด้านอื่นๆด้วยวิธี Impact2002+ ซึ่ง Impact2002+ แสดงผลในรูป กลุ่มความเสียหาย (Damage Category) 4 ด้าน คือทำลายสุขภาพของมนุษย์ (Human health) ระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate change) โดยขอบเขตของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Cradle-to-gate) คือ ช่วงการก่อสร้างอาคาร



ภาพที่ 89 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร

ผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม

จากข้อมูลบัญชีข้อมูลขาเข้าของการก่อสร้างอาคารเพื่อหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนการใช้งานอาคารโดยแยกตามกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร ดังนี้ งานโครงสร้างอาคาร งานผนัง งานพื้น งานฝ้าเพดาน งานหลังคา และงานประตูหน้าต่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบด้วย Method IPCC GWP 100a และ Impact 2002+ ดังนี้



แผนภูมิที่ 1 แผนภูมิผลการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม ทดสอบโดย Method IPCC

จากแผนภูมิที่ 1 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) แบ่งตามประเภทของผลกระทบได้ ตามตารางที่ 21 ดังนี้

ตารางที่ 21 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) โดยทดสอบด้วย Method IPCC

ประเภทกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
งานโครงสร้าง	20,000
งานผนัง	5,920
งานหลังคา	7,520
งานพื้น	1,670
งานฝ้าเพดาน	319
งานประตูหน้าต่าง	3,010
รวม	38,439

จากตารางที่ 21 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 22 ได้ดังนี้

ตารางที่ 22 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) โดยทดสอบด้วย Method IPCC คิดเป็นร้อยละ

ประเภทกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก (%)
งานโครงสร้าง	52.03
งานผนัง	15.40
งานหลังคา	19.56
งานพื้น	4.34
งานฝ้าเพดาน	0.84
งานประตูหน้าต่าง	7.83
รวม	100

ข้อมูลจากตารางที่ 22 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) งานโครงสร้างอาคาร มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 52.03 รองลงมาเป็นงานหลังคาคิดเป็นร้อยละ 19.56 ตามด้วยงานผนัง คิดเป็นร้อยละ 15.40 งานประตูหน้าต่าง คิดเป็นร้อยละ 7.83 งานพื้น คิดเป็นร้อยละ 4.34 และงานฝ้าเพดานมีปริมาณแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.84

เมื่อศึกษาลงในแต่ละกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร พบว่าในแต่ละกิจกรรมมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ดังนี้ตามตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ตารางแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของประเภทกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยแบบดั้งเดิม (Conventional)

กิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ส่วนประกอบของกิจกรรมการก่อสร้าง	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก	
		$kgCO_2eq$	ร้อยละ
งานโครงสร้าง	คอนกรีตโครงสร้าง	10,600	52.8
	เหล็ก	4,560	22.8
	ไม้แบบ	4,470	22.3
	การขนส่งวัสดุก่อสร้าง	234	1.17
	ตะปู ลวด และเหล็กตาราง	196	0.977
	เครื่องจักรในการก่อสร้าง	4.62	0.0231

ตารางที่ 23 ตารางแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของประเภทกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) (ต่อ)

กิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ส่วนประกอบของกิจกรรมการก่อสร้าง	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก	
		$kgCO_2eq$	ร้อยละ
งานผนัง	อิฐ	3,110	52.6
	ปูน	2,140	36.2
	เสาเอ็น-คานทับหลัง	384	6.49
	กระเบื้องผนัง	197	3.33
	ขนส่ง	82.6	1.4
งานหลังคา	เหล็ก	7,380	98.1
	กระเบื้องหลังคา	130	1.73
	ขนส่ง	14.9	0.198
งานพื้น	กระเบื้อง	1,580	94.4
	ปูน	84	5.02
	ขนส่ง	9.2	0.55
งานฝ้าเพดาน	ยิปซั่มบอร์ดพร้อมโครงคร่าว	314	99.4
	ขนส่ง	1.97	0.622
งานประตูหน้าต่าง	ประตูหน้าต่างกระจกกรอบอะลูมิเนียม	2,240	74.3
	ประตูไม้	771	25.6
	ขนส่ง	3.57	0.118

พบว่าในงานโครงสร้าง คอนกรีตส่งผลมากที่สุด มีผลกระทบเป็น 10,600 $kgCO_2eq$ รองมาเป็นเหล็ก 4,560 $kgCO_2eq$ ตามไม้แบบ 4,470 $kgCO_2eq$ งานผนัง ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือ อิฐ 3,110 $kgCO_2eq$ รองมาเป็นปูนฉาบ 2,140 $kgCO_2eq$ ตามด้วยคอนกรีตของเสาเอ็นและคานทับหลัง 384 $kgCO_2eq$ งานโครงสร้างหลังคา ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุด คือ เหล็ก 7,380 $kgCO_2eq$ งานพื้น ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือกระเบื้อง 1,580 $kgCO_2eq$ งานฝ้าเพดาน ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือ ยิปซั่มบอร์ดพร้อมโครงคร่าว 314

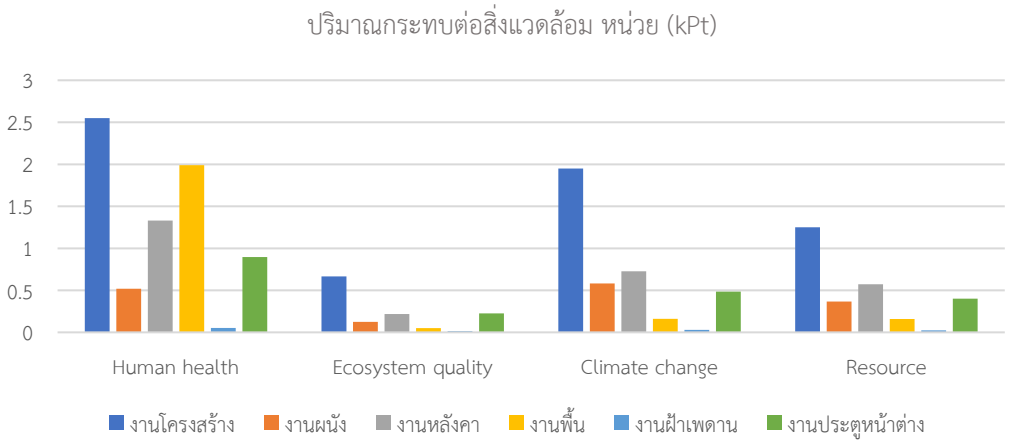
$kgCO_2eq$ และงานประตูหน้าต่าง ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือ ประตูหน้าต่างกระจกกรอบอะลูมิเนียม 2,240 $kgCO_2eq$

จากข้อมูลตารางที่ 23 นำมาสรุปตามรายวัสดุทั้งหมดของการก่อสร้างด้วยก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิม (Conventional System) ออกมาเป็นตารางที่ 24 ได้ดังนี้

ตารางที่ 24 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของวัสดุและกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)

กิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ส่วนประกอบของกิจกรรมการก่อสร้าง	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก	
		$kgCO_2eq$	ร้อยละ
วัสดุ	เหล็ก	11,940	33.73
	คอนกรีต	10,984	31.03
	ไม้แบบ	4,470	12.63
	ประตูหน้าต่างอะลูมิเนียมพร้อมกระจก	2,240	6.33
	ปูนฉาบ	2,224	6.28
	กระเบื้อง	1,777	5.02
	ประตูไม้พร้อมกรอบไม้	771	2.18
	ยิปซั่มพร้อมโครงคร่าว	314	0.89
	ตะปู ลวด และเหล็กตาราง	196	0.55
	วัสดุมุงหลังคา	130	0.36
การขนส่ง	การขนส่งวัสดุก่อสร้าง	346.24	0.98
เครื่องจักร	เครื่องจักรในการก่อสร้าง	4.62	0.02

ทุกกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร ส่วนประกอบที่ส่งผลทำให้ปริมาณแก๊สเรือนกระจกของกิจกรรมนั้นๆ มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และปริมาณที่มีอยู่ในกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคารนั้นๆ โดยตัวมีปริมาณแก๊สเรือนกระจก ซึ่งวัสดุที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจก คือ เหล็ก คอนกรีต ไม้ กระจก



แผนภูมิที่ 2 แผนภูมิผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ทดสอบโดย Method Impact 2002+

จากแผนภูมิที่ 2 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแบ่งตามประเภทของผลกระทบได้ ตามตารางที่ 25 ดังนี้

ตารางที่ 25 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) โดยทดสอบด้วย Method Impact 2002+

Damage category	Unit	งานโครงสร้าง	งานผนัง	งานหลังคา	งานพื้น	งานฝ้าเพดาน	งานประตูหน้าต่าง
Human health	DALY	0.0181	0.00368	0.00944	0.0141	0.000371	0.00636
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	9,120	1,710	2,980	689	206	3,080
Climate change	kgCO_2eq	19,300	5,760	7,190	1,600	296	4,800
Resource	MJ primary	189,000	55,700	87,100	24,300	3,750	61,000

จากตารางที่ 25 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 26 ได้ดังนี้

ตารางที่ 26 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยแบบดั้งเดิม (Conventional) ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ

Damage category	งานโครงสร้าง (%)	งานผนัง (%)	งานหลังคา (%)	งานพื้น (%)	งานฝ้าเพดาน (%)	งานประตูหน้าต่าง (%)
Human health	39.80	32.60	46.80	84.30	42.90	44.70
Ecosystem quality	10.40	7.80	7.60	2.13	12.40	11.10
Climate change	30.40	36.60	25.50	6.82	24.50	24.20
Resource	19.40	23.00	20.10	6.75	20.20	20.00
Total	100	100	100	100	100	100

จากตารางที่ 26 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) งานโครงสร้างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39.80 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 30.40 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 19.40 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ 10.40

งานผนังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 36.60 ตามด้วยด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) คิดเป็นร้อยละ 32.60 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 23.00 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ 7.80

งานหลังคาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 46.80 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 25.50 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 20.10 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ7.60

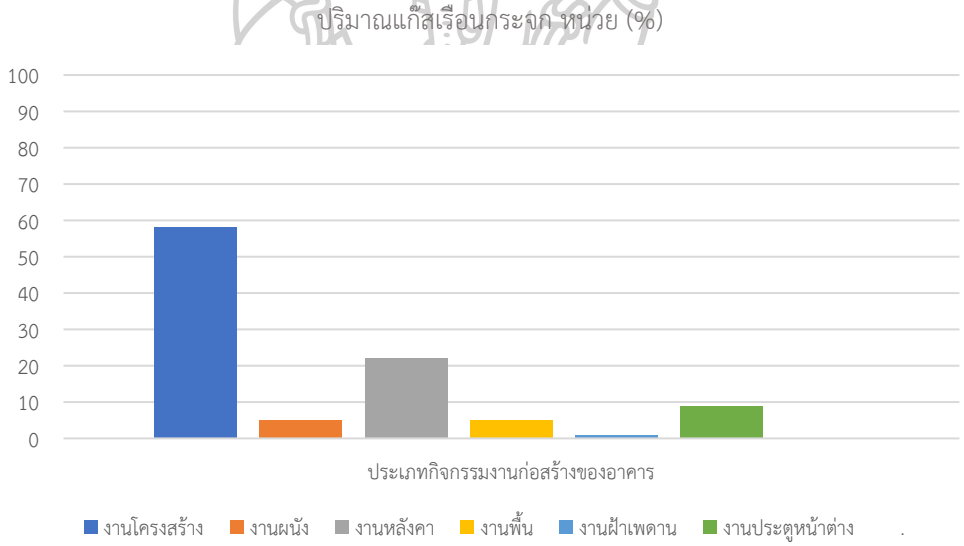
งานพื้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 84.30 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 6.82 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 6.75 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ2.13

งานฝ้าเพดานส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42.90 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate

change) คิดเป็นร้อยละ 24.50 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 20.20 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ12.40
และงานประตูหน้าต่างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44.70 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 24.20 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 20.00 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ 11.10

ผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

จากข้อมูลบัญชีข้อมูลขาเข้าของการก่อสร้างอาคารเพื่อหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนการใช้งานอาคารโดยแยกตามกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร ดังนี้ โครงสร้างอาคาร งานผนัง งานพื้น งานฝ้าเพดาน งานหลังคา และงานประตูหน้าต่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบด้วย Method IPCC GWP 100a และ Impact 2002+ ดังนี้



แผนภูมิที่ 3 แผนภูมิผลการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปทดสอบโดย Method IPCC

จากแผนภูมิที่ 3 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ แบ่งตามประเภทของผลกระทบได้ ตามตารางที่ 27 ดังนี้

ตารางที่ 27 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC

ประเภทของกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
งานโครงสร้าง	19,700
งานผนัง	1,670
งานหลังคา	7,520
งานพื้น	1,670
งานฝ้าเพดาน	319
งานประตูหน้าต่าง	3,010
รวม	33,889

จากตารางที่ 27 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 28 ได้ดังนี้

ตารางที่ 28 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC คิดเป็นร้อยละ

ประเภทของกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก (%)
งานโครงสร้าง	58.13
งานผนัง	4.93
งานหลังคา	22.19
งานพื้น	4.93
งานฝ้าเพดาน	0.94
งานประตูหน้าต่าง	8.88
รวม	100

ข้อมูลจากตารางที่ 28 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) งานโครงสร้างอาคาร มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.13 รองลงมาเป็นงานหลังคา คิดเป็นร้อยละ 22.19 ตามด้วยงานประตูหน้าต่าง คิดเป็นร้อยละ 8.88 งานผนังกับงานพื้นมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 4.93 และงานฝ้าเพดานมีปริมาณแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.94

เมื่อศึกษาลงในแต่ละกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร พบว่าในแต่ละกิจกรรมมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ดังนี้ตามตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของประเภทกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

กิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ส่วนประกอบของกิจกรรมการก่อสร้าง	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก	
		$kgCO_2eq$	ร้อยละ
งานโครงสร้าง	เหล็ก	10,900	55.4
	คอนกรีตโครงสร้าง	7,030	35.7
	ชิ้นส่วนPer-cast	824	4.19
	ไม้แบบ	480	2.44
	ปูนปิดรอย	25.8	0.131
	การขนส่งวัสดุก่อสร้าง	404	2.06
	เครื่องจักรในการก่อสร้าง	4.62	0.0235
งานผนัง	Plate เหล็ก และจุดเชื่อม	702	42.1
	กระเบื้องกรุผนัง	624	37.4
	ชิ้นส่วนPer-cast	259	15.5
	ปูนปิดรอย	13.1	0.783
	ขนส่ง	69.8	4.19
งานหลังคา	เหล็ก	7,380	98.1
	กระเบื้องหลังคา	130	1.73
	ขนส่ง	14.9	0.198
งานพื้น	กระเบื้อง	1,580	94.4
	ปูน	84	5.02
	ขนส่ง	9.2	0.55
งานฝ้าเพดาน	ยิปซั่มพร้อมโครงคร่าว	314	99.4
	ขนส่ง	1.97	0.622
งานประตูหน้าต่าง	ประตูกระจกกรอบอะลูมิเนียม	2,240	74.3
	ประตูไม้	771	25.6
	ขนส่ง	3.57	0.118

จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 29 พบว่าพบว่าในงานโครงสร้าง เหล็กส่งผลมากที่สุด มีผลกระทบเป็น 10,900 $kgCO_2eq$ รองมาเป็นคอนกรีตโครงสร้าง 7,030 $kgCO_2eq$ ตามด้วยพรีแคส

824 $kgCO_2eq$ งานผนัง ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือ Plate เหล็กและจุดเชื่อม 702 $kgCO_2eq$ รองมาเป็นกระเบื้องกรุผนัง 624 $kgCO_2eq$ ตามด้วยพรีแคส 259 $kgCO_2eq$ งานหลังคา ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือเหล็ก 7,380 $kgCO_2eq$ งานพื้น ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือกระเบื้อง 1,580 $kgCO_2eq$ งานฝ้าเพดาน ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือ ยิปซั่มพร้อมโครงคร่าว 314 $kgCO_2eq$ และงานประตูหน้าต่าง ส่วนที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากสุดคือ ประตูกระจกกรอบอะลูมิเนียม 2,240 $kgCO_2eq$

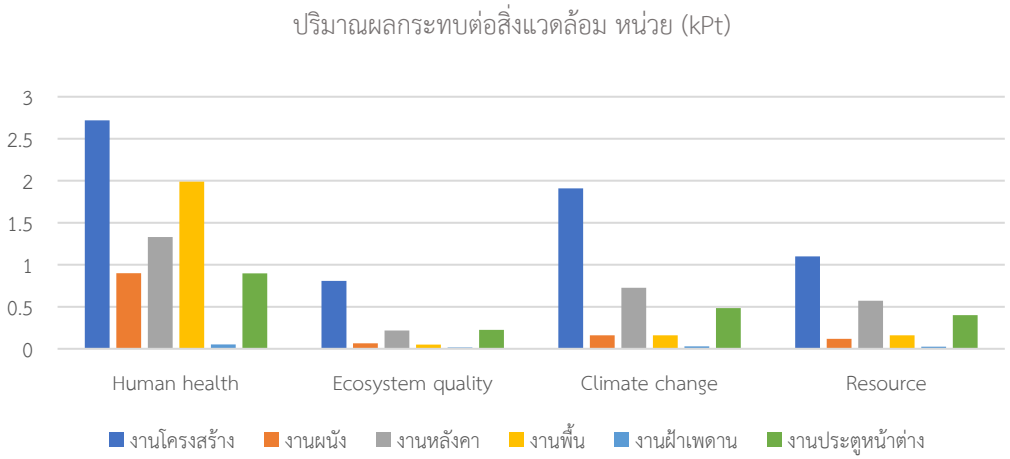
จากตารางที่ 29 นำมาสรุปตามรายวัสดุทั้งหมดของการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ออกมาเป็นตารางที่ 30 ได้ดังนี้

ตารางที่ 30 ตารางแสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ แยกส่วนประกอบของวัสดุและกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

กิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร	ส่วนประกอบของกิจกรรมการก่อสร้าง	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก	
		$kgCO_2eq$	ร้อยละ
วัสดุ	เหล็ก	18,982	56.05
	คอนกรีต	7,030	20.76
	ประตูหน้าต่างอะลูมิเนียมพร้อมกระจก	2,240	6.61
	กระเบื้อง	2,204	6.51
	ชิ้นส่วนพรีแคส	1,083	3.20
	ประตูไม้พร้อมกรอบไม้	771	2.28
	ไม้แบบ	480	1.41
	ยิปซั่ม	314	0.93
	วัสดุมุงหลังคา	130	0.38
	ปูนฉาบ	122.9	0.36
การขนส่ง	การขนส่งวัสดุก่อสร้าง	503.44	1.49
เครื่องจักร	เครื่องจักรในการก่อสร้าง	4.62	0.02

ทุกกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร ส่วนประกอบที่ส่งผลทำให้ปริมาณแก๊สเรือนกระจกของกิจกรรมนั้นๆมีปริมาณแก๊สเรือนกระจกมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และ

ปริมาณที่มีอยู่ในกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคารนั้นๆ โดยตัวมีปริมาณแก๊สเรือนกระจก ซึ่งวัสดุที่มีปริมาณแก๊สเรือนกระจก คือ เหล็ก คอนกรีต ประตูหน้าต่างกระจกกรอบอะลูมิเนียม กระเบื้อง และชิ้นส่วนพรีแคส



แผนภูมิที่ 4 แผนภูมิผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) โดยทดสอบด้วย Method Impact 2002+

จากแผนภูมิที่ 4 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ แบ่งตามประเภทของผลกระทบได้ ตามตารางที่ 31 ดังนี้

ตารางที่ 31 ตารางแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ทดสอบทดสอบโดย Method Impact 2002+

Damage category	Unit	งานโครงสร้าง	งานผนัง	งานหลังคา	งานพื้น	งานฝ้าเพดาน	งานประตูหน้าต่าง
Human health	DALY	0.0195	0.0064	0.00944	0.0141	0.000371	0.00636
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	11,200	893	2,980	689	206	3,080
Climate change	$kgCO_2eq$	19,200	1,610	7,190	1,600	296	4,800
Resource	MJ primary	172,000	18,300	87,100	24,300	3,750	61,000

จากตารางที่ 31 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 32 ได้ดังนี้

ตารางที่ 32 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบแยกตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้าง ที่ก่อสร้างด้วยการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ

Damage category	งานโครงสร้าง (%)	งานผนัง (%)	งานหลังคา (%)	งานพื้น (%)	งานฝ้าเพดาน (%)	งานประตูหน้าต่าง (%)
Human health	41.4	72.10	46.80	84.30	42.90	44.70
Ecosystem quality	12.4	5.24	7.60	2.13	12.40	11.10
Climate change	29.2	13.00	25.50	6.82	24.50	24.20
Resource	17.1	9.66	20.10	6.75	20.20	20.00
Total	100	100	100	100	100	100

ข้อมูลจากตารางที่ 32 พบว่าบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) งานโครงสร้างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 41.4 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 29.2 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 17.1 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ 12.4

งานผนังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 72.10 ตามด้วยด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 13.00 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 9.66 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ 5.24

งานหลังคาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 46.80 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 25.50 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 20.10 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ7.60

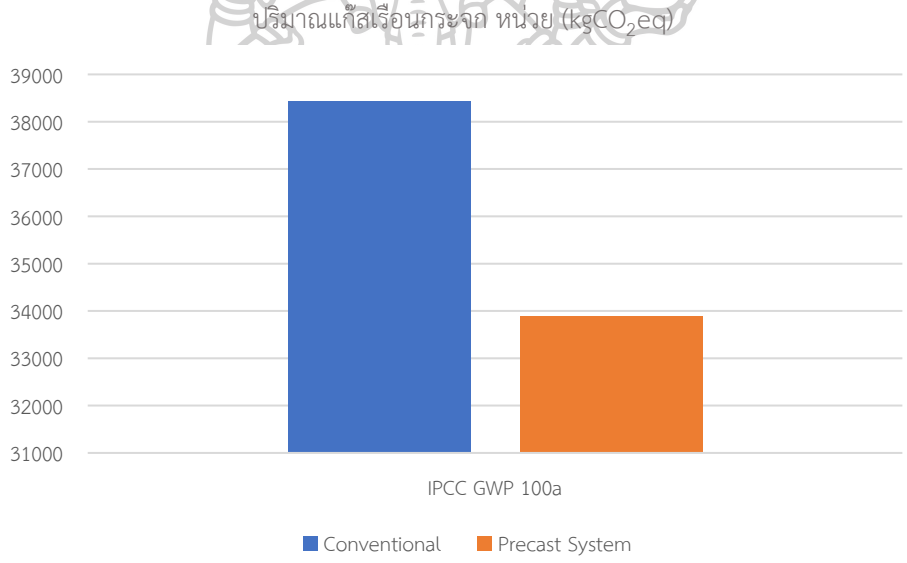
งานพื้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 84.30 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 6.82 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 6.75 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ2.13

งานฝ้าเพดานส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42.90 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate

change) คิดเป็นร้อยละ 24.50 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 20.20 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ12.40
และงานประตูหน้าต่างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44.70 รองมาคือผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) คิดเป็นร้อยละ 24.20 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) คิดเป็นร้อยละ 20.00 และในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) คิดเป็นร้อยละ 11.10

การเปรียบเทียบผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

เมื่อได้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ได้ผลดังนี้



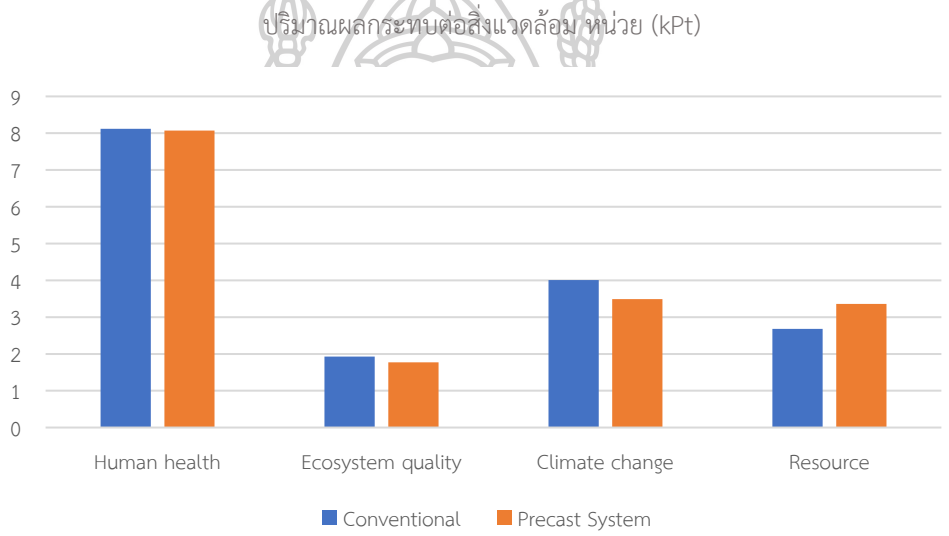
แผนภูมิที่ 5 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) โดยทดสอบด้วย Method IPCC

จากแผนภูมิที่ 5 สามารถแจกแจงผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) โดยทดสอบด้วย Method IPCC GWP 100a ตามตารางที่ 33 ดังนี้

ตารางที่ 33 ตารางแสดงเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ทดสอบโดย Method IPCC

ประเภทของส่วนประกอบของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
Conventional	38,436
Precast System	33,889

ข้อมูลจากตารางที่ 33 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,436 $kgCO_2eq$ ในขณะที่อาคารพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก เพียง33,889 $kgCO_2eq$



แผนภูมิที่ 6 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิม (Conventional System) กับก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) ทดสอบโดย Method Impact 2002+

จากแผนภูมิที่ 6 สามารถแจกแจงการเปรียบทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิม (Conventional System) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete) โดยทดสอบด้วย Method Impact 2002+ ตามตารางที่ 34 ดังนี้

ตารางที่ 34 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) โดยทดสอบด้วย Method Impact 2002+

Damage category	Unit	Conventional	Pre-cast System
Human health	DALY	0.0576	0.0574
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	26,400	24,300
Climate change	kgCO_2eq	39,700	34,500
Resource	MJ primary	405,000	510,000

จากตารางที่ 34 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 35 ได้ดังนี้

ตารางที่ 35 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) โดยทดสอบด้วย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ

Damage category	**Conventional (%)**	**Pre-cast System (%)**
Human health	48.5	48.4
Ecosystem quality	11.5	10.6
Climate change	24	20.9
Resource	16	20.1
Total	100.0	100.0

ข้อมูลจากตารางที่ 35 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ร้อยละ 48.5 ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) ร้อยละ 48.4 ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ ร้อยละ 11.5 ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบร้อยละ 10.6 ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ ร้อยละ 24.0 ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเพียง ร้อยละ 20.9 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าวิธีการก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 16 และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบ ร้อยละ 20.1

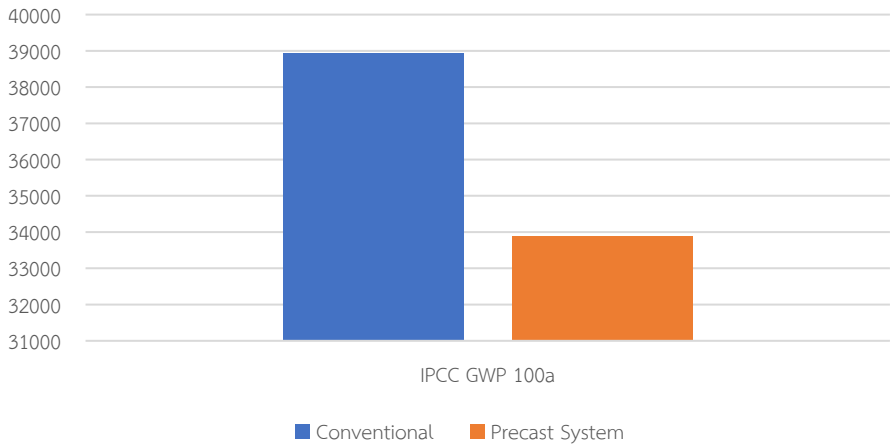
ผลการประเมินผลกระทบในกรณีการปรับปรุงการขนส่ง

เนื่องจากวิธีการก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิม (Conventional) และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ทั้งสองมีปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อการปล่อยปริมาณแก๊ซเรือนกระจก และผลกระทบด้านต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งแสดงผลในรูป กลุ่มความเสียหาย (Damage Category) 4 ด้าน คือทำลายสุขภาพของมนุษย์ (Human health) ระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ที่เหมือนกัน คือการขนส่ง โดยการทดสอบที่ผ่านมาของการศึกษาผู้วิจัยกำหนดการขนส่งของทั้งสองวิธีการก่อสร้างที่เหมือนกัน คือรถบรรทุก 12 ล้อ ในการขนส่งเพื่อตัดปัจจัยเรื่องขนาดของรถที่แตกต่างกัน แต่การขนส่งในการก่อสร้างอาคารที่ใช้ในปัจจุบัน วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมใช้รถบรรทุก 4 ล้อในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง ส่วนวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปนิยมใช้รถบรรทุก 10 ล้อในการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จึงนำปัจจัยในด้านขนส่งมาทำการทดสอบศึกษาปริมาณแก๊ซเรือนกระจก และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวิธีการก่อสร้างบ้านพักอาศัย 2 รูปแบบ มีการเปลี่ยนจากเดิมอย่างไร โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 เป็นการทดสอบโดยกำหนดปัจจัยเรื่องขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน กรณีที่ 2 เป็นการทดสอบโดยกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางการขนส่งวัสดุก่อสร้างและขนาดรถในการขนส่งที่เท่ากัน และกรณีสุดท้ายเป็นการทดสอบโดยกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดรถในการขนส่งแตกต่างกัน

1. กำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน

โดยวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ใช้รถบรรทุก 4 ล้อในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง อ้างอิงจากกฎหมายกำหนดของรถบรรทุก กรมทางหลวง 2562 โดยกำหนดว่ารถบรรทุก 4 ล้อรับน้ำหนักได้มากที่สุดไม่เกิน 9.5 ตัน จึงกรอกในโปรแกรมใช้เป็น Transport,freight,lorry 3.5 - 7.5 metricton EURO3(Global house)/marketfor/AlloDef,S ส่วนวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ รับน้ำหนักได้มากที่สุด 25 ตันจึงกรอกในโปรแกรมใช้เป็น Transport,freight,lorry 7.5-16 metricton EURO3(Global house)/marketfor/AlloDef,S ในการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จากการทดสอบผลการประเมินได้ผลดังนี้

ปริมาณแก๊สเรือนกระจก หน่วย ($kgCO_2eq$)



แผนภูมิที่ 7 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันทดสอบโดย Method IPCC

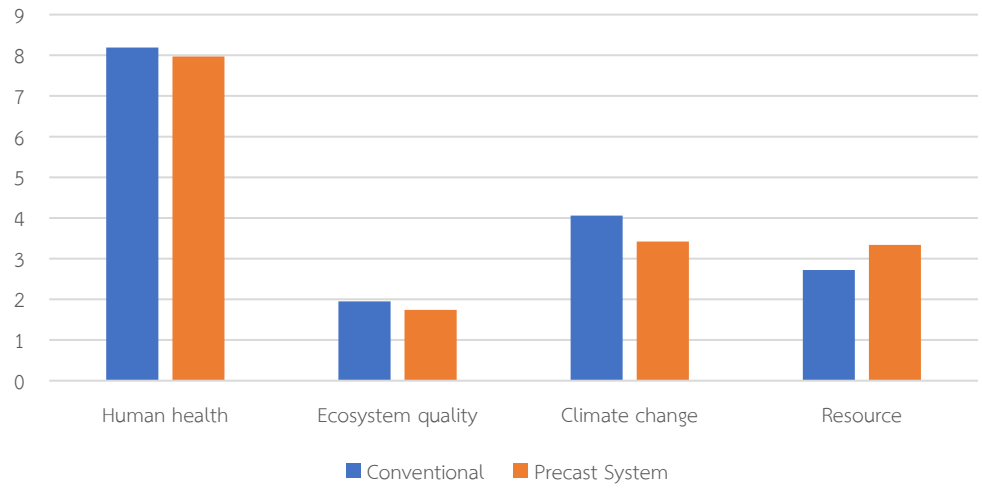
จากแผนภูมิที่ 7 สามารถแจกแจงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน โดยทดสอบด้วย Method IPCC GWP 100a ตามตารางที่ 36 ดังนี้

ตารางที่ 36 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional)กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันทดสอบโดย Method IPCC

ประเภทของส่วนประกอบของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
Conventional	38,936
Precast System	33,889

ข้อมูลจากตารางที่ 36 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,936 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก เพียง 33,889 $kgCO_2eq$

ปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หน่วย (kPt)



แผนภูมิที่ 8 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+

จากแผนภูมิที่ 8 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ ตามตารางที่ 37 ดังนี้

ตารางที่ 37 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+

Damage category	Unit	Conventional	Precast System
Human health	DALY	0.0581	0.0565
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	26,700	23,800
Climate change	$kgCO_2eq$	40,200	33,900
Resource	MJ primary	413,000	508,000

จากตารางที่ 37 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 38 ได้ดังนี้

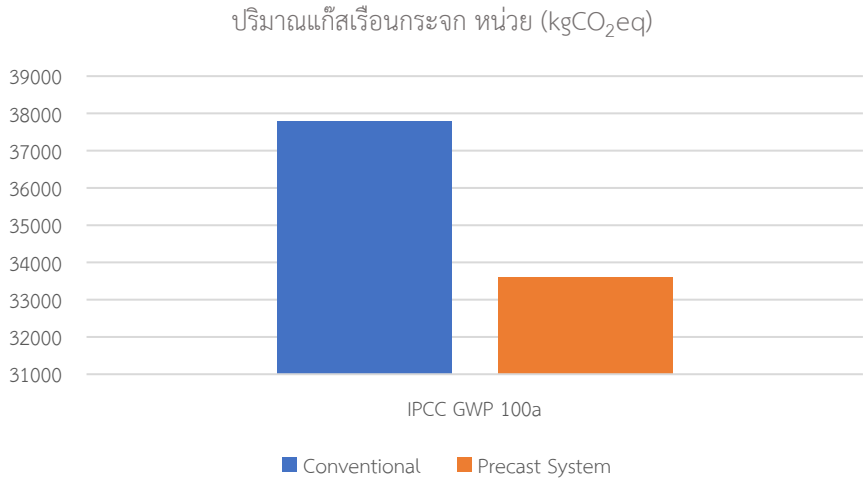
ตารางที่ 38 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ

Damage category	Conventional (%)	Precast System (%)
Human health	48.4	48.4
Ecosystem quality	11.5	10.5
Climate change	24	20.8
Resource	16.1	20.3
Total	100.0	100.0

ข้อมูลจากตารางที่ 38 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ร้อยละ 48.4 ซึ่งมีค่าเท่ากับที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 11.5 ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป มีผลกระทบร้อยละ 10.5 ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ ร้อยละ 24.0 ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเพียง ร้อยละ 20.8 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 16.1 และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบ ร้อยละ 20.3

2. กำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน

การทดสอบในกรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งที่เท่ากัน โดยกำหนดระยะทางเป็น 8.3 กิโลเมตร อ้างอิงจากระยะทางที่ใกล้สุดในการขนส่งวัสดุจากแหล่งจำหน่ายวัสดุ และกำหนดขนาดของรถในการขนส่งเป็น รถบรรทุก 12 ล้อ ซึ่งเป็นรถขนาดใหญ่สุด โดยอ้างอิงจากกฎหมายกำหนดของรถบรรทุก กรมทางหลวง 2562 ในการทดสอบทั้งสองวิธีการก่อสร้าง ซึ่งจากการทดสอบผลการประเมินได้ผลดังนี้



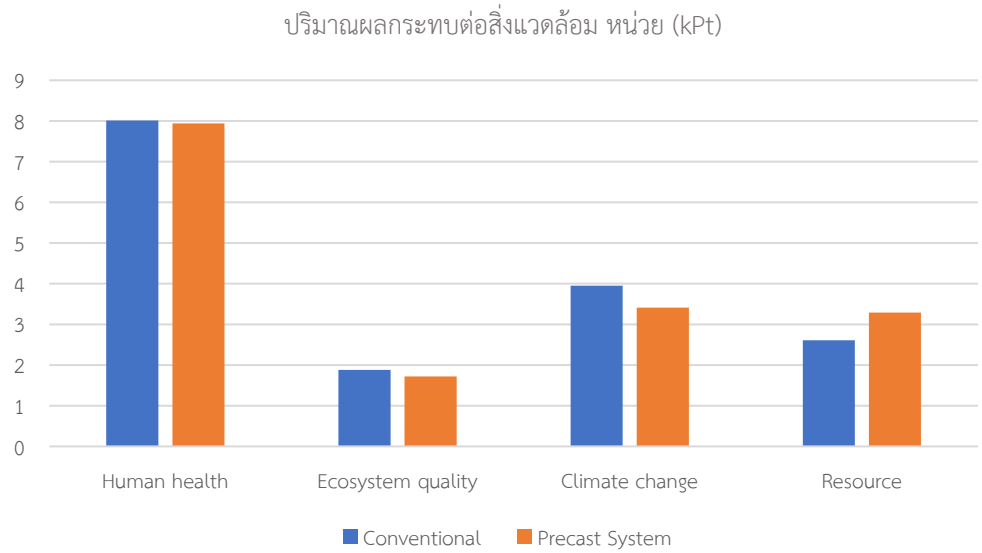
แผนภูมิที่ 9 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางและขนาดรถในการขนส่งที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method IPCC

จากแผนภูมิที่ 9 สามารถแจกแจงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) โดยทดสอบด้วย Method IPCC GWP 100a ในกรณีระยะทางและขนาดรถในการขนส่งที่เท่ากัน ตามตารางที่ 39 ดังนี้

ตารางที่ 39 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบผลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างและระยะทางการขนส่งที่เท่ากัน โดยทดสอบด้วย Method IPCC GWP 100a

ประเภทของส่วนประกอบของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
Conventional	37,800
Precast System	33,600

ข้อมูลจากตารางที่ 39 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 37,800 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก เพียง 33,600 $kgCO_2eq$



แผนภูมิที่ 10 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+

จากแผนภูมิที่ 10 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากันทดสอบโดย Method Impact 2002+ ตามตารางที่ 40 ดังนี้

ตารางที่ 40 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+

Damage category	Unit	Conventional	Precast System
Human health	DALY	0.0568	0.0563
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	25,800	23,600
Climate change	kgCO_2eq	39,100	33,700
Resource	MJ primary	396,000	500,000

จากตารางที่ 40 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 41 ได้ดังนี้

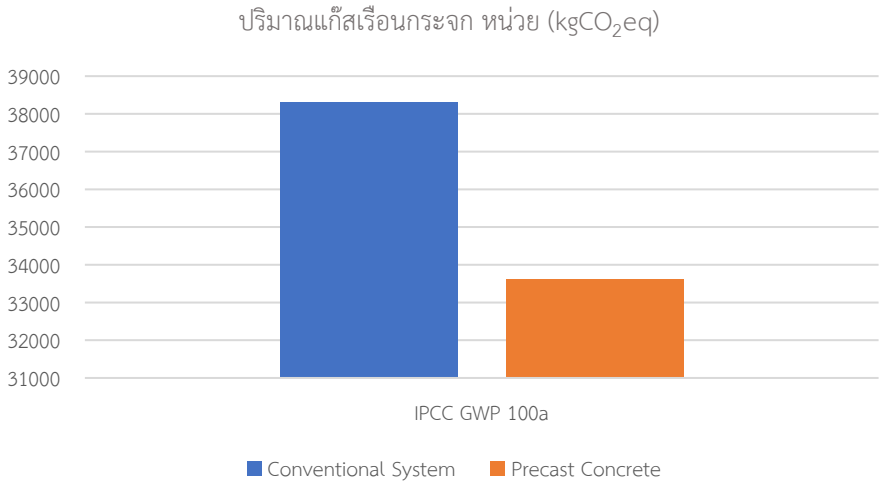
ตารางที่ 41 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับกับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ

Damage category	Conventional (%)	Precast System (%)
Human health	48.7	48.5
Ecosystem quality	11.4	10.5
Climate change	24	20.8
Resource	15.9	20.1
Total	100.0	100.0

ข้อมูลจากตารางที่ 41 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ร้อยละ 48.7 ซึ่งอาคารพักอาศัยที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบร้อยละ 48.5 ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 11.4 ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบร้อยละ 10.5 ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 24.0 ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเพียง ร้อยละ 20.8 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ ร้อยละ 15.9 และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบร้อยละ 20.1

3. กำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน

การทดสอบในกรณีระยะทางการขนส่งวัสดุที่เท่ากัน คือใช้ระยะทางในการขนวัสดุทุกชิ้นทั้งสองวิธีการก่อสร้างเป็น 8.3 กิโลเมตร และกำหนดขนาดรถที่ต่างกันในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง โดยวิธีการก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิม (Conventional) ใช้รถบรรทุก 4 ล้อในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง อ้างอิงจากกฎหมายกำหนดของรถบรรทุก กรมทางหลวง 2562 โดยกำหนดว่ารถบรรทุก 4 ล้อ รับน้ำหนักได้มากที่สุดไม่เกิน 9.5 ตัน จึงกรอกในโปรแกรมใช้เป็น Transport,freight,lorry 3.5-7.5 metricton EURO3(Global house)/marketfor/AlloDef,S ส่วนวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ รับน้ำหนักได้มากที่สุด 25 ตัน จึงกรอกในโปรแกรมใช้เป็น Transport,freight,lorry 7.5-16 metricton EURO3(Global house)/marketfor/AlloDef,S ในการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จากการทดสอบผลการประเมินได้ผลดังนี้



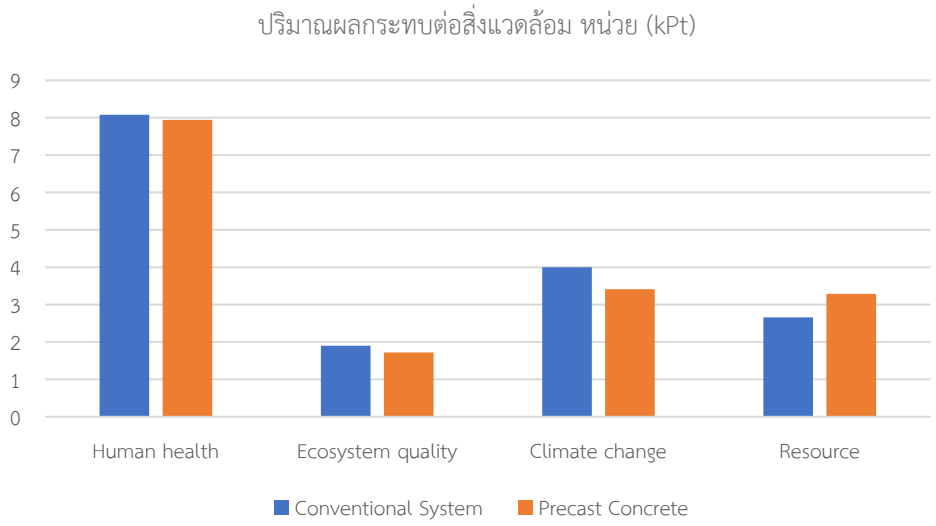
แผนภูมิที่ 11 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method IPCC

จากแผนภูมิที่ 11 สามารถแจกแจงปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method IPCC GWP 100a ตามตารางที่ 42 ดังนี้

ตารางที่ 42 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method IPCC

ประเภทของส่วนประกอบของอาคาร	ปริมาณแก๊สเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
Conventional	38,300
Precast System	33,600

ข้อมูลจากตารางที่ 42 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกเป็น 38,300 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast Concrete) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก เพียง 33,600 $kgCO_2eq$



แผนภูมิที่ 12 แผนภูมิผลการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+

จากแผนภูมิที่ 12 สามารถแจกแจงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ ตามตารางที่ 43 ดังนี้

ตารางที่ 43 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+

Damage category	Unit	Conventional	Precast System
Human health	DALY	0.0573	0.0563
Ecosystem quality	PDF*m^2*yr	26,100	23,600
Climate change	kgCO_2eq	39,600	33,700
Resource	MJ primary	404,000	500,000

จากตารางที่ 43 เมื่อนำมาคิดสัดส่วนผลกระทบเป็นร้อยละออกมาเป็นตารางที่ 44 ได้ดังนี้

ตารางที่ 44 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) กับก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ในกรณีระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน ทดสอบโดย Method Impact 2002+ คิดเป็นร้อยละ

Damage category	Conventional (%)	Precast System (%)
Human health	48.5	48.5
Ecosystem quality	11.4	10.5
Climate change	24	20.8
Resource	16	20.1
Total	100.0	100.0

ข้อมูลจากตารางที่ 44 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) ร้อยละ 48.5 ซึ่งมีค่าเท่ากับที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 11.4 ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป มีผลกระทบร้อยละ 10.5 ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 24.0 ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเพียง ร้อยละ 20.8 ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบร้อยละ 16.1 และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ส่งผลกระทบร้อยละ 20.1

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

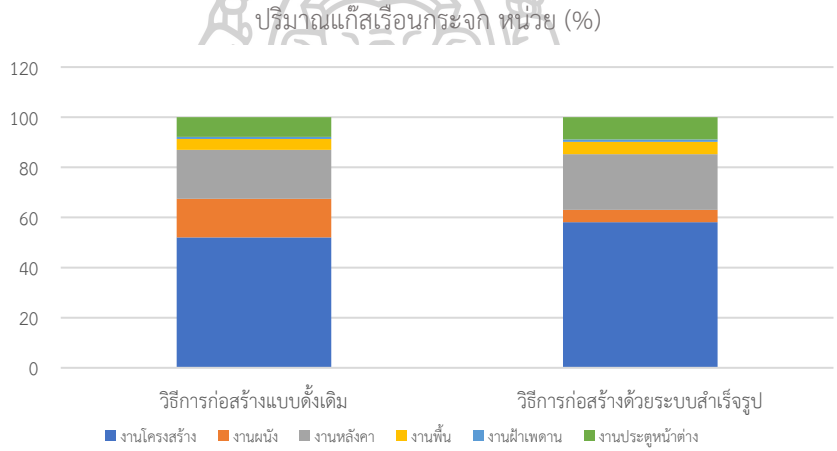
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณแก๊ซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้างบ้านพักอาศัย เปรียบเทียบระหว่างวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)โดยใช้บ้านพักอาศัย ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ในการทดสอบ โดยมีวิธีการศึกษาด้วยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) ด้วยโปรแกรม SimaPro 9.1.1 เป็นเครื่องมือในการทดสอบ และใช้ IPCC GMP 100a เพื่อทำการศึกษาการปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า ($KgCO_2eq$) ที่เกิดขึ้นจากวิธีการก่อสร้างอาคาร และศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ Impact 2002+ เป็นกระบวนการในการวิเคราะห์

จากผลการศึกษาในบทที่ 4 สามารถสรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

1. บ้านพักอาศัยต้นแบบ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อศึกษาปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นก่อนการใช้งานอาคาร โดยลงลึกในกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคาร พบว่าปริมาณของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นนั้น ทั้งสองวิธีการก่อสร้างได้มาจากกิจกรรมโครงสร้าง และหลังคา ซึ่งศึกษาดูในกิจกรรมทั้ง2 ประเภทจะพบว่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่จากวัสดุที่เป็นเหล็ก คอนกรีต และไม้ ตามลำดับ รวมถึงการเลือกใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการผลิตมาจากโรงงาน ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกน้อยกว่า การหล่อคอนกรีตในงานโครงสร้างของวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมที่เป็นการหล่อในพื้นที่ก่อสร้าง อ้างได้จากส่วนกิจกรรมงานโครงสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม(Conventional) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 20,000 $kgCO_2eq$ ซึ่งงานโครงสร้างของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีปริมาณก๊าซเรือนกระจก 19,700 $kgCO_2eq$ และมีผลมาจากชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เพียง 824 $kgCO_2eq$ หรือคิดเป็นร้อยละ 4.19 ของผลกระทบทั้งหมดของกิจกรรมงานโครงสร้าง
2. บ้านพักอาศัยต้นแบบ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อศึกษาปริมาณแก๊ซเรือนกระจกก่อนการใช้งานอาคารโดยแยกตามกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคารที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับ วิธีการก่อสร้างด้วยแบบสำเร็จรูป (Precast System)พบว่างานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) งานโครงสร้างอาคารมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 52.03 ของผลกระทบทั้งหมดของอาคาร ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีปริมาณแก๊ซเรือนกระจกถึงร้อยละ 58.13 ของปริมาณแก๊ซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคาร รองลงมางานหลังคาที่ใช้วิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) คิดเป็นร้อยละ 19.56 แต่ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีปริมาณแก๊ซเรือนกระจกถึงร้อยละ 22.19 ของปริมาณแก๊

ซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคาร งานผนังของวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) คิดเป็นร้อยละ 15.40 ในทางด้านกลับกันวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีปริมาณแก๊ซเรือนกระจกเพียงร้อยละ 4.93 งานประตูหน้าต่างของวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) คิดเป็นร้อยละ 7.83 ส่วนวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) คิดเป็นร้อยละ 8.88 งานพื้นของวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) คิดเป็นร้อยละ 4.34 ทางด้านวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) คิดเป็นร้อยละ 4.93 และสุดท้ายงานฝ้าเพดานของวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) คิดเป็นร้อยละ 0.84 ของปริมาณแก๊ซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคาร แต่ทางด้านของวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) คิดเป็นร้อยละ 0.94 ของปริมาณแก๊ซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคาร

เมื่อนำข้อมูลที่สรุปได้มาสร้างแผนภูมิได้ดังแผนภูมิที่ 12

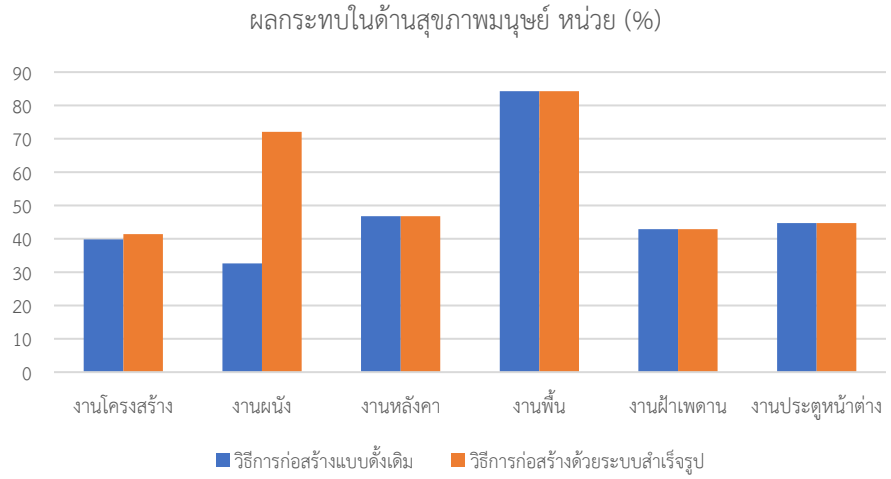


แผนภูมิที่ 13 แผนภูมิแสดงสัดส่วนปริมาณแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมการก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

3. บ้านพักอาศัยต้นแบบ ตำบลสุเทพ อำเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนการใช้งานอาคาร โดยแยกตามกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคารที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ได้ดังนี้

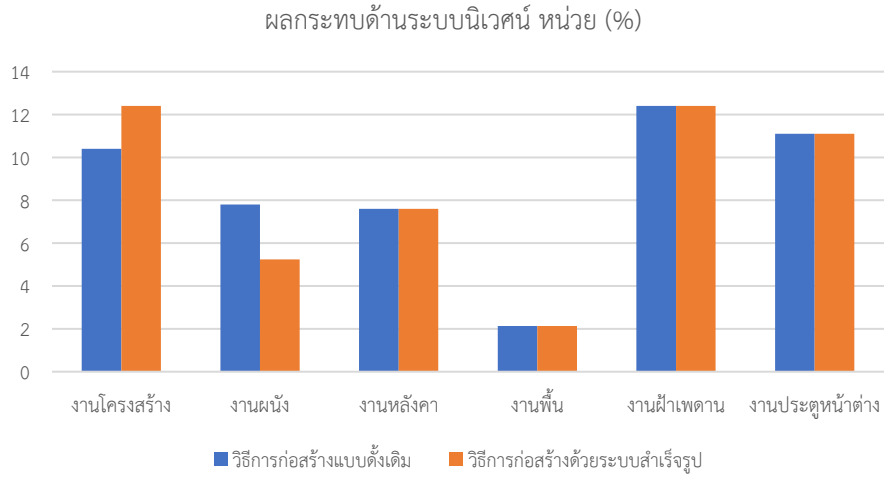
   3.1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) พบว่าบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) และก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีส่วนกิจกรรมการงานก่อสร้างที่เท่ากัน เนื่องจากใช้วัสดุและวิธีการก่อสร้างที่เหมือนกัน คืองานพื้น คิดเป็น 0.0141 DALY งานหลังคา คิดเป็น 0.00944 DALY งานประตูหน้าต่าง คิดเป็น 0.00636 DALY และงานฝ้าเพดาน คิดเป็น 0.000371 DALY ในส่วนที่ต่างกันคือ งานโครงสร้าง อาคารที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบ

คิดเป็น 0.0181 DALY ส่วนที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีผลกระทบ 0.0195 DALY ในส่วนงานผนังที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) คิดเป็น 0.00368 DALY ส่วนที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีผลกระทบ 0.0064 DALY



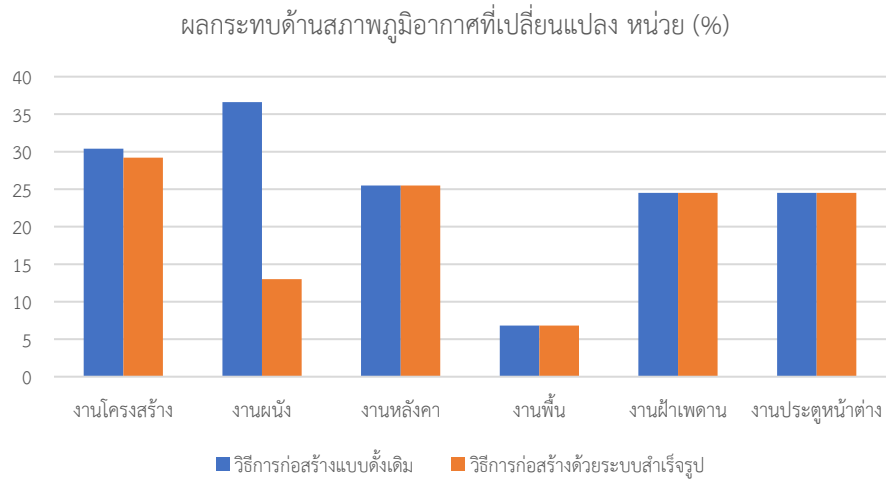
แผนภูมิที่ 14 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์จากกิจกรรมการงานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

3.2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) พบว่าบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) และก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีส่วนกิจกรรมการงานก่อสร้างที่เท่ากัน คือ งานหลังคา คิดเป็น 2,980 PDF*m^2*yr งานพื้น คิดเป็น 689 PDF*m^2*yr งานฝ้าเพดาน คิดเป็น 206 PDF*m^2*yr และงานประตูหน้าต่าง คิดเป็น 3,080 PDF*m^2*yr ส่วนงานโครงสร้างที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบเป็น 9,120 PDF*m^2*yr ส่วนวิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) คิดเป็น 11,200 PDF*m^2*yr และงานผนังก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบเป็น 1,710 PDF*m^2*yr แต่งานผนังที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีผลกระทบเพียง 893 PDF*m^2* yr



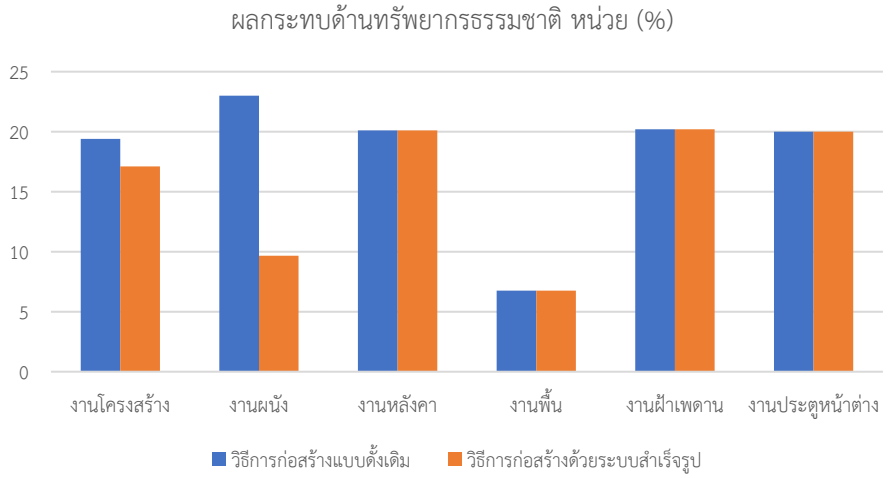
แผนภูมิที่ 15 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านระบบนิเวศน์จากกิจกรรมการงานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

3.3. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate change) พบว่าบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) และก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีส่วนกิจกรรมการงานก่อสร้างที่เท่ากัน คือ งานหลังคาคิดเป็น 7,190 $kgCO_2eq$ งานพื้นคิดเป็น 1,600 $kgCO_2eq$ งานฝ้าเพดานคิดเป็น 296 $kgCO_2eq$ และงานประตูหน้าต่าง คิดเป็น 4,800 $kgCO_2eq$ ส่วนงานโครงสร้างก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบถึง 19,300 $kgCO_2eq$ งานโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีผลกระทบ 10,600 $kgCO_2eq$ งานผนังก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบ 5,760 $kgCO_2eq$ แต่ผนังที่ใช้วิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีผลกระทบเพียง 1,610 $kgCO_2$ eq



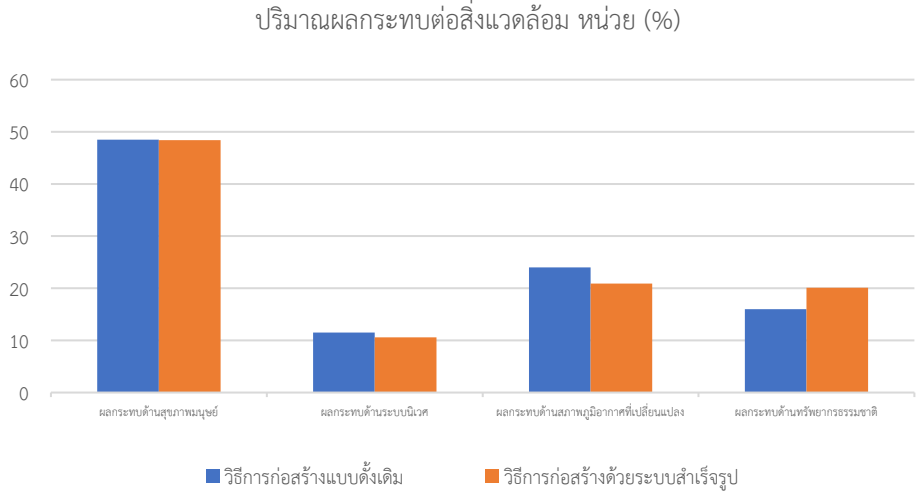
แผนภูมิที่ 16 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากกิจกรรมการงานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิม (Conventional System) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete)

3.4. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าบ้านพักอาศัยต้นแบบที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) และก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีส่วนกิจกรรมการงานก่อสร้างที่เท่ากัน คือ งานโครงสร้างหลังคา คิดเป็น 87,100 MJ primary งานพื้นคิดเป็น 24,300 MJ primary งานฝ้าเพดาน คิดเป็น 3,750 MJ primary งานประตูหน้าต่าง คิดเป็น 61,000 MJ primary ส่วนงานโครงสร้างก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบ 189,000 MJ primary และที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) คิดเป็น 103,000 MJ primary ส่วนงานผนังที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional System) มีผลกระทบถึง 55,700 MJ primary และที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีผลกระทบเพียง 18,300 MJ primary



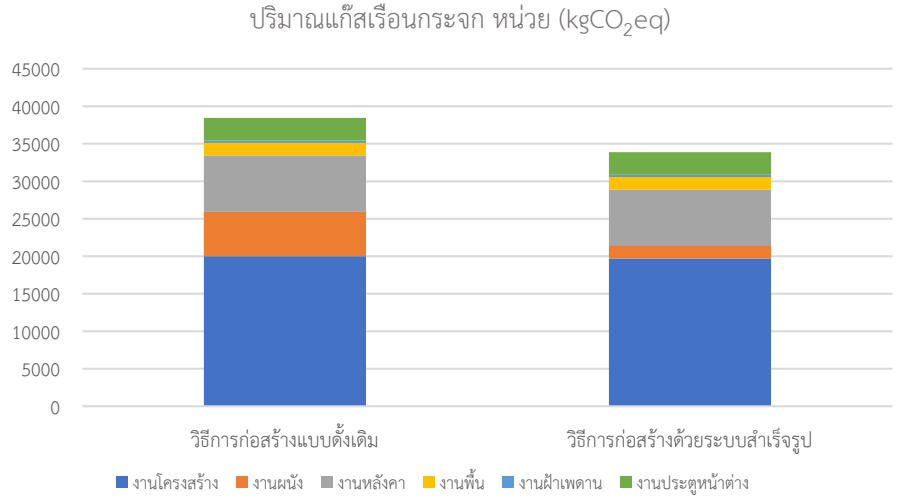
แผนภูมิที่ 17 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านทรัพยากรธรรมชาติจากกิจกรรมการงานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

เมื่อนำข้อมูลที่สรุปได้มาสร้างแผนภูมิได้ดังแผนภูมิที่ 18



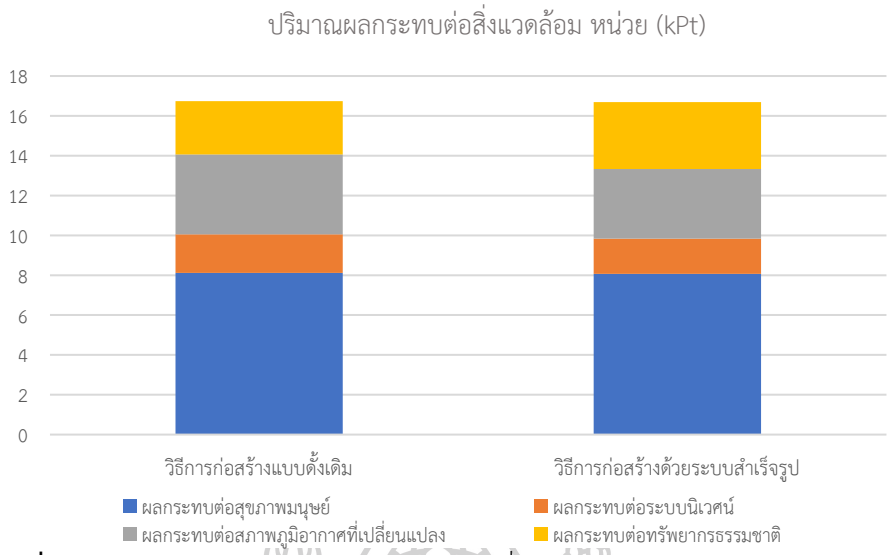
แผนภูมิที่ 18 แผนภูมิแสดงสัดส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมการงานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

4. สรุปผลวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยแก๊ซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมงานก่อสร้างของอาคารที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ซึ่งพบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,436 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกเพียง 33,889 $kgCO_2eq$ เมื่อนำข้อมูลที่สรุปได้มาสร้างแผนภูมิได้ ดังแผนภูมิที่ 19



แผนภูมิที่ 19 แผนภูมิแสดงสัดส่วนปริมาณการปล่อยแก๊ซเรือนกระจกจากการศึกษางานก่อสร้างของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

5. สรุปผลวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ซึ่งพบว่าบ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) 0.0576 DALY ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) 0.0574 DALY ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ 26,400 $PDF*m^2*yr$ ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป มีผลกระทบ 24,300 $PDF*m^2*yr$ ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ส่งผลกระทบ 39,700 $kgCO_2eq$ ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเพียง 34,500 $kgCO_2eq$ ด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ 405,000 MJ primary และวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป ส่งผลกระทบ 510,000 MJ primary เมื่อนำข้อมูลที่สรุปได้มาสร้างแผนภูมิได้ดังแผนภูมิที่ 2



แผนภูมิที่ 20 แผนภูมิแสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ ที่ก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

6. สรุปผลวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยแก๊ซเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ เมื่อรวมผลกระทบจากทั้ง 3 กรณีที่เกิดจากการปรับปรุงการขนส่ง ดังนี้

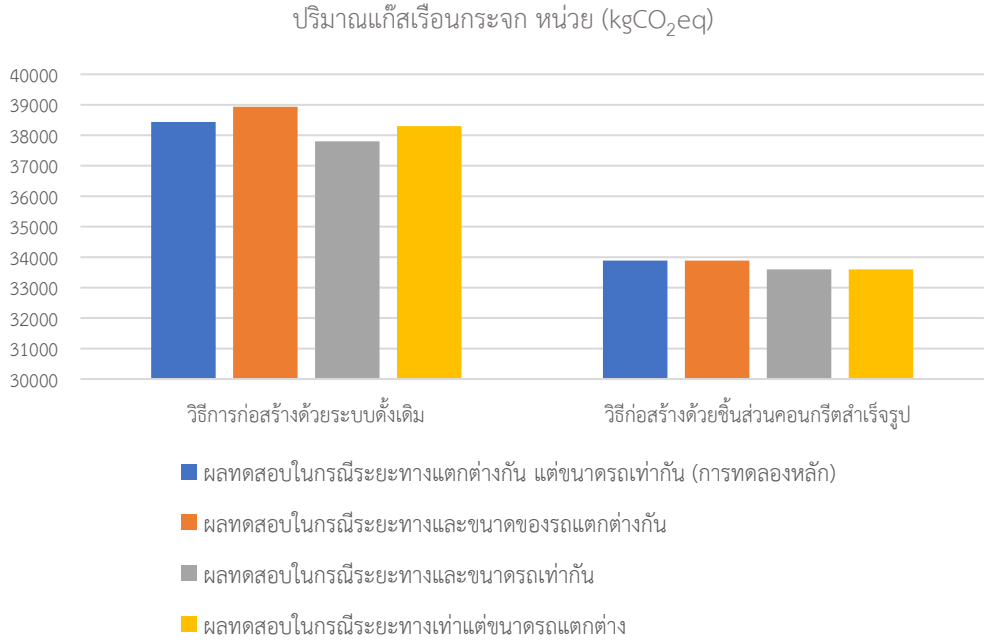
   6.1. กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,936 $kgCO_2eq$ เดิมมีการปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,436 $kgCO_2eq$ ซึ่งเพิ่มขึ้น 500 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 33,889 $kgCO_2eq$ เท่าเดิม

   6.2. กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 37,800 $kgCO_2eq$ เดิมมีการปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,436 $kgCO_2eq$ ซึ่งปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกลดลง 636 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 33,600 $kgCO_2eq$ เดิมปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 33,889 $kgCO_2eq$ ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกลดลง 289 $kgCO_2$ eq

   6.3. กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 38,300 $kgCO_2eq$ เดิมมีการปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก

38,436 $kgCO_2eq$ ซึ่งปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกลดลง 136 $kgCO_2eq$ ในขณะที่บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 33,600 $kgCO_2eq$ เดิมปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจก 33,889 $kgCO_2eq$ ปล่อยปริมาณแก๊สเรือนกระจกลดลง 289 $kgCO_2eq$

ข้อมูลทั้งสามกรณีที่สรุปได้มาสร้างแผนภูมิได้ดังแผนภูมิที่ 21



แผนภูมิที่ 21 แผนภูมิแสดงปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของบ้านพักอาศัยต้นแบบ จากการศึกษาการปรับปรุงการขนส่งระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

7. สรุปผลวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ เมื่อรวมผลกระทบจากทั้ง 3 กรณีที่เกิดจากการปรับปรุงการขนส่ง ดังนี้

   7.1. กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) 0.0581 DALY เดิมส่งผลกระทบ 0.0574 DALY ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 7 DALY ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) 26,700 $PDF*m^2*yr$ เดิมส่งผลกระทบ 26,400 $PDF*m^2*yr$ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 300 $PDF*m^2*yr$ ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่า 40,200 $kgCO_2eq$ เดิมส่งผลกระทบ 39,700 $kgCO_2eq$ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 500 $kgCO_2eq$ และด้านผลกระทบของ

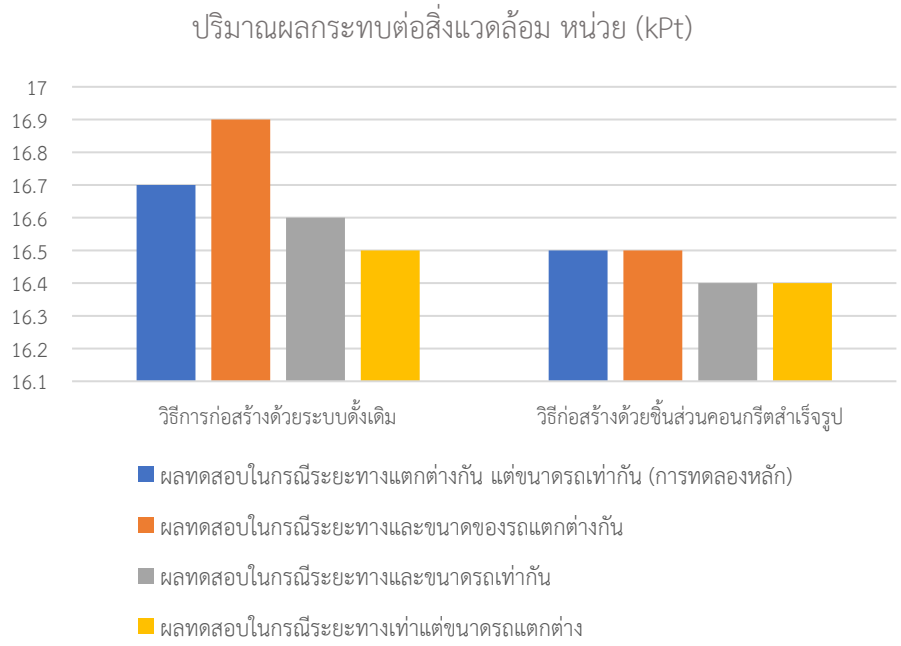
ทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่า 413,000 MJ primary เดิมส่งผลกระทบ 405,000 MJ primary ซึ่งเพิ่มขึ้น 8,000 MJ primary ส่วนในวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) ส่งผลกระทบเท่าเดิมเนื่องจากไม่ได้เปลี่ยนปัจจัยในกรณีนี้

7.2. กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) 0.0568 DALY เดิมส่งผลกระทบ 0.0574 DALY ซึ่งมีค่าลดลง 6 DALY ในขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป มีผลกระทบ 0.0563 DALY เดิมส่งผลกระทบ 0.0574 DALY ซึ่งมีค่าลดลง 11 DALY ด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมมีผลกระทบ 25,800 PDF*m^2*yr เดิมส่งผลกระทบ 26,400 PDF*m^2*yr ซึ่งมีค่าลดลง 600 PDF*m^2*yr ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบ 23,600 PDF*m^2*yr เดิมส่งผลกระทบ 24,300 PDF*m^2*yr ซึ่งมีค่าลดลง 700 PDF*m^2*yr ด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมมีผลกระทบ 39,100 kgCO_2eq เดิมส่งผลกระทบ 39,700 kgCO_2eq ซึ่งมีค่าลดลง 600 kgCO_2eq วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบ 33,700 kgCO_2eq เดิมส่งผลกระทบ 34,500 kgCO_2eq ซึ่งมีค่าลดลง 800 kgCO_2eq และด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมมีผลกระทบ 396,000 MJ primary เดิมส่งผลกระทบ 405,000 MJ primary ซึ่งลดลง 9,000 MJ primary ขณะที่วิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปมีผลกระทบ 500,000 MJ primary เดิมส่งผลกระทบ 510,000 MJ primary ซึ่งมีค่าลดลง 10,000 MJ primary

7.3. กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน บ้านพักอาศัยที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม มีกระทบต่อด้านสุขภาพมนุษย์ (Human health) 0.0573 DALY เดิมมีผลกระทบ 0.0576 DALY มีค่าลดลง 3 DALY ในด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบ 26,100 PDF*m^2*yr เดิมมีผลกระทบ 26,400 PDF*m^2*yr มีค่าลดลง 300 PDF*m^2*yr ในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change) พบว่าส่งผลกระทบ 39,600 kgCO_2eq เดิมส่งผลกระทบ 39,700 kgCO_2eq มีค่าลดลง 100 kgCO_2eq และด้านผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) พบว่าส่งผลกระทบ 404,000 MJ primary ซึ่งเดิมมีผลกระทบ 405,000 MJ primary มีค่าลดลงเพียง 1,000 MJ primary ในส่วนวิธีการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูปส่งผลกระทบเท่ากับใน

กรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน เนื่องจากใช้รถขนาดเดิม

เมื่อนำข้อมูลจากทั้ง 3 กรณีที่สรุปได้มาสร้างแผนภูมิได้ดังแผนภูมิที่ 22



แผนภูมิที่ 22 แผนภูมิแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านพักอาศัยต้นแบบ จากการศึกษาการปรับปรุงการขนส่งระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม(Conventional) เปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยชิ้ระบบสำเร็จรูป (Precast System)

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

ปริมาณแก๊ซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัยแบบดั้งเดิม (Conventional) มีค่าเท่ากับ 38,436 kgCO_2eq เท่ากับ 446.93 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้าน 1 ตารางเมตร ถ้าก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีค่าเท่ากับ 33,889 kgCO_2eq ซึ่งเท่ากับ 394.06 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้าน 1 ตารางเมตรตามลำดับ ปริมาณแก๊ซเรือนกระจก บ้านที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีค่ามากกว่าจากการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) นอกจากนั้นการทดสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านของสุขภาพมนุษย์ การก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีค่าเท่ากับ 0.0576 DALY ส่วนวิธีก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีค่าเท่ากับ 0.0574 DALY ด้านของระบบนิเวศน์ วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีค่าเท่ากับ 26,400 PDF*m^2*yr การก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีค่าเท่ากับ 24,300 PDF*m^2*yr และด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง วิธีการก่อสร้างด้วยระบบดั้งเดิม (Conventional) มีค่าเท่ากับ 39,700

$kgCO_2eq$ การก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) มีค่าเท่ากับ 34,500 $kgCO_2eq$ บ้านที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีค่ามากกว่าการก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) เช่นกัน เนื่องจากบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) เป็นระบบผนังรับน้ำหนัก ไม่มีโครงสร้างเสา คาน และไม่มีการฉาบผนังทั้งภายนอกและภายใน ทำให้มีการเหลือทิ้งของวัสดุก่อสร้างที่น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาตามรายกิจกรรมการก่อสร้างพบว่า วัสดุการก่อสร้างเป็นส่วนที่ทำให้เกิดผลกระทบมากที่สุด คือเหล็กซึ่งเป็นวัสดุที่ส่งผลกระทบมากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณที่มากที่สุดในการก่อสร้าง รองมาเป็นคอนกรีต กระจก และไม้ ตามลำดับ ในกิจกรรมการก่อสร้างที่ส่งผลกระทบมากที่สุด คือ งานโครงสร้าง เนื่องจากมีการใช้ปริมาณวัสดุในการก่อสร้างมากที่สุด รองมาเป็นงานผนัง งานหลังคา งานพื้น งานประตูหน้าต่าง และฝ้าเพดาน

นอกจากนี้เมื่อนำปัจจัยของการขนส่งมาทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยแบ่งออกเป็น 4 กรณี คือกรณีกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางที่แตกต่างกัน แต่ขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้การทดลองหลักในการหาปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นกรณีที่ตัดปัจจัยเรื่องขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างออกไป, กรณีที่ 2 เป็นการกำหนดปัจจัยเรื่องขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน, กรณีที่ 3 เป็นการกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางและขนาดของรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน และกรณีสุดท้ายเป็นการกำหนดปัจจัยเรื่องระยะทางในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เท่ากัน แต่ขนาดรถในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน จะพบว่ากรณีที่มีผลกระทบมากที่สุด คือกรณีระยะทางและขนาดของรถขนส่งในการขนส่งที่แตกต่างกัน รองมาเป็นกรณีระยะทางที่ไม่เท่ากันแต่ขนาดรถขนส่งเท่ากัน ตามด้วยระยะทางที่เท่ากัน แต่ขนาดรถขนส่งที่ไม่เท่ากัน และสุดท้ายระยะทางและขนาดรถขนส่งที่เท่ากันจึงทำให้ทราบว่าระยะมีผลกระทบปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่มากกว่าขนาดของรถขนส่ง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษานี้มีขอบเขตเฉพาะการศึกษาในขั้นตอนการก่อสร้าง โดยการศึกษายังไม่รวมถึงการใช้อาคาร และการรื้อถอนอาคาร จึงยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าบ้านที่ก่อสร้างด้วยวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Conventional) มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มากกว่าบ้านที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System) นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาถึงการใช้อาคาร และการรื้อถอนอาคารจะมีผลต่อกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับผู้ที่สนใจก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป (Precast System)

รายการอ้างอิง

Adheseal. (2563). Retrieved from http://bit.ly/2XOo1RU.

AUSIPILE. (2560). Retrieved from http://bit.ly/3u3E3DK

CJ Metallic (2022). เหล็กตัวซี (C Light Lip Channel). Retrieved from https://www.cj.co.th/c-light-lip-channel

CMWebOrigin. (2017). การออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยคำนึงระบบประสานพิกัด. Retrieved from https://bit.ly/3A9jOGn

ekoconception. (2003). Retrieved from http://www.ekoconception.eu/fr/wp-content/uploads/2013/03/PUBLI.01-Impact2002+_Jolliet2003.pdf

FIRM. (2562). Retrieved from http://bit.ly/3u2cRoS

Global house. (2022). กระเบื้องลอนคู่. Retrieved from https://globalhouse.co.th/Fillter/search/1?q=%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%99&gclid=Cj0KCQjwzdOlBhCNARIsAPMwjbwu173haD9KhWj03XL4tCABwgf3ROdJNhnOf4u41oBKHkGSZMPEDYoaAmajEALw_wcB

H.Birgisdottir and F.Nygaard Rasmussen. (2016). Introduction to LCA of Buildings. *Danish Transport and Construction Agency*.

hometips. (2012). ระบบภายในบ้าน. Retrieved from https://www.home.co.th/hometips/topic-29908

ISO Central Secretariat. (2556). Environmental management. 2565(24 August). Retrieved from http://www.iso.org/iso/theiso14000family_2009.pdf

iStock. (2015). โครงสร้างเหล็กของผนังกระจก Retrieved from https://citly.me/58Ydv

Jorakay. (2021). หลังคาเมทัลชีทมีกี่แบบ. Retrieved from https://www.jorakay.co.th/blog/owner/deck-and-roof/9-types-of-metal-sheet-roof

K.S.contrade. (2022). Retrieved from https://www.kscontrade.com/%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%A7%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%9

9%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%A5-%E0%B9%80%E0%B8%9F%E0%B8%AA2/img_5735-2/

leungchopan. (2019). Glass Wall Technology (EP.2) ระบบโครงสร้างผนังกระจก โครงสันกระจก (Glass Rib System). Retrieved from https://www.wazzadu.com/article/3835

Nalanie Mithraratne and Brenda Vale. (2004). Life cycle analysis model for New Zealand houses. *Building and Environment* 39, 483-492

novocon. (2021). Retrieved from https://www.novocon.co.th/tensionrod.php

Onestockhome. (2023). งานโครงสร้าง เหนือดิน งานพื้น. Retrieved from https://www.onestockhome.com/th/knowledge/floor

Onestockhome. (2563). Retrieved from https://www.onestockhome.com/th/knowledge/roof-home

PD HOUSE. (2022). หลังคา. Retrieved from https://www.pd.co.th/th/article/detail/92/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%9A%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99-%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88-2

PILINSERVICE. (2563). Retrieved from http://pilingservice.com/158

Pound concrete. (2554). Retrieved from http://bit.ly/3ieVjBc

PRS CERAMICS. (2022). กระเบื้องดินเผา. Retrieved from https://xn--12cfjb8g6bl2ezag5e8e9e.com/2021/07/12/scg-clay-roof-tiles/

QuinL. (2016). Retrieved from https://shorturl.asia/qdlnV

SCG Experirnce. (2562). Retrieved from https://citly.me/0sFHR

SGGENE. (2560). Retrieved from http://bit.ly/3zrSZN3

Siam urbana Development. (2016). บล็อกแก้ว. Retrieved from https://shorturl.asia/1ieV5

Smart home products. (2018). ติดตั้งผนังโครงเบาให้เข้ากับการใช้งาน. Retrieved from https://bit.ly/39NecH2

som.com. (2019). Retrieved from https://www.wazzadu.com/article/3785

WAZZADU. (2020). องค์ประกอบส่วนต่างๆของอาคารโครงสร้างไม้. Retrieved from https://www.onestockhome.com/th/knowledge/roof-home

Wongwaipiling. (2561). Retrieved from http://gestyy.com/epoCgu

YCR. (2560). อิฐมวลเบา หรือ คอนกรีตมวลเบา. Retrieved from https://shorturl.asia/pLJC7

กมลทิพย์ อรัญศิริ. (2553). การศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากวัสดุ และกระบวนการก่อสร้างบ้านด้วย วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป(*Precast Construction)* และวิธีก่อสร้างด้วยประกอบชิ้นส่วน (*Knock down).* (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

จระเข้. (2021). 5 วัสดุทำหลังคาโปร่งแสง. Retrieved from https://www.jorakay.co.th/blog/owner/deck-and-roof/how-many-type-of-translucent-roof

เจนจิรา กันภัย. (2562). การศึกษาเปรียบเทียบงานก่อสร้างห้องน้ำในอาคารสูงของระบบดั้งเดิมและระบบห้องน้ำสำเร็จรูป. (ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2551). โครงการวิจัยเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างอาคารโครงสร้างเหล็กและอาคารโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, 3-4.

ชลิตา สุวรรณ. (2563). การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างบ้านพักอาศัยเปรียบเทียบระหว่างบ้านแบบทั่วไปกับบ้านบล็อกประสาน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 570.

ช่างมันส์. (2560). Retrieved from https://bit.ly/2ZupgHj

ชาญชัย ธวัชเกียรติศักดิ์. (2547). การเปรียบเทียบระบบหล่อ ณ สถานที่ก่อสร้าง กับหล่อที่โรงงานของผนังระบบค.ส.ล.รับน้ำหนัก. (ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล. (2560). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ณัฐกานต์ สมตัว. (2553). การประเมินสรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของอาคารที่พักอาศัยโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยสุรนารี,

ณิชญา ถนอมพลรัง. (2557). การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเปรียบเทียบระหว่างการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบไฟฟ้าโครงข่าย. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

ไตรรัตน์ จารุทัศน์. (2535). ระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรม สำหรับที่พักอาศัยของผู้มีรายได้น้อยปานกลางเขตกรุงเทพมหานครและปริมามณฑล. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคหการ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

บริษัทไทย เนชั่นแนล โปรดัคท์ จำกัด. (2016). Spun Pile. Retrieved from https://www.tnpspunpile.com/th

บ้านและสวน. (2022). วัสดุมุงหลังคาแต่ละแบบ ดี ด้อย ต่างกันอย่างไร. Retrieved from https://www.baanlaesuan.com/193509/maintenance/roof-3

บุญถาวร. (2560). กระเบื้องหลังคา. Retrieved from https://www.boonthavorn.com/boonthavorn-wall-floor?gclid=Cj0KCQjwzdOlBhCNARIsAPMwjbwbCjo3t0x23LEvXROOOce8SdjwB9zkK41wD4_uwBSswZwom8Kqf3EaAlEbEALw_wcB

ปรรณวัฒน์. (2017). เสาเข็มเจาะคืออะไร. Retrieved from http://www.xn--22cm2ad5aj0cla5b9a5egrd2tcc5kzd.com/index.aspx?pid=f6a234cc-b9a5-44bf-87f6-5b5bbbad9e09

ประณีต กุลประสูติ. (2535). เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. 93-95.

พฤกษา เรียลเอสเตท. (2565). Retrieved from https://bit.ly/41IfXyF

มนตรี บุญนาค. (2540). การออกแบบเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจบานพักอาศัยในประเทศไทย. (ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,

มานี โตบารมีกุล. (2540). การศึกษาระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. (ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

รุ่งรัตน์ ลิ่มทองแท่ง. (2548). การเปรียบเทียบกระบวนการก่อสร้างที่อยู่อาศัยโดยระบบสำเร็จรูป กับระบบปกติ : กรณีศึกษาโครงการซื่อตรงรังสิต คลอง 3 จังหวัดปทุมธานี. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคหการ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ฤชา เหมสุทธิ์. (2563). การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตลวดเหล็กในยางรถยนต์. (ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

วีณา ชุติมานิตสกุล. (2552). การพัฒนากระบวนการผลิตมาเลอิกแอนไฮโดรด์ โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2563). Retrieved from www.kasikornresearch.com

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2547). คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. Retrieved from

สุกฤต อนันตชัยยง. (2545). การศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูประบบเสาคาน-คานกับการก่อสร้างแบบทั่วไป : กรณีศึกษาหมู่บ้านคุณาลัย บางขุนเทียน. (ปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

อัจฉรียา ชัยยะสมุทร. (2552). การประเมินวัฏจักรชีวิต และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย. (ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เวธินี ประภาธนานันท์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ปริญญาโท สาขาการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการระดับชาติ “สถาปัตย์กระบวนทัศน์” พ.ศ. 2566