เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา อาคารพักอาศัย

นางสาวธัญธร ค้ำไพโรจน์

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

BIM-BASE TOOL FOR BUILDING LIFECYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS ASSESSMENT IN EARLY DESIGN STAGE CASE STUDY: RESIDENTIAL BUILDING

Miss Thanyatorn Khumpairoj

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษาอาคารพักอาศัย
โดย	นางสาวธัญธร ค้ำไพโรจน์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธัญธร ค้ำไพโรจน์ : เครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษา อาคารพักอาศัย (BIM-BASE TOOL FOR BUILDING LIFECYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS ASSESSMENT IN EARLY DESIGN STAGE CASE STUDY: RESIDENTIAL BUILDING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 166 หน้า.

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร คือ การหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ปล่อยออกมาตลอดช่วงชีวิตของสิ่งก่อสร้าง เป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำ ทั้งนี้ในขั้นตอนการประเมินจะต้องมีการถอดปริมาณ การกรอกข้อมูลซ้ำๆ และต้องมีการจำลองค่าการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน เมื่อทำแล้วกลับมาแก้ไขยาก ทำให้การประเมินมักเกิดขึ้นภายหลังการออกแบบและทำโดยผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือประเภทต่างๆที่ช่วยลดขั้นตอนในการประเมิน ได้แก่ เครื่องมือที่พัฒนามาจากฐานข้อมูล เครื่องมือบนเว็บไซต์ และเครื่องมือบนแบบจำลองสารสนเทศ แต่เครื่องมือเหล่านั้นยังคงมีข้อจำกัดเรื่องของการกรอกข้อมูลที่ซ้ำซ้อน ไม่สามารถจำลองค่าการใช้พลังงานใช้ตัวเครื่องมือ และไม่สามารถประยุกต์นำข้อมูลจากฐานข้อมูลและสมการการใช้พลังงานที่ได้จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจากบริบทของอาคารไทยมาใช้ได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์พัฒนาเครื่องมือการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร กรณีศึกษาอาคารพักอาศัย เพื่อให้ได้เครื่องมือต้นแบบสำหรับอาคารในประเทศไทยที่สามารถใช้ประเมินได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบในช่วงแรก มีการถอดปริมาณและข้อมูลจาก 3D model อัตโนมัติ และมีการแสดงผลแบบ Realtime นอกจากนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องมือที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันในเรื่องของลดขั้นตอนการกรอกข้อมูลซ้ำซ้อน ผู้ใช้งานสามารถแก้ไข-เพิ่ม-อัพเดทข้อมูลในฐานข้อมูลเองได้ และสามารคำนวณค่าการใช้พลังงานในตัวเครื่องมือได้ (All-in-One) งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารในประเทศไทยและศึกษาสมการการคำนวณค่าการใช้พลังงานอย่างง่ายเพื่อนำพัฒนาเครื่องมือบนโปรแกรม Autodesk Revit และโปรแกรมเสริม Dynamo ผลของการวิจัยพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมือนั้นมีความแม่นยำในขณะที่มีขั้นตอนในการทำงานลดลง ทำให้ผู้ใช้งานพึงพอใจและสนใจในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5973560325 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: BUILDING INFORMATION MODELING / BUILDING LIFE CYCLE / LOW-CARBON BUILDING / GREENHOUSE GAS EMISSION / TOOL DEVELOPMENT

THANYATORN KHUMPAIROJ: BIM-BASE TOOL FOR BUILDING LIFECYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS ASSESSMENT IN EARLY DESIGN STAGE CASE STUDY: RESIDENTIAL BUILDING. ADVISOR: ASSOC. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 166 pp.

Building lifecycle greenhouse gas emissions assessment (LCGHG) is to find all greenhouse gas emissions throughout the life of the building. LCGHG is an important step for designing a low-carbon building. However, there are a lot of redundant and complicated steps in the assessment process such as material take off, filling repetitive data, searching data and doing energy simulation. Therefore, the assessment will often occur after the design process was ended and is made by an expert. Nowadays, there are currently developed tools to solve these problems such as database tools, website tools, excel tools and BIM tools but all those tools still have limitations on features that are redundant filling data method, cannot do energy simulation and LCA is a tool and cannot apply data from the database and the energy equation that stores data from Thai context. This research aims to develop the greenhouse gas emission assessment tool throughout the life cycle of the building to get a prototype of a tool for the building in Thailand which has higher performance than today's active tools. Thus, this research has implemented a collection of information related to greenhouse gas emissions Assessment of Thai building, to study the equations to calculate the simple energy consumption and to develop tool on Autodesk Revit and add-ons Dynamo. The outcome of the research showed that the instrument's results are accurate while there is a smaller working process which makes users more satisfied and interested in evaluating building life cycle.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ รวมถึงขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำอย่างยิ่งตลอดการศึกษา ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการศึกษา ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ กวีไกร ศรีหิรัญ รองศาสตราจารย์วิวัฒน์ อุดมปิติทรัพย์ ดร.ณรงค์วิทย์ อารีมิตร และผู้ให้สัมภาษณ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำเรื่องการเขียนโปรแกรมและการใช้แบบจำลองสารสนเทศ ขอขอบพระคุณดร. Robert Himmler ดร.สิริลักษณ์ เจียรากร คุณอัจฉรียา ไชยสมุทร คุณณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล และคุณการันต์ แป้นทองที่ให้คำแนะนำเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารและเอื้อเฟื้อข้อมูลการใช้พลังงานอาคาร ตลอดจนครอบครัวและมิตรสหายทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สำหรับข้อบกพร่องในงานวิจัยที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียวและยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฒ

สารบัญแผนภูมิ ..... ถ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 7

1.3 ขอบเขตการศึกษา 8

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases; GHG) 10

2.2 ค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential; GWP) 11

2.3 อาคารคาร์บอนต่ำ 12

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 13

2.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 13

2.6 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต 14

2.6.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition) 14

2.6.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI) 17

2.6.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) 18

หน้า

2.6.4 การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)..... 18
2.7 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร..... 19
2.8 ฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก..... 20
2.9 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคาร..... 20
2.10 แบบจำลองสารสนเทศอาคารกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร..... 26
2.10.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร..... 26
2.10.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM Model) บนโปรแกรม Revit..... 28
2.10.3 แบบจำลองสารสนเทศอาคารและการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร..... 32
2.10.4 การพัฒนาโปรแกรมเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศ..... 36
2.11 อาคารพักอาศัยในประเทศไทย..... 38
2.11.1 นิยามและประเภทของอาคารพักอาศัยในประเทศไทย..... 38
2.11.2 ระบบกรอบอาคาร..... 38
2.11.3 การคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารพักอาศัยโดยรวมในประเทศไทย..... 40
2.12.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา LCA อาคารพักอาศัยในประเทศไทย..... 42
2.12.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัย..... 47
2.12.6 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารพักอาศัย..... 48
บทที่ 3 การดำเนินงานและการเก็บข้อมูล..... 51
3.1 แผนการดำเนินการ..... 51
3.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง..... 53
3.2.1 กลุ่มตัวอย่างนักวิจัยและที่ปรึกษาอาคารเขียว..... 53
3.2.2 กลุ่มตัวอย่างสถาปนิกที่เน้นงานอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม..... 53
3.3 ความต้องการของผู้ใช้เครื่องมือ..... 53
3.4 การกำหนดข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ..... 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการใช้เครื่องมือ 53
3.4.2 กำหนดวิธีการคำนวณ 54
3.4.3 กำหนดฐานข้อมูล 57
3.4.4 กำหนดค่า Default และค่า Baseline 57
3.4.5 กำหนดรูปแบบขององค์ประกอบอาคาร 61
3.4.6 กำหนดข้อเสนอแนะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร 62
3.5. การพัฒนาเครื่องมือ 63
3.5.1. การพัฒนา Template บนโปรแกรม Autodesk Revit 64
3.5.1.1 การสร้าง Parameter 64
3.5.2 การพัฒนาส่วนการประมวลผลใน Dynamo 74
3.5.2.1 การเขียน Dynamo 74
3.5.2.2 การเขียน Custom node 79
3.5.3 การพัฒนาในส่วน Excel Template 81
3.6 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือ 81
3.6.1 ประเมินประสิทธิภาพทางด้านความแม่นยำ 81
3.6.1.1 แบบบ้านสองชั้น 82
3.6.1.2 แบบคอนโดมิเนียม 85
3.6.2 ประเมินประสิทธิภาพทางด้านการใช้งาน 87
บทที่ 4 ผลการวิจัย 89
4.1 ความต้องการของผู้ใช้เครื่องมือ 89
4.2 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย 93
4.3 เครื่องมือและการใช้งานเครื่องมือ 94
4.3.1 การนำเข้าข้อมูล 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.3.1.1 Thai LCGHG Template 96
4.3.1.2 การใส่ตั้งค่าในแบบจำลอง 99
4.3.1.2.1 การใส่ข้อมูลเบื้องต้น (Basic Input) 99
4.3.1.2.2 การใส่ข้อมูลแบบลงรายละเอียด (Detail Input) 106
4.3.2 การประมวลผลด้วยโปรแกรมเสริม Dynamo 115
4.3.3 การแสดงผล 118
4.3.3.1 การแสดงผลบน Revit 118
4.3.3.2 การแสดงผลบน Dynamo 119
4.3.3.3 การแสดงผลบน Excel Template 120
4.4 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือ 127
4.4.1 การประเมินประสิทธิภาพทางด้านความแม่นยำ 127
4.4.1.1 การประเมินประสิทธิภาพการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 127
4.4.1.2 การประเมินประสิทธิภาพของการคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารรวม 129
4.4.2 การประเมินประสิทธิภาพจากผู้ใช้งาน 131
4.5 สรุปการพัฒนาเครื่องมือตามแนวคิดการใช้งานและการแนะนำของผู้ใช้เครื่องมือ 133
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 136
5.1 สรุปผลการพัฒนาโปรแกรม 136
5.2 แนวทางการใช้เครื่องมือ 139
5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการใช้เครื่องมือ 139
5.4 การเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต 140
รายการอ้างอิง 141
ภาคผนวก 146
ภาคผนวก ก. แบบสอบถามความต้องการของผู้ใช้งาน 147

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวก ข. ผลตอบรับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน..... 152

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 166

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ ระเบียบวิธีการศึกษา และประโยชน์ที่จะได้รับ..... 9
ตารางที่ 2.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน..... 12
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร ... 25
ตารางที่ 2.3 ระดับความละเอียด (Level of Development : LOD)..... 32
ตารางที่ 2.4 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการออกแบบอาคาร 49
ตารางที่ 3.1 สูตรประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ..... 55
ตารางที่ 3.2 ค่าที่ได้จากการสำรวจในงานวิจัยและมาตรฐานอาคาร 58
ตารางที่ 3.3 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของแต่ละช่วงชีวิตของอาคารที่ได้จากงานวิจัย 60
ตารางที่ 3.4 รายการรูปแบบขององค์ประกอบของอาคารพักอาศัย 62
ตารางที่ 3.5 Parameter จากสูตรการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 64
ตารางที่ 3.6 Parameter ที่เพิ่มใน Template และค่าที่ตั้งใน Parameter 69
ตารางที่ 3.7 แหล่งที่มาข้อมูลของฐานข้อมูลวัสดุในเครื่องมือ 73
ตารางที่ 3.8 คำสั่งบนโปรแกรม Dynamo ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในการพัฒนาเครื่องมือ..... 76
ตารางที่ 3.9 คำสั่งเบื้องต้นบนโปรแกรม Excel 81
ตารางที่ 3.10 รายการวัสดุของแบบบ้านสองชั้น..... 84
ตารางที่ 3.11 ค่า Input ในการจำลองค่าการใช้พลังงานของบ้านสองชั้น..... 84
ตารางที่ 3.12 รายการวัสดุของแบบคอนโดมิเนียม..... 87
ตารางที่ 3.13 ค่า Input ในการจำลองค่าการใช้พลังงานของคอนโดมิเนียม 87
ตารางที่ 4.1 ค่า Baseline ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัย..... 93
ตารางที่ 4.2 ค่า baseline ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัย 94
ตารางที่ 4.3 แสดงแนวคิดของการดึงข้อมูลจากการเลือก Phasing มาคำนวณวัฏจักรชีวิตอาคาร 103
ตารางที่ 4.4 การกรอกข้อมูลเบื้องต้นบน Project Information 105

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 การกรอกข้อมูลในรายละเอียดบน Project Information 106

ตารางที่ 4.6 ค่าสำหรับกรอกข้อมูล Material 114

ตารางที่ 4.7 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือเมื่อเทียบกับการคำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือ . 128

ตารางที่ 4.8 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือเมื่อเทียบกับการใช้ One Click LCA..... 128

ตารางที่ 4.9 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือเมื่อเทียบกับการใช้ Tally..... 129

ตารางที่ 4.10 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือในการคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารแนวราบ 130

ตารางที่ 4.11 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือในการคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารแนวสูง..... 131

ตารางที่ 4.12 การพัฒนาเครื่องมือ..... 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามขั้นตอนมาตรฐาน ISO 14040 14
ภาพที่ 2.2 การกำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา 15
ภาพที่ 2.3 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 16
ภาพที่ 2.4 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 17
ภาพที่ 2.5 หน้าต่างโปรแกรม SimaPro 21
ภาพที่ 2.6 หน้าต่างเว็บไซต์เครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ๊นท์ของ TGO 22
ภาพที่ 2.7 หน้าต่างเว็บไซต์ของ ENERGY STAR Portfolio Manager 22
ภาพที่ 2.8 หน้าต่างเว็บไซต์ของ EDGE software 23
ภาพที่ 2.9 หน้าต่างเครื่องมือ LCAProfil 23
ภาพที่ 2.10 หน้าต่างบนโปรแกรมเสริม tally 24
ภาพที่ 2.11 หน้าต่างบนเว็บไซต์One Click LCA 24
ภาพที่ 2.12 ภาพรวมของกระบวนทั้งหมดของ BIM 27
ภาพที่ 2.13 จัดลำดับขั้นของข้อมูลบนโปรแกรม Autodesk Revit 30
ภาพที่ 2.14 Revit Building Element 30
ภาพที่ 2.15 การใส่ข้อมูลวัสดุใน Tally 33
ภาพที่ 2.16 การใส่ข้อมูลการใช้พลังงานใน Tally 33
ภาพที่ 2.17 การแสดงผลของโปรแกรม Tally 34
ภาพที่ 2.18 การกรอกข้อมูล One Click LCA 35
ภาพที่ 2.19 การแสดงผลสรุปค่าผลกระทบ One Click LCA 35
ภาพที่ 2.20 การแสดงแผนภาพค่าผลกระทบ One Click LCA 36
ภาพที่ 2.21 การส่งต่อข้อมูลของ Dynamo 37
ภาพที่ 3.1 ระเบียบวิธีการวิจัย 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.2 ขอบเขตในการประเมินการวัฏจักรชีวิตของเครื่องมือที่จะพัฒนา 54
ภาพที่ 3.3 หน้าต่าง Shared Parameter 66
ภาพที่ 3.4 การเพิ่ม Parameter ใน Project file 67
ภาพที่ 3.5 การตั้งค่า Parameter Properties 67
ภาพที่ 3.6 Data workflow ของเครื่องมือ 71
ภาพที่ 3.7 หน้าต่าง Material Library 72
ภาพที่ 3.8 การตั้งค่า Thermal Properties ใน Material Library 73
ภาพที่ 3.9 ภาพรวมการแก้ไข Parameter และค่าคุณสมบัติใน Material Library 74
ภาพที่ 3.10 หน้าต่างแรกของโปรแกรมเสริม Dynamo 75
ภาพที่ 3.11 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Dynamo 75
ภาพที่ 3.12 ภาพรวมของคำสั่ง Dynamo ที่เขียนในงานวิจัยนี้ 77
ภาพที่ 3.13 แนวคิดการทำงานของ Dynamo สำหรับเครื่องมือในงานวิจัยนี้ 78
ภาพที่ 3.14 Error Detection 79
ภาพที่ 3.15 การสร้าง custom node 80
ภาพที่ 3.16 Custom node 80
ภาพที่ 3.17 หน้าต่างการแก้ไข Custom node 80
ภาพที่ 3.18 ผังพื้นแบบบ้านสองชั้น 82
ภาพที่ 3.19 รูปด้านแบบบ้านสองชั้น 83
ภาพที่ 3.20 แบบจำลองบ้านสองชั้นบน Visual DOE 83
ภาพที่ 3.21 แบบจำลองบ้านสองชั้นบน Revit 84
ภาพที่ 3.22 ผังพื้นอาคารคอนโดมิเนียม 85
ภาพที่ 3.23 ผังพื้นห้องพักคอนโดมิเนียม 85
ภาพที่ 3.24 แบบจำลองคอนโดมิเนียมบน Visual DOE 86
ภาพที่ 3.25 แบบจำลองคอนโดมิเนียมบน Revit 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.26 ผู้ทดลองใช้เครื่องมือ 88
ภาพที่ 4.1 ผลของแบบสอบถามเรื่องแนวทางการใช้เครื่องมือ LCA ที่ผู้ใช้งานสนใจ 89
ภาพที่ 4.2 ผลของแบบสอบถามเรื่องถึงการตระหนักถึงประโยชน์ของการใช้ BIM 90
ภาพที่ 4.3 ผลของแบบสอบถามเรื่องถึงแนวทางการใช้ BIM เป็นตัวกลางในการประสานงาน 90
ภาพที่ 4.4 ผลของแบบสอบถามเรื่องวัตถุประสงค์ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 91
ภาพที่ 4.5 ผลของแบบสอบถามเรื่องรูปแบบและผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ 91
ภาพที่ 4.6 ผลของแบบสอบถามเรื่องความคาดหวังของเครื่องมือ 92
ภาพที่ 4.7 การทำงานของเครื่องมือ 95
ภาพที่ 4.8 Thai LCGHG Template 96
ภาพที่ 4.9 ฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ 97
ภาพที่ 4.10 Type ใน LCGHG Template 97
ภาพที่ 4.11 ค่า Default สำหรับการคำนวนค่าการใช้พลังงานใน Project Information 98
ภาพที่ 4.12 การ Transfer Project Standards 99
ภาพที่ 4.13 การตั้งค่า Element 100
ภาพที่ 4.14 การเลือกผนังภายนอกที่ไม่ติดพื้นที่ปรับอากาศ 101
ภาพที่ 4.15 การกำหนด Phasing 101
ภาพที่ 4.16 การกำหนด Area 103
ภาพที่ 4.17 Area View 104
ภาพที่ 4.18 Space View 104
ภาพที่ 4.19 การตั้งค่า Project Information เบื้องต้น 105
ภาพที่ 4.20 พื้นที่ตั้งค่า Project Information อย่างละเอียด 108
ภาพที่ 4.21 การตั้งค่าใน Wall Type 109
ภาพที่ 4.22 การตั้งค่าใน Parameter Structure 109
ภาพที่ 4.23 การตั้งค่าใน Roof Type 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.24 การตั้งค่าใน Ceiling Type.....110
ภาพที่ 4.25 การตั้งค่าใน Floor Type.....111
ภาพที่ 4.26 การตั้งค่าหน้าต่าง (Window Type).....112
ภาพที่ 4.27 การตั้งค่าประตู (Door Type).....112
ภาพที่ 4.28 การตั้งค่าโครงสร้าง.....113
ภาพที่ 4.29 การตั้งค่า Material Library.....114
ภาพที่ 4.30 ตำแหน่งของโปรแกรมเสริม Dymano.....116
ภาพที่ 4.31 การเปิดไฟล์เครื่องมือ Dynamo.....116
ภาพที่ 4.32 การเลือกไฟล์ Excel Template ที่แสดงผล.....116
ภาพที่ 4.33 การใช้งาน Dynamo Player.....117
ภาพที่ 4.34 การใช้งาน Dynamo Player.....117
ภาพที่ 4.35 การแสดงผลบน Project Parameter.....119
ภาพที่ 4.36 การใช้งาน Dynamo Player.....120
ภาพที่ 4.37 การ Refresh Excel Data.....120
ภาพที่ 4.38 การแสดงผลข้อมูลในภาพรวมบน Excel Template.....122
ภาพที่ 4.39 การแสดงผลข้อเสนอแนะ.....122
ภาพที่ 4.40 การแสดงผลเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างวัสดุและพลังงาน.....123
ภาพที่ 4.41 การแสดงผลเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์ประกอบและวัสดุ.....124
ภาพที่ 4.42 การแสดงผลเปรียบเทียบระบบที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงาน.....125
ภาพที่ 4.43 Energy Tab.....126
ภาพที่ 4.44 Material Tab.....126
ภาพที่ 4.45 การพิมพ์การแสดงผลจาก Excel.....127

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2554-2558..... 1

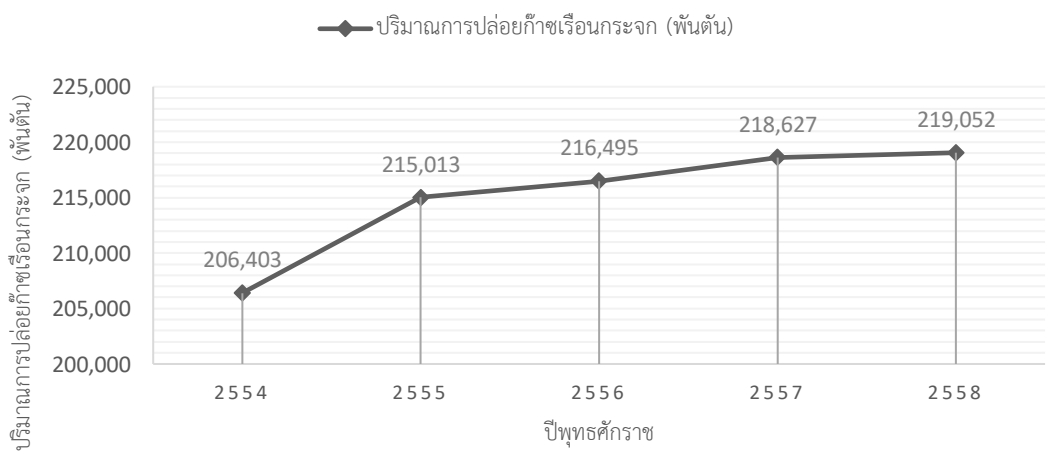
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากปัญหาภาวะโลกร้อนที่มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นและก่อให้เกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในโลกอย่างมากทำให้นานาชาติตื่นตัวและพยายามแก้ไขปัญหา ดังจะเห็นได้จากการประชุมในเวทีสิ่งแลดล้อมโลก ไม่ว่าจะเป็น อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ในปีค.ศ. 1992 พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ในปีค.ศ. 1997 จนกระทั่งการประชุมนานาชาติที่กรุงพอซแนน ประเทศโปแลนด์ (COP-14) ในปีค.ศ. 2008 ต่างมีการเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาซึ่งประเด็นเรื่อง “สังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society)” เป็นประเด็นหนึ่งที่มีการกล่าวถึงกันอย่างมากในหลายประเทศสมาชิกทั้งในสหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และอาเซียน

สำหรับประเทศไทย แนวคิดเกี่ยวกับการสร้างสังคมคาร์บอนต่ำได้ถูกบรรจุอยู่ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555 - 2559 ซึ่งนำไปสู่การสร้าง “เมืองคาร์บอนต่ำ” (low-carbon city) ทำให้การสร้างอาคาร“อาคารคาร์บอนต่ำ” (low-carbon building) ได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้น แม้ว่าตามผลสำรวจทางสถิติปีพ.ศ 2559 จะพบว่าประเทศไทยยังคงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2559) ดังภาพที่ 1.1



แผนภูมิที่ 1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2554-2558
(ที่มา: สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2560)

ก๊าซเรือนกระจกจะถูกปล่อยจากกิจกรรมในภาคพลังงานเป็นหลัก รองลงมาคือ ภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรม จากการสำรวจทางสถิติในช่วง 5 ปีระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2547 พบว่าประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นทุกปีในอัตราร้อยละ 3.8 ต่อปี เมื่อวิเคราะห์ผลการประเมินสภาพภูมิอากาศใน 50 ปีข้างหน้า ประเทศไทยจะมีพื้นที่ที่มีอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ที่มีอากาศเย็นจะมีจำนวนลดลง (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

อาคารพักอาศัยเป็นปัจจัยที่สำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคารสูงเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่น (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2552) เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นส่งผลให้การก่อสร้างที่พักอาศัยเพื่อรองรับมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม จากข้อมูลปริมาณที่พักอาศัยในกรุงเทพและปริมณฑล ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (ปี 2547 – 2556) พบว่ามีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยในระยะเวลา 10 ปี นั้นมีการก่อสร้างที่พักอาศัยแล้วเสร็จสูงขึ้นจาก 69,101 หน่วย เป็น 130,046 หน่วย (ศิวะ จงเจริญ, 2557) ส่งผลถึงภาพรวมของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในภาคเศรษฐกิจต่างๆ เช่น การผลิตวัสดุก่อสร้างที่เป็นวัสดุก่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ 5 อันดับแรกที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม การใช้ไฟฟ้าของอาคารพักอาศัยที่มีช่วงเวลาการใช้งานทั้งกลางวันและกลางคืน ส่งผลกระทบถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน ดังนั้นการออกแบบอาคารพักอาศัยจึงมีความสำคัญในการกำหนดทิศทางในการใช้ทรัพยากรและพลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นวิธีการที่จะทำให้ทราบถึงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตการขนส่ง การใช้งาน ตลอดจนการกำจัด จึงอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (cradle to grave) โดยจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าศักยภาพที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) ค่าศักยภาพการทำให้เกิดการลดลงของโอโซน (Ozone Depletion Potential) ค่าศักยภาพการทำให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential) เป็นต้น เพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดนโยบายหรือแนวในการออกแบบ ปรับปรุงรูปการออกแบบ หรือเพิ่มทางเลือกในการตัดสินในการก่อสร้าง เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรโลก ปัจจุบัน LCA ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบมากขึ้น อีกทั้งยังถูกบรรจุไว้เป็นวิธีการในการทำคะแนนสำหรับเกณฑ์การประเมินระดับความยั่งยืนของอาคารของหลายประเทศ เช่น LEED (สหรัฐอเมริกา) BREEAM (อังกฤษ) และDGNB (เยอรมนี)

โดยเกณฑ์อาคารยั่งยืนของแต่ละประเทศมีการให้คะแนนในการทำ LCA ดังนี้ LEED ได้กำหนดไว้ว่าหากอาคารมีการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารและสามารถลดค่าการก่อให้เกิด

ผลกระทบโดยเฉพาะค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง 10% จากอาคารมาตรฐาน (Baseline Building) ก็จะสามารถทำคะแนนในเรื่อง LCA ได้ สำหรับ DGNB ได้กำหนดให้การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารมีผลต่อคะแนนในภาพรวมถึง 13.77% โดยสามารถทำคะแนนได้เมื่อมีการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารและสามารถลดค่าการก่อให้เกิดผลกระทบลงได้ตามลำดับการให้คะแนนของ DGNB และสามารถทำคะแนนเพิ่มได้หากมีการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารอย่างน้อยสามครั้งระหว่างการออกแบบ สำหรับ BREEAM ได้มีการนำแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารมาประเมินตามแนวทางการประเมินที่ชื่อ Green Guide ให้จัดลำดับของวัสดุตามค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์แล้วให้เกรดวัสดุเป็น A+, A , B+ เช่น ผนังก่ออิฐมวลเบาที่มีค่าผลกระทบต่ำจะเป็นผนังเกรด A ผนังพรีคาสต์ที่มีค่าผลกระทบสูงเป็นผนังเกรด C เป็นต้น แล้วคิดมวลเฉลี่ยโดยรวมของวัสดุนั้นๆ เช่น ผนังที่ใช้วัสดุที่ได้เกรด A มากกว่า 90% ก็มีโอกาสที่จะทำคะแนนในส่วนของผนังได้มาก

สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารประเทศไทย พบว่าปัจจุบันฐานข้อมูลที่แสดงค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตวัสดุและผลิตภัณฑ์ก่อสร้างในประเทศไทยยังคงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากการผลิตวัสดุเป็นหลัก เนื่องจากประเทศไทยให้ความสำคัญในการเก็บข้อมูลและควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้จากการจัดทำฉลากคาร์บอนโดยหน่วยงานองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (Thailand Greenhouse Gas Management Organization; TGO) และกำหนดให้สามารถทำคะแนนในเกณฑ์อาคารเขียวไทย (TREES) ได้หากมีการใช้วัสดุที่ได้รับรองฉลากคาร์บอนไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่ารวมของวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมด นอกจากนี้ยังจัดให้มีการรับรองการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคาร (Carbon Reduction Certification for Building) ที่จัดทำโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (Thailand Environment Institute; TEI) ที่ให้การรับรองจากผลการการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติของอาคารที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งานและการบำรุงรักษา

แต่ทว่าการทำ LCA ยังคงมีจุดด้อยเนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารที่จะต้องใช้ข้อมูลของวัสดุในปริมาณมากและต้องการความละเอียดสูง จึงทำให้ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล รวมถึงความถูกต้องและสม่ำเสมอก็เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน เนื่องจากการจัดการกับข้อมูลปริมาณมากด้วยวิธีการคำนวณด้วยมือ (manual) อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย (Birgisdottir et al., 2017) ข้อมูลหลักที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเป็นข้อมูลที่ได้จากบัญชีแสดงปริมาณรายการของวัสดุและราคา (Bill of Quantities; BOQ) รายการประกอบแบบ (Specification) ผลการจำลองค่าการใช้พลังงาน ข้อมูลจากฐานข้อมูล LCA ผู้จัดจำหน่าย (supplier) และมาตรฐานต่างๆ ทำให้การประเมินส่วนใหญ่มักต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง เนื่องจากผู้ประเมินจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และกิจกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้อาคารเป็นอย่างดีสามารถจำลองค่าการใช้พลังงาน และพิจารณาข้อมูลจากฐานข้อมูล LCA ข้อมูล

จากผู้ผลิต และค่ามาตรฐานต่างๆจากหลายแหล่งที่น่าเชื่อถือเพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ถูกต้อง ทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารส่วนใหญ่มักจะถูกจำกัดอยู่แค่เพียงแค่ในงานวิจัยหรือทำการประเมินเฉพาะหลังจากที่อาคารได้จบขั้นตอนการออกแบบแล้ว เพื่อหลีกเหลี่ยงความยุ่งยากในการแก้ไขรายการวัสดุจากการแก้ไขแบบ อย่างไรก็ตามการทำ LCA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากที่ปรึกษาอาคารเขียวหรือสถาปนิกสามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ตั้งแต่ช่วงต้นของการออกแบบและนำผลที่ได้จากการประเมินมาเป็นแนวทางการตัดสินใจในการปรับแก้รูปแบบอาคารให้เป็นไปตามแนวทางการลดผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาเครื่องมือการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ช่วงแรกของการออกแบบจึงเป็นทางเลือกที่หลายประเทศหันมาให้ความสนใจมากขึ้น

ปัจจุบันได้มีเครื่องมือสำหรับประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เครื่องมือที่พัฒนาจากฐานข้อมูล เช่น SimaPro GaBi เครื่องมือบนเว็บไซต์ เช่น Thai Carbon Footprint Calculator ของ TGO เครื่องมือรายการคำนวนบนตาราง Microsoft Excel เช่น LCAProfil และเครื่องมือบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เช่น Tally และ One Click LCA งานวิจัยนี้ได้เลือกพัฒนาเครื่องมือบนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling; BIM) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สถาปนิกนิยมใช้ในการขึ้นแบบจำลองสามมิติและสามารถถอดปริมาณจากแบบสามมิติได้อัตโนมัติ โดยได้เลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit (Revit) เนื่องจากเป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ BIM ผู้นำตลาดที่มีสัดส่วนผู้ใช้งานจากทั่วโลกสูงที่สุด (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ, 2556)

ทั้งนี้การใช้ BIM ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารยังมีข้อจำกัดในเรื่องฐานข้อมูลที่ไม่เพียงพอสำหรับการนำมาใช้ในการประเมินค่าผลกระทบที่มีความพิเศษและเฉพาะเจาะจง ผู้ใช้งานไม่สามารถแก้ไขหรืออัพเดทข้อมูลให้ทันสมัยขึ้นด้วยตัวเองและไม่สามารถนำข้อมูลที่เป็นบริบทของไทยมาบูรณาการใช้ประกอบการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารได้ ทั้งนี้การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) IPCC ได้กำหนดระดับการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ โดยระดับ Tier 1 ใช้สำหรับในกรณีที่ขาดข้อมูลหรือไม่สามารถหาข้อมูลได้ โดยแนะนำค่าสัมประสิทธิ์กลาง (default value) ทั้งของข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) และค่าการปล่อย (Emission Factor) ที่แนะนำโดย IPCC ส่วนการคำนวณระดับ Tier 2 มีวิธีการคำนวณเหมือนกับ Tier 1 ซึ่งแตกต่างตรงที่ Tier 2 ใช้ข้อมูลกิจกรรมและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะของประเทศ (Country Specific Emission Factor) ทั้งนี้ปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลของประเทศไทยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารในระดับ Tier 2 จากงานวิจัยของกษวรรณ เรืองทินกร (2559) แสดงให้เห็นว่าในขอบเขตการเก็บข้อมูลที่เท่ากัน ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการผลิตก้อนอิฐในประเทศไทยที่มีการใช้

เตาเผาสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 0.03±0.02 kgCO_2e/kg ซึ่งมีค่าน้อยว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยของ Hammond and Jones (2008) ที่มีการเก็บข้อมูลการผลิตในต่างประเทศที่เท่ากับ 0.06 kgCO_2e/kg ถึงสองเท่า

นอกจากนี้การทำเครื่องมือ LCA เดิมบน BIM ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขั้นตอนการทำงาน เนื่องจากยังไม่สามารถดึงข้อมูลจาก BIM model (Santos & Costa, 2016) และไม่สามารถจำลองค่าการใช้พลังงานเองได้ ทำให้เสียเวลาในการกรอกข้อมูลและจำลองค่าการใช้พลังงานจากเครื่องมืออื่น ซึ่งในการจำลองค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมอื่นจำเป็นจะต้องมีการขึ้นแบบจำลองใหม่เพื่อทำให้แบบจำลองเบาที่สุดและเป็นการระบุพื้นที่ (space) ที่พิจารณา แม้ว่าปัจจุบันจะมีการพัฒนา Plug-in ที่เชื่อมต่อกับ BIM เช่น Green Building Studio (GBS)(Ajayi, Oyedele, Ceranic, Gallanagh, & Kadiri, 2015) แต่จากการทดลองความแม่นยำในการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมค่าผลที่ออกมาก็ยังคงไม่ดีเท่าโปรแกรม Simulation ที่เป็นมาตรฐานเดิมอย่าง Autodesk Ecotect จากการวิจัยของ Aljundi, Pinto, and Rodrigues (2016) พบว่าผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าไปอัพเดทหรือแก้ไขไฟล์อากาศเองได้และเมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์อากาศในโปรแกรม EnergyPlus พบว่าอุณหภูมิและค่ารังสีดวงอาทิตย์มีความแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการใช้พลังงานของ GBS และ EnergyPlus กับค่าเก็บจากอาคารจริงขนาด 8x6 เมตรในความหนาของฉนวนที่ต่างกัน โดยคำนวณด้วยสมการการคำนวณภาระเครื่องปรับอากาศตามฤดูกาล (Seasonal method) ซึ่งมักใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานตามกฎหมายอาคารพักอาศัยของประเทศโปรตุเกศ พบว่าโปรแกรม EnergyPlus มีค่าการใช้พลังงานอาคารรวมที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริงและใช้วิธีการ Seasonal method แต่ GBS มีค่าภาระการทำความร้อนที่สูงกว่ามากซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abdullah, Cross, and Perkins+Will (2014) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบการจำลองค่าการใช้พลังงานจากโปรแกรม Vasari, GBS, eQUEST และ EnergyPlus กับค่าการใช้พลังงานของอาคารจริง จากการศึกษาพบว่า GBS และ Vasari มีค่าการใช้พลังงานสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง 63% ในขณะที่ Sefaira มีค่าการใช้พลังงานสูงกว่าเพียง 1% และงานวิจัย (Salmon, 2013) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองบน GBS กับค่าที่ได้จากอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยจริง 6 หลังและพบว่า Cooling Load ใน GBS มีค่าแตกต่างจากอาคารจริงมาก โดยคาดว่ามีสาเหตุมาจากสูตรการคำนวณที่ยังไม่มีการเปิดเผย การดึงข้อมูลจากแบบจำลองบน Revit และส่งออกไปเป็น gbXML ทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไป อีกทั้งการจำลองค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมทั่วไปที่ไม่ใช่โปรแกรมประเมินสิทธิภาพพลังงานของอาคารของไทย (Building Energy Code; BEC) จะไม่มีการแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง (Overall thermal transfer value; OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Roof thermal transfer value; RTTV) ที่สอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐานในประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการที่อาคารพักอาศัยมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มมาขึ้นและหน่วยงานอสังหาริมทรัพย์ทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น การเคหะแห่งชาติ บริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน) บริษัท สัมมากร จำกัด (มหาชน) บริษัท แอล.พี.เอ็น. ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด(มหาชน) บริษัท อนันดา ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) และบริษัท เอสซี แอสเสท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เป็นต้น ได้หันมาใช้ BIM มากขึ้น เนื่องจากการใช้ BIM ช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาการก่อสร้าง ทำให้ที่ปรึกษาอาคารเขียวและสถาปนิกที่ทำงานทางด้านสิ่งแวดล้อมจึงหันมาใช้ BIM กันมากขึ้นเช่นกัน การทำ LCA เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากอาคารในระยะยาวและเป็นขั้นตอนหนึ่งการออกแบบบ้านคาร์บอนต่ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะต้องใช้เวลาในการจัดการกับข้อมูลปริมาณมาก ทำให้มักจะต้องทำภายหลังการออกแบบเสร็จสิ้นโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ดังนั้นการใช้เครื่องมือในการทำ LCA จะช่วยให้ที่ปรึกษาอาคารเขียวและสถาปนิกทำ LCA ทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาพบว่า ในงานวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการคำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือ (กลมชัย แก้วพิกุล, 2557; ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2560; นลินี เอนกแสน, 2554; นวพฤทธิ์ พรหมทอง & ชีวินทร์ ลิ้มศิริ, 2560; อณัศยา บุญวัฒน์, 2556) เนื่องจากต้องการนำข้อมูลที่มาจากฐานข้อมูลไทยและค่าการใช้พลังงานที่สอดคล้องกับบริบท กฎหมายและมาตรฐานอย่างเช่น Ecovillage ในประเทศไทยมาใช้ รวมถึงจากการสำรวจเครื่องมือพบว่าเครื่องมือในปัจจุบันยังคงมีปัญหาในการกรอกค่าที่ซ้ำซ้อนและไม่สามารถจำลองค่าการใช้พลังงานในตัวเครื่องมือได้ งานวิจัยนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในช่วงการออกแบบขั้นต้น ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัยบนโปรแกรม Autodesk Revit โดยงานวิจัยนี้มีการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไทยจากงานวิจัยและข้อมูลที่เก็บโดยภาครัฐ พร้อมทั้งสูตรการคำนวณค่าการใช้พลังงานและสูตรการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่สอดคล้องกับการใช้พลังงานสำหรับอาคารพักอาศัยในบริบทของประเทศไทยจาก Ecovillage และงานวิจัยของ อภิญญา บุญมา (2555) และ ดนุสรณ์ บัวขจร (2554) มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในเครื่องมือ พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการตั้งค่า การประมวลผลและการแสดงผลให้มีขั้นตอนที่กระชับมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นได้นำเอาความสามารถของโปรแกรม Autodesk ในเรื่องช่วงเวลา (phase) มาใช้ในการสร้างเงื่อนไขสำหรับการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับโครงการปรับปรุงอาคารเดิมและโครงการวางแผนการรื้อถอนอาคาร เพื่อให้ได้เครื่องมือที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารที่มีความแม่นยำ ช่วยลดขั้นตอนในการทำงาน มีการแสดงผลที่เข้าใจง่าย สามารถปรับค่าผลลัพธ์ตามการปรับแก้แบบสามมิติของสถาปนิกอัตโนมัติ สามารถใช้กับโครงการออกแบบและวางแผนอาคารพักอาศัยได้หลายรูปแบบ และสามารถบูรณาการเข้ากับฐานข้อมูลและบริบทการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทยได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักสำคัญในการศึกษาดังนี้

1.2.1. ศึกษาการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยด้วยโปรแกรม Revit

1.2.2. ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารพักอาศัยตั้งแต่การกำหนดเป้าหมาย ขอบเขต ฐานข้อมูล ตัวแปร ขั้นตอนวิธีการประเมิน และการตีความผลที่ได้จากการประเมิน รวมถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

1.2.3. ศึกษาการทดสอบเครื่องมือสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารพักอาศัยบน Revit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำเครื่องมือสำหรับช่วยคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ในช่วงต้นของการออกแบบ สำหรับอาคารอาคารพักอาศัย

1.3.1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการออกแบบอาคารในขั้นต้น จึงกำหนดขอบเขตของเครื่องมือโดยเลือกประเมินเฉพาะช่วงการผลิต การใช้งานอาคาร บำรุงรักษาอาคาร และการรื้อถอนทำลาย ไม่รวมช่วงของการก่อสร้าง ขนส่ง และการรื้อถอนอาคาร เนื่องจากเป็นช่วงที่มีข้อมูลเปลี่ยนแปลงไปตามสมัย

1.3.2. เนื่องจากฐานข้อมูลของประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร ดังนั้นจึงนำฐานข้อมูลจากต่างประเทศที่เป็นที่ยอมรับในงานวิจัยของประเทศไทยเข้ามาใช้ร่วมด้วย ได้แก่ ฐานข้อมูลของ Inventory of Carbon & Energy (ICE) ของ University of Bath ฐานข้อมูล ecoinvent และฐานข้อมูล GaBi

1.3.3. เครื่องมือที่สร้างขึ้นในงานวิจัยได้สร้างขึ้นด้วยจุดประสงค์เพื่อให้ที่ปรึกษาอาคารเขียวสถาปนิกที่ทำงานที่ด้านอาคารเขียวนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงมีการทำให้การหาค่าการใช้พลังงานง่ายขึ้นโดยการใช้วิธีการและสูตรการคำนวณอ้างอิงจากเกณฑ์ Ecovillage และงานวิจัยของอภิญญา บุญมา ปีพ.ศ. 2555 ในการคำนวณการใช้พลังงานในช่วงการใช้งาน และได้เลือกกำหนดขอบเขตหมวดหมู่ของวัสดุที่จะดึงข้อมูลมาคำนวนค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้แก่ เสา คาน พื้น ผนัง หลังคา ฝ้าเพดาน ประตู และหน้าต่างเท่านั้น

1.3.4. เนื่องจากข้อจำกัดของสูตรการหาค่าพลังงานและค่ามาตรฐานที่มีในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารสำหรับอาคารพักอาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ศึกษาและกำหนดวิธีการคำนวณ ฐานข้อมูล และค่ามาตรฐานในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมการใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงต้นของการออกแบบอาคารพักอาศัยในประเทศไทย

1.4.2 ได้ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและวิธีการสร้างโปรแกรมเสริมบน Revit และการแก้ปัญหาตามหลักเหตุผลในการเขียนโปรแกรม

1.4.3 ได้พัฒนาเครื่องมือเสริมบน Revit ที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่การออกแบบขั้นต้นสำหรับอาคารพักอาศัย

1.4.4 ได้ศึกษาวิธีการและทราบผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

ตารางที่ 1.1 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ ระเบียบวิธีการศึกษา และประโยชน์ที่จะได้รับ

วัตถุประสงค์ของการศึกษา	**ระเบียบวิธีการศึกษา**	**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**
1. ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารพักอาศัย ตั้งแต่การกำหนดเป้าหมาย ขอบเขต ฐานข้อมูล ตัวแปร ขั้นตอนวิธีการประเมิน และการตีความผลที่ได้จากการประเมิน รวมถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร กรณีศึกษาอาคารพักอาศัย โดยทบทวนวรรณกรรม คู่มือ งานวิจัยที่ผ่านมาและปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ	1. ได้ศึกษาและกำหนดวิธีการคำนวณ ฐานข้อมูล และค่ามาตรฐานในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมการใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงต้นของการออกแบบอาคารพักอาศัยในประเทศไทย
	2. สำรวจความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อเป็นหาแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ สำรวจและทดลองใช้เครื่องมือที่มีอยู่เดิมทั้งในท้องตลาดและงานวิจัยเพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย พร้อมทั้งเลือกโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือและศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรม	2. ได้ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและวิธีการสร้างโปรแกรมเสริมบนโปรแกรม Revit และการแก้ปัญหาตามหลักเหตุผลในการเขียนโปรแกรม
3. ศึกษาการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยโปรแกรม Autodesk Revit	3. กำหนดข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ ได้แก่ ขอบเขต ตัวแปร สูตรการคำนวณ ฐานข้อมูล ค่ามาตรฐาน รูปแบบการแสดงผล และแนวทางในการเสนอแนะเพื่อนำไปแก้ไขในการออกแบบ 4. พัฒนาเครื่องมือโดยใช้โปรแกรมเสริม Dynamo	3. ได้พัฒนาเครื่องมือเสริมบน Revit ที่ช่วยในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น กรณีศึกษาอาคารพักอาศัย
4. ศึกษาการทดสอบเครื่องมือสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารพักอาศัยบน Revit	5. ประเมินประสิทธิภาพเครื่องมือ โดยแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ การประเมินประสิทธิภาพจากเครื่องมือและการประเมินประสิทธิภาพจากผู้ใช้งาน	4.ได้ศึกษาวิธีการและทราบผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดทำเครื่องมือที่ใช้ในช่วงแรกของการออกแบบในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงได้ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับงานสถาปัตยกรรม ได้แก่ การออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำ นิยามของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับงานสถาปัตยกรรม มาตรฐาน วิธีการคำนวณ ฐานข้อมล และเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคาร ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยในประเทศไทยเพื่อศึกษาวิธีการคำนวณ ลักษณะอาคารที่นำมาใช้ในการประเมิน วัสดุที่นำมาใช้ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยแต่ละประเภท รวมไปถึงการได้ศึกษาเครื่องมือบน BIM อาคารที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและโปรแกรมที่ใช้พัฒนาเครื่องมือเสริมบนโปรแกรม Revit

2.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases; GHG)

ก๊าซเรือนกระจก คือก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศและมีสมบัติยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านทะลุมายังพื้นผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ภายในบรรยากาศจึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลกให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิและเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก หน่วยงานที่มีหน้าที่โดยตรงกับการกำหนดชนิดของก๊าซเรือนกระจกและแหล่งปล่อยคือ Intergovernmental Panel for Climate Change หรือ IPCC ซึ่งเป็นคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้แบ่งประเภทของก๊าซเรือนกระจกไว้ทั้งหมด 6 ประเภท ดังนี้

1. คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide; CO_2) คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งการจากกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงานเช่น การขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม การเผาป่า การเผาเชื้อเพลิงซึ่งจะให้ผลผลิตของปฏิกิริยาคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2. มีเทน (Methane; CH_4) ก๊าซมีเทนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซธรรมชาติ และอาจได้มาจากการหมักปุ๋ยมูลสัตว์ การทำนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ใต้ระดับน้ำ การเลี้ยงสัตว์ การย่อยสลายสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในที่ไม่มีออกซิเจน เช่น หลุมฝังกลบ เป็นต้น ซึ่งมีเทนมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนถึง 21 เท่าเทียบกับ CO_2 ในปริมาณที่เท่ากัน ในระยะเวลา 100 ปี

3. ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide; N_2O) ไนตรัสออกไซด์ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ไอเสียจากรถยนต์ การเกษตรที่ใช้ปุ๋ยซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกย่อยสลายในดินก็จะเกิดการปล่อยไนตรัสออกไซด์สู่อากาศ ซึ่งไนตรัสออกไซด์ปริมาณ 1 หน่วยน้ำหนักจะมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนถึง 310 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 100 ปี

4. ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon; HFC) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและฟลูออรีน โดยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่นการผลิตกระป๋องฉีดละอองสาร สารเป่าโฟม วัสดุบรรจุภัณฑ์ สารละลายและสารทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนมีความแตกต่างจากก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เนื่องจากไม่ทำลายโอโซน แต่สามารถทำให้โลกร้อนได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์

5. เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon; PFC) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนเป็นก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ทำลายชั้นโอโซนเช่นเดียวกับไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องฉีดละอองสาร สารเป่าโฟม และสารทำความเย็น ปืนต้น แต่เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนก็สามารถทำให้โลกร้อนขึ้นสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์

6. ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride; SF_6) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบอนินทรีย์ ที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลาย นิยมใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ IPCC ระบุว่าซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สามารถสร้างผลกระทบรุนแรงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 23,900 เท่า เนื่องจากก๊าซนี้มีความหนาแน่นสูง (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2557)(องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 ค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential; GWP)

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นผลลัพธ์หนึ่งที่ได้จาก LCA หมายถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่ศึกษาที่สามารถกักเก็บรังสีและทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุลและอายุของก๊าซในบรรยากาศ จึงมีการคิดเทียบค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (ที่มา: IPCC (2007))

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์	5-200	1
มีเทน	12	25
ไนตรัสออกไซด์	114	298
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน	1.4-270	124-14,800
เปอร์ฟลูออไรคาร์บอน	1,000-50,000	7,390-12,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	3,200	22,800
ไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์	740	17,200

2.3 อาคารคาร์บอนต่ำ

จากกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการรณรงค์เพื่อลดปัญหาโลกร้อนในปัจจุบัน คำว่า “คาร์บอน” นั้นมักใช้เรียกแทนการกล่าวถึง “ก๊าซเรือนกระจก”ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกนั้นประกอบด้วยก๊าซหลายชนิดและก๊าซแต่ละชนิด นั้นมีค่า GWP ไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการเทียบเคียงและการคำนวณ จึงกำหนดให้มีการแปลงค่าให้อยู่ในรูป “ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า” หรือ Carbon dioxide equivalent (CO_2e) โดยก๊าซชนิดนั้นจะสามารถแสดงศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้โดยเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หน่วย ดังตารางที่ 2.1 ฉะนั้นในการสื่อสารจึงนิยมตีความหมายถึงกิจกรรมหรือการดำเนินการที่ช่วยลดสาเหตุของสภาวะโลกร้อนโดยย่อว่า “คาร์บอนต่ำ” หรือ Low Carbon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อาคารคาร์บอนต่ำ หมายถึง อาคารที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารน้อยกว่าอาคารปกติ ไม่ว่าจะเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้าง การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ การใช้งาน การซ่อมแซม และการทุบทำลาย (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2556a)

การก่อสร้างบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำนั้นจำเป็นให้ความสำคัญในกระบวนการออกแบบ (design) อย่างมาก บ้านหรือกิจกรรมคาร์บอนต่ำจะต้องมีการจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของผู้ใช้และตัวอาคารได้อย่างเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้วัสดุและทรัพยากรอย่างประหยัด การใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการกำหนดวัสดุกรอบอาคาร ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศ การ

บำรุงรักษาอาคารและการจัดการของเสีย การใช้พลังงานทดแทน ไปจนถึงแนวทางการเพิ่มการดูดกลับคาร์บอนอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของอาคารมีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของอาคาร ตั้งแต่กระบวนการผลิตวัสดุ การขนส่ง การใช้งานอาคาร การบำรุงรักษา และการรื้อถอนทำลายหลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาอาคารตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงอาคารให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด LCA เป็นหลักการวิเคราะห์แบบวิทยาศาสตร์ที่พิจารณาโดยมองภาพรวม เป็นกระบวนการศึกษาที่ละเอียดและเป็นระบบชัดเจน สำหรับอาคารการทำ LCA มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบในรายละเอียดเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแบบอาคาร
2. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบในภาพรวมของอาคาร

2.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยมีกรอบการดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 5 ฉบับ ดังนี้

1. ISO 14040 LCA-Principles and Framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2. ISO 14044 LCA-Requirements and Guidelines เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการกำหนดความต้องการและขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการทำ LCA การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI) การประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการตีความผลการประเมิน ความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนต่างๆ และข้อจำกัดของการทำ LCA รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของข้อมูลต่างๆ ที่ได้มีการจัดเก็บรวบรวม

3. ISO/TR 14047 LCA-Examples of Application of ISO 14041 เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ISO/TS 14048 LCA-Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

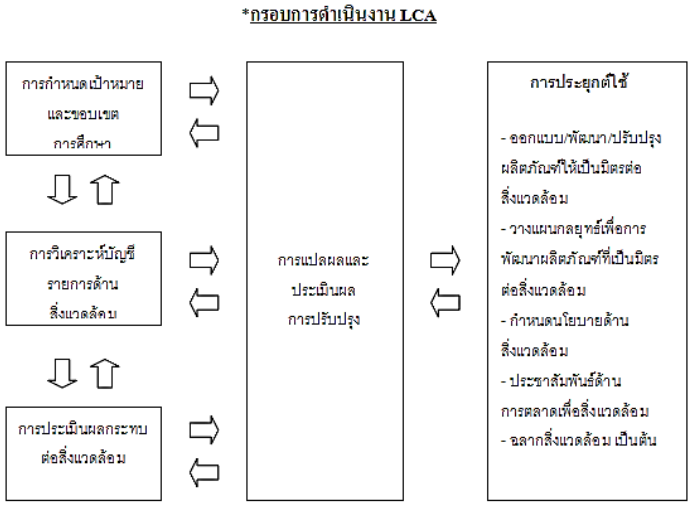
5. ISO/TR 14049 LCA-Examples of Application of ISO 14041 เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

2.6 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 14040 ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)
3. การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)
4. การแปลผลการประเมินวัฐจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

2.6.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

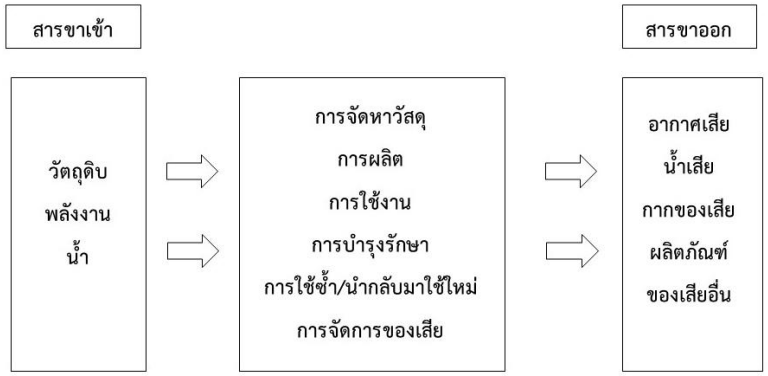


ภาพที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามขั้นตอนมาตรฐาน ISO 14040
(ที่มา: อรพรรณ บุญพร้อม (2552))

ขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition) เป็นขั้นตอนแรกในการทำ LCA โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา เพื่อให้ทราบถึงการนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้สามารถดำเนินการศึกษาได้ครอบคลุมและตรงจุด ประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตระบบ (system boundary) ระบบ

ผลิตภัณฑ์ (product system) และการกำหนดหน่วยหน้าที่ (functional unit) (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร , 2550a)

การกำหนดขอบเขต (Scope Definition) คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดสิ่งที่เราต้องการศึกษา รวมถึงการกำหนดหน่วยหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit : FU) และขอบเขตระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่นต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย สารขาเข้าคือวัตถุดิบ วัสดุ พลังงาน หรือน้ำ ที่เราใช้เพื่อทำให้เกิดกิจกรรมการที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการคือกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรืออาคาร เช่น การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ การจัดการของเสีย และสารขาออกคือสิ่งที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรม มักออกมาในรูปของอากาศเสีย น้ำเสีย กากของเสีย ผลิตภัณฑ์และของเสียอื่นๆ ดังรูปที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 การกำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา
(ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) (2561))

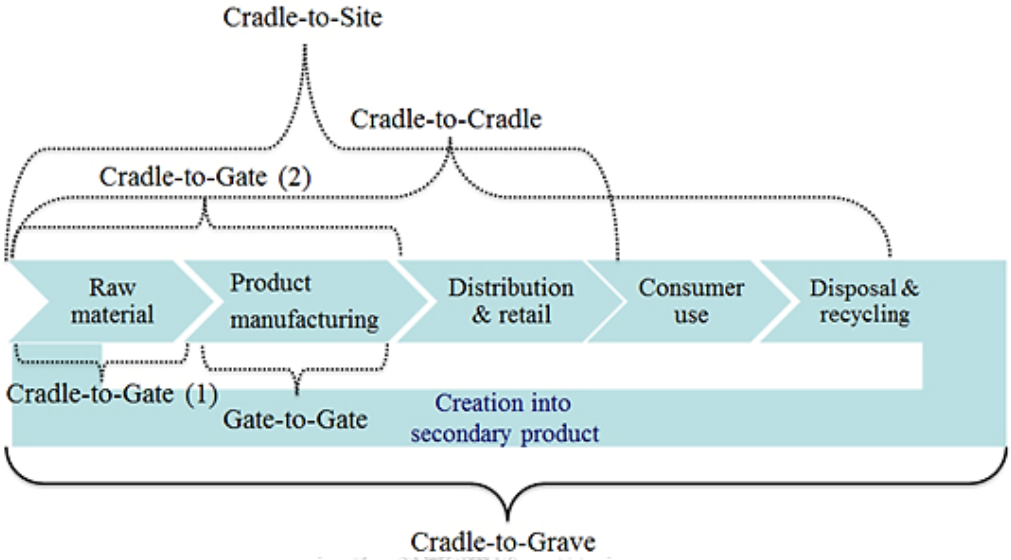
การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากของทุกขั้นตอนในกระบวนการต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณสารที่เข้าและสารที่ออกของวัฏจักรชีวิตสำหรับอาคารและผลิตภัณฑ์มีนิยามหลักที่คล้ายกันคือ

Cradle to Gate คือการประเมินผลกระทบตั้งแต่การสกัดเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ แต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซาก

Cradle to Grave เป็น LCA เต็มรูปแบบที่ประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบมาผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งานตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

Cradle to Cradle เป็น LCA ประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารตั้งแต่เกิดจนตายรวมถึงการรีไซเคิลและการนำกลับมาใช้ใหม่

โดยที่การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะคำนึงถึงกิจกรรมที่ขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การขุด ถลุง การผลิต การแจกจำหน่าย การใช้ผลิตภัณฑ์ การกำจัดและรีไซเคิล ดังภาพที่ 2.3 โดยข้อมูลในฐานข้อมูล LCA ที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับอาคารในช่วงของการผลิตมักจะใช้ข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างในขอบเขต Cradle to Gate

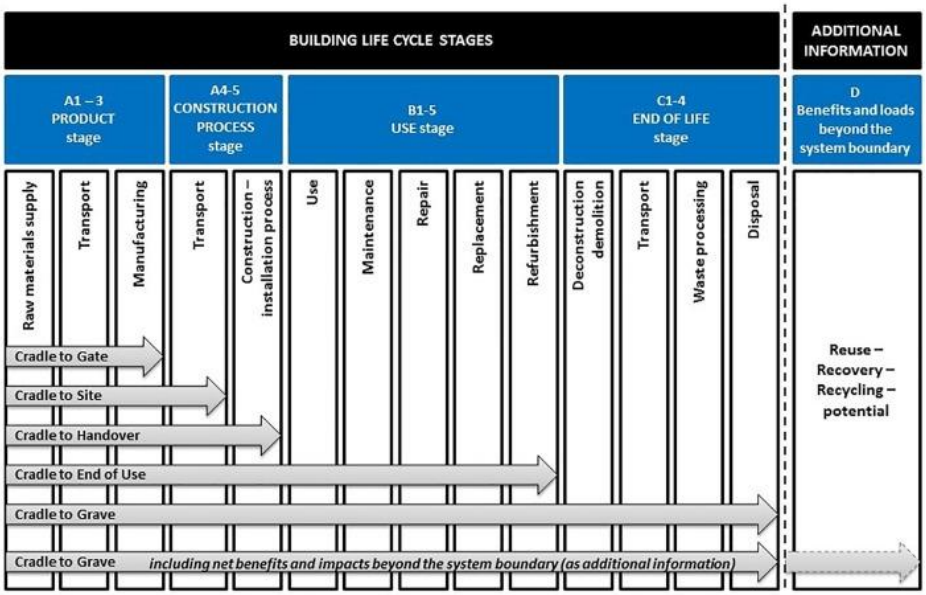


ภาพที่ 2.3 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
(ที่มา:ECO-CM (2018))

ส่วนการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารจะคำนึงถึงกิจกรรมที่ขึ้นตลอดช่วงชีวิตของอาคาร ได้แก่ การขุด ถลุง วัตถุดิบ, การขนส่งไปยังโรงงาน, การผลิต, การขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้าง, การก่อสร้าง, การใช้งาน, การบำรุงรักษา, การซ่อมแซม, การเปลี่ยนวัสดุที่สิ้นอายุไข, การรื้อถอน การขนส่งไปยังไซต์ก่อสร้าง, การจัดการขยะ, การกำจัดวัสดุ และการรีไซเคิล ดังภาพที่ 2.4 โดยในแต่ละงานวิจัยจะมีการตั้งขอบเขตการทำงานที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การกำหนดช่วงอายุของอาคารโดยทั่วไปอาคารหนึ่งที่ก่อสร้างขึ้นมีอายุช่วงการใช้งานประมาณ 30-50 ปี อายุการใช้งานขึ้นอยู่กันลักษณะโครงสร้างอาคาร การใช้งาน และการบำรุงรักษา (วราภรณ์ บุตรจันทร์, 2553) ในงานโครงสร้างมักจะประเมินในช่วงชีวิตอาคาร 60 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้าง ชิ้นส่วนประกอบและสภาพภูมิอากาศ (Georgia Institute of Technology, 2010) สำหรับอาคารในประเทศไทย มูลนิธิประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทยผู้ประเมินทรัพย์สินแห่งประเทศไทยกำหนดให้บ้านเดี่ยวมีช่วงอายุอยู่ที่ 50 ปี (มูลนิธิประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย, 2561)เกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียว LEED และ BREEAM จะประเมินอยู่ที่ช่วงอายุไม่ต่ำกว่า 60 ปี DGNB จะประเมินอาคารพักอาศัยที่ 50 ปี จากกรณีศึกษาในต่างประเทศจะกำหนดช่วงอายุของ

อาคารที่แตกต่างกันตั้งแต่ 30 ปี (Ajayi et al., 2015; Basbagill, Flager, Lepech, & and Fischer, 2013; Grann, 2012) 50 ปี (Peng, 2016; Shadram, Johansson, Lu, Schade, & Olofsson, 2016) 60 ปี(Santos & Costa, 2016)) และ 100 ปี (Motuziene, Rogoža, Lapinskiene, & Vilutiene, 2016) จากการศึกษาพบว่างานวิจัยที่ประเมินเฉพาะช่วงการผลิตและการใช้งานอาคารจะประเมินที่ช่วงอายุ 30 ปี ส่วนงานวิจัยที่ประเมินตลอดช่วงอายุของอาคารจะประเมินที่ช่วงอายุ 50-60 ปี



ภาพที่ 2.4 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

(ที่มา: Birgisdottir et al. (2017))

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล หมายถึงการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งรวมถึงการใช้ทรัพยากร การปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูลหรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต

1. การสร้างหน่วยของข้อมูลและการตั้งหน่วยกระบวนการ การสร้างหน่วยของข้อมูล เป็นการระบุกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของอาคารในรูปผังแสดงกระบวนการ โดยเริ่มจากการศึกษาวัตถุดิบ การใช้พลังงาน ขั้นตอนการผลิต การขนส่งการบริโภคและการกำจัด ซึ่งจำเป็นต้องระบุวัตถุดิบ พลังงานและกระบวนการต่างๆ ให้ครบถ้วนเนื่องจากมวลสารที่เข้าระบบจะต้องเท่ากับมวลสารที่ออกจากระบบ

2. การรวบรวมข้อมูล การรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีความแตกต่างกันตั้งแต่การเริ่มใช้วัตถุดิบซึ่งมีหลากหลายประเภท ต้องสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ และข้อมูลเหล่านั้นต้องมีการเชื่อมโยงกัน ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาว่าจะมีการพิจารณาละเอียดมากน้อยเท่าใด

3.การคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล ในการรวบรวมข้อมูล หากระบบที่เกี่ยวข้องมีหลายประเภท ต้องมีการแจกแจงตามประเภทผลิตภัณฑ์ตามเหตุผลที่ชัดเจนและวิธีที่ระบุไว้ แล้วนำมาคำนวณ

4.การนำเสนอของข้อมูลในรูปของแบบฟอร์มที่เข้าใจง่าย การนำเสนอข้อมูลแก่ผู้รับ เป็นส่วนสำคัญมาก เพราะการทำ LCA จะบรรลุวัตถุประสงค์ได้เมื่อผู้รับสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน การนำเสนอข้อมูลประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต คุณลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพของข้อมูล ข้อจำกัด และที่มาของข้อมูล เป็นต้น รูปแบบที่เป็นที่นิยม เช่น กราฟแท่ง กราฟวงกลม (หทัยรัตน์ ลอยประโคน, 2557)

2.6.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

เป็นการนำข้อมูลมาทำการแปลงแยกแยะตามชนิดของผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) เราจะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญแต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อให้ LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมแหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ (หทัยรัตน์ ลอยประโคน, 2557)

2.6.4 การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขต

การศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด (หทัยรัตน์ ลอยประโคน, 2557)

2.7 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้วิธีการตาม IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Revised 2006) ซึ่งจัดทำโดย IPCC มีวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ เทียร์ 1 (Tier 1) เทียร์ 2 (Tier 2) และเทียร์ 3 (Tier 3) มีรายละเอียดดังนี้

ระดับ Tier 1 คือการใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ IPCC กำหนดมาใช้เป็น Emission Factor ในการคูณกับปริมาณการใช้งานของเชื้อเพลิงหรือพลังงานนั้นๆ (Default Value from IPCC)

ระดับ Tier 2 คือการใช้ค่าจำเพาะของประเทศที่ได้จากงานวิจัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

ระดับ Tier 3 คือการใช้ค่าจำเพาะของกิจกรรมที่ต้องการศึกษาโดยสูตรที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสูตรการคำนวณที่แต่ละประเทศที่เข้าร่วมในภาคีอนุสัญญานั้นจะต้องดำเนินการให้เป็นไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์ ภายใต้มาตรฐานเดียวกัน คู่มือการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สามารถทำให้ยืดหยุ่นและปรับเปลี่ยน เพื่อให้ประเทศในภาคีที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านที่มาของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล รวมถึงความจำเพาะของข้อมูล และสามารถใช้มาตรฐานเดียวกันในการคำนวณได้ วิธีการคำนวณจึงถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของสมการดังนี้

Greenhouse Gases (GHG) = Activity Data x Emission Factor (EF) **(1)**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดย Greenhouse Gases (GHG) คือ “ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก” ที่สามารถรายงานและเทียบเป็นค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยจะเทียบก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ด้วยค่าศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งอ้างอิงจากคู่มือการคำนวณของ IPCC

Activity Data หรือ “ข้อมูลกิจกรรม” เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ ที่ได้มาจากกิจกรรมซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกประเภทต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลกิจกรรมนี้อาจจะมีหน่วยที่แตกต่างกันไปในแต่ละภาคส่วนและสาขาของการคำนวณในแต่ละกิจกรรม สำหรับกิจกรรมเกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารมีดังนี้ การผลิตวัสดุ การขนส่ง การก่อสร้าง การใช้งาน การบำรุงรักษา การเปลี่ยนวัสดุ การรื้อถอนทำลาย และการกำจัดของเสีย

Emission Factor หรือ “ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก” เป็นค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ซึ่งค่าการปล่อยนี้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการผลิตของแต่ละประเทศซึ่ง

อาจจะมีค่าการปล่อยที่เฉพาะเจาะจงลงไปอีก มีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$)

2.8 ฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ฐานข้อมูลสำหรับค่า Emission Factor ของกิจกรรมต่างๆ สำหรับในประเทศไทยมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำเกี่ยวกับฐานข้อมูลก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เรียกโดยย่อว่า “อบก.” มีชื่อภาษาอังกฤษว่า “Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization)” เรียกโดยย่อว่า “TGO” ทำหน้าที่รวบรวมฐานข้อมูล Emission Factor โดยที่ในฐานข้อมูลของ TGO นั้นมีข้อมูลบางส่วนมากจากฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ (Thai National Life Cycle Inventory Database; LCI) ที่จัดทำขึ้นโดยหน่วยงานวิจัยของหน่วยวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมของศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช. หรือ NSTDA)

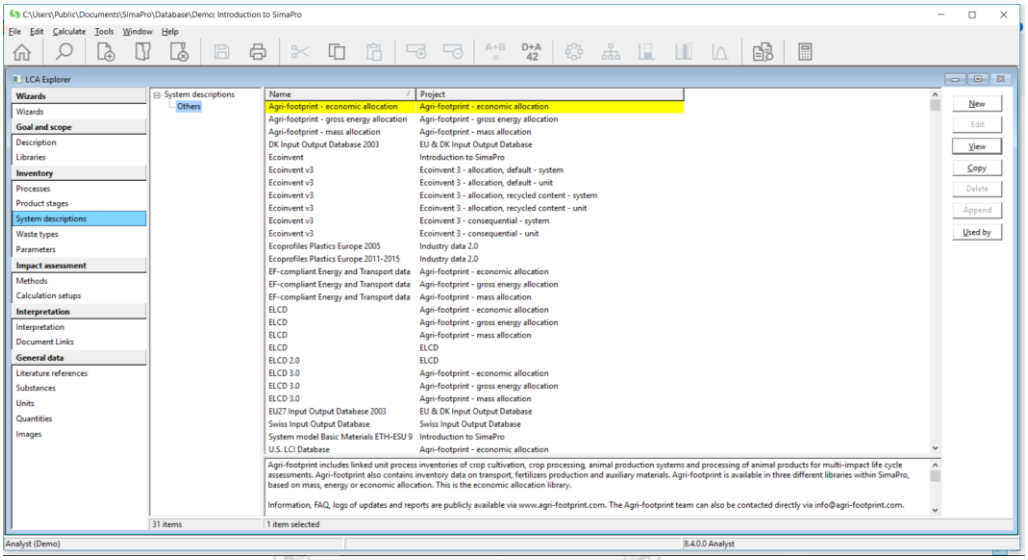
อย่างไรก็ตามข้อมูลในฐานข้อมูลในประเทศไทยนั้นยังไม่เพียงพอต่อการใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ฐานข้อมูลของ Inventory of Carbon & Energy (ICE) ของ University of Bath ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ถูกใช้ในงานวิจัยของอรรจน์ เศรษฐบุตร (2556, 2552), หทัยรัฐ ลอยประโคน (2557) และณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) ฐานข้อมูล Ecoinvent จากเครื่องมือสำเร็จรูป SimaPro และฐานข้อมูล GaBi ที่ใช้ฐานข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในหน่วยงานของ MTEC (MTEC, 2560) และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย เช่น ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตก้อนอิฐมอญ (กษวรรณ เรืองทินกร, 2559) ค่าการกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว (รุ่งทิพย์ แสงกลาง, 2556) เป็นต้น

2.9 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคาร

จากการสำรวจเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่

1. Manual Calculation การคำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือเป็นวิธีที่งานวิจัยของประเทศไทยหลายๆ และผู้เชี่ยวชาญนิยมใช้ เนื่องจากสามารถหยิบข้อมูลมาใช้ได้จากหลายแหล่งและสามารถดัดแปลงวิธีการคำนวณได้ตามวัตถุประสงค์

2. Database tool เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาพร้อมกับฐานข้อมูล LCA ของแต่ละประเทศ ดังภาพที่ 2.5 ได้แก่ โปรแกรม SimaPro, GaBi, EcoCalculator เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเครื่องมือที่บรรจุข้อมูลวัสดุปริมาณมาก เหมาะสำหรับใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคผลิตภัณฑ์และวัสดุ ผู้ใช้งานจะต้องใช้ทักษะความรู้ความเชี่ยวชาญในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับอาคารและการจำลองพลังงานเพิ่มเติม ทั้งนี้สองเครื่องมือแรกมักจะใช้ในการประเมินหลังจากที่อาคารสร้างเสร็จแล้ว เนื่องจากใช้ระยะเวลานาน



ภาพที่ 2.5 หน้าต่างโปรแกรม SimaPro
(ที่มา: ผู้วิจัย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

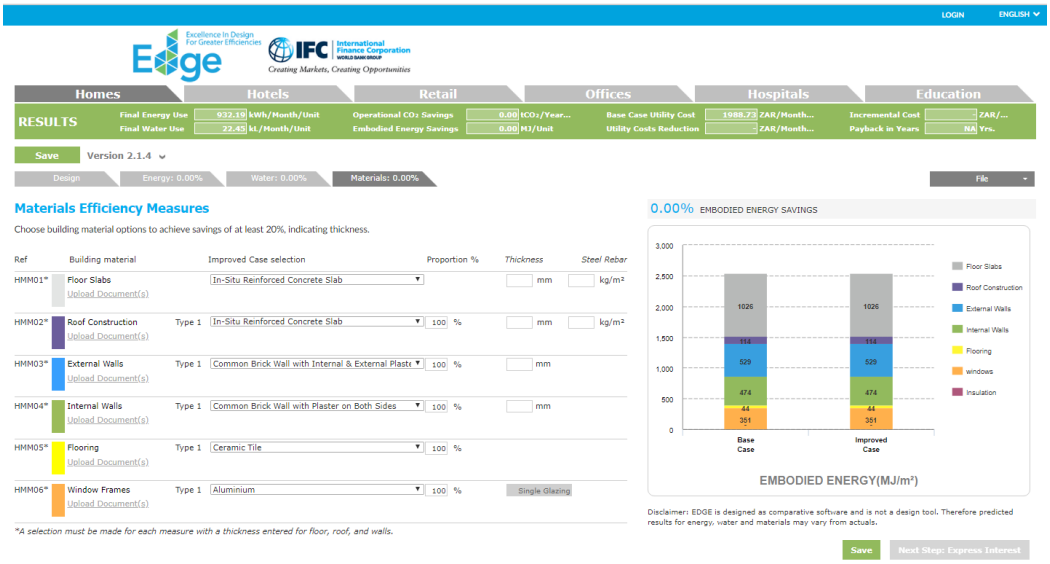
3.Web-based tool เครื่องมือบนเว็บไซต์ออนไลน์ของแต่ละองค์กรที่มีการสนับสนุนเรื่อง การลดการเกิดภาวะโลกร้อน ดังภาพที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 ได้แก่ Thai Carbon Footprint Calculator ของ TGO, energy star portfolio manager ของหน่วยงาน Environment Protection Agency (EPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา, EDGE software ของหน่วยงานบรรษัทเงินทุนระหว่างประเทศ (IFC) เป็นต้น เครื่องมือประเภทนี้ใช้ง่าย เหมาะสำหรับการใช้งานของทุกฝ่าย โดยเฉพาะผู้ลงทุน การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเน้นไปที่การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

ภาพที่ 2.6 หน้าต่างเว็บไซต์เครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ TGO

(ที่มา: http://carbonmarket.tgo.or.th/carbonfootprint/thai/index.php)

ภาพที่ 2.7 หน้าต่างเว็บไซต์ของ ENERGY STAR Portfolio Manager

(ที่มา: https://www.energystar.gov/)



ภาพที่ 2.8 หน้าต่างเว็บไซต์ของ EDGE software

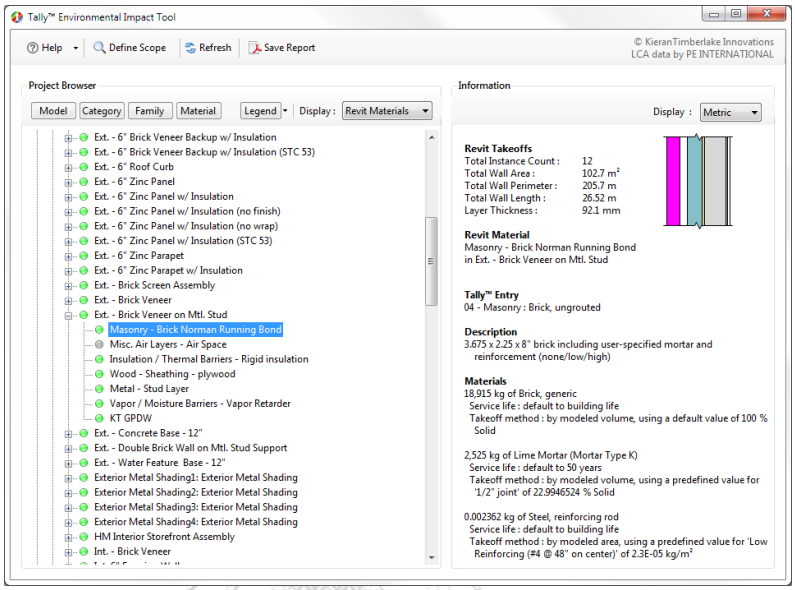
(ที่มา: https://www.edgebuildings.com/software/)

3. Excel tool เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาบนโปรแกรม Microsoft Excel (Excel) ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณและการแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิ โดยเครื่องมือนี้จะถูกพัฒนาขึ้นบนรูปแบบของหน้าต่างสำเร็จที่เตรียมไว้สำหรับใส่ข้อมูลหรือเทมเพลต (Template) และใส่สูตรการคำนวณให้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ ตัวอย่างโปรแกรม Excel tool ดังภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9 หน้าต่างเครื่องมือ LCAProfil

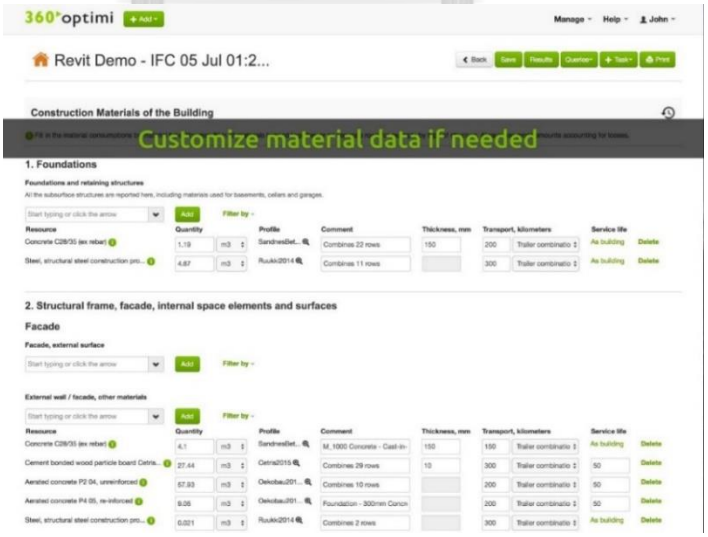
(ที่มา: http://www.innobyg.dk/projektresultater-2010-2014/lca-profiler-for-bygningsdele-katalog-og-vaerktoej.aspx)

4. BIM-based tool เป็นเครื่องมือบน BIM ดังภาพที่ 2.10 และ 2.11 ได้แก่ Tally และ One Click LCA เป็นเครื่องมือที่เหมาะสำหรับการใช้สำหรับการออกแบบ เนื่องจากมีจุดที่น่าสนใจอยู่ตรงที่สามารถดึงเอาข้อมูลจากภาพ 3 มิติมาคำนวณได้โดยไม่ต้องมีการถอดปริมาณออกมาเป็นรายการวัสดุก่อน



ภาพที่ 2.10 หน้าต่างบนโปรแกรมเสริม tally

(ที่มา: https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=3841858388457011752026&appLang=en&os=Win64)



ภาพที่ 2.11 *หน้าต่างบนเว็บไซต์One Click LCA*

(ที่มา: https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=3065869958781255107&)

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือสำหรับทำ LCA สำหรับอาคารดังตารางที่ 2.2 สรุปได้ว่าการทำ LCA โดยไม่ใช้เครื่องมือมีความละเอียดและสามารถเลือกข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้ แต่มีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูงและใช้เวลานานในการประเมิน การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารโดยใช้เครื่องมือที่พัฒนาจากากฐานข้อมูล ทำให้สามารถเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลมาประมวลผลได้โดยตรงเหมาะสำหรับการประเมินผลกระทบจากวัสดุ แต่ไม่มีการจำลองค่าการใช้พลังงาน การทำ LCA บนเว็บไซต์จะเน้นการหาผลกระทบจากการใช้พลังงานและมีรูปแบบใช้งานง่ายเหมาะสำหรับบุคคลทั่วไป เครื่องมือบน Excel Tool เป็นการคำนวณอย่างง่ายบนโปรแกรม Excel ที่สามารถคำนวณได้ทั้งค่าผลกระทบจากการใช้พลังงานและวัสดุและสามารถเพิ่มลดแก้ไขข้อมูลในฐานข้อมูลได้ โดยการทำ LCA ด้วยเครื่องมือที่กล่าวมาจะต้องใช้รายการปริมาณวัสดุที่ถอดออกมาจากแบบสามมิติของอาคาร มีเพียงเครื่องมือบน BIM เท่านั้นที่สามารถถอดปริมาณจากแบบจำลองสามมิติได้อัตโนมัติและระบุค่าคุณสมบัติของวัสดุได้ โดยเครื่องมือ LCA บน BIM ได้ถูกพัฒนามาจากเครื่องมือ Web-based tool จึงมีคุณสมบัติที่ดีเช่นเดียวกับ Web-based tool ด้วย งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาเครื่องมือบน BIM ให้สามารถปรับแก้ฐานข้อมูล จำลองค่าการใช้พลังงาน และนำการคำนวณการใช้พลังงานตามมาตรฐานของไทยมาใช้ด้วยได้ จึงได้พัฒนาเครื่องมือบน BIM ร่วมกับ Excel tool เพื่อแก้ไขข้อจำกัดในการทำ LCA ใน BIM

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร (ที่มา: ผู้วิจัย)

เครื่องมือ / คุณสมบัติ	1. Manual Calculation	2. Database tool	3. Web-based tool	4. Excel tool	5. BIM-based tool
มีความแม่นยำ แหล่งข้อมูลเชื่อถือได้		√	√		√
ใช้งานง่าย ประหยัดเวลา			√		√
ผู้ใช้เครื่องมือไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญในการทำ LCA			√		√
เหมาะสำหรับการทำ LCA สำหรับอาคาร	√		√	√	√
สามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขฐานข้อมูลให้เป็นข้อมูลที่ทันสมัยขึ้นและเพิ่มข้อมูลจากฐานข้อมูลอื่นเองได้	√			√	
เชื่อมโยงกับเกณฑ์อาคารเขียวแต่ละประเทศ				√	√

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

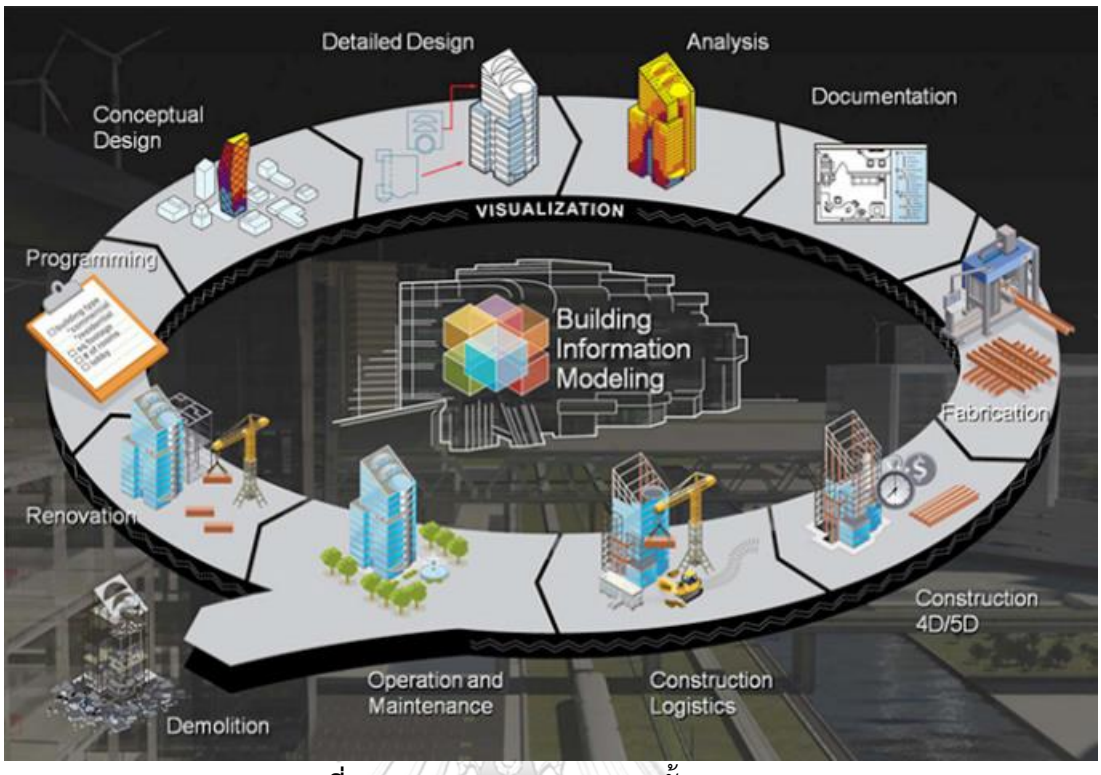
แก้ไขข้อมูลตามแบบ 3 มิติของสถาปนิกแบบ Real-time					√
สามารถนำข้อมูลของไทยใช้ในการคำนวณได้	√			√	
ใช้คำนวณผลกระทบตลอดช่วงชีวิตของอาคาร	√	√		√	√
คำนวณค่าการใช้พลังงานด้วยตัวเครื่องมือเองได้			√	√	

2.10 แบบจำลองสารสนเทศอาคารกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

2.10.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

BIM เป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองพร้อมข้อมูลหรือสารสนเทศ (Information) ในองค์ประกอบแบบจำลองอาคารนั้นๆ เป็นกระบวนการซึ่งมีเป้าหมายเพื่อที่จะบูรณาการการทำงานในขั้นตอนต่างๆของการออกแบบและก่อสร้างอาคารสถาปัตยกรรม โดยมีเป้าหมายในการลดขั้นตอน ลดความซ้ำซ้อน ลดความขัดแย้ง และลดปัญหาอันเกิดมาจากข้อผิดพลาดจากกระบวนการทำงานลักษณะเดิม เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่นำไปใช้บริหารโครงการตั้งแต่ต้นจนจบแนวคิดของ BIM นั้นถูกนำเสนอโดย Chales M. Eastman ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเอไอเอ โดยใช้ชื่อว่า “Building Description System” จน Robert Aish นำแนวคิดนี้มาใช้และใช้ชื่อว่า “Building Information Modelling” อีกครั้งในปี ค.ศ. 1986 จนกลายเป็น BIM ในทุกวันนี้ ซึ่งในปัจจุบัน BIM เริ่มเข้ามามีบทบาทกับงานสถาปัตยกรรมมากขึ้นเนื่องเป็นจากการทำงานออกแบบที่ผนวกรูปแบบ 2 มิติ กับ 3 มิติเข้าด้วยกันอีกทั้งยังสามารถนำแบบจำลองอาคารและข้อมูลต่าง ๆ ในแบบจำลองอาคารไปใช้ทำงานในสาขาวิชาชีพด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น งานด้านวิศวกรรม งานก่อสร้าง และงานโครงการก่อสร้าง เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2.12 ภาพรวมของกระบวนทั้งหมดของ BIM
(ที่มา: Aliya Jennifer, 2012)

หลักการทำงานของ BIM เป็นการสร้างแบบจำลองอาคาร (BIM Model) ขึ้นด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยเริ่มสร้างจากองค์ประกอบพื้นฐานของอาคารเช่น เสา ผนัง พื้น หลังคา ประตู หน้าต่าง ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบเหล่านี้จะมีข้อมูลต่างๆ ทั้งขนาด รายละเอียด ที่จะปรากฏในโมเดล 3 มิติเช่น ความกว้าง ความสูง สี หรือ วัสดุที่ใช้เป็นต้น หรือในส่วนของข้อมูล เช่นผู้ผลิต รุ่น ราคา และข้อมูลเฉพาะต่างๆ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะถูกจัดเก็บลงไปในแบบจำลอง

นอกจากนี้ระบบ BIM ยังเป็นระบบจัดการความสัมพันธ์ด้านตัวแปร (Parameter) ระหว่างองค์ประกอบในแบบจำลองอาคาร ทำให้การปรับเปลี่ยนขนาดหรือระยะต่างๆ ของส่วนใดส่วนหนึ่งสามารถส่งผลต่อองค์ประกอบอื่นๆ ได้ ช่วยอำนวยความสะดวกกับงานออกแบบทำให้ออกแบบได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ใช้ทรัพยากรน้อยลง

BIM มีแนวโน้มการใช้งานที่สูงขึ้นในประเทศไทย จากการสำรวจแนวโน้มในการประยุกต์ใช้ BIM สำหรับอุตสาหกรรมการออกแบบและรับเหมาก่อสร้างในประเทศไทยพบว่าการใช้ BIM มีแนวโน้นเพิ่มมากขึ้น คิดเป็น 44.44 เปอร์เซ็นต์ ของการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับเขียนแบบทั้งหมด (ธนัชชา สุขขี, 2554) ทางด้านอสังหาริมทรัพย์ก็เช่นกัน ในหลายๆหน่วยงานที่ดำเนินการทางด้านอสังหาริมทรัพย์ทั้งเอกชนรวมและรัฐบาลใช้ BIM ในการออกแบบ เขียนแบบ และควบคุมงานก่อสร้าง

อาคารมากขึ้น เนื่องจาก BIM เป็นการทำงานควบคู่กันไปทั้งกระบวนการ สามารถลดเวลาในส่วนของการเขียนแบบไปได้อย่างน้อย 30% และทำให้มองเห็นแบบที่ขัดแย้งกันได้ชัดเจน ทำให้โครงการที่ได้นำ BIM มาใช้นั้นได้ผลงานที่รวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ สามารถควบคุมต้นทุน และลดระยะเวลาการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การทำงานใน BIM นั้นตัวโปรแกรมยังไม่ได้มีการกำหนดตายตัวว่า ผู้ใช้ต้องสร้างแบบจำลองโดยวิธีใดและเนื่องจากโปรแกรมให้อิสระกับผู้ใช้งานในการสร้างแบบจำลองทำให้รูปแบบของแบบจำลองนั้นมีโอกาสเป็นไปได้หลายรูปแบบ การกำหนดมาตรฐานในการสร้างแบบจำลองจึงเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจาก BIMอาคารนั้นถูกออกแบบให้มีการทำงานร่วมกัน จึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดแนวทางหรือมาตรในการทำงาน เพื่อให้การทำงานมีระเบียบ มีประสิทธิภาพ และไปในทางเดียวกัน

ในประเทศสหราชอาณาจักอังกฤษ ได้มีมาตรฐาน AEC (UK) BIM protocol กล่าวถึงการวางมาตรฐานในการปฏิบัติวิชาชีพ ประเทศสหรัฐอเมริกามีมาตรฐาน AIA Document E202,E203 กล่าวถึงระเบียบในการสร้างแบบจำลอง ระดับรายละเอียดของแบบจำลอง (Level of Development; LOD) และการแบ่งความรับผิดชอบในการพัฒนา Model Element และในประเทศสิงค์โปร์มีมาตรฐาน Singapore BIM Guide v.2 กล่าวถึงการวางมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติวิชาชีพครอบคลุมตั้งแต่การวางแผนปฏิบัติงาน ผลผลิตในแต่ละขั้นตอนของโครงการ การคิดค่าบริการ ระเบียบในการทำแบบจำลอง การทำงานร่วมกัน และวิชาชีพ BIM

ส่วนประเทศไทยนั้น เนื่องจาก BIM นั้นได้ถูกนำมาใช้งานได้ไม่นาน สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์จึงได้มีการจัดทำคู่มือแนวทางการใช้งาน BIM สำหรับประเทศไทยขึ้นในปี 2558

ในการทำเครื่องมือบน BIM งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Revit เนื่องจาก Revit เป็นผู้นำตลาดและเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมจากทั่วโลกโดยมีสัดส่วนผู้ใช้งานจากทั่วโลกสูงที่สุด (ธนัชชา สุขขี, 2554)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM Model) บนโปรแกรม Revit

Revit เป็นซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบงานด้านอาคารโดยเฉพาะ โดยใช้หลักการสร้างระบบหรือรูปแบบข้อมูลที่สามารถทำงานได้ทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติและมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับงานสถาปัตยกรรมโดยเฉพาะ ทำให้สถาปนิกและวิศวกรทำงานง่ายขึ้น สามารถใช้คำสั่งต่างๆ เพื่อวิเคราะห์งานด้านสถาปัตยกรรม เช่น Sun Studies, Green Building Analysis หรือทำรายการถอดปริมาณงาน (BOQ) เป็นต้น

การเริ่มใช้งานโปรแกรมจะเริ่มที่ไฟล์หน้าต่างการทำงานของโปรแกรมของ Revit หรือที่เรียกว่า Revit Template (Template) โดยใน Template จะมีการบันทึกค่าตั้งต้น (ค่า default)

ต่างๆ เช่น น้ำหนักเส้น การตั้งค่า วัสดุ เป็นต้น รวมถึงได้มีการตั้งค่าตัวแปร (Parameter) ในลักษณะช่องให้กรอกข้อมูล เช่น ช่องสำหรับกรอกชื่อผู้ผลิตวัสดุเป็นต้น เป็นต้น โดยไฟล์ Template จะเป็นนามสกุล .rte ในการทำงานในโปรแกรม Revit ผู้ใช้จะต้องติดตั้ง Template ลงไปในไฟล์ที่ใช้ในการทำงานหรือที่เรียกว่า Project file ก่อนที่จะเริ่มสร้าง BIM model โดย Project file จะมีนามสกุลเป็น .rvt

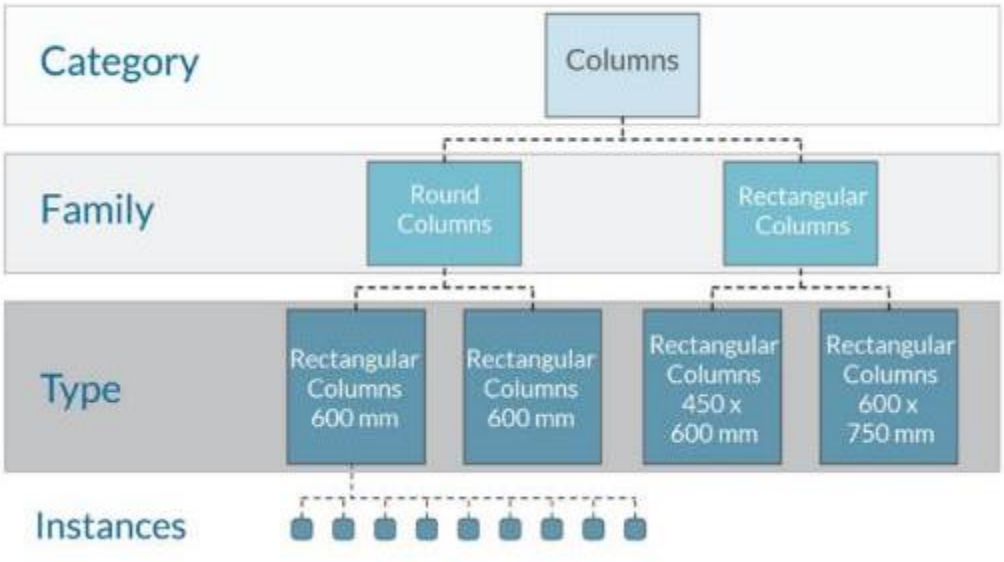
โครงสร้างของ BIM model จะประกอบด้วยลำดับขั้นของข้อมูลเพื่อให้การจัดการข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น โดย BIM model จะถูกแบ่งเป็นหมวดหมู่หรือ Category เช่น Category ของพื้น ผนัง หลังคา พื้นที่ พื้นที่ปรับอากาศ หน้าต่าง เส้นแสดงระยะ (dimension) เป็นต้น โดยใน Categories จะประกอบด้วยองค์ประกอบของแบบจำลองหรือ Element โดยสามารถแบ่ง Element ในแบบจำลองบนโปรแกรม Revit ได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. Model Element คือวัตถุประเภท 3 มิติ เช่น พื้น ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทย่อย ดังนี้
   1.1 Host Elements เป็นองค์ประกอบที่สร้างขึ้นมาใหม่จากการเขียนแบบเสมอ เช่น พื้น ผนัง หลังคา ฝ้าเพดาน เป็นต้น
   1.2 Model Element เป็นองค์ประกอบที่สามารถโหลดมาใช้งานได้เลย เช่น ประตู หน้าต่าง เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น
2. Datum Element องค์ประกอบที่สร้างขึ้นเพื่อกำหนดสภาพแวดล้อมของชิ้นงาน เช่น Grid เสา เส้นบอกระดับ
3. View Specific Element องค์ประกอบที่เราสร้างขึ้นเพื่อเป็นคำอธิบาย และวัตถุประเภท 2 มิติ ที่จะแสดงผลในแต่ละมุมมองที่ใส่ Element นั้นๆลงไป เช่น เมื่อใส่เส้น Dimension ในแปลนชั้น 1 ผู้ใช้งานจะเห็นเส้น Dimension นี้ที่แปลนชั้น 1 แต่เมื่อเปลี่ยนมุมมองเป็นรูปด้านแล้ว จะไม่สามารถมองเห็นเส้น Dimension นี้ได้

Family คือ ชนิดหลักๆของ Model Element เช่น Element ของหน้าต่าง สามารถแบ่งเป็นหน้าต่างบานเปิดเดี่ยว หน้าต่างบานเปิดคู่ เป็นต้น

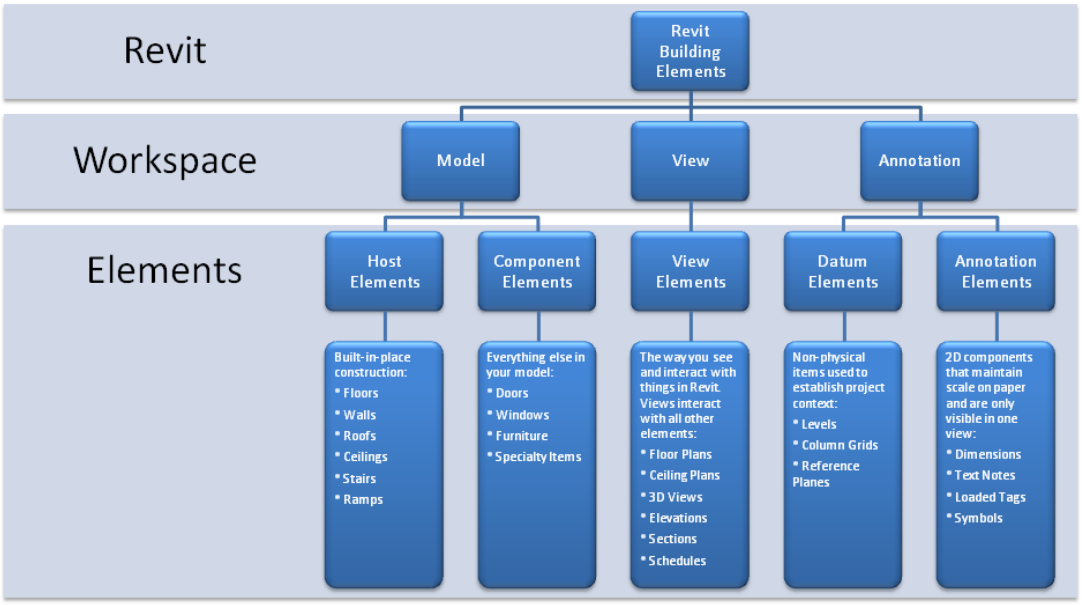
Type คือ ชนิดของ Host Element และชนิดของ Model Element ที่ย่อยลงมาจาก Family เช่น ใน Family ของหน้าต่างบานเปิดเดี่ยว จะมี Type ของหน้าต่างบานเปิดเดี่ยว วงกบไม้ ขนาด 1x1 เมตร และ Type ของหน้าต่างบานเปิดเดี่ยว วงกบอลูมิเนียม ขนาด 1x2 เมตร เป็นต้น เมื่อมีการแก้ไขข้อมูลของ Type ของหน้าต่างบานเปิดเดี่ยว วงกบไม้ ขนาด 1x1 เมตรให้เป็น Type ของหน้าต่างบานเปิดเดี่ยว วงกบไม้ ขนาด 5x5 เมตร หน้าต่าง Type นั้นก็จะถูกแก้ไขทั้งหมด

Instances คือ ข้อมูลรายการเฉพาะของ Element แต่ละชิ้น เมื่อมีการแก้ไขข้อมูลของ Element ชิ้นนึง Element ชิ้นอื่นๆ จะไม่แก้ไขตาม



ภาพที่ 2.13 จัดลำดับขั้นของข้อมูลบนโปรแกรม Autodesk Revit

(ที่มา: https://landarchbim.com/2016/03/09/Revitdynamo-hierarchy-of-elements/)



ภาพที่ 2.14 Revit Building Element

(ที่มา: http://congnghebim.vn/gan-100-doi-tuong-trong-Revit/)

ในการทำงานด้วย BIM ในการสร้างแบบจำลอง (Model) และการบันทึกข้อมูล (Information) ลงบนแบบจำลองนั้น ในมาตรฐานหลายประเทศได้กำหนดสิ่งที่เรียกว่า ระดับขั้นในการพัฒนา (Level of Development; LOD) ไว้ โดย LOD จะเป็นตัวกำหนดความละเอียดของแบบจำลอง ทั้งนี้ในการกำหนด LOD จะมีทั้ง LOD ในแบบ Level of Detail ที่หมายถึงระดับความละเอียดของสิ่งที่จะใส่เข้าไปบนแบบจำลองและ LOD ในแบบ Level of Development คือระดับความละเอียดที่เป็นผลจากการสร้างแบบจำลอง ซึ่งมักสอดคล้องกับขั้นตอนและกระบวนการทำงานภายในวิชาชีพของการออกแบบ โดยในต่างประเทศมักมีการกำหนดค่าตัวเลขระดับต่างๆ เช่น LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350 ตามนิยามของลักษณะและข้อมูลที่ประกอบของแบบจำลอง (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558) องค์กร AIA ได้กำหนดปริมาณรายละเอียดในแบบจำลอง BIM ไว้ทั้งหมด 5 ระดับ ตั้งแต่ LOD 100-500 โดยไม่มีเนื้อหาที่ระบุว่าแต่ละการประเมินวัฏจักรอาคารในแต่ละช่วงเหมาะกับการใช้ LOD ระดับไหน (Xu, Zhang, Li, & Li, 2016) จากการศึกษางานวิจัยที่มีการใช้ BIM ในการทำ LCA พบว่างานวิจัยที่มีการพูดถึงเรื่อง LOD ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของ Embodied Stage ได้แก่ ในงานวิจัยของ Ajayi et al. (2015) ได้ใช้ BIM model ระดับ LOD 200 เพื่อนำปริมาณ ขนาด รูปร่าง ที่ตั้ง และทิศทางการวางอาคารมาใช้ในการวิเคราะห์พลังงานและประเมินค่าศักยภาพสภาวะโลกร้อนของวัสดุ งานวิจัยของ (Chong, Lee, & Wang, 2017) ได้สร้างฐานข้อมูลและเครื่องมือในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัสดุที่เชื่อมต่อกับ BIM โดยในขั้นตอนแรกได้กำหนดว่า แบบจำลองอาคารที่จะทำมาใช้กับเครื่องมือควรใช้ที่ LOD 300 หรือ สูงกว่า ในงานวิจัยของ Xu et al. (2016)Zhao และ Li (2015) ได้ศึกษาขั้นตอนการทำงาน (Workflow) สำหรับการทำ LCA ด้วย BIM ของหน่วยงานอาคารก่อสร้าง ได้กล่าวว่า องค์ประกอบอาคารแต่ละชิ้นมีการกำหนดค่า LOD ที่แตกต่างกัน เช่น ผนังภายนอก ผนังภายใน บันได ราวจับ คิดความใช้ค่า LOD 300 ประตู หน้าต่าง พื้น ฝ้าเพดาน ควรใช้ค่า LPD 200 และหลังคาควรใช้ค่า LOD 100 ทั้งนี้หากมีการส่งออกเป็นไฟล์ IFC เพื่อส่งต่อไปยังโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณพลังงานควรกำหนดค่า LOD ทั้งหมดไว้ที่ 300

สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ (2558) ได้กล่าวว่า ในการกำหนดระดับความละเอียด (LOD) ในการทำงาน BIM สำหรับประเทศไทยควรกำหนดระดับขั้นให้สอดคล้องกับขั้นตอนการทำงานดังตารางที่ 3.5 ยังไม่ควรนำไปเปรียบเทียบกับระดับขั้นของ LOD ที่กำหนดค่าเป็นตัวเลข เนื่องจากแต่ละประเทศมีการใช้กำหนดค่าตัวเลขและรายละเอียดของข้อมูลที่แตกต่างกับแม้จะมีค่าเดียวกัน

ตารางที่ 2.3 ระดับความละเอียด (Level of Development : LOD)
(ที่มา: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

No.	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	Predesign & Concept Design	-ตำแหน่ง -ยังไม่ระบุชนิดและความหนา
2	Design Development	-ความหนา/ตำแหน่ง -ระบุชนิด/ความยาว/ความกว้าง/พื้นที่/ปริมาตร
3	Detailed Design and Construction Document	-ความหนาแยกชั้นวัสดุ/ตำแหน่ง -ระบุชนิด/ความยาว/ความกว้าง/พื้นที่/ปริมาตร/ความสูง -วัสดุที่ใช้ /รุ่น /สี
4	Construction Shop Drawing	-ความหนาแยกวัสดุ/ตำแหน่ง -ระบุชนิด/ความยาว/ความกว้าง/ความสูง -วัสดุที่ใช้/รุ่น/สี/การติดตั้ง -ตำแหน่งเจาะ
5	As-built Drawing	-ความหนาแยกวัสดุ/ตำแหน่ง -ระบุชนิด/ความยาว/ความกว้าง/ความสูง -พื้นที่/ปริมาตร (ตามแบบก่อสร้าง) -วัสดุที่ใช้/รุ่น/สี/การติดตั้ง -ผู้ขาย/โรงงานผลิต/ประกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

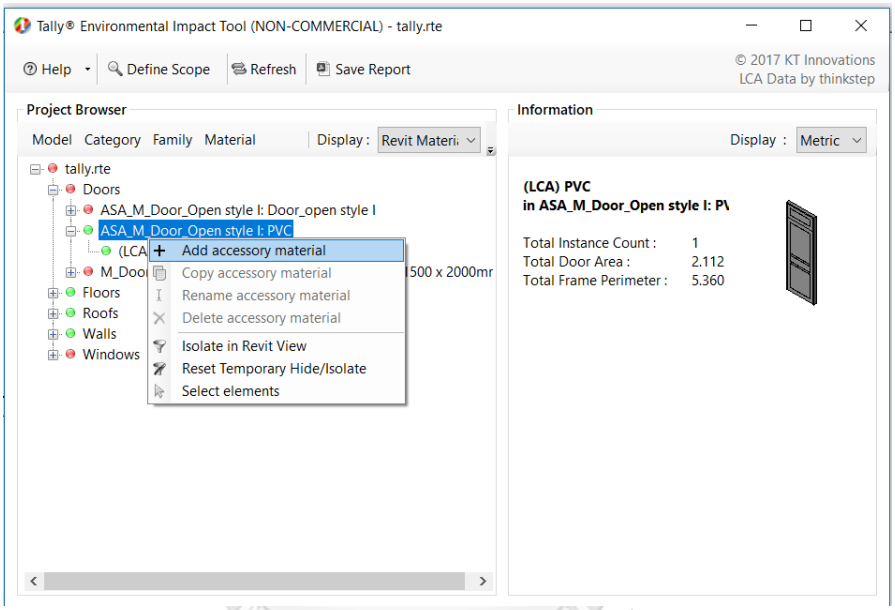
2.10.3 แบบจำลองสารสนเทศอาคารและการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

ปัจจุบันได้มีโปรแกรมที่เชื่อมต่อกับโปรแกรม Autodesk Revit ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารได้แก่ โปรแกรม Tally และ One Click LCA ซึ่งทั้งสองโปรแกรมมีค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมค่อนข้างสูงสำหรับโปรแกรมเฉพาะทาง

1. Tally

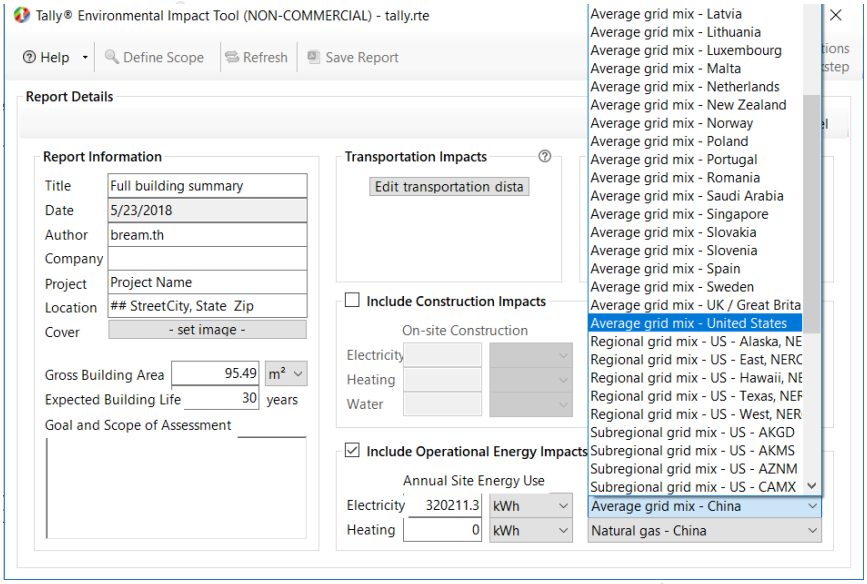
Tally เป็นโปรแกรมเสริม (plugin) บน Autodesk Revit พัฒนาโดย KT Innovation, Thinkstep และ Autodesk เกิดจากการนำโปรแกรมสำเร็จรูปเดิมคือ GaBi และ SoFi มาต่อพัฒนาต่อยอด เพื่อใช้สำหรับประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารโดยสามารถหาจำนวนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากวัสดุก่อสร้างจาก BIM model ในโปรแกรม Revit

โดยโปรแกรม Tally จะดึงข้อมูล Type และปริมาณของวัสดุจาก BIM model มาไว้ในโปรแกรมเสริมเพื่อให้ผู้ใช้งานจับคู่ (Match) รายการวัสดุที่จาก BIM model กับฐานข้อมูล LCA ที่มีอยู่ในโปรแกรม แล้วกรอกค่าการใช้พลังงานและการขนส่งเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการประเมินวัฏจักชีวิตของอาคาร เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จแล้วให้กด Save Report โปรแกรมนี้วิเคราะห์อาคารเต็มรูปแบบเพื่อแสดงแนวทางในการออกแบบอาคารออกมาเป็นแผนภาพการในรูปแบบรายงาน บนไฟล์ .pdf ดังภาพที่ 2.15, 2.16 และ 2.17



ภาพที่ 2.15 การใส่ข้อมูลวัสดุใน Tally (ที่มา: ผู้วิจัย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.16 การใส่ข้อมูลการใช้พลังงานใน Tally (ที่มา: ผู้วิจัย)

ภาพที่ 2.17 การแสดงผลของโปรแกรม Tally (ที่มา: ผู้วิจัย)

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของเครื่องมือ มีเครื่องมือนี้มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

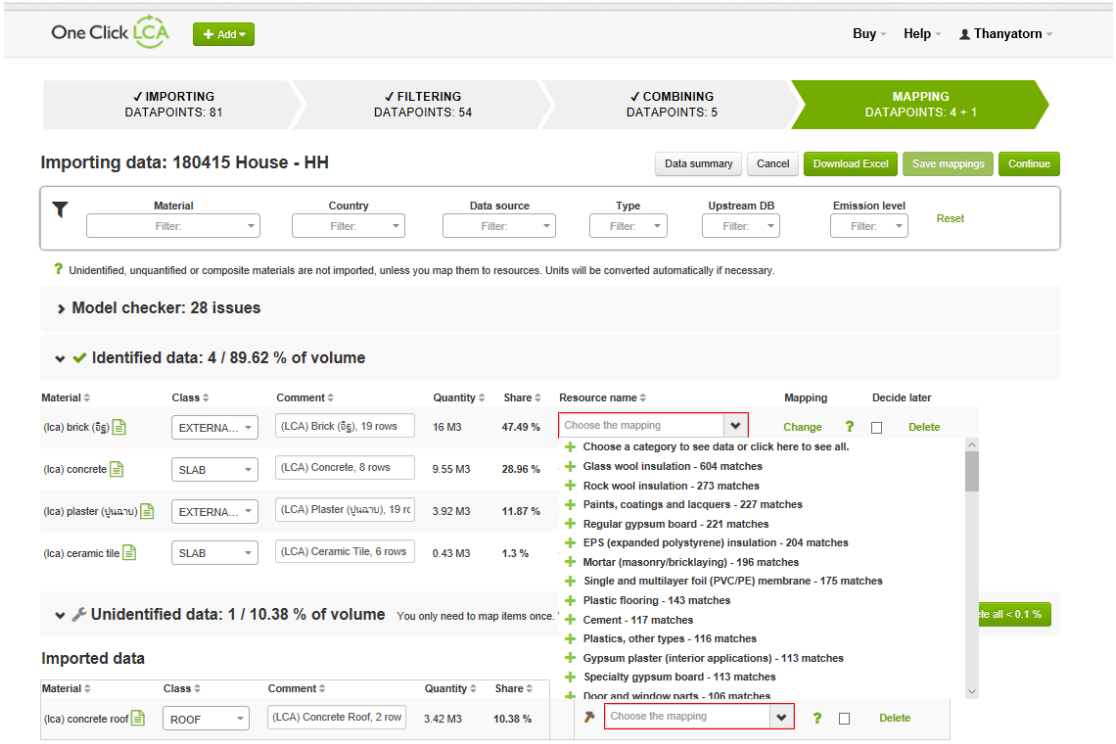
ข้อดี สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม Revit ได้ สามารถกรองข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมินได้ มีการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทุก Element และ Categories ของอาคารโดยละเอียด

ข้อเสีย มีค่าใช้จ่ายในการใช้โปรแกรม จะต้องมีการกรอกค่าวัสดุจากฐานข้อมูลใหม่อีกครั้ง ข้อมูลในฐานข้อมูลที่ให้มามีข้อมูลที่ไม่เพียงพอ จะต้องจำลองค่าการใช้พลังงานจากโปรแกรมอื่น ไม่สามารถระบุที่มาของค่า Emission Factor ที่ใช้ในการประเมินแต่ละวัสดุได้ว่าใช้ค่าเท่าใด ไม่สามารถเพิ่มหรือแก้ไขข้อมูล และนำค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไทยมาใช้ในการประเมินได้

2. โปรแกรม One Click LCA

เป็นเครื่องมือบนเว็บไซต์ที่พัฒนาโดย BIONOVA โดย One Click LCA จะมี plugin สำหรับดึงข้อมูลวัสดุและปริมาณจาก BIM model มาที่เว็บไซต์ได้ โดยที่เว็บไซต์จะช่วยในการแนะนำการจับคู่วัสดุกับฐานข้อมูลเพื่อให้เราจับคู่ได้ง่ายขึ้น รวมถึงมีการเลือก filter ข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลได้มากขึ้น โดย One Click LCA จะเป็นโปรแกรมที่เน้นการนำไปใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตในการทำคะแนนในเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียว LEED และ BREEAM รวมถึงการทำ Carbon Benchmark ในอาคารของประเทศต่างๆ โดยเมื่อกรอกข้อมูลวัสดุ พลังงาน และการขนส่งแล้ว เครื่องมือจะแสดงผลออกมาเป็นผลรวมการปล่อยผลกระทบตลอดช่วง

ชีวิตออกมาเป็นตารางและแผนภาพบนเว็บไซต์ โดยสามารถส่งออกข้อมูลไปบนไฟล์ Microsoft word และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลบนไฟล์ Microsoft Excel ได้

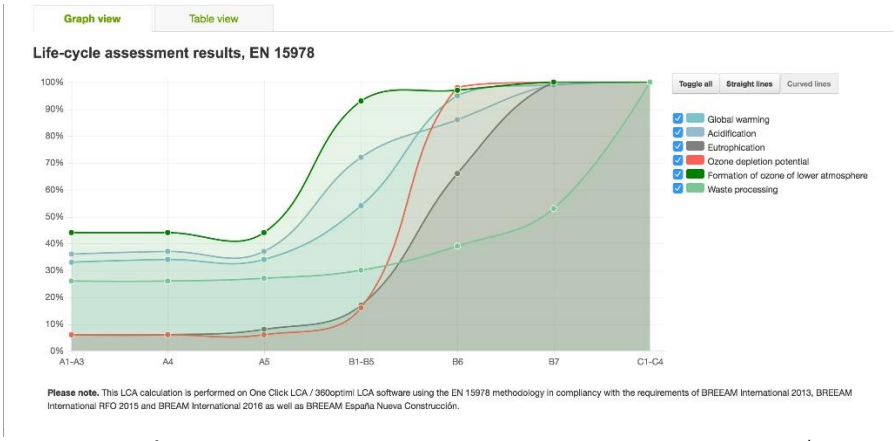


ภาพที่ 2.18 การกรอกข้อมูล One Click LCA (ที่มา: ผู้วิจัย)

Life-cycle assessment results, EN 15978

	Sector	Global warming kg CO2e	Acidification kg SO2e	Eutrophication kg PO4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Waste processing kg	
A1-A3	Construction Materials	1,98E5	5,36E2	8,41E1	6,03E-3	1,65E2	3,96E4	Details
A4	Transportation to site	2,61E3	1,22E1	2,65E0	5,12E-4	1,47E-1	8,19E0	Details
A5	Construction/installation process	1,4E3	9,84E0	2,28E1	1,22E-4	4,09E-1	9,93E2	Details
B1-B5	Maintenance and material replacement	1,21E5	5,19E2	1,24E2	9,82E-3	1,85E2	4,62E3	Details
B6	Energy use	2,46E5	2,09E2	6,79E2	8,7E-2	1,55E1	1,37E4	Details
B7	Water use	2,77E4	1,96E2	4,56E2	2,4E-3	8,16E0	1,99E4	Details
C1-C4	Deconstruction	3,18E3	1,27E1	4,31E0	2,25E-4	1,19E0	7,12E4	Details
D	External impacts (not included in totals)	-1,23E5	-2,05E2	-4,18E1	-1,94E-2	-4,47E1	-1,18E4	Details
	Total	**5,99E5**	**1,5E3**	**1,38E3**	**1,06E-1**	**3,74E2**	**1,5E5**	
Improved design Total		5,8E5	1,45E3	1,37E3	1,06E-1	3,71E2	1,47E5	
Base Design compared with improved design		3,2 %	3,4 %	0,5 %	0,7 %	0,9 %	1,9 %	
		Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	

ภาพที่ 2.19 การแสดงผลสรุปค่าผลกระทบ One Click LCA (ที่มา: ผู้วิจัย)



ภาพที่ 2.20 การแสดงแผนภาพค่าผลกระทบ One Click LCA (ที่มา: ผู้วิจัย)

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของเครื่องมือ มีเครื่องมือนี้มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

ข้อดี สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม Revit ได้ สามารถประเมินได้ตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร และมีการคิดเรื่องการนำไปใช้ในการทำคะแนนในเกณฑ์อาคารเขียว

ข้อเสีย มีค่าใช้จ่ายในการใช้โปรแกรม ไม่สามารถกรอง (filter) ข้อมูลจากการตั้งค่าช่วงเวลา (Phase) ในโปรแกรม Revit ได้ จะต้องมีการกรอกค่าวัสดุจากฐานข้อมูลใหม่อีกครั้งภายหลังการส่งผ่านข้อมูล จะต้องจำลองค่าการใช้พลังงานจากโปรแกรมอื่น เช่น IESVE ไม่สามารถเพิ่มหรือแก้ไขข้อมูลจากฐานข้อมูลหรือนำค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไทยมาใช้ร่วมกับการประเมินได้

2.10.4 การพัฒนาโปรแกรมเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศ

โปรแกรม Revit ได้มีช่องทางสำหรับนักพัฒนาให้ได้เขียนโปรแกรมโดยเฉพาะอยู่ 2 วิธีคือ

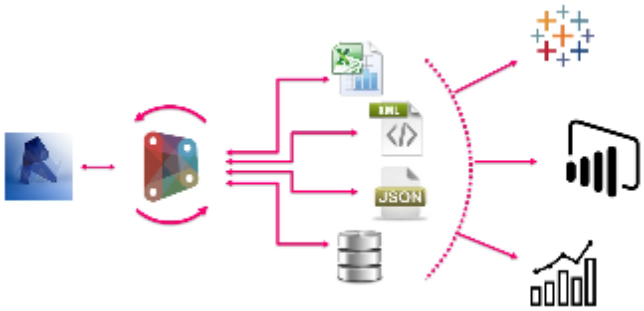
1. Integrated Development Environment (IDE)

การเขียนโปรแกรมเสริมที่จำเป็นต้องเครื่องมืออย่างเช่น Microsoft Visual Studio หรือ Python ที่สามารถวิเคราะห์คำสั่ง (Compile) หรือช่วยตรวจสอบจุดผิด (Debug) จากชุดคำสั่งที่เขียนลงไปได้เพื่อช่วยจำลองโปรแกรมก่อนที่จะนำไปใช้จริงซึ่งจากโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับ BIM อย่าง Revit นั้น จำเป็นต้องใช้ส่วนนี้ในการเขียนโปรแกรมเสริมซึ่งแต่ละโปรแกรมจะมีภาษาของโปรแกรมที่ต่างกัน โดย Autodesk Revit จะใช้ภาษา C# เป็นหลัก ส่วน ArchiCAD ใช้ภาษา C++ ซึ่งทั้งสองภาษาล้วนมีรากฐานมาจากภาษา C แต่ถูกพัฒนาไปในคนละแบบและมีชื่อเรียกคำสั่งที่แตกต่างกันออกไป (ณัชชา เอกร่าเริงแสน, 2559)

2. Visual Programming Language (VPL)

เป็นการเขียนโครงสร้างแบบเชื่อมโยง โดยทำงานผ่านจุดต่อ (Node) ในการเชื่อมต่อการทำงานของคำสั่งที่ต้องการ ซึ่งในแต่ละจุดต่อ (Node) จะมีค่าข้อมูลเข้า (Input data) และมีการ

ส่งออก(Output) ไปยังจุดต่อ (Node) ต่อไป สามารถทำได้บน plugin ที่ชื่อว่า “Dynamo” ซึ่งจุดเด่นของ Dynamo คือ คือสามารถปรับค่าตัวแปรเสริม (Parameter) ได้กล่าวคือสามารถกำหนดค่าตัวแปรผ่าน Dynamo ไปยัง Revit โดยมีการใช้ภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาหนึ่งในภาษาคอมพิวเตอร์ ร่วมกับการเขียนโปรแกรมภาษาภาพ (Visual Programming Languages) เป็นภาษาหลักในการใช้งาน พร้อมทั้งยังสามารถแสดงข้อมูลจากแบบจำลองได้หลายรูปแบบและสามารถส่งผลไปแสดงต่อยังโปรแกรมที่ใช้จัดการฐานข้อมูลได้ (ณัชชา เอกร่าเริงแสน, 2559)



ภาพที่ 2.21 การส่งต่อข้อมูลของ Dynamo
(ที่มา: http://www.theprovingground.org/2015/12/updates-you-may-have-missed.html)

จากการทบทวนวรรณกรรมในประเทศการใช้ Dynamo ในการพัฒนาเครื่องมือในหลายงานวิจัยที่ผ่านมา ดังนี้

ณัชชา เอกร่าเริงแสน (2559) ได้พัฒนาโปรแกรมเสริมใน Revit สำหรับช่วยวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ โดยได้ศึกษามาตรฐานทางหนีไฟและนำเอาตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ ได้แก่ ระดับความยาวของทางหนีไฟ ระยะความกว้างของทางหนีไฟ และจำนวนผู้ใช้งานต่อพื้นที่ มาคำนวนตามสมการ แล้วส่งข้อมูลไปยัง Excel เพื่อประมวลผลการให้ลำดับคะแนน และแสดงผลออกมาเป็นเส้นทางหรือ Line styles ที่ลากจากประตูห้องถึงทางหนีไฟ หากเส้นทางมีความยาวเกินกว่าที่กำหนดเส้นจะถูกแสดงให้เป็นสีแดง

วรพงศ์ โรจน์อนุสรณ์ (2559) ได้พัฒนาโปแกรมเสริมใน Revit สำหรับช่วยในการตรวจสอบกฎหมายอาคารพักอาศัยขนาดใหญ่ในกรุงเทพมหานครด้วย BIM โดยแบ่งการทำงานของเครื่องมือออกเป็นสองระบบคือระบบอัตโนมัติและระบบกึ่งอัตโนมัติ โดยระบบอัตโนมัติจะสามารถดึงข้อมูลเพื่อประมวลผลและส่งค่าไปยังหน้ารายงาน (Report) บน Excel ได้เลย ส่วนระบบอัตโนมัติผู้ใช้งานจะต้องลากเส้นระยะตามที่เครื่องมือกำหนดเพื่อสร้างข้อมูลที่จะนำไปประมวลผล

ณัฐรดา บุญถัด, ศิรเดช สุริต, and ภัทรนันท์ ทักขนนท์ (2560) ได้ใช้ Dynamo ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์ (SC) โดยได้ใช้ Dynamo ในการสร้างพื้นที่เขตเงาจาก

ข้อมูลตำแหน่งดวงอาทิตย์ รูปแบบอุปกรณ์บังแดด และตำแหน่งอุปกรณ์บังแดด แล้วนำมาคำนวณตามสมการของประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 เพื่อหาค่า SC

2.11 อาคารพักอาศัยในประเทศไทย

2.11.1 นิยามและประเภทของอาคารพักอาศัยในประเทศไทย

กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้ให้คำนิยามไว้ว่า “อาคารพักอาศัย” หมายความว่า อาคารซึ่งโดยปกติบุคคลใช้อยู่อาศัยได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน ไม่ว่าจะเป็นการอยู่อาศัยถาวรหรือชั่วคราว โดยจากกฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) และสำนักงานสถิติแห่งชาติ ได้แบ่งประเภทอาคารที่อยู่อาศัยและให้คำนิยามดังนี้

บ้านเดี่ยว หมายถึง บ้านที่ปลูกหลังเดี่ยวและเป็นที่อยู่อาศัยของบุคคลในครัวเรือนเดียวกัน

บ้านแฝด หมายถึง อาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยก่อสร้างติดต่อกันสองบ้าน มีผนังแบ่งอาคารเป็นบ้านมีที่ว่างระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารด้านหน้า และด้านข้างของแต่ละบ้าน และมีทางเข้าออกของแต่ละบ้านแยกจากกันเป็นสัดส่วน

บ้านแถว หมายถึง ห้องแถวหรือตึกแถวที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีที่ว่างด้านหน้าและด้านหลังระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารแต่ละคูหาและมีความสูงไม่เกินสามชั้น

ห้องชุด หมายถึง กลุ่มห้องอันเป็นส่วนหนึ่งของอาคาร ซึ่งใช้เป็นที่อยู่อาศัยของครัวเรือน โดยกลุ่มห้องนี้จะต้องมีห้องครัว ห้องน้ำ ตลอดจนทางเข้าออกห้องชุดเป็นของตนเอง เช่นอพาร์ทเม้นท์ แฟลต คอนโดมิเนียม แมนชั่น คอนโดเทล ฯลฯ

2.11.2 ระบบกรอบอาคาร

ระบบกรอบอาคารประกอบด้วยองค์ประกอบอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอกอาคาร โดยส่วนมากจะพิจารณาจากผนัง หน้าต่าง และหลังคา ในการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำระบบกรอบอาคารมีความสำคัญอย่างมากเพราะส่งผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งช่วงของการผลิตวัสดุและการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากเปลือกอาคารสามารถลดการถ่ายเทของความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารและสามารถลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้ เกณฑ์ Ecovillage หรือเกณฑ์การประเมินชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน เป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับอาคารพักอาศัย ซึ่งการเคหะแห่งชาติมอบหมายให้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยดำเนินงาน ในเกณฑ์นี้ได้มีการกำหนดแนวทางการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารผ่านสมการที่พัฒนาโดยดนุสรณ์ บัวขจร (2554) ดังนี้

1. สมการในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารแนวราบ ($OTTV_h$) โดยอาคารแนวราบหมายถึงโครงการที่อยู่อาศัยมีที่จำนวนชั้นน้อยกว่า 4 ชั้น เช่น บ้านเดี่ยว, บ้านแฝด, บ้านแถว จะใช้สูตรการคำนวณ $OTTV_h$ หรือ OTTV-house

$$OTTV_h = 4.98(U_w)(1\text{-}WWR) + 0.36(U_g)(WWR) + 97.45(WWR)(SHGC_{รวม}) \quad (2)$$

2. สมการในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารแนวดิ่ง ($OTTV_c$) โดยอาคารแนวดิ่งหมายถึงโครงการที่อยู่อาศัยที่มีจำนวนชั้นตั้งแต่ 4 ชั้น ขึ้นไป เช่น แฟลต, อาคารชุด จะใช้สูตรการคำนวณ $OTTV_c$ หรือ OTTV-condo

$$OTTV_c = 5.43(U_w)(1\text{-}WWR) + 0.97(U_g)(WWR) + 91.40(WWR)(SHGC_{รวม}) \quad (3)$$

โดยตัวแปรประกอบด้วย

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2.^oC$)

U_g คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก หน่วยเป็น ($W/m^2.^oC$)

$SHGC_{รวม}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก

โดยในการคำนวณ OTTV มีข้อกำหนดดังนี้

1. การคำนวณ OTTV คำนวณเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศหรือพื้นที่ใช้งานหลักที่วางแผนจะปรับอากาศ

2. การคำนวณ OTTV คำนวณเฉพาะผนังภายนอกอาคารซึ่งติดกับพื้นที่ปรับอากาศ โดยแบ่งออกเป็นส่วนพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง โดยไม่รวมผนังกั้นภายใน

3. การคำนวณ OTTV ไม่รวมผนังภายนอกอาคารที่ติดกับพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

4. การคำนวณ OTTV ในเกณฑ์ของ Ecovillage คือ $OTTV_h$ และ $OTTV_c$ จะสามารถใช้ได้กับทุกทิศทางการวางอาคาร (Orientation) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ดังแสดงในสูตรด้านบนเป็นค่าเฉลี่ยของทุกทิศทาง

5. การคำนวณ OTTV ในเกณฑ์ของ Ecovillage จะนับว่าอาคารที่นำมาคำนวณจะต้องมีผนังภายนอกซึ่งเป็นสีโทนอ่อนหรือมีค่าสัมค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์น้อยกว่า 0.5 เป็นเกณฑ์บังคับ หากอาคารมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป จะไม่สามารถใช้การคำนวณ OTTV ตามสมการที่ 2 และ 3 ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณค่าสัมประสิทธิก์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-Value) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบและกระจกเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม (R-Value) ซึ่งหาได้จากการนำความหนาวัสดุหารด้วยค่าสัมประสิทธิก์ารนำความร้อนของวัสดุ (k) ดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{1}{R} \; ; R\frac{\Delta x}{k} \qquad (4)$$

โดย Δx คือ ความหนาของวัสดุ (m)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m^2.°C)

R คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุ (m^2.°C/W)

ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (k) สามารถหาได้จากตารางวัสดุจากผู้ผลิต หรือ จากประกาศกระทรวงพลังงานว่าด้วยการคำนวณค่าพลังงาน

ค่า $U_{รวม}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่เกิดจากการประกอบชั้นของวัสดุหลายชนิดซึ่งจะหาได้จากส่วนกลับของค่า $R_{รวม}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่แสดงด้านล่าง

$$U_{รวม} = \frac{1}{R_{รวม}} \qquad (5)$$

$$R_{รวม} = R_0 + R_1 + R_2 + ... + R_a + ... + R_n + R_i \qquad (6)$$

$R_{รวม}$ คือ ผลรวมค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุทุกชั้น ((m^2. °C)/W)

R_0 คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอก ((m^2. °C)/W)

R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน ((m^2. °C)/W)

R_a คือ ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร ((m^2. °C)/W)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.11.3 การคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารพักอาศัยโดยรวมในประเทศไทย

กฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552 เรื่อง การกำหนดประเภท หรือขนาดอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กำหนดสมการในการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคารคือ

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{wi}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] n_h + \sum_{i=1}^{n} A_i(LPD_i + EQD_i)n_h - PVE \qquad (7)$$

เมื่อ

LPD_i	คือ	กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
EQD_i	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
$OCCU_i$	คือ	ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร (คน/m^2)
$VENT_i$	คือ	อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ สำหรับพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (l/s)
COP_i	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศขนาดเล็กหรือระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้งานสำหรับพื้นที่ $_i$
A_i	คือ	พื้นที่ส่วนปรับอากาศ i (พื้นที่ $_i$) มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
$OTTV_i$	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
$RTTV_i$	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
A_{wi}	คือ	พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
A_{ri}	คือ	พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
C_l ,C_e ,C_o และ C_v	คือ	สัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศจากไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ผู้ใช้อาคารและการระบายอากาศ

โดยกฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ได้มีการกำหนดให้ชั่วโมงการใช้งานอาคารสำหรับอาคารพักอาศัยเท่ากับ 8760 ชั่วโมง หรือ ตลอด 24 ชั่วโมงใน 1 วัน

งานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2555) ได้มีการสำรวจอาคารพักอาศัยทั้งหมด 13 อาคารและใช้แบบสอบถามการใช้พลังงานในอาคารจากผู้พักอาศัยจำนวน 381 ชุดพบว่าอาคารพักอาศัยไม่ได้ถูกใช้งานตลอดทั้งวัน จึงได้คำนวณค่าการใช้พลังงานจากอาคารอ้างอิงและจำลองค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 เพื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารจริงจากการสำรวจกับค่าการใช้พลังงานที่ผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานรวมตามกฎหมาย ผลจากการเปรียบเทียบพบว่าที่ได้จากการคำนวณตามกฎกระทรวงสูงถึง 257.06 kWh/m^2-year และเมื่อนำค่ามาตรฐานจากกฎหมายมา

จำลองด้วยโปแรแกรม VISUAL DOE 4.0 ทำให้ได้ค่าการใช้พลังงานรวมอาคารเท่ากับ 274.44 kWh/m^2-year ซึ่งมากกว่าค่าการใช้พลังงานจริงเมื่อเทียบกับเมื่อเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจของผู้พักอาศัยจริง จึงเสนอให้มีการปรับแก้ให้สอดคล้องกับชั่วโมงการใช้งานอาคารในส่วนต่างๆจากการสำรวจ คือ

1.) ชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศ จากกฎกระทรวงกำหมดเท่ากับ 8,760 ชั่วโมงต่อปี ปรับเป็น 4,058 ชั่วโมงต่อปี
2.) ชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง จากกฎกระทรวงกำหมดเท่ากับ 8,760 ชั่วโมงต่อปี ปรับเป็น 2,758 ชั่วโมงต่อปี
3.) ชั่งโมงการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า จากกฎกระทรวงกำหนดเท่ากับ 8,760 ชั่วโมงต่อปี ปรับเป็น 3,957 ชั่วโมงต่อปี

งานวิจัยนี้จึงได้เสนอให้มีการปรับแก้สมการการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารใหม่คือ

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{A_{wi(OTTV_i)}}{COP_i} + \frac{A_{wi(RTTV_i)}}{COP_i} + A_i\left\{\frac{130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i}\right\}\right]4058 + \left\{\frac{C_l(LPDx2728) + C_e(EQDx3957)}{COP}\right\}A_i + \sum_{i=1}^{n} A_i\{(LPDx2728) + (EQDx3957)\} - PVE \quad \textbf{(8)}$$

รวมถึงให้ปรับแก้ค่า LPD ใหม่จาก 12 W/m^2เป็น 8.96 W/m^2 ผลการวิจัยพบว่าค่าการใช้พลังงานรวมจากการปรับแก้ชั่วโมงการใช้งานและค่า LPD ลดลงมาเป็น 97.55 kWh/m^2-year และค่าที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ได้เท่ากับ 91.42 kWh/m^2-year ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าจริงจากผู้พักอาศัย ผลของการทบทวนวรรณกรรมจึงสรุปได้ว่าการกำหนดชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมถึงค่า LPD และ EQD มีผลอย่างมากในการคำนวณค่าการใช้พลังงาน

2.12.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา LCA อาคารพักอาศัยในประเทศไทย

งานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล (2560) ได้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ แบ่งเป็นบ้านเดี่ยว บ้านแฝด บ้านแถว และคอนโด ด้วยวิธีการคำนวณจากคู่มือ IPCC (2006) โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตและการใช้งานเมื่อมีการที่มีผลต่อการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบ

อาคาร ผลการทดสอบพบว่าว่าปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากวัสดุกรอบอาคารและจากการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารนั้น เมื่อมีการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารเป็นคอนกรีตมวลลเบา หลังคากระเบื้องดินเผา กระจกตัดแสง และเพิ่มฉนวนใยแก้วหนาสองนิ้วเหนือฝ้าเพดานจะมีปริมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 43.93 แม้ว่าจะทำให้ค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.73 แต่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ร้อยละ 43.93 มีค่าความคุ้มทุนเฉลี่ยใน 4 ปี

กลมชัย แก้วพิกุล (2557) ได้ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารจากการเลือกใช้หลังคาแอาคารพักอาศัย 3 รูปแบบ ได้แก่ หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน หลังคากระเบื้องคอนกรีต และหลังคาแผ่นเหล็กรีดลอน ด้วยวิธีการ IPCC 2007 โดยการใช้เครื่องมือสำเร็จรูป SimaPro 7.3 และแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ปีพ.ศ. 2554 จากผลของการศึกษาพบว่าตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของอาคาร ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการใช้งานจะคิดเป็น 92% ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของวัสดุและเมื่อเปรียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตสูงที่สุด 121,277.85 $kgCO_2e$ รองลงมาเป็นหลังคาแผ่นเหล็กรีดลอย 120,577.70 $kgCO_2e$ หลังคาซีเมนต์ใยหิน 120,089.91 $kgCO_2e$ ตามลำดับ

หทัยรัฐ ลอยประโคน (2557) ได้ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตจากการสร้างบ้านโครงการบ้านเอื้ออาทรในประเทศไทย เพื่อนำเสนอวัสดุก่อสร้างทางเลือกที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขอบเขตของการศึกษาเริ่มตั้งแต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างและกระบวนการก่อสร้างของรูปแบบบ้านที่แตกต่างกันได้แก่ บ้านเดี่ยวสองชั้น บ้านแฝดสองชั้น บ้านแถวสองชั้น และอาคารชุดห้าชั้น คำนวณโดยอ้างอิงตามคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าคอนกรีต ปูนซีเมนต์ และเหล็กเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก การแทนที่ผนังอิฐและผนังคอนกรีตบล็อกด้วยคอนกรีตมวลเบาสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 28, 10.4, 6.4 และ 4.2 สำหรับอาคารชุดห้าชั้น บ้านแถวสองชั้น บ้านแฝดสองชั้น และบ้านเดี่ยวสองชั้น ตามลำดับ

รณิดา ปานทอง (2557) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานของอาคารชุดพักอาศัยในประเทศไทยที่มีรูปแบบ พื้นที่ใช้สอย รวมถึงวัสดุหลักในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป โดยเก็บข้อมูลจากอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวราบจำนวน 6 อาคาร และอาคารชุดพักอาศัยประเภทแนวสูงจำนวน 6 อาคาร ขอบเขตการศึกษาเริ่มตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้าง ข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการก่อสร้างและการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย ผลการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เมื่อปล่อยจากส่วนวัสดุและกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยจากการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุหลักเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป, คอนกรีตมวลเบา และอิฐมอญ เมื่อ

พิจารณาร้อยละการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างพบว่า แหล่งการปล่อยหลักมากกว่าร้อยละ 95 มาจากส่วนของวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 5 มาจากส่วนกระบวนการก่อสร้าง

วนิษา ม่วงเอง (2556) ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการรื้อถอนบ้านพักอาศัยและการจัดการของเสียจากการรื้อถอนโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต ด้วยการใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.1 โดยทำการศึกษาบ้านพักอาศัยโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 150 ตารางเมตร อายุการใช้งาน 50 ปี ซึ่งขอบเขตของการศึกษาประกอบด้วย การรื้อถอนบ้านพักอาศัย การขนส่งของเสียจากการรื้อถอนไปยังสถานที่จัดการของเสียและการจัดการของเสียโดยในส่วนของการจัดการของเสียนั้นได้แบ่ง เป็น 3 ประเภทคือ การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล และการฝังกลบ และทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามวิธี CML baseline (2000) ผลการศึกษาพบว่าการรื้อถอนนั้นมีการใช้แรงงานคนและเครื่องจักรซึ่งมีการใช้น้ำมันดีเซล 2.014 ลิตรต่อการรื้อถอน 1 ตารางเมตร ผลงานวิจัยพบว่าพบว่า การจัดการของเสียนั้นก่อให้เกิดผลกระทบสูงที่สุดร้อยละ 97.31 รองลงมาคือ การขนส่งร้อยละ 2.19 และการรื้อถอนร้อยละ 0.5 ตามลำดับ

สุตาภา ใจแสน (2555) ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากการรื้อถอนและทำลายอาคารจากอาคารอ้างอิงคือบ้านพักอาศัยขนาดพื้นที่ใช้สอย 264 ตร.ม.และอาคารสำนักงานขนาด11,375 ตร.ม.และศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro จากผลการวิจัยพบว่าขั้นตอนการรื้อถอนและการทำลายอาคารบ้านพักอาศัยมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงร้อยละ 0.60 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารและขั้นตอนการรื้อถอนและการทำลายอาคารสำนักงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงร้อยละ 0.12 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยวัสดุที่เป็นประเภทโลหะ อิฐมอญ และคอนกรีตมีผลทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด ดังนั้นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรคำนึงถึงแนวทางการเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือในการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคาร รวมถึงการจัดการเศษวัสดุที่ได้ประสิทธิภาพ และนอกจากนี้การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพโดยการเลือกวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ก็จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เช่นเดียวกัน

นลินี อเนกแสน (2554) ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานในการก่อสร้างบ้านและการพักอาศัยของประเทศไทยที่มีรูปแบบบ้าน พื้นที่ใช้สอย รวมถึงวัสดุในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน จำนวน 42 หลัง โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้างก่อสร้าง และการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย ผลการศึกษาพบว่าบ้าน Precast มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเท่ากับ 237.51 ± 40.08 $kgCO_2e/m^2$ รองลงมาคือ บ้านก่ออิฐมอญ บ้านคอนกรีตมวลเบา และบ้านครึ่งไม้ครึ่งปูนเท่ากับ 215.61 ± 36.09 $kgCO_2e/m^2$ 194.65 ± 26.56 $kgCO_2e/m^2$ และ 4.41 ± 36.91 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดของบ้านพักอาศัยพบว่า บ้านขนาดใหญ่มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตารางเมตรน้อยกว่าบ้านขนาดกลาง

และขนาดเล็ก ซึ่งบ้านขนาดใหญ่มีค่าการปล่อยเท่ากับ 82.79 ± 94.14 $kgCO_2e/m^2$ ในขณะที่บ้านขนาดเล็กและขนาดกลางมีค่าการปล่อยเท่ากับ 133.24 ± 40.61 $kgCO_2e/m^2$ และ 120.35 ± 55.15 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปแบบบ้านพบว่า บ้านไทยประยุกต์มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดเท่ากับ 4.41 ± 36.41 $kgCO_2e/m^2$ รองลงมาคือบ้านสมัยนิยมและบ้านร่วมสมัยมีค่า 240.65 ± 82.86 $kgCO_2e/m^2$ และ 253.09 ± 20.63 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร้อยละการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างพบว่า แหล่งปล่อยหลักมากกว่าร้อยละ 98 มาจากส่วนของวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 2 มาจากส่วนกระบวนการก่อสร้าง

มนตรี บุญนาค (2554) ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตบ้านหนึ่งหลัง และปรับปรุงบ้านให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับบ้านพักอาศัยโครงสร้างคอนกรีตเสริมพื้นที่ประมาณ 170 ตารางเมตร ซึ่งมีวัสดุหลักในการก่อสร้างบ้านได้แก่ คอนกรีต เหล็ก ไม้ อิฐ กระจก ฯลฯ และจากการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมพบว่า วัฏจักรชีวิตของบ้านหนึ่งหลังเกิดก๊าซที่มีผลต่อโลกร้อนทั้งหมด 233,370 $kgCO_2e$ มาจากขั้นตอนการใช้งานมากที่สุดถึง 82 %

กลมทิพย์ อรัญศิริ (2553) ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการสร้างบ้านด้วยวิธีการก่ออิฐ วิธีก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และวิธีก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน โดยศึกษาบ้านที่มีพื้นที่ใช้สอยขนาด 155 ตร.ม. 150 ตร.ม. และ 30 ตร.ม. ตามลำดับ โดยมีขอบเขตการศึกษา 2 ส่วนคือพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตวัสดุก่อนนำมาเข้าสู่กระบวนการก่อสร้างและกระบวนการก่อสร้าง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อพิจารณาก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างบ้านก่ออิฐ บ้านชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และบ้านประกอบชิ้นส่วน มีค่าเท่ากับ 187 $kgCO_2e/m^2$ 110 $kgCO_2e/m^2$ และ 25 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขอบเขตตั้งแต่ Gate1-to-Gate2 พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้างบ้านก่ออิฐ บ้านชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป และบ้านประกอบชิ้นส่วน มีค่าเท่ากับ 5.08 $kgCO_2e/m^2$ 0.65 $kgCO_2e/m^2$ และ 4.19 $kgCO_2e/m^2$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการสร้างบ้านก่ออิฐมีค่าร้อยละ 97 และร้อยละ 3 ตามลำดับ บ้านชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าร้อยละ 99 และร้อยละ 1 ตามลำดับ และบ้านประกอบชิ้นส่วนมีค่าร้อยละ 86 และร้อยละ 14 ตามลำดับ การศึกษาผลของวัสดุผนังที่มีต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้แบบจำลองด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 ทั้ง 3 ชนิดคืออิฐ คอนกรีตและไม้อัดซีเมนต์ มีค่า 9,438 kWh/y 8,234 kWh/y และ 5,494 kWh/y ตามลำดับ

ณัฐกานต์ สมตัว (2553) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารบ้านไทยอนุรักษ์ไทย 4 ภาค ประกอบด้วย บ้านภาคเหนือ บ้านภาคกลาง บ้านภาคใต้ และบ้านภาคอีสาน ที่มีพื้นที่ใช้สอย 242-339 ตร.ม. โดยได้รวบรวมข้อมูลบัญชีรายการวัสดุและวัสดุก่อสร้าง การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารพักอาศัย การใช้พลังงานในการซ่อมแซมบำรุงรักษา ตลอดจนพลังงานที่ใช้และ

ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในช่วงการรื้อถอน และประเมินสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99 เปรียบเทียบกับ BEES 4.0 เพื่อศึกษาความพร้อมและฐานข้อมูลในการประเมิน ผลการวิจัยพบว่า การประเมินด้วย Eco-indicator 99 เป็นวิธีที่ประเมินได้ง่าย รวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ในรายละเอียดได้ในแต่ละขั้นตอน และมีข้อมูลในฐานข้อมูลมากกว่า สำหรับวิธี BEES 4.0 มีจุดเด่นที่สามารถเปรียบเทียบวัสดุที่แตกต่างกันและสามารถประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ จากการประเมินทั้ง 2 วิธีพบว่า บ้านภาคกลางมีสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมดีที่สุด

อรรจน์ เศรษฐบุตร (2552) ได้ทำการเก็บข้อมูลอาคาร 3 ชนิดเพื่อนำมาสร้างเป็นอาคารอ้างอิงโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างและการใช้งานอาคารที่เป็นอาคารพักอาศัย อาคารคอนโดมิเนียม และอาคารสำนักงาน หลังจากนั้นจึงจำลองการใช้พลังงานในอาคารทั้ง 3 ชนิด ด้วยโปรแกรม DOE-2.1E เพื่อนำผลการวิจัยไปใช้เป็นค่ามาตรฐานการใช้พลังงานรายปีของอาคารอ้างอิง เพื่อนำไปการวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอนการใช้งานอาคาร ผลการศึกษาพบว่า ช่วงการผลิตอาคารประเภทคอนโดมิเนียมมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาคืออาคารสำนักงานและบ้านพักอาศัย และเมื่อศึกษาผลการปล่อยคาร์บอนต่อหัวพบว่า บ้านพักอาศัย มีการปล่อยคาร์บอนมากที่สุดรองลงมาคืออาคารสำนักงาน และคอนโดมีเนียม และเมื่อพิจารณาตามพื้นที่ใช้สอยในอาคารพบว่าบ้านพักอาศัยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมากที่สุดตามด้วยคอนโดมิเนียมและอาคารสำนักงาน

อัจฉรียา ชัยยะสมุทร (2551) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้นพื้นที่ใช้สอย 98.64 ตร.ม. โดยทำการรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปริมาณการใช้พลังงานของวัฏจักรชีวิตทั้ง 5 ขั้นตอนของวัสดุผนังทึบ ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัสดุ การผลิตวัสดุ การก่อสร้างอาคาร การใช้งานอาคาร และการรื้อถอนอาคาร โดยการใช้งานอาคารได้คิดเฉพาะการใช้ไฟฟ้าจากภาระเครื่องปรับอากาศ วัสดุผนังทึบที่ใช้ในการวิจัยเป็นผนังทึบทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูน ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังเม็ดโฟมคอนกรีต และผนังฉนวนกันความร้อนภายนอก โดยศึกษาอายุอาคารช่วงระยะเวลา 1 ปี 15 ปี และ 30 ปี ผลการวิจัยพบว่า ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือ 575.92 $kgCO_2$ ผนังซีเมนต์บล็อกฉาบปูนหนามีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 409.15 $kgCO_2$ ผนังก่ออิฐมวลเบามีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 380.08 $kgCO_2$ และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกมีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดคือ 208.60 $kgCO_2$

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร (2550b) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักชีวิตอาคารพักอาศัย ที่มีพื้นที่ใช้สอย 200 ตารางเมตรที่สร้างด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ โครงสร้างไม้ โครงสร้างคอนกรีต และโครงสร้างเหล็ก โดยกำหนดขอบเขตอยู่ของการประเมินตั้งแต่ช่วงการผลิต การก่อสร้าง

การใช้งาน การปรับปรุง จนถึงการทำลาย ตลอดช่วงอายุ 50 ปี โดยการเลือกใช้โปรแกรม SimaPro ผลการวิจัยพบว่า อาคารไม้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงคือเหล็กและคอนกรีต ช่วงการใช้งานเป็นช่วงที่มีสัดส่วนถึงร้อยละ 80

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารประเภทอาคารพักอาศัยดังที่ได้กล่าวมา พบว่าแต่ละงานวิจัยมีวิธีการกำหนดขอบเขตและมีการเลือกใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกันไป ประเภทอาคารที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ บ้านเดี่ยว บ้านแฝด บ้านแถว และ คอนโดมิเนียม อาคารส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นอาคารอ้างอิงคืออาคารที่สร้างด้วยโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก(คสล.) พื้นคสล.ปูน กระเบื้องเซรามิค ผนังก่ออิฐมอญ ผนังยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. กระเบื้องหลังคาคอนกรีต 5 มม. และหน้าต่างกระจกใส 5 มม. จำนวนคนที่อยู่อาศัยมีตั้งแต่ 2-4 คน ค่าที่ได้จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสมในช่วงของการผลิตวัสดุทั้งหมดของอาคารประเภทบ้านเดี่ยวอยู่ในช่วง 82-350.62 $kgCO_2e/m^2$ บ้านแฝดอยู่ในช่วง 107-296 $kgCO_2e/m^2$ ทาวน์เฮ้าส์ 188-343 $kgCO_2e/m^2$ และคอนโดแนวราบอยู่ในช่วง 166-416 $kgCO_2e/m^2$ ค่าที่ได้จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในช่วงของการใช้งานของอาคารบ้านเดี่ยวอยู่ในช่วง 25-46 $kgCO_2e/m^2$-year บ้านแฝดมีค่า 54 $kgCO_2e/m^2$-year ทาวน์เฮ้าส์ 34.30 $kgCO_2e/m^2$-year และคอนโดมีเนียมอยู่ในช่วง 41-80.91 $kgCO_2e/m^2$-year

2.12.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 13 งานวิจัย ทำให้สามารถสรุปปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารพักอาศัยที่เกี่ยวเนื่องมาจากการออกแบบได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ปัจจัยที่มาจากวัสดุ

การกำหนดปริมาณและชนิดของวัสดุนั้นมีผลโดยตรงต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตวัสดุ การใช้พลังงาน การเปลี่ยนวัสดุและการรื้อถอน ดังจะเห็นในงานวิจัยทั้งหมด 13 งานวิจัยที่ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารพักอาศัยที่มีการใช้วัสดุที่ต่างกัน โดยสรุปได้ว่าการใช้คอนกรีตจะทำให้มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (กลมชัย แก้วพิกุล, 2557; กลมทิพย์ อรัญศิริ, 2553; ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2550b; ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2560; ณัฐกานต์ สมตัว, 2553; นลินี เอนกแสน, 2554; มนตรี บุญนาค, 2554; รณิดา ปานทอง, 2557; วนิษา ม่วงเอง, 2556; สุตาภา ใจแสน, 2555; หทัยรัตน์ ลอยประโคน, 2557; อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2552, 2556a; อัจฉรียา ชัยยะสมุทร, 2551) และมี 4 งานวิจัยที่ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารพักอาศัยที่มีพื้นที่ใช้สอยและประเภทของอาคารที่ต่างกัน และสรุปได้ว่าอาคารพักอาศัย

ขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตารางเมตรที่น้อยกว่าอาคารขนาดเล็ก (นลินี เอนกแสน, 2554; รณิดา ปานทอง, 2557; หทัยรัตน์ ลอยประโคน, 2557; อรรจน์ เศรษฐบุตร , 2552) ทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตจากการออกแบบอาคารพักอาศัยในเรื่องของวัสดุ ได้แก่

1. พื้นที่และขนาดของอาคาร
2. การเลือกใช้วัสดุ โดยพิจารณาในเรื่องดังนี้
    2.1 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการผลิต
    2.2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการกำจัดวัสดุ
    2.3 จำนวนครั้งของการเปลี่ยนวัสดุ

2. ปัจจัยที่มาจากการใช้พลังงาน

โดยงานจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าส่งผลถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารถึงร้อย 80-90 (กลมชัย แก้วพิกุล, 2557; ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2550b; มนตรี บุญนาค, 2554) จากการศึกษาและถอดสมการการใช้พลังงานรวม ทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตจากการออกแบบอาคารพักอาศัยที่ส่งผลถึงการใช้พลังงาน ได้แก่

1. การเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและกระจก โดยพิจารณาในเรื่องดังนี้
    1.1 ค่า U
    1.2 ค่า SHGC
    1.2 ค่า SC
2. การกำหนดสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอก
3. ช่วงเวลาการใช้งานระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า
4. สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ
5. การเลือกใช้หลอดไฟ
6. การเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า
7. ทิศทางการวางอาคาร

2.12.6 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารพักอาศัย

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2 แนวทางคือ การออกแบบเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การออกแบบเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ได้กำหนดแนวทางให้สอดคล้องกับปัจจัยส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นและประยุกต์เข้ากับค่ามาตรฐานในเกณฑ์ Ecovillage ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการออกแบบอาคาร

ปัจจัย	แนวทาง
พื้นที่และขนาดของอาคาร	การลดพื้นที่ก่อสร้างอาคาร
พิจารณาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการผลิต	การลดการใช้วัสดุคอนกรีต เลือกใช้วัสดุเขียวหรือฉลากคาร์บอน (5-10% ของมูลค่าวัสดุ)
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการกำจัดวัสดุ	เลือกวัสดุที่สามารถนำมาใช้ใหม่หรือนำไปแปรสภาพเป็นวัสดุที่ใช้ใหม่ได้ (รีไซเคิล)
จำนวนครั้งของการเปลี่ยนวัสดุ	เลือกวัสดุที่มีอายุการใช้งานยาว
ค่า U	เพิ่มฉนวนกันความร้อนกรอบอาคารบริเวณพื้นที่ปรับอากาศและเลือกรูปแบบกรอบอาคารและกระจกที่มีค่า U ไม่เกิน 3 $W/m^2.^oC$
ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)	เลือกกระจกที่มีค่า SHGC รวมที่อยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 0.3-0.6
การกำหนดสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอก	กำหนดสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างไม่เกิน 50% หรืออยู่ระหว่าง 30-45%
สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ	กำหนดสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศไม่ต่ำกว่า EER>=11 และมีพื้นที่ปรับอากาศไม่เกิน 60 %
การเลือกใช้หลอดไฟ	LPD อยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 7.5-12 W/m2 หรือมีจำนวนชุดโคมประหยัดพลังงานมากกว่า 50%
การเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า	เลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่คิดฉลากเบอร์ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดังนี้

2.1. การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

กฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552 ได้กำหนดให้ค่าพลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารได้ โดยค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแสงทิตย์ให้คิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตโดยเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) จากสมการ

$$PVE = \frac{(9)(365)(A_{\text{mod}})(\eta_{sys})(ESR_{PV})}{1000} \quad \textbf{(9)}$$

เมื่อ

PVE	คือ	คาพลังงานไฟฟาเฉลี่ยรายปที่ผลิตโดยเซลลแสงอาทิตย มีหนวยเปน กิโลวัตตชั่วโมง (kWh)
(9)(365)	คือ	จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่เซลลแสงอาทิตยสามารถผลิตกระแสไฟฟาไดใน 1 ป โดย (9) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่มีแสงอาทิตยใน 1 วัน และ (365) คือ จำนวนวันใน 1 ป
A_{mod}	คือ	พื้นที่รวมทั้งหมดของแผงเซลลแสงอาทิตยที่ติดตั้ง มีหนวยเปนตารางเมตร (m^2)
η_{sys}	คือ	ประสิทธิภาพรวมของระบบ
ESR_{PV}		คารังสีอาทิตยที่มีผลตอการถายเทความรอนที่มุมเอียงและทิศทางที่ตรงกับการติดตั้งแผงเซลลแสงอาทิตย มีหนวยเปนวัตตตอตารางเมตร (W/m2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2. การดูดซับคาร์บอน

การทบทวนวรรณกรรมสรุปได้ว่าการใช้วัสดุไม้มีส่วนช่วยในการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 95.69 $kgCO_2e/m^2$ หรือร้อยละ 49 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากส่วนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง (นลินี อเนกแสน, 2554) และการปลูกต้นไม้เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ งานวิจัยของสำนักสิ่งแวดล้อมพบว่าค่าเฉลี่ยการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ยืนต้นโตเต็มที่ 1 ต้น มีค่าประมาณ 9-15 กิโลกรัมต่อปี

อาคารคาร์บอนต่ำเป็นอาคารที่มีการนำวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารมาใช้ระหว่างการออกแบบ การประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารเป็นการดำเนินการภายใต้มาตรฐาน ISO 14040-14044 โดยมีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนหลักคือการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต โดยโดยจากการศึกษา

เป้าหมายหลักในการใช้ BIM ร่วมกับการประเมินวัฏจักรอาคารในงานวิจัยนี้ จะใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการเลือกวัสดุและการออกแบบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงเริ่มต้นของกา รออกแบบ 2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยปัจจุบันฐานข้อมูลที่นิยมใช้ประเทศไทยประกอบไปด้วยฐานข้อมูลของ MTEC, ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro และฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป GaBi โดยข้อมูลวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะมีขอบเขตการเก็บข้อมูลที่ Cradle to Gate ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ใช้สูตรของ IPCC (2006) โดยระดับการใช้ข้อมูลที่ Tier 2 และได้มีการนำสูตรการคำนวณอภิญญา บุญมา (2555) และสมการใน Ecovillage ที่พัฒนามาจากงานวิจัยของดนุสรณ์ บัวขจร (2554) และมาใช้ในการหาค่าการใช้พลังงานในช่วงการใช้พลังงาน 3. การประเมินผลกระทบได้ประเมินค่าผลกระทบออกมาเป็นค่า GWP 4. การแปลผลการศึกษาได้มีการเปรียบเทียบค่า GWP กับอาคารมาตรฐานของอาคารพักอาศัยในประเทศไทย โดยได้ศึกษางานวิจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัยเพื่อนำมากำหนดค่าตั้งต้นและค่ามาตรฐานของเครื่องมือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การดำเนินงานและการเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประเภทการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development) ที่มีวัตถุประสงค์ในการจัดทำเครื่องมือบนแบบจำลองสารสนเทศสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารประเภทอาคารพักอาศัย ตั้งแต่ช่วงแรกของการออกแบบ

3.1 แผนการดำเนินการ

3.1.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร กรณีศึกษาอาคารพักอาศัย โดยทบทวนวรรณกรรม คู่มือ งานวิจัยที่ผ่านมา และปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ

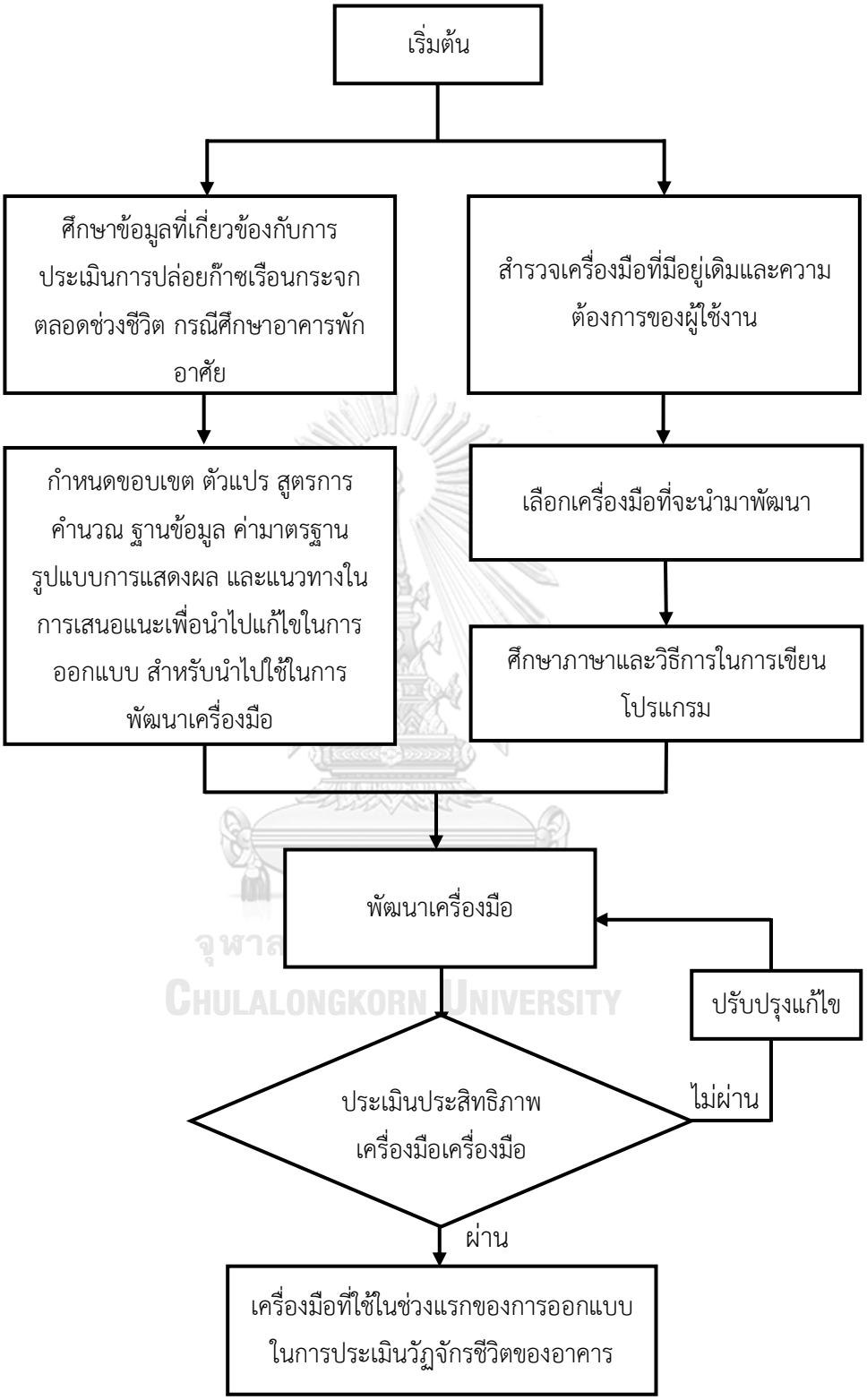
3.1.2 สำรวจความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อเป็นหาแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ สำรวจและทดลองใช้เครื่องมือที่มีอยู่เดิมทั้งในท้องตลาดและงานวิจัยเพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย พร้อมทั้งเลือกโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือและศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรม

3.1.3 กำหนดข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ ได้แก่ ขอบเขต ตัวแปร สูตรการคำนวณ ฐานข้อมูล ค่ามาตรฐาน รูปแบบการแสดงผล และแนวทางในการเสนอแนะเพื่อนำไปแก้ไขในการออกแบบ

3.1.4 พัฒนาเครื่องมือโดยใช้โปรแกรมเสริม Dynamo

3.1.5 ประเมินประสิทธิภาพเครื่องมือ โดยแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ การประเมินประสิทธิภาพจากเครื่องมือและการประเมินประสิทธิภาพจากผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.1 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เลือกกลุ่มตัวอย่างจากการสำรวจความต้องการ โดยกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจะเป็นผู้ที่มีสายงานหรือมีประสบการณ์การทำงานในเรื่องอาคารยั่งยืนและสามารถใช้ BIM ได้ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

3.2.1 กลุ่มตัวอย่างนักวิจัยและที่ปรึกษาอาคารเขียว

เป็นนักวิจัยหรือที่ปรึกษาอาคารเขียวที่มีความรู้ความสามารถในการให้คำปรึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลอาคารเขียวหรืออาคารยั่งยืน มีประสบการณ์ในการทำงานทางด้านอาคารยั่งยืน หรือมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร

3.2.2 กลุ่มตัวอย่างสถาปนิกที่เน้นงานอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

เป็นสถาปนิกที่มีประสบการณ์การทำงานทางด้านการออกแบบอาคารทางด้านงานอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมหรืออาคารพักอาศัยยั่งยืน และมีความสามารถในการใช้โปรแกรม Autodesk Revit

3.3 ความต้องการของผู้ใช้เครื่องมือ

สำรวจความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ได้แก่ ปรึกษาอาคารยั่งยืน นักวิจัยอาคารยั่งยืน และสถาปนิกที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอาคารยั่งยืนจากบริษัทที่ปรึกษาอาคารเขียว บริษัทสถาปนิก หน่วยวิจัยอาคารยั่งยืนของอสังหาริมทรัพย์ หน่วยวิจัยมหาวิทยาลัย และนักศึกษาปริญญาโท โดยการใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ภายหลังจากการทำแบบสอบถาม โดยจะแบ่งเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ข้อมูลของผู้ทำแบบสอบถาม ประสบการณ์ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก วัตถุประสงค์ในการใช้เครื่องมือ รูปแบบและผลลัพธ์เครื่องมือ และข้อเสนอแนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

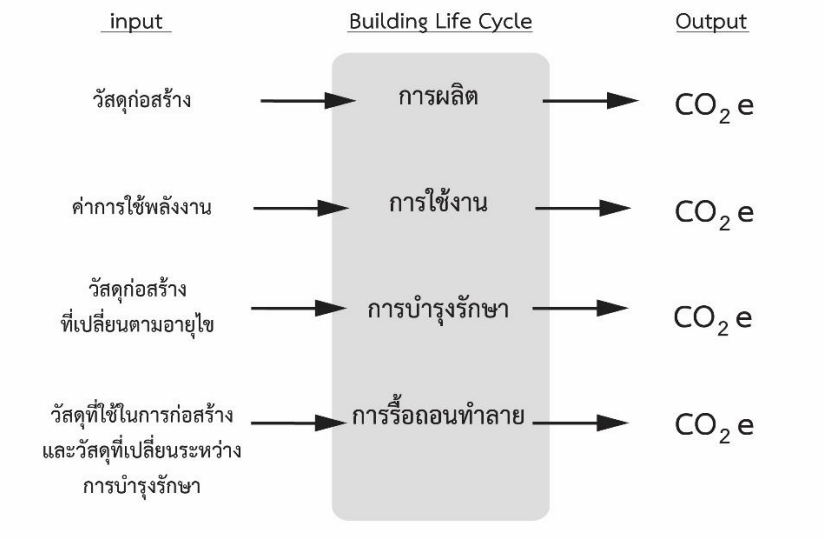
3.4 การกำหนดข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ

3.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือนี้ใช้สำหรับประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงแรกของการออกแบบ โดยเน้นไปที่การศึกษาผลกระทบที่มาจากการเลือกใช้วัสดุเป็นหลัก ดังนั้นการประเมินด้วยเครื่องมือนี้จึงเป็นการประเมินอย่างคร่าวๆด้วยข้อมูลที่หาได้ในช่วงการออกแบบขั้นต้น เพื่อให้เห็นภาพรวมของผลกระทบเป็นผลมาจากการตัดสินใจในการออกแบบ

โดยขอบเขตของเครื่องมือจะประเมินผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัสดุ การใช้งานวัสดุ การเปลี่ยนวัสดุระหว่างการบำรุงรักษา และการกำจัดวัสดุภายหลังการรื้อถอน (Cradle to Grave) ไม่รวมการขนส่ง การก่อสร้างอาคาร และการซ่อมแซม เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ส่งผลถึงค่าผลกระทบ

โดยรวมตลอดช่วงชีวิตอาคารน้อยและวิธีการที่ใช้ในขั้นตอนมักเปลี่ยนไปตามเทคโนโลยีและยุคสมัย โดยในช่วงการผลิต การบำรุงรักษา และการทำลายวัสดุ จะประเมินจากวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ เสา คาน พื้น ผนัง หลังคา ฝ้าเพดาน ประตู และหน้าต่าง ไม่รวมงานระบบปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง และช่วงการใช้งานอาคารจะประเมินจากค่าการใช้พลังงานที่เป็นผลมาจากการออกแบบ โดยจะดึงข้อมูลเฉพาะของผนังและหลังคา ส่วนระบบอื่นๆ ที่ใช้ในการคำนวณเช่น ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศจะเป็นการกรอกค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อย่างง่าย โดยผลที่ได้จะออกมาในหน่วย $kgCO_2e$ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขอบเขตในการประเมินการวัฏจักรชีวิตของเครื่องมือที่จะพัฒนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.2 กำหนดวิธีการคำนวณ

คำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารในหน่วย $kgCO_2e$ เพื่อนำไปสู่การหาค่า GWP ตามวิธีการของ IPCC (2012) ในรูปแบบของสมการดังนี้

Greenhouse Gases (GHG) = Activity Data X Emission Factor (EF) **(1)**

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าสูตรจาก IPCC (2006) มีความสอดคล้องกับวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารตามวิธีการของ DGNB Manual handbook (2017) ทำให้ได้สูตรที่ใช้เป็นแนวทางในสร้างเครื่องมือการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สูตรประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือในงานวิจัยนี้ (ที่มา : ผู้วิจัย)

ช่วงชีวิตของอาคาร	**สูตรการคำนวณ**
การผลิต	ปริมาณของวัสดุ x ค่า EF จากการผลิตวัสดุ
การใช้งาน	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร x ค่าEFจากการผลิตไฟฟ้า
การบำรุงรักษา (การเปลี่ยนวัสดุ)	ปริมาณของวัสดุ x ค่า EF จากการผลิตวัสดุ x จำนวนครั้งของการเปลี่ยนวัสดุตลอดช่วงชีวิต
รื้อถอนทำลาย	(ปริมาณของวัสดุในช่วงของการผลิต + ปริมาณของวัสดุที่เปลี่ยนระหว่างการบำรุงรักษา) x ค่าEF จากการกำจัดวัสดุจากการรื้อถอนทำลาย

ส่วนที่สองคือการหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานระหว่างช่วงการเปิดใช้งานอาคาร เพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการใช้งานของเครื่องมือนี้ ในการจำลองการใช้พลังงาน (Energy simulation) ได้มีการใช้สูตรคำนวณหาค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทยโดยเฉพาะมาใช้ ประกอบด้วยสูตรคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ของเกณฑ์ Ecovillage (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2556b) ที่ได้พัฒนาโดยดนุสรณ์ บัวขจร (2554) ดังนี้

1.สมการสำหรับอาคารแนวราบ

$$OTTVh = 4.98(Uw)(1-WWR) + 0.36(Ug)(WWR) + 97.45(WWR)(SHGC_{รวม}) \quad (2)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.สมการสำหรับอาคารแนวดิ่ง

$$OTTVc = 5.43(Uw)(1-WWR) + 0.97(Ug)(WWR) + 91.40(WWR)(SHGC_{รวม}) \quad (3)$$

โดยเมื่อใช้สมการนี้จะไม่มีการคำนึงถึงทิศ สีของผนัง

สำหรับการเลือกใช้สมการการหาค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ในเครื่องมือนี้ได้ใช้สมการที่ดัดแปลงมาจากกฎกระทรวงจากงานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2012) ที่ได้มาจากการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานและค่าการใช้พลังงานอาคารพักอาศัยจริงในประเทศไทย โดยในงานวิจัยได้มีการนำค่าที่ได้จากการสำรวจมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE และค่าที่ได้จากการคำนวณค่าการใช้พลังงานตามประกาศกระทรวงพลังงาน พบว่าเป็นสมการที่มีความแม่นยำตามสมการดังนี้

$$= \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{wi}(RTTV_i)}{COP_i} \left\{ \frac{130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] 4058 + \left\{ \frac{C_l(LPDx2728) + C_e(EQDx3957)}{COP_i} \right\} A_i + \sum_{i=1}^{n} \{(LPDx2728) + (EQDx3957)\} A_i - PVE \quad (8)$$

อย่างไรก็ตามได้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้สามารถแก้ไขช่วงเวลาการใช้งานระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงนำตัวแปร n_a, n_l และ n_e มาแทนค่าชั่วโมงการใช้งานของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าตามลำดับ ทำให้ได้ออกมาเป็นสมการดังนี้

$$= \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{wi}(RTTV_i)}{COP_i} \left\{ \frac{130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] n_a + \left\{ \frac{C_l(LPDxn_l) + C_e(EQDxn_e)}{COP_i} \right\} A_i + \sum_{i=1}^{n} \{(LPDxn_l) + (EQDxn_e)\} A_i - PVE \quad (10)$$

เมื่อ

n_a	คือ	ชั่วโมงการใช้งานของระบบปรับอากาศ
n_l	คือ	ชั่วโมงการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
n_e	คือ	ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
LPD_i	คือ	กำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
EQD_i	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ต่อหน่วยพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
$OCCU_i$	คือ	ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร (คน/m^2)
$VENT_i$	คือ	อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ สำหรับพื้นที่ $_i$ มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (l/s)
COP_i	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศขนาดเล็กหรือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้งานสำหรับพื้นที่ $_i$

A_i	คือ	พื้นที่อาคารไม่รวมที่จอดรถ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
A_{wi}	คือ	พื้นที่ส่วนปรับอากาศ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
$OTTV_i$	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
$RTTV_i$	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
A_{wi}	คือ	พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
A_{ri}	คือ	พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
C_l ,C_e ,C_o และ C_v	คือ	สัมประสิทธิ์สัดส่วนความร้อนที่เป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศจากไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ผู้ใช้อาคารและการระบายอากาศ

3.4.3 กำหนดฐานข้อมูล

การศึกษานี้จะใช้ข้อมูลอ้างอิงจากเอกสารงานวิจัย ผู้ผลิต ฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ได้แก่ ค่า Emission Factor ของ TGO และฐานข้อมูล LCI ของหน่วยงาน MTEC และนำฐานข้อมูลจากต่างประเทศที่เป็นที่ยอมรับในงานวิจัยของประเทศไทยเข้ามาใช้ร่วมด้วย ได้แก่ ฐานข้อมูลของ Inventory of Carbon & Energy (ICE) ของ University of Bath ฐานข้อมูล ecoinvent และฐานข้อมูล GaBi

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยค่าที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าการใช้พลังงาน เช่น ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Density) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity) และค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific Heat) รวมถึงรายการวัสดุตั้งต้นได้ใช้ข้อมูลตาม BEC

3.4.4 กำหนดค่า Default และค่า Baseline

การกำหนดค่า Default เบื้องต้นจะทำให้การคำนวณทำได้ง่ายขึ้นสำหรับผู้ที่ไม่ต้องการลงรายละเอียดในการตั้งค่า โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า Default ที่นอกเหนือจากค่าการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุเปลือกอาคารให้มีค่าเท่ากับค่า Baseline เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลลัพธ์จากการปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารที่ชัดเจน โดยผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนค่า Default นี้ได้ใน

ภายหลัง โดยค่า Default นี้ได้มาจากค่าที่ได้สำรวจผู้ใช้งานอาคารพักอาศัยจริงในงานวิจัยที่ผ่านมา และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอาคารพักอาศัยของไทย ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าที่ได้จากการสำรวจในงานวิจัยและมาตรฐานอาคาร (ที่มา: ผู้วิจัย)

	หน่วย	Literature	อรรจน์ (2552)	กมลทิพย์ (2553)	อภิญญา (2555)	ณัฐวิกา* (2559)	Standard	BEC (2552)	Ecovillage (2556)
จำนวนผู้ใช้งานอาคาร	คน		4	3	2	2		-	-
LPD	W/m^2		7.53	12.7	8.13	4.71		12	7.5
EQD	W/m^2		8.61	2.64	8.96	3.56		-	-
COP	-		3.22	-	3.22	-		3.22	3.22
VENT	$l/s\text{-}m^2$		-	-	0.25	-		-	-
OTTV	W/m^2		-	-	34	-		30	35
RTTV	W/m^2		-	-	17	-		10	15

*หมายเหตุ : ข้อมูลของงานวิจัยของณัฐวิภาระบุเพียงปริมาณเครื่องใช้ไฟฟ้าและหลอดไฟ โดยผู้วิจัยได้นำมาคำนวณหาค่าเอง

งานวิจัยนี้ได้เลือกค่า LPD และ EQD จากงานวิจัยของอรรจน์ เศรษฐบุตร (2552) เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่มีการเก็บข้อมูลรายอาคารมากที่สุดและมีค่าที่สอดคล้องกับเกณฑ์ Ecovillage ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศในแต่ละงานวิจัยมีค่าที่สอดคล้องกันจึงเลือกใช้ที่ค่า COP 3.22 ค่าอัตราการระบายอากาศเลือกใช้ค่า 0.25 $l/s\text{-}m^2$ ของงานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2555) ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ASHRAE 62.1 รวมถึงช่วงเวลาการใช้งานได้อ้างอิงถึงงานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2555) เช่นกันเนื่องจากงานวิจัยนี้มีการให้นัยสำคัญกับค่าที่ได้ทำการสำรวจโดยกำหนดให้ระบบปรับอากาศมีการใช้งาน 4,058 ชั่วโมงต่อปี ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการใช้งาน 2,728 ชั่วโมงต่อปี และการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ามีชั่วโมงการใช้งาน 3,957 ชั่วโมงต่อปี

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าในแต่ละงานวิจัยมักจะให้อาคารที่ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นกระเบื้องเซรามิค ผนังก่ออิฐมอญ ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หลังคาคอนกรีต และหน้าต่างกระจกเป็นอาคารอ้างอิงการประเมิน โดยจากการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารในแต่ละงานวิจัยสำหรับอาคารที่สร้างด้วยผนังก่ออิฐมอญพบว่า ผลของ

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของช่วงการผลิตขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลสารขาเข้าและวิธีการที่ใช้ในการคำนวณ โดยเมื่อคิดจากผลการวิจัยที่มีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้คียงกันพบว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตวัสดุของบ้านเดี่ยวจะอยู่ในช่วง 93-350 $kgCO_2e/sqm$ หรือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 189 $kgCO_2e/m^2$ บ้านแฝดจะมีค่าอยู่ในช่วง 108-270 $kgCO_2e/m^2$ หรือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 188.315 $kgCO_2e/m^2$ บ้านแฝดจะมีค่าอยู่ในช่วง 118.7-343.88 $kgCO_2e/m^2$ หรือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 231.29 $kgCO_2e/m^2$ อาคารคอนโดมิเนียมจะมีค่าอยู่ในช่วง 18-416 $kgCO_2e/m^2$ หรือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 293.68 $kgCO_2e/m^2$ สำหรับความแตกต่างของผลของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะของการเก็บข้อมูลและระดับความสะดวกสบายของอาคาร เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า ขนาดพื้นที่ใช้สอยอาคาร ช่วงการใช้งานบ้านเดี่ยวมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 16-46 $kgCO_2e/m^2$ /year หรือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 32.67 $kgCO_2e/m^2$ /year ช่วงการใช้งานอาคารบ้านแถวและบ้านแฝดมีเพียงงานวิจัยเดียว โดยช่วงการใช้งานบ้านแฝดมีค่าอยู่ที่ 53.89 $kgCO_2e/m^2$ /year บ้านแถวค่าอยู่ที่ 34.3 $kgCO_2e/m^2$ /year และคอนโดมิเนียมมีค่าอยู่ที่ช่วง 41.85-80.19 $kgCO_2e/m^2$/year มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 60.89 $kgCO_2e/m^2$ /year โดยข้อมูลที่ได้จากากรทบทวนวรรณกรรมที่ได้ในช่วงการรื้อถอนและการกำจัดวัสดุก็มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามความละเอียดของสารขาเข้าเช่นกัน ทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันโดยค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการรื้อถอนมีค่าตั้งแต่ 0.003,1.7 และ9.8 $kgCO_2e/m^2$ และค่าที่ได้จากการกำจัดวัสดุมีค่า 0.19 และ 13.31 $kgCO_2e/m^2$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของแต่ละช่วงชีวิตของอาคารที่ได้จากงานวิจัย (ที่มา: ผู้วิจัย)

งานวิจัย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ($kgCO_2e/m^2$)			
	ช่วงการผลิต	ช่วงการใช้งาน	ช่วงการรื้อถอน	ช่วงการกำจัดวัสดุ
บ้านเดี่ยว				
อรรจน์ (2552)	1055.00	46.33	-	-
กมลทิพย์ (2553)	187.00	-	-	-
นลินี (2554)	212.33	25.05	-	-
หทัยรัตน์ (2557)	93.21	-	-	-
กมลชัย (2557)	57.03	16	-	-
ณัฐวิภา (2559)	350.62	43.30	-	-
วนิษา (2556)	-	-	0.01	0.19
สุตาภา (2555)	-	-	9.89	
มนตรี (2554)	233.50	-	1.74	13.31
บ้านแฝด				
หทัยรัตน์ (2557)	107.52	-	-	-
ณัฐวิภา (2559)	269.11	53.89	-	-
บ้านแถว				
หทัยรัตน์ (2557)	118.70	-	-	-
ณัฐวิภา (2559)	343.88	34.30	-	-
คอนโดมิเนียม				
อรรจน์ (2552)	416.00	80.19	-	-
ณัฐวิภา (2559)	409.08	60.64	-	-
รณิดา (2557)	166.99	41.85	-	-
หทัยรัตน์ (2557)	182.65	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาพบว่างานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) มีวิธีการ การใช้ฐานข้อมูลและการพิจารณาสารขาเข้าที่ใกล้เคียงกับเครื่องมือที่จะพัฒนาและจากการทบทวนวรรณกรรมค่าการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากงานวิจัยนี้ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากงานวิจัยอื่น งานวิจัยนี้จึงได้นำค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการผลิตและรายการวัสดุที่ได้จากจากงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) มาพัฒนาต่อโดยการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนและการกำจัดวัสดุเพิ่มด้วยเครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้

3.4.5 กำหนดรูปแบบขององค์ประกอบอาคาร

องค์ประกอบหลักของอาคารประกอบด้วยพื้น ผนัง ประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดาน และหลังคา การเลือกใช้วัสดุที่มีอายุการใช้งานยาวนานและสามารถนำไปรีไซเคิลได้ก็จะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยและมักใช้เป็นอาคารอ้างอิง ได้แก่ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นกระเบื้องเซรามิค ผนังก่ออิฐมอญ ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หลังคาคอนกรีตลอนคู่หนา 5 มม. และหน้าต่างกระจกใส 5 มม. (ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559; รณิดา ปานทอง, 2557; หทัยรัฐ ลอยประโคน, 2557; กมลชัย แก้วพิกุล, 2557; อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2556, 2552; นาลินี เอนกแสน, 2554 และกมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553)

วัสดุในท้องตลาดที่ใช้ในอาคารพักอาศัยและชถูกนำมาใช้ในการประเมิน LCA สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทยมีดังนี้ สำหรับโครงสร้าง ได้แก่ โครงสร้างปูน โครงสร้างไม้ และโครงสร้างครึ่งไม้ครึ่งปูน, สำหรับผนัง ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา ผนังพรีคาสท์ ไม้ (นลินี อเนกแสน,2554; กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553 และรณิดา ปานทอง, 2557) สำหรับประตูและหน้าต่าง ได้แก่ วงกบไม้เนื้อแข็ง อะลูมิเนียม บานไม้เนื้อแข็ง บานไฟเบอร์บอร์ด (High Density Fiber; HDF) บานพลาสติกสังเคราะห์ (PVC) กระจกใส กระจกสี กระจกสะท้อนแสง กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-e glass) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulating glass) และกระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated glass) สำหรับวัสดุฉนวน ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber) และฉนวนเซลลูโลส (ทำจากการนำเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่) สำหรับวัสดุหลังคา ได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องดินเผา กระเบื้องหลังคายางมะตอย (Asphalt shingle roof) สำหรับวัสดุพื้น ได้แก่ พื้นไม้ พื้นกระเบื้อง พื้นหินอ่อน พื้นหินแกรนิต และพื้นคอนกรีต สำหรับวัสดุฝ้า ได้แก่ ฝ้ายิปซัมบอร์ด และฝ้าซีเมนต์บอร์ดแผ่นเรียบ (ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559, กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และอรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550 งานวิจัยนี้จึงได้สรุปรายการรูปแบบขององค์ประกอบของอาคารพักอาศัยที่มักถูกนำมาใช้ในการทำ LCA ตารางที่ 3.4 เพื่อที่จะนำมาสร้าง Type และ Family ใน Revit ที่ผู้ใช้เครื่องมือสามารถเลือกไปใช้ได้ง่าย โดยไม่ต้องเข้าไปตั้งค่าในรายละเอียด

ตารางที่ 3.4 รายการรูปแบบขององค์ประกอบของอาคารพักอาศัย (ที่มา: ผู้วิจัย)

องค์ประกอบ	วัสดุ
พื้น	พื้นคอนกรีต พื้นหินแกรนิต พื้นหินอ่อน พื้นกระเบื้อง พื้นไม้
ผนัง	อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา ผนังพรีคาสท์ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนเซลลูโลส ไม้
หลังคา	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต กระเบื้องดินเผา กระเบื้องหลังคายางมะตอย
ฝ้าเพดาน	ฝ้าซีเมนต์บอร์ดแผ่นเรียบ ฝ้ายิปซัมบอร์ด
ประตู	วงกบไม้เนื้อแข็ง อะลูมิเนียม บานไม้เนื้อแข็ง บานไฟเบอร์บอร์ด บานพลาสติกสังเคราะห์
หน้าต่าง	กระจกใส กระจกสี กระจกสะท้อนแสง กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสี กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกนิรภัยหลายชั้น วงกบไม้เนื้อแข็ง อะลูมิเนียม บานไม้เนื้อแข็ง บานไฟเบอร์บอร์ด บานพลาสติกสังเคราะห์
โครงสร้าง	โครงสร้างปูน โครงสร้างไม้ และโครงสร้างครึ่งไม้ครึ่งปูน

3.4.6 กำหนดข้อเสนอแนะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร

กำหนดให้แบ่งข้อเสนอแนะเป็นสองส่วนคือ

1. แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารพักอาศัยให้ใช้ข้อมูลตามตารางที่ 2.4
2. การชดเชยก๊าซเรือนกระจก ได้มีการแนะนำไว้ 2 แนวทางดังนี้

2.1 การดูดซับคาร์บอน โดยการใช้วัสดุไม้และปลูกไม้ยืนต้น โดยการแสดงผลของงานวิจัยนี้ได้มีการคำนวณจำนวนต้นไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เท่ากับค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคารทั้งหมด โดยกำหนดให้การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ยืนต้นโตเต็มที่ 1 ต้น เท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อปี จึงได้เป็นสมการดังนี้

จำนวนต้นไม้ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารต่อปี/15 **(11)**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

กฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552 ได้กำหนดให้ค่าพลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สมารถนำไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารได้ โดยค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแสงทิตย์ให้คิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตโดยเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) จากสมการ

$$PVE = \frac{(9)(365)(A_{\mathrm{mod}})(\eta_{sys})(ESR_{PV})}{1000} \quad \textbf{(9)}$$

โดยกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพรวมของระบบเท่ากับ 20% ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มีผลตอการถายเทความรอนเป็นค่า default ของหลังคาเอียง 0 องศาที่ 191.44 W/m^2 โดยได้คำนวณทั้งหมด 3 กรณี

1. คำนวณจากพื้นที่หลังคาเพื่อหาปริมาณไฟฟ้าที่ติดจาก PV ที่ติดตั้งบริเวณหลังคา (PV rooftop) โดยได้นำเอาพื้นที่หลังคาคูณด้วย 0.7 เพื่อหักลบพื้นที่สำหรับการบำรุงรักษาแล้วนำมาคำนวณตามสมการที่ 6
2. คำนวณจากการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร เพื่อหาพื้นที่ที่จะต้องใช้วาง PV เพื่อให้ได้อาคารที่มีค่าพลังงานเป็นศูนย์
3. กรอกพื้นที่สำหรับวาง PV แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่หักออกจากค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร

3.5. การพัฒนาเครื่องมือ

ในการพัฒนาเครื่องมือได้เลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit และโปรแกรมเสริม (add-ins) ของ Revit ที่ชื่อว่า Dynamo โดยการพัฒนาให้ Revit เป็นตัวป้อนค่าข้อมูล Dynamo จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการจัดการกับข้อมูลปริมาณมากโดยการดึงข้อมูลปริมาณและคุณสมบัติต่างๆ มาทำการคำนวณและส่งกลับไปยัง BIM model และ Excel เพื่อให้ Excel ช่วยในการจัดการกับข้อมูลและแปลงเป็นภาพ (Data Visualization) โดยเครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ส่วนดังนี้ 1. การพัฒนา Revit Template 2.การพัฒนาส่วนประมวลผลบนโปรแกรมเสริม Dynamo และ 3. การพัฒนาการแสดงผลบน Excel

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.1. การพัฒนา Template บนโปรแกรม Autodesk Revit

Template คือรูปแบบหรือแบบฟอร์มของหน้าต่างที่ใช้ในการทำงานที่ยังไม่มีการใส่เนื้อหาเข้าไป งานวิจัยได้นำ Template ที่จัดทำโดยสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ ชื่อว่า ASA Template for Autodesk Revit 2017 ซึ่งเป็น Template ที่เป็นมาตรฐานของไทยมาพัฒนาต่อ

3.5.1.1 การสร้าง Parameter

จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยนี้ได้สรุปตัวแปรจากสมการที่ต้องใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารออกมาในตารางที่ 3.5 เพื่อนำมาพิจารณาในการเพิ่ม (Add) Parameter ใน Revit Template

ตารางที่ 3.5 Parameter จากสูตรการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ช่วงประเมิน	Parameter	หน่วย	สถานะ*
ช่วงการผลิต	พื้นที่ (Area)	m^2	√
	ปริมาตร (Volume)	m^3	√
	ความหนาแน่น	kg/m^3	√
	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสม (Embodied Greenhouse Gas)	$kgCO_2e$	•
ช่วงการใช้งาน	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity, K)	$W/m^2.°C$	√
	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ส่งผ่านกระจก (SHGC)	-	√
	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC)	-	√
	ความหนาของวัสดุ	m	√
	ความหนาแน่น	kg/m^3	√
	ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific Heat)	J/(g·°C)	√
	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ	$(m^2/°C)/W$	•
	พื้นที่ปรับอากาศ	m^2	√
	การเลือกผนังที่ใช้ในการคำนวณ OTTV	yes/no	•

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)	W/m^2	•
	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศ (COP)	-	•
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ (EQD)	W/m^2	•
	ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (OCCU)	$person/m^2$	•
	อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ (VENT)	(l/s)	•
	ช่วงเวลาใช้งานระบบปรับอากาศ	hours/ year	•
	ช่วงเวลาใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	hours/ year	•
	ช่วงเวลาใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	hours/ year	•
	ค่า RTTV	W/m^2	•
	ค่า OTTV	W/m^2	•
	ค่าการใช้พลังงาน	kW/m^2	•
ช่วงการบำรุงรักษา	อายุของวัสดุ (Material Life Expectancy)	Year	•
	อายุอาคาร	Year	•
ช่วงการรื้อถอนทำลาย	วิธีการกำจัดวัสดุ	-	•
	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงของการรื้อถอน	$kgCO_2e$	•

*หมายเหตุ: ✓ หมายถึง Parameter ที่มีในตัวโปรแกรม Revit ไม่รวมหน้าต่างการจำลองค่าการใช้พลังงานที่มากับตัว Revit • หมายถึง Parameter ที่จะเพิ่มขึ้นมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยในโปรแกรม Revit สามารถเลือกใช้ Parameter ได้ทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

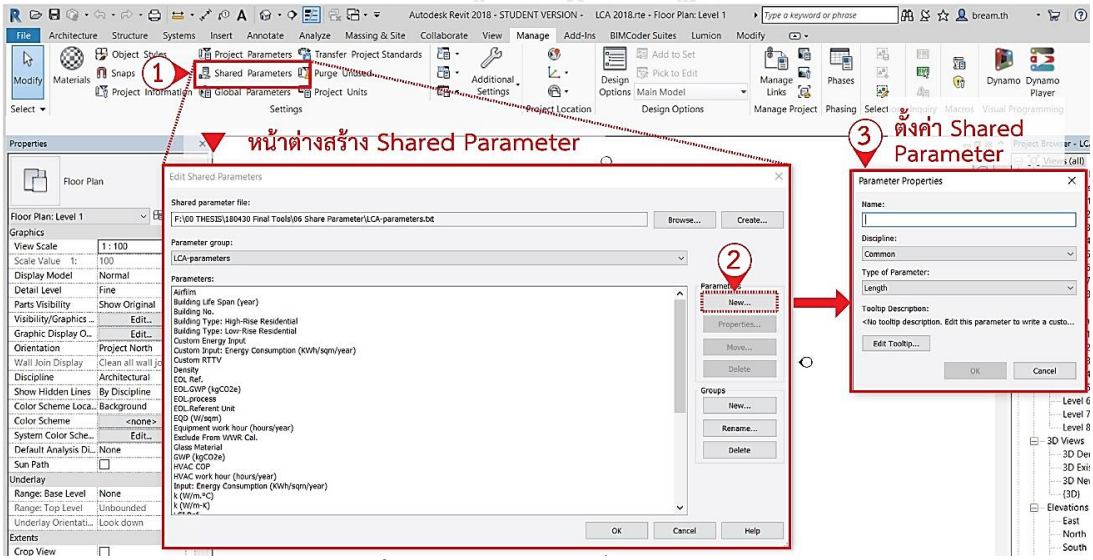
1.Project Parameter เป็น Parameter ที่เหมาะสำหรับใช้กับ Project file เดียว ข้อมูลของ Parameter ไม่สามารถใช้กับ โครงการอื่นได้ Project Parameter สามารถแสดงผลในหน้า (View) ของตารางรายการบัญชี (Schedule) เหมาะสำหรับใช้แบ่งประเภท และการกรองข้อมูลในโครงการ

2.Family Parameter เป็น Parameter ที่ใช้ในการควบคุมตัวแปรและค่าต่างๆของ Family สามารถได้ใช้กับการทำ Family เท่านั้น

3.Shared Parameter เป็น Parameter ที่สร้างขึ้นโดยใช้ที่เก็บภายนอก Project file เหมาะสำหรับใช้เพิ่ม Parameter ใน Project file และ Family หลายๆไฟล์และการส่งผ่านข้อมูลไปยังเครื่องมืออื่น โดยเมื่อมีการเพิ่ม Shared Parameter จะแสดงบนหน้าต่างในรูปแบบเดียวกับ Family Parameter หรือ Project Parameter และสามารถแสดงค่าใน Schedule ได้

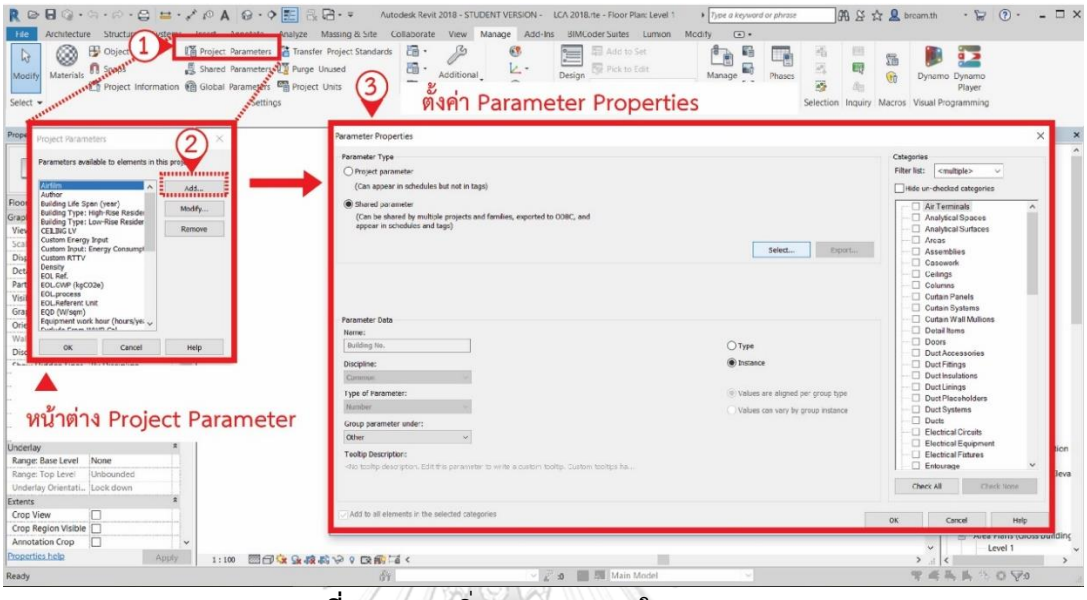
4.Global Parameter จะสามารถใช้ได้เฉพาะ Student License และลูกค้าที่ลงชื่อในการเปิดตัว Revit 2016 โดย Global Parameter สามารถช่วยในการสร้างตัวเลือก (Choice) ในการกรอกค่าของข้อมูล

ในเครื่องมือนี้ได้เลือกใช้ Shared Parameter ทั้งหมดเนื่องจากมีการใช้งานที่ยืดหยุ่นสามารถปรากฏใน Schedule และสามาถนำ Parameter นี้ไปใช้กับไฟล์โปรเจคอื่นได้ง่าย โดยการเพิ่ม Shared Parameter ทำได้โดยการเลือก Manage Tab > Shared Parameter แล้วกด Create เพื่อเลือกตำแหน่งไฟล์ที่เก็บภายนอก หลังจากนั้นเลือก New แล้วตั้งค่าชื่อ, หมวดหมู่ และชนิดของ Parameter ในหน้าต่าง Parameter Properties ดังภาพที่ 3.3

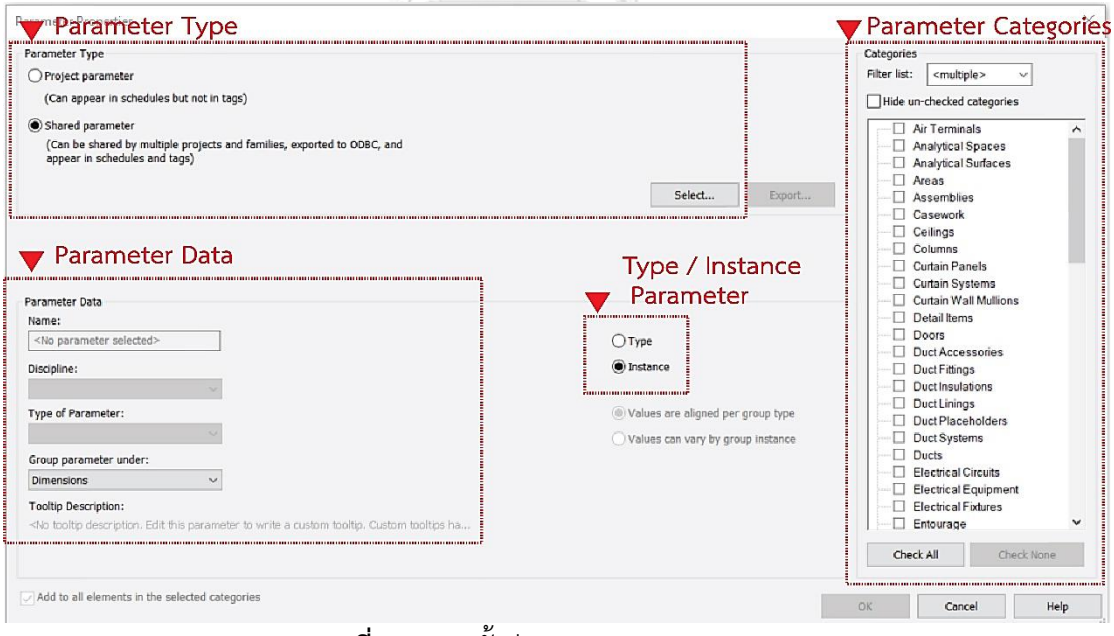


ภาพที่ 3.3 หน้าต่าง Shared Parameter

และเพิ่ม Shared Parameter ลงไปใน Parameter ของ Project File ทำโดยการเลือก Manage Tab > Project Parameter > Add แล้วตั้งค่า Parameter ใน Parameter Properties ดังภาพที่ 3.10 และ 3.11



ภาพที่ 3.4 การเพิ่ม Parameter ใน Project file



ภาพที่ 3.5 การตั้งค่า Parameter Properties

ในการตั้งค่า Parameter Properties จะต้องเลือกชนิดของ Parameter คือ Project Parameter หรือ Shared Parameter และต้องกรอกข้อมูลลง Parameter Data ได้แก่ ชื่อของ Parameter และ กลุ่มของ Parameter

ในการเลือก “Type”/ “Instance” นิยามของคำว่า Type และ Instance ในหน้า Parameter Properties คือเมื่อเลือก “Type” ค่า Parameter ที่ได้เพิ่มนั้นจะแสดงที่ตัว Type หรือ Family เช่น ชนิดของผนัง, เสา, ประตู หรือหน้าต่าง เมื่อมีการกรอกค่าในช่อง Parameter ของ Type ค่าจะแสดงที่ Type หรือ Family ทุกๆตัว ส่วน “Instance” เป็นค่าที่เฉพาะที่ของแต่ละ Element เมื่อมีการกรอกค่าที่ Element ไหน ก็จะแสดงค่าที่ Element ตัวนั้นเท่านั้น เช่น เมื่อมีกรอกค่าที่ผนังฝั่งนึง ผนังฝั่งที่อื่นๆก็ยังคงมีค่าคงเดิมไม่ได้มีการแก้ไขตาม เหมาะสำหรับใช้กับการเลือก element ที่เฉพาะเจาะจงในการคำนวณ เช่น ผนังที่ใช้ในการคำนวณ OTTV

ในการตั้งค่า Project Categories คือการเลือกหมวดหมู่ของข้อมูลที่จะเพิ่ม Parameter เมื่อมีการเลือกหมวดหมู่ไหน Parameter ที่เพิ่มก็จะแสดงที่หมวดหมู่นั้น โดยงานวิจัยนี้ได้มีการเพิ่มและตั้งค่า Parameter ดังตารางที่ 3.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

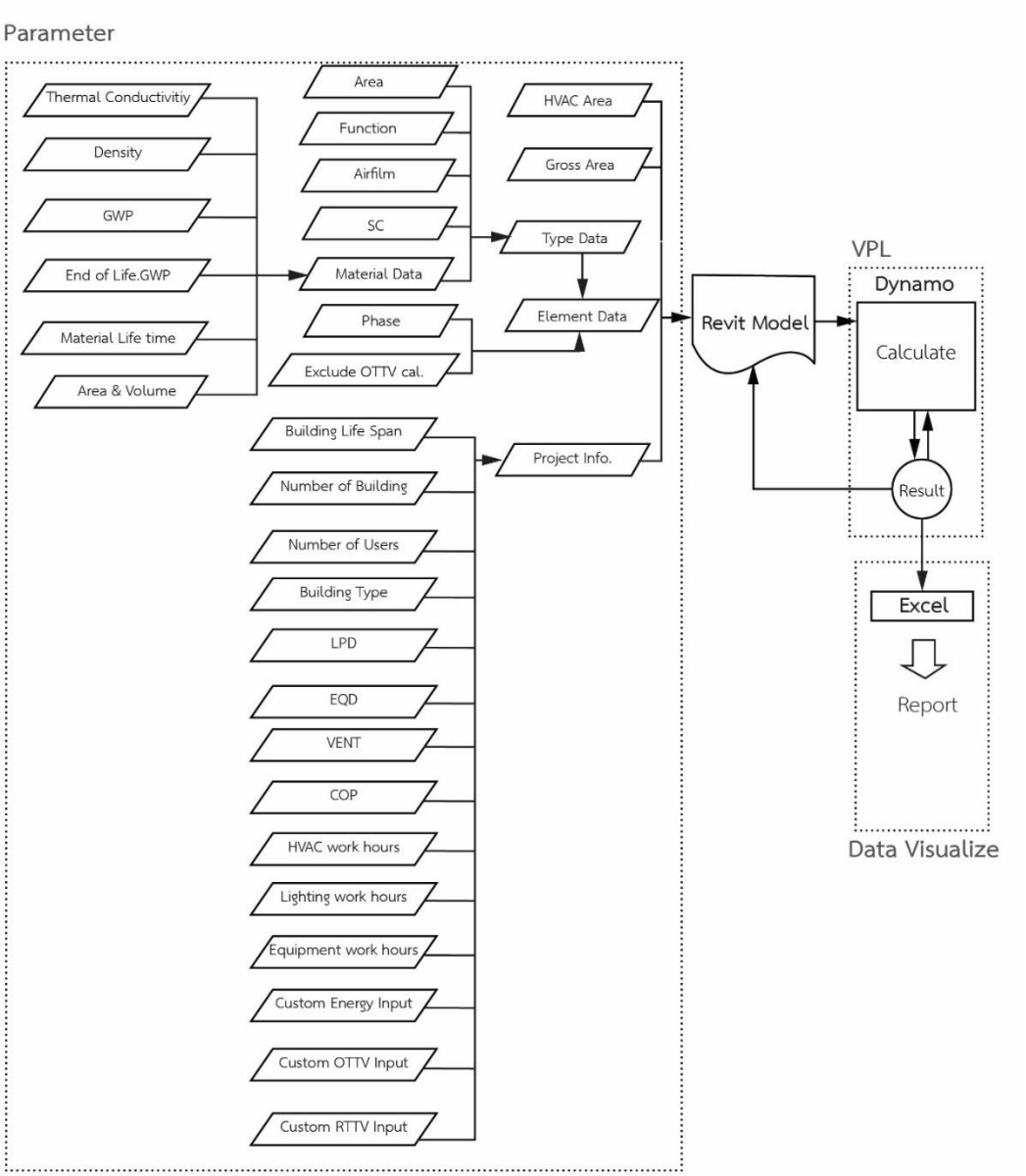
ตารางที่ 3.6 Parameter ที่เพิ่มใน Template และค่าที่ตั้งใน Parameter

Parameter Categories	Parameter	Type of Parameter Data	Type/ Instance	Parameter type
Building Information	Building Life Span (year)	Number	Instance	Shared Parameter
	Number of Buildings	Number	Instance	
	Number of Users	Number	Instance	
	Building Types: Single House	Yes/No	Instance	
	Building Types: Twin House	Yes/No	Instance	
	Building Types: Townhouse	Yes/No	Instance	
	Building Types: Condominium	Yes/No	Instance	
	Custom Energy Input	Number	Instance	
	Custom Input: Energy Consumption (kWh/sqm/year)	Number	Instance	
	Lighting Power Density (W/sqm)	Number	Instance	
	Equipment Power Density (W/sqm)	Number	Instance	
	Ventilation (L/S-sqm)	Number	Instance	
	HVAC COP	Number	Instance	
	HVAC work hour (hours/year)	Number	Instance	
	Lighting work hour (hours/year)	Number	Instance	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	Equipment work hour (hours/year)	Number	Instance	
	Custom OTTV Input:	Yes/no	Instance	
	Custom Input: OTTV (W/sqm)	Number	Instance	
	Custom RTTV Input:	Yes/No	Instance	
	Custom Input: RTTV (W/sqm)	Number	Instance	
Wall/Window/Roof/ Door/Curtain Panels	Exclude from OTTV/RTTV calculation	Yes/No	Instance	Shared Parameter
	SC	Number	Type	
	Air film	Number	Type	
Material	GWP (kgCO2e)	Number	Instance	Shared Parameter
	Reference Unit	text	Instance	
	LCI Ref.	text	Instance	
	Material Lift time (year)	Number	Instance	
	Density	Density	Instance	
	EOL.GWP (kgCO2e)	Number	Instance	
	EOL.process	text	Instance	
	EOL.Reference Unit	text	Instance	
	EOL Ref.	text	Instance	

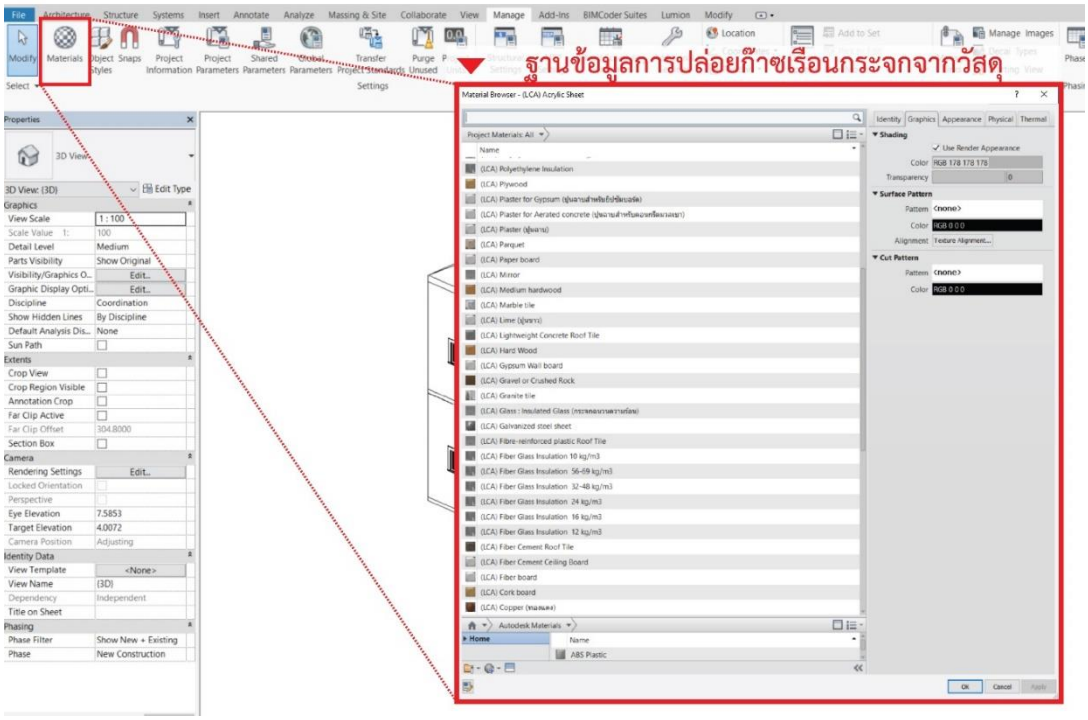
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



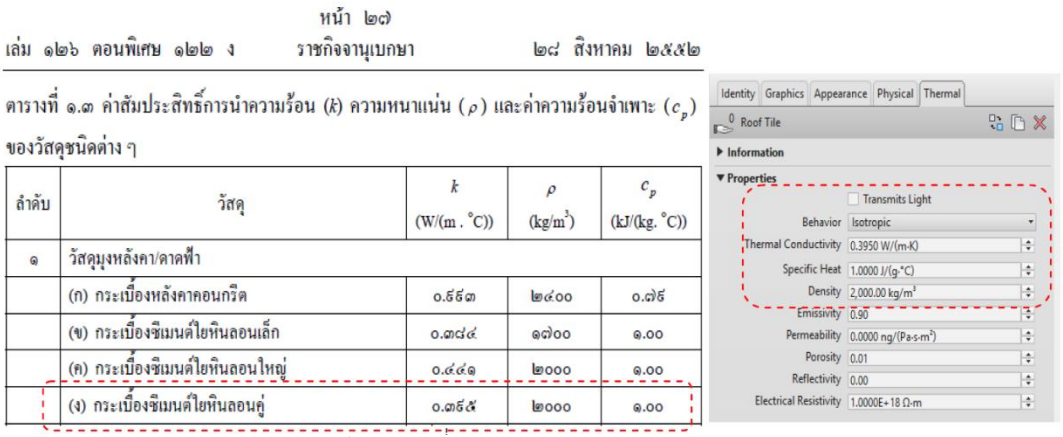
ภาพที่ 3.6 Data workflow ของเครื่องมือ

3.5.1.2 การสร้าง Material Library

งานวิจัยนี้ได้สร้างฐานข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุบน Material Library ของ Revit Template โดยการเริ่มจากการเปิดหน้าต่างฐานข้อมูลได้โดยการเลือก Manage Tab > Material จะเห็นเป็นหน้าต่างดังภาพที่ 3.12 โดยได้นำข้อมูลจากตารางค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่นๆของวัสดุในประกาศกฎกระทรวง พ.ศ. 2537 เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบมากกรอกลงในส่วนของ Thermal Properties ของ Material ตามภาพที่ 3.13 โดยกรอกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ลงในช่อง Thermal Conductivity ค่าความหนาแน่น (ρ) ลงในช่อง Density และค่าความร้อนจำเพาะ ลงในช่อง Specific Heat ตามรายการของวัสดุ



ภาพที่ 3.7 หน้าต่าง Material Library



หน้า ๒๗

เล่ม ๑๒๖ ตอนพิเศษ ๑๒๒ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๘ สิงหาคม ๒๕๕๒

ตารางที่ ๑.๓ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . °C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg. °C))
๑	วัสดุมุงหลังคา/ดาดฟ้า			
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	๐.๖๖๓	๒๔๐๐	๐.๗๖
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็ก	๐.๓๘๔	๑๗๐๐	๑.๐๐
	(ค) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	๐.๔๔๑	๒๐๐๐	๑.๐๐
	(ง) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	๐.๓๖๕	๒๐๐๐	๑.๐๐

ภาพที่ 3.8 การตั้งค่า Thermal Properties ใน Material Library

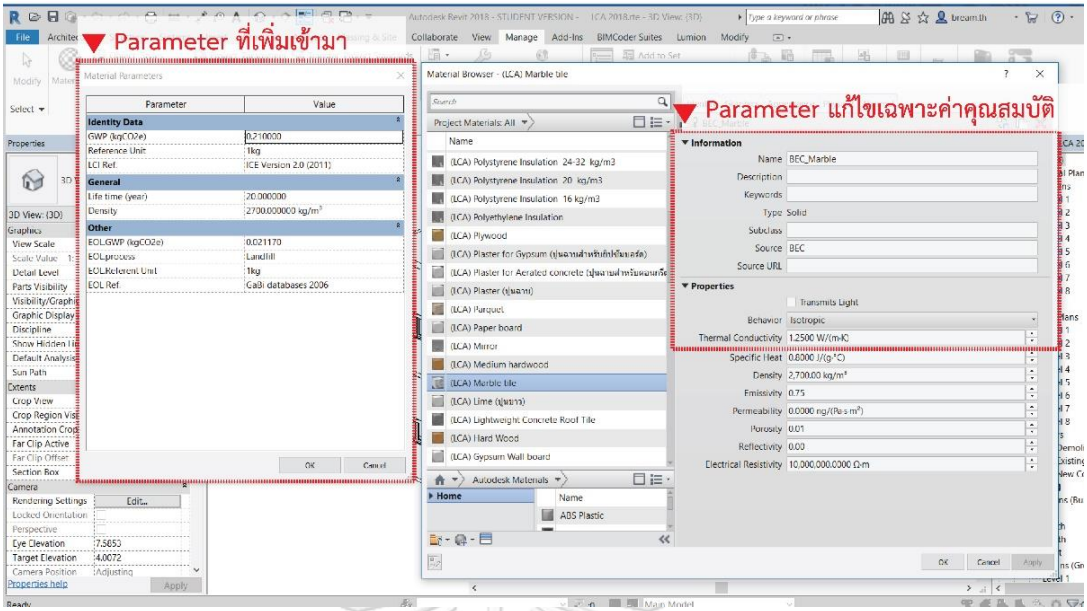
และกรอกค่าที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตาม Parameter ที่ได้เพิ่มขึ้นมา โดยสามารถสรุปแหล่งที่มาของข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างฐานข้อมูลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดังตารางที่ 3.7 และภาพรวมการแก้ไข Parameter และค่าคุณสมบัติใน Material Library ของงานวิจัยนี้ในภาพที่ 3.9

ตารางที่ 3.7 แหล่งที่มาข้อมูลของฐานข้อมูลวัสดุในเครื่องมือ

ข้อมูล	**หน่วย**	**ช่วง**	**ที่มา**
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสม (Embodied Greenhouse Gas)	$kgCO_2e$	ช่วงการผลิต	D, B,C
ความหนาแน่นของวัสดุ (Density)	kg/m^3		B,C
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity, k)	W/m.°C	ช่วงการใช้งาน	B
ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific Heat)	J/(g·°C)		B
อายุของวัสดุ (Material Life Expectancy)	Year	ช่วงการบำรุงรักษา	A,C
วิธีการกำจัดวัสดุหลังการรื้อถอน (Disposal Process)	-	ช่วงการกำจัดวัสดุ	A,D
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงของการกำจัดวัสดุ	$kgCO_2e$		D

** A= งานวิจัย, B= กฎกระทรวง, C= ข้อมูลจากผู้ผลิต, D= ฐานข้อมูล LCA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.9 ภาพรวมการแก้ไข Parameter และค่าคุณสมบัติใน Material Library

4.5.1.3 การสร้าง Type และ Family

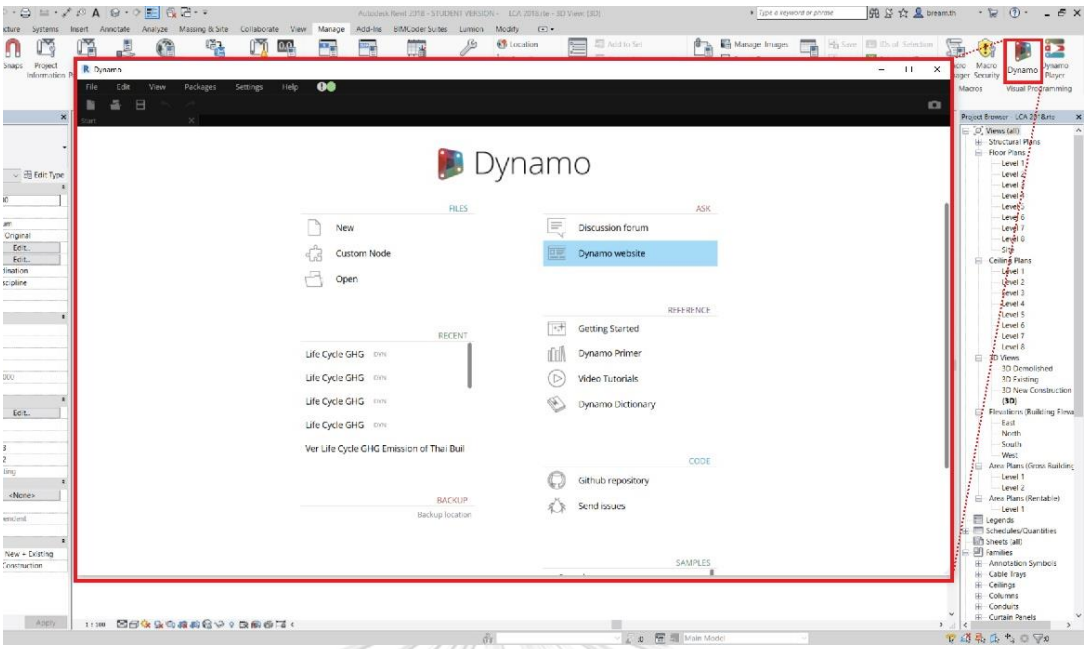
สร้าง Type และ Family ของพื้น ผนัง ประตู หน้าต่าง ฝ้าเพดาน หลังคา และโครงสร้าง ที่มักถูกใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารตามรายการในตารางที่ 3.4 เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกมาใช้งานได้ง่าย

3.5.2 การพัฒนาส่วนการประมวลผลใน Dynamo

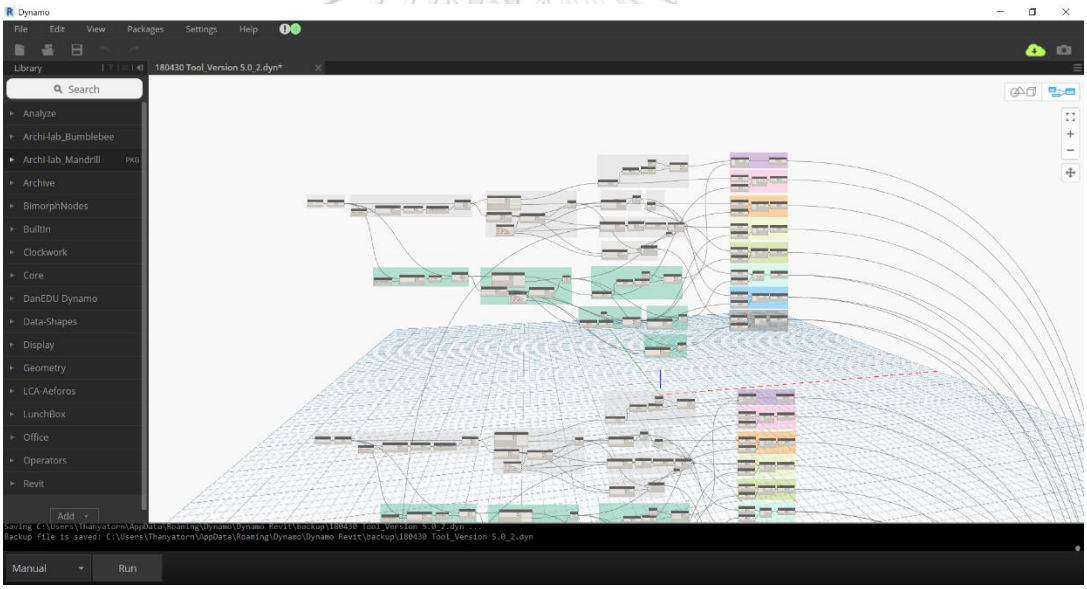
Dynamo พัฒนาโดยบริษัท Autodesk inc. เพื่อใช้กับ โปรแกรม Revit เป็นโปรแกรมที่ทำให้ผู้ที่ไม่ได้เรียนมาในสาขาคอมพิวเตอร์ ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบ 3 มิติได้อย่างที่ต้องการ

3.5.2.1 การเขียน Dynamo

การเขียน Dynamo เป็นการกำหนด Diagram ของแนวความคิด โดยย่อการทำงานเป็นจุดเรียกว่า Node และเรียกคำสั่งการทำงานโดยการค้นหา Node ที่ต้องการมาในการสร้างโปรแกรม และในแต่ละ Node จะมีการแสดงค่า Input และ Output เป็นรูปภาพ โดยนามสกุลของไฟล์ Dynamo จะเป็น .dyn ทั้งนี้สามารถเปิดเข้าไปที่หน้าต่างของ Dynamo ได้โดยการเลือก Manage Tab > Dynamo



ภาพที่ 3.10 หน้าต่างแรกของโปรแกรมเสริม Dynamo



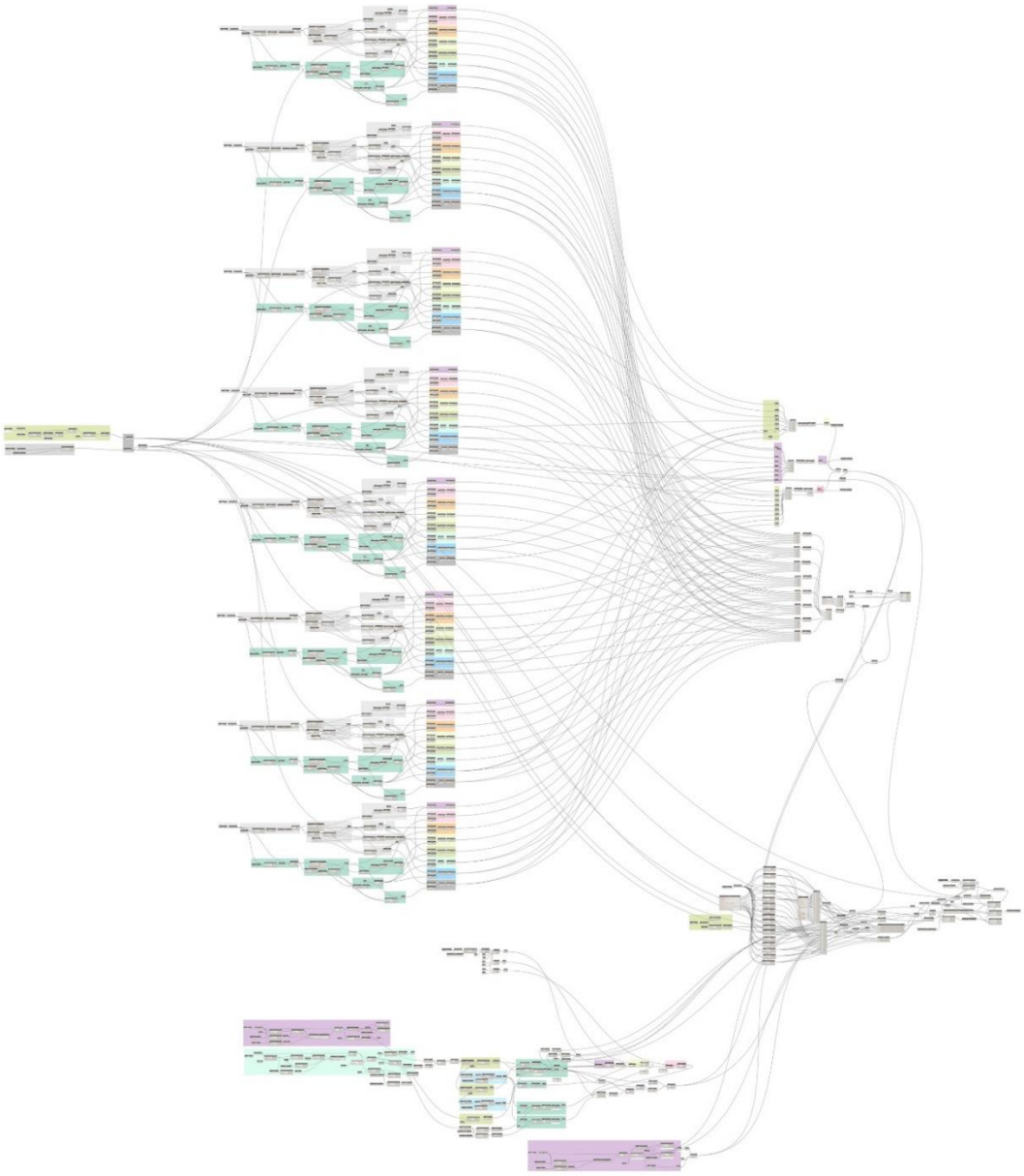
ภาพที่ 3.11 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Dynamo

การเขียนคำสั่งลงโปรแกรมเสริม Dynamo ในงานวิจัยนี้ได้เขียนคำสั่งในการดึงข้อมูลต่างๆ จากแบบจำลองมาคำนวณ แล้วส่งค่าผลลัพธ์กลับไปที่ Project Information ของแบบจำลองและส่งไปแสดงผลที่ Excel Sheet โดยมีการใช้คำสั่งเบื้องต้นดังตารางที่ 3.8 โดยสามารถอธิบายเป็นไดอาแกรมอย่างง่ายถึงแนวคิดการทำงานของ Dynamo สำหรับเครื่องมือในงานวิจัยนี้ดังภาพที่ 3.15

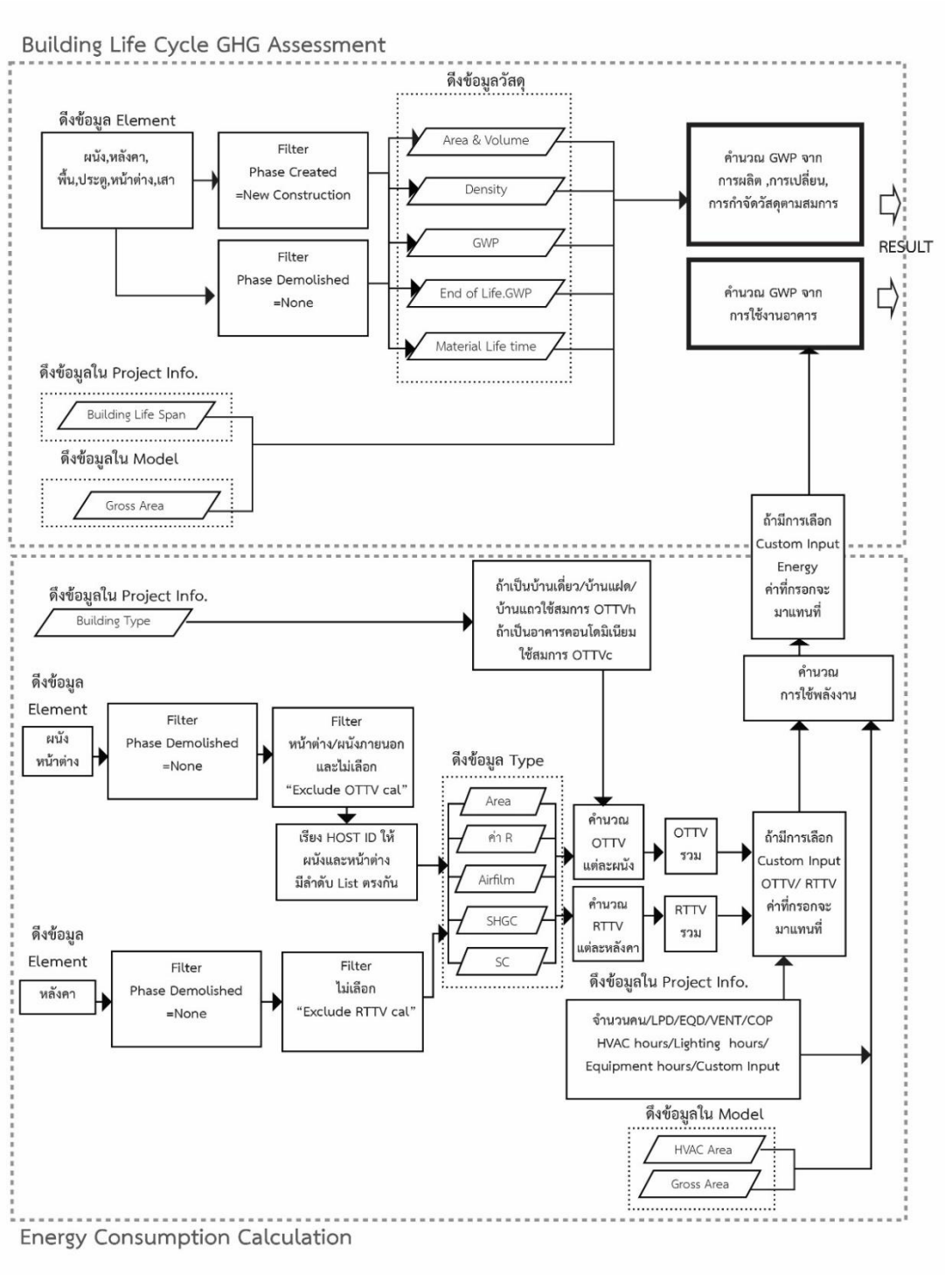
ตารางที่ 3.8 คำสั่งบนโปรแกรม Dynamo ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในการพัฒนาเครื่องมือ

คำสั่ง	ความหมาย
Categories	เลือกหมวดหมู่ขององค์ประกอบของแบบจำลอง
All Element of Categories	เลือกองค์ประกอบทั้งหมดของในหมวดหมู่
Code Block	พื้นที่สำหรับเขียน Code, ตัวเลข และคำสั่ง
Element.GetParameterValueByname	ถอดค่าจากชื่อของ Parameter
Flatten	ทำให้รายการทั้งหมดอยู่ใน list เดียว
Math.Count	นับจำนวน item ใน list
Math.Sum	หาผลรวมจากการคำนวณ
Math.Round	ปัดเศษขึ้น
Watch	ดูค่าที่ได้
List.FilterByBoolMask	เลือกเฉพาะค่าที่เป็น true
List.Create	สร้าง list
List.Transpose	พลิกข้อมูล
List.AddItemToFront	เพิ่มข้อมูลลงไปที่ item แรกของ list
Boolean	ให้เลือก true /false
Excel.WriteToFile	เขียนลงไปในไฟล์ excel
File Path	สำหรับการดึงไฟล์จากภายนอกเข้ามา

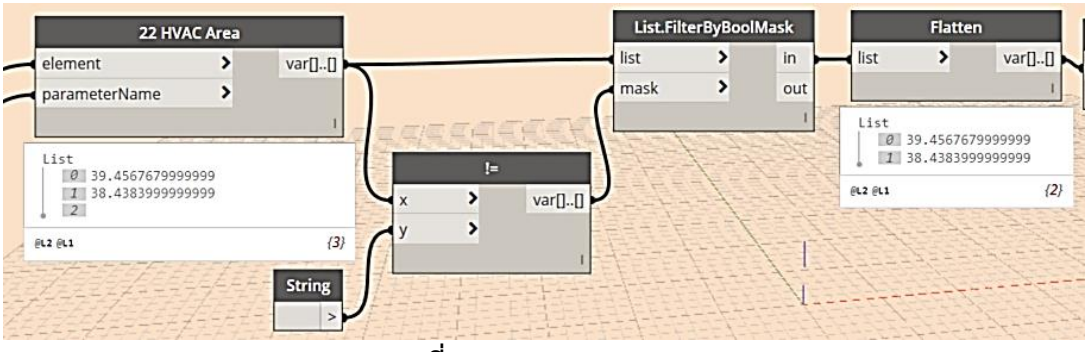
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.12 ภาพรวมของคำสั่ง Dynamo ที่เขียนในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3.13 แนวคิดการทำงานของ Dynamo สำหรับเครื่องมือในงานวิจัยนี้

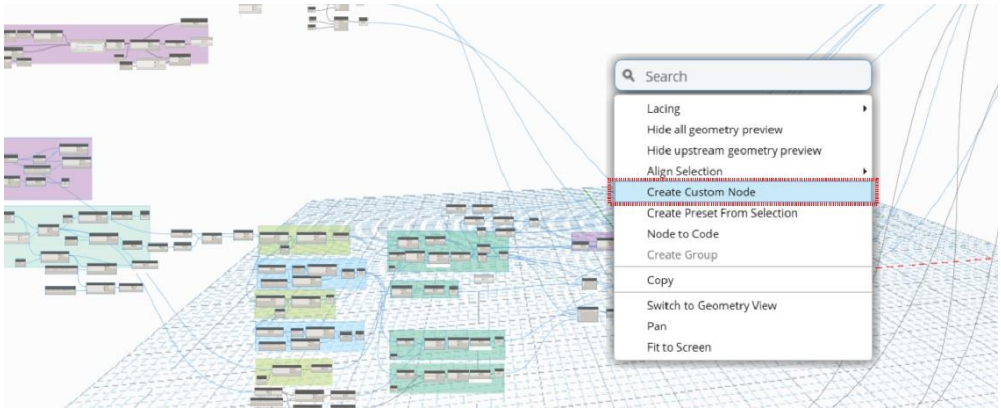


ภาพที่ 3.14 Error Detection

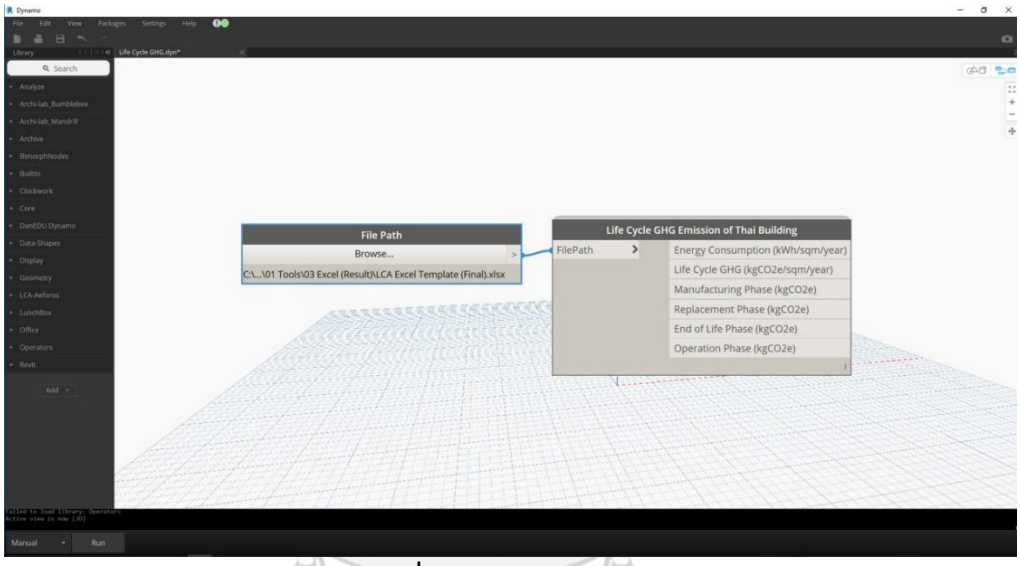
ข้อผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรมเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ในการพัฒนาในทุกโปรแกรม งานวิจัยนี้จึงต้องมีการหาข้อผิดพลาดในการประมวลผลด้วย Dynamo และเขียนอัลกอริทึมเพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการประมวลผล (error) ที่จะเกิดขึ้น เช่นดังภาพที่ 3.14 ในการประมวลผลด้วย Dynamo มักจะมีการ Error มาจากการที่ผู้ใช้งานการลบพื้นที่ปรับอากาศหรือองค์ประกอบอาคารบางอย่างในแบบจำลองสามมิติแต่ตำแหน่งของข้อมูลใน Dynamo ยังไม่ถูกลบและแสดงค่าเป็น None ดังนั้นทำให้ไม่สามารถนำค่านี้ไปคำนวณตามสมการได้ จึงต้องมีการเขียนโปรแกรมให้กำจัดตำแหน่งของข้อมูลที่ไม่มีตัวเลขแสดงออก เพื่อนำค่าที่เป็นตัวเลขไปใช้ในการคำนวณตามสมการต่อไป

3.5.2.2 การเขียน Custom node

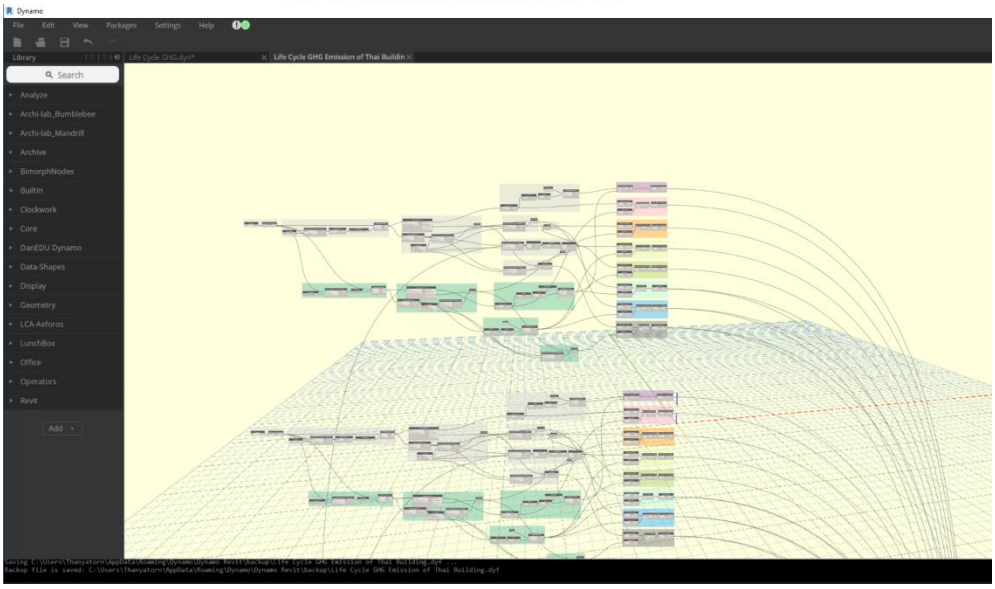
การเขียน Custom node คือการรวบคำสั่งการทำงานทั้งหมดในโปรแกรมใน Dynamo ดังภาพที่ 3.12 ให้เหลือเพียง node เดียว โดยยังคงเหลือไว้เพียงแค่การแสดงค่า Input และ Output เท่านั้น วิธีการสร้าง Custom node ทำได้โดยการลากเม้าส์ครอบคำสั่งในการทำงานทั้งหมดแล้วคลิกเมาส์ขวา เลือกที่ Create Custom node ดังภาพที่ 3.14 จะได้เป็นไฟล์ node ไฟล์เดียว ดังภาพที่ 3.15 โดย Custom node จะมีการจัดเก็บเป็นไฟล์เป็นนามสกุล .dyf เมื่อมีการแก้ไข Custom node จะแสดงเป็นหน้าต่างที่มีพื้นหลังสีเหลืองดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.15 การสร้าง custom node



ภาพที่ 3.16 Custom node



ภาพที่ 3.17 หน้าต่างการแก้ไข Custom node

3.5.3 การพัฒนาในส่วน Excel Template

วิธีการแสดงผลมีความสำคัญต่อการสื่อสารความเข้าใจระหว่างเครื่องมือและผู้ใช้เครื่องและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำงาน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการแสดงผลจากการทบทวนวรรณกรรม สำรวจเครื่องมือเดิมและสอบถามความเข้าใจของวิธีการแสดงผลจากผู้ใช้เครื่องมือ เพื่อนำเอามาผลที่ได้มาปรับปรุงผู้ให้ใช้งานมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น จากการสำรวจพบว่าผู้เชี่ยวชาญอาคารเขียว นักวิจัย และสถาปนิกจะเข้าใจแผนภาพและกราฟที่มีการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานได้มากกว่าตัวเลข ทั้งนี้ในการสร้างแผนภาพใน Dynamo ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการกำหนดรูปแบบรายละเอียด จึงได้มีการเขียนโปรแกรมเพื่อส่งออก (export) ข้อมูลไปที่ Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการจัดการข้อมูลปริมาณมาก สามารถ filter ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ และสามารถประมวลผลออกมาเป็นแผนภาพที่เข้าใจง่ายได้ รวมถึงสามารถจัดหน้ากระดาษเพื่อพิมพ์ออกมาเป็นเอกสารได้สะดวก โดยในการสร้าง Template ใน Excel มีการใช้คำสั่งที่สำคัญๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.9 คำสั่งเบื้องต้นบนโปรแกรม Excel

ฟังก์ชั่น	ความหมาย
IF	ใช้ในการสร้างเงื่อนไขในการแสดงผล
INDIRECT	ใช้ในการอ้างอิงข้อมูลที่อยู่ใน Cell
SUM	ใช้ในการหาผลรวม
เครื่องมือ	การใช้งาน
Data Validation	ใช้บังคับให้ข้อมูลที่กรอกมีความถูกต้อง
Pivot Table	ใช้ในการวิเคราะห์จัดหมวดหมู่ filterข้อมูล หาผลรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือ

3.6.1 ประเมินประสิทธิภาพทางด้านความแม่นยำ

โดยการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้นจากงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) แล้วเปรียบเทียบผลการประเมินที่ได้จากเครื่องมือที่ได้พัฒนากับวิธีการอื่นเพื่อดูค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ โดยการเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารจากเครื่องมือที่พัฒนากับเครื่องมือเดิมได้แก่ การคำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือ One Click LCA และ Tally แล้วหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากเครื่องมือโดยใช้สมการ

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{(X_M - X_T)}{X_T} \right| \times 100 \qquad (5)$$

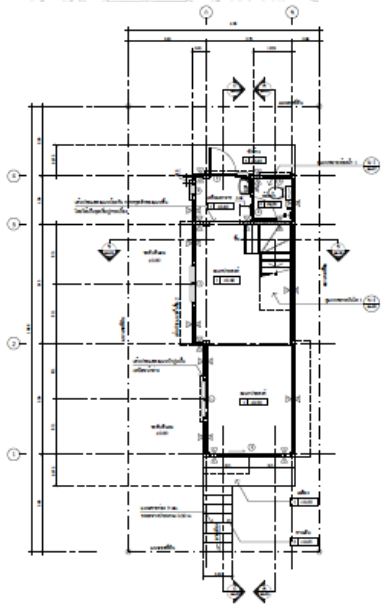
เมื่อ XM = ค่าที่ได้จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเครื่องมือเดิม

XT = ค่าที่ได้จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเครื่องมือที่พัฒนา

งานวิจัยนี้ต้องการประเมินประสิทธิภาพของสูตรการคำนวณจึงได้ปรับค่าในฐานข้อมูลให้ใกล้กับเครื่องมือใช้ในการเปรียบเทียบและจากคำแนะนำของผู้ใช้งานจึงได้ประเมินค่าการใช้พลังงานอาคารพักอาศัยสองประเภทคืออาคารพักอาศัยแนวราบและอาคารพักอาศัยแนวสูง โดยเลือกประเมินจากแบบบ้านสองชั้นจากกงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) และคอนโดจากอาคารอ้างอิงของอภิญญา บุญมา (2555) โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือที่ได้พัฒนาในการวิจัยกับการวัดจริง ค่าการจำลองด้วยโปรแกรม VisualDOE (จากงานวิจัยเดิม), BEC และ Green Building Studio (GBS)

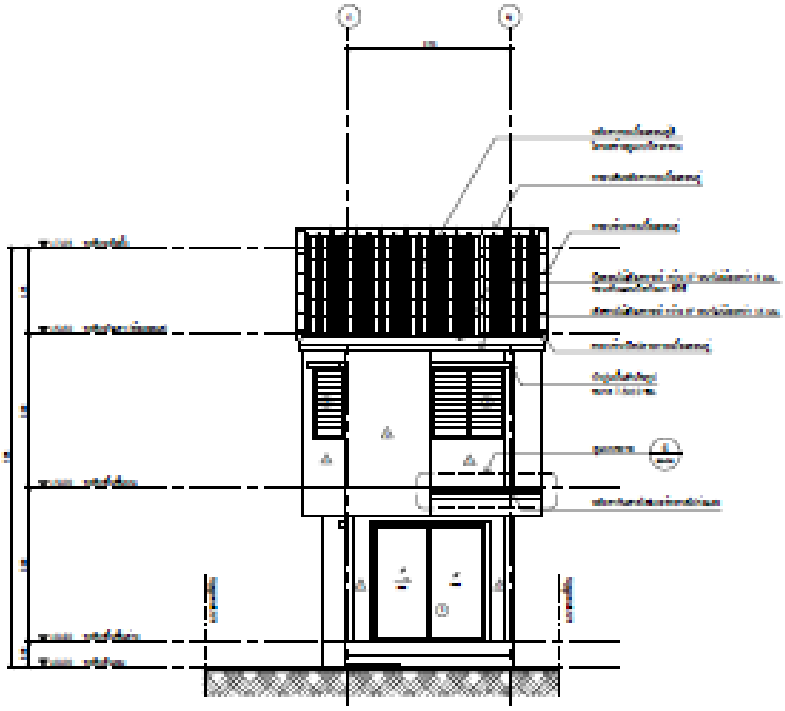
3.6.1.1 แบบบ้านสองชั้น

เป็นแบบบ้านกรณีศึกษาอ้างอิงจากงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) เป็นอาคารบ้านเดียวสองชั้นแบ่ง ชั้นที่ 1 ประกอบด้วยห้องเอนกประสงค์ ห้องน้ำ และลานซักล้างบริเวณหลังบ้าน ชั้นที่ 2 ประกอบด้วย ห้องนอนจำนวน 2 ห้องนอน รวมพื้นที่ทั้งหมด 56 ตร.ม.



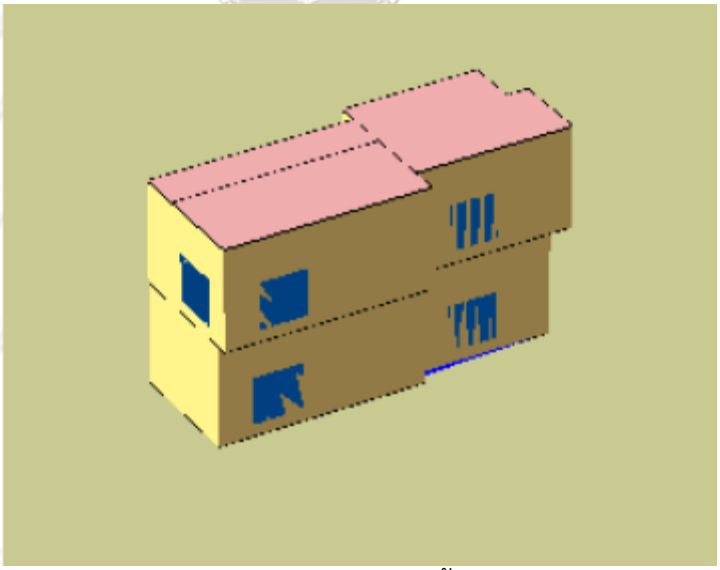
ภาพที่ 3.18 ผังพื้นแบบบ้านสองชั้น

(ที่มา: ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)



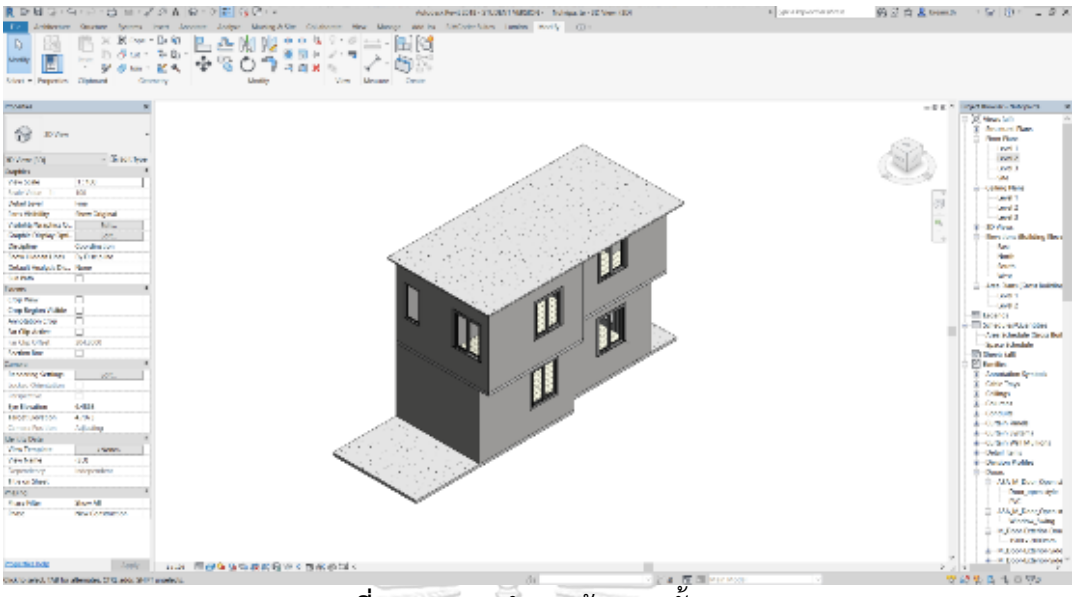
ภาพที่ 3.19 รูปด้านแบบบ้านสองชั้น

(ที่มา: ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)



ภาพที่ 3.20 แบบจำลองบ้านสองชั้นบน Visual DOE

(ที่มา: ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)



ภาพที่ 3.21 แบบจำลองบ้านสองชั้นบน Revit

(ที่มา: ผู้วิจัย)

ตารางที่ 3.10 รายการวัสดุของแบบบ้านสองชั้น (ที่มา: ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)

ประเภท	รายละเอียด
โครงสร้างอาคาร	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องเซรามิคขนาด 12x12 นิ้ว พร้อมบัวเชิงผนังพีวีซีชนิดตัน
ผนัง	ผนังก่ออิฐมอญ ผิวฉาบปูนเรียบทาสี
หลังคา	กระเบื้องคอนกรีตลอนคู่ สี 0.50x1.20 ม. หนา 5 มม.
หน้าต่าง	กระจกเกล็ดใสหนา 5 มม.

ตารางที่ 3.11 ค่า Input ในการจำลองค่าการใช้พลังงานของบ้านสองชั้น

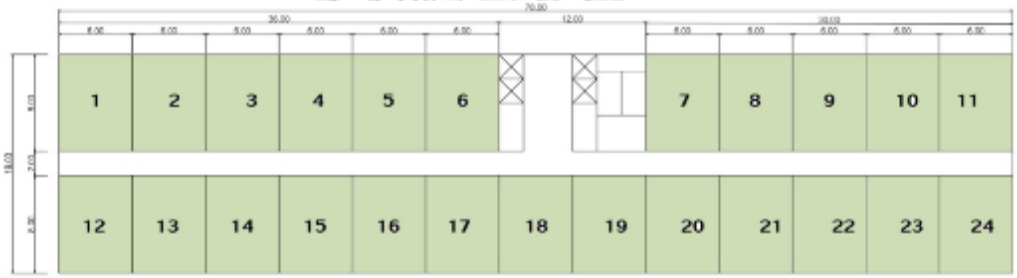
(ที่มา: ดัดแปลงจากข้อมูลงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)

ข้อมูล	หน่วย	ค่าที่กำหนด
จำนวนผู้ใช้งาน	คน	4
กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)	W/m^2	4.71
กำลังไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า (EQD)	W/m^2	3.56
สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (COP)	-	3.22

อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ (VENT)	l/s- m^2	0.25
ช่วงเวลาการใช้งานระบบปรับอากาศ	hours/year	2190
ช่วงเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงว่าง	hours/year	2920
ช่วงเวลาการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	hours/year	5475

3.6.1.2 แบบคอนโดมิเนียม

เป็นแบบบ้านกรณีศึกษาอ้างอิงจากงานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2555) อาคารคอนโดมิเนียม 29 ชั้น จำนวน 699 ยูนิตรวมพื้นที่อาคารทั้งหมด 37,587 ตารางเมตร อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างเป็นร้อยละ 16.1 ของพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมด ระยะจากพื้นถึงพื้น 3.5 ตารางเมตร ขนาดห้องพักกว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร ภายในประกอบด้วยห้องนอน ห้องนั่งเล่น ห้องน้ำ และระเบียง



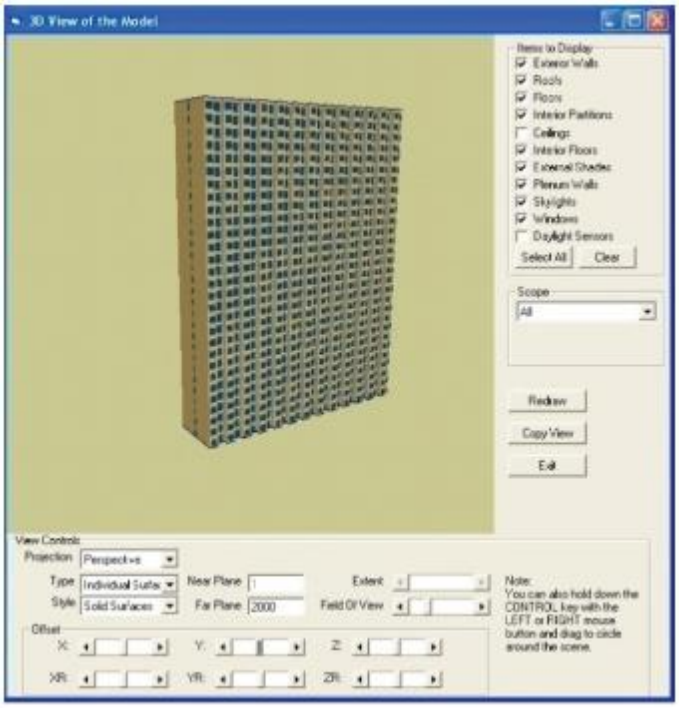
ภาพที่ 3.22 ผังพื้นอาคารคอนโดมิเนียม

(ที่มา: อภิญญา บุญมา, 2555)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

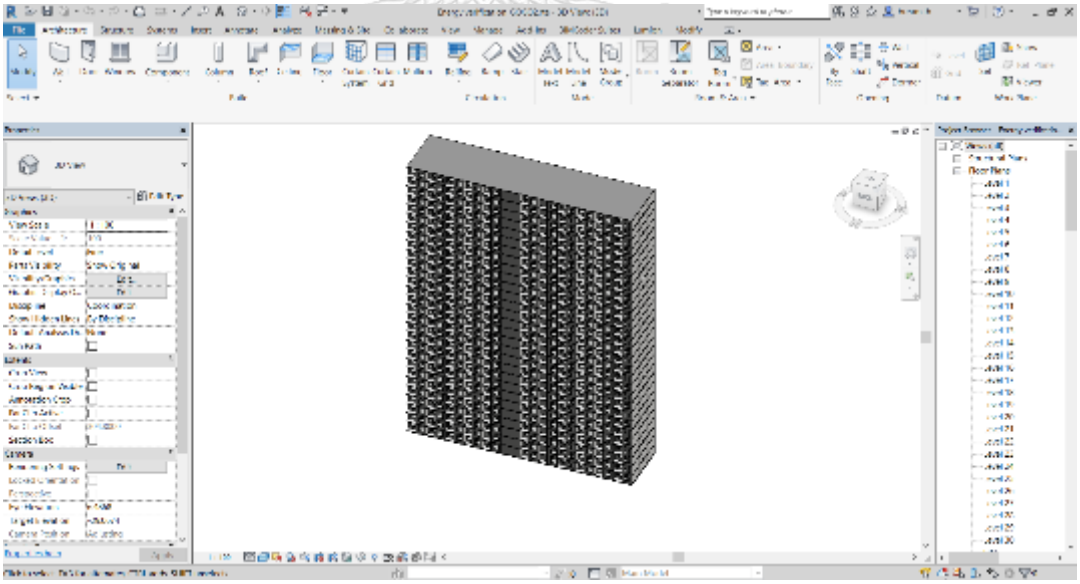
ภาพที่ 3.23 ผังพื้นห้องพักคอนโดมิเนียม

(ที่มา: อภิญญา บุญมา, 2555)



ภาพที่ 3.24 แบบจำลองคอนโดมิเนียมบน Visual DOE

(ที่มา: อภิญญา บุญมา, 2555)



ภาพที่ 3.25 แบบจำลองคอนโดมิเนียมบน Revit

(ที่มา: ผู้วิจัย)

ตารางที่ 3.12 รายการวัสดุของแบบคอนโดมิเนียม (ที่มา: อภิญญา บุญมา, 2555)

ประเภท	รายละเอียด
โครงสร้าง	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 25 ซม.
ผนัง	ผนังสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม
หลังคา	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 25 ซม
หน้าต่าง	กระจกใสหนา 6 มม. SHGC=0.73

ตารางที่ 3.13 ค่า Input ในการจำลองค่าการใช้พลังงานของคอนโดมิเนียม
(ที่มา: อภิญญา บุญมา, 2555)

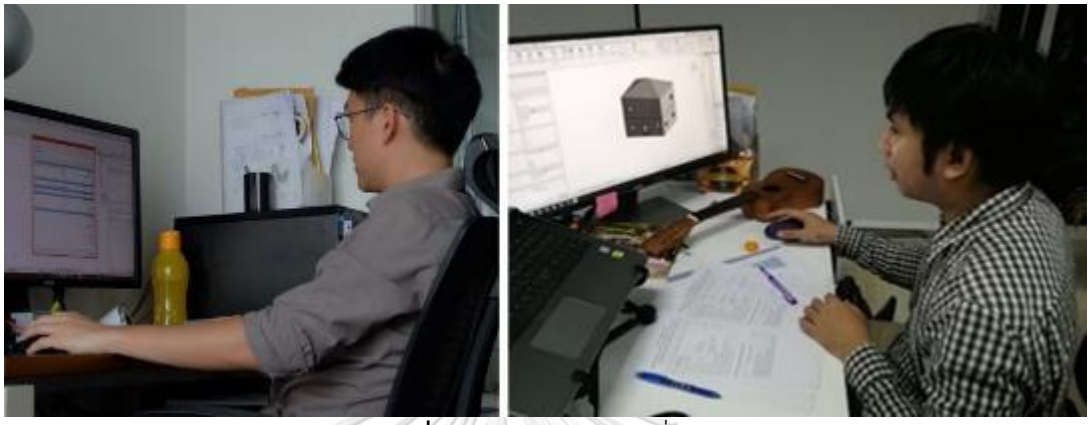
ข้อมูล	หน่วย	การกำหนดค่า
ความหนาแน่นจำนวนผู้ใช้งาน	คน/m^2	0.034
กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)	W/m^2	8.13
กำลังไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า (EQD)	W/m^2	8.96
สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (COP)	-	3.22
อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ (VENT)	l/s- m^2	0.25
ช่วงเวลาการใช้งานระบบปรับอากาศ	hours/year	4058
ช่วงเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงว่าง	hours/year	2728
ช่วงเวลาการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	hours/year	3957

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6.2 ประเมินประสิทธิภาพทางด้านการใช้งาน

ประเมินประสิทธิภาพทางด้านการใช้งานโดยการสัมภาษณ์ โดยเลือกกลุ่มผู้ให้สัมภาษณ์ที่มีนัยสำคัญเป็น 3 กลุ่มได้แก่ 1. กลุ่มผู้เชี่ยวชาญและนักวิจัยทางด้านอาคารยั่งยืน 2. กลุ่มสถาปนิกที่ทำงานทางด้านอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และ 3. ผู้เชี่ยวชาญทางด้าน BIM ที่มีความรู้ทางด้านอาคารยั่งยืน โดยผู้ให้สัมภาษณ์ทั้งสามกลุ่มนี้จะต้องสามารถใช้โปรแกรม Autodesk Revit ได้ โดยก่อนทำการสัมภาษณ์ผู้วิจัยจะแนะนำนำเสนอเรื่องการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแนะนำคุณสมบัติของเครื่องมือ วิธีการใช้เครื่องมือ การติดตั้งเครื่องมือ แนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ของเครื่องและสาธิตวิธีการใช้งานจริง แล้วกลุ่มผู้งานได้ทดลองใช้เครื่องมือในการกรอกต่างๆในแบบจำลองที่จัดไว้ให้แล้วสั่งประมวลผล หลังจากนั้นสัมภาษณ์ในคำถามปลายเปิดในประเด็นต่างๆ โดยมีการตั้งประเด็นเบื้องต้นดังนี้ ความพึงพอใจในการใช้งานในภาพรวม รูปแบบการกรอกข้อมูล วิธีการและ

ข้อมูลที่กำหนดในเครื่องมือ รูปแบบการแสดงผล ข้อเสนอแนะในการนำไปพัฒนาต่อ การนำไปใช้ในอนาคต โดยผู้วิจัยเปิดโอกาสให้ผู้ให้สัมภาษณ์สามารถสอบถาม พูดคุย หรือให้ความเห็นในประเด็นนอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาได้



ภาพที่ 3.26 ผู้ทดลองใช้เครื่องมือ

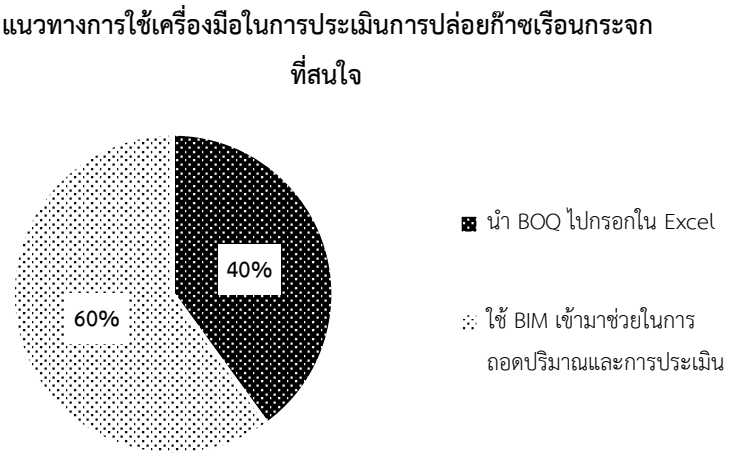
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการศึกษาการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ใช้ช่วงต้นของการออกแบบในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ผลการศึกษาดังนี้

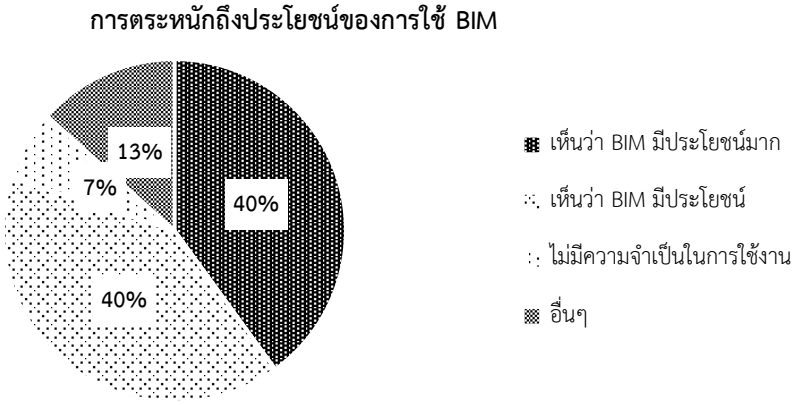
4.1 ความต้องการของผู้ใช้เครื่องมือ

จากการสำรวจความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ได้แก่ ปรึกษาอาคารยั่งยืน นักวิจัยอาคารยั่งยืน และสถาปนิกที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอาคารยั่งยืนจากบริษัทที่ปรึกษาอาคารเขียว บริษัทสถาปนิก หน่วยวิจัยอาคารยั่งยืนของอสังหาริมทรัพย์ หน่วยวิจัยมหาวิทยาลัย และนักศึกษาปริญญาโท ทั้งสิ้น 21 คน ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้



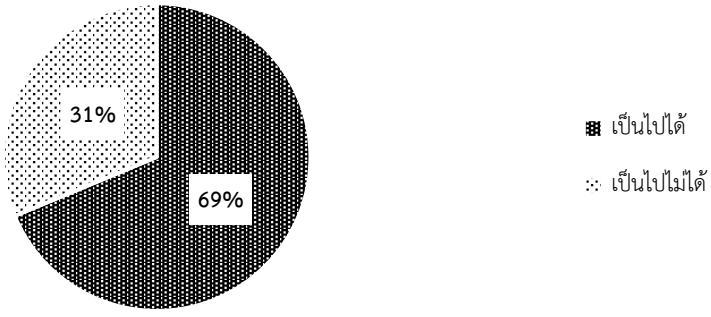
ภาพที่ 4.1 ผลของแบบสอบถามเรื่องแนวทางการใช้เครื่องมือ LCA ที่ผู้ใช้งานสนใจ

จากการสำรวจพบว่าผู้ใช้งานให้ได้หันมาสนใจการใช้ BIM ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้นในกลุ่มสถาปนิกและที่ปรึกษาอาคารเขียว โดยเหตุผลที่การไม่เลือกใช้ BIM เนื่องจากไม่เคยเรียนรู้การใช้โปรแกรมนี้มาก่อนและไม่ถนัดที่จะใช้ งานวิจัยนี้จึงเลือกกลุ่มผู้วิจัยเป็นผู้ที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศได้ เนื่องจากผู้ที่สามารถใช้ BIM และสนใจจะเรียนรู้ในการใช้เครื่องมือได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการใช้งานสำหรับผู้ที่เลือกใช้ Microsoft Excel เช่นกัน

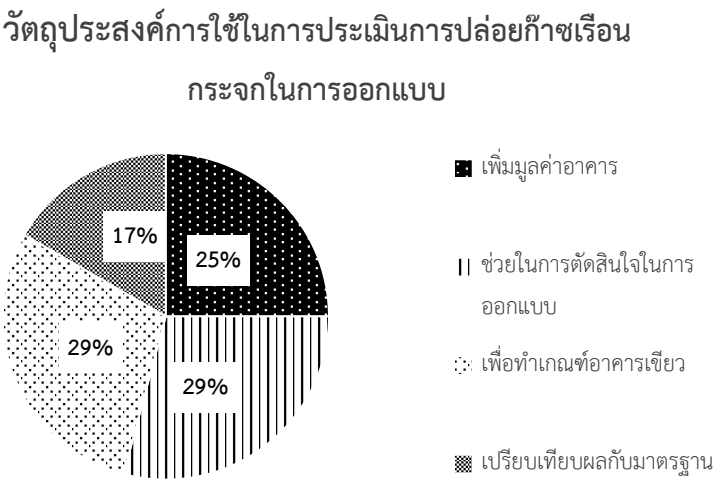


ภาพที่ 4.2 ผลของแบบสอบถามเรื่องถึงการตระหนักถึงประโยชน์ของการใช้ BIM

เมื่อสอบถามถึงการตระหนักถึงประโยชน์ของการใช้ BIM พบว่าปัจจุบันที่ปรึกษาและสถาปนิกได้ปรับตัวในการใช้ BIM มากขึ้น เนื่องจากการใช้ BIM จะช่วยสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ช่วยลดความผิดพลาดอันเกิดจากแบบที่ขัดแย้ง และสามารถทำคะแนนในเกณฑ์อาคารเขียวเพิ่มได้ โดยสถาปนิกได้ให้ความสนใจมากในการทำเครื่องมือที่จะช่วยในการสื่อสารระหว่างที่ปรึกษาอาคารเขียวและสถาปนิก เช่น ที่ปรึกษาทำเครื่องมือคำนวณบนโปรแกรม Dynamo แล้วหลังจากนั้นสถาปนิกสามารถเปิดกับไฟล์แบบจำลองที่ทำอยู่แล้วทราบได้ว่า แบบที่ทำได้คะแนนในเกณฑ์อาคารเขียวอยู่ที่คะแนนเท่าไหร่ โดย 69% ของผู้ทำแบบสอบถามให้ความเห็นว่าแนวทางนี้เป็นไปได้

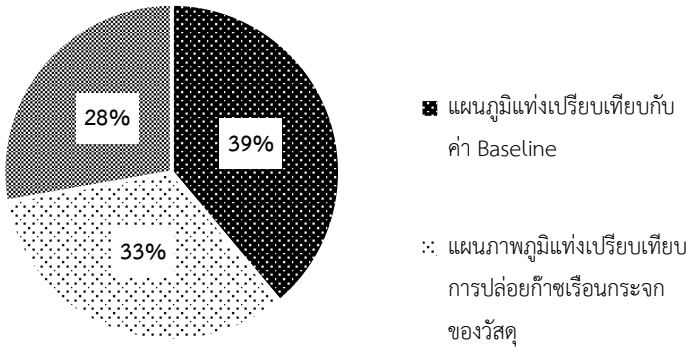


ภาพที่ 4.3 ผลของแบบสอบถามเรื่องถึงแนวทางการใช้ BIM เป็นตัวกลางในการประสานงาน



ภาพที่ 4.4 ผลของแบบสอบถามเรื่องวัตถุประสงค์ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

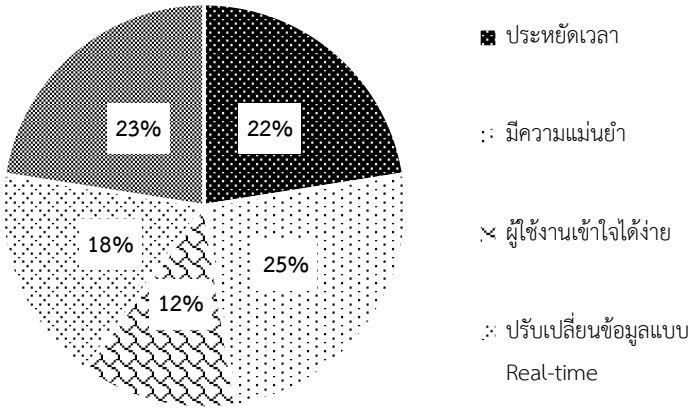
เมื่อสอบถามถึงวัตุประสงค์การใช้งานพบว่าผู้ใช้งานมีการความต้องการในการใช้งานเครื่องมือเพื่อทำเกณฑ์อาคารเขียวและช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบมากเท่าๆกัน รองลงมาด้วยการเพิ่มจุดขายให้กับอาคารและการเปรียบเทียบผลกับคนมาตรฐาน โดยปัจจุบันมีความให้ความสำคัญออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำมากขึ้นโดยเฉพาะหน่วยงานรัฐที่ต้องทำตามแผนนโยบาย การทำคะแนนในเกณฑ์อาคารเขียวของต่างประเทศ การออกแบบอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อโดยใช้ในขั้นตอนการประกวดราคา และการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับแนวคิด Smart City โดยประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละอาคารเพื่อหาปริมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของเมือง



ภาพที่ 4.5 ผลของแบบสอบถามเรื่องรูปแบบและผลลัพธ์ของการประเมินที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้

เมื่อสอบถามเกี่ยวกับรูปแบบการแสดงผลของเครื่องมือภายหลังการคำนวณพบว่า ผู้ใช้งานจะเข้าใจข้อมูลที่เป็นแผนภาพได้ดีกว่าตัวเลข โดยผลของแบบสอบถามพบว่าผู้ทำแบบสอบถามเลือกที่จะเห็นรูปแบบการแสดงผลเป็นแผนภูมิแท่งที่มีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละวัสดุมากกว่ารายงานแบบละเอียด

ความคาดหวังของครื่องมือ



ภาพที่ 4.6 ผลของแบบสอบถามเรื่องความคาดหวังของเครื่องมือ

จากการสอบถามในเรื่องของความคาดหวังของเครื่องมือ พบว่าผู้ทำแบบสอบถามได้มีความคาดหวังให้เครื่องมือมีความแม่นยำมากสามารถประยุกต์กับฐานข้อมูลไทยได้ และประหยัดเวลาในการทำงานมากที่สุดรองลงมาคือ การแก้ไขข้อมูลตามการปรับแบบจำลอง และง่ายต่อการทำความเข้าใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากกพูดคุยภายหลังการทำแบบสอบถามสรุปได้ว่ากลุ่มผู้ใช้งานมีแนวโน้มที่จะให้ความสำคัญและหันมาใช้ BIM มากขึ้น โดยผู้ใช้งานโดยส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ทางด้านการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคาร หากเครื่องมือที่จะพัฒนามีขั้นตอนการทำและวิธีการแสดงผลให้เข้าใจง่ายก็จะทำให้ผู้ใช้งานสนใจและอยากใช้มากขึ้น โดย 91% ของผู้ถูกสัมภาษณ์ ให้ความเห็นว่าวิธีการแสดงผลแบบแผนภาพจะทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจได้ง่ายกว่า ทั้งนี้ในเรื่องของแนวทางการนำไปใช้ในวิชาชีพโดยส่วนมากสถาปนิกได้สนใจในการนำไปใช้งานในช่วงของการเสนอโครงการในครั้งแรกและการออกแบบอาคารเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานอาคารเขียว โดยสถาปนิกมีความต้องการในการมีเครื่องมือ Dynamo ที่เป็นสื่อกลางในการประมวลผลค่าต่างๆจากที่ปรึกษาอาคารเขียวมากขึ้น เพื่อลดขั้นตอนในการติดต่อสื่อสารและการเดินทาง สำหรับที่ปรึกษาอาคารเขียวได้ให้ความสนใจในเรื่องนำไปให้คำแนะนำในการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำและการนำไปใช้ในการประเมินเบื้องต้นกับเกณฑ์มาตรฐานเขียว สำหรับเรื่องความคาดหวังต่อเครื่องมือนี้ผู้ใช้งานเห็นว่าควรมีความแม่นยำ ใช้

งานง่าย มีการคำนวณสอดคล้องกับการออกแบบตามบริบทของอาคารในประเทศไทย และใช้ระยะเวลาที่ไม่แตกต่างจากงานออกแบบทั่วไป

4.2 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย

งานวิจัยนี้ได้นำอาคารอ้างอิงและค่าที่ได้จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) มาพัฒนาต่อโดยการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนและการกำจัดวัสดุเพิ่มด้วยเครื่องมือที่ได้พัฒนา ทำให้ได้ค่า Baseline ที่จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุในช่วงการผลิต กรบำรุงรักษา และช่วงการกำจัดของเสียดังตารางที่ 4.1 และค่า Baseline ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานนั้นเป็นค่าที่ได้จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารจึงได้เลือกค่า Baseline ไว้ที่ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากการกำหนดอาคารที่จะนำมาเป็น Baseline ของอาคารจะต้องเป็นค่าที่ได้จากอาคารที่มีการใช้งานแบบเดียวกับ ขนาดเท่ากัน ทิศทางการวางอาคารเดียวกัน และมีระบบต่างๆที่ส่งผลถึงสมรรถนะการใช้พลังงานใกล้เคียงกันเพื่อให้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ (LEED, 2009) ดังนั้นค่า Baseline ของงานวิจัยนี้จึงถูกเขียนให้แปรผันตามพื้นที่ใช้สอยและพื้นที่ของเปลือกอาคารเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่า Baseline กับค่าที่ได้จากการประเมินอาคารของผู้ใช้งานได้

ตารางที่ 4.1 ค่า Baseline ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัย (ที่มา: ผู้วิจัย)

ประเภทอาคาร	ช่วงการผลิต ($kgCO_2e/m^2$)	ช่วงการใช้งาน ($kgCO_2e/m^2$)	ช่วงการบำรุงรักษา ($kgCO_2e/m^2$)	ช่วงการกำจัดของเสีย ($kgCO_2e/m^2$)
1.บ้านเดี่ยว	365.66	จากการคำนวณพลังงาน**	96.09	15.42
2.บ้านแฝด	273.02		58.17	11.77
3.บ้านแถว	347.14		60.85	14.93
4.คอนโดมิเนียม	433.04		116.98	14.54

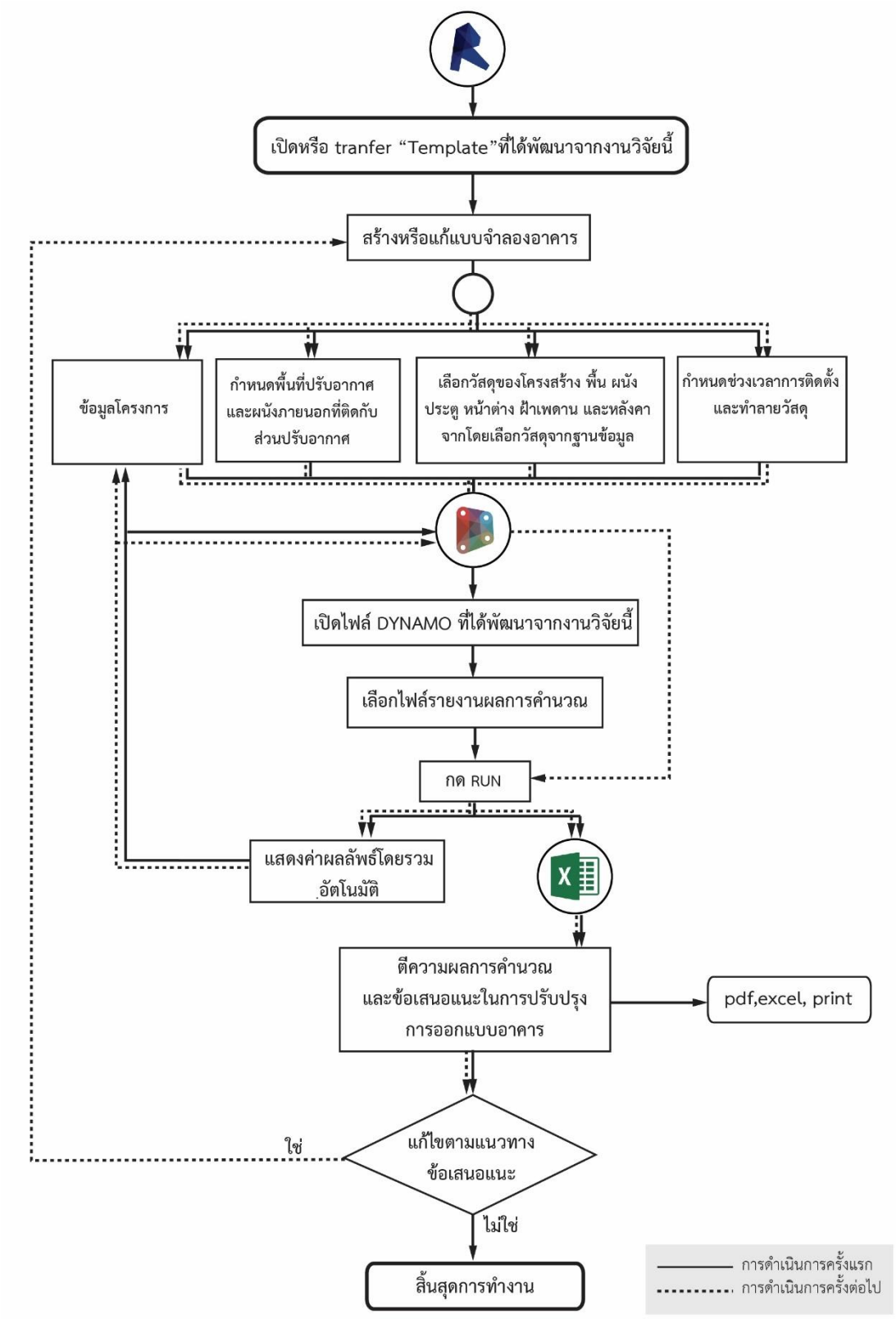
ตารางที่ 4.2 ค่า Baseline ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัย (ที่มา : ผู้วิจัย)

ข้อมูล	หน่วย	Baseline	แหล่งที่มา
จำนวนผู้ใช้งาน	คน	3	สถิติสัมโนประชากรและการเคหะ (2553)
กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)	W/m^2	7.5	Ecovillage (2556)
กำลังไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า (EQD)	W/m^2	8.61	อรรจน์ (2552)
สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (COP)	-	3.22	Ecovillage (2556)
อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่ (VENT)	$l/s- m^2$	0.25	ASHRAE 62.1
ช่วงเวลาการใช้งานระบบปรับอากาศ	ชั่วโมง/ปี	4058	อภิญญา (2555)
ช่วงเวลาการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงว่าง	ชั่วโมง/ปี	2728	อภิญญา (2555)
ช่วงเวลาการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	ชั่วโมง/ปี	3957	อภิญญา (2555)
ค่าการถ่ายเทความร้อนผนัง (OTTV)	W/m^2	35	Ecovillage (2556)
ค่าการถ่ายเทความร้อนหลังคา (RTTV)	W/m^2	15	Ecovillage (2556)
สัดส่วนพื้นที่หน้าต่าง (WWR)	%	50	Ecovillage (2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 เครื่องมือและการใช้งานเครื่องมือ

การศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้เครื่องมือบนโปรแกรม Revit ที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงแรกของการออกแบบที่ชื่อว่า Thai LCGHG โดยเครื่องมือประกอบไปด้วยไฟล์ 3 ไฟล์ คือ Revit Template, Dynamo และ Excel Sheet พร้อมทั้งคู่มือในการใช้งาน โดยการทำงานของเครื่องมือนี้สามารถเขียนเป็นแผนภาพการทำงานในภาพรวมได้ดังภาพที่ 4.7 โดยการทำงานของเครื่องมือสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนนำเข้าข้อมูล การประมวลผล และการแสดงผล

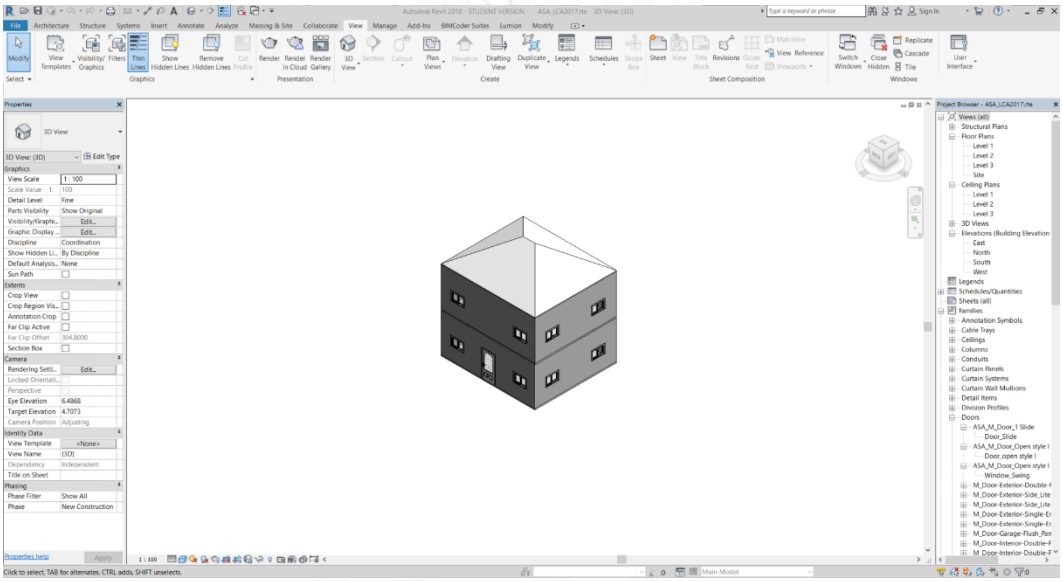


ภาพที่ 4.7 การทำงานของเครื่องมือ

4.3.1 การนำเข้าข้อมูล

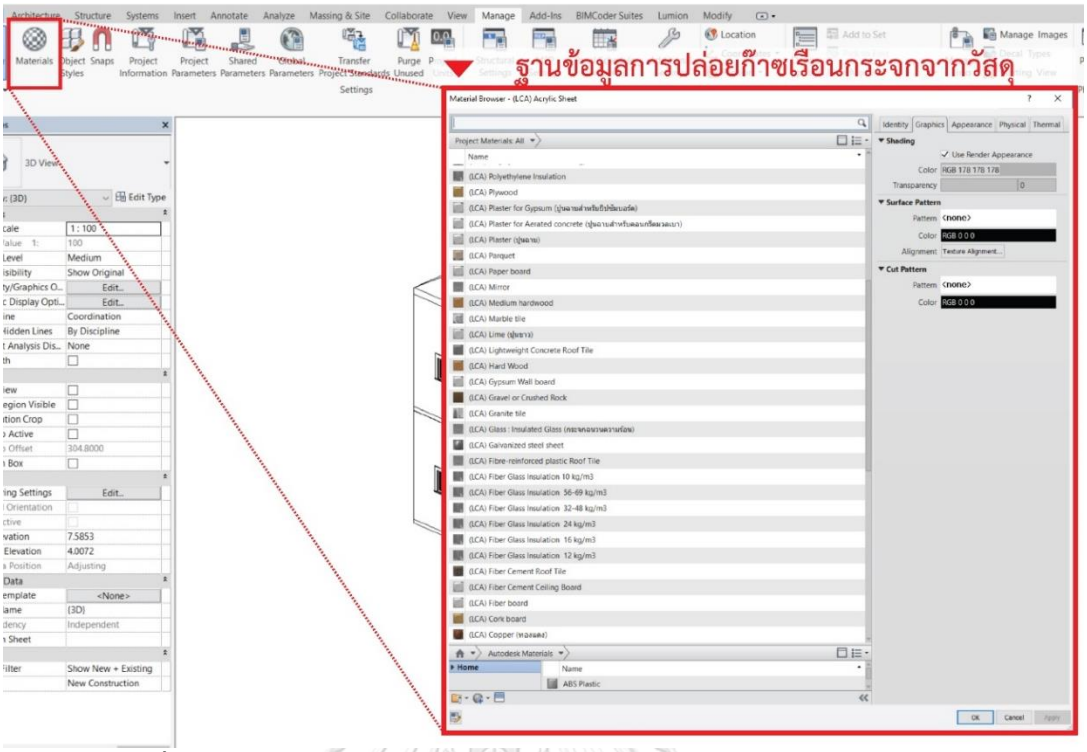
4.3.1.1 Thai LCGHG Template

งานวิจัยนี้ได้มีการสร้าง Revit Template ที่ชื่อว่า “Thai LCGHG Template เป็นไฟล์ .rte ดังภาพที่ 4.8 ภายใน Template นี้ได้มีการสร้างฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, การสร้าง Type และ Family ของเสา พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน หลังคา ประตู หน้าต่างชนิดต่างๆ ที่มักถูกมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารตามตารางที่ 3.4 รวมถึงได้ใส่ค่า default สำหรับการคำนวนค่าการใช้พลังงานอาคารที่เป็นบริบทการใช้งานของประเทศไทยไว้ ดังภาพที่ 4.9, ภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11

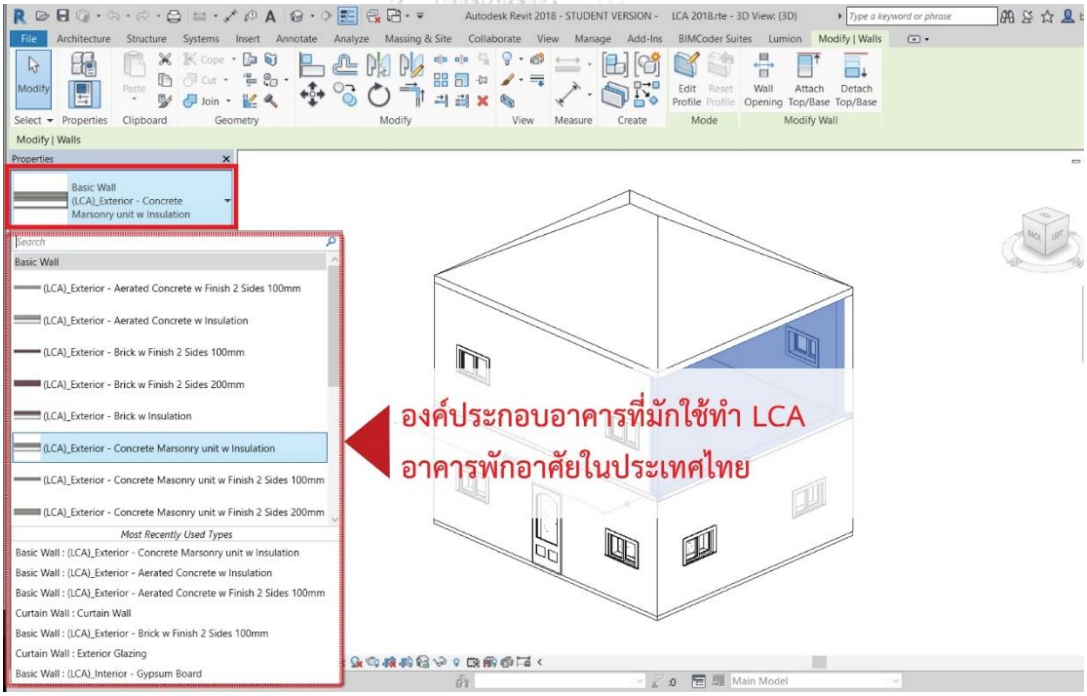


ภาพที่ 4.8 Thai LCGHG Template

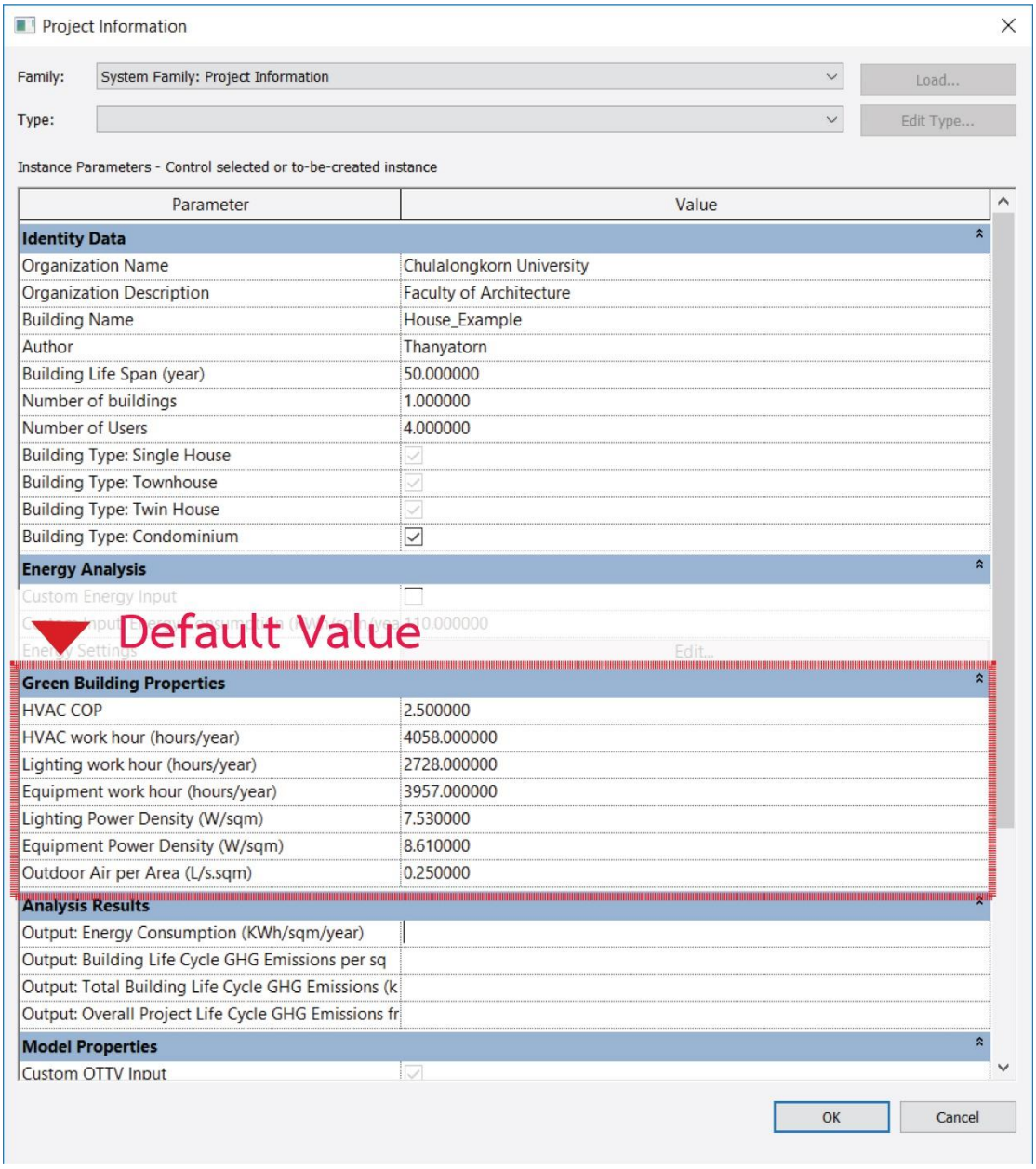
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.9 ฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ

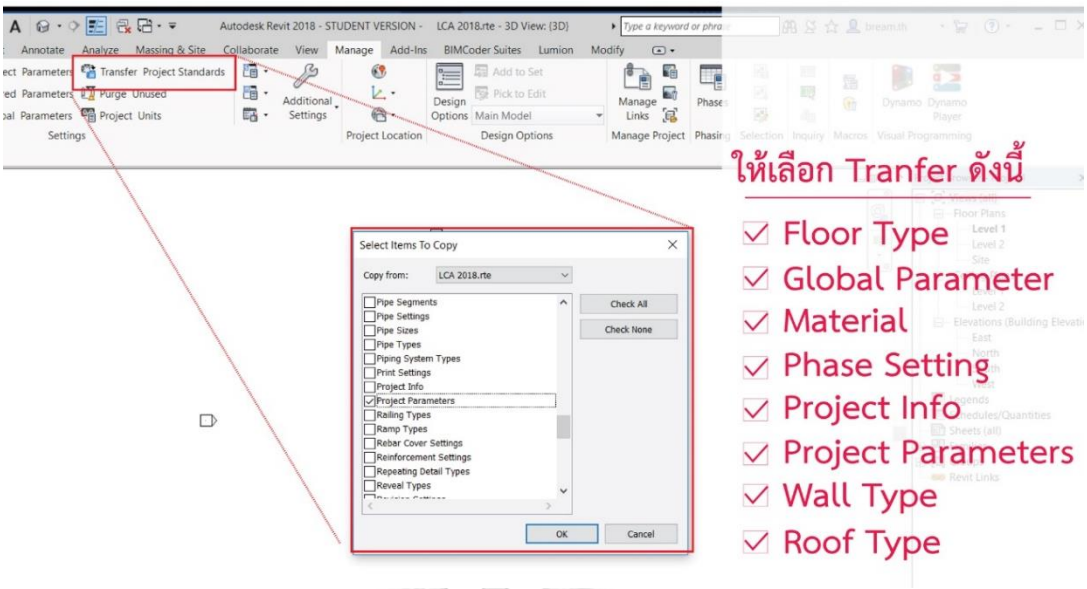


ภาพที่ 4.10 Type ใน LCGHG Template



ภาพที่ 4.11 ค่า Default สำหรับการคำนวนค่าการใช้พลังงานใน Project Information

ในกรณีที่ผู้ใช้งานมี Template ที่ใช้งานเดิมอยู่แล้วหรือมีการสร้าง Model บน Template อื่นไว้และต้องการส่งผ่านฐานข้อมูล Type และค่า Default ต่างๆที่ได้ตั้งไว้ใน Template สามารถทำได้โดยเปิด Thai LCGHG Template ไว้พร้อมกับ Template ที่ต้องการการส่งผ่านข้อมูล โดยเปิดหน้าต่าง Template ที่ผู้ใช้งานจะต้องการส่งข้อมูลไปแล้วเลือก Manage Tab > Transfer Project Standard แล้วเลือกเครื่องหมายถูก ☑ หน้าหัวข้อ Global Parameter, Material, Phasing Setting, Project Information, Wall Type, Floor Type, และRoof Type ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 การ Transfer Project Standards

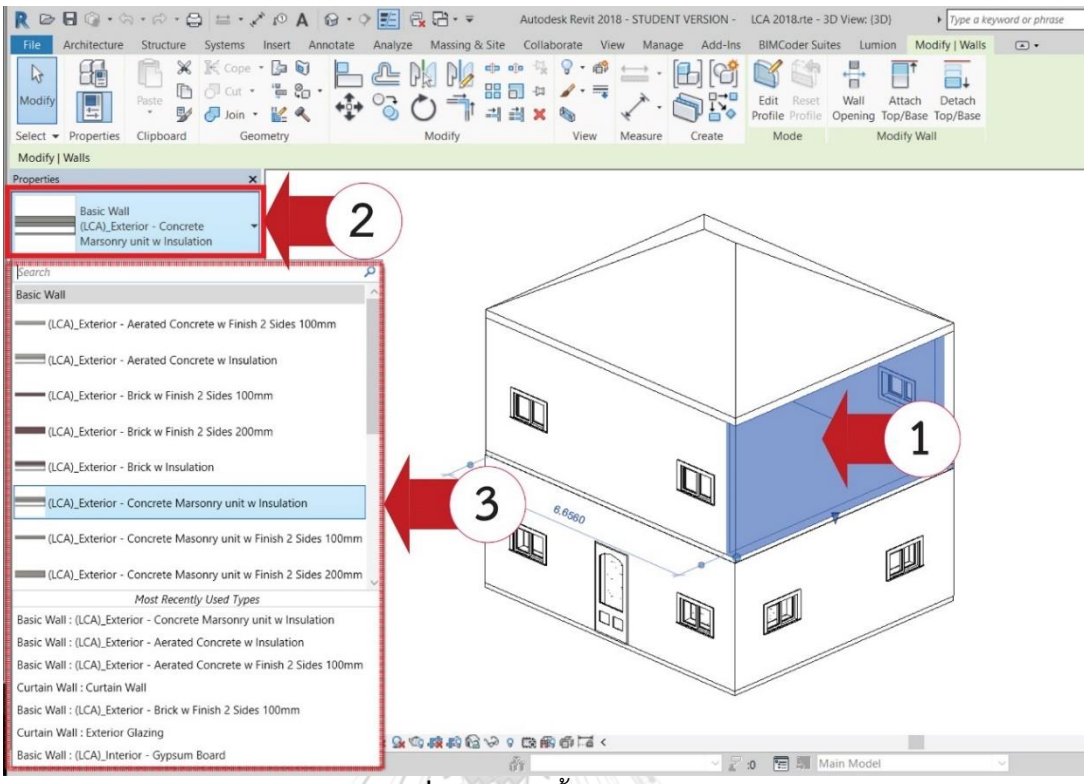
4.3.1.2 การใส่ตั้งค่าในแบบจำลอง

วิธีการตั้งค่าเครื่องมือบน Template แบ่งเป็น 2 ระดับตามการใช้งาน 1.ระดับการตั้งค่าเบื้องต้น (Basic Input) เป็นการตั้งค่าอย่างง่ายเหมาะสำหรับสถาปนิกที่ออกแบบอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่แค่ต้องการการเห็นความแตกต่างจากการออกแบบเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยไม่ต้องการใช้เวลาในการกรอกข้อมูลในรายละเอียดมาก 2. ระดับการตั้งค่าแบบลงรายละเอียด (Detail Input) เป็นการตั้งค่าอย่างละเอียดสำหรับผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารและต้องการปรับแต่งค่าให้มีความแม่นยำ

4.3.1.2.1 การใส่ข้อมูลเบื้องต้น (Basic Input)

1. การตั้งค่า Element ภายหลังการเปิดหน้าต่าง Template และสร้างแบบจำลองดังนี้ การใช้ข้อมูลเบื้องต้นมีขั้นตอนดังนี้ ให้เลือกที่ Element เช่น ผนัง แล้วเลือก Type ในแถบ Properties หลังจากนั้นให้เลือกรูปแบบผนังที่ต้องการ ดังภาพที่ 4.13 และทำเช่นเดียวกันกับหลังคา ฝ้าเพดาน ประตู หน้าต่าง และโครงสร้าง

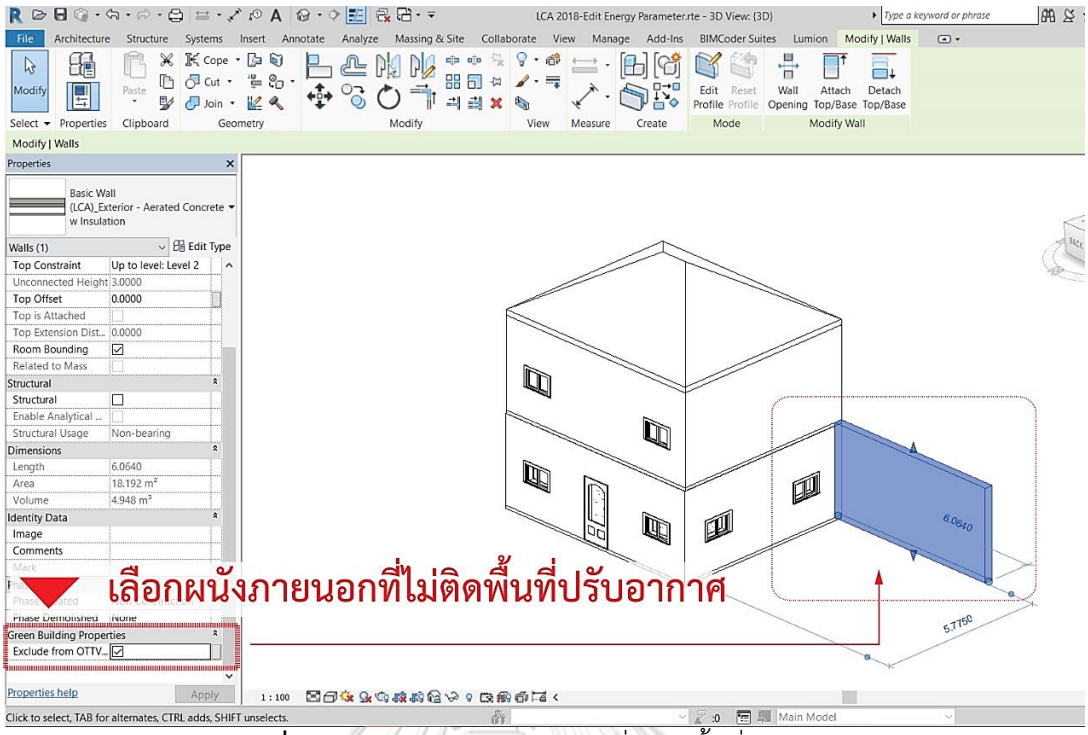
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



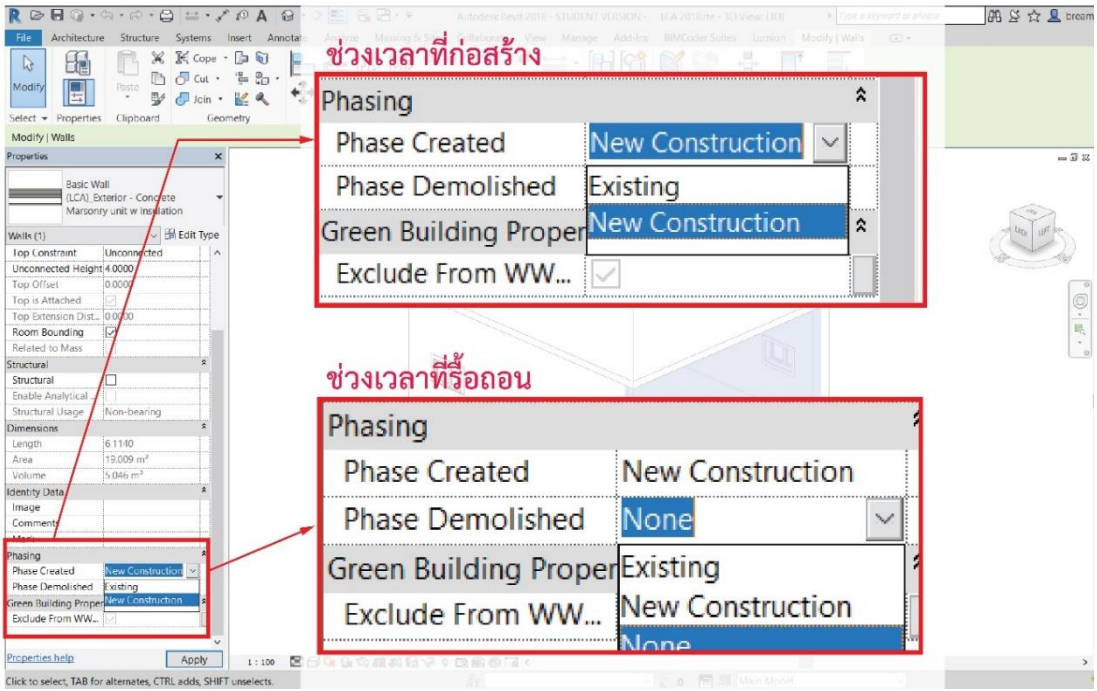
ภาพที่ 4.13 การตั้งค่า Element

วัสดุผนังและหลังคาเป็นเปลือกอาคาร โดยทั่วไปการคำนวณค่าการใช้พลังงานของอาคารจะประกอบไปด้วยค่า OTTV และ RTTV หรือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ทั้งนี้การคำนวณค่า OTTV และ RTTV จะมีเงื่อนไขในการคำนวณคือคิดเฉพาะส่วนที่เป็นเปลือกอาคารภายนอกที่เป็นที่ติดกับพื้นที่ปรับอากาศเท่านั้น จากประสบการณ์ของผู้วิจัยพบว่าอาคารพักอาศัยขนาดใหญ่ที่มี Element ผนังในปริมาณมาก เช่น คอนโดมิเนียม จะมีผนังภายนอกที่ติดกับพื้นที่ปรับอากาศมากกว่าผนังที่ไม่ติดพื้นที่ปรับอากาศ งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้การระบุผนังที่ใช้ในการคำนวณค่า OTTV เป็นไปได้ง่ายที่สุดคือ โดยการดึงข้อมูลผนังภายนอกมาคำนวณทั้งหมด โดยที่ผู้ใช้เครื่องมือจะต้องเป็นผู้เลือกหรือระบุว่าผนังภายชิ้นใดเป็นผนังภายนอกที่ไม่นำมาใช้ในการคำนวณ OTTV เพื่อที่เครื่องมือนี้จะได้มีดึงข้อมูลจากผนังชิ้นนั้นมาคำนวณ

ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องทำเครื่องหมาย ☑ ที่ Exclude From OTTV/RTTV calculation ของผนังและหลังคาที่ไม่ได้ติดกับพื้นที่ปรับอากาศเพื่อเป็นการเลือกที่จะไม่เอาผนังชิ้นนั้นมาคำนวณค่า OTTV ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 การเลือกผนังภายนอกที่ไม่ติดพื้นที่ปรับอากาศ



ภาพที่ 4.15 การกำหนด Phasing

2. การกำหนดช่วงเวลา หรือ Phasing ของ Element เป็นการกำหนดว่า พื้น ผนัง หลังคา ประตู หน้าต่าง และโครงสร้าง แต่ละชิ้นจะมีการสร้างและรื้อถอน ณ ช่วงเวลาใด การตั้งค่า Phasing จะทำให้การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารสำหรับโครงการปรับปรุงอาคารเดิมหรือโครงการวางแผนทุบรื้อถอนอาคารทำได้ง่ายขึ้น โดยการตั้งค่า Phasing ดังภาพที่ 4.15 ในแต่ละ phase มีความหมายและวิธีการดึงข้อมูลมาคำนวณดังนี้

2.1 Phase Created หมายถึง ช่วงเวลาในการก่อสร้าง

2.1.1 Phase Created > New Construction หมายถึง Element นั้นเป็น Element ที่มีการสร้างใหม่ในการก่อสร้างโครงการนี้ วัสดุของ Element นั้นจะถูกนำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคาร ซึ่งการตั้งค่านี้จะเป็นค่า Default ของเครื่องมือเสมอ

2.1.2 Phase Created > Existing หมายถึง Element นั้น เป็น Element ที่มีอยู่เดิมสำหรับการปรับปรุงอาคารเดิม วัสดุของ element นั้นจะไม่ถูกนำมาคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการผลิตเนื่องจากไม่ได้เป็นวัสดุที่มีการผลิตและก่อสร้างใหม่ แต่จะถูกนำมาคำนวณในช่วงการใช้งาน การบำรุงรักษา และการรื้อถอนทำลาย

2.2. Phase Demolished หมายถึง ช่วงเวลาในการรื้อถอนทำลาย

2.2.1 Phase Demolished > New Construction หมายถึง Element นั้นเป็น Element ที่มีอยู่เดิมก่อนจะเริ่มโครงการและจะถูกรื้อถอนในช่วงการก่อสร้างอาคารใหม่ วัสดุของ element นี้จึงคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะช่วงการรื้อถอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่ถูกทุบตั้งแต่การก่อสร้างในช่วงแรกๆ

2.2 Phase Demolished > None หมายถึง Element นั้นยังไม่มีแผนในการรื้อถอนจะอยู่ตลอดช่วงชีวิตของอาคารโดยจะมีการเปลี่ยนวัสดุและรื้อถอนทำลายตามอายุการใช้งานของมัน วัสดุนี้จึงถูกนำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคาร สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

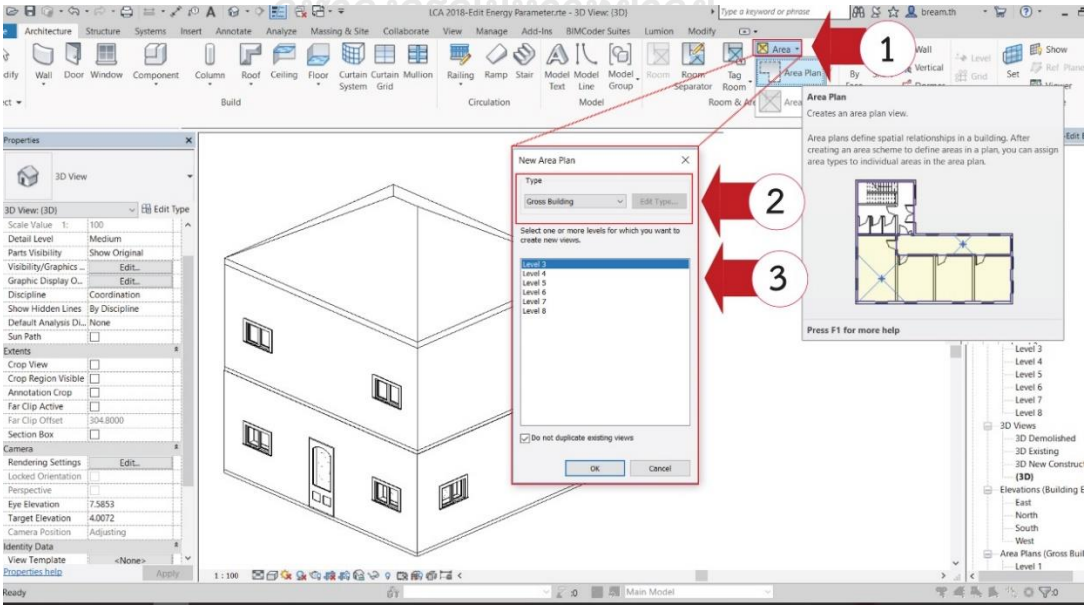
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 แสดงแนวคิดของการดึงข้อมูลจากการเลือก Phasing มาคำนวณวัฏจักรชีวิตอาคาร

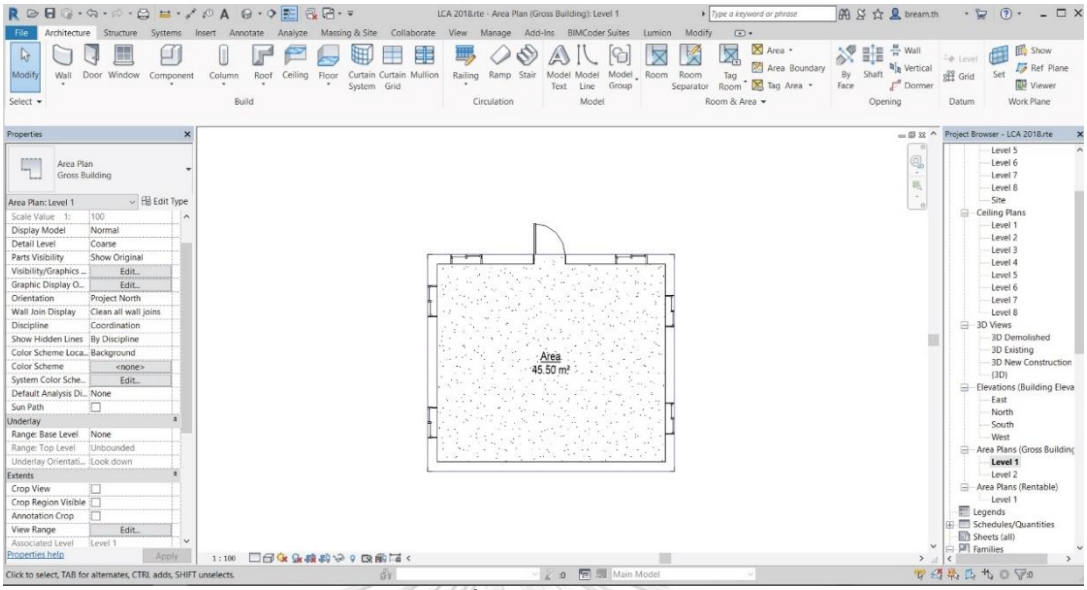
Phasing	ช่วงการผลิต	ช่วงการใช้งาน	ช่วงการบำรุงรักษา	ช่วงการทำลาย
Phase Created				
New Construction	√	√	√	√
Existing	-	√	√	√
Phase Demolished				
None	√	√	√	√
New Construction	√	-	-	-
Existing	Invalid order of phases			

3. กำหนดพื้นที่อาคารทั้งหมดและพื้นที่ปรับอากาศ กำหนดพื้นที่อาคารโดยการเลือก Architecture Tab > Area > Area Plan กำหนด Area Type ให้เป็น Gross Building แล้วเลือกชั้น (Level) ที่ต้องการที่ต้องการให้คิดพื้นที่ของอาคารดังภาพที่ 4.16 แล้วกด OK จะเห็นว่าพื้นที่อาคารแต่ละชั้นที่ได้เลือก จะมีการระบุตัวเลขขนาดพื้นที่เป็นตารางเมตรมาให้ ดังภาพที่ 4.17

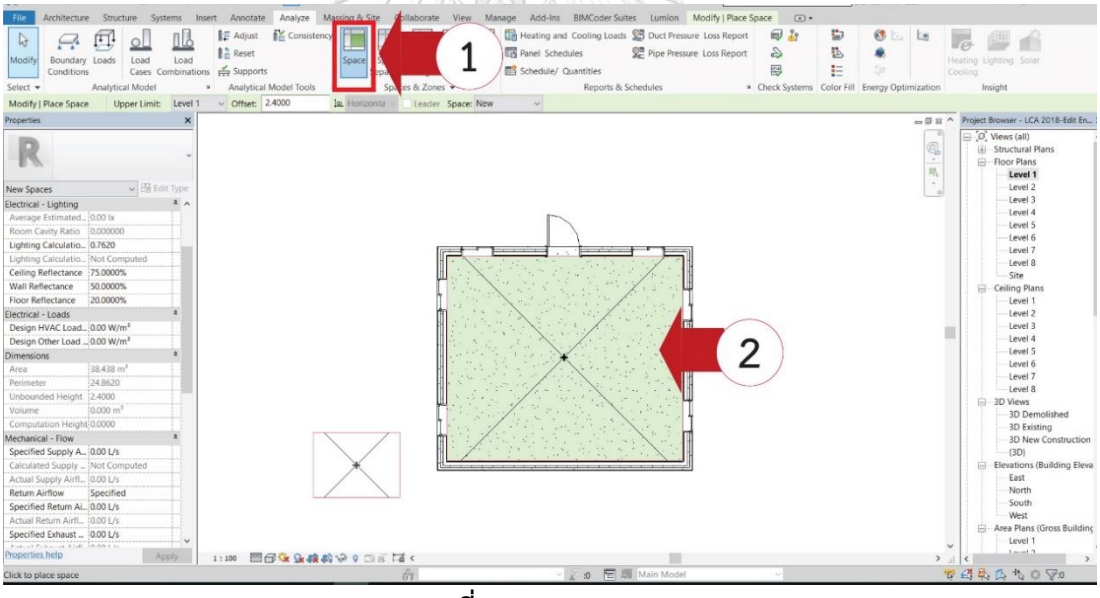
การกำหนดพื้นที่ปรับอากาศโดยการเลือก Analyze Tab > Space และเลือกบริเวณที่เป็นพื้นที่ปรับอากาศใน Floor Plan บริเวณพื้นที่ที่ได้เลือกเป็นพื้นที่ปรับอากาศจะขึ้นเป็นสีเขียวมีกากบาทตรงกลาง ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.16 การกำหนด Area



ภาพที่ 4.17 Area View

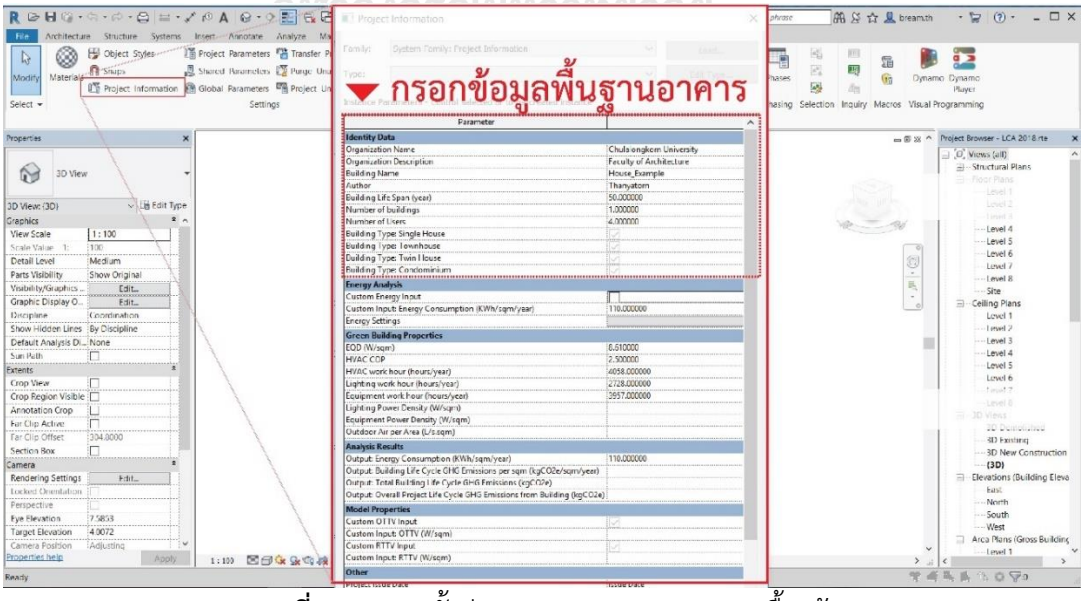


ภาพที่ 4.18 Space View

4. การตั้งค่า Project Information จากการสัมภาษณ์ความต้องการของผู้ใช้งานพบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่ต้องการที่จะให้มีการรวมการตั้งค่าทั้งหมดไว้ที่ตำแหน่งเดียวกัน งานวิจัยนี้จึงได้รวบรวมการตั้งค่าส่วนที่นอกเหนือจากการตั้งค่าทั่วไปในโปรแกรม Revit ที่ผู้ใช้งานทั่วไปคุ้นเคย ไว้ที่ Project Information ดังภาพที่ 4.19 ในการตั้งค่าเบื้องต้นผู้ใช้งานจะต้องกรอกข้อมูลในตารางที่ 4.3 ให้ถูกต้อง โดยค่าอื่นสามารถทิ้งไว้เป็นค่า default ได้

ตารางที่ 4.4 การกรอกข้อมูลเบื้องต้นบน Project Information

Group	Parameter	ค่าที่กรอก
Identity Data	Building Name	ชื่อของอาคาร
	Author	ชื่อของผู้ใช้งาน
	Building Life Span (year)	อายุของอาคาร มีการกำหนดค่า default ไว้ที่ 50 ปี
	Number of Buildings	จำนวนอาคาร มีการกำหนดค่า default ไว้ที่ 1 หลัง สำหรับโครงการอาคารหรือบ้านจัดสรรสามารถกรอกจำนวนอาคารเพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับทั้งโครงการได้
	Number of Users	จำนวนผู้ใช้อาคาร
	Building Type: Single House	ประเภทของอาคารพักอาศัย โดยผู้ใช้งานจะต้องทำเครื่องหมาย ☑ เพียงอาคารประเภทเดียว เนื่องจากมีผลต่อการกำหนดสูตรที่จะนำมาใช้คำนวณ
	Building Type: Twin House	
	Building Type: Townhouse	
	Building Type: Condominium	



ภาพที่ 4.19 การตั้งค่า Project Information เบื้องต้น

4.3.1.2.2 การใส่ข้อมูลแบบลงรายละเอียด (Detail Input)

เป็นการใส่ข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการตั้งค่าโดยละเอียดหรือต้องการสร้าง Material, Type หรือ Family ขึ้นมาใหม่สามารถตั้งค่าเพิ่มเติมจากการตั้งค่าเบื้องต้นได้ดังนี้

1. การตั้งค่า Project Information

สามารถกรอกค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณการใช้พลังงาน เช่น ค่า LPD EQD สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ อัตราการระบายอากาศ ชั่วโมงการใช้งานระบบปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่างและชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า แทนที่ค่า Default ของเครื่องมือได้ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้สร้างทางเลือกในการกรอกค่า OTTV RTTV และค่าการใช้พลังงานที่ได้จากการวัดจริงหรือการจำลองค่าการใช้พลังงานจากเครื่องมืออื่นได้ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับค่า OTTV และ RTTV ที่ได้จาก BEC และทำให้สามารถใช้กับอาคารประเภทอื่นที่นอกจากอาคารพักอาศัยได้ เนื่องจากสมการการคำนวณค่าการใช้พลังงานใช้ในการพัฒนาเครื่องมือนี้สามารถใช้ได้กับอาคารพักอาศัยเท่านั้น โดยวิธีการกรอกค่าต่างๆใน Project Parameter สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

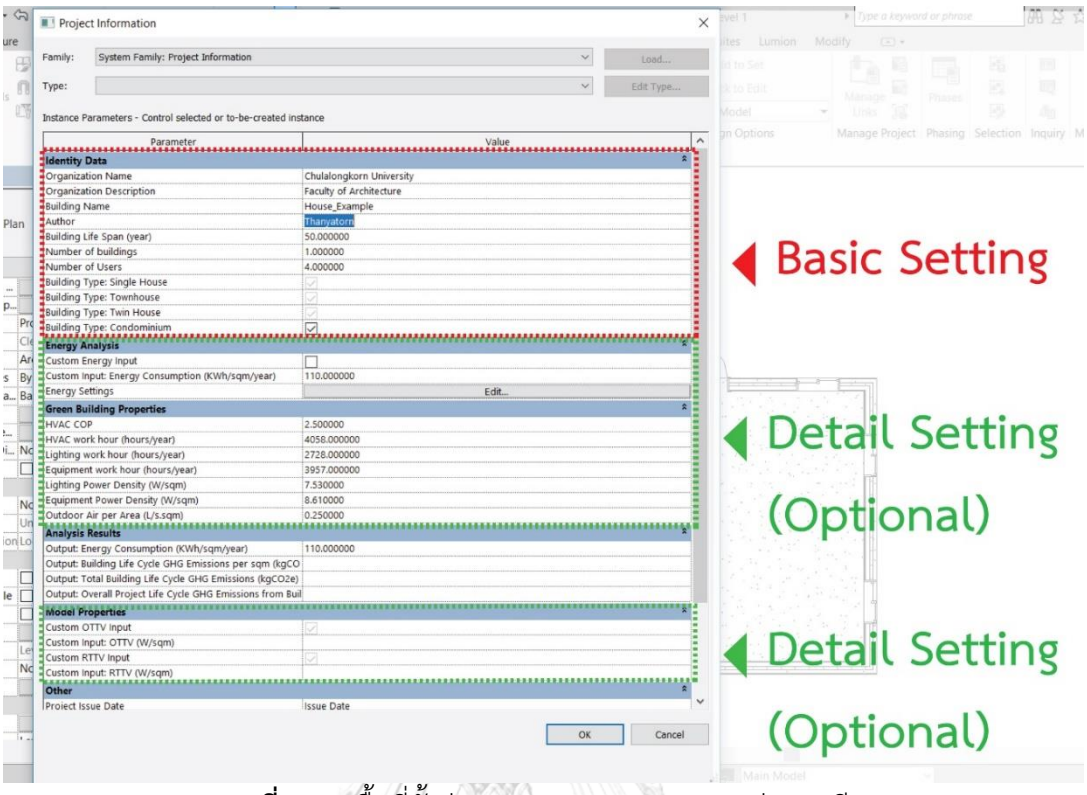
ตารางที่ 4.5 การกรอกข้อมูลในรายละเอียดบน Project Information

Group	Parameter	ค่าที่กรอก
Energy Analysis	Custom Energy Input	เลือก ☑ หากต้องการกรอกค่าการใช้พลังงานจากแหล่งข้อมูลอื่น เพื่อให้แทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณการใช้พลังงานของเครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้
	Custom Input: Energy Consumption (kWh/m^2/year)	กรอกค่าการใช้พลังงานจากแหล่งข้อมูลอื่น เครื่องมือนี้จะดึงค่าที่กรอกมาใช้ในการประเมินการวัฏจักรชีวิตแทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมจากเครื่องมือ
Green Building Properties	Lighting Power Density (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ส่องสว่างต่อหนึ่งหน่วยพื้นที
	Equipment Power Density (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
	Outdoor Air per Area	ปริมาณการระบายอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	(L/s. m^2)	
	HVAC COP	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ
	HVAC work hour (hours/year)	จำนวนชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศต่อปี
	Lighting work hour (hours/year)	จำนวนชั่วโมงการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างต่อปี
	Equipment work hour (hours/year)	จำนวนชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อปี
Model Properties	Custom OTTV Input	เลือก ☑ หากต้องการกรอกค่า OTTV จากแหล่งข้อมูลอื่น เพื่อให้แทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณOTTV ของเครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้
	Custom Input: OTTV (W/ m^2)	กรอกค่า OTTV จากแหล่งข้อมูลอื่น เครื่องมือนี้จะดึงค่าที่กรอกมาใช้ในคำนวณค่าการใช้พลังงานรวม แทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณ OTTV ของเครื่องมือนี้
	Custom RTTV Input	เลือก ☑ หากต้องการกรอกค่า RTTV จากแหล่งข้อมูลอื่น เพื่อให้แทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณRTTV ของเครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้
	Custom Input: RTTV (W/ m^2)	กรอกค่า RTTV จากแหล่งข้อมูลอื่น เครื่องมือนี้จะดึงค่าที่กรอกมาใช้ในคำนวณค่าการใช้พลังงานรวม แทนที่ค่าที่ได้จากการคำนวณ RTTV ของเครื่องมือนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



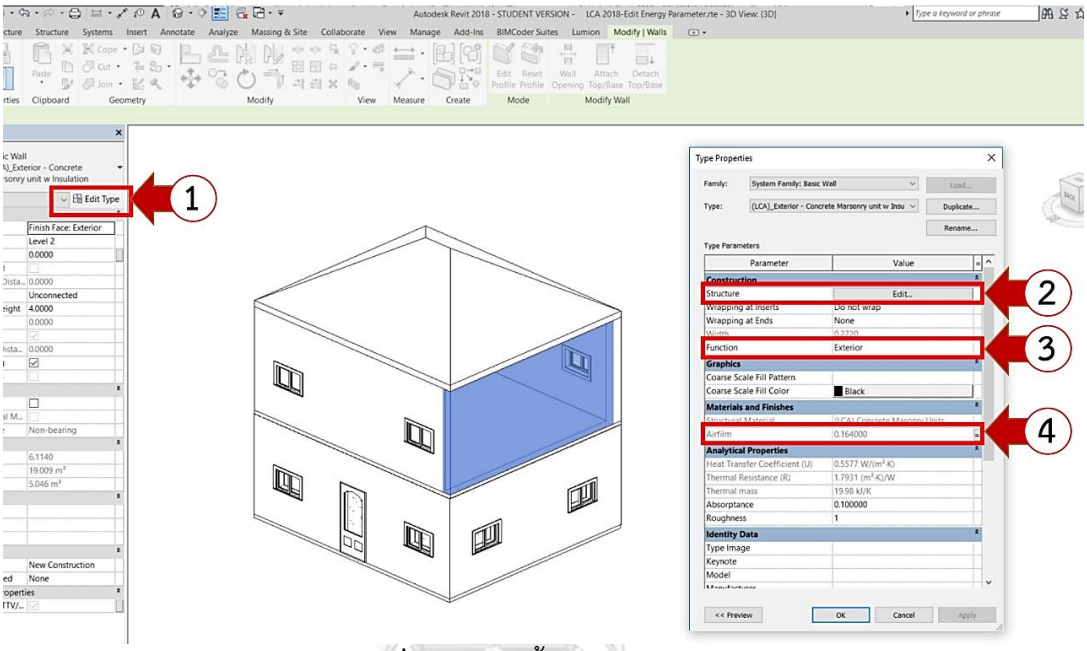
ภาพที่ 4.20 พื้นที่ตั้งค่า Project Information อย่างละเอียด

2. การตั้งค่า Type ของผนัง พื้น ฝ้าเพดาน หลังคา ประตู หน้าต่าง และโครงสร้าง

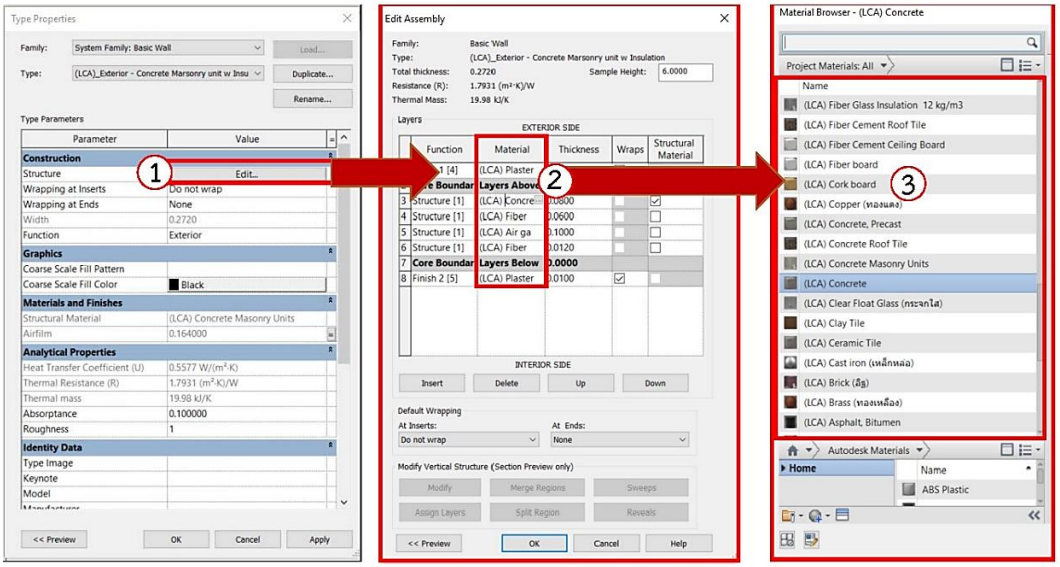
การตั้งค่าผนัง (Wall Type) มีวิธีการตามหมายเลขของภาพที่ 4.21 ดังนี้

1. กด Edit Type จะขึ้นเป็นหน้าต่าง Type Properties ให้สามารถแก้ไขค่าต่างๆ โดยมี Parameter ที่สำคัญที่ข้อมูลที่กรอกจะเป็นค่าที่ดึงเข้าไปใช้ในสูตรการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ Structure, Function และ Air film
2. Structure เป็นการกำหนดโครงสร้างของผนัง โดยเมื่อกด Edit จะสามารถเข้าไปกำหนดความหนาและวัสดุของผนังแต่ละชั้นจาก Material Library ได้ ดังภาพที่ 4.22
3. Function เป็นการกำหนดหน้าที่ของผนังว่าเป็นผนังภายใน (Exterior) หรือภายนอก (Interior) การเลือก Function มีการกับการคิดพื้นที่ผนังในการคำนวณค่า OTTV
4. Air film คือค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศเป็น Parameter ที่ได้เพิ่มเข้ามาโดยผู้วิจัยเพื่อให้การคิดคำนวณค่า OTTV มีความแม่นยำขึ้นโดยผู้วิจัยสามารถเลือกได้ว่า เลือกว่าเป็นพื้นผิวผนังเป็นพื้นผิวที่มีค่าการแผ่รังสีสูงหรือการแผ่รังสีต่ำ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศของพื้นผิวนั้นก็จะปรากฏขึ้นอัตโนมัติ

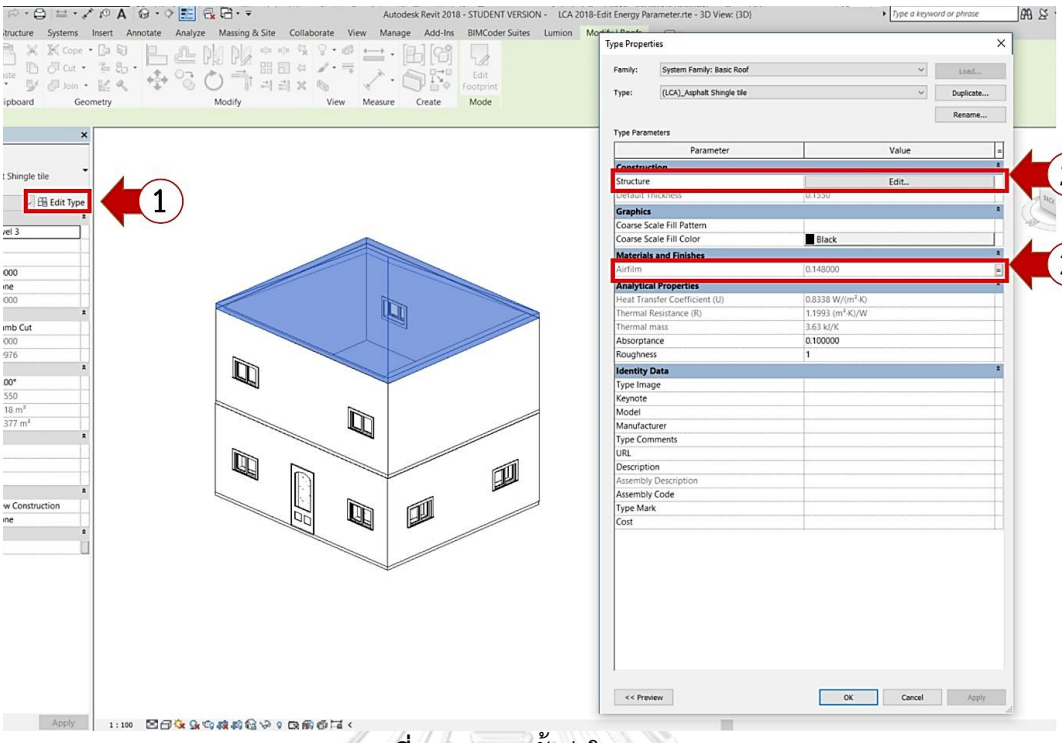
การตั้งค่าหลังคา (Roof Type) พื้น (Floor Type) และฝ้าเพดาน (Ceiling Type) ก็มีวิธีการเช่นเดียว โดยหลังคาจะมีตั้งค่าที่สำคัญเพียงแค่ Structure และ Air film ดังภาพที่ 4.23ส่วนพื้นและฝ้าเพดานมีการตั้งค่าเพียง Structure เท่านั้น ดังภาพที่ 4.24 และ 4.25



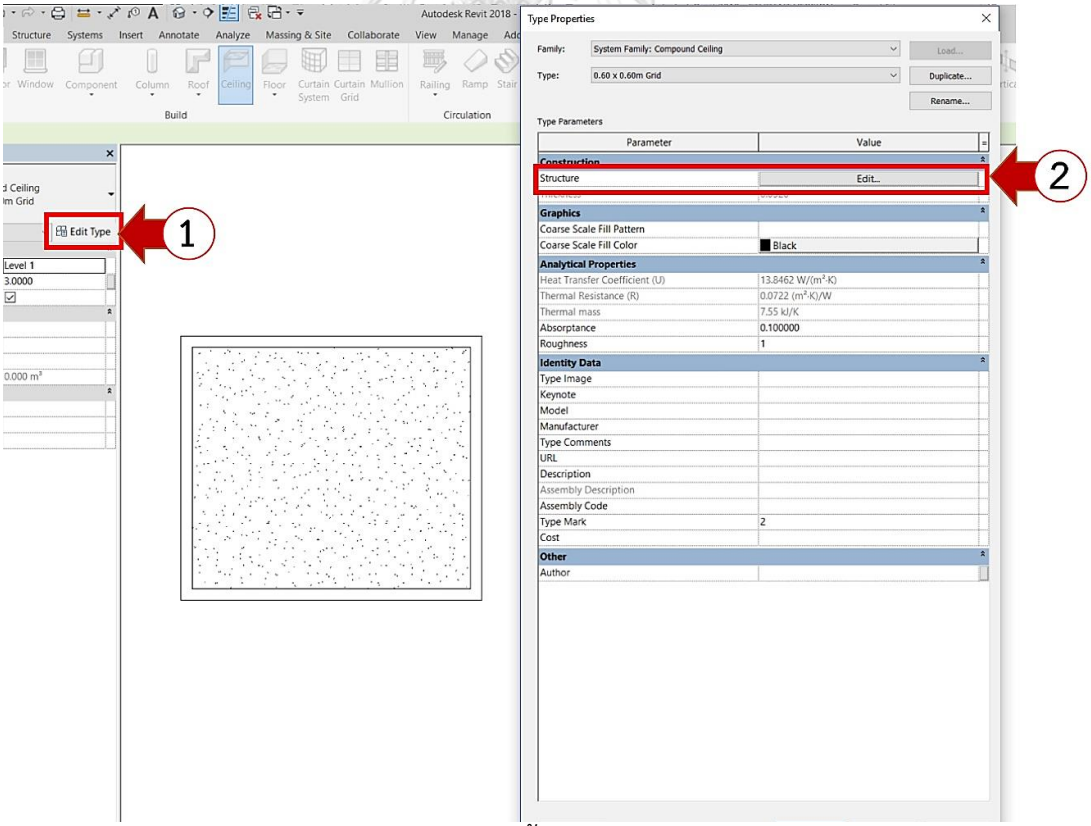
ภาพที่ 4.21 การตั้งค่าใน Wall Type



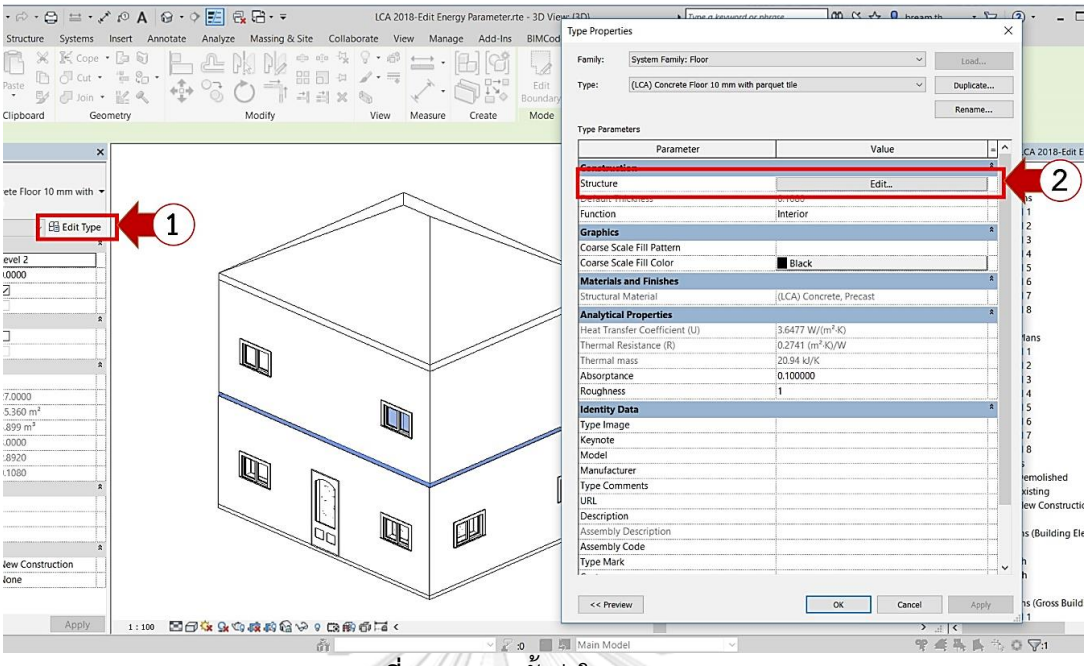
ภาพที่ 4.22 การตั้งค่าใน Parameter Structure



ภาพที่ 4.23 การตั้งค่าใน Roof Type



ภาพที่ 4.24 การตั้งค่าใน Ceiling Type



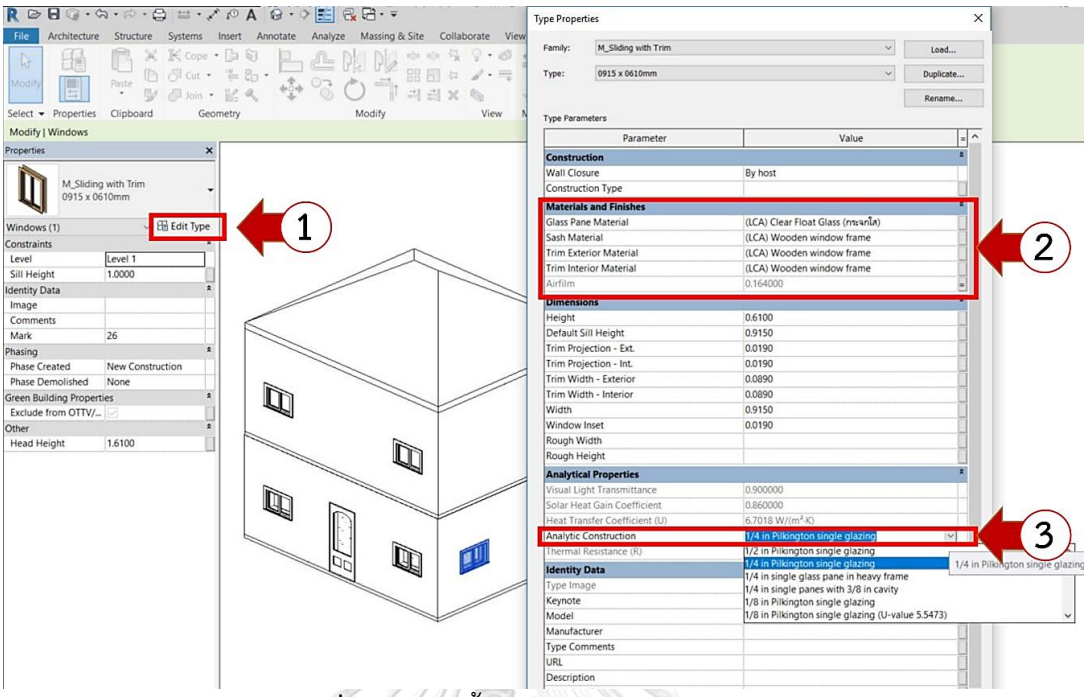
ภาพที่ 4.25 การตั้งค่าใน Floor Type

การตั้งค่าประตู (Door Type) และหน้าต่าง (Window Type) มีวิธีการตามหมายเลขของภาพที่ 4.26 และภาพที่ 4.27 ดังนี้

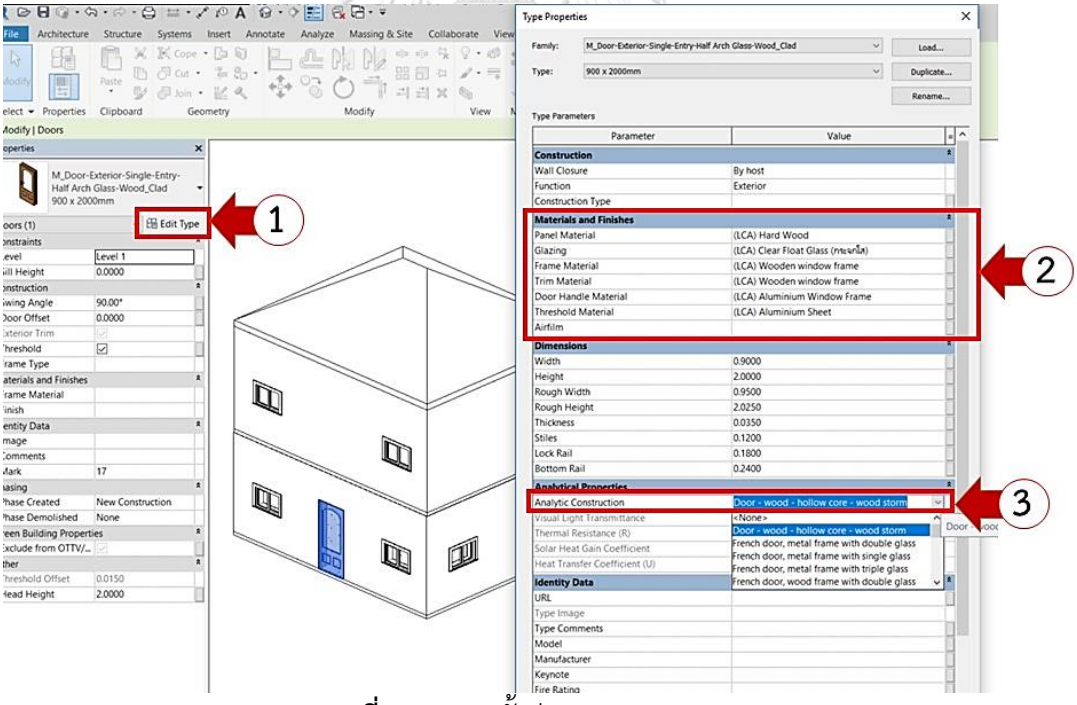
1. กด Edit Type จะขึ้นเป็นหน้าต่าง Type Properties ให้สามารถแก้ไขค่าต่างๆ โดยมี Parameter ที่สำคัญที่ข้อมูลที่กรอกจะเป็นค่าที่ดึงเข้าไปใช้ในสูตรการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตอาคาร ได้แก่ Materials and Finishes และ Analytical Construction
2. Materials and Finishes เป็นการกำหนดวัสดุส่วนต่างๆเช่น กรอบ วงกบ กระจก ลูกฟัก จาก Material Library
3. Analytical Constrcution เป็นการกำหนดชนิดกระจก โดยใน Template จะมีชนิดกระจกเบื้องต้นมาให้เลือก เมื่อเลือกชนิดของกระจกแล้วค่า Solar Heat Gain Coefficient, ค่า Heat Tranfer Coefficient (U) และค่า Thermal Resistant จะปรากฏขึ้นโดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณ OTTV ของเครื่องมือ

ส่วนการตั้งค่าเสาหรือโครงสร้างทำได้โดยการแก้ไข Structural Material ที่ Properties ได้เลย ดังภาพที่ 4.28

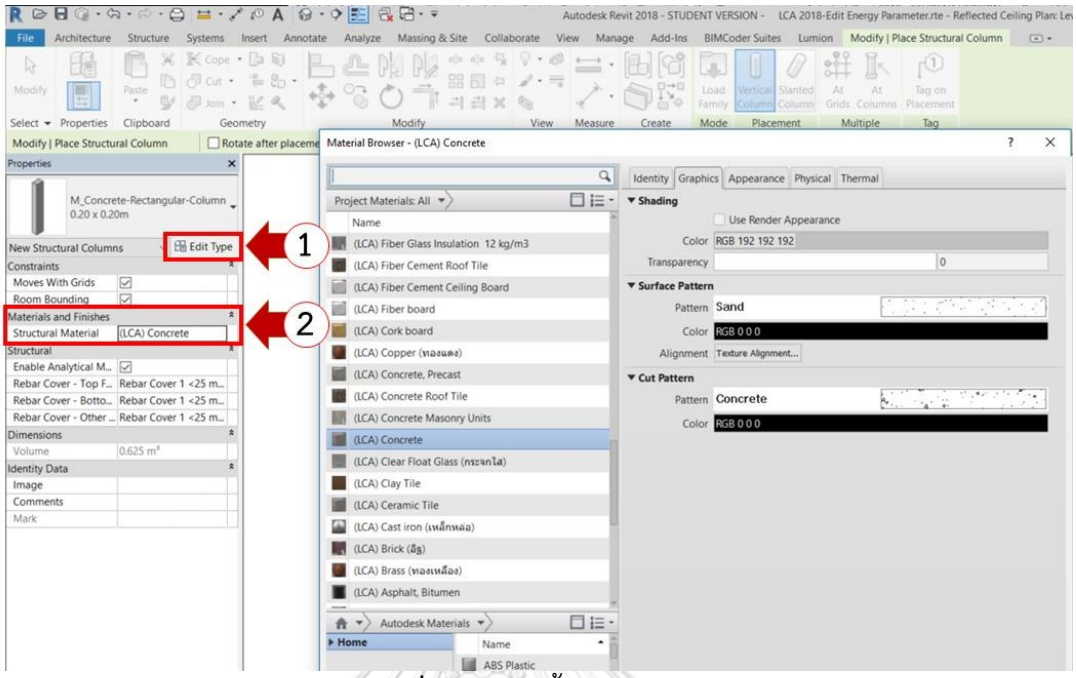
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.26 การตั้งค่าหน้าต่าง (Window Type)



ภาพที่ 4.27 การตั้งค่าประตู (Door Type)



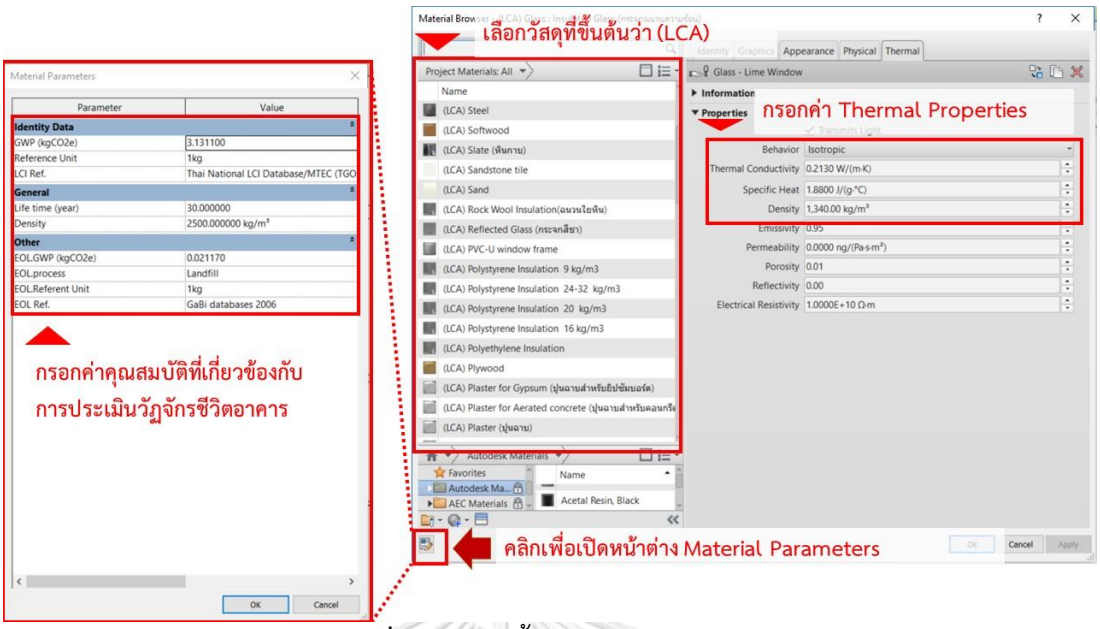
ภาพที่ 4.28 การตั้งค่าโครงสร้าง

1. การตั้งค่า Material Library

   การเปิดหน้าต่าง Material Browsers ทำได้สองวิธีคือเลือก Manage Tab > Materials ดังภาพที่ 4.29 หรือการเข้าไป Edit Type > Structure Edit ดังภาพที่ 4.22 เมื่อเข้าไปที่หน้าต่าง Material Browser จะเห็นรายการข้อมูลวัสดุที่ช่อง Project Material โดยขึ้นมูลวัสดุที่ขึ้นต้นด้วย (LCA) คือข้อมูลวัสดุที่มีค่าคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ผู้ใช้งานสามารถ Duplicate วัสดุและทำการแก้ไขค่าต่างๆ ได้โดยด้านขวาของฐานข้อมูลจะเป็นค่า Thermal Properties ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขค่า Thermal Conductivity ได้ โดยที่มุมขวาล่างของหน้าต่าง Material Browsers จะมีสี่เหลี่ยมเล็กๆ เมื่อกดเข้าไปจะขึ้นหน้าต่าง Material Parameter โดย Parameter ที่เกิดขึ้นจากหน้าต่างนี้เกิดจากการเพิ่มโดยผู้วิจัย

   ทั้งนี้วิธีการกรอกค่าต่างๆใน Material สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.29 การตั้งค่า Material Library

ตารางที่ 4.6 ค่าสำหรับกรอกข้อมูล Material

Group	Parameter	ค่าที่กรอก
Thermal Properties (มีอยู่ในเครื่องมือผู้วิจัย)		
None	Thermal Conductivity	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (k)
Material Parameter (เพิ่มโดยผู้วิจัย)		
Identity Data	GWP ($kgCO_2e$)	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัสดุ
	Reference Unit	หน่วยของวัสดุต่อค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	LCI Ref.	ที่มาของข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัสดุ
General	Life time (Year)	ช่วงอายุของวัสดุ
	Density	ความหนาแน่นของวัสดุ*
Other	EOL.GWP ($kgCO_2e$)	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสมของวัสดุในช่วงของการผลิต (Embodied Greenhouse Gas)
	EOL.Process	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกำจัดวัสดุภายหลังการรื้อถอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	EOL. Reference Unit	หน่วยของวัสดุต่อค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	EOL Ref.	ที่มาของข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกำจัดวัสดุภายหลังการรื้อถอน

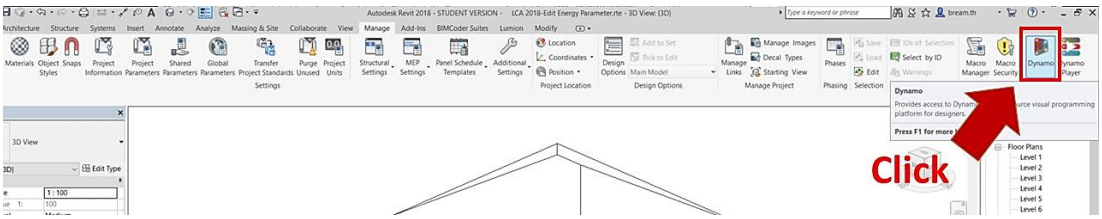
4.3.2 การประมวลผลด้วยโปรแกรมเสริม Dynamo

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้กับ Dynamo Version 1.3.2.2480 เป็นต้นไป

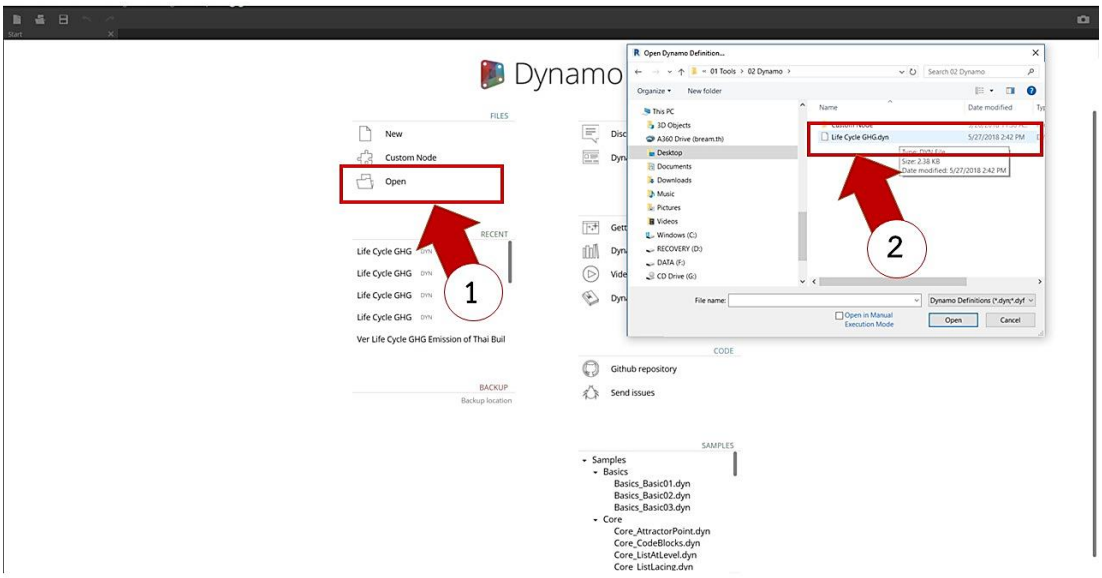
เมื่อขั้นตอนการใส่ข้อมูลสำหรับแบบจำลองสามมิติเสร็จสิ้นแล้วผู้ใช้งานจะต้องเปิดไฟล์ Dynamo ได้โดยเลือก Manage Tab > Dynamo ตามภาพที่ 4.30 หลังจากนั้นหน้าต่างแรกของ Dynamo จะแสดงขึ้นมา ให้กด Open แล้วเลือกไฟล์ Life Cycle GHG.dyn ที่ได้มาในโฟลเดอร์เครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้ ดังภาพที่ 4.31

เมื่อเปิด Life Cycle GHG.dyn จะเห็น node อยู่สอง node ให้กด Browse ที่ node: file path แล้วเลือกไฟล์ LCA Excel Template ในโฟลเดอร์เครื่องมือที่ได้พัฒนาดังภาพที่ 4.32 แล้วกด Run ไฟล์ Excel จะประมวลค่าต่างๆและแสดงผลใน Excel

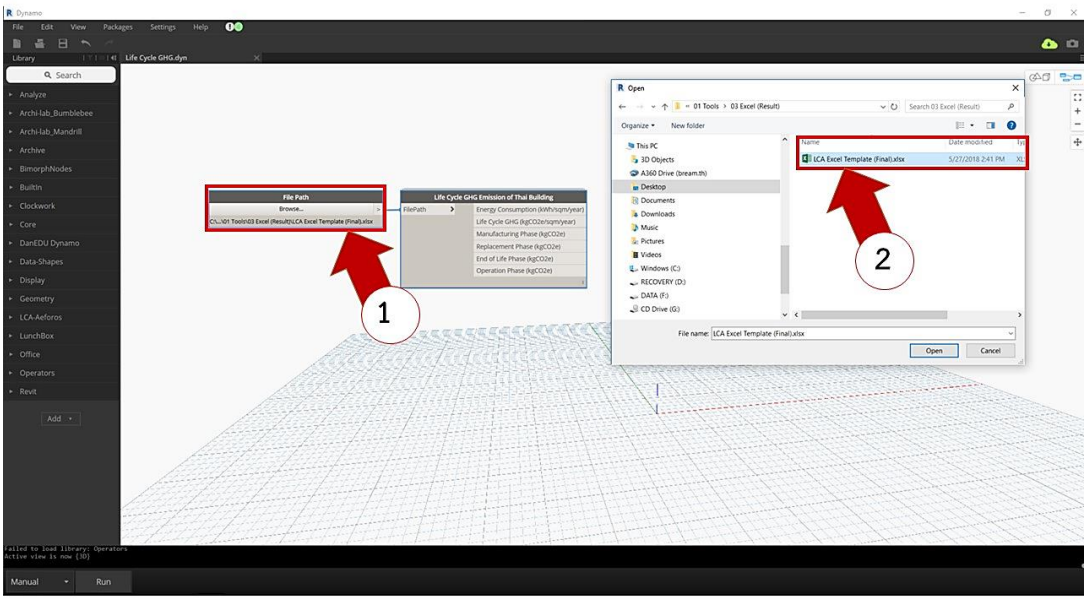
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.30 ตำแหน่งของโปรแกรมเสริม Dymano



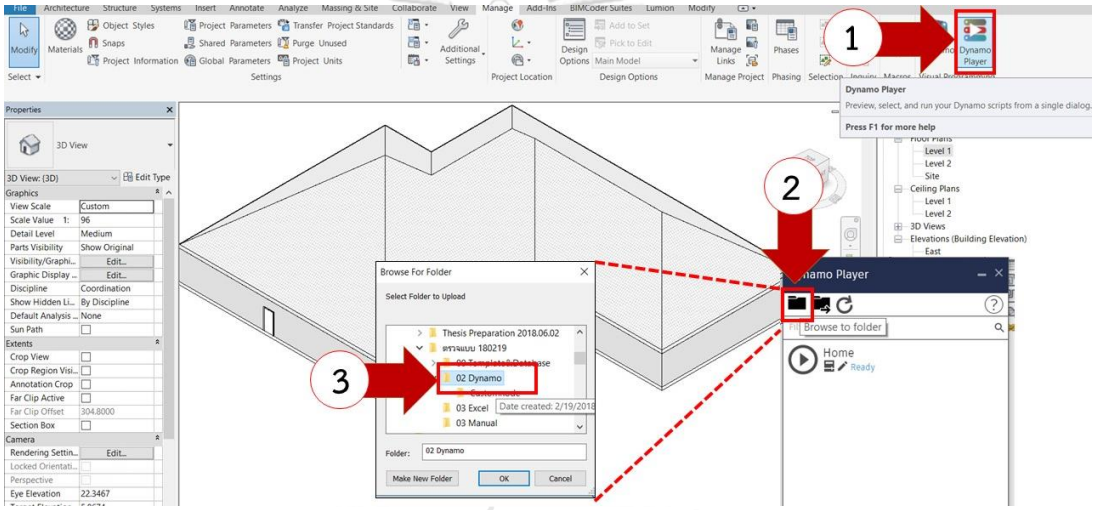
ภาพที่ 4.31 การเปิดไฟล์เครื่องมือ Dynamo



ภาพที่ 4.32 การเลือกไฟล์ Excel Template ที่แสดงผล

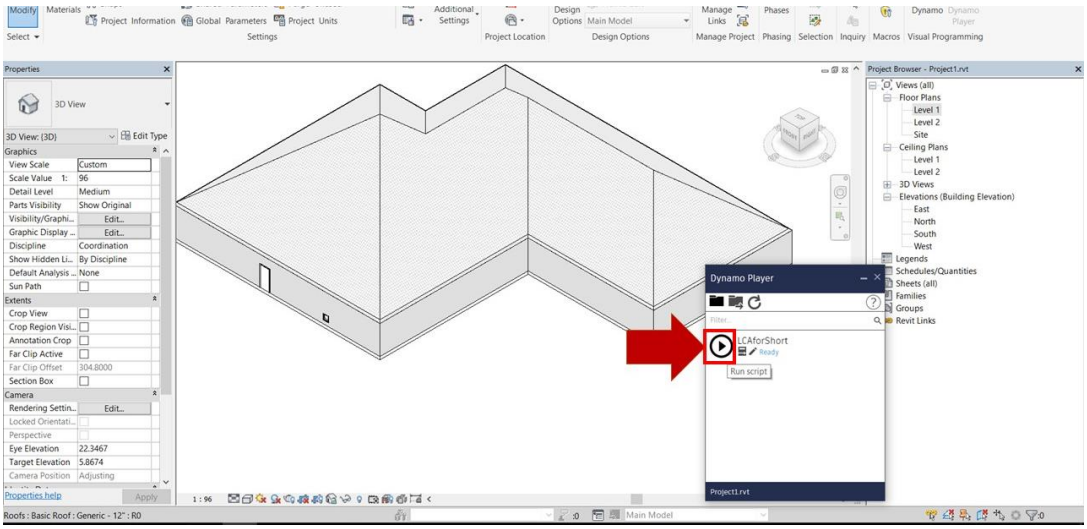
หากผู้ใช้งานใช้โปรแกรม Autodesk Revit version 2017.2 ขึ้นไป สามารถเลือกใช้โปรแกรมเสริม Dynamo player ซึ่งจะทำให้สามารถเรียกใช้คำสั่งได้โดยไม่ต้องเปิดหน้าต่าง Dynamo

การตั้งค่าไฟล์ Dynamo Player ครั้งแรกทำให้โดยการเลือกที่ Manage Tab > Dynamo Player หลังจากนั้นเลือกสัญลักษณ์ ที่หน้าต่าง Dynamo Player ดังภาพ เลือก Folder ของเครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้มีไฟล์ Life Cycle GHG.dyn อยู่แล้วกด Run ระบบจะทำการแสดงผลออกมาผ่าน โปรแกรม Excel ทันที ดังนั้นเมื่อทำการติดตั้งเครื่องมือเรียบร้อย ผู้ใช้งานสามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแบบครั้งต่อๆไปได้จากการกด Dynamo Player เพียงครั้งเดียว



ภาพที่ 4.33 การใช้งาน Dynamo Player

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.34 การใช้งาน Dynamo Player

4.3.3 การแสดงผล

เครื่องมือที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้สามารถแสดงผลได้ 3 รูปแบบดังนี้

4.3.3.1 การแสดงผลบน Revit

เมื่อทำการ Run ไฟล์ Dynamo เครื่องมือนี้จะส่งผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเบื้องต้นกลับไปที่หน้าต่าง Project Information ของ Template ดังภาพที่ 4.35 เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นค่าได้ง่าย โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่อกับไฟล์ Excel โดยการแสดงผลบน Template จะประมวลผลได้เร็วกว่าการส่งผ่านไปยังไฟล์ Excel ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบผลการประเมินเบื้องต้นได้ที่หน้าต่างนี้ โดยค่าแสดงผล Project Information ได้แก่

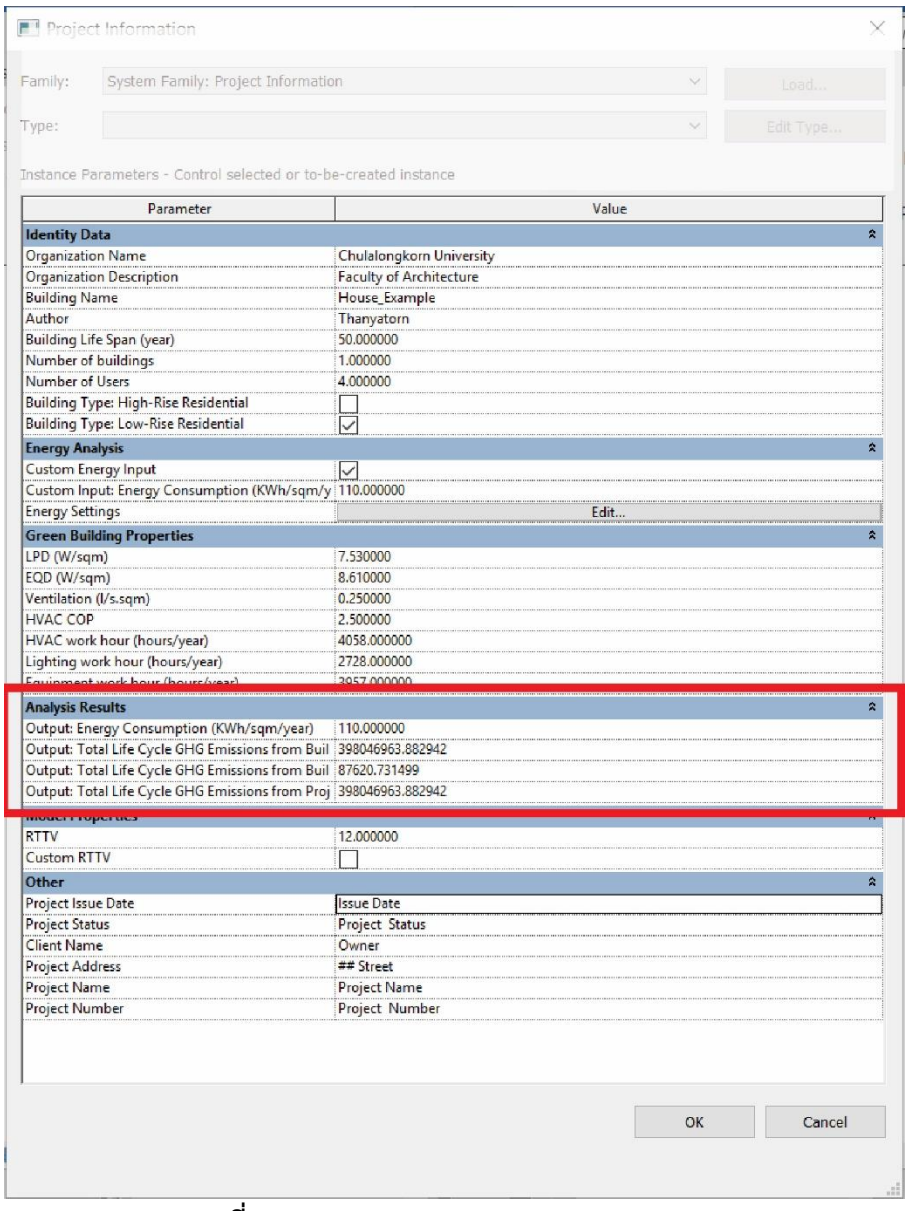
Output: Energy Consumption (kWh/sqm/year) คือค่าการใช้พลังงานรวม

Output: Building Life Cycle GHG Emission per sqm (kgCO2e/m^2/year) คือค่าการปล่อยก๊าซเรือนเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารต่อพื้นที่การใช้งาน

Output: Total Building Life Cycle GHG Emissions ($kgCO_2e$) คือค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคาร

Output: Overall Project Life Cycle GHG Emissions from Building ($kgCO_2e$) คือค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโครงการ ในกรณีมีอาคารรูปแบบเดียวกันหลายอาคาร การแสดงผลส่วนนี้จะทำไว้เพื่อแสดงผลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการบ้านจัดสรรหรือชุมชนเมือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.35 การแสดงผลบน Project Parameter

4.3.3.2 การแสดงผลบน Dynamo

หากผู้ใช้งานมีพื้นฐานในโปรแกรมเสริม Dynamo เล็กน้อย สามารถเลือกใช้คำสั่ง Watch แล้วเชื่อมต่อไปยัง Output ของ Custom node ของเครื่องมือได้ โดย Output ของ Custom node ใน Dynamo จะสามารถแสดงค่าต่างๆได้ดังนี้

Energy Consumption (kWh/m^2/year) คือ ค่าการใช้พลังงานอาคารรวม

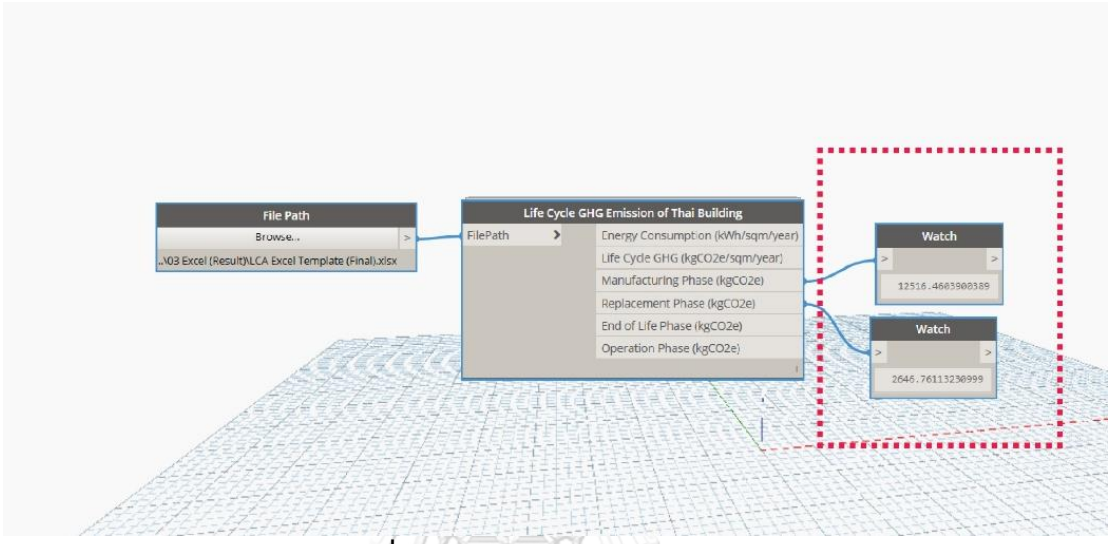
Life Cycle GHG (kgCO2e/m^2/year) คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารต่อพื้นที่การใช้งานเฉลี่ย 1 ปี

Manufacturing Phase ($kgCO_2e$) คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนเรือนกระจกในช่วงการผลิตวัสดุ

Operation Phase ($kgCO_2e$) คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคาร

Replacement Phase ($kgCO_2e$) คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนเรือนกระจกในช่วงการเปลี่ยนวัสดุ

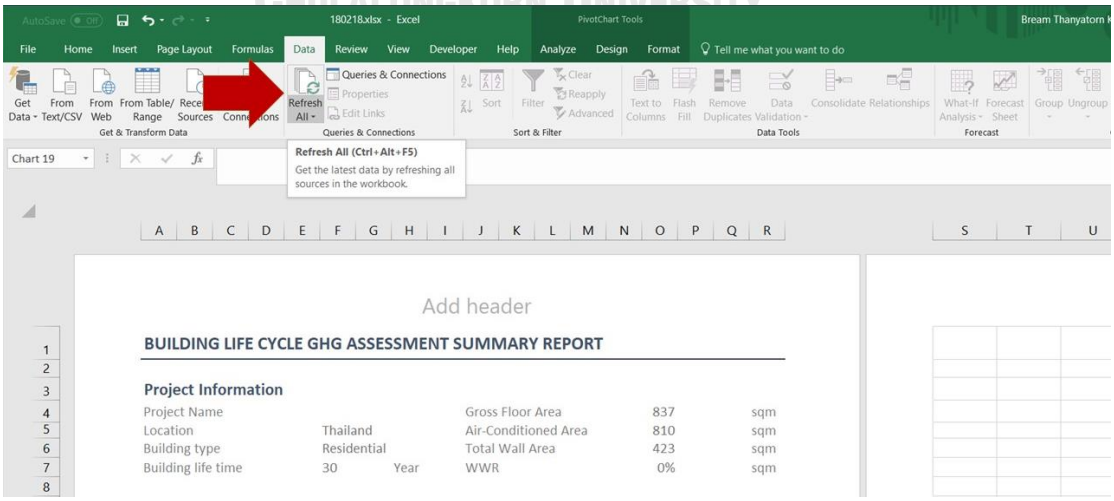
End of life Phase ($kgCO_2e$) คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนเรือนกระจกในช่วงการกำจัดวัสดุภายหลังการรื้อถอนอาคาร



ภาพที่ 4.36 การใช้งาน Dynamo Player

4.3.3.3 การแสดงผลบน Excel Template

เมื่อทำการ Run ไฟล์ Dynamo เครื่องมือนี้จะส่งผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไปยัง Excel Template ของเครื่องมือ โดยผู้ใช้เครื่องมือจะต้องเลือก Data > Refresh All เพื่อ update การประมวลผลของข้อมูล



ภาพที่ 4.37 การ Refresh Excel Data

Excel Template จะทำหน้าที่จัดหมวดหมู่และแบ่งประเภทของข้อมูลเพื่อประมวลผลออกมาเป็นแผนภาพ โดยผลที่แสดงใน Excel Template มีดังนี้

1. ข้อมูลในภาพรวม ได้แก่ เบื้องต้นของโครงการ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยภาพรวมของอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก Baseline ตารางแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละช่วงชีวิตของอาคารและตลอดช่วงชีวิตของอาคารเปรียบเทียบกับค่า Baseline ดังภาพที่ 4.38 ทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจภาพรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารที่ออกแบบว่ามีปริมาณมากหรือน้อยกว่าอาคารมาตรฐานอย่างไร

2. ข้อเสนอแนะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม ดังภาพที่ 4.39 ประกอบไปด้วย ข้อเสนอแนะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและข้อเสนอแนะในการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.1 ข้อเสนอแนะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การลดพื้นที่ใช้สอยของอาคาร การเพิ่มพื้นที่ไม่ปรับอากาศ การลดพื้นที่หน้าต่าง การใช้กระจกและเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้หลอดไฟ LED การเลือกใช้วัสดุทางเลือกแทนวัสดุคอนกรีต การเพิ่มฉนวนที่เปลือกอาคาร และการใช้วัสดุรีไซเคิล

2.2 ข้อเสนอแนะในการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การใช้วัสดุไม้ที่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในการก่อสร้างอาคาร การปลูกต้นไม้ให้เท่ากับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมา การใช้พลังงานหมุนเวียนจากการติดแผงโซลาเซลล์ โดยได้มีการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากการติดตั้งแผงโซลาเซลล์บนพื้นที่หลังคาและการคำนวณพื้นที่ที่จะต้องเตรียมสำหรับการติดแผงโซลาเซลล์เพื่อให้อาคารที่ออกแบบนี้มีค่าการใช้พลังงานเป็นศูนย์

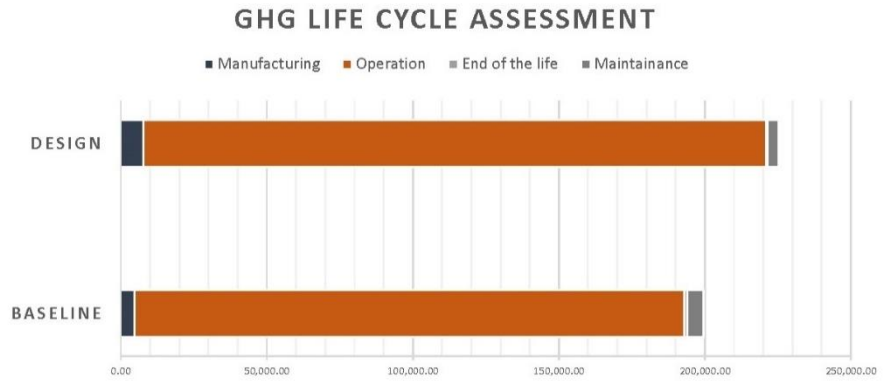
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

BUILDING LIFE CYCLE GHG ASSESSMENT SUMMARY REPORT

Project Information

Project Name	House_Example	Gross Floor Area	58.075	sqm
Location	Thailand	Air-Conditioned Area	40	sqm
Building type	Single house	Total Wall Area	139	sqm
Building life time	50 Year	WWR	15%	

Summary Result



	Manufacturing	Operation	Maintainance	End of the life	Total GHG	GHG/sqm.yr
Baseline	4,669.00	188,341.80	5,580.43	895.52	199,486.74	68.70
	2.34%	94.41%	2.80%	0.45%		
Design	7,680.01	213,288.87	3,725.48	497.82	225,192.18	77.55
	3.41%	94.71%	1.65%	0.22%		
Design is higher than baseline 12.89%						

ภาพที่ 4.38 การแสดงผลข้อมูลในภาพรวมบน Excel Template

Recommendations Solution

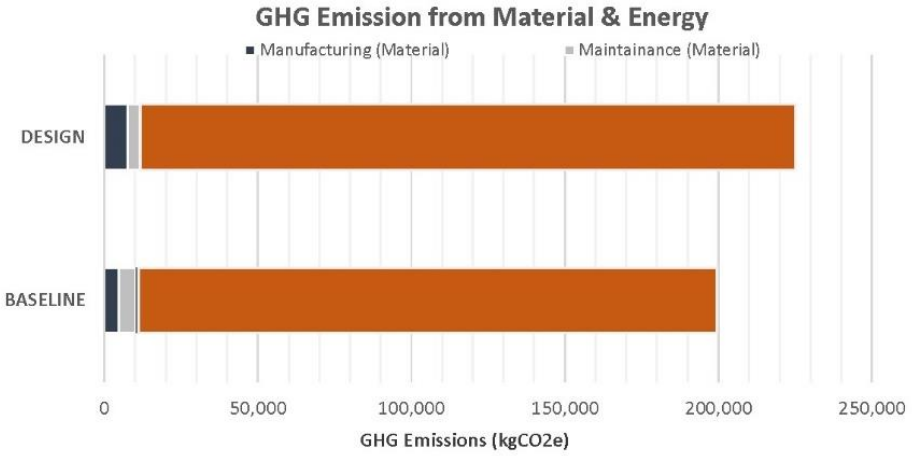
1. Reduction

1.1 Reduce Gross Floor Area	1.5 Lighting Power Density <= 7.5 W/sqm
1.2 Non-Air Conditional Area => 60%	1.6 High-efficient HVAC system
1.3 Optimum WWR 30-40%	• COP>=3.22
1.4 High-efficient Glazing	1.7 Low Concrete Material
• SHGC = 0.3-0.6	1.8 Add Envelop Insulation
• U value <= 3 W/sqm.oC	1.9 Recycle Material

2. Compensation

2.1 Wooden Material					
2.2 Grow the trees (absorb 15 kg per tree per year)				266	Trees
2.3 Renewable Energy - PV					
For PV Roof Area	21.7	sqm	can produce energy	2319.94	KWh/year
For Net Zero, Energy	3908.363	KWh/year	PV design area	36.55762	sqm
Fill upPV Area -- >	10	sqm	reduce from total energy	27%	

ภาพที่ 4.39 การแสดงผลข้อเสนอแนะ



	Material			Energy
	Manufacturing (Material)	Maintainance (Material)	End of the life (Materia)	Operation (Energy)
BASELINE	4,669.00	5,573.22	894.36	188,341.80
DESIGN	7,640.09	3,725.48	483.46	213,288.87
TOTAL	5.26%			94.74%

ภาพที่ 4.40 การแสดงผลเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างวัสดุและพลังงาน

3. ผลลัพธ์เปรียบเทียบระหว่างค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและพลังงาน โดยแสดงค่าออกมาเป็นแผนภาพและร้อยละจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคาร ดังภาพที่ 4.40

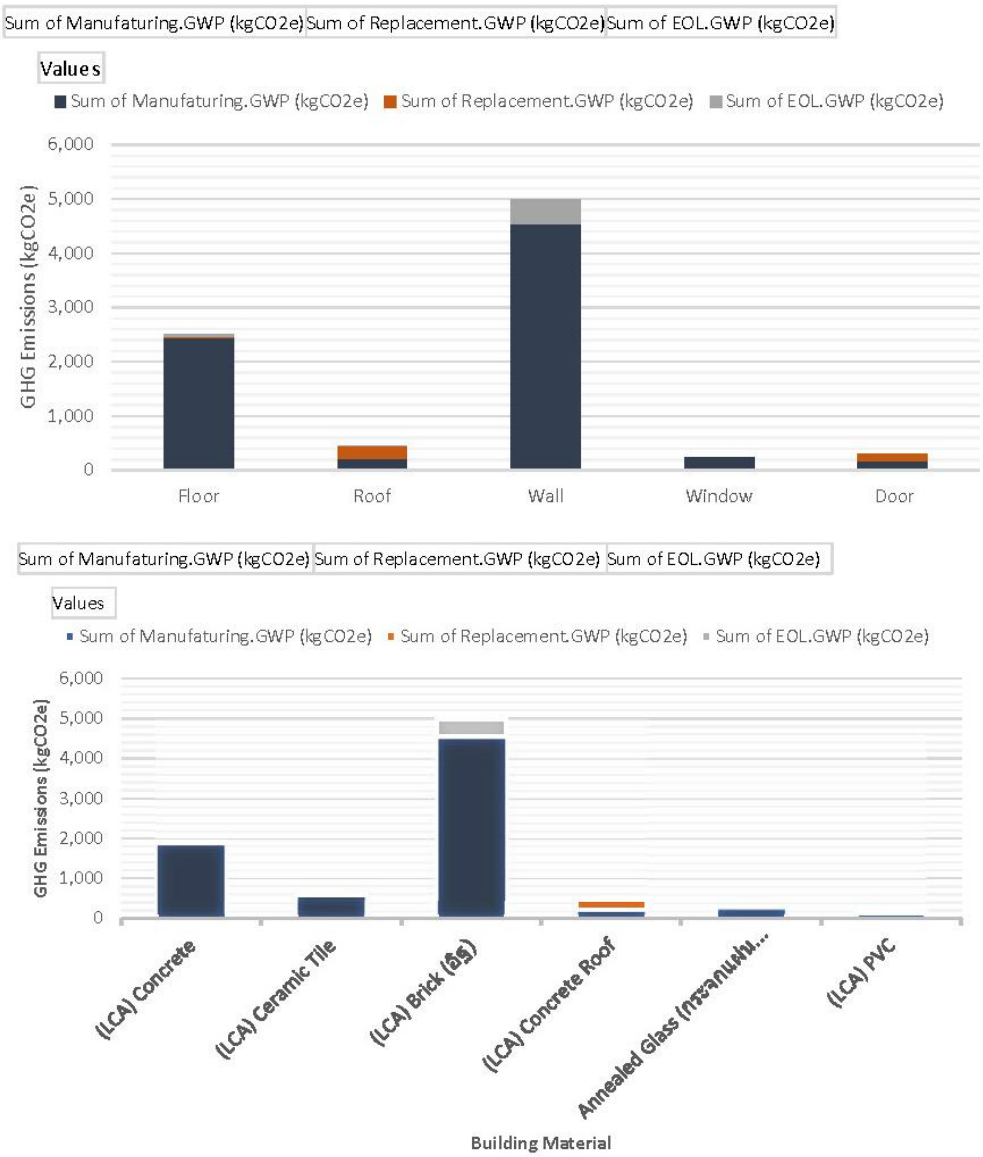
4. ผลลัพธ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ เป็นแผนภาพเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับแต่ละองค์ประกอบของอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ฝ้า เพดาน ประตู หน้าต่าง และโครงสร้าง และแผนภาพเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสร้างอาคาร เช่น คอนกรีต เหล็ก ไม้ เป็นต้น เพื่อให้ทราบว่าอาคารมีองค์ประกอบหรือวัสดุไหนที่ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดและควรแก้ไขเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 4.41

5. ผลลัพธ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน จะแสดงแผนภาพเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับ baseline และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ทราบว่าการใช้พลังงานของอาคารที่เราออกแบบเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับมาตรฐานและการใช้พลังงานจากระบบไหนมีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากกว่าปรกติ ดังภาพที่ 4.42

6. รายละเอียดของค่าที่ได้คำนวณประกอบด้วย Material tab จะประกอบด้วยรายการวัสดุที่นำมาคำนวณทั้งหมดดังภาพที่ 4.44 และ Energy tab ประกอบด้วยข้อมูลแสดงข้อมูลขาเข้าทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัยจาก Baseline และอาคารที่ออกแบบทั้งค่าที่กรอกใน Project Parameter ได้แก่ จำนวนผู้ใช้งานอาคาร จำนวนชั่วโมงการใช้งานระบบต่างๆ ค่า

LPD ค่า EQD ค่า COP ค่า VENT ค่าที่ได้จาก Revit Model ได้แก่ พื้นที่อาคาร พื้นที่ผนัง พื้นที่หน้าต่าง พื้นที่หลังคา และพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร และค่าที่ได้จากคำนวณ ได้แก่ค่า WWR ค่า OTTV และค่า RTTV โดยมีการเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานอาคาร Baseline และอาคารที่ออกแบบ ดังภาพที่ 4.43

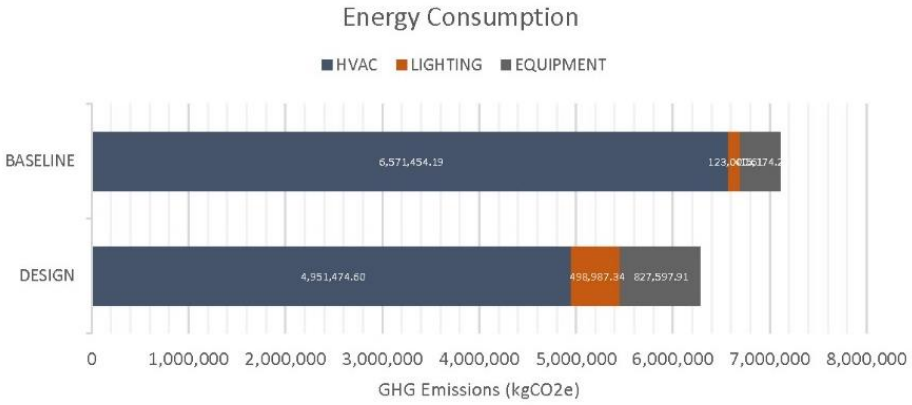
ผลสุดท้ายของเครื่องมือบนไฟล์ Excel จะสามารถสามารถนำไปพิมพ์เป็นขนาด A4 เพื่อนำไปใช้ทำเป็นรายงานได้ดังภาพที่ 4.45

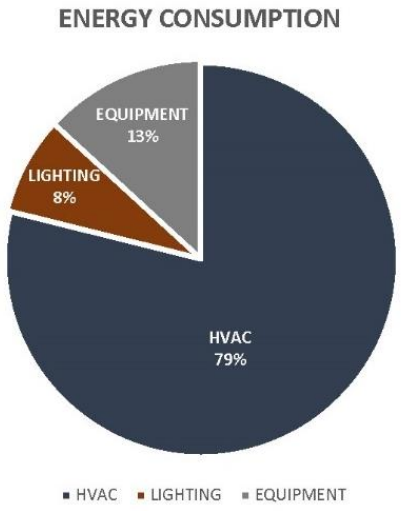


ภาพที่ 4.41 การแสดงผลเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์ประกอบและวัสดุ

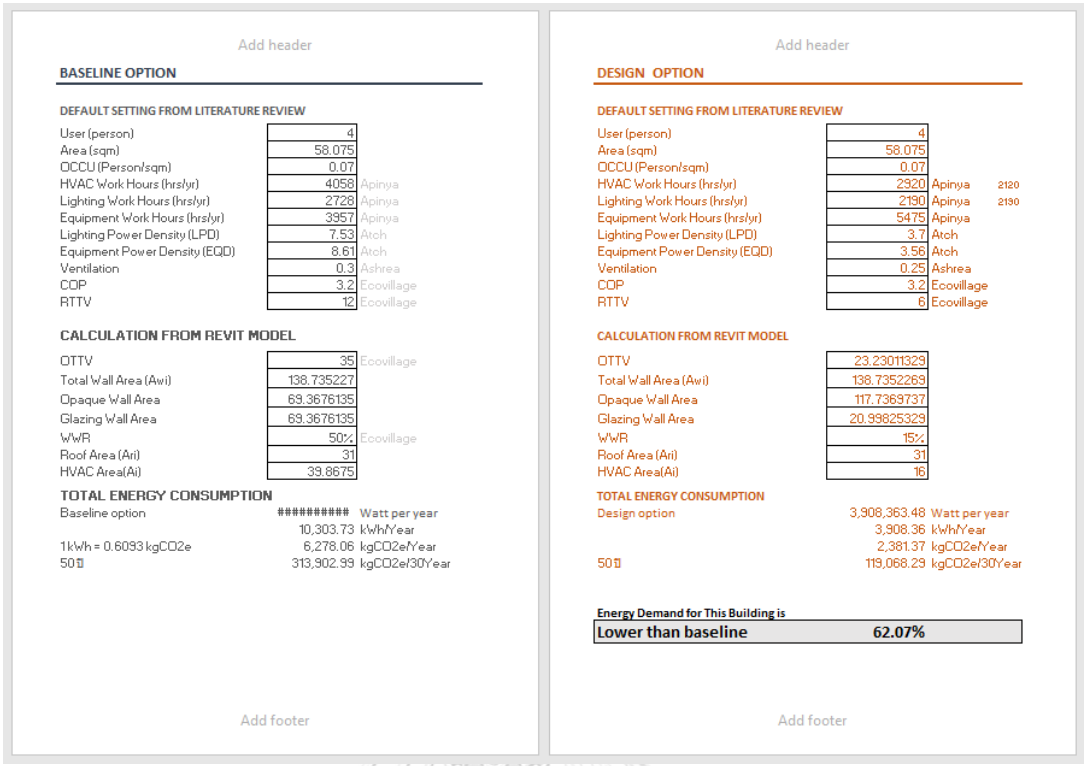
GHG from Energy demend

	HVAC	LIGHTING	EQUIPMENT	TOTAL
DESIGN	4,951,474.60	498,987.34	827,597.91	6,278,059.84
BASELINE	6,571,454.19	123,000.61	415,174.22	7,109,629.02





ภาพที่ 4.42 การแสดงผลเปรียบเทียบระบบที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงาน



Add header

BASELINE OPTION

DEFAULT SETTING FROM LITERATURE REVIEW

User (person)	4	
Area (sqm)	58.075	
OCCU (Person/sqm)	0.07	
HVAC Work Hours (hrs/yr)	4058	Apinya
Lighting Work Hours (hrs/yr)	2728	Apinya
Equipment Work Hours (hrs/yr)	3957	Apinya
Lighting Power Density (LPD)	7.53	Atch
Equipment Power Density (EQD)	8.61	Atch
Ventilation	0.3	Ashrea
COP	3.2	Ecovillage
RTTV	12	Ecovillage

CALCULATION FROM REVIT MODEL

OTTV	35	Ecovillage
Total Wall Area (Awi)	138.735227	
Opaque Wall Area	69.3676135	
Glazing Wall Area	69.3676135	
WWR	50%	Ecovillage
Roof Area (Ari)	31	
HVAC Area(Ai)	39.8675	

TOTAL ENERGY CONSUMPTION

Baseline option	##########	Watt per year
	10,303.73	kWh/Year
1kWh = 0.6093 kgCO2e	6,278.06	kgCO2e/Year
50ปี	313,902.99	kgCO2e/30Year

Add footer

Add header

DESIGN OPTION

DEFAULT SETTING FROM LITERATURE REVIEW

User (person)	4		
Area (sqm)	58.075		
OCCU (Person/sqm)	0.07		
HVAC Work Hours (hrs/yr)	2920	Apinya	2120
Lighting Work Hours (hrs/yr)	2190	Apinya	2190
Equipment Work Hours (hrs/yr)	5475	Apinya	
Lighting Power Density (LPD)	3.7	Atch	
Equipment Power Density (EQD)	3.56	Atch	
Ventilation	0.25	Ashrea	
COP	3.2	Ecovillage	
RTTV	6	Ecovillage	

CALCULATION FROM REVIT MODEL

OTTV	23.23011329	
Total Wall Area (Awi)	138.7352269	
Opaque Wall Area	117.7369737	
Glazing Wall Area	20.99825329	
WWR	15%	
Roof Area (Ari)	31	
HVAC Area(Ai)	16	

TOTAL ENERGY CONSUMPTION

Design option	3,908,363.48	Watt per year
	3,908.36	kWh/Year
	2,381.37	kgCO2e/Year
50ปี	119,068.29	kgCO2e/30Year

Energy Demand for This Building is

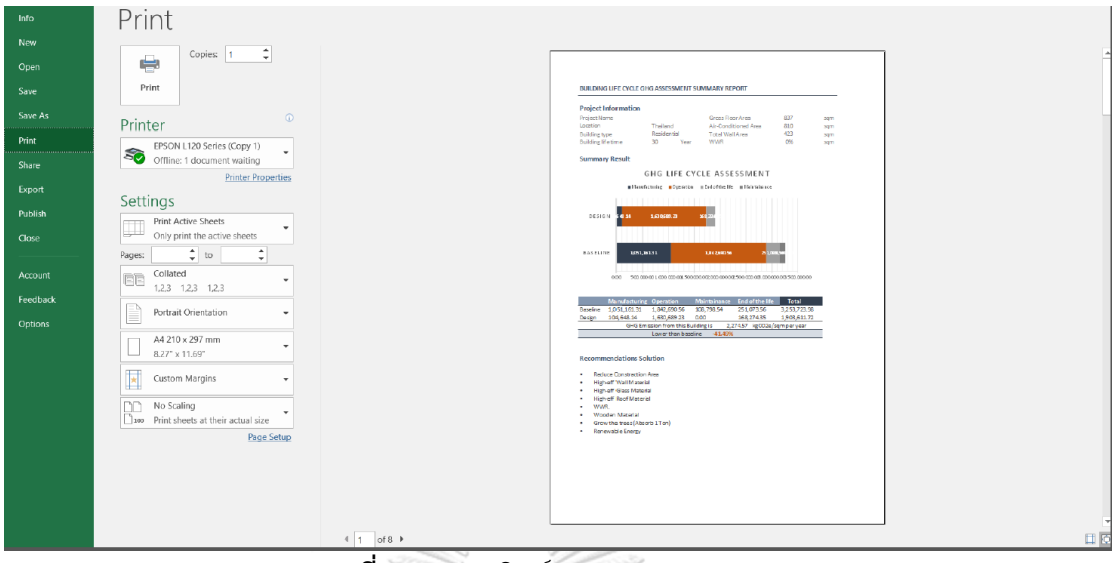
Lower than baseline	**62.07%**

Add footer

ภาพที่ 4.43 Energy Tab

Component	Material Name	Quantity (kg)	Service life (yrs)	Replacement (Times)	Manufacturing.GWP (kgCO2e)	Replacement.GWP (kgCO2e)	EOL.GWP (kgCO2e)
Floor	(LCA) Concrete	792.00000	50.00	0.00	112.33	3.00	2.26
Floor	(LCA) Ceramic Tile	23.28750	50.00	0.00	24.02	2.00	0.06
Floor	(LCA) Concrete	486.00000	50.00	0.00	68.93	0.00	1.39
Floor	(LCA) Ceramic Tile	33.63750	50.00	0.00	34.69	0.00	0.09
Floor	(LCA) Concrete	702.00000	50.00	0.00	99.57	0.00	2.00
Floor	(LCA) Ceramic Tile	142.31250	50.00	0.00	146.77	0.00	0.39
Floor	(LCA) Concrete	2970.00000	50.00	0.00	421.25	0.00	8.46
Floor	(LCA) Ceramic Tile	114.71250	50.00	0.00	118.31	0.00	0.31
Floor	(LCA) Concrete	2394.00000	50.00	0.00	339.56	0.00	6.82
Floor	(LCA) Concrete	684.00000	50.00	0.00	97.02	0.00	1.95
Floor	(LCA) Ceramic Tile	248.52650	50.00	0.00	256.32	0.00	0.68
Floor	(LCA) Concrete	5186.64000	50.00	0.00	735.65	0.00	14.78
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	1533.15411	50.00	0.00	384.59	0.00	33.73
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	463.01041	50.00	0.00	60.19	0.00	3.80
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	1072.41411	50.00	0.00	258.88	0.00	22.70
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	311.67035	50.00	0.00	40.52	0.00	6.60
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	2833.45877	50.00	0.00	684.00	0.00	59.98
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	823.47396	50.00	0.00	107.05	0.00	17.43
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	476.48000	50.00	0.00	115.02	0.00	10.09
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	138.47700	50.00	0.00	18.00	0.00	2.93
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	961.70240	50.00	0.00	232.15	0.00	20.36
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	279.43476	50.00	0.00	36.33	0.00	5.92
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	1208.42240	50.00	0.00	291.71	0.00	25.58
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	351.19776	50.00	0.00	45.66	0.00	7.43
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	201.25352	50.00	0.00	48.58	0.00	4.26
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	58.49105	50.00	0.00	7.60	0.00	1.24
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	1058.66240	50.00	0.00	255.56	0.00	22.41
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	307.67376	50.00	0.00	40.00	0.00	6.51
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	930.12480	50.00	0.00	224.53	0.00	19.69
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	270.31752	50.00	0.00	35.14	0.00	5.72
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	1464.32000	50.00	0.00	353.49	0.00	31.00
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	425.56800	50.00	0.00	55.32	0.00	9.01
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	827.80160	50.00	0.00	199.83	0.00	17.52
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	240.57984	50.00	0.00	31.28	0.00	5.09
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	881.32000	50.00	0.00	212.90	0.00	18.67
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	256.30800	50.00	0.00	33.32	0.00	5.43
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	1227.16160	50.00	0.00	296.24	0.00	25.98
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	356.64384	50.00	0.00	46.36	0.00	7.55
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	376.42240	50.00	0.00	90.87	0.00	7.97
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	109.33776	50.00	0.00	14.22	0.00	2.32
Wall	(LCA) Brick (อิฐ)	166.40000	50.00	0.00	40.17	0.00	3.52
Wall	(LCA) Plaster (ปูนฉาบ)	48.36000	50.00	0.00	6.29	0.00	1.02

ภาพที่ 4.44 Material Tab



ภาพที่ 4.45 การพิมพ์การแสดงผลจาก Excel

4.4 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือ

4.4.1 การประเมินประสิทธิภาพทางด้านความแม่นยำ

4.4.1.1 การประเมินประสิทธิภาพการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

ในการประเมินประสิทธิภาพทางด้านความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารเป็นการพิสูจน์ว่าสมการที่ใช้ในการหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและวิธีการดึงข้อมูลจากแบบจำลองสามมิติของเครื่องมือ Thai LCGHG เป็นวิธีการเดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับสมการใช้ในการพัฒนาเครื่องมืออื่นหรือไม่ จึงต้องทำการประเมินโดยการปรับให้ปริมาณวัสดุ อายุการใช้งานของวัสดุ ค่า Emission Factor และค่าการใช้พลังงาน ให้ทุกเครื่องมือมีค่าที่เท่ากันเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้ โดยในการเปรียบเทียบกับการการประเมินโดยไม่ใช้เครื่องมือซึ่งมีความแม่นยำมากที่สุดเนื่องจากสามารถเข้าไปแก้ไขปรับเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้พิจารณาได้ การประเมินด้วยโปรแกรม One Click LCA และการประเมินด้วยโปรแกรม Tally ซึ่งสองโปรแกรมนี้แบบโปรแกรมบนแบบจำลองสารสนเทศ อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าไปแก้ไขค่า Emission Factor และอายุการใช้งานของวัสดุในเครื่องมือนี้ได้ดังนั้นจึงต้องปรับค่า Emission Factor ของเครื่องมือ Thai LCGHG ตามค่า Emission Factor ของฐานข้อมูลใน One Click LCA และ Tally

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากเครื่องมือ Thai LCGHG กับการคำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือโดยใช้ปริมาณวัสดุที่ถอดออกมาจาก Revit พบว่าทั้งสองวิธีมีผลลัพธ์ของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกช่วงการผลิต การใช้งาน ช่วงการบำรุงรักษา ช่วงการกำจัดวัสดุ และการประเมินตลอดช่วงชีวิตของอาคารที่เท่ากัน อาจมีความแตกต่างกันเพียงแค่การปัดเศษทศนิยมของจุดทศนิยมเท่านั้น ค่าความคลาด

เคลื่อนของผลลัพธ์จึงเท่ากับ 0% โดยการประเมินโดยไม่ใช้เครื่องมือและฐานข้อมูลตั้งต้นใช้เวลาประมาณ 4 วัน

ตารางที่ 4.7 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือเมื่อเทียบกับการคำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือ

เครื่องมือ	ช่วงการผลิต ($kgCO_2e$)	การใช้งาน ($kgCO_2e$)	การบำรุงรักษา ($kgCO_2e$)	การกำจัดวัสดุ ($kgCO_2e$)	รวม ($kgCO_2e$)
Thai LCGHG	20,710.05	217,000.00	0.00	187.83	237,898.84
คำนวณโดยไม่ใช้เครื่องมือ	20,710.00	217,000.00	0.00	187.85	237,898.83
Deviation (%)	0%	0%	0%	0%	0%

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากเครื่องมือ Thai LCGHG กับการประเมินด้วยโปรแกรม One Click LCA โดยปรับค่า Emission Factor ของวัสดุจากฐานข้อมูลของเครื่องมือ Thai LCGHG ให้เท่ากับข้อมูลใน One Click LCA และกรอกค่าการใช้พลังงานให้เป็นข้อมูลเดียวกัน พบว่าผลลัพธ์ของการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการผลิตมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.5% ช่วงการใช้งานและช่วงการบำรุงรักษามีค่าความคลาดเคลื่อน 0% ช่วงการทำลายวัสดุมีค่าความคลาดเคลื่อน 9.4% และผลการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมมีความคลาดเคลื่อนเพียงแค่ 0.05% ซึ่งถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย โดยความคลาดเคลื่อนเกิดจากความแตกต่างของการดึงค่าของ Element ที่นำมาคำนวณ โดย One Click LCA จะตัด Element ของอาคารที่มีมวลน้อยกว่า 5% ของทั้งอาคารออก เนื่องจากเป็นวิธีการอย่างง่ายที่เกณฑ์อาคารเขียวกำหนดเพื่อให้สามารถทำ LCA ได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้การประเมินด้วยโปรแกรม One Click LCA ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.8 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือเมื่อเทียบกับการใช้ One Click LCA

เครื่องมือ	ช่วงการผลิต ($kgCO_2e$)	การใช้งาน ($kgCO_2e$)	การบำรุงรักษา ($kgCO_2e$)	การกำจัดวัสดุ วัสดุ ($kgCO_2e$)	รวม ($kgCO_2e$)
Thai LCGHG	20,710.05	217,000.00	0.00	187.83	237,898.30
OneClick LCA	20,600.00	217,000.00	0.00	170.00	237,770.00
Deviation (%)	0.5%	0%	0%	9.4%	0.05%

ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากเครื่องมือ Thai LCGHG กับการประเมินด้วยโปรแกรม Tally ผลที่ได้อาจจะไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบได้ 100% เนื่องจากเครื่องมือ Tally ไม่มีการเปิดเผยว่าค่า Emission Factor ต่อหน่วยวัสดุในฐานข้อมูลของเครื่องมือของแต่ละวัสดุเป็นค่าเท่าไหร่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่สามารถปรับค่า Emission Factor ของวัสดุในเครื่องมือ Thai LCGHG ให้เทียบเท่ากับ Tally ได้ จึงใช้ค่า Emission Factor จากโปรแกรม One Click LCA เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีการเก็บจากภูมิภาคใกล้เคียงกัน แทนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างค่อนข้างมาก โดยพบว่าผลลัพธ์ช่วงการผลิตมีค่าความคลาดเคลื่อน 28% ช่วงการใช้งานและบำรุงรักษามีค่าความคลาดเคลื่อน 0% ช่วงการกำจัดวัสดุมีค่าความคลาดเคลื่อน 92% อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการประเมินตลอดช่วงชีวิตของอาคารมีความคลาดเคลื่อน 3.16% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ แม้ว่าการเปรียบเทียบกับ Tally จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ 100% แต่ก็แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการจำลองค่าการใช้พลังงานที่ใช้ค่า Emission Factor ที่แตกต่างกันแม้ว่าจะเป็นข้อมูลที่เก็บจากภูมิภาคที่ใกล้เคียงกันแต่ก็ให้ผลที่แตกต่างกัน โดยการประเมินด้วยโปรแกรม Tally ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.9 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือเมื่อเทียบกับการใช้ Tally

เครื่องมือ	ช่วงการผลิต ($kgCO_2e$)	การใช้งาน ($kgCO_2e$)	การบำรุงรักษา ($kgCO_2e$)	การกำจัดวัสดุวัสดุ ($kgCO_2e$)	รวม ($kgCO_2e$)
Thai LCGHG	20,710.05	308,153.00	0.00	187.83	329,051
Tally	28,879.00	308,153.00	398.81	2,377.73	339,809
Deviation (%)	28%	0%	0%	92%	3.16%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.1.2 การประเมินประสิทธิภาพของการคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารรวม

จากการใช้เครื่องมือ Thai LCGHG คำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาพักอาศัยจากงานวิจัยของณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) พบว่าผลลัพธ์ของค่าพลังงานมีความคลาดเคลื่อนจากการจำลองค่าโดยใช้โปรแกรม Visual DOE ในงานวิจัยของณัฐวิภา (2559) อยู่ 7.5% เนื่องจากสูตร Thai LCGHG ที่ใช้เป็นการประมาณจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลอากาศที่มาจากการศึกษาอาคารพักอาศัยขนาดใหญ่ ในขณะที่ Visual DOE มีการใช้ไฟล์อากาศเป็นรายชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ค่าที่ได้จากการจำลองค่าการใช้พลังงานด้วย Green Building Studio (GBS) ที่มีการปรับค่า k ของผนังและหลังคาตามค่าที่ได้จากกฎกระทรวง พบว่ามีความคลาดเคลื่อน 1.7% ซึ่งความคลาดเคลื่อนมาจากการ

คิดภาระการทำความเย็นของ GBS ที่ได้คำนวณความร้อนที่มาจากทำงานของเครื่องปรับอากาศมารวมด้วย ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Abdullah et al. (2014), Aljundi et al. (2016) และ Salmon (2013) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกิดขึ้นก่อนปี 2018 โดยใน Revit 2018 ได้มีการพัฒนาเครื่องจำลองค่าการใช้พลังงานให้สามารถเข้าไปแก้ไขข้อมูลชั่วโมงการใช้งานอาคารได้ ทำให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 4.10 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือในการคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารแนวราบ

เครื่องมือ	ค่าการใช้พลังงาน ($kWh/m^2/year$)	Deviation (%)
Thai LCGHG	62.07	-
VisualDOE (ณัฐวิภา, 2559)	57.4	7.5%
GBS	63.14	1.7%

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือในการคำนวณค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารแนวสูงเป็นการพิสูจน์อีกนัยหนึ่งว่าเครื่องมือนี้สามารถใช้งานกับอาคารขนาด 29 ชั้นได้ โดยใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 15 นาที โดยได้นำอาคารคอนโดมิเนียม 29 ชั้นมาจากงานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2559) เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเครื่องมือ Thai LCGHG และค่าที่วัดจริงจากงานวิจัยของอภิญญา (2559) พบว่ามีความคลาดเคลื่อน 6.4 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการใช้ Visual DOE จากงานวิจัยของอภิญญา (2559) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 0.13% ซึ่งทั้งสองค่านี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณค่าการใช้พลังงานตาม BEC จากงานวิจัยของอภิญญา (2559) พบว่ามีความคลาดเคลื่อน 159.61% เนื่องมาจากการปรับค่าชั่วโมงการใช้งาน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วย GBS พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 30.25% เนื่องจากการจำลองด้วย GBS โปรแกรม Revit จะมีการสร้าง Analytic Spaces และ Surfaces ซึ่งเป็นการแปลงไฟล์แบบจำลองเป็นไฟล์ gbXML เพื่อส่งไปจำลองค่าการใช้พลังงานบน Cloud ถึงแม้ว่าตัวโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองค่าการใช้พลังงานจะถูกพัฒนามาจาก DOE2 แต่ยังมีข้อจำกัดในการรองรับ Spaces และ Surfaces ที่มีความละเอียดในปริมาณมากได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดใช้กับอาคารที่มีผนังที่หนาหรือบางเกินไปและอาคารที่มีผนังโครง โดยเครื่องมือ Thai LCGHG ไม่ได้มีการแปลงไฟล์ Revit เป็นไฟล์ gbXML แต่เป็นเพียงแค่การถอดปริมาณจาก Revit โมเดลมีใช้ในการคำนวณในสมการอย่างง่ายดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในการจำลองค่าการใช้พลังงานในอาคารขนาดใหญ่และอาคารที่มีผนังโค้งและผนังหนาหรือบางเกินไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือในการคำนวณค่าการใช้พลังงานอาคารแนวสูง

เครื่องมือ	ค่าการใช้พลังงาน ($kWh/m^2/year$)	Deviation (%)
Thai LCGHG	91.3	-
ค่าจากค่าไฟจริง (อภิญญา, 2555)	85.41	6.45%
VisualDOE (อภิญญา, 2555)	91.42	0.13%
BEC (อภิญญา, 2555)	237.03	159.61%
GBS	118.92	30.25%

จากการประเมินประสิทธิภาพทางด้านความแม่นยำของเครื่องมือจึงสรุปได้ว่า เครื่องมือนี้มีความแม่นยำเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการทำงานในช่วงแรกของการออกแบบไปจนถึงช่วงการพัฒนาแบบได้ โดยจากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารพบว่ามีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพียง 3.16% โดยในการคำนวณค่าการใช้พลังงานเมื่อมีการเทียบกับค่าที่วัดได้จริงพบว่ามีความแม่นยำมากกว่าการคำนวณด้วยสมการของ BEC และการจำลองค่าการใช้พลังงานด้วย GBS โดยที่ใช้ระยะเวลาในการประเมินที่สั้นกว่า อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการประเมินก็ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ใช้งานและความละเอียดในการตั้งค่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.2 การประเมินประสิทธิภาพจากผู้ใช้งาน

งานวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพการใช้งานกับกลุ่มผู้ให้สัมภาษณ์ที่มีนัยสำคัญที่มีพื้นฐานในการใช้โปรแกรม Revit โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้ 1. กลุ่มผู้เชี่ยวชาญและนักวิจัยทางด้านอาคารยั่งยืน 2. กลุ่มสถาปนิกที่ทำงานทางด้านอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และ 3. ผู้เชี่ยวชาญทางด้าน BIM ที่มีความรู้ทางด้านอาคารยั่งยืน ทั้งหมด 12 คน โดยสามารถสรุปประเด็นจากการสัมภาษณ์ได้ดังนี้

4.4.2.1 เรื่องความเห็นในภาพรวม

ผู้ให้สัมภาษณ์ที่เป็นที่ปรึกษาอาคารเขียวให้ความเห็นว่า เครื่องมือนี้ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการทำ LCA ได้มาก มีวิธีการกรอกข้อมูลที่เข้าใจง่าย อย่างไรก็ตามที่ปรึกษาอาคารยั่งยืนในเมืองไทยยังคงต้องใช้เวลาในการปรับตัวในการใช้ BIM มากยิ่งขึ้น เนื่องจาก BIM เพิ่งจะเริ่มเข้ามาในวงการอาคารเขียว ที่ปรึกษาอาคารเขียวจึงยังไม่ค่อยนำมาใช้กันมากนัก ผู้ให้สัมภาษณ์ที่เป็นสถาปนิกได้ให้ความเห็นว่า เครื่องมือมีความน่าสนใจและมีประโยชน์ ควรมีการพัฒนาให้สามารถดึงข้อมูลแผง

บังแดดมาใช้ในการคำนวณได้ด้วย และควรมีการพัฒนาให้คิดเรื่องการคืนทุนในอนาคต ส่วนผู้เชี่ยวชาญทางด้าน BIM ได้ให้ความเห็นว่า เครื่องมือมีความน่าสนใจและตัวเครื่องมือสามารถถ่ายทอดความเข้าใจในเรื่องการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำได้ดี แต่ควรมีการทำให้ขั้นตอนกระชับและมีการทำคู่มือการใช้งานที่มีการอธิบายค่ามาตรฐานและสมการอย่างละเอียด

4.4.2.2 เรื่องรูปแบบการป้อนข้อมูล

จากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญอาคารยั่งยืนได้ให้ความเห็นว่าควรมีการใช้ตัวแปรให้ครบถ้วนและควรมีการทำให้ Family ของหน้าต่างสามารถปรับค่า U และค่า SHGC ที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผู้ผลิตมากขึ้น จากความเห็นของสถาปนิกเห็นว่าควรมีการป้อนข้อมูล LPD EQD ทั้งหมดลงบน Revit แต่ยังคงสามารถแก้ไขอย่างเร็วในหน้า Excel ได้ ส่วนผู้เชี่ยวชาญ BIM ได้ให้ความเห็นว่า ควรมีวิธีการกรอกข้อมูลและขั้นตอนการติดตั้งที่ง่ายกว่านี้ เช่น ผนัง OTTV ควรมีการตั้งค่าให้เลือกได้อัตโนมัติ และในอนาคตเมื่อมีการเชื่อมต่อการทำงานทุกอย่างบน Cloud มากขึ้นควรมีการแยกไฟล์ฐานข้อมูลออกมาเป็นไฟล์ Excel เพื่อให้การทำงานกับหลายๆฝ่ายทำได้ง่ายขึ้นเช่น ที่ปรึกษาจะสามารถแก้ไขข้อมูลจากฐานข้อมูลบนไฟล์ Excel ไฟล์หนึ่งแล้วค่าบน BIM ในเครื่องอื่นๆก็จะแก้ไขตาม

4.4.2.3 เรื่องมาตรฐานของเครื่องมือ

ความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์เห็นตรงกันว่าควรมีการระบุรายละเอียดในเรื่องของค่ามาตรฐานต่างๆลงในคู่มือ ควรมีการแสดงค่าการใช้พลังงานจากเครื่องมือนี้และ GBS และควรมีการล็อคไฟล์ของ Dynamo และ Excel ไว้

4.4.2.4 เรื่องการแสดงผล

ในภาพรวมทุกคนได้ให้ความเห็นว่าสามารถเข้าใจแผนภาพและข้อเสนอแนะต่างๆได้ วิธีการแสดงผลได้โดยมีข้อเสนอแนะต่างๆ ดังนี้ ที่ปรึกษาอาควรเขียวได้มีความเห็นว่า ผู้วิจัยควรเอาแผนภาพที่ไม่แสดงให้เห็นความแตกต่างในการประเมินแต่ละครั้งออกและควรมีการเพิ่มรายละเอียดเชิงบรรยายเพิ่มให้สามารถนำไปใช้เป็นรายงานในการทำคะแนนเกณฑ์อาคารเขียวต่อไปได้รวมทั้งควรมีการจัดหน้ากระดาษให้สามาถพิมพ์ลง A4 ได้ สถาปนิกได้ให้ความเห็นว่าควรมีค่ามาตรฐานเป็นช่วง (range) เพื่อให้สามาถเข้าใจได้ว่าอาคารเราอยู่ในเกณฑ์ดี ดีมาก พอใช้ เพื่อให้การประเมินดูยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นและควรมีการทำตารางจัดลำดับประเภทวัสดุตามปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้สามาถเลือกวัสดุสำหรับนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น ส่วนผู้เชี่ยวชาญทางด้าน BIM ได้แนะนำให้ใช้ PowerBI[1] ในการทำแผนภาพ Dashboard

[1] เครื่องมือในการจัดการกับข้อมูล ทั้ง จัดระเบียบ คำนวณ ปรับแต่งอัตโนมัติ และยังเป็นเครื่องมือในการสร้างรายงาน มีความสามารถในการรวม ประสานข้อมูลจากหลายแหล่ง ทั้ง ฐานข้อมูล ไฟล์ต่างๆ ทั้ง Excel, Text File และ ข้อมูลจากเว็บไซต์ มักมาใช้ในการสร้าง Dashboard

4.4.2.5 ในเรื่องความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

ที่ปรึกษาอาคารเขียวได้ให้ความเห็นว่าสามารถนำไปใช้สื่อสารกับลูกค้าหรือทำ LCA เพื่อทำคะแนนในเกณฑ์อาคารเขียว LEED และ DGNB ได้ โดยควรจะพัฒนาให้สามารถใช้งานกับอาคารทุกประเภทและพัฒนาให้สามารถนำไปใช้กับเกณฑ์อาคารเขียวไทยได้ ทางด้านผู้เชี่ยวชาญทางด้าน BIM ได้ให้คำแนะนำว่าควรพัฒนาให้สามารถใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตอาคารของทั้งเมืองได้เพื่อนำไปสู่การออกแบบเมืองคาร์บอนต่ำ โดยอาจมีการนำแนวคิด BIM for Urban planning มาใช้และมองเป็นภาพของการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมาก (Big Data Analytic) ดังนั้นในขั้นตอนเริ่มต้นควรทำให้เครื่องมือนี้สามารถประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่า 1 อาคาร

4.5 สรุปการพัฒนาเครื่องมือตามแนวคิดการใช้งานและการแนะนำของผู้ใช้เครื่องมือ

ในการพัฒนาเครื่องมือได้มีการพัฒนาในแนวทางต่างๆ ตามเทคโนโลยีที่เป็นไปได้และคำแนะนำของผู้ใช้งานเพื่อให้ได้เครื่องมือที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งาน โดยระหว่างการพัฒนาได้มีทั้งแนวทางที่สามารถพัฒนาไปกับเครื่องมือนี้ได้และแนวทางที่ยังคงเป็นข้อจำกัด

ตารางที่ 4.12 การพัฒนาเครื่องมือ

การพัฒนาเครื่องมือ	**สถานะ**	**หมายเหตุ**
การกรอกข้อมูล		
1. การใส่ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงในวัสดุ	√	-
2. การกรอกค่า default ในการจำลองพลังงาน	√	-
3. การทำให้สามารถกรอกค่าได้ใน Revit แต่ยังคงแก้ไขได้ใน Excel	√	-
4. มีการรวมการ Setting ค่าพลังงานไว้ที่จุดเดียว	√	ทำได้ในส่วนของค่าที่ใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานอาคาร
5. การคิดเรื่อง phase หรือช่วงเวลา	√	-
6. การพัฒนาเรื่อง Design Option	x	ทำให้การประมวลผลใช้เวลานาน
7. ผู้ใช้เครื่องมือเป็นผู้เลือกผนังที่ใช้ในการคำนวณ OTTV ทั้งหมด	x	ทำให้ผู้ใช้งานมีขั้นตอนในการใช้งานมาเกินไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8. ผู้ใช้งานเลือกผนังที่ใช้ในการคำนวณ OTTV โดยการเลือกเฉพาะผนังภายนอกอาคารที่ไม่ติดกับพื้นที่ปรับอากาศ	√	-
9. เครื่องมือสามารถเลือกผนังที่ใช้ในการคำนวณค่า OTTV อัตโนมัติ	x	เคยทดลองด้วยParameter: Room boundary ของผนังและหน้าต่างแต่ Room boundary ไม่ได้เลือกเฉพาะพื้นที่รอบห้อง
10. การแสดงสีในโมเดล เพื่อแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าเกินมาตรฐาน	x	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัย เครื่องมือนี้ต้องการให้ผู้ใช้งานมองการแก้ไขปัญหาในภาพกว้าง
11. การกำหนดประเภทอาคารใน Project Parameter ให้ตรงกับ Baseline	√	-
12. สามารถกรอกค่า Custom ของ OTTV, RTTVและค่าการใช้พลังงานได้	√	-
13. เพิ่ม Parameter Air film ในผนัง	√	-
14. เพิ่ม Parameter SC กระจก	√	-
15. สร้าง Type ขององค์ประกอบอาคารอย่างง่ายๆ ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานโดยไม่ต้องตั้งค่าโดยละเอียด	√	-
Dynamo		
1. ลดขั้นตอนในการ Install	√	-
2. สามารถแสดงผลการคำนวณบน node ได้	√	-
3. สามารถเลือกสูตรคำนวณ $OTTV_h$ และ $OTTV_c$ ตามประเภทของอาคารพักอาศัย	√	-
4. Curtain Wall	x	ค่า Curtain Wall มักถูกนำไปนับรวมกับผนังการนำมาใช้จึงต้องระวังการ error
การส่งผ่านข้อมูล		
1. การส่งผ่านข้อมูล Template และฐานข้อมูลไปยัง Template อีกไฟล์ได้	√	-

ฐานข้อมูลวัสดุ		
1. ฐานข้อมูลบน Material Library	√	-
2. ฐานข้อมูลบน Microsoft Excel	x	ผู้ใช้งานจะต้องมีพื้นฐานในการใช้ Dynamo มากขึ้นหากมีการ Match ข้อมูลภายนอกที่ส่งเข้ามาใช้ไฟล์ Revitผิดพลาด
การแสดงผล		
1. บน Dynamo โดยใช้ Mandrill Package	x	แผนภาพที่ออกมาไม่สมบูรณ์
2. บน Microsoft Excel	√	-
3. บน Project Information ในโปรแกรม Revit	√	-
4. การใช้ PowerBI ในการสร้าง Dash board	x	ผู้ใช้งานจะต้องเชื่อมต่อโปรแกรมจาก Excel ไปยัง PowerBI ทำให้กลายเป็นการเพิ่มขึ้นตอนในการทำงาน
1. สามารถการคำนวณมากกว่า 1 อาคาร	√	สำหรับอาคารที่มีรูปแบบใกล้เคียงกันสามารถกรอกค่า “จำนวนอาคาร” ได้
การ Lock ไฟล์		
1.การ Lock File Dynamo	x	ทำได้แค่ไม่ต้องเป็นที่อยู่ไฟล์บ่อยๆ โดยการ Publish Custom Node
2.การ Lock File Excel	√	-

หมายเหตุ: **√** หมายถึง แนวทางที่นำมาใช้ **x** หมายถึง แนวทางที่ไม่ได้พัฒนาต่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาเครื่องมือเสริมบนแบบจำลองสารสนเทศที่ใช้ช่วงต้นของการออกแบบในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ผลการศึกษาดังนี้

5.1 สรุปผลการพัฒนาโปรแกรม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในช่วงต้นของการออกแบบในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารพักอาศัยอย่างง่าย ให้สามารถใช้งานร่วมกับ BIM ช่วยลดขั้นตอนในการทำงาน มีการแสดงผลที่เข้าใจง่าย สามารถปรับค่าผลลัพธ์ตามการปรับแก้แบบสามมิติของสถาปนิกอัตโนมัติ สามารถใช้กับโครงการออกแบบและวางแผนอาคารพักอาศัยได้หลายรูปแบบ และสามารถบูรณาการเข้ากับฐานข้อมูลและบริบทการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทยได้ ทำให้ได้เครื่องมือที่ชื่อว่า Thai LCGHG ที่ทำให้ผู้ใช้งานจะสามารถเลือกนำข้อมูลวัสดุจากฐานข้อมูลในประเทศไทยมาใช้ในการประเมินด้วยเครื่องมือนี้ได้ และภายในเครื่องมือได้มีการสร้างฐานข้อมูลใน Material Library ซึ่งเป็นข้อมูลวัสดุที่ปรากฏใน BIM model และดึงค่ามาใช้ในการคำนวณโดยตรงทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องเสียเวลาในการจับคู่รายการวัสดุในแบบจำลองกับข้อมูลจากฐานข้อมูลของเครื่องมือเหมือนเครื่องมือเดิม รวมถึงเครื่องมือนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานในเครื่องมือที่ได้พัฒนานี้ได้เลย โดยการคำนวณค่าการใช้พลังงานได้มีการใช้สมการคำนวณค่า OTTV/RTTV ที่เป็นสมการที่ได้จากการเก็บข้อมูลอาคารพักอาศัยที่ตั้งในสภาพอากาศของประเทศไทยโดยเฉพาะและมาจากเกณฑ์มาตรฐานอาคารพักอาศัยของประเทศไทยหรือ Ecovillage ด้วย สำหรับสมการการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมสำหรับอาคารพักอาศัยในงานวิจัยนี้เป็นสมการที่ได้จากการเก็บข้อมูลอาคารพักอาศัยในประเทศไทยเช่นกัน โดยสามารถนำผลลัพธ์ค่า OTTV/RTTV และค่าการใช้พลังงานที่ได้จากเครื่องมือในงานวิจัยนี้มาพิจารณากับค่ามาตรฐานสำหรับเกณฑ์อาคารพักอาศัย Ecovillage หรือค่ามาตรฐานในกฎหมายไทยได้

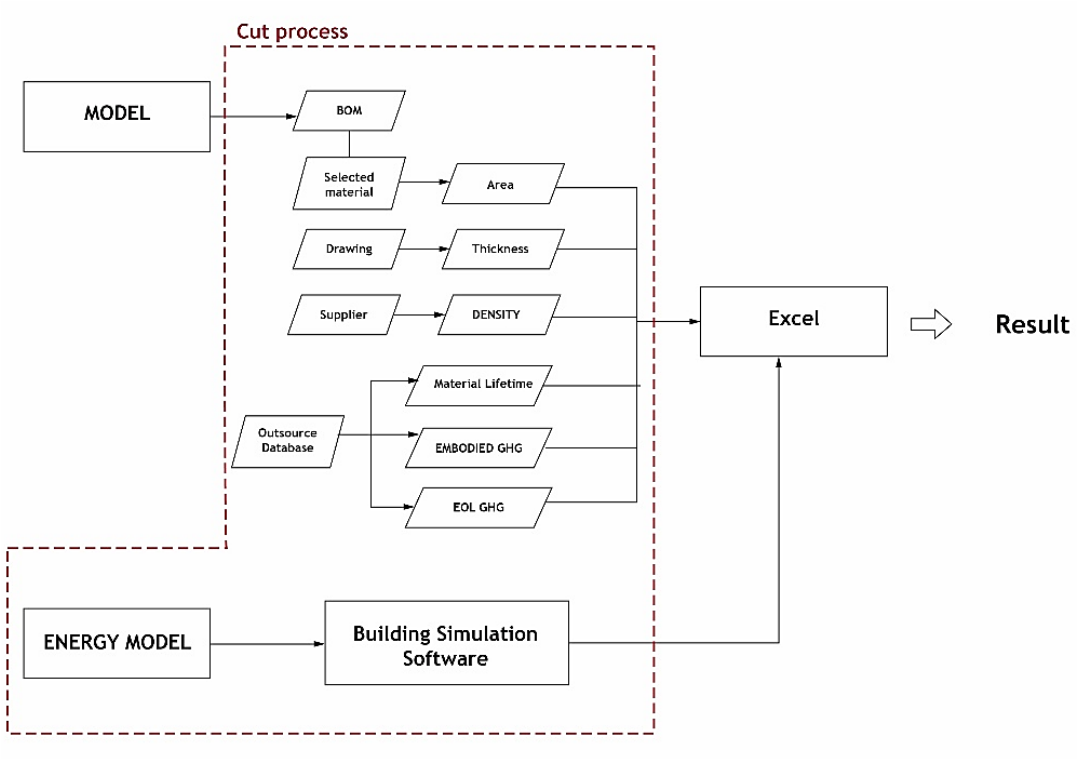
โดยในขั้นตอนวิจัยได้มีการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดขอบเขต ตัวแปร สูตรการคำนวณ ฐานข้อมูล ค่ามาตรฐาน รูปแบบการแสดงผล และข้อเสนอแนะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยได้กำหนดขอบเขตของเครื่องมือโดยจะเลือกประเมินเฉพาะช่วงการผลิต การใช้งานอาคาร บำรุงรักษาอาคาร และการรื้อถอนทำลาย ไม่รวมช่วงของการก่อสร้างขนส่ง และการรื้อถอนอาคาร เนื่องจากเป็นช่วงที่ส่งผลถึงค่าผลกระทบน้อยเมื่อเทียบกับช่วงอื่นๆ เก็บข้อมูลได้ยากในช่วงแรกของการออกแบบเนื่องจากค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นอยู่กับวิธีการและเทคโนโลยีที่ผู้รับเหมาใช้เป็นหลักและใช้ข้อมูลอ้างอิงจากเอกสารงานวิจัย ผู้ผลิต ฐานข้อมูลการปล่อย

ก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ได้แก่ ค่า Emission Factor ของ TGO และฐานข้อมูล LCI ของหน่วยงาน MTEC และนำฐานข้อมูลจากต่างประเทศที่เป็นที่ยอมรับในงานวิจัยของประเทศไทยเข้ามาใช้ร่วมด้วย ได้แก่ ฐานข้อมูลของ Inventory of Carbon & Energy (ICE) ของ University of Bath ฐานข้อมูล ecoinvent และฐานข้อมูล GaBi เพื่อมาพัฒนาฐานข้อมูลในเครื่องมือ โดยค่าที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าการใช้พลังงาน เช่น ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Density) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity) รวมถึงรายการวัสดุตั้งต้นได้ใช้ข้อมูลตาม BEC

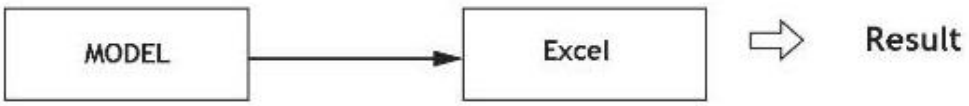
จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารพักอาศัยในประเทศไทยทั้งหมด 13 งานวิจัย พบว่าในแต่ละงานวิจัยมีการใช้วิธีการประเมินและฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยที่ใช้วิธีการและฐานข้อมูลเดียวกันจะได้ผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียงกัน งานวิจัยนี้ได้เลือกผลลัพธ์จากงานวิจัยของณัฐวิภา (2017) ที่มีการเก็บข้อมูลที่เป็นปัจจุบันและมีวัตถุประสงค์ในการประเมินใกล้เคียงกับเครื่องมือที่จะพัฒนาในงานวิจัยนี้มากที่สุดมาพัฒนาเป็นค่า Baseline ของเครื่องมือ

โดยในการพัฒนาโปรแกรมได้ใช้ Template ที่จัดทำโดยสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ ชื่อว่า ASA Template for Autodesk Revit 2017 มาพัฒนาต่อ โดยการเพิ่มช่องใส่ข้อมูล (Parameter) ไปในหน้าต่างโปรแกรม (Template) กรอกค่าตั้งต้น (default value) สำหรับตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการหาค่าการใช้พลังงาน สร้างฐานข้อมูลวัสดุลงไปใน Material library แล้วเขียนโปรแกรมในรูปของ Visual Programming Language (VPL) บนโปรแกรมเสริม (add-ins) ที่ชื่อว่า Dynamo เพื่อดึงข้อมูลอาคารทั้งหมดที่ใช้ในไปประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารใน BIM model มาคำนวณตามสมการของ IPCC (2006), สมการการคำนวณการใช้พลังงงานที่ดัดแปลงจากสมการในงานวิจัยของอภิญญา บุญมา (2555) และสมการการหาค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังของ Ecovillage ที่พัฒนาโดยงานวิจัยของดนุสรณ์ บัวขจร (2554) แล้วส่งผลลัพธ์ออกไปยังหน้าต่างบนโปรแกรม Revit และ Excel Template ที่ได้จัดเตรียมไว้สำหรับการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นแผนภาพ รวมถึงแสดงส่วนสรุปและแสดงข้อเสนอแนะในการปรับปรุงอาคาร โดยผลสุดท้ายจากการพัฒนาเครื่องมือทำให้ได้เครื่องมือที่ลดขั้นตอนในการทำงานจากวิธีการเดิมดังภาพที่ 5.1 ที่ผู้ใช้งานจะต้องถอดปริมาณออกมาเป็นรายการวัสดุ หาข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการผลิต การกำจัดวัสดุ และอายุของวัสดุของแต่ละวัสดุ รวมทั้งการจำลองค่าการใช้พลังงาน โดยที่ผู้ใช้งานมักจะต้องขึ้นแบบจำลองใหม่ทั้งหมดบนโปรแกรมที่ใช้จำลองค่าการใช้พลังงานเพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณเพื่อประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เมื่อใช้เครื่องมือนี้ผู้ใช้งาน

ไม่จำเป็นที่จะต้องรอรายการวัสดุหรือถอดปริมาณหรือหาข้อมูลปริมาณมาก และสามารถแปลงแบบจำลองออกมาเป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เลย ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5.1 Traditional Workflow



ภาพที่ 5.2 Workflow ของ Thai LCGHG

ในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือด้านความแม่นยำของเครื่องมือพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารพบว่าเครื่องมือค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0-3.16% และมีค่าความคาดเคลื่อนในการประเมินค่าการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและมีความแม่นยำโดยผู้ใช้งานไม่ต้องมีการตั้งค่าที่ซับซ้อนเหมือนโปรแกรมจำลองค่าการใช้พลังงานทั่วๆไป จากการประเมินประสิทธิภาพทางด้านการใช้งานพบว่า ผู้ใช้งานมองว่าเครื่องมือมีความน่าสนใจและมีประโยชน์แต่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ยังไม่คุ้นเคยกับหน้าต่างและการใช้งานของ Dynamo

5.2 แนวทางการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือนี้สามารถช่วยสถาปนิกที่ทำงานทางด้านการออกแบบอาคารอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และที่ปรึกษาอาคารเขียวทั้งจากทางภาครัฐ วิสาหกิจ และเอกชน ในการกำหนดแนวทางและการตัดสินใจระหว่างออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำ ทำให้สามารถการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำโดยใช้จำนวนชั่วโมงการทำงานที่ไม่แตกต่างอาคารทั่วไปมากนัก โดยผลสุดท้ายของรายงานที่ได้ออกมาจากเครื่องมือสามารถใช้เป็นสื่อกลางในการสื่อสารกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการ (stakeholder) และเป็นส่วนหนึ่งของเอกสารในการทำคะแนนเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียว LEED และ DGNB รวมถึงเป็นส่วนหนึ่งของเอกสารในการขอการรับรองการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคาร (Carbon reduction certification for building) ของหน่วยงานสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยได้ โดยสำหรับผู้ที่ไม่สามารถใช้โปรแกรม Revit สามารถนำ Excel Template ของรายงานในการกรอกค่าในการคำนวณและตีความออกมาเป็นแผนภาพแทนได้

เครื่องมือที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้ได้กับอาคารพักอาศัยทั้งบ้านเดียว บ้านแฝด บ้านแถว และคอนโดมิเนียม หากมีการกรอกค่าการใช้พลังงานที่คำนวณมาจากเครื่องมืออื่นก็สามารถใช้กับอาคารประเภทอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับทั้งโครงการอาคารจัดสรร โครงการต่อเติมปรับปรุงอาคารเดิม และโครงการวางแผนรื้อถอนอาคาร ผู้ที่สนใจทดลองใช้สามารถเข้าไปดาวน์โหลดได้ที่

https://drive.google.com/open?id=1UHcS5gdq9LfMxLmH3pLtBSDyXNBhuU3_

5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการใช้เครื่องมือ

ข้อจำกัดของเครื่องมือนี้คือจะต้องทำงานบนโปรแกรม Autodesk Revit เวอร์ชั่น 2017 และโปรแกรม Dynamo เวอร์ชั่น 1.3.2.2.2480 เป็นต้นไปและในส่วนของสูตรการหาค่าพลังงานสามารถใช้ได้กับอาคารพักอาศัยเท่านั้น โดยค่า default สำหรับชั่วโมงการใช้เครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจากงานวิจัยของอภิญญา (2555) ที่เก็บจากการสำรวจคอนโดมิเนียมมีแนวโน้มที่จะสูงกว่าชั่วโมงการใช้งานของบ้านเดี่ยว บ้านแฝด และบ้านแถว เนื่องจากคอนโดมิเนียมมักจะมีการเปิดเครื่องปรับอากาศทั้งในส่วนของห้องรับแขกในเวลากลางวันและในส่วนของห้องนอนในเวลากลางคืน แต่บ้านเดี่ยวมีบริเวณให้สามารถระบายอากาศได้จึงมีชั่วโมงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศในห้องรับแขกที่น้อยกว่า ดังนั้นการนำชั่วโมงการงานตามงานวิจัยของอภิญญา (2552) อาจทำให้ผลลัพธ์ของค่าการใช้พลังงานสูงกว่าค่ามาตรฐานของบ้านพักอาศัย ในการประเมินอาคารประเภทบ้านพักอาศัยด้วยเครื่องมือนี้จึงควรมีการแก้ไขชั่วโมงการใช้งานด้วยค่าที่ได้จากการสำรวจชั่วโมงการใช้งานของบ้านพักอาศัยเพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนี้สมการ $OTTV_c$ และ $OTTV_h$ ที่ใช้งานวิจัยนี้เป็นสมการที่ใช้ได้กับอาคารพักอาศัยเท่านั้น โดยสมการนี้มีการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าเฉลี่ยสำหรับการวางอาคารในทุกทิศทาง ไม่สามารถพิจารณาความแตกต่างของผลกระทบที่มาจากการวางทิศทางอาคารที่ต่างกันได้และสมการนี้ได้กำหนดให้สีของผนังอาคารจะต้องเป็นผนังโทนอ่อนและมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์น้อยกว่า 0.5 เป็นเกณฑ์บังคับ จึงไม่สามารถพิจารณาความแตกต่างของผลกระทบที่มาจากการเลือกสีของเปลือกอาคารได้ รวมทั้งงานวิจัยนี้ไม่มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการคำนวณค่า SC ไว้มีเพียงช่องให้กรอกใน Type ของหน้าต่างเท่านั้น ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถนำค่า SC ที่ได้จากการตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่จัดทำโดยสถาปนิก 49 หรือจากวิธีการคำนวณบน Revit จากงานวิจัยของณัฐรดาและคณะ (2017) มาใช้ได้

สำหรับการนำเครื่องมือนี้ไปใช้กับอาคารประเภทอื่นๆ ไม่สามารถใช้วิธีการคำนวณค่า OTTV จากเครื่องมือนี้ได้ เนื่องจากสมการนี้เป็นสมการที่ใช้กับอาคารพักอาศัยโดยเฉพาะ รวมถึงเครื่องมือนี้ยังไม่มีการเปิดให้ผู้ใช้งานปรับหรือแก้ไขค่าคงที่ C_i C_e C_o และ C_v ในสมการการคำนวณค่าการใช้พลังงาน อย่างไรก็ตามในเครื่องมือได้มีช่องไว้ให้สำหรับกรอกค่า OTTV, RTTV รวมถึงค่าการใช้พลังงานแบบ Custom เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำค่าการใช้พลังงานที่ได้จากการสำรวจหรือจากการจำลองค่าการใช้พลังงานจากโปรแกรมอื่นมากรอกได้

5.4 การเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

งานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการพัฒนาเครื่องมือแล้ว ยังเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดวิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ค่ามาตรฐาน และฐานข้อมูลที่ยังไม่มีการกำหนดวิธีที่ตายตัวในประเทศไทย ทำให้ได้แนวทางการประเมินที่เหมาะสมที่จะเป็นมาตรฐานสำหรับการหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารเพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจระหว่างการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำต่อไป

อย่างไรก็ตามในการพัฒนาเครื่องมือนี้ยังคงขาดค่า Emission Factor ของวัสดุก่อสร้างของหลายๆวัสดุที่เก็บจากโรงงานในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตควรมีการทำงานวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมค่า Emission Factor สำหรับวัสดุก่อสร้างเพื่อใช้ในการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารในประเทศไทยต่อไป

รายการอ้างอิง

กลมชัย แก้วพิกุล. (2557). การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของวัสดุมุงหลังคา. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กลมทิพย์ อรัญศิริ. (2553). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้าง. (วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

กษวรรณ เรืองทินกร. (2559). การใช้พลังงานและการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตอิฐมอญ. มหาวทิยาลยัเทคโนโลยพีระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2550a). การออกแบบสถาปัตยกรรมโดยใช้แนวทางวัฏจักรชีวิต. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ *3*.

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2550b). โครงการวิจัยเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่าง อาคารโครงสร้างเหล็กและอาคารโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย: รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร.

ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ. (2556). การตรวจสอบแนวทางการประยุกต์ ใช้ วิธีการจัดระดับขั้นความละเอียดของข้อมูลสำหรับแบบจำลองสารสนเทศอาคารของสถาบันสถาปนิกอเมริกันกับวิธีการหาปริมาณงานสถาปัตยกรรมในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัชชา เอกร่าเริงแสน. (2559). การพัฒนาโปรแกรมเสริมในแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศอาคารเพื่อช่วยวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟในอาคาร. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล. (2560). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐการเคหะแห่งชาติ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐกานต์ สมตัว. (2553). การประเมินสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของอาคารที่พักอาศัยโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรุงเทพฯ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฐรดา บุญถัด, ศิรเดช สุริต, & ภัทรนันท์ ทักขนนท์. (2560). การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ด้วยโปรแกรม REVIT & DYNAMO ตามหลักเกณฑ์การคำนวณของกฎหมายพลังงาน (BEC). วารสาร สิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวินิจฉัย*, 16*.

ดนุสรณ์ บัวขจร. (2554). การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ธนัชชา สุขขี. (2554). การศึกษาการเลือกใช้ แบบจำลองข้อมูลอาคาร สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัญฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปการ, กรุงเทพฯ.

นลินี เอนกแสน. (2554). ค่าคาร์บอนอินเทนซิตี้ของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

นวพฤทธิ์ พรหมทอง, & ชีวินทร์ ลิ้มศิริ. (2560). คาร์บอนฟุตพริ้นของคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างบ้านเดี่ยว. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 2*, 587-593.

มนตรี บุญนาค. (2554). การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจบ้านพักอาศัยในประเทศไทย. (วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย. (2561). ราคาประเมินค่าก่อสร้างอาคาร พ.ศ. *2561* กรุงเทพฯ.

รณิดา ปานทอง. (2557). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารชุดพักอาศัย: ช่วงการก่อสร้างและพักอาศัย (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รุ่งทิพย์ แสงกลาง. (2556). การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว. *the national graduate research conference, 34*, 745-749.

วนิษา ม่วงเอง. (2556). การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการรื้อถอนบ้านพักอาศัยและการจัดการของเสียจากการรื้อถอนโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรพงศ์ โรจน์อนุสรณ์. (2559). การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อการตรวจสอบกฎหมายอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร : กรณีศึกษา อาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานคร. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

วราภรณ์ บุตรจันทร์. (2553). การประเมินสมดุลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรชีวิตของอาคาร กรณีศึกษา อาคารห้องสมุดสารนิเทศสารานุกรมไทยต้นแบบ จังหวัดนครราชสีมา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. .

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศิวะ จงเจริญ. (2557). ตลาดที่อยู่อาศัยไทยปี 2557 และทิศทางในอีก 3 ปีข้างหน้า (ปี 2558-2560). วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์ ปีที่ *20, 76*, 6-7.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC). (2561). ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์. (2558). แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. *2560-2565*: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2559). ตัวชี้วัดสำคัญด้านสิ่งแวดล้อม พ.ศ.*2559*. Retrieved from กรุงเทพฯ:

สุตาภา ใจแสน. (2555). การวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอนการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคาร. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

หทัยรัตน์ ลอยประโคน. (2557). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสร้างบ้านผู้มีรายได้น้อยในประเทศไทย (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจก / ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก. Retrieved from http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=7&s2=16

อณัศยา บุญวัฒน์. (2556). การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานในอุทยานการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์พัทยา โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิญญา บุญมา. (2555). ผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนโดมิเนียม. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อรพรรณ บุญพร้อม. (2552). LCA. Retrieved from http://www.en.mahidol.ac.th/EI/1089_4.html

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2552). การจัดทำมาตรฐานค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารสำหรับอาคารในประเทศไทย ด้วยวิธี *Life Cycle Assessment (LCA)* โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2556a). คู่มือการออกแบบบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำ. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2556b). คู่มือเกณฑ์การประเมินชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน กรุงเทพฯ: การเคหะแห่งชาติ.

อัจฉรียา ชัยยะสมุทร. (2551). การประเมินวัฏจักรชีวิตและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุผนังทึบในอาคารพักอาศัย. (สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. Abdullah, A., Cross, B., & Perkins+Will. (2014). A Comparative Study of Different Simulation Tools and Applications in Architectural Design.

Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., Ceranic, B., Gallanagh, M., & Kadiri, K. O. (2015). Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 6*(1), 14-24.

Aljundi, K., Pinto, A., & Rodrigues, F. (2016). ENERGY ANALYSIS USING COOPERATION BETWEEN BIM TOOLS (REVIT AND GREEN BUILDING STUDIO) AND ENERGY PLUS. *PTBIM16*.

Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & and Fischer, M. (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment, 60*, 81-92.

Birgisdottir, H., Moncaster, A., Wiberg, A. H., Chae, C., Yokoyama, K., Balouktsi, M., . . . Malmqvist, T. (2017). IEA EBC annex 57 'evaluation of embodied energy and CO2eq for building construction'. *Energy and Buildings, 154*, 72-80.

Chong, H.-Y., Lee, C.-Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production, 142*, 4114-4126.

ECO-CM. (2018). Life Cycle Boundary. Retrieved from http://cejcheng.people.ust.hk/ec/methodologyLCB.html

Georgia Institute of Technology. (2010). AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice. Washington: The American Institute of Architects

Grann, B. (2012). *A Building Information Model (BIM) Based Lifecycle Assessment of a University Hospital Building Built to Passive House Standards.* Norwegian University of Science and Technology, Norway.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy, 161*(2), 87-98.

IPCC. (2007). IPCC Fourth Assessment Report *Climate Change*.

Motuziene, V., Rogoža, A., Lapinskiene, V., & Vilutiene, T. (2016). Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study. *Journal of Cleaner Production, 112*, 532-541.

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.

Salmon, S. M. (2013). A Comparative Analysis of Energy ModelingMethods for Commercial Buildings.

Santos, R., & Costa, A. A. (2016). BIM in LCA/LCEA Analysis: Comparative analysis of Multi-family House and Single-family.

Shadram, F., Johansson, T. D., Lu, W., Schade, J., & Olofsson, T. (2016). An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. *Energy and Buildings, 128*, 592-604.

Xu, Z., Zhang, Y., Li, H., & Li, Q. (2016). Study on Building Information Modeling Based Life Cycle Assessment of Environmental Impacts and Decision Making Analysis for Building Construction. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 13* (10), 7212-7225

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.
แบบสอบถามความต้องการของผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถามความต้องการการใช้เครื่องมือใน
การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารในช่วงแรกของการออกแบบ

ข้อชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ หรือ × ในข้อที่ตรงกับความเป็นจริงและในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. สถานภาพปัจจุบันของท่าน

☐ 1) ที่ปรึกษาอาคารเขียว
☐ 2) สถาปนิก
☐ 3) นักวิจัย
☐ 4) นักศึกษา
☐ 5) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

2. องค์กร/บริษัทที่ท่านกำลังทำงานอยู่เกี่ยวข้องกับ

☐ 1) ผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์
☐ 2) การออกแบบสถาปัตยกรรม
☐ 3) ที่ปรึกษาอาคารเขียวและพลังงาน
☐ 4) อสังหาริมทรัพย์และการลงทุน
☐ 5) สถาบันการศึกษาหรือหน่วยวิจัย
☐ 6) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2 วัตถุประสงค์ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของ

3. ในความคิดของท่าน สิ่งใดคือสิ่งที่ท่านคำนึงถึงเป็นขั้นตอนแรกในการออกแบบอาคารเขียว (ตอบได้มากกว่า1ข้อ)

☐ 1) ขนาดพื้นที่
☐ 2) การเลือกใช้วัสดุ
☐ 3) การออกแบบเพื่อการลดการใช้พลังงานในอาคาร
☐ 4) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4. ในความคิดของท่าน การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใด (ตอบได้มากกว่า1ข้อ)

☐ 1) เป็นจุดขายหรือเพิ่มมูลค่าให้กับอาคาร

☐ 2) เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบอาคารคาร์บอนต่ำ

☐ 3) เพื่อทำคะแนนในเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว (โปรดระบุเกณฑ์).....

☐ 4) เพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบอาคารจริงกับค่าผลกระทบมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด

☐ 5) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5. ในความคิดของท่าน อะไรคือปัญหาของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารในช่วงแรกของการออกแบบ
(ตอบได้มากกว่า1ข้อ)

☐ 1) ความยากในการหาและเก็บข้อมูล

☐ 2) ใช้ระยะเวลานานในการประเมิน

☐ 3) การเรียนรู้วิธีการและทำความเข้าใจได้ยาก

☐ 4) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ตอนที่ 3 ความต้องการในการใช้เครื่องมือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. จงระบุค่าผลกระทบที่ท่านสนใจ (ตอบได้มากกว่า1ข้อ)

☐ 1) ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน
☐ 2) ค่าศักยภาพการลดลงของโอโซน
☐ 3) ค่าศักยภาพการเกิดสม็อกโอโซน
☐ 4) ค่าศักยภาพการเกิดฝนกรด
☐ 5) ค่าศักยภาพยูโทรฟิเคชั่น
☐ 6) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

7. ในความคิดของท่าน แนวทางการใช้เครื่องมือการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารแบบใดที่ท่านสนใจ

☐ 1) ถอดปริมาณด้วยตนเอง แล้วนำข้อมูลไปกรอกในเครื่องมือการคำนวณง่ายๆ เช่น Microsoft Excel

☐ 2) นำโมเดลแบบจำลองสารสนเทศ (BIM) ของสถาปนิกมาช่วยในการถอดปริมาณและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของอาคาร

☐ 3) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

8. ในความคิดของท่าน รูปแบบผลลัพธ์ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารที่ท่านสามารถนำไปใช้ต่อได้เป็นแบบใด

☐ 1) Dashboard Graphic เปรียบเทียบค่ากับ Baseline

☐ 2) แผนภาพเปรียบการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนของวัสดุแต่ละชนิดหรือของแต่ละช่วงอายุของอาคาร

☐ 3) Report แบบละเอียดสำหรับนำไปพิมพ

☐ 4) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

9. ความคาดหวังเกี่ยวกับเครื่องมือการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (ตอบได้มากกว่า1ข้อ)

☐ 1) ประหยัดเวลา

☐ 2) มีความแม่นยำ

☐ 3) ปรับเปลี่ยนแบบ Real-time ตลอดการออกแบบ

☐ 4) ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย

☐ 5) มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับฐานข้อมูลและวิธีการคำนวณของไทย

☐ 6) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ตอนที่ 4 ความต้องการในการใช้เครื่องมือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของอาคาร

CHULALONGKORN UNIVERSITY

10. ในความคิดของท่าน การใช้แบบจำลองสาระสนเทศ (BIM) ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอาคารมีประโยชน์มากน้อยเพียงใด

☐ 1) มีประโยชน์มาก

☐ 2) มีประโยชน์

☐ 3) ไม่มีความจำเป็นในการใช้งาน

☐ 4) อื่นๆ (โปรดระบุ).....

11. หากท่านเป็นที่ปรึกษาอาคารเขียว ท่านคิดว่าแนวทางการกรอกข้อมูลตัวแปรและค่าต่างๆของวัสดุลงในแบบจำลองสารสนเทศ (BIM) ก่อนที่จะส่งให้สถาปนิกไปขึ้นโมเดล เพื่อที่หลังจาก

นั้นท่านและสถาปนิกจะสามารถเห็นผลลัพธ์ของการออกแบบได้ทันที (Real-time) ตลอดช่วงของการออกแบบ ท่านคิดว่าแนวทางการปฏิบัติงานนี้เป็นไปได้หรือไม่?

☐ 1) เป็นไปได้ ☐ 2) เป็นไปไม่ได้

12. กรุณากรอกตัวแปรและค่าอื่นๆ ที่ท่านสนใจในการระบุลงไปในวัสดุ เพื่อใช้ในการประเมินอาคารเขียว

.....

.....

.....

13. ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณในความร่วมมือที่ท่านได้เสียสละเวลาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การศึกษาในครั้งนี้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข.

ผลตอบรับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 1</u>

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นสถาปนิกที่มีประสบการณ์ในการใช้แบบจำลองสารสนเทศไม่ต่ำกว่า 5 ปี และเปิดเว็บไซต์ให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรม Autodesk Revit มีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรม และมีความสนใจในการออกแบบอาคารยั่งยืน

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

ภาพรวมของเครื่องมือทำออกมาได้ดีและคิดว่าเป็นประโยชน์มา

ข้อเสนอแนะ

-การสร้าง Type และฐานข้อมูลวัสดุเอาไว้ดีมาก ชอบ ทำให้ดูพร้อมใช้งาน ในอนาคตอาจจะต้องมีแผนในการรวบรวม Database ให้สอดคล้องกับมาตรฐานของผู้จำหน่าย

-การแสดงผล ควรมาการแสดงค่าเป็น Range อยู่ระหว่าง 0.5 - 2 หน่วย(...) เกณฑ์ 0.5-1 = Normal / 1 - 1.5 = Good / >= 1.5 - 2 = Best เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถนำข้อมูลไปอ้างอิงในกรอบที่ยืดหยุ่นมากขึ้น

การเปรียบเทียบกับต้นไม้ดูดีมาก แต่จะดีมากขึ้นถ้ามีการระบุว่าต้นไม้ที่เทียบเท่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารใช้เวลาในการปลูกกี่ปี ใช้พื้นที่เท่าไหร่ และต้องมีต้นทุนในการปลูกเท่าไหร่ เพื่อให้คนตระหนักมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 2</u>

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นสถาปนิกฝ่ายออกแบบที่มีประสบการณ์ในการใช้ BIM ต่ำกว่า 5 ปี ทำงานโดยใช้ BIM ในการทำงานเป็นหลักและมีความสนใจในการออกแบบอาคารยั่งยืน

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้สะดวกรวดเร็วและนำไปใช้ได้จริง อาจจจะต้องทำเนื้อหาหรือคู่มือให้ผู้ใช้งานเข้าใจมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

เรื่องการใส่ข้อมูล

อาจจะต้องมีการพัฒนา Template ทุก 2-3 ปี หรือตามระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น

1. ค่าต่างๆของการคำนวณพลังงานสำหรับอาคารพักอาศัยในกระเทศไทยที่ระบุไว้ใน Project Information อีก 5 หรือ 10 ปี ค่านี้อาจจะเปลี่ยนแปลงไป หรือมีงานวิจัยใหม่ๆเข้ามา หากมีการ Revision ข้อมูลตรงนี้ก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำและทันสมัยมากขั้น

2. วัสดุในอนาคตอาจมีวัสดุที่พัฒนาขึ้นมากมาย อาจต้องมีการเพิ่มเติม หรือลดในส่วนที่ไม่ไดใช้ในปัจจุบันแล้ว เพื่อรองรับและอำนวยความสะดวกในการคำนวณมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 3</u>

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นที่ Sustainable coordinator ในหน่วยงานที่ปรึกษาอาคารยั่งยืน ในบริษัทที่ปรึกษาทางด้านสถาปัตยกรรมที่ให้คำปรึกษาทั้งทางด้านการออกแบบอาคารยั่งยืน การบริหารงานด้วยแบบจำลองสารสนเทศ โดยมีประสบการณ์การทำงานทางด้านอาคารเขียวและการใช้แบบจำลองสารสนเทศไม่ต่ำกว่า 3 ปี

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เป็นประโยชน์ในเบื้องต้นสำหรับผู้ออกแบบ ใช้งานง่าย มีขั้นตอนกระชับ ผลที่ได้ตามแบบฟอร์ม excel สามารถใช้ยื่นประกอบการ claim การทำอาคารยั่งยืนได้

ข้อเสนอแนะ

อยากให้มีการเปรียบเทียบเครื่องมือที่ใช้ ในกรณีที่มีการออกแบบที่พักอาศัยในการคำนวณปริมาณวัสดุจริงจนถึงขั้นตอนการก่อสร้าง ขนาดและปริมาณความหนาของวัสดุที่ออกแบบจริงจะมีผลแตกต่างจากที่มีการกำหนดตั้งค่าที่เครื่องมือได้ตั้งค่าไว้ให้หรือไม่

จากที่ศึกษาการใช้มองว่า Tools เป็นประโยชน์ในเบื้องต้นสำหรับผู้ออกแบบ แบบฟอร์ม excel สามารถใช้เป็นเอกสารส่วนนึงในการยื่นประกอบการ claim การทำอาคารยั่งยืนได้ แต่ควรมีการพัฒนาให้สามารถ ใช้เอกสารส่วนนี้ให้สามารถทำคะแนนได้ทั้งหมด

Tool เหมาะสำหรับผู้ออกแบบที่มีความคำนึงถึงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอน หากผู้ออกแบบต้องการปรับเปลี่ยนรูปแบบอาคารเพื่อให้ตรงตามเป้าหมายการลด GHG ตลอดช่วง LCA น่าจะมีวิธีการแนะนำการปรับแก้โมเดลที่ละเอียดมากขึ้นเพื่อให้เกิดทางเลือกที่รวดเร็วขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 4</u>

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

หน่วยวิจัยอาคารยั่งยืน ในบริษัทผู้พัฒนาอสังหาริมทัพย์ ประสบการณ์ทางด้านการทำงานยั่งยืน 2 ปี

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือมีการแสดงผลที่น่าสนใจและสามารถนำไปใช้ประกอบการออกแบบได้ ผู้ใช้งานพึงพอใจในวิธีการใช้งาน ขั้นตอนการใช้งานในระดับปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการคิดเรื่องต้นทุนที่สอดคล้องกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 5

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นสถาปนิกและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการใช้ Revit ระดับ Professional ในบริษัทที่รับให้คำปรึกษา รับฝึกอบรม และจัดจำหน่าย Software Revit ครบวงจร และเคยเป็นอาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จึงมีความรู้เกี่ยวกับการออกแบบอาคารยั่งยืนเป็นอย่างดี

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือมีการแสดงผลที่น่าสนใจและสามารถนำไปใช้ประกอบการออกแบบได้

คำถามที่น่าสนใจ

ถาม: เครื่องมือนี้สามารถใช้กับผนังโค้งและมีจำนวนห้องมากกว่านี้จะคำนวณได้ไหม

ตอบ: ได้

ถาม: Support Dynamo 2.0 ไหม

ตอบ: Support

ถาม: ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่จะแสดงผลนานแค่ไหน

ตอบ: ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพคอมพิวเตอร์ โดยมากไม่เกิน 20 นาที

ถาม: LOD ของโมเดลเป็นอย่างไร

ตอบ: อยู่ที่ประมาณ LOD 300 ขึ้นอยู่กับวิธีการใส่ค่าตามคู่มือการใช้งานมากกว่า

ถาม: คำว่าช่วงแรกของการออกแบบจริงๆแล้วเครื่องนี้ทำในช่วง Design Develop หรือเปล่า

ตอบ: การทำอาคารยั่งยืนควรเข้ามาตั้งแต่การออกแบบแรกๆที่สุดเท่าที่ทำได้ไป จนถึง Design Develop ค่ะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสนอแนะ

-ประเภทของอาคารของค่า Baseline ที่แบ่งเป็น บ้านเดี่ยว บ้านแฝด บ้านแถว คอนโดมิเนียม แต่ในโปรแกรม Revit กับแบ่งเป็น High-Rise กับ Low-Rise ควรทำให้เป็น Building Type เดียวกัน

-ควรมีการลองเทียบกับ Energy Analysis ในเรวิทว่าได้ผลต่างกันอย่างไร และตัวแปรที่ทำให้มีค่าแตกต่างไป เนื่องจากโปรแกรม Revit มีการส่งขึ้นไป Analysis บน Cloud ที่ต้องเตรียม Model ก่อน

-ควรมีการอธิบาย Workflow ของเครื่องมือว่าเป็นแบบใด ควรมีการทำ Data Workflow ให้เห็นว่า Input และ Output คืออะไร แล้วแสดงเปรียบเทียบระหว่าง Traditional Work flow กับ Workflow ที่ออกแบบใหม่ ซึ่ง BIM ตอบเรื่องการไม่เสียเวลาในการ Reprocess

-ควรมีการอธิบายว่าการทำงานที่เร็วขึ้น ส่วนไหนมาจากเครื่องมือที่ได้พัฒนา ส่วนไหนมาจาก BIM Process

-ปัญหาของกระบวนการที่ทำอยู่ในปัจจุบัน ควรมีการลิสเป็นข้อๆ และควรหาเอกสร้างอ้างอิงในเรื่องความแม่นยำในการถอดปริมาณจาก BIM model

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 6</u>

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นสถาปนิกและผู้บริหารบริษัทสถาปนิกและอดีตหัวหน้าฝ่ายวิจัยในบริษัทสถาปนิกที่ศึกษาและให้คำปรึกษาเรื่องการใช้งาน BIM การออกแบบอาคารยั่งยืนและอื่นๆ มีความสามารถในเรื่องอาคารเขียวและการเขียนโปรแกรม

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือภาพรวมน่าสนใจดี มีการแสดงผลที่เข้าใจง่าย สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคาร Net Zero Carbon ได้

คำถามที่น่าสนใจ

ความน่าเชื่อถือของสูตรนำมาใช้ในการคำนวณและที่มาของ Baseline

ข้อเสนอแนะ

-การทำ Simplified มีข้อเสียตรงอาจจะทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนได้ แต่ก็ทำได้ง่ายมีข้อดีข้อเสียกับการทำแบบละเอียดคนละแบบ

-การกรอกข้อมูล การเลือกผนัง OTTV ควรจะมีขั้นตอนที่ง่ายกว่า ควรจะ Track ตัวมันเองได้ อาจจะลองใช้คำสั่ง Room Boundary

-ควรมีการรวบค่า Setting ไว้ที่จุดๆเดียว เพื่อให้ง่ายต่อการตั้งค่า

-ควรจะสามารถกรอกค่าทั้งหมดในโปรแกรม Revit ได้ เช่น ค่า LPD

-ในการพัฒนาขั้นต่อไป ควรมีการพัฒนาให้สามารถกรอกค่า SHGC และค่า Uของกระจกได้

-ในการพัฒนาโปรแกรม ไฟล์ Dynamo และไฟล์ Excel ควรจะ Lock ได้

-การ Install ในช่วงแรกมีขั้นตอนที่เยอะไป ควรจะลดทอนขั้นตอนลง

-ความน่าเชื่อถือของสูตรนำมาใช้ในการคำนวณ

-ที่มาของ Baseline

<u>ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 7</u>

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นอาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยชั้นนำ ที่สอนเกี่ยวกับทางด้านการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้กับงานสถาปนิก และมีประสบการณ์ในการใช้ BIM และพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารยั่งยืน

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือภาพรวมน่าสนใจดี

ข้อเสนอแนะ

-งานของเราเป็นการจัดการกับข้อมูลปริมาณมาก อยากให้ลองมองเป็นเรื่อง Big Data ก่อนที่จะเรา BIM มาครอบว่าเราจะจัดการกับข้อมูลได้ยังไงบ้าง ในอนาคตเราจะอาจจะใช้โปรแกรมอื่นในการประมวลผลและ BIM อาจจะเป็นแค่หน้าจอ Monitor แล้วก็ได้ อย่างเช่น โปรแกรม Autodesk Forge เป็นต้น

-การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในอนาคตอยากให้ลองมองในภาพกว้างในรูปแบบของการออกแบบเมือง หรือการใช้ BIM Urban ว่าอนาคตข้างหน้าจะต้องมีการประเมินว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอาคารของเมืองแต่ละประเภทเป็นเท่าไหร่ ซึ่งเป็นโจทย์ที่น่าสนใจ ดังนั้นในเบื้องต้นควรทำให้เครื่องมือนี้สามารถคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารได้มากกว่า 1 อาคาร อาจจะเริ่มจากการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อนเป็นอันดับแรก

-การทำงานบน BIM คือการทำงานร่วมกับของแต่ละฝ่าย ในอนาคตจะมีการทำงานบน Cloud ทั้งหมด ดังนั้นควรมีการทำฐานข้อมูลเป็นโปรแกรม Excel แยกออกมาเพื่อให้หลายฝ่ายทำงานร่วมกันได้ เช่น มีฝ่ายหนึ่งอัพเดทฐานข้อมูลบนโปรแกรม Excel แล้วฐานข้อมูลใน BIM ของทุกๆเครื่องก็จะแก้ไขตามได้

-ข้อมูลบางส่วนควรแก้ไขได้ใน Excel เลย ไม่ต้องกลับไปแก้ในโปรแกรม Revit อีก

-การแสดงผลให้ลองแสดงผลเป็น Excel Dashboard หรือให้ลองใช้ Power BI ก็จะมีหน้าต่างการแสดงผลที่น่าสนใจขึ้น

ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 8

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

เป็นนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาตร์ ที่เรียนสาขาวิชานวัตกรรมนิเวศน์สถาปัตย์ และทำโปรเจคเกี่ยวกับการเปรียบเทียบการจำลองค่าการใช้พลังานใน Revit และอาคารจริง

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

น่าสนใจดี ต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจ มีขั้นตอนที่กระชับ การชี้แจงผลลัพธ์ และเปรียบเทียบค่าทำให้สามารถนำไปใช้งานต่อได้

ข้อเสนอแนะ

-ทศนิยมของ Project Information มีเยอะเกินไปทำให้ดูไม่เรียบร้อย

-ควรมีการระบุรายละเอียดของการ Input ข้อมูลและอธิบายค่าแสดงผลลงในคู่มือ

-โปรแกรมนี้มีข้อดีตรงที่มีการรวมการตั้งค่าไว้ที่จุด จุดเดียว

-เรื่อง Phase ยังมีปัญหาเรื่อง Host ของหน้าต่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 9

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

ที่ปรึกษาการออกแบบอาคารยั่งยืน ในหน่วยวิจัยในบริษัทสถาปนิก ที่มีความรู้และประสบการณ์ในการใช้แบบจำลองสารสนเทศในการทำงานและการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยหน่วยวิจัยในบริษัทนั้นประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้าน BIM ด้านกฎหมายและอาคารยั่งยืน

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

การใช้ Revit ทำให้การทำ LCA ง่ายขึ้นกว่าแต่ก่อนมาก มีการ Input ที่เข้าใจได้

ข้อเสนอแนะ

- ที่มาของข้อมูลควรมีความน่าเชื่อถือ
- ควรใส่ตัวแปรให้ครบ
- การแสดงผลกราฟเส้นไม่ค่อยแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่าการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 10

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

สถาปนิกที่ทำงานบริษัทที่เน้นการออกแบบอาคารยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีประสบการณ์ในการใช้แบบจำลองสารสนเทศในการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียว

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือมีวิธีการใช้งานที่เข้าใจง่าย และมีขั้นตอนที่กระชับ น่าสนใจมากและมีประโยชน์มากในการช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบอาคาร

ข้อเสนอแนะ

- อยากให้ทำให้เชื่อมต่อกับ Webbase ให้ครบวงจร
- ควรพัฒนาให้สามารถดึงข้อมูลจาก Curtain Wall และ Facade มาใช้ได้
- ควร Lock ไฟล์ Excel
- ควรมีการทำ Verification เปรียบเทียบกับเครื่องมือ LCA อื่น และเปรียบเทียบเครื่องมือที่ใช้ค่า Default กับการตั้งค่าแบบละเอียด เพื่อดูความคลาดเคลื่อนของค่าการใช้พลังงานและ Material Take off
- ควรมีการพัฒนาให้มีการคำนึงถึงในเรื่องต้นทุน LCC ด้วย
- การ Render สีตาม Type ของ LCA
- อยากให้ระบุในคู่มือว่าค่าอะไรมีผลกับประเมินบ้าง
- ควรมีการคิดในเรื่องของ Design Option เพิ่มเติม
- อาจจะลองวิธีการแสดงผลในรูปแบบอื่น การแสดงเป็นช่วง Range ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารแต่ละประเภท หรือการให้คะแนนวัสดุเป็น A, B, C อย่างคู่มือ Green Guilde

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 11

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

ที่ปรึกษาอาคารเขียวที่มีประสบการณ์ทางด้านการประเมินวัฏจักร การจำลองค่าการใช้พลังงาน

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

เครื่องมือมีวิธีการใช้งานที่เข้าใจง่าย และมีขั้นตอนที่กระชับ ช่วยในการลดระยะในการออกแบบ จากที่ได้ตั้งไว้ให้ใช้ชั่วโมงในการทำ LCA 100 ชั่วโมง ทำให้สามารถประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างขั้นตอนการออกแบบขั้นต้นได้และทำคะแนนในเกณฑ์อาคารเขียวเยอรมันเพิ่ม สามารถแก้ไขข้อมูล LCA ในฐานข้อมูลวัสดุได้ทำให้สามารถเลือกข้อมูลมาใช้ได้หลากหลายแหล่ง และยังเป็นการบันทึกข้อมูลที่ดึงมาจากที่มาอื่นมาไว้รวมกันในรูปแบบของฐานข้อมูลอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

- ที่ปรึกษาอาคารเขียวส่วนใหญ่ ยังคงต้องปรับตัวกับการใช้ BIM ดังนั้นควรทำให้สามารถทำงานใน Excel Sheet โดยการกรอกข้อมูลลงไปใน Excel อย่างเดียวได้ด้วย
- ควรมีการเพิ่มคำอธิบายในเอกสารแสดงผลและควรมีการนำค่าผลกระทบอื่นๆ เช่น ฝนกรด การลดลงของโอโซน เข้ามาประเมินด้วย เพื่อให้นำเอกสารไปยื่นเกณฑ์อาคารเขียวได้
- ควรมีการเพิ่ม Parameter Air film เพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้น
- ควรแสดงค่าต่างๆในโปรแกรม Dynamo ได้เลย
- ควรมีการคิดเรื่อง Phase หรือช่วงเวลาสำหรับโครงการปรับปรุงอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานคนที่ 12

ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

ที่ปรึกษา BIM ที่มีประสบการณ์ทางด้านการออกแบบอาคารยั่งยืน

ผลตอบรับการใช้เครื่องมือ

ใช้งานง่าย มีขึ้นตอนการใช้งานที่กระชับ มีวิธีการแสดงผลที่เข้าใจง่าย

ข้อเสนอแนะ

- คู่มือควรแสดงวิธีการเพิ่ม Material และการ Edit ค่าต่างๆใน Family
- ควรมีการทำให้การปรับ Properties กระจกสามารถกรอกค่าเฉพาะจากโรงงานได้ เพราะอาคารส่วนใหญ่มันมีพื้นที่กระจกเยอะการกรอกค่าตั้งต้นที่โปรแกรม Revit ให้มาจะมีผลทำให้การจำลองค่าการใช้พลังงานคาดเคลื่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ธัญธร ค้ำไพโรจน์ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการวางแผน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานที่บริษัท อีจีเอส-แปลน (กรุงเทพ) จำกัด ในตำแหน่ง ที่ปรึกษาอาคารยั่งยืนและเป็นผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคารและการใช้แบบจำลองสารสนเทศเพื่อการออกแบบอาคารยั่งยืน เบอร์โทรศัพท์ 088-099-4602 Email address: bream.th@gmail.com

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University