การลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

นายพิพัฒน์ ไทยประดิษฐ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Carbon reduction from building using life cycle assessment

Mr. Pipat Thaipradit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร
โดย	นายพิพัฒน์ ไทยประดิษฐ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิ์ เพียรมนกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชนาธิป ผาริโน)

.....กรรมการ

(ดร. ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพล ตันติสัตยกุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิพัฒน์ ไทยประดิษฐ์ : การลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร (Carbon reduction from building using life cycle assessment) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ, 155 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของอาคารสถานศึกษาในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดผลกระทบที่สำคัญ อันจะนำไปสู่การวิเคราะห์แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการประเมินศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามแนวทางต่าง ๆ โดยคำนึงถึงต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Simapro V. 8.2 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของอาคารสถานศึกษาด้วยวิธีประเมินความยั่งยืนทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคาร (BEES+) และใช้โปรแกรม OpenStudio® ในการประเมินศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามแนวทางต่าง ๆ ด้วยวิธีการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Simulation)

ผลการวิจัยพบว่า ในการแบ่งวัฏจักรชีวิตของอาคารออกเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงก่อนการใช้งานอาคารหรือช่วงก่อสร้าง (Construction Phase) ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase) และช่วงหลังการใช้งานอาคารหรือช่วงรื้อทำลาย (Demolition Phase) ช่วงที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด คือ ช่วงการใช้งานอาคาร ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งานที่ 50 ปี เป็นหลัก รองลงมา คือ ช่วงการก่อสร้างอาคาร ซึ่งเกิดจากการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ โดยวัสดุที่ก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุด คือ คอนกรีต (Concrete) และเหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforcing steel) แต่เนื่องจากวัสดุที่ก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุดเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในงานก่อสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักอาคาร จึงสามารถปรับเปลี่ยนได้ยาก งานวิจัยนี้จึงเสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารเป็นหลัก ผลการวิจัยบ่งชี้ว่า วัสดุกรอบอาคารที่ก่อให้เกิดความยั่งยืนสูงสุดทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อม คือ ฉนวนเซลลูโลสและคอนกรีตมวลเบา โดยสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 107,740 tCO_2eq และ 97,321 tCO_2eq ตามลำดับ และยังช่วยลดค่าพลังงานสุทธิของอาคารได้ 2,909,000 บาท และ 1,469,540 บาท อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5870207221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS: BUILDING CONSTRUCTION / การลดการปล่อยคาร์บอน (CARBON REDUCTION) / BUILDING / BUILDING OPERATION / LIFE CYCLE ASSESSMENT

PIPAT THAIPRADIT: Carbon reduction from building using life cycle assessment. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., CO-ADVISOR: PREMRUDEE KANCHANAPIYA, Ph.D., 155 pp.

This research was aimed to determine the environmental impact of educational buildings in Thailand using life cycle assessment technique to identify hotspots of impact sources and to propose potentials measures for reducing either environmental and economic performances of building. SimaPro V.8.2 software was used in this study to examine the impact of building through Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES+) approach whereas OpenStudio® program was used to quantify the amount of impact reduction through energy simulation method.

The results revealed that among 3 phases of building (Construction, Operation and Demolition), operation phase contributed the highest portion of environmental impact due to a consumption of energy throughout 50 years of building service life, followed by construction phase which attributed for the extraction of building materials. The top 2 materials contributed significant impact were concrete and reinforcing steel. Alteration of such materials used for supporting building weight, however, is too hard. To reduce the environmental impact of building, the findings demonstrated that changing building envelope materials was strongly recommended as installing cellulose insulation and using autoclave aerated concrete can reduce greenhouse gases emission about 107,740 tCO_2eq and 97,321 tCO_2eq as well as save energy cost around 2,909,000 baht and 1,469,540 baht respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Environmental Engineering	Student's Signature .....
		Advisor's Signature .....
Field of Study:	Environmental Engineering	Co-Advisor's Signature .....
Academic Year:	2017	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางการจัดการสิ่งแวดล้อมแก่ผู้วิจัยและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วมถึงดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งค่อยให้คำปรึกษา ชี้แนวทางแก้ไขปัญหารมทั้งช่วยควบคุมตรวจสอบการทำวิจัยอย่างใกล้ชิดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธุ์ทุกท่านที่ให้ความกรุณาตรวจสอบทำให้ผลงานวิจัยเกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน นักวิจัย ผู้ช่วยวิจัย เจ้าหน้าที่ ที่มีส่วนในการสนับสนุนการดำเนินการวิจัย พร้อมทั้งเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ประโยชน์ที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยมีความสำนึกในพระคุณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้กับผู้วิจัย และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ค่อยเป็นกำลังใจ ให้ความคิดดี สร้างความเป็นมนุษย์ที่ดีในสังคมและเอื้ออำนวยความสะดวกในการศึกษาเล่าเรียนต่อผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์ 1

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์ 1

1.2 คำสำคัญ 1

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร 6

2.2 สถานการณ์อาคารในประเทศไทย 10

2.3 การใช้พลังในภาคอาคาร 19

2.4 ดัชนีการใช้พลังงาน 23

2.5 วัสดุก่อสร้างอาคาร 28

2.6 ราคากลางการก่อสร้าง 35

2.7 คุณลักษณะอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 37

2.8 การประเมินวัฏจักรชีวิต 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.9 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 50
2.10 โปรแกรมที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 53
2.11 การศึกษาต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 56
2.12 เทคโนโลยีอาคาร 59
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 65
2.14 Research gap 68
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 69
3.1 การดำเนินงานวิจัย 69
3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 71
3.3 เสนอแนะแนวการลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารที่เหมาะสมกับประเทศไทย 85
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลวิจัย 93
4.1 ช่วงวัสดุก่อสร้าง (Construction Phase) 93
4.1.1 ปริมาณมวลวัสดุทั้งหมด 93
4.1.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทอาคาร 98
4.1.3 ผลกระทบจากวัสดุที่ใช้ในประเภทงานในแต่ละอาคาร 100
4.1.3.1 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานโครงสร้างอาคาร 100
4.1.3.2 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานสถาปัตยกรรม 103
4.1.3.3 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร 105
4.1.3.4 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานปรับอากาศและระบายอากาศ 107
4.1.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักจากวัสดุก่อสร้างอาคาร 109
4.2 ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase) 110
4.3 ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase) 113
4.4 ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต 116

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.5 เปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่นๆ 118
4.6 การประเมินแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและประเมินต้นทุนของแนวทางการลดกระทบสิ่งแวดล้อม 125
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ 130
5.1 สรุปผลการวิจัย 130
5.2 ข้อเสนอแนะ 133
รายการอ้างอิง 134
ภาคผนวก 137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 155

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สรุปจำนวนประชากรและจำนวนครัวเรือนในปี 2553 ทั้ง 5 ภูมิภาค ข้อมูลเฉพาะของกรุงเทพมหานคร (Joint Graduate School of Energy and Environment, 2014)..... 11

ตารางที่ 2.2 ผลสำรวจจำนวนประชากรและบ้านพักอาศัยในประเทศไทย (JGSEE, 2014)..... 12

ตารางที่ 2.3 ประเภทของที่อยู่อาศัยในประเทศไทย (JGSEE, 2014)..... 13

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย (JGSEE, 2014)..... 13

ตารางที่ 2.5 อาคารที่มีการใช้พลังงานสูง แต่ละประเภท..... 15

ตารางที่ 2.6 อาคารถูกจัดแบ่งเป็นบ้านพักอาศัย (RES) และอาคารพาณิชย์ขนาดเล็ก (SMS) แต่ละแห่งซึ่งแยกออกจากกันภายในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล..... 20

ตารางที่ 2.7 แสดงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในอาคารที่พักอาศัย..... 21

ตารางที่ 2.8 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสำหรับประกอบอาหารตาม..... 22

ตารางที่ 2.9 ปริมาณการบริโภคพลังงานของอาคารที่พักอาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่พักอาศัยในประเทศไทย ปี ค.ศ. 2010..... 22

ตารางที่ 2.10 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคอาคารที่อยู่อาศัย..... 23

ตารางที่ 2.11 สูตรการคำนวณดัชนี..... 24

ตารางที่ 2.12 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของสถานศึกษา..... 26

ตารางที่ 2.13 ค่าดัชนีการใช้พลังงานแยกตามกลุ่มประเภทอาคาร..... 27

ตารางที่ 2.14 ผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการบำรุงรักษาด้วยวิธีปะซ่อม... 29

ตารางที่ 2.15 ผลการปล่อยคาร์บอนไดออกไซค์จากช่องการใช้งานอาคาร..... 30

ตารางที่ 2.16 พลังงานสะสมรวม (Embodied Energy) ของวัสดุก่อสร้าง..... 31

ตารางที่ 2.17 ข้อมูลการปล่อยมลพิษของวัสดุก่อสร้าง..... 32

ตารางที่ 2.18 การศึกษาวิธีการจัดการกับขยะจากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน..... 33

ตารางที่ 2.19 ข้อมูลขยะวัสดุก่อสร้างในประเทศไทย ปี ค.ศ. 2002-2005..... 34

ตารางที่ 2.20 ปริมาณขยะวัสดุก่อสร้างโดยประมาณของประเทศไทย ตั้งปี ค.ศ.2002-2005..... 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.21 ตัวอย่างเอกสารแสดงราคากลางในการก่อสร้าง 36
ตารางที่ 2.22 การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในโปรแกรม BEES 4.0 54
ตารางที่ 3.1 ตารางบัญชีรายการ 76
ตารางที่ 3.2 การคิดผลกระทบของแต่ละกลุ่มวัสดุ 81
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม 84
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ 85
ตารางที่ 3.5 วัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในงานวิจัย 86
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลวัสดุที่ใช้ในแต่ละประเภทอาคาร 96
ตารางที่ 4.2 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานอาคาร ในระยะเวลา 50 ปี 110
ตารางที่ 4.3 การจัดการขยะสิ่งปลูกสร้างที่เกิดจากการทุบทำลายอาคาร 113
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบงานวิจัยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏชีวิต 124
ตารางที่ 4.5 ศักษภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแนวทางการลด 126

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย..... 6

รูปที่ 2.2 แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกลุ่มประเทศ ในภาคส่วนของอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย 7

รูปที่ 2.3 แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อประชากรของแต่ละกลุ่มประเทศ ในภาคส่วนของอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย 8

รูปที่ 2.4 ปริมาณการบริโภคพลังงานของภาคต่างๆ ของโลก ในอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย 9

รูปที่ 2.5 ผลรวมแนวโน้มการบริโภคพลังงานความร้อน (PWh/yr) ของกลุ่มประเทศ..... 9

รูปที่ 2.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยต่อเดือนของครัวเรือน จำแนกตามประเภทของพลังงาน ปี 2558 14

รูปที่ 2.7 ร้อยละของขนาดพื้นที่อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท..... 16

รูปที่ 2.8 ร้อยละของอายุอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท 16

รูปที่ 2.9 ร้อยละของพื้นที่ปรับอากาศของอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท..... 17

รูปที่ 2.10 ร้อยละของการใช้พลังงานประเภทต่างๆ ของอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท 18

รูปที่ 2.11 การใช้พลังงานปฐมภูมิของแต่ละภาคของประเทศไทย 18

รูปที่ 2.12 การใช้พลังงานปฐมภูมิอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท..... 19

รูปที่ 2.13 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 43

รูปที่ 2.14 สารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของวัฏจักรชีวิตอาคาร 45

รูปที่ 2.15 วัฏจักรชีวิตแต่ละขั้นของอาคาร..... 52

รูปที่ 2.16 แผนภาพดำเนินงานของโปรแกรม..... 55

รูปที่ 2.17 ต้นทุนต่อหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ ณ ปี พ.ศ. 2573 57

รูปที่ 2.18 ต้นทุนสุทธิต่อหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้จากการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน.. 58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 70
รูปที่ 3.2 รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร 72
รูปที่ 3.3 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 73
รูปที่ 3.4 ขอบเขตของระบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 75
รูปที่ 3.5 อาคารตัวแทนในแต่ละช่วงชีวิตอาคาร 78
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร 79
รูปที่ 3.7 วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงการใช้งานอาคาร 80
รูปที่ 3.8 วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงรื้อถอนและการนำไปกำจัด 80
รูปที่ 3.9 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวิธีการประเมิน BEES+ 83
รูปที่ 3.10 วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโปรแกรม SimaPro 83
รูปที่ 3.11 การศึกษาวัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการลดใช้พลังงานในอาคารของคุณ Arena และคณะ 86
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการประเมินศักยภาพแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม 88
รูปที่ 3.13 การไหลของการใช้โปรแกรม 89
รูปที่ 4.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละประเภทอาคาร โดยแบ่งตามประเภทงาน 98
รูปที่ 4.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเภทอาคารตามประเภทงาน 99
รูปที่ 4.3 คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งตามประเภทของผลกระทบ 100
รูปที่ 4.4 วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชนิดวัสดุในงานโครงสร้าง แต่ละประเภทอาคาร 101
รูปที่ 4.5 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานโครงสร้าง แต่ละประเภทอาคาร 102
รูปที่ 4.6 วิเคราะห์ปริมาณคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณวัสดุ 1 กิโลกรัมงานโครงสร้าง แต่ละประเภทอาคาร 103
รูปที่ 4.7 วิเคราะห์ผลกกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของชนิดวัสดุในงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.8 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร 105

รูปที่ 4.9 วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของชนิดวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคารแต่ละประเภทอาคาร 106

รูปที่ 4.10 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคารแต่ละประเภทอาคาร 107

รูปที่ 4.11 วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของชนิดวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก แต่ละประเภทอาคาร 108

รูปที่ 4.12 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก แต่ละประเภทอาคาร 109

รูปที่ 4.13 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุหลัก คอนกรีตและเหล็กเสริมคอนกรีต 109

รูปที่ 4.14 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวต่อพื้นที่อาคารของการบริโภคและการปลดปล่อยของเสียจากการใช้งานอาคาร ในรอบ 50 ปี 111

รูปที่ 4.15 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคารของการบริโภคและการปลดปล่อยของเสียจากการใช้งานอาคาร ในรอบ 50 ปี 112

รูปที่ 4.16 การให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวต่อพื้นที่อาคารของการจัดการขยะสิ่งปลูก ตามลักษณะการจัดการขยะ 114

รูปที่ 4.17 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขยะสิ่งปลูกสร้างต่อพื้นที่ของการจัดการขยะสิ่งปลูก ตามลักษณะการจัดการขยะ 115

รูปที่ 4.18 สัดส่วนคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามวัฏจักรชีวิตของอาคาร 116

รูปที่ 4.19 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกตามวัฏจักรชีวิตของอาคาร 116

รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบงานวิจัยวัสดุก่อสร้างอาคาร 118

รูปที่ 4.21 สัดส่วนร้อยละของปริมาณมวลชนิดวัสดุของอาคารสำนักงานในประเทศไทย จากงานวิจัยของ (Oyeshola F., Shabbir H.,2008) 119

รูปที่ 4.22 สัดส่วนปริมาณมวลวัสดุ อาคารเรียนและวิจัย 120

รูปที่ 4.23 สัดส่วนปริมาณมวลวัสดุ อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ 121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.24 สัดส่วนปริมาณมวลวัสดุ อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา 121
รูปที่ 4.25 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามช่วงชีวิตของอาคารสำนักงานในประเทศไทย จากงานวิจัยของ Oyeshola และ Shabbir (2008) 122
รูปที่ 4.26 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามวัฏจักรชีวิตอาคาร 122
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบงานวิจัยสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต 123
รูปที่ 4.28 แบบจำลองอาคาร 100ปี วิศว โดยโปรแกรม SketchUp: 3D modeling 125
รูปที่ 4.29 ประสิทธิเชิงนิเวศเศรษฐกิจของวัสดุทางเลือก 127
รูปที่ 4.30 การวิเคราะห์หาต้นทุนเพิ่มในมาตรการที่สำคัญของวัสดุทางเลือก 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : การลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร
ภาษาอังกฤษ : Carbon reduction from building using life cycle assessment

1.2 คำสำคัญ

การลดการปล่อยคาร์บอน (Carbon reduction)
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment)
อาคาร (Building)
การก่อสร้าง (Construction)
การใช้งานอาคาร (Operation stage)

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นปัญหาที่สำคัญและส่งผลกระทบในระดับนานาชาติ มีสาเหตุหลักมาจากการกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ปัจจุบันอาคารและสิ่งปลูกสร้างยังคงมีความต้องการอย่างต่อเนื่อง จากการคาดการณ์ของการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก และการเติบโตของเมืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ประชากรในเมืองจะเพิ่มมากขึ้นและประชากรในชนบทจะลดจำนวนลง (United Nations, 2014) ส่งผลทำให้มีความต้องการอาคารที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้าง เพื่อรองรับการเติบโตของสังคมเมือง อุตสาหกรรมการก่อสร้างมีการบริโภคพลังงานและทรัพยากร ก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม เกิดขยะทั้งที่เกิดจากการก่อสร้างและจากการรื้อทำลายในปริมาณสูง ภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม มีปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานมนุษย์ เช่น ที่อยู่อาศัย โรงเรียน สถานพยาบาล รวมถึงระบบสาธารณูประโภคต่างๆ ภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับ อุตสาหกรรมอาหารและพลังงานในระบบเศรษฐกิจ

จากการสำรวจของหน่วยงานทางสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, 2010) เปิดเผยว่าภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างใช้วัตถุดิบที่ได้มาจากธรรมชาติถึงร้อยละ60 และใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อให้ได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง มากกว่านั้น ยังก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ เป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการใช้พลังงานและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง รวมทั้งมีการใช้ทรัพยากรอย่างมาก ภาคธุรกิจและที่อยู่อาศัยในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้พลังงานมากถึงร้อยละ 40 โดยพลังงานส่วนใหญ่ใช้ไปกับอาคาร ในประเทศไทยการใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัยและธุรกิจอยู่ที่ร้อยละ 46 วัสดุก่อสร้างเหล่านี้ต้องใช้พลังงานสูงในการผลิต ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกและพลังงานที่ใช้ในการผลิต โดยการผลิตเหล็กใช้พลังงานประมาณ 32 MJ/kg และซีเมนต์ 7.8 MJ/kg (Petkar, S.S., 2014) โดยภาคอาคารมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่าตั้งแต่ปี 1970 และ มีค่าเท่ากับ 9.18 $GtCO_2$ eq ในปี ค.ศ.2010 (United Nations Environment Programme, 2010) และ มีการคาดการณ์ว่าอาคารและ ภาคการก่อสร้างมีสัดส่วนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30 ของโลก (Lima-Paris Action Agenda, 2015) การปรับเปลี่ยนเศรษฐกิจและ สังคมในประเทศไทยในระยะอันใกล้ จะทำให้จำนวนผู้อยู่อาศัยในเขตเมืองเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ของทั้งหมดจากร้อยละ 40 ในปัจจุบัน อาคารธุรกิจและอาคารที่อยู่อาศัยจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2010) จากความสำคัญของปัญหาหลายประเทศทั้งในกลุ่มที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนา ได้ประยุกต์ใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเทคนิคการประเมินลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspects) และโอกาสของการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Potential Environmental Impacts) ของผลิตภัณฑ์ (International Organization for Standardization, 2006) ประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารโดยมีการกำหนดช่วงชีวิตของอาคารไว้ 3 ช่วง คือ ช่วงการก่อสร้างอาคาร ช่วงการใช้งานอาคาร และช่วงรื้อทำลาย โดยการแยกส่วนของขั้นตอนของวงจรชีวิตของอาคารทางกายภาพ (International Organization for Standardization, 2010) โดยจากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าช่วงการใช้งานอาคาร (Use or Operation Phase) มีการใช้พลังงานสูงกว่าช่วงอื่น เกิดผลกระทบโดยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ซึ่งมาจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ รองลงมาได้แก่ช่วงการก่อสร้างอาคาร ซึ่งก็เป็นส่วนที่มีนัยสำคัญ (Oyeshola Kofoworola, S.H.G., 2008) ผลกระทบหลักมาจากคอนกรีตและเหล็ก ซึ่งมาจากการผลิตวัสดุก่อสร้าง (Manufacturing Phase) ซึ่งมิอาจละเลยที่จะนำมาพิจารณา การประเมินวัฏจักรชีวิตจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน และเป็นเครื่องมือในการประเมินทางสิ่งแวดล้อมที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ (Chalita Suwan, 2011) เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทาง

เพื่อให้สามารถใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดมลพิษต่ำที่สุดอันจะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนรูปแบบอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อความยั่งยืนต่อไป

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการก่อสร้างและใช้งานอาคาร ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและ มีแนวโน้มที่มีความต้องการสูงขึ้น โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ที่มีขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate ประกอบไปด้วย ช่วงการก่อสร้างอาคาร ช่วงการใช้งานอาคารและ ช่วงรื้อทำลาย เพื่อนำผลการประเมินวัสดุก่อสร้างอาคารที่ได้จากการวิจัยไปจัดทำการวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario analysis) และเสนอแนะแนวการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร เพื่อที่จะสามารถวางแผนประกอบการตัดสินใจในการจัดการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับวัสดุก่อสร้างอาคารอย่างยั่งยืนต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารกรณีศึกษาอาคารในสถานศึกษา ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.4.2 นำเสนอแนวทางการลดผลกระบบสิ่งแวดล้อมของอาคารในช่วงการก่อสร้าง

1.4.3 ประเมินศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแต่ละทางเลือกการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของอาคารโดยทำการประเมินอาคารกรณีศึกษาอาคารสถานศึกษา 3 ประเภทอาคาร ที่มีกิจกรรมแตกต่างกัน ได้แก่

- อาคารเรียนและวิจัย
- อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬา
- อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์

1.5.2 ขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม แบ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็น 3 ช่วง

ช่วงวัสดุก่อสร้างและการก่อสร้างอาคาร (Construction Phase)

บัญชีแสดงราคากลางการก่อสร้าง (bill of quantities : BOQ) ประกอบไปด้วย

- งานโครงสร้าง
- งานสถาปัตยกรรม

- งานสุขาภิบาลและ ดับเพลิง
- งานสิ่งสำนวยความสะดวก - (ป้องกันอัคคีภัย งานระบบไฟฟ้าและสื่อสาร งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ งานระบบเครื่องกล)

*โดยจะทำการประเมินผลกระทบแต่เฉพาะส่วนของวัสดุก่อสร้างอาคาร ไม่คิดการขนส่งของวัสดุ พลังงานและผลกระทบที่เกิดจากการก่อสร้างอาคาร

ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase)

ข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณการใช้งานอาคาร

- ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
- ข้อมูลการใช้น้ำ
- พลังงานหมุนเวียนเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)
- ปริมาณน้ำเสีย
- ปริมาณขยะ

ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase)

ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นถูกกำจัดด้วยวิธีการ ถมที่, ฝังกลบ,รีไซเคิล ละการนำกลับมาใช้ใหม่

1.5.3 ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) เป็นเครื่องมือในการประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Grave คือ พิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5.4 หน่วยอ้างอิงหรือหน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ พื้นที่อาคาร 1 ตารางเมตร (ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อ 1 หน่วยพื้นที่)

1.5.5 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรม Simapro V. 8.2 ประเมินผลกระทบด้วยวิธี BEES+

1.5.6กำหนดการใช้งานอาคาร 50 ปี

1.5.7 การนำเสนอแนวทางการลดผลกระบบสิ่งแวดล้อมของอาคารและประเมินศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางเลือกการเปลี่ยนวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและช่วยในการประหยัดพลังงานในช่วงใช้งานอาคาร โดยใช้โปรแกรม**OpenStudio®**

1.5.8 คิดทุนต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Marginal Abatement Cost) ของแนวทางการลดผลกระบบสิ่งแวดล้อมของอาคาร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมของอาคารตลอดวัฏจักรชีวิต
- ทราบถึงผลกระทบหลักที่เกิดจากโครงสร้างอาคาร, การใช้งานอาคารและช่วงรื้อถอนและการนำไปกำจัด
- ทราบถึงศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากแนวทางการจัดการและต้นทุนของแต่ละมาตราการทั่วไป
- นำผลที่ได้จากการวิจัยนี้ไปเป็นข้อมูลในการวางแผนและประกอบการตัดสินใจ เพื่อการจัดการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับวัสดุก่อสร้างอาคาร

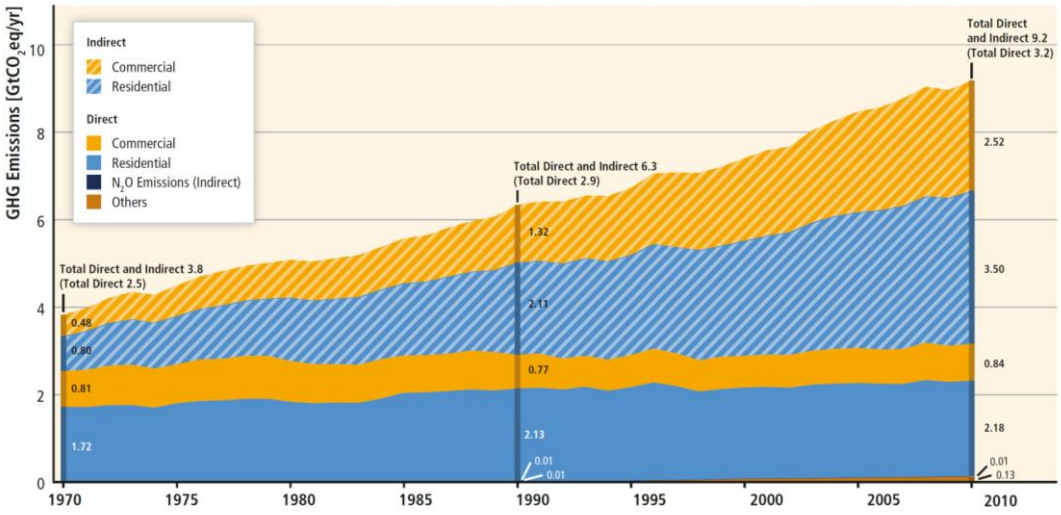
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร

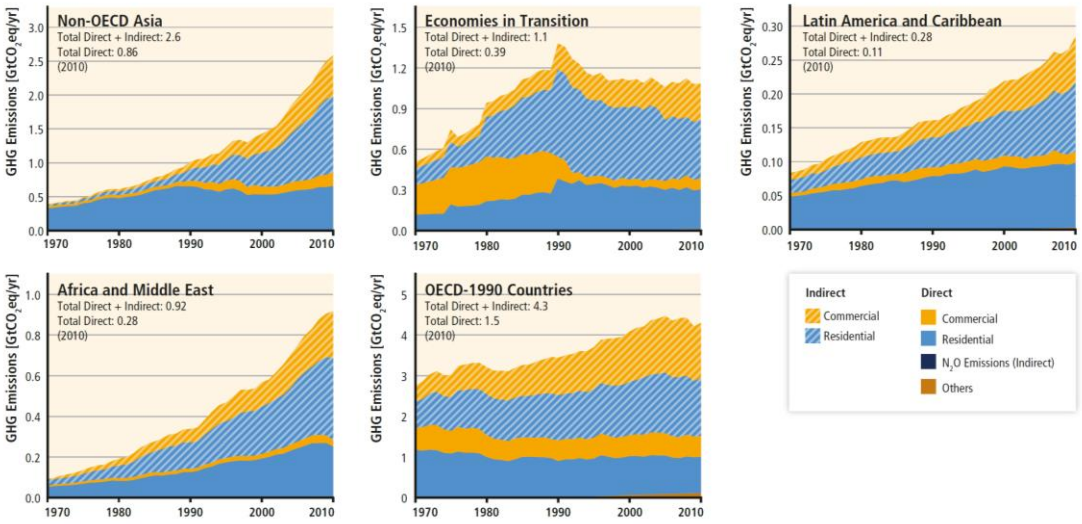
ก๊าซเรือนกระจก (GHG) จากภาคอาคารมีการเพิ่มขึ้นกว่าเท่าตัวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 จนมีค่าเท่ากับ 9.18 $GtCO_2eq$ ในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งหมด หากไม่คิดรวมภาคเกษตรกรรมป่าไม้และการใช้ที่ดิน จะเป็นร้อยละ 19 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกทั้งหมดของปี 2010 นอกจากนี้ก๊าซเหล่านี้คิดเป็นสัดส่วนประมาณหนึ่งในสามของการปล่อยก๊าซคาร์บอนและ หนึ่งในแปดส่วนของ F-gas ที่เกิดจากอาคาร

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 1990 ของยุโรปเท่ากับ 6.02 Gt เป็นการปล่อย CO_2 โดยทางอ้อม (indirect CO_2 emissions) จากการใช้ไฟฟ้าในอาคารเป็นส่วนใหญ่ และ มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ศึกษา ตรงกันข้ามกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (direct CO_2 emissions) ซึ่งมีการหยุดนิ่งในช่วงสี่ทศวรรษที่ผ่านมา รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเช่นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นสี่เท่าในปี ค.ศ. 2010 (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014)



รูปที่ 2.1 แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย
ที่มา: International Energy Agency (2013)

รูปที่ 2.2 แสดงถึงแนวโน้มของภูมิภาคในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร ประเทศที่เป็นองค์การเพื่อการพัฒนาความร่วมมือทางเศรษฐกิจ Economic Co-operation Development (Organisation for Economic Co-operation and Development : OECD) มีการปล่อยก๊าซมากที่สุด แต่การเติบโตในภูมิภาคนี้ระหว่างปี พ.ศ. 2513-2553 อยู่ในระดับปานกลาง สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างน้อยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำและมีการเติบโตน้อย การเติบโตที่ใหญ่ที่สุดเกิดขึ้นในเอเชียที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในปีพ.ศ.2513 มีความคล้ายคลึงกับประเทศพัฒนาในภูมิภาคอื่น ๆ แต่จนถึงปัจจุบันประเทศเหล่านี้กำลังเข้าสู่ประเทศ OECD ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect CO_2 emissions)



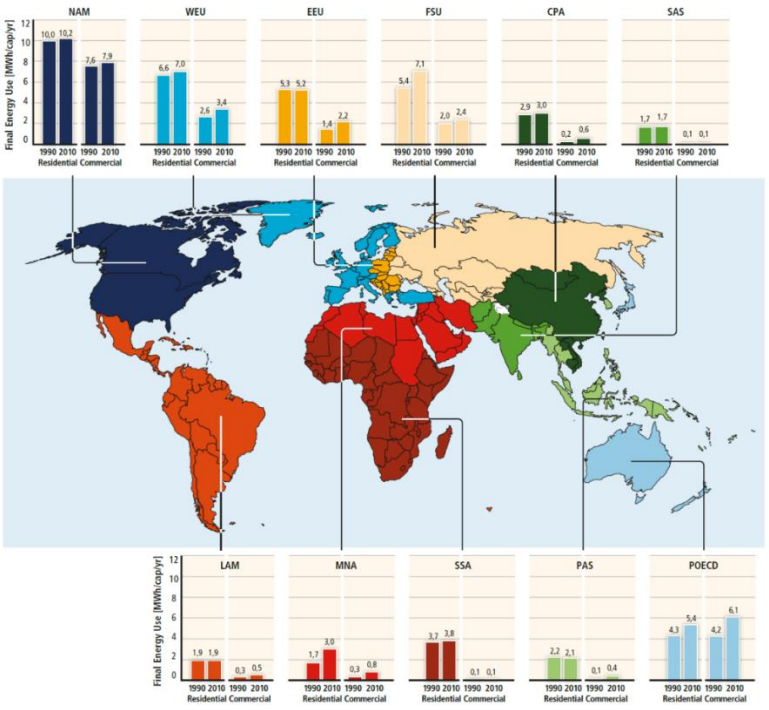
รูปที่ 2.2 แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกลุ่มประเทศ ในภาคส่วนของอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

ที่มา: International Energy Agency (2013)

ในปีพ.ศ. 2553 อาคารมีสัดส่วนถึงร้อยละ 32 โดยร้อยละ 24 สำหรับที่อยู่อาศัยและร้อยละ 8 สำหรับเชิงพาณิชย์ ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั่วโลก (International Energy Agency, 2013) หรือ 32.4 PWh ซึ่งเป็นหนึ่งในภาคที่ใช้พลังงานที่สูงที่สุดในโลก การใช้พลังงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอาคาร (Space heating) เป็นสัดส่วนร้อยละ 32 ถึง 34 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของทั้งโลกในทั้งด้านที่พักอาศัยและ อาคารพาณิชย์ ในปี 2553 ดูรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ในภาคพาณิชย์ แสงสว่างเป็นเรื่องสำคัญมากในขณะที่การทำอาหารและ เครื่องทำความร้อนด้วยน้ำ ถือเป็นส่วนที่มีนัยสำคัญในการใช้งานของอาคารที่พักอาศัย ในทางตรงกันข้ามปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญโดยรวมที่

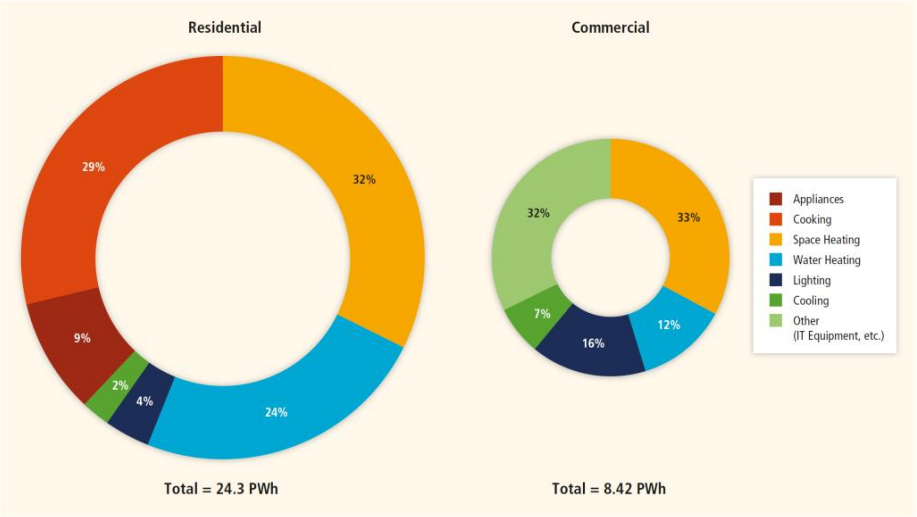
เพิ่มขึ้นและ การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายต่อประชากรไม่ได้เติบโตขึ้นอย่างมากในช่วงสองทศวรรษระหว่างปีพ.ศ. 2533 ถึง พ.ศ.2553 ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก ดูรูปที่ 2.3

ค่าที่หยุดชะงักในทุกภูมิภาคในช่วงเวลานี้ ยกเว้นการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในอดีตสหภาพโซเวียต (FSU) และการเติบโตแบบมีนัยสำคัญในแอฟริกาเหนือและตะวันออกกลาง (MEA) การใช้พลังงานในเชิงพาณิชย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นเพียงปานกลางในหลายพื้นที่โดยเฉลี่ยต่อหัวประชากรโดยมีการเติบโตแบบไดนามิกมากขึ้นตามพื้นที่ของเอเชียกลาง (CPA) เอเชียใต้และตะวันออกกลาง นี่แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการขับเคลื่อนการใช้พลังงานในอาคารส่วนใหญ่ได้รับการชดเชยโดยการเพิ่มประสิทธิภาพ ในภูมิภาคที่กำลังพัฒนาหลายประเทศส่วนใหญ่จะเกิดจากการเปลี่ยนการผลิตพลังงานทางเลือกจากชีวมวลแบบดั้งเดิมไปเป็นการผลิตพลังงานสมัยใหม่ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.3 แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อประชากรของแต่ละกลุ่มประเทศ ในภาคส่วนของอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

ที่มา: International Energy Agency (2013)



รูปที่ 2.4 ปริมาณการบริโภคพลังงานของภาคต่างๆ ของโลก ในอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย

ที่มา: International Energy Agency (2013)

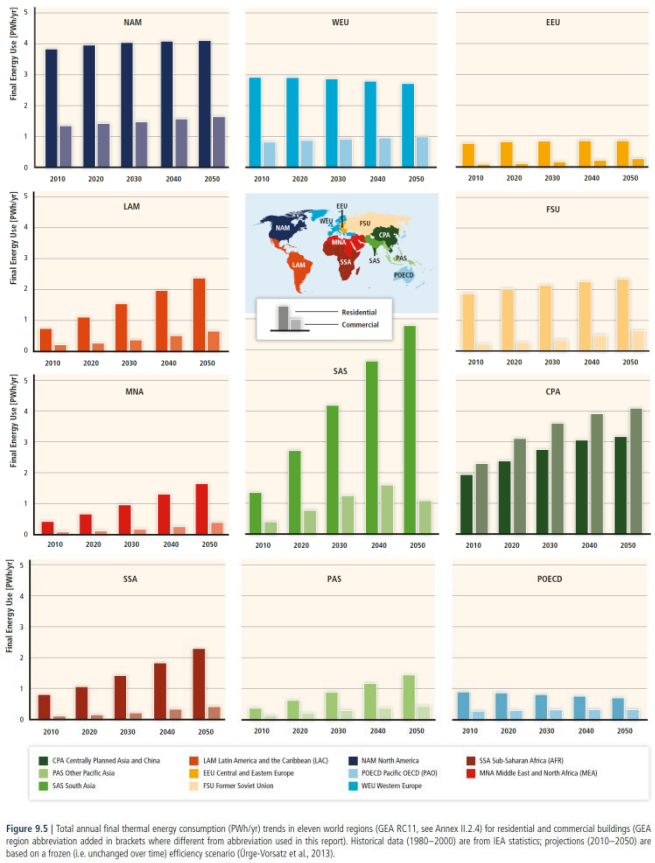


Figure 9.5 | Total annual final thermal energy consumption (PWh/yr) trends in eleven world regions (GEA RC11, see Annex II.2.4) for residential and commercial buildings (GEA region abbreviation added in brackets where different from abbreviation used in this report). Historical data (1980–2000) are from IEA statistics; projections (2010–2050) are based on a frozen (i.e. unchanged over time) efficiency scenario (Urge-Vorsatz et al., 2013).

รูปที่ 2.5 ผลรวมแนวโน้มการบริโภคพลังงานความร้อน (PWh/yr) ของกลุ่มประเทศ

ที่มา: International Energy Agency (2013)

2.2 สถานการณ์อาคารในประเทศไทย

ภาคอาคารพาณิชย์และอาคารที่อยู่อาศัยใช้พลังงานประมาณร้อยละ 8 และ 15 ของการใช้พลังงานทั้งหมดตามลำดับหรือคิดเป็นร้อยละ 23 ของการใช้พลังงานทั้งหมด การใช้พลังงานหลักของภาคเหล่านี้คือการใช้ไฟฟ้า เมื่อคำนวณทั้ง primary energy การใช้พลังงานของภาคเหล่านี้จะสูงถึงร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานหลักทั้งหมด ไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารร้อยละ 60 เป็นของเครื่องปรับอากาศและ ร้อยละ 20 เป็นของแสงสว่าง และนอกจากนี้เครื่องใช้ไฟฟ้า ยังมีตู้เย็น พัดลม รวมทั้งอุปกรณ์สื่อสารซึ่งมีบทบาทอย่างมากในยุคนี้ซึ่งใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและ การสื่อสารใช้กันอย่างแพร่หลาย มาตรการสำคัญสำหรับการสนับสนุนอาคารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพคือการตั้งอาคารรหัสพลังงาน (building energy code) ของอาคารใหม่และ อาคารเก่าที่พร้อมจะติดตั้ง ตามที่กำหนดตามกฎหมายและเพื่อสนับสนุนการพัฒนามาตรฐานสมรรถนะด้านพลังงานที่สูงขึ้นหรือ HEPS เกณฑ์มาตรฐานเหล่านี้รวมถึง การสร้างแนวทางเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศและ ระบบแสงสว่าง ในประเทศไทยค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อหน่วยในอาคารขนาดใหญ่ สูงถึง 220 kWh /m^2-year แต่อาคารที่อยู่ภายใต้รหัสอาคาร (building energy code) และ ที่มีประสิทธิภาพสูงใช้พลังงานเพียง 175 และ 55 kWh / m^2-year ตามลำดับ นี้สะท้อนให้เห็นถึงช่องทางขนาดใหญ่สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ถ้าอาคารได้รับการออกแบบตั้งแต่ต้นด้วยแนวคิดการประหยัดพลังงานขั้นสูงและ สร้างด้วยเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงการใช้พลังงานจะลดลงใกล้ศูนย์หรือ ประมาณ 25-50 kWh /m^2-year ปัจจุบันมีอาคารสาธิตจำนวนมากที่สร้างขึ้นในประเทศมาเลเซียและสิงคโปร์ การพัฒนาต่อไปยังคงดำเนินต่อไปเพื่อทำให้เทคโนโลยีนี้มีราคาถูก สำหรับอาคารพาณิชย์และครัวเรือนขนาดเล็กศักยภาพในการประหยัดพลังงานขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศและเตาปรุงอาหาร สำหรับการออกแบบอาคารที่ลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศอาจเป็นได้แต่อีกสักระยะ แต่ต้องได้รับการออกแบบมาให้มีความสามารถแถบภูมิภาคเขตร้อน รวมถึงการศึกษาแผนพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 20 ปีพบว่าอาคารพาณิชย์ขนาดเล็กและครัวเรือนสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 20-25 ของการใช้พลังงานทั้งหมดตามปกติในปี 2573 (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2012)

2.2.1 ที่อยู่อาศัย

ประชากรและครัวเรือน

จากการสำรวจสำมะโนประชากรล่าสุดของประเทศไทย ในปี 2553 จากสำนักงานสถิติแห่งชาติมีประชากรประมาณ 65.98 ล้านคน จากตารางที่ 2.1 ประชากรในปี พ.ศ. 2553 เพิ่มขึ้นร้อยละ 21 จากจำนวนดังกล่าวในปี พ.ศ. 2533 จากจำนวนพื้นที่ทั้งหมดของประเทศและความหนาแน่นของประชากรประมาณ 128.37 คนต่อตารางกิโลเมตร จากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติสำนักงานนายกรัฐมนตรีคาดว่าประชาชนไทยจะมีจำนวนประมาณ 70.65 ล้านคนในปี พ.ศ. 2568 และอัตราการเติบโตที่ลดลง หลังจากนั้นอัตราการตายจะเกินอัตราการเกิดเนื่องจากประชากรคาดว่าจะลดลงเป็น 70.62 ล้านคนในปี 2573

ผลจากการพัฒนาความเจริญทำให้สัดส่วนประชากรในเขตเมืองเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.4 เป็นร้อยละ 44.6 ในช่วงปี พ.ศ. 2533 และ พ.ศ. 2553 จำนวนครัวเรือนเพิ่มขึ้นจาก 12.3 ล้านเป็น 20.3 ล้านครัวเรือนซึ่งเป็นอัตราการเติบโตที่มากกว่าการเติบโตของประชากร จะเป็นผลมาจากการลดจำนวนลงของประชากรต่อครอบครัว ส่วนแบ่งรายได้ของครอบครัวเดี่ยวเพิ่มขึ้นจาก 5.1 เป็น 18.3 ในระหว่างงวด เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจที่ดีของประเทศส่วนแบ่งของบ้านที่สร้างโดยใช้วัสดุที่ไม่ถาวรในปี 2010 คือ ร้อยละ 0.6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากร้อยละ 9.4 ในปี 1990 เกือบร้อยละ 100 ของบ้านมีห้องสุขา ในมุมมองด้านพลังงานก๊าซหุงต้มและไฟฟ้าสำหรับการปรุงอาหารเพิ่มขึ้นในช่วงสองทศวรรษ

ตารางที่ 2.1 สรุปจำนวนประชากรและจำนวนครัวเรือนในปี 2553 ทั้ง 5 ภูมิภาค ข้อมูลเฉพาะของกรุงเทพมหานคร (Joint Graduate School of Energy and Environment, 2014)

Region		Population	Household	People per private household
Whole country	- Total	65,981,659	20,364,334	3.1
	- Municipal	29,133,829	9,685,388	2.9
	- Non municipal	36,847,830	10,678,946	3.4
Bangkok	- Total	8,305,218	2,869,225	2.7
	- Municipal	8,305,218	2,869,225	2.7
	- Non municipal	-	-	-
Central	- Total	18,183,308	5,920,172	2.9
	- Municipal	8,280,992	2,864,829	2.7
	- Non municipal	9,902,316	3,055,343	3.1
Eastern	- Total	4,372,516	1,445,816	2.9
	- Municipal	2,214,743	794,815	2.7
	- Non municipal	2,157,774	651,000	3.2
Northern	- Total	11,656,040	3,741,291	3.0
	- Municipal	4,038,091	1,397,060	2.8
	- Non municipal	7,617,950	2,344,231	3.2
Northeastern	- Total	18,966,090	5,339,779	3.5
	- Municipal	5,539,352	1,651,944	3.3
	- Non municipal	13,426,738	3,687,835	3.6
Southern	- Total	8,871,002	2,493,867	3.4
	- Municipal	2,970,176	902,329	3.1
	- Non municipal	5,900,826	1,591,538	3.6

สำหรับทั้งประเทศประมาณ 29.13 ล้านคนอาศัยอยู่ในเขตเมือง คิดเป็น ร้อยละ 44.15 ของประชากรทั้งหมด จำนวนครัวเรือนมีจำนวน 9.69 ล้านครัวเรือนและจำนวนสมาชิกต่อครัวเรือนเฉลี่ย 2.9 คน สำหรับเขตนอกเขตเมืองจำนวนสมาชิกต่อครัวเรือนเฉลี่ยมีจำนวนประชากรสูงกว่าเขตเมือง จำนวนคนเฉลี่ยต่อครัวเรือนเท่ากับ 3.4 สำหรับพื้นที่นอกเขตเมืองและเท่ากับ 3.1 สำหรับทั้งประเทศ

ตารางที่ 2.2 ผลสำรวจจำนวนประชากรและบ้านพักอาศัยในประเทศไทย (JGSEE, 2014)

Description	1990	2000	2010
Demography			
Population ('000)	54,548.50	60,916.40	65,981.66
Population share in municipal area (%)	29.4	31.1	44.6
Male to female ratio (per 100 female)	98.5	97.1	96.2
Household			
Number of household ('000)	12,317.80	15,877.20	20,364.33
Member per household	4.4	3.8	3.1
Share of single-member family (%)	5.1	9.4	18.3
House constructed using non-permanent materials (%)	9.4	7.1	0.6
House with hygienic toilet facility (%)	86.1	97.8	99.7
Household using LPG and electricity for cooking (%)	38.9	65.6	75.2

สำนักงานสถิติแห่งชาติได้จัดแบ่งประเภทของที่อยู่อาศัยของไทยออกเป็น 5 ประเภทได้แก่ กลุ่มที่1 บ้านเดี่ยว กลุ่มที่ 2 ทาวน์เฮาส์ กลุ่มที่ 3 คอนโดมิเนียมและคฤหาสน์ กลุ่มที่ 4 แฟลต อพาร์ทเม้นต์และโรงแรม กลุ่มที่ 5 ตึกแถวและร้านขายของชำ (ตารางที่ 2.3) แสดงตัวเลขและจำนวนห้องในแต่ละประเภทบ้านที่ได้จากการสำรวจในปี 2553 ข้อมูลจะถูกแยกออกเป็นพื้นที่เทศบาลและนอกเขตเทศบาล สามารถสังเกตได้ว่าบ้านที่มีบ้านพักถึงร้อยละ 72.3 เป็นบ้านเดี่ยวขณะที่บ้านแถวที่สองมีส่วนแบ่งร้อยละ 11.1 ที่เหลือประเภทของที่อยู่อาศัยร่วมกันประมาณร้อยละ 16.6 สำนักงานสถิติแห่งชาติได้จัดแบ่งประเภทของที่อยู่อาศัยของไทยออกเป็น บ้านเดี่ยว ทาวน์เฮาส์ คอนโดมิเนียม ทาวน์เฮ้าส แฟลต อพาร์ทเม้นต์ ตึกแถวหรือร้านค้า อื่นๆ รวมถึงห้องในบ้านเรือนและ บ้านที่ไม่ได้กำหนด ตารางที่ 2.3 แสดงตัวเลขและจำนวนในแต่ละประเภทบ้านที่ได้จากการสำรวจในปี 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.3 ประเภทของที่อยู่อาศัยในประเทศไทย (JGSEE, 2014)

Type of House	Total		Municipal area		Non-municipal area	
	Household	Percent	Household	Percent	Household	Percent
Detached house	14,728,702	72.3	5,137,336	53.0	9,591,366	89.8
Town house	1,297,664	6.4	954,245	9.9	343,419	3.2
Condominium/Mansion	492,368	2.4	437,601	4.5	54,767	0.5
Flat/Apartment/Hostel	1,408,741	6.9	1,225,992	12.7	182,749	1.7
Row house/Shop house	2,256,145	11.1	1,779,643	18.4	476,501	4.5
Others	180,711	0.9	150,567	1.5	30,143	0.3
Total	**20,364,333**	**100.0**	**9,685,386**	**100.0**	**10,678,947**	**100.0**

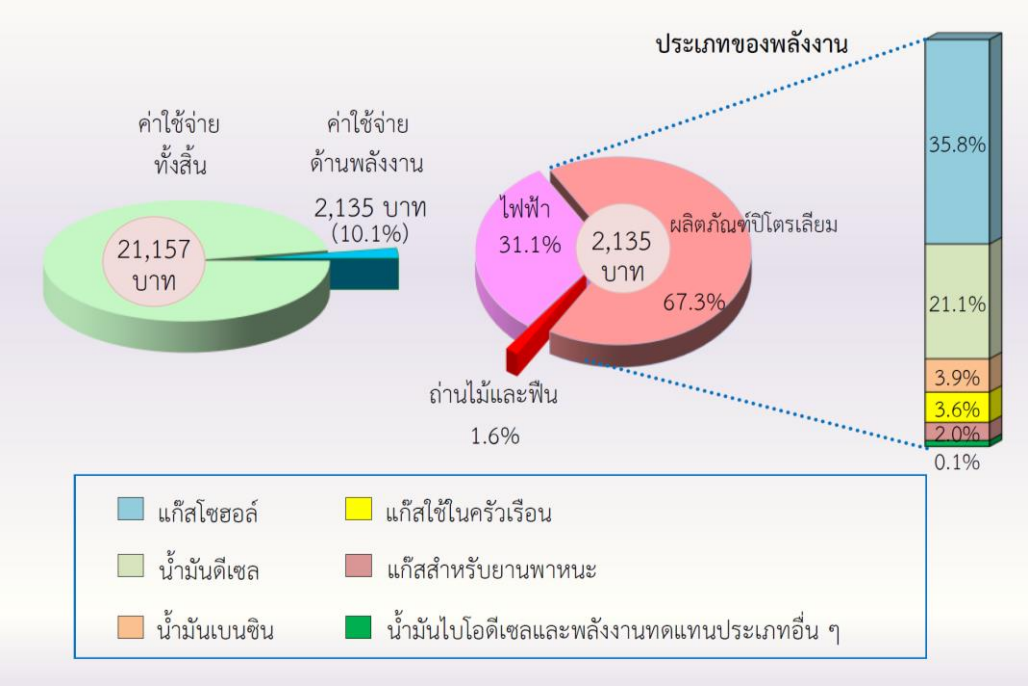
ใน ตารางที่ 2.4 แสดงมีการจัดทำรายการวัสดุก่อสร้างบ้านสำหรับแต่ละประเภทที่อยู่อาศัย ปัจจุบันนี้ปูนซีเมนต์และ อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่ ที่ใช้ก่อสร้าง ร้อยละ 54.4 จากวัสดุทั้งสองชนิดนี้ บ้านซีเมนต์และอิฐยังถือเป็นสัดส่วนใหญ่ที่สุดในเขตเทศบาลเมืองร้อยละ 67.9 และพื้นที่นอกเขตเทศบาลร้อยละ 42.3 ในประเทศไทยจำนวนบ้านไม้ (สร้างจากไม้เท่านั้น) มีปริมาณเท่ากับบ้านไม้ผสมปูนซีเมนต์ (หรืออิฐ) เข้าด้วยกัน บ้านไม้มีสัดส่วนร้อยละ 22.9 ส่วนบ้านไม้ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 21.7 บ้านที่สร้างจากวัสดุอื่นๆ มีเพียงร้อยละ 0.6 ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย (JGSEE, 2014)

Construction materials	Household	Percent	Type of dwelling				
			Detached house	Town house	Condominium/ Mansion	Flat/Apartment/ Hostel	Row house/Shop house
Total	**20,183,620**	**100.0**	**14,728,702**	**1,297,664**	**492,368**	**1,408,741**	**2,256,145**
Cement or brick	10,976,748	54.4	5,945,502	1,297,664	492,368	1,381,524	1,859,690
Wood	4,631,836	22.9	4,414,406	-	-	11,232	206,198
Wood and cement or brick	4,382,377	21.7	4,176,135	-	-	15,985	190,257
Non-permanent materials	120,030	0.6	120,030	-	-	-	-
Reused materials	16,357	0.1	16,357	-	-	-	-
Others	52,002	0.3	52,002	-	-	-	-
Unknown	4,269	a	4,269	-	-	-	-
Municipal	**9,534,818**	**100.0**	**5,137,336**	**954,245**	**437,601**	**1,225,992**	**1,779,643**
Cement or brick	6,477,561	67.9	2,427,008	954,245	437,601	1,203,663	1,455,045
Wood	1,446,147	15.2	1,264,042	-	-	8,396	173,709
Wood and cement or brick	1,560,472	16.4	1,395,648	-	-	13,934	150,890
Non-permanent materials	22,599	0.2	22,599	-	-	-	-
Reused materials	7,206	0.1	7,206	-	-	-	-
Others	17,362	0.2	17,362	-	-	-	-
Unknown	3,472	a	3,472	-	-	-	-
Non-municipal	**10,648,803**	**100.0**	**9,591,366**	**343,419**	**54,767**	**182,749**	**476,501**
Cement or brick	4,499,187	42.3	3,518,494	343,419	54,767	177,861	404,645
Wood	3,185,690	29.9	3,150,364	-	-	2,836	32,489
Wood and cement or brick	2,821,906	26.5	2,780,488	-	-	2,051	39,367
Non-permanent materials	97,432	0.9	97,432	-	-	-	-
Reused materials	9,151	0.1	9,151	-	-	-	-
Others	34,640	0.3	34,640	-	-	-	-
Unknown	798	a	798	-	-	-	-

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือน

จากการสาตรวจพบว่า ในปี 2558 ครัวเรือนทั่วประเทศมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นเฉลี่ย เดือนละ 21,157 บาท เป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 2,135 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 10.1 ของค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น ส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเฉลี่ยเดือนละ 1,437 บาท (ร้อยละ 67.3) โดยพบว่า ก๊าซโซฮอล์มีสัดส่วนสูงสุด คือ ร้อยละ 35.8 ในขณะที่น้ำมันไบโอดีเซลและพลังงานทดแทนประเภทอื่น ๆ มีสัดส่วนต่ำสุด คือ ร้อยละ 0.1 นอกจากนี้เป็นค่าใช้จ่ายพลังงานประเภทอื่นอีกร้อยละ 32.7 ของค่าใช้จ่ายด้าน พลังงานทั้งสิ้น ได้แก่ ไฟฟ้า ร้อยละ 31.1 และถ่านไม้และฟืน ร้อยละ 1.6



รูปที่ 2.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยต่อเดือนของครัวเรือน จำแนกตามประเภทของพลังงาน ปี 2558

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ พ.ศ.2558

2.2.2 อาคารที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย

เมืองหลวงของกรุงเทพฯอยู่ในภาคกลาง แสดงให้เห็นถึงจำนวนอาคารที่ใช้ประโยชน์และภูมิภาคต่างๆในประเทศไทยที่มีประสิทธิภาพ พบว่าภาคกลางของประเทศมีค่าสูงสุด ของอาคารเทียบกับภูมิภาคอื่น ๆ อาคารเหล่านี้ได้สร้างอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร เกือบร้อยละ 63 ประกอบด้วยห้างสรรพสินค้าร้อยละ 48, สถานศึกษาร้อยละ 63 โรงพยาบาลร้อยละ52 โรงแรมร้อยละ74 ออฟฟิศร้อยละ 71 (Li, และคณะ, 2014)

ตารางที่ 2.5 อาคารที่มีการใช้พลังงานสูง แต่ละประเภท

Usage	Survey Number	Effictive Number	Effective Rate
department	334	324	97%
education	121	91	75%
hospital	168	137	82%
hotel	173	148	86%
office	491	401	82%
Total	1287	1101	86%

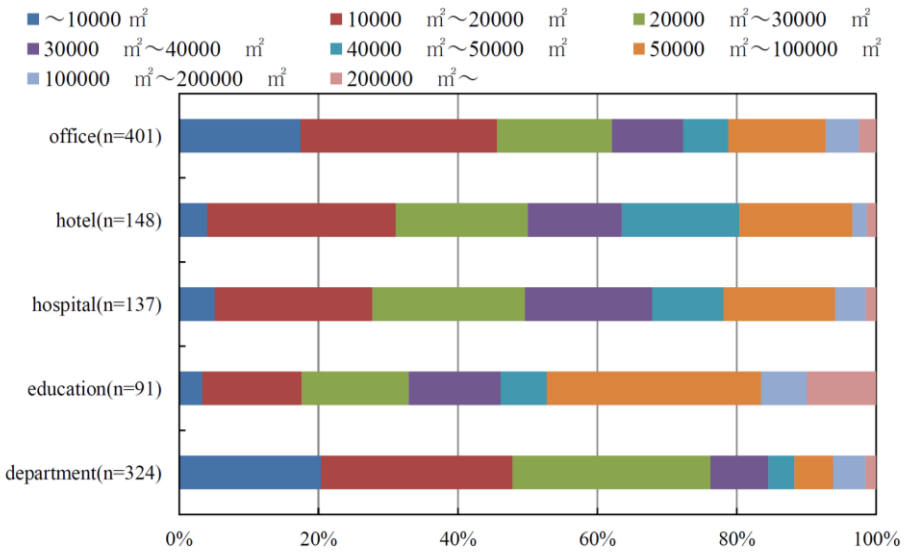
ที่มา: Energy Use and Consumption of Thailand's Commercial Buildings (2010)

1) ขนาดอาคาร

จากการศึกษา (Hosaka, 2007) ได้ทำการวิเคราะห์ขนาดพื้นที่อาคารในพื้นที่คันโต ประเทศญี่ปุ่น โดยแสดงในรูปที่ 3.7 อาคารก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่รวมเป็นมากกว่า 10000 m^2 คิดเป็นร้อยละ 86 ของอาคารทั้งหมดที่สำรวจ จากมุมมองของอาคารโดยใช้หมายเลขการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่คือ มากกว่าร้อยละ 90 ของอาคารทั้งหมดเป็นอาคารสถานศึกษา อาคารโรงพยาบาลและโรงแรม ส่วนขนาดของอาคารสำนักงานและอาคารภาครัฐ จะมุ่งเน้นไปที่ พื้นที่อาคาร 30,000 m^2 หรือ น้อยกว่า คิดเป็นประมาณร้อยละ 70 ของทั้งหมด

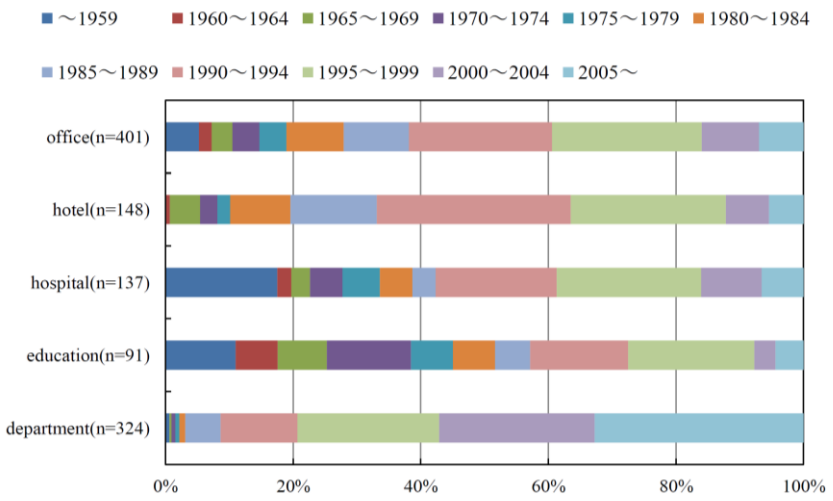
2) ช่วงเวลาการก่อสร้างอาคาร (Time of completion)

ร้อยละของช่วงการก่อสร้างอาคารโดยถูกนำมาวิเคราะห์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.8 ในประเทศไทย ร้อยละของอาคารที่สร้างเสร็จก่อนปี 1990 คิดเป็นร้อยละ 31 ของทั้งหมดอาคารที่ทำเสร็จในทศวรรษที่ 1990 มีขนาดใหญ่ที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42 ของพื้นที่ทั้งหมด สัดส่วนของอาคารที่แล้วเสร็จในปี 2000 นับเป็นร้อยละ 27 ของทั้งหมด ในส่วนอาคารสถานศึกษาที่สร้างเสร็จก่อนช่วงปี 1990 คิดเป็นร้อยละ 57 เมื่อเทียบกับอาคารอื่น ๆ อายุของอาคารใช้งานนานขึ้น



รูปที่ 2.7 ร้อยละของขนาดพื้นที่อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท

ที่มา: Liและคณะ (2014)

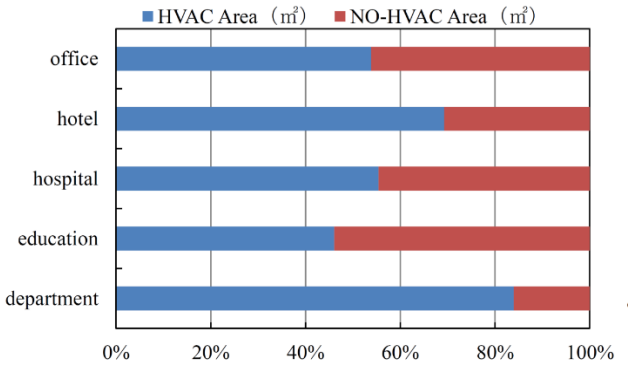


รูปที่ 2.8 ร้อยละของอายุอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท

ที่มา: Energy Use and Consumption of Thailand’s Commercial Buildings (2010)

3) พื้นที่ ปรับอากาศ (HVAC)

โดยทั่วไปอาคารส่วนใหญ่จะมีระบบปรับอากาศเพื่อให้ความสะดวกสบายในการระบายความร้อน ในการศึกษาครั้งนี้ พื้นที่HVAC คิดเป็นร้อยละ 62 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด อัตราการใช้งานของระบบ HVAC ของอาคารภาครัฐ ใช้งานมากที่สุดถึงร้อยละ 84 ต่อไปนี้จะเป็นไปทำตามลำดับ โรงแรมร้อยละ 69 โรงพยาบาลร้อยละ 55 สำนักงานร้อยละ 54 และการศึกษาซึ่งคิดเป็นร้อยละ 46 ตามที่แสดงใน รูปที่. 2.9

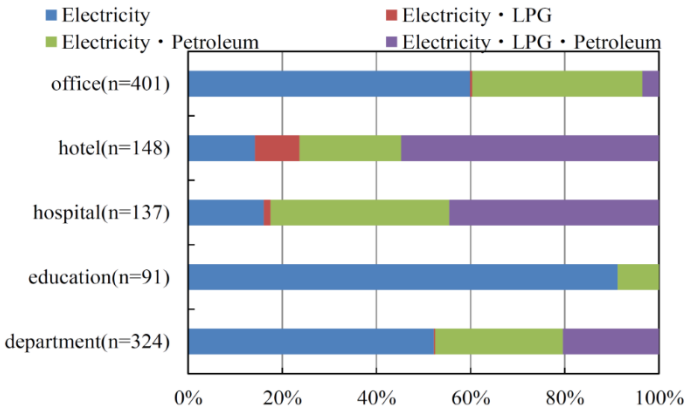


รูปที่ 2.9 ร้อยละของพื้นที่ปรับอากาศของอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท
ที่มา: Energy Use and Consumption of Thailand’s Commercial Buildings (2010)

4) การใช้พลังงานประเภทต่างๆ

รูปที่ 2.10 แสดงร้อยละของแหล่งพลังงานเพื่อใช้ประโยชน์จากระบบอาคาร ระบบไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่ใหญ่ที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 49 ของแหล่งพลังงานทั้งหมดในปี 2553 การรวมกันของกระแสไฟฟ้าและก๊าซ LPG มีสัดส่วนน้อยที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2 ของทั้งหมด สัดส่วนของกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวคือสัดส่วนร้อยละ 50 ของ ทั้งภาครัฐและสำนักงาน ในสถานศึกษามีสองประเภทของการรวมกันเพียงไฟฟ้า, ไฟฟ้าและปิโตรเลียม สัดส่วนของการไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวคิดเป็นร้อยละ 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

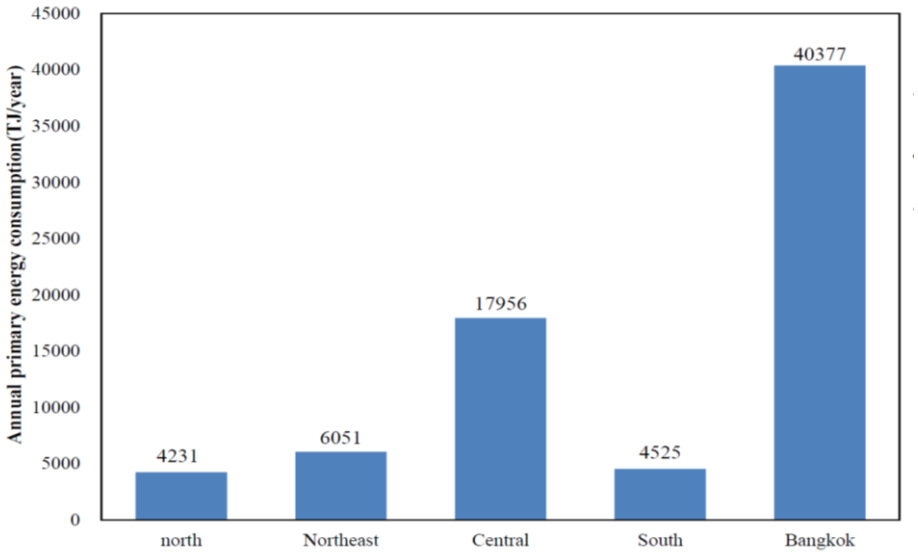


รูปที่ 2.10 ร้อยละของการใช้พลังงานประเภทต่างๆ ของอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท

ที่มา: Energy Use and Consumption of Thailand's Commercial Buildings (2010)

การใช้พลังงานหลักตามภูมิภาค

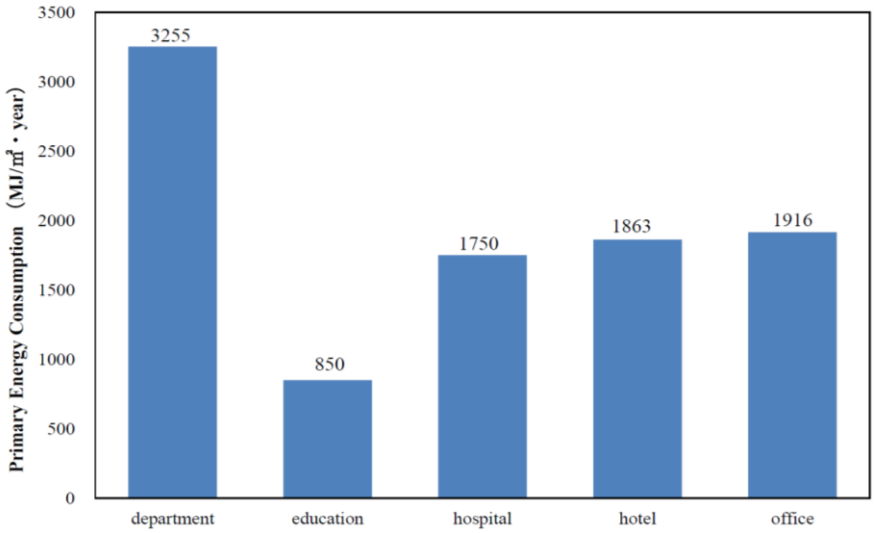
รูปที่ 2.11 แสดงการใช้พลังงานหลักตามภูมิภาคเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่น กรุงเทพฯ มีการใช้พลังงาน primary energy consumption ถึง 40377 TJ/year เนื่องจากความหนาแน่นของอาคารพาณิชย์ สูงกว่าร้อยละ 50 ในเขตกรุงเทพฯ :ซึ่งอยู่ในเขตภาคกลางของประเทศไทยและ การใช้ primary energy ในแต่ละปีคิดเป็นร้อยละ 69 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคกลาง พื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้มีพื้นที่ค่อนข้างน้อยดังนั้นการใช้พลังงานหลักในแต่ละปีจึงค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2.11 การใช้พลังงานปฐมภูมิของแต่ละภาคของประเทศไทย

ที่มา: Energy Use and Consumption of Thailand's Commercial Buildings (2010)

รูปที่ 2.12 แสดงการใช้พลังงานหลักตามหน้าที่ของอาคาร สถานที่ทางการศึกษามีการใช้พลังงานน้อยที่สุดในแต่ละหน่วยคิดเป็น 850 MJ/m²-year โดยถือว่าเวลาเปิดทำการของแต่ละวันนั้นสั้น หน่วยงานของภาครัฐมีการใช้พลังงานหลักที่ใหญ่ที่สุดต่อหน่วยโดย 3,255 MJ/m²-year ถือว่าเป็นชั่วโมงการเปิดทำการของวันเป็นเวลานานและต่อปีมีระยะเวลาการดำเนินงานเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.12 การใช้พลังงานปฐมภูมิอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยแต่ละประเภท

ที่มา: Energy Use and Consumption of Thailand's Commercial Buildings (2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 การใช้พลังในภาคอาคาร

ในการประเมินการใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัยในประเทศไทยจำนวนครัวเรือนในปี พ.ศ. 2553 ได้รับการประเมินโดยใช้ข้อมูลจากรายงานสถิติประชากรประจำปี 2551 ของกรมบริหารราชการจังหวัด (DOPA, 2008) การคาดการณ์จำนวนครัวเรือนได้ดำเนินไปเป็นเวลา 20 ปีข้างหน้า โดยสมมติว่าสมาชิกในครอบครัวลดลงเป็นเส้นตรงจาก 4.0 คนต่อครัวเรือนในปี 2553 เป็น 3.5 คนต่อครัวเรือนในปี พ.ศ. 2573 อัตราการเติบโตของประชากรคิดเป็นอัตราร้อยละ 0.3 ต่อปี ตารางที่ 2.6 แสดงผลการฉายภาพที่อาคารถูกจัดแบ่งเป็นบ้านพักอาศัย (RES) และอาคารพาณิชย์ขนาดเล็ก (SMS) แต่ละแห่งซึ่งแยกออกจากกันภายในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล สังเกตได้ว่าแม้ว่าจำนวนประชากรไทยจะเพิ่มขึ้นไม่มากนักในช่วงที่มีการพิจารณาจำนวนครัวเรือนทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเกือบร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2573 บ้านในเขตเทศบาลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 ของทั้งหมดในปี พ.ศ. 2553 เป็นประมาณร้อยละ 60 ในปีพ.ศ. 2573

ตารางที่ 2.6 อาคารถูกจัดแบ่งเป็นบ้านพักอาศัย (RES) และอาคารพาณิชย์ขนาดเล็ก (SMS) แต่ละแห่งซึ่งแยกออกจากกันภายในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล

Million

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2025	2030
Residential houses (RES)									
Municipal	5.44	5.60	5.77	5.95	6.13	6.31	7.34	8.55	9.96
Non-municipal	8.05	8.01	7.96	7.91	7.86	7.80	7.43	6.91	6.23
Total	13.49	13.61	13.73	13.86	13.98	14.11	14.77	15.46	16.19
Small commercial buildings (SMC)									
Municipal	1.59	1.64	1.69	1.74	1.80	1.85	2.15	2.51	2.92
Non-municipal	0.94	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.87	0.81	0.73
Total	2.54	2.58	2.62	2.67	2.72	2.76	3.02	3.32	3.65
RES&SMC	**16.03**	**16.19**	**16.36**	**16.53**	**16.70**	**16.88**	**17.79**	**18.77**	**19.84**

ที่มา: Review of Features of and Energy Use in Medium and Low Income Housings in Thailand (2014)

ในประเทศไทยพลังงานที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัยจะปรากฏในรูปแบบต่างๆ เช่น ไฟฟ้า, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ถ่านและ ไม้เชื้อเพลิง สามชนิดเชื้อเพลิงล่าสุดถูกนำมาใช้โดยทั่วไปสำหรับการทำอาหาร อย่างไรก็ตามการปรุงอาหารโดยการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบชีวิต

การใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยแตกต่างกันไปและมีอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น เครื่องใช้ในครัวเรือนการใช้ชีวิต วิถีชีวิต, รายได้ส่วนบุคคล ฯลฯ จากการสำรวจความคิดเห็นของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2012) ตารางที่ 2.7 แสดงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในอาคารที่พักอาศัย ตารางแสดงการใช้ไฟฟ้าโดยอธิบายถึงร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ที่จัดขึ้นตามกิจกรรมเช่น แสงสว่าง การทำอาหาร ความบันเทิง สิ่งอำนวยความสะดวกและ อื่นๆ

อุปกรณ์ในแต่ละประเภทกิจกรรมสามารถระบุได้ดังนี้:

- ประเภทแสงสว่าง : หลอดไฟนีออน และ หลอดไส้,
- หมวดทำอาหาร: หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เตาไฟฟ้า เตา LPG กระทะไฟฟ้า เตาอบ ไมโครเวฟ เครื่องปั่นน้ำผลไม้เครื่องปิ้งขนมปังและ กาต้มน้ำไฟฟ้า
- ประเภทความบันเทิง : โทรทัศน์ สเตอริโอ เครื่องเล่นวีซีดี / ดีวีดี วิทยุและ คอมพิวเตอร์
- สิ่งอำนวยความสะดวก : พัดลม เครื่องปรับอากาศ เครื่องดูดฝุ่น เครื่องซักผ้า เครื่องทำน้ำอุ่น ปั๊มน้ำไฟฟ้า ตู้เย็นและตู้แช่แข็ง

ตารางที่ 2.7 แสดงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในอาคารที่พักอาศัย

Activity	Appliance	Share of energy used in residential house		Share of energy used in small commercial building	
		Municipal	Non-municipal	Municipal	Non-municipal
Lighting	Fluorescent lamp	11.93	15.64	11.46	8.73
	Incandescent lamp	0.52	0.86	0.26	0.29
Cooking	Electric rice cooker	4.25	7.31	2.93	3.47
	Electric stove	0.29	0.21	0.33	0.02
	Electric frying pan	1.24	0.99	0.54	0.66
	Microwave	0.97	0.34	0.49	0.1
	Oven	0.28	0.31	0.17	0.03
	Electric kettle	3.69	4.62	2.54	2.55
	Blender juice	0.12	0.19	0.19	0.25
	Toaster	0.26	0.32	0.1	0
Entertainment	TV	8.26	10.67	5.22	5.06
	VDO/VCD player	0.26	0.31	0.19	0.15
	Stereo	5.39	5.27	3.22	3.39
	Radio	0.38	0.58	0.25	0.2
	Computer	2.34	0.94	10.35	1.09
Amenity	Fan	6.09	7.13	3.97	3.66
	Wall fan	1.06	0.97	1.45	1.16
	Floor air-conditioning	12.83	2.9	7.7	2.66
	Wall air-conditioning	10.38	2.88	5.8	0.97
	Vacuum cleaner	0.52	0.2	0.33	0.1
	Washing machine	1.4	1.17	0.91	0.79
	Water heater	7.12	2.42	1.81	1.25
	Iron	5.23	7.16	3.27	3.56
	Electric water pump	1.81	6.06	1.12	2.71
	Refrigerator	9.17	14.9	5.49	6.8
	Freezer	0.61	1.03	21.3	34.33
Other		3.59	4.65	8.62	16.03
Total		100	100	100	100

ที่มา: Review of Features of and Energy Use in Medium and Low Income Housings in Thailand (2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สามารถสังเกตได้ว่าประเภทอาคารที่อยู่อาศัยทั้งหมด สิ่งอำนวยความสะดวกเป็นกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุด ใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 46.8-58.0 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็นเป็นผู้บริโภคพลังงานรายใหญ่ในกิจกรรมนี้ รองลงมาการใช้ไฟฟ้าเพื่อความบันเทิง โทรทัศน์และเครื่องเสียง ส่วนแบ่งการบริโภคในกิจกรรมนี้อยู่ที่ร้อยละ 9.9 ถึง 19.2 ตามลำดับ สำหรับแสงสว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์มักใช้กับหลอดไส้ขนาดเล็ก หลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้พลังงานร้อยละ 8.7-15.6

ตารางที่ 2.8 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสำหรับประกอบอาหารตาม

Energy source	Average annual energy demand for cooking (Unit/household /year)				Unit
	Residential house		Small Commercial building		
	Municipal	Non-municipal	Municipal	Non-municipal	
Electricity	211	354	245	546	kWh
LPG	82	180	103	320	kg
Fuel wood	32	568	6	246	kg
Charcoal	42	649	155	390	kg

ที่มา: Review of Features of and Energy Use in Medium and Low Income Housings in Thailand (2014)

ตารางที่ 2.9 จากตารางการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคารที่พักอาศัยคือ 43,006 GWh ต่อปี กิจกรรมด้านพลังงานใช้พลังงานไฟฟ้า 22,262 GWh ต่อปีคิดเป็นร้อยละ 52 ของการบริโภคทั้งหมด พลังงานไฟฟ้าเพื่อความบันเทิงเป็นปริมาณการบริโภคที่ใหญ่เป็นอันดับสองในปริมาณ 7,030 GWh ต่อปี แต่เพียงหนึ่งในสามของกิจกรรมด้านความอำนวยความสะดวก บ้านที่อยู่อาศัยใช้พลังงานมากกว่าอาคารพาณิชย์ขนาดเล็กเนื่องจากมีที่อยู่อาศัยจำนวนมาก สำหรับประเทศไทยบ้านพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ขนาดเล็กนอกเขตเทศบาลยังคงใช้พลังงานมากกว่าเทศบาลเมือง

ตารางที่ 2.9 ปริมาณการบริโภคพลังงานของอาคารที่พักอาศัยและอาคารที่ไม่ใช่ที่พักอาศัยในประเทศไทย ปี ค.ศ. 2010

Activity	Energy	Residential house		Small commercial building		Total (2010)
		Municipal	Non-municipal	Municipal	Non-municipal	
Lighting	Electricity (GWh)	1,288	3,294	638	655	**5,875**
Cooking	Electricity (GWh)	1,149	2,852	391	514	**4,906**
	LPG (1,000 tons)	443	1,452	164	301	**2,360**
	Fuel wood (1,000 tons)	172	4,573	10	231	**4,986**
	Charcoal (1,000 tons)	228	5,224	247	368	**6,067**
Entertainment	Electricity (GWh)	1,719	3,546	1,047	718	**7,030**
Amenity	Electricity (GWh)	5,817	9,346	2,891	4,208	**22,262**
Other	Electricity (GWh)	371	928	470	1,164	**2,933**

ที่มา: Review of Features of and Energy Use in Medium and Low Income Housings in Thailand (2014)

ผลแสดงให้เห็นว่าภาคที่อยู่อาศัยส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปสู่บรรยากาศที่ 7,133 ตันคาร์บอน สิ่งอำนวยความสะดวกและ การทำอาหารเป็นกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 2,714 และ 2,488 ตันคาร์บอนต่อปีตามลำดับ ปริมาณนี้คิดเป็นร้อยละ 73 ของการปล่อย CO_2 ทั้งหมดจากภาคอุตสาหกรรม พลังงานสำหรับแสงสว่างและความบันเทิงร่วมกันปล่อย CO_2 ที่ 1,575 ตันคาร์บอนต่อปีหรือร้อยละ 22 ของการปล่อย CO_2 ทั้งหมด

ตารางที่ 2.10 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคอาคารที่อยู่อาศัย

Fuel	Emission					
	CO_2	CH_4	N_2O	NOX	CO	NMVOC
	Ton, C	kg	kg	kg	kg	kg
Year 2010						
Lighting	717	40	17	7,347	774	194
Cooking	2,488	139	486	13,903	1,702	447
Entertainment	858	47	21	8,793	927	232
Amenity	2,714	150	65	27,822	2,932	735
Other	357	20	9	3,660	386	97
Total	**7,133**	**396**	**597**	**61,524**	**6,721**	**1,705**

ที่มา: Review of Features of and Energy Use in Medium and Low Income Housings in Thailand (2014)

การใช้พลังงานในระบบต่างๆ ของสถานศึกษา

สถานศึกษาส่วนใหญ่จะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักเพื่อกิจกรรมการเรียน การสอน และกิจกรรมอื่นๆ จากข้อมูลที่รวบรวมจากรายงานการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานที่สถานศึกษาส่งให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถานศึกษาส่วนใหญ่ในระบบปรับอากาศ ร้อยละ 40-60 รองลงมาได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ร้อยละ 10-30 และระบบ/อุปกรณ์ อื่นๆ 5-20 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4 ดัชนีการใช้พลังงาน

ดัชนีการใช้พลังงาน หรือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) เป็นดัชนีที่ใช้วัดว่าสถานศึกษามีการใช้พลังงานอยู่ในระดับใด เช่น สูงหรือต่ำ หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ดีหรือควรปรับปรุง นอกจากนั้นยังช่วยให้สามารถเห็นถึงโอกาสหรือศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะนำไปสู่การหามาตราการอนุรักษ์พลังงานที่สมควรนำมาใช้ เช่น มาตรการควบคุมดูแลการใช้พลังงาน หรือมาตรการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธาพต่ำ

ค่าดัชนีการใช้พลังงานในสถานศึกษา สามารถหาได้จากการนำปริมาณพลังงานที่ใช้ซึ่งส่วนใหญ่ คือ พลังงานไฟฟ้ามีหน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ที่รวบรวมได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าในรอบ 12 เดือน หรือ 1 ปี (หรือในรอบ 1 เดือน แล้วแต่กรณี) หารด้วยพื้นที่ใช้สอยของอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2) ดังสูตร

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{พลังงานฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ – ชั่วโมง/ปี)}}{\text{พื้นที่ใช้สอยของอาคาร (ตารางเมตร)}}$$

การวิเคราะห์หาค่าดัชนีเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร ได้ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารควบคุมของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งทำการตรวจวัดการใช้พลังงานรวมทั้ง อาคารและการใช้พลังงานแยกตามระบบ เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ เป็นต้น โดยได้พิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อดัชนี เพื่อต้องการให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานมีความถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่ใช้สอยรวมอาคาร พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร ปริมาตรอาคาร และจำนวนคนที่ทำงานในอาคารสำนักงาน โดยได้กำหนดดัชนีเกณฑ์การใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงาน และดัชนีการใช้พลังงานแยกตามระบบ ดังนี้

ตารางที่ 2.11 สูตรการคำนวณดัชนี

ดัชนี	สูตร	หน่วย
1. การใช้พลังงานรวม	$SEC = \frac{\text{การใช้พลังงานของอาคารต่อปี (kWh /ปี)}}{\text{\% Occupancy x พื้นที่ใช้สอย } (m^2)}$	kWh/ปี/m^2
2. การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	$SEC_{AC\text{-}AREA} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศต่อปี } (kWh_{AC}/ปี)}{\text{\% Occupancy x พื้นที่ปรับอากาศ } (m^2)}$	kWh/ปี/m^2
3. การใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง	$SEC_{LT} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแสงสว่างต่อปี } (kWh_{LT}/ปี)}{\text{\% Occupancy x พื้นที่ใช้สอย } (m^2)}$	kWh/ปี/m^2
4. การใช้พลังงานในระบบลิฟต์	$SEC_{L} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบลิฟต์ } (kWh_{L}/ปี)}{\text{จำนวนคน x ความสูงของอาคาร (m)}}$	kWh/ปี/คน-ความสูงตึก

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2557

คำจำกัดความ ของการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานของระบบต่างๆแสดงได้ดังนี้

การใช้พลังงานของอาคารต่อปี คำนวณได้จากผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากบิลค่าไฟฟ้า 12 เดือน

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ คือ พลังงานที่ได้จากการตรวจวัดอุปกรณ์ทั้ง หมดของระบบปรับอากาศในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วมาคำนวณให้เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแสงสว่าง คือ พลังงานที่ได้จากการตรวจวัดวงจรไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดของ อาคารไม่รวมพื้นที่จอดรถในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วมาคำนวณให้เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบลิฟต์ คือ พลังงานที่ได้จากการตรวจวัดลิฟต์ทุกตัวของอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วมาคำนวณให้เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปี

พื้นที่ใช้สอยรวม คือพื้นที่ทั้ง หมดในอาคารไม่รวมพื้นที่จอดรถ

พื้นที่ปรับอากาศ คือ พื้นที่ที่มีระบบปรับอากาศทั้งหมดของอาคาร

%Occupancy คือ สัดส่วนของพื้นที่ใช้สอยจริงเฉลี่ยทั้ง ปีของอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด

จำนวนคน คือ จำนวนพนักงานที่ทำงานในอาคารเท่านั้น

ความสูงตึก คือ ความสูงจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงพื้นดาดฟ้า

จากผลการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานทั้ง 5 ค่า ได้ทำการคัดเลือกดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อการนำเสนอเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร และสามารถใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ ครอบคลุมประเภทอาคารสำนักงานต่างๆ ได้ ซึ่งได้ใช้เกณฑ์ในการพิจารณาจาก

(1) ดัชนีการใช้พลังงานต้องเป็นค่าที่นิยมใช้เป็นมาตรฐาน เช่น การใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอย เป็นต้น

(2) ดัชนีการใช้พลังงานต้องประกอบด้วยระบบที่มีการใช้พลังงานมากในสำนักงาน ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบลิฟต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(3) เมื่อนำค่าการใช้พลังงานรวม พลังงานที่ใช้ในระบบต่างๆ และพื้นที่ใช้สอยมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้ พลังงานด้วยวิธี Linear Regression ค่าดัชนีดังกล่าวต้องมีค่าความเชื่อมั่นสูง (R^2 ใกล้เคียง 1)

ค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ได้จึงหมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ1ปี ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2-ปี) ซึ่งใช้เป็นข้อบ่งชี้ได้ว่าสถานศึกษามีการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์สูงหรือต่ำอย่างไร หากอยู่ในเกณฑ์สูงบ่งชี้ได้ว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากหรือใช้อย่างไม่มีประสิทธิภาพดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของสถานศึกษา

กลุ่มของสถานศึกษา	**ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/m^2-ปี)**		
	ค่าต่ำที่สุด	**ค่าสูงที่สุด**	**ค่าเฉลี่ย**
กลุ่มสถาบันอุดมศึกษา หรือ มหาวิทยาลัย			
ภาครัฐ	14.84	60.37	36.42
พื้นที่ต่ำกกว่า 50,000 ตารางเมตร	23.65	81.20	45.43
พื้นที่ระหว่าง 50,001-100,000 ตาราง เมตร	37.56	57.21	46.51
พื้นที่ตั้งแต่100,001 ตารางเมตร ขึ้นไป	85.43	137.99	110.47
ภาคเอกชน	55.32	237.22	112.92
พื้นที่ต่ำกกว่า 50,000 ตารางเมตร			
พื้นที่ระหว่าง 50,001 ตารางเมตร ขึ้นไป			
กลุ่มวิทยาลัยเทคนิค โรงเรียน พาณิชยการ และโรงเรียนมัธยมศึกษา			
พื้นที่ต่ำกว่า 50,000 ตารางเมตร	15.87	73.05	29.83
สถานบันการศึกษาอื่นๆ	26.45	74.93	50.69

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.13 ค่าดัชนีการใช้พลังงานแยกตามกลุ่มประเภทอาคาร

ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อปริมาตรปรับอากาศ (SEC_{AC-VOL})(เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
อาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	51.70	kWh/ปี/m^3	0.71
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	55.26		0.88
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	40.26		0.84
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	52.03		0.52
ชนิดระบบปรับอากาศ	Water-Cooled Chiller	9	38.37	kWh/ปี/m^3	0.81
	Air-Cooled Chiller	1	58.76		-
	Package A/C	10	63.17		0.70

ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ ($SEC_{AC-AREA}$) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
แยกตามลักษณะต่าง ๆ ของอาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	135.32	kWh/ปี/m^2	0.72
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	137.24		0.89
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	107.11		0.80
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	136.14		0.53
ชนิดระบบปรับอากาศ	Water-Cooled Chiller	9	103.11	kWh/ปี/m^2	0.79
	Air-Cooled Chiller	1	143.96		-
	Package A/C	10	164.95		0.70

ดัชนีการใช้พลังงาน		จำนวนอาคาร	SEC	หน่วย	R^2
ดัชนีการใช้พลังงานรวม (SEC) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
ดัชนีการใช้พลังงานรวม		20	209.90	kWh/ปี/m^2	0.84
ดัชนีการใช้พลังงานรวมแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	215.80	kWh/ปี/m^2	0.86
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	199.90		0.91
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	218.50		0.84
ดัชนีการใช้พลังงานรวมแบ่งตามประเภทธุรกิจ	อาคารราชการ	2	143.82	kWh/ปี/m^2	-
	อาคารเอกชน	18	212.37		0.84
ดัชนีการใช้พลังงานรวมแบ่งตามลักษณะการใช้อาคาร	อาคารให้เช่า	13	227.20	kWh/ปี/m^2	0.89
	ใช้เองทั้งหมด	7	141.63		0.70

ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง (SEC_{LT}) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
อาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	28.53	kWh/ปี/m^2	0.85
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	27.88		0.60
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	25.10		0.99
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	29.85		0.85

ดัชนีการใช้พลังงานในระบบลิฟต์ (SEC_L) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
อาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	2.28	kWh/ปี/คน-ความสูง	0.94
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	2.22		0.70
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	3.37		0.65
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	2.27		0.92

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2560

2.5 วัสดุก่อสร้างอาคาร

โครงสร้างอาคาร

โครงสร้างอาคาร เริ่มต้นตั้งแต่การออกแบบไปจนถึงการทำลายโครงสร้าง วัฏจักรชีวิตของโครงสร้างอาคารจะใช้เวลานานขึ้นอยู่กับการงานอาคาร วัฏจักรชีวิตของโครงสร้างสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก็ควรต้องพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างอาคารด้วยเช่นกันและการพิจารณาผลกระทบต่างๆ ในวัฏจักรชีวิตจะเรียกว่า Life Cycle Assessment (LCA) “การประเมินกิจกรรมตลอดอายุการใช้งาน” โดยจะหมายถึงการรวบรวมข้อมูลและประเมินสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น การพิจารณาอายุการใช้งานของโครงสร้าง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการกระทำต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้าง (Construction) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการทำลาย (Demolition) ที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานโครงสร้าง เป็นต้น ในทางปฏิบัติแล้ว การประเมินกิจกรรมตลอดอายุการใช้งานสามารถทำได้โดยการแยกการกระทำต่างๆ ต่อโครงสร้างเป็นหลายๆ ขั้นตอน เช่น การพิจารณาสถานที่ก่อสร้าง การออกแบบ การใช้ทรัพยากรการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างรวมไปถึงการบำรุงรักษา (Maintenance) ในระยะต่างๆเป็นต้น หลังจากนั้นจึงทำการพิจารณากิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง แล้วจึงทำการประเมินประเภทผลกระทบ (Impact Category) ต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกิจกรรม ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 แสดงผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการบำรุงรักษาโครงสร้าคอนกรีตด้วยวิธีการปะซ่อม (Patch Repair) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ประเภทผลกระทบที่พิจารณามีอยู่ 3 ประเภท ซึ่งเกิด เนื่องจาก 5 กิจกรรมหลัก ส่วนตารางที่ 3.11 แสดงผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอน การบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตด้วยวิธีการใช้สารทึบผิวคอนกรีต (Surface Treatment) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ประเภทผลกระทบที่พิจารณามีอยู่ 3 ประเภท ซึ่งเกิดจาก 4 กิจกรรมหลัก (Arskog และ Gjorv , 2004)

ตารางที่ 2.14 ผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการบำรุงรักษาด้วยวิธีปะซ่อม

กิจกรรม	ประเภทผลกระทบ (Impact Category)		
	พลังงานที่ใช้โดยประมาณ (MJ/m^2)	การก่อให้เกิดโลกร้อน ($g\ CO_2\ eq/m^2$)	การเกิดสภาวะกรด ($g\ SO_2\ eq/m^2$)
การสกัดผิวด้วยวิธี Hydro Jetting	677	84000	75
การทำความสะอาดเหล็กเสริมด้วยวิธี sand Blasting	296	22000	4
การเคลือบสารป้องกันที่ผิวเหล็กเสริม	35	1400	19
การปะคอนกรีตด้วยวิธี Shortcreting	59	4400	19
การขนส่ง (60 กม.)	127	10000	8
รวม	1194	122000	125

ที่มา Life-Cycle Assessment of Repair and Maintenance Systems for Concrete Structures (2004).

จากตารางที่2.15 จะพบว่าการผลิต ก่อสร้างและทำลายจะมีผลทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าการบำรุงรักษาประมาณ 11-14 เท่าในรัฐมินเนียโปลิศและประมาณ 5-7 เท่าในรัฐแอตแลนตา ถ้าเปรียบเทียบระหว่างโครงบ้านไม้ เหล็ก และคอนกรีต พบว่าอัตราส่วนการก่อให้เกิดโลกร้อนเนื่องจากการผลิต ก่อสร้างและทำลาย ประมาณเท่ากับ 1:1.26:1.31 ส่วนในการบำรุงรักษาจะ เป็น 1:1:1

ตารางที่ 2.15 ผลการปล่อยคาร์บอนไดออกไซค์จากช่องการใช้งานอาคาร

กิจกรรม	การก่อให้เกิดโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอน (ton)			
	รัฐมินเนียโปลิศ		รัฐแอตแลนตา	
	โครงบ้านไม้	โครงบ้านเหล็ก	โครงบ้านไม้	โครงบ้านคอนกรีต
การผลิตก่อสร้างและทำลาย	37.1	46.8	21.4	28
การบำรุงรักษา	3.4	3.4	4.1	4.1
อัตราส่วนการบำรุงรักษาต่อการผลิตก่อสร้างและทำลาย	1:10.9	1:13.8	1:5.2	1:6.8

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ที่มา: Life-Cycle Environmental Performance Renewable Building Materials (2004).

วัสดุก่อสร้าง

สำหรับการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Energy Analysis: LCEA) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้าง (Embodied Energy) ไม่อาจมองข้ามไปได้จากการทำสมดุลพลังงาน (LCE Balance) รวมถึงเมื่อมีการรีไซเคิลวัสดุก่อสร้างจะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 8.9% (Kofoworola. และคณะ., 2009) ซึ่งปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.16 ส่วนข้อมูลการปล่อยออกของวัสดุก่อสร้างสามารถแสดงดังตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.16 พลังงานสะสมรวม (Embodied Energy) ของวัสดุก่อสร้าง

วัสดุก่อสร้าง	MJ/kg[a]	MJ/kg[b]
กระเบื้องเซรามิก	2.20	2.5
หินแกรนิต	0.70	
อิฐ	1.86	0.97
ยิปซั่ม	3.31	4.4
อลูมิเนียม (สกัดใหม่)	216.50	197-227
ไม้อัด	8.50	10.4
ปูนซีเมนต์	0.20	0.1
กระจก	17.10	15.9
คอนกรีตผสมเสร็จ (17.5 MPa)	1.30	1.0-1.6
เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต	11.10	8.9
เหล็กโครงสร้าง	22.10	35
ลวดผูกเหล็ก	13.30	12.5
ปูนซีเมนต์ผง	3.60	5.8[b], 1.7-4.7[c]
ปูนขาวผสมซีเมนต์	1.20 (Fine), 1.4 (LWB), 3.2 (LWB, Bricklaying), 1.0 (Normal Bricklaying), 1.1 (General Plastering)	2
สีน้ำมัน	81.50	88.5 (Water), 90.4 (General), 95.4 (Polypropylene), 98.1 (Solvent)
ทราย	0.1	0.1

ที่มา: Kofoworola. และคณะ., (2009)

ตารางที่ 2.17 ข้อมูลการปล่อยมลพิษของวัสดุก่อสร้าง

วัสดุก่อสร้าง	t-CO_2 eq/Baht	t-SO_2 eq/Baht	t-C_2H_4 eq/Baht
กระเบื้องเซรามิก	1.2614E-05	7.06341E-07	1.24336E-08
หินแกรนิต	2.1092E-05	4.86349E-07	9.59945E-09
กระเบื้องไวนิล	1.1578E-05	6.26746E-07	1.74583E-08
อิฐ	2.8396E-05	7.49718E-07	1.79165E-08
ปูนฉาบผนัง	4.5044E-06	1.13819E-06	1.61232E-08
ยิปซั่ม	1.1248E-05	3.71803E-07	1.48949E-08
อลูมิเนียม	3.5433E-06	2.13622E-07	6.73871E-09
สี	1.2293E-05	5.2572E-07	1.45153E-08
ไม้	1.603E-06	2.88267E-07	5.61752E-09
ปูนซีเมนต์	1.1248E-05	3.71803E-07	1.48949E-08
พื้นหินขัด/พื้นหินอ่อน	4.5044E-06	1.13819E-06	1.48949E-08
คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป	4.5044E-06	1.13819E-06	1.61232E-08
สเตนเลสสตีล	6.6398E-06	5.32445E-07	1.04928E-08
กระจก	3.7137E-05	1.03293E-06	1.91681E-08
คอนกรีตผสมเสร็จ	1.951E-04	3.25873E-06	3.85205E-08
เหล็กโครงสร้าง	2.5842E-05	1.44828E-06	2.63157E-08
ลวดผูกเหล็ก	8.055E-06	9.2302E-07	1.58452E-08
เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต	2.5842E-05	1.44828E-06	2.63157E-08

ที่มา: (Kofoworola, O.F. และคณะ., 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.18 เป็นข้อมูลการสอบถามผู้รับเหมาก่อสร้างและ ผู้ควบคุมการก่อสร้างอาคารถึงวิธีการจัดการกับขยะที่เกิดจากการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยว่ามีการจัดการกับขยะที่เกิดขึ้นอย่างไร องค์ประกอบหลักของขยะจากการก่อสร้างในประเทศไทยตามที่ได้จากการศึกษาขยะสิ่งก่อสร้างของ (Chanchorn, 2002) คือ การเหล็กเสริมคอนกรีต, ไม้, คอนกรีต, ซีเมนต์, อิฐและกระเบื้อง การสร้างของเสียในสถานที่ก่อสร้างอาจเกิดจากการขาดความสนใจในการใช้งานกับผลิตภัณฑ์ ขาดความสนใจของผู้รับเหมาและการขาดความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้าง การวางแผนในระหว่างการออกแบบ ปัจจัยอื่น ๆ เช่น การจัดการวัสดุที่ไม่ดีซึ่งอาจนำไปสู่ชิ้นส่วนที่เสียหาย

(เช่น อิฐ) ประมาณร้อยละ 1 ถึง 10 โดยน้ำหนักของวัสดุก่อสร้างที่ซื้อมา ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ จะเหลือเป็นของเสีย โดยทั่วไปขยะก่อสร้างสามารถนำไปรีไซเคิลหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ร้อยละ 50-80 (Ferguson และคณะ., 1995)

ตารางที่ 2.18 การศึกษาวิธีการจัดการกับขยะจากการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน

ชนิดของขยะจากการก่อสร้างอาคาร	วิธีการจัดการในปัจจุบัน
1.เศษ	• ขายให้แก่อุตสาหรรม ที่มีความต้องการการใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง เช่น โณงงานทำขนมจีน โรงหล่อ • การเผา เพื่อกำจัดและลดปริมาณขยะ • รวมกับขยะก่อสร้างอื่นๆ ก่อนส่งกำจัด • แจกจ่ายให้คนงานและชาวบ้านให้ทำเชื้อเพลิง
2.เศษเหล็กและอลูมิเนียม	• ขายให้ร้านรับซื้อของเก่า โดยมีอัตราราคาขายอยู่ที่ เหล็กรูปตัว C 2-3บาท/กิโลกรัม เหล็กกลม 2-3 บาท/กิโลกรัม เหล็กข้ออ้อย 4 บาท/กิโลกรัม อลูมิเนียม 20-25 บาท/กิโลกรัม
3.เศษอิฐ, หิน, ดิน, กรวด, ทราย, กระเบื้อง และคอนกรีต	• รวบรวมและส่งกำจัด • นำไปใช้ในการปรับพื้นที่
4.เศษอุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น ถังตักปูน พลาสติก และ เครื่องสานรูปคล้ายเปลือกหอยแครง (บุ้งกี๋)	• ขายให้รับร้านรับซื้อของเก่า • รวบรวมและส่งกำจัด
5.บรรจุภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง เช่น ถุงใส่ปูนซีเมนต์	• นำไปใช้บรรจุเศษวัสดุที่จะนำไปกำจัด • รวบรวมและส่งกำจัด
6.สีทาบ้านและสีน้ำมัน	• เททิ้งลงท่อระบายน้ำ • รวบรวมและส่งกำจัด
7.ถังใส่สี	• รวบรวม ขายให้ร้านรับซื้อของเก่า • แจกจ่ายให้คนงานนำไปเป็นภาชนะใส่น้ำ

ที่มา : Chanchorn (2002)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการประเมินปริมาณของเสียจากการก่อสร้างมีข้อสมมติฐานดังต่อไปนี้: (ก) อาคารที่อยู่อาศัยใหม่สร้างขยะ 21.38 กิโลกรัม/ตารางเมตรและ (ข) อาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยใหม่สร้างขึ้น 18.99 กก. / ตารางเมตร (HQ Air Force Center for Environmental Excellence, 2006).

ตารางที่ 2.19 ข้อมูลขยะวัสดุก่อสร้างในประเทศไทย ปี ค.ศ. 2002-2005

	2002	2003	2004	2005
Total number of construction permits[a]	174,909	245,448	284,026	268,293
Total area construction (10^6 m^2) [a]	37.48	54.64	66.96	62.01
Total construction waste generated (10^6 tons) [b]	0.77	1.13	1.38	1.28
Total population of Thailand (10^6 persons) [c]	63.4	63.9	64.5	65.0
Estimated construction waste generation (kg/cap)	12.2	17.7	21.5	19.7

ที่มา : National Statistics Organization of Thailand (2007).

ตารางที่ 2.20 ปริมาณขยะวัสดุก่อสร้างโดยประมาณของประเทศไทย ตั้งปี ค.ศ.2002-2005

No	Material	(10^3 tons)				Average (%)
		2002	2003	2004	2005	
1	Asbestos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Hazardous waste	1.8	2.6	3.2	2.9	0.0
3	Concrete/bricks	354.8	517.2	634.1	586.7	46.0
4	Gypsum	48.4	70.6	86.5	80.1	6
5	Glass	3.6	5.3	6.5	6.0	0.0
6	Insulation/EPS	14.5	21.1	25.9	24.0	2.0
7	Metal	10.2	14.9	18.3	16.9	1.0
8	Paper/cardboard/plastics	34.9	50.8	62.3	57.6	5.0
9	Wood	105.9	154.4	189.2	175.1	14.0
10	Unknown composition	200.6	292.4	358.4	331.6	26.0

ที่มา : National Statistics Organization of Thailand (2007).

ปริมาณขยะวัสดุก่อสร้าง แบ่งได้ 10 ประเภท โดยปริมาณมากสุดได้แก่ คอนกรีตและอิฐ เท่ากับร้อยละ 46 รองลงมาเป็น วัสดุที่ไม่สามารถระบุ ร้อยละ 26 เนื่องจากประเทศไทยไม่มีการจัดการขยะที่เป็นระบบและมีการละเลย ทำให้มีขยะจำนวนมากที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากการไม่คัดแยก และไม่มีการจัดการขยะทำให้สูญเสียทรัพยากรไปอย่างเสียเปล่า

2.6 ราคากลางการก่อสร้าง

BOQ หรือ Bill of Quantities คือ เอกสารแสดงราคากลางในการก่อสร้างที่ใช้ในขั้นตอนการหาผู้รับเหมาก่อนที่จะทำการก่อสร้าง รายละเอียดด้านในจะเป็นรายการที่แสดงปริมาณงานและราคาวัสดุก่อสร้างที่ถอดมาจากแบบก่อสร้างทั้งหมด ทั้งจากแบบสถาปัตยกรรม แบบวิศวกรรมโครงสร้าง และแบบวิศวกรรมงานระบบต่างๆ ซึ่งจะแยกเป็นหมวดหมู่งานอย่างละเอียด เช่น งานเตรียมพื้นที่ งานโครงสร้าง (ฐานราก คาน เสา พื้น และโครงหลังคา) งานมุงหลังคา งานฝ้าเพดาน งานผนัง งานพื้น งานทาสี งานระบบไฟฟ้า งานประปาและสุขาภิบาล เป็นต้น โดยจะแจกแจงเป็นรายการต่างๆ ในแต่ละหมวด พร้อมทั้งมีการระบุประเภท ขนาด ราคาของวัสดุ ปริมาณหรือพื้นที่ที่ใช้ รวมถึงค่าแรงในแต่ละรายการเอาไว้ด้วย โดยปกติสถาปนิกจะเป็นผู้จัดทำให้ตามที่ระบุไว้ในสัญญาว่าจ้าง แต่ถ้าหากไม่มีระบุไว้ในสัญญา เราควรจัดหาผู้เชี่ยวชาญให้เป็นผู้จัดทำโดยให้สถาปนิกจะเป็นผู้ช่วยตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้องอีกที

เมื่อเจ้าของโครงการและทำการยื่นแบบก่อสร้างเพื่อขออนุญาตก่อสร้างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ระหว่างนี้เจ้าของโครงการสามารถหาผู้รับเหมามาก่อสร้างไปด้วยได้ โดยต้องเตรียม BOQ เอาไว้ เพื่อใช้ในการประกวดราคาหาผู้รับเหมา ซึ่งผู้รับเหมาที่เข้าร่วมประกวดราคาจะต้องผ่านเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกในด้านต่างๆ ในขั้นต้นตามที่กำหนดไว้แล้ว BOQ จะเป็นเอกสารสำคัญที่สถาปนิกและเจ้าของโครงการใช้เปรียบเทียบราคาก่อสร้างจากผู้รับเหมาแต่ละรายที่เข้าร่วมการประกวดราคา โดยผู้รับเหมาจะได้รับ Blank BOQ ซึ่งเป็นเอกสารชุดเดียวกับ BOQ เพียงแต่จะเว้นว่างในช่องราคาค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าดำเนินการ กำไร และภาษีไว้ให้กรอกและเมื่อได้ผู้รับเหมามาสร้างบ้านให้เราแล้ว เอกสารตัวนี้จะเป็นตัวควบคุมและตรวจสอบงบประมาณในการก่อสร้าง เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณหรือชนิดวัสดุก่อสร้างที่ระบุเอาไว้ได้ นอกจากนี้หน้าที่สำคัญของ BOQ ยังช่วยคุมการวางแผนซื้อและจัดส่งสินค้าให้ทันตามกำหนดการก่อสร้างอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.21 ตัวอย่างเอกสารแสดงราคากลางในการก่อสร้าง

ลำดับที่	รายการ	หน่วย	หมายเหตุ
	กลุ่มงานที่ 1		
1.1	**งานโครงสร้างวิศวกรรม**		
	1.1.1 งานเจาะสำรวจดิน	งาน	
	1.1.2 งานถมดิน	ลบ.ม.	ถมดินพร้อมก่อสร้าง
	1.1.3 งานขุดดินฐานรากและถมคืน	ลบ.ม.	
	1.1.4 งานขุดดิน	ลบ.ม.	
	1.1.5 งานขุดดินโครงสร้างอื่นๆ	ลบ.ม.	
	1.1.6 งานวัสดุรองก้นฐานราก	ลบ.ม.	
	1.1.7 งานคอนกรีตรองก้นฐานราก	ลบ.ม.	
	1.1.8 งานเสาเข็ม	ต้น	
	- เสาเข็ม I 0.22 x 0.22 x 10.00 ม.	ต้น	
	- เสาเข็มขนาด....	ต้น	
	- งานตอกเสาเข็มไม้	ต้น	
	- งานตอกเสาเข็ม ค.ส.ล.	ต้น	
	- งานตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง	ต้น	
	- งานเข็มเจาะ	ต้น	
	- งานทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม	จุด	
	- งานสกัดหัวเสาเข็ม	ต้น	
	- อื่นๆ (ถ้ามีให้ระบุ.....)		
	1.1.9 งานแบบหล่อคอนกรีต	ตร.ม	
	- ค่าแรงแบบหล่อคอนกรีต	ตร.ม.	
	- ค้ำยันแบบหล่อคอนกรีต	ลบ.ฟ.	
	- เสาค้ำ	ต้น	
	- ไม้ใช้ทำไม้แบบ	ลบ.ฟ.	
	- ไม้คร่าว	ลบ.ฟ.	
	- ไม้ค้ำยัน	ต้น	
	- ตะปู	กก.	
	- อื่นๆ (ถ้ามีให้ระบุ.....)		

2.7 คุณลักษณะอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การก่อสร้างอาคารและ การใช้งานอาคาร อาจส่งผลกระทบทั้งโดยตรงและ ทางอ้อม ต่อสิ่งแวดล้อม, สังคม และเศรษฐกิจ โดยทั่วไปจะเรียกว่า 3P (People, Planet , Pocketbook) โดยพื้นฐานของการออกแบบอย่างยั่งยืนพยายามที่จะปรับสมดุลความต้องการของพื้นที่เหล่านี้โดยใช้วิธีการออกแบบเพื่อให้ได้รับประโยชน์ของทุกฝ่าย เพื่อสร้างโซลูชั่นการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบอย่างยั่งยืนคือ การลด หรือหลีกเลี่ยงการสูญเสียแบบสมบูรณ์ของทรัพยากรที่สำคัญ เช่น พลังงาน, น้ำและ วัตถุดิบ ป้องกันการเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆและ โครงสร้างพื้นฐานตลอดวงจรชีวิต และสร้างสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นให้มีความน่าอยู่อาศัย, สะดวกสบาย, ปลอดภัยและ มีประสิทธิผล

อาคารใช้ทรัพยากร (พลังงาน, น้ำ, วัตถุดิบและอื่น ๆ) สร้างขยะ (ผู้ใช้งาน, การก่อสร้าง และรื้อถอน) และปล่อยมลพิษในบรรยากาศที่อาจเป็นอันตราย เจ้าของอาคาร, นักออกแบบและ ผู้สร้างต้องเผชิญกับความท้าทายที่ไม่ซ้ำกันเพื่อตอบสนองความต้องการ สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวก และต้องได้รับการปรับปรุงใหม่ซึ่งสามารถเข้าถึงได้, ปลอดภัย, สุขภาพดีและ มีประสิทธิผล ในขณะที่ลดผลกระทบเชิงลบต่อสังคม, สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ การออกแบบอาคารควรเป็นผลดีต่อทั้ง 3 ด้าน

นอกเหนือจากแนวคิดการออกแบบที่ยั่งยืนในการก่อสร้างใหม่แล้วผู้สนับสนุนด้านการออกแบบที่ยั่งยืนยังสนับสนุนให้มีปรับปรุงอาคารเพิ่มเติมที่มีอยู่แทนที่จะสร้างอาคารใหม่ การปรับปรุงอาคารที่มีอยู่มักจะคุ้มค่ากว่าการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกใหม่ การออกแบบการบูรณะและตกแต่งใหม่สำหรับอาคารที่มีอยู่ เพื่อให้มีลักษณะการออกแบบอย่างยั่งยืนช่วยลดต้นทุนการดำเนินงาน, ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและ สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นในการสร้างอาคาร (Whole Building Design Guide, 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำจำกัดความของการออกแบบอาคารที่ยั่งยืนจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่ยังคงมีหลักการพื้นฐาน 6 ข้อ

1) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่ (Optimize Site Potential)

การสร้างอาคารที่ยั่งยืนเริ่มต้นด้วยการเลือกสถานที่ที่เหมาะสมรวมทั้งการพิจารณาการใช้พื้นที่เดิมหรือ การฟื้นฟูอาคารที่มีอยู่ สถานที่การก่อสร้างและ ภูมิทัศน์ของอาคารส่งผลต่อระบบนิเวศน์ของท้องถิ่น, วิธีการขนส่งและ การใช้พลังงาน สิ่งสำคัญคือต้องนำหลักการการเติบโตที่สมาร์ท (smart growth principles) มาใช้ในกระบวนการพัฒนาโครงการไม่ว่าจะเป็นโครงการเดียว หรือ วิทยาเขต การเลือกสถานที่สำหรับการรักษาความปลอดภัยทางกายภาพเป็นประเด็นสำคัญ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบสถานที่ก่อสร้าง รวมถึงตำแหน่งที่ตั้งของถนน, การเข้าถึงที่จอดรถ, อุปสรรคด้านการใช้รถยนต์และ แสงสว่างในลานจอดรถ

2) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงงาน (Optimize Energy Use)

ความต้องการพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลของโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความกังวลต่อความเป็นอิสระและความมั่นคงด้านพลังงานกำลังเพิ่มขึ้นและ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก กำลังเป็นที่ประจักษ์มากขึ้น เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องหาวิธีลดภาระพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้และการผลิตพลังงาน เพิ่มการใช้งานจากแหล่งพลังงานทดแทนในสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ การปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานของอาคารที่มีอยู่มีความสำคัญต่อการเพิ่มความเป็นอิสระทางด้านพลังงาน หน่วยงานภาครัฐและ ภาคเอกชนมีความมุ่งมั่นที่จะสร้างและดำเนินงานพลังงานเป็นศูนย์ที่เป็นการออกแบบอาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (net zero energy buildings) เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

3) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำ (Protect and Conserve Water)

ในหลายประเทศน้ำจืดเป็นทรัพยากรที่หายากมากขึ้น อาคารที่ยั่งยืนควรใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพและ นำมาใช้ใหม่หรือ รีไซเคิลน้ำ เพื่อใช้ในสถานที่ต่างๆ เมื่อทำได้ กระบวนการผลิตน้ำดื่มจนถึงน้ำประปาที่ใช้ในครัวเรือนของเรา ใช้ทรัพยากรพลังงานมหาศาลในการสูบน้ำ, การขนส่งและการบำบัด มักใช้สารเคมีที่เป็นพิษในการผลิตน้ำดื่ม ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมและ การเงินของการบำบัดน้ำเสียมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ

4) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่อาคารและวัสดุ
(Optimize Building Space and Material Use)

ในขณะที่ประชากรโลกยังคงเติบโตต่อไป คาดการณ์ว่ามากกว่า 9 พันล้านคนในปีค.ศ. 2050 การใช้ทรัพยากรธรรมชาติจะยังคงเพิ่มขึ้นและความต้องการสินค้าและบริการเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเป็นเรื่องสำคัญที่จะใช้ทรัพยากรอย่างครบวงจรและชาญฉลาดของการใช้วัสดุ, ป้องกันมลพิษและ อนุรักษ์

ทรัพยากร อาคารที่ยั่งยืนได้รับการออกแบบและดำเนินการเพื่อใช้และนำวัสดุไปใช้ใหม่อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ตลอดอายุการใช้งานและ สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ในช่วงชีวิตของวัสดุนั้นๆ ที่ใช้นำมาใช้ในอาคารที่ยั่งยืนยังลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของวงจรชีวิต เช่น ภาวะโลกร้อน, การสิ้นเปลืองทรัพยากร และความเป็นพิษของมนุษย์ วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมลดผลกระทบต่อสุขภาพและ สิ่งแวดล้อม และช่วยเพิ่มความปลอดภัยของคนงานและความปลอดภัยทางสุขภาพด้วย ลดภาระหนี้สิน, ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและ บรรลุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม

5) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร
Enhance Indoor Environmental Quality (IEQ)

คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (IEQ) ของอาคารมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสุขภาพผู้อยู่อาศัยความสะดวกสบายและความสามารถในการผลิต นอกจากนี้อาคารที่ยั่งยืน ยังช่วยเพิ่มแสงสว่างในช่วงกลางวัน การระบายอากาศที่เหมาะสมและ การควบคุมความชื้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและ หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่มีการปล่อยสาร VOC สูง หลักการของ IEQ ยังเน้นถึงการให้ความสำคัญกับผู้ใช้อาคารระบบต่างๆ เช่น แสงสว่างและ อุณหภูมิ

7) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการใช้งานอาคารและการบำรุงรักษาอาคาร
(Optimize Operational and Maintenance Practices)

การพิจารณาเรื่องใช้งานและการบำรุงรักษาของอาคารในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นของโรงงานจะช่วยเพิ่มสภาพแวดล้อมในการทำงานผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและทรัพยากรและ ป้องกันความล้มเหลวของระบบ ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการอาคารและบุคลากรบำรุงรักษามีส่วนร่วมในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาเพื่อให้แน่ใจได้ว่าการดำเนินงานและการบำรุงรักษาอาคารจะเป็นไปอย่างเหมาะสม

นักออกแบบสามารถระบุวัสดุและระบบที่ช่วยลดความซับซ้อนและ ลดความต้องการในการบำรุงรักษา ต้องใช้น้ำ, พลังงานและ สารเคมีที่เป็นพิษ การใช้น้ำยาทำความสะอาดน้อยลง มีประสิทธิภาพและ ลดต้นทุนของวงจรชีวิต

2.8 การประเมินวัฏจักรชีวิต

2.8.1 ความหมายและหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่สามารถประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการสนับสนุนการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์ในการประเมินภาระด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์, กระบวนการหรือ กิจกรรม โดยการระบุพลังงาน, วัสดุที่ใช้, ของเสียที่เกิดขึ้นและ การปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินโอกาสที่จะเกิดการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม (SETAC, 1991)

วัตถุประสงค์สำคัญของการดำเนินการ LCA ตามที่ SETAC (1993, p.7) คือ:

- เพื่อให้เห็นภาพสมบูรณ์ของความเป็นไปได้ของการมีปฏิสัมพันธ์ของ กิจกรรมกับสิ่งแวดล้อม
- เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในธรรมชาติโดยรวมและ ความเกี่ยวเนื่องกันของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมของมนุษย์นั้น
- เพื่อให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจ ตัดใจสินใจด้วยข้อมูล ที่กำหนดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านี้และระบุโอกาสในการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization:ISO) ได้นิยามความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ไว้ในอนุกรมมาตรฐานISO14040 ว่าเป็น “เทคนิคการประเมินลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspects) และ โอกาสของการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Potential Environmental Impacts) ของผลิตภัณฑ์ โดยการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและ สารขาออก ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ รวมถึงการแปลผลของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis) และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment)”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.8.2 ที่มาของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

ความเป็นมาของการศึกษา LCA นั้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากนโยบายการประหยัดพลังงานของประเทศต่างๆ ที่พัฒนาหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมแต่ละประเภทอย่างละเอียด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 จากนั้นได้มีการขยายผลไปสู่การวิเคราะห์ทรัพยากรและผลกระทบจากการแพร่กระจายของสารมลพิษตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากภาครัฐของประเทศต่าง ๆ เริ่มนำผลการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 และมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบ (เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น) ของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน ทำให้การศึกษาวิจัยด้าน LCA เริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้นและมีการใช้อย่างแพร่หลายอย่างไรก็ตาม จากการที่มีการใช้วิธีการ ข้อมูล และการตีความที่ต่างกัน จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการรายงานผล ซึ่งหลังจากนั้นได้มีการจัดประชุมระดับนานาชาติเกี่ยวกับวิธีการต่างๆ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการจัดทำ LCA ขึ้น ปัจจุบันอยู่ภายใต้การดูแลของสมาคม SETAC

ความรู้เรื่องLCA ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และเป็นที่ยอมรับมากขึ้น มีการนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) มีการส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้ บริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึงผลกระทบตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ องค์กรมาตรฐานสากล (International Standards Organization : ISO) ได้จัดทำอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ชุด ISO 14040 เพื่อกำหนดรูปแบบ วิธีการ และขั้นตอน เพื่อเป็นมาตรฐานให้นักวิจัยด้าน LCA ได้ใช้ในการศึกษาต่อไป

2.8.3 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็น การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยเน้นผลเชิงปริมาณที่ชัดเจน การศึกษา LCA จึงมีความซับซ้อน เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้ายในทุกประเด็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งจากการใช้ทรัพยากร และสารมลพิษที่ถูกปล่อยออกมา โดยมองผลกระทบในภาพรวมที่เกิดต่อโลก เช่น การเกิดฝนกรด การทำให้โลกร้อนขึ้น เป็นต้นนับเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอีกหนึ่งประเภทที่อยู่ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14000 ทั้งนี้มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ได้แก่

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14041 – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
- ISO 14042 - Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14043 - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
- ISO/TR 14047 - Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO/TR 14048 - Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- ISO/TR 14049 - Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์(International Organization for Standardization, 1998)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

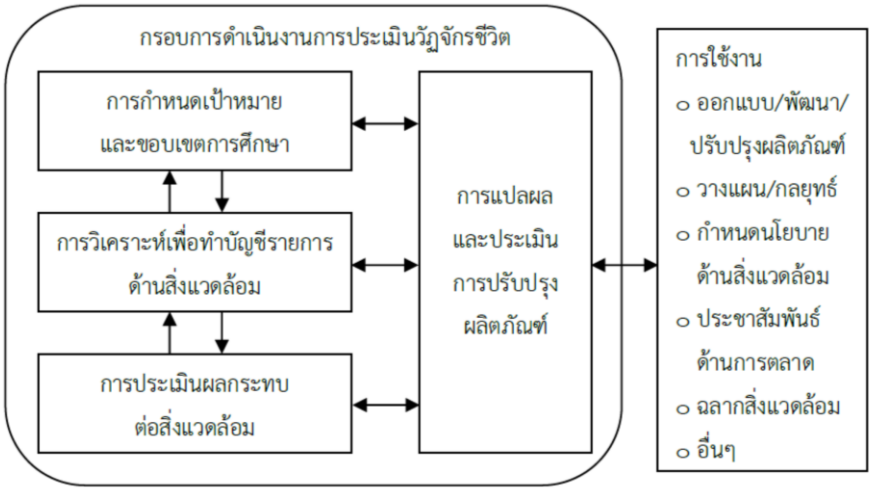
2.8.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

วิธีการ LCA เต็มรูปแบบการประมวลผลในชุดมาตรฐาน ISO 14040 (ISO 1996) แบ่งออก LCA ประกอบด้วยสี่ขั้นตอนหลัก (ISO 1996, SETAC ปี 1993 เวนเซล et al, 1997 แฟรงแอนด์รูบิค. 2000):

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งพิจารณากระบวนการต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต โปรแกรมฐานข้อมูลสำเร็จรูปจึงได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถจัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว แม่นยำสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนมากและเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก โปรแกรมฐานข้อมูลสำเร็จรูปที่ถูกพัฒนาและนิยมใช้สำหรับศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต เช่น SimaPro TM GaBiTM TEAMTM เป็นต้น

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีวิธีการประเมินหลากหลาย แต่ปัจจุบันวิธีการหลักในการประเมินวัฏจักรชีวิตนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 14040 เพื่อเป็นแนวทางเดียวกัน โดยศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040-14043 ซึ่งมีกรอบการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน (รูปที่ 2.13)

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)
4. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)



รูปที่ 2.13 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

ที่มา: International Organization for Standardization (2006)

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกและสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความชัดเจน สอดคล้อง และครอบคลุมในวัตถุประสงค์และกำหนดขอบเขตที่ต้องการการศึกษา อันประกอบไปด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional unit) ขอบเขตระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

<u>การกำหนดเป้าหมาย</u>

เป้าหมายของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตต้องมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ กำหนดเหตุผลในการศึกษา ผลการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้หรือการประยุกต์ใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา (Target audience) โดยเป้าหมายจะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา หากวัตถุประสงค์ในการศึกษาต้องการข้อมูลและการสรุปผลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ในส่วนของขอบเขต ระยะเวลา และงบประมาณของการศึกษาต้องสูงขึ้นด้วย ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนให้ผลวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือและสามารถกำหนดแนวทางการประยุกต์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

<u>การกำหนดขอบเขตของการศึกษา</u>

การกำหนดขอบเขตของการศึกษาต้องสอดคล้องกับเป้าหมาย เป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบ โดยขอบเขตที่กำหนดต้องครอบคลุมหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ ค่าจำกัดความของระบบ ขอบเขตของระบบ ขอบเขตของเวลาดำเนินการศึกษา สมมติฐานที่ใช้ โปรแกรมฐานข้อมูล ข้อจำกัดของการศึกษา และข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- หน้าที่ของผลิตภัณฑ์

การกำหนดขอบเขตต้องระบุหน้าที่และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์หนึ่งชนิด สามารถมีหน้าที่แตกต่างกันได้ หากทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยครอบคลุมทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รอง จะทำให้การศึกษาดังกล่าวมีความซับซ้อนและประเมินยากยิ่งขึ้น ดังนั้นหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาเพื่อศึกษาวัฏจักรชีวิต ต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

- หน่วยการทำงาน

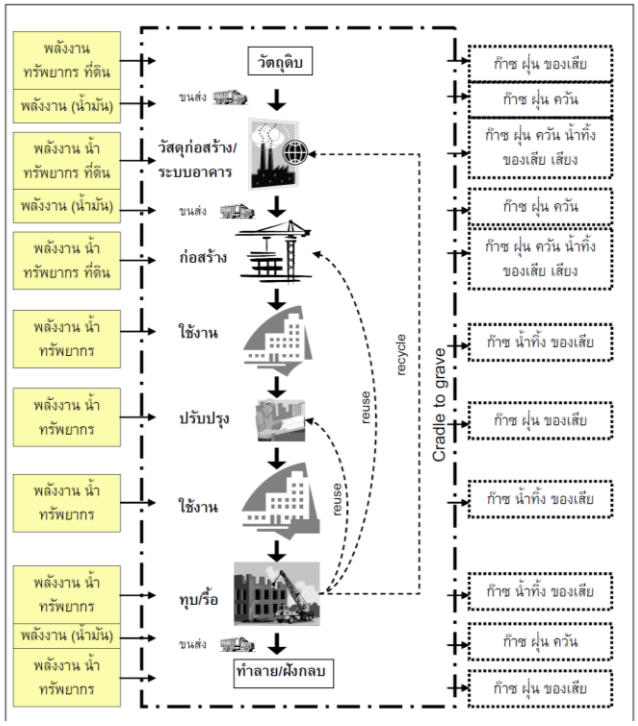
หน่วยการทำงานถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานเดียวกันในการเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ โดยมีความสำคัญในการเปรียบเทียบผลของการประเมิน วัฏจักรชีวิต ซึ่งจำเป็น

อย่างยิ่งในการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้ข้อมูลมีหน่วยการทำงานเดียวกัน

- ขอบเขตของระบบ

การกำหนดขอบเขตของระบบ เป็นการกำหนดขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อม หรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่เป็นการจำลองขึ้นจากกระบวนการย่อยหลายกระบวนมารวมกัน โดยมีการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่

ต้องบ่าบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง กล่าวคือ มีการเชื่อมโยงกันของ สารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของแต่ละกระบวนการย่อยทุกกระบวนการ เกิดเป็นระบบผลิตภัณฑ์ขึ้น (รูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 สารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของวัฏจักรชีวิตอาคาร
ที่มา: ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2551

ขอบเขตของระบบที่กำหนดขึ้น แสดงถึงขอบเขตของการศึกษา ระบบผลิตภัณฑ์ และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษา และอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าศึกษาข้อมูลใดและละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใด และต้องมีเกณฑ์การคัดเลือกเพื่อประกอบการตัดสินใจอย่างชัดเจนและสามารถอธิบายได้

นอกจากการจำลองระบบผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำแผนภาพการไหลเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์สมดุลมวลสารของแต่ละกระบวนการเป็นไปอย่างถูกต้อง ขอบเขตของระบบมีรูปแบบการกำหนดขอบเขต ดังนี้

- Gate to Gate คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง จากทั้งสายโซ่การผลิต โดยเป็นเพียงบางส่วนของ การประเมินวัฏจักรชีวิต

- Gate to Grave คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เริ่มจากกระบวนการผลิต จนได้ผลิตภัณฑ์ ตลอดจน การขนส่ง การกระจายสินค้า และขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์

- Cradle to Gate คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนถึงการได้ผลิตภัณฑ์มา แต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดซาก

- Cradle to Grave คือ การประเมินผลกระทบที่มีขอบเขตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและการกระจายผลิตภัณฑ์ การนำไปใช้งานและการกำจัดซากหลังจากการใช้งาน ซึ่งขอบเขตนี้เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เต็มรูปแบบ

- Cradle to Cradle คือ เป็นรูปแบบพิเศษของขอบเขต Cradle to Grave ที่พิจารณาถึงขั้นตอนรีไซเคิล ในกรณีที่ขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล

o ข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล

เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต้องใช้ข้อมูลเพื่อประเมินจำนวนมาก ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญ โดยการระบุคุณภาพของข้อมูลควรครอบคลุมตัวแปรสำคัญ เช่น ช่วงเวลาของข้อมูล ลักษณะที่มาของข้อมูล เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล เป็นต้น หากข้อมูลใดที่ต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอธิบายสมมติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด เพื่อให้ทราบถึงที่มาข้อมูลและผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis: LCI) เป็นการรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและการกำหนดขอบเขตของการศึกษา และสร้างแผนผังของระบบผลิตภัณฑ์ โดยการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบของผลิตภัณฑ์ต้องพิจารณาถึง ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในระบบ หรือการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการวิเคราะห์บัญชีรายการด้าน

สิ่งแวดล้อมควรพิจารณาในประเด็นหลัก ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณข้อมูล และการปันส่วน

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การร่างผังการไหลของกระบวนการย่อยทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย

2) การอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการย่อย และหาความสัมพันธ์กันเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละกระบวนการย่อยนั้นๆ

3) กำหนดและระบุหน่วยการทำงานที่ใช้ในการวัด เพื่อให้หน่วยเป็นไปตามทิศทางเดียวกัน

4) อธิบายถึงเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูล เพื่อให้ทราบถึงแหล่งที่มาของข้อมูล นอกจากนี้ยังท่าให้ทราบว่าต้องใช้ข้อมูลใดบ้างในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้

5) ข้อมูลที่เกี่ยวกับวัตถุดิบที่เป็นสารขาเข้าไปในระบบ ต้องเลือกใช้ข้อมูลที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับไปยังวัตถุดิบได้ โดยต้องมีข้อมูลของสารที่ออกจากระบบย่อยทั้งหมด ข้อมูลของการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม และข้อมูลการขนส่งภายในระบบ

<u>การเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม แบ่งข้อมูลตามแหล่งของข้อมูล คือ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิ คือข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งข้อมูลขั้นต้นที่ได้มาจากแหล่งข้อมูลโดยตรง จึงเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ แม่นยำ ถูกต้อง และเป็นข้อมูลปัจจุบันมากกว่าข้อมูลทุติยภูมิ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ คือข้อมูลที่ได้จากแหล่งรวบรวมข้อมูลไว้แล้ว เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงได้ ประกอบด้วย หนังสือ วารสาร งานวิจัย เอกสารหรือรายงานที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น และเมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้โดยตรง สามารถใช้ข้อมูลอื่น เช่น ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ การคำนวณทางวิศวกรรม การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น เป็นต้น

ข้อมูลที่รวบรวมจากแหล่งข้อมูลสาธารณะ ต้องมีการอ้างอิงแหล่งที่มาและบันทึกระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ในการบ่งชี้ถึงคุณภาพของข้อมูลนั้น ควรมีการอธิบายเหตุผลถ้าข้อมูลไม่เหมาะสมที่นำมาใช้ในเบื้องต้น รวมทั้งระบุข้อมูลที่ผิดปกติหรือสูญหาย

<u>การคำนวณข้อมูล</u>

ขั้นตอนการคำนวณเป็นการสร้างผลลัพธ์เพื่อการกำหนดบัญชีรายการของแต่ละกระบวนการย่อยและเป็นการกำหนดหน่วยการทำงานของระบบผลิตภัณฑ์ สิ่งสำคัญในการคำนวณ ได้แก่

- ความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น ดูความสัมพันธ์กันของของข้อมูลโดยการทำสมดุลมวลสาร พลังงาน หรือการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยการปล่อยมลพิษ (Emission factor) เป็นต้น

- การเชื่อมข้อมูลเข้ากับกระบวนการย่อย

กำหนดปริมาณอ้างอิง (Reference flow) ของผลิตภัณฑ์ ในแต่ละกระบวนการย่อย เนื่องจากต้องคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ ภายใต้ความสัมพันธ์กับหน่วยอ้างอิงเดียวกับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปรายละเอียดของข้อมูลควรประกอบด้วย หน่วยอ้างอิง แหล่งที่มาของข้อมูล เงื่อนไขของข้อมูล ตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เทคโนโลยีหรือระดับของเทคโนโลยีที่ใช้ ข้อมูลเพิ่มเติมในกรณีที่มีการปันส่วน เป็นต้น

- การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน

การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน เป็นการเทียบ (Normalize) ตามหน่วย การทำงาน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างรายการที่แตกต่างกันหรือระหว่างผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันได้ ซึ่งต้องรวบรวมข้อมูลเฉพาะที่มีความเกี่ยวข้อง ที่สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมเดียวกันได้

- การปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น

เมื่อมีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณควรมีการปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น เพื่อช่วยในการตัดสินใจหากต้องการเพิ่มเติมข้อมูลอื่นอีก และช่วยในการจำกัดข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การปันส่วน</u>

กระบวนการย่อยที่ทำการศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยมีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือจะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น หรือถูกกำจัดไป ดังนั้นจึงต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน และการปล่อยมลพิษ เข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย ซึ่งการทำบัญชีรายการนั้นอยู่บนพื้นฐานของสมดุลมวลสาร การปันส่วนจึงควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์และลักษณะของสารขาเข้าและสารขาออก ซึ่งหลักการปันส่วนสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-product) พลังงานที่ใช้ภายในระบบ การบริการ และการแปรใช้ใหม่

3) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการจำแนก การจัดกลุ่มผลกระทบ และ การคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่ม ซึ่งผลของการคำนวณจะบ่งชี้ว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการใดของระบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการแปลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยหลักการ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่

- การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ(Category indicators) และแบบจำลองการกำหนดบทบาท (Characterization models)
- การจำแนกข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (Classification)
- การกำหนดบทบาท (Characterization)

ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่

- การเทียบหน่วย (Normalization)
- การจัดกลุ่ม (Grouping)
- การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)
- การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis)

(International Organization for Standardization, 2000)

4).การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลของการศึกษาควรจะคำนึงถึงความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งการศึกษาเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการศึกษาหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Methodology Research Team) กลุ่มการศึกษาปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิ่งแวดล้อมระดับภูมิภาค (Regional Environment Research Team) กลุ่มการศึกษาระบบการใช้พลังงาน (Energy Systems Analysis Research Team) กลุ่มการศึกษาประสิทธิภาพการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Efficiency Research Team) โดยแต่ละกลุ่มมีการเชื่อมโยงข้อมูลต่อกันตลอดเวลา (International Organization for Standardization, 2000)

2.9 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

อาคารถือเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่ง แต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบจำนวนมากที่ไม่ตายตัว และ ปรับเปลี่ยนไปตามการออกแบบแต่ละครั้ง นอกจากนี้การใช้งานอาคารยังได้รับอิทธิพลอย่างมากจาก ผู้ใช้งานซึ่งในอาคารแบบเดียวกัน หากผู้ใช้อาคารเป็นคนละกลุ่มกัน ก็อาจมีพฤติกรรมการใช้ที่ไม่เหมือนกัน ทั้งยังอาจมีการปรับเปลี่ยนและปรับปรุงการใช้งานระหว่างช่วงอายุของอาคาร การนำแนวความคิดของ LCA มาใช้กับอาคารจึงค่อนข้างซับซ้อนและยากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยอาจสรุปเอกลักษณ์ของอาคารที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ดังนี้

1) อาคารมีอายุที่ยาวนานมากและไม่สามารถกำหนดอายุได้แน่นอน ดังนั้นการคาดหมายรูปแบบการใช้อาคาร หรือเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ในอนาคตจึงเป็นการยาก

2) อาคารแต่ละหลัง แต่ละแห่งอาจมีผลกระทบจากบริบทโดยรอบอาคารที่ไม่เหมือนกันซึ่งผลกระทบเหล่านี้ไม่ได้รวมอยู่ด้วยในการทำ LCA

3) ส่วนประกอบอาคารแต่ละอาคารมีความหลากหลายมาก ทำให้มีข้อมูลวัสดุจำนวนมาก และ ต่างชนิด แม้วัสดุประเภทเดียวกันก็อาจต่างที่มาและต่างกระบวนการผลิต ยากแก่การรวบรวมข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) ในช่วงอายุการใช้งานอาคาร ผู้ใช้อาคารและผู้ที่บริหารจัดการอาคารจะมีผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอย่างมาก ซึ่งองค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่คาดเดารูปแบบได้ยาก

5) การกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) ของอาคารค่อนข้างยาก เนื่องจากในแต่ละอาคารมีส่วนประกอบของหน้าที่ใช้สอยที่หลากหลาย

6) หน้าที่ของอาคารคือเป็นสถานที่สำหรับทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายในพื้นที่ที่มีการกันแดดกันฝนและปรับสภาพแวดล้อมให้สบาย การประเมินคุณลักษณะนี้ของอาคารเกี่ยวข้องกับความสบายทางอุณหภูมิ คุณภาพการมองเห็น คุณภาพด้านเสียง และคุณภาพอากาศ ซึ่งหากจะให้มีคุณภาพที่ดีนั้นมักจะต้องมีการใช้พลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย นอกจากนี้การก่อสร้างอาคารยังส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวมของเมือง เช่น ระบบขนส่ง ระบบบำบัดของเสีย ระบบไฟฟ้า พื้นที่สีเขียวในเมือง ซึ่งการประเมินผลกระทบของคุณภาพภายในอาคารและผลกระทบต่อเมืองนั้น เป็นคุณลักษณะที่มีพิเศษเฉพาะของอาคาร ไม่มีในเครื่องมือLCA ทั่วไป

เครื่องมือที่ใช้ประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

1) เครื่องมือเพื่อเปรียบเทียบวัสดุประกอบอาคาร (product comparison tools) ตัวอย่างเครื่องมือได้แก่ Gabi (เยอรมัน) SimaPro (เนเธอร์แลนด์) TEAM (ฝรั่งเศส) และ LCAiT (สวีเดน)

2) เครื่องมือเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกในการออกแบบอาคาร (whole building design decision or decision support tools) ตัวอย่างเครื่องมือได้แก่ LISA (ออสเตรเลีย) Ecoquantum (เนเธอร์แลนด์) Envest (อังกฤษ) ATHENA (แคนาดา) BEE (ฟินแลนด์)8

3) ระบบหรือแนวทางในการประเมินทั้งอาคาร (whole building assessment framework or systems) ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพของอาคาร (qualitative assessment) โดยอิงหลักการวัฏจักรชีวิต ตัวอย่างเครื่องมือได้แก่ BREEAM (อังกฤษ) และ LEED (สหรัฐอเมริกา)

2.9.1 วัฏจักรชีวิตอาคาร

วัฏจักรชีวิตอาคาร (life cycle of building) หมายถึง รอบวงจรชีวิตของอาคารตั้งแต่การเริ่มก่อสร้างจนกระทั้งการรื้อถอนทำลาย (cradle to grave) ซึ่งได้แบ่งช่วงของวัฏจักรชีวิตอาคารเป็น 4 ช่วง ดังภาพที่ 4 เพื่อให้การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความละเอียดและสมบูรณ์มากที่สุด เริ่มตั้งแต่ขั้น ตอนการนำวัตถุดิบขึ้นมาใช้ การขนส่งวัตถุดิบ การผลิตวัสดุก่อสร้าง การขนส่งวัสดุเหล่านั้นมายังสถานที่ก่อสร้าง การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร การซ่อมบำรุงและการเปลี่ยนชิ้นส่วนอาคารต่างๆ จนกระทั่ง สิ้นสุดอายุการใช้งานอาจมีการนำ อาคารกลับมาใช้ใหม่หรือทำการื้อถอดอาคารและการกำจัด เศษวัสดุจากอาคาร แต่ละช่วงชีวิตมีความเชื่อมโยงและสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น หากเจ้า ของอาคารต้องการเปลี่ยนบางส่วนของระบบย่อย จะส่งผลกระทบทำ ให้ทั้งระบบใหญ่เปลี่ยนไปด้วย เช่น ความต้องการหลอดไฟเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้แสงสว่างเพิ่มมากขึ้นเกินความจำเป็น นั่นหมายถึงความต้องการวัสดุและพลังงานในการผลิตหลอดไฟเพิ่มขึ้น ความต้องการไฟฟ้าในขณะใช้งานเพิ่มมากขึ้น ความต้องการถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ในอากาศ และการมีต้นทุนการใช้จ่ายในอาคารที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแสงสว่างเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่อาศัย อยู่ใน อาคาร แต่อาจส่งผลกระทบกับ สิ่งมีชีวิตทั่วโลกได้ ฉะนั้น การออกแบบอาคารจึงต้องดูตลอดการออกแบบอาคารจนกระทั้ง ถึงขั้นตอนการทำลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

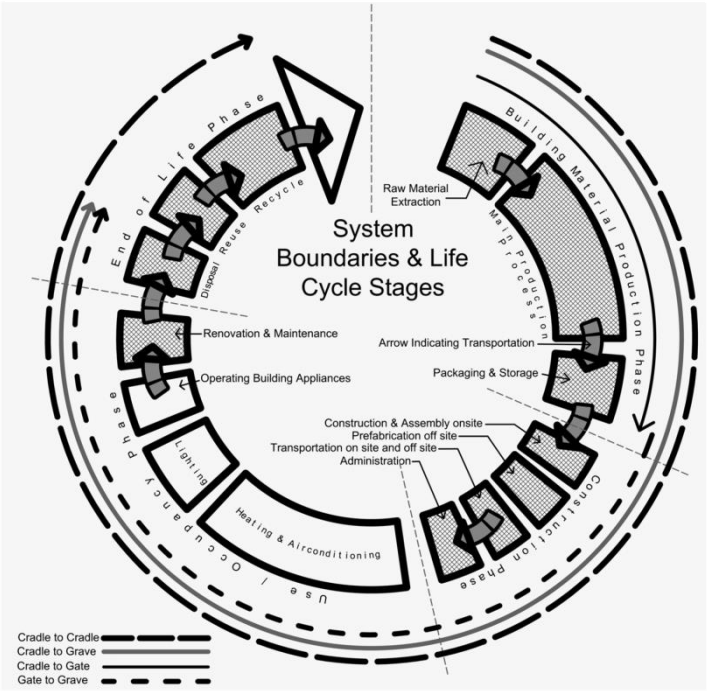


Fig. 3. System boundaries and life cycle stages of a building.

รูปที่ 2.15 วัฏจักรชีวิตแต่ละขั้นของอาคาร
ที่มา: Dixit, M.K. และคณะ. (2012)

วัฏจักรชีวิตของอาคาร ได้แก่

- **ขั้นตอนก่อนการก่อสร้าง (Pre-construction phase):** ขั้นตอนการผลิตวัสดุ: ประกอบด้วยขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบ, การขนส่งไปยังโรงงานการผลิต, การกู้คืนวัสดุรีไซเคิล
- **ระยะการก่อสร้างอาคาร (Building construction phase):** การขนส่งวัสดุจากโรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้าง, ติดตั้งโครงสร้างและ การใช้พลังงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง การขนส่งวัสดุจากโรงงานสู่พื้นที่ก่อสร้าง
- **ระยะการใช้งาน (Use phase):** เป็นกิจกรรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการใช้อาคาร เช่น พลังงาน, การดำเนินงานทั้งหมด พลังงานที่ใช้ความร้อน, การระบายความร้อนและ การผลิตน้ำร้อน การปรุงอาหาร, ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่ใช้พลังงาน
- **ระยะสิ้นสุดของชีวิต (End-of-life phase):** การรื้อถอนโครงสร้าง, การรื้อถอน, การขนส่งไปยังหลุมฝังกลบขยะหรือ การรีไซเคิลวัสดุ (Dixit, M.K. และคณะ., 2012)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10 โปรแกรมที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.10.1 โปรแกรม SimaPro 8.2

โปรแกรม SimaPro 8.2 ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท PRe' Consultant ของประเทศ เนเธอร์แลนด์ เป็นโปรแกรมที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดในการทำ LCA เพราะมีข้อดีคือเป็นโปรแกรม ที่มีการเก็บรวบรวมฐานข้อมูลไว้หลากหลายสาขาการผลิต โดยเฉพาะ Eco Invent ที่ครอบคลุม กระบวนการผลิตถึง 4,000 กระบวนการ ซึ่งส่วนใหญ่มาการศึกษา LCA ในยุโรปจากภาคอุตสาหกรรม เช่น ข้อมูลวัตถุดิบ พลังงาน การขนส่งและสภาพมลพิษที่เกิดขึ้นจริง และสามารถนำโปรแกรมมา ประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปของ ตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นจำนวนตัวเลขที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ส่วนการแปลงบัญชี รายการเป็นตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมนี้แบ่งได้เป็นสองแนวทางคือ (1) Problem Oriented Method เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Mid-point Impact) เช่น การใช้ทรัพยากรและพลังงาน กาแพร่กระจายของสารพิษ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกิดฝนกรด ตัวอย่างวิธีการ ประเมินแบบนี้ได้แก่ CML Baseline Method (2001) EDIP 97 and EDIP 2003 และ IMPACT 2002+ และ (2) Damaged Oriented Method เป็นการประเมินผลกระทบที่ปลายทาง (End-point Impact) ประเมินที่ผู้รับผลกระทบจริง ได้แก่ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้านระบบนิเวศน์ สุขอนามัย และปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลก เช่น การเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) การทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion) วิธีการประเมินแบบ BEES+ ผลจากการประเมินจะเป็นการแปลงข้อมูลให้เป็นค่า ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) ประกอบด้วย 13 กลุ่ม ผลกระทบได้แก่ ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ภาวะความเป็นกรด (Acidification) ส่งผลต่อ สุขภาพของมนุษย์และก่อให้เกิดมะเร็ง (Human Health Cancer) ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์แต่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Human Health Noncancer) ปริมาณมลสารในอากาศ (Criteria Air Pollutants) การเจริญเติบโตของพืชน้ำ (Eutrophication) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecological Toxicity) การเกิดหมอกควัน (Smog) ภาวะถดถอยของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (Natural Resource Depletion) คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) การเปลี่ยนแปลงที่อยู่อาศัย (Habitat Alteration) ปริมาณการใช้น้ำ (Water Intake) และภาวะถดถอยของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) การประเมินแบบ BEES+ ถูกพัฒนาเพื่อใช้การประเมินอาคารเพื่อให้ค่าการประเมินใกล้เคียงกับความเป็นจริง มีฐานข้อมูลที่เป็นส่วนประกอบของอาคารที่จะใช้ในการประเมิน โดยการให้ค่าน้ำหนักผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงดังตารางที่ 2.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.22 การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในโปรแกรม BEES 4.0

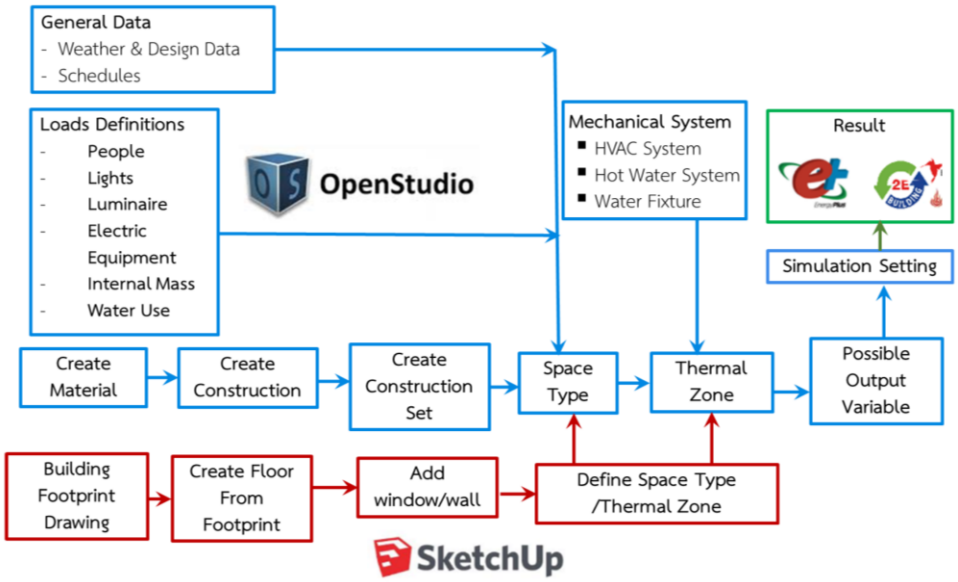
Impact	BEES+ Stakeholder Panel	EPA Science Advisory Board-based	Equal Weights
Global Warming	29	16	9
Acidification	3	5	9
Eutrophication	6	5	9
FossilFuel Depletion	10	5	9
Indoor Air Quality	3	11	8
Habitat Alteration	6	16	8
Water Intake	8	3	8
Criteria Air Pollutants	9	6	8
Smog	4	6	8
Ecotoxicity	7	11	8
Ozone Depletion	2	5	8
Human Health	13	11	8
Sum:	100	100	100

ที่มา : SimaPro Database Manual - PRé Sustainability (2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10.2 โปรแกรม BESM หรือ Building Energy Simulation Model

เป็นโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารสาหรับ วิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารประเภทต่าง ๆ โดยมีการทางานร่วมกันของ 3 โปรแกรม ได้แก่ SketchUp, Open Studio และ EnergyPlus โดยผู้ใช้งานต้องมีการสร้างกรอบอาคารของอาคารที่ต้องการประเมินการใช้พลังงานและแบ่งพื้นที่ตามรูปแบบการใช้งานจากโปรแกรม SketchUp จากนั้นจึงใส่ฐานข้อมูลรายละเอียดของอาคารลงในโปรแกรม Open Studio Thai Edition เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารโดยอ้างอิงกับ BEC (Building Energy Code) หรือ EnergyPlus ตามความต้องการของผู้ใช้ ดูจากแผนการดำเนินงานของโปรแกรมจากรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แผนภาพดำเนินงานของโปรแกรม

โปรแกรม Building Energy Simulation Model (BESM) แบ่งขั้นตอนทางานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำงานบนโปรแกรม SketchUp และส่วนที่ทางานบนโปรแกรม OpenStudio ดังนี้

ส่วนที่ 1 การสร้างแบบจาลองจาก OpenStudio SketchUp Plug-in - เป็นการสร้างรูปแบบของกรอบอาคาร โดยกำหนดประเภทของอาคาร, ลักษณะภูมิอากาศ (Weather Data), พื้นที่ใช้งาน (Space Types), โซนอุณหภูมิ (Thermal Zone) ซึ่งข้อมูลของแบบจำลองจะเชื่อมโยงกับส่วน OpenStudio Application

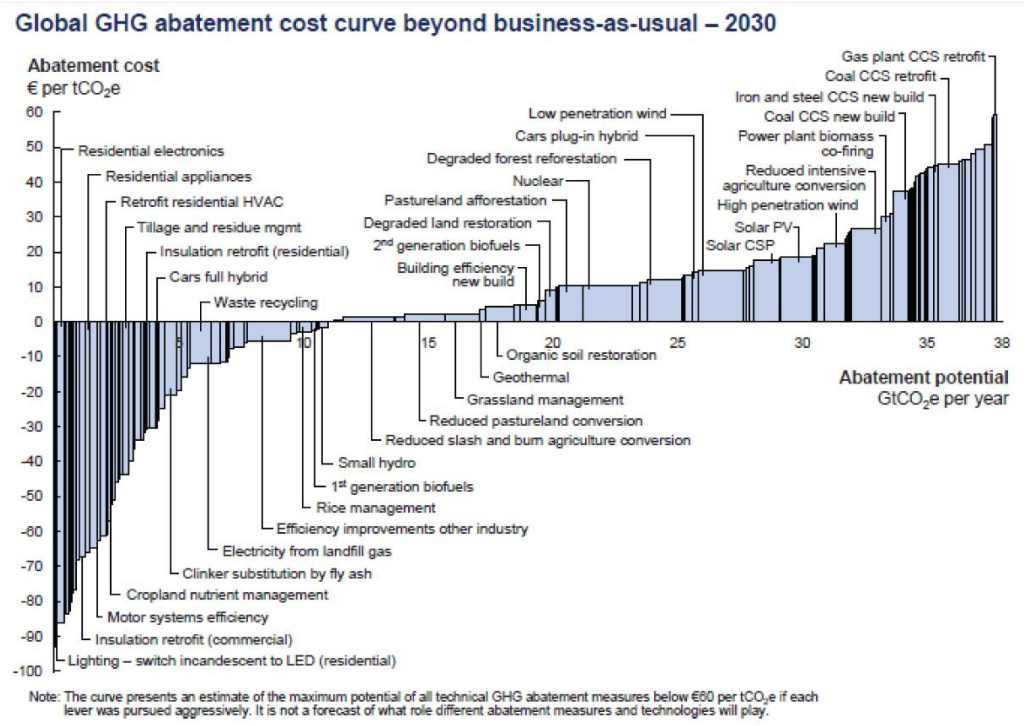
ส่วนที่ 2 กรอกฐานข้อมูลอาคารใน OpenStudio Application – ภายหลังจากสร้างแบบจำลองอาคาร แบบจำลองอาคารที่สร้างขึ้นใน OpenStudio SketchUp Plug-in จะถูกความร้อนเข้าสู่ OpenStudio Application เพื่อให้ ผู้ใช้ทำการกรอกข้อมูลรายละเอียดของอาคารได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของที่ตั้งอาคาร (Site), รายละเอียดตารางเวลาการทางาน (Schedules), โครงสร้างวัสดุสาหรับกรอบอาคาร (Constructions), ภาระความร้อน (Loads), พลังงานทดแทน (Renewable Energy), ประเภทของพื้นที่ใช้งาน (Space Types), Building Stories, ข้อมูลรวมของอาคาร (Facility), โซนอุณหภูมิ (Thermal Zone), ข้อมูลระบบปรับอากาศ (HVAC System), การตั้งค่าการแสดงผล (Output Variables), การตั้งค่าการประมวลผล (Simulation Settings) จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลสมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร โดยผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการประมวลผลได้ 2 ทางเลือกคือ BEC (Building Energy Code) หรือ Energy Plus

2.11 การศึกษาต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการหาต้นทุนของการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีการนำมาใช้วิธีการหนึ่งคือการศึกษาต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละเทคโนโลยีการผลิต โดยMcKinsey& Company ได้มีการศึกษาต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลก โดยการดำเนินกิจกรรมต่างๆ หรือการใช้เทคโนโลยีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การปลูกป่า การประหยัดพลังงาน การเปลี่ยนไปใช้พลังงานคาร์บอนต่ำ เป็นต้น

จากผลการศึกษาที่แสดงในรูปที่ 2.17 อธิบายว่าขนาดของกราฟแต่ละแท่งแสดงถึงศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน โดยแกนตั้งหมายถึงต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย และแกนนอนแสดงศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งถ้าเทคโนโลยีหรือกิจกรรมใดอยู่ด้านซ้ายของกราฟ และอยู่ใต้แกนนอน แสดงว่าเป็นเทคโนโลยีหรือกิจกรรมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีต้นทุนต่ำ มีการประหยัดค่าใช้จ่ายในการดาเนินการผลิต ซึ่งรัฐอาจไม่ต้องสนับสนุนมากกิจกรรมนั้นๆ มาก สาหรับตัวอย่างการดำเนินการที่เป็นมาตรการประหยัดพลังงาน เช่นการใช้หลอดไฟประหยัดพลังงานในครัวเรือน การใช้พลังงานคาร์บอนต่าบางประเภท เช่น ไฟฟ้าพลังน้ำ ไฟฟ้าจากของเสีย เป็นต้น และการจัดการนาข้าว มีต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกติดลบซึ่งแสดงว่าได้ประโยชน์จากการดำเนินการและเป็นรายได้กลับคืนมาด้วย โดยสร้างรายได้สูงสุดปีละประมาณ 85 ยูโรต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวอย่างต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำไม่เกิน 10 ยูโรต่อตัน

คาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การปลูกป่า การลดการเผาที่ดินเพื่อทาการเกษตร ตัวอย่างต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 10-40 ยูโรต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ การใช้พลังงานทางเลือกที่ปล่อยคาร์บอนต่า เช่น ไฟฟูาพลังงานนิวเคลียร์ พลังงานแสงอาทิตย์ รถยนต์ไฮบริด เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมเหล็ก เป็นต้น และต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในช่วงสูงมากกว่า 40 ยูโร ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน

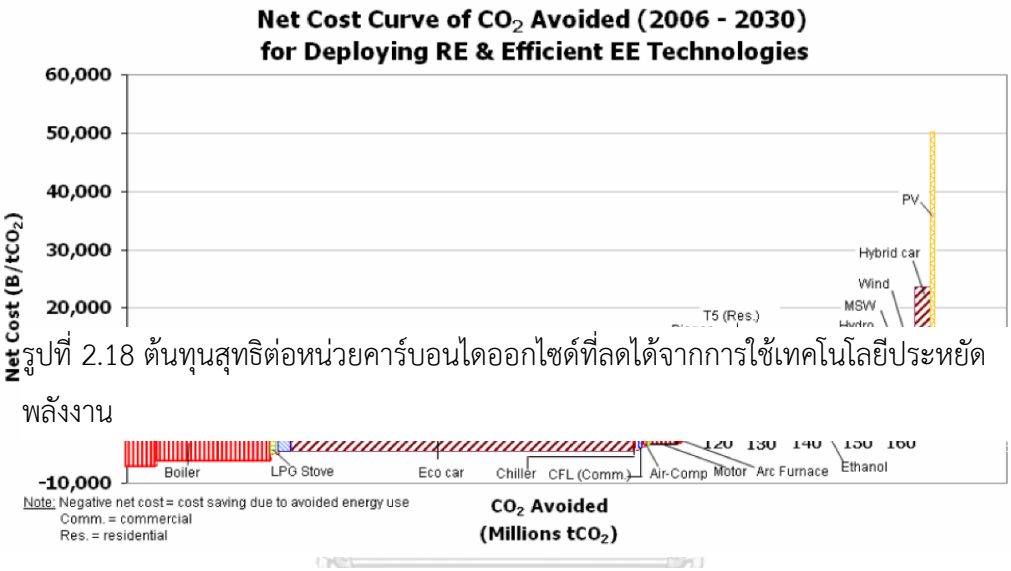


รูปที่ 2.17 ต้นทุนต่อหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ ณ ปี พ.ศ. 2573

ที่มา McKinsey & Company. (2009)

ประเทศไทยมีการศึกษาต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ได้แก่ การศึกษาต้นทุนการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้โครงการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานระยะที่ 2 ของบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยการศึกษาต้นทุนการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้จากการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานประเภทต่างๆ ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ชีวมวล พลังน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และขยะ พบว่า การใช้เทคโนโลยีที่

มีประสิทธิภาพสูงในการประหยัดพลังงานมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ ในด้านต้นทุนส่วนเพิ่มต่อหน่วยพลังงานที่ประหยัดได้ และต้นทุนส่วนเพิ่มต่อหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้ ดังนั้นจึงควรมีการนำเทคโนโลยีประสิทธิภาพสูงมาใช้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งต้องใช้ต้นทุนที่สูง แต่ด้วยงบประมาณที่จากัดภาครัฐควรสนับสนุนพลังงานหมุนเวียนประเภทที่มีต้นทุนต่อหน่วยต่าในระยะแรก ได้แก่ พลังงาน ก๊าซชีวภาพ ชีวมวล และพลังน้า ต้นทุนต่อหน่วยในระยะถัดมา ได้แก่ พลังงานลม และขยะ และการให้เงินอุดหนุนเทคโนโลยีที่มีต้นทุนสูง เช่นพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.18 ต้นทุนสุทธิต่อหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้จากการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน

ที่มา: สิรินทรเทพ เต้าประยูร, บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2554.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.12 เทคโนโลยีอาคาร

2.12.1 เทคโนโลยีในการลดการใช้พลังงานของอาคารในช่วงการก่อสร้างการก่อสร้างอาคารมีดังนี้

1) เทคโนโลยีผนังกันความร้อน EIFS

ระบบผนังหุ้มฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร (External Insulation Finish System) เป็นระบบการก่อสร้างที่สามารถกันความร้อนเข้ามาในอาคารได้ดีที่สุด เพราะสามารถกันความร้อนได้กว่าร้อยละ 52 เมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างตามปกติ ซึ่งระบบ EIFS โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าความต้านทานความร้อน (R Value) ระหว่าง 4-5.9 ต่อความหนา 1 นิ้ว และหากมีการใช้วัสดุต่างๆ ประกอบที่ดีจะทำให้ค่า R จะมากขึ้น 11-18 หรือ มากกว่านั้น

2) สีสะท้อนความร้อน Ceramic Coating

Ceramic Coating คือเม็ดเซรามิคทรงกลม ซึ่งภายในจะเป็นช่องสุญญากาศ โดยเม็ดเซรามิคที่ว่านี้จะไม่ดูดซับความร้อน พร้อมกันนั้นยังช่วยสะท้อนไม่ให้ความร้อนผ่านเข้าไป ซึ่งสามารถสะท้อนแสงออกไปได้มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อนำ Ceramic Coating มาผสมกับสีและทาลงไปที่ผนังบ้านหรือหลังคา ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนที่จะทะลุผ่านเข้ามาตัวอาคาร โดยเปรียบเทียบกับสีที่ไม่ได้ผสม Ceramic Coating เมื่อวัดอุณหภูมิที่ตัวสีที่เคลือบอยู่นั้นจะมีความร้อนสะสมอยู่ประมาณ 7 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเราวัดอุณหภูมิที่แผ่นฟิล์มที่เกิดจากการเคลือบด้วยสี Ceramic Coating แล้ว พอวัดอุณหภูมิจะมีความร้อนสะสมอยู่ที่ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างกัน 2 องศาเซลเซียส ถ้าวัดจากการมองดูตัวเลขก็คงจะดูไม่เยอะอะไร แค่ 2 องศา แต่ถ้าพูดถึงตามหลักความเป็นจริงแล้ว ความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 องศา ก็สามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงานเพื่อทำให้บ้านเย็นได้ถึงร้อยละ 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete - AAC)

คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete) เป็นวัสดุก่อที่มีการนำมาใช้ และเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อชนิดอื่นที่มีมา โดยตัววัสดุเองมีส่วนผสมมาจาก ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากประมาณร้อยละ 75 ทำให้น้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง อีกทั้งฟองอากาศเหล่านั้น ยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

4) กระจกสีตัดแสง (Heat Absorbing Glass)

กระจกสีตัดแสง เป็นกระจกโปร่งใสที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการสะสมความร้อนภายในอาคารและกลายเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ เนื่องจากอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นรังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) ซึ่งสามารถทะลุผ่านเข้าไปในอาคารได้ และเมื่อรังสีคลื่นสั้นกระทบกับวัสดุต่างๆภายในอาคาร เช่น พื้น ผนัง กระจก ฯลฯ ซึ่งดูดซับคลื่นรังสีเอาไว้แล้วเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) หรือพลังงานความร้อนซึ่งไม่สามารถทะลุผ่านวัสดุโปร่งแสงอย่างกระจกกลับออกมาภายนอกอาคารได้ โดยสีต่างๆที่เห็นนั้นเกิดจากการเติมออกไซด์ของโลหะ เช่น เหล็ก โคบอลต์ หรือซีลีเนียมลงในส่วนผสมของเนื้อกระจก จึงช่วยลดพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่จะผ่านเข้ามา ด้วยคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์(รังสีคลื่นสั้น) ที่ส่องมากระทบชั้นผิวกระจกได้ประมาณร้อยละ 40-50 จึงมีส่วนช่วยในการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความจ้าของแสงที่ส่องผ่านเข้ามา ทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลสบายตาขึ้น โดยมีสีให้เลือกใช้หลายสี เช่น สีบรอนซ์ สีเขียว สีฟ้า ฯลฯ แต่สีที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทยจะเป็นสีเขียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) กระจกเคลือบผิวสะท้อนแสง (Reflective Metallic Coating Glass)

มีคุณสมบัติคล้ายกระจกเงา ทำหน้าที่สะท้อนความร้อนของแสงอาทิตย์ได้ประมาณร้อยละ 60 โดยคุณสมบัติในการสะท้อนจะมีมากกว่าการดูดกลืน ซึ่งเมื่อแสงส่องมากระทบกระจกแล้ว ชั้นผิวกระจกที่เคลือบสารสะท้อนแสงไว้จะสะท้อนแสงจ้าและความร้อนออกไป แต่ปริมาณความร้อนที่ยังเหลือบางส่วนก็จะเข้าสู่ภายในอาคาร การเลือกใช้กระจกชนิดนี้ควรศึกษาด้วยว่า ปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาจะถูกลดทอนลงไปด้วย จึงอาจต้องมีการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้เพียงพอกับการใช้งานในแต่ละจุดด้วย กระจกชนิดนี้เหมาะกับอาคารที่ใช้งานตอนกลางวัน หรืออาคารสูงที่ต้องการลดความจ้าของแสงอาทิตย์เป็นหลัก โดยสามารถลดปริมาณแสงสว่างได้มากกว่า 80% และจากคุณสมบัติในการสะท้อนทำให้คนที่อยู่นอกอาคารที่สว่างกว่ามองเห็นภายในไม่ชัดเจน ซึ่งกลับกันในตอนกลางคืนที่ภายในสว่างกว่าก็จะทำให้คนภายนอกมองเข้ามาภายในได้อย่างชัดเจน จะทำให้เสียความเป็นส่วนตัวไปสำหรับอาคารพักอาศัย และข้อที่ต้องระวังสำหรับกระจกชนิดนี้คือแสงที่สะท้อนกลับนั้นจะมีผลกระทบกับอาคารหรือยานพาหนะข้างเคียงได้ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการดูดกลืนความร้อนไว้สูงด้วย ดังนั้นอาจเกิดปัญหาการแตกร้าวของกระจกเนื่องจากความร้อนสะสม (Thermal Breakage) ขึ้นได้ จึงควรศึกษาความเหมาะสมก่อนการนำไปใช้

6) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulating Glass)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระจก 2 ชั้น (Doubled Glazing) มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี สามารถแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนได้ ดังนี้

(1) กระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน

ได้จากการนำกระจกแผ่นเรียบธรรมดา 2 แผ่น มาประกอบกันโดยมีเฟรมอลูมิเนียมที่บรรจุสารดูดความชื้นคั่นกลาง จากนั้นปิดขอบกระจกให้สนิทดัง ผลที่ได้ก็คือ อากาศภายในช่องว่างระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่นจะเป็นอากาศแห้ง ซึ่งอากาศแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่ากระจกธรรมดาอีกด้วย

(2) กระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวน

คล้ายกับแบบใช้อากาศแห้งคือ การใช้กระจกแผ่นเรียบ 2 แผ่นประกอบกับเฟรมอลูมิเนียม แต่ชนิดนี้จะบรรจุก๊าซเฉื่อยลงไปแทนดังรูปที่ 9 ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้อากาศแห้ง และในกรณีที่นำกระจกนิรภัยมาประกอบเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ก็จะให้ความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แต่จะมีราคาสูงขึ้นไปจากเดิมที่มีราคาสูงอยู่แล้ว การใช้กระจก 2 ชั้นโดยที่มีช่องว่างอากาศและก๊าซป้องกันความร้อนคั่นอยู่ตรงกลางนี้ สามารถช่วยลดความร้อนได้ประมาณร้อยละ 70-80 ในขณะที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านได้ในปริมาณสูง จึงให้ความสว่างที่ปลอดภัย และในกรณีที่ติดฟิล์มด้านในของกระจกทั้ง 2 แผ่น ก็จะช่วยป้องกันรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV) เข้ามาทำลายวัสดุต่างๆ ภายในอาคารได้อีกด้วย

2.12.2 เทคโนโลยีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารในช่วงการใช้งานอาคารมีดังนี้

1) เครื่องปรับอากาศแบบผสมผสานด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

(SOLAR THERMAL HYBRID AIR CONDITIONERS)

เครื่องปรับอากาศแบบผสมผสานด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำงานโดยอาศัยหลักการแบบผสมผสาน (hybrid principle) โดยมันจะดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์มายังแผงรับความร้อนแบบสุญญากาศ (a vacuum solar collector) สารทำความเย็นจากเครื่องอัด (Compressor) ซึ่งวิ่งอยู่ในท่อทองแดงผ่านเข้าไปในชุดของแผงรับความร้อนเพื่อการแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นที่ได้รับความร้อนมาจากพลังงานแสงอาทิตย์จะกลับเข้าสู่กระบวนการระบายความร้อน (Condenser) และสู่การลดความดันในวงจรทำความเย็นของระบบปรับอากาศและให้ความเย็นที่ชุด Evaporator ซึ่งพลังงานที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยให้การใช้พลังงานโดยรวมของเครื่องปรับอากาศลดลงเนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีความต้องการเครื่องอัด (Compressor) ที่มีขนาดเล็กลง ระบบดังกล่าวนี้จะใช้ร่วมกับชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ four-fold type heat exchanger ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของระบบ โดยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้จะมีพื้นที่ในการ

แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ V-type และแบบ flat plat heat ที่ใช้งานกันอยู่โดยทั่วไป ซึ่งส่งผลให้เครื่องปรับอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพทำความเย็นที่สูงขึ้น

2) หลอดแอลอีดีกำลังสูง (Light-emitting diodes, LED)

เทคโนโลยีไดโอดเรืองแสงหรือแอลอีดี ได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะแอลอีดีกำลังสูง (High power LED) ที่มีค่าความส่องสว่างสูงเมื่อเทียบเท่าหลอดไฟชนิดอื่น ไม่ก่อให้เกิดรังสีอัลตร้าไวโอเลต มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และมีอายุการใช้งานยาวนาน หลอดแอลอีดีเป็นหลอดไฟที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่นๆ ซึ่งในปัจจุบันมีมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในวงการแพทย์ ยานยนต์ โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์ โดยแอลอีดีกำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการนำมาใช้ในระบบแสงสว่างในสำนักงาน โรงงาน และไฟถนน เพิ่มมากขึ้น

3) ท่อนำแสง Light Pipe

ท่อนำแสง (Light Pipe) สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้บริเวณที่แสงธรรมชาติไม่สามารถส่องเข้าไปได้ โดยภายในท่อนำแสงจะมีการเคลือบด้วยสารสะท้อนแสงเพื่อนำแสงสว่างเข้ามาในอาคาร การติดตั้งของท่อนำแสงสามารถประหยัดในส่วนการใช้พลังงาน ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารได้เท่ากับ 0.13 KWh ต่อวันการใช้ท่อนำแสงช่วยลดการใช้ พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลงได้ร้อยละ 70 (ภิญโญ ชุมมณี และคณะ. 2549)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) แผ่นสะท้อนแสง Light Shelves

Light Shelves สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการติดตั้งวัสดุสะท้อนแสงให้แสงตกกระทบแล้วเกิดการสะท้อนขึ้นไปยังเพดานเพื่อให้เกิดความสว่างกระจายไปเข้าไปภายในห้อง

5) ระบบอีแว๊ป (Evaporative Cooling System)

ระบบอีแว๊ป (Evaporative system) คือ ระบบปรับอากาศที่อาศัยหลักการระเหยน้ำผ่านสื่อการระเหยน้ำ (Cooling pad) ที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่ออากาศร้อนผ่าน Cooling pad น้ำจะดึงความร้อนจากอากาศเพื่อใช้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ ทำให้อากาศที่ผ่าน Cooling pad มี

อุณหภูมิต่ำลง และเมื่อนำไปออกแบบการระบายอากาศที่ดี จะทำให้ได้อากาศบริสุทธิ์ที่มีความเย็นสบาย จุดเด่นของอีแว๊ป คือ มีประสิทธิภาพสูงในการลดอุณหภูมิเมื่ออากาศภายนอกร้อน และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด จะสามารถลดอุณหภูมิได้ถึง 8-10 องศาเซลเซียล เหมาะสำหรับติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีพื้นที่มาก เพื่อประหยัดต้นทุนในการติดตั้งระบบระบายอากาศแบบใช้เครื่องปรับอากาศ สามารถติดตั้งเพื่อระบายความร้อนให้เครื่องแอร์คอมเพลสเซอร์ (ปั๊มลม) อีกทั้งยังประหยัดไฟฟ้ากว่าเครื่องปรับอากาศอีกหลายเท่าตัว รวมทั้งการนำไปติดตั้งเพื่อระบายความร้อนให้กับเครื่อง Chiller และ Condensing unit ทำให้ยืดอายุการใช้งานของ compressor และทำให้ประหยัดค่าไฟ อีกด้วย

6) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ (PV Application System)

ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างดีเฉลี่ยประมาณ 5 kWh/m^2.d การประยุกต์ใช้มี 2 แบบ

(1) การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone System)

- ระบบที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว
- ระบบที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้ามากกว่า 1 แหล่ง (Hybrid System)

(2) การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง (Grid Connected System)

- ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (PV Roof TOP Grid Connected System)
- ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินหรือพื้นที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ โดยใช้โครงสร้างรองรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Chalita S., 2011) บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต(LCA) รวมถึงเสนอการประยุกต์ใช้ LCA กับอุตสาหกรรมก่อสร้างในลักษณะที่เป็นการเปรียบเทียบวัสดุก่อสร้างและกรณีศึกษาที่มีการนำ LCA มาประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร (Whole Building Life Cycle) นอกจากนี้ยังได้อภิปรายถึงจุดเด่นและข้อจำกัดของ LCA กลยุทธ์ด้าน LCA ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง รวมถึงข้อเสนอแนะอันจะทำให้การดำเนินการต่างๆ ตามแนวทาง LCA เกิดผลสัมฤทธิ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า LCA สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน และเป็นเครื่องมือในการประเมิน ทางสิ่งแวดล้อมที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างได้

(Yan H. และคณะ., 2010) การศึกษานี้เพื่อระบุขอบเขตและแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจกในการก่อสร้างอาคารที่มีการผลิตวัสดุก่อสร้าง, การขนส่งวัสดุก่อสร้าง, พลังงานที่ใช้อุปกรณ์ก่อสร้าง, พลังงานที่ใช้ในการนำทรัพยากรขึ้นมาใช้ และการกำจัดของเสียที่เกิดจากก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์ผลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการก่อสร้างของกรณีตัวอย่างการสร้างอาคาร One Peking พบว่าเกือบร้อยละ 98.6-99.2 ของปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมในการก่อสร้างอาคารมาจากการผลิตวัสดุก่อสร้าง, การขนส่งวัสดุก่อสร้างและการใช้พลังงานของอุปกรณ์ก่อสร้าง โดยร้อยละ 81.6 - 86.7 มาจากปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างร้อยละ 6.1-8.4 จากการขนส่งวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 6.4-8.6 เนื่องจากมีการใช้พลังงานของอุปกรณ์ก่อสร้าง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโดยการใช้วัสดุก่อสร้างรีไซเคิลการขนส่งวัสดุก่อสร้างทางทะเลและการใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างที่ประหยัดพลังงาน เราสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการก่อสร้างอาคารในระดับที่มีนัยสำคัญ นอกจากนี้โดยการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากของวัสดุก่อสร้างอาคาร One Peking เราพบว่าคอนกรีตและเหล็กเสริมคอนกรีต ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 93.99-95.11% ของวัสดุก่อสร้างทั้งหมด

(Jeong, Y.-S. และคณะ., 2012) บทความนี้ให้ความสนใจ 13 วัสดุก่อสร้างสำคัญที่ใช้ในขั้นตอนการก่อสร้างอาพาร์ทเมนท์ใหม่ นำมาวิเคราะห์และปริมาณการปล่อย CO_2 ทั้งหมดหกอาพาร์ทเมนท์ที่คำนวณโดยใช้วัสดุที่สำคัญเหล่านี้ ผลของผลกระทบของ CO_2 ต่ออาพาร์ทเมนท์ อยู่ประมาณ 569.5 kg-CO_2/m^2 โดยตัวอย่างอาพาร์ทเมนท์ D เป็นขนาดของอาพาร์ทเมนท์ในประเทศเกาหลีมีพื้นที่อยู่ 84.9 m^2 โดยมีการใช้พลังงาน 11.8 TOE และผลกระทบของ CO_2 อยู่ประมาณ 45.1 ton-CO_2 เหล็ก, คอนกรีต และซีเมนต์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้ในปริมาณมากในระหว่างการก่อสร้างอาคาร

จึงทำให้มีความสำคัญที่สุดในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่าเหล็ก, คอนกรีต และซีเมนต์ มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 85 ของการปล่อย CO_2 ทั้งหมดที่เกิดจากการก่อสร้างอาพาร์ทเม้น

(เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์, 2555) การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลรวมหยาบคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RCA) หรือมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต คอนกรีตใหม่ที่ได้นี้จะถูกเรียกว่า “คอนกรีตรีไซเคิล” หลักการก็คือ โดยใช้ RCA แทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ (NCA) ใน “คอนกรีตรีไซเคิล สำหรับค่ากำลังอัดประลัยที่ออกแบบไว้เท่ากับ 210, 280 และ 350 กก/ตร.ซม.โดยใช้ RCA แทนที่ NCA ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ตามลำดับ เมื่ออายุการบ่ม 28 วัน จะมีค่ากำลังอัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 3.75, 17.02, 19.37 และ 30.40 ตามลำดับ และค่ากำลังดัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.00, 16.54, 18.67, และ 32.48 ตามลำดับ” หรือกล่าวโดยสรุปว่า “คอนกรีตรีไซเคิล จะมีค่ากำลังอัดประลัยและกำลังดัดประลัยลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 30 และ 33 ตามลำดับเมื่ออายุการบ่ม 28 วัน” คอนกรีตรีไซเคิลจะมีความเหมาะสมกับการใช้งานลักษณะต่างๆ เช่น งานถนนภายในโครงการ งานพื้นทางเท้า งานโครงสร้างอาคารชั่วคราวหรือโครงสร้างอาคารที่พักอาศัย

(Nemry, F. และคณะ., 2010) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารที่พักอาศัยของประเทศในสหภาพยุโรปหลายมุมมอง ทั้งการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบของอาคาร ซึ่งพบว่าอาคารสูง (ในการศึกษาหมายถึงอาคารที่สูงกว่า 8 ชั้น) เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าบ้านเดี่ยว หรือการเปรียบเทียบระหว่างอาคารสร้างใหม่กับอาคารที่สร้างไว้เดิม ซึ่งพบว่าอาคารสร้างใหม่ เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า นอกจากนี้เมื่อมีการพิจารณาผลกระทบตามขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต พบว่าการใช้อาคาร (Use Phase) ก่อให้เกิดผลกระทบสูงกว่าขั้นตอนอื่นๆ เนื่องจากมีความต้องการพลังงานสูงเพื่อการสร้างความอบอุ่นให้กับอาคารซึ่งความต้องการพลังงานข้างต้นสามารถลดได้โดยการเพิ่มฉนวนหลังคา การเพิ่มฉนวนบริเวณผนังส่วนนอกของอาคาร (Façade) และการอุดช่องว่างต่างๆ เพื่อลดการระบายอากาศ

(Kofoworola, O.F. และคณะ., 2009) มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารซึ่งเป็นการประเมินด้านการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารสำนักงาน ซึ่งเป็นอาคารสูง 38 ชั้น ในกรุงเทพมหานคร การศึกษาได้ข้อสรุปในทำนองเดียวกับหลายการศึกษาที่ว่าช่วงการใช้งานอาคาร (Use or Operation Phase) มีการใช้พลังงานสูงกว่าช่วงอื่นอย่างไรก็ตามในช่วงของการผลิตวัสดุก่อสร้าง (Manufacturing Phase) ก็มีการใช้พลังงานสูง ซึ่งมิอาจละเลยที่จะนำมาพิจารณาโดยเฉพาะการผลิตเหล็กเสริมและคอนกรีต การศึกษานี้แนะวิธีการประหยัด การใช้พลังงาน ในอาคารในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ 26 องศาเซลเซียส การปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ไม่จำเป็นในช่วงพักกลางวัน การลดขนาดของหน้าต่างเพื่อลดการดูดซับความร้อน การใช้กระจกสะท้อนแสง นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการนำวัสดุประเภทคอนกรีตที่ได้จากการทุบ รื้ออาคารไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น การสร้างถนน ซึ่งสามารถทดแทนวัสดุก่อสร้างใหม่ที่ต้องมีการขุดเจาะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

(Loyprakhon, S.C. และคณะ.,2014) ทำประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ในหน่วย $kgCO_2e/m^2$ จากวัสดุก่อสร้างของบ้านที่มีรายได้ต่ำภายใต้โครงการบ้านเอื้ออาทร ข้อมูลกิจกรรมของวัสดุก่อสร้างได้จากบ้านและ Bill of Quantities (BOQ) บ้านที่มีรายได้ต่ำ เช่น บ้านเดี่ยว 61,97 ตร.ม., บ้านแฝด 109.67 ตร.ม., ทาวน์เฮาส์ 552.20 ตร.ม. และ คอนโดมิเนียม 2,121.15 ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างสูงที่สุดคือคอนโดมิเนียม 179.06 $kgCO_2e/m^2$ รองลงมา ได้แก่ ทาวน์เฮ้าส์ 118.73 $kgCO_2e/m^2$ บ้านคู่ $kgCO_2e/m^2$ และบ้านเดี่ยว 93.21 กก. $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใหญ่ที่สุดออกจากคอนโดมิเนียมเนื่องจากมีคอนกรีตและปูนซีเมนต์มากกว่าแบบอื่น พบว่าคอนกรีต, ซีเมนต์และ เหล็กเป็นจุดที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Aneksaen (2011)

(Peng, C., 2016) การใช้ข้อมูลอาคาร building informationmodeling (BIM) และ Ecotect ประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวงจรชีวิตอาคารสำนักงาน วัฏจักรชีวิตการปล่อย CO_2 ของอาคารนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ขั้นตอนการก่อสร้าง (construction stages),การดำเนินงาน (operation stages) และ การรื้อถอน (demolition stages) จากผลการคำนวณข้างต้นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างใช้งานอาคารเป็นส่วนใหญ่ของภาระการปล่อยมลพิษของอาคารซึ่งคิดเป็นร้อยละ 85.4 ของการปล่อยมลพิษทั้งหมดถัดไปคือการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12.6 ของการปล่อยมลพิษทั้งหมด ในที่สุดการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการรื้อถอนมีขนาดเล็กที่สุดคิดเป็นร้อยละ 2 ของยอดรวม

(Kofoworola, O.F. และคณะ., 2009) อาคารสำนักงานทั่วไปในประเทศไทยได้รับการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์พลังงานตลอดอายุการใช้งาน life cycle energy analysis (LCEA) ผลการทดลอง ของวัฏจักรชีวิตพลังงานของ life cycle energy (LCE) แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระยะปฏิบัติการใช้งานของอาคาร ระบบที่บริโภคพลังงานของอาคารเป็น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่างและระบบ HVAC ในขั้นตอนการใช้งานอาคารและ การผลิตคอนกรีตและเหล็กกล้าเป็นองค์ประกอบที่มีนัยสำคัญที่สุดในวงจรชีวิตของอาคาร

2.14 Research gap

การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารในประเทศไทยเป็นงานวิจัยที่มีการศึกษาค่อนข้างน้อย และส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในลักษณะช่วงใดช่วงหนึ่งของวัฏจักรชีวิตอาคารยังไม่มีการศึกษาทั้งวัฏจักรชีวิตอาคาร และยังไม่ทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักของแต่ละช่วงชีวิตของอาคาร การประเมินต้นทุนของแนวทางการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงอาคารเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะมีศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยคำนึงถึงต้นทุน มีความน่าสนใจในการลงทุนปรับเปลี่ยนหรือเห็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ลดลงมากน้อยเพียงใด งานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยแรกๆ ที่จะทำการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตของทั้งวัฏจักรชีวิตอาคาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด เพื่อนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

โดยการศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ
2. การคัดเลือกตัวแทนของอาคารสถานศึกษา แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ 1.อาคารเรียนและวิจัย 2.อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ 3.อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา
3. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา
4. ขอข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูลวัฏจักรชีวิตของอาคารสถานศึกษา โดยทำหนังสือขอข้อมูลจากมหาวิทยาลัยเพื่ออนุญาติจากทางของอาคารเพื่อข้อมูลอาคารและทำการจัดเก็บข้อมูลอาคารในด้านต่างๆ
5. ข้อมูลที่ได้จะแบ่งเป็น 2 แบบ

   1) **ข้อมูลปฐมภูมิ** เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและการเก็บข้อมูลโดยผู้วิจัยข้อมูลปฐมภูมิ

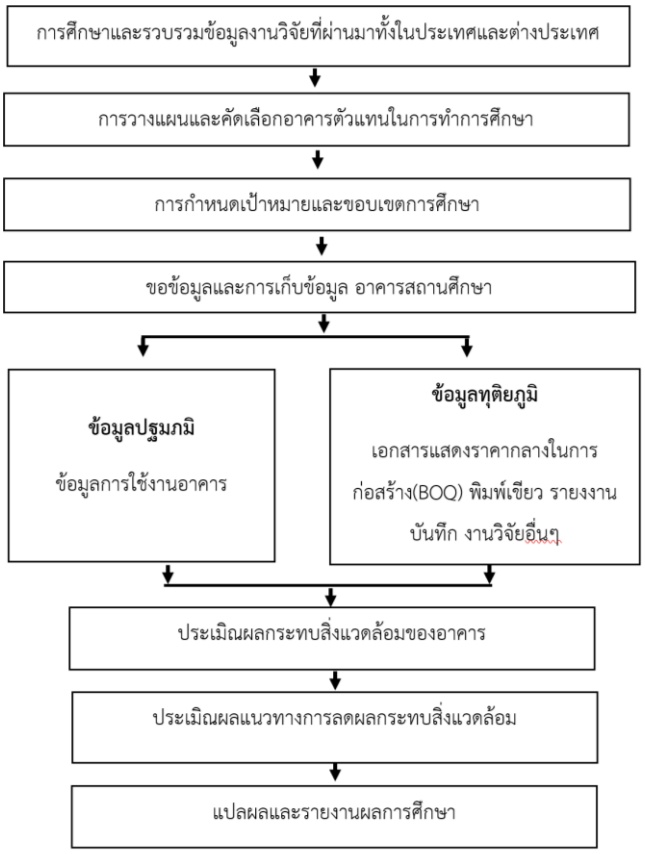
   - ปริมาณพลังงานไฟฟ้า
   - ปริมาณน้ำ
   - ปริมาณขยะ
   - ปริมาณน้ำเสีย
   - ปริมาณพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้
   - จำนวนผู้ใช้งานอาคาร
   - ลักษณะการใช้งานอาคาร

   2) **ข้อมูลทุติยภูมิ** เป็นข้อมูลที่ได้จากบันทึก รายงาน ฐานข้อมูล งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

   - บัญชีแสดงราคากลางการก่อสร้าง (bill of quantities : BOQ)
   - พิมพ์เขียวอาคาร (Blueprint)
   - พื้นข้อมูลของโปรแกรม
   - การรื้อทำลายอาคาร การถล่มปรับที่ การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ซ้ำ และหลุมฝังกลบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. การทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้ โปรแกรม SimaPro 8.2 ใช้การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร
7. การทำการประเมิณทางเลือกในการปรับเปลี่ยนวัสดุโดยใช้ โปรแกรม BESM หรือ Building Energy Simulation Model เป็นโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำหรับ วิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารประเภทต่าง ๆ โดยมีการทางานร่วมกันของ 3 โปรแกรม ได้แก่ SketchUp, Open Studio และ EnergyPlus
8. การแปลผลการศึกษาและรายงานผลการศึกษาการ



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

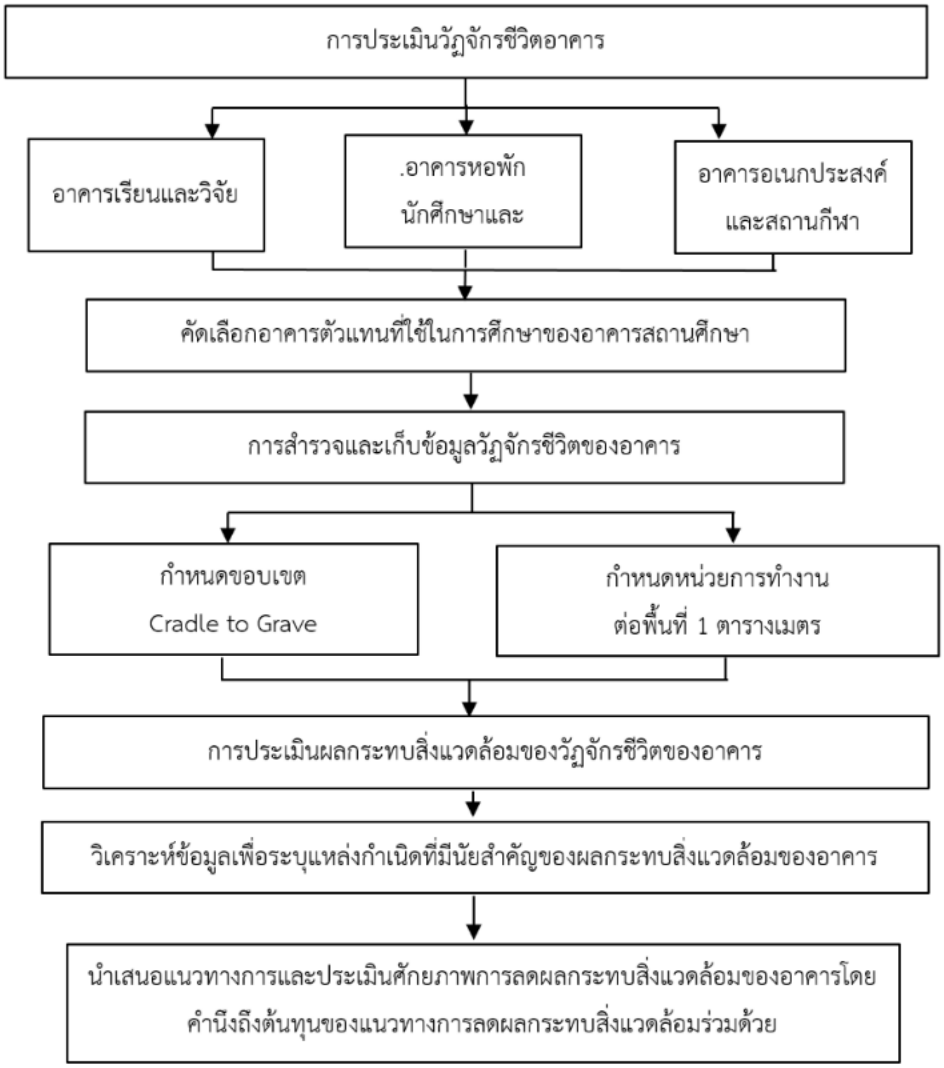
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของอาคาร โดยอาศัยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ซึ่งเป็นการรวบรวมและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ระบบการผลิตหรือการบริการตลอดวัฏจักรชีวิต เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ และพลังงาน กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง การใช้งานอาคาร การบำรุงรักษาอาคาร และการนำไปกำจัด หลังจากหมดอายุการใช้งานอาคาร มีขอบเขตของการศึกษาครอบคลุม การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้ มีทั้งข้อมูล ปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลปฐมภูมิได้ทำการเก็บข้อมูลโดยตรงจากอาคารที่ได้การใช้งานอาคาร ส่วนของข้อมูลทุติยภูมิได้จาก ราคากลางงานก่อสร้าง (Bill of Material : BOQ) การรวบรวมงานวิจัย พิมพ์เขียว รายงาน และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศ และจัดทำแนวทางเสนอแนะแนวการลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารที่เหมาะสมกับประเทศไทย

โดยแผนผังการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3.2

1. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของอาคารสถานศึกษา
2. การคัดเลือกตัวแทนของอาคารสถานศึกษา แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ 1.อาคารเรียนและวิจัย 2.อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ 3.อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา
3. การสำรวจและเก็บข้อมูลวัฏจักรชีวิตของอาคาร
4. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของข้อมูลวัฏจักรชีวิตของอาคาร
5. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุแหล่งกำเนิดหรือกระบวนการของอาคารที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอาคารสถานศึกษา

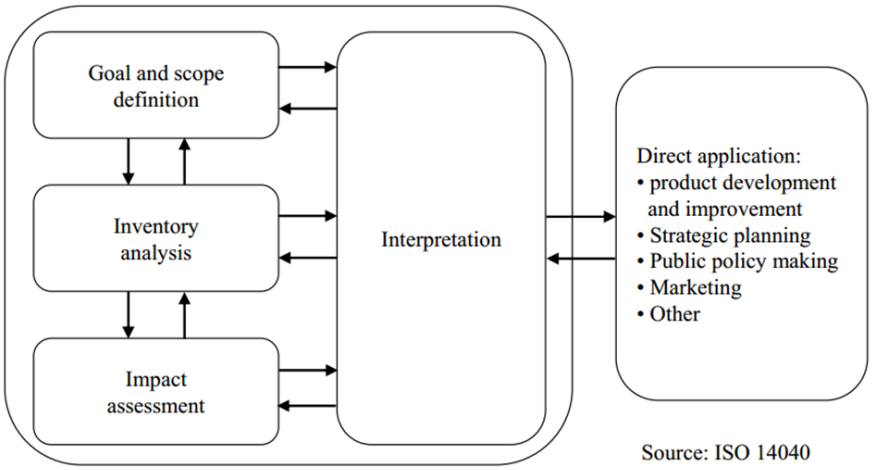
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. นำเสนอแนวทางและประเมินศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยคำนึงถึงต้นทุนของแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วย



รูปที่ 3.2 รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร

โดยขั้นตอนการการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร ดำเนินการตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งประกอบด้วย 1) การกำหนด เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition) 2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชี รายการ (Life Cycle Inventory : LCI) 3) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA) และ 4) การแปลผล (Life Cycle Interpretation) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

3.3.1.1 เป้าหมายของการศึกษา (Goal Definition)

1) เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารสถานศึกษา

2) วิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากอาคาร

3) แนวทางเสนอแนะแนวการลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยคำนึงถึงต้นทุนในการปรับปรุงอาคารร่วมด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

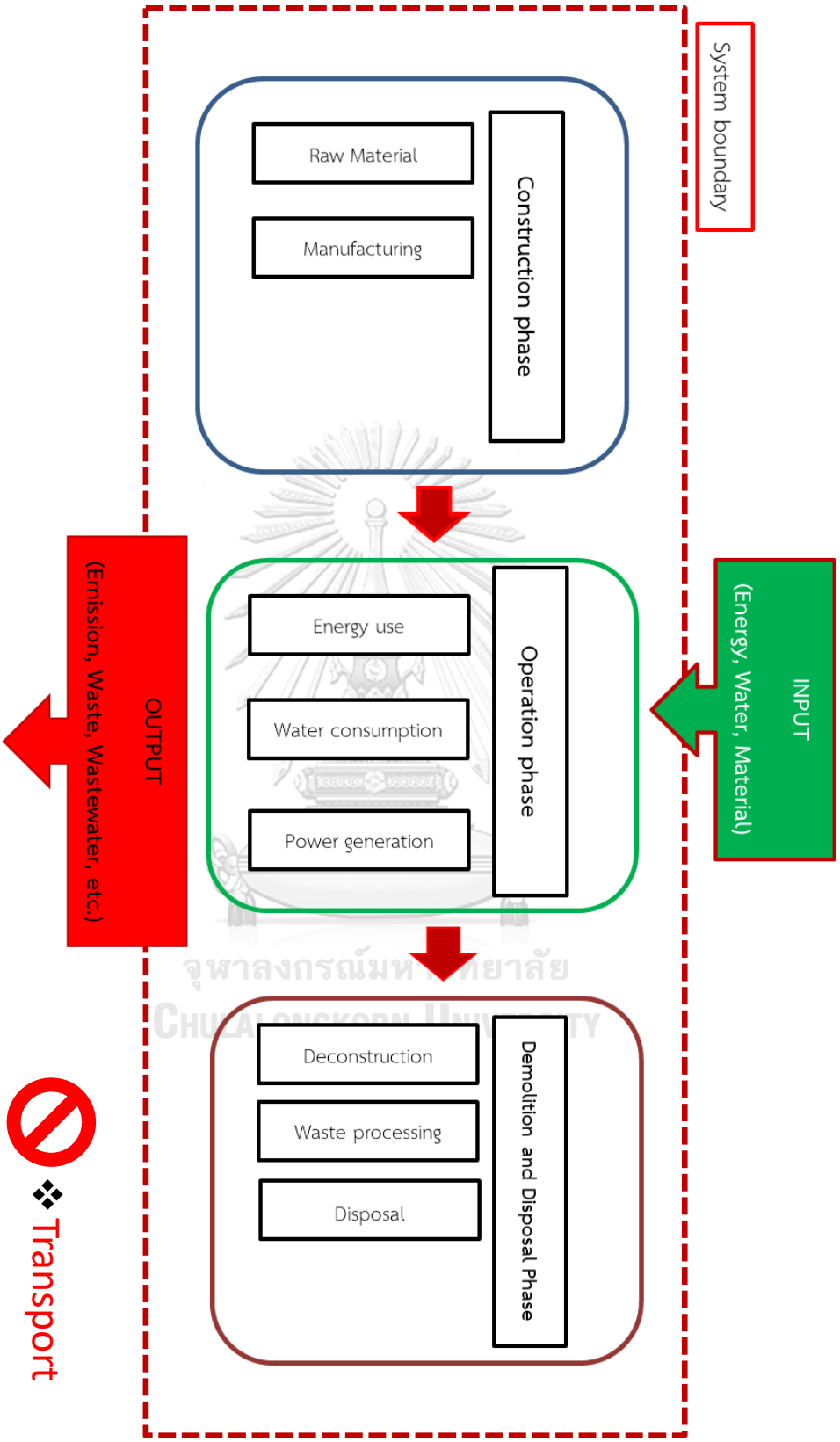
3.3.2.2 ขอบเขตของการศึกษา (Scope Definition)

1) การวิจัยนี้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ ผลิตวัสดุก่อสร้าง การใช้งาน การซ่อมแซมบำรุงรักษา ตลอดจนการรื้อถอนและการนำไปกำจัดเมื่ออาคารหมดอายุการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเลือกศึกษาอาคารสถานศึกษาเป็นอาคารกรณีศึกษา

2) วิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากอาคาร การศึกษานี้จะใช้โปรแกรม Simapro V. 8.2 ประเมินผลกระทบด้วยวิธี BEES+ ในการประเมินเมื่อการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบ

ผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่า การเปรียบเทียบจะต้องถูกกำหนดด้วยหน่วยพื้นฐานที่เท่ากัน กล่าวคือต้องมีการกำหนดหน่วยอ้างอิง (Functional Unit : FU) ของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่เท่ากัน ซึ่งเป็นปริมาณหรือจำนวนที่ใช้เป็นหน่วยอ้างอิง (ISO 14044, 2006) ในงานวิจัยนี้เป็นประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร เป็น 3 ช่วง ของวัฏจักรชีวิตอาคาร ซึ่งมีช่วงโครงสร้างอาคาร ช่วงการใช้งานอาคาร และช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด จึงจำเป็นต้องมีการระบุหน่วยอ้างอิงเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งหน่วยอ้างอิงของอาคารจะกำหนดที่ 1 ตารางเมตรของพื้นที่อาคาร และมีอายุการใช้งานเท่ากับ 50 ปี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในประเทศไทย (Kofoworola and Gheewala, 2008; ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2551)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.4 ขอบเขตของระบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

3.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory : LCI)

เป็นการรวบรวมข้อมูลของสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และการปล่อยของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร

ตารางที่ 3.1 ตารางบัญชีรายการ

ช่วงชีวิตอาคาร	รายการข้อมูล	ที่มาของข้อมูล
ช่วงวัสดุก่อสร้างและการก่อสร้างอาคาร (Construction Phase)	บัญชีแสดงปริมาณงานและวัสดุก่อสร้าง (Bill of Quantities : BOQ) ประกอบไปด้วย งานโครงสร้าง, งานสถาปัตยกรรม งานสุขาภิบาลและ ดับเพลิง งานสิ่งสำนวยความสะดวก - (ป้องกันอัคคีภัย, งานระบบไฟฟ้าและสื่อสาร, งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ, งานระบบเครื่องกล)	บัญชีแสดงปริมาณงานและวัสดุก่อสร้าง (Bill of Quantities : BOQ) จะได้จากการขอข้อมูลจากทางเจ้าของอาคาร ตัวแทนอาคารอาคารสถานศึกษา 3 ประเภท 1. อาคารเรียนและวิจัย - อาคาร60ปี รัฐศาสตร์ จุฬาฯ - อาคาร 100ปี วิศวฯ จุฬาฯ 2.อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬา - อาคารอเนกประสงค์ หอพักนิสิต จุฬาฯ - อาคารเฉลิมราชสุดากีฬาสถาน จุฬาฯ 3.อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ - หอพักชวนชม จุฬาฯ - หอพักคณาจารย์ คณะแพทย์ จุฬาฯ

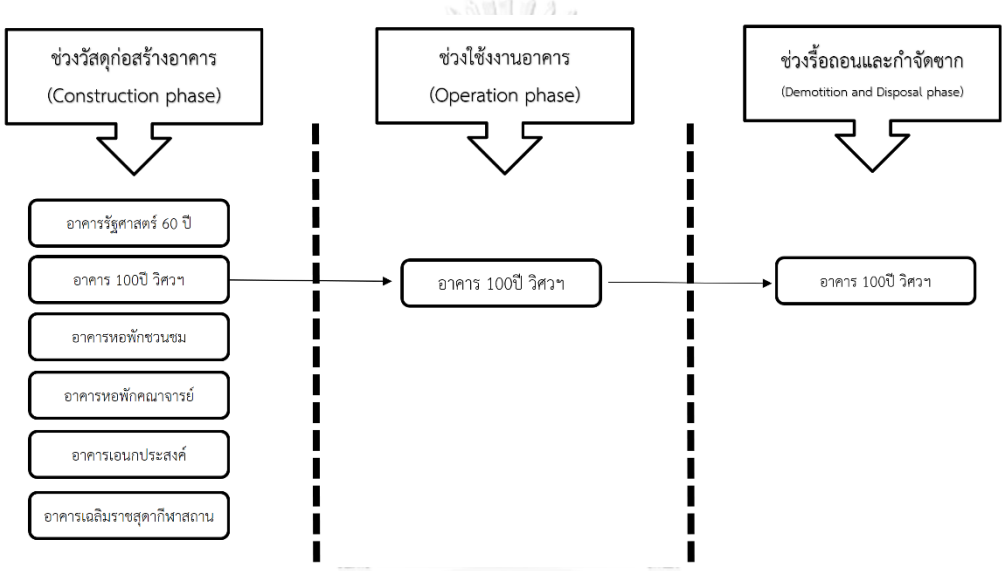
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase)	พลังงาน โดยแบ่ง • ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า • ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงและพลังงานหมุนเวียน	การจัดเก็บข้อมูลจากทางเจ้าของอาคาร จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ ของอาคาร ตัวแทนอาคารอาคาร อาคาร 100ปี วิศวฯ จุฬาฯ
	การใช้น้ำ	การจัดการจัดเก็บข้อมูลจากทางเจ้าของอาคาร จากใบแจ้งหนี้บิลค่าน้ำ ตัวแทนอาคารอาคาร อาคาร 100ปี วิศวฯ จุฬาฯ
	ปริมาณน้ำเสีย	การจัดเก็บข้อมูล คำนวณจากการปริมาณการใช้น้ำของอาคาร โดยปริมาณน้ำเสียจากอาคาร คิดประมาณร้อยละ 80 ของน้ำใช้ (กรมควบคุมมลพิษ) ตัวแทนอาคารอาคาร อาคาร 100ปี วิศวฯ จุฬาฯ
	ปริมาณขยะ	• การจัดการจัดเก็บข้อมูลจากทางของอาคาร โดยอาคารมีการจัดเก็บปริมาณแต่ละเดือน ตัวแทนอาคารอาคาร อาคาร 100ปี วิศวฯ จุฬาฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase)	ถมปรับที่ดิน ฝังกลบ นำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ซ้ำ	ขยะสิ่งก่อสร้างที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งได้จาก บัญชีแสดงปริมาณงานและวัสดุก่อสร้าง (Bill of Quantities : BOQ) ตัวแทนอาคารอาคารอาคาร 100ปี วิศวฯ จุฬาฯ

*** ไม่คิด**การขนส่ง**แต่ละช่วงชีวิตของอาคาร



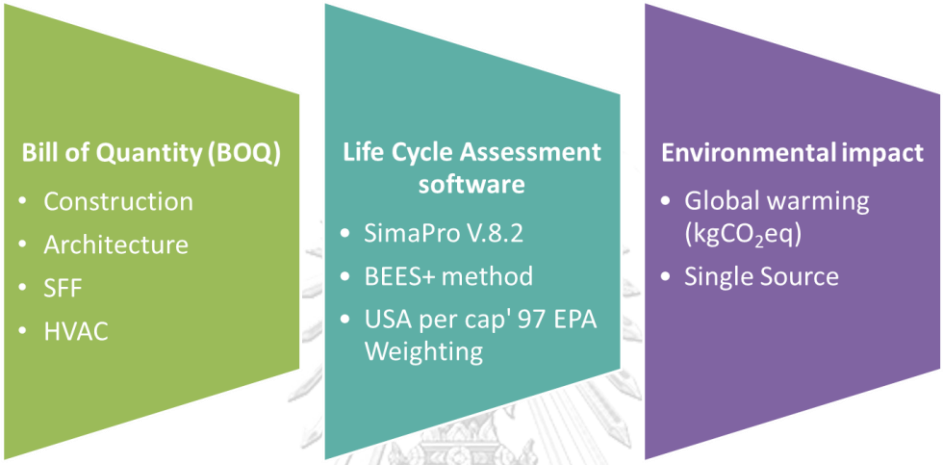
รูปที่ 3.5 อาคารตัวแทนในแต่ละช่วงชีวิตอาคาร

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 3.5 อาคารตัวแทนในแต่ละช่วงชีวิตของอาคาร การคัดเลือกอาคารตัวแทนของแต่ละช่วงชีวิตของอาคารนั้น ขึ้นอยู่กับความพร้อมและความเพียงพอของข้อมูลแต่ละอาคารในแต่ละช่วง เนื่องจากอาคารแต่ละอาคารมีการดำเนินการสร้างและใช้งานอาคารแล้ว ดังนั้นความเพียงพอของข้อมูลขึ้นอยู่กับการจัดเก็บข้อมูลของแต่ละอาคาร การคัดเลือกตัวแทนของแต่ช่วงชีวิตของอาคารนั้นจึงขึ้นกับข้อมูลในส่วนที่กล่าว โดยช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร (Construction phase) ประกอบด้วยอาคารตัวแทน 6 อาคารด้วยกัน โดยใช้ข้อมูลจาก เอกสารแสดงราคากลางในการก่อสร้าง BOQ หรือ Bill of Quantities ช่วงใช้งานอาคาร (Operation phase) มีอาคารตัวแทน 1 อาคาร คือ อาคาร 100ปี วิศวฯ เนื่องจากมีความพร้อมของข้อมูล โดยใช้ข้อมูล การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ ปริมาณน้ำเสีย ปริมาณขยะ และพลังงานหมุนเวียน ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and

Disposal Phase) มีอาคารตัวแทน 1 อาคาร คือ อาคาร 100ปี วิศวฯ โดยใช้ข้อมูลจากเอกสารแสดงราคากลางในการก่อสร้าง BOQ ในการทำนายว่าเมื่อจะรื้อทำลายอาคารจะเกิดขยะสิ่งก่อสร้างอะไรเกิดขึ้นบ้าง ซึ่งอาคารตัวแทนที่มีผลการตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร คือ อาคาร 100ปี วิศวฯ

วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร (Construction phase)

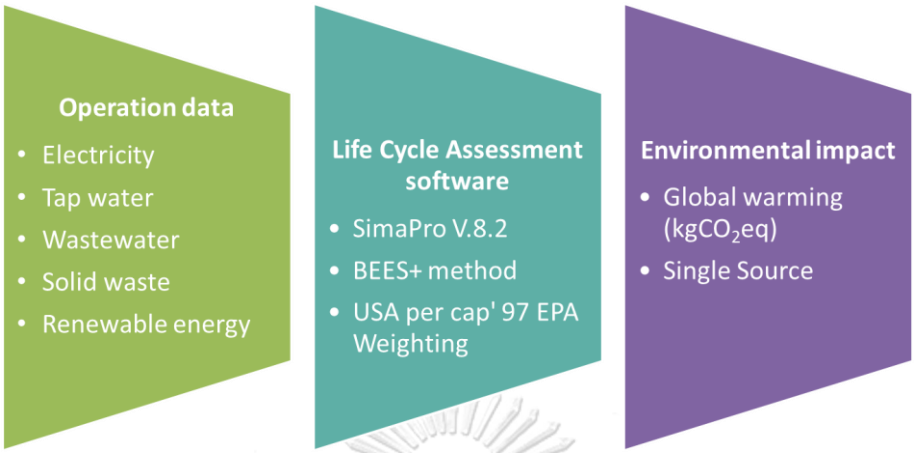


รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร

วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร จากรูปที่ 3.6 โดยจะแบ่งวัสดุออกเป็น 4 งานด้วยกัน 1.งานโครงสร้างอาคาร (Construction) 2.งานสถาปัตยกรรม (Architecture) 3.งานสุขาภิบาล (SFF) 4.งานสิ่งอำนวยความสะดวก (HVAC) จากนั้นนำข้อมูลวัสดุใส่ในโปรแกรม SimaPro V.8.2 ใช้วิธีการประเมินแบบ BEES+ method และใช้การให้น้ำหนักแบบ USA per cap’97 EPA Weighting จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม และทางผู้วิจัยเลือกใช้ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือ ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Global warming) และผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว (Single source)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงการใช้งานอาคาร (Operation phase)

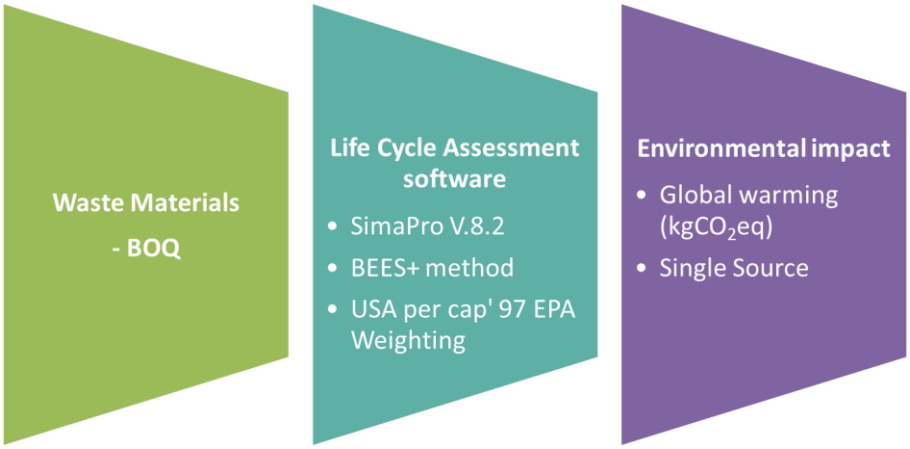


รูปที่ 3.7 วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงการใช้งานอาคาร

วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงวัสดุการใช้งานอาคาร จากรูปที่ 3.7 โดยจะใช้ข้อมูล การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ ปริมาณน้ำเสีย ปริมาณขยะ และพลังงานหมุนเวียน จากนั้นนำข้อมูลวัสดุใส่ในโปรแกรม SimaPro V.8.2 ใช้วิธีการประเมินแบบ BEES+ method และใช้การให้น้ำหนักแบบ USA per cap'97 EPA Weighting จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม และทางผู้วิจัยเลือกใช้ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือ ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Global warming) และผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว (Single source)

วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.8 วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงรื้อถอนและการนำไปกำจัด

วิธีการดำเนินงานวิจัยช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด จากรูปที่ 3.8 โดยจะใช้ข้อมูลจากเอกสารราคากลางการก่อสร้าง BOQ โดยจะมีรูปแบบการคิดผลกระทบโดยดูจากตารางที่ 3.2 โดยทุกกลุ่มวัสดุจะคิดพลังงานจากการรื้อทำลายอาคาร ฝุ่นละออง แต่จะไม่คิดผลกระทบกลุ่มวัสดุส่วนการจัดการนำไปถล่มปรับพื้น (Dumping) เนื่องจากเป็นวัสดุเฉื่อยคิดว่าไม่เกิดปฏิกริยา การใช้ซ้ำ (Reuse)และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เนื่องจากอยู่นอกขอบเขตงานวิจัย จะคิดแต่กลุ่มวัสดุที่มีการจัดการโดยนำลงหลุมฝังกลบ (Landfill) จากนั้นนำข้อมูลวัสดุใส่ในโปรแกรม SimaPro V.8.2 ใช้วิธีการประเมินแบบ BEES+ method และใช้การให้น้ำหนักแบบ USA per cap'97 EPA Weighting จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม และทางผู้วิจัยเลือกใช้ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือ ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Global warming)และผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว(Single source)

ตารางที่ 3.2 การคิดผลกระทบของแต่ละกลุ่มวัสดุ

Materials	Demolition	Dumping	Reuse	Recycle	Landfill
Waste reinforced concrete	✓	×			
Waste cement in concrete and mortar	✓	×			
Waste brick	✓	×			
Waste glass pane in burnable frame	✓	×			
Waste concrete gravel	✓	×			
Waste wood	✓		×		
Waste window frame, metal	✓		×		
Waste Copper	✓			×	
Waste PVC	✓			×	
Waste reinforcement steel	✓			×	
Waste textile, soiled	✓				✓
Waste fibreboard	✓				✓
Waste polyethylene	✓				✓
Waste expanded polystyrene	✓				✓
Waste, silicon photovoltaic	✓				✓

***ไม่คิดผลกระทบส่วน Dumping - เป็นวัสดุเฉื่อย ReuseและRecycle – อยู่นอกขอบเขตงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

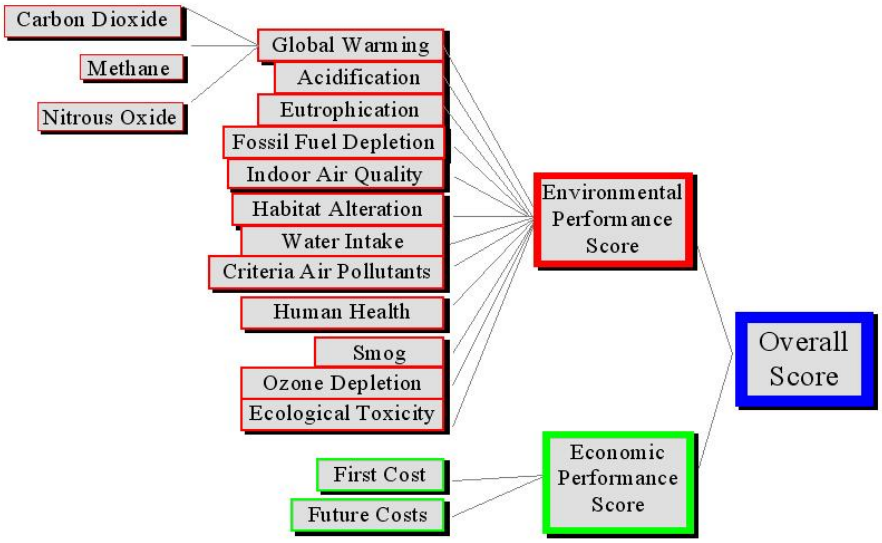
3.2.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

เป็นการแปลงข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงาน และการปล่อยของเสียตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยพิจารณาต่อพื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร ให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยวิธีการประเมิน BEES+ ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบขั้นปลาย (Mid-point Impact) ที่แสดงผลกระทบออกมาในรูปของคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) วิธี BEES+ จะแสดงคะแนนเชิงเดี่ยวออกมาจากการรวมทั้ง 13 กลุ่มผลกระทบ โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ช่วง ตั้งแต่ช่วงวัสดุก่อสร้างและการก่อสร้างอาคาร (Construction Phase) ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase) และช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase) จะอาศัยสมการ ของปริมาณของแหล่งกำเนิดคูณด้วย Emission factor ของแหล่งกำเนิดนั้นๆ โดยตัวโปรแกรมจะเป็นตัวประมวลผลให้ทั้ง 13 กลุ่มผลกระทบ

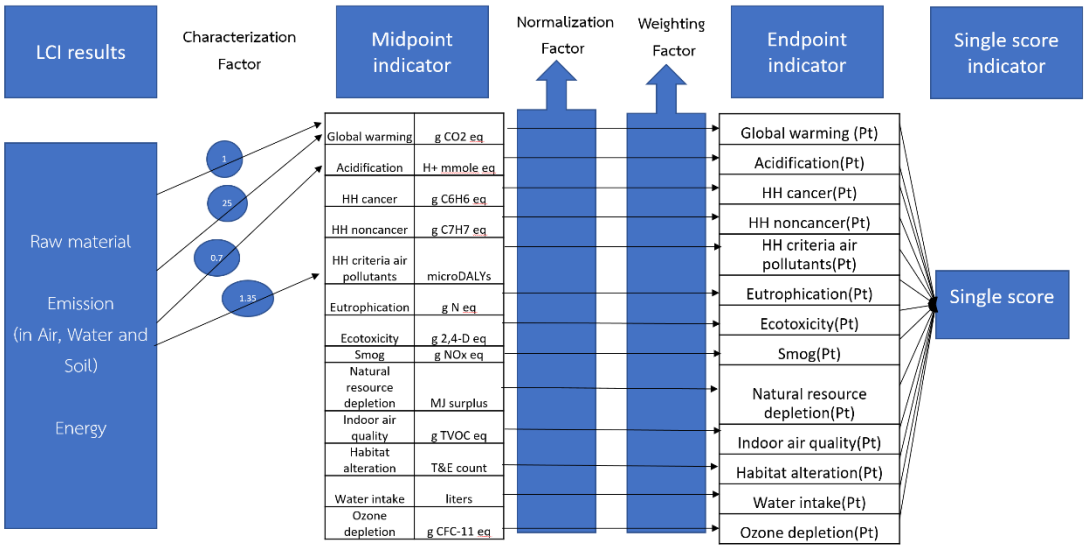
$$environment\ impact = emission\ factor\ x\ source$$

โดยเป็นการนำปริมาณของวัสดุ หรือ กิจกรรม มาคูณกับ emission factor ของกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ผลจะออกมาเป็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวัสดุหรือกิจกรรมนั้นๆ โดยอยู่ในกลุ่มผลกระทบใดขึ้นกับ emission factor โดยวิธี BEES+ จะคิด13 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.9 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวิธีการประเมิน BEES+



รูปที่ 3.10 วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโปรแกรม SimaPro

วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโปรแกรม SimaPro

จากรูปที่ 3.10 โดยวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโปรแกรม SimaPro นั้น สามารถได้ผลการคำนวณเป็น 3ขั้นคือ Midpoint Endpoint และ Single score การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้น Midpoint นั้นได้จากการนำข้อมูล วัสดุ พลังงาน กระบวนการ ฯลฯ คูณด้วย Characterization factor จะได้ผลกระทบออกเป็น 13 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพราะฉะนั้นในขั้น Midpoint ทำให้ทราบได้ว่าวัสดุ พลังงาน กระบวนการ ฯลฯ มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านไหนสูงจากนั้น คูณด้วย Normalization factor เพื่อปรับให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 13 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน เมื่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง13ด้านอยู่ในหน่วยเดียว สามารถเปรียบเทียบกันได้ว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 13 ด้านนั้น มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมใดที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นคูณ Weighting factor ซึ่งเป็นการให้ค่าความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมว่าแต่ละมาตราฐานให้ค่าน้ำหนักผลกระทบใดสำคัญ หลังจากคูณด้วยค่า Weighting factor ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 13 ด้าน จะออกมาอยู่ในรูปแบบของคะแนน (Pt) ซึ่งเป็นผลการประเมินขั้น Endpoint จากนั้น เมื่อทำการรวมคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 13 ด้าน จะได้เป็นคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า วัสดุ พลังงาน กระบวนการ ฯลฯ นั้นก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวเท่าไหร่

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Input data						Output result
Amount	**×**	**Emissions**	**×**	**Characterization factor**	**=**	**Equivalents**
Kg alt MJ	×	g/kg alt g/MJ	×	$f_{substance}$	=	g equivalents
Form Building		From database		Form database		

จากตารางที่ 3.3 เป็นตัวอย่างการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดย จะนำข้อมูลจากการเก็บข้อมูลอาคารตัวแทนได้แก่ วัสดุ พลังงานไฟฟ้า ขยะ ฯลฯ จะต้องคูณด้วยผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยมาจากฐานข้อมูลของโปรแกรม SimaPro ว่ามีผลกระทบอะไรเกิดขึ้นบ้างและเกิดขึ้นเท่าไหร่ จากนั้นคูณด้วย characterization factor แต่ละผลกระทบ ซึ่งการประเมินแบบ BEES+ จะมี13 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากนั้นจะได้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ วัสดุ พลังงานไฟฟ้า ขยะ ฯลฯ โดยตัวอย่างการคำนวณดูได้จากตารางที่ 3.4 ซึ่งเป็นการคำนวณหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Global warming)

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ

Input data						Output result
Amount	**×**	**Emissions**	**×**	**Characterisation factor**	**=**	**Global warming**
Concrete 100,000 kg ...	×	CO_2 2,000 kg	×	1	=	200,000 tCO_2eq
		CH_4 1,000kg	×	25	=	2,500,000 tCO_2eq
		SO_2 300 kg	×	36	=	1,080,000 tCO_2eq
		...		...		...
SUM						3,780,000 tCO2eq

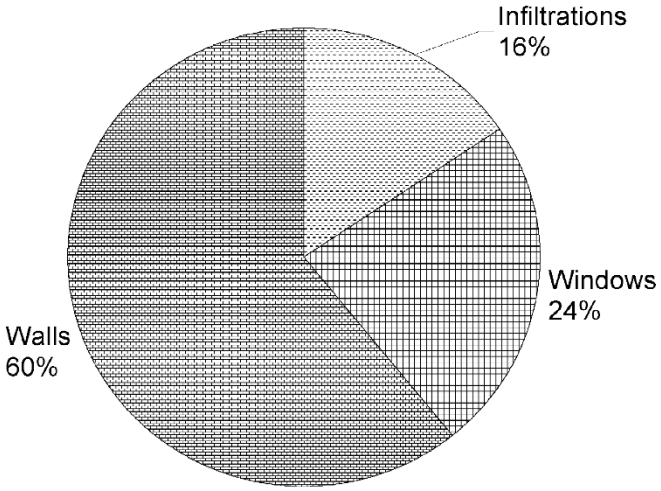
3.2.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

เป็นการนำผลการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา โดยกาประเมินวัฏจักรชีวิตจะเกี่ยวข้องกับข้อมูลและตัวเลขจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงาน ซึ่งจะทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลของกระบวนการผลิตที่มีหลายขั้นตอนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่ได้ทำศึกษาไว้แล้วทั่วโลก

3.3 เสนอแนะแนวการลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารที่เหมาะสมกับประเทศไทย

นำผลการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารมาหา hotspot ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีการปล่อยคาร์บอนสูงตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยเฉพาะผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีการให้น้ำหนักผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในวิธีการประเมินแบบ BEES+ และหาวัสดุทางเลือกที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ และเหมาะสมกับประเทศไทย โดยจะเลือกวัสดุกรอบอาคารที่ส่งผลต่อพลังงานในการใช้งานอาคาร โดยการศึกษางานวิจัยของคุณ Arena และคณะ(A.P. Arena et al., 2003) ได้ทำการศึกษาวัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารและพบว่า กำแพง สามารถลดการใช้งานพลังงานได้ ร้อยละ60 จากการเพิ่มฉนวน: หน้าต่าง สามารถลดการใช้พลังงานได้ ร้อย

ละ 24 โดยการเพิ่มเป็นกระจก 2 ชั้น และ การลดอากาศผ่านเข้าอาคาร จากการอุดด้วยขอบยาง ลดการใช้พลังงานในอาคารได้ร้อยละ 16 โดยดูจากได้รูปที่ 3.11 และจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการคัดเลือกวัสดุกรอบอาคารที่มีในประเทศไทยตามตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.11 การศึกษาวัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการลดใช้พลังงานในอาคารของคุณ Arena และคณะ

.

ตารางที่ 3.5 วัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในงานวิจัย

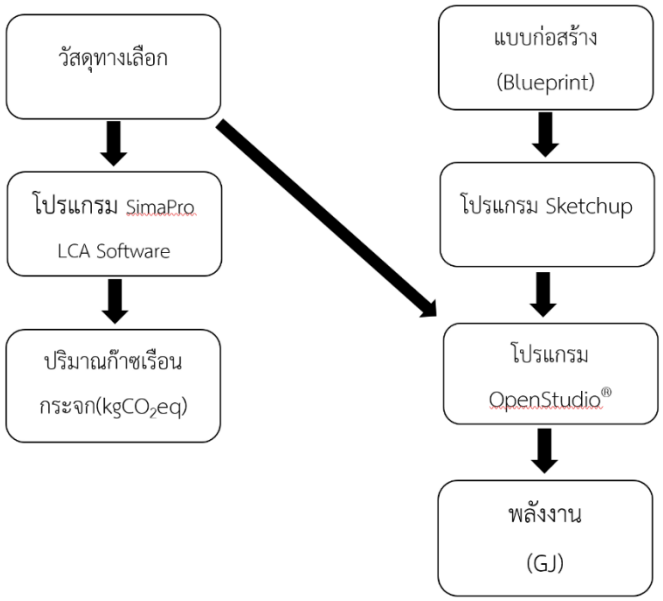
WALL				
Materials	**Tinckness (m)**	**Conductivity (W/m•K)**	**Specific Heat (J/kg•K)**	**Density (kg/m^3)**
Cellulose (baseline)	0.1	0.039	2020	46
Polyurethane foam	0.0254	0.024	1590	24
Glass wood	0.1	0.035	1030	20

INSULATION				
Material	**Tinckness (m)**	**Conductivity (W/m•K)**	**Specific Heat (J/kg•K)**	**Density (kg/m^3)**
Brick (baseline)	0.075	1.15	920	1760
Concrete block	0.07	0.519	1000	765
Autoclaved Aerated Concrete	0.075	0.087	1000	550

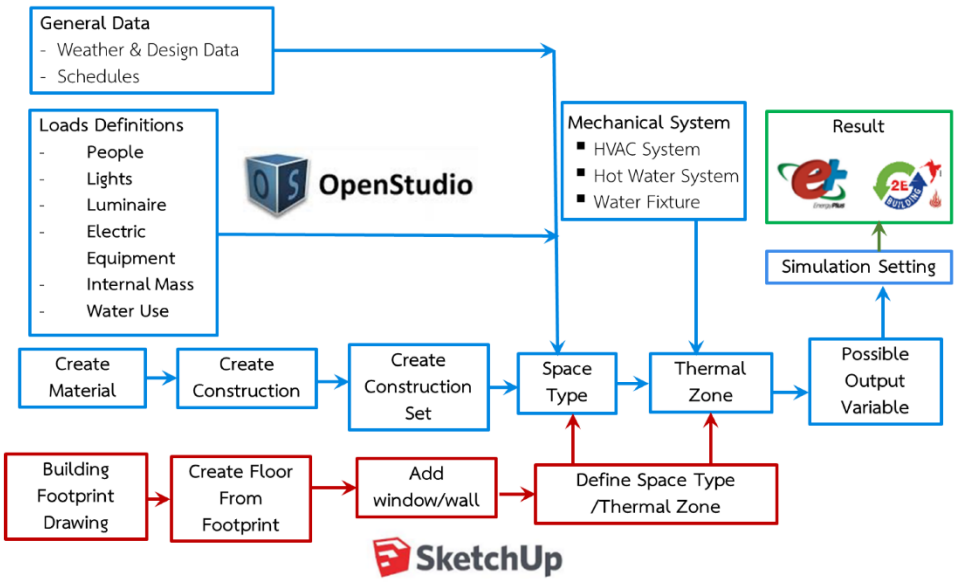
WINDOW glazing		
Material	**U-factor (W/m^2•K)**	**Solar Heat Gain Coefficient**
Single glazing (baseline)	5.88	0.54
Double glazing	3.86	0.41
Triple glazing	0.17	0.24

โดยการศึกษาแนวทางลดการปล่อยคาร์บอนนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย รูปที่ และขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรมของดังรปที่

1. วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิตในช่วงโครงสร้างอาคารและช่วงใช้งานอาคาร
2. หาแนวทางเลือกในการปรับเปลี่ยนวัสดุที่สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร เป็นวัสดุกรอบอาคาร
3. การคัดเลือกตัวแทนของอาคารสถานศึกษา ซึ่งได้แก่ อาคาร 100 ปี วิศวฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. การทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้ โปรแกรม SimaPro 8.2 และใช้วิธีการประเมินแบบ BEES+ ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัสดุทางเลือก
5. ทำการสร้างแบบจำลองของอาคาร อาคาร 100 ปี วิศวฯ โดยใช้โปรแกรม SketchUp ในสร้างแบบจำลองจาก แบบการก่อสร้างอาคาร
6. การทำการประเมิณทางเลือกในการปรับเปลี่ยนวัสดุโดยใช้ โปรแกรม OpenStudio ในประเมินผลการใช้พลังงานของอาคารเมื่อมีการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร
7. การแปลผลการศึกษาและรายงานผลการศึกษา



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการประเมินศักยภาพแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3.13 การไหลของการใช้โปรแกรม

เพื่อนำเสนอแนวการลดการปล่อยคาร์บอนจากอาคารที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยจะเสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนเฉพาะส่วนของวัสดุก่อสร้างที่เป็นมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารโดยเสนอแนะทั้งในกรณีที่ก่อสร้างอาคารใหม่และกรณีที่อาคารเก่ามีการซ่อมแซม และคำนึงถึงเงินลงทุนโดยใช้การวิเคราะห์ต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Marginal Abatement Cost:) การนำเสนอแนวทางการลดผลกระบบสิ่งแวดล้อมของอาคารและประเมินศักยภาพในการลดในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้วิธีการศึกษา ในการวิเคราะห์ต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนของวัสดุก่อสร้างอาคาร การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากข้อเสนอแนะ และจำนวนปีเจ้าของอาคารได้รับสิทธิ์ประโยชน์จากข้อเสนอแนะ โดยคำนวณหาค่า Abatement cost และ GHG emission reduction intensity (ERI) เพื่อทำกราฟความสัมพันธ์เพื่อหามาตราการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ ซึ่งใช้สูตรการคำนวณ ดังสมการต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ER = BE - PE$$

ER การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ GHG emission reduction ($tCO_2eq/year$)

PE การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมาตรการ Project GHG emission ($tCO_2eq/year$)

BE การปล่อยก๊าซเรือนกระจกพื้นฐาน Baseline GHG emission ($tCO_2eq/year$)

การประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์ได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ERI = \frac{ER}{price \times C}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

.ERI การลดความเข้มของคาร์บอน Reduction in carbon intensity (tCO_2eq/THB)

ER การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ GHG emission reduction ($tCO_2eq/year$)

Price ราคาของการลงทุนของมาตรการ Market price of product (THB/ton of product)

C ปริมาณของผลิตภัณฑ์ของมาตรการต่อพื้นที่ Annual product per area (ton of product/m^2)

การประเมินหาต้นทุนที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาต้นทุนที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์การดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$EAC = Inv\frac{r(1+r)^{n-1}}{((1+r)^{n}-1)} + OM$$

where:

EAC ค่าใช้จ่ายการลงทุนประจำปีที่เทียบเท่ากันตลอดอายุการใช้งานของโครงการโดยมีอัตราคิดลดร้อยละ r Equivalent annual investment cost allocated over the measure's lifetime of n years with a discount rate of r % (THB/year)

OM ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาโดยประมาณของมาตรการ Estimated operating and maintenance cost of the measure (THB/year)

Inv ต้นทุนการลงทุนของมาตรการ Investment cost of the measure (THB)

n อายุการใช้งาน lifetime of the measure (years)

r อัตราคิดลด discount rate (%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินหาต้นทุนที่ลดลงจากการลดลงของผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาต้นทุนที่ลดลงจากการลดลงของผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากดำเนินโครงการสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{GHG Abasement cost} = \frac{EAC - EnR \times Price_{En}}{ER}$$

where:

EAC ค่าใช้จ่ายการลงทุนประจำปี Equivalent annual investment cost as described (THB/year)

EnR การใช้พลังงานที่ลดลง Energy consumption reduction (kWh/year)

ER การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ GHG emission reduction (tCO2eq/year)

$Price_{En}$ ราคาของพลังงานไฟฟ้า Price of energy (THB/T)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากอาคารสถานศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิต โดยแบ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 3 ช่วง คือ 1.ช่วงก่อสร้างอาคาร (Construction Phase) 2.ช่วงใช้งานอาคาร (Operation Phase) และ 3.ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase) และหาแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมร่วมโดยคำนึงถึงต้นทุนที่ใช้ในแนวทางการผลกระทบร่วมด้วย

4.1 ช่วงวัสดุก่อสร้าง (Construction Phase)

ช่วงวัสดุสร้างอาคารจะทำการประเมินอาคารสถานศึกษา โดยทำการประเมิน 3 ประเภท 1. อาคารเรียนและวิจัย 2.หอพักนักศึกษาและคณาจารย์ 3.อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาอาคาร โดยตัวแทนอาคาร 2 อาคารต่อประเภท ประเมินผลกระทบช่วงวัสดุก่อสร้าง แบ่งออกเป็น 4 งาน คือ 1. งานโครงสร้าง 2.งานสถาปัตยกรรม 3.งานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร 4.งานสิ่งอำนวยความสะดวก ทำการประเมินผลกระทบ เป็น 2 รูปแบบ คือ 1.ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ผลกระทบคิดจากการร่วมการให้คะแนนเชิงเดี่ยวของทั้ง 13 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ BEES+ 2.ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละวัสดุ ผลกระทบคิดจากการกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จาก การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1 ปริมาณมวลวัสดุทั้งหมด

ปริมาณมวลวัสดุทั้งหมดแบ่ง ออกเป็น 3 ประเภทอาคาร โดยแต่ละประเภทอาคารประกอบด้วยกัน 4 งาน งานแรกได้แก่ งานโครงสร้างอาคาร มีปริมาณมวลวัสดุปริมาณมวลของวัสดุของแต่ละประเภทอาคาร โดยแบ่งตามประเภทงาน จากตารางที่ 4.1 แต่ละอาคารหรือประเภทอาคาร ปริมาณมวลของวัสดุของ ประเภทงานโครงสร้างเป็นประเภทงานที่มีปริมาณมวลของวัสดุสูงสุด รองลงมาได้แก่ งานสถาปัตยกรรม,งานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร , งานสิ่งอำนวยความสะดวก ตามลำดับ โดยงานโครงสร้างเฉลี่ยปริมาณมวลของวัสดุแต่ละประเภทอาคาร ได้แก่ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 91.88 (1729.32 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ

88.67 (1469.76 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 84.88 (1504.98 kg/m^2) มวลของวัสดุรองลงมาได้แก่งานสถาปัตยกรรมปริมาณมวลของวัสดุแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 7.86 (142.23 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 11.06 (183.64 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬา 14.29% (250.83 kg/m^2) งานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร เฉลี่ยปริมาณมวลของวัสดุแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 0.22 (3.99 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 0.26 (4.37 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 0.79 (14.54 kg/m^2) และประเภทงานที่ปริมาณมวลของวัสดุต่ำสุด งานสิ่งอำนวยความสะดวก เฉลี่ยปริมาณมวลของวัสดุแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 0.04 (0.68 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 0.01 (0.14 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 0.04 (0.73 kg/m^2)

1) ปริมาณมวลวัสดุใช้งานโครงสร้าง

การวิเคราะห์ปริมาณมวลวัสดุของแต่ละวัสดุในงานโครงสร้างแต่ละประเภทอาคาร โดยปริมาณมวลวัสดุหลักนั้นมาจาก Concrete คิดเปอร์เซ็นต์ Concrete ของแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 90.61 (1572.12 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 87.83 (1290.73 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 87.21 (1312.2 kg/m^2) เนื่องจากอาคารทั้ง 3 ประเภท อาคารใช้โครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้การวิเคราะห์วัสดุในงานโครงสร้าง Concrete เป็นวัสดุหลักในงานโครงสร้าง รองลงมาคือปริมาณมวลวัสดุจาก Sawnwood ซึ่งเป็นปริมาณไม้แบบใช้ในการหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก หากปริมาณการหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กมากเท่าใดปริมาณไม้แบบก็จะมากตาม Sawnwood คิดสัดส่วน Sawnwood ของแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 4.36 (73.26 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 5.91 (86.81 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 5.62 (84.52 kg/m^2) และวัสดุหลักอีกตัวที่มีในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคือ เหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforcing Steel) ที่ปริมาณมวลวัสดุมาเป็นอันดับ 3 Reinforcing Steel คิดเปอร์เซ็นต์ Reinforcing Steel ของแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 2.52 (44.16 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 2.76 (40.45 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 2.3 (35.31 kg/m^2)

2) ปริมาณมวลวัสดุในงานสถาปัตยกรรม

ปริมาณมวลวัสดุของแต่ละวัสดุงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร โดยมีปริมาณมวลวัสดุที่ใกล้เคียงกัน คือปริมาณของ Cement mortar เป็นส่วนในการฉาบและปูพื้น ซึ่งเป็นปริมาณมวลวัสดุหลักของ อาคารเรียนและวิจัย อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ อาคารเอกประสงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และสถานกีฬา โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 33 (47.61 kg/m^2), 37(67.08kg/m^2), 31(77.41kg/m^2) ตามลำดับ การเนื่องจากงานสถาปัตยกรรมเป็นงานตกแต่งอาคารจึงมีปริมาณงานฉาบ งานปูพื้น ฯลฯ ที่จะต้องใช้ ซีเมน เป็นตัวเชื่อมยึดเกาะระหว่างวัสดุและตัวกลาง

3) ปริมาณมวลวัสดุในงานสุขาภิบาล

ปริมาณมวลวัสดุของแต่ละวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคารแต่ละประเภทอาคาร ปริมาณมวลวัสดุก็จะแตกต่างกัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับการออกแบบแต่ละอาคารและการเลือกใช้วัสดุ โดยมวลวัสดุหลักแต่ละอาคารได้แก่ อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ มีปริมาณวัสดุหลักคือ Chromium steel pipe เท่ากับร้อยละ 58 (2.33 kg/m^2) หอพักนักศึกษาและคณาจารย์ วัสดุหลักคือ Cast iron เท่ากับร้อยละ 35 (1.55 kg/m^2) อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา วัสดุหลักคือ Concrete เท่ากับร้อยละ 86 (12.48 kg/m^2)

4) ปริมาณมวลวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก

ปริมาณมวลวัสดุของแต่ละวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก แต่ละประเภทอาคาร โดยคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักนั้นมาจาก วัสดุหลักคือ Copper และGalvanized steel ซึ่งมาจากระบบปรับอากาศและระบายอากาศ โดยคำนวณเฉลี่ยคะแนนปริมาณมวลของ Copper แต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 40 (0.27 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 43 (0.12 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 12 (0.085 kg/m^2) และ คำนวณเฉลี่ยคะแนนปริมาณมวลของ Galvanized steel อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 46 (0.31 kg/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 34 (0.09 kg/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 75 (0.55 kg/m^2) เนื่องอาคารทั้ง 3 ประเภท มีระบบปรับอากาศในอาคารทำให้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศเป็นระบบที่เป็นปริมาณมวลหลักของงานสิ่งอำนวยความสะดวก และปริมาณ Galvanized steel ของอาคารสถานกีฬาที่มีปริมาณมากกว่าอาคารอื่นๆ มีปริมาณ Galvanized steel เท่ากับร้อยละ 77.19 (1.1 kg/m^2) เนื่องจากเป็นอาคารสถานกีฬา จึงต้องมีการระบายอากาศที่ดี จึงมี Galvanized steel ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในระบบระบายอากาศจึงทำให้อาคารสถานกีฬามีปริมาณ Galvanized steel สูงกว่าอาคารอื่น *ยกเว้นอาคารหอพักคณาจารย์ที่ไม่มีข้อมูลในส่วนนี้โดยวิเคราะห์จากได้จากตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลวัสดุที่ใช้ในแต่ละประเภทอาคาร

อาคารเรียนและวิจัย	ปริมาณ kg/m^2	อาคารหอพักและวิจัย	ปริมาณ kg/m^2	อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา	ปริมาณ kg/m^2
งานโครงสร้างอาคาร					
Concrete	1,572.12	Concrete	1,290.73	Concrete	1,312.2
Sawnwood	73.26	Sawnwood	86.81	Sawnwood	84.5
Reinforcing steel	44.16	Reinforcing steel	40.45	Reinforcing steel	35.3
Sand	27.81	Pre-cast concrete	38.84	Poor concrete	34.7
Poor concrete	6.52	Sand	5.46	Pre-cast concrete	26.9
Steel, low-alloyed,	4.07	Poor concrete	4.78	Sand	5.1
Steel, unalloyed	1.29	Steel, low-alloyed,	1.31	Steel, low-alloyed,	3.5
PVC pipe E	0.09	Steel, unalloyed	1.28	Chromium steel pipe	1.7
		Chromium steel pipe	0.10	Steel, unalloyed	1.1
				PVC pipe E	0.0
งานสถาปัตยกรรม					
Cement mortar	47.61	Cement mortar	67.08	Cement mortar	77.41
Brick	25.39	Brick	34.94	Ceramic tile	35.47
Gravel, round	19.85	Concrete, normal	19.12	Gravel, round	31.64
Sand	11.28	Ceramic tile	16.41	Brick	14.69
Gypsum fibreboard	9.01	Gravel, round	11.04	Cement cast plaster floor	12.09
Ceramic tile	6.90	Sand	7.26	Sand	11.62
Galvanized steel	5.21	Tap water	4.15	Autoclaved aerated concrete block	10.18
Tap water	4.22	Gypsum fibreboard	4.13	Three layered laminated board	8.87
Cement, Portland	3.08	Galvanized steel	4.10	Cladding, crossbar-pole, aluminium	8.66
Cement cast plaster floor	2.66	Sawnwood	3.34	Aluminum	7.73
Alkyd paint	1.57	Aluminum	3.12	Concrete, normal	6.17
Polyvinylchloride, suspension polymerised	0.90	Cement, Portland	1.99	Cement, Portland	6.07
Sawnwood	0.74	Cement cast plaster floor	1.91	Glass fibre	4.30
Reinforcing steel	0.62	Alkyd paint,	1.79	Tap water	3.76
Natural stone plate	0.54	Reinforcing steel	0.86	Gypsum fibreboard	3.56
Cladding, crossbar-pole, aluminium	0.54	Synthetic rubber	0.69	Polyvinylchloride, suspension polymerised	2.61
Cement, unspecified	0.48	Acrylic filler	0.60	Galvanized steel	2.09
Acrylic filler	0.48	Polyvinylchloride, suspension polymerised	0.49	Alkyd paint	1.28
Window frame, aluminium,	0.41	Adhesive mortar	0.20	Reinforcing steel	0.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

EPS insulation board	0.22	Lightweight concrete block	0.13	Natural stone plate	0.46
Steel, unalloyed	0.13	Steel, unalloyed	0.13	Metal composite material	0.43
Flat glass, uncoated	0.11	Light clay brick	0.09	Acrylic filler	0.40
Coating powder	0.11	Natural stone plate	0.03	Adhesive mortar	0.38
Adhesive mortar	0.08	Glass fibre	0.02	Coating powder	0.08
Single-Si wafer, photovoltaic	0.07	Coating powder	0.01	Steel, unalloyed	0.08
Epoxy resin	0.02			Epoxy resin, liquid	0.00
Acrylic	0.01				
งานระบบสุขาภิบาล					
Chromium steel pipe	2.33	Cast iron	1.55	Concrete	12.48
Cast iron	0.74	Chromium steel pipe	1.11	PVC pipe	0.91
Galvanized steel	0.46	Thermoforming, rigid polypropylene	0.86	Cast iron	0.59
Glass fibre	0.29	PVC pipe	0.74	Chromium steel pipe	0.30
PVC pipe	0.16	Glass fibre	0.11	Glass fibre	0.23
HDPE pipes	0.01	HDPE pipes	0.01	Galvanized steel	0.02
				Thermoforming, rigid polypropylene	0.01
				HDPE pipes	0.005
				Polyurethane, flexible foam	0.002
งานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ					
Galvanized steel sheet, at plant/RNA	0.31	Copper	0.12	Galvanized steel sheet, at plant/RNA	0.55
Copper	0.27	Galvanized steel sheet, at plant/RNA	0.09	Copper	0.08
PVC pipe	0.06	PVC pipe	0.05	Glass fibre	0.06
Polyurethane, flexible foam	0.02	Polyurethane, flexible foam	0.01	PVC pipe	0.03
Glass fibre	0.02			Polyurethane, flexible foam	0.02

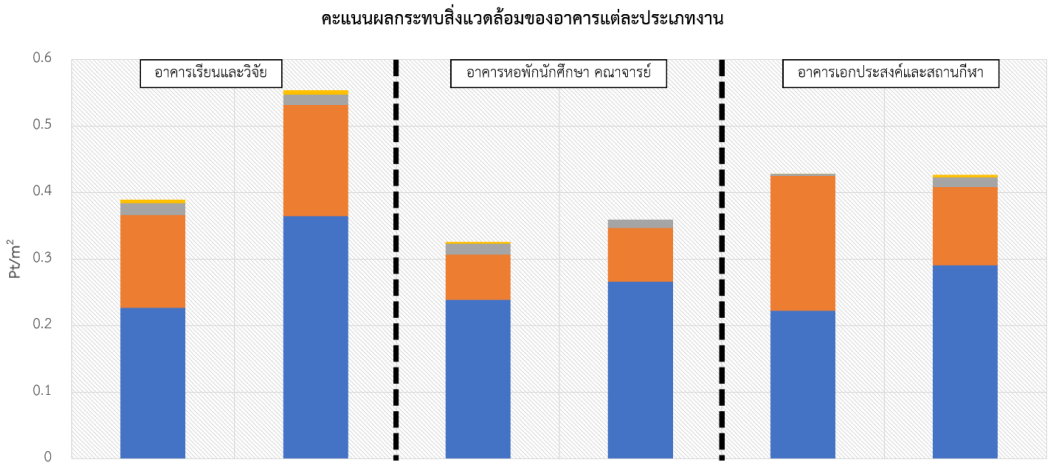
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทอาคาร

1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวตามประเภทงาน

ผลการคำนวณโดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวโดยแบ่งตามประเภทงาน จากรูปที่ 4.1 แต่ละอาคารหรือประเภทอาคาร ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ ประเภทงานโครงสร้างเป็นประเภทงานที่มีการให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด รองลงมาได้แก่ งานสถาปัตยกรรม งานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร งานสิ่งอำนวยความสะดวก ตามลำดับ โดยงานโครงสร้างคะแนนเฉลี่ยผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทอาคาร ได้แก่ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 62 (0.296 Pt/m^2) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ ร้อยละ 74 (0.253 Pt/m^2) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 60 (0.257 Pt/m^2) ผลกระทบรองลงมาได้แก่งานสถาปัตยกรรมคะแนนเฉลี่ยผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 33 (0.153 Pt/m^2) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 22 (0.074 Pt/m^2) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 37 (0.160 Pt/m^2) งานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร เฉลี่ยผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 4 (0.017 Pt/m^2) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 4 (0.015 Pt/m^2) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 2 (0.009 Pt/m^2) และประเภทงานที่คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำสุด งานสิ่งอำนวยความสะดวก คะแนนเฉลี่ยผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 1 (0.006 Pt/m^2) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 0.4 (0.001Pt/m^2) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 1 (0.002 Pt/m^2)

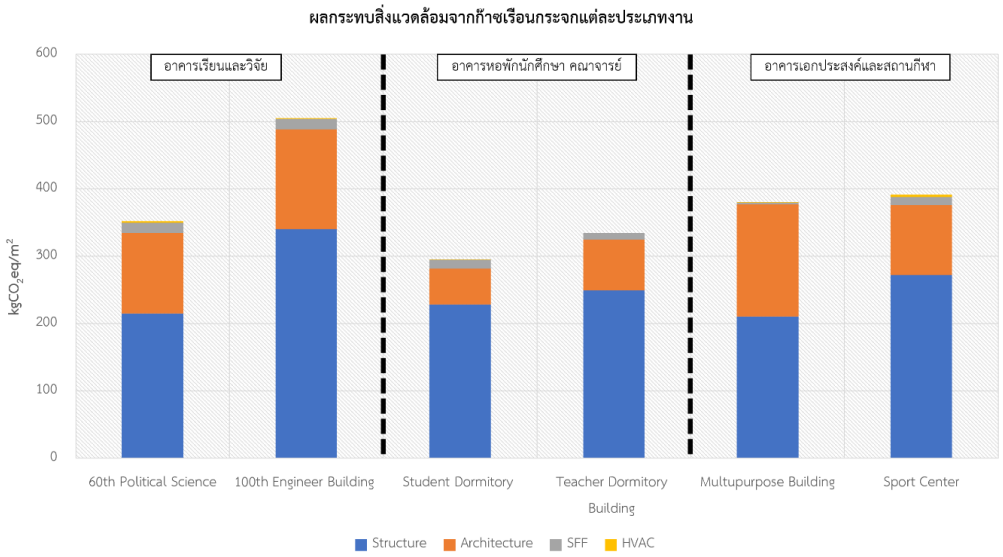
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละประเภทอาคาร โดยแบ่งตามประเภทงาน

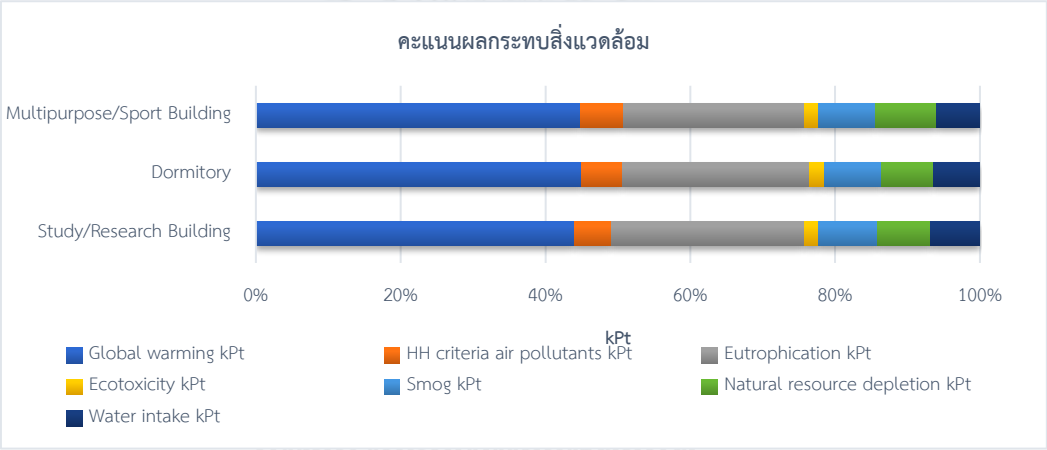
2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทงาน

ผลการคำนวณปริมาณการปล่อยบก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเภทอาคาร โดยแบ่งตามประเภทงาน แสดงดังรูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากประเภทงานโครงสร้างที่มีปริมาณผลกระทบก๊าซเรือนกระจกสูงสุด รองลงมาได้แก่ งานสถาปัตยกรรม งานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร งานสิ่งอำนวยความสะดวก ตามลำดับ โดยงานโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละประเภทอาคาร ดังนี้ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 64.2 (277.77 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 75.8 (238.73 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 62.4 (241.31 $kgCO_2eq/m^2$) ผลกระทบรองลงมาได้แก่งานสถาปัตยกรรมปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 31.6 (133.87 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 20.3 (64.58 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 35.2 (135.22 $kgCO_2eq/m^2$) ส่วนงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร มีค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อยบก๊าซเรือนกระจกแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 3.7 (15.40 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 3.7 (11.45 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 1.9 (7.3 $kgCO_2eq/m^2$) และประเภทงานที่ปริมาณการปล่อยบก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด งานสิ่งอำนวยความสะดวก เฉลี่ยปริมาณการปล่อยบก๊าซเรือนกระจกแต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 0.4 (1.79 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 0.1 (0.36 $kgCO_2eq\ /m^2$) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 0.5 (1.97 $kgCO_2eq\ /m^2$)



รูปที่ 4.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเภทอาคารตามประเภทงาน

ผลการวิจัยจากรูปที่ 4.1, 4.2, และตารางปริมาณวัสดุ แสดงถึงความสัมพันธุ์ระหว่างการให้คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม, ปริมาณก๊าซเรือนกระจก และปริมาณมวลวัสดุ แสดงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อมีปริมาณมวลวัสดุในส่วนประเภทงานใดมาก ก็จะมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงในส่วนนั้น และความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม มีคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าคะแนนผลกระทบทางด้านก๊าซเรือนกระจก อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 44 อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 45 อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 45 จึงทำให้การให้คะแนนผลกระทบภาพรวมมีแนวโน้มสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณก๊าซเรือนกระจก



รูปที่ 4.3 คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งตามประเภทของผลกระทบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

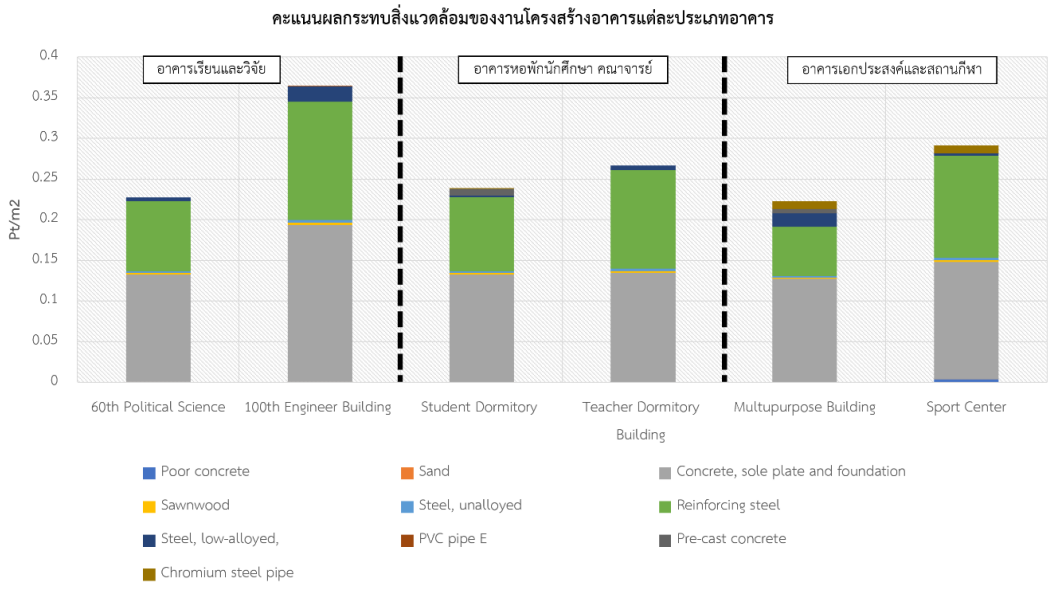
4.1.3 ผลกระทบจากวัสดุที่ใช้ในประเภทงานในแต่ละอาคาร

4.1.3.1 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานโครงสร้างอาคาร

1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละวัสดุในงานโครงสร้างแต่ละประเภทอาคาร โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักนั้นมาจากวัสดุหลัก 2 อย่างคือ Concrete และ Reinforcing steel ในอัตราส่วน Concrete ของแต่ละประเภทอาคารมีดังนี้ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 55.46 (0.16 Pt/m^2) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 52.9 (0.13 Pt/m^2) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 53.26 (0.14 Pt/m^2) และ Reinforcing steel ของแต่ละ

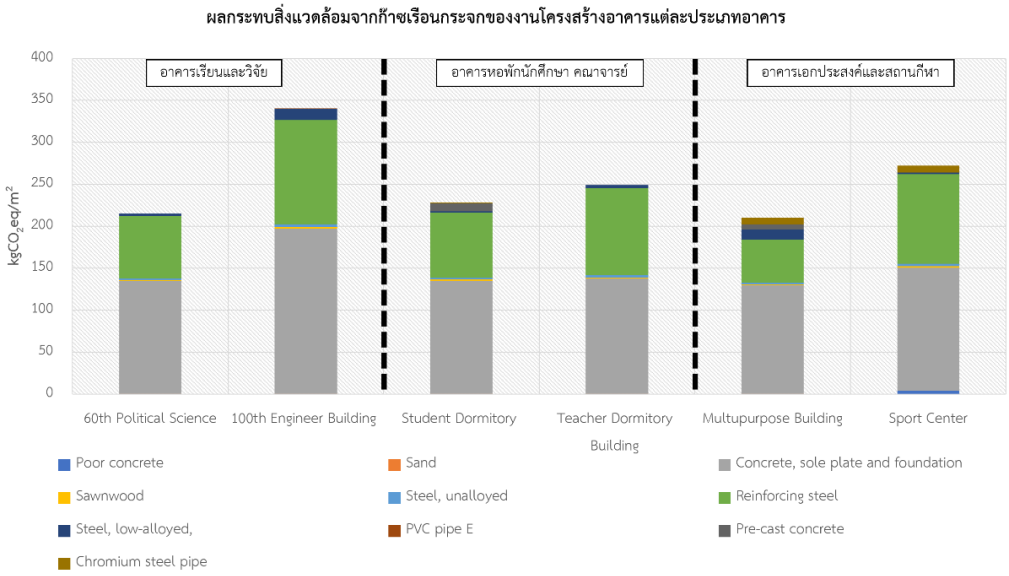
ประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 39.02 (0.12 Pt/m^2) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 41.87 (0.11 Pt/m^2) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 35.06 (0.09 Pt/m^2) เนื่องอาคารทั้ง 3 ประเภท 6 อาคารใช้โครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่งผลให้มีการใช้ Concrete และ Reinforcing steel เป็นวัสดุหลักในงานโครงสร้าง จากรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชนิดวัสดุในงานโครงสร้าง แต่ละประเภทอาคาร

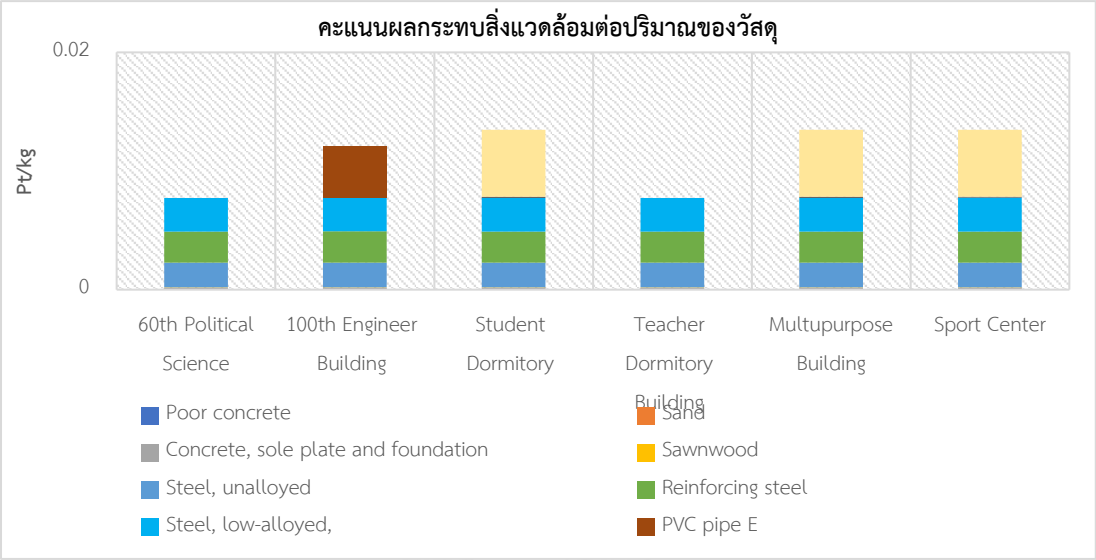
2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจากวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกหลักนั้นมาจาก 2 วัสดุหลักคือ Concrete และ Reinforcing steel แต่ละประเภท พบว่า เป็นอัตราส่วนก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้คอนกรีตดังนี้ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ60.14 (165.58 $kgCO_2/m^2$) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 57.03 (135.94 $kgCO_2/m^2$) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 57.5 (138.2 $kgCO_2/m^2$) ส่วนปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้ Reinforcing steel ของแต่ละประเภทอาคารมีดังนี้ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 35.46 (99.1 $kgCO_2/m^2$) อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 37.87 (90.79 $kgCO_2/m^2$) อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 31.89 (79.25 $kgCO_2/m^2$) เนื่องอาคารทั้ง 3 ประเภท 6 อาคารใช้โครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้การวิเคราะห์วัสดุในงานโครงสร้าง Concrete และ Reinforcing steel เป็นวัสดุหลักในงานโครงสร้าง จากรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานโครงสร้าง แต่ละประเภทอาคาร

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ ปริมาณวัสดุ ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับปริมาณวัสดุ โดยปริมาณของ Concrete มีปริมาณสูงสุดจึงมีผลทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากตามปริมาณของวัสดุที่ใช้ต่อพื้นที่ โดยที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณนั้นไม่สูง โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งทำให้เห็นอีกหนึ่งปัจจัยคือการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแต่ละวัสดุ โดยพิจารณาจากปริมาณ Sawnwood ที่มีปริมาณต่อพื้นที่มากกว่า Reinforcing steel แต่เมื่อคำนวณคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม Reinforcing steel มีคะแนนที่มากกว่าเนื่องจากมีคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณ 1 กิโลกรัม มากกว่า Sawnwood ทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก Reinforcing steel มีสัดส่วนที่มาเป็นอันดับ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นปัจจัยสำคัญ 2 ตัวแปรก็คือปริมาณของวัสดุต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแต่ละวัสดุต่อ1กิโลกรัม วัสดุที่มีค่าคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณวัสดุ 1 กิโลกรัม เรียงลำดับ5 อันดับแรก คือ Chromium steel (5.6E-03 Pt/kg) PVC (4.3E-03 Pt/kg) Steel unalloyed (2.1E-03 Pt/kg) Reinforcing steel (2.6E-03 Pt/kg) Steel low-alloyed (2.8E-03 Pt/kg) จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วิเคราะห์ปริมาณคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณวัสดุ 1 กิโลกรัมงานโครงสร้างแต่ละประเภทอาคาร

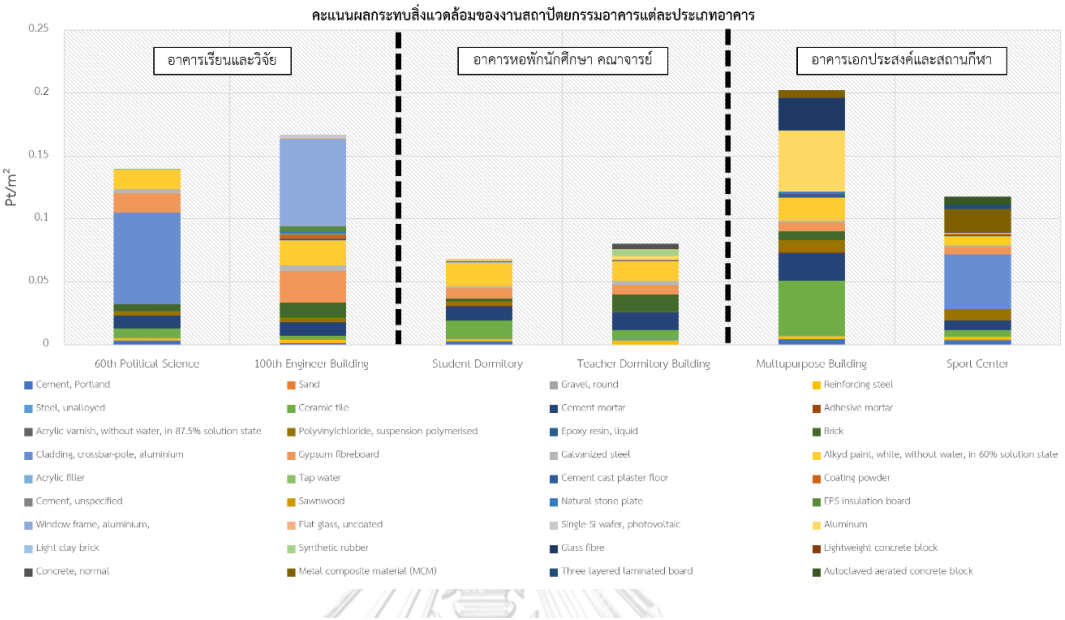
4.1.3.2 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานสถาปัตยกรรม

1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละวัสดุในงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร โดยคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักนั้นมาจากอาคาร โดยคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักนั้น แต่ละอาคารมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและเลือกใช้วัสดุ โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักของแต่ละอาคารได้แก่ อาคาร 60ปีรัฐศาสตร์ และ 100ปี วิศวกรรมศาสตร์ มีวัสดุหลักคือ Aluminium แต่จะใช้ในคนละส่วนของอาคาร โดยอาคารเกษม อุทยานิน - รัฐศาสตร์60ปี ใช้ในผนังกำแพง โดยมีค่า เท่ากับร้อยละ 52.18 (0.073Pt/m^2) อาคารวิศวฯ 100 ปี ใช้ในขอบหน้าต่าง มีค่าเท่ากับร้อยละ 41.43 (0.07 Pt/m^2) หอพักนักศึกษาและหอพักคณาจารย์ มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก คือ Alkyd paint ร้อยละ 27.87 (0.019 Pt/m^2) ร้อยละ 19.50 (0.016 Pt/m^2) ตามลำดับ อาคารอเนกประสงค์ และ อาคารเฉลิมราชสุดาทีฆา มี Aluminium เป็นวัสดุหลัก แต่ใช้ในคนละส่วนเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าแต่ละอาคาร มีผลกระทบจากวัสดุแตกต่างกัน และอยู่คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ละส่วนซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบอาคารของผู้ออกแบบ จากรูปที่ 4.7

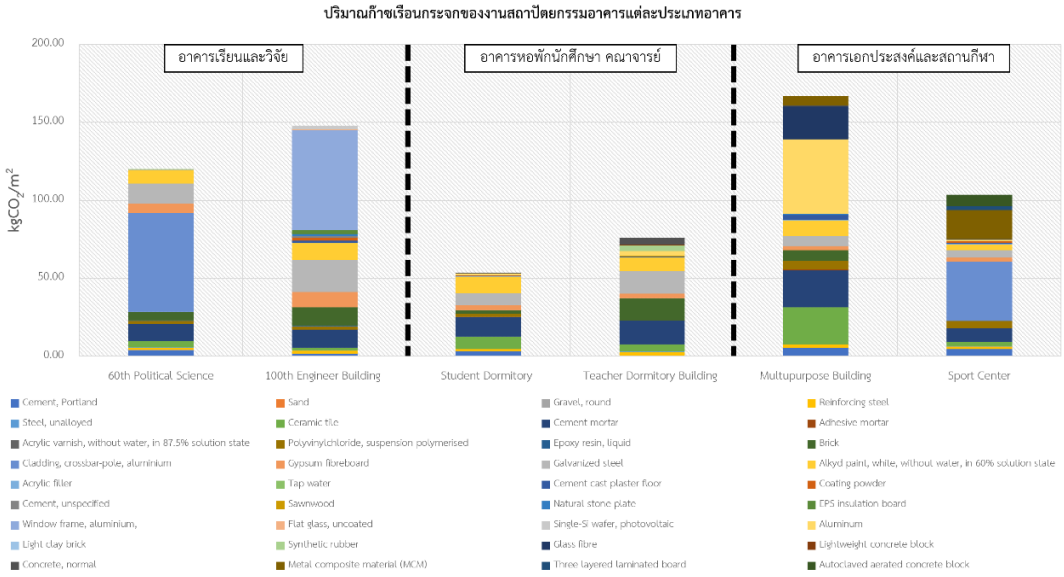


รูปที่ 4.7 วิเคราะห์ผลกกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของชนิดวัสดุในงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร

2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละวัสดุในงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกหลักนั้นมาจากอาคาร โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกหลักนั้น แต่ละอาคารมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและเลือกใช้วัสดุ โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกของแต่ละอาคารได้แก่ อาคาร 60ปีรัฐศาสตร์ และ 100ปี วิศวกรรมศาสตร์ มีวัสดุหลัก คือ Aluminium แต่จะใช้ในคนละส่วนของอาคาร โดยอาคารเกษม อุทยานิน - รัฐศาสตร์60ปี ใช้ในผนังกำแพง โดยมีค่า เท่ากับ ร้อยละ 52.95 (63.42 $kgCO_2eq/m^2$) อาคารวิศวฯ 100 ปี ใช้ในขอบหน้าต่าง มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 43.36 (64.16 $kgCO_2eq/m^2$) หอพักนักศึกษาและหอพักคณาจารย์ มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกหลัก คือ Cement mortar ร้อยละ 23.51 (12.52 $kgCO_2eq/m^2$), 20.37 (15.46 $kgCO_2eq/m^2$) ตามลำดับ อาคารอเนกประสงค์ และ อาคารเฉลิมราชสุดากีฬา มี Aluminium เป็นวัสดุหลักแต่ใช้ในคนละส่วนเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าแต่ละอาคาร มีผลกระทบจากวัสดุแตกต่างกัน และอยู่คนละส่วนซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบอาคารของผู้ออกแบบ ซึ่งในส่วนการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกนี้ Cement mortar ที่เด่นขึ้นมาใน ส่วนของอาคารหอพักนักศึกษาและหอพักคณาจารย์ เนื่องจากวิเคราะห์แต่ปริมาณก๊าซเรือน

กระจกจาก Cement mortar สูงกว่า Alkyd paint แต่หากการวิเคราะห์จากผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยว Alkyd paint จะมีค่าที่สูงกว่า มาจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวนั้นคิดผลมาจากกระทบ 13 ผลกระทบ ซึ่ง Alkyd paint จะมีผลกระทบสูงในด้านรวมด้วย เมื่อคิดแต่ปริมาณก๊าซเรือนกระจก Alkyd paint อันดับจึงลดลง จากรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานสถาปัตยกรรม แต่ละประเภทอาคาร

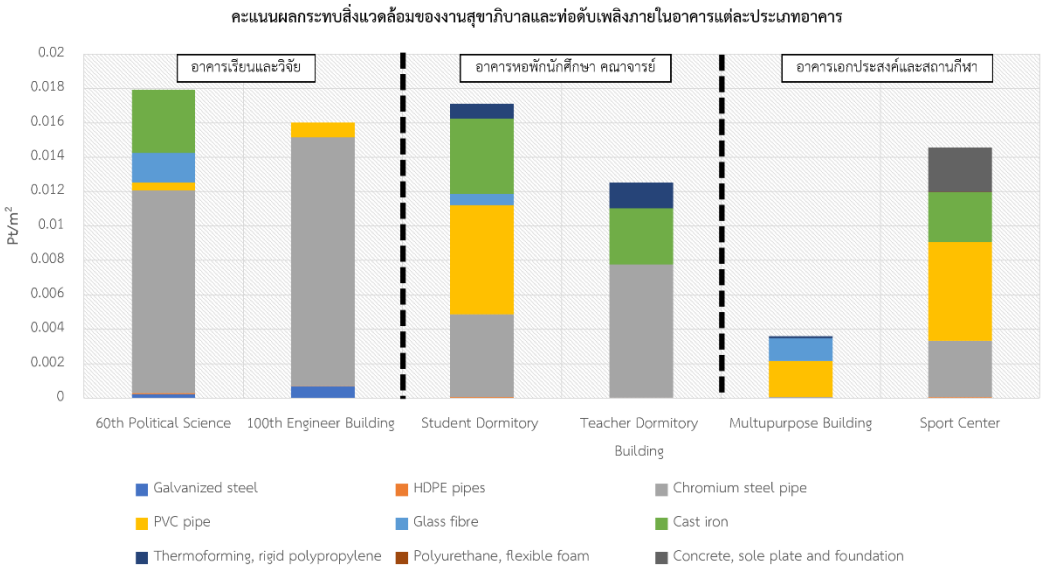
4.1.3.3 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์การให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงแต่ละประเภทอาคาร โดยคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักนั้น แต่ละอาคารมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและเลือกใช้วัสดุ โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักของแต่ละอาคาร ได้แก่ อาคาร 60ปีรัฐศาสตร์ และ 100ปี วิศวกรรมศาสตร์ เลือกใช้ Chromium steel pipe ในระบบระบายน้ำฝน และระบบบำบัดน้ำเสีย อาคารเกษม อุทยานิน - รัฐศาสตร์60ปี โดยมีค่า เท่ากับร้อยละ 65.80 (0.012 Pt/m^2) อาคารวิศวฯ 100 ปี เท่ากับร้อยละ 90.13 (0.014 Pt/m^2) หอพักนักศึกษา เลือกใช้ PVC 37ร้อยละ0.08 (0.006 Pt/m^2) ในระบบระบายอากาศและระบบน้ำเสีย หอพักคณาจารย์ เลือกใช้ Chromium steel pipe ร้อยละ 61.87 (0.008 Pt/m^2) ในระบบประปาและรางระบายน้ำ อาคารอเนกประสงค์ เลือกใช้ PVC ร้อยละ 58.01 (0.002 Pt/m2) ในระบบน้ำเสีย อาคารเฉลิมราชสุดาทีฆาสถาน เลือกใช้ PVC ร้อยละ 39.35 (0.006 Pt/m2) ในระบบน้ำเสีย โดยจะ

เห็นได้ว่าการเลือกใช้วัสดุแต่ละอาคาร มีผลกระทบจากวัสดุแตกต่างกัน และอยู่คนละระบบซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบอาคารของผู้ออกแบบ

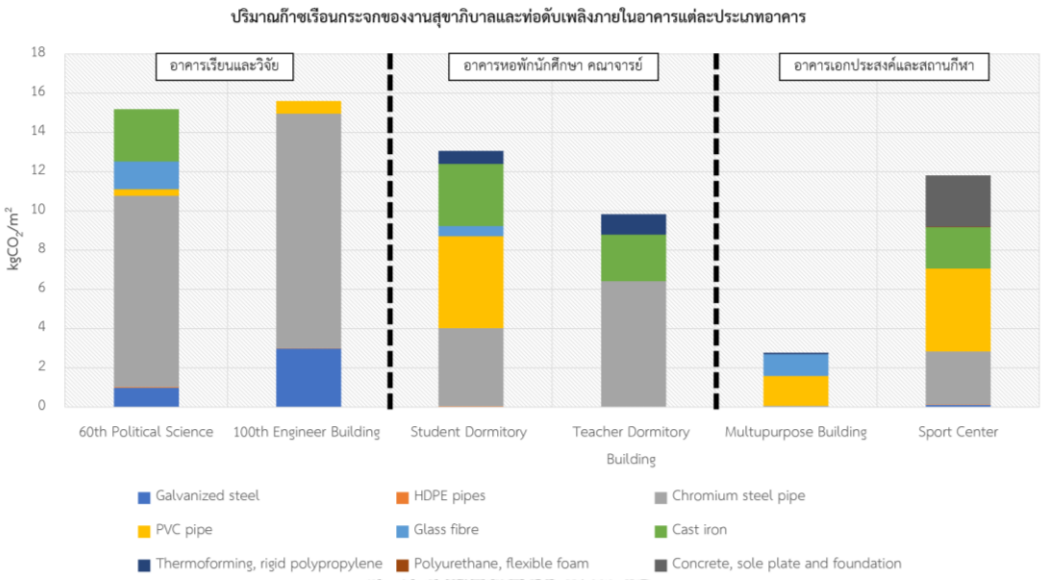


รูปที่ 4.9 วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของชนิดวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคารแต่ละประเภทอาคาร

2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงแต่ละประเภทอาคาร โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกนั้น แต่ละอาคารมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและเลือกใช้วัสดุ โดยปริมาณการกล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของแต่ละอาคาร ได้แก่ อาคาร 60ปีรัฐศาสตร์ และ 100ปี วิศวกรรมศาสตร์ เลือกใช้ Chromium steel pipe ในระบบระบายน้ำฝน และระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าประมาณ อาคารเกษม อุทยานิน - รัฐศาสตร์60 ปี เท่ากับร้อยละ 64.21 (9.76 $kgCO_2/m^2$) และอาคารวิศวฯ 100 ปี เท่ากับร้อยละ 76.61 (11.96 $kgCO_2/m^2$) หอพักนักศึกษา เลือกใช้ PVC ร้อยละ 35.71 (4.67 $kgCO_2/m^2$) ในระบบระบายอากาศและระบบน้ำเสีย หอพักคณาจารย์เลือกใช้ Chromium steel pipe ร้อยละ 65.19 (6.41 $kgCO_2/m^2$) ในระบบปะปาและรางระบายน้ำ อาคารอเนกประสงค์ เลือกใช้ PVC ร้อยละ 55.41 (1.54 $kgCO_2/m^2$) ในระบบน้ำเสีย อาคารเฉลิมราชสุดากีฬาสถานเลือก PVC ร้อยละ 35.72 (4.22 $kgCO_2/m^2$) ในระบบน้ำเสีย โดยจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้วัสดุแต่ละอาคาร มีผลกระทบจากวัสดุแตกต่างกัน และอยู่คนละระบบซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบ

อาคารของผู้ออกแบบ โดยผลวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการวิเคราะห์คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม



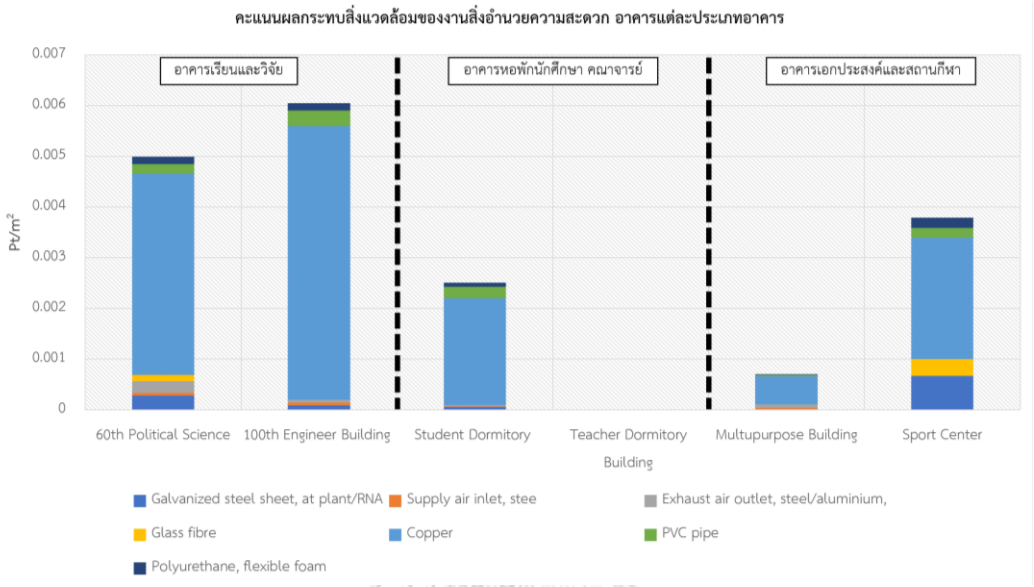
รูปที่ 4.10 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานสุขาภิบาลและท่อดับเพลิงภายในอาคารแต่ละประเภทอาคาร

4.1.3.4 ผลกระทบจากวัสดุประเภทงานปรับอากาศและระบายอากาศ

1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก แต่ละประเภทอาคาร โดยคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักนั้นมาจาก วัสดุหลักคือ Copper ซึ่งมาจากระบบปรับอากาศ ท่อน้ำยาเครื่องปรับอากาศ โดยคำนวณเฉลี่ยคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ Copper แต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัย ร้อยละ 84.5 (0.0047 Pt/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ ร้อยละ 83.9 (0.0021Pt/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬา ร้อยละ 70.9 (0.0015 Pt/m^2) PVC ในระบบระบายน้ำเครื่องปรับอากาศ อาคารเรียนและวิจัย ร้อยละ 4.34 (0.00024 Pt/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 8.99 (0.00023 Pt/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬา ร้อยละ 4.28 (0.00011 Pt/m^2) Polyurethane, flexible ฉนวนหุ้มท่อน้ำยาระบบปรับอากาศ อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 2.66 (0.00015 Pt/m^2), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 3.34 (0.00008 Pt/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 3.80 (0.00011 Pt/m^2)เนื่องอาคารทั้ง 3 ประเภท 6 อาคารมีระบบปรับอากาศในอาคาร

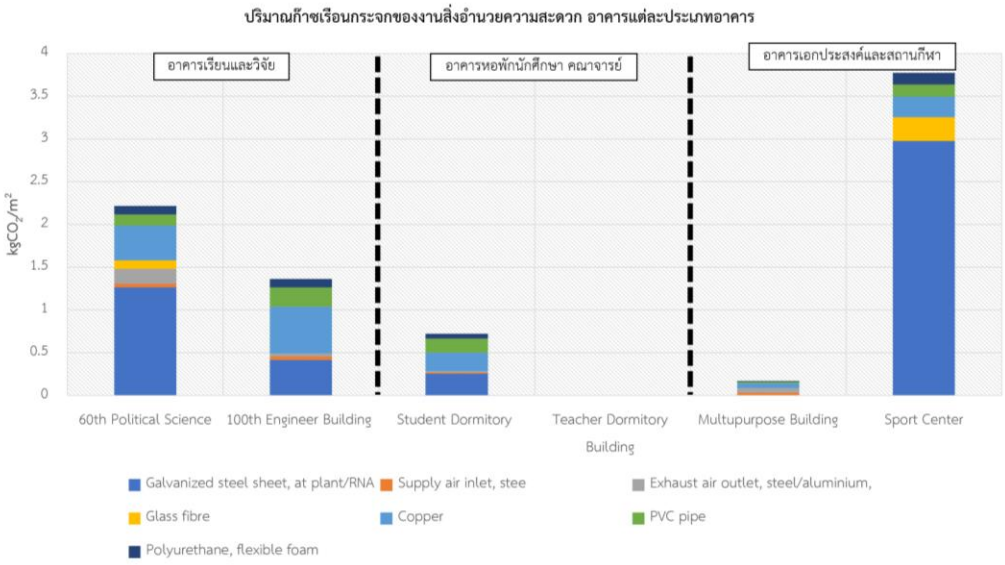
ทำให้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศเป็นระบบที่เป็นผลกระทบหลักของงานสิ่งอำนวยความสะดวก *ยกเว้นอาคารหอพักคณาจารย์ที่ไม่มีข้อมูลในส่วนนี้



รูปที่ 4.11 วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวของชนิดวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวกแต่ละประเภทอาคาร

2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากผลการวิเคราะห์การให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก แต่ละประเภทอาคาร โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักนั้นมาจาก วัสดุหลักคือ Galvanized steel ซึ่งมาจากระบบระบายอากาศ โดยคำนวณเฉลี่ยคะแนนก๊าซเรือนกระจกของ Galvanized steel แต่ละประเภทอาคาร อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 43.66 (0.83816 $kgCO_2/m^2$), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 35.35 (0.25449 kg_2CO2/m^2), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 39.43 (1.48815 $kgCO_2/m^2$) วัสดุรองลงมาคือ Copper ท่อน้ำยา ในระบบปรับอากาศอาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 29.27 (0.47670 $kgCO_2/m^2$), อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์ร้อยละ 29.78 (0.21438 $kgCO_2/m^2$), อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 19.85 (0.14954 $kgCO_2/m^2$) เนื่องอาคารทั้ง 3 ประเภท 6 อาคารมีระบบปรับอากาศในอาคารทำให้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศเป็นระบบที่เป็นผลกระทบหลักของงานสิ่งอำนวยความสะดวก *ยกเว้นอาคารหอพักคณาจารย์ที่ไม่มีข้อมูลในส่วนนี้

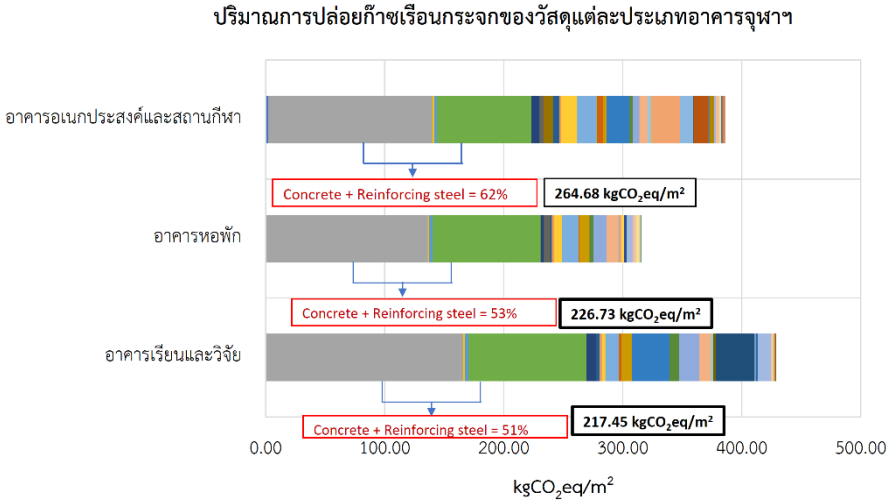


รูปที่ 4.12 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของชนิดวัสดุในงานสิ่งอำนวยความสะดวก แต่ละประเภทอาคาร

4.1.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักจากวัสดุก่อสร้างอาคาร

จากรูปที่ 4.13 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักเกิดจาก 2 วัสดุ คือ คอนกรีต และเหล็กเสริมคอนกรีตที่เกิดจากโครงสร้างอาคาร อาคารสถานศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ อาคารเรียนและวิจัย มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 217.5 $kgCO_2/m^2$ คิดเป็นร้อยละ 51 จากวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมด อาคารหอพัก มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 226.7 $kgCO_2/m^2$ คิดเป็นร้อยละ 53 จากวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมด และ อาคารเอนกประสงค์และสถานกีฬา มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 264.7 $kgCO_2/m^2$ คิดเป็นร้อยละ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.13 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุหลัก คอนกรีตและเหล็กเสริมคอนกรีต

4.2 ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase)

ช่วงการใช้งานอาคารจะทำการประเมินอาคารสถานศึกษา โดยทำการประเมิน 1 ประเภทอาคารคือ อาคารเรียนและวิจัย โดยมีตัวแทนอาคารคือ อาคาร 100ปี วิศวฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการประเมินผลกระทบออกเป็น 5 หมวด คือ 1. พลังงานไฟฟ้า 2. ปริมาณน้ำประปา 3.ปริมาณน้ำเสีย 4.ปริมาณขยะ 5.พลังงานทดแทน ทำการประเมินผลกระทบ เป็น 2 รูปแบบ คือ 1.ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ผลกระทบคิดจากการร่วมการให้คะแนนเชิงเดี่ยวของทั้ง 13 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ BEES+ 2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละวัสดุ ผลกระทบคิดจากการกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จาก การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.2 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานอาคาร ในระยะเวลา 50 ปี

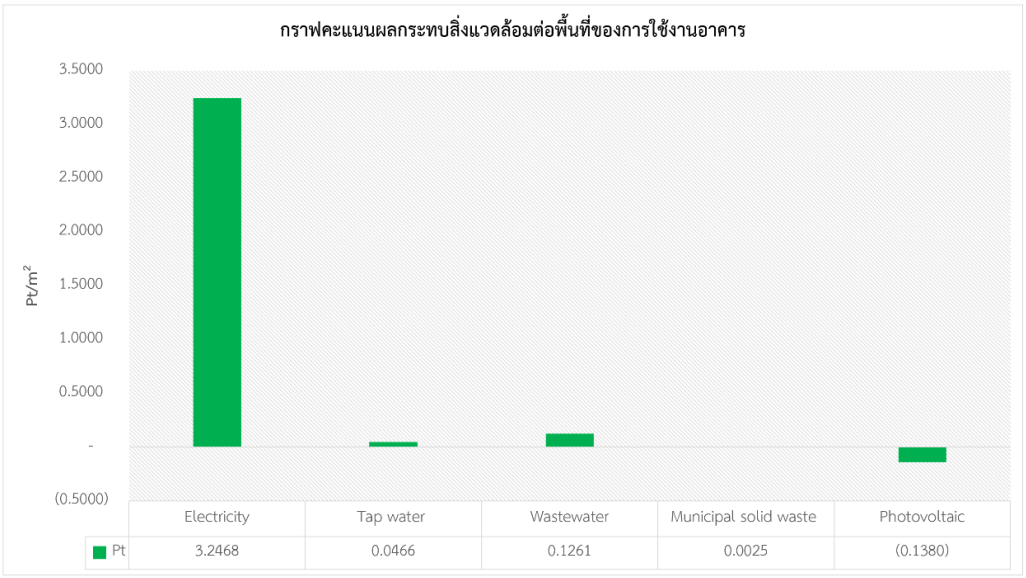
Type of operating	Amount	Unit	$kgCO_2eq/m^2$	Pt/m^2
Electricity	4,022.31	kWh/m^2	2,278.23	3.2468
Tap water	7,991.08	kg/m^2	0.97	0.0466
Wastewater	6,392.86	kg/m^2	181.89	0.1261
Municipal solid waste	5.21	kg/m^2	2.34	0.0025
Photovoltaic	170.93	kWh/m^2	(96.82)	(0.1380)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
HULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่4.2 แสดงให้เห็นถึงการใช้ทรัพยากรของอาคารในช่วงการใช้งานอาคารได้แก่ ไฟฟ้า น้ำประปา ขยะและน้ำเสียที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งานอาคาร โดยวิเคราะห์ได้จากตารางว่าทั้งการใช้ทรัพยากรและการก่อให้เกิดของเสียระยะในการใช้งานอาคารก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น แต่การผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานทดแทนจาก Photovoltaic ที่ผลิตไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเข้าสู่อาคาร ทำให้อาคารสามารถผลิตพลังงานใช้เองได้และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงใช้งาน Photovoltaic จึงทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง ส่งผลให้ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม(ติดลบ)ในส่วนของ Photovoltaic

1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

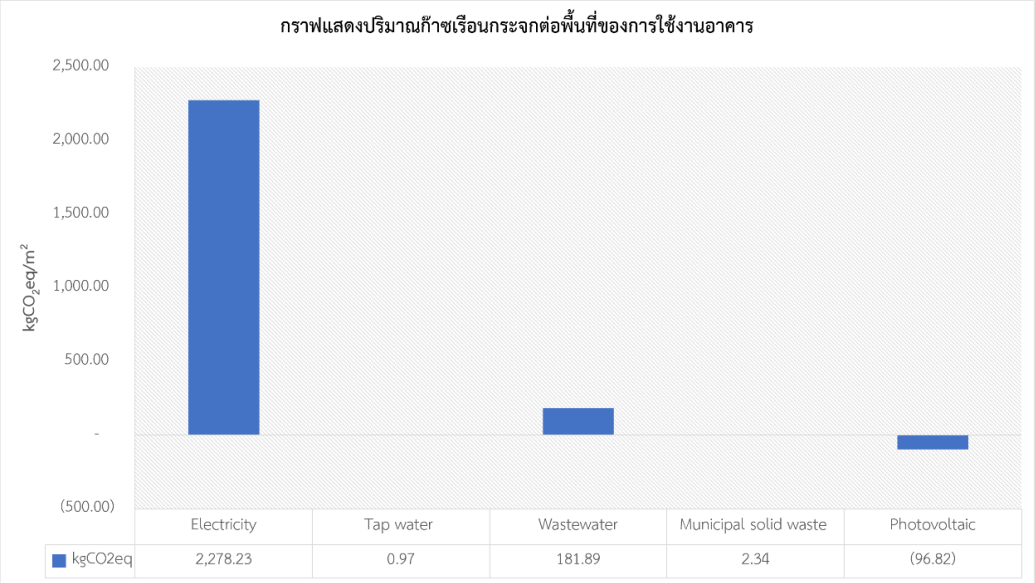
รูปที่ 4.14 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวต่อพื้นอาคารสามารถสรุปได้ว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 98.9 (3.247 Pt/m^2) ของคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั้งหมด รองลงมาได้ ได้แก่ น้ำเสียร้อยละ 3.8 (0.126 Pt/m^2), น้ำประปาร้อยละ 1.4 (0.047 Pt/m^2), ขยะมูลฝอยร้อยละ 0.1 (0.003 Pt/m^2 ส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าที่เกิดก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดในช่วงใช้งานต่ำมาก เกิดเพียง 0.000003 Pt/m^2 และสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยนำไฟฟ้าที่ผลิตได้เองนำมาใช้งานทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง สามารถลดคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการบริโภคพลังงานลงได้ ร้อยละ -4.1 (-0.138 Pt/m^2)



รูปที่ 4.14 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวต่อพื้นที่อาคารของการบริโภคและการปลดปล่อยของเสียจากการใช้งานอาคาร ในรอบ 50 ปี

2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคาร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 96.27 (2,278.23 $kgCO_2eq/m^2$) ของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น รองลงมาได้ ได้แก่ น้ำเสียร้อยละ 7.69 (181.89 $kgCO_2eq/m^2$), ขยะมูลฝอยร้อยละ 0.10 (2.34 $kgCO_2eq/m^2$), น้ำประปาร้อยละ 0.04 (0.97 $kgCO_2eq/m^2$) ส่วนการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สามารถลดก๊าซเรือนกระจกของการบริโภคพลังงานลงได้ร้อยละ - 4.09(- 96.82 $kgCO_2eq/m^2$)



รูปที่ 4.15 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคารของการบริโภคและการปลดปล่อยของเสียจากการใช้งานอาคาร ในรอบ 50 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase)

ตารางที่ 4.3 การจัดการขยะสิ่งปลูกสร้างที่เกิดจากการทุบทำลายอาคาร

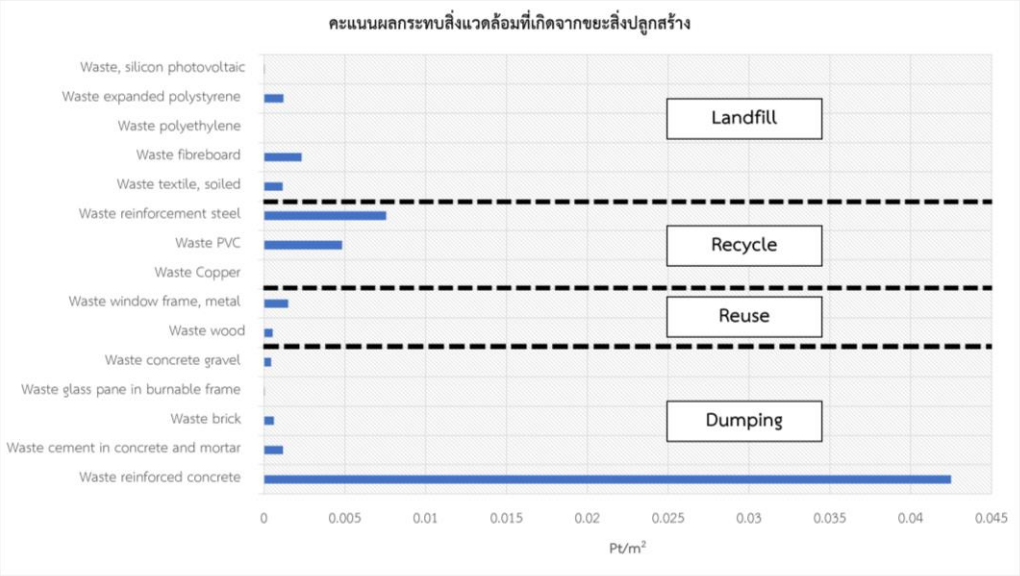
Dumping
Waste reinforced concrete
Waste cement in concrete and mortar
Waste brick
Waste glass pane in burnable frame
Waste concrete gravel
Reuse
Waste wood
Waste window frame, metal
Recycle
Waste Copper
Waste PVC
Waste reinforcement steel
Landfill
Waste textile, soiled
Waste fibreboard
Waste polyethylene
Waste expanded polystyrene
Waste, silicon photovoltaic

อ้างอิง: จิรานุวัฒน์ จันทร์จร.(2545)., ธัชชัย จันทร์รัชชกูล.(2550).

การจัดการขยะที่เกิดจากการรื้อทำลายอาคาร โดยแบ่งการจัดการออกเป็น 4 รูปแบบ 1.ถมปรับพื้นที่ (Dumping) 2.นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) 3.นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) 4.นำไปฝังกลบ (Landfill) โดยการจัดการที่วิธีแรก 1.ถมปรับพื้นที่ (Dumping) เป็นการคิดพลังงานจากการทุบทำลายอาคาร, การคัดแยก และการทำส่งสถานที่ปรับพื้นที่ ไม่คิดผลกระทบจากการนำไปใช้ปรับพื้นที่ เนื่องจากวัสดุส่วนใหญ่เป็น สาร inert สารที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ หรือเกิดปฏิกิริยาได้ยาก 2.นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) โดยวัสดุที่รื้อถอนนำไปใช้ซ้ำ โดยในประเทศไทยนำไปส่งขายเป็นวัสดุมือสอง ในที่นี้คือไม้และกรอบหน้าต่าง ซึ่งสามารถเข้าไปขายเป็นวัสดุมือสอง และนำมาให้ซ้ำได้ โดยคิดผลกระทบจากการรื้อถอน การคัดแยก และการขนส่งที่จัดจำหน่ายวัสดุสินค้ามือสอง โดยไม่คิดลดผลกระทบที่ลดลงเนื่องจากการใช้ซ้ำวัสดุในส่วนนี้ อาคารที่ใช้วิเคราะห์ไม่ใช้วัสดุในส่วนนี้ หากโครงการใดนำวัสดุในส่วนนี้ไปใช้สามารถคำนวณลดผลกระทบในส่วนนี้ได้จาก กระทบที่ใช้ในการผลิตวัสดุชนิดนั้นๆ 3.นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) การนำกลับมาใช้ใหม่การจัดการในประเทศไทยส่วนใหญ่จะนำโลหะหรือพลาสติกบางชนิดที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) โดย คิดผลกระทบจากการรื้อถอน การคัดแยก และการขนส่งถึงสถานทีโรงงาน โดยไม่คิดลดผลกระทบที่ลดลงเนื่องจากการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุและพลังงานหรือผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการ นำกลับมาใช้ใหม่

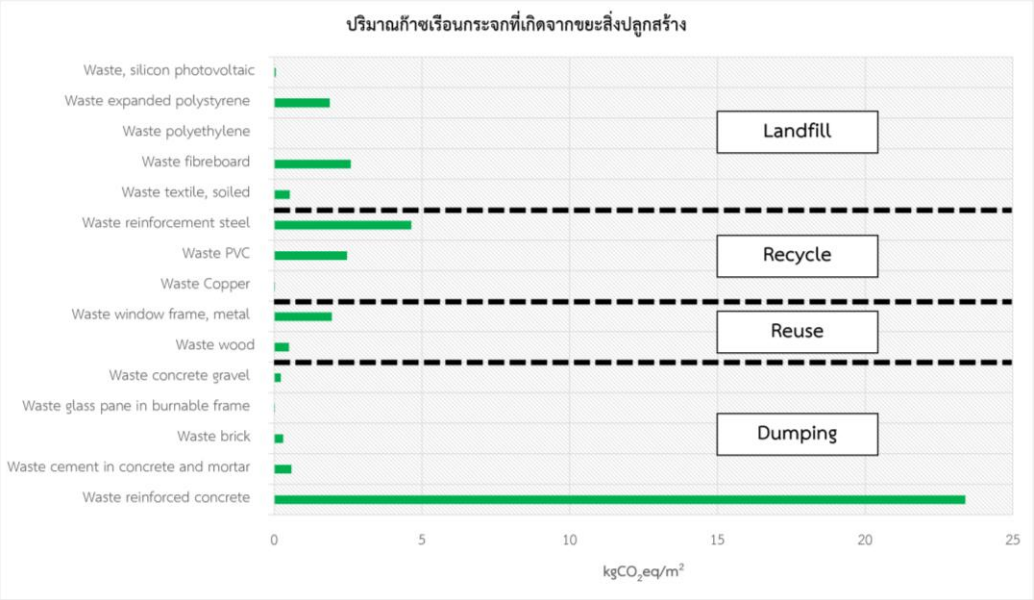
ของวัสดุ เนื่องจากอาคารที่ใช้วิเคราะห์ไม่ใช้วัสดุในส่วนนี้ 4.นำไปฝังกลบ (Landfill) โดยเป็นวัสดุกลุ่มที่เหลือที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยการนำฝังกลบ โดยคิดพลังงานจากการรื้อถอน, คัดแยก, การขนส่ง และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ ดังตารางที่ 4.3

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวหลักคือ Concrete มีค่า 66.469% (0.0424925 Pt/m^2) เนื่องจากอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเป็นอาคารที่ออกแบบโครงสร้างเป็น คอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีปริมาณ คอนกรีตสูง และรองลงมาได้แก่ Reinforcement steel มีค่า 11.813% (0.0075518 Pt/m^2) ซึ่งคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัสดุในงานโครงสร้าง เนื่องจากงานโครงสร้างอาคารเป็นคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก และ 2 วัสดุหลักก็คือ Concrete กับ Reinforcement steel เนื่องเป็นอาคารออกแบบเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ช่วงรื้อถอนมีการใช้พลังงานในการรื้อถอน, คัดแยกและขนส่ง ในส่วนของ 2 วัสดุนี้สูง



รูปที่ 4.16 การให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวต่อพื้นที่อาคารของการจัดการขยะสิ่งปลูกตามลักษณะการจัดการขยะ

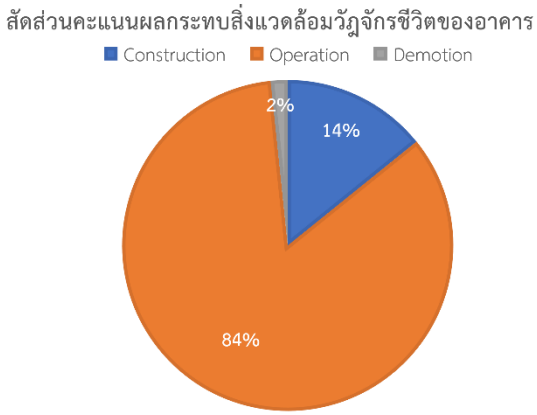
จากรูปที่ 4.17จะเห็นได้ว่า คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักคือ Concrete มีค่า 59.756% (23.394 $kgCO_2eq/m^2$) เนื่องจากอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเป็นอาคารที่ออกแบบโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีปริมาณ คอนกรีตสูง และรองลงมาได้แก่ Reinforcement steel มีค่า 11.838% (4.635 $kgCO_2eq/m^2$) ซึ่งปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัสดุในงานโครงสร้าง เนื่องจากงานโครงสร้างอาคารเป็นคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก และ 2 วัสดุหลักก็คือ Concrete กับ Reinforcement steel เนื่องเป็นอาคารออกแบบเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ช่วงรื้อถอนมีการใช้พลังงานในการรื้อถอน, คัดแยกและขนส่ง ในส่วนของ 2 วัสดุนี้สูง



รูปที่ 4.17 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขยะสิ่งปลูกสร้างต่อพื้นที่ของการจัดการขยะสิ่งปลูก ตามลักษณะการจัดการขยะ

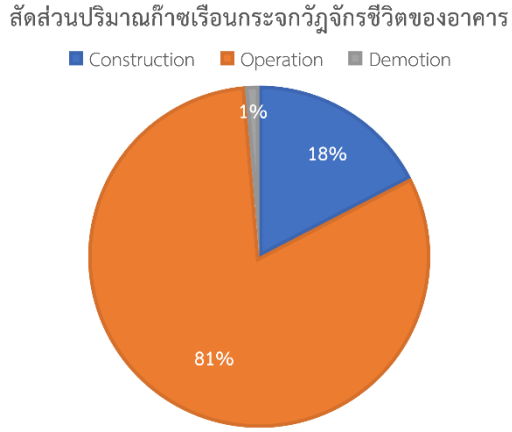
4.4 ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต

สัดส่วนคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในช่วงการใช้งานอาคาร (Operation) มีคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด โดยคิดเป็น 84% (3.28 Pt/m^2) รองลงมา โครงสร้างอาคาร (Construction) คิดเป็น 14% (0.55 Pt/m^2) และรื้อถอนอาคาร (Demotion) คิดเป็น 2% (0.06 Pt/m^2)



รูปที่ 4.18 สัดส่วนคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามวัฏจักรชีวิตของอาคาร

สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคาร (Operation) มีคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด โดยคิดเป็น 81% (2,366.61 $kgCO_2eq/m^2$) รองลงมา โครงสร้างอาคาร (Construction) คิดเป็น 18% (505.58 $kgCO_2eq/m^2$) และรื้อถอนอาคาร (Demotion) คิดเป็น 1% (39.15 $kgCO_2eq/m^2$)

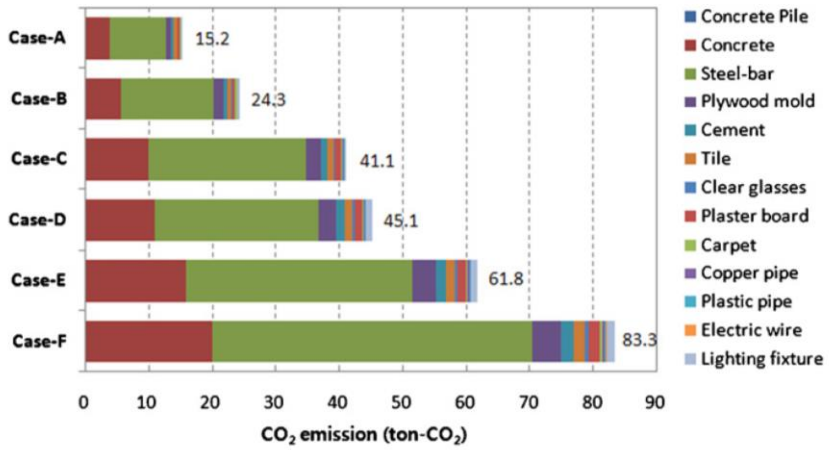


รูปที่ 4.19 สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกตามวัฏจักรชีวิตของอาคาร

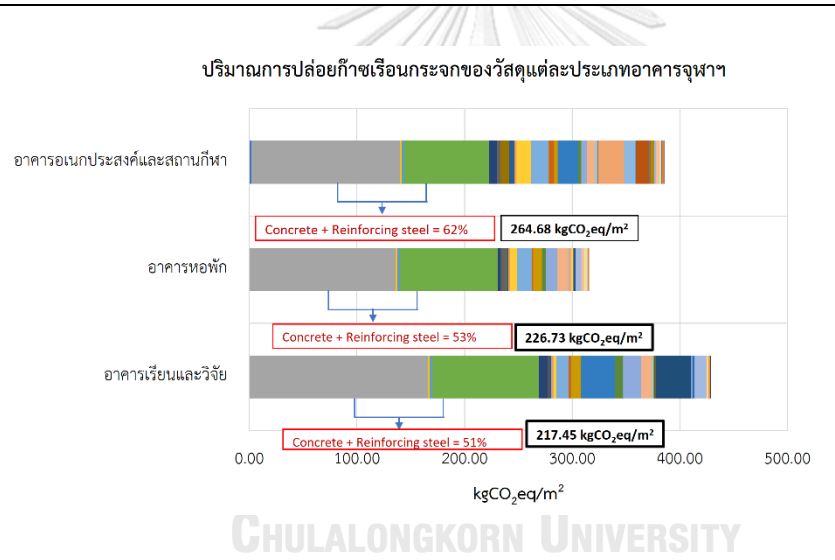
เมื่อพิจารณาสัดส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวและปริมาณก๊าซเรือนกระจก สามารถบอกได้ว่าในช่วงใช้งานอาคารเป็นช่วงที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร และในช่วงของโครงสร้างอาคารก็เป็นส่วนที่ไม่สามารถละเลยได้ จึงจำเป็นต้องหาแนวทางการลดผลกระทบโดยพิจารณาจากความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนวัสดุ ในส่วนโครงสร้างของอาคาร งานโครงสร้างอาคารเป็นส่วนผลกระทบหลักที่เกิดขึ้นจาก Concrete และ Steel แต่เนื่องจากเป็นงานโครงสร้างอาคารจึงปรับเปลี่ยนได้ยาก จึงมาพิจารณาในส่วนงานสถาปัตยกรรมส่วนระบบกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารจึงเป็นที่มาของทางเลือกวัสดุที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนโดยคำนึงถึงผลกระทบและเงินทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.5 เปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่นๆ



Apartment buildings ประเทศเกาหลี (Jeong.และคณะ , 2012)



อาคารสถานศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบงานวิจัยวัสดุก่อสร้างอาคาร

จากรูปที่ 4.20 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุของอาคาร การจากเปรียบเทียบงานวิจัย จากงานวิจัยของ คุณ Young-Sun Jeong และคณะ ทำการประเมินวัสดุหลักของอาคารอพาร์ทเม้นท์ในประเทศเกาหลี เปรียบกับการทำการประเมินอาคารสถานศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า มีวัสดุหลักเหมือนกันคือ Steel และ Concrete โดยอาคารอพาร์ทเม้นท์ในประเทศเกาหลี มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 424.2–584.2 kg-CO_2/m^2 โดยคิดเป็นร้อยละ 82 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมด และอาคารสถานศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย พบว่ามีวัสดุหลักคือ Steel และ Concrete เช่นเดียวกัน โดย อาคารสถานศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

คือ อาคารเรียนและวิจัย มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 217.5 $kgCO_2/m^2$ คิดเป็นร้อยละ 51 จากวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมด อาคารหอพัก มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 226.7 $kgCO_2/m^2$ คิดเป็นร้อยละ 53 จากวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมด และ อาคารเอนกประสงค์และสถานกีฬา มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 264.7 $kgCO_2/m^2$ คิดเป็นร้อยละ 62 จากวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมด พบว่าร้อยละของ Steel และ Concrete และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ของอาคารในประเทศเกาหลีมีมากกว่าประเทศ เนื่องมาจากงานวิจัยของคุณ Young-Sun Jeong และคณะ นำเฉพาะวัสดุหลักของอาคารมาคำนวณทำให้สัดส่วนของ Steel และ Concrete มีค่าที่สูง ส่วนงานวิจัยของ อาคารสถานศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คิดวัสดุทั้งหมดของอาคาร อย่างไรก็ตามก็ทำให้เห็นทราบว่า Steel และ Concrete เป็นวัสดุหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการสืบค้น งานวิจัยการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารในประเทศ พบงานวิจัย ของ คุณ Oyeshola และคุณ Shabbir ชื่อเรื่อง Life Cycle Assessment of Commercial Buildings in Thailand ปี ค.ศ.2008 ตีพิมพ์ในวารสาร Life Cycle Assessment ทำการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารสำนักงานพาณิชย์ในประเทศไทย โดยผลการศึกษา

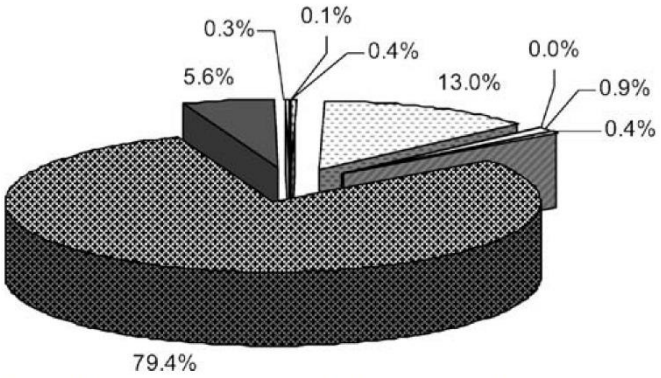


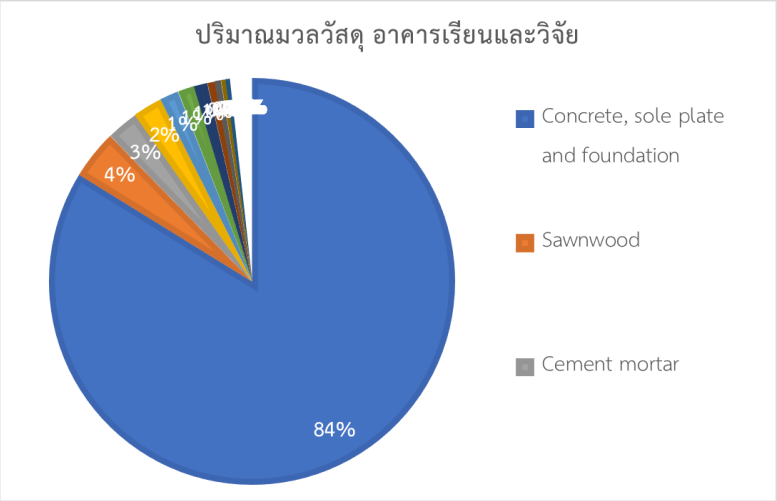
Fig. 4 Material percentage contribution by material mass. Granite: 0.4%, Brick: 13%, Aluminium: 0.0%, Tiles: 0.9%, Glass: 0.4%, Concrete: 79.4%, Steel: 5.6%, Plaster: 0.3%, Wood: 0.1%

รูปที่ 4.21 สัดส่วนร้อยละของปริมาณมวลชนิดวัสดุของอาคารสำนักงานในประเทศไทย จากงานวิจัยของ (Oyeshola F., Shabbir H.,2008)

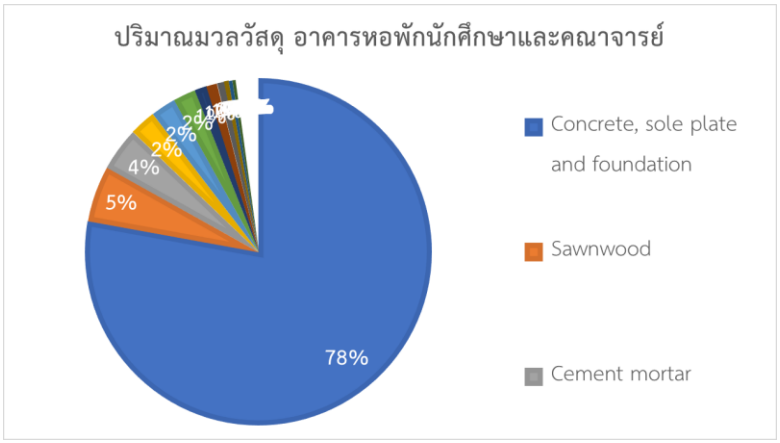
1) ช่วงวัสดุโครงสร้างอาคาร

โดยมีวัสดุ2ชนิดหลักจากการวิเคราะห์ปริมาณวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารสำนักงาน (รูปที่ 4.21) คอนกรีต คิดเป็นประมาณ 80% ของมวลวัสดุอาคารสำนักงาน ตามด้วยอิฐที่มี 13% เหล็กมีความสำคัญเช่นเดียวกันที่ 5.6% ของมวลวัสดุทั้งหมด

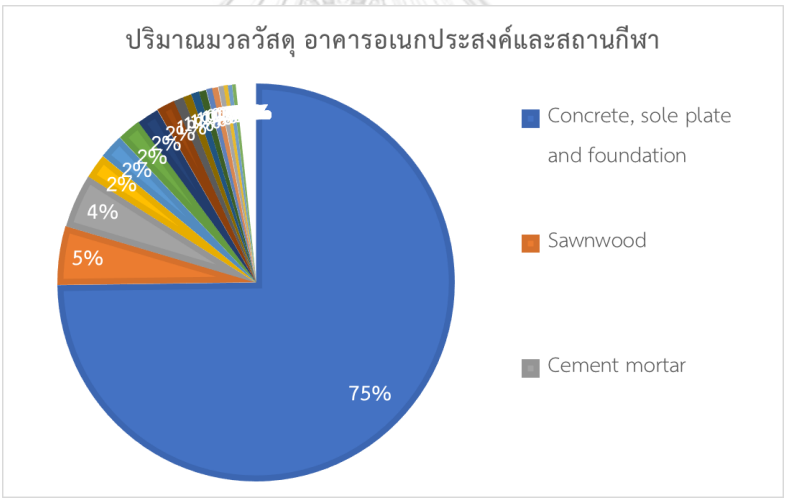
เมื่อทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณมวลวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร 3 ประเภท 1. อาคารเรียนและวิจัย 2.หอพักนักศึกษาและคณาจารย์ 3.อาคารเอกประสงค์และสถานกีฬาอาคาร พบว่ามีปริมาณมวลวัสดุคล้ายคลึงกันในส่วนของปริมาณมวล คอนกรีต (Concrete) คือมีปริมาณมวลเฉลี่ยที่ 80% ส่วนประมาณลำดับที่ 2 และ3 จะแตกต่างกัน โดยที่ของงานวิจัยของ (Oyeshola F., Shabbir H.,2008) จะเป็น อิฐและเหล็ก ส่วนในงานวิจัยอาคารสถานศึกษาจะเป็น ไม้และซีเมนต์ อาจเนื่องมาจากทางงานวิจัยข้างต้นไม่ได้นำไม้แบบในการใช้หล่อคอนกรีตช่วงก่อสร้างอาคารนำมาคิดในส่วนนี้ และเป็นคนละลักษณ์รูปแบบการสร้างการออกแบบจึงแตกต่างกันปริมาณชนิดวัสดุจึงต่างกันแต่ยังคงมีการใช้วัสดุหลักที่เป็น คอนกรีต ที่คล้ายคลึงกัน จากรูปที่ 4.22,4.23,4.24



รูปที่ 4.22 สัดส่วนปริมาณมวลวัสดุ อาคารเรียนและวิจัย



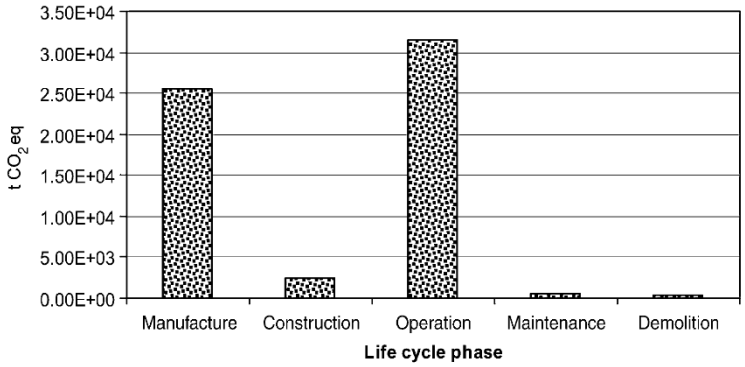
รูปที่ 4.23 สัดส่วนปริมาณมวลวัสดุ อาคารหอพักนักศึกษาและคณาจารย์



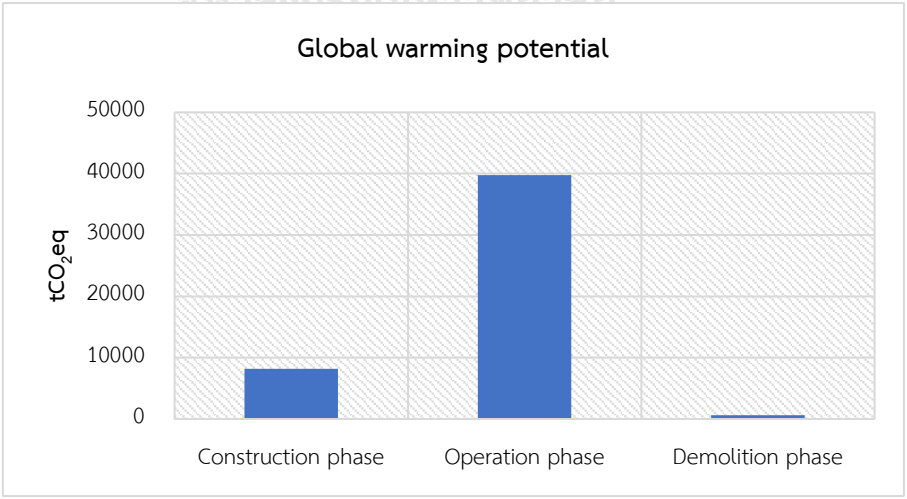
รูปที่ 4.24 สัดส่วนปริมาณมวลวัสดุ อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา

2) วัฏจักรชีวิตอาคาร

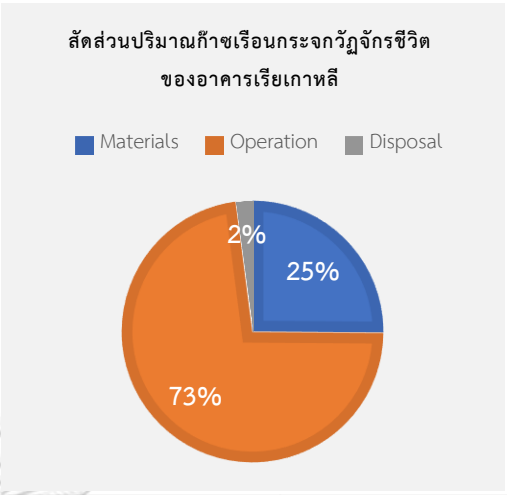
จากงานวิจัย ของ คุณ Oyeshola F. Kofoworola และคุณ Shabbir H. Gheewala ชื่อเรื่อง Life Cycle Assessment of Commercial Buildings in Thailand ปี ค.ศ.2008 ตีพิมพ์ในวารสาร Life Cycle Assessment ทำการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารสำนักงานพาณิชย์ในประเทศไทย ผลวัฏจักรชีวิตอาคารของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขั้นตอนการก่อสร้างมีส่วน 4% ขณะที่การบำรุงรักษาและการรื้อถอนแต่ละขั้นมีประมาณ 0.1% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้วิจัย ช่วงวัสดุก่อสร้าง17%, ช่วงใช้งาน 82%, และช่วงรื้อถอนและกำจัดซาก 1% ซึ่งผลมีความแตกต่างกันอย่างพอสมควร เนื่องจากงานวิจัยใช้ฐานข้อมูลในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกคนละฐานข้อมูล และคนละวิธีการคำนวณ แตกต่างกัน ทำให้ผลกระทบก๊าซเรือนกระทบที่ออกมามีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4.25 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามช่วงชีวิตของอาคารสำนักงานในประเทศไทย จากงานวิจัยของ Oyeshola และ Shabbir (2008)



รูปที่ 4.26 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามวัฏจักรชีวิตอาคาร



Building's life cycle	Chulalongkorn university	School building(Changyoon et al., 2016)	Unit
Construction	506	790	kg CO_2eq/m^2 50 years
Operation	2,367	2,290	kg CO_2eq/m^2 50 years
Disposal	39	65	kg CO_2eq/m^2 50 years

รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบงานวิจัยสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

จากรูปที่4.27 การเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารของงานวิจัย คุณ (Changyoon และคณะ 2016)ทำการวิจัยอาคารเรียนของประเทศเกาหลีใต้ จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารสถานศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กับอาคารเรียนของประเทศเกาหลีใต้ มีสัดส่วนคล้ายคลึงกัน โดยส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดคือ ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation phase) รองลงมาคือ ช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร (Construction phase) และสัดส่วนที่น้อยที่สุดคือ ช่วงกำจัดซาก (Disposal phase) โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคาร ก็มีความใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบได้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตในช่วงการใช้งานอาคารเป็นผลกระทบหลักที่เกิดและช่วงวัสดุก่อสร้างอาคารก็เป็นส่วนที่ไม่สามารถละเลยได้ เป็นส่วนที่มีศักยภาพในการจัดการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบงานวิจัยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏชีวิต

No.	Year	Speccification of building	Place	Type	Lifetime (year)	Floor area (m^2)	GHG emission (ton CO_2eq/m^2 50year)
1	2001 (Adalberth, Almgren, & Peterson,2001)	Malmo	Sweden	R	50	700	1.3
2	2001 (Adalberth et al., 2001)	Helsingborg	Sweden	R	50	1,160	1.35
3	2001 (Adalberth et al., 2001)	Vaxjo	Sweden	R	50	1,190	1.51
4	2001 (Adalberth et al., 2001)	Stockholm	Sweden	R	50	1,520	1.4
5	2003 (Arena & Rosa, 2003)	School building	Mendoza, Argentina	C	50	-	0.034
6	2005 (Guggemos & Horvath, 2005)	Steel framed	Midwestern US	R	50	4,400	-
7	2005 (Guggemos & Horvath, 2005)	Concrete framed	Midwestern US	R	50	4,400	-
8	2006 (Norman, MacLean, & Kennedy, 2006)	Low-density building	Toronto, Canada	R	50	-	5.365
9	2006 (Norman et al., 2006)	High-density building	Toronto, Canada	R	50	-	3.885
10	2006 (Junnila, Horvath, & Guggemos,2006)	High-end	South Finland, Europe	C	50	4400	3.01
11	2008 (Kofoworola & Gheewala, 2008)	Office building	Thailand	C	50	60,000	0.93
12	2009 (Blengini, 2009)	Via Garrone building	Turin, Italy	R	-	6,110	3.34
13	2012 (Varun et al., 2012)	NIT Hamirpur	India	C	50	3,960	0.45
14	Current	Chulalongkorn University	Thailand	C	50	16,143	2.9

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารแต่ละประเภท ในแต่ละประเทศ จากตารางทำให้เห็นได้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร นั้นจะมีความจำเพาะเจาะจง ไม่ได้มีความสอดคล้องของอาคาร เนื่องมาจากการสร้างอาคารแต่ละอาคารมีความจำเพาะเจาะจงของการสร้างอาคาร การออกแบบอาคาร รูปแบบการใช้งานอาคาร พฤติกรรมการใช้งานอาคาร ภูมิประเทศ สภาพอากาศ ฯลฯ ซึ่งเป็นเหตุผลทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ประเภทอาคารนั้นมีความจำเพาะเจาะจงของแต่ละอาคารไป ซึ่งอาคารสถานศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารอยู่ที่ 2.9 ton CO_2/m^2 และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอาคารสำนักงานในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 0.93 ton CO_2/m^2 ทำให้ทราบได้ว่าอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีศักยภาพที่จะหามาตราการใช้ในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซค์ลงได้

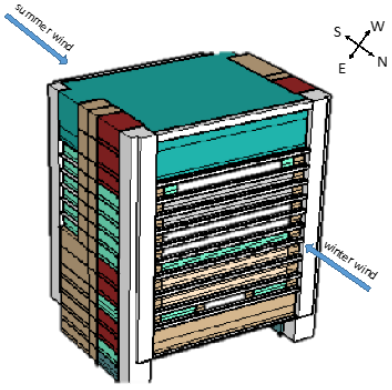
4.6 การประเมินแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและประเมินต้นทุนของแนวทางการลดกระทบสิ่งแวดล้อม

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวและปริมาณก๊าซเรือนกระจกสามารถบอกได้ว่าในช่วงใช้งานอาคารเป็นช่วงที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร จึงมาพิจารณาในส่วนงานสถาปัตยกรรมส่วนระบบกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เพื่อสามารถลดการพลังงานใช้งานอาคารลง เนื่องจากมีผลกระทบสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Floor	Function	Area (m^2)	Working Time (hour/day)	Operation Period* (day/year)
1	Office	1,040	8	257
2	Conference room	1,350	8	257
3	Student Club	850	8	172
4	Class room	1,473	8	172
5	Class room	1,473	8	172
6	Lab	1,303	12	257
7	Office	1,040	8	257
8	Lab	1,303	24	257
9	Lab	1,303	12	257
10	Lab	1,303	12	257
11	Conference room	1,350	8	257
12	Gym	1,522	12	257

* According to the declaration of opening and closing dates for academic 2017; retrieved from http://www.reg.chula.ac.th



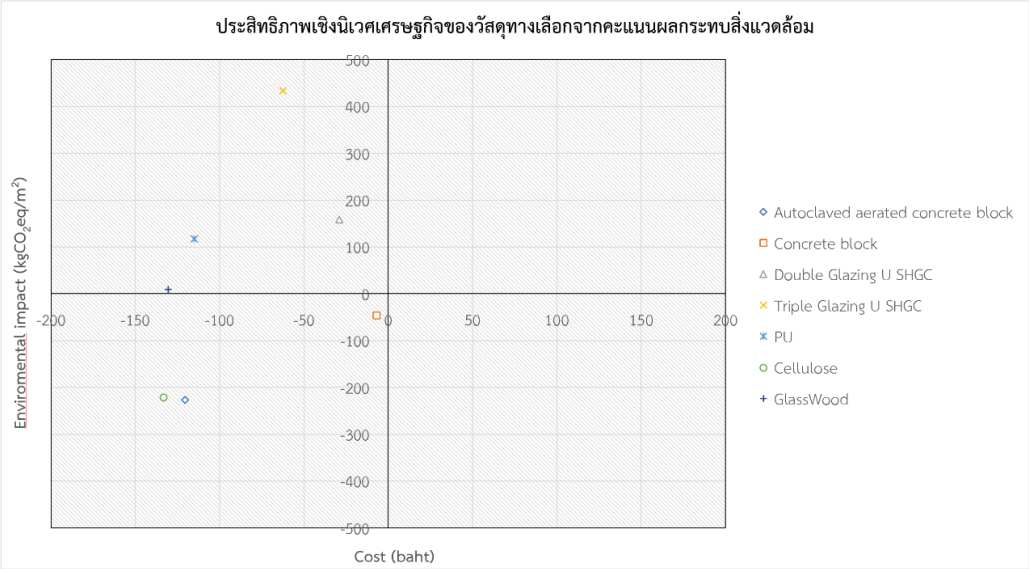
รูปที่ 4.28 แบบจำลองอาคาร 100ปี วิศว โดยโปรแกรม SketchUp: 3D modeling

ตารางที่ 4.5 ศักษภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแนวทางการลด

Material	GHG emission reduction ($kgCO_2/m^2$)	Enviromental impact reduction (Pt/m^2)
Baseline Brick		
Autoclaved aerated concrete block	-120.57	-0.17
Concrete block	-6.90	-0.01
Baseline Single Glazing		
Double Glazing	-29.12	-0.04
Triple Glazing	-62.62	-0.09
Baseline No insulation		
PU	-115.13	-0.16
Cellulose	-133.48	-0.19
Glass Wood	-130.55	-0.19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

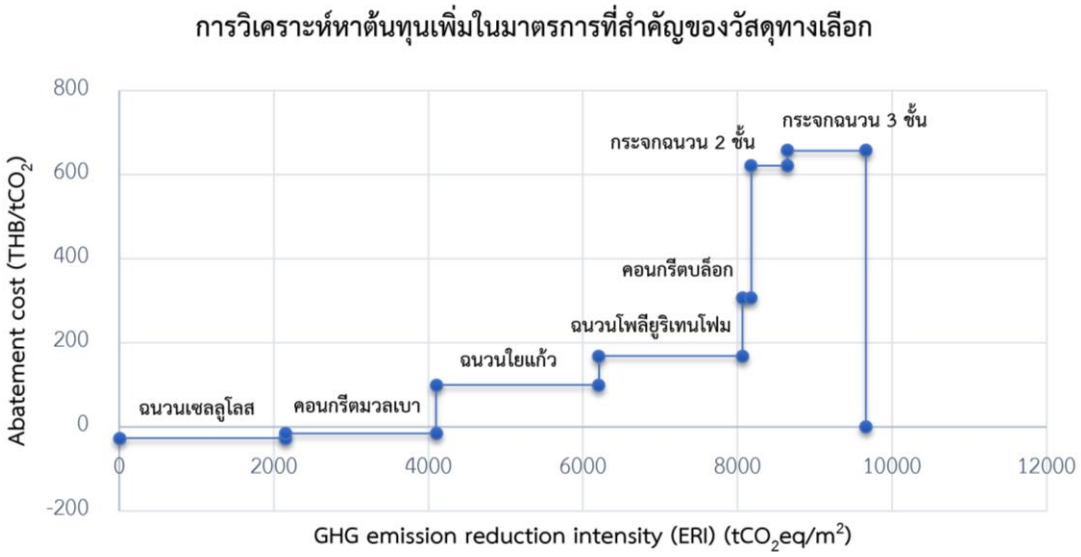
โดยแนวทางการเปลี่ยนวัสดุระบบกรอบอาคารแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1.การปรับเปลี่ยนวัสดุกำแพง วัสดุพื้นฐานคือ อิญมอญ (Brick) วัสดุปรับเปลี่ยนได้แก่ คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated concrete block), คอนกรีตบล็อก (Concrete block) 2.กระจกหน้าต่าง วัสดุพื้นที่ฐานคือกระจกชั้นเดียว (Single Glazing) วัสดุปรับเปลี่ยนได้แก่ กระจก 2 ชั้น (Double Glazing), กระจก 3 ชั้น (Triple Glazing) 3.การเพิ่มฉนวนในกำแพง คือ ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม (PU), ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose) และ ฉนวนใยแก้ว (Glass Wool) โดยวัสดุทางเลือกเป็นวัสดุที่มีจำหน่ายในประเทศไทย จากนั้นนำไปคำนวณผลกระทบที่เกิดจากตัววัสดุ และพลังงานที่ใช้พลังจากปรับเปลี่ยนวัสดุผลที่ได้ดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.29 ประสิทธิเชิงนิเวศเศรษฐกิจของวัสดุทางเลือก

จากกราฟรูปที่ 4.29 จะเห็นว่าแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งได้แก่ (+,+),(+,-),(-,+),(-,-) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ 1.ส่วน (+,+) คือมีทั้งราคาในการลงทุนมากขึ้นและมีผลกระทบที่เพิ่มขึ้น 2.(+,-) คือมีผลกระทบที่เพิ่มขึ้นแต่มีราคาลงทุนที่ลดลง 3.(-,+) คือมีผลกระทบที่ลดลงและมีราคาลงทุนที่เพิ่มขึ้น 4.(-,-) คือมีทั้งราคาในการลงทุนมากขึ้นและมีผลกระทบที่ลดลง โดยวัสดุทางเลือกที่ลงในส่วนที่ 4 เป็นแบบที่ควรพิจารณาในการปรับเปลี่ยนก่อนซึ่ง รองลงมาคือส่วนที่ 2และ3 ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้ความสำคัญของผู้พิจารณาว่าจะให้ความสำคัญกับเงินทุนหรือผลกระทบ ส่วนที่1 เป็นส่วนที่ให้ความสำคัญน้อยที่สุดเนื่องจากไม่สามารถผลกระทบและยังเพิ่มเงินทุน จากการลงจุดระหว่างเงินทุนและผลกระทบของวัสดุทางเลือกจะเห็นได้ว่า วัสดุทางเลือกที่อยู่ในส่วนที่ 4 นั้น คือ Autoclaved aerated concrete block , Concrete block, Cellulose โดย Autoclaved aerated concrete blockและConcrete block เป็นวัสดุทางเลือกในการปรับเปลี่ยนวัสดุของผนังกำแพง และ Cellulose อยู่ในวัสดุทางเลือกที่เป็นฉนวนที่ใส่เพิ่ม ถนัดมาวัสดุทางเลือกที่อยู่ในส่วนที่ 2 คือ Double Glazing, Triple Glazing, PU (Polyurethane), Glass Wood ซึ่ง Double Glazingและ Triple Glazing เป็นวัสดุทางเลือกในของกระจกหน้าต่าง และ PU (Polyurethane) กับ Glass Wood เป็นวัสดุทางเลือกฉนวน จากวัสดุทางเลือกที่แสดงเห็น การเพิ่มฉนวน Cellulose และการปรับเป็นเปลี่ยนจากอิญมอญเป็นคอนกรีตมวลเบา ในระบบแบบกรอบอาคารจึงเป็นทางเลือกที่ควรพิจารณาในการปรับปรุงอาคารเป็นทางเลือกแรก เนื่องจากสามารถลดผลกระทบ และยังสามารถลดต้นทุนของอาคารลงได้ ซึ่งต้นทุนที่ลดเกิดจากปริมาณพลังงานที่ใช้ในอาคารลดลง ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าที่ลดลงทำให้ต้นทุนลดลง และคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated concrete block) ยังสามารถ

ลดผลกระทบของตัววัสดุเองได้อีกด้วยเมื่อเทียบกับอิฐมอญ (Brick) ถนัดมาคือวัสดุทางเลือกกระจกหน้าต่าง กระจก 2 ชั้น (Double Glazing) และ กระจก 3 ชั้น (Triple Glazing) ซึ่งจุดตกในส่วนที่ 2 สามารถลดผลกระทบแต่เพิ่มเงินลงทุน ส่วนนี้ขึ้นอยู่กับผู้ลงทุนว่าจะมีความสามารถในการลงทุนในส่วนนี้หรือไม่ ทางเลือกผู้วิจัยไม่แนะนำในการปรับเปลี่ยนเนื่องจากมีการลงทุนค่อนข้างสูงและลดผลกระทบได้อย่างไม่เป็นนัยสำคัญกับเงินลงทุน จากแนวทางการเปลี่ยนวัสดุระบบกรอบอาคารแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ควรเลือกปรับเปลี่ยน วัสดุกำแพงและการเพิ่มฉนวน ซึ่งได้แก่ คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated concrete block)และฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose)



รูปที่ 4.30 การวิเคราะห์หาต้นทุนเพิ่มในมาตรการที่สำคัญของวัสดุทางเลือก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูป4.30 การวิเคราะห์หาต้นทุนเพิ่มในมาตรการที่สำคัญของวัสดุทางเลือก มีผลการวิเคราะห์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดี้ยวกับประสิทธิเชิงนิเวศเศรษฐกิจของวัสดุทางเลือก คือ ฉนวนเซลลูโลส และคอนกรีตมวลเบา เป็นแนวทางการลดผลกระทบแรกที่ควรพิจารณาเนื่องจากสามารถได้ผลกำไรจากการลงทุน และสามารถลดผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฉนวนเซลลูโลสมีความสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 2154.79 tCO_2eq/ปี หรือคิดอายุการใช้งานอาคาร50ปี สามารถลดลงได้ถึง 107,739.5 tCO_2eq และยังสามารถได้ผลกำไร 27 บาท/ tCO_2eq หรือคิดเป็นเงิน 58,180 บาท/ปี หรือ 2,909,000 บาท/50ปี เช่นเดียวกับคอนกรีตมวลเบา ความสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 1,946.41 tCO_2eq/ปี หรือคิดอายุการใช้งานอาคาร50ปี สามารถลดลงได้ถึง 97,320.5 tCO_2eq และยังสามารถได้ผลกำไร 15.1 บาท/ tCO_2eq หรือคิดเป็นเงิน 29,391 บาท/ปี หรือ 1,469,540 บาท/50ปี แนวทางวัสดุทางเลือกควรพิจารณาต่อไปคือตาม

กราฟที่เป็นขั้นบันได แนวทางการลดผลกระทบก๊าซเรือนกระจก ยกเว้น คอนกรีตบล็อก ที่แนวทางเพิ่มทั้งต้นทุนและความสามารถลดผลกระทบก๊าซเรือนกระจกนั้นค่อนข้างต่ำซึ่งทางผู้วิจัยไม่แนะนำทางเลือกนี้ ในส่วนของแนวทางการลดผลกระทบก๊าซเรือนกระจกโดยใช้กระจก2ชั้น และกระจก3ชั้นขึ้นอยู่กับเจ้าของโครงการว่าให้ความสำคัญกับเงินลงทุนหรือการลดผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง เพื่อจะลดผลกระทบในส่วนนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากอาคารสถานศึกษา เพื่อหาแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และประเมินศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยคำนึงถึงต้นทุนของการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแนวทางการลดนั้นๆ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร

5.1.1 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมช่วงก่อสร้างอาคาร

การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงวัสดุก่อสร้างอาคารโดยมีตัวแทนอาคาร 3 ประเภท 6 อาคารนั้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภทงาน คือ งานโครงสร้างอาคาร, สถาปัตยกรรม, งานสุขาภิบาลและระบบท่อดับเพลิงภายในอาคาร, งานสิ่งสำนวยความสะดวก และทำการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเภทอาคาร คือ อาคารเรียนและวิจัย, อาคารหอพักนิสิตและคณาจารย์, อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา การวิเคราะห์พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเภทงานโครงสร้างอาคารมีเป็นประเภทงานที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนมากว่าร้อยละ 60 จากทั้ง 4 ประเภทงาน โดยวัสดุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีด้วยกัน 2 วัสดุ คือ คอนกรีตโครงสร้าง (Concrete) และ เหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforcing steel) โดยคิดเป็นสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อม อาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 95 (0.28Pt/m^2), อาคารหอพักนิสิตและคณาจารย์ร้อยละ 95 (0.24Pt/m^2), อเนกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 88(0.23Pt/m^2) และคิดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอาคารเรียนและวิจัยร้อยละ 96 (265 $kgCO_2/m^2$), อาคารหอพักนิสิตและคณาจารย์ร้อยละ 95 (227 $kgCO_2/m^2$), อเนกประสงค์และสถานกีฬาร้อยละ 90 (217 $kgCO_2/m^2$) ของงานโครงสร้างอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมช่วงการใช้งานอาคาร

การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคารนั้น ทำการประเมินผลการใช้งานอาคารตลอดอายุการใช้งานโดยคิดวัฏจักรชีวิตอายุการใช้งานอาคาร 50 ปี ศึกษาอาคารตัวแทนอาคารสถานศึกษา โดยเลือกตัวแทนคือ อาคาร100ปี วิศวฯ คณะวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการทำศึกษา โดยแบ่งการใช้งานอาคารเป็น การพลังงานใช้ไฟฟ้า, การใช้น้ำ, การใช้พลังงานหมุนเวียนเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell), ปริมาณน้ำเสีย, ปริมาณขยะ โดยพบว่าตลอดอายุการใช้งาน ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของ การใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นส่วนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยคิดเป็น ผลกระทบสิ่งแวดล้อมร้อยละ 99 (3.25Pt/m^2)และ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 96 (2,278 $kgCO_2eq/m^2$) ซึ่งเป็นผลกระทบแทบทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งานอาคาร เป็นผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อการหาแนวทางการผลกระทบที่จะต้องให้น้ำหนักมากที่สุด

5.1.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัดนั้น การวิเคราะห์การจัดการขยะที่เกิดจากการรื้อทำลายอาคารและการนำไปกำจัด โดยแบ่งการจัดการออกเป็น 4 รูปแบบ 1.ถมปรับพื้นที่ (Dumping) 2.นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) 3.นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) 4.นำไปฝังกลบ (Landfill) โดยจากการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถมปรับพื้นที่ (Dumping) มีผลกระทบสูงสุด แต่เนื่องจากการจัดการในรายละเอียดการจัดการขยะแต่ละรูปแบบ มีการจัดการที่และวิธีการคำนวณหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คล้ายคลึงกัน คือคิดผลเฉพาะส่วนการรื้อถอน, การคัดแยก, การขนส่ง ซึ่งไม่ได้ส่วนการจัดการขึ้นสุดท้าย ยกเว้นแต่การจัดการแบบนำไปฝังกลบ (Landfill) ที่คิดส่วนผลกระทบที่เกิดในหลุมฝังกลบ เพราะฉะนั้นจึงวิเคราะห์เป็นกลุ่มวัสดุ วัสดุที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัดสูงที่สุดคือ กลุ่มคอนกรีต (Concrete) และ เหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforcement steel) ซึ่งสอดคล้องกับผลช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร ซึ่งเป็น 2 วัสดุหลักที่ใช้ เมื่อมีการรื้อทำลายอาคาร, คัดแยก และขนส่ง จึงทำให้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนนี้มาก โดยมีสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อม กลุ่มคอนกรีต (Concrete) และ กลุ่มเหล็ก (Reinforcement steel) คิดเป็นร้อยละ 78 (0.05/m^2) ต่อกลุ่มวัสดุทั้งหมด ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กลุ่มคอนกรีต (Concrete) และ กลุ่มเหล็ก (Reinforcement steel) คิดเป็นร้อยละ 72 (28 $kgCO_2/m^2$)

5.1.4 สรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร

การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคารนั้นได้แบบเป็น 3 ช่วงอย่างที่ได้กล่าวมา ช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร (Construction Phase), ช่วงการใช้งานอาคาร (Operation Phase) และ ช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase) สรุปได้ว่าช่วงการใช้งานอาคาร เป็นช่วงที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วน การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากสูงถึงร้อยละ 84 (3.28 Pt/m^2) และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 81 (2,367 $kgCO_2eq/m^2$) รองลงมาคือช่วงช่วงวัสดุก่อสร้างอาคาร (Construction Phase) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยคิดเป็นสัดส่วน ผลกระทบสิ่งแวดล้อมร้อยละ 14 (0.55 Pt/m^2) และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 18 (505.58 $kgCO_2eq/m^2$) และช่วงการรื้อถอนและการนำไปกำจัด (Demolition and Disposal Phase) เป็นช่วงที่มีผลกระทบน้อยที่สุด สัดส่วน ผลกระทบสิ่งแวดล้อมร้อยละ 2 (0.06 Pt/m^2) และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 1 (39 $kgCO_2eq/m^2$) จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น การหาแนวทางลดผลกระทบควรให้ความสำคัญกับช่วงการใช้งานอาคารแต่ก็ไม่สามารถละเลยผลกระทบช่วงโครงสร้างอาคารได้เช่นกัน

1) ศักยภาพในการลดความกระทบสิ่งแวดล้อมของแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากช่วงก่อสร้างอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร ทำให้ออกแบบแนวทางการลดกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยแนวทางการเปลี่ยนวัสดุระบบกรอบอาคาร เนื่องจากวัสดุกรอบอาคารจะมีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร โดยคัดเลือกวัสดุมีความสามารถในการลดการใช้พลังงานลงได้ เพื่อเป็นแนวทางทางการลดกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งแนวทางออกเป็น 3 ส่วน คือ 1.วัสดุสร้างกำแพง 2.กระจกหน้าต่าง 3.การเพิ่มฉนวนในกำแพง โดยวัสดุทางเลือกเป็นวัสดุที่มีจำหน่ายในประเทศไทย จากการวิเคราะห์ศักยภาพการลดผลกระทบ โดยวัสดุที่มีมีศักยภาพในส่วนที่ 1.วัสดุสร้างกำแพง คือ คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated

concrete block) สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ 0.17 Pt/m^2 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 121 $kgCO_2eq/m^2$ วัสดุที่มีมีศักยภาพในส่วนที่ 2.กระจกหน้าต่าง คือ กระจก 3 ชั้น (Triple Glazing) สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ 0.09 Pt/m^2 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 63 $kgCO_2eq/m^2$ วัสดุที่มีมีศักยภาพในส่วนที่ 3.การเพิ่มฉนวนในกำแพง คือ ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose) สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ 0.09 Pt/m^2 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 63 $kgCO_2eq/m^2$ สรุปได้ว่าวัสดุที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของแนวทางทั้ง 3 ส่วนคือ คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated concrete block), กระจก 3 ชั้น (Triple Glazing) และฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose)

2) การประเมินต้นทุนของแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การประเมินต้นทุนของแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากแนวทางออกเป็น 3 ส่วน 1.วัสดุสร้างกำแพง 2.กระจกหน้าต่าง 3.การเพิ่มฉนวนในกำแพง นั้น เมื่อพิจารณาแล้วฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose) และ คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved aerated concrete block) มีศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมีผลกำไรเกิดขึ้นจากการเลือกใช้ ซึ่งเป็นแนวทางที่ควรพิจารณ่เลือกใช้ โดย ฉนวนเซลลูโลสมีความสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 107,739.5 tCO2eq และยังสามารถได้ผลกำไร 2,909,000 บาท โดยคิดอายุการใช้งานอาคาร 50ปี เช่นเดียวกับคอนกรีตมวลเบา ความสามารถลดก๊าซเรือนกระจก สามารถลดลงได้ถึง 97,320.5 tCO2eq และยังสามารถได้ผลกำไร 1,469,540 บาท โดยคิดอายุการใช้งานอาคาร50ปี ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีที่สุดการในการทำงานวิจัยนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ควรศึกษาเพิ่มเติมผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามวัฏจักรชีวิตอาคาร หลากหลายประเภทการใช้งานอาคาร และจำนวนอาคารตัวแทนที่มากกว่านี้ เพื่อเป็นแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเภทการใช้งานอาคาร

2.ควรศึกษาเปรียบเทียบอาคารทั่วไปกับอาคารที่ผ่านการรับรองอาคารเพื่อความยั่งยืนหรืออาคารเขียว เพื่อประเมินว่าศักยภาพการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างไร คุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่

3.ควรศึกษาแนวทางเพื่อให้อาคารสามารถเป็นอาคารคาร์บอนต่ำหรือคาร์บอนศูนย์เพื่อนำเอาแนวทางเอาใช้ให้เหมาะสมกับอาคารในประเทศไทย

รายการอ้างอิง

Arskog V., F. S., Gjorv O. E. (2004). LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF REPAIR AND MAINTENANCE SYSTEMS FOR CONCRETE STRUCTURES. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, Iowa State University.

Chalita Suwan (2011). "Life Cycle Assessment and Its Application in the Construction Industry." The Journal of KMUTNB 21(2).

Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2012). Research and Development in the field of Energy Conservation and Renewable Energy in Thailand.

Dixit, M. K., et al. (2012). "Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper." Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(6): 3730-3743.

International Energy Agency (2013). "IEA Online Data Services." from http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp.

International Organization for Standardization (1998). ISO 14041:Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis.

International Organization for Standardization (2000). "ISO 14042 : Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment."

International Organization for Standardization (2000). "ISO 14043: Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation."

International Organization for Standardization (2006). ISO 14040 : Environmental management -life cycle assessment - principles and framework.

International Organization for Standardization (2010). ISO 21931-1:2010(en) Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works Part 1: Buildings.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Jeong, Y.-S., et al. (2012). "Estimation of CO2 emission of apartment buildings due to major construction materials in the Republic of Korea." Energy and Buildings 49: 437-442.

Joint Graduate School of Energy and Environment (2014). Review of Features of and Energy Use in Medium and Low Income Housings in Thailand.

Kofoworola, O. F. and S. H. Gheewala (2009). "Estimation of construction waste generation and management in Thailand." Waste Manag 29(2): 731-738.

Kofoworola, O. F. and S. H. Gheewala (2009). "Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand." Energy and Buildings 41(10): 1076-1083.

Leadership in Energy and Environmental Design (2014). "What is green building?". from http://www.usgbc.org/articles/what-green-building.

Lima-Paris Action Agenda (2015). " Global alliance for buildings and construction ". from http://newsroom.unfccc.int/lpaa/building/press-release-lpaa-focus-building-20-countries-and-over-60-organizations-launch-an-unprecedented-global-alliance-for-buildings-and-construction-to-combat-climate-change/#downloads.

Nemry, F., et al. (2010). "Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union—Potential and costs." Energy and Buildings 42(7): 976-984.

Oyeshola Kofoworola, S. H. G. (2008). "Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand." The International Journal of Life Cycle Assessment 13: 498–511.

Peng, C. (2016). "Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling." Journal of Cleaner Production 112: 453-465.

Petkar, S. S. (2014). Environmental impact of construction materials and practices. National Institute of Construction Management and Research Pune, India,.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change : Mitigation of Climate Change.

U.S. Environmental Protection Agency (2010). EPA Progress Report 2010.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

United Nations (2014). World urbanization prospects. New York.

United Nations Environment Programme (2010). Building and climate change Status, Challenges and Opportunities,.

Whole Building Design Guide (2017). "SUSTAINABLE ". from https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable.

Yan, H., et al. (2010). "Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong." Building and Environment 45(4): 949-955.

Zhenyi Li, S. K., Weijun Gao (2014). Energy Use and Consumption of Thailand's Commercial Buildings in 2010. 4th International Conference on Future Environment and Energy. Singapore. 61.

เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์ (2555). RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต. การประชุม วิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.

สถาบันอาคารเขียวไทย (2555). "เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่."

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

ตาราง ผลกระทบสิ่งแวดล้อมคะแนนเชิงเดี่ยวต่อพื้นที่อาคารของวัสดุแบ่งตามประเภทอาคาร

อาคารเรียนและวิจัย	Pt/m^2	อาคารหอพักและคณาจารย์	Pt/m^2	อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา	Pt/m^2
โครงสร้างอาคาร					
Concrete, sole plate and foundation	0.162279	Concrete, sole plate and foundation	0.133234	Concrete, sole plate and foundation	0.135448
Reinforcing steel	0.115963	Reinforcing steel	0.106238	Reinforcing steel	0.092733
Steel, low-alloyed,	0.011569	Pre-cast concrete	0.00386	Steel, low-alloyed,	0.009994
Steel, unalloyed	0.00268	Steel, low-alloyed,	0.003728	Chromium steel pipe	0.009504
Sawnwood	0.002184	Steel, unalloyed	0.002661	Pre-cast concrete	0.002678
PVC pipe E	0.000407	Sawnwood	0.001918	Steel, unalloyed	0.002238
Poor concrete	0.000369	Chromium steel pipe	0.000552	Sawnwood	0.002107
Sand	0.000299	Poor concrete	0.00027	Poor concrete	0.00196
		Sand	5.88E-05	Sand	5.46E-05
สถาปัตยกรรม					
Cladding, crossbar-pole, aluminium	0.036402	Alkyd paint	0.017285	Aluminum	0.024897
Window frame, aluminium,	0.034635	Cement mortar	0.012692	Ceramic tile	0.02465
Gypsum fibreboard	0.02028	Ceramic tile	0.011406	Cladding, crossbar-pole, aluminium	0.021848
Alkyd paint	0.017688	Brick	0.008043	Cement mortar	0.014646

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Cement mortar	0.010355	Gypsum fibreboard	0.007838	Glass fibre	0.012702
Brick	0.008587	Synthetic rubber	0.002711	Alkyd paint,	0.012374
Ceramic tile	0.005161	Galvanized steel	0.002496	Metal composite material (MCM)	0.011808
Galvanized steel	0.003753	Reinforcing steel	0.002264	Polyvinylchloride, suspension polymerised	0.008993
Polyvinylchloride, suspension polymerised	0.003591	Aluminum	0.002106	Gypsum fibreboard	0.00675
Cement, Portland	0.002196	Concrete, normal	0.002007	Cement, Portland	0.004011
EPS insulation board	0.001959	Polyvinylchloride, suspension polymerised	0.001704	Brick	0.003381
Reinforcing steel	0.00189	Cement, Portland	0.001316	Autoclaved aerated concrete block	0.003293
Single-Si wafer, photovoltaic	0.001588	Sawnwood	0.000428	Reinforcing steel	0.002082
Coating powder	0.001425	Acrylic filler	0.000381	Cement cast plaster floor	0.001809
Natural stone plate	0.001155	Adhesive mortar	0.000317	Three layered laminated board	0.001689
Cement cast plaster floor	0.000533	Cement cast plaster floor	0.000286	Galvanized steel	0.001271
Cement, unspecified	0.000398	Steel, unalloyed	0.000268	Coating powder	0.000835
Acrylic filler	0.000361	Lightweight concrete block	0.000146	Natural stone plate	0.000738
Steel, unalloyed	0.000316	Gravel, round	0.000119	Concrete, normal	0.000647
Flat glass, uncoated	0.000293	Sand	7.81E-05	Adhesive mortar	0.00059
Gravel, round	0.000246	Coating powder	6.27E-05	Gravel, round	0.000341

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Epoxy resin, liquid	0.000211	Glass fibre	5.2E-05	Acrylic filler	0.000256
Adhesive mortar	0.000141	Natural stone plate	4.78E-05	Steel, unalloyed	0.00016
Sand	0.000131	Tap water	2.58E-05	Sand	0.000125
Tap water	2.8E-05	Light clay brick	1.21E-05	Epoxy resin, liquid	2.92E-05
Sawnwood	2.2E-05			Tap water	2.2E-05
Acrylic varnish	1.82E-05				
ระบบสุขาภิบาล					
Chromium steel pipe	0.013112	Chromium steel pipe	0.006291	PVC pipe	0.003912
Cast iron	0.001829	Cast iron	0.003812	Chromium steel pipe	0.001664
Glass fibre	0.000859	PVC pipe	0.003171	Cast iron	0.001452
PVC pipe	0.00067	Thermoforming, rigid polypropylene	0.001186	Concrete, sole plate and foundation	0.001288
Galvanized steel	0.000446	Glass fibre	0.000317	Glass fibre	0.000665
HDPE pipes	4.82E-05	HDPE pipes	3.79E-05	Thermoforming, rigid polypropylene	6.17E-05
				HDPE pipes	1.87E-05
				Polyurethane, flexible foam	1.25E-05
				Galvanized steel	1.2E-05
ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ					
Copper	0.00469	Copper	0.002109	Copper	0.001471
PVC pipe	0.000243	PVC pipe	0.000226	Galvanized steel	0.000335
Galvanized steel	0.000189	Polyurethane, flexible foam	8.4E-05	Glass fibre	0.000168
Polyurethane, flexible foam	0.000146	Galvanized steel	5.73E-05	PVC pipe	0.000109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Exhaust air outlet,	0.000132	Exhaust air outlet, steel/aluminium,	2.12E-05	Polyurethane, flexible foam	0.000108
Glass fibre	6.09E-05	Supply air inlet, stee	1.53E-05	Exhaust air outlet,	3.23E-05
Supply air inlet, stee	5.93E-05			Supply air inlet, stee	2.23E-05

ตาราง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคาร ของวัสดุแบ่งตามประเภทอาคาร

อาคารเรียนและวิจัย	**$kgCO_2/m^2$**	**อาคารหอพักและคณาจารย์**	**$kgCO_2/m^2$**	**อาคารอเนกประสงค์และสถานกีฬา**	**$kgCO_2/m^2$**
โครงสร้างอาคาร					
Concrete, sole plate and foundation	165.5786	Concrete, sole plate and foundation	135.9426	Concrete, sole plate and foundation	138.2021
Reinforcing steel	99.09912	Reinforcing steel	90.78813	Reinforcing steel	79.24758
Steel, low-alloyed,	8.263958	Pre-cast concrete	4.686376	Chromium steel pipe	7.870907
Steel, unalloyed	2.623888	Steel, low-alloyed,	2.663264	Steel, low-alloyed,	7.139099
Sawnwood	1.506735	Steel, unalloyed	2.605643	Pre-cast concrete	3.250967
Poor concrete	0.350449	Sawnwood	1.323583	Steel, unalloyed	2.190871
PVC pipe E	0.299654	Chromium steel pipe	0.456898	Poor concrete	1.863393
Sand	0.051652	Poor concrete	0.256842	Sawnwood	1.535164
		Sand	0.010139	Sand	0.009426
สถาปัตยกรรม					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Window frame, aluminium,	32.07955	Cement mortar	13.99101	Aluminum	24.27502
Cladding, crossbar-pole, aluminium	31.70759	Galvanized steel	11.08747	Cladding, crossbar-pole, aluminium	19.02993
Galvanized steel	16.67216	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state	9.554379	Cement mortar	16.14591
Cement mortar	11.41495	Brick	8.194358	Ceramic tile	13.25028
Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state	9.777493	Ceramic tile	6.131118	Metal composite material (MCM)	12.03105
Brick	8.748212	Gypsum fibreboard	3.09711	Glass fibre	10.45811
Gypsum fibreboard	8.013532	Concrete, normal	2.205238	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state	6.839731
Ceramic tile	2.774372	Aluminum	2.133147	Galvanized steel	5.647271
Cement, Portland	2.753116	Reinforcing steel	1.934491	Cement, Portland	5.03291
Polyvinylchloride, suspension polymerised	1.979801	Synthetic rubber	1.807605	Polyvinylchloride, suspension polymerised	4.95741
Reinforcing steel	1.614791	Cement, Portland	1.649649	Autoclaved aerated concrete block	3.771246
EPS insulation board	1.292158	Polyvinylchloride, suspension polymerised	0.93922	Brick	3.444859
Single-Si wafer, photovoltaic	1.183424	Sawnwood	0.465222	Gypsum fibreboard	2.667165

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Coating powder	1.034106	Cement cast plaster floor	0.323633	Cement cast plaster floor	2.048765
Natural stone plate	0.606095	Steel, unalloyed	0.262735	Reinforcing steel	1.779386
Cement cast plaster floor	0.603213	Acrylic filler	0.257622	Three layered laminated board	1.264445
Cement, unspecified	0.489936	Adhesive mortar	0.237594	Concrete, normal	0.711397
Steel, unalloyed	0.309854	Lightweight concrete block	0.149179	Coating powder	0.606098
Acrylic filler	0.243951	Coating powder	0.04551	Adhesive mortar	0.441776
Flat glass, uncoated	0.243082	Glass fibre	0.042823	Natural stone plate	0.387477
Epoxy resin, liquid	0.133816	Natural stone plate	0.025104	Acrylic filler	0.173274
Adhesive mortar	0.105615	Gravel, round	0.020501	Steel, unalloyed	0.156191
Gravel, round	0.042383	Sand	0.013481	Gravel, round	0.058771
Sand	0.022638	Light clay brick	0.007042	Sand	0.021592
Sawnwood	0.015178	Tap water	0.002074	Epoxy resin, liquid	0.018457
Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state	0.013212			Tap water	0.000456
Tap water	0.000582				
ระบบสุขาภิบาล					
Chromium steel pipe	10.85887	Chromium steel pipe	5.204791	PVC pipe	2.88055
Galvanized steel	1.982877	Cast iron	2.776395	Chromium steel pipe	1.378062
Cast iron	1.331839	PVC pipe	2.335255	Concrete, sole plate and foundation	1.314472

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Glass fibre	0.706868	Thermoforming, rigid polypropylene	0.853312	Cast iron	1.057684
PVC pipe	0.493391	Glass fibre	0.261054	Glass fibre	0.547617
HDPE pipes	0.03067	HDPE pipes	0.024118	Galvanized steel	0.053338
				Thermoforming, rigid polypropylene	0.047108
				HDPE pipes	0.011903
				Polyurethane, flexible foam	0.008499
ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ					
Galvanized steel	0.83816	Galvanized steel	0.25449	Galvanized steel	1.488155
Copper	0.476704	Copper	0.21438	Copper	0.149535
PVC pipe E	0.179092	PVC pipe E	0.166351	Glass fibre {RER}|	0.138271
Exhaust air outlet,	0.103464	Polyurethane, flexible foam	0.056937	PVC pipe E	0.080242
Polyurethane, flexible foam	0.098961	Exhaust air outlet,	0.016606	Polyurethane, flexible foam	0.073503
Glass fibre	0.050176	Supply air inlet,	0.011096	Exhaust air outlet,	0.025871
Supply air inlet,	0.042881			Supply air inlet,	0.016258

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ราคาวัสดุก่อสร้าง

โครงสร้างอาคาร				
วัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา	หน่วย
Reinforcing steel	892,201.00	kg	20,074,522.50	บาท
Compacted coarse sand	106.96	m3	32,088.00	บาท
Wire and nail	25,956.00	kg	739,746.00	บาท
Sawnwood	43,602.16	m2	7,412,367.20	บาท
PVC pipe E	3,046.40	kg	761,600.00	บาท
SQ-Tube	107,864.00	kg	2,642,668.00	บาท
Bored pile and structure concrete	12,652.94	m3	15,425,000.00	บาท
Lean concrete	46.98	m3	114,161.40	บาท
รวม			**47,202,153.10**	**บาท**
สถาปัตยกรรม				
วัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา	หน่วย
Plastering mortar	906,471.80	kg	18,965,160.00	บาท
Stone no.1-2	23,452.00	kg	144,777.60	บาท
Ceramic tile	67,057.20	kg	916,370.00	บาท
Coarse sand	115,748.50	kg	869,874.00	บาท
Brick	593,303.40	kg	2,006,340.00	บาท
Water	74,791.00	kg	785.31	บาท
Gypsum fibreboard	213,062.16	kg	8,145,398.20	บาท
Portland cement	31,076.00	kg	74,582.40	บาท
Alkyd paint for primer and top coat	22,765.46	kg	2,114,657.82	บาท
PVC Tile	17,597.19	kg	770,000.00	บาท
Acrylic filler	11,242.20	kg	3,766,137.00	บาท
EPS insulation	9,676.04	kg	412,542.00	บาท
Adhesive mortar	833.15	kg	41,657.50	บาท
Galvanized steel sheet	122,111.49	kg	4,522,647.78	บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Gravel	378,334.34	kg	163,944.88	บาท
Coating powder	4,606.50	kg	230,325.00	บาท
Rounded bar steel	13,285.96	kg	244,461.66	บาท
Wire and nail	3,020.81	kg	106,064.00	บาท
Cement cast plaster floor	114,888.88	kg	1,507,916.55	บาท
Cement unspecified	20,949.60	kg	12,569,760.00	บาท
Wood wool boards	32,141.20	kg	2,160,157.48	บาท
Window frame, aluminium,	13,299.00	kg	3,130,833.33	บาท
Flat glass, uncoated	3,575.00	kg	800,800.00	บาท
Single-Si wafer, photovoltaic	2,343.60	kg	763,560.00	บาท
รวม			**59,733,559.17**	**บาท**
สุขาภิบาลและท่อดับภายในอาคาร				
วัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา	หน่วย
Chromium steel	21,108.63	kg	1,180,565.00	บาท
HDPE pipe for water system	110.00	kg	4,925.00	บาท
Wastewater treatment facility		p	3,843,650.00	บาท
PVC pipe	3,303.90	kg	144,460.00	บาท
Cast iron pipe for RW	41,417.18	kg	1,569,374.00	บาท
Galvanized steel pipe	8,912.21	kg	505,412.00	บาท
รวม			6,742,974.00	บาท
ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ				
วัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา	หน่วย
Supply air inlet, steel	66.00	p	79,200.00	บาท
Exhaust air outlet, steel	35.00	p		บาท
Polyurethane, rigid foam	349.64	kg	548,426.00	บาท
PVC pipe E	1,133.40	kg	63,674.00	บาท
Copper pipe	5,034.60	kg	1,304,371.59	บาท
Galvanized steel sheet, at plant/RNA	2,468.79	kg	136,200.00	บาท
รวม			**2,131,871.59**	**บาท**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ER = BE - PE$$

ER การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ GHG emission reduction (tCO2eq/year)

PE การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมาตรการ Project GHG emission (tCO2eq/year)

BE การปล่อยก๊าซเรือนกระจกพื้นฐาน Baseline GHG emission (tCO2eq/year)

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

กำหนด

PE = 1,709.54 (tCO2eq/year)

BE = 1,512.08 (tCO2eq/year)

$$ER = 1512.08 - 1709.54$$

$$ER = -197.46$$

ER =197.46 (tCO2eq/year)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์ได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$ERI = \frac{ER}{price \times C}$$

.ERI การลดความเข้มของคาร์บอน Reduction in carbon intensity (tCO2eq/THB)

ER การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ GHG emission reduction (tCO2eq/year)

Price ราคาของการลงทุนของมาตรการ Market price of product (THB/ton of product)

C ปริมาณของผลิตภัณฑ์ของมาตรการต่อพื้นที่ Annual product per area (ton of product/m2)

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

<u>กำหนด</u>

ER = 197.46 (tCO2eq/year)

Price = 1,140 (THB/ton of product)

C = 0.03 (ton of product/m^2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$ERI = \frac{197.46}{1{,}140 \times 0.03}$$

$$ERI = 5.77$$

.ERI = 5.77 (tCO_2eq/THB)

การประเมินหาต้นทุนที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาต้นทุนที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์การดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$EAC = Inv\frac{r(1+r)^{n-1}}{((1+r)^{n}-1)} + OM$$

EAC ค่าใช้จ่ายการลงทุนประจำปีที่เทียบเท่ากันตลอดอายุการใช้งานของโครงการโดยมีอัตราคิดลดร้อยละ r Equivalent annual investment cost allocated over the measure's lifetime of n years with a discount rate of r % (THB/year)

OM ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาโดยประมาณของมาตรการ Estimated operating and maintenance cost of the measure (THB/year)

Inv ต้นทุนการลงทุนของมาตรการ Investment cost of the measure (THB)

n อายุการใช้งาน lifetime of the measure (years)

r อัตราคิดลด discount rate (%)

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

<u>กำหนด</u>

OM = 63,017 (THB/year)

Inv = (THB)

n = 50 (years)

r = 0.07 (%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$EAC = Inv\frac{0.07(1+0.07)^{n-1}}{((1+0.07)^{n}-1)} + 63{,}017$$

$$EAC = 33{,}627$$

EAC = 33,627 (THB/year)

การประเมินหาต้นทุนที่ลดลงจากการลดลงของผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการดำเนินโครงการ

วิธีการประเมินหาต้นทุนที่ลดลงจากการลดลงของผลกระทบก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากดำเนินโครงการสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{GHG Abasement cost} = \frac{EAC - EnR \times Price_{En}}{ER}$$

:

EAC ค่าใช้จ่ายการลงทุนประจำปี Equivalent annual investment cost as described (THB/year)

EnR การใช้พลังงานที่ลดลง Energy consumption reduction (kWh/year)

ER การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ GHG emission reduction (tCO2eq/year)

PriceEn ราคาของพลังงานไฟฟ้า Price of energy (THB/T)

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

<u>กำหนด</u>

EAC = 33,627(THB/year)

EnR = 63,017.17 (kWh/year)

ER = 197.46 (tCO2eq/year)

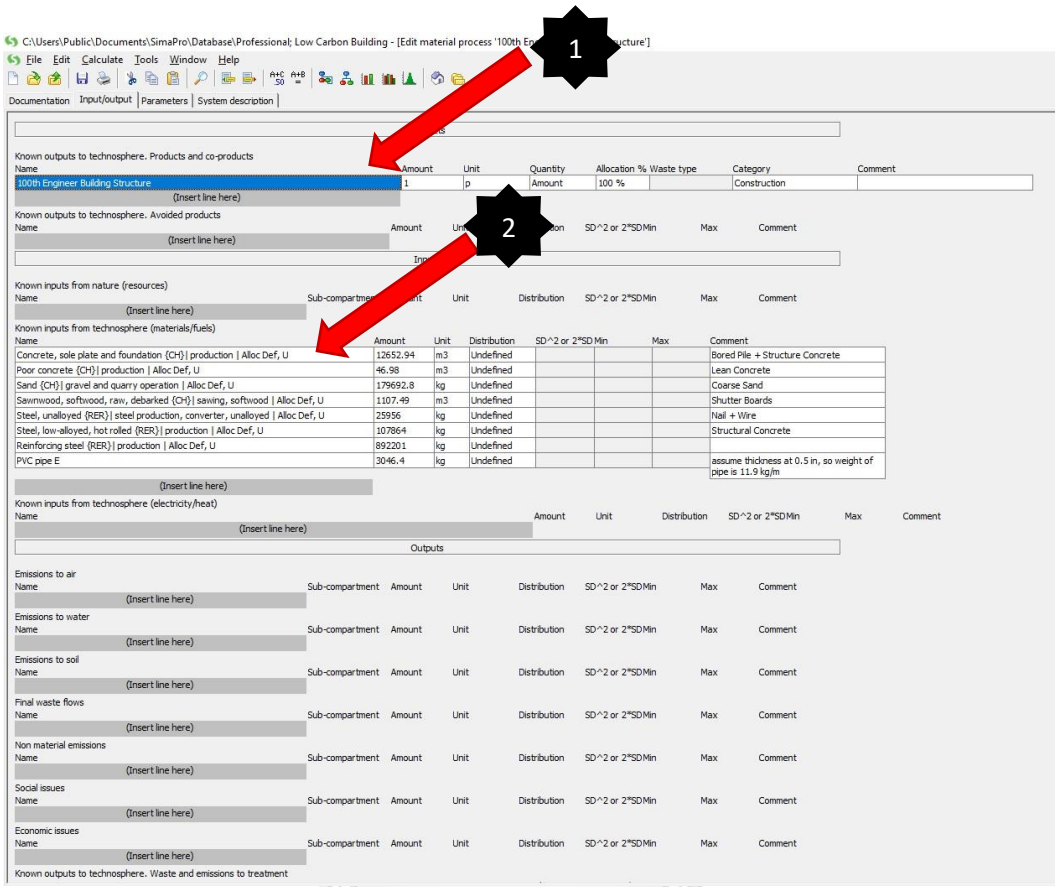
PriceEn = 4 (THB/kWh)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\text{GHG Abasement cost} = \frac{33{,}627 - 63{,}017.17 \times 4}{197.46}$$

$$\text{GHG Abasement cost} = -595$$

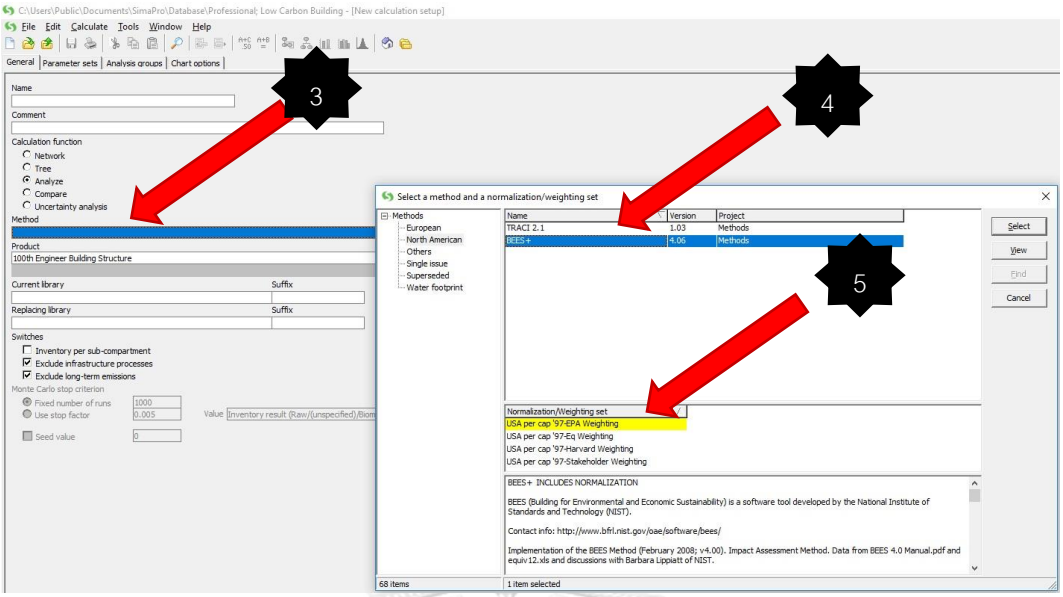
วิธีการใช้โปรแกรม SimaPro



ขั้นตอนที่1 สร้างชื่อกลุ่มงานที่จะทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และกำหนด Amount เป็น 1 และกำหนด Unit เป็นค่า P เพื่อกำหนดให้คิดเป็น 1 ผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 2 เลือกช่อง Input ของช่อง materials/fuels จากนั้นเลือกวัสดุในฐานข้อมูลโปรแกรมให้ตรงกับข้อมูลที่ได้รวบรวมมา กรอกปริมาณของวัสดุ

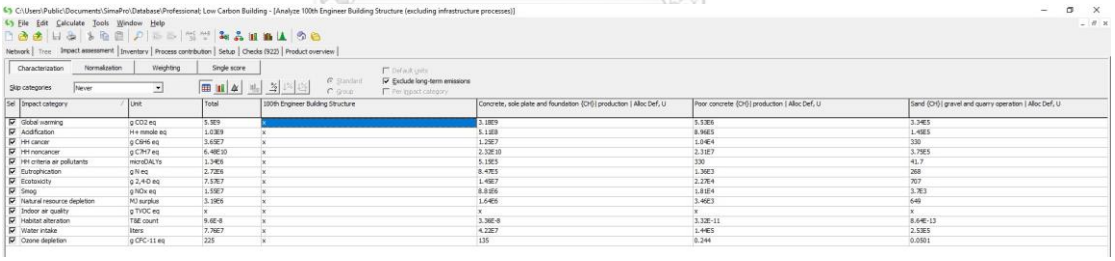
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



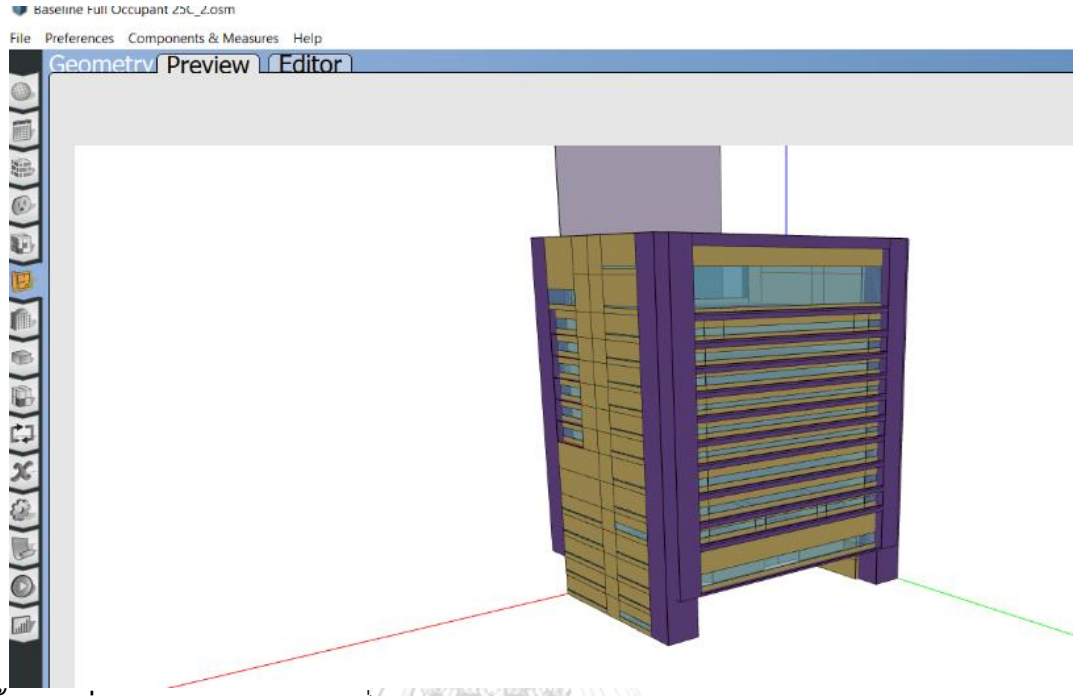
ขั้นตอนที่ 3 กดที่ช่อง Method เพื่อเลือกวิธีการประเมิน

ขั้นตอนที่ 4 เลือกวิธีการประเมินแบบ BEES+

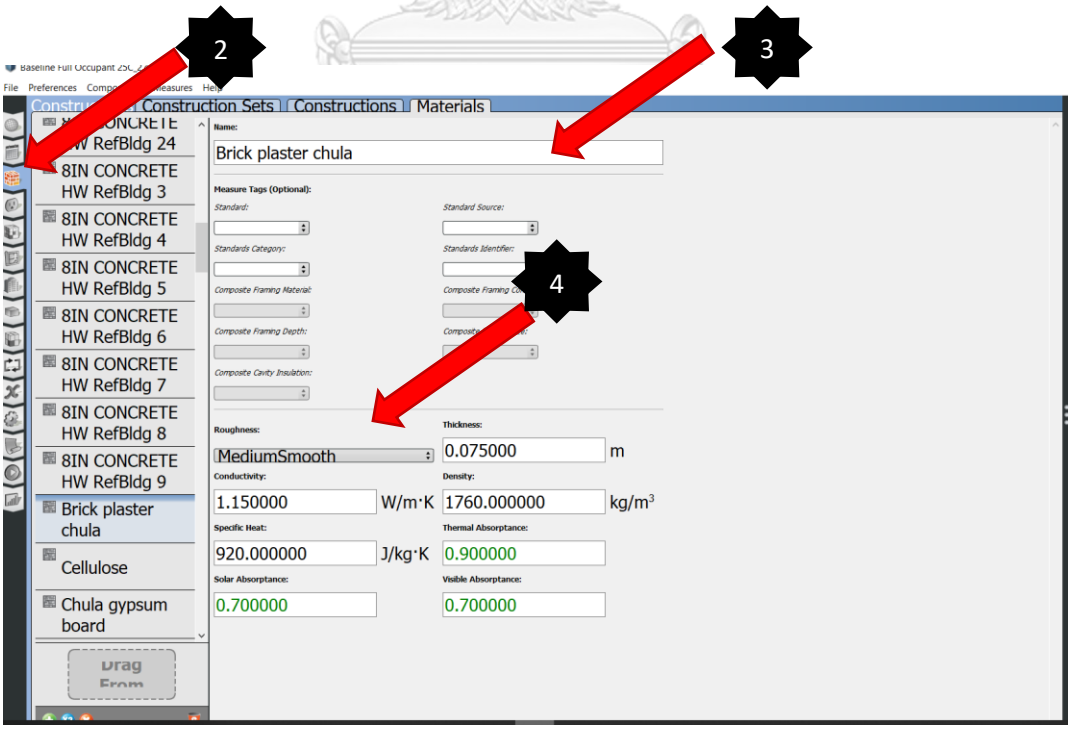
ขั้นตอนที่ 5 เลือกการให้ค่าน้ำหนักผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบ USA per cap'97 EPA Weighting จากนั้นกดทำการคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณผลกระทบ จากนั้นจะได้ผลค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกมา



วิธีการใช้โปรแกรม OpenStudio



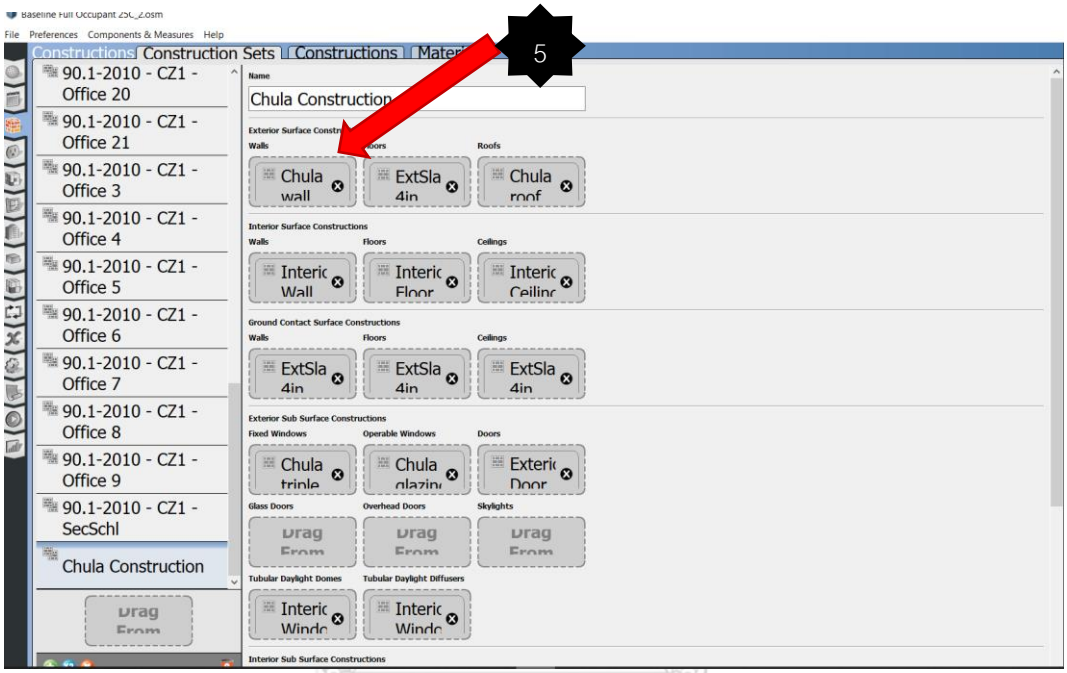
ขั้นตอนที่1 นำแบบจำลองอาคารที่ได้ทำจากจำลองจากโปรแกรม SketchUp นำเข้าในโปรแกรม OpenStudio



ขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร โดยการเลือกที่ช่อง Construction แล้วเอาเมนูย่อยที่ Materials

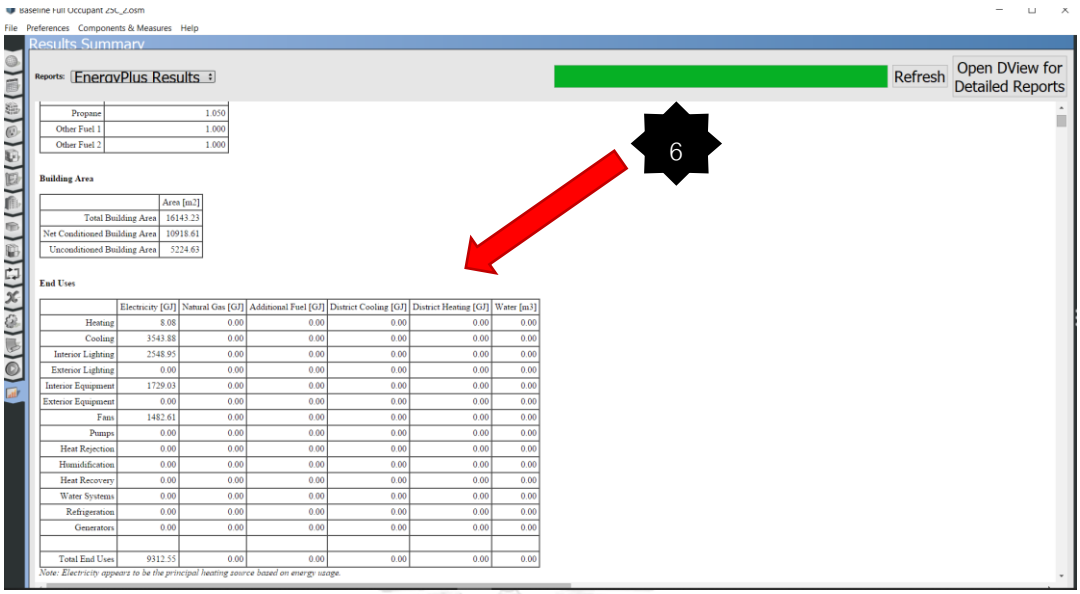
ขั้นตอนที่ 3 กำหนดชื่อวัสดุที่จะปรับเปลี่ยน

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่ามาตรฐานวัสดุแต่ละชนิดตามฐานข้อมูล รายงาน งานวิจัย



ขั้นตอนที่ 5 กลับมาที่ Construction sets จากนั้นทำการเปลี่ยนวัสดุที่ได้ตั้งค่าไว้ ในส่วนกรอบอาคารที่เราต้องการจะเปลี่ยน เช่นในตัวอย่างจะปรับเปลี่ยนในของกำแพง กดที่ตัววัสดุที่สร้าง จากนั้นลากไปลงไว้ที่ช่อง **Walls**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ขั้นตอนที่ 6 กดมาที่ช่องล่างสุด กด Run โปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่าการใช้พลังงานของอาคารเมื่อมีการปรับเปลี่ยนวัสดุ ผลการคำนวณจะได้ดังในตารางของโปรแกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิพัฒน์ ไทยประดิษฐ์ เกิดวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ.2535 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม - คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY