



การวิเคราะห์พลังงานจากวัฏจักรอาคาร กรณีศึกษาอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์



โดย  
นายธีระชัย สุรโชติเวศย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์พลังงานจากวัฏจักรอาคาร กรณีศึกษาอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ANALYSIS LIFE CYCLE ENERGY OF BUILDING CONSTRUCTION : A CASE STUDY  
MULTI-PURPOSE BUILDING OF SILPAKORN UNIVERSITY



By  
MR. Teerachai SURACHOTIVET

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)  
Department of MECHANICAL ENGINEERING  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2018  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ การวิเคราะห์พลังงานจากวัฏจักรอาคาร กรณีศึกษาอาคาร  
อเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์  
โดย อีระชัย สุระโชติเวศย์  
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท  
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิบดีรินทร์ แสงสว่าง

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล เขตเจนการ )

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิบดีรินทร์ แสงสว่าง )

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา ศิริสมบุญ )

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(ดร. อีระนนทา ฤทธิมณี )

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์ )

58406205 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : พลังงานสะสม, ก๊าซเรือนกระจก, การก่อสร้างอาคาร, การขนส่ง, วัสดุก่อสร้าง

นาย ธีระชัย สุระโชติเวศย์: การวิเคราะห์พลังงานจากวัฏจักรอาคาร กรณีศึกษาอาคาร  
อเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิ  
บดินทร์ แสงสว่าง

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์พลังงานสะสมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการ  
ก่อสร้างของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวัง  
สนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มี 10 ชั้น มีพื้นที่การใช้สอย 17,000  
ตารางเมตร โดยใช้วิธี Life Cycle Energy (LCE) แบบ Gate to Gate การวิเคราะห์งานวิจัยนี้แบ่ง  
ออกเป็น 3 ส่วน คือ พลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง การขนส่ง และการใช้  
พลังงานในช่วงของการก่อสร้าง ตัวอาคารมีการใช้งานทั้งสิ้น 5 ส่วน คือ ฐานราก ลานจอดรถ ลาน  
อเนกประสงค์ ห้องพักและตาดฟ้าหลังคา จากการวิเคราะห์พบว่าในงานวิจัยนี้มีพลังงานสะสมทั้งสิ้น  
162,134,147.40 MJ แบ่งเป็นวัสดุก่อสร้าง 161,392,442.41 MJ การขนส่ง 643,934.89 MJ และ  
การก่อสร้าง 97,770.10 MJ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 14,386,918.71 kgCO<sub>2</sub>e มาจาก  
การใช้วัสดุ 14,322,490.18 kgCO<sub>2</sub>e การขนส่ง 47,879.62 kgCO<sub>2</sub>e การก่อสร้าง 16,548.91  
kgCO<sub>2</sub>e จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์มีพลังงานสะสมของ  
อาคาร 9,540 MJ/m<sup>2</sup> และมีการปริมาณก๊าซเรือนกระจก 846 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

58406205 : Major (ENERGY ENGINEERING)

Keyword : Embodied energy, Greenhouse gas, Building construction, Transport, Building materials

MR. TEERACHAI SURACHOTIVET : ANALYSIS LIFE CYCLE ENERGY OF BUILDING CONSTRUCTION : A CASE STUDY MULTI-PURPOSE BUILDING OF SILPAKORN UNIVERSITY THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. THIBORDIN SANGSAWANG

This research study embodied energy and greenhouse gas emissions in multipurpose building construction in Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand by Life Cycle Energy (LCE) with gate to gate . This reinforce concrete building has 10 floors and area of 17,000m<sup>2</sup>. This research is divided in to three phases. The first phase is to study the embodied energy and greenhouse gas of building materials. The second phase investigates the energy in transportation. The last phase is research on energy usage in on-site construction. This building has 5 parts; foundation, parking, multipurpose, residence area and roof-top area. The results show that the total embodied energy is 162,134,147 MJ, from building materials is 161,392,442.41 MJ, transport for 643,934.89 MJ and on-site construction for 97,770.10 MJ. The total greenhouse gas emission is 14,386,918.71 kgCO<sub>2</sub>e. There are from building materials 14,322,490.18 kgCO<sub>2</sub>e, transport for 47,879.62 kgCO<sub>2</sub>e and on-site construction for 16,548.91 kgCO<sub>2</sub>e. The embodied energy and greenhouse gas emission intensity of this building is 9,537 MJ/m<sup>2</sup> and 846 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดีจากการแนะนำและช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิบดีนทร์ แสงสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษาและ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการวิจัย อีกทั้งขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ ประธานกรรมการและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา ศิริสมบุญกรรมการสอบและอาจารย์ ดร.ธีรนน ทา ฤทธิมณีและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์ที่ให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่ ปริญญาานิพนธ์เป็นอย่างดีและให้ความรู้เพิ่มเติมในการสอบทำให้กระผมมีความรู้ใหม่ๆมากขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และผู้เกี่ยวข้องอื่นๆอีกหลายท่านที่มีได้ เอื้อนามได้ครบ ที่คอยรับฟังปัญหาและเป็นกำลังใจเสมอมา ความสำเร็จใดๆที่เกิดขึ้นขอบอบให้แก่ผู้มี พระคุณที่กล่าวมาข้างต้น ผู้จัดทำคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดประโยชน์แก่การ พัฒนาทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป

ธีระชัย สุระโชติเวศย์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1.1 สภาวะโลกร้อน (Global Warming).....	7
2.1.1.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ).....	8
2.1.1.2 ก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ).....	8
2.1.1.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) .....	8
2.1.1.4 ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) .....	8
2.1.1.5 ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ( $SF_6$ ) .....	9
2.1.1.6 เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) .....	9
2.1.2 พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (Energy of Construction) .....	10



2.1.2.1 ไฟฟ้า.....	10
2.1.2.2 น้ำประปา.....	11
2.1.2.3 เชื้อเพลิง.....	11
2.1.3 การวิเคราะห์วัฏจักรวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis) .....	12
2.1.3.1 Life Cycle Assessment .....	12
2.1.3.2 Life Cycle Energy Analysis .....	13
2.1.3.3 Life Cycle Economic Input – Output Analysis.....	14
2.1.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานงานในแง่ของวัฏจักรวงจรชีวิตของการก่อสร้าง (Energy Life Cycle Analysis of Construction) .....	18
2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ (Emission Factor of Material) .....	18
2.1.6 การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจก .....	20
2.1.6.1 การกำหนดขั้นตอนการคำนวณ .....	20
2.1.6.2 การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก .....	20
2.1.6.3 การคัดเลือกวิธีการคำนวณ.....	21
2.1.6.4 การคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจก ....	21
2.1.6.5 การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจก .....	22
2.1.7 การคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานและวัสดุ.....	23
2.1.7.1 การคำนวณ GHG ของวัสดุ .....	23
2.1.7.2 การคำนวณ GHG ของการขนส่ง .....	23
2.1.7.3 การคำนวณ GHG ของการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการก่อสร้าง .....	24
2.1.7.4 การคำนวณ GHG ของการใช้ไฟฟ้าสำหรับการก่อสร้าง .....	24
2.1.7.5 ผลรวมของ GHG.....	24
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	69

3.1 กำหนดขอบเขตและแนวทาง .....	69
3.2 การจำแนกการเก็บข้อมูล .....	70
3.2.1 วัสดุ.....	70
3.2.2 พลังงาน.....	71
3.2.2.1 ไฟฟ้า.....	71
3.2.2.2 เชื้อเพลิง.....	71
3.3 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก .....	71
3.4 แหล่งที่มาของข้อมูล.....	72
3.4.1 พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง.....	72
3.4.2 พลังงานที่สะสมในวัสดุ.....	72
3.5 รายละเอียดของอาคารที่นำมาใช้ในงานวิจัย .....	72
3.6 ขั้นตอนการก่อสร้าง.....	73
3.6.1 การก่อสร้าง.....	73
3.6.2 ไฟฟ้ารายเดือน .....	75
3.7 แผนการดำเนินงาน .....	75
3.8 สมการการคำนวณพลังงานสะสม.....	76
3.8.1 การคำนวณพลังงานสะสมของวัสดุ.....	76
3.8.2 การคำนวณพลังงานสะสมของการขนส่ง.....	76
3.8.3 การคำนวณพลังงานสะสมของการใช้พลังงานสำหรับการก่อสร้าง.....	77
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ .....	78
4.1 พลังงานสะสมในอาคาร (Embodied Energy).....	79
การใช้พลังงานจากวัสดุ .....	79
ก๊าซเรือนกระจกการใช้วัสดุก่อสร้าง.....	81
การใช้พลังงานจากโครงสร้างฐานราก.....	82

ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างฐานราก .....	83
การใช้พลังงานจากโครงสร้างลานจอดรถ.....	84
ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างลานจอดรถ .....	86
การใช้พลังงานจากโครงสร้างลานอเนกประสงค์ .....	87
ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างลานอเนกประสงค์ .....	89
การใช้พลังงานจากโครงสร้างห้องพัก.....	90
ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างห้องพัก .....	91
การใช้พลังงานจากโครงสร้างดาดฟ้าหลังคา .....	93
ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างดาดฟ้าหลังคา.....	94
4.1.2 การใช้พลังงานจากการขนส่ง .....	96
การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุฐานราก .....	99
การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างลานจอดรถ.....	101
การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างลานอเนกประสงค์ .....	102
การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างห้องพัก .....	103
การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างดาดฟ้าหลังคา .....	104
4.1.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการก่อสร้าง.....	105
การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนโครงสร้างฐานราก .....	106
การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนลานจอดรถ .....	107
การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนลานอเนกประสงค์.....	108
การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนห้องพัก .....	109
การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนดาดฟ้าหลังคา .....	111
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการก่อสร้าง .....	111
4.3 ปริมาณ Embodied Energy และ Greenhouse gas ต่อพื้นที่.....	113
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ .....	116

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	116
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	117
รายการอ้างอิง .....	118
ภาคผนวก ก.....	123
ภาคผนวก ข.....	174
ภาคผนวก ค.....	187
ภาคผนวก ง.....	189
ประวัติผู้เขียน.....	190



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ศักยภาพก๊าซเรือนกระจก .....	7
ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้พลังงาน(Embodied Energy)และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของวัสดุหลักที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก[9]) .....	19
ตารางที่ 3 ตารางแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง [12] .....	27
ตารางที่ 4 ตารางแสดงปริมาณและค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุก่อสร้าง [20] .....	29
ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบรูปแบบอาคารกับงานวิจัยอื่น [20].....	32
ตารางที่ 6 ตารางแสดงรายละเอียดของอาคารที่นำมาวิจัยและเปรียบเทียบ [21].....	37
ตารางที่ 7 ตารางแสดงขอบเขตและรายละเอียดของการวิจัย [11].....	38
ตารางที่ 8 ตารางค่าเฉลี่ยการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง [22].....	40
ตารางที่ 9 ต้นทุนการผลิตเหล็กทั้ง 2 วัฏจักร [23] .....	44
ตารางที่ 10 รายละเอียดการใช้วัสดุและการขนส่ง [24].....	45
ตารางที่ 11 รายละเอียดการใช้พลังงานในการก่อสร้าง [24] .....	45
ตารางที่ 12 รายละเอียดการใช้พลังงานในอาคาร [24].....	46
ตารางที่ 13 รายละเอียดของกิจกรรมและแหล่งที่มาของข้อมูล [25] .....	49
ตารางที่ 14 รายละเอียดของอาคารทั้ง 4 หลัง [26] .....	51
ตารางที่ 15 ตารางแสดงรายละเอียดของอาคารแต่ละอาคารที่นำมาวิเคราะห์ [29] .....	54
ตารางที่ 16 ตารางแสดงการใช้พลังงานของแต่ละอาคาร [29] .....	55
ตารางที่ 17 ตารางแสดงการใช้พลังงาน คาร์บอนและการใช้ไม้ของการก่อสร้างอาคารในรูปแบบต่างๆ [30].....	57
ตารางที่ 18 รายละเอียดของโรงแรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ [31].....	57
ตารางที่ 19 รายละเอียดของแต่ละโรงแรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ [31].....	58

ตารางที่ 20	รายละเอียดการใช้พลังงานในอาคาร [31].....	58
ตารางที่ 21	ตารางการเลือกกิจกรรมการใช้งานในการก่อสร้าง [33] .....	60
ตารางที่ 22	ตารางเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กับงานวิจัยอื่น [33] .....	61
ตารางที่ 23	ตารางการใช้พลังงานของของอาคารในช่วงของการก่อสร้าง [35] .....	63
ตารางที่ 24	ตารางแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคาร [35].....	64
ตารางที่ 25	วัสดุที่ใช้ในอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ .....	79
ตารางที่ 26	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างฐานราก .....	82
ตารางที่ 27	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างฐานราก .....	83
ตารางที่ 28	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานจอดรถ .....	85
ตารางที่ 29	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานจอดรถ .....	86
ตารางที่ 30	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานอเนกประสงค์.....	87
ตารางที่ 31	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานอเนกประสงค์.....	89
ตารางที่ 32	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างห้องพัก .....	90
ตารางที่ 33	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างห้องพัก .....	92
ตารางที่ 34	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างคาน้ำหลังคา.....	93
ตารางที่ 35	ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างคาน้ำหลังคา.....	95
ตารางที่ 36	ตารางแสดงรายละเอียดการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง .....	97
ตารางที่ 37	ตารางแสดงสรุปรายละเอียดพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนาม จันทร์ .....	113
ตารางที่ 38	ตารางเปรียบเทียบพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์และอาคารอื่น .....	114
ตารางที่ 39	ตารางเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์และอาคารอื่น .....	115

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบความต้องการใช้พลังงานของโลกที่จะเพิ่มขึ้น ระหว่างประเทศในและนอก กลุ่ม OECD [3].....	2
รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศในและนอกกลุ่ม OECD [3]3	
รูปที่ 3 ขอบเขตการวิเคราะห์ Life Cycle Assessment [4].....	4
รูปที่ 4 รูปแสดงการเกิดก๊าซเรือนกระจก [5].....	9
รูปที่ 5 รูปแสดงสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2559 [7].....	10
รูปที่ 6 แสดงลักษณะของการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis [10] .....	12
รูปที่ 7 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Cradle to Grave [15] .....	15
รูปที่ 8 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Cradle to Gate[15].....	15
รูปที่ 9 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Cradle to Cradle [16].....	16
รูปที่ 10 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Gate to Gate[15].....	17
รูปที่ 11 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Well to Wheel[15].....	17
รูปที่ 12 รูปแสดงขอบเขตของการวิจัย [12].....	25
รูปที่ 13 รายละเอียดของแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [12] .....	26
รูปที่ 14 รูปแสดงการเปรียบเทียบขอบเขตงานวิจัยอื่น [12].....	26
รูปที่ 15 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างอาคาร [12].....	27
รูปที่ 16 แสดงขอบเขตและขั้นตอนของงานวิจัย [20] .....	28
รูปที่ 17. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง [20].....	29
รูปที่ 18 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม [20].....	30
รูปที่ 19 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆในการก่อสร้าง [20] .....	30
รูปที่ 20. สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง [20].....	31

รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหลังคา [6].....	33
รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนัง [6].....	33
รูปที่ 23 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตวัสดุก่อสร้าง [6].....	34
รูปที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานสุดท้ายของอาคารที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน [6].	35
รูปที่ 25 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารตลอดวัฏจักร [6] .....	35
รูปที่ 26 กรอบการวิจัยและวิธีการวิจัย [21].....	36
รูปที่ 27 รายละเอียดแหล่งที่มาของข้อมูล [21].....	36
รูปที่ 28 ค่าเฉลี่ยของการผลิตวัสดุก่อสร้างและการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารทั้ง 2 แบบ [21] .....	37
รูปที่ 29 การใช้พลังงานและความแตกต่างในการผลิตและการก่อสร้าง [21].....	38
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 2 เทคโนโลยี [11].....	39
รูปที่ 31 พลังงานที่ใช้ในวัสดุ (GJ/ton) [22].....	40
รูปที่ 32 การใช้พลังงานของกรอบอาคารไม้และคอนกรีต [22].....	40
รูปที่ 33 Carbon balance ของกรอบอาคารไม้และคอนกรีต [22] .....	41
รูปที่ 34 รายละเอียดสถานการณ์ที่กำหนดในการทดลอง [14].....	42
รูปที่ 35 การใช้พลังงานของแต่ละสถานการณ์ [14] .....	42
รูปที่ 36 การปล่อย Greenhouse gas : GHG ของแต่ละสถานการณ์ [14].....	43
รูปที่ 37 วัฏจักรของเหล็กในการวิจัย [23].....	44
รูปที่ 38 สัดส่วนการปล่อย GHG ของการใช้พลังงานของอาคาร [24] .....	47
รูปที่ 39 สัดส่วนของ GHG ที่เกิดจากการใช้พลังงานของวัสดุ [24].....	47
รูปที่ 40 สัดส่วนของพลังงานสะสมในอาคาร [24].....	48
รูปที่ 41 ระบบของการวิจัย [25].....	48
รูปที่ 42 การใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัย [25].....	50
รูปที่ 43 การใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน [25].....	50



รูปที่ 44 ปริมาณการปล่อย Carbon Footprint (a) และ Energy Footprint (b) ของอาคารที่มีพื้นที่ ขนาดแตกต่างกัน [26] .....	51
รูปที่ 45 ของเขตการวิจัยแบบ Well to Wheel [27] .....	52
รูปที่ 46 การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง [27] .....	52
รูปที่ 47 ขั้นตอนการวิเคราะห์จากรูปแบบของ Life Cycle Analysis [28] .....	53
รูปที่ 48 สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคารในช่วงวัฏจักร [28] .....	53
รูปที่ 49 NPV ของอาคารแต่ละอาคาร [29] .....	55
รูปที่ 50 การใช้ไม้จากป่า [30] .....	56
รูปที่ 51 การปล่อยมลพิษของการใช้พลังงานในโรงแรมรายเดือน [31] .....	58
รูปที่ 52 กราฟเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษของไม้และเหล็กเสริมคอนกรีต [32] .....	59
รูปที่ 53 การปล่อยมลพิษช่วงของวัฏจักร [32] .....	59
รูปที่ 54 ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยและการวิเคราะห์ [34] .....	61
รูปที่ 55 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการก่อสร้าง [34] .....	62
รูปที่ 56 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการต่างๆของการก่อสร้าง [34] .....	62
รูปที่ 57 การใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจกของแต่ละระบบทั้ง 2 ตึก [35] .....	64
รูปที่ 58 ขอบเขตการวิเคราะห์งานวิจัย [36] .....	65
รูปที่ 59 พลังงานที่อาคารสะสมไว้ [36] .....	65
รูปที่ 60 ปริมาณคาร์บอนที่อาคารสะสมไว้ [36] .....	66
รูปที่ 61 แหล่งที่มาของพลังงานที่อาคารสะสม [36] .....	66
รูปที่ 62 กรอบการศึกษางานวิจัย [37] .....	67
รูปที่ 63 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้าง [37] .....	67
รูปที่ 64 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานและ Carbon balance [38] .....	68
รูปที่ 65 รูปแสดงขอบเขตการวิจัย .....	69
รูปที่ 66 แหล่งที่มาของการใช้พลังงาน .....	72

รูปที่ 67 อาคารที่ใช้ในการวิจัย.....	73
รูปที่ 68 แผนการดำเนินงาน.....	75
รูปที่ 69 แผนการดำเนินการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์.....	75
รูปที่ 70 อาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์.....	78
รูปที่ 71 สัดส่วน Embodied Energy ของการใช้วัสดุในอาคาร.....	80
รูปที่ 72 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้าง.....	81
รูปที่ 73 Embodied Energy โครงสร้างส่วนฐานราก.....	83
รูปที่ 74 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างฐานราก.....	84
รูปที่ 75 Embodied Energy โครงสร้างส่วนลานจอดรถ.....	85
รูปที่ 76 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างลานจอดรถ.....	87
รูปที่ 77 Embodied Energy โครงสร้างส่วนลานอเนกประสงค์.....	88
รูปที่ 78 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างลานอเนกประสงค์.....	90
รูปที่ 79 Embodied Energy โครงสร้างส่วนห้องพัก.....	91
รูปที่ 80 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างห้องพัก.....	92
รูปที่ 81 Embodied Energy โครงสร้างส่วนดาดฟ้าหลังคา.....	94
รูปที่ 82 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างดาดฟ้าหลังคา.....	96
รูปที่ 83 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุ.....	98
รูปที่ 84 Greenhouse gas จากการขนส่ง.....	99
รูปที่ 85 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนฐานราก.....	100
รูปที่ 86 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนลานจอดรถ.....	101
รูปที่ 87 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนลานอเนกประสงค์.....	102
รูปที่ 88 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนห้องพัก.....	103
รูปที่ 89 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนดาดฟ้าหลังคา.....	104
รูปที่ 90 สัดส่วนการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์.....	105

รูปที่ 91 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนฐานราก..... 106

รูปที่ 92 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนลานจอดรถ..... 107

รูปที่ 93 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนลานอเนกประสงค์..... 109

รูปที่ 94 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนห้องพัก..... 110

รูปที่ 95 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนดาดฟ้าหลังคา..... 111

รูปที่ 96 Greenhouse gas ของการใช้พลังงานในการก่อสร้าง..... 112

รูปที่ 97 กราฟแสดงการใช้พลังงานรวมในการก่อสร้างของอาคาร..... 112



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโลกประสบปัญหาด้านสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการใช้พลังงาน ปัญหาสภาพภูมิอากาศนั้นถือเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิที่สูงขึ้น ปัญหาภัยแล้งหรือระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นล้วนเกิดจากผลกระทบของของสภาวะโลกร้อน ซึ่งสภาวะโลกร้อนนั้นเกิดจากกลุ่มก๊าซ 6 ชนิด ซึ่งอ้างอิงตามพิธีสารเกียวโต[1] ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>), มีเทน (CH<sub>4</sub>), ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O), ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC), เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub>) สามารถเรียกรวมๆว่าก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas : GHG) ปกคลุมโลกทำให้โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงขึ้น

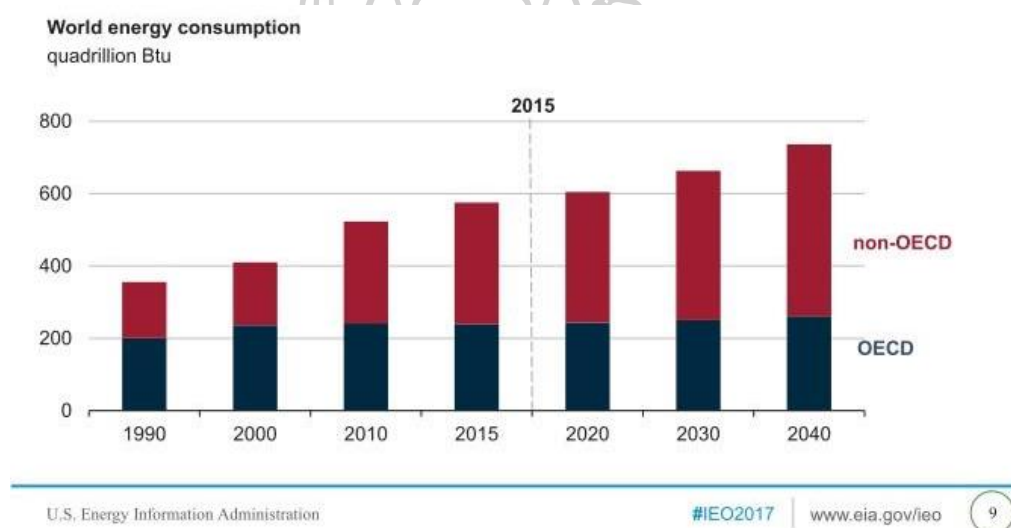
ซึ่ง IPCC[2] ได้คำนวณว่าอุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยที่ผิวโลกจะเพิ่มขึ้น 1.1-6.4 °C ใน ช่วง 100 ปี นับตั้งแต่ พ.ศ. 2544–2643 จึงทำให้ทั่วโลกมีการสนใจเรื่องเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมมากขึ้น ทั้งนี้ตามรายงานสรุปของเว็บไซต์ของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)[1] ได้ระบุว่าในปี 2016 ได้มีการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ยาวนานกว่า 2 สัปดาห์เพื่อหาข้อตกลงร่วมกันในการลดและควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก ในการประชุมครั้งนี้ได้มีนโยบายหลักคือการลดใช้พลังงานและหาพลังงานทดแทนต่างๆ มาทดแทนพลังงานหลักที่ใช้ในปัจจุบัน อีกทั้งยังต้องการให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นตามรายงานของ UNFCCC ระบุว่าโดยส่วนใหญ่ก๊าซเรือนกระจกจะถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เนื่องจากการใช้พลังงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นภาคพลังงาน ภาคการเกษตร ตลอดจนภาคการใช้ที่ดินและป่าไม้ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกนั้นเกิดขึ้นในกระบวนการที่แตกต่างกัน นอกจากนี้จากรายงานของ UNFCCC ยังได้ระบุว่าในภาคการใช้พลังงานนั้นมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดและยังมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ คิดเป็น 61.4% ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการใช้พลังงานนั้นได้รวมตั้งแต่การผลิตไฟฟ้า การขนส่ง และการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมของกระบวนการต่างๆในอุตสาหกรรม ในภาคการใช้พลังงานนั้น การใช้พลังงานไฟฟ้าสัดส่วนการใช้พลังงานที่มากที่สุดถึงร้อยละ 24.6 และรองลงมาคือการใช้พลังงานในภาคการขนส่งร้อยละ 13.5 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในภาคการใช้พลังงาน

สำหรับประเทศไทยจากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงานของไทยมีส่วนถึง 56% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ ประกอบด้วยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า การขนส่งและการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

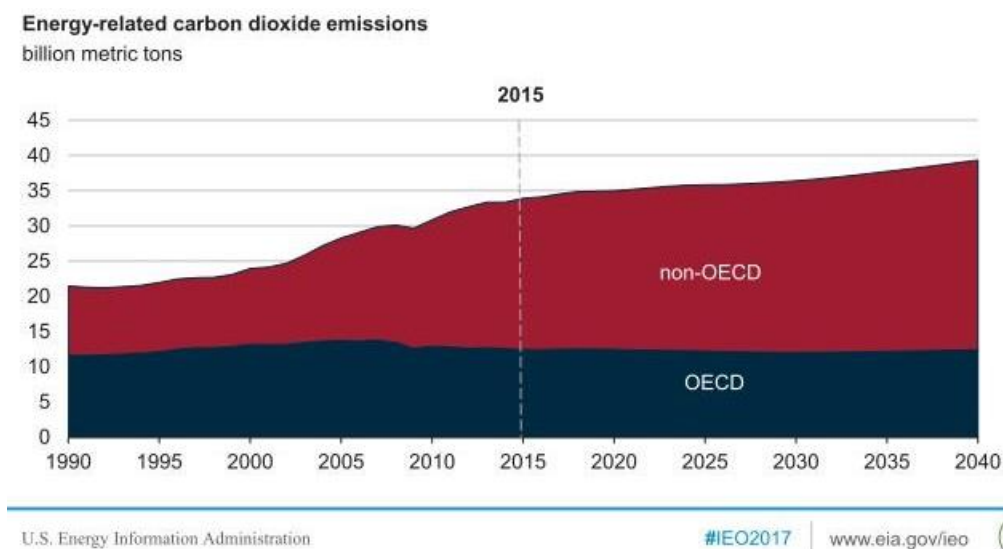
จากรายงานของ International Energy Outlook 2017 ที่จัดทำโดยสำนักบริหารสารสนเทศพลังงานของสหรัฐอเมริกา (US Energy Information Administration: EIA) คาดการณ์ว่าโลกจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 28 ระหว่างปี 2558-2583 โดยในรายงานได้คาดการณ์การใช้พลังงานของ 16 ภูมิภาคทั่วโลก แยกเป็นประเทศในกลุ่มองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development) หรือ OECD และประเทศนอกกลุ่ม OECD [3]



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบความต้องการใช้พลังงานของโลกที่จะเพิ่มขึ้น ระหว่างประเทศในและนอกกลุ่ม OECD [3]

ในปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นของโลก ประเทศนอกกลุ่ม OECD (ประเทศกำลังพัฒนา เช่น อินเดียและจีน) จะครองสัดส่วนถึงร้อยละ 84 โดยทวีปเอเชียจะมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นมากที่สุด จากการคาดการณ์เชื้อเพลิงที่จะมีความต้องการใช้เติบโตมากที่สุดจนถึงปี 2583 คือก๊าซธรรมชาติซึ่งมีอัตราการเติบโตร้อยละ 43 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด นอกจากนี้ EIA ยังคาดการณ์ว่าระหว่างปี 2558-2583 ประเทศในกลุ่ม OECD (ประเทศพัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย และประเทศในยุโรป) จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ขณะที่ประเทศนอกกลุ่ม OECD จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 5.5 พันล้านตัน สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาจะมี

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณที่ปล่อยในปี 2558 และน้อยกว่าปี 2548 ร้อยละ 19 โดยปี 2548 เป็นปีสหรัฐอเมริกาปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดคือ 6 พันล้านตัน



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศในและนอกกลุ่ม OECD [3]  
การใช้ก๊าซธรรมชาติที่เติบโตขึ้นเป็นผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีการขุดเจาะที่ทำให้ต้นทุนของก๊าซธรรมชาติมีราคาถูกกว่าถ่านหินและช่วยส่งเสริมการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศในกลุ่มและนอกกลุ่ม OECD อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านหินจะยังคงก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโลก และจีนจะยังคงใช้ถ่านหินมากที่สุดในโลก

ในปัจจุบันมีจำนวนประชากรเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมาก จึงทำให้มีการขยายพื้นที่ที่อยู่อาศัยและการพัฒนาชุมชนเมืองนั้นส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม อุตสาหกรรมอย่างไม่หยุดยั้ง การผลิตสินค้าปรับเปลี่ยนจากการผลิตระดับครัวเรือนไปสู่ระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้พอเพียงแก่ความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้ระบบการคมนาคมขนส่งเข้ามามีบทบาทมากขึ้น นอกจากการคมนาคมขนส่งแล้วยังมีการใช้พลังงานที่ได้จากธรรมชาติทำกิจกรรมอื่นๆ อีกมากมาย เช่นการใช้พลังงานยังเอื้ออำนวยความสะดวกสบายในด้านการคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม เกษตรกรรมอาคารพาณิชย์ ที่อยู่อาศัยล้วนต้องพึ่งพาพลังงานทั้งสิ้นโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาข้างต้นการใช้พลังงานของโลกที่ต้องการเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์จากอดีตปัจจุบันและอนาคตมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าประเทศไทยนั้นมีความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ เช่นเดียวกับประเทศอื่นๆ พลังงานที่ใช้ในประเทศไทยมาจากหลายแหล่งโดยส่วนใหญ่มาจากธรรมชาติและใช้แล้วหมดไปไม่สามารถสร้างขึ้นมาทดแทนได้อีก ยิ่งประชากรเพิ่มจำนวนขึ้นความต้องการใช้พลังงานก็ยิ่งมากขึ้นด้วย ประเทศไทยใช้พลังงานเพื่อการอุตสาหกรรมและ

คมนาคมเป็นส่วนมาก การดำเนินชีวิตประจำวันนั้นจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับการคมนาคมขนส่ง ซึ่งส่วนใหญ่ต้องใช้พลังงานจากธรรมชาติ ดังนั้นพลังงานจึงถือเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาประเทศในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านสังคม เศรษฐกิจหรือด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากทุกกระบวนการของทุกๆอุตสาหกรรมล้วนมีการใช้พลังงานทั้งสิ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าในประเทศไทยหรือแม้แต่ในโลกนี้ก็มีการใช้พลังงานทั้งสิ้น ซึ่งการใช้พลังงานนั้นย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อโลกเป็นอย่างมาก โดยส่วนใหญ่แล้วการใช้พลังงานต่างๆเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆขึ้นมาและการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นได้มีการนำเครื่องมือชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่างๆของผลิตภัณฑ์นั้นๆที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานตลอดจนการทำลายหรือการกำจัดซาก เพื่อนำมาใช้จัดการปรับปรุงกระบวนการต่างๆให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3 ขอบเขตการวิเคราะห์ Life Cycle Assessment [4]

จากรูปที่ 3 เป็นการขอบเขตของวิเคราะห์ของ Life Cycle Assessment ของ ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานและการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตของการวิเคราะห์นั้นในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 5 รูปแบบได้แก่ Cradle-to-grave, Cradle-to-gate, Cradle-to-cradle, Gate-to-gate และ Well-to-wheel การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นมีขั้นตอนการวิเคราะห์อยู่ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม
3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCA)
4. การตีความและการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis)

นอกจากการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว Life Cycle Assessment ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ได้อีกหลายประเภท เช่น การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic input-output life cycle assessment) หรือ การวิเคราะห์ทางด้านการใช้พลังงาน (Life cycle energy analysis)

การวิเคราะห์การใช้พลังงานหรือ Life cycle energy analysis : LCE เป็นการวิเคราะห์เฉพาะการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นของการผลิตภัณฑ์โดยหลักการคล้ายกับ Life Cycle Assessment คือ การวิเคราะห์การใช้พลังงานตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การใช้พลังงานในช่วงการผลิต การใช้พลังงานในการขนส่ง การใช้พลังงานในช่วงของการใช้งานและการใช้พลังงานในช่วงของการกำจัดซาก ซึ่งการใช้พลังงานในแต่ละช่วงนั้นจะมีค่าการใช้พลังงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

การวิเคราะห์ Life cycle energy analysis หรือ LCE นั้นจะทำให้ทราบถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ นอกจากจะทราบถึงผลของการใช้พลังงานแล้วยังสามารถคำนวณให้ออกมาอยู่ในรูปแบบของปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO<sub>2</sub>e) ในหน่วยของ kgCO<sub>2</sub>e จะสามารถบอกถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของก๊าซเรือนกระจกทั้ง 6 ชนิดที่ได้กล่าวไปข้างต้นประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>), มีเทน (CH<sub>4</sub>), ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O), ไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (HFC), เพอร์ฟลูโอโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub>) หลังจากที่ได้ทราบผลกระทบของการใช้พลังงานแล้วก็จะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เพื่อกำหนดแนวทางเพื่อการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานสะสมของวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ในอาคาร

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้พลังงานในการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง



1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้พลังงานในช่วงของการก่อสร้างอาคารจนถึงอาคารสร้างเสร็จ

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้พลังงานของการก่อสร้างอาคารจนถึงอาคารสร้างเสร็จและพร้อมใช้งาน (Gate to gate)

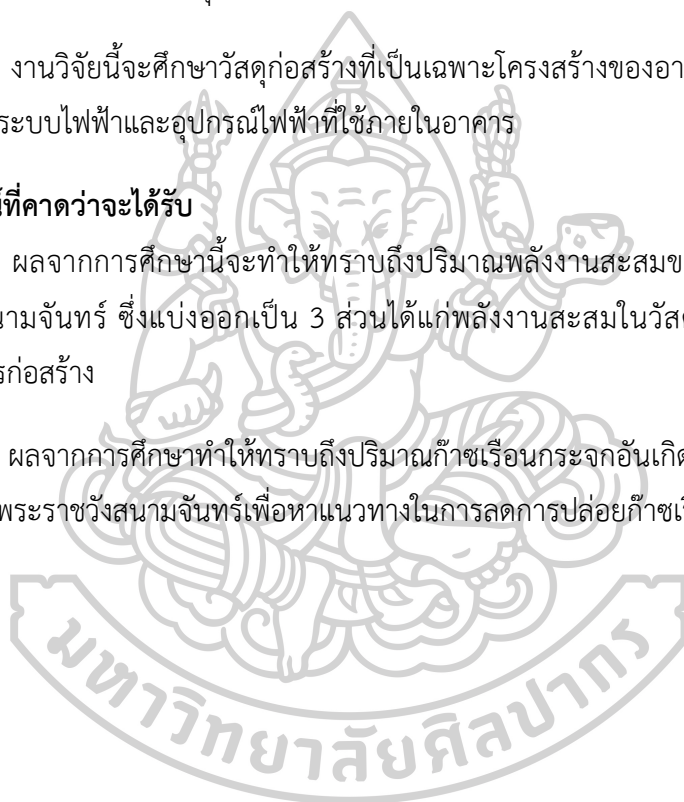
1.3.2 งานวิจัยนี้ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะวัสดุก่อสร้างเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ตกแต่งของอาคารอเนกประสงค์

1.3.3 งานวิจัยนี้จะศึกษาวัสดุก่อสร้างที่เป็นเฉพาะโครงสร้างของอาคารเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงระบบประปา ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลจากการศึกษานี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่พลังงานสะสมในวัสดุ การขนส่งและการใช้พลังงานในการก่อสร้าง

1.4.2 ผลจากการศึกษาทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกอันเกิดจากการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์เพื่อหาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งจะเป็นทฤษฎีเบื้องต้นเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจถึงเนื้อหา โดยมีหัวข้อดังนี้

2.1.1 สภาวะโลกร้อน (Global Warming)

2.1.2 พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (Energy of Construction)

2.1.3 การวิเคราะห์วัฏจักรวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis)

2.1.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานงานในแง่ของวัฏจักรวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Energy Life Cycle Analysis)

2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ (Emission Factor of Material)

2.1.6 การคำนวณก๊าซเรือนกระจก

2.1.1 สภาวะโลกร้อน (Global Warming)

สภาวะโลกร้อนเกิดจากกลุ่มก๊าซ 6 ชนิดซึ่งอ้างอิงตามพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) หรือเรียกโดยรวมว่าก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas : GHG) ที่สรุปข้อมูลโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วย

ตารางที่ 1 ศักยภาพก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	200-450	1
มีเทน (CH <sub>4</sub> )	9-15	23
ไนตรัสออกไซด์ (N <sub>2</sub> O)	120	296
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	100	10,600
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF <sub>6</sub> )	3,200	22,000
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	50,000	5,700

### 2.1.1.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

เกิดจากการกระทำของมนุษย์และก็รวมไปถึงธรรมชาติด้วย เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ การตัดไม้ทำลายป่า การเผาขยะ การระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น จากผลการศึกษาของหน่วยงานที่มีชื่อว่า IPCC พบว่า การตัดไม้ทำลายป่า เพื่อการก่อสร้างหรือทำการเกษตรนั้นมีประมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 1.6 ตันคาร์บอนต่อปีและปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่สะสมพลังงานความร้อนมากกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นตามรายงานของพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ได้ระบุว่ามียุอายุในชั้นบรรยากาศประมาณ 200-450 ปี [1]

### 2.1.1.2 ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>)

ก๊าซมีเทน (Methane) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นแก๊สไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สธรรมชาติ แก๊สมีเทนอาจได้มาจากการหมักมูลสัตว์และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงราคาถูก ก๊าซมีเทนอาจพบได้ในชั้นถ่านหิน (Coal Bed Methane) โดยจากกระบวนการเกิดถ่านหินทำให้ก๊าซสะสมตัวและกักเก็บอยู่ในช่องว่างในเนื้อถ่านหิน ก๊าซมีเทนนั้นมีศักยภาพที่จะทำให้โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 23 เท่าแต่มีอายุอยู่ในชั้นบรรยากาศเพียง 11 ปี [1]

### 2.1.1.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O)

มีแหล่งกำเนิดก๊าซ คือ อุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกในขบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยไนลอน อุตสาหกรรมเคมี หรืออุตสาหกรรมพลาสติกบางชนิด เป็นต้น แม้ว่าก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่เกิดจากธรรมชาติจะมีอยู่มากในภาวะปกติก็ตาม แต่อัตราการเพิ่มปริมาณดังกล่าวก็จัดอยู่ในภาวะที่สมดุลในธรรมชาติส่วนก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากฝีมือมนุษย์นั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการเพิ่มพลังงานความร้อน ก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้นมีศักยภาพที่จะทำให้โลกร้อนถึง 296 เท่าเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีอายุประมาณ 120 ปี [1]

### 2.1.1.4 ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)

เป็นสารสังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งเป็นสารที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้นเนื่องจากมีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 20,000 เท่ามีอายุในชั้นบรรยากาศสูงสุดถึง 260 ปีซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องทำความเย็นในตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ โฟม กระจ่างสปริง สารดับเพลิง สารชะล้าง ในอุตสาหกรรม

อิเล็กทรอนิกส์ ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนจะมีอายุอยู่ในชั้นบรรยากาศเพียง 9-12 ปีแต่มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 12-12,000 เท่า [1]

#### 2.1.1.5 ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub>)

ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ เป็นก๊าซโพลีแลนต์ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ไวต่อปฏิกิริยา มีความหนาแน่น 6.13 G/L ที่ระดับน้ำทะเล มากกว่าอากาศ 6 เท่า ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลาย นิยมใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะในการผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์เกียร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูง ก๊าซชนิดนี้มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 22,000 เท่าและมีอายุอยู่ในชั้นบรรยากาศถึง 3,200 ปี [1]

#### 2.1.1.6 เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)

เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 5,700 ถึง 10,000 เท่า และมีอายุในบรรยากาศสูงสุด 50,000 ปี เพอร์ฟลูออโรคาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ของการหลอมอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า และใช้แทนสารเคมีที่ทำลายชั้นโอโซนต่างๆแต่อย่างไรก็ตามเพอร์ฟลูออโรคาร์บอนก็ยังถือเป็นก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน [1]



รูปที่ 4 รูปแสดงการเกิดก๊าซเรือนกระจก [5]

ซึ่งก๊าซเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศแล้วก็จะไปห่อหุ้มโลกเอาไว้ เนื่องจากกลุ่มก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดซับรังสีอินฟราเรด ดังนั้นเมื่อมีก๊าซเหล่านี้มากขึ้นก็จะทำให้มีการดูดซับรังสีที่ถูกส่งมาจากดวงอาทิตย์มากขึ้นและเมื่อดูดเข้ามาในปริมาณที่มากแล้วก็จะทำให้โลกของเรามี

อุณหภูมิที่สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากความร้อนของดวงอาทิตย์ที่ส่งเข้ามาไม่สามารถทะลุออกไปได้ ทั้งหมดจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในโลกซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

### 2.1.2 พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (Energy of Construction)

A.Dodoo [6] ได้ระบุว่าในการก่อสร้างต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นบ้าน อาคาร สำนักงาน ฯลฯ ล้วนแต่ต้องมีการใช้พลังงานในการก่อสร้างทั้งสิ้น ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงพลังงานหลักๆที่ใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่

#### 2.1.2.1 ไฟฟ้า

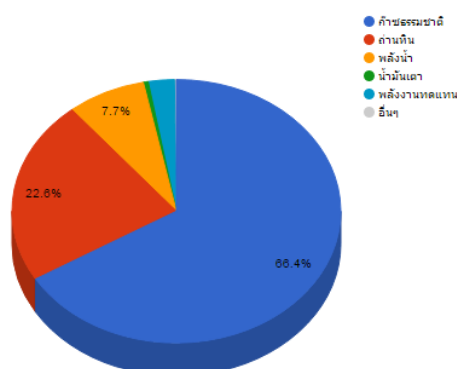
#### 2.1.2.2 น้ำประปา

#### 2.1.2.3 เชื้อเพลิง

##### 2.1.2.1 ไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีการใช้ค่อนข้างมากซึ่งการผลิตไฟฟ้านั้นแต่ละสถานที่ก็จะมี ความแตกต่างกันเมื่อมีการผลิตไฟฟ้าที่ต่างกันก็จะส่งมลพิษหรือก๊าซเรือนกระจกที่ต่างกัน จากข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย[7] ระบุว่าในปี 2559 ประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิง ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติเป็นหลักซึ่งคิดเป็นสัดส่วนถึง 66.4% จากทั้งหมดซึ่งสามารถ แสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 2.2

สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2559



รูปที่ 5 รูปแสดงสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2559 [7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นไฟฟ้าที่ได้จากก๊าซธรรมชาติ จากข้อมูลของ Thai National LCI Database/MTEC [8] ได้ระบุว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 0.6093 kgCO<sub>2</sub>/kWh จากข้อมูลของสมาคมอุตสาหกรรมไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์พบว่าในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศไทยปี 2559 มีการขยายตัวถึง 23.9% และมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นอีกกว่า 20% ในปี 2560 จึงทำให้สามารถทำนายได้ว่าจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น ในการก่อสร้างนั้นไฟฟ้าถูกนำมาใช้เกือบทั้งหมดของการก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นการให้แสงสว่าง งานเชื่อม งานตัด ตลอดจนการตกแต่งโครงสร้าง จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญและจำเป็นมากสำหรับการก่อสร้าง

### 2.1.2.2 น้ำประปา

ในการก่อสร้างน้ำประปาถือเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการก่อสร้างต่างๆตั้งแต่การผสมปูน การทำความสะอาด รวมไปถึงการอุปโภคบริโภคต่างๆในช่วงของการก่อสร้าง ในการผลิตน้ำประปานั้นจะมีกระบวนการต่างๆเพื่อเปลี่ยนจากน้ำดิบมาเป็นน้ำประปาเพื่อนำไปใช้ในชีวิตประจำวันและงานต่างๆ ตลอดจนไปถึงภาคอุตสาหกรรมต่างๆซึ่งรวมไปถึงอุตสาหกรรมก่อสร้างด้วย จากข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย[9] ระบุว่าก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำประปาอยู่ที่ 0.7043 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> และจากข้อมูลของการประปานครหลวงประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้น้ำที่สูงเพิ่มมากขึ้นทำให้การใช้น้ำมีปริมาณที่สูงขึ้นตามเมื่อมีการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย สำหรับการก่อสร้างอาคารนี้ได้มีการนำน้ำประปาใช้งานโดยการต่อท่อมาที่บริเวณก่อสร้างและกักเก็บไว้ในแทงค์น้ำโดยมีการใช้ปั๊มน้ำเพื่อเพิ่มแรงดันน้ำ

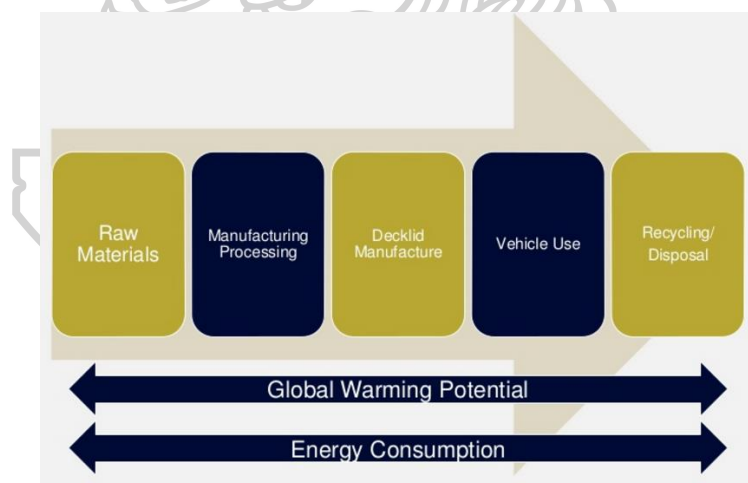
### 2.1.2.3 เชื้อเพลิง

การใช้เชื้อเพลิงในการก่อสร้างมีหลายหลายรูปแบบด้วยกันไม่ว่าจะเป็นการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง การใช้เชื้อเพลิงในสถานที่ก่อสร้าง ตลอดจนการใช้เชื้อเพลิงในการรื้อถอน เชื้อเพลิงที่ใช้ในการก่อสร้างมีหลายหลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมัน การก่อสร้างในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งมากที่สุดและเชื้อเพลิงดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันดีเซลและจากข้อมูลของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) [2] พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ที่ 2.7080 kgCO<sub>2</sub>/liter ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางและน้ำหนักที่บรรทุกวมไปถึงประเภทรถที่ใช้บรรทุกซึ่งมีความแตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำจึงจะใช้ข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจริงจากใช้งานต่างๆตั้งแต่การขนส่งวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างและการขนส่งเครื่องจักร สำหรับการใช้เชื้อเพลิงในการก่อสร้างอาคารนี้ได้มีการใช้เชื้อเพลิงตั้งแต่การขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง การปรับพื้นที่โดยใช้รถแบคโฮ เลื่อยยนต์ ตลอดจนรถไถ

### 2.1.3 การวิเคราะห์วัฏจักรวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis)

การวิเคราะห์การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis) เป็นการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตในช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยเริ่มตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบต่างๆตลอดจนการกำจัดซากหลังการใช้งาน เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการในรูปแบบต่างๆ จากรูปที่ 2.3 แสดงหลักการและขอบเขตของการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์นั้นจะเริ่มต้นจากในส่วนของการผลิตวัตถุดิบ ผลิตวัสดุ ใช้งาน และการรีไซเคิลหรือการกำจัดซาก ในแต่ละช่วงนั้นจะมีการใช้พลังงานหรือสิ่งที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis นั้นจากการศึกษางานวิจัยต่างๆสามารถสรุปได้ว่าปัจจุบันได้มีการแบ่งการวิเคราะห์หลักๆออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

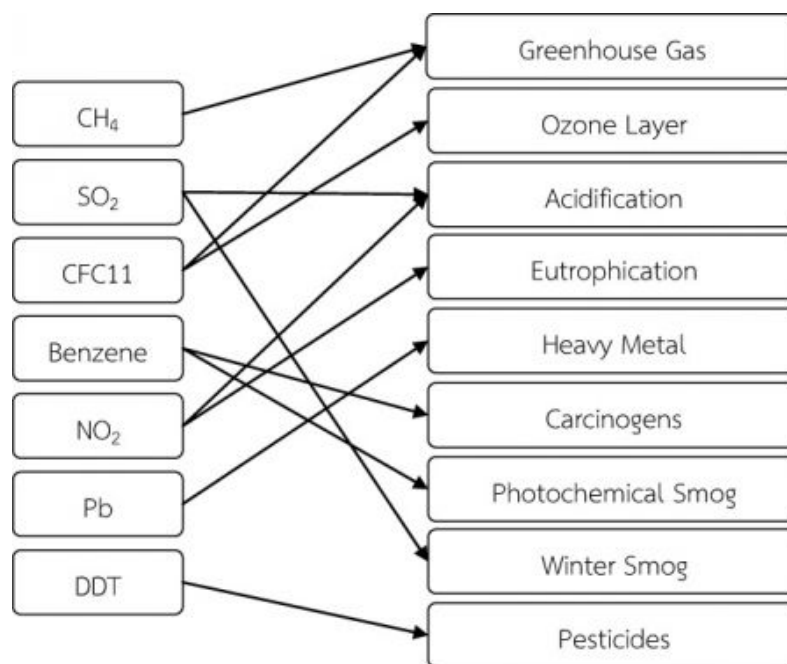


รูปที่ 6 แสดงลักษณะของการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis [10]

#### 2.1.3.1 Life Cycle Assessment

เป็นการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่างๆตลอดทั้งวัฏจักร ตั้งแต่การสกัด การผลิต การประกอบ การใช้งาน การบำบัด ตลอดจนการกำจัดซากภายหลังการใช้งาน โดยในงานวิจัยจะมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกมา

สู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพของชุมชน โดยจุดประสงค์ของการวิเคราะห์เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์ Life Cycle Assessment นั้นจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกแล้วจัดกลุ่มของผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยแบ่งได้ดังนี้



การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

(Goedkoop et al., 1996)

ภายหลังจากการจัดจำแนกประเภทของผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมแล้วก็จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่างเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

### 2.1.3.2 Life Cycle Energy Analysis

เป็นการประเมินการใช้พลังงานต่างๆที่เกิดขึ้นโดยตรงตลอดทั้งวัฏจักรของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่างๆของผลิตภัณฑ์และปรับปรุงการใช้พลังงานนั้นให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการวิเคราะห์ Life Cycle Energy Analysis หรือ LCEA นั้นจะมีรูปแบบการวิเคราะห์ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับ Life Cycle Assessment คือจะวิเคราะห์กระบวนการต่างๆตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานตลอดจนการกำจัดซากแต่จะวิเคราะห์เพียงแต่เฉพาะในส่วนของการใช้พลังงานเท่านั้น ซึ่งพลังงานที่มีการนำมาวิเคราะห์ประกอบไปด้วย ไฟฟ้า เชื้อเพลิงและน้ำประปา พลังงานนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่พลังงานที่ตัวผลิตภัณฑ์กัก



เก็บไว้และพลังงานงานที่เกิดจากการใช้งานของผลิตภัณฑ์ พลังงานที่ผลิตภัณฑ์สะสมไว้หรือ Embodied Energy คือพลังงานที่เกิดจากการผลิตวัสดุและการนำวัสดุมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ พลังงานที่เกิดจากการใช้งานหรือ Operation Energy คือพลังงานที่เกิดจากการใช้งานผลิตภัณฑ์นั้น สำหรับอาคารจะมีการพลังงานสะสมหรือ Embodied Energy ที่เกิดขึ้นคือตัววัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารรวมถึงการใช้พลังงานในช่วงของการก่อสร้างอาคาร ส่วนพลังงานที่เกิดจากการใช้งานหรือ Operation Energy ของอาคารคือพลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงของการใช้งานอาคารนั่นเอง

### 2.1.3.3 Life Cycle Economic Input – Output Analysis

เป็นการวิเคราะห์อุปสงค์ อุปทาน และเศรษฐศาสตร์ด้านอื่นๆโดยรวมของระบบ โดยวิธีการนี้จะวิเคราะห์ตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆทางด้านเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ และทำการวางแผนปรับปรุงต่อไป แต่ข้อเสียของวิธีนี้จะคำนึงถึงด้านอื่นนอกจากด้านเศรษฐศาสตร์เท่านั้น จึงทำให้บางครั้งผลที่ออกมาจากการวิเคราะห์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก แต่หากจะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้มีผลกระทบน้อยก็จะมีมูลค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis นั้นจะขอบเขตในการมีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่นำมาวิเคราะห์ ปัจจุบันการวิเคราะห์ Life Cycle มีการแบ่งขอบเขตการวิเคราะห์ได้ 5 รูปแบบดังนี้

#### 1. Cradle to Grave

การวิเคราะห์แบบ Cradle to Grave คือการวิเคราะห์ทั้งวัฏจักรโดยเริ่มตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ การผลิตวัสดุ การประกอบ การใช้งาน การจัดจำหน่าย การใช้งานตลอดจนการกำจัดซากหรือการรีไซเคิลวัสดุหลังจากการใช้งานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ลักษณะนี้ได้รับความนิยมนอย่างมาก เช่น Nässén et al. [11] , Hui Yan et al.[12], Chen et al.[13], Hui Gao et al. [14] เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์แบบครบวัฏจักร ทำให้ทราบแหล่งที่มาของสิ่งต่างๆได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 7 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Cradle to Grave [15]

## 2. Cradle to Gate

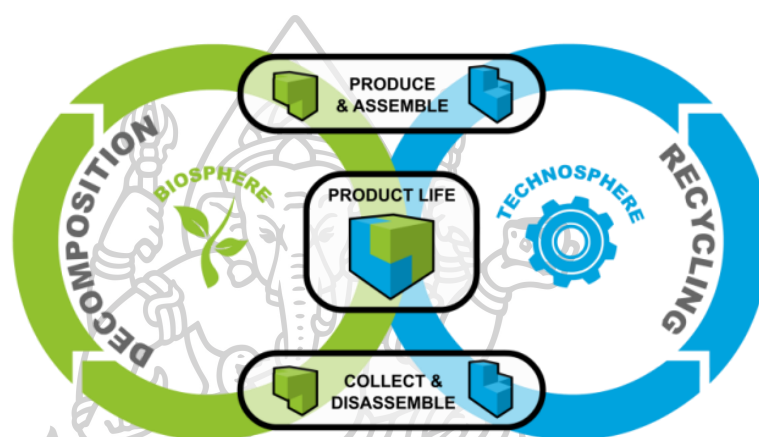
การวิเคราะห์แบบ Cradle to Gate เป็นการวิเคราะห์ตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ การผลิตวัสดุ การประกอบจนพร้อมใช้งานซึ่งไม่ได้รวมถึงการใช้งานและการกำจัดซากหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์เพียงครึ่งวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เท่านั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 การวิเคราะห์ลักษณะนี้ มักจะนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานค่อนข้างยาวนานหรือไม่สามารถระบุได้ว่า จะใช้งานเมื่อใดรวมถึงการบำรุงรักษาเมื่อใดบ้าง ตัวอย่างเช่น อาคาร เครื่องจักร รถยนต์ เป็นต้น เช่น Hong et al. (2015) และ Heravi et al. (2016) เนื่องจากอนาคตนั้นอาจมีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการกำจัดซากเข้ามาใช้งาน



รูปที่ 8 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Cradle to Gate[15]

## 3. Cradle to Cradle

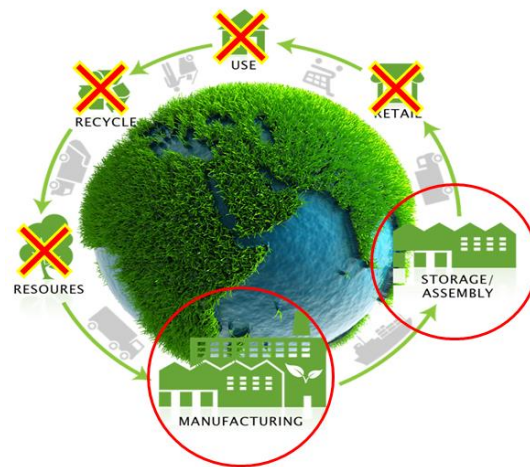
การวิเคราะห์ลักษณะนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะนำส่วนที่เป็นของเหลือจากการใช้งานมาทำการ Recycle ทั้งหมดเพื่อให้ได้วัตถุดิบหรือวัสดุใหม่ขึ้นมาเพื่อให้ของเหลือที่เกิดจากวัฏจักรของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับศูนย์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้เริ่มมีการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น Peng Wang et al. (2017) ได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบความเป็นไปได้ของการ Recycle เหล็กในรูปแบบต่างๆโดยคิดตามลักษณะ Cradle to Cradle และ Niero et al. (2016) ได้ทำการวิเคราะห์ Cradle to Cradle ของการใช้กระป๋องอลูมิเนียม เป็นต้น



รูปที่ 9 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Cradle to Cradle [16]

#### 4. Gate to Gate

เป็นการคำนวณเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิตถึงพร้อมใช้งานเท่านั้นไม่ได้คำนวณในส่วนของการผลิตวัตถุดิบ การใช้งานและการกำจัดซาก ซึ่งโดยส่วนมากวิธีการลักษณะนี้มักนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถระบุอายุการใช้งานและประเภทที่นำไปใช้งานได้ เช่น Buchanan et al. (1999) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการผลิตและแปรรูปไม้ที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งไม่ได้นับรวมถึงการใช้งานจะคิดแค่แปรรูปไม้เสร็จเท่านั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 10 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Gate to Gate[15]

#### 5.Well to Wheel

เป็นการคำนวณเฉพาะในส่วนของการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงในการขนส่งตลอดทั้งวัฏจักร ตั้งแต่การสกัดจนถึงการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่จะใช้การคำนวณนี้กับผลิตภัณฑ์ที่มีการขนส่งจำนวนมาก เช่น Rahman et al. (2015) ได้วิเคราะห์การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งน้ำมันดิบในอเมริกาเหนือ หรือ Bicer et al. (2016) ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งของยานพาหนะโดยอาศัยรูปแบบการวิเคราะห์แบบ Well to Whell



รูปที่ 11 รูปแสดงวัฏจักรของการวิเคราะห์ Life Cycle แบบ Well to Wheel[15]

#### 2.1.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานงานในแง่ของวัฏจักรวงจรชีวิตของการก่อสร้าง (Energy Life Cycle Analysis of Construction)

ในงานวิจัยของ Panagiotis et al. [17] , Xining Yang et al [18] และ Luisa F.Cabeza et al [19] ได้ระบุตรงกันว่าในการวิเคราะห์การใช้พลังงานในแง่ของวัฏจักรวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นจากที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.3.4 จะเป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในส่วนของการก่อสร้างนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ตั้งแต่เริ่มผลิตวัสดุก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นการระเบิดภูเขาเพื่อให้ได้ปูน การถลุงแร่เพื่อให้ได้เหล็ก การตัดไม้เพื่อมาทำไม้แบบ ฯลฯ ต่อมาก็จะเป็นในส่วนของการแปรรูปวัสดุเช่น การหลอมเหล็ก โม่ปูน หรือขึ้นรูปพลาสติก หลังจากที่ได้ผลิตภัณฑ์แล้วก็จะเป็นส่วนของการเริ่มก่อสร้างที่จะต้องมีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ภายหลังจากการสร้างเสร็จแล้วก็จะเกิดการใช้พลังงานในช่วงของการใช้งานอาคารซึ่งจากการศึกษางานวิจัยอื่นๆพบว่าในช่วงที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการใช้งานค่อนข้างนานจึงทำให้มีการพลังงานที่ใช้สะสมไว้เป็นปริมาณมาก เมื่อสิ้นสุดการใช้งานก็จะเป็นในส่วนของการทำลายหรือการกำจัดซากโดยการกำจัดซากก็จะมีการใช้พลังงานในส่วนของการรื้อถอนและการกำจัดซาก โดยการรื้อถอนก็จะมีการใช้พลังงานในการรื้อถอน ส่วนการกำจัดซากนั้นอาจนำไปรีไซเคิลหรืออาจนำไปฝังกลบนั้นต้องพิจารณาต่อไป

นอกจากการใช้พลังงานจากอาคารทั้งวัฏจักรที่กล่าวไปข้างต้นแล้วยังมีส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการในวัฏจักรนั้นคือการขนส่งและการซ่อมแซมบำรุงรักษาในการขนส่งนั้นจากที่เคยกล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงนั้นจะขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่น ระยะทาง น้ำหนักที่บรรทุกรวมไปถึงประเภทรถที่ใช้ตั้งนั้นในส่วนของการขนส่งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำจึงควรทำการเก็บข้อมูลจริงจากหน้างานเท่านั้น ในส่วนของการซ่อมแซมบำรุงรักษาอาคารแต่ละอาคารนั้นมีการบำรุงรักษาที่แตกต่างกันการใช้งานก็แตกต่างกันดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากในการเก็บข้อมูลจึงทำให้งานวิจัยส่วนใหญ่จึงมองข้ามในส่วนนี้ไป

#### 2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ (Emission Factor of Material)

ในการก่อสร้างนั้นก็จะมีวัสดุที่หลากหลายที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างและวัสดุที่จะนำมาใช้แต่ละประเภทก็จะมีค่าการใช้พลังงานต่างในการผลิตซึ่งในงานวิจัยนี้จะมองในมุมของการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้นเราสามารถนำเอาข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกมาใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ในการก่อสร้างวัสดุหลักๆที่ใช้ใน

การก่อสร้างครั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF) ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งอัปเดตล่าสุดเมื่อกุมภาพันธ์ 2562

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้พลังงาน(Embodied Energy)และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของวัสดุหลักที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก[9])

รายการ	หน่วย	Embodied Energy (MJ/kg)	GHG (kgCO <sub>2</sub> e/kg)
เหล็ก	kg	35.4	2.89
คอนกรีต	Kg	4.5	0.74
ทราย	Kg	0.081	0.0051
ไม้	Kg	10.00	0.31
PVC	Kg	77.2	3.10
กระจก	Kg	15.00	0.91
อลูมิเนียม	Kg	155	9.16
สแตนเลส	kg	56.7	6.15
อิฐ	kg	3.00	0.24

สำหรับค่าพลังงานสะสม (Embodied Energy : EE) นั้นคือค่าการใช้พลังงานต่างๆในช่วงผลิตผลิตภัณฑ์หรืออาจกล่าวได้ว่าพลังงานที่สะสมของผลิตภัณฑ์นั้นมาจากพลังงานที่มาจากการผลิตวัตถุดิบที่จะนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์จึงถือได้ว่าเป็นพลังงานสะสมของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีหน่วยเป็น MJ/kg (เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission) เป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มาจากวัสดุที่ใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์มีหน่วยเป็น kgCO<sub>2</sub>e/kg (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัม)

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่ากลุ่มวัสดุที่เป็นโลหะจะมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูงหรือสามารถอธิบายอีกนัยหนึ่งได้ว่าในงานกลุ่มโลหะนั้นกว่าจะมาเป็นวัสดุที่พร้อมใช้งานนั้นจะผ่านกระบวนการต่างๆที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงจึงทำให้ตัวเลขต่างๆนั้นมีค่าสูงดังที่แสดงไว้ในตารางข้างต้น

#### 2.1.6 การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วย

##### 2.1.6.1 การกำหนดขั้นตอนการคำนวณ

องค์กรต้องคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตขององค์กรอย่างครบถ้วนเท่าที่จะทำได้และบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรตามขั้นตอนดังนี้

- 1) การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก
- 2) การคัดเลือกวิธีการคำนวณ
- 3) การคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจก
- 4) การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเตอร์การปล่อยเรือนกระจก (GHG Emission Factors) หรือ ค่าแฟกเตอร์การดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (GHG Removal Factors)
- 5) การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

##### 2.1.6.2 การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก

องค์กรต้องระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆภายในขอบเขตขององค์กรและบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร องค์กรควรแยกบันทึกปริมาณไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกลำเลียงเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร หากองค์กรทำการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ก็ควรแยกบันทึกแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมนั้นๆ

### 2.1.6.3 การคัดเลือกวิธีการคำนวณ

องค์กรต้องคัดเลือกและใช้วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาอย่างถูกต้องไม่ขัดแย้งกันและช่วยลดความไม่แน่นอนอย่างสมเหตุสมผล โดยองค์กรสามารถเลือกวิธีการใดก็ได้แต่ต้องมีเหตุผลประกอบและต้องแสดงคำอธิบายหากมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณที่เคยใช้มาก่อน

#### วิธีการคำนวณสามารถทำได้ดังนี้

##### 1) จากการตรวจวัด

ทำการตรวจวัดปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกโดยตรง ณ แหล่งปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องหรือเว้นช่วงเป็นระยะโดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์การตรวจวัดที่ได้มาตรฐานตามวิธีการตามมาตรฐานสากลซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่มีความถูกต้องสูง

##### 2) จากการคำนวณ

การหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างโมเดลหรือการทำสมการมวลสารสมดุลหรือการวิเคราะห์สหสัมพันธ์หรือการคำนวณโดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นภายในองค์กรคูณกับค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกและแสดงผลให้อยู่ในรูปของกิโลกรัมคาร์บอน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจก

##### 3) จากการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณ

องค์กรสามารถหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณได้

ตัวอย่างเช่น การนำข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่จัดเก็บและข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งได้จากการตรวจวัดมาทำการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยอาศัยสมการมวลสารสมดุล เป็นต้น

### 2.1.6.4 การคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจก

หากมีการใช้ข้อมูลกิจกรรมประกอบการคำนวณต้องมีการคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ขัดแย้งกับวิธีการคำนวณที่ได้เลือกไว้ ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดควรได้รับการบันทึกไว้ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์และทวนสอบได้อีกอย่างน้อย 2 ปี



### 2.1.6.5 การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

หากมีการใช้ข้อมูลกิจกรรมประกอบการคำนวณองค์การต้องคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ซึ่ง

- 1) ทราบแหล่งที่มา
- 2) เหมาะสมใช้กับแหล่งปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจกแต่ละแหล่ง
- 3) เป็นค่าปัจจุบันในขณะที่ใช้คำนวณ
- 4) คำนึงถึงความไม่แน่นอนในการคำนวณและนำมาใช้คำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง
- 5) ไม่ขัดแย้งกับความตั้งใจในการใช้งานบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจก

ในกรณีที่ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบปฐมภูมิได้ สามารถเลือกใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมและกระบวนการย่อยที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมโดยตรงขององค์กรหรือค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการเผยแพร่แล้วตามแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ โดยหากเรียงตามลำดับความสำคัญ ความน่าเชื่อถือและคุณภาพของข้อมูลได้ดังนี้

- ฐานข้อมูลที่ทำการศึกษาและเผยแพร่โดยองค์กรภายในประเทศที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมนั้นๆ
- ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย (Thai LCI Database) ซึ่งรวบรวมและจัดการโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศซึ่งผ่านการกรองแล้ว
- ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Software) ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรมหรือฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ เป็นต้น
- ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) องค์กรของสหประชาชาติ

### 2.1.7 การคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานและวัสดุ

ในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกนั้นจะมีการนำค่าสัมประสิทธิ์ หรือค่า GHG Emission Factor มาคำนวณผลกระทบ โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณของ Hai Yan et al [12] ซึ่งการคำนวณจะแบ่งออกเป็นสัดส่วนดังนี้

#### 2.1.7.1 การคำนวณ GHG ของวัสดุ

การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุจะต้องใช้ปริมาณการใช้วัสดุแต่ละชนิดมาคำนวณ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$E_i = \sum M_j^i \times f_j^i \quad (2.1)$$

โดย  $E_i$  = GHG ของวัสดุ

$M_j^i$  = ปริมาณวัสดุที่ใช้

$f_j^i$  = ค่า GHG Emission Factor ของวัสดุ

#### 2.1.7.2 การคำนวณ GHG ของการขนส่ง

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง จะใช้ GHG Emission Factor ของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$E_{ii} = \sum M_j^{ii} \times (T_j^l \times f_l^{ii} + T_j^s \times f_s^{ii}) \quad (2.2)$$

โดย  $E_{ii}$  = GHG ของการขนส่ง

$M_j^i$  = น้ำหนักของวัสดุที่ทำการขนส่ง

$T_j^l$  = ระยะทางในการขนส่งทางบก

$f_l^{ii}$  = ค่า GHG Emission Factor ของการขนส่งทางบก

$T_j^s$  = ระยะทางในการขนส่งทางน้ำ

$f_s^{ii}$  = ค่า GHG Emission Factor ของการขนส่งทางน้ำ

### 2.1.7.3 การคำนวณ GHG ของการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการก่อสร้าง

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้เชื้อเพลิงในการก่อสร้างจะคำนวณได้จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องจักรและอุปกรณ์คูณกับค่า GHG Emission Factor ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังสมการที่ 2.3

$$E_{iii} = \sum F_j^{iii} \times f_j^{iii} \quad (2.3)$$

โดย  $E_{iii}$  = GHG ของการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการก่อสร้าง

$F_j^{iii}$  = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการก่อสร้าง

$f_j^{iii}$  = ค่า GHG Emission Factor ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

### 2.1.7.4 การคำนวณ GHG ของการใช้ไฟฟ้าสำหรับการก่อสร้าง

การใช้ไฟฟ้าของการก่อสร้างนั้นจะถูกนำมาคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$E_{iv} = \sum E_j \times f_j^{iv} \quad (2.4)$$

โดย  $E_{iv}$  = GHG ของการใช้ไฟฟ้าสำหรับการก่อสร้าง

$E_j$  = ปริมาณการใช้ไฟฟ้า

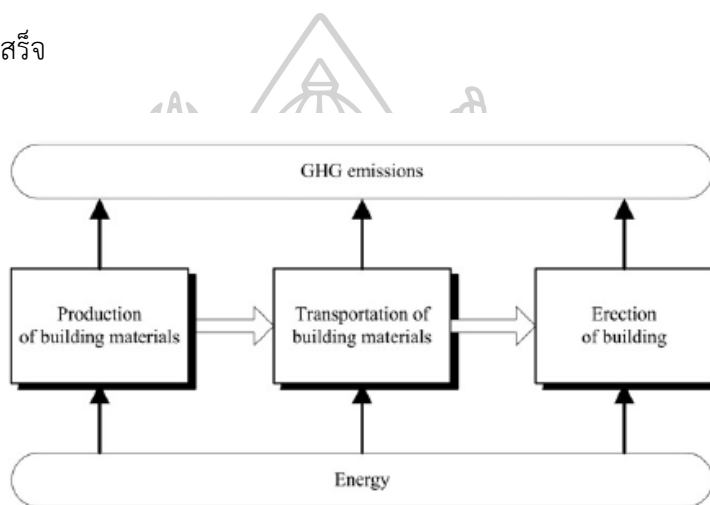
$f_j^{iv}$  = ค่า GHG Emission Factor ของไฟฟ้า

### 2.1.7.5 ผลรวมของ GHG

$$E = \sum_{j=i}^{vi} E_j \quad (2.5)$$

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำวิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของหลายๆงานวิจัยที่มีการทำวิจัยเกี่ยวกับเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งในส่วนของหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ได้ศึกษาบางส่วนเพื่อให้เห็นแนวทางและเปรียบเทียบของงานวิจัยที่จะทำ เช่น ในงานวิจัยของ Hui Yan et al.[12] ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการก่อสร้างโดยศึกษาในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในฮ่องกง โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้จัดทำการศึกษาในรูปแบบ Life Cycle Analysis หรือ LCA โดยขอบเขตของการศึกษานี้จะใช้ขอบเขตแบบ Cradle to Gate คือการศึกษาการใช้พลังงานตั้งแต่ก่อสร้างเสร็จ



รูปที่ 12 รูปแสดงขอบเขตของการวิจัย [12]

จากรูปที่ 12. เป็นรูปแสดงขอบเขตและแหล่งที่มาของการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารที่นำมาวิจัยของ Hui Yan et al. ซึ่งจะเห็นได้ว่าได้แบ่งแหล่งที่มาของการใช้พลังงานไว้ 3 แหล่งหลัก ได้แก่ การผลิตวัสดุก่อสร้าง การขนส่งวัสดุก่อสร้างและการก่อสร้างอาคาร เมื่อได้ค่าการใช้พลังงานมาแล้วก็จะนำมาหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกครั้งหนึ่ง

<input type="checkbox"/> Manufacture and transportation of building materials <ul style="list-style-type: none"> <li>• (i) Embodied GHG emissions of building materials</li> <li>• (ii) GHG emissions from transportation for building materials</li> </ul>	<input type="checkbox"/> Energy consumption of construction equipment <ul style="list-style-type: none"> <li>• (iii) GHG emissions from fuel combustion of construction equipment</li> <li>• (iv) GHG emissions due to electricity used for construction equipment</li> </ul>
<input type="checkbox"/> Energy consumption for processing resources <ul style="list-style-type: none"> <li>• (v) GHG emissions due to electricity used for processing fresh water and sewage</li> </ul>	<input type="checkbox"/> Disposal of construction waste <ul style="list-style-type: none"> <li>• (vi) GHG emissions from fuel combustion of transportation for waste</li> </ul>

รูปที่ 13 รายละเอียดของแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [12]

จากภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดของแหล่งข้อมูลต่างๆของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขอบเขตของงานวิจัย โดยก่อนหน้าที่จะแบ่งขอบเขตนั้นก็ได้ทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

Literature sources in chronological order	Included GHG emissions sources					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Reference [3]	✓			✓		
Reference [4]	✓			✓		
Reference [5]		✓	✓	✓	✓	
Reference [6]	✓					
Reference [7]	✓			✓		
Reference [8]		✓	✓	✓		✓
Reference [9]	✓			✓		
Reference [10]	✓					
Reference [11]	✓					
Reference [12]	✓	✓	✓			
Reference [13]	✓	✓		✓		✓
Reference [1]	✓					
Reference [14]				✓		

Notes: (1) Manufacture of building materials; (2) Transportation for building materials; (3) Transportation for construction equipment; (4) Energy consumption of construction equipment; (5) Transportation for workers; (6) Disposal of construction waste.

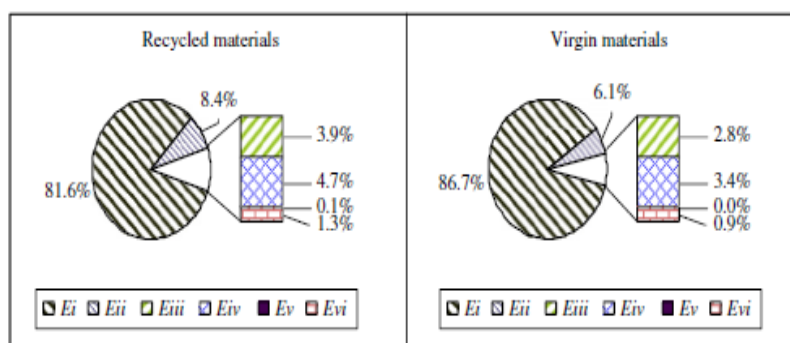
รูปที่ 14 รูปแสดงการเปรียบเทียบขอบเขตงานวิจัยอื่น [12]

จากรูปจะเห็นได้ว่าในแต่ละงานวิจัยก็จะมี การแบ่งขอบเขตที่แตกต่างกันซึ่งการแบ่งขอบเขตที่แตกต่างกันนี้ก็จะทำให้ผลที่ออกมา มีความแตกต่างกันด้วย การแบ่งขอบเขตที่แตกต่างกันนั้นก็เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่มีค่าค่อนข้างสูงซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง [12]

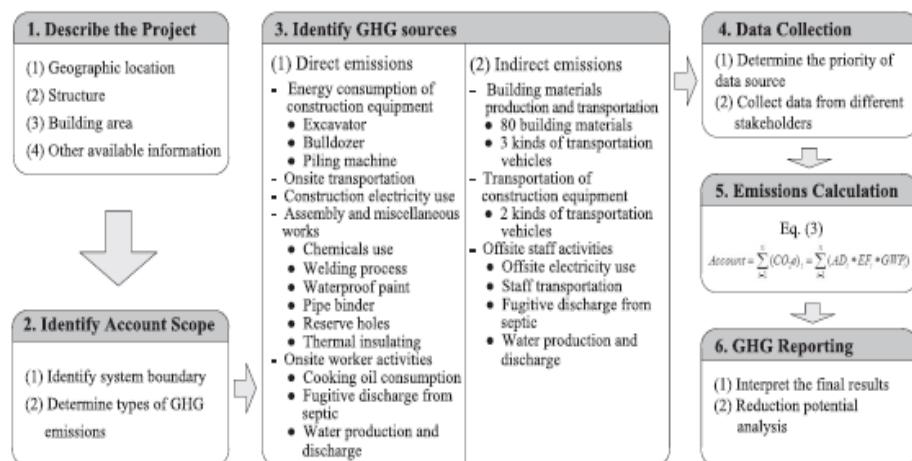
Specific element	Quantity (tons)	GHG (recycled materials) (tons CO <sub>2</sub> -e)	Percentage	GHG (virgin materials) (tons CO <sub>2</sub> -e)	Percentage
Concrete, 30 MPa	61,073.9	10,382.56	77.89%	10,382.56	52.81%
Steel, reinforced	6089.0	2295.55	17.22%	8098.37	41.19%
Glass, float	190.5	353.95	2.66%	353.95	1.80%
Steel, stainless	36.6	213.85	1.60%	213.85	1.09%
Sand	19,674.1	145.59	1.09%	145.59	0.74%
Aluminum	66.7	44.42	0.33%	571.35	2.91%
Cement, dry	2.7	2.79	0.02%	2.79	0.01%
Artificial stone	35.1	1.51	0.01%	1.51	0.01%
Timber, glulam	96.2	-109.76	-0.82%	-109.76	-0.56%
Total	87,264.8	13,330.47	100.00%	19,660.22	100.00%

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการเก็บข้อมูลและการคำนวณออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ 1.การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้าง 2.การขนส่งวัสดุก่อสร้าง 3.การเผาไหม้เชื้อเพลิงของอุปกรณ์และเครื่องจักร 4.การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์และเครื่องจักร 5.การใช้ไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย 6.การขนส่งของเสียจากการก่อสร้าง จากการแบ่งการเก็บข้อมูลและการคำนวณข้างต้นนั้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 15.



รูปที่ 15 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างอาคาร [12]

จากรูปที่ 15. จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างอาคารนั้นสามารถสรุปได้ว่าวัสดุก่อสร้างเป็นปัจจัยหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร ซึ่งคิดเป็นกว่า 80% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของการก่อสร้างอาคารดังกล่าว นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Jingke Hong et al. [20] ก็ได้ศึกษาการใช้พลังงานในการก่อสร้างเช่นกันแต่จะแตกต่างกันที่ขอบเขตโดยงานวิจัยนี้จะแบ่งขอบเขตเป็นทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงนั้นจะแบ่งเป็น พลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการก่อสร้าง การขนส่ง การใช้ไฟฟ้าในการก่อสร้างและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง ส่วนทางอ้อมนั้นจะได้จากวัสดุก่อสร้าง การขนส่งและเคลื่อนย้ายเครื่องมือและอุปกรณ์ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างแต่ไม่ใช่ในพื้นที่ก่อสร้าง เช่น ออฟฟิต การขนส่งพนักงาน ซึ่งขั้นตอนการทำวิจัยนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 16.



รูปที่ 16 แสดงขอบเขตและขั้นตอนของงานวิจัย [20]

หลังจากที่ได้แบ่งขอบเขตและการเก็บข้อมูลแล้วก็จะนำมาคำนวณหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้ทราบถึงแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้สมการที่ 1

$$Account = \sum_{i=1}^n (CO_2e)_i = \sum_{i=1}^n (AD_i * EF_i * GWP) \quad (1)$$

ซึ่งปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้างและค่าสัมประสิทธิ์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในอาคารนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.

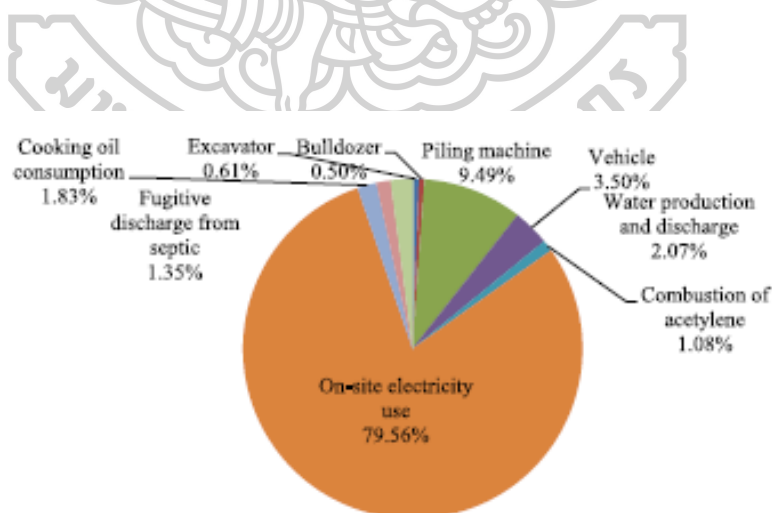
ตารางที่ 4 ตารางแสดงปริมาณและค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุก่อสร้าง [20]

Construction activity	Items	Quantity	Emission factor	Priority	Construction activity	Items	Quantity	Emission factor	Priority	
Building material production <sup>b</sup>	Tubular pile	11292.3 t	1.45 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	Building material production <sup>b</sup>	Wire entanglement	12.0 t	2.84 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	Concrete	4443.5 m <sup>3</sup>	261 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	3		Formwork	46.0 t	644 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	3	
	Talcum powder	617.7 t	1.25 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		UPVC pipe	7.8 t	3.23 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	Steel	761 t	1.45 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Marble	90.9 t	0.436 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	U. F. foamed plastic	158.3 t	2.91 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Gravel	6835.5 t	0.00241 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	Polyamides safety net	26.4 t	9.27 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Ceramic	14.6 t	0.78 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	Cement	244.2 t	0.759 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Mosaic	34.5 t	0.238 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	Aluminum	29.6 t	5.9 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Alcohol	9.7 t	0.828 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	
	Stainless steel product	72.2 t	1.45 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Transportation	Lorry 3.5–7.5t	28,629 tkm	0.66 kgCO <sub>2</sub> /tkm	5
	Glass	86.1 t	1.09 kgCO <sub>2</sub> /kg	3			Lorry 7.5–16t	263,275 tkm	0.292 kgCO <sub>2</sub> /tkm	5
	Slag	176.6 t	0.443 kgCO <sub>2</sub> /kg	3			Lorry 16–32t	1,318,493 tkm	0.168 kgCO <sub>2</sub> /tkm	5
	Clay haydite	227.8 t	0.327 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Lorry >32t	245,160 tkm	0.117 kgCO <sub>2</sub> /tkm	5	
	Welding rod	3.1 t	20.5 kgCO <sub>2</sub> /kg	3		Offsite activities	Off-site electricity use	133996.6 kWh	0.7898 kgCO <sub>2</sub> /kWh	1
	Polyurethane	13.4 t	4.31 kgCO <sub>2</sub> /kg	3			Staff transportation	8177 kg	2.99 kgCO <sub>2</sub> /kg 1.078 kgCH <sub>4</sub> /kg 0.345 kgN <sub>2</sub> O/kg	1
Perlite	45.6 t	0.995 kgCO <sub>2</sub> /kg	3	Fugitive discharge	84 kgBOD <sup>a</sup>	0.30 kgCH <sub>4</sub> /kgBOD	2			
Timber plates	59.6 m <sup>3</sup>	583 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	3	Water production	3176 m <sup>3</sup>	0.42 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1			

<sup>a</sup> The quantification will follow the national accounting method as described in IPCC 2006 Guidelines Volume 5 Chapter 6.

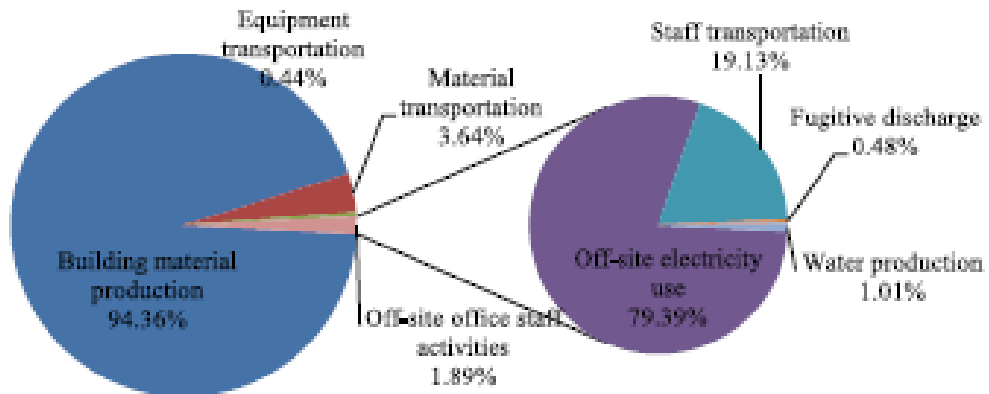
<sup>b</sup> This part only lists the materials accounting for more than 0.1%.

หลังจากที่ได้ทำการเก็บข้อมูลแล้วก็จะนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการคำนวณตามที่ได้แบ่งขอบเขตไว้ข้างต้นเพื่อหาข้อมูลแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์หานั้นแสดงให้เห็นถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงถึง 8,707,004 kgCO<sub>2</sub><sup>c</sup> โดยเป็นทางตรงเพียง 201,925 kgCO<sub>2</sub><sup>c</sup> หรือคิดเป็น 2.42% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดแต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมนั้นมีปริมาณค่อนข้างสูงซึ่งคิดเป็น 97.58% ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



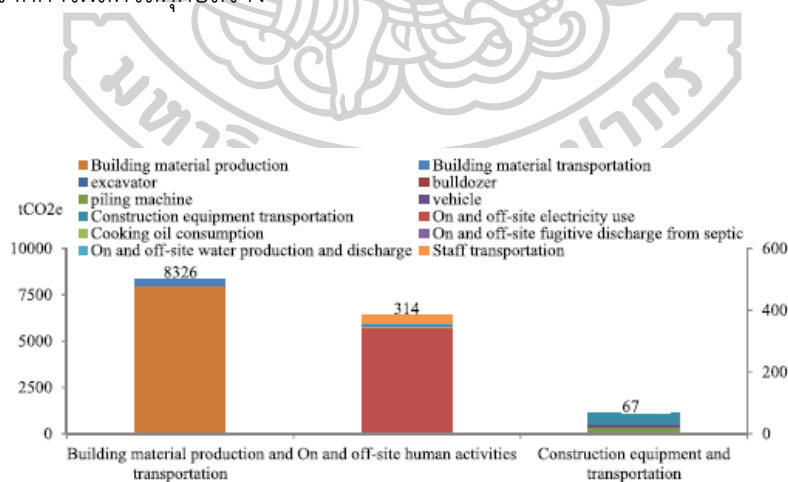
รูปที่ 17. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง [20]





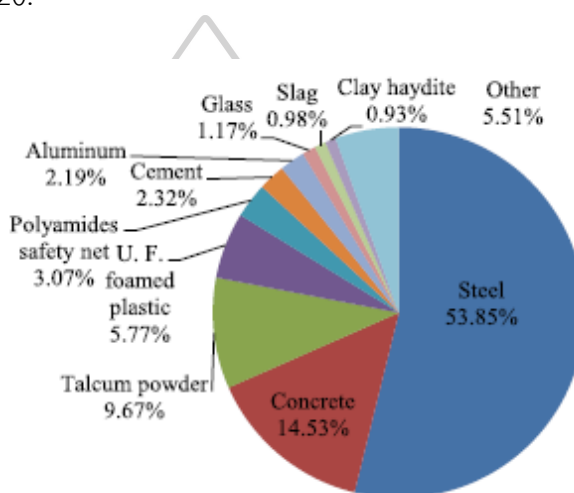
รูปที่ 18 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม [20]

ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานทางตรงนั้นจะเห็นได้ว่าเกือบ 80% มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ก่อสร้างส่วนการใช้พลังงานอื่น ๆ นั้นถือเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆหรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมโดยแบ่งเป็นการผลิตและการขนส่งวัสดุก่อสร้าง กิจกรรมของคนงาน และการขนย้ายเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อสร้าง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 18. จากรูปนั้นจะเห็นได้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานทางอ้อมนั้นกว่า 90% มาจากการผลิตวัสดุก่อสร้าง



รูปที่ 19 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆในการก่อสร้าง [20]

จากรูปที่ 19 จะเห็นได้ว่าในส่วนของการผลิตและการขนส่งวัสดุก่อสร้างนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่จะมาจากการผลิตวัสดุก่อสร้างเป็นหลักเนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้นมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ส่วนในกิจกรรมของคนงานนั้นการปรับฐานรอกนั้นเป็นส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเนื่องจากจะต้องมีการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างสูงส่วนการขนย้ายเครื่องมือและอุปกรณ์ก่อสร้างนั้นมีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ ในส่วนของวัสดุก่อสร้างนั้นวัสดุที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคือเหล็กและคอนกรีตคิดเป็น 53.85% และ 14.53% ตามลำดับซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 20.



รูปที่ 20. สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง [20]

นอกจากนี้แล้ว Jingke Hong et al. [16] หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้วยังได้ทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นโดยให้สถานที่แตกต่างกัน กระบวนการแตกต่างกันและใช้หน่วยเปรียบเทียบเป็นต่อตารางเมตร โดยการเปรียบเทียบงานวิจัยนี้จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบรูปแบบอาคารกับงานวิจัยอื่น [20]

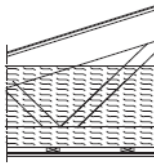
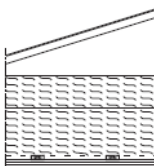
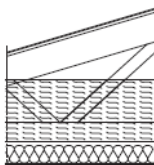
Reference	Country	Building type <sup>b</sup>	Floor area (m <sup>2</sup> )	Structure	Method	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Nässén, J et al. (2007)	Sweden	R	—	—	I-O analysis	72
Rossi et al. (2012)	Belgian	R	192	Masonry Steel	Process LCA	98 189
König and Cristofano (2012)	Germany	R	970–7292	—	Process LCA	430 <sup>c</sup>
Brunklaus et al. (2010)	Sweden	R	—	Concrete, wood	Process LCA	400 180 350
Salazar and Meil (2009)	Canada	R	207	Standard Wood intensive	Process LCA	294 211
Blengini and Carlo (2010)	Italy	R	250	Reinforced concrete frame	Process LCA	770 665
Ortiz et al. (2010)	—	R	125 108	Bricks based	Process LCA	246 257
Blengini (2009)	Italy	R	6110	Concrete	Process LCA	308
ZabalzaBribián et al. (2009)	Spain	R	222	Concrete	Process LCA	257
Suzuki and Oka (1998)	Japan	O	1857	—	I-O analysis	650
Williams et al. (2012)	UK	O	—	Reinforced concrete	Process LCA	467
Wallhagen et al. (2011)	Sweden	O	3537	Reinforced concrete	Process LCA	160
Scheuer et al. (2003)	USA	O	7300	Steel columns and girders	Process LCA	573
Xing et al. (2008)	China	O	46,240 34,620	Steel Concrete	Process LCA	315 606
Wu et al. (2012)	China	O	36,500	Reinforced concrete	Process LCA	803
Dimoudi and Tompa (2008)	Greece	O	1891 400	Reinforced concrete	—	200 289
Van Ooteghem and Xu (2012)	—	C	586	Hot-rolled steel Heavy timber structure Pre-engineered steel Steel-PREDOM Timber-PREDOM	Process LCA	549 517 355 522 451
Kua and Wong (2012)	Singapore	C	52,094	Reinforced concrete	Process LCA	121
Yan et al. (2010)	Hong Kong	C	43,210	Reinforced concrete	Process LCA	525
Hilmonau et al. (2011) <sup>a</sup>	UK	H	3300	—	Process LCA	761
		H	2000	—	Process LCA	668

<sup>a</sup> This is an adjusted value based on the assumption that embodied GHG emissions account for 20% of the total GHG emissions.

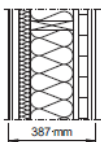
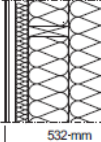
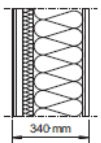
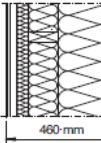
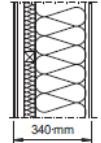
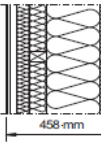
<sup>b</sup> "R" represents residential building, "O" represents office building, "C" represents commercial building, and "H" represents hotel.

<sup>c</sup> This is an average value.

นอกจากการศึกษาพลังงานจากการก่อสร้างแล้ว Ambrose Doodoo et al. [6] ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในการใช้อาคารและได้ตั้งข้อสมมติฐานว่าวัสดุที่นำมาใช้ทำอาคารนั้นมีผลต่อการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุของอาคารเป็นแบบประหยัดพลังงานเช่นการเปลี่ยนผนัง หลังคาซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 21 และรูปที่ 22 หลังจากที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนวัสดุแล้วก็จะศึกษาค่า U-value ของอาคาร

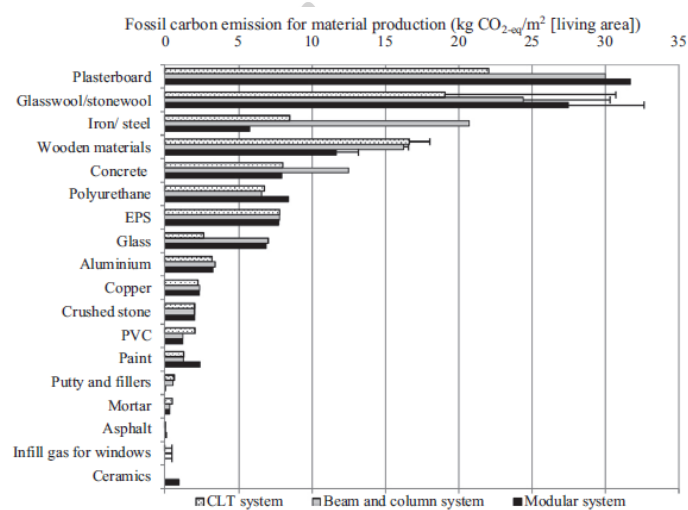
Description	Roof construction	Conventional design (top to down)	Low-energy design
CLT system		Asphalt sheeting (2 layers) 16 mm T&G wood panels Timber trusses 500 mm loose stone wool 0.2 mm plastic film 28 mm x 70 mm timber battens 2 x 13 mm gypsum board	The loose stone wool is improved to 550 mm for the low-energy design. Otherwise the details are the same as for the conventional design
Beam-and-column system		Asphalt sheeting (2 layers) 45 mm LVL board 45 mm x 300 mm LVL beams 500 mm loose glass wool 0.2 mm plastic film 28 mm x 70 mm wood battens 13 mm gypsum board 15 mm gypsum board	The loose glass wool is improved to 550 mm for the low-energy design. Otherwise the details are the same as for the conventional design
Modular system		Asphalt sheeting (2 layers) 16 mm T&G wood panels Timber trusses 400 mm loose glass wool 45 mm x 120 mm timber studs 120 mm glass wool 0.2 mm plastic film 13 mm gypsum board 15 mm gypsum board	The 400 mm loose glass wool is improved to 430 mm for the low-energy design. Otherwise the details are the same as for the conventional design

รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหลังคา [6]

Description	Conventional design		Low-energy design	
	Exterior walls	Details (outer to inner)	Exterior walls	Details (outer to inner)
CLT system		Ventilated facade plaster 28 mm x 70 mm wood lath 50 mm stone wool 195 mm stone wool 45 mm x 195 mm timber studs 0.2 mm plastic film 82 mm CLT 15 mm gypsum board		Ventilated facade plaster 28 mm x 70 mm wood lath 50 mm stone wool 170 mm stone wool 45 mm x 170 mm timber studs 170 mm stone wool 45 mm x 170 mm timber studs 0.2 mm plastic film 82 mm CLT 15 mm gypsum board
Beam-and-column system		Ventilated facade plaster 28 mm x 70 mm wood lath 50 mm stone wool 220 mm stone wool 45 mm x 220 mm timber studs 0.2 mm plastic film 2 x 13 mm gypsum board		Ventilated facade plaster 28 mm x 70 mm wood lath 50 mm stone wool 120 mm stone wool 45 mm x 120 mm timber studs 220 mm stone wool 45 mm x 220 mm timber studs 0.2 mm plastic film 2 x 13 mm gypsum board
Modular system		Ventilated facade plaster 28 mm x 70 mm wood 45 mm glass wool 45 mm x 45 mm timber studs 220 mm glass wool 45 mm x 170 mm timber 0.2 mm plastic film 12 mm plywood 13 mm gypsum board		Ventilated facade plaster 28 mm x 70 mm wood lath 50 mm stone wool, 70 mm glass wool 45 x 70 mm timber studs 220 mm glass wool 45 mm x 220 mm timber studs 0.2 mm plastic film 13 mm gypsum board 15 mm gypsum board

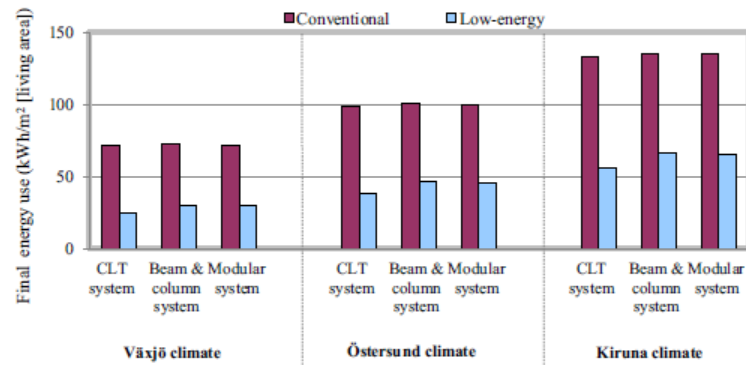
รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนัง [6]

โดยนอกจากการศึกษาค่า U-value และการใช้พลังงานของอาคารแล้วยังศึกษาในส่วนของการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ ซึ่งจากการวิเคราะห์การใช้เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการผลิตวัสดุหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วจากรูปที่ 23 จะเห็นได้ว่า Plasterboard และ Glasswool/stonewool มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงที่สุดและนอกนี้ยังทำการวิเคราะห์ Carbon balance และ Carbon stock อีกด้วย

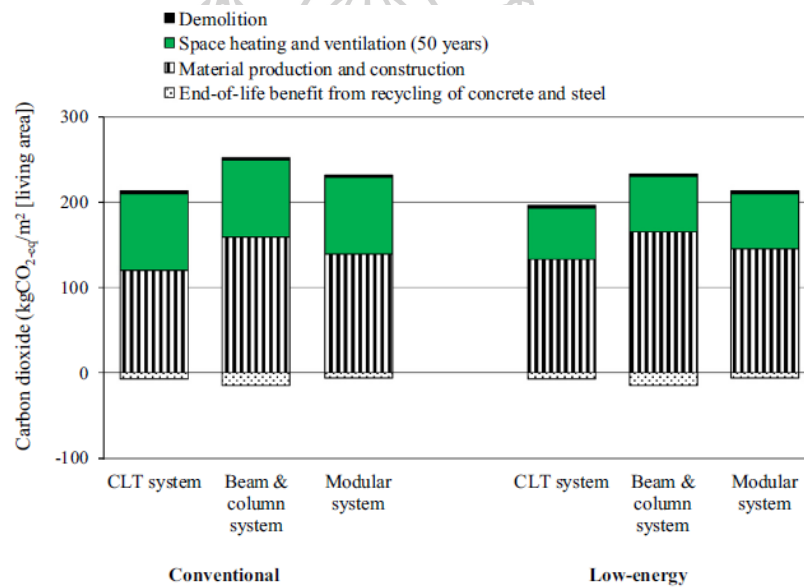


รูปที่ 23 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตวัสดุก่อสร้าง [6]

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารแล้วก็จะนำไปเปรียบเทียบกับตึกจากงานวิจัยอื่นซึ่งเป็นพลังงานสุดท้าย โดยตึกที่นำมาเปรียบเทียบจะใช้ตึกที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน โดยดูตึกเดิมและตึกที่มีการเปลี่ยนแปลงวัสดุเพื่อให้ประหยัดพลังงานซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 24 จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 25 ว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารนั้นส่วนใหญ่เกินจากการผลิตวัสดุก่อสร้างและช่วงของการก่อสร้างอาคาร การใช้พลังงานในการใช้งาน การรีไซเคิลและการรื้อถอนเป็นลำดับ

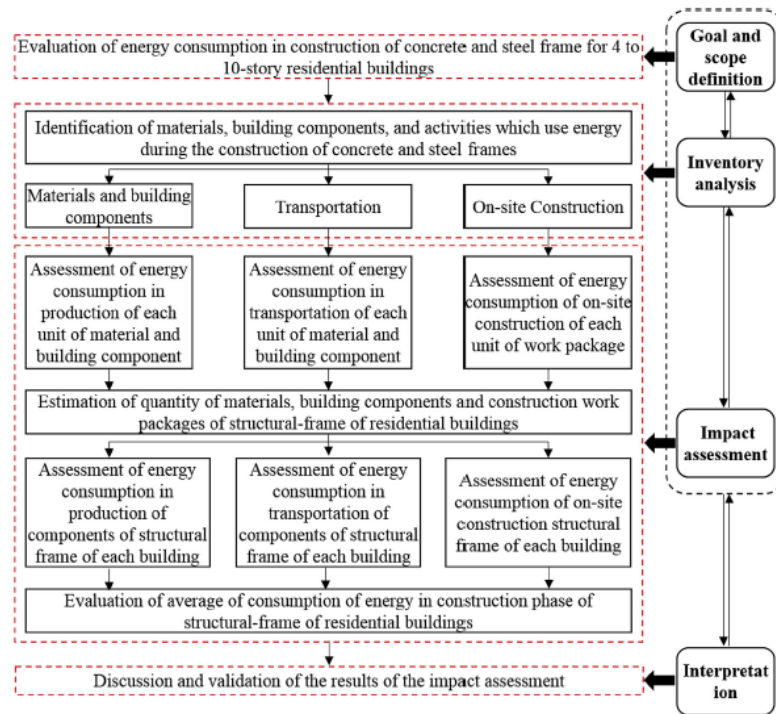


รูปที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานสุดท้ายของอาคารที่มีสภาพอากาศที่ต่างกัน [6]

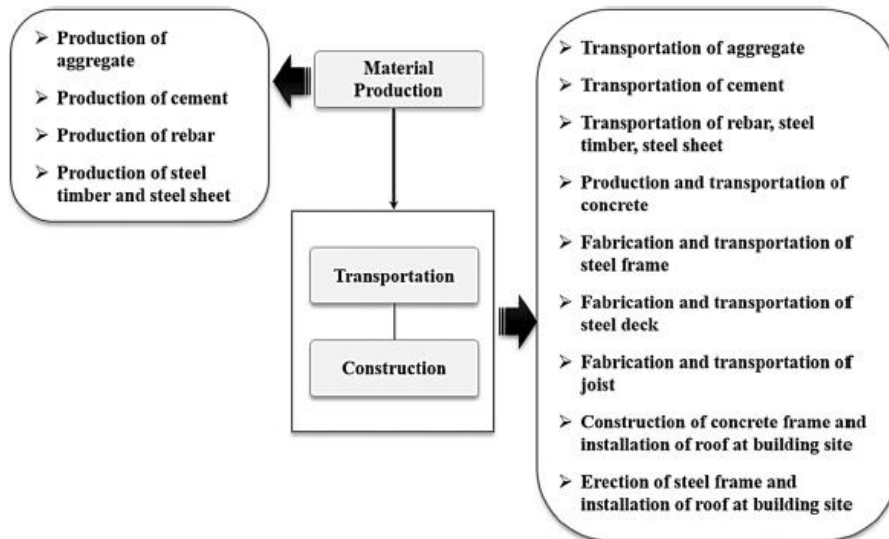


รูปที่ 25 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคารตลอดวัฏจักร [6]

ในงานวิจัยของ Gholamreza Heravi et al. [21] ได้ทำการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างและการก่อสร้างอาคารโดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุและการก่อสร้างของกรอบอาคารแบบเหล็กและคอนกรีตโดยทำการศึกษาทั้งหมด 14 อาคารซึ่งมีกรอบการวิจัยและวิธีการวิจัยดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 กรอบการวิจัยและวิธีการวิจัย [21]



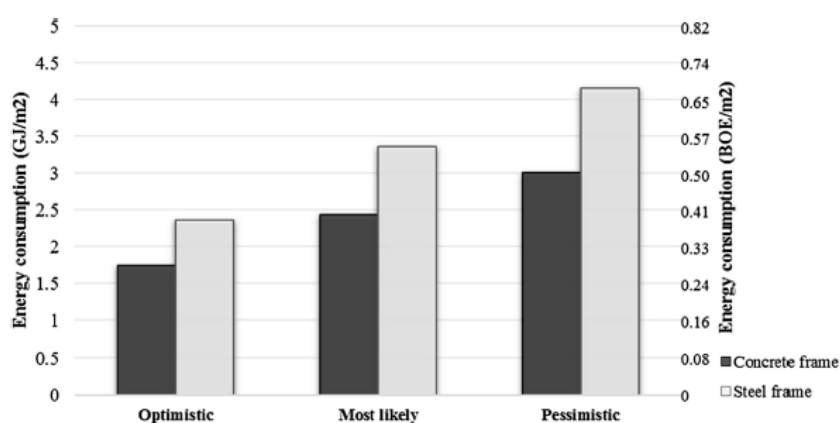
รูปที่ 27 รายละเอียดแหล่งที่มาของข้อมูล [21]

จากรูปที่ 27 แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของแหล่งที่มาของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือการผลิตวัสดุและการก่อสร้างรวมไปถึงการขนส่ง ซึ่งในการขนส่งนั้นจะไม่ได้รวมไปถึงการขนส่งของคานงานก่อสร้าง โดยรายละเอียดของอาคารที่นำมาวิจัยนั้นได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6 ซึ่งจากตารางเราจะเห็นได้ว่าอาคารแต่ละอาคารนั้นจะมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและวัสดุตั้งนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการเทียบเป็นต่อตารางเมตร

ตารางที่ 6 ตารางแสดงรายละเอียดของอาคารที่นำมาวิจัยและเปรียบเทียบ [21]

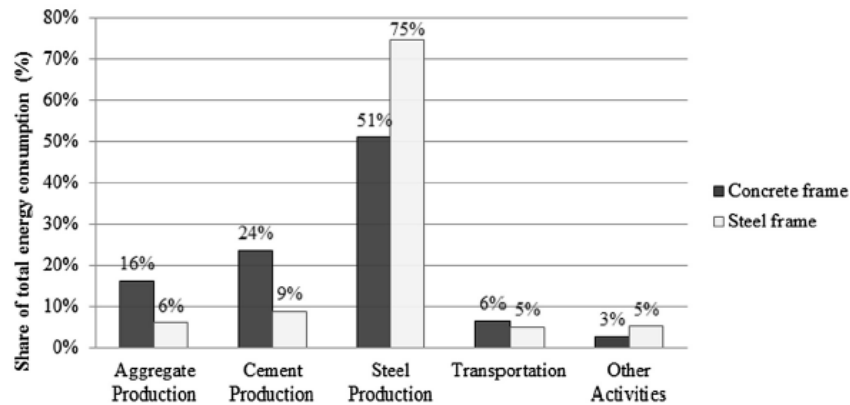
Type	Case No.	Ceiling type	Number of floors	Area (m <sup>2</sup> )	Concrete volume (m <sup>3</sup> )	Rebar weight (ton)	Steel weight (ton)
Concrete frame	1	Joist	9	3200	850	190	0
	2	Joist	9	5430	1500	300	0
	3	Slab	9	3400	1700	300	0
	4	Joist	6	1000	250	55	0
	5	Joist	8	3800	1140	110	0
	6	Joist	10	4000	1700	220	0
Steel frame	7	Steel deck	8	2704	410	18	200
	8	Steel deck	10	1920	470	30	231
	9	Steel deck	8	3030	600	30	330
	10	Composite	8	2500	350	50	310
	11	Joist	6	1070	150	20	95
	12	Joist	4	584	60	17	80
	13	Joist	7	1550	350	20	110
	14	Composite	8	2400	370	48	220

จากรูปที่ 28 เป็นการเปรียบเทียบพลังงานของการผลิตวัสดุและการก่อสร้างอาคารของกรอบอาคารจากคอนกรีตและเหล็กซึ่งเราจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของกรอบอาคารจากเหล็กนั้นมีปริมาณการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ซึ่งหากดูจากรูปที่ 29 แล้วจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของเหล็กที่มีค่าค่อนข้างสูงนั้นมาจากการผลิตเหล็กถึง 75% และในส่วนของขนส่งนั้นจะมีการใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างกันนัก ในส่วนที่แตกต่างกันเกิดจากปริมาณที่ใช้ในการขนส่งแตกต่างกันเท่านั้นเอง



รูปที่ 28 ค่าเฉลี่ยของการผลิตวัสดุก่อสร้างและการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารทั้ง 2 แบบ [21]





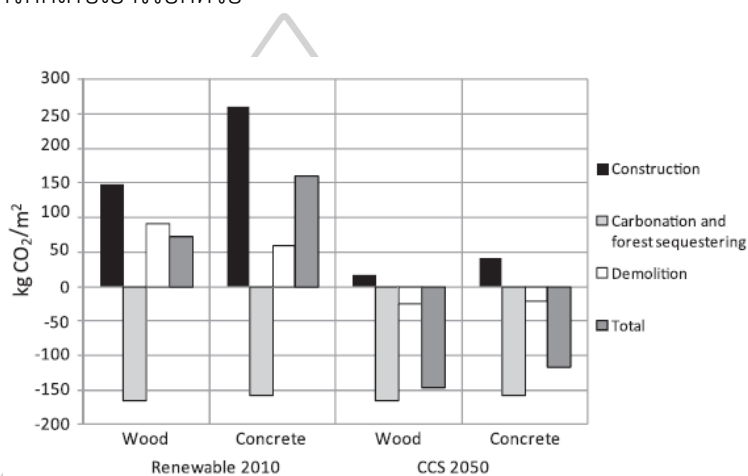
รูปที่ 29 การใช้พลังงานและความแตกต่างในการผลิตและการก่อสร้าง [21]

ภายหลังจากการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคารและได้ค่าเฉลี่ยออกมาแล้วนั้นก็จะทำการนำเอาค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นเพื่อศึกษาแนวโน้มของการใช้พลังงานของอาคาร นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Jonas Nässén et al. [11] ยังได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานจากกรอบอาคารที่แตกต่างกันระหว่างอาคารไม้และคอนกรีต ซึ่งการวิจัยนี้จะศึกษาการใช้พลังงานตลอดทั้งวัฏจักร โดยการศึกษาจะทำการศึกษาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานที่ใช้ ต้นทุนโดยเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานทดแทนและ Carbon Capture and Storage Technology หรือ CCS โดยแหล่งที่มาของข้อมูลและรายละเอียดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางแสดงขอบเขตและรายละเอียดของการวิจัย [11]

Phase	Material	Energy flows included	CO <sub>2</sub> flows included in carbon balance	Costs included	Assumed land/biomass use
Production	Wood	• electricity and heat for materials prod.	• energy related emissions	• materials prod. costs (incl. energy and CO <sub>2</sub> )	• felling of mature forest • alternative land use: mature forest left with slow growth <sup>a</sup>
	Concrete Steel	• electricity and heat for materials prod. • electricity and heat for materials prod.	• energy related emissions • calcination emissions • energy related emissions • iron reduction emissions	• materials prod. costs (incl. energy and CO <sub>2</sub> ) • materials prod. costs (incl. energy and CO <sub>2</sub> )	
Use	Wood Concrete		• uptake in new forest • uptake by carbonation • slow uptake in mature forest	• carbon uptake income • carbon uptake income	• growing of new forest
	Steel				
End-of-life	Wood	• replacing other heat prod.	• emissions from use in heat prod. • avoided emissions for heat production	• heat replacement income • CO <sub>2</sub> emission cost	
	Concrete Steel		• uptake by carbonation • material replacement	• carbon uptake income • materials replacement income	

ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการใช้พลังงานของพลังงานทดแทนมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าการใช้ CCS ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 30 จากรูปนั้นแสดงได้ว่าพลังงานในส่วนของ การก่อสร้าง นั้นมีค่าที่สูงที่สุด โดยค่าที่สูงที่สุดนั้นเกิดจากการก่อสร้างของอาคารคอนกรีต ถัดมาจะเป็นส่วนของการรื้อถอนเป็นอันดับรองลงมา สุดท้ายแล้วเมื่อนำค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการดูดกลับของป่าทำให้พบว่า หากใช้พลังงานทดแทนจะยังคงมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงขึ้นบรรยากาศอยู่แต่หากใช้ CCS จะไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงขึ้นบรรยากาศและนอกจากจะไม่มีการปล่อยแล้วยังมีการกักเก็บเอาไว้อีกด้วย



รูปที่ 30 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 2 เทคโนโลยี [11]

ในงานวิจัยของ Leif Gustavsson et al. [22] นั้นได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตวัสดุที่มีการนำมาใช้ในการก่อสร้าง เช่น คอนกรีต เหล็กและไม้ โดยศึกษาพลังงานและ Carbon balance ของวัสดุก่อสร้างตลอดทั้งวัฏจักร จากรูปที่ 31 เป็นรูปที่แสดงถึงการใช้พลังงานของวัสดุหลัก 8 ชนิด จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงที่นำมาใช้นั้นมีการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

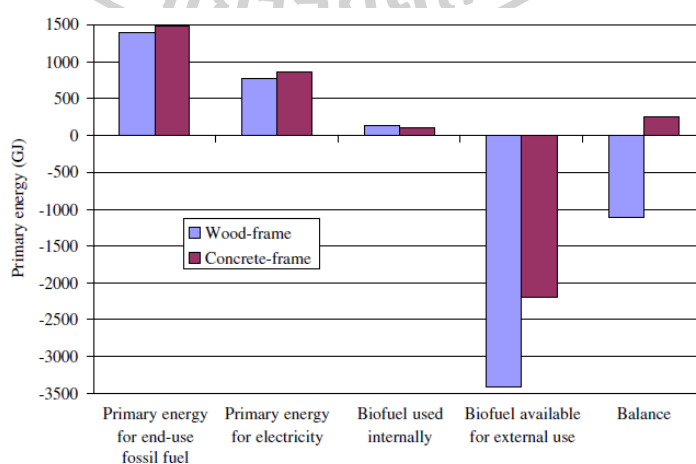
Material	Coal	Oil	NG	Biofuel	Electricity
Concrete	0.20	0.21	—	—	0.08
Steel	0.28	0.36	1.95	—	2.19
Lumber	—	0.62	—	0.99	0.58
Particleboard	—	2.94	—	1.09	1.41
Plywood	—	5.58	—	2.07	1.62
Insulation	7.88	1.42	0.08	—	1.25
Plasterboard	—	3.73	—	—	0.55
Plastic PVC	—	19.44	11.99	—	6.93

รูปที่ 31 พลังงานที่ใช้ในวัสดุ (GJ/ton) [22]

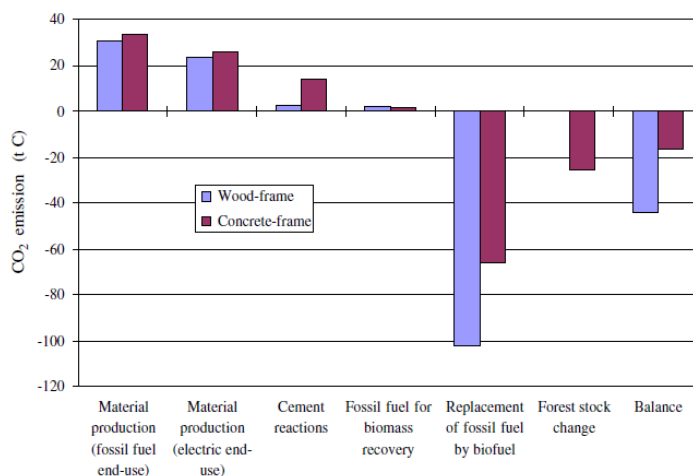
ซึ่งในงานวิจัยนี้จะคำนวณเรื่องการขนส่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่รถบรรทุก รถไฟและเรือ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8 ในส่วนใหญ่นั้นจะทำการขนส่งโดยรถบรรทุก โดยการคำนวณนี้เกิดจากการเฉลี่ยของงานวิจัยอื่นมาใช้เป็นค่าการขนส่ง

ตารางที่ 8 ตารางค่าเฉลี่ยการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง [22]

Material	Fossdal [18]			Björklund and Tillman [19]		Increase	
	Truck	Train	Ship	Truck	Ship	Truck	Train
Cement	50	—	450	160–250	—	200	1000
Aggregate	49 <sup>a</sup>	—	—	40	—	200	—
Concrete	55	—	—	15–30	—	—	—
Logs	45 <sup>a</sup>	—	—	—	—	200	—
Wood products	200–250 <sup>a</sup>	—	—	250–350	—	200	1000
Steel <sup>b</sup>	120	800	1100	80	350	200	1000
Plasterboard	225 <sup>a</sup>	—	—	250	—	200	1000
Insulation	300 <sup>a</sup>	—	—	350	—	200	1000
Plastic	—	—	—	—	—	200	1000

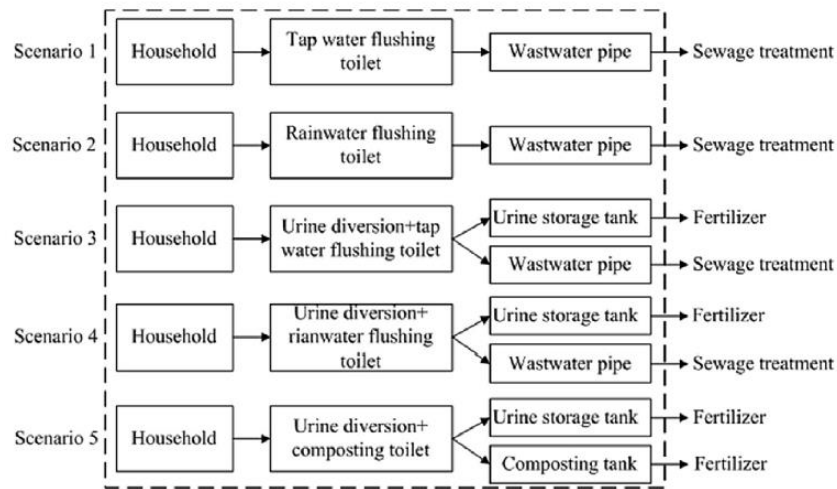


รูปที่ 32 การใช้พลังงานของกรอบอาคารไม้และคอนกรีต [22]

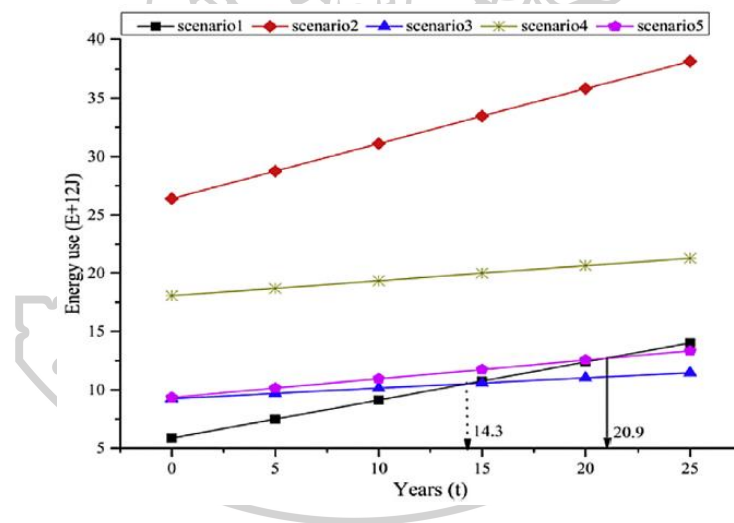


รูปที่ 33 Carbon balance ของกรอบอาคารไม้และคอนกรีต [22]

จากรูปที่ 32 เป็นกราฟแสดงการใช้พลังงานของการผลิตวัสดุก่อสร้างซึ่งพลังงานที่ใช้เป็นพลังงานจากเชื้อเพลิงและไฟฟ้า และรูปที่ 33 จะเป็น Carbon balance ของกรอบไม้และกรอบคอนกรีต ซึ่งพลังงานหลักที่ใช้ยังคงเป็นเชื้อเพลิงและไฟฟ้า นอกจากการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแล้วการวิเคราะห์วัฏจักรยังสามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้อีกด้วย เช่น Hui Gao et al. [14] ได้ทำการศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการก่อสร้างสุขภาพสาธารณะในประเทศจีน ซึ่งในงานวิจัยนั้นจะใช้หลักแนวความคิด Life Cycle Analysis มาเป็นหัวใจของการวิเคราะห์ทั้งทางสิ่งแวดล้อมและทางเศรษฐศาสตร์โดยกำหนดให้มีสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกัน 5 รูปแบบและจะคำนวณผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้ Emission Factor ซึ่งสถานการณ์ต่างๆจะมีรายละเอียดดังรูปที่ 34

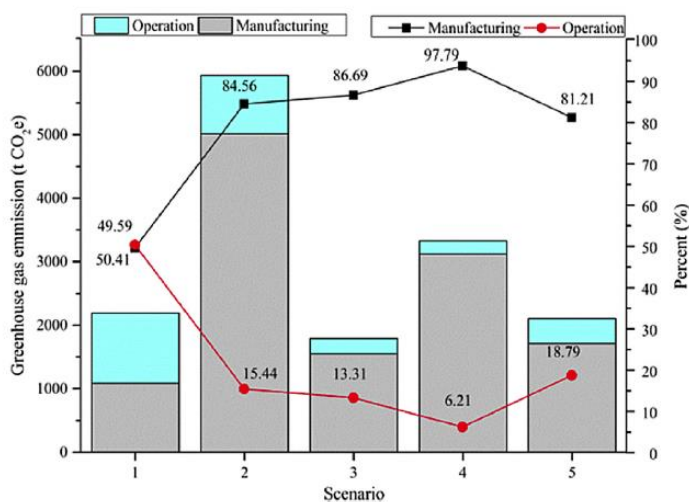


รูปที่ 34 รายละเอียดสถานการณ์ที่กำหนดในการทดลอง [14]



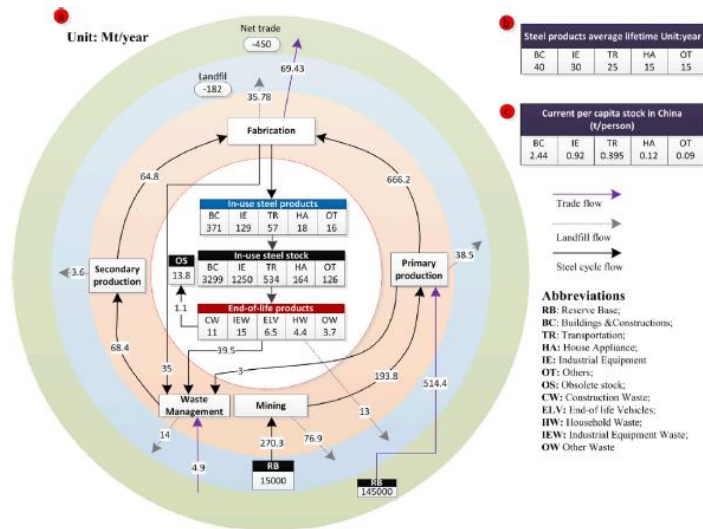
รูปที่ 35 การใช้พลังงานของแต่ละสถานการณ์ [14]

จากการคำนวณการใช้พลังงานของแต่ละสถานการณ์ตลอด 25 ปีซึ่งเป็นอายุโครงการนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 35 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสถานการณ์ที่ 5 นั้นมีการใช้พลังงานที่สูงที่สุด แต่หากพิจารณาการปล่อย GHG ตามรูปที่ 36 แล้วจะเห็นได้ว่าในสถานการณ์ที่ 2 มีการปล่อย GHG สูงที่สุด ซึ่งหมายความว่าในสถานการณ์ที่ 2 นั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด



รูปที่ 36 การปล่อย Greenhouse gas : GHG ของแต่ละสถานการณ์ [14]

ในสถานการณ์ที่ 2 นั้นจะเห็นได้ว่าการปล่อย GHG สูงเนื่องจากในช่วงของการผลิตนั้นมีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูงซึ่งคิดเป็นกว่า 80% ของการใช้พลังงานทั้งหมดของสถานการณ์ที่ 2 ซึ่งหากพิจารณาจะเห็นว่าในกรณีที่ 3 นั้นเป็นกรณีที่เหมาะสมที่สุดในแง่ของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis นั้นก็จะมีการวิเคราะห์หลายรูปแบบแต่จะมีการวิเคราะห์อยู่หนึ่งรูปแบบที่น่าสนใจคือการวิเคราะห์แบบ Cradle to Cradle ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่มีแนวคิดที่ว่าทำให้ของเหลือจากวัฏจักรกลายเป็นศูนย์หรืออาจกล่าวง่ายๆคือเอาของเหลือจากวัฏจักรมาทำให้เห็นวัตถุดิบอีกหนึ่งวัฏจักรเพื่อลดการผลิตวัตถุดิบต่างเช่นในงานวิจัยของ Peng Wang et al.[23] ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเหล็กในรูปแบบของ Cradle to Cradle ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 37 ซึ่งในงานวิจัยนั้นนอกจากจะคำนวณในเรื่องของพลังงานที่ใช้แล้วยังมีการคำนวณในส่วนของคุณสมบัติและแนวโน้มของเหล็กในอนาคตอีกด้วย



รูปที่ 37 วัฏจักรของเหล็กในการวิจัย [23]

ตารางที่ 9 ต้นทุนการผลิตเหล็กทั้ง 2 วัฏจักร [23]

Contents	Unit cost [\$ per G] or ton]	Primary production route		Secondary production route	
		Factor	Total cost [\$ per ton of final product]	Factor	Total cost [\$ per ton of final product]
Fuel	4.72	16.02	76	1.2	5.8
Electricity	16.8	1.78	30	4	67.2
Iron ore	304.7	1.48	450		0
Steel scrap	609.4	0	0	1.06	645.5
Labor cost			15		10
Capital charges			50		30
Other cost			60		50
<b>Total</b>			<b>681</b>		<b>808.5</b>

จากที่กล่าวไปข้างต้นในงานวิจัยนี้ยังสามารถแสดงให้เห็นอีกว่าในการผลิตเหล็กนั้นครั้งแรกและครั้งที่ 2 มีต้นทุนการผลิตแตกต่างกันไม่มากแต่กลับช่วยลดการผลิตวัตถุดิบไปได้ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจและควรมีการวิจัยต่อไป ในงานวิจัยของ Wahidul K. Biswas [24] ได้ทำการวิเคราะห์ Carbon footprint ของงานก่อสร้างอาคารตึกวิศวกรรมของออสเตรเลีย โดยศึกษาในรูปแบบของ Life Cycle Analysis แบบ Cradle to Gate โดยในการศึกษาจะแบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนคือวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างและการใช้งานของอาคาร ซึ่งหลังจากที่ได้ข้อมูลมาแล้วจะนำมาคำนวณหา GHG ในแต่ละช่วง ซึ่งรายละเอียดของการใช้วัสดุ พลังงานในการก่อสร้างและการใช้พลังงานในอาคารจะแสดงในตารางที่ 9-11

ตารางที่ 10 รายละเอียดการใช้วัสดุและการขนส่ง [24]

Materials	Location	Distance (km)	Amount	Unit	(tkm)
Bricks (midland bricks)	Midland	25	27.3	m <sup>3</sup>	1251.3
Concrete – Precast	Maddington	15	362.5	m <sup>3</sup>	13050.0
Concrete – Readymix	Welshpool	8	1844.3	m <sup>3</sup>	35409.8
Cement (for mortar)		10	2.0	m <sup>3</sup>	35.8
Sand (for mortar)		10	5.98	m <sup>3</sup>	107.64
Steel – Structural (one steel)	Bibra lake	22	84.7	tonne	1863.3
Steel – Reinforcing (one steel)	Forrestfield	15	58.9	m <sup>3</sup>	6982.0
Window frame + glass	Wangara	37	1932.8	m <sup>2</sup>	185.9
Door frame + glass	Wangara	37	75.0	m <sup>2</sup>	7.2
Other glass	Wangara	37	18.9	m <sup>2</sup>	1.8
Metal roof cover	Maddington	14	399.6	m <sup>3</sup>	13426.6
Drainage gutter	Maddington	14	23.3	m <sup>3</sup>	782.208
Trafficable grating		15	2580	m <sup>2</sup>	38.7
Ceiling suspension system	Welshpool	10	32,440	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Paints + accessories	Osborne park	17	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	53.6
Carpet + relevant accessories	Osborne park	17	3593	m <sup>2</sup>	73.3
Vinyl floor	Osborne park	17	330	m <sup>2</sup>	28.0
Tiles	Osborne park	17	383	m <sup>2</sup>	84.6
Plasterboard (Boral)	Canning vale	12	182	m <sup>2</sup>	21.8
Insulation (Boral)	Canning vale	12	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	792.2
Timber-cladding	Osborne park	17	1.0	m <sup>2</sup>	12.6
Timber-doors	Osborne park	17	4.5	m <sup>2</sup>	57.9
PVC pipe	Osborne park	17	320.0	m	1.3

Notes: Distances assumed as the nearest available supplier/retailer from Curtin University.

Actual location of manufacturing factory may vary. 'tkm' means that a km travelled to carry a tonne of construction material.

ตารางที่ 11 รายละเอียดการใช้พลังงานในการก่อสร้าง [24]

Main activities	Sub-activities	Total power	Unit
Builders moving to site	Diesel for transportation	12	Litre
	Crane operation	206,000	kWh
	Computers (200 watt)	1500	kWh
	Printer (350 watt)	175	kWh
	Air conditioner (1000 watt)	5000	kWh
	Telephone (10 watt)	25	kWh
	Lighting (100 watt)	2,500	kWh
Fencing around the site	Fences	24	Litre
	Tree chipper	240	Litre
Site clearing	Transfer/removal of green waste	250	Litre
	Levelling	500	Litre
Excavation and filling	Diesel for transportation	12	Litre
	Operation of excavator	1000	Litre
Installing tower crane	Installation by crane	1030	kWh
	Operation	38,250	kWh
Concrete pouring	Diesel for Ready mix truck	1456	Litres
	Concrete pump	59	Litres
	Operation	7175	kWh
Precast concrete	Diesel for transporting materials	102	Litre
		6180	kWh
Mortar preparation	Diesel for transport	12	Litres
	Operation	8250	kWh
Waste removal		48	Litre

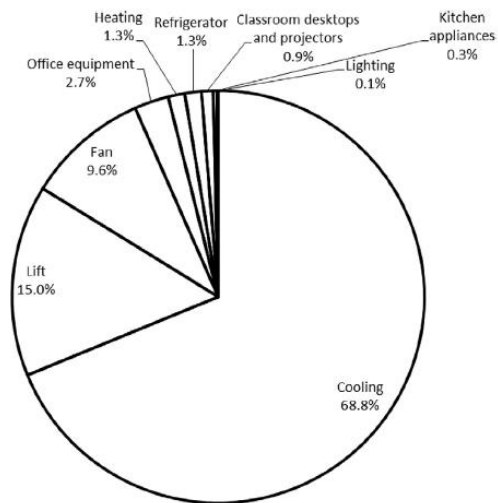


ตารางที่ 12 รายละเอียดการใช้พลังงานในอาคาร [24]

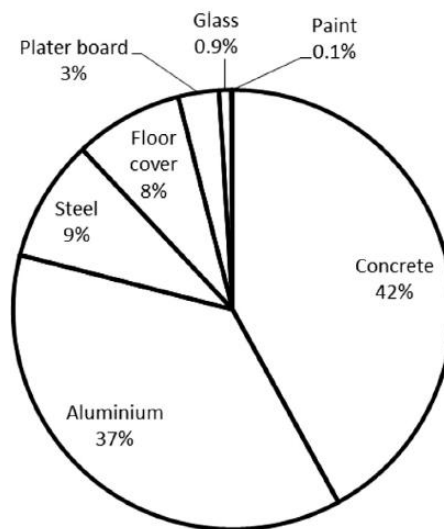
Appliances	Number of appliances/area	Avg. operating hour/day	Capacity
Lighting	500	7.75	12 W
Computer – desktop	188	12	190 W
Computer – laptop	120	4	17 W
Projector	16	6.5	325 W
Photocopier	5	3	3500 W
Printer	20	1	387.5 W
Fax machine	2	0.5	20 W
Telephone	60	0.5	10 W
Microwave oven	6	1	1500 W
Refrigerator	3	24	400 W
Coffee maker	2	1	1000 W
Lift	1	8	45 kW
Air conditioning	3495 m <sup>2</sup>	10	41.2 kW
Heating/cooling	–	–	1.4 kW
Fan	–	–	7 kW

Note: In the case of air conditioner, the variable air volume (VAV) system, is connected to Curtin's central air conditioning system.

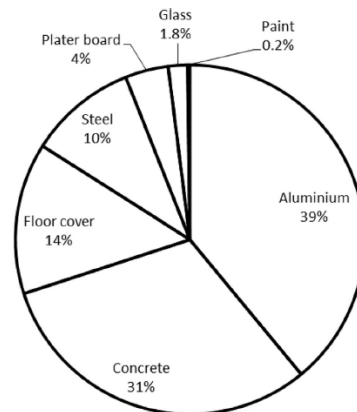
จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 38-40 จากรูปที่ 38 เราจะเห็นได้ว่าสัดส่วนการปล่อย GHG ของการใช้งานของอาคารเกือบ 70% มาจากการใช้เครื่องปรับอากาศซึ่งถือเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในอาคารส่วนอื่นๆ ในส่วนของการใช้พลังงานในการก่อสร้าง จากรูปที่ 39 จะเห็นได้ว่า GHG จากการใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงานในส่วนของคนกรีตและอลูมิเนียม ซึ่งเมื่อคิดรวมกันจะมี GHG จากการใช้พลังงานถึง 79% ในส่วนของวัสดุก่อสร้างหรือเราอาจเรียกได้ว่าเป็นพลังงานสะสมในอาคารส่วนใหญ่ยังคงเป็นอลูมิเนียมและคอนกรีต ซึ่งคิดเป็น 70% ของพลังงานสะสมของอาคารทั้งหมด



รูปที่ 38 สัดส่วนการปล่อย GHG ของการใช้พลังงานของอาคาร [24]

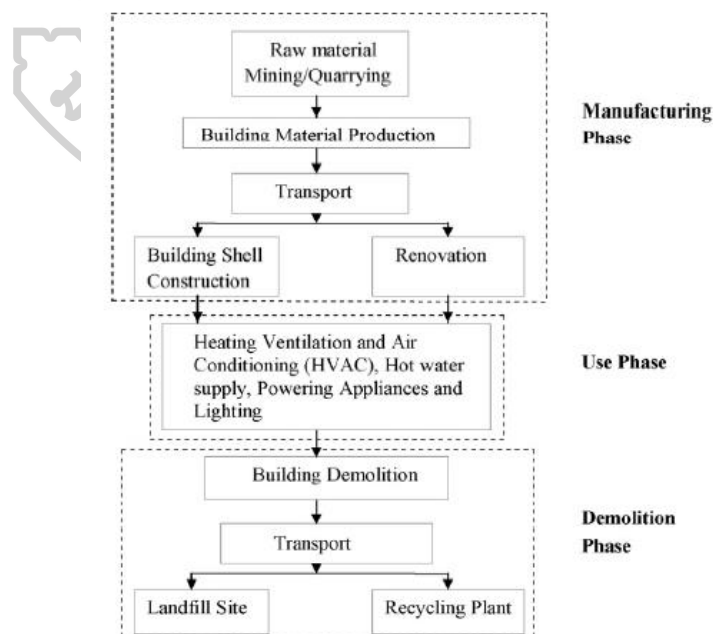


รูปที่ 39 สัดส่วนของ GHG ที่เกิดจากการใช้พลังงานของวัสดุ [24]



รูปที่ 40 สัดส่วนของพลังงานสะสมในอาคาร [24]

จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าพลังงานในการก่อสร้างนั้นมีหลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่เกิดจากการก่อสร้าง พลังงานที่เกิดจากการใช้งานหรือแม้กระทั่งพลังงานที่เกิดจากการผลิตวัสดุหรือสามารถเรียกได้ว่าพลังงานสะสมในอาคาร T. Ramesh et al. [25] ก็ได้ศึกษาการใช้พลังงานของอาคารและเปรียบเทียบกับอาคารหลากหลายรูปแบบเพื่อศึกษาปริมาณที่แตกต่างของอาคารที่มีรูปแบบต่างกัน โดยศึกษาในช่วงของการผลิตและก่อสร้างอาคาร การใช้งานของอาคาร และการรื้อถอนและทำลายเมื่อครบอายุการใช้งานซึ่งจะมีรายละเอียดของช่วงการวิจัยดังรูปที่ 41



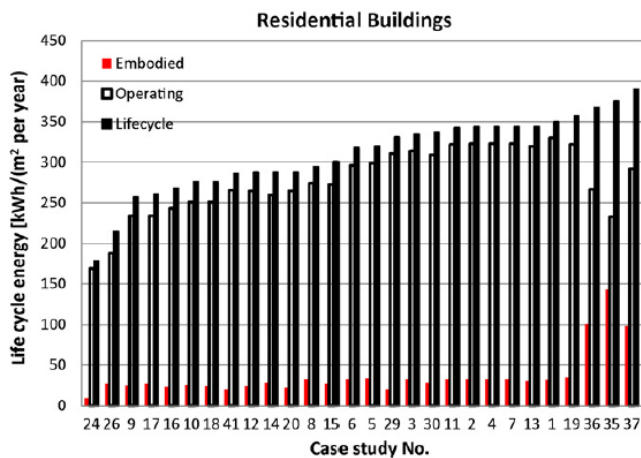
รูปที่ 41 ระบบของการวิจัย [25]

จากรูปที่ 41 แสดงให้เห็นถึงขอบเขตในการวิจัยของ T. Ramesh ในส่วนแรกที่งานวิจัยนี้ได้พูดถึงคือในส่วนของการผลิตซึ่งในการผลิตนี้ไม่ได้ผลิตแค่วัสดุแต่รวมไปถึงการก่อสร้างด้วย ในช่วงของการผลิตจะมีส่วนที่เป็นผลิตวัตถุดิบ แล้วเปลี่ยนจากวัตถุดิบมาเป็นวัสดุหลังจากนั้นก็ขนส่งไปเพื่อก่อสร้าง ต่อมาในส่วนของการใช้งานก็จะเป็นในรูปแบบของเครื่องปรับอากาศ แสงสว่างรวมถึงการใช้ไฟฟ้าอื่นๆ เมื่อมีการใช้อาคารจนครบอายุการใช้งานแล้วก็ต้องมีการรื้อถอนและทำลายโดยการทำลายนั้นจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือการฝังกลบและการกำจัดซาก จะเห็นได้ว่าในทุกๆช่วงของอาคารนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการใช้พลังงานเพื่อการดำเนินการต่างๆ ซึ่งในการเก็บข้อมูลจากแหล่งที่มาของข้อมูลและกิจกรรมต่างๆนั้นจะมีรายละเอียดดังตารางที่ 13

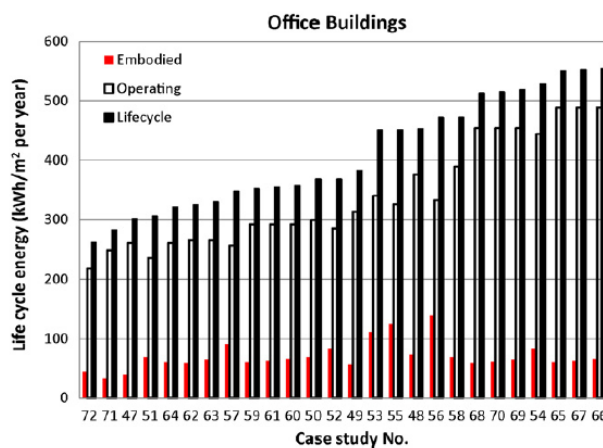
ตารางที่ 13 รายละเอียดของกิจกรรมและแหล่งที่มาของข้อมูล [25]

Life cycle phase	Activity	Possible sources of data
(a) Manufacturing phase	Building material Production	Manufacturing energy data of the building materials from literature, economic input and output tables, process analysis, hybrid analysis. Quantities estimated from building drawings, bill of materials and from interviews with building designer, contractor/owner
	Transport	Average distances for material transport. Energy data for transport operations
	Building construction including refurbishment	Energy use from site visit
(b) Use phase	Use of electricity and fuels for heating, sanitary water and lighting	Simulation software-ENERGY-PLUS, VISUAL DOE, E-QUEST, DESIGN BUILDER, ENORM, TRNSYS, ECOTECT, SUNCODE, etc., annual electricity bills, household survey on energy use. Inventory data for fuel production. Electricity mix data
(c) Demolition phase	Building demolition	Demolition operations and quantities from specific measured data. Use of equipment and explosives from data base
	Transport	Average distances for material transport energy data for transport operations
	Recycling	Specific measured data
(d) Life cycle energy	Total energy use of the building in its life cycle	Phase a + b + c
(e) Life cycle assessment	Life cycle material and energy flow estimation	Phase a + b + c
	Impact assessment that building makes on the environment	Greenhouse effect or global warming, ozone depletion, acidification, eutrophication, photochemical smog, etc. estimated using software - SIMAPRO, ECOBAT, LEGEP, BEES, ATHENA, etc.

จากที่กล่าวไปข้างต้นในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบรูปแบบอาคารที่มีความแตกต่างกัน โดยจะแบ่งเป็นอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารสำนักงานทั้งหมด 73 อาคารในสถานที่ที่มีความแตกต่างกัน 13 แห่ง ซึ่งผลการวิจัยนั้นสามารถแสดงค่าการใช้พลังงานในช่วงต่างๆได้ดังรูปที่ 42 และรูปที่ 42



รูปที่ 42 การใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัย [25]

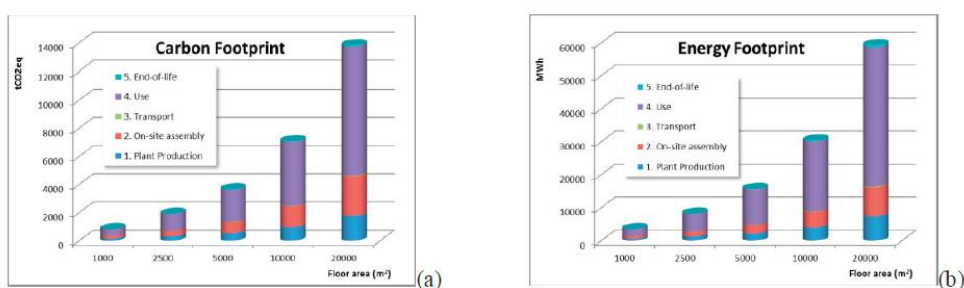


รูปที่ 43 การใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน [25]

เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ E. Bonamente et al. [26] ได้ทำการเปรียบเทียบอาคาร 4 หลัง โดยวิเคราะห์ที่วัสดุแล้วดูความแตกต่างของค่าการใช้พลังงาน ซึ่งศึกษาจากแหล่งข้อมูล 5 ส่วน ได้แก่ การผลิตวัสดุ การก่อสร้าง การขนส่ง การใช้งานและการทำลาย ซึ่งรายละเอียดของอาคารทั้ง 4 หลังสามารถดูได้ตามตารางที่ 14 ในงานวิจัยดังกล่าวได้กำหนดอายุการใช้งานที่ 20 ปี

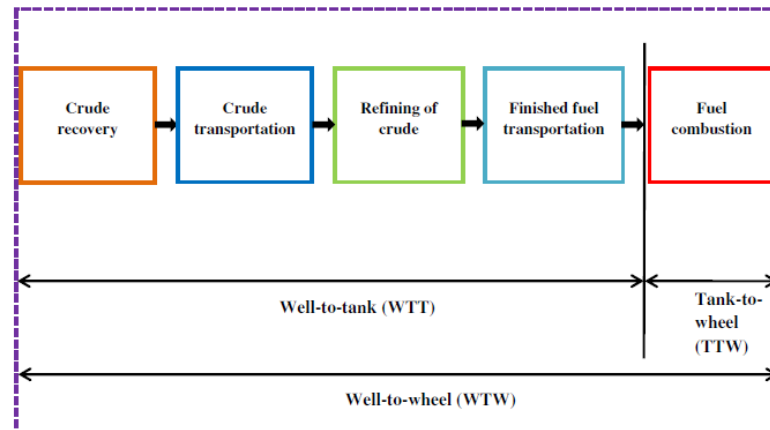
ตารางที่ 14 รายละเอียดของอาคารทั้ง 4 หลัง [26]

Building	Floor area (approx.) m <sup>2</sup>	Roof-top height m	Indoor clearance m	Roof-top window area m <sup>2</sup>	Side-wall window area m <sup>2</sup>
A	1,000	8.4	7.3	132	14
B	3,000	9.7	8.5	0	220
C	12,500	9.5	8	2,170	670
D	22,000	8.6	7.2	836	310



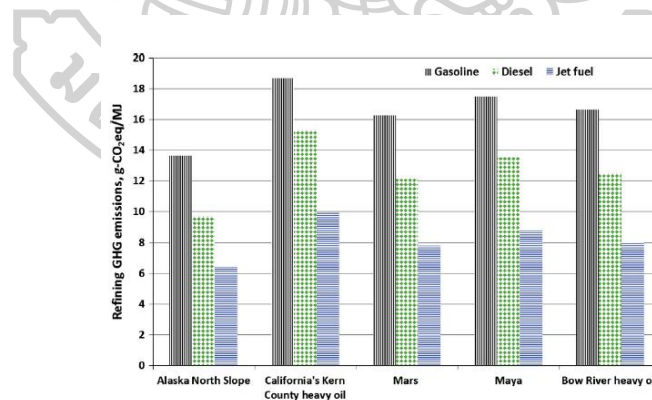
รูปที่ 44 ปริมาณการปล่อย Carbon Footprint (a) และ Energy Footprint (b) ของอาคารที่มีพื้นที่ขนาดแตกต่างกัน [26]

จากรูปที่ 44 พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และการใช้พลังงานของอาคารที่มีพื้นที่ 1,000 2,500 5,000 10,000 และ 20,000 ตารางเมตรจะเห็นได้ว่ายิ่งอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยมากยิ่งมีการใช้พลังงานและปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สูงตามไปด้วย ในส่วนของการขนส่งได้มีการศึกษาการใช้พลังงานในส่วนของขนส่งโดยอาศัย Life Cycle Analysis มาเป็นหลักในการวิเคราะห์ เราเรียกหลักการนี้ว่า Well to Wheel ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการขนส่งเพียงอย่างเดียวเท่านั้นเช่นในงานวิจัยของ Md. Mustafizur et al. [27] ได้วิเคราะห์การขนส่งเชื้อเพลิงของอเมริกาเหนือ โดยมีขอบเขตการวิจัยดังรูปที่ 45



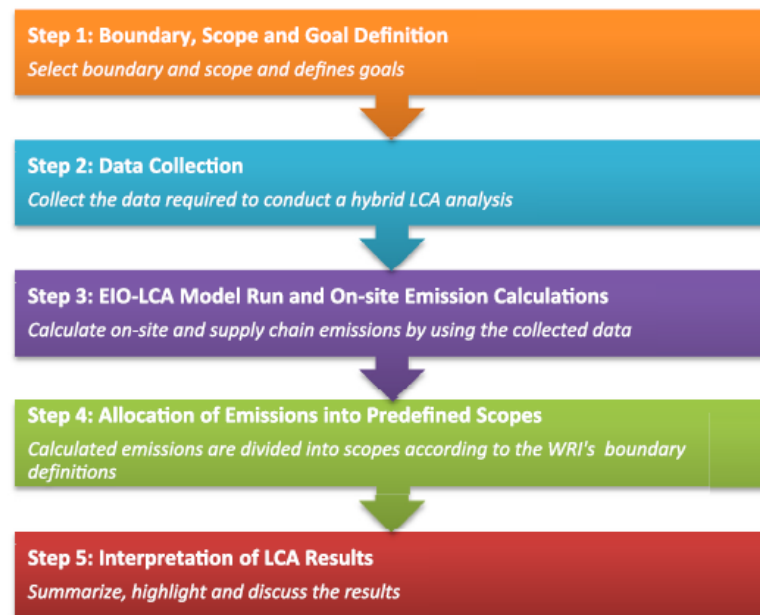
รูปที่ 45 ของเขตการวิจัยแบบ Well to Wheel [27]

ซึ่งหลังจากที่ได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการขนส่งแล้วก็จะนำมาคำนวณกับ Emission Factor : EF เพื่อหาค่า GHG ของระบบที่เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะคำนวณก๊าซเพียง 3 ชนิดคือ CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O และ CO<sub>2</sub> จากการวิเคราะห์พบว่า California's มีการปล่อย GHG ที่มากที่สุดเนื่องจากการขนส่งที่มากจึงทำให้มีการปล่อย GHG ที่ค่อนข้างสูง จากรูปที่ 46 จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงที่ใช้มากที่สุดคือ Gasoline



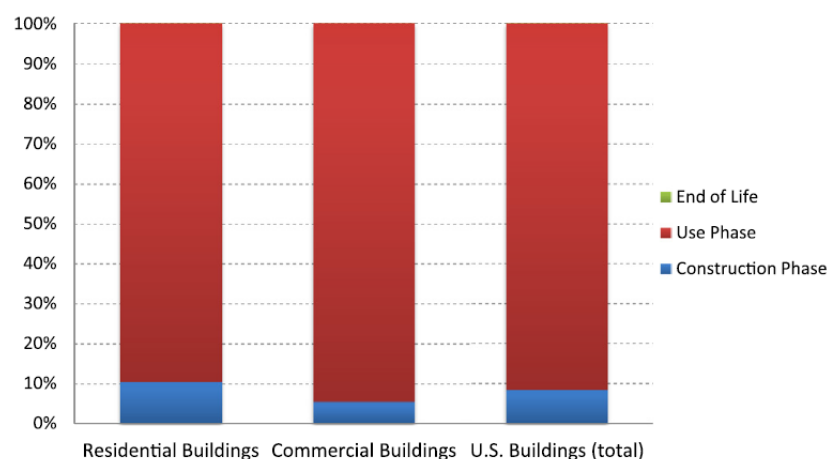
รูปที่ 46 การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง [27]

ในงานวิจัยของ Nuri Cihat et al. [28] ได้ทำการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในรูปแบบของ Life Cycle Analysis ของการสร้างบ้านโดยการวิเคราะห์นี้ได้ทำการวิเคราะห์ตลอดทั้งวัฏจักร โดยมีขั้นตอนและกระบวนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 47



รูปที่ 47 ขั้นตอนการวิเคราะห์จากรูปแบบของ Life Cycle Analysis [28]

จากรูปจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนแรกจะต้องมีการวางขอบเขตที่จะทำการศึกษางานวิจัย  
 ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการเก็บข้อมูล ขั้นตอนที่ 3 เป็นการคำนวณการปล่อยมลพิษจากพื้นที่ก่อสร้าง  
 ขั้นตอนที่ 4 จะเป็นการวิเคราะห์ในส่วนที่เหลือและในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการสรุปผล ซึ่งจาก  
 ผลการวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 48



รูปที่ 48 สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคารในช่วงวัฏจักร [28]



จากรูปที่ 48 จะเห็นได้ว่าในช่วงของการใช้งานของอาคารนั้นมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากในการใช้งานจะมีการใช้งานที่ค่อนข้างยาวนานจึงทำให้มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในส่วนอื่นๆ ในช่วงของการก่อสร้างจะเห็นได้ว่าแม้จะเป็นช่วงเวลาสั้นๆในการก่อสร้างแต่ก็มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประมาณ 10% ของอาคาร เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Jamie Bull et al. [29] โดยทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในอาคารของอังกฤษ ซึ่งนอกจากคิดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แล้วยังศึกษาต้นทุนของการใช้พลังงานในอาคารด้วยและทำการเปรียบเทียบอาคาร 4 อาคารมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งรายละเอียดของแต่ละอาคารสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ตารางแสดงรายละเอียดของอาคารแต่ละอาคารที่นำมาวิเคราะห์ [29]

Era	1870–1914	1914–1945	1945–1970	1970–1995
Representative building	School A	School B	School C	School D
Year of construction	1906	1936	1950s	1982
Storeys	4	4	4	1
Roof type	Pitched	Flat	Flat	Pitched
Gross internal area <sup>a</sup> (GIA) m <sup>2</sup>	3841	4532	5290	931
Net internal area <sup>b</sup> (NIA) m <sup>2</sup>	2435	3034	3836	675
NIA:GIA (-)	0.63	0.67	0.73	0.73
Floor-to-floor height (m)	3.62	3.53	3.34	3.50
Roofs area (m <sup>2</sup> )	1256	1470	2041	829
Gross wall area <sup>c</sup> (m <sup>2</sup> )	2490	3875	2652	721
Net wall area <sup>d</sup> (m <sup>2</sup> )	2033	2537	1356	580
Ground floor area (m <sup>2</sup> )	1256	1471	2038	932
Windows area (m <sup>2</sup> )	457	1338	1296	141
Glazing:GIA (-)	0.12	0.30	0.24	0.15
Glazing:façade (-)	0.18	0.35	0.49	0.20
Skylight:roof (-)	-	-	-	0.16
Surface:volume (-)	0.36	0.27	0.38	0.61
Perimeter:ground floor area (m/m <sup>2</sup> )	0.17	0.26	0.13	0.24
Boiler efficiency	80%	80%	80%	80%

<sup>a</sup> Gross internal area (GIA) is the sum of all conditioned floor areas.

<sup>b</sup> Net internal area is the GIA less the area of circulation, toilets, stores and reception areas.

<sup>c</sup> Gross wall area is the sum of all external wall areas.

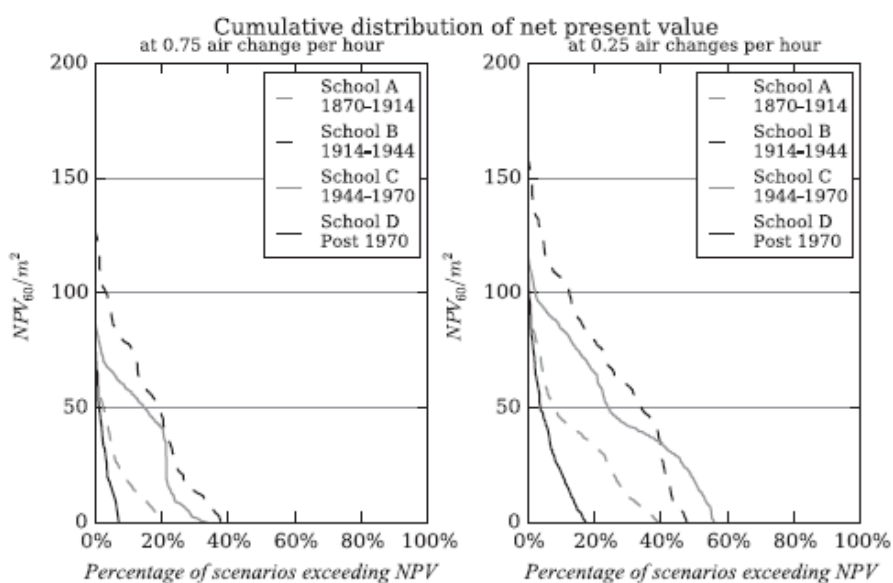
<sup>d</sup> Net wall area is the gross wall area less the area of windows and doors.

ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้อาคารมีอายุการใช้งาน 60 ปี การใช้พลังงานในอาคารของแต่ละอาคารนั้นเนื่องจากอาคารแต่ละอาคารนั้นมีพื้นที่ไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบเป็นหน่วยต่อตารางเมตร

ตารางที่ 16 ตารางแสดงการใช้พลังงานของแต่ละอาคาร [29]

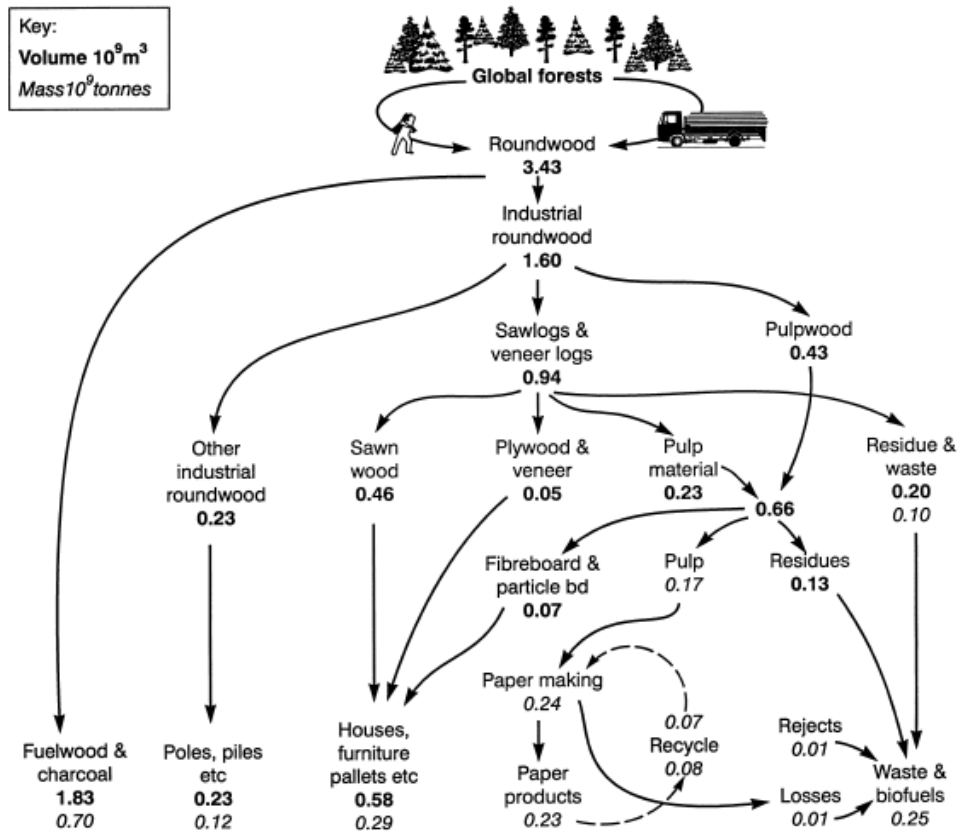
Model	Adjusted $R^2$	Standard error of estimate (kWh/m <sup>2</sup> /year)
All	0.952	6.59
School A	0.969	4.64
School B	0.968	5.97
School C	0.970	4.89
School D	0.973	4.72

จากตารางที่ 16 พบว่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตรของอาคาร B มีค่าการใช้พลังงานที่มากที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่มากที่สุดจึงทำให้ต้องมีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ NPV ของอาคารซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 49



รูปที่ 49 NPV ของอาคารแต่ละอาคาร [29]

นอกจากการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารแล้วยังมีการศึกษาพลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอีกด้วย เช่น ในงานวิจัยของ Andrew H. Buchanan et al. [30] ได้ทำการศึกษาการใช้ไม้และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการก่อสร้าง



รูปที่ 50 การใช้ไม้จากป่า [30]

จากรูปที่ 50 เป็นรูปแสดงการใช้ผลิตภัณฑ์ไม้จากป่าทั่วโลกซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้ไม้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ไม้สำหรับการก่อสร้างนั้นมีปริมาณค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังได้ยกตัวอย่างของการสร้างอาคารในนิวซีแลนด์ที่มีรายละเอียดการใช้วัสดุดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ตารางแสดงการใช้พลังงาน คาร์บอนและการใช้ไม้ของการก่อสร้างอาคารในรูปแบบต่างๆ [30]

Material	Energy		Carbon		Wood	Displacement factor
	(1983) GJ/m <sup>2</sup>	(1996) GJ/m <sup>2</sup>	Released (kgC/m <sup>2</sup> )	Stored (kgC/m <sup>2</sup> )	Transfer ratio (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	
<b>Hostel</b>						
Concrete	3.7	3.2	64	10	0.04	Concrete to wood 1.05
Wood	2.7	2.1	42	31	0.12	
<b>Office</b>						
Concrete	5.6	4.7	94	5	0.02	Concrete to wood 1.1
Steel	6.6	4.8	96	5	0.02	
Wood	3.7	3.0	60	35	0.14	
<b>Industry</b>						
Steel	3.2	2.1	42	2	0.008	Steel to wood 1.6
Wood	1.8	1.4	28	11	0.04	
<b>House</b>						
(a) High energy	5.9	4.7	94	9	0.04	(a) to (c)
(b) Low cost	4.2	3.4	68	19	0.08	2.1
(c) Low energy	2.5	1.7	34	37	0.15	(d) to (c)
(d) Typical	5.1	3.9	78	34	0.14	15
Column	1	2	3	4	5	6

นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ Joseph H.K. Lai et al. [31] ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยการศึกษาการใช้พลังงานโรงแรม โดยโรงแรมที่นำมาศึกษานี้จะใช้โรงแรม 3 โรงแรมที่มีความแตกต่างกัน โดยใช้โรงแรม 5 ดาว 4 ดาว และ 3 ดาว ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เวลาเก็บข้อมูลการใช้งานเป็นระยะเวลา 1 ปี เพื่อหาค่าการใช้พลังงานรายเดือนในรอบ 1 ปี เพื่อหาความแตกต่างของการใช้พลังงานของโรงแรมที่มีระดับแตกต่างกัน ซึ่งรายละเอียดของโรงแรมที่นำมาวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 18 และตารางที่ 19

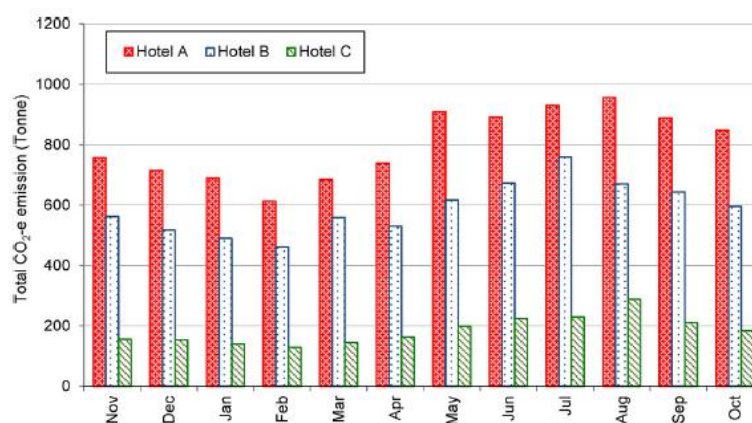
ตารางที่ 18 รายละเอียดของโรงแรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ [31]

Classification	Emission activities	Examples
Scope 1	Stationary sources combustion Mobile sources combustion Fugitive emissions Assimilation of carbon dioxide into biomass	Electricity generation, boilers, gas cooking stoves Commuter shuttle bus services operated for the building Refrigerants emissions during the use of refrigeration and air conditioning equipment Planting of trees
Scope 2	Consumption of purchased electricity Consumption of gas	Electricity used by electrical equipment Gas used by gas appliances
Scope 3	Methane gas generation at landfill due to disposal of paper waste Consumption of fresh water Treatment of waste water Overseas business travels Daily travels	Paper used for office work, newspaper disposed by occupants in the building Electricity used for fresh water processing by the water supplies department Electricity used for sewage processing by the drainage services department Flights taken by staff for attending business activities Local transportation taken by staff for travelling between residence and workplace

ตารางที่ 19 รายละเอียดของแต่ละโรงแรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ [31]

	Hotel A	Hotel B	Hotel C
Hotel grade	5-star	4-star	3-star
Building age (years)	40	1	25
No. of floors (including basement floors)	20	29	25
Construction floor area (m <sup>2</sup> )	52,685	42,313	7729
No. of guestrooms	492	262	150
Occupancy rate (%)	81.4	81.2	86.6
Food & beverage outlets (No.; m <sup>2</sup> )	5; 3087	5; 1866	2; 801
No. of regular employees	560	368	110

ซึ่งจากการเก็บข้อมูลดังกล่าว เมื่อนำมาวิเคราะห์การปล่อยมลพิษของการใช้พลังงานของโรงแรมแล้วจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 51 ซึ่งเป็นรูปการใช้พลังงานรายเดือนในช่วง 1 ปีที่การเก็บข้อมูล ซึ่งสัดส่วนของการใช้พลังงานนั้นจะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานของโรงแรมส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าของอาคาร ในแต่ละอาคารนั้นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นประมาณ 90% ของการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด

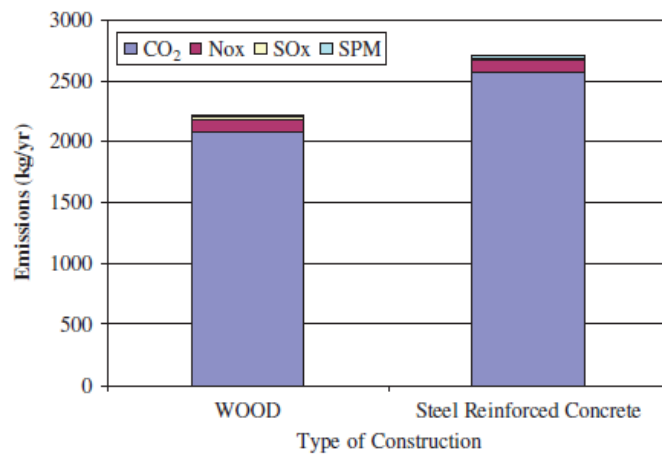


รูปที่ 51 การปล่อยมลพิษของการใช้พลังงานในโรงแรมรายเดือน [31]

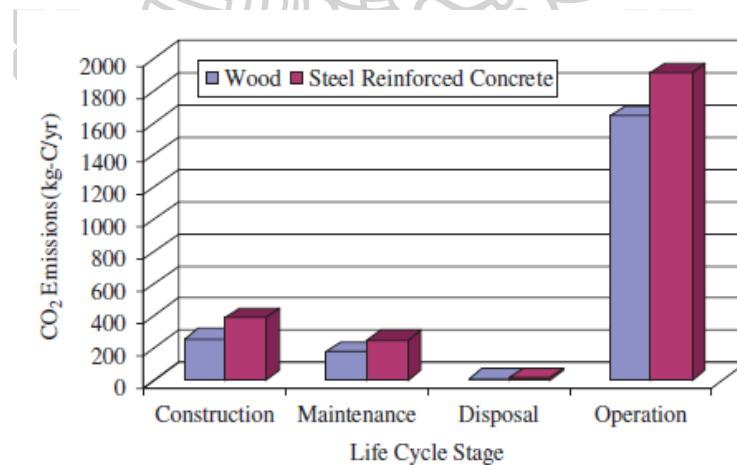
ตารางที่ 20 รายละเอียดการใช้พลังงานในอาคาร [31]

Sources	Hotel A	Hotel B	Hotel C
Electricity consumption	91.89	93.38	87.34
Gas consumption	3.31	2.62	3.66
Staff daily travel	1.87	1.44	2.75
Water supply and sewage processing	1.19	0.60	0.86
Refrigerant	0.55	0.00	2.22
Paper waste	0.55	0.95	2.67
Transportation for hotel guests	0.32	0.64	0.49
Business travels of hotel staff	0.25	0.30	NA
Cylinder LPG consumption	0.08	0.04	0.00
Emergency power generator	0.002	0.029	0.002

ในงานวิจัยของ G.P. Gerilla et al. [32] ได้ทำการศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปล่อยมลพิษของการใช้ไม้และเหล็กเสริมคอนกรีตในการก่อสร้างบ้าน ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาเกือบจะครบทั้งวัฏจักรจะไม่ได้ศึกษาเพียงการทำลาย โดยกำหนดให้มีอายุการใช้งานของอาคารอยู่ที่ 35 ปี ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษานี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 52 และรูปที่ 53



รูปที่ 52 กราฟเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษของไม้และเหล็กเสริมคอนกรีต [32]



รูปที่ 53 การปล่อยมลพิษช่วงของวัฏจักร [32]

จากรูปที่ 52 เป็นกราฟการเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษของไม้และเหล็กเสริมคอนกรีต จะเห็นได้ว่าการปล่อยมลพิษของไม้นั้นน้อยกว่าเหล็กเสริมคอนกรีตและในรูปที่ 53 นั้นเป็นรูปแสดงการปล่อยมลพิษของอาคารในช่วงต่างๆจะเห็นได้ว่าการปล่อยมลพิษที่มากที่สุดอยู่ในช่วงของการใช้งานอาคารเนื่องจากการใช้งานของอาคารนั้นมีช่วงของการใช้งานที่ค่อนข้างนานจึงทำให้มีการปล่อยมลพิษที่มากเช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ รองลงมาจะเป็นในช่วงของการก่อสร้างและการบำรุงรักษา จากทั้งหมดจะเห็นได้ว่าเหล็กเสริมคอนกรีตมีการปล่อยมลพิษมากกว่าไม้ในทุกๆช่วงของการใช้งาน สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารแล้วยังสามารถวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากอาคารได้อีกด้วยเช่นในงานวิจัยของ Zahra S. Moussavi Nadoushani et al. [33] ได้ทำการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากโครงสร้างของอาคาร โดยใช้รูปแบบของการก่อสร้างตามตารางที่ 21 ตารางที่ 21 ตารางการเลือกกิจกรรมการใช้งานในการก่อสร้าง [33]

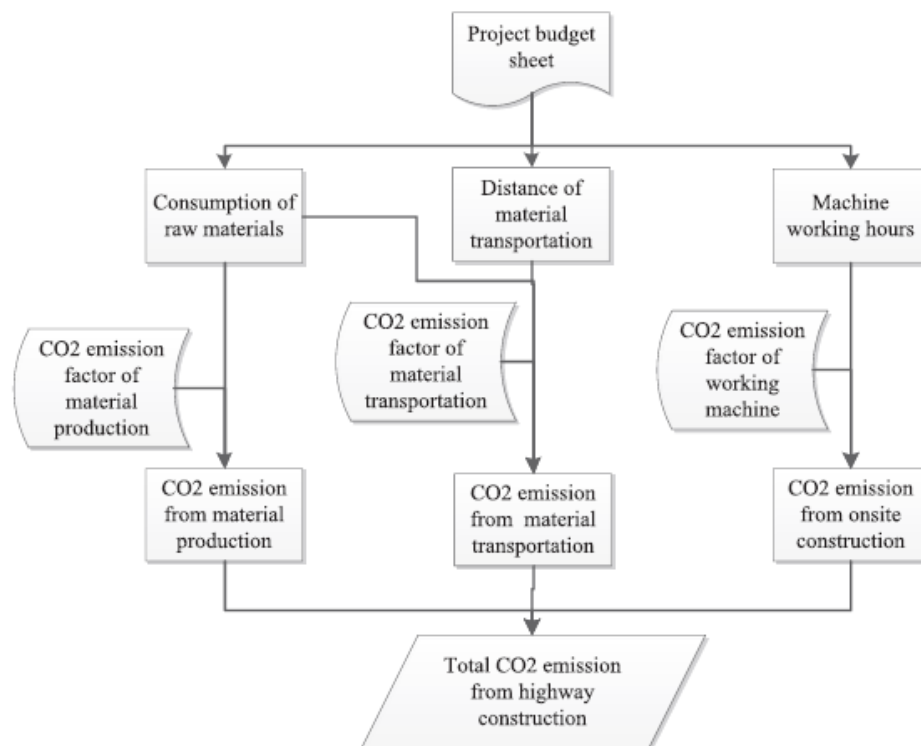
Descriptions	Crew	Daily output	Unit	Total cost	Equipment used
Excavating Continuous Footing 1' to 4' deep, 3/8 C.Y. excavator	B-11C	150	B.C.Y.	7.13	3/8 C.Y. excavator, Crawler Loader 3 C.Y.
Hauling, 12 C.Y. truck, 25 MPH ave. cycle 10 miles	B-34B	144	L.C.Y.	7.03	Dump truck, 12 C.Y., 400 H.P.
Forms in Place, Beams and Girders, 18", 1 use	C2	250	SFCA	11.58	-
Forms in Place, Columns, 24", 1 use	C1	190	SFCA	10.47	-
Forms in Place, Elevated Slabs, Flat Slabs, drop panels, to 15' high, 1 use	C2	449	S.F.	8.53	-
Forms in Place, Elevated Slabs, Floor Slabs with one way joist, 1 use	C2	415	S.F.	7.26	-
Forms in Place, Footings, Continuous wall, Plywood, 1 use	C1	375	SFCA	10.61	-
Forms in Place, Footings, Square or Rectangular, Plywood, 1 use	C1	290	SFCA	7.83	-
Forms in Place, Walls, Plywood, Over 8' to 16' high, 1 use	C2	291	SFCA	8.83	-
Reinforcing in Place, Beams and Girders, #3 to #7	4 Rodm	1.6	tonne	2020	-
Reinforcing in Place, Columns, #3 to #8	4 Rodm	1.5	tonne	2095	-
Reinforcing in Place, Elevated Slabs, #4 to #7	4 Rodm	2.9	tonne	1550	-
Reinforcing in Place, Footings, #4 to #7	4 Rodm	2.1	tonne	1770	-
Reinforcing in Place, Walls, #3 to #7	4 Rodm	3	tonne	1530	-
Reinforcing in Place, Unloading and Sorting	C5	100	tonne	36.35	Crane 25 tonne
Reinforcing in Place, Crane cost for handling, 90 picks/day, up to 1 tonne/bundle	C5	92	tonne	39.5	Crane 25 tonne
Placing Concrete, Beams, Pumped	C20	60	C.Y.	56.05	Gas Engine Vibrators, Concrete Pump (small)
Placing Concrete, Elevated Slabs, Less than 6" thick, Pumped	C20	140	C.Y.	24.05	Gas Engine Vibrators, Concrete Pump (small)
Placing Concrete, Footings, Continuous, Deep, Pumped	C20	160	C.Y.	21.04	Gas Engine Vibrators, Concrete Pump (small)
Placing Concrete, Footings, Spread, Over 5 C.Y., Pumped	C20	150	C.Y.	22.45	Gas Engine Vibrators, Concrete Pump (small)
Placing Concrete, Foundation Mats, Over 20 C.Y., Pumped	C20	400	C.Y.	8.41	Gas Engine Vibrators, Concrete Pump (small)
Placing Concrete, Walls, 12" thick, Pumped	C20	110	C.Y.	30.6	Gas Engine Vibrators, Concrete Pump (small)
Columns, Structural, W Shape, A992 steel, W8x24	E2	1080	L.F.	39.08	Lattice Crane, 90 tonne
Structural Steel Members, Beam or Grider, W6x9	E2	600	L.F.	20.45	Lattice Crane, 90 tonne

หลังจากที่ได้ค่าการปล่อยมลพิษออกมาแล้วก็จะนำไปเทียบกับงานวิจัยอื่นๆเพื่อหาความต่างของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงสร้างอาคารซึ่งหลังจากการเปรียบเทียบแล้วสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ตารางเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์กับงานวิจัยอื่น [33]

Author	Embodied carbon of concrete structures (kg/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>			Embodied carbon of steel structures (kg/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>			Location	Carbon databas
	M. phase	T. phase	C. phase	M. phase	T. phase	C. phase		
Suzuki et al. [45]	538 and 731	-	-	122 and 146	-	-	Japan	[46]
Cole [10]	-	8	7	-	0.3	1.8	Canada	[30,47]
Jonsson et al. [48]	128	-	-	87	-	-	Sweden	[49,50]
Dimoudi and Tompa [9]	147 and 218	-	-	-	-	-	Greece	[51]
Kua and Wong [52]	210	-	-	-	-	-	Singapore	[53]
This study	132-204	9-14	12-16	132-190	8-11	6-7	USA	[19]

ในงานวิจัยของ Xianwei Wang et al. [34] ได้ทำการประมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการก่อสร้างทางด่วนในจีน โดยศึกษาจากการใช้วัสดุ การขนส่งและเครื่องจักร โดยศึกษาตามแผนผังดังรูปที่ 54



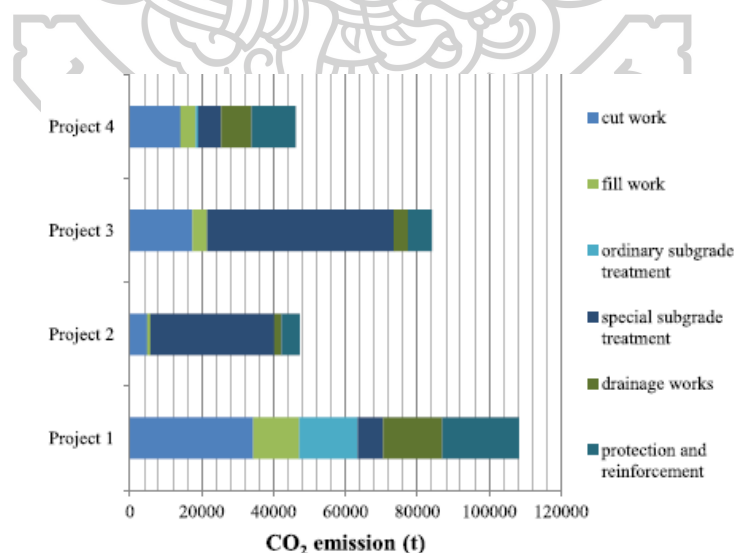
รูปที่ 54 ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยและการวิเคราะห์ [34]



ซึ่งในงานนี้ได้ศึกษาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการก่อสร้างทางด่วนทั้งหมด 4 จุดแล้ว หลังจากนั้นจะมีการนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อดูความสัมพันธ์ของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และระยะทาง หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 55 และรูปที่ 56

	Project 1	Project 2	Project 3	Project 4
Total length (km)	97.455	23.698	41.140	50.578
Design speed (km/h)	80			
Number of lanes	4			
Subgrade width (m)	24.5			
Pavement structure	Asphalt concrete pavement			
Number of bridges	73	35	54	25
Total length of bridges (km)	14.315	8.438	15.880	4.840
Number of tunnels	None	7	6	None
Total length of tunnels (km)	None	7.408	4.710	None
Total emissions (t)	741,033	703,287	1,091,184	283,691
Material production (t)	626,187	627,267	982,091	240,557
(Percentage among total)	<b>(84.50%)</b>	<b>(89.20%)</b>	<b>(90.00%)</b>	<b>(84.80%)</b>
Material transportation (t)	17,624	6830	11,989	No
(Percentage among total)	<b>(2.40%)</b>	<b>(1.00%)</b>	<b>(1.10%)</b>	data for transportation
Onsite construction (t)	97,222	69,190	97,104	43,134
(Percentage among total)	<b>(13.1%)</b>	<b>(9.8%)</b>	<b>(8.9%)</b>	<b>(15.2%)</b>
Emission density (t/km)	7604	29,677	26,524	5609
Proportion of bridges and tunnels in the project	14.69%	66.87%	50.05%	9.57%

รูปที่ 55 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการก่อสร้าง [34]



รูปที่ 56 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการต่างๆของการก่อสร้าง [34]

จากรูปที่ 55 เป็นการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการก่อสร้างทั้งหมดของทั้ง 4 โครงการ และจะเห็นได้ว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกือบ 90% มาจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากวัสดุของการก่อสร้าง ส่วนในงานของการก่อสร้างและการขนส่งนั้นมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุ ในรูปที่ 56 เป็นรูปแสดงการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการต่างๆของการก่อสร้างจะเห็นได้ว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโครงการที่ 1 มากที่สุดเพราะมีการทำงานที่มากที่สุดจึงทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูง

ในงานวิจัยของ Ambrose Dodoo et al. [35] ได้ทำการเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์และ Energy Life Cycle ของอาคารไม้และหลังจากนั้นได้ลองปรับเปลี่ยนอาคารให้เป็นอาคารแบบ Passive ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ในรูปแบบของ Life Cycle Assessment แบบ Cradle to Grave ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ตลอดวัฏจักรจนถึงในส่วนของการทำงานหรือการกำจัดซาก

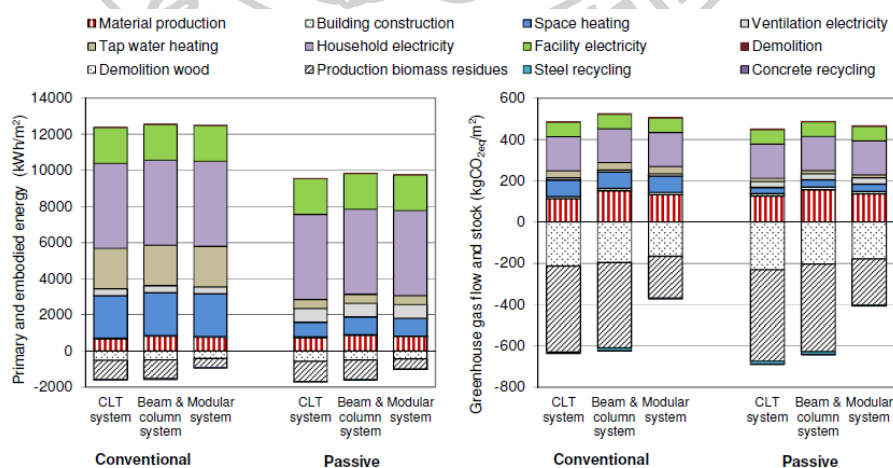
ตารางที่ 23 ตารางการใช้พลังงานของของอาคารในช่วงของการก่อสร้าง [35]

Description	Primary energy use (kWh/m <sup>2</sup> [ living area ])					
	CLT system		Beam-and-column system		Modular system	
	Conventional	Passive	Conventional	Passive	Conventional	Passive
<b>Energy use</b>						
<i>Material production</i>						
Fossil fuels	307	341	404	418	359	370
Electricity	233	252	283	307	295	306
Bioenergy	144	156	136	139	116	122
<b>Total</b>	<b>684</b>	<b>749</b>	<b>823</b>	<b>864</b>	<b>770</b>	<b>798</b>
<i>Building construction</i>						
Fossil fuel	14	15	16	17	16	16
Electricity	14	15	16	17	15	16
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>31</b>	<b>32</b>
<b>Total</b>	<b>712</b>	<b>779</b>	<b>855</b>	<b>898</b>	<b>801</b>	<b>830</b>
<b>Energy benefit</b>						
<i>Biomass residues</i>						
Forest harvest	-268	-287	-259	-267	-161	-174
Wood processing industries	-721	-759	-724	-744	-300	-335
Construction site	-66	-72	-60	-63	-51	-55
<b>Total</b>	<b>-1055</b>	<b>-1118</b>	<b>-1043</b>	<b>-1074</b>	<b>-512</b>	<b>-564</b>
<b>Overall balance</b>	<b>-343</b>	<b>-339</b>	<b>-188</b>	<b>-176</b>	<b>289</b>	<b>266</b>

ตารางที่ 24 ตารางแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคาร [35]

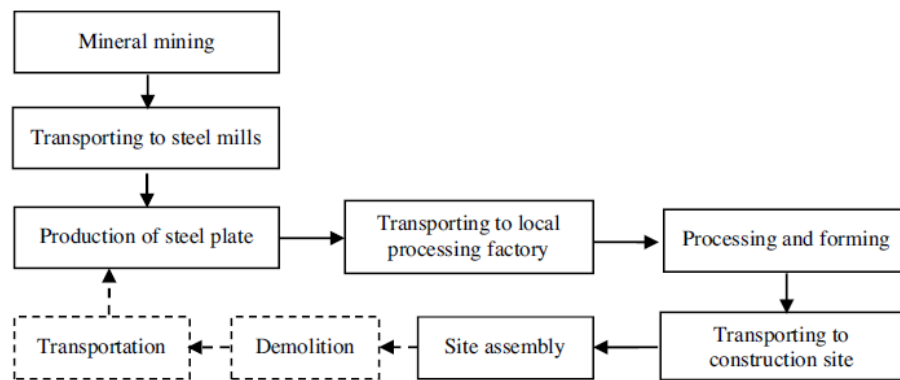
Description	Carbon emission (kg CO <sub>2</sub> -eq/ m <sup>2</sup> [ living area ])					
	CLT system		Beam-and-column system		Modular system	
	Conventional	Passive	Conventional	Passive	Conventional	Passive
<b>CO<sub>2</sub> emission</b>						
<i>Material production</i>						
Fossil fuels	96	108	127	132	112	116
Electricity	9	10	11	12	11	12
Net cement reaction	9	9	13	13	9	9
<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>127</b>	<b>151</b>	<b>157</b>	<b>132</b>	<b>137</b>
<i>Building construction</i>						
Fossil fuel	5	5	6	6	6	6
Electricity	1	1	2	2	1	2
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>133</b>	<b>159</b>	<b>165</b>	<b>139</b>	<b>145</b>
<b>C stock / CO<sub>2</sub> avoided</b>						
<i>Carbon in wood material</i>	-213	-231	-197	-204	-166	-178
<i>Biomass residues</i>						
Forest harvest	-108	-116	-105	-108	-65	-71
Wood processing industries	-283	-298	-284	-292	-117	-131
Construction site	-26	-29	-24	-25	-21	-22
<b>Total</b>	<b>-630</b>	<b>-674</b>	<b>-610</b>	<b>-629</b>	<b>-369</b>	<b>-402</b>
<b>Overall balance</b>	<b>-510</b>	<b>-541</b>	<b>-451</b>	<b>-464</b>	<b>-230</b>	<b>-257</b>

จากตารางที่ 23 เป็นตารางแสดงการใช้พลังงานที่ใช้ในช่วงของการก่อสร้างอาคารไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้า เชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีพลังงานในส่วนของการผลิตวัสดุก่อสร้างอีกด้วย ในส่วนของตารางที่ 24 เป็นตารางแสดงการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคารในรูปแบบระบบการก่อสร้างอาคาร 3 รูปแบบ คือ CLT system , Beam-and-column system และ Modular system

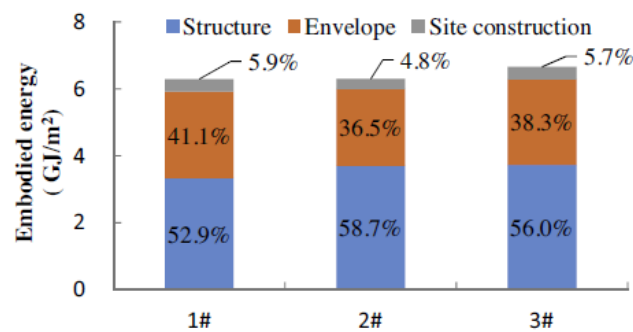


รูปที่ 57 การใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจกของแต่ละระบบทั้ง 2 ตึก [35]

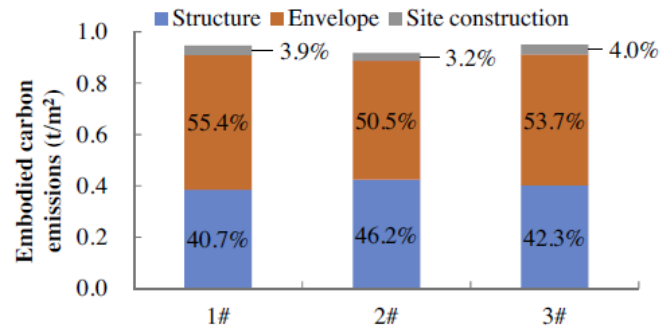
ในรูปที่ 57 นั้นเป็นรูปผลของการวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงต่างๆของอาคารทั้งอาคารในรูปแบบเดิมและอาคารแบบใหม่หลังการปรับปรุง ในส่วนของการผลิตวัสดุก่อสร้างนั้นในงานวิจัยของ Xing Su et al. [36] ได้ดูการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของเหล็กจากการก่อสร้างในจีน โดยดูเพียงการผลิตเสร็จเท่านั้นซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 58 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์และรวบรวมการใช้พลังงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 59 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานส่วนใหญ่มาจากในส่วนของงานโครงสร้างและการปล่อยคาร์บอนจะอยู่ในส่วนของผนังมากที่สุดซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 60 และพลังงานที่สะสมจะแสดงได้ดังรูปที่ 61



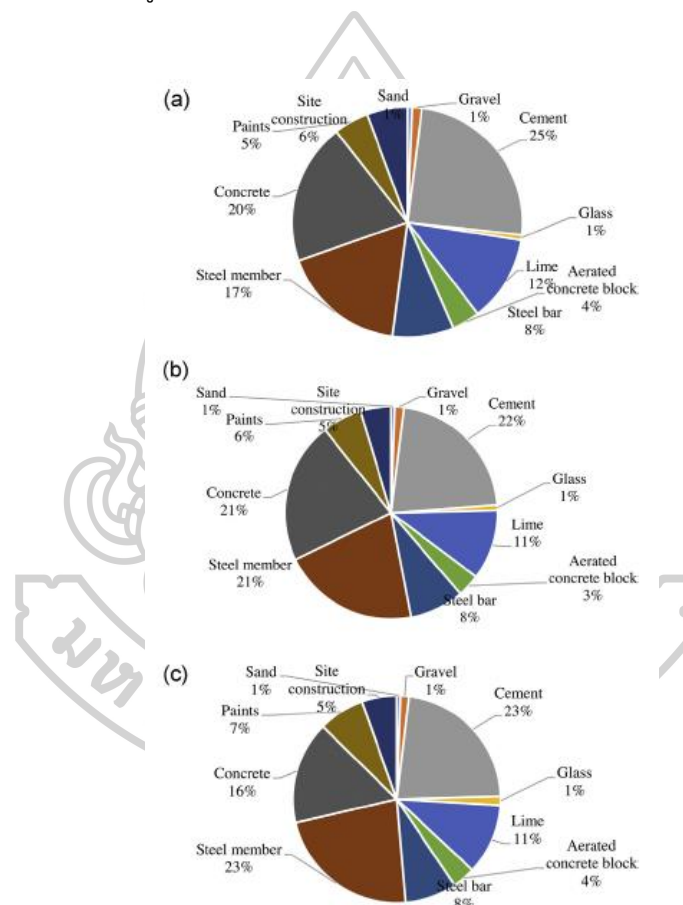
รูปที่ 58 ขอบเขตการวิเคราะห์งานวิจัย [36]



รูปที่ 59 พลังงานที่อาคารสะสมไว้ [36]

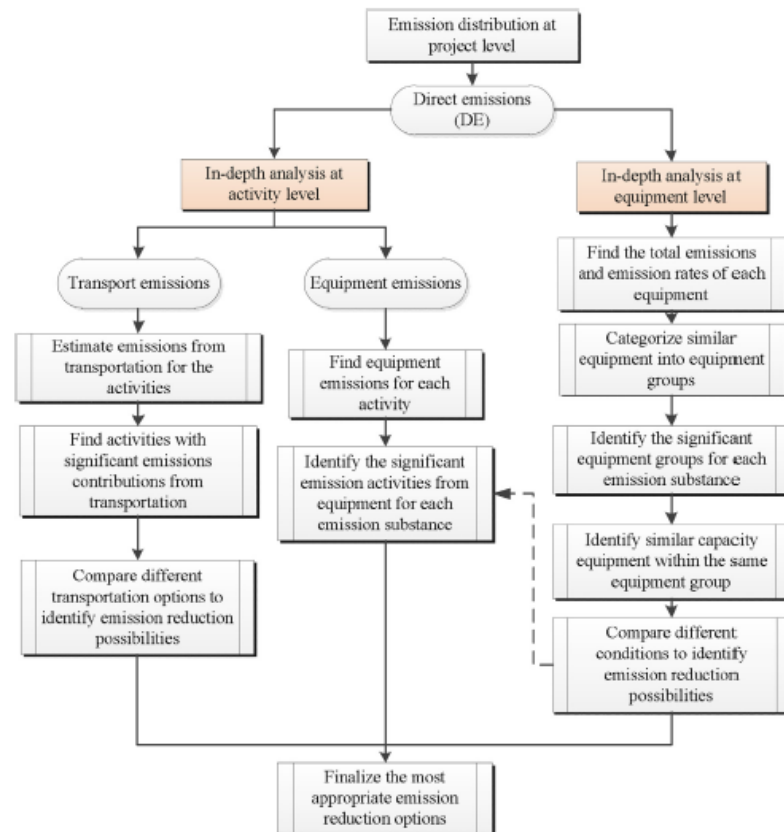


รูปที่ 60 ปริมาณคาร์บอนที่อาคารสะสมไว้ [36]

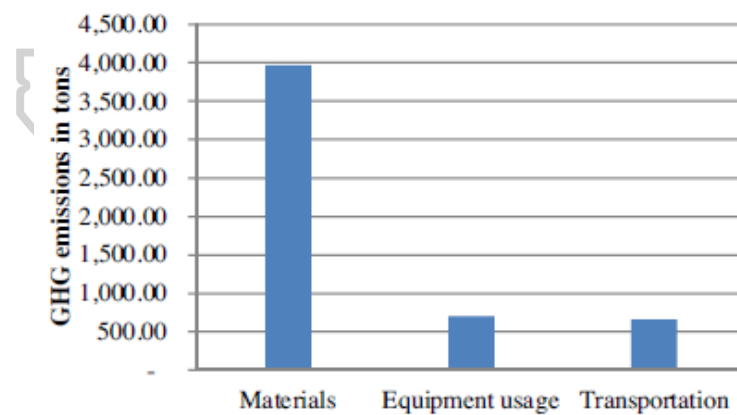


รูปที่ 61 แหล่งที่มาของพลังงานที่อาคารสะสม [36]

เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Malindu Sandanayake et al. [37] ได้ทำการประเมินและเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษหรือก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างโดยศึกษาจากกิจกรรมในการก่อสร้างรวมถึงเครื่องมือและวัสดุ โดยมีกรอบการศึกษาดังรูปที่ 62 เมื่อศึกษาเสร็จแล้วสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 63



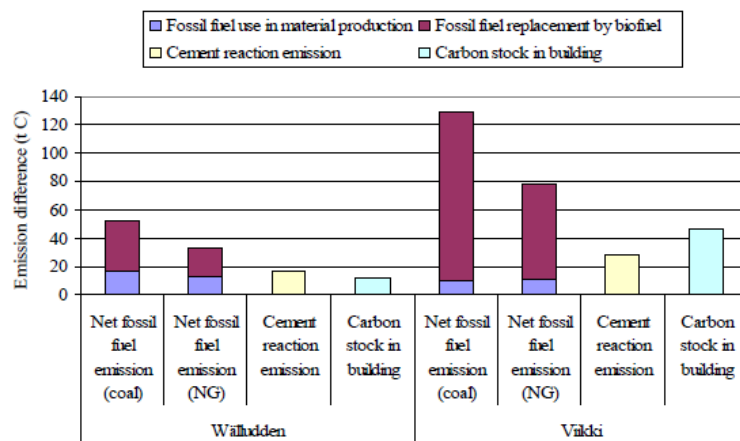
รูปที่ 62 กรอบการศึกษางานวิจัย [37]



รูปที่ 63 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้าง [37]

จากรูปที่ 63 จะเห็นได้ว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากการใช้วัสดุเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากบทความก่อนหน้านี้ที่ได้มีการพิจารณาวัสดุทุกงานวิจัยนั้นได้สรุปเป็นแบบเดียวกัน ถัดมาใน ส่วนของการใช้เครื่องมือและการขนส่งเมื่อเทียบกับวัสดุแล้วถือเป็นส่วนที่น้อยมากเพียงประมาณ

10% นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Leif Gustavsson et al. [38] ได้ศึกษา Carbon balance จากการแทนที่โดยไม้และเปรียบเทียบจากโครงสร้างไม้และโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งเป็นการนำเอางานวิจัย 2 งานวิจัยมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลแสดงได้ดังรูปที่ 64

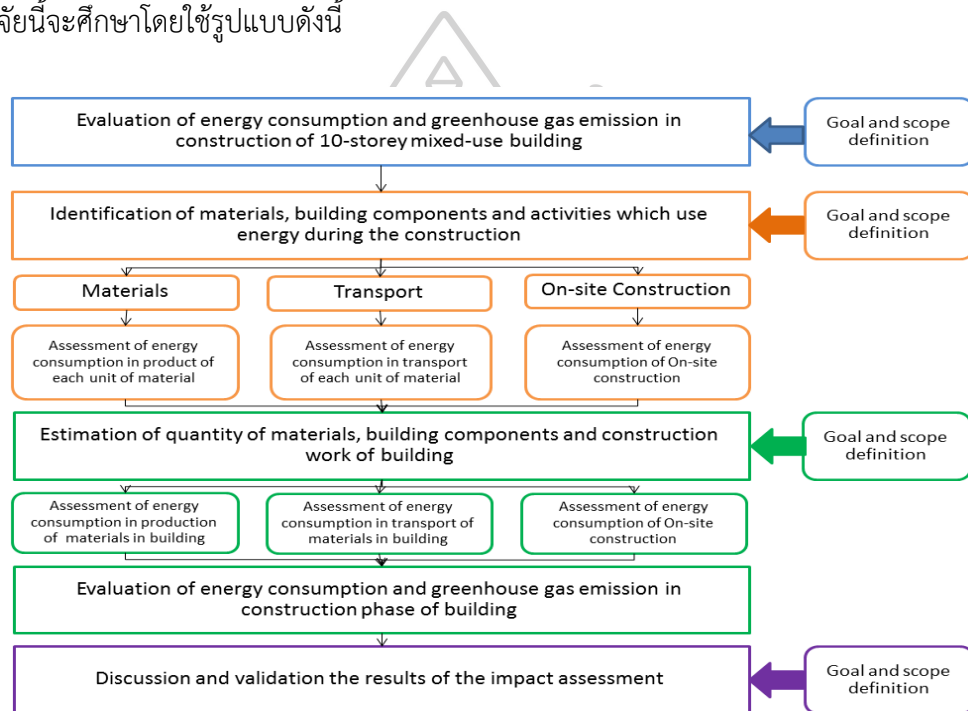


รูปที่ 64 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานและ Carbon balance [38]

จากรูปที่ 64 แสดงการใช้พลังงานและ Carbon balance ของ Wälludden และ Viikki ซึ่งในส่วนของ Wälludden จะเป็นอาคารไม้และ Viikki เป็นอาคารคอนกรีต ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของการใช้พลังงานหรือ Carbon balance ของอาคารไม้นั้นดีกว่าเนื่องจากในการใช้พลังงานของไม้นั้นมีการใช้พลังงานที่ต่ำกว่า

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษางานวิจัยนี้จะศึกษาการใช้พลังงานและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างอาคารและการใช้วัสดุก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ในรูปแบบของ Life Cycle Analysis : LCA เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างอาคารดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จะศึกษาโดยใช้รูปแบบดังนี้



รูปที่ 65 รูปแสดงขอบเขตการวิจัย

#### 3.1 กำหนดขอบเขตและแนวทาง

จากรูปที่ 65 แสดงขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยต่างๆเพื่อหาแนวทางที่จะนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลและทำวิจัย หลังจากที่ทำการศึกษางานวิจัยแล้วก็จะต้องทำการกำหนดขอบเขตของงานวิจัยเพื่อให้รู้ขอบเขตและแนวทางสำหรับงานที่จะทำในครั้งนี้ ในการทำวิจัยครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการก่อสร้างหรือ Energy Life Cycle of Construction โดยจะใช้รูปแบบ Gate to Gate มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีแหล่งพลังงาน 3 ส่วน ได้แก่ พลังงานที่มาจากวัสดุ พลังงานจากการขนส่งและพลังงานจากการก่อสร้างที่ได้จากการเก็บ



ข้อมูล หลังจากนั้นจะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้ตามสมการในหัวข้อที่ 3.8 และจัดทำารสรุปผลของการวิเคราะห์

### 3.2 การจำแนกการเก็บข้อมูล

การจำแนกการเก็บข้อมูลนั้นหลังจากที่ได้กำหนดขอบเขตและแนวทางแล้วก็จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์การใช้พลังงานงานและปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งพลังงานและก๊าซเรือนกระจกจะมีแหล่งที่มาจาก 2 แหล่งที่ได้แก่วัสดุก่อสร้างและในกระบวนการระหว่างการก่อสร้างอาคาร

#### 3.2.1 วัสดุ

ในการก่อสร้างจำเป็นที่จะต้องมีการใช้วัสดุซึ่งในการก่อสร้างแต่ละครั้งนั้นก็จะมีการใช้วัสดุเป็นจำนวนมากซึ่งค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุแต่ละชนิดก็จะมีค่าการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ต่างกัน ซึ่งจะต้องมีการคัดแยกประเภทซึ่งวัสดุหลักมีการใช้ในอาคารนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบต่อกิโลกรัมแล้ววัสดุที่มีค่าการปล่อยก๊าซมากที่สุดคือวัสดุจำพวกโลหะ เช่น อลูมิเนียม สแตนเลส เหล็ก เนื่องจากในการผลิตวัสดุเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการที่มีใช้พลังงานในระหว่างการผลิตค่อนข้างสูง เมื่อมีการใช้พลังงานในการผลิตที่สูงขึ้น เช่น ไฟฟ้า น้ำประปาและเชื้อเพลิง จึงทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้นด้วย วัสดุถัดมาที่น่าสนใจคือวัสดุจำพวกพลาสติกหรือ PVC ด้วยเหตุผลเดียวกับการผลิตโลหะแต่จะแตกต่างกันตรงที่โลหะสามารถหาได้จากธรรมชาติและถลุงเพื่อให้ได้แร่เหล็กแต่พลาสติกหรือ PVC นั้นเกิดจากการเรซินผสมสารเคมีต่างๆเพื่อให้เกิดเป็นวัตถุดิบแล้วผ่านกระบวนการใช้ความร้อน และเมื่อมีการใช้สารเคมีจึงทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูง ส่วนวัสดุที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยที่สุดคือทราย เนื่องจากทรายนั้นเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติและไม่ต้องผ่านกระบวนการที่ใช้พลังงานสูงจะมีเพียงการดูดและขนส่งเท่านั้น จึงทำให้ไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยกว่าวัสดุอื่นๆหลายเท่า ในการคำนวณหาปริมาณการใช้วัสดุของการก่อสร้างอาคารดังกล่าวจะทำการคำนวณโดยการประมาณการวัสดุของผู้รับเหมามาใช้ในการคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ G. Hammond et al [39] ต่อไป

### 3.2.2 พลังงาน

ในการก่อสร้างนั้นนอกจากการใช้วัสดุที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมหาศาลแล้ว พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างก็เป็นปัจจัยหลักอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อาคารต่าง ๆ มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงเนื่องจากในการก่อสร้างนั้นจะต้องมีการใช้พลังงาน เช่น ไฟฟ้า เชื้อเพลิงและน้ำมัน ซึ่งการใช้พลังงานต่าง ๆ ก็จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในตัว ซึ่งพลังงานหลักที่ใช้ในการก่อสร้างจะมีอยู่ 2 ชนิดดังนี้

#### 3.2.2.1 ไฟฟ้า

การใช้ไฟฟ้าในการก่อสร้างนั้นในปัจจุบันถือเป็นพลังงานหลักที่มีการใช้มากที่สุดทำให้พลังงานนี้เป็นที่น่าสนใจซึ่งจากหลายงานวิจัยที่ศึกษามาได้มีการศึกษาหาวิธีลดใช้พลังงานเหล่านี้ พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างนั้นโดยส่วนมากจะใช้ในเครื่องมือเครื่องจักรเป็นส่วนมาก นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนที่ได้จากมิเตอร์ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่ก่อสร้างอาคารที่ใช้ในการวิจัยโดยการจดบันทึก

#### 3.2.2.2 เชื้อเพลิง

การใช้เชื้อเพลิงในการก่อสร้างนั้นเป็นอีกพลังงานหนึ่งที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากในการใช้งานนั้นจะต้องมีการเผาไหม้โดยตรง โดยการใช้เชื้อเพลิงในการก่อสร้างนั้นจะมีการใช้หลักๆ อยู่ 2 ส่วน คือ การขนส่งและการใช้ในเครื่องจักร การใช้ในการขนส่งนั้นจะเป็นการขนส่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ วัสดุก่อสร้างตลอดจนการขนส่งคนงานที่จะมาก่อสร้างส่วนการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรนั้นก็จะมีมาในส่วนของการใช้เครื่องจักรหนัก เช่น ปั่นจั่นตอกเสาเข็ม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เชื้อเพลิงในการปรับพื้นที่หรือขุดเจาะต่างๆ อีกด้วย ในงานวิจัยนี้จะเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงโดยการจัดทำใบบันทึกข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการใช้น้ำมัน

### 3.3 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1.7 ในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกนั้นจะมีการนำค่าสัมประสิทธิ์ หรือค่า GHG Emission Factor มาคำนวณผลกระทบ ในงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 2.1-2.5 ในหัวข้อดังกล่าวมาทำการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

### 3.4 แหล่งที่มาของข้อมูล

สำหรับแหล่งที่มาของข้อมูลนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างและพลังงานที่สะสมในวัสดุ แสดงได้ดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 แหล่งที่มาของการใช้พลังงาน

#### 3.4.1 พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง

พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ การใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง หรือการใช้เชื้อเพลิงในการทำงานของเครื่องจักรซึ่งรวมถึงการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุก่อสร้าง

#### 3.4.2 พลังงานที่สะสมในวัสดุ

พลังงานที่สะสมในวัสดุก่อสร้างนั้นเกิดจากการใช้พลังงานต่างๆ ในช่วงของการผลิตวัสดุก่อสร้าง เช่น การใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักร การใช้ไฟฟ้าในการสกัด การใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง เป็นต้น

### 3.5 รายละเอียดของอาคารที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะใช้อาคารอเนกประสงค์ พระราชวังสนามจันทร์ ที่ตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม มาวิเคราะห์หาการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งอาคารนี้มีจำนวน 10 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 17,000 ตารางเมตรตามรูปที่ 67



รูปที่ 67 อาคารที่ใช้ในการวิจัย

### 3.6 ขั้นตอนการก่อสร้าง

#### 3.6.1 การก่อสร้าง

ในการก่อสร้างอาคารนั้นเริ่มต้นจากการรื้อถอน ปรับปรุงสถานที่หลังจากนั้นเป็นการเริ่มทำส่วนของโครงสร้างของฐานราก ซึ่งประกอบด้วย การปรับระดับดินโดยใช้วิธีการถมอัด ซึ่งในการถมอัดนั้นจะเป็นการใช้รถตักตบดินให้ดินมีความแน่นซึ่งงานก่อนปรับพื้นดินนั้นอาจจะต้องมีการรื้อถอนสิ่งก่อสร้างเดิมหรือขุดรากไม้ที่มีขนาดใหญ่ออกก่อน ต่อมาเป็นการลงเสาเข็มซึ่งในอาคารนี้จะใช้วิธีการตอกเสาเข็มลงไปโดยอุปกรณ์ที่สำคัญในงานนี้คือปั้นจั่นตอกเสาเข็ม หลังจากลงเสาเข็มเสร็จก็จะเป็นการตัดหัวเสาเข็มและการทดสอบเสาเข็ม ต่อไปจะเป็นการหล่อตอม่อเพื่อรองรับเสาและคานตลอดจนงานถักกักเก็บน้ำใต้ดินรวมถึงงานฐานรากอื่นๆ สำหรับอาคารนี้ใช้เวลาในการทำฐานราก 18 สัปดาห์ สำหรับงานตอม่อและคานนี้ส่วนใหญ่จะใช้เป็นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นวัสดุหลัก เมื่อทำส่วนประกอบของฐานรากเสร็จแล้วถัดไปจะเป็นในส่วนของการทำพื้นและบันไดซึ่งตัวพื้นและบันไดจะต้องเชื่อมต่อกับเสา โดยเริ่มตั้งแต่ด้านล่างสุดไล่ขึ้นด้านบนเพื่อความสะดวกในการทำงานและการขนย้ายวัสดุและอุปกรณ์ หลังจากนั้นจะเป็นการทำงานในส่วน of โครงสร้าง เช่น การก่อผนัง ขอบประตูหน้าต่าง เดินท่อน้ำ เดินสายไฟ เมื่อทำถึงชั้นบนสุดแล้วจะเป็นการทำหลังคาเพื่อกันแดดกันฝน ในงานข้างต้นจะเป็นการทำงานหลากหลายประเภทไปพร้อมๆกัน เมื่อทำหลังคาเสร็จจึงจะทำการตกแต่งทาสี ทาน้ำยากันซึม หรืองานอื่นๆที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวอาคาร เช่น ขัดพื้น ฉีดปลวก ซึ่งการก่อสร้างตัวอาคารนั้นใช้ระยะเวลาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 24-109 รวม 85 สัปดาห์ ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งประเภทของงานออกเป็น 5 ส่วนตามหมายเลขที่ได้ระบุไว้ได้แก่

1. **ส่วนฐานราก** โครงสร้างส่วนฐานรากเป็นการทำงานส่วนที่อยู่ใต้ชั้นที่ 1 ประกอบด้วยงานปรับพื้น งานเสาเข็ม งานตอม่อและงานคานรับน้ำหนักรวมถึงงานถังเก็บน้ำใต้ดิน ใช้ระยะเวลาในการทำทั้งสิ้น 8 เดือน ตั้งแต่เดือนที่ 1-6 และ 10-11
2. **ส่วนลานจอดรถ** โครงสร้างส่วนลานจอดรถเป็นส่วนของบริเวณชั้น 1-3 ของอาคารเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะโล่งและมีเสาขนาดใหญ่เพื่อรองรับน้ำหนักของอาคาร มีระยะเวลาในการก่อสร้าง 21 เดือน ตั้งแต่เดือนที่ 4-11 และ 13-25 ที่เป็นการทำงานด้านสถาปัตยกรรมและการเก็บรายละเอียดของงาน
3. **ส่วนลานอเนกประสงค์** โครงสร้างส่วนลานอเนกประสงค์นั้นมีลักษณะเป็นพื้นที่โล่ง มีผนังปิดทึบทุกด้าน จัดอยู่บริเวณชั้นที่ 4-6 ของอาคาร มีระยะเวลาก่อสร้าง 17 เดือน คือเดือนที่ 8 และเดือนที่ 10-25
4. **ส่วนห้องพัก** โครงสร้างส่วนห้องพักของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นอยู่บริเวณชั้นที่ 7-9 ของอาคารมีลักษณะแบ่งเป็นห้องพัก ภายในห้อง ที่พักประกอบไปด้วยห้องน้ำ ห้องนั่งเล่น ห้องนอน ห้องครัวและระเบียง ใช้เวลาในการก่อสร้างทั้งสิ้น 14 เดือน ตั้งแต่เดือนที่ 12-25
5. **ส่วนดาดฟ้าหลังคา** ในส่วนของโครงสร้างดาดฟ้าหลังคานั้นประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นดาดฟ้า ห้องลิฟต์ ห้องเก็บถังน้ำและส่วนที่เป็นหลังคา อยู่บริเวณชั้นที่ 10 ของอาคารใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างทั้งสิ้น 9 เดือน ตั้งแต่เดือนที่ 16-25

### 3.6.2 ไฟฟ้ารายเดือน

การใช้ไฟฟ้าในการก่อสร้างอาคารนั้นเป็นการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เริ่มแรกของการก่อสร้าง โดยการให้แสงสว่างในช่วงของการปรับระดับหน้าดินจนถึงการก่อสร้างเสร็จ ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการก่อสร้าง เช่น เครื่องตัด เครื่องเจาะ เครน นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นสำนักงานในส่วนของการควบคุมการก่อสร้าง

### 3.7 แผนการดำเนินงาน

	2017												2018					
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.		
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	← →																	
ถอดแบบวัสดุอาคาร			← →															
เก็บข้อมูลการใช้พลังงาน	← →																	
<b>วิเคราะห์ข้อมูล</b>																		
วัสดุ			← →															
พลังงาน	← →																	
สรุปผล																← →		
จัดทำรูปเล่ม								← →										

รูปที่ 68 แผนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 68 แสดงแผนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้ซึ่งอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์มีกำหนดเสร็จในเดือนกุมภาพันธ์ปี 2561 จึงมีการเก็บพลังงานถึงเพียงเดือนกุมภาพันธ์ หลังจากนั้นจะเป็นส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล

เดือนที่	1	5	10	15	20	25
ฐานราก	← →		← →			
ลานจอดรถ		← →			← →	
ลานอเนกประสงค์			← →			
ห้องพัก				← →		
คาดฟ้าหลังคา					← →	

รูปที่ 69 แผนการดำเนินการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์

จากรูปที่ 69 เป็นรูปแสดงแผนการดำเนินการก่อสร้างอาคาร 5 ส่วนประกอบด้วย ฐานราก เป็นการก่อสร้างช่วงเดือนที่ 1-5 และ 10-11 ส่วนของลานจอดรถก่อสร้างเดือนที่ 4-11 และ 13-25 ส่วนลานอเนกประสงค์ก่อสร้างเดือนที่ 8 และ 10-25 ห้องพักเดือนที่ 12-25 และคาดฟ้าหลังคา ก่อสร้างเดือนที่ 16-25

### 3.8 สมการการคำนวณพลังงานสะสม

#### 3.8.1 การคำนวณพลังงานสะสมของวัสดุ

การคำนวณพลังงานสะสมของวัสดุจะต้องใช้ปริมาณการใช้วัสดุแต่ละชนิดมาคำนวณ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$EE_M = Q_M \times ENF \quad (3.1)$$

โดย  $EE_M$  = ค่าพลังงานสะสมของวัสดุ

$Q_M$  = ปริมาณวัสดุที่ใช้

$ENF$  = ค่า Energy Factor ของวัสดุ

#### 3.8.2 การคำนวณพลังงานสะสมของการขนส่ง

การคำนวณพลังงานสะสมของการขนส่ง จะใช้ Energy Factor ของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$EE_T = (D_T \times F_R + R_m \times ) \times ENF \quad (3.2)$$

โดย  $EE_T$  = ค่าพลังงานสะสมของการขนส่ง

$D_T$  = ระยะทางในการขนส่งทางบก

$F_R$  = อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถแต่ละประเภทและน้ำหนักที่บรรทุก

$R_m$  = จำนวนรอบของการขนส่ง

$ENF$  = ค่า Energy Factor ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง

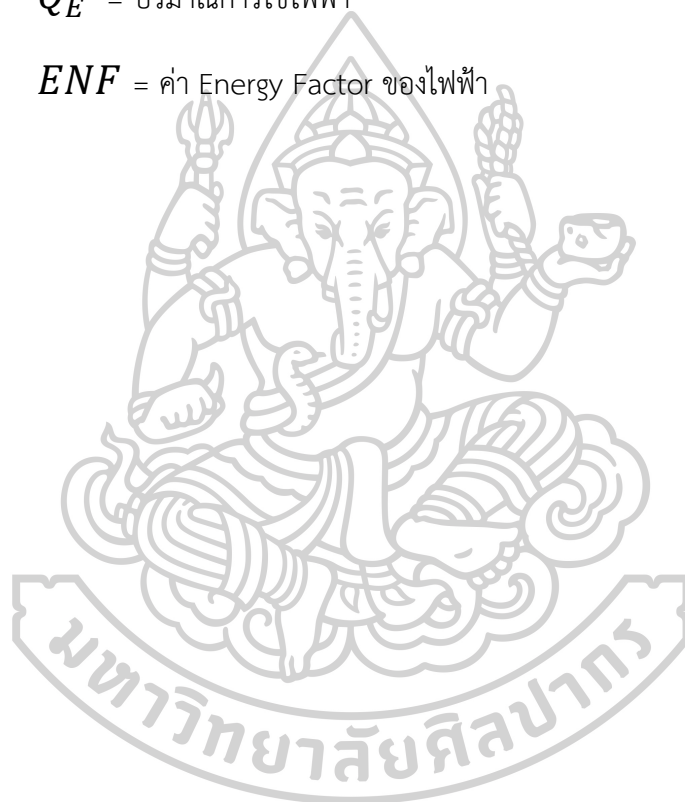
3.8.3 การคำนวณพลังงานสะสมของการใช้พลังงานสำหรับการก่อสร้าง  
การใช้ไฟฟ้าของการก่อสร้างนั้นจะถูกนำมาคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้พลังงานของ  
ไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$EE_C = Q_E \times ENF \quad (3.3)$$

โดย  $EE_C$  = ค่าพลังงานสะสมของการใช้ไฟฟ้าสำหรับการก่อสร้าง

$Q_E$  = ปริมาณการใช้ไฟฟ้า

$ENF$  = ค่า Energy Factor ของไฟฟ้า





## บทที่ 4 ผลการดำเนินการ

หลังจากที่ได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุ การใช้พลังงานในการก่อสร้างและการขนส่งต่างๆของการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ซึ่งมีรูปแบบดังรูปที่ 70 และได้ทำการคำนวณเพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานและค่าการปล่อยมลพิษของอาคารอเนกประสงค์นี้ในแต่ละของเขต

สำหรับอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นได้ถูกแบ่งขอบเขตของการศึกษาออกเป็น ประเภทได้แก่ ส่วนของงานฐานรากซึ่งเป็นส่วนองงานใต้ดิน เสาเข็มและตอม่อ ส่วนถัดมาเป็นส่วนของลานจอดรถในอาคารซึ่งในส่วนของลานจอดรถนั้นจะอยู่ที่บริเวณชั้นที่ 1-3 ของอาคารนี้ ถัดมาในบริเวณชั้นที่ 4-6 ของอาคารจะเป็นในส่วนของลานอเนกประสงค์ ต่อไปจะเป็นในส่วนของห้องพักจะอยู่ในบริเวณชั้นที่ 7-9 และส่วนสุดท้ายคือส่วนของชั้น 10 และดาดฟ้าหลังคา



รูปที่ 70 อาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์

#### 4.1 พลังงานสะสมในอาคาร (Embodied Energy)

สำหรับอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นในงานวิจัยนี้ได้แบ่งพลังงานที่อาคารได้มีการสะสมไว้ออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ พลังงานสะสมที่เกิดจากการใช้วัสดุก่อสร้าง พลังงานสะสมจากการขนส่งและพลังงานสะสมที่เกิดจากการก่อสร้างอาคาร ซึ่งในแต่ละส่วนนั้นได้มีแหล่งที่มาที่แตกต่างกันโดยพลังงานสะสมที่เกิดจากวัสดุก่อสร้างนั้นเกิดจากการใช้พลังงานต่างๆในกระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้างตั้งแต่เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติจนกลายมาเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น เหล็กที่เริ่มตั้งแต่การถลุงเหล็ก หลอมเหล็กตลอดจนการขึ้นรูปจนได้เหล็กประเภทต่างๆ พลังงานสะสมที่เกิดจากการขนส่งได้แก่การขนส่งวัสดุและเครื่องมือเครื่องจักรจากแหล่งผลิตมายังบริเวณก่อสร้าง พลังงานสะสมที่เกิดจากการใช้พลังงานในการก่อสร้างได้แก่การใช้ไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการก่อสร้าง

##### การใช้พลังงานจากวัสดุ

จากการรวบรวมข้อมูลและทำการคำนวณพบว่าปริมาณการใช้วัสดุของอาคารหลังนี้ส่วนใหญ่มีการใช้เหล็กและคอนกรีตเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างอาคารและเมื่อคิดเป็นน้ำหนักของวัสดุแล้วพบว่ามีการใช้คอนกรีตถึง 28,523,674.33 kg (ซีเมนต์ 19,982,869.33 kg และคอนกรีตหยาบ 8,540,805 kg) รองลงมาเป็นเหล็กซึ่งมีน้ำหนัก 2,623,268.10 kg (เหล็กเส้น 2,454,291.49 kg เหล็กข้ออ้อย 83,311 kg เหล็กตัว I และ H 41,560 kg และท่อเหล็ก 36,482.13 kg) รายละเอียดของการใช้วัสดุก่อสร้าง ค่า Energy Factor [39] และ ค่า Emission Factor [39] สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 วัสดุที่ใช้ในอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์

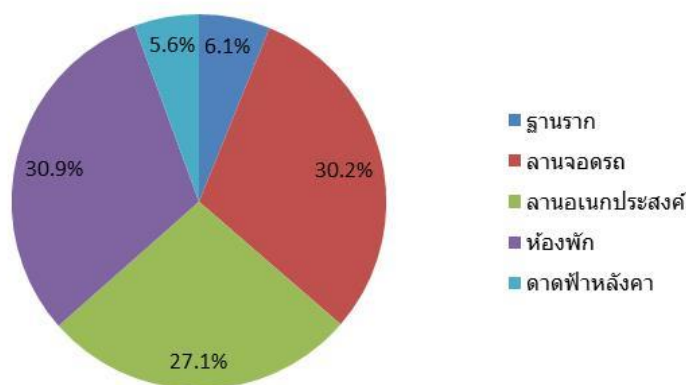
วัสดุ	Quantity (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)
คอนกรีตหยาบ	8,540,805.00	0.68	0.107
ซีเมนต์	19,982,869.33	1.11	0.174
ทราย	268,150.00	0.081	0.0051
ไม้	40,872.10	7.11	0.59
เหล็กเส้น	2,454,291.49	35.4	2.89
เหล็กข้ออ้อย	83,311.00	29.2	2.77
เหล็กแผ่น	7,178.67	32.8	2.74
เหล็ก I-H	41,560.00	29.2	2.74
ท่อเหล็ก	36,482.13	29.2	2.77
ยิปซัม	32,679.20	6.75	0.39

อิฐ	1,828,074.00	3	0.24
กระเบื้อง	32,041.00	10	0.7
หินแกรนิต	3,833,523.16	11	0.17
PVC	10,807.40	67.5	3.23
กระจก	2,696.4	15	0.91

จากตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตนั้นมีปริมาณการใช้ที่มากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่แล้วคอนกรีตนั้นถูกนำมาใช้ในงานฐานรากและลานจอดรถเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากงานทั้งสองส่วนนั้นต้องการความแข็งแรงที่ค่อนข้างสูงวัสดุดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้ในปริมาณมาก

จากตารางข้างต้นได้แสดงถึงค่า Energy factor และ Emission factor ไปด้วย ซึ่งค่า Energy factor นั้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ระบุพลังงานสะสมของวัสดุชนิดนั้นๆที่วัสดุดังกล่าวได้สะสมไว้ในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ส่วน Emission factor คือค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ วัสดุแต่ละประเภทนั้นก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 2 ประเภทนี้ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการได้มาของวัสดุประเภทนั้นๆว่ามีการใช้พลังงานหรือมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเพียงใด

การใช้วัสดุนั้นได้มีการแบ่งวัสดุออกเป็นแต่ละประเภทของการใช้งานที่แตกต่างกันของอาคาร ได้แก่ ฐานรากอาคาร ลานจอดรถ ลานอเนกประสงค์ ห้องพักและสุดท้ายคือชั้นหลังคาตามฝ้า จากการคำนวณพบว่าอาคารนี้มีปริมาณ Embodied Energy ที่เกิดจากการใช้วัสดุทั้งสิ้น  $162.24 \times 10^6$  MJ



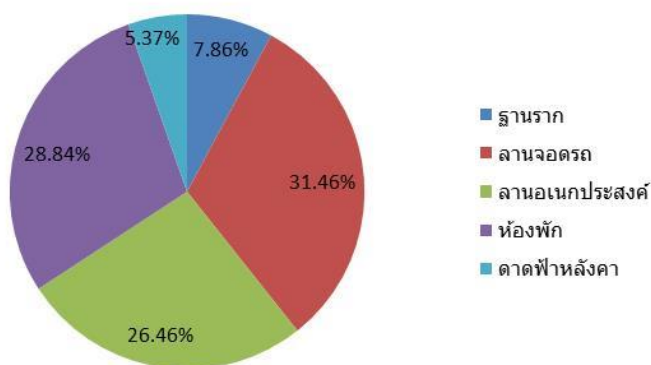
รูปที่ 71 สัดส่วน Embodied Energy ของการใช้วัสดุในอาคาร

จากรูปที่ 71 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานที่เกิดจากวัสดุซึ่งประกอบไปด้วย ห่องพัก 50.18  $\times 10^6$  MJ ลานจอดรถ 49.01  $\times 10^6$  MJ ลานอเนกประสงค์ 44.01  $\times 10^6$  MJ ฐานราก 9.97  $\times 10^6$  MJ และดาตฟ้าหลังคา 9.07  $\times 10^6$  MJ หรือคิดเป็น 30.9%, 30.2%, 27.1%, 6.2% และ 5.6% ตามลำดับ

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารที่เกิดขึ้นนั้นในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขอบเขตการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการคำนวณ Embodied Energy ของอาคารคือ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้วัสดุก่อสร้าง ก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งและก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานในการก่อสร้าง ซึ่งตัวเลขที่นำมาใช้ในการคำนวณนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 25 หลังจากการคำนวณพบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์มีทั้งสิ้น 14,511,508.38 kgCO<sub>2</sub>e โดยมาจากวัสดุก่อสร้าง 14,447,079.85 kgCO<sub>2</sub>e การขนส่ง 47,879.62 kgCO<sub>2</sub>e และการใช้พลังงานในการก่อสร้าง 97,770.10 kgCO<sub>2</sub>e

#### ก๊าซเรือนกระจกการใช้วัสดุก่อสร้าง

จากตารางที่ 25 พบว่าวัสดุนั้นมีการใช้หลากหลายประเภทและมีปริมาณที่แตกต่างกันและนอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่า Emission Factor หรือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุแต่ละประเภทนั้นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุประเภทนั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า PVC นั้นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุดแต่เนื่องจาก PVC นั้นถูกนำมาใช้ในอาคารนี้ค่อนข้างน้อยจึงทำให้วัสดุดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบมาก หากพิจารณาปริมาณการใช้วัสดุพบว่าซีเมนต์นั้นมีปริมาณการใช้เกือบ 20,000 ตันแต่ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นมีค่าไม่สูงมากจึงอาจทำให้มีค่าไม่ต่างกันมากเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทเหล็กที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูง



รูปที่ 72 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้าง

สำหรับสัดส่วนปริมาณก๊าซเรือนกระจกของการใช้วัสดุก่อสร้างในอาคารอเนกประสงค์ พระราชวังสนามจันทร์นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 72 พบว่าก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่่นั้นเกิดจากการใช้วัสดุก่อสร้างในส่วนของโครงสร้างที่จอดรถของอาคารซึ่งมีปริมาณทั้งสิ้น 4,545,503.90 kgCO<sub>2</sub>e รองลงมาได้แก่โครงสร้างลานอเนกประสงค์ 4,069,883.33 kgCO<sub>2</sub>e โครงสร้างส่วนห้องพัก 3,795,025.22 kgCO<sub>2</sub>e โครงสร้างฐานราก 1,135,753.59 kgCO<sub>2</sub>e และโครงสร้างส่วนดาดฟ้า หลังคา 776,324.13 kgCO<sub>2</sub>e ตามลำดับ

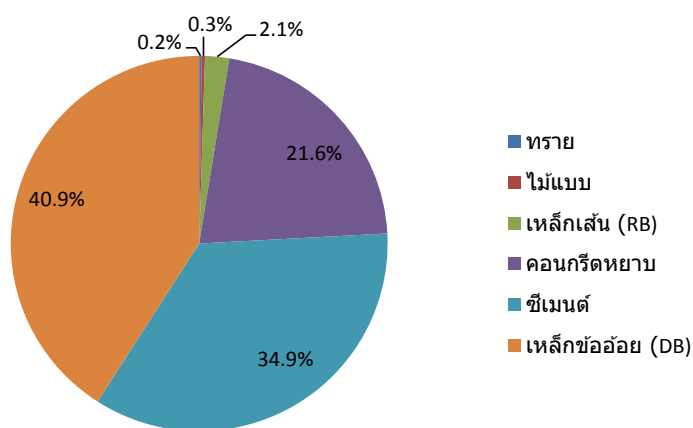
#### การใช้พลังงานจากโครงสร้างฐานราก

ตารางที่ 26 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างฐานราก

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)
ซีเมนต์	3,135,787.68	1.11	3,480,724.32
คอนกรีตหยาบ	2,573,568	0.68	2,151,267.84
ทราย	268,150	0.081	21,720.15
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	139,751	29.2	4,080,729.20
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	5,821	35.4	206,063.40
ไม้แบบ	3,889.46	7.11	27,654.06

สำหรับโครงสร้างส่วนฐานรากนั้นมีการใช้ปริมาณซีเมนต์มากที่สุดซึ่งมีปริมาณถึง 3,135,787.68 kg รองลงมาเป็นคอนกรีตหยาบ 2,573,568 kg ทราย เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้นกลมเกลี้ยงและไม้แบบเท่ากับ 268,150, 139,751, 5,821 และ 3,889.46 kg ตามลำดับ แต่เมื่อคำนวณปริมาณค่า Embodied Energy ของวัสดุดังกล่าวพบว่าค่า Embodied Energy ของเหล็ก DB นั้นมีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากค่า Embodied Energy ของเหล็ก DB นั้นมีปริมาณที่ค่อนข้างสูง ซึ่งเกิดจากการผลิตเหล็กนั้นมีการใช้พลังงานจำนวนมากจึงทำให้วัสดุดังกล่าวมีพลังงานสะสมมากตามไปด้วย(โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก) สำหรับโครงสร้างส่วนฐานรากมีค่า Embodied Energy ทั้งหมดเท่ากับ  $9.98 \times 10^6$  MJ ซึ่งประกอบไปด้วยเหล็ก DB  $4.08 \times 10^6$  MJ หรือคิดเป็น 40.9% ถัดมาคือซีเมนต์  $3.48 \times 10^6$  MJ คอนกรีตหยาบ  $2.15 \times 10^6$  MJ เหล็ก RB  $0.21 \times 10^6$  MJ ไม้แบบ

27,654.06 MJ และทราย 21,720.15 MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 34.9, 21.6, 2.1, 0.3 และ 0.2 ตามลำดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 70



### รูปที่ 73 Embodied Energy โครงสร้างส่วนฐานราก

จากรูปที่ 73 จะเห็นได้ว่าซีเมนต์นั้นมีปริมาณการใช้มากที่สุดแต่เมื่อคำนวณปริมาณ Embodied Energy กลับพบว่าเหล็ก DB หรือเหล็กข้ออ้อยนั้นมีปริมาณค่า Embodied Energy ที่มากที่สุด

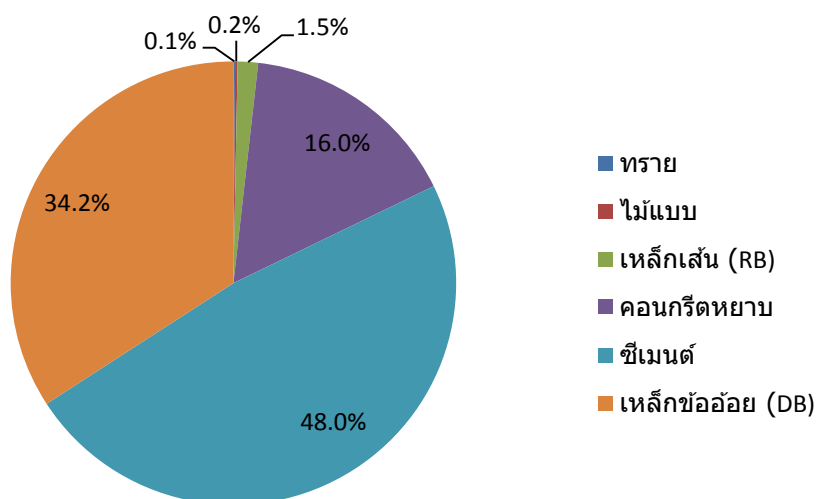
### ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างฐานราก

ในงานโครงสร้างส่วนฐานรากของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นวัสดุที่มีการใช้มากที่สุดได้แก่ซีเมนต์ซึ่งมีปริมาณ 3,135,787.68 kg รองลงมาได้แก่คอนกรีตหยาบ 2,573,568 kg ทราย 268,150 kg เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย 139,751 kg เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น 5,821 kg และไม้แบบ 3,889.46 kg

ตารางที่ 27 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างฐานราก

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e /kg)	Greenhouse gas (kgCO <sub>2</sub> e)
ซีเมนต์	3,135,787.68	0.174	545,627.06
คอนกรีตหยาบ	2,573,568	0.107	181,831.97
ทราย	268,150	0.0051	1,367.57
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	139,751	2.77	388,049.27
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	5,821	2.89	16,822.69
ไม้แบบ	3,889.46	0.59	2,055.04

จากตารางที่ 27 แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้วัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างต่างๆที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างฐานราก จะเห็นได้ว่าเหล็กนั้นมีการใช้ในปริมาณที่ไม่สูงมากแต่เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของวัสดุดังกล่าวมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้วัสดุ



รูปที่ 74 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างฐานราก

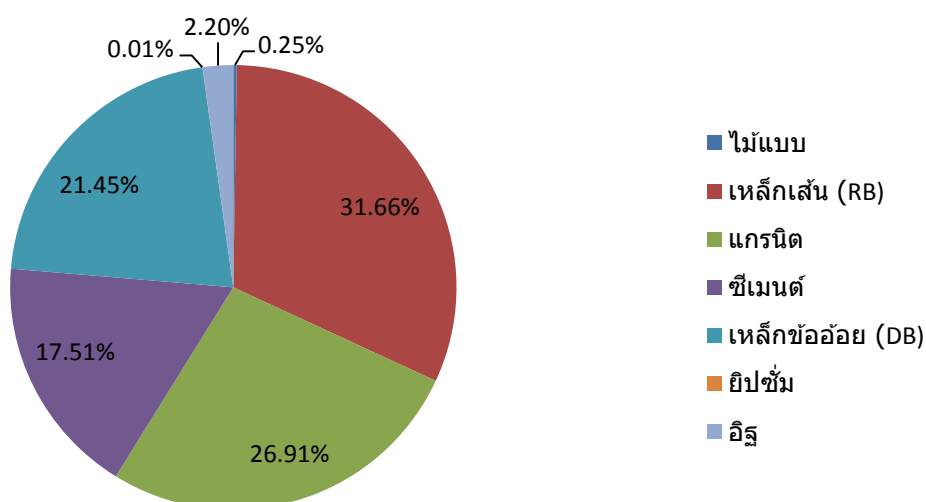
จากรูปที่ 74 แสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุก่อสร้างในส่วน  
ของโครงสร้างฐานรากซึ่งมาจากซีเมนต์ 545,627.06 kgCO<sub>2</sub>e เหล็ก DB หรือเหล็กข้ออ้อย  
388,049.27 kgCO<sub>2</sub>e คอนกรีตหยาบ 181,831.97 kgCO<sub>2</sub>e เหล็ก RB หรือเหล็กเส้น 16,822.69  
kgCO<sub>2</sub>e ไม้แบบ 2,055.04 kgCO<sub>2</sub>e และทราย 1,367.57 kgCO<sub>2</sub>e หรือคิดเป็นซีเมนต์ 48.0% เหล็ก  
DB หรือเหล็กข้ออ้อย 34.2% คอนกรีตหยาบ 16.0% เหล็ก RB หรือเหล็กเส้น 1.5% ไม้แบบ 0.2%  
และทราย 0.1% ตามลำดับ

#### การใช้พลังงานจากโครงสร้างลานจอดรถ

สำหรับงานโครงสร้างชั้นที่ 1 ถึง 3 นั้นเป็นส่วนของอาคารจอดรถ เนื่องจากโครงสร้างของ  
ลานจอดรถนั้นเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและต้องการความแข็งแรงสูงเพื่อการรองรับน้ำหนัก  
จึงทำให้มีการใช้ซีเมนต์ในปริมาณมาก ซึ่งวัสดุประกอบไปด้วยซีเมนต์ แกรนิต เหล็กเส้น เหล็กข้ออ้อย  
อิฐ ไม้แบบและยิปซัม ซึ่งมีปริมาณการใช้เท่ากับ 7,732,455.36, 1,199,039.34, 438,275,  
359,999, 359,273.20, 17,510.48 และ 924.11 kg ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานจอดรถ

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)
ไม้แบบ	17,510.48	7.11	124,499.51
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	438,275.00	35.4	15,514,935.00
แกรนิต	1,199,039.34	11	13,189,432.69
ซีเมนต์	7,732,455.36	1.11	8,583,025.45
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	359,999.00	29.2	10,511,970.80
ยิปซั่ม	924.11	6.75	6,237.72
อิฐ	359,273.20	3	1,077,819.60



รูปที่ 75 Embodied Energy โครงสร้างส่วนลานจอดรถ

จากรูปที่ 75 เป็นภาพแสดงสัดส่วนของ Embodied Energy สำหรับโครงสร้างส่วนลานจอดรถ ซึ่งสำหรับโครงสร้างในส่วนนี้นั้นมีปริมาณ Embodied Energy ทั้งสิ้น  $49.01 \times 10^6$  MJ ประกอบไปด้วยเหล็กเส้น  $15.51 \times 10^6$  MJ แกรนิต  $13.19 \times 10^6$  MJ เหล็กข้ออ้อย  $10.51 \times 10^6$  MJ ซีเมนต์  $8.58 \times 10^6$  MJ อิฐ  $1.08 \times 10^6$  MJ ไม้แบบ  $0.13 \times 10^6$  MJ และยิปซั่ม 6,237.72 MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 31.66, 26.91, 21.45, 17.51, 2.2, 0.25 และ 0.01 ตามลำดับ



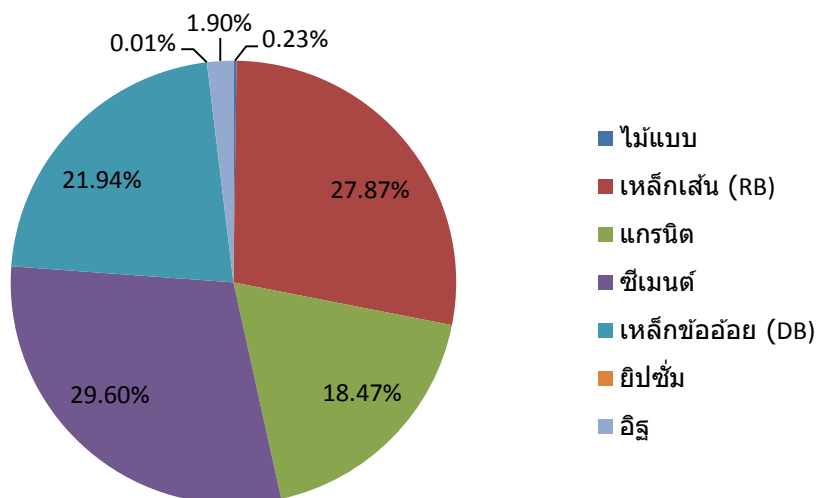
ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างลานจอดรถ

สำหรับลานจอดรถของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นจะอยู่บริเวณชั้นที่ 1-3 ของอาคาร ซึ่งจากตารางที่ 29 แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้วัสดุที่นำมาใช้ในส่วนของการทำลานจอดรถในอาคารนี้ จะเห็นได้ว่าวัสดุที่นำมาใช้มากที่สุดได้แก่ซีเมนต์เนื่องจากลานจอดรถนั้นมี ส่วนประกอบและรายละเอียดค่อนข้างน้อยแต่ต้องการความแข็งแรงที่สูงซีเมนต์จึงถูกนำมาใช้ ค่อนข้างมาก โดยในส่วนของลานจอดรถนั้นได้มีการใช้ซีเมนต์ถึง 7,732,455.36 kg รองลงมาได้แก่ แกรนิต เหล็กเส้น เหล็กข้ออ้อยและอิฐที่มีปริมาณการใช้เท่ากับ 1,199,039.34, 438,275.00, 359,999.00 kg และ 359,273.20 kg ตามลำดับ

ตารางที่ 29 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานจอดรถ

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e /kg)	Greenhouse gas (kgCO <sub>2</sub> e)
ซีเมนต์	7,732,455.36	0.0051	1,345,447.23
ยิปซั่ม	924.11	0.39	360.40
อิฐ	359,273.20	0.24	86,225.57
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	359,999.00	2.77	997,197.23
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	438,275.00	2.89	1,266,614.75
ไม้แบบ	17,510.48	0.59	10,331.18
แกรนิต	1,199,039.34	0.17	839,327.53

หลังจากการนำปริมาณการใช้วัสดุมาคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าในส่วนของลานจอดรถนั้นซีเมนต์มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 1,345,447.23 kgCO<sub>2</sub>e ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงที่สุดแต่เมื่อพิจารณาเหล็ก RB หรือเหล็กเส้นที่มีปริมาณการใช้งานน้อยกว่ามากนั้นกลับปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 1,266,614.75 kgCO<sub>2</sub>e ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันกับซีเมนต์



รูปที่ 76 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างลานจอดรถ

จากรูปที่ 76 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ในลานจอดรถพบว่าซีเมนต์มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 29.6% เหล็กเส้น 27.87% เหล็กข้ออ้อย 21.94% แกรนิต 18.47% อิฐ 1.9% ไม้แบบ 0.23% และยิปซั่มอยู่ที่ 0.01%

#### การใช้พลังงานจากโครงสร้างลานอเนกประสงค์

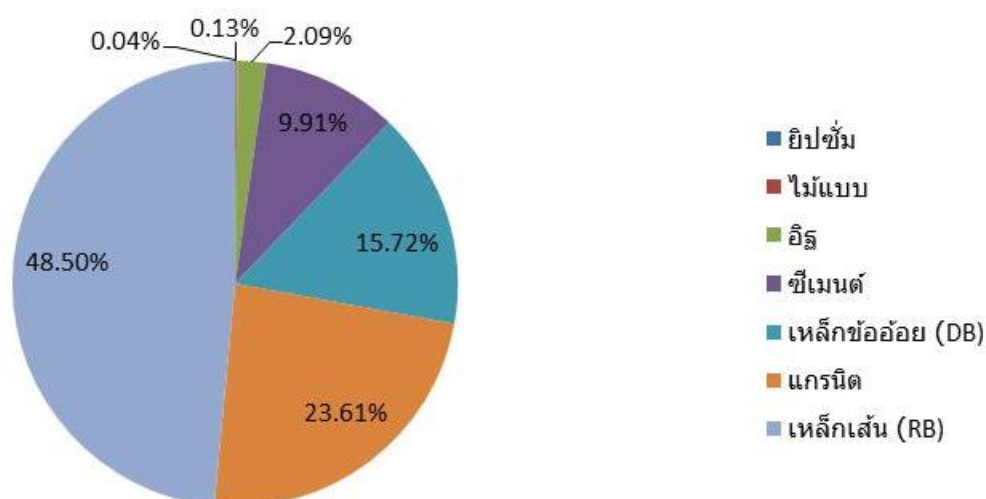
ในส่วนของลานอเนกประสงค์นั้นเป็นบริเวณส่วนชั้นที่ 4-6 ของอาคารหลังนี้ ซึ่งเป็นลานที่ไว้ใช้ทำกิจกรรมต่างๆ ซึ่งมีการใช้วัสดุดังนี้ ซีเมนต์ 3,929,143.49 kg แกรนิต 1,254,591.87 kg เหล็กเส้น 603,014 kg อิฐ 428,671.14 kg เหล็กข้ออ้อย 230,098 kg ไม้แบบ 7,955.20 kg และยิปซั่ม 2,361.16 kg

ตารางที่ 30 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานอเนกประสงค์

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)
ยิปซั่ม	2,361.16	6.75	15,937.83
ไม้แบบ	7,955.20	7.11	56,561.47
อิฐ	303,553.14	3	918,142.67

ซีเมนต์	3,929,143.49	1.11	4,361,349.27
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	230,098	29.2	6,920,429.20
แกรนิต	944,763.07	11	10,392,613.82
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	603,014	35.4	21,346,695.60

จากตารางที่ 30 เป็นตารางแสดงรายละเอียดของการใช้วัสดุในส่วนของลานอเนกประสงค์ของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์และค่า Energy Factor ของวัสดุต่างๆ จะเห็นได้ว่าซีเมนต์นั้นมีปริมาณการใช้ที่ค่อนข้างมากแต่เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตนั้นค่อนข้างต่ำจึงทำให้มีค่าพลังงานสะสมที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับพลังงานสะสมของเหล็กเส้นหรือเหล็ก RB ที่มีค่าพลังงานสะสมที่สูง สำหรับเหล็ก RB นั้นถือเป็นส่วนประกอบหลักในการเสริมความแข็งแรงให้กับเสา พื้นและผนัง เหล็ก RB จึงถูกนำมาใช้ปริมาณมากในส่วนเหล่านี้



รูปที่ 77 Embodied Energy โครงสร้างส่วนลานอเนกประสงค์

จากรูปที่ 77 แสดงให้เห็นถึงปริมาณ Embodied Energy จากการใช้วัสดุของลานอเนกประสงค์ที่มีปริมาณทั้งสิ้น 47,794,980.6 MJ ปริมาณพลังงานสะสมจากการใช้วัสดุนั้นมาจากเหล็กเส้น 21,346,695.60 MJ แกรนิต  $10.40 \times 10^6$  MJ เหล็กข้ออ้อย  $6.92 \times 10^6$  MJ ซีเมนต์  $4.36 \times 10^6$  MJ อิฐ  $0.92 \times 10^6$  MJ ไม้แบบ 56,561.47 MJ และยิปซั่ม 15,937.83 MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 48.50, 23.61, 15.72, 9.91, 2.09, 0.13 และ 0.04 ตามลำดับ

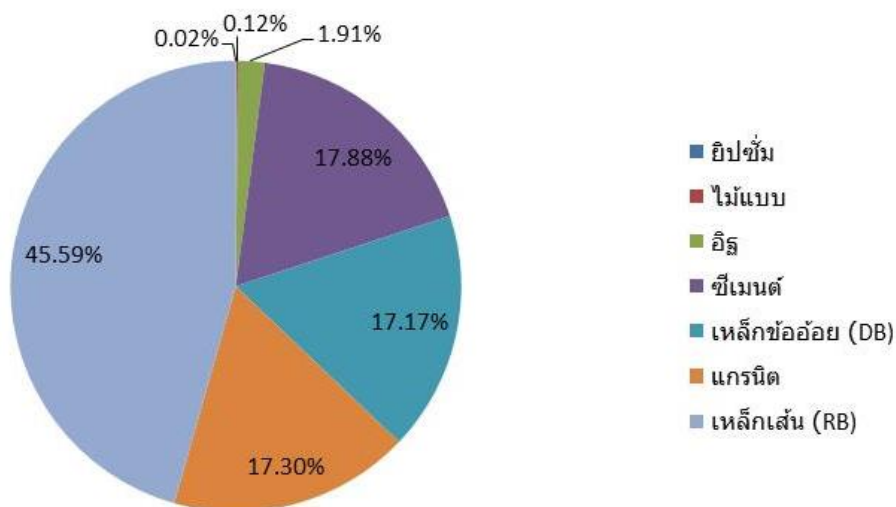
ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างลานอเนกประสงค์

ในงานโครงสร้างของลานอเนกประสงค์ของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้น เป็นช่วงบริเวณชั้นที่ 4-6 มีลักษณะเป็นห้องโถงขนาดใหญ่ ซึ่งวัสดุที่ใช้ในส่วนของลานอเนกประสงค์ นั้นมีรายละเอียดดังตารางที่ 31 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าวัสดุหลักที่ใช้ในส่วนนั้นคือซีเมนต์และแกรนิต ในส่วนของเหล็กนั้นส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กเส้น ซึ่งปริมาณวัสดุที่ใช้นั้นประกอบด้วยซีเมนต์ 3,929,143.49 kg ยิปซั่ม 2,361.16 kg อิฐ 428,671.14 เหล็ก DB 230,098.00 kg เหล็ก RB 603,014.00 kg ไม้แบบ 7,955.20 kg และแกรนิต 1,254,591.87 kg

ตารางที่ 31 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างลานอเนกประสงค์

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e /kg)	Greenhouse gas (kgCO <sub>2</sub> e)
ซีเมนต์	3,929,143.49	0.0051	683,670.97
ยิปซั่ม	2,361.16	0.39	920.85
อิฐ	303,553.14	0.24	73,152.08
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	230,098.00	2.77	656,492.77
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	603,014.00	2.89	1,742,710.46
ไม้แบบ	7,955.20	0.59	4,693.57
แกรนิต	944,763.07	0.17	661,348.51

จากข้อมูลข้างต้นได้นำมาคำนวณร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ ก่อสร้างของลานอเนกประสงค์ของอาคารหลังนี้พบว่าวัสดุที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากที่สุด ได้แก่เหล็กเส้นหรือเหล็ก RB ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึง 1,742,710.46 kgCO<sub>2</sub>e จากปริมาณการใช้เพียง 603,014.00 kg แต่วัสดุประเภทซีเมนต์ที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดกลับปล่อย ก๊าซเรือนกระจกเพียง 683,670.97 kgCO<sub>2</sub>e จากข้อมูลข้างต้นนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าเหล็ก RB นั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 45.59% ของการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างทั้งหมดที่นำมาใช้ในลานอเนกประสงค์รองลงมาเป็นซีเมนต์ แกรนิต เหล็กข้ออ้อย อิฐ ไม้แบบและยิปซั่มซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับ 17.88%, 17.30%, 17.17%, 1.91%, 0.12% และ 0.02% ตามลำดับ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 78



รูปที่ 78 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างลานอเนกประสงค์

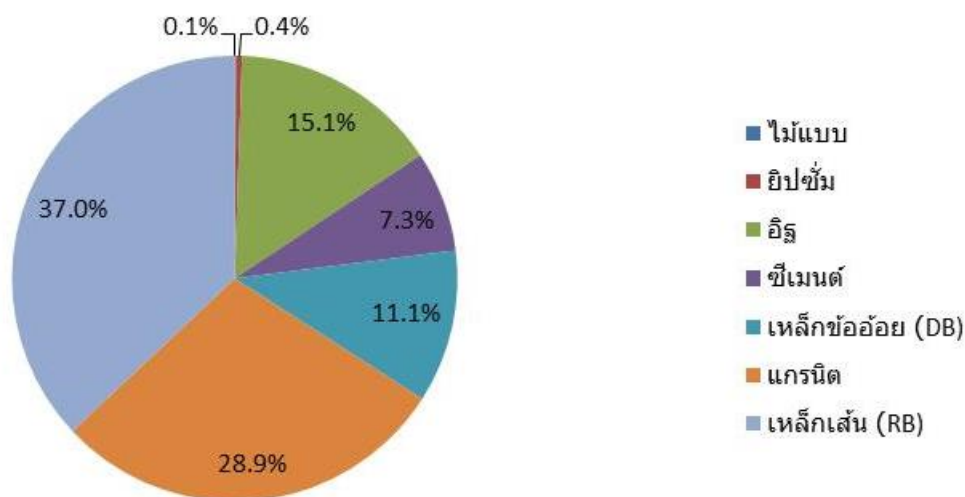
การใช้พลังงานจากโครงสร้างห้องพัก

ในอาคารอเนกประสงค์นี้บริเวณชั้นที่ 7 ถึงชั้นที่ 9 ได้จัดทำเป็นส่วนหนึ่งของห้องพัก ซึ่งมีการใช้วัสดุทั้งสิ้น 6,400,378.15 kg ประกอบไปด้วยซีเมนต์ 3,302,858.04 kg แกรนิต 1,319,143.47 kg อิฐ 1,030,874.40 kg เหล็กเส้น 524,497.79 kg เหล็กข้ออ้อย 187,124 kg ยิปซั่ม 28,919.64 kg และไม้แบบ 6,960.8 kg ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างห้องพัก

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)
ไม้แบบ	6,960.8	7.11	49,491.29
ยิปซั่ม	32,037.95	6.75	216,256.15
อิฐ	2,533,065.80	3	7,599,197.40
ซีเมนต์	3,303,008.16	1.11	3,666,339.06
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	190,641	29.2	5,566,717.20
แกรนิต	1,319,143.47	11	14,510,578.22
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	524,497.79	35.4	18,567,221.88

จากตารางที่ 32 แสดงให้เห็นว่าในส่วนของงานโครงสร้างห้องพักนั้นวัสดุหลักที่นำมาใช้มากที่สุดได้แก่ซีเมนต์ แกรนิตและอิฐ แต่วัสดุก่อสร้างทั้งสามประเภทนี้มีปริมาณของ Embodied Energy น้อยกว่าเหล็กเส้นหรือเหล็ก RB เช่นเดียวกันกับที่กล่าวไปข้างต้นว่าในกระบวนการผลิตเหล็กเส้นนั้นมีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูงจึงส่งผลต่อค่าพลังงานสะสมในวัสดุให้มีค่าที่สูงตามไปด้วย



รูปที่ 79 Embodied Energy โครงสร้างส่วนห้องพัก

จากการคำนวณพลังงานสะสมในวัสดุพบว่าปริมาณ Embodied Energy ของส่วนที่เป็นห้องพักนั้นมีทั้งสิ้น  $50.18 \times 10^6$  MJ โดยมาจากเหล็ก RB หรือเหล็กเส้น มีสูงที่สุดคือ  $18.57 \times 10^6$  MJ รองลงมาได้แก่แกรนิต อิฐ เหล็กข้ออ้อย ซีเมนต์ ยิปซัมและไม้แบบซึ่งมีค่าเท่ากับ  $14.51 \times 10^6$  MJ  $7.6 \times 10^6$  MJ  $5.57 \times 10^6$  MJ  $3.67 \times 10^6$  MJ  $0.22 \times 10^6$  MJ และ 49,491.29 MJ ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะพบว่าเหล็กเส้นมีสัดส่วนค่า Embodied Energy เท่ากับ 37.0% แกรนิต 28.9% อิฐ 15.1% เหล็กข้ออ้อย 11.1% ซีเมนต์ 7.3% ยิปซัม 0.4% และสุดท้ายคือไม้แบบมีสัดส่วนพลังงานสะสมเท่ากับ 0.1% ของพลังงานสะสมจากการใช้วัสดุของส่วนโครงสร้างที่เป็นห้องพักทั้งหมด

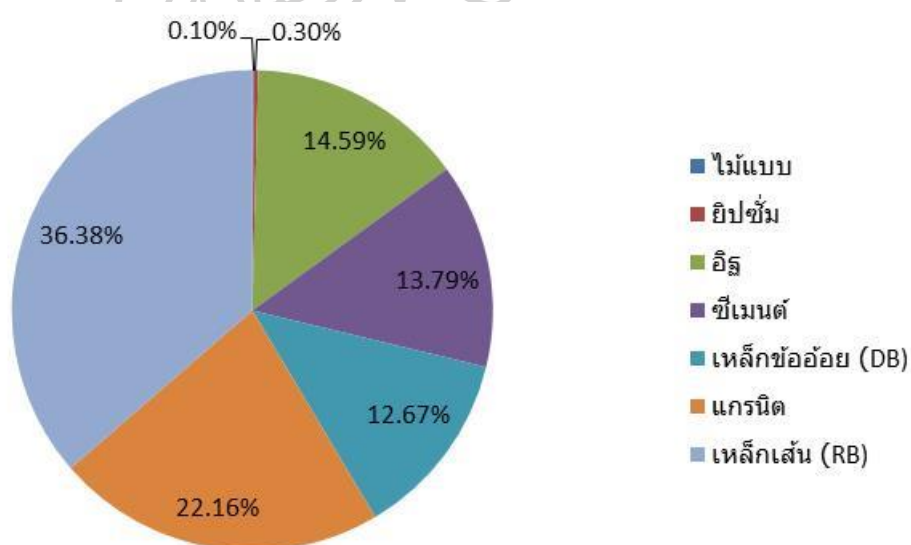
#### ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างห้องพัก

ในส่วนของการห้องพักอาคารอเนกประสงค์จะอยู่ที่บริเวณของชั้น 7-9 ซึ่งส่วนนี้มีการใช้วัสดุดังตารางที่ 33 ประกอบด้วยซีเมนต์ 3,303,008.16 kg ยิปซัม 32,037.95 kg อิฐ 2,533,065.80 kg เหล็กข้ออ้อย 190,641 kg เหล็กเส้น 524,497.79 kg ไม้แบบ 6,960.80 kg และแกรนิต 1,319,143.47 kg จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าวัสดุส่วนใหญ่ยังคงเป็นซีเมนต์ อิฐและแกรนิตอยู่

เนื่องจากโครงสร้างส่วนดังกล่าวเป็นโครงสร้างที่มีผนังปิดทึบและมีการก่อกำแพงทำเป็นห้องจึงจำเป็นต้องมีการใช้วัสดุดังกล่าวที่ค่อนข้างมาก

ตารางที่ 33 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างห้องพัก

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e /kg)	Greenhouse gas (kgCO <sub>2</sub> e)
ซีเมนต์	3,303,008.16	0.0051	574,723.42
ยิปซั่ม	32,037.95	0.39	12,494.80
อิฐ	2,533,065.80	0.24	607,935.79
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	190,641	2.77	528,075.57
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	524,497.79	2.89	1,515,798.62
ไม้แบบ	6,960.80	0.59	4,106.87
แกรนิต	1,319,143.47	0.17	923,400.43



รูปที่ 80 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างห้องพัก

หลังจากที่ได้ข้อมูลของปริมาณการใช้วัสดุแล้วได้มีการนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกของการใช้วัสดุพบว่าซีเมนต์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 574,723.42 kgCO<sub>2</sub>e ยิปซั่ม 12,494.80 kgCO<sub>2</sub>e อิฐ 607,935.79 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กข้ออ้อย 528,075.57 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กเส้น

1,515,798.62 kgCO<sub>2</sub>e ไม้แบบ 4,106.87 kgCO<sub>2</sub>e และแกรนิต 923,400.43 kgCO<sub>2</sub>e หรือเท่ากับ 13.79%, 0.3%, 6.52%, 14.59%, 36.38%, 0.10% และ 22.16% ตามลำดับ

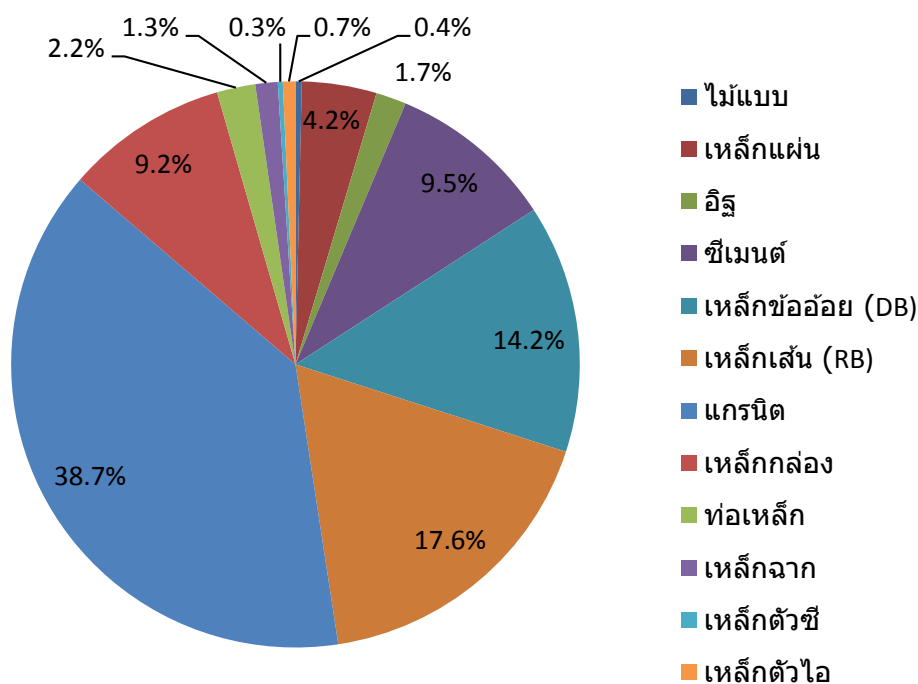
#### การใช้พลังงานจากโครงสร้างคาน้ำหลังคา

สำหรับชั้นที่ 10 และส่วนของหลังคานั้นมีวัสดุที่มีความหลากหลายซึ่งประกอบไปด้วยอิฐ เหล็กข้ออ้อย เหล็กแผ่น เหล็กเส้น ซีเมนต์ เหล็กกล่อง ท่อเหล็ก ไม้แบบ เหล็กฉาก เหล็กตัวไอ แกรนิตและเหล็กตัวซี ซึ่งมีปริมาณการใช้ทั้งหมดรวม 1,295,495.45 kg โดยประกอบด้วยอิฐ 775,796.84 kg เหล็กข้ออ้อย 319,531.6 kg เหล็กแผ่น 62,130 kg เหล็กเส้น 45,125 kg ซีเมนต์ 44,072 kg เหล็กกล่อง 28,687.8 kg ท่อเหล็ก 6,795.12 kg ไม้แบบ 4,556.16 kg เหล็กฉาก 3,941.16 kg เหล็กตัวไอ 2,210.4 kg แกรนิต 1,766.15 kg และเหล็กตัวซี 882.72 kg ซึ่งรายละเอียดของปริมาณการใช้วัสดุ ค่า Energy Factor และค่า Embodied Energy สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างคาน้ำหลังคา

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)
ไม้แบบ	4,556.16	7.11	32,394.30
เหล็กแผ่น	62,130	32.8	385,404.85
อิฐ	775,796.84	3	156,438.00
ซีเมนต์	44,072	1.11	861,134.49
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	319,531.6	29.2	1,286,902.40
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	45,125	35.4	1,597,442.70
แกรนิต	1,766.15	11	3,514,847.60
เหล็กกล่อง	28,687.8	29.2	837,683.76
ท่อเหล็ก	6,795.12	29.2	198,417.50
เหล็กฉาก	3,941.16	29.2	115,081.87
เหล็กตัวซี	882.72	29.2	25,775.42
เหล็กตัวไอ	2,210.4	29.2	64,543.68





รูปที่ 81 Embodied Energy โครงสร้างส่วนดาดฟ้าหลังคา

จากการคำนวณหาปริมาณ Embodied Energy ของการใช้วัสดุในส่วนดาดฟ้าหลังคาพบว่า ในส่วนของดาดฟ้าหลังคานั้นมีพลังงานสะสมของวัสดุเท่ากับ  $9.08 \times 10^6$  MJ ซึ่งมาจากแกรนิต  $3.51 \times 10^6$  MJ เหล็กเส้น  $1.60 \times 10^6$  MJ เหล็กข้ออ้อย  $1.29 \times 10^6$  MJ ซีเมนต์  $0.86 \times 10^6$  MJ เหล็กกล่อง  $0.84 \times 10^6$  MJ เหล็กแผ่น  $0.39 \times 10^6$  MJ ท่อเหล็ก  $0.2 \times 10^6$  MJ อิฐ 156,438 MJ เหล็กฉาก  $0.12 \times 10^6$  MJ เหล็กตัวไอ 64,543.68 MJ ไม้แบบ 32,394.3 MJ และเหล็กตัวซี 25,775.42 MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 38.9, 17.6, 14.2, 9.5, 9.2, 4.2, 2.2, 1.7, 1.3, 0.7, 0.4 และ 0.3 ตามลำดับ

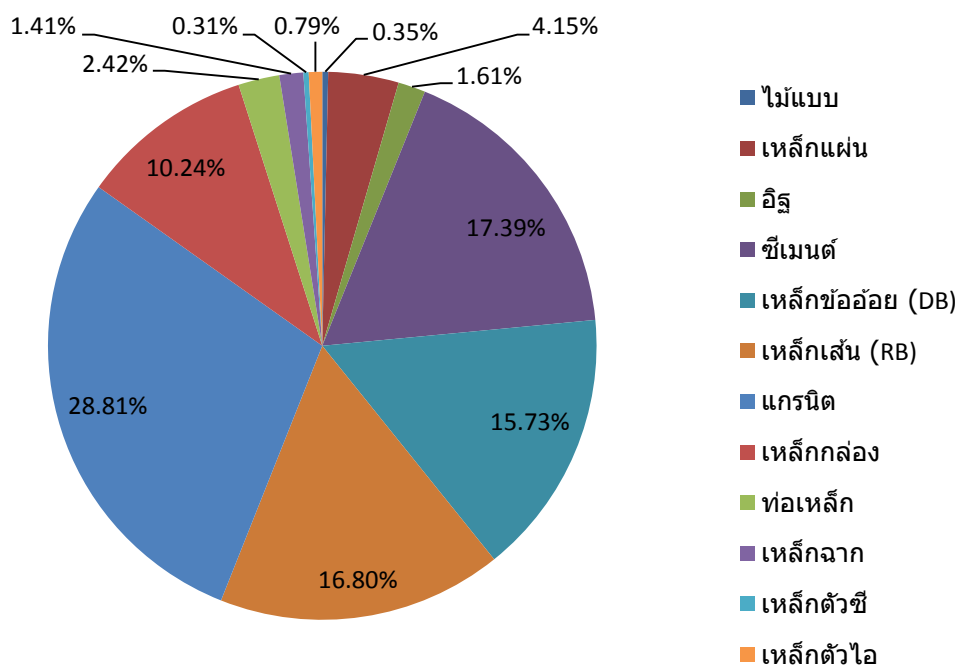
#### ก๊าซเรือนกระจกจากโครงสร้างดาดฟ้าหลังคา

สำหรับโครงสร้างส่วนดาดฟ้าหลังคาจะเป็นส่วนของบริเวณชั้นบนสุดของอาคารหลังนี้ ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่แล้วจะเป็นเหล็กหลากหลายประเภทประกอบด้วยเหล็กเส้น 45,125.00 kg เหล็กข้ออ้อย 44,072.00 kg เหล็กกล่อง 28,687.80 kg ท่อเหล็ก 6,759.12 kg เหล็กฉาก 3,941.16 kg เหล็กตัวไอ 2,210.40 kg เหล็กแผ่น 1,766.15 kg เหล็กตัวซี 882.72 kg ดังตารางที่ 36 จากตารางดังกล่าว จะเห็นได้ว่านอกจากเหล็กแล้วซีเมนต์ยังคงเป็นวัสดุหลักที่มีการนำมาใช้ในส่วนดังกล่าว จะเห็นได้ว่าซีเมนต์นั้นถูกนำมาใช้ในส่วนนี้ถึง 775,796.84 kg นอกจากนี้ยังมีแกรนิตที่ถูกนำมาใช้รองลงมาเท่ากับ 319,531.60 kg ถัดมาได้แก่อิฐและไม้เท่ากับ 62,130 kg และ 4,556.16 kg ตามลำดับ

ตารางที่ 35 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้วัสดุของโครงสร้างคานาหลังคา

วัสดุก่อสร้าง	น้ำหนัก (kg)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e /kg)	Greenhouse gas (kgCO <sub>2</sub> e)
ไม้แบบ	4,556.16	0.59	2,688.13
เหล็กแผ่น	1,766.15	2.74	32,195.41
อิฐ	62,130.00	0.24	12,515.04
ซีเมนต์	775,796.84	0.0051	134,988.65
เหล็ก DB (Deformed Bar) หรือเหล็กข้ออ้อย	44,072.00	2.77	122,079.44
เหล็ก RB (RB Rounded Bar) หรือเหล็กเส้น	45,125.50	2.89	130,412.70
แกรนิต	319,531.60	0.17	223,672.12
เหล็กกล่อง	28,687.80	2.77	79,465.21
ท่อเหล็ก	6,795.12	2.77	18,822.48
เหล็กฉาก	3,941.16	2.77	10,917.01
เหล็กตัวซี	882.72	2.77	2,445.13
เหล็กตัวไอ	2,210.40	2.74	6,122.81

จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาคำนวณหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้วัสดุพบว่า วัสดุที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดได้แก่แกรนิตที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 223,672.12 kgCO<sub>2</sub>e รองลงมาได้แก่ซีเมนต์ 134,988.65 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กเส้น 130,412.70 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กข้ออ้อย 122,079.44 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กกล่อง 79,465.21 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กแผ่น 32,195.41 kgCO<sub>2</sub>e ท่อเหล็ก 18,822.48 kgCO<sub>2</sub>e อิฐ 12,515.04 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กฉาก 10,917.01 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กตัวไอ 6,122.81 kgCO<sub>2</sub>e ไม้แบบ 2,688.13 kgCO<sub>2</sub>e และเหล็กตัวซี 2,445.13 kgCO<sub>2</sub>e หรือคิดเป็น แกรนิต 28.81% ซีเมนต์ 17.39% เหล็กเส้น 16.80% เหล็กข้ออ้อย 15.73% เหล็กกล่อง 10.24% เหล็กแผ่น 4.15% ท่อเหล็ก 2.42% อิฐ 1.61% เหล็กฉาก 1.41% เหล็กตัวไอ 0.79% ไม้แบบ 0.35% และเหล็กตัวซี 0.31% สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 82



รูปที่ 82 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างโครงสร้างอาคารหลังคา

#### 4.1.2 การใช้พลังงานจากการขนส่ง

ในการใช้พลังงานในภาคของการขนส่งในอาคารนี้โดยส่วนใหญ่แล้วมาจากการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่ได้มีการนำมาใช้ในอาคารซึ่งการขนส่งวัสดุนั้นมีความแตกต่างกันในด้านปริมาณ น้ำหนักของการบรรทุก ประเภทของรถที่ใช้และจำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งในการคำนวณนั้นจะต้องมีข้อมูลที่นำมาประกอบการคำนวณหลายส่วน เช่น ระยะทางในการขนส่ง น้ำหนักโหลดที่บรรทุก ประเภทรถบรรทุก อัตราการกินน้ำมัน ความสามารถในการบรรทุกตามที่กฎหมายกำหนดและจำนวนรอบที่ขนส่ง

ในการขนส่งวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะมีการสั่งซื้อวัสดุที่มาจากต่างสถานที่กันจึงทำให้การขนส่งวัสดุแต่ละประเภทนั้นมีความแตกต่างกันออกไปในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากปริมาณการใช้วัสดุและความสามารถในการบรรทุกตามที่กฎหมายกำหนดเพื่อให้ได้จำนวนรอบในการส่งหลังจากนั้นจะนำไปคำนวณร่วมกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถบรรทุกชนิดต่างๆที่ใช้ในการบรรทุกวัสดุก่อสร้างโดยการสอบถามผู้รับเหมาเพื่อหาการใช้เชื้อเพลิงโดยรวม ซึ่งรายละเอียดที่มาของวัสดุนั้นสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 36

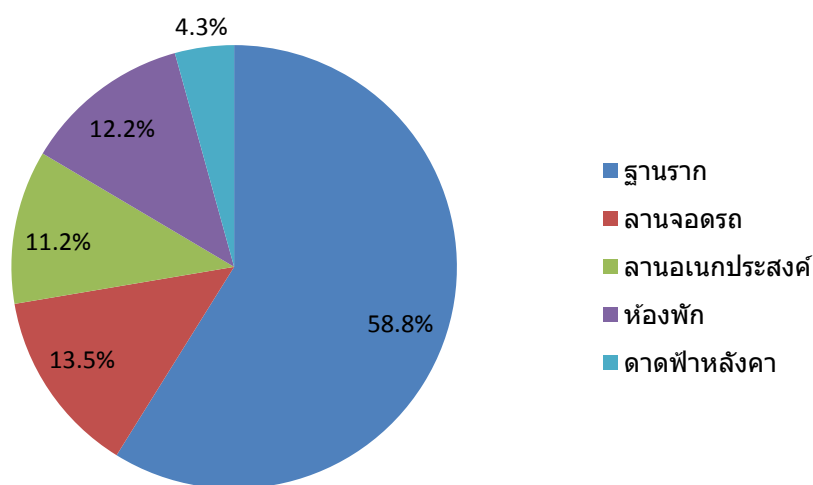
ตารางที่ 36 ตารางแสดงรายละเอียดการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง

วัสดุ	ประเภทรถ	โหลตในการบรรทุก	อัตราการกินน้ำมัน (km/L)*	ระยะทางการขนส่ง (km)	จำนวนรอบ
คอนกรีตหยาบ	รถโม้	75%	1.7	8.1	1800
คอนกรีตมอร์ตาร์	รถเทรลเลอร์	50%	3.2	88.4	129
ทราย	10 ล้อ	75%	1.7	56.8	40
ไม้	4 ล้อ	75%	13	56.4	8
เหล็กเส้น	รถเทรลเลอร์	100%	1.8	88.1	31
เหล็กข้ออ้อย					
เหล็กแผ่น	รถเทรลเลอร์	100%	1.8	57.2	3
เหล็ก I-H					
ท่อเหล็ก					
ยิปซั่ม	6 ล้อ	75%	2.5	83.9	1
อิฐ	6 ล้อ	75%	2.5	180	29
กระเบื้อง	6 ล้อ	75%	2.5	83.9	3
หินแกรนิต	รถเทรลเลอร์	100%	1.8	51.8	21
PVC	6 ล้อ	50%	3.2	50.9	10
กระจก	6 ล้อ	75%	2.5	115.2	12

\*อัตราการใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงจาก ทศพล นภาสวัสดิ์ [40]

จากตารางที่ 36 จะเห็นได้ว่าวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีการใช้ประเภทรถ อัตราการบรรทุก ระยะทางและจำนวนรอบที่ต่างกัน ความแตกต่างของการขนส่งนี้ล้วนส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้น เช่น คอนกรีตหยาบที่มีการขนส่งโดยใช้รถโม้ปูนและมีความสามารถในการบรรทุกตามกฎหมายอยู่ที่ 75% จึงทำให้มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่สูงมากอีกทั้งระยะทางไม่ไกลจึงส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งต่อรอบไม่สูง แต่เนื่องจากวัสดุประเภทนี้มีการใช้ในปริมาณมากจึงจำเป็นต้องมีการขนส่งหลายรอบจึงก่อให้เกิดการใช้พลังงานในการขนส่งปริมาณมาก ซึ่งหลังจากได้ข้อมูลด้านแหล่งที่มาของการขนส่งแล้วก็จะต้องมีการคำนวณการใช้วัสดุในแต่ละประเภทว่าวัสดุดังกล่าวนั้นได้มีการนำไปใช้ในส่วนใดของอาคารเพื่อระบุค่า Embodied Energy ในส่วนนั้นๆของอาคารดังกล่าว โดยจากการคำนวณพบว่าในการขนส่งวัสดุของอาคารนี้ใช้เชื้อเพลิง (ดีเซล) ทั้งหมด 17,680.8 ลิตรโดยแบ่งเป็นฐาน

ราก 10,404.85 ลิตร โครงสร้างลานจอดรถ 2,383.22 ลิตร โครงสร้างลานอเนกประสงค์ 1,982.42 ลิตร โครงสร้างห้องพัก 2,151.97 ลิตร และโครงสร้างคาดฟ้าหลังคา 758.34 ลิตร ซึ่งภายหลังจากการได้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วจะนำมาคำนวณหาค่าโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานของน้ำมันดีเซลคือ 36.42 MJ/L จะได้ค่า Embodied Energy เท่ากับ  $643.93 \times 10^3$  MJ โดยแบ่งเป็นฐานราก  $378.94 \times 10^3$  MJ โครงสร้างลานจอดรถ  $86.79 \times 10^3$  MJ โครงสร้างลานอเนกประสงค์  $72.2 \times 10^3$  MJ โครงสร้างห้องพัก  $78.37 \times 10^3$  MJ และโครงสร้างคาดฟ้าหลังคา  $27.62 \times 10^3$  MJ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 83

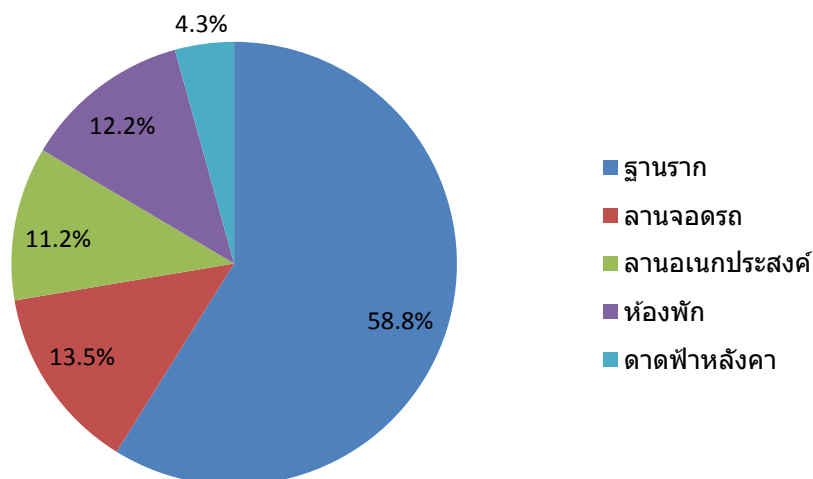


รูปที่ 83 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุ

จากรูปที่ 83 แสดงให้เห็นว่าปริมาณพลังงานสะสมหรือ Embodied Energy ของการขนส่งวัสดุในอาคารนี้ส่วนใหญ่จะมาจาก การขนส่งวัสดุที่ใช้ในส่วนฐานรากถึง 58.8% ถัดมาจะเป็นในส่วนของโครงสร้างลานจอดรถ 13.5% ห้องพัก 12.2% ลานอเนกประสงค์ 11.2% และน้อยที่สุดคือส่วนคาดฟ้าหลังคาเพียง 4.3%

สำหรับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นของการขนส่ง จากข้อมูลในตารางที่ 36 เมื่อนำข้อมูลของการขนส่งมาใช้คำนวณหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและนำมาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าอาคารนี้ใช้เชื้อเพลิงการขนส่งวัสดุของอาคารทั้งสิ้น 17,680.8 ลิตร โดยแบ่งเป็นฐานราก 10,404.85 ลิตร โครงสร้างลานจอดรถ 2,383.22 ลิตร โครงสร้างลานอเนกประสงค์ 1,982.42 ลิตร โครงสร้างห้องพัก 2,151.97 ลิตร และโครงสร้างคาดฟ้าหลังคา 758.34 ลิตร ข้อมูลและเมื่อนำมาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะได้เท่ากับโครงสร้างฐานราก 28,176.34

kgCO<sub>2</sub>e โครงสร้างลานจอดรถ 6,453.75 kgCO<sub>2</sub>e โครงสร้างลานอเนกประสงค์ 5,368.40 kgCO<sub>2</sub>e โครงสร้างห้องพัก 5,827.55 kgCO<sub>2</sub>e และควดฟ้าหลังคา 2,053.58 kgCO<sub>2</sub>e หรือคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 58.8%, 13.5%, 11.2%, 12.2% และ 4.3% ตามลำดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 84

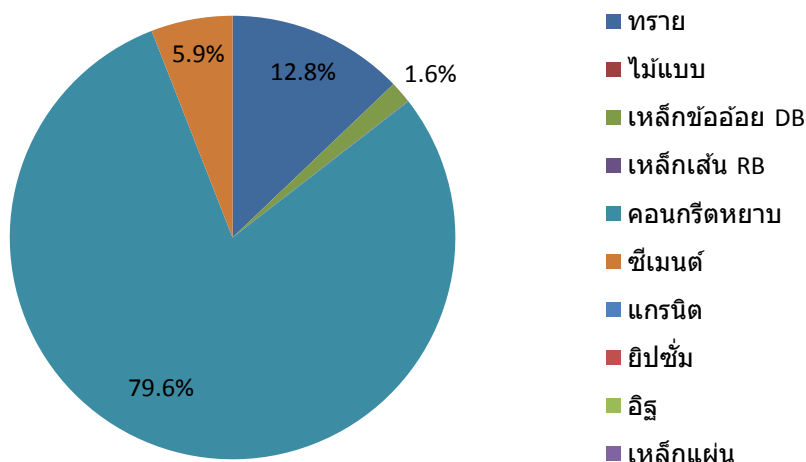


รูปที่ 84 Greenhouse gas จากการขนส่ง

จากรูปที่ 84 จะเห็นได้ว่ารูปดังกล่าวนี้มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในสัดส่วนเดียวกับ Embodied Energy เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวนี้มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เท่ากันจึงเป็นสาเหตุให้สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับปริมาณพลังงานสะสม

#### การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุฐานราก

ในการทำฐานรากนั้นวัสดุที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีตหยาบและซีเมนต์ซึ่งมีการขนส่งที่จำนวนรอบในการขนส่งค่อนข้างสูง หากพิจารณาจากตารางที่ 36 จะเห็นได้ว่าในการขนส่งคอนกรีตหยาบนั้นมีระยะที่ค่อนข้างใกล้เพียง 8.1 กิโลเมตรเนื่องจากเป็นร้านที่มีการทำข้อตกลงซื้อขายกับผู้รับเหมาแต่คอนกรีตหยาบนั้นจะมีจำนวนรอบการขนส่งที่ค่อนข้างสูง โดยในงานฐานรากนั้นมีการขนส่งคอนกรีตหยาบถึง 1,800 รอบโดยรถไม่ปูนขนาด 5 คิวสามารถบรรทุกคอนกรีตได้ 12 ตัน/รอบ รองลงมาคือซีเมนต์ 129 รอบโดยรถ 6 ล้อและทราย 40 รอบโดยรถ 10 ล้อ ซึ่งรถแต่ละประเภทมีอัตราการกินน้ำมันและความสามารถในการบรรทุกตามกฎหมายกำหนดที่แตกต่างกันเช่น รถไม่ปูนในสถานะโหลด 75% จะมีอัตราการกินน้ำมัน 1.7 km/L (thossapol,2013)



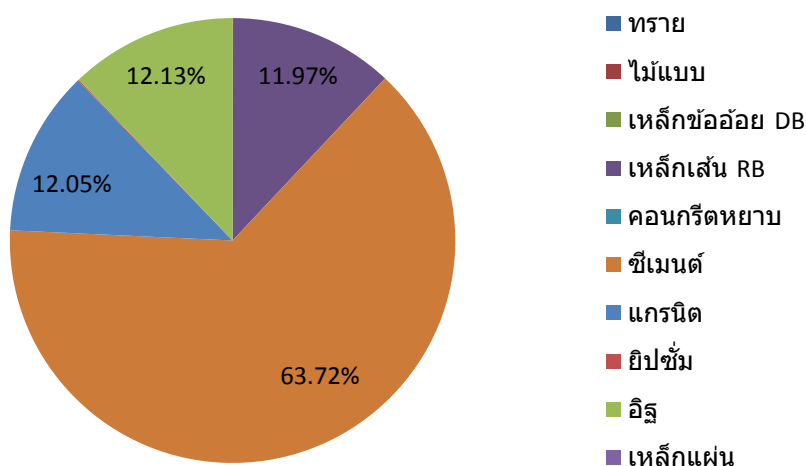
รูปที่ 85 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนฐานราก

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าการขนส่งวัสดุในส่วนฐานรากมีการใช้เชื้อเพลิง (ดีเซล) ทั้งสิ้น 10,404.85 ลิตร โดยมาจากการขนส่งคอนกรีตหยาบ 8,281.65 ลิตรเนื่องจากคอนกรีตหยาบนั้นมีปริมาณที่ใช้ในส่วนฐานรากสูงจึงทำให้มีการขนส่งมาก ทราย 1,336.47 ลิตร ซีเมนต์ 615.88 ลิตร เหล็กข้ออ้อย 166.85 ลิตร เหล็กเส้น 3.79 ลิตรและไม้แบบ 0.21 ลิตรและเมื่อนำมาคำนวณค่า Embodied Energy พบว่าในส่วนของฐานรากมีปริมาณพลังงานสะสมทั้งหมด  $378.94 \times 10^3$  MJ โดยมาจากคอนกรีตหยาบ  $301.62 \times 10^3$  MJ ทราย  $48.67 \times 10^3$  MJ ซีเมนต์  $22.43 \times 10^3$  MJ เหล็กข้ออ้อย  $6.08 \times 10^3$  MJ เหล็กเส้น 137.98 MJ และไม้แบบ 7.47 MJ หรือคิดเป็นคอนกรีตหยาบ 79.6% ทราย 12.8% ซีเมนต์ 5.9% เหล็กข้ออ้อย 1.6%

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งโครงสร้างฐานรากมีทั้งสิ้น 28,176.34 kgCO<sub>2</sub>e ซึ่งมาจากคอนกรีตหยาบ 22,426.72 kgCO<sub>2</sub>e ทราย 3,619.16 kgCO<sub>2</sub>e ซีเมนต์ 1,667.81 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กข้ออ้อย 451.83 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กเส้น 10.26 kgCO<sub>2</sub>e และไม้แบบ 0.56 kgCO<sub>2</sub>e หรือคิดเป็นคอนกรีตหยาบ 79.6% ทราย 12.8% ซีเมนต์ 5.9% เหล็กข้ออ้อย 1.6%

### การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างลานจอดรถ

สำหรับการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ในการก่อสร้างส่วนลานจอดรถวัสดุที่มีการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งได้แก่ซีเมนต์ อิฐ แกรนิต เหล็กเส้น ยิปซั่มและไม้แบบ ซึ่งในการขนส่งนั้นมีการใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้น 2,383.22 ลิตร โดยแบ่งเป็นซีเมนต์ 1,518.69 ลิตร อิฐ 289.12 ลิตร แกรนิต 287.28 ลิตร เหล็กเส้น 285.24 ลิตร ยิปซั่ม 1.96 ลิตรและไม้แบบ 0.92 ลิตร



### รูปที่ 86 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนลานจอดรถ

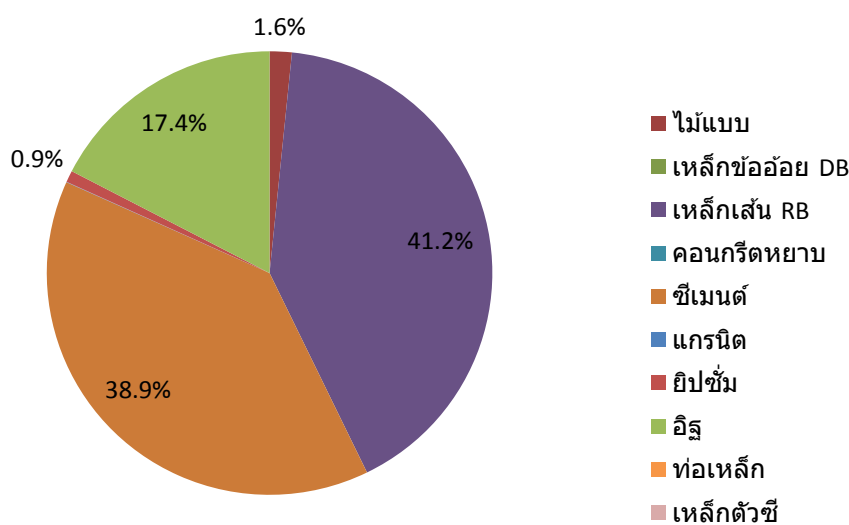
จากรูปที่ 86 แสดงสัดส่วนของ Embodied Energy ของการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ในส่วนของการก่อสร้างลานจอดรถ จากการคำนวณพบว่าสำหรับลานจอดรถในอาคารนี้มีค่า Embodied Energy ทั้งสิ้น 86,796.76 MJ โดยเกิดจากซีเมนต์ 55,310.65 MJ อิฐ 10,529.85 MJ แกรนิต 10,462.88 MJ เหล็กเส้น 10,388.43 MJ ยิปซั่ม 71.31 MJ และไม้แบบ 33.64 MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 63.72, 12.13, 12.05 และ 11.97 ตามลำดับ เนื่องจากซีเมนต์นั้นมีปริมาณการใช้สูงจึงทำให้มีจำนวนรอบการขนส่งมากอีกทั้งยังมีระยะทางไกลจึงส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงที่สูงตามไปด้วย

สำหรับการขนส่งโครงสร้างลานจอดรถนั้นมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 6,453.75 kgCO<sub>2</sub>e โดยมีที่มาจากซีเมนต์ 4,112.61 kgCO<sub>2</sub>e อิฐ 782.94 kgCO<sub>2</sub>e แกรนิต 777.97 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กเส้น 772.43 kgCO<sub>2</sub>e ยิปซั่ม 5.30 kgCO<sub>2</sub>e และไม้แบบ 2.50 kgCO<sub>2</sub>e



### การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างลานอเนกประสงค์

ในการก่อสร้างลานอเนกประสงค์ของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นวัสดุที่ใช้ใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งมากที่สุดคือเหล็กเส้นซึ่งใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง 815.52 ลิตรถัดมาได้แก่ ซีเมนต์ 771.7 ลิตร อิฐ 344.97 ลิตร ไม้แบบ 31.81 ลิตร ยิปซั่ม 16.85 ลิตรและแกรนิต 0.57 ลิตร หรือเท่ากับการขนส่งวัสดุก่อสร้างของลานอเนกประสงค์ใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้น 1,982.42 ลิตร



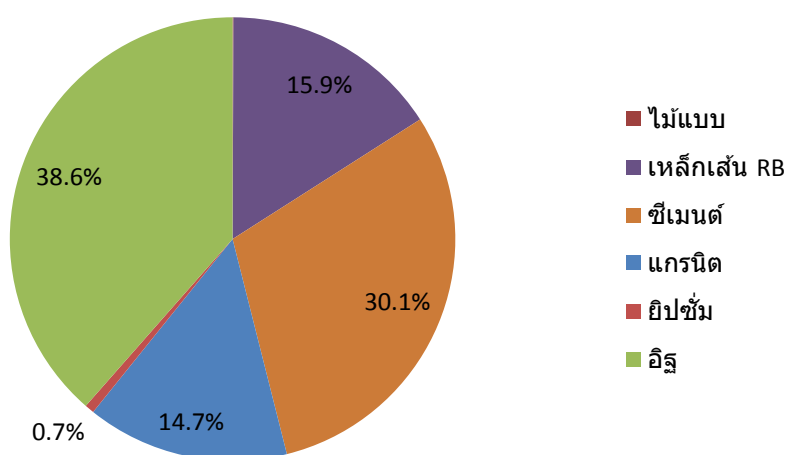
รูปที่ 87 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนลานอเนกประสงค์

จากรูปที่ 87 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของ Embodied Energy ที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ในการก่อสร้างส่วนของลานอเนกประสงค์ของอาคารพระราชวังสนามจันทร์ จากการคำนวณนั้นพบว่าค่า Embodied Energy ของการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งวัสดุก่อสร้างในส่วนของลานอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีค่าทั้งสิ้น 72,199.82 MJ โดยได้มาจากเหล็กเส้น 29,737.58 MJ ซีเมนต์ 28,105.36 MJ อิฐ 12,563.82 MJ ไม้แบบ 1,158.62 MJ ยิปซั่ม 613.84 MJ และแกรนิต 20.6 MJ หรือคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละได้เท่ากับเหล็กเส้นร้อยละ 41.2 ซีเมนต์ร้อยละ 38.9 อิฐร้อยละ 17.4 ไม้แบบร้อยละ 1.6 และยิปซั่มร้อยละ 0.9

ในส่วนของการขนส่งโครงสร้างลานอเนกประสงค์ของอาคารนี้จะมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งทั้งสิ้น 5,368.40 kgCO<sub>2</sub>e เกิดจากเหล็กเส้น 2,211.13 kgCO<sub>2</sub>e ซีเมนต์ 2,089.77 kgCO<sub>2</sub>e อิฐ 934.18 kgCO<sub>2</sub>e ไม้แบบ 86.15 kgCO<sub>2</sub>e ยิปซั่ม 45.64 kgCO<sub>2</sub>e และแกรนิต 1.53 kgCO<sub>2</sub>e

### การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างห้องพัก

สำหรับการก่อสร้างอาคารในส่วนของห้องพักนั้นมีการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการขนส่งวัสดุก่อสร้างทั้งสิ้น 2,151.97 ลิตร โดยการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุดคืออิฐซึ่งใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งทั้งสิ้น 829.59 ลิตร รองลงมาได้แก่ซีเมนต์ 648.70 ลิตร เหล็ก RB หรือเหล็กเส้น 341.36 ลิตร แกรนิต 316.06 ลิตร ยิปซั่ม 14.75 ลิตรและไม้แบบ 1.53 ลิตร



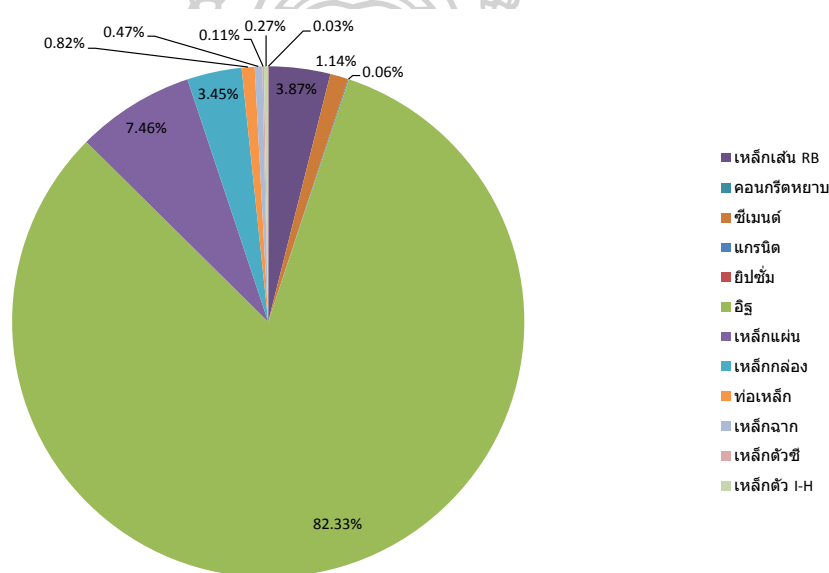
รูปที่ 88 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนห้องพัก

หลังจากได้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งและนำมาทำการคำนวณพบว่าค่า Embodied Energy ของการขนส่งวัสดุก่อสร้างสำหรับการก่อสร้างห้องพักของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีค่า Embodied Energy ทั้งสิ้น 78,374.92 MJ ซึ่งสามารถระบุได้ว่าเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งอิฐ 30,213.65 MJ ซีเมนต์ 23,625.51 MJ เหล็กเส้น 12,432.17 MJ แกรนิต 11,510.92 MJ ยิปซั่ม 537.11 MJ และไม้แบบ 55.75 MJ หรือคิดเป็นอัตราส่วนจะเท่ากับอิฐ 38.6% ซีเมนต์ 30.1% เหล็กเส้น 15.9% แกรนิต 14.7% ยิปซั่ม 0.7% และไม้แบบ 0.1% ตามลำดับซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 88

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งโครงสร้างส่วนห้องพักนั้นมีทั้งสิ้น 5,827.55 kgCO<sub>2</sub>e รายละเอียดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประกอบไปด้วยอิฐ 2,246.53 kgCO<sub>2</sub>e ซีเมนต์ 1,756.67 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กเส้น 924.39 kgCO<sub>2</sub>e แกรนิต 855.89 kgCO<sub>2</sub>e ยิปซั่ม 39.94 kgCO<sub>2</sub>e และไม้แบบ 4.13 kgCO<sub>2</sub>e

### การใช้พลังงานจากการขนส่งวัสดุโครงสร้างอาคารหลังคา

สำหรับการก่อสร้างในส่วนของอาคารหลังคาจะมีวัสดุที่ค่อนข้างหลากหลายและใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งในส่วนนี้ไปทั้งสิ้น 758.34 ลิตร โดยแบ่งเป็นการขนส่งอิฐ 624.32 ลิตร เหล็กแผ่น 56.6 ลิตร เหล็กเส้น 29.37 ลิตร เหล็กกล่อง 26.13 ลิตร ซีเมนต์ 8.66 ลิตร ท่อเหล็ก 6.19 ลิตร เหล็กฉาก 3.59 ลิตร เหล็กตัวไอ 2.01 ลิตร เหล็กตัวซี 0.8 ลิตร แกรนิต 0.42 ลิตร และไม้แบบ 0.24 ลิตร จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าในส่วนของงานอาคารหลังคาของอาคารเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีการใช้วัสดุที่ค่อนข้างหลากหลายแต่วัสดุหลักที่มีการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งมากที่สุดคืออิฐที่มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งถึง 624.32 ลิตรเนื่องจากจุดเริ่มต้นในการขนส่งนั้นมีระยะทางที่ไกลกว่าวัสดุอื่นๆ



รูปที่ 89 Embodied Energy จากการขนส่งวัสดุส่วนอาคารหลังคา

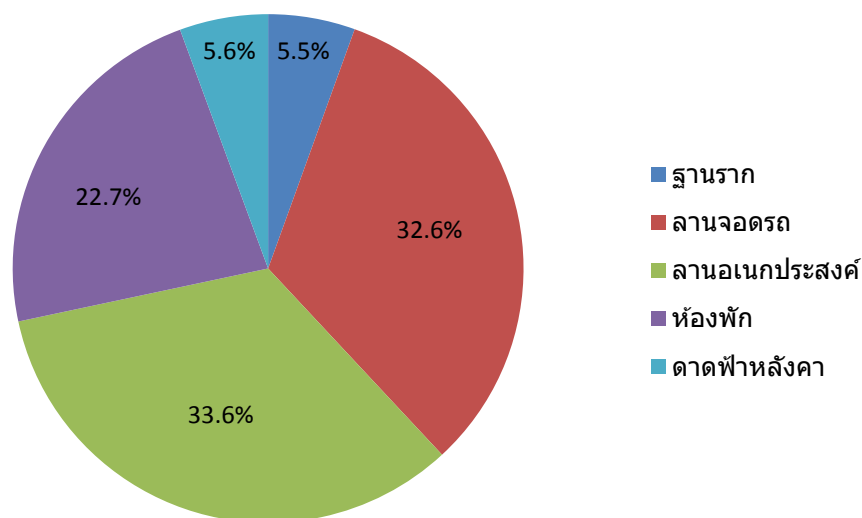
จากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ในส่วนของอาคารหลังคาของอาคารแล้ว เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Embodied Energy พบว่าในส่วนของงานอาคารหลังคานั้นมีค่า Embodied Energy ทั้งสิ้น 27,618.71 MJ โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้อิฐ 22,737.64 MJ เหล็กแผ่น 2,061.38 MJ เหล็กเส้น 1,069.61 MJ เหล็กกล่อง 951.82 MJ ซีเมนต์ 315.35 MJ ท่อเหล็ก 225.45 MJ เหล็กฉาก 130.76 MJ เหล็กตัวไอ 73.34 MJ เหล็กตัวซี 29.29 MJ แกรนิต 15.41 MJ และไม้แบบ 8.75 MJ หรือคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับอิฐ 82.33% เหล็กแผ่น 7.46% เหล็กเส้น 3.87%

เหล็กกล่อง 3.45% ซีเมนต์ 1.14% ท่อเหล็ก 0.82% เหล็กฉาก 0.47% ลิตร เหล็กตัวไอ 0.27% เหล็กตัวซี 0.11% แกรนิต 0.06% และไม้แบบ 0.03% ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 86

ในส่วนของการขนส่งวัสดุตลาดฟ้าหลังคานั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 2,053.58 kgCO<sub>2</sub>e ซึ่งมาจากไม้แบบ 0.65 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กเส้น 79.53 kgCO<sub>2</sub>e ซีเมนต์ 23.44 kgCO<sub>2</sub>e แกรนิต 1.15 kgCO<sub>2</sub>e อิฐ 1,690.65 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กแผ่น 153.27 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กกล่อง 70.77 kgCO<sub>2</sub>e ท่อเหล็ก 16.76 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กฉาก 9.72 kgCO<sub>2</sub>e เหล็กตัวซี 2.18 kgCO<sub>2</sub>e และเหล็กตัวไอ 5.45 kgCO<sub>2</sub>e

#### 4.1.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการก่อสร้าง

การก่อสร้างโครงสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นได้เริ่มก่อสร้างตั้งแต่วันที่เดือนมีนาคม 2559 จนถึงเดือนมีนาคม 2561 ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 25 เดือน โดยการใช้พลังงานในส่วนของการก่อสร้างนั้นเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 97,770.10 MJ



รูปที่ 90 สัดส่วนการใช้พลังงานในการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์

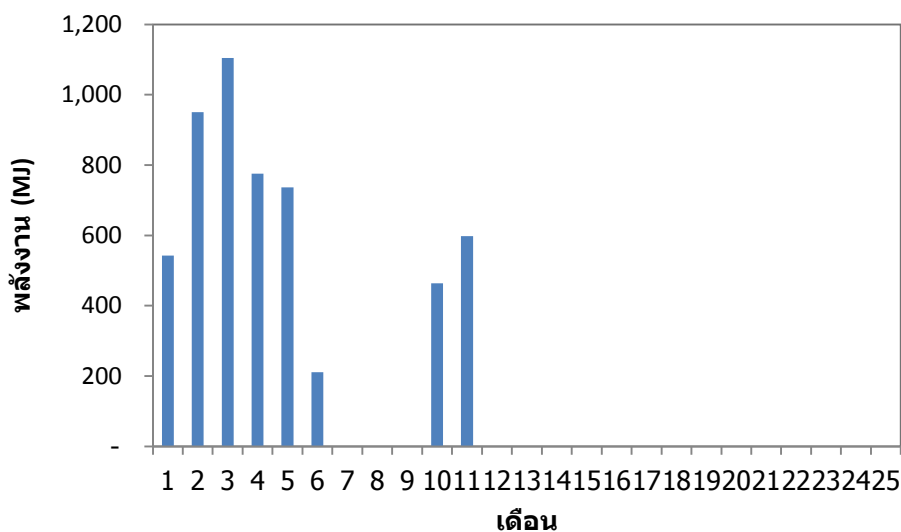
จากรูปที่ 90 เป็นสัดส่วนการใช้พลังงานในช่วงของการก่อสร้างอาคารที่เกิดขึ้น โดยจากที่กล่าวไปข้างต้นว่าอาคารนี้มันได้มีการใช้พลังงานในช่วงของการก่อสร้างทั้งสิ้น 97,770.10 MJ ซึ่งสามารถจำแนกแหล่งที่มาได้ต่อไปนี้ โครงสร้างส่วนฐานราก 5,382.00 MJ โครงสร้างลานจอดรถ 31,847.83 MJ โครงสร้างลานอเนกประสงค์ 32,825.60 MJ โครงสร้างห้องพัก 22,237.60 MJ และโครงสร้างตลาดฟ้าหลังคา 5,477.08 MJ หรือคิดเป็นโครงสร้างส่วนฐานราก 5.5% โครงสร้างลานจอด

รถ 32.6% MJ โครงสร้างลานอเนกประสงค์ 33.6% โครงสร้างห้องพัก 22.7% และโครงสร้างดาดฟ้า หลังคา 5.6% ของการใช้พลังงานในช่วงของการก่อสร้างอาคารทั้งหมด

### การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนโครงสร้างฐานราก

สำหรับส่วนโครงสร้างฐานรานั้นจะมีช่วงในการทำส่วนที่เป็นฐานรากในช่วงเดือนที่ 1-6 ซึ่งในช่วงเดือนที่ 1-3 นั้นจะเป็นช่วงของการทำงานดิน งานเสาเข็มตอก งานตัดหัวเสาเข็มและทดสอบเสาเข็มและในช่วงของเดือนที่ 3-6 จะเป็นช่วงของการทำในส่วนของโครงสร้างและงานลึงก์เก็บน้ำใต้ดิน หลังจากนั้นจะเป็นช่วงของการเก็บรายละเอียดต่างๆในช่วงเดือนที่ 10 และ 11

ในการก่อสร้างโครงสร้างฐานรานั้นมีการใช้พลังงานทั้งสิ้น 5,382.00 MJ ซึ่งสามารถจำแนกรายละเอียดของการทำงานได้เป็นในเดือนที่ 1 มีการทำงาน 1 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 542.91 MJ เดือนที่ 2 มีการทำงาน 4 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 950.09 MJ เดือนที่ 3 มีการทำงาน 3 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 1,104.82 MJ เดือนที่ 4 มีการทำงาน 4 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 775.28 MJ เดือนที่ 5 มีการทำงาน 4 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 736.55 MJ เดือนที่ 6 มีการทำงาน 4 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 210.94 MJ เดือนที่ 10 มีการทำงาน 1 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 463.36 MJ เดือนที่ 11 มีการทำงาน 1 สัปดาห์ ใช้พลังงาน 598.06 MJ

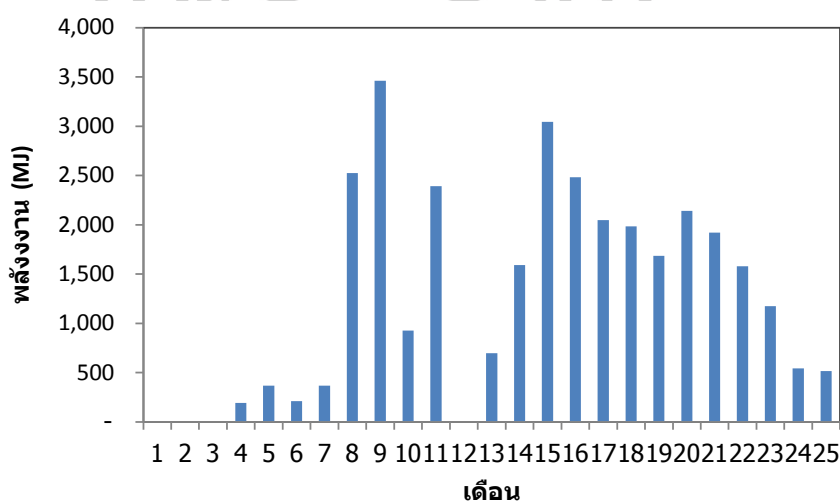


รูปที่ 91 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนฐานราก

จากรูปที่ 91 แสดงให้เห็นถึงช่วงของการใช้พลังงาน จะเห็นได้ว่าในช่วงของเดือนที่ 2-5 นั้น จะมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงเนื่องจากมีการใช้เครื่องมือหนักค่อนข้างมาก จากที่กล่าวไปข้างต้นในการก่อสร้างโครงสร้างฐานรากนั้นมีการใช้พลังงานทั้งสิ้น 5,382.00 MJ ซึ่งคิดเป็นเดือนที่ 1 ใช้พลังงาน 10.1% เดือนที่ 2 ใช้พลังงาน 17.7% เดือนที่ 3 ใช้พลังงาน 20.5% เดือนที่ 4 ใช้พลังงาน 14.4% เดือนที่ 5 ใช้พลังงาน 13.7% เดือนที่ 6 ใช้พลังงาน 3.9% เดือนที่ 10 ใช้พลังงาน 8.6% และเดือนที่ 11 ใช้พลังงาน 11.1% ของการใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนโครงสร้างฐานรากทั้งหมด

#### การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนลานจอดรถ

การก่อสร้างลานจอดรถของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์จะเป็นการก่อสร้างตั้งแต่เดือนที่ 4-11 และการเก็บรายละเอียดตลอดจนการทำงานด้านสถาปัตยกรรมในช่วงเดือนที่ 13-25 สำหรับส่วนของลานจอดรถมีการใช้พลังงานในการก่อสร้างทั้งสิ้น 31,847.83 MJ โดยแบ่งเป็นเดือนที่ 4 ใช้พลังงาน 193.82 MJ เดือนที่ 5 ใช้พลังงาน 368.27 MJ เดือนที่ 6 ใช้พลังงาน 210.94 MJ เดือนที่ 7 ใช้พลังงาน 369.15 MJ เดือนที่ 8 ใช้พลังงาน 2,525.60 MJ เดือนที่ 9 ใช้พลังงาน 3,461.64 MJ เดือนที่ 10 ใช้พลังงาน 926.71 MJ เดือนที่ 11 ใช้พลังงาน 2,392.24 MJ เดือนที่ 13 ใช้พลังงาน 695.84 MJ เดือนที่ 14 ใช้พลังงาน 1,591.66 MJ เดือนที่ 15 ใช้พลังงาน 3,044.31 MJ เดือนที่ 16 ใช้พลังงาน 2,480.93 MJ เดือนที่ 17 ใช้พลังงาน 2,046.60 MJ เดือนที่ 18 ใช้พลังงาน 1,984.75 MJ เดือนที่ 19 ใช้พลังงาน 1,683.49 MJ เดือนที่ 20 ใช้พลังงาน 2,141.05 MJ เดือนที่ 21 ใช้พลังงาน 1,920.50 MJ เดือนที่ 22 ใช้พลังงาน 1,577.79 MJ เดือนที่ 23 ใช้พลังงาน 1,174.24 MJ เดือนที่ 24 ใช้พลังงาน 542.60 MJ เดือนที่ 25 ใช้พลังงาน 515.71 MJ



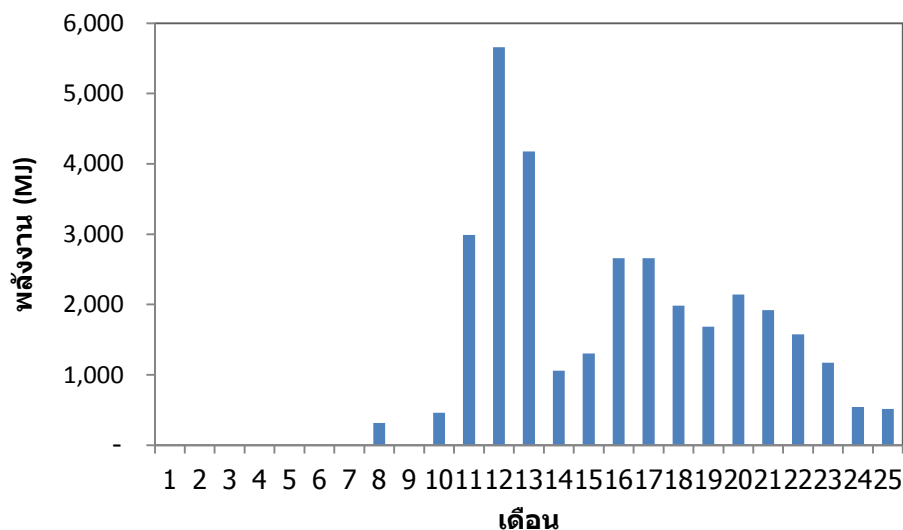
รูปที่ 92 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนลานจอดรถ

จากรูปที่ 92 ซึ่งเป็นรูปแสดงการใช้พลังงานในการก่อสร้างในส่วนของลานจอดรถของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ ซึ่งมีแนวโน้มการใช้พลังงานเป็นสองช่วงได้แก่ช่วงแรกตั้งแต่เดือนที่ 4-11 เป็นช่วงของการทำงานด้านโครงสร้างของลานจอดรถซึ่งในเดือนที่ 4 ใช้พลังงาน 0.6% เดือนที่ 5 ใช้พลังงาน 1.2% เดือนที่ 6 ใช้พลังงาน 0.7% เดือนที่ 7 ใช้พลังงาน 1.2% เดือนที่ 8 ใช้พลังงาน 7.9% เดือนที่ 9 ใช้พลังงาน 10.9% เดือนที่ 10 ใช้พลังงาน 2.9% เดือนที่ 11 ใช้พลังงาน 7.5% จากการใช้พลังงานในการก่อสร้างลานจอดรถทั้งหมด

ในช่วงเดือนที่ 13-25 จะเป็นส่วนของการทำงานด้านงานสถาปัตยกรรมและการเก็บรายละเอียดต่างๆของการก่อสร้างในช่วงเดือนที่ 13 มีการใช้พลังงาน 2.2% เดือนที่ 14 ใช้พลังงาน 5.0% เดือนที่ 15 ใช้พลังงาน 9.6% เดือนที่ 16 ใช้พลังงาน 7.8% เดือนที่ 17 ใช้พลังงาน 6.4% เดือนที่ 18 ใช้พลังงาน 6.2% เดือนที่ 19 ใช้พลังงาน 5.3% เดือนที่ 20 ใช้พลังงาน 6.7% เดือนที่ 21 ใช้พลังงาน 6.0% เดือนที่ 22 ใช้พลังงาน 5.0% เดือนที่ 23 ใช้พลังงาน 3.7% เดือนที่ 24 ใช้พลังงาน 1.7% เดือนที่ 14 ใช้พลังงาน 1.6% ของการใช้พลังงานจากการก่อสร้างลานจอดรถทั้งหมด ในส่วนของงานสถาปัตยกรรมนี้จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานในช่วงแรกที่สูงและหลังจากนั้นก็ค่อยๆมีการใช้พลังงานที่เริ่มลดลงเนื่องจากหลังจากที่มีการทำงานในส่วนที่มีการใช้เครื่องมือหนักเสร็จแล้วก็จะมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ดังกล่าวไปทำในส่วนอื่นจะเหลือเพียงเครื่องมือขนาดเล็กและการให้แสงสว่างเท่านั้น

#### *การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนลานอเนกประสงค์*

ในส่วนของการก่อสร้างลานอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ใช้เวลาก่อสร้างทั้งหมด 17 เดือนตั้งแต่เดือนที่ 8 และเดือนที่ 10-25 ซึ่งในช่วงของเดือนที่ 8 จะเป็นการเตรียมการก่อสร้าง หลังจากนั้นในช่วงเดือนที่ 10-15 จะเป็นช่วงของการทำโครงสร้างและเดือนที่ 16-25 จะเป็นช่วงของการทำงานด้านสถาปัตยกรรมและการเก็บรายละเอียด ซึ่งการก่อสร้างลานอเนกประสงค์นั้นมีการใช้พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างทั้งสิ้น 32,825.59 MJ



รูปที่ 93 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนลานอเนกประสงค์

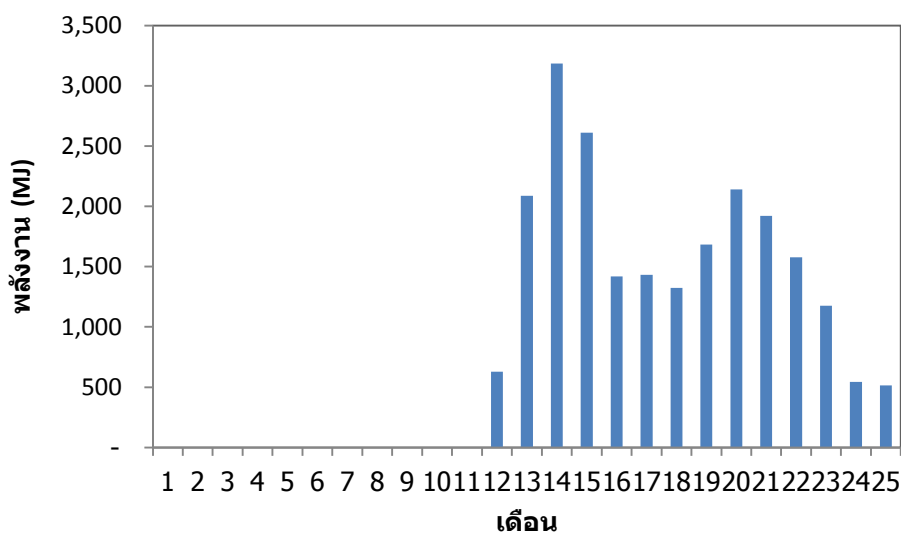
จากรูปที่ 93 พบว่าในเดือนที่ 8 มีการใช้พลังงาน 315.70 MJ เดือนที่ 10 มีการใช้พลังงาน 463.36 MJ เดือนที่ 11 มีการใช้พลังงาน 2,990.30 MJ เดือนที่ 12 มีการใช้พลังงาน 5,656.52 MJ เดือนที่ 13 มีการใช้พลังงาน 4,175.05 MJ เดือนที่ 14 มีการใช้พลังงาน 1,061.11 MJ เดือนที่ 15 มีการใช้พลังงาน 1,304.70 MJ เดือนที่ 16 มีการใช้พลังงาน 2,658.14 MJ เดือนที่ 17 มีการใช้พลังงาน 2,660 MJ เดือนที่ 18 มีการใช้พลังงาน 1,984.75 MJ เดือนที่ 19 มีการใช้พลังงาน 1,683.49 MJ เดือนที่ 20 มีการใช้พลังงาน 2,141.05 MJ เดือนที่ 21 มีการใช้พลังงาน 1,920.50 MJ เดือนที่ 22 มีการใช้พลังงาน 1,577.79 MJ เดือนที่ 23 มีการใช้พลังงาน 1,174.24 MJ เดือนที่ 24 มีการใช้พลังงาน 542.60 MJ เดือนที่ 25 มีการใช้พลังงาน 515.71 MJ หรือสามารถคิดเป็น 1.0%, 1.4%, 9.1%, 17.2%, 12.7%, 3.2%, 4.0%, 8.1%, 8.1%, 6.0%, 5.1%, 6.5%, 5.9%, 4.8%, 3.6%, 1.7% และ 1.6% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนที่ 12 และ 13 นั้นมีการใช้พลังงานที่สูงมากเนื่องจากในช่วงนี้นั้นเป็นการทำงานส่วนของโครงสร้างจึงมีการใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องโมปูน เครื่องตัด เครื่องเจียร์ รวมถึงอุปกรณ์ให้แสงสว่างจำนวนมากจึงส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานที่สูงตามไปด้วย

#### การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนห้องพัก

สำหรับการก่อสร้างส่วนห้องพักของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นจะเริ่มตั้งแต่เดือนที่ 12-25 โดยจะมีช่วงการทำโครงสร้างตั้งแต่เดือนที่ 12-18 และเดือนที่ 19-25 จะเป็น



ช่วงของงานสถาปัตยกรรมและการเก็บรายละเอียดของการก่อสร้าง มีการใช้พลังงานในการก่อสร้าง ส่วนที่เป็นห้องพักทั้งสิ้น 22,237.60 MJ

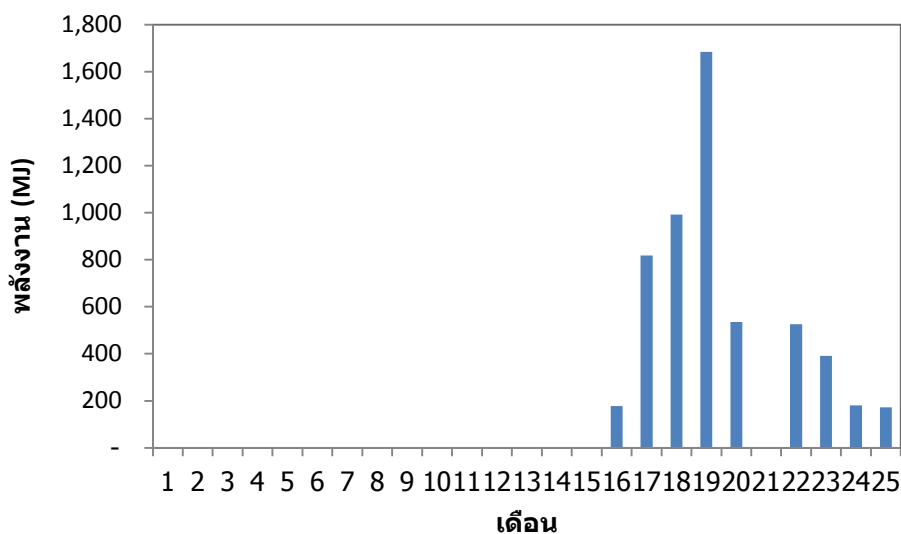


รูปที่ 94 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนห้องพัก

จากรูปที่ 94 แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานของการก่อสร้างส่วนห้องพัก ซึ่งในเดือนที่ 12 นั้น มีการใช้พลังงาน 628.50 MJ เดือนที่ 13 ใช้พลังงาน 2,087.53 MJ เดือนที่ 14 ใช้พลังงาน 3,183.33 MJ เดือนที่ 15 ใช้พลังงาน 2,609.41 MJ เดือนที่ 16 ใช้พลังงาน 1,417.68 MJ เดือนที่ 17 ใช้พลังงาน 1,432.62 MJ เดือนที่ 18 ใช้พลังงาน 1,323.16 MJ เดือนที่ 19 ใช้พลังงาน 1,683.49 MJ เดือนที่ 20 ใช้พลังงาน 2,141.05 MJ เดือนที่ 21 ใช้พลังงาน 1,920.50 MJ เดือนที่ 22 ใช้พลังงาน 1,577.79 MJ เดือนที่ 23 ใช้พลังงาน 1,174.24 MJ เดือนที่ 24 ใช้พลังงาน 542.60 MJ เดือนที่ 25 ใช้พลังงาน 515.71 MJ หรือคิดเป็น เดือนที่ 12 ใช้พลังงาน 2.8% เดือนที่ 13 ใช้พลังงาน 9.4% เดือนที่ 14 ใช้พลังงาน 14.3% เดือนที่ 15 ใช้พลังงาน 11.7% เดือนที่ 16 ใช้พลังงาน 6.4% เดือนที่ 17 ใช้พลังงาน 6.4% เดือนที่ 18 ใช้พลังงาน 6.0% เดือนที่ 19 ใช้พลังงาน 7.6% เดือนที่ 20 ใช้พลังงาน 9.6% เดือนที่ 21 ใช้พลังงาน 8.6% เดือนที่ 22 ใช้พลังงาน 7.1% เดือนที่ 23 ใช้พลังงาน 5.3% เดือนที่ 24 ใช้พลังงาน 2.4% เดือนที่ 25 ใช้พลังงาน 2.3% ของการใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนห้องพักทั้งหมด

### การใช้พลังงานจากการก่อสร้างส่วนอาคารหลังคา

ในส่วนของการทำดาดฟ้ามีการใช้พลังงานในการก่อสร้างทั้งสิ้น 5,477.08 MJ มีการก่อสร้าง 2 ช่วง ระยะเวลา 9 เดือน ช่วงแรกตั้งแต่เดือนที่ 16-19 เป็นช่วงของการทำโครงสร้างและช่วงที่ 2 ตั้งแต่เดือนที่ 22-25 เป็นช่วงของการทำงานสถาปัตยกรรม



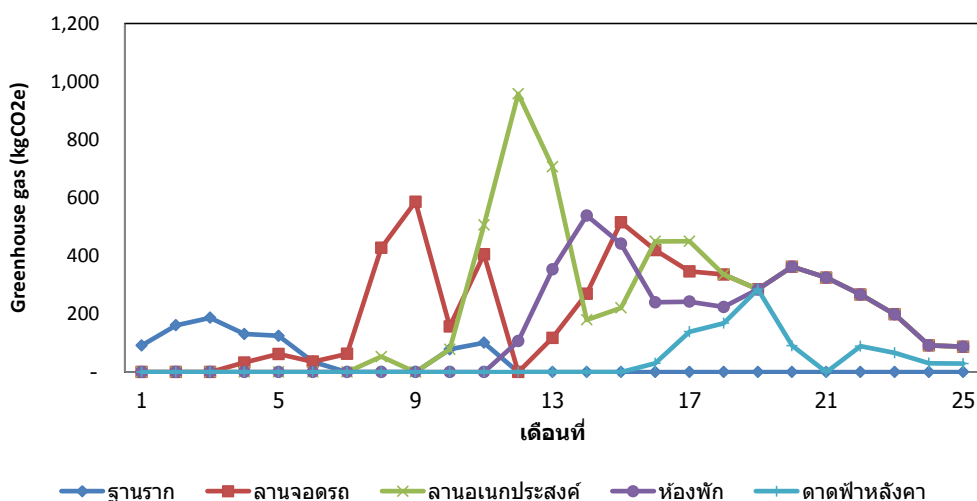
รูปที่ 95 การใช้พลังงานในการก่อสร้างส่วนอาคารหลังคา

สำหรับการก่อสร้างดาดฟ้าหลังคาช่วงแรกคือเดือนที่ 16 มีการใช้พลังงาน 177.21 MJ (3.2%) เดือนที่ 17 ใช้พลังงาน 818.64 MJ (14.9%) เดือน เดือนที่ 18 ใช้พลังงาน 992.37 MJ (18.1%) เดือนที่ 19 ใช้พลังงาน 1,683.49 MJ (30.7%) เดือนที่ 20 ใช้พลังงาน 535.26 MJ (9.8%) หลังจากนั้นเป็นช่วงที่ 2 หรือการทำงานด้านสถาปัตยกรรมในเดือนที่ 22 ใช้พลังงาน 525.93 MJ (9.6%) เดือนที่ 23 ใช้พลังงาน 391.41 MJ (7.1%) เดือนที่ 24 ใช้พลังงาน 180.87 MJ (3.3%) เดือนที่ 25 ใช้พลังงาน 171.90 MJ (3.1%) ในช่วงเดือนที่ 19 นั้นเป็นช่วงของการทำส่วนหลังคาที่เป็นเหล็กตั้งนั้นเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการตัดและเชื่อมเหล็กจึงถูกนำมาใช้มากจึงส่งผลให้ในเดือนที่ 19 นั้นมีการใช้พลังงานสูง

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการก่อสร้าง

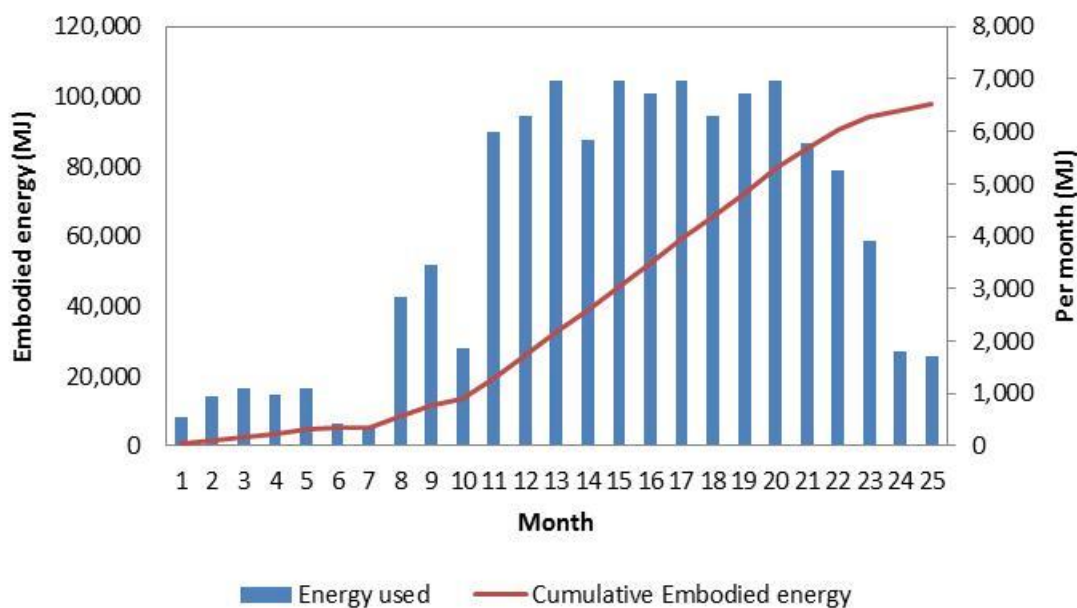
สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจะมีวิธีคิดใกล้เคียงกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกในการขนส่งที่จะนำข้อมูลการใช้พลังงานมาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยคือ 0.6093 kgCO<sub>2</sub>e/kWh

จากข้อมูลพบว่าในการใช้พลังงานงานในการก่อสร้างมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 16,548.91 kgCO<sub>2</sub>e โดยได้จากการก่อสร้างส่วนฐานราก 910.98 kgCO<sub>2</sub>e การก่อสร้างลานจอดรถ 5,390.68 kgCO<sub>2</sub>e การก่อสร้างลานอเนกประสงค์ 5,556.17 kgCO<sub>2</sub>e การก่อสร้างห้องพัก 3,764.01 kgCO<sub>2</sub>e และการก่อสร้างส่วนดาดฟ้าหลังคา 927.07 kgCO<sub>2</sub>e ข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 96



รูปที่ 96 Greenhouse gas ของการใช้พลังงานในการก่อสร้าง

### Energy use in construction



รูปที่ 97 กราฟแสดงการใช้พลังงานรวมในการก่อสร้างของอาคาร

จากรูปที่ 97 แสดงการใช้พลังงานรวมของการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์ที่มีปริมาณการใช้พลังงานทั้งสิ้น 97,770.10 MJ โดยช่วงที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุดคือช่วงเดือนที่ 11-21 ที่มีการทำงานในหลายส่วนพร้อมกัน คือในช่วงของการเก็บรายละเอียดส่วนลานจอดรถ การทำส่วนลานอเนกประสงค์และห้องพักรวมถึงการเตรียมทำส่วนดาดฟ้าและหลังคา

ตารางที่ 37 ตารางแสดงสรุปรายละเอียดพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์

	วัสดุก่อสร้าง(MJ)	การขนส่ง(MJ)	การก่อสร้าง(MJ)	รวม (MJ)
ฐานราก	9,968,158.98	378944.6759	5,382.00	10,352,485.65
ลานจอดรถ	49,007,920.78	86796.76323	31,847.83	49,126,565.37
ลานอเนกประสงค์	44,011,729.87	72199.825	32,825.59	44,116,755.28
ห้องพัก	50,175,801.19	78374.92319	22,237.60	50,276,413.71
ดาดฟ้าหลังคา	9,076,066.58	27618.70611	5,477.08	9,109,162.38
<b>รวม</b>	<b>162,239,677.40</b>	<b>643,934.89</b>	<b>97,770.10</b>	<b>162,981,382.39</b>

จากตารางที่ 37 จะเห็นได้ว่าพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นส่วนมากมาจากวัสดุก่อสร้าง ซึ่งมีค่าพลังงานสะสมถึง 162,981,382.39 MJ หรือคิดเป็น 99% ของพลังงานสะสมของอาคารทั้งหมด ส่วนการขนส่งและการใช้พลังงานในการก่อสร้างนั้นรวมกันมีปริมาณเพียง 1% ของพลังงานสะสมของอาคารทั้งหมด พลังงานสะสมของอาคารที่มีมากที่สุดคือส่วนของลานจอดรถในอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์

#### 4.3 ปริมาณ Embodied Energy และ Greenhouse gas ต่อพื้นที่

ภายหลังจากที่ได้ทำการคำนวณปริมาณพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารก็จะนำมาหาพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการใช้พื้นที่เป็นหน่วยต่อตารางเมตร( $m^2$ ) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ในอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีพื้นที่การใช้สอยทั้งสิ้น 17,000 ตารางเมตร มีปริมาณพลังงานสะสมของอาคารทั้งสิ้น  $162.98 \times 10^6$  MJ และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น  $14.51 \times 10^6$  kgCO<sub>2e</sub> เมื่อนำมาเฉลี่ยกับพื้นที่พบว่าอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีค่าพลังงานสะสมหรือ Embodied Energy เท่ากับ  $9,587.14$  MJ/ $m^2$  และปริมาณก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่  $853.62$  kgCO<sub>2e</sub>/ $m^2$  จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นดังตารางที่ 38 พบว่า

ตารางที่ 38 ตารางเปรียบเทียบพลังงานสะสมของอาคารเนกประสงค์และอาคารอื่น

No	Referance	year	type	Country	GJ/m <sup>2</sup>	Method
1	Xing Su and Xu Zhan [36]	2016	Resident	China	3.33	Process LCA
2	Honey and Buchanan [41]	1992	Resident	New Zealand	5	Process LCA
3	Jeyasingh and Sam [42]	2004	Resident	India	6.4	I-O analysis
3	Giordano et al[43]	2015	Resident	Italy	6.4	Process LCA
4	Ramesh and Khan[44]	2013	Resident	India	8.07	Process LCA
5	Aneesh N.R. et al [45]	2018	Terminal station	India	8.57	Process LCA
6	This study*		Mixed use	Thailand	9.59	Process LCA
7	Crawford [46]	2008	Resident	Australia	10.1	I-O analysis
8	Jie Wang et al[47]	2018	Office	Hong Kong	10.35	Process LCA
9	Rauf & Crawford [48]	2012	Resident	Australia	13.4	Process LCA
10	Fay et al [49]	2000	Resident	Australia	14.09	Process LCA

จากตารางที่ 38 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานสะสมของงานวิจัยนี้อยู่ในระดับที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งค่าพลังงานสะสมต่อพื้นที่ของอาคารในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 9.54 GJ/m<sup>2</sup> ทั้งนี้ค่าพลังงานที่สูงหรือต่ำนั้นอาจเกิดได้จากการออกแบบอาคารที่มีการเลือกใช้วัสดุหรือมีการเลือกใช้วิธีการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพที่สูงจึงจะทำให้ค่าพลังงานสะสมต่อพื้นที่ของอาคารลดน้อยลง

ตารางที่ 39 ตารางเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์และอาคารอื่น

No	Referance	year	type	Country	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	Method
1	Nassen J et al[50]	2007	Resident	Sweden	72	I-O analysis
2	Rossi et al [51]	2012	Resident	Belgian	189	Process LCA
3	Salazar and Meil[52]	2009	Resident	Canada	294	Process LCA
3	Konig and Cristofaro [53]	2012	Resident	Germany	430	Process LCA
4	Yan et al[12]	2010	Commercial	Hong Kong	525	Process LCA
5	Blengini and Carlo [54]	2010	Resident	Italy	770	Process LCA
6	Georgios Syngros et al[55]	2017	Resident	Greece	777	Process LCA
7	Wu et al[56]	2012	Office	China	803	Process LCA
8	This study*		Mixed use	Thailand	853	Process LCA
9	Suzuki M et al [57]	1995	Resident	Japan	985	I-O analysis
10	Suzuki M et al [58]	1998	Office	Japan	1,100	Process LCA

จากตารางที่ 39 เป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์และอาคารของงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งพบว่าค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่เท่ากับ 853 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ซึ่งถือเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น สำหรับการเปรียบเทียบครั้งนี้จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยที่งานวิจัยที่มีความเก่านั้นมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูงซึ่งอาจเกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงหรือการจัดการการก่อสร้างที่มีการใช้พลังงานงานมากหรืออาจใช้เวลานานจึงทำให้อาคารดังกล่าวเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีปริมาณพลังงานสะสมของอาคารที่มีปริมาณค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอื่น ๆ ที่มีการก่อสร้างในช่วงใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีทั้งสิ้น 162,134,147.40 MJ โดยเกิดจากพลังงานสะสมของวัสดุ 161,392,442.41 MJ พลังงานสะสมของการขนส่ง 643,934.89 MJ และพลังงานสะสมที่เกิดจากการก่อสร้าง 97,770.10 MJ จากข้อมูลนี้จะเห็นได้ว่าพลังงานสะสมของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นส่วนใหญ่เกิดจากพลังงานสะสมของวัสดุที่มีการเลือกนำมาใช้ในอาคารเป็นส่วนมาก สำหรับวัสดุที่มีค่าพลังงานสะสมมากที่สุดคือแกรนิตและเหล็กโดยวัสดุที่มีการนำมาใช้มากที่สุดคือซีเมนต์แต่เนื่องจากซีเมนต์นั้นมีค่าพลังงานที่ต่ำจึงส่งผลกระทบต่อไม่สูงมากนักคิดเป็น 13.06% ของพลังงานสะสมจากการใช้วัสดุทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของการใช้เหล็กเส้นแล้ว เหล็กเส้นมีปริมาณการใช้งานที่ต่ำกว่าซีเมนต์มากแต่ค่าพลังงานสะสมของเหล็กนั้นค่อนข้างสูงเนื่องจากเหล็กนั้นมีค่าการใช้พลังงานในการผลิตที่สูงมากจึงทำให้เหล็กนั้นมีค่าพลังงานสะสมของวัสดุในอาคารนี้มากกว่ากับคอนกรีตโดยคิดเป็น 35.66% ของพลังงานสะสมจากการใช้วัสดุทั้งหมด รองลงมานั้นได้แก่แกรนิต 28.05% และเหล็กข้ออ้อย 17.49% ส่วนวัสดุประเภทอื่น ๆ นั้นเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อยมาก

สำหรับส่วนของก๊าซเรือนกระจกนั้นมีแนวโน้มคล้ายกับพลังงานสะสมที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่จะอยู่ที่การใช้งานวัสดุก่อสร้าง ซึ่งก๊าซเรือนกระจกของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีทั้งสิ้น 14,386,918.71 kgCO<sub>2</sub>e โดยเกิดจากการใช้วัสดุ 14,322,490.18 kgCO<sub>2</sub>e จากการขนส่ง 47,879.62 kgCO<sub>2</sub>e และจากการก่อสร้าง 16,548.91 kgCO<sub>2</sub>e สำหรับก๊าซเรือนกระจกของวัสดุส่วนใหญ่จะเกิดจากเหล็กเส้น 38.29% ซีเมนต์ 26.92% และเหล็กข้ออ้อย 21.82%

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าอาคารอเนกประสงค์นี้มีปริมาณพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่อยู่ที่การใช้งานวัสดุก่อสร้างและวัสดุก่อสร้างที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดได้แก่วัสดุจำพวกเหล็ก เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่จะได้เท่ากับ 9.54 GJ/m<sup>2</sup> และ 846 kgCO<sub>2</sub>e ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลที่ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆพบว่าค่าพลังงานสะสมต่อ

พื้นที่ของอาคารในงานวิจัยนี้อยู่ในระดับที่ไม่สูงมากแต่เมื่อพิจารณาก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ของอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง จากผลของการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าพลังงานสะสมและก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณสูงนั้น เกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างเป็นหลัก เนื่องจากอาคารอเนกประสงค์พระราชวังสนามจันทร์นั้นมีการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าพลังงานสะสมหรือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ค่าพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารนี้สูงขึ้นไปด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากวัสดุของอาคารในงานวิจัยนี้มีผลเป็นอย่างมากต่อค่าพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกดังนั้นการออกแบบและเลือกใช้วัสดุก่อสร้างจึงควรคำนึงถึงค่าพลังงานสะสมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกด้วย

5.2.2 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การใช้พลังงาน (Energy Factor) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ค่าของวัสดุบางประเภทนั้นเป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลของต่างประเทศดังนั้นค่าที่นำมาใช้นั้นย่อมจะมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตต่างๆจะคำนึงถึงการใช้พลังงานและการขนส่งระหว่างการผลิตซึ่งการผลิตและการขนส่งของแต่ละประเทศนั้นย่อมมีความแตกต่างกัน ดังนั้นหากมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้พลังงานและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยโดยเฉพาะก็จะทำให้ข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น

5.2.3 ในการก่อสร้างนั้นย่อมมีเศษเหลือจากการใช้วัสดุก่อสร้างและวัสดุสิ้นเปลืองดังนั้นในการคำนวณควรจะต้องคำนวณถึงเศษที่เหลือจากการก่อสร้างด้วยเนื่องจากเศษวัสดุที่เหลือจากการก่อสร้างและวัสดุสิ้นเปลืองนั้นจะไม่นับเป็นส่วนที่อาคารสะสมไว้ เช่น เศษเหล็ก เศษลวด เศษไม้ ลวดเชื่อม หินเจียร เป็นต้น

5.2.4 ในการวิเคราะห์อาคารนั้นหากมีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงวัสดุ อาจทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุนดังนั้นหากมีการวิเคราะห์ Life cycle Economic อาจทำให้มีมิติของการวิเคราะห์ที่น่าสนใจ

5.2.5 ในการวิเคราะห์อาคารหากทำการวิเคราะห์ครบทั้งวัฏจักรได้จะทำให้ผลที่ได้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



## รายการอ้างอิง

### Uncategorized References

1. UNFCCC, *KYOTO PROTOCOL*. 2008.
2. IPCC, ค., การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, IPCC, Editor. 2016.
3. OECD, *World energy consumption*. Energy Information Administration, 2017.
4. PKG. *LCA*. 2018.
5. <http://www.sapphiremoshi.wordpress.com>, *Greenhouse gas*. 2012.
6. Dadoo, A. and L. Gustavsson, *Comparative lifecycle energy and carbon footprint analyses of wood building systems designed as conventional or passive house*. WORLD SB14, 2014. ISBN: 978-84-697-1815-5.
7. การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง. กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร กฟผ., 2560.
8. Database, T.N.L.C.I., ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ.
9. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก. 2016.
10. [http://www.slideshare.net/OC\\_Composites/life-cycle-analysis-for-composites-and-its-impact-on-sustainability-1410-mc](http://www.slideshare.net/OC_Composites/life-cycle-analysis-for-composites-and-its-impact-on-sustainability-1410-mc), *Life Cycle Analysis*. 2015.
11. Jonas Nässén, et al., *Concrete vs. wood in buildings e An energy system approach*. Building and Environment, 2012. **51**: p. 361-369.
12. Hui Yan, et al., *Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong*. Building and Environment, 2010. **45**: p. 949-955.
13. Chen, T.Y., J. Burnett, and C.K. Chau, *Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong*. Energy, 2001. **26**: p. 323-340.
14. Gao, H., et al., *Economic and environmental analysis of five Chinese rural toilet technologies based on the economic input-output life cycle assessment*. Journal of Cleaner Production, 2016. **163**: p. 1-13.
15. <http://pkgpackaging.com/life-cycle-assessment/>, *Life Cycle*. 2015.
16. <http://www.bluehair.co/2009/12/cradle-to-cradle-hype-or-hope/>, *Cradle to Cradle*. 2015.
17. Panagiotis Chastas, Theodoros Theodosiou, and D. Bikas, *Embodied energy in*

- residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review.* Building and Environment, 2016. **Volume 105**,(15 August 2016): p. 267-282.
18. Xining Yang, et al., *Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China.* Journal of Cleaner Production, 2018. **Volume 183**(10 May 2018): p. 729-743.
  19. Luisa F. Cabeza, et al., *Investigating greenhouse challenge from growing trends of electricity consumption through home appliances in buildings.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **36**(August 2014): p. 188-193.
  20. Hong, J., et al., *Greenhouse gas emission during the construction phase of a building: a case study in China.* Journal of Cleaner Production, 2015. **103**: p. 249-259.
  21. Heravi, G., T. Nafisi, and R. Mousavi, *Evaluation of energy consumption during production and construction of concrete and steel frames of residential buildings.* Energy and Buildings, 2016. **130**: p. 244-252.
  22. Gustavsson, L., K. Pingoud, and R. Sathre, *Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings.* Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006. **11**(3): p. 667-691.
  23. Wang, P., W. Li, and S. Kara, *Cradle-to-cradle modeling of the future steel flow in China.* Resources, Conservation and Recycling, 2017. **117**: p. 45-57.
  24. Biswas, W.K., *Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia.* International Journal of Sustainable Built Environment, 2014. **3**: p. 179-186.
  25. Ramesh, T., R. Prakash, and K.K. Shukla, *Life cycle energy analysis of buildings: An overview.* Energy and Buildings, 2010. **42**: p. 1592-1600.
  26. Bonamente, E., et al., *Environmental impact of industrial prefabricated buildings: Carbon and Energy Footprint analysis based on an LCA approach.* Energy Procedia, 2014. **61**: p. 2841-2844.
  27. Rahman, M.M., C. Canter, and A. Kumar, *Well-to-wheel life cycle assessment of transportation fuels derived from different North American conventional*

- crudes. *Applied Energy*, 2015. **156**: p. 159-173.
28. Onat, N.C., M. Kucukvar, and O. Tatari, *Scope-based carbon footprint analysis of U.S. residential and commercial buildings: An input-output hybrid life cycle assessment approach*. *Building and Environment*, 2014. **72**: p. 53-62.
  29. Bull, J., et al., *Life cycle cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings*. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2014. **3**: p. 1-17.
  30. Buchanan, A.H. and S.B. Levineb, *Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions*. *Environmental Science & Policy*, 1999. **2**: p. 427-437.
  31. Lai, J.H.K., *Carbon footprints of hotels: Analysis of three archetypes in Hong Kong*. *Sustainable Cities and Society*, 2014. **14**: p. 334-341.
  32. Gerilla, G.P., K. Teknomo, and K. Hokao, *An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction*. *Building and Environment*, 2007. **42**: p. 2778-2784.
  33. Nadoushani, Z.S.M. and A. Akbarnezhad, *Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings*. *Energy and Buildings*, 2015. **102**: p. 337-346.
  34. Wang, X., et al., *Estimation of carbon dioxide emission in highway construction: a case study in southwest region of China*. *Journal of Cleaner Production*, 2015. **103**: p. 705-714.
  35. Doodoo, A., L. Gustavsson, and R. Sathre, *Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems*. *Energy and Buildings*, 2014. **82**: p. 194-210.
  36. Su, X. and X. Zhang, *A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China*. *Energy and Buildings*, 2016. **119**: p. 323-330.
  37. Sandanayake, M., et al., *Models and method for estimation and comparison of direct emissions in building construction in Australia and a case study*. *Energy and Buildings*, 2016. **126**: p. 128-138.
  38. Gustavsson, L. and R. Sathre, *Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials*. *Building and Environment*, 2006. **41**:

- p. 940-951.
39. Hammond, P.G., et al., *Embodied Carbon The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. 2011.
  40. นภาสวัสดิ์, ท., การศึกษาอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
  41. Buchanan, B.G.H.a.A.H., *Environment impacts to yhe New Zealand Building*. University of Cantabury 1992.
  42. A., J.V.S., *Embodied and operation energy for a single storied resudential building at Chennai India in building for future*. CIB World Building congress 2004, 2004. **16**.
  43. Giordano R, et al., *Embodied Energy and Operationail Energy Asessment in Framework of Nearly Zero Energy Building and Buliding Energy Rating Energy* Procedia, 2015. **78**: p. 3204-3209.
  44. E., R.S.P.K., *Energy efficiency in green building-Indain concept*. International journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2013. **3**: p. 329-336.
  45. Aneesh N.R., K.N. Shivaprasad, and B.B. Das, *Life cycle energy analysis of a metro station building envelope though computer based simulation*. Sustainable Cities and Society, 2018. **39**: p. 135-143.
  46. Crawford, R.H., *Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method*. J.Environ.Manag, 2008. **88**(2008): p. 496-506.
  47. Jie Wang, Cong Yu, and W. Pan, *Life cycle energy of high-rise office building in Hong Kong*. Energy & Buildings, 2018. **167**: p. 152-164.
  48. Rauf A and R.H. Crawford, *The effect of material service life on the life cycle energy of resudential buildings*. Annual Conference of the Achitecture Science Association, 2012. **46**.
  49. R. Fay, G. Treloar, and U. Iyer-Raniga, *Life cycle energy analysis of buildings :a case study*. Buil. Res. Inf, 2000. **28**: p. 31-41.
  50. Nassen J, et al., *Direct and indirect energy use and carbon emission in the product phase of building : an input-output analysis*. Energy, 2007. **32**(2007): p. 1593-1562.
  51. Rossi B, Marique A.F., and Reiter S, *Life cycle asesment of residential building*

- in three different european location, case study* Build. Environ, 2012. **51**(2012): p. 402-407.
52. Salazar J and Meil J, *Prospects for carbon-neutral housing : the influence of greater wood use on carbon footprint of a single-family residence.* J Clean Prod, 2009. **17**(2009): p. 1563-1571.
  53. Konig H and Cristofaro M.L.D, *Benchmarks for life cycle cost and life cycle assessment of residential building.* Build. Res. Inform., 2012. **40**(2012): p. 558-580.
  54. Blengini G.A. and Carlo T.D., *Energy-saving policies and low-energy residential building: an LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy).* International journal of Life cycle assessment, 2010. **15**(2010): p. 652-665.
  55. Georgios Syngros, Constantinos A. Balaras, and D.G. Koubogiannis, *Embodied CO2 Emissions in Building Construction Materials of Hellenic Dwellings.* Procedia Environmental Sciences, 2017. **38**(2017): p. 500-508.
  56. Huijun J. Wu, et al., *Life cycle energy consumption and CO2 emission of an office building in China.* The International Journal of Life Cycle Assessment. **17**(2): p. 105-118.
  57. Suzuki M, Oka T, and Okada K, *The estimation of energy consumption and CO2 emission due to housing construction in Japan.* Energy and Buildings, 1995. **28**(1998): p. 33-41.
  58. Suzuki M and Oka T, *Estimation of life cycle energy consumption and CO2 emission of office building in Japan.* Energy and Buildings, 1998. **28**(1998): p. 335-348.



ภาคผนวก ก.

## งานโครงสร้างฐานราก

	จำนวน	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
งานเสาเข็ม								
เสาเข็ม	288	ต้น	7,776	2,239,488	0.68	1,522,852	0.061	136,608.8
งานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก								
คอนกรีตหยาบผสมเสร็จ	110	ลบ.ม.	2,400	264,000	0.68	179,520	0.061	16,104
ทรายหยาบ	160	ลบ.ม.	1,550	248,000	0.081	20,088	0.0051	1,264.8
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	1,230	ลบ.ม.	2,400	2,952,000	1.11	3,276,720	0.174	513,648
ไม้แบบ	931	ตร.ม.	2.26	2,104.06	7.11	14,959.87	0.59	1,241.395
เหล็กเสริม								
DB 10 mm	520	กก.	1	520	29.2	15,184	2.77	1,440.4
DB 12 mm	773	กก.	1	773	29.2	22,571.6	2.77	2,141.21
DB 16 mm	229	กก.	1	229	29.2	6,686.8	2.77	634.33
DB 20 mm	3,695	กก.	1	3,695	29.2	107,894	2.77	10,235.15
DB 25 mm	19,649	กก.	1	19,649	29.2	573,750.8	2.77	54,427.73

DB 28 mm	80,193	กก.	1	80,193	29.2	2,341,636	2.77	222,134.6
ลาด	3,152	กก.	1	3,152	35.4	111,580.8	2.89	9,109.28
ตะปู	372	กก.	1	372	35.4	13,168.8	2.89	1,075.08
<b>งานต่อหม้อ กำแพงลิฟท์ กำแพงบันได</b>								
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	76	ลบ.ม.	2,400	182,400	1.11	202,464	0.174	31,737.6
ไม้แบบ	535	ตร.ม.	2.26	1,209.1	7.11	8,596.701	0.59	713.369
<b>เหล็กเสริม</b>								0
RB 6 mm	-	กก.			35.4	0	2.89	0
RB 9 mm	913	กก.	1	913	35.4	32,320.2	2.89	2,638.57
DB 10 mm	1,163	กก.	1	1,163	29.2	33,959.6	2.77	3,221.51
DB 12 mm	632	กก.	1	632	29.2	18,454.4	2.77	1,750.64
DB 16 mm	5,576	กก.	1	5,576	29.2	162,819.2	2.77	15,445.52
DB 20 mm	880	กก.	1	880	29.2	25,696	2.77	2,437.6
DB 25 mm	18,616	กก.	1	18,616	29.2	543,587.2	2.77	51,566.32
DB 28 mm	-	กก.			29.2	0	2.77	0
ลาด	833	กก.	1	833	35.4	29,488.2	2.89	2,407.37
ตะปู	214	กก.	1	214	35.4	7,575.6	2.89	618.46
<b>พื้นและกำแพงถึงเก็บน้ำใต้ดิน</b>								
คอนกรีตขยายผสมเสร็จ	13	ลบ.ม.	2,400	31,200	0.68	21,216	0.061	1,903.2



ทรายหยาบ	13	ลบ.ม.	1,550	20,150	0.081	1,632.15	0.0051	102.765
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	71	ลบ.ม.	2,400	170,400	1.11	189,144	0.174	29,649.6
ไม้แบบ	255	ตร.ม.	2.26	576.3	7.11	4,097.493	0.174	100.2762
<b>เหล็กเสริม</b>								0
RB 6 mm	-	กก.			35.4	0	2.89	0
RB 9 mm	-	กก.			35.4	0	2.89	0
DB 10 mm	-	กก.			29.2	0	2.77	0
DB 12 mm	1,137	กก.	1	1,137	29.2	33,200.4	2.89	3,285.93
DB 16 mm	6,688	กก.	1	6,688	29.2	195,289.6	2.89	19,328.32
DB 20 mm	-	กก.			29.2	0	2.89	0
DB 25 mm	-	กก.			29.2	0	2.89	0
DB 28 mm	-	กก.			29.2	0	2.89	0
ลาด	235	กก.	1	235	35.4	8,319	2.89	679.15
ตะปูน	102	กก.	1	102	35.4	3,610.8	2.89	294.78
ระบบกันซึมกำแพงถึงเก็บน้ำ (คอนกรีต 6 mm)	120	ตร.ม.	1	120	1.11	133.2	0.174	20.88

## งานสถาปัตยกรรมฐานราก

จำนวน	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
งานหลังคา							
	ตร.ม.	1.39	0	32.8	-	2.74	-
หลังคาเหล็กแผ่นเคลือบสีหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มม	ม.	1.39	0	32.8	-	2.74	-
ครอบหลังคา metal sheet	กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
เชิงชาย C Channal 300x90x9x13 mm	กก.	1	0	32.8	-	2.74	-
ปิดแปเหล็กแผ่นเรียบ 6x150 มม							
ส่วนระบายลงรางน้ำ							
โครงท่อเหล็กกล่อง	กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ยึดโครง L-1"x1"x30 มม	กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ตะแกรงลวดถัก	ตร.ม.	12.5	0	35.4	-	2.89	-
ฝ้าเพดาน							
งานฉาบท้องพื้นเรียบ หนา1 cm	ตร.ม.	5.56	600.48	1.11	666.53	0.17	104.48
ฉาบแต่ง อุดรอยต่อด้วยอะครีลิก	ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-
ฝ้ายิปซัมบอร์ด 9 มม ทาทับอะครีลิก	ตร.ม.	6.696429	0	6.75	-	0.39	-





ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ชัดเรียบ	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ชานพักผิว คสล ชัดเรียบ	ตร.ม.	5.56	0	11	-	0.70	-
ราบบันไดก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูน	ม.	360	0	3	-	0.24	-
ทับหลัง คสล ราวบันได ฉาบเรียบ	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	ตร.ม.		0		-		-
<b>บันไดหนีไฟ 2</b>			0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ชัดเรียบ	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ชานพักผิว คสล ชัดเรียบ	ตร.ม.	5.56	0	11	-	0.70	-
ราบบันไดก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูน	ตร.ม.	360	0	3	-	0.24	-
ทับหลัง คสล ราวบันได ฉาบเรียบ	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	ตร.ม.		0		-		-
<b>บันไดหนีไฟ 3</b>			0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ชัดเรียบ	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ชานพักผิว คสล ชัดเรียบ	ตร.ม.	5.56	0	11	-	0.70	-
ราบบันไดก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูน	ตร.ม.	360	0	3	-	0.24	-
ทับหลัง คสล ราวบันได ฉาบเรียบ	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	ตร.ม.		0		-		-
<b>บันไดหนีไฟ 3</b>			0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ชัดเรียบ	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ชานพักผิว คสล ชัดเรียบ	ตร.ม.	5.56	0	11	-	0.70	-
ราบบันไดก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูน	ตร.ม.	360	0	3	-	0.24	-
ทับหลัง คสล ราวบันได ฉาบเรียบ	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	ม.		0		-		-

งานเรียบใต้ห้องบันได		ตร.ม.							
งานสี									
ฉาบปูนเรียบก่อผนัง		ม.	5.56	0	11	-	0.70	-	-
งานบัวเชิงผนัง คิ้วและเส้นแบ่งแนว		ม.		0		-		-	-
บัวผนังเซาะร่อง กว้าง+ลึก 1 cm		ม.		0		-		-	-
บัวเชิงผนังกระเบื้องแกรนิตโต้ตัด 4 นิ้ว		ม.		0		-		-	-
บัวเชิงผนังทาสีน้ำมัน 4 นิ้ว		ม.		0		-		-	-
บัวเชิงผนังอะลูมิเนียมสำเร็จรูป 4 นิ้ว		ม.		0		-		-	-
บัวเชิงผนัง PVC สำเร็จรูป 4"		ม.		0		-		-	-
บัวเชิงผนังกระเบื้องเคลือบ 12x12 ตัด 4"		ม.		0		-		-	-
งานเปิดเตล็ด									
เสาเอ็นทับหลัง 0.1x0.1 ม		ม.		0		-		-	-
เสาเอ็นทับหลัง 0.1x0.2 ม		ม.		0		-		-	-

## งานโครงสร้างลานจอดรถ

	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
<b>เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก</b>										
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	68	68	68	ลบ.ม.	2400	489,600	1.11	543,456.00	0.174	85,190.4
ไม้แบบ	649	349	485	ตร.ม.	2.26	3,351.58	7.11	23,829.73	0.59	1,977.4322
<b>เหล็กเสริม</b>										0
RB 6 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	5,817	3,769	4,949	กก.	1	14,535	35.4	514,539.00	2.89	42,006.15
DB 10 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	-	35	49	กก.	1	84	29.2	2,452.80	2.77	232.68
DB 16 mm	1,605	-	-	กก.	1	1,605	29.2	46,866.00	2.77	4,445.85
DB 20 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 25 mm	18,586	13,475	16,863	กก.	1	48,924	29.2	1,428,580.80	2.77	135,519.48
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	780	518	656	กก.	1	1,954	35.4	69,171.60	2.89	5,647.06

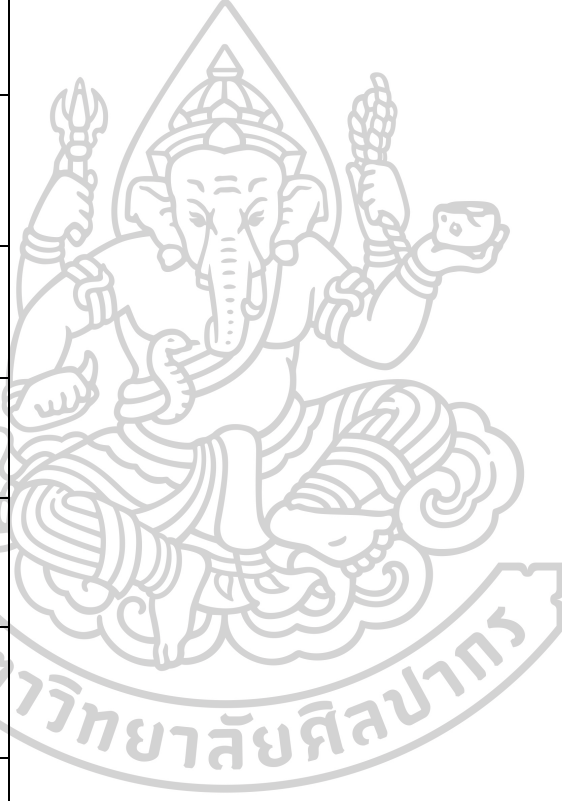




RB 6 mm	-	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	165	24	24	กค.	1	213	35.4	7,540.20	2.89	615.57
DB 10 mm	7,577	1,096	1,754	กค.	1	10,427	29.2	304,468.40	2.77	28,882.79
DB 12 mm	5,479	2,211	3,219	กค.	1	10,909	29.2	318,542.80	2.77	30,217.93
DB 16 mm	390	99	99	กค.	1	588	29.2	17,169.60	2.77	1,628.76
DB 20 mm	640	692	902	กค.	1	2,234	29.2	65,232.80	2.77	6,188.18
DB 25 mm	38,335	11,976	16,650	กค.	1	66,961	29.2	1,955,261.20	2.77	185,481.97
DB 28 mm	-	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	1,578	483	679	กค.	1	2,740	35.4	96,996.00	2.89	7,918.6
ตะขู	667	153	242	กค.	1	1,062	35.4	37,594.80	2.89	3,069.18
<b>พื้นที่เสริมเหล็ก</b>										
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	427	69	150	ลบ.ม.	2400	1,550,400	1.11	1,720,944.00	0.174	269,769.6
ไม้แบบ	452	383	550	ตร.ม.	2.26	3,130.1	7.11	22,255.01	0.59	1,846.759
<b>เหล็กเสริม</b>										0
RB 6 mm	-	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	1,820	24	127	กค.	1	1,971	35.4	69,773.40	2.89	5,696.19
DB 10 mm	20,003	1,096	1,676	กค.	1	22,775	29.2	665,030.00	2.77	63,086.75
DB 12 mm	18,476	2,211	12,083	กค.	1	32,770	29.2	956,884.00	2.77	90,772.9
DB 16 mm	7,160	99	5,281	กค.	1	12,540	29.2	366,168.00	2.77	34,735.8

DB 20 mm	5,700	692	7,575	กก.	1	13,967	29.2	407,836.40	2.77	38,688.59
DB 25 mm	-	11,976	-	กก.	1	11,976	29.2	349,699.20	2.77	33,173.52
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	1,595	483	802	กก.	1	2,880	35.4	101,952.00	2.89	8,323.2
ตะปู	181	153	220	กก.	1	554	35.4	19,611.60	2.89	1,601.06
<b>ปูนคอนกรีตอัดแรง</b>										
งานคอนกรีตผสมเสร็จ	-	515	500	ลบ.ม.	2400	2,436,000	1.11	2,703,960.00	0.174	423,864
งานพื้น Post Tension	-	1,715	1,665	ตร.ม.		0		-		0
คอนกรีตหนา 20 cm (480kg/m <sup>2</sup> )		823,200	799,200			1,622,400	1.11	1,800,864.00	0.174	282,297.6
เหล็กเส้น (120kg/m <sup>2</sup> )		205,800	199,800			405,600	35.4	14,358,240.00	2.89	1,172,184
งานราวกันตกพื้น Post Tension	-	320	305	ม		0		-		0
<b>เหล็กเสริม</b>										0
RB 6 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
DB 10 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	-	15,596	15,184	กก.	1	30,780	29.2	898,776.00	2.77	85,260.6
DB 16 mm	-	28,627	27,768	กก.	1	56,395	29.2	1,646,734.00	2.77	156,214.15

DB 20 mm	-	664	664	กก.	1	1,328	29.2	38,777.60	2.77	3,678.56
DB 25 mm	-	1,328	1,328	กก.	1	2,656	29.2	77,555.20	2.77	7,357.12
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	-	1,386	1,348	กก.	1	2,734	35.4	96,783.60	2.89	7,901.26
ตะปู	-	686	666	กก.	1	1,352	35.4	47,860.80	2.89	3,907.28



## งานสถาปัตยกรรมลานจอดรถ

	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
งานหลังคา										
หลังคาเหล็กแผ่นเคลือบสีหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มม				ตร.ม.	1.39	0	32.8	-	2.74	-
กรอบหลังคา metal sheet				ม.	1.39	0	32.8	-	2.74	-
เชิงชาย C Channal 300x90x9x13 mm				กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ปิดแปเหล็กแผ่นเรียบ 6x150 มม				กก.	1	0	32.8	-	2.74	-
ส่วนระบายลงรางน้ำ									2.89	-
โครงท่อเหล็กกล่อง				กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ยึดโครง L-1"x1"x30 มม				กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ตะแกรงลวดถัก				ตร.ม.	12.5	0	35.4	-	2.89	-
ฝ้าเพดาน										
งานฉาบท้องพื้นเรียบ หนา 1 cm	1,900	1,920	1,980	ตร.ม.	5.56	32,248	1.11	35,795.28	0.17	5,611.15

ฉาบแต่ง อูตรอยต่อตัวอะครีติก		102.5		ตร.ม.	5.56	569.9	1.11	632.59	0.17	99.16
ฝ้ายขัดบอร์ต 9 mm ทา ทับอะครีติก	53	78.5	6.5	ตร.ม.	6.696429	924.1072	6.75	6,237.72	0.39	360.40
ฝ้ายขัดบอร์ต 9 mm มีฟอยล์ กันความร้อน				ตร.ม.	8.184524	0	6.75	-	0.39	-
ฝ้าเพดานตะแกรงเหล็กฉีกหนา 2.3 มม				ตร.ม.	9.985119	0	35.4	-	2.89	-
ผนังและผิวผนัง										
ทาสีเมนต์กัสนิม				ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-
ฉาบปูนเรียบโครสร้าง	90	122.5	194	ตร.ม.	5.56	2,260.14	1.11	2,508.76	0.17	393.26
ฉาบปูนเรียบโครสร้างทาสีอะครี ติก	500	440	574	ตร.ม.	5.56	8,417.84	1.11	9,343.80	0.17	1,464.70
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่นฉาบปูน เรียบ	440	425	348	ตร.ม.	180	218,340	3	655,020.00	0.24	52,401.60
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่นฉาบปูน เรียบ	97	67	92	ตร.ม.	360	92,160	3	276,480.00	0.24	22,118.40
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่นฉาบปูน เรียบ ทาอะครีติก				ตร.ม.		0	3	-	0.24	-
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่นฉาบปูน				ตร.ม.		0	3	-	0.24	-





รวานันเดกอัฐมอยุคริ่งแผน ฉาบปูน	6.4	6.2	7.55	ม.	360	7,254	3	21,762.00	0.24	1,740.96
ทับหลัง คสล รวานันเด ฉาบเรียบ	6.4	6.2	7.55	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.2	7.55	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	8.7	10.8	13	ตร.ม.		0		-		-
<b>บันไดหนีไฟ 2</b>						0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ขัดเรียบ	18.9	14.7	22.05	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ซานพักผิว คสล ขัดเรียบ	2.6	5.88	5.7	ตร.ม.	5.56	78,8408	11	867.25	0.70	55.19
รวานันเดกอัฐมอยุคริ่งแผน ฉาบปูน	6.4	6.2	7.55	ตร.ม.	360	7,254	3	21,762.00	0.24	1,740.96
ทับหลัง คสล รวานันเด ฉาบเรียบ	6.4	6.2	7.55	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.2	7.55	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	8.7	10.8	13	ตร.ม.		0		-		-
<b>บันไดหนีไฟ 3</b>						0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ขัดเรียบ	18.9	14.7	22.05	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ซานพักผิว คสล ขัดเรียบ	2.6	5.88	5.7	ตร.ม.	5.56	78,8408	11	867.25	0.70	55.19
รวานันเดกอัฐมอยุคริ่งแผน ฉาบปูน	6.4	6.2	7.55	ตร.ม.	360	7,254	3	21,762.00	0.24	1,740.96
ทับหลัง คสล รวานันเด ฉาบเรียบ	6.4	6.2	7.55	ม.		0		-		-



รางวัลเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.2	7.55	ม.	5.56	9,035	11	99,385.00	0.70	6,324.50
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	8.7	10.8	13	ตร.ม.		0		-		-
<b>งานสี</b>										
ฉาบปูนเรียบก่อผนัง	350	550	725	ม.	5.56	9,035	11	99,385.00	0.70	6,324.50
งานบัวเชิงผนัง คิ้วและเส้นแบ่ง แนว	65			ม.		0		-		-
บัวผนังเซาะร่อง กว้าง+ลึก 1 cm		418	385	ม.		0		-		-
บัวเชิงผนังกระเบื้องแกรนิตโต้ตัด 4 นิ้ว	11.5			ม.		0		-		-
บัวเชิงผนังทาสีน้ำมัน 4 นิ้ว	15			ม.		0		-		-
บัวเชิงผนังอะลูมิเนียมสำเร็จรูป 4 นิ้ว	34.5			ม.		0		-		-
บัวเชิงผนัง PVC สำเร็จรูป 4"				ม.		0		-		-
บัวเชิงผนังกระเบื้องเคลือบ 12x12 ตัด 4"				ม.		0		-		-
<b>งานแป้นเตลิด</b>										
เสาเอ็นทับหลัง 0.1x0.1 ม	245	125	327	ม.		0		-		-
เสาเอ็นทับหลัง 0.1x0.2 ม	117	190	460	ม.		0		-		-

## งานโครงสร้างลานอเนกประสงค์

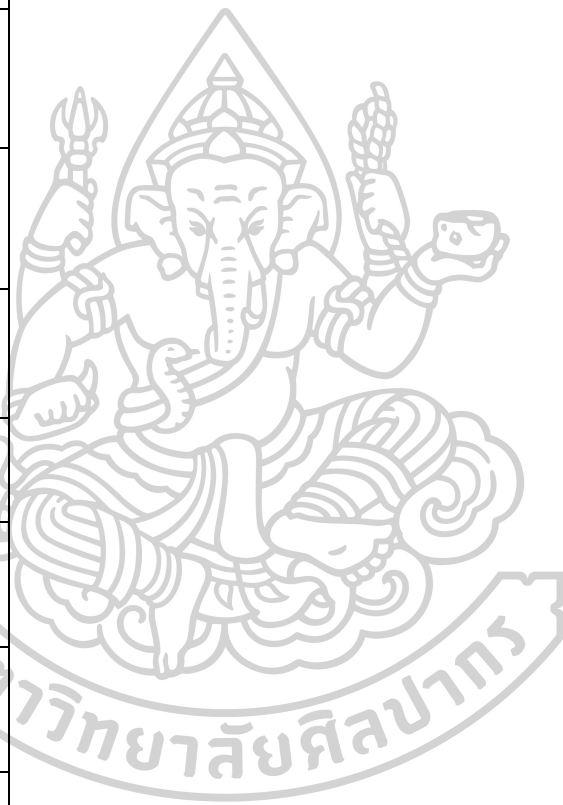
	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)	
<b>เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก</b>											
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	68	68	68	ลบ.ม.	2,400	489,600	1.11	543,456.00	0.174	85,190.4	
ไม้แบบ	308	308	308	ตร.ม.	2.26	2,088.24	7.11	14,847.39	0.59	1,232.06	
เหล็กเสริม										0	
RB 6 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0	
RB 9 mm	3,549	3,549	3,549	กก.	1	10,647	35.4	376,903.80	2.89	30,769.83	
DB 10 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0	
DB 12 mm	69	69	69	กก.	1	207	29.2	6,044.40	2.77	573.39	
DB 16 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0	
DB 20 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0	
DB 25 mm	9,880	8,280	8,280	กก.	1	26,440	29.2	772,048.00	2.77	73,238.8	
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0	
ลวด	405	357	357	กก.	1	1,119	35.4	39,612.60	2.89	3,233.91	



RB 6 mm	-	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	24	24	24	กค.	1	72	35.4	2,548.80	2.89	208.08
DB 10 mm	142	142	142	กค.	1	426	29.2	12,439.20	2.77	1,180.02
DB 12 mm	85	85	85	กค.	1	255	29.2	7,446.00	2.77	706.35
DB 16 mm	99	99	99	กค.	1	297	29.2	8,672.40	2.77	822.69
DB 20 mm	692	692	692	กค.	1	2076	29.2	60,619.20	2.77	5,750.52
DB 25 mm	992	992	992	กค.	1	2976	29.2	86,899.20	2.77	8,243.52
DB 28 mm	-	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	61	61	61	กค.	1	183	35.4	6,478.20	2.89	528.87
ตะขุ	23	23	23	กค.	1	69	35.4	2,442.60	2.89	199.41
<b>พื้นที่เสริมเหล็ก</b>										
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	144	27	27	ลบ.ม.	2400	475200	1.11	527,472.00	0.174	82,684.8
ไม้แบบ	432	47	47	ตร.ม.	2.26	1188.76	7.11	8,452.08	0.59	701.3684
เหล็กเสริม										0
RB 6 mm	-	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	127	127	127	กค.	1	381	35.4	13,487.40	2.89	1,101.09
DB 10 mm	1304	1304	1304	กค.	1	3912	29.2	114,230.40	2.77	10,836.24
DB 12 mm	9251	3091	3091	กค.	1	15433	29.2	450,643.60	2.77	42,749.41
DB 16 mm	6151	376	376	กค.	1	6903	29.2	201,567.60	2.77	19,121.31

DB 20 mm	9161	-	9161	กภ.	1	18322	29.2	535,002.40	2.77	50,751.94
DB 25 mm	-	-	-	กภ.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 28 mm	-	-	-	กภ.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	780	147	147	กภ.	1	1074	35.4	38,019.60	2.89	3,103.86
ตะปู	173	19	19	กภ.	1	211	35.4	7,469.40	2.89	609.79
<b>พื้นคอนกรีตอัดแรง</b>										
งานคอนกรีตผสมเสร็จ	490	490	490	ลบ.ม.	2400	3528000	1.11	3,916,080.00	0.174	613,872
งานพื้น Post Tension	1615	1615	1615	ตร.ม.		0		-		0
คอนกรีตหนา 20 cm (480kg/m <sup>2</sup> )	775200	775200	775200			2325600	1.11	2,581,416.00	0.174	404,654.4
เหล็กเส้น (120kg/m <sup>2</sup> )	193800	193800	193800			581400	35.4	20,581,560.00	2.89	1,680,246
งานราวกันตกพื้น Post Tension	305	305	305	ม		0		-		0
<b>เหล็กเสริม</b>										0
RB 6 mm	-	-	-	กภ.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	-	-	-	กภ.	1	0	35.4	-	2.89	0
DB 10 mm	-	-	-	กภ.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	14741	14701	14741	กภ.	1	44183	29.2	1,290,143.60	2.77	122,386.91
DB 16 mm	27191	27066	27066	กภ.	1	81323	29.2	2,374,631.60	2.77	225,264.71

DB 20 mm	664	664	664	กท.	1	1992	29.2	58,166.40	2.77	5,517.84
DB 25 mm	1328	1328	1328	กท.	1	3984	29.2	116,332.80	2.77	11,035.68
DB 28 mm	-	-	-	กท.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	1318	1313	1313	กท.	1	3944	35.4	139,617.60	2.89	11,398.16
ตะปู	646	646	646	กท.	1	1938	35.4	68,605.20	2.89	5,600.82



## งานสถาปัตยกรรมลานอเนกประสงค์

	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
งานหลังคา										
หลังคาเหล็กแผ่นเคลือบสีหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มม				ตร.ม.	1.39	0	32.8	-	2.74	-
คอรอบหลังคา metal sheet				ม.	1.39	0	32.8	-	2.74	-
เชิงชาย C Channel 300x90x9x13 mm				กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ปิดแปเหล็กแผ่นเรียบ 6x150 มม				กก.	1	0	32.8	-	2.74	-
ส่วนระบายลงรางน้ำ										
โครงท่อเหล็กกล่อง				กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ยึดโครง L-1"x1"x30 มม				กก.	1	0	29.2	-	2.77	-
ตะแกรงจวดัก				ตร.ม.	12.5	0	35.4	-	2.89	-
ฝ้าเพดาน										
งานฉาบท้องพื้นเรียบ หนา 1 cm	1,548	1,548	1,548	ตร.ม.	5.56	25,820.64	1.11	28,660.91	0.17	4,492.79

ฉาบแต่ง อูตรอยต่อตัวอะคริลิก					ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-
ฝ้ายขัดเบอร์ต 9 mm ทาบอะครี ลิก	18.2	18.2	18.2		ตร.ม.	6.696429	365.625	6.75	2,467.97	0.39	142.59
ฝ้ายขัดเบอร์ต 9 mm มีฟอยล์กัน ความร้อน					ตร.ม.	8.184524	0	6.75	-	0.39	-
ฝ้าเพดานตะแกรงเหล็กฉีกหนา 2.3 มม					ตร.ม.	9.985119	0	35.4	-	2.89	-
<b>ผนังและผิวผนัง</b>											
ทาสีเมมตันกันซึม					ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-
ฉาบปูนเรียบโตรงสร้าง	80.6	80.6	80.6		ตร.ม.	5.56	1,344.408	1.11	1,492.29	0.17	233.93
ฉาบปูนเรียบโตรงสร้างทางเสาะครีติก	488	448	448		ตร.ม.	5.56	7,695.04	1.11	8,541.49	0.17	1,338.94
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ	360	360	360		ตร.ม.	180	194,400	3	583,200.00	0.24	46,656.00
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ	72	72	72		ตร.ม.	360	77,760	3	233,280.00	0.24	18,662.40
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ ทอะครีติก					ตร.ม.		0	3	-	0.24	-
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ ทอะครีติก					ตร.ม.		0	3	-	0.24	-
ผนังก่อคอนกรีตบล็อกช่องลม	4.48	4.48	4.48		ตร.ม.	90	1,209.6	3	3,628.80	0.24	290.30
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่น ฉาบปูนขัด					ตร.ม.	180	0	3	-	0.24	-





ลูกตั้งลูกนอนผิวหินขัด	20	20	20	20	ม.	14,752.8	885,168	11	9,736,848.00	0.70	619,617.60
จุ่มกบ้นไดอะลูมิเนียม	20	20	20	20	ม.		0		-		-
ซานพั๊กผิวหินขัดมัน	5.11	5.11	5.11	5.11	ตร.ม.	5.56	85.2348	11	937.58	0.70	59.66
เส้นแบ่งแนวอะลูมิเนียม	1.5	1.5	1.5	1.5	ม.		0		-		-
ราวจับไม้ก่อก่ออิฐมอญฉาบปูนอะครีลิก	6.9	6.9	6.9	6.9	ตร.ม.	360	7452	3	22,356.00	0.24	1,788.48
ทับหลังราวจับไม้ฉาบเรียบทาสีอะครีลิก	6.9	6.9	6.9	6.9	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.9	6.9	6.9	6.9	ม.		0		-		-
บัวผนัง	20.44	20.44	20.44	20.44	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	14.3	14.3	14.3	14.3	ตร.ม.		0		-		-
บันไดหนีไฟ 1							0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ขัดเรียบ	18.9	18.9	18.9	18.9	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ซานพั๊กผิว คสล ขัดเรียบ	6	6	6	6	ตร.ม.	5.56	100.08	11	1,100.88	0.70	70.06
ราวจับไม้ก่อก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูน	6.4	6.4	6.4	6.4	ม.	360	6,912	3	20,736.00	0.24	1,658.88
ทับหลัง คสล ราวจับไม้ ฉาบเรียบ	6.4	6.4	6.4	6.4	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.4	6.4	6.4	ม.		0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	12.44	12.44	12.44	12.44	ตร.ม.		0		-		-
บันไดหนีไฟ 2							0		-		-

ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ชัดเรียบ	18.9	18.9	18.9	ม.	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ขามพักผิว คสล ชัดเรียบ	6	6	6	ตร.ม.	100.08	11	1,100.88	0.70	70.06
ราวจับบันไดก้อลูมิเนียมยวคริ่งแผ่น ฉาบปูน	6.4	6.4	6.4	ตร.ม.	6,912	3	20,736.00	0.24	1,658.88
ทับหลัง คสล ราวจับบันได ฉาบเรียบ	6.4	6.4	6.4	ม.	0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.4	6.4	ม.	0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	12.44	12.44	12.44	ตร.ม.	0		-		-
บันไดหนีไฟ 3					0		-		-
ลูกตั้งลูกนอนผิว คสล ชัดเรียบ	18.9	18.9	18.9	ม.	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ขามพักผิว คสล ชัดเรียบ	6	6	6	ตร.ม.	100.08	11	1,100.88	0.70	70.06
ราวจับบันไดก้อลูมิเนียมยวคริ่งแผ่น ฉาบปูน	6.4	6.4	6.4	ตร.ม.	6,912	3	20,736.00	0.24	1,658.88
ทับหลัง คสล ราวจับบันได ฉาบเรียบ	6.4	6.4	6.4	ม.	0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.4	6.4	ม.	0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	12.44	12.44	12.44	ตร.ม.	0		-		-
งานสี									
ฉาบปูนเรียบก่อผนัง	1220	1220	1220	ม.	20,349.6	11	223,845.60	0.70	14,244.72
งานบัวเชิงผนัง คิวและเส้นแบ่งแนว				ม.	0		-		-
บัวผนังเซาะร่อง กว้าง+ลึก 1 cm				ม.	0		-		-



## งานโครงสร้างห้องพัก

	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
<b>เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก</b>										
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	68	68	68	ค.บ.ม.	2,400	489,600	1.11	543,456.00	0.174	85,190.4
ไม้แบบ	308	308	188	ตร.ม.	2.26	1,817.04	7.11	12,919.15	0.59	1072.0536
<b>เหล็กเสริม</b>										
RB 6 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	3,549	3,549	2,159	กก.	1	9,257	35.4	327,697.80	2.89	26,752.73
DB 10 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	69	69	27	กก.	1	165	29.2	4,818.00	2.77	457.05
DB 16 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 20 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 25 mm	8,280	8,280	5,152	กก.	1	21,712	29.2	633,990.40	2.77	60,142.24
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	357	357	220	กก.	1	934	35.4	33,063.60	2.89	2,699.26

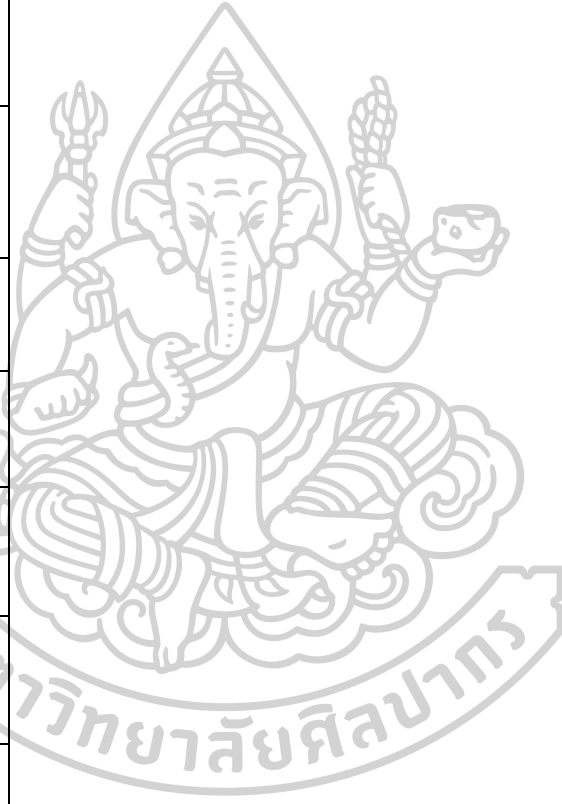


RB 6 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	24	24	250	กก.	1	298	35.4	10,549.20	2.89	861.22
DB 10 mm	142	142	518	กก.	1	802	29.2	23,418.40	2.77	2,221.54
DB 12 mm	85	85	340	กก.	1	510	29.2	14,892.00	2.77	1,412.7
DB 16 mm	99	99	71	กก.	1	269	29.2	7,854.80	2.77	745.13
DB 20 mm	692	692	1,160	กก.	1	2,544	29.2	74,284.80	2.77	7,046.88
DB 25 mm	992	992	3,073	กก.	1	5,057	29.2	147,664.40	2.77	14,007.89
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	61	61	162	กก.	1	284	35.4	10,053.60	2.89	820.76
ตะขู	23	23	89	กก.	1	135	35.4	4,779.00	2.89	390.15
<b>พื้นที่เสริมเหล็ก</b>										
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	27	27	30	ลบ.ม.	2,400	201,600	1.11	223,776.00	0.174	35,078.4
ไม้แบบ	47	47	94	ตร.ม.	2.26	424.88	7.11	3,020.90	0.59	250.6792
<b>พื้นที่เสริม</b>										0
RB 6 mm	-	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	127	127	391	กก.	1	645	35.4	22,833.00	2.89	1864.05
DB 10 mm	1,304	1,304	1,966	กก.	1	4,574	29.2	133,560.80	2.77	12,669.98
DB 12 mm	3,091	3,091	2,837	กก.	1	9,019	29.2	263,354.80	2.77	24,982.63
DB 16 mm	376	376	301	กก.	1	1,053	29.2	30,747.60	2.77	2,916.81

DB 20 mm	-	-	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 25 mm	-	-	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 28 mm	-	-	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	147	147	165	459	กค.	1	459	35.4	16,248.60	2.89	1,326.51
ตะปู	19	19	38	76	กค.	1	76	35.4	2,690.40	2.89	219.64
<b>พื้นที่คอนกรีตอัดแรง</b>											
งานคอนกรีตผสมเสร็จ	490	490	295	2400	ลบ.ม.	2400	3,060,000	1.11	3,396,600.00	0.174	532,440
งานพื้นที่ Post Tension	1615	1615	975	0	ตร.ม.				-		0
คอนกรีตหนา 20 cm (480kg/m <sup>2</sup> )	775200	775200	468000	2018400				1.11	2,240,424.00	0.174	351,201.6
เหล็กเส้น (120kg/m <sup>2</sup> )	193,800	193,800	117,000	504,600				35.4	17,862,840.00	2.89	1,458,294
งานราวกันตกพื้นที่ Post Tension	305	305	215	0	ม				-		0
<b>เหล็กเสริม</b>											
RB 6 mm	-	-	-	1	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	-	-	-	1	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
DB 10 mm	-	-	-	1	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	14,701	14,701	9,027	38,429	กค.	1	38,429	29.2	1,122,126.80	2.77	106,448.33
DB 16 mm	27,066	27,066	16,462	70,594	กค.	1	70,594	29.2	2,061,344.80	2.77	195,545.38



DB 20 mm	664	664	497	กก.	1	1,825	29.2	53,290.00	2.77	5,055.25
DB 25 mm	1,328	1,328	775	กก.	1	3,431	29.2	100,185.20	2.77	9,503.87
DB 28 mm	-	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	1,313	1,313	803	กก.	1	3,429	35.4	121,386.60	2.89	9,909.81
ตะปู	646	646	390	กก.	1	1,682	35.4	59,542.80	2.89	4,860.98



## งานสถาปัตยกรรมห้องพัก

	ชั้น 7	ชั้น 8	ชั้น 9	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนัก (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
งานหลังคา										
หลังคาเหล็กแผ่นเคลือบสีหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มม			600	ตร.ม.	1.39	834	32.8	27,355.20	2.74	2,285.16
ครอบหลังคา metal sheet			71.6	ม.	1.39	99,524	32.8	3,264.39	2.74	272.70
เชิงชาย C Channal 300x90x9x13 มม			1,905	กก.	1	1,905	29.2	55,626.00	2.77	5,276.85
ปิดแปเหล็กแผ่นเรียบ 6x150 มม			364	กก.	1	364	32.8	11,939.20	2.74	997.36
ส่วนระบายลงรางน้ำ									2.89	-
โครงท่อเหล็กกล่อง			425	กก.	1	425	29.2	12,410.00	2.77	1,177.25
ยึดโครง L-1"x1"x30 มม			94	กก.	1	94	29.2	2,744.80	2.77	260.38
ตะแกรงลวดถัก			37	ตร.ม.	12.5	462.5	35.4	16,372.50	2.89	1,336.63
ฝ้าเพดาน										
งานฉาบท้องพื้นเรียบ หนา 1 cm	67	68	68	ตร.ม.	5.56	1,128.68	1.11	1,252.83	0.17	196.39
ฉาบแต่ง อุดรอยต่อด้วยอะครีลิก	84	74	37	ตร.ม.	5.56	1,084.2	1.11	1,203.46	0.17	188.65

ฝ้ายิปซัมบอร์ด 9 mm ทาทับอะครีติก	1,338	977	364	ตร.ม.	6.696429	17,939.73	6.75	121,093.20	0.39	6,996.50
ฝ้ายิปซัมบอร์ด 9 mm มีฟอยล์กันความ ร้อน	381	381	474	ตร.ม.	8.184524	10,116.07	6.75	68,283.48	0.39	3,945.27
ฝ้าเพดานตะแกรงเหล็กฉีกหนา 2.3 มม		22	25.5	ตร.ม.	9.985119	474.2932	35.4	16,789.98	2.89	1,370.71
<b>ผนังและผิวผนัง</b>										
ทาสีเมทัลกันซึม				ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-
ฉาบปูนเรียบโครสร้าง	103	103	83	ตร.ม.	5.56	1,606.84	1.11	1,783.59	0.17	279.59
ฉาบปูนเรียบโครสร้างทาสีอะครีติก	335	335	322	ตร.ม.	5.56	5,515.52	1.11	6,122.23	0.17	959.70
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ	1,978	1,978	1,978	ตร.ม.	180	10,681.20	3	3,204,360.00	0.24	256,348.80
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ	118	118	112	ตร.ม.	360	12,5280	3	375,840.00	0.24	30,067.20
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ ทาสีครีติก	112			ตร.ม.	360	40,320	3	120,960.00	0.24	9,676.80
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ ทาสีครีติก				ตร.ม.		0	3	-	0.24	-
ผนังก่อคอนกรีตบดล็อกช่องลม	4.48	4.48	4.48	ตร.ม.	90	1209.6	3	3,628.80	0.24	290.30
ผนังก่ออิฐมวลอูยครึ่งแผ่น ฉาบปูนขัดมัน	1,978	1,978	1,978	ตร.ม.	180	1,068,120	3	3,204,360.00	0.24	256,348.80
ผนังก่ออิฐมวลอูยเต็มแผ่น ฉาบปูนขัดมัน	181	118	112	ตร.ม.	360	147,960	3	443,880.00	0.24	35,510.40
ผนังก่อคอนกรีตบดล็อก ฉาบปูนทาสีครี ติก				ตร.ม.	120	0	3	-	0.24	-





ลูกตั้งลูกนอนผิว วัสดุ ชัดเรียบ	18.9	18.9	18.9	ม.	12,960	12,960	11	142,560.00	0.70	9,072.00
ขามพักผิว วัสดุ ชัดเรียบ	6	6	6	ตร.ม.	5.56	5.56	11	1,100.88	0.70	70.06
ราวบันไดกอลูมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูน	6.4	6.4	6.4	ตร.ม.	360	360	3	20,736.00	0.24	1,658.88
ทับหลัง วัสดุ ราวบันได ฉาบเรียบ	6.4	6.4	6.4	ม.	0	0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	6.4	6.4	6.4	ม.	0	0		-		-
ฉาบเรียบใต้ท้องบันได	12.44	12.44	12.44	ตร.ม.	0	0		-		-
<b>งานสี</b>										
ฉาบปูนเรียบก่อผนัง	3,705	9,804	1,761	ม.	5.56	5.56	11	933,913.20	0.70	59,430.84
งานบัวเชิงผนัง วัสดุและเส้นแบ่งแนว				ม.	0	0		-		-
บัวผนังเซาขระอง กว้าง+ลึก 1 cm				ม.	0	0		-		-
บัวเชิงผนังกระเบื้องแกรนิตโต้ตัด 4 นิ้ว	224	235	162	ม.	0	0		-		-
บัวเชิงผนังทาสีน้ำมัน 4 นิ้ว				ม.	0	0		-		-
บัวเชิงผนังอะลูมิเนียมสำเร็จรูป 4 นิ้ว				ม.	0	0		-		-
บัวเชิงผนัง PVC สำเร็จรูป 4"	790	807	472	ม.	0	0		-		-
บัวเชิงผนังกระเบื้องเคลือบ 12x12 ตัด 4"	400	333	154	ม.	0	0		-		-
<b>งานเปิดเต็ลัด</b>										
เสาเอ็นทับหลัง 0.1x0.1 ม	1593	1460	923	ม.	0	0		-		-
เสาเอ็นทับหลัง 0.1x0.2 ม	413	348	218	ม.	0	0		-		-

## งานโครงสร้างดาดฟ้าหลังคา

	ชั้น 10	หลังคา	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
<b>เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก</b>									
คอนกรีตโครงสร้างผสมเสร็จ	68	68	ลบ.ม.	2,400	326,400	1.11	362,304.00	0.174	56,793.6
ไม้แบบ	45	6	ตร.ม.	2.26	115.26	7.11	819.50	0.59	68.0034
<b>เหล็กเสริม</b>									0
RB 6 mm	-	-	กก.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	502	20	กก.	1	522	35.4	18,478.80	2.89	1,508.58
DB 10 mm	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	14	27	กก.	1	41	29.2	1,197.20	2.77	113.57
DB 16 mm	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 20 mm	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 25 mm	1,178	-	กก.	1	1,178	29.2	34,397.60	2.77	3,263.06
DB 28 mm	-	-	กก.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	51	1	กก.	1	52	35.4	1,840.80	2.89	150.28





RB 6 mm	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	349	20	กค.	1	369	35.4	13,062.60	2.89	1,066.41
DB 10 mm	1,180	848	กค.	1	2,028	29.2	59,217.60	2.77	5617.56
DB 12 mm	1059	515	กค.	1	1574	29.2	45,960.80	2.77	4,359.98
DB 16 mm	99	-	กค.	1	99	29.2	2,890.80	2.77	274.23
DB 20 mm	1,206	130	กค.	1	1,336	29.2	39,011.20	2.77	3,700.72
DB 25 mm	8,122	4,165	กค.	1	12,287	29.2	358,780.40	2.77	34,034.99
DB 28 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลาด	360	170	กค.	1	530	35.4	18,762.00	2.89	1,531.7
ตะปูน	172	86	กค.	1	258	35.4	9,133.20	2.89	745.62
<b>พื้บคอบนกริตเสริมเทล์ก</b>									
คอบนกริตคองสร้งผสมเสร์จ	43	36	ลบ.ม.	2,400	189,600	1.11	210,456.00	0.174	32,990.4
ม่แบบ	293	238	ตร.ม.	2.26	1,200.06	7.11	8,532.43	0.59	708.0354
<b>เทล์กเสริม</b>									0
RB 6 mm	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm		-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
DB 10 mm	2,237	240	กค.	1	2,477	29.2	72,328.40	2.77	6,861.29
DB 12 mm	2,748	5,328	กค.	1	8,076	29.2	235,819.20	2.77	22,370.52
DB 16 mm	1,144	-	กค.	1	1,144	29.2	33,404.80	2.77	3,168.88

DB 20 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 25 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 28 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	184	167	กค.	1	351	35.4	12,425.40	2.89	1,014.39
ตะปู	117	95	กค.	1	212	35.4	7,504.80	2.89	612.68
พื้นคอนกรีตอัดแรง									
งานคอนกรีตผสมเสร็จ	-	-	ลบ.ม.	2,400	0	1.11	-	0.174	0
งานพื้น Post Tension	-	-	ตร.ม.		0		-		0
คอนกรีตหนา 20 cm (480kg/m <sup>2</sup> )					0	1.11	-	0.174	0
เหล็กเส้น (120kg/m <sup>2</sup> )					0	35.4	-	2.89	0
งานรอกันตกพื้น Post Tension	-	-	ม		0		-		0
เหล็กเสริม									0
RB 6 mm	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
RB 9 mm	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
DB 10 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 12 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 16 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 20 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
DB 25 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0

DB 28 mm	-	-	กค.	1	0	29.2	-	2.77	0
ลวด	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0
ตะปู	-	-	กค.	1	0	35.4	-	2.89	0



## งานสถาปัตยกรรมตามต่าหลังคา

	ชั้น 10	หน่วย	น้ำหนักต่อหน่วย (kg)	น้ำหนักรวม (kg)	Energy Factor (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ)	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/kg)	Greenhouse gas emission (kgCO <sub>2</sub> e)
<b>งานหลังคา</b>								
หลังคาเหล็กแผ่นเคลือบสีหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มม	750	ตร.ม.	1.39	1042.5	32.8	34,194.00	2.74	2,856.45
ครอบหลังคา metal sheet	83.2	ม.	1.39	115.648	32.8	3,793.25	2.74	316.88
เชิงชาย C Channal 300x90x9x13 มม	2,210	กก.	1	2,210	29.2	64,532.00	2.77	6,121.70
ปิดแปเหล็กแผ่นเรียบ 6x150 มม	423	กก.	1	423	32.8	13,874.40	2.74	1,159.02
ส่วนระบายน้							2.89	-
โครงท่อเหล็กกล่อง	533	กก.	1	533	29.2	15,563.60	2.77	1,476.41
ยึดโครง L-1"x1"x30 มม	118	กก.	1	118	29.2	3,445.60	2.77	326.86
ตะแกรงลวดถัก	47	ตร.ม.	12.5	587.5	35.4	20,797.50	2.89	1,697.88
<b>ฝ้าเพดาน</b>								
งานฉาบท้องพื้นเรียบ หนา1 cm	214	ตร.ม.	5.56	1,189.84	1.11	1,320.72	0.17	207.03
ฉาบแต่ง อุดรอยต่อด้วยอะครีลิก		ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-

ฝ้ายิปซัมบอร์ด 9 mm ทาทับอะครีติก		ตร.ม.	6.696429	0	6.75	-	0.39	-	
ฝ้ายิปซัมบอร์ด 9 mm มีฟอยล์กันความร้อน		ตร.ม.	8.184524	0	6.75	-	0.39	-	
ฝ้าเพดานตะแกรงเหล็กฉีกหนา 2.3 มม		ตร.ม.	9.985119	0	35.4	-	2.89	-	
<b>ผนังและฝ้าผนัง</b>									
ทาสีผนังทึบสีม		ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-	
ฉาบปูนเรียบโครสร้าง	155	ตร.ม.	5.56	861.8	1.11	956.60	0.17	149.95	
ฉาบปูนเรียบโครสร้างทาสีอะครีติก	96	ตร.ม.	5.56	533.76	1.11	592.47	0.17	92.87	
ผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ	142	ตร.ม.	180	25,560	3	76,680.00	0.24	6,134.40	
ผนังก่ออิฐมวลเบาเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ	40	ตร.ม.	360	14,400	3	43,200.00	0.24	3,456.00	
ผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ ทาอะครีติก		ตร.ม.		0	3	-	0.24	-	
ผนังก่ออิฐมวลเบาเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ ทาอะครีติก		ตร.ม.		0	3	-	0.24	-	
ผนังก่อคอนกรีตบล็อกช่องลม		ตร.ม.	90	0	3	-	0.24	-	
ผนังก่ออิฐมวลเบาครึ่งแผ่น ฉาบปูนขัดมัน	52.8	ตร.ม.	180	9,504	3	28,512.00	0.24	2,280.96	
ผนังก่ออิฐมวลเบาเต็มแผ่น ฉาบปูนขัดมัน		ตร.ม.	360	0	3	-	0.24	-	
ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ฉาบปูนทาอะครีติก		ตร.ม.	120	0	3	-	0.24	-	
ผนังโครสร้างเหล็กชุบสังกะสี		ตร.ม.		0	3	-	0.24	-	
ยิปซัมบอร์ด 12 มม ฉาบรอยต่อ		ตร.ม.	8.928571	0	6.75	-	0.39	-	

ผนังบุกระเบื้องเคลือบ 8"x10"		ตร.ม.	11.8	0	3	-	0.24	-
<b>พื้นและผิวพื้น</b>								
ทาสีเมนต์กันซึม		ตร.ม.		0	1.11	-	0.17	-
พื้นทำผิวขัดเรียบ	74	ตร.ม.	5.56	411.44	1.11	456.70	0.17	71.59
พื้นคอนกรีตพิมพ์ลาย		ตร.ม.	5.56	0	1.11	-	0.17	-
พื้นปูกระเบื้อง		ตร.ม.	11.8	0	3	-	0.24	-
พื้นหินขัดหนา 1 cm เบอร์ 4-5		ตร.ม.	34	0	11	-	0.17	-
พื้นทำผิวกันซึม ทาด้วยยูรีเทน	136	ตร.ม.		0	1.11	-	0.17	-
พื้นกระเบื้องยางลายไม้หนา 2.5 มม		ตร.ม.	4.2	0	3	-	0.24	-
พื้นปูกระเบื้องเคลือบ 12x12"		ตร.ม.	17	0	3	-	0.24	-
พื้นปูกระเบื้องแกรนิตโต้ 60x60 ซม		ตร.ม.	30	0	3	-	0.24	-
<b>บันได</b>								
ลูกตั้งลูกนอนผิวหินขัด	18.9	ม.	14,752.8	278,827.9	11	3,067,107.12	0.70	195,179.54
จุกบันไดอะลูมิเนียม	19	ม.		0		-		-
ชานพักผิวหินขัดมัน	6	ตร.ม.	5.56	33.36	11	366.96	0.70	23.35
เส้นแบ่งแนวอะลูมิเนียม		ม.		0		-		-
ราบบันไดก่ออิฐมอดุบายปูนอะครีติก	7.45	ตร.ม.	360	2,682	3	8,046.00	0.24	643.68
ทับหลังราบบันไดฉาบเรียบทาสีอะครีติก	7.45	ม.		0		-		-
ราวจับเหล็ก 2 นิ้วหนา 2 มิล	7.45	ม.		0		-		-









ภาคผนวก ข.

ตารางการขนส่งวัสดุก่อสร้าง

วัสดุ	ขนาด	น้ำหนักต่อเส้น (kg)	จำนวน	หน่วย	จำนวนขนส่งต่อรอบ	จาก	ระยะทาง	Load	อัตราการกินน้ำมัน (km/L)	ประมาณน้ำมัน (L)	รอบ
อิฐมอญ	65x140x40 mm	0.38	1147000	ก้อน	40000	อิฐอำมว	180	75%	2.5	2088	29
กระเบื้อง				แผ่น		ค.เคหะภินันท์	83.9	75%	2.5	67.12	2
เหล็ก											
เหล็กเส้นกลม SR-24	dia 6 mm x10 m	2.22	1200	เส้น	0.08325						
เหล็กเส้นกลม SR-24	dia 9 mm x10 m	3.95	12023	เส้น	1.484089063						
เหล็กเส้นกลม SR-24	dia 25 mm x10m	38.53	260	เส้น	0.31305625	TDC steel	88.1	100%	1.8	1517.277778	31
เหล็กเส้นข้ออ้อย SD-40	dia 10 mm x10 m	6.16	3804	เส้น	0.73227						
เหล็กเส้นข้ออ้อย SD-40	dia 10 mm x12 m	7.392	3360	เส้น	0.77616						
เหล็กเส้นข้ออ้อย	dia 12 mm x10 m	8.88	7506	เส้น	2.082915						



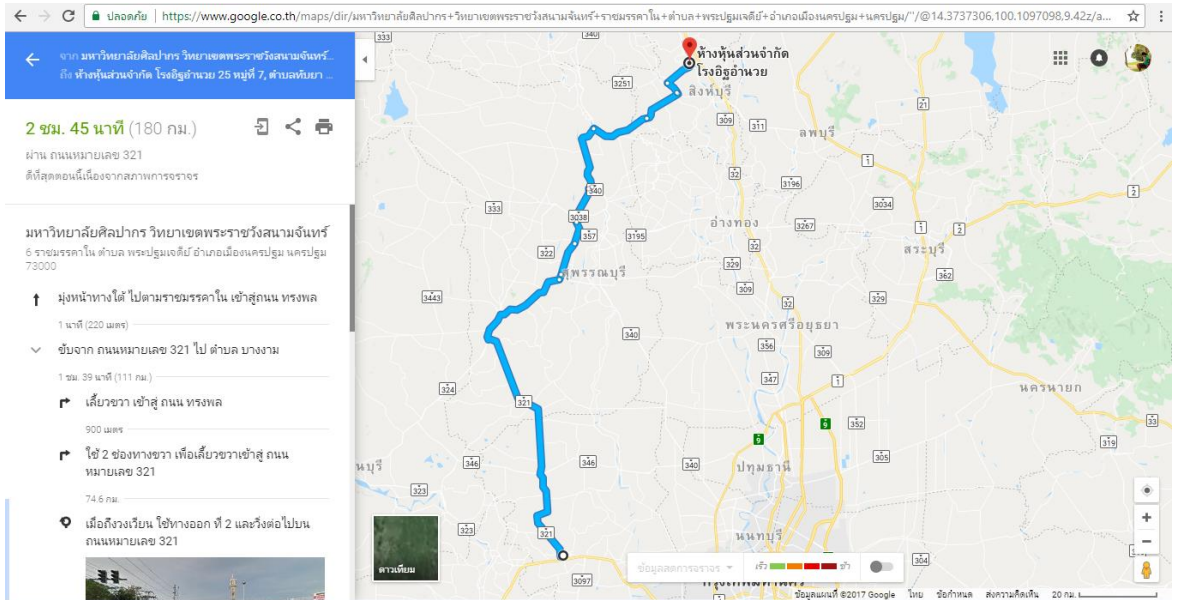




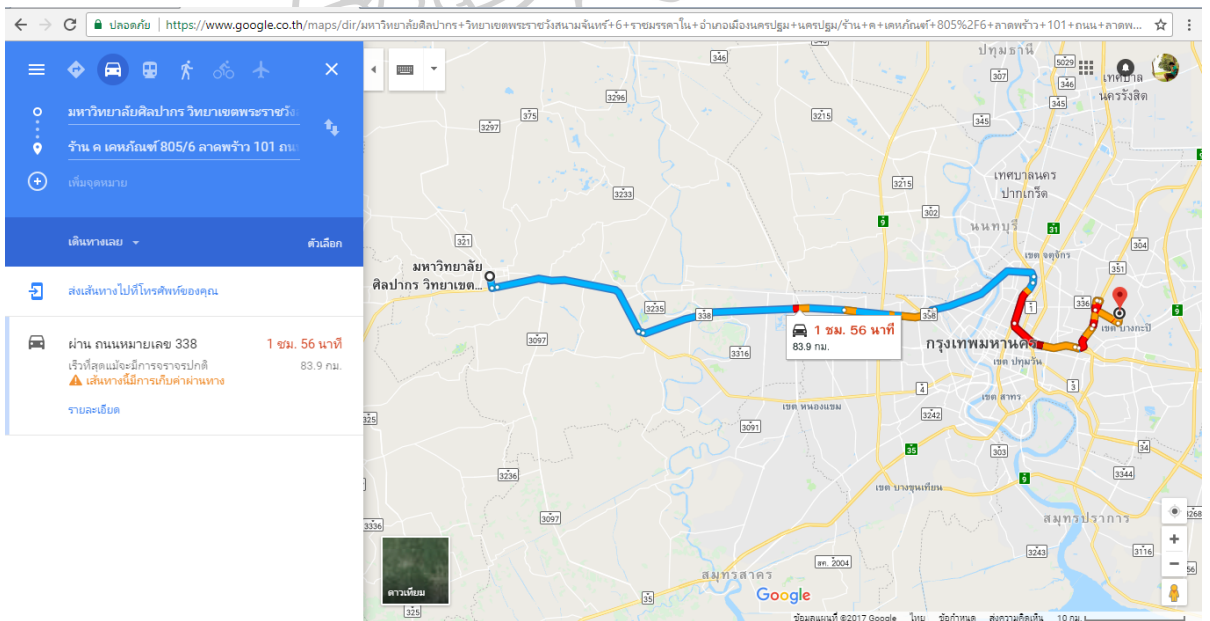
ทราย		10 ล้อ				40	กาญจนบุรี	56.8	75%	1.7	1336.470588	40
กระเจก		4 ล้อ				12	บางนา	115	75%	13	106.1538462	12



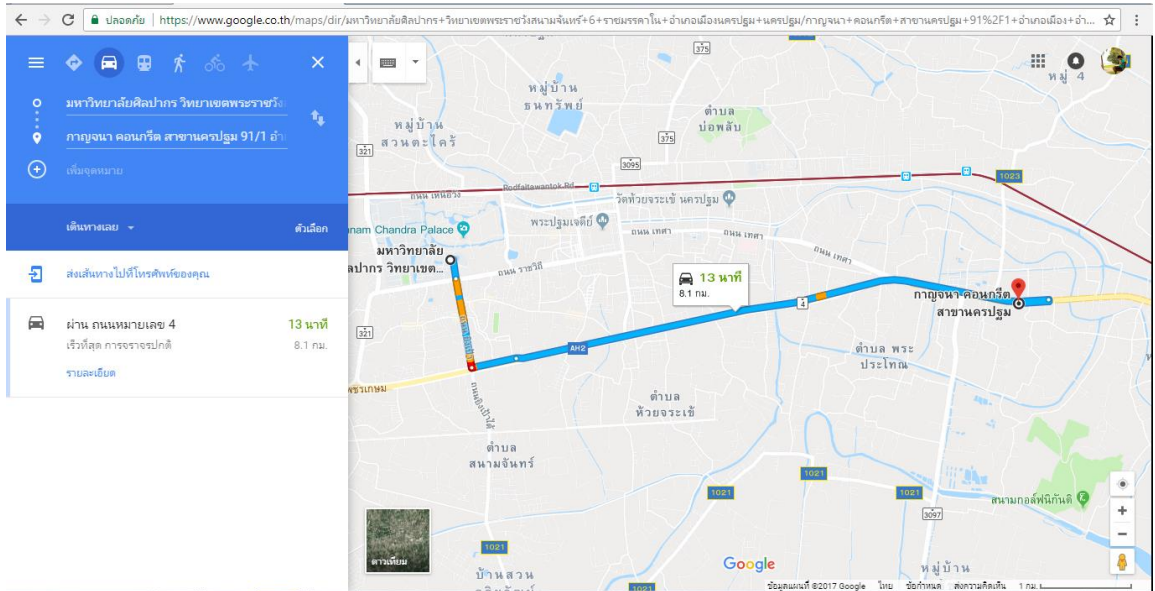
# โรงอิฐอำนวยการ



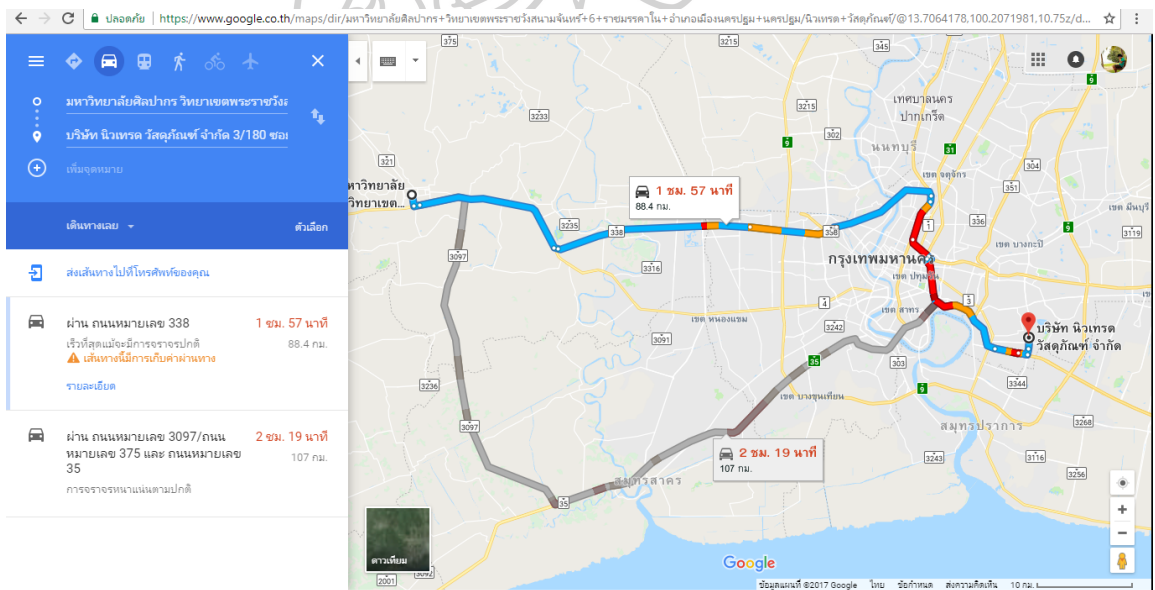
# ค.เคหะภักดิ์



### กาญจนาคอนกรีต

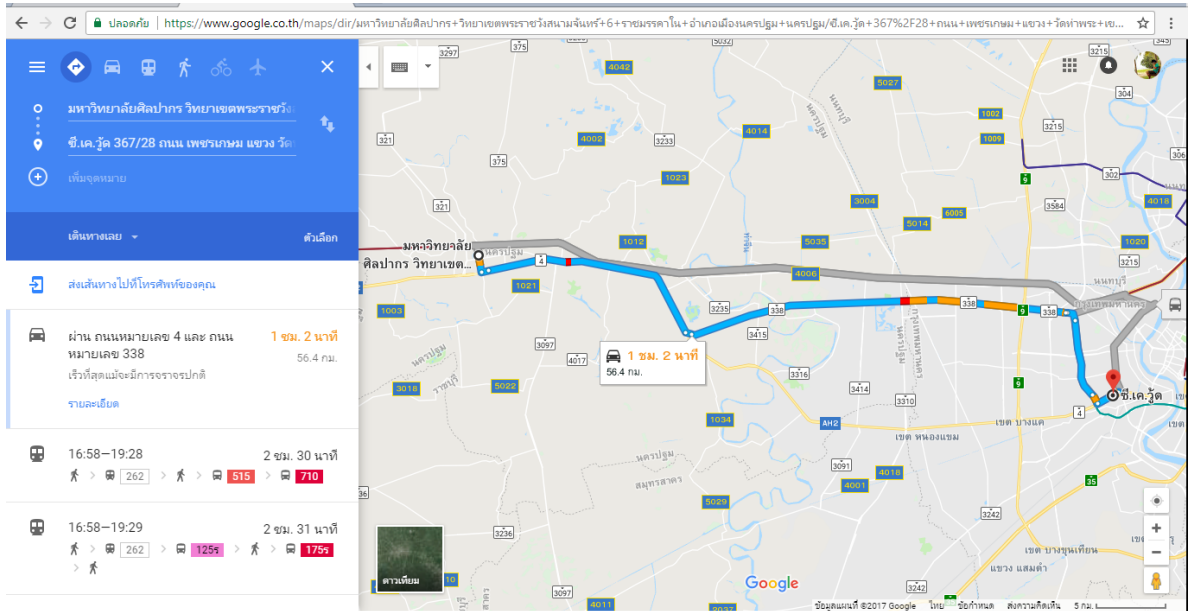


### นิเวทรด

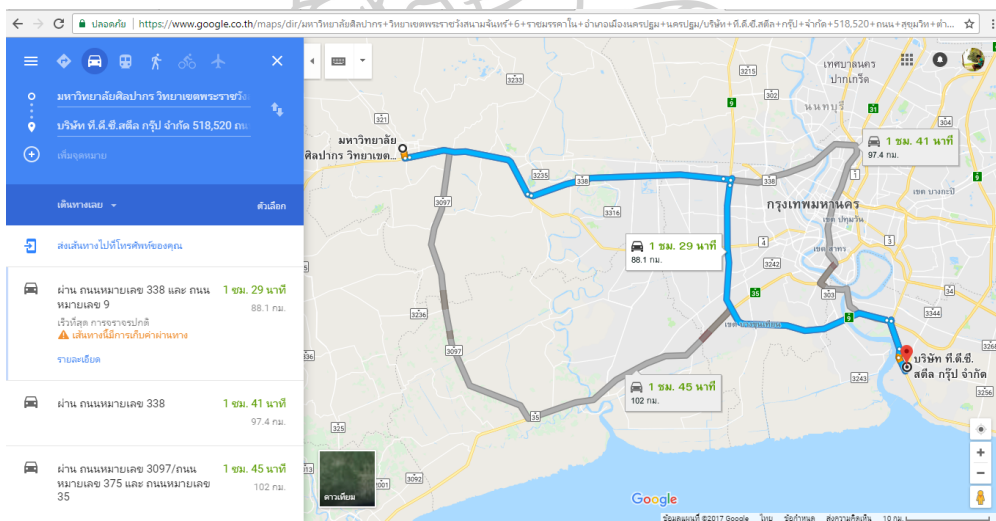




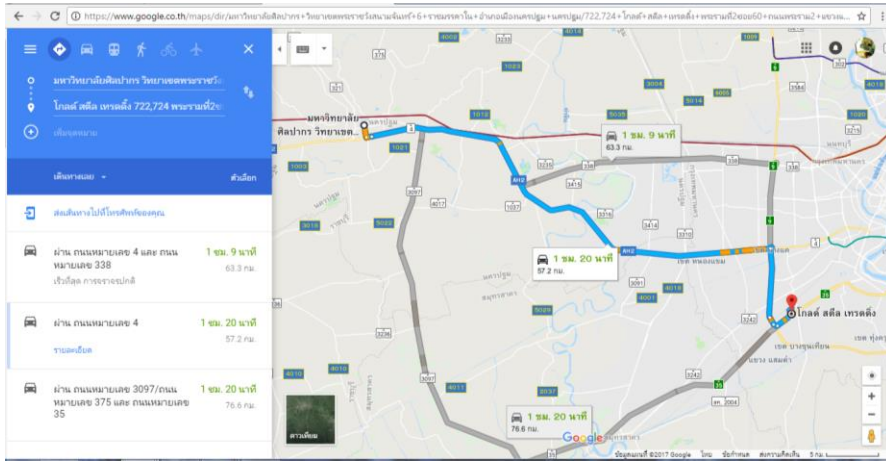
### ซีเค วัสดุ



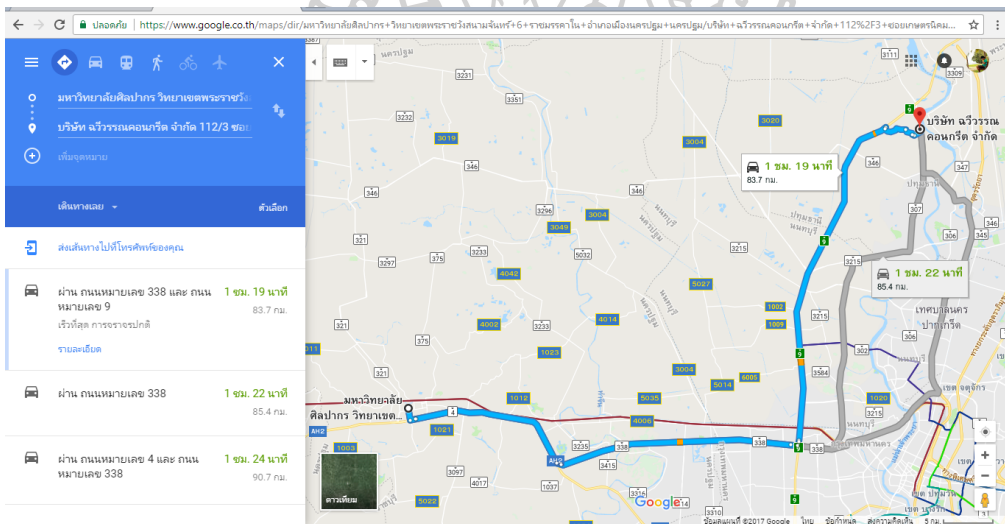
### TDC steel



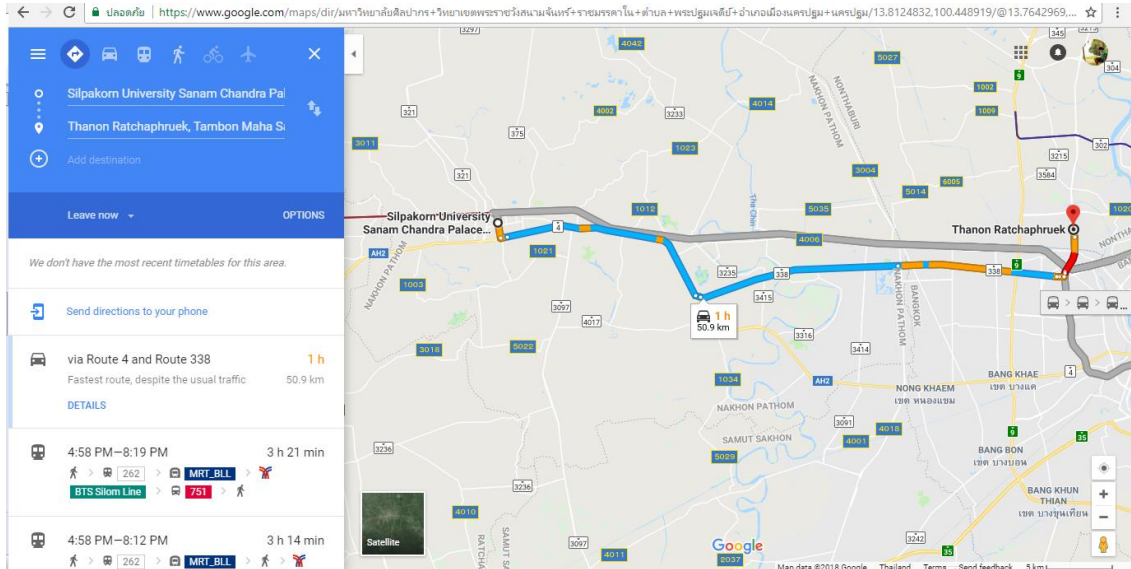
Gold steel



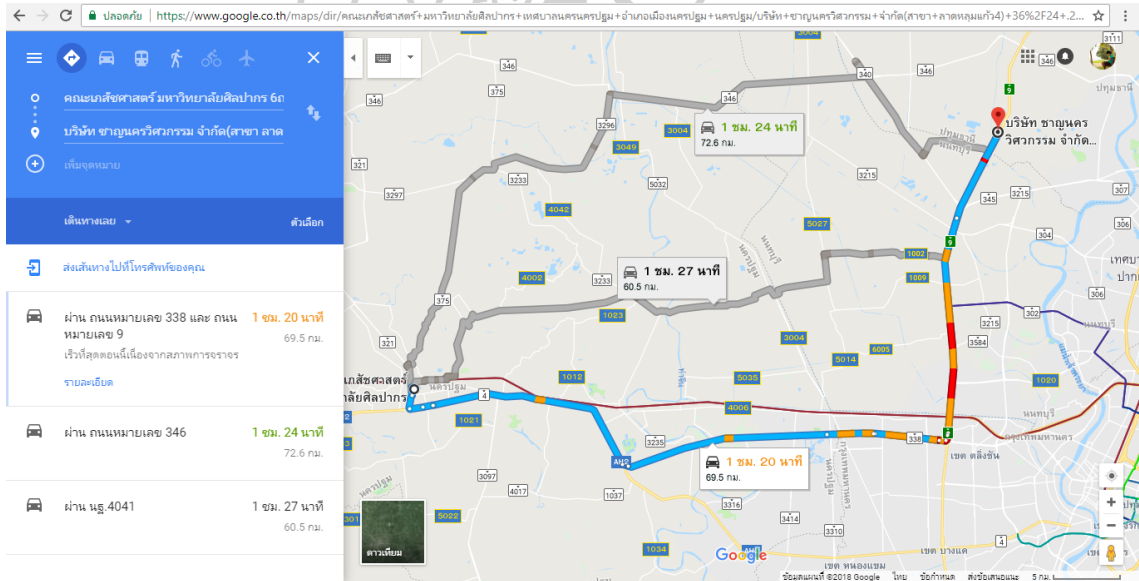
ฉวีวรรณคอนกรีต



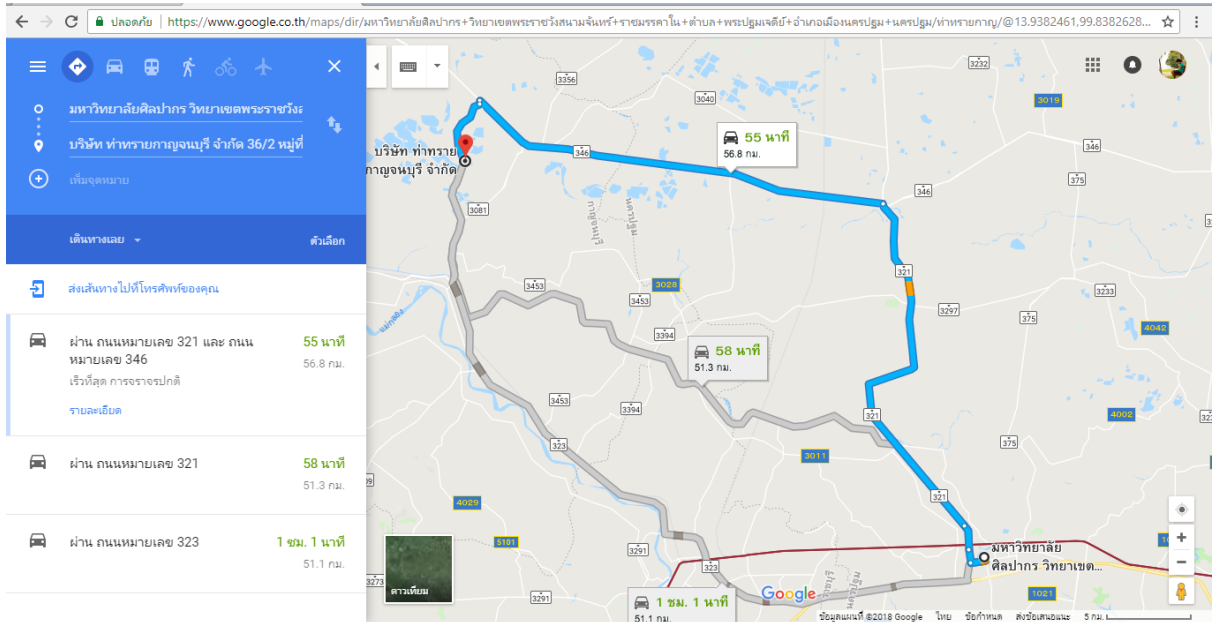
### รถไฟฟ้า



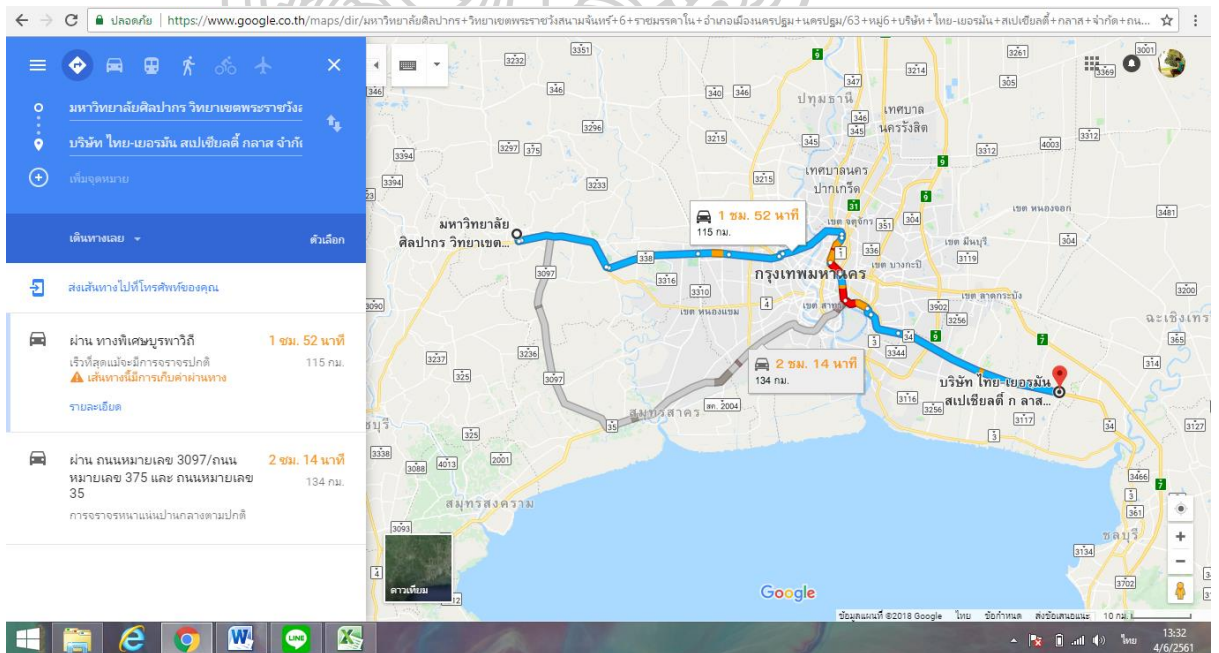
### เครื่องบิน



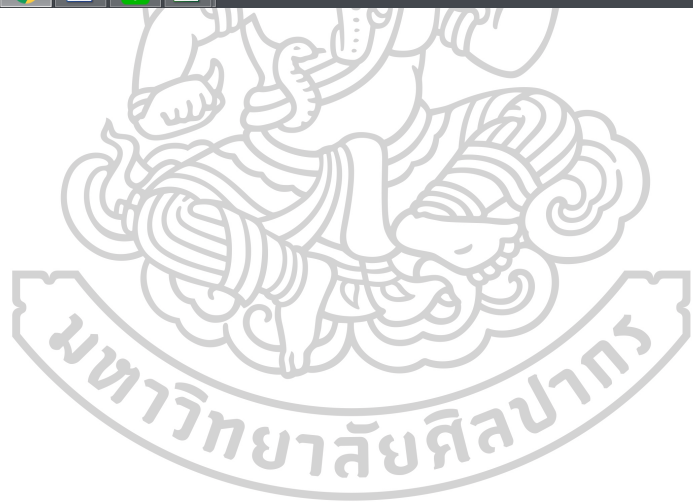
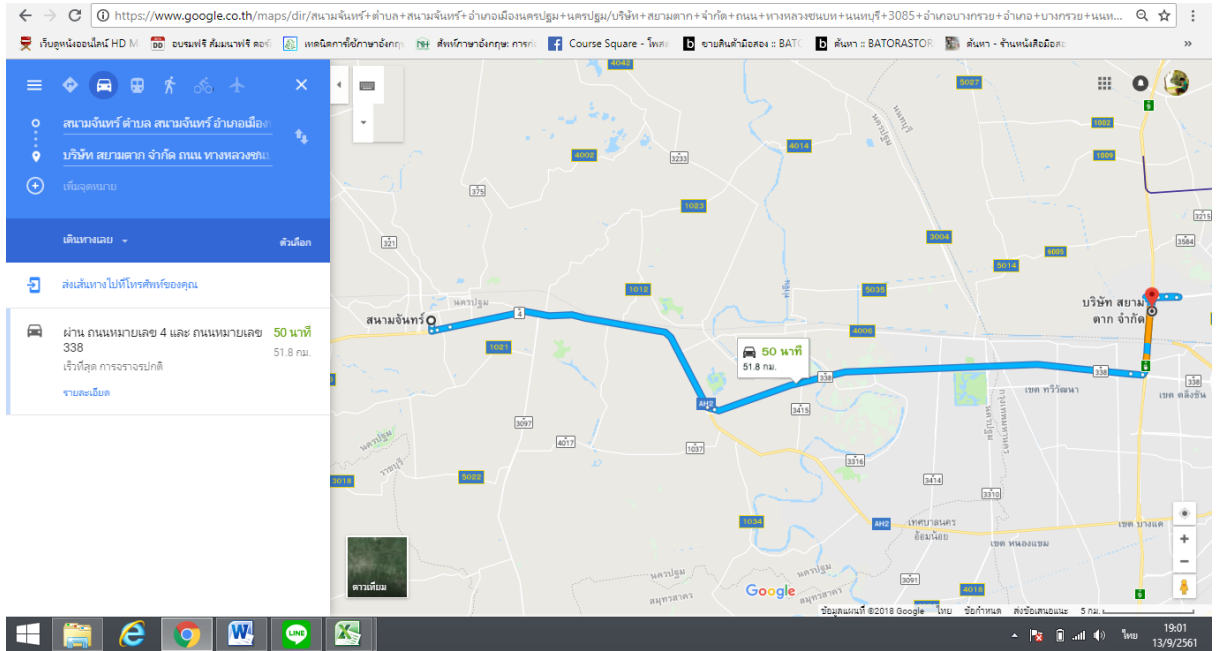
### ท่าทรายกาญจน์



### บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้ กลาส จำกัด



สยามตาก





ภาคผนวก ค.

## ตารางแสดงการใช้พลังงานรายเดือน

เดือน	MW	พลังงาน W	J	MJ	GHG
มี.ค. 2559	9.05	9048450.96	542907057.6	542.91	91.89
เม.ย 2559	15.83	15834789.18	950087350.8	950.09	160.82
พ.ค. 2559	18.41	18413701.92	1104822115	1104.82	187.01
มิ.ย. 2559	16.15	16151589.18	969095350.8	969.10	164.03
ก.ค. 2559	18.41	18413701.92	1104822115	1104.82	187.01
ส.ค. 2559	7.03	7031339.28	421880356.8	421.88	71.41
ก.ย. 2559	6.15	6,152,421.87	369,145,312.20	369.15	62.48
ต.ค. 2559	47.36	47,355,045.21	2,841,302,712.60	2,841.30	480.93
พ.ย. 2559	57.69	57,693,923.37	3,461,635,402.20	3,461.64	585.93
ธ.ค. 2559	30.89	30,890,391.21	1,853,423,472.60	1,853.42	313.72
ม.ค.2560	99.68	99,676,718.64	5,980,603,118.40	5,980.60	1,012.30
กพ2560	104.75	104,750,460.36	6,285,027,621.60	6,285.03	1,063.83
มี.ค.2560	115.97	115,973,723.97	6,958,423,438.20	6,958.42	1,177.81
เม.ย.2560	97.27	97,268,284.62	5,836,097,077.20	5,836.10	987.84
พ.ค.2560	115.97	115,973,723.97	6,958,423,438.20	6,958.42	1,177.81
มิ.ย.2560	112.23	112,232,636.10	6,733,958,166.00	6,733.96	1,139.81
ก.ค.2560	115.97	115,973,723.97	6,958,423,438.20	6,958.42	1,177.81
ส.ค.2560	104.75	104,750,460.36	6,285,027,621.60	6,285.03	1,063.83
ก.ย.2560	112.23	112,232,636.10	6,733,958,166.00	6,733.96	1,139.81
ต.ค.2560	115.97	115,973,723.97	6,958,423,438.20	6,958.42	1,177.81
พ.ย.2560	96.02	96,024,848.49	5,761,490,909.40	5,761.49	975.21
ธ.ค.2560	87.65	87,654,809.25	5,259,288,555.00	5,259.29	890.21
ม.ค.2561	65.24	65,235,592.98	3,914,135,578.80	3,914.14	662.52
ก.พ.2561	30.14	30,144,612.96	1,808,676,777.60	1,808.68	306.14
มี.ค.2561	28.65	28,650,292.92	1,719,017,575.20	1,719.02	290.97





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธีระชัย สุระโชติเวศย์
วัน เดือน ปี เกิด	6 มีนาคม 2534
สถานที่เกิด	นครราชสีมา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2556 เทคโนโลยีบัณฑิต สาขาธุรกิจวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	51 ซ.หลัง รร.กระดาศไทย ถ.แสงชูโต ต.บ้านเหนือ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี 71000
ผลงานตีพิมพ์	การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการสร้างบ้านพักอาศัย: กรณีศึกษา บ้านพักอาศัยขนาด 300 ตารางเมตร

