การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบใน
โครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ

นางสาวณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล

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 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GREENHOUSE GAS EMISSION FROM CONSTRUCTION AND OPERATION OF BANN PRACHARAT PROJECT OF NATIONAL HOUSING AUTHORITY

Miss Nutvipa Rungreangthanaphol

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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ
โดย	นางสาวณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ (GREENHOUSE GAS EMISSION FROM CONSTRUCTION AND OPERATION OF BANN PRACHARAT PROJECT OF NATIONAL HOUSING AUTHORITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 139 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ โดยใช้วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากคู่มือ IPCC (2006) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร มีผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคาร เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นก็จะลดลงด้วย ซึ่งการปรับเปลี่ยนวัสดุนี้ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของอาคารอีกด้วย เพื่อให้ได้ผลการจำลองการใช้พลังงานที่สมบูรณ์และถูกต้องกับสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน จึงนำไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพที่เป็นไปตามการคาดคะเนผลกระทบจากภาวะโลกร้อนในอนาคตเข้ามาใช้ในการคำนวณ จากการทดลองพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากวัสดุกรอบอาคารและก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารนั้น เมื่อมีการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารเป็นคอนกรีตมวลเบา หลังคากระเบื้องดินเผา กระจกตัดแสง และเพิ่มฉนวนเยื่อกระดาษหนา 2 นิ้ว เหนือฝ้าเพดาน โดยบ้านเดี่ยว 2 ชั้น บ้านแฝด 2 ชั้น ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น และคอนโด 4 ชั้น จะมีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 20, 9, 12 และ 6 เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุแล้วสามารถลดค่าไฟลงได้ร้อยละ 54, 38, 30 และ 26 และมีค่าความคุ้มทุนในการลงทุนการก่อสร้างใน 6 ปี, 3 ปี, 5 ปี และ 3 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 6 เท่า, 4 เท่า, 1.4 เท่า และ 1 เท่า ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมสามารถลดลงคิดเป็นร้อยละ 14, 14, 11 และ 7 ต่อปีตามลำดับ ซึ่งถือได้ว่าเป็นชุดทางเลือกการเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารที่ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมกับอาคารผู้มีรายได้น้อยและคุ้มค่าการลงทุนที่สุด

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5873565425 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: GREENHOUSE GAS EMISSION / EMBODIED ENERGY / BUILDING ENVELOP / EMBODIED CARBON

NUTVIPA RUNGREANGTHANAPHOL: GREENHOUSE GAS EMISSION FROM CONSTRUCTION AND OPERATION OF BANN PRACHARAT PROJECT OF NATIONAL HOUSING AUTHORITY. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 139 pp.

This paper examines the greenhouse gas emission from production and operation of Bann Pracharat Project of National Housing Authority. The calculations are made with reference to the IPCC (2006) handbook.

The study found that changing the building envelope material affects the energy use in the operation of the building in terms of cooling. When the effectiveness of the envelope improves, the energy used in operation decreases. Changing the envelope material also correlates with the overall greenhouse gas emission of the building. For a more complete and accurate energy model, data of Bangkok's climate trend and its forecast that factored in the effect of global warming. The study found that when the building envelope is changed to autoclaved aereated concrete, clay-tiled roof, heat absorbing glass, and 2-inch Cellulose insulation, for single house, twin house, townhouse and condominium, the greenhouse gases will emission decrease by 54, 38, 30 and 26 percent. However, construction cost will increase by 20, 9, 12 and 6 percent, while energy cost will decrease by 54, 38, 30 and 26 percent. The breakeven period for the construction cost is 6, 3, 5 and 3 years on average, with the eco-efficacy rising by 6, 4, 1.4 and 1 times greater. In conclusion, this set of the alternative envelope material is the most appropriate and cost-effective investments for those with lower income to lower their greenhouse gas emission.

e to lower their greenhouse gas emission.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง รวมถึงขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการศึกษา ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณการเคหะแห่งชาติ สำหรับการเอื้อเฟื้อข้อมูล ตลอดจนลูกบ้าน โครงการบ้านเอื้ออาทรทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 6

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ภาวะเรือนกระจก 8

2.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 9

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน 10

2.4 ระบบกรอบอาคาร 11

2.4.1 วัสดุผนัง 12

2.4.3 กระจก 13

2.4.2 วัสดุหลังคาและฉนวน 14

2.5 รูปแบบโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ 17

2.5.1 กรณีศึกษา บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.5.2 กรณีศึกษา บ้านแฝด 2 ชั้น....18
2.5.3 กรณีศึกษา ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น....19
2.5.4 กรณีศึกษา คอนโด 4 ชั้น....20
2.6 การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....21
2.6.1 การศึกษาเรื่องลักษณะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร....21
2.6.2 การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคารและการใช้พลังงานงานภายในอาคาร....23
2.6.3 การศึกษารูปแบบการอยู่อาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ....26
2.6.4 การศึกษาการคำนวณระยะเวลาคืนทุน และประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ พร้อมทั้งประโยชน์ และการนำมาใช้....28
2.7 สรุปการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....31
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย....37
3.1 แผนการดำเนินงานและการเก็บข้อมูล....37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย....39
3.2.1 แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน....39
3.2.2 โปรแกรม Microsoft excel....39
3.2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคาร VisualDOE 4.0....39
3.3 การเก็บข้อมูลในการสำรวจและการศึกษารูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร....39
3.3.1 สร้างแบบสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยในโครงการ....40
3.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการจัดเรียง....40
3.3.3 การกำหนดวิธีวิเคราะห์ข้อมูล....40
3.4 กำหนดวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการวิจัย....41
3.4.1 กำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร....41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.4.2 เสนอแนวทางปรับปรุงในแนวทางต่าง ๆ 41
3.5 การศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร 41
3.6 การศึกษาการใช้พลังงานภายในอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 44
3.6.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานในการทำความเย็นในอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 45
3.7 การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ 49
3.8 การศึกษาความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ 50
3.9 เสนอแนวทางในการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 51
บทที่ 4 ผลการวิจัย 52
4.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจและการศึกษารูปแบบการใช้พลังงานในอาคารโครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ 52
4.1.1 แบบสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยในโครงการ 52
4.2 ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการวิจัย 56
รายการวัสดุ 58
รูปแบบกายภาพ 58
รายการวัสดุ 59
กระจกใส 59
(Clear Glass) 59
4.3 ผลการกำหนดรูปแบบกรณีศึกษาที่ใช้ในการจำลองการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารที่แตกต่างกัน 60
4.4 ผลการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร 61
4.5 ผลการจำลองการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.5.1 กลุ่มวัสดุก่อผนัง....63
4.5.2 กลุ่มวัสดุกระเบื้องหลังคา....64
4.5.4 กลุ่มวัสดุฉนวน....65
4.5.5 ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดช่วงอายุอาคาร 30 ปี....66
4.6 ผลการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์....68
4.7 ผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ....70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....75
5.1 สรุปผลการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร....76
5.2 สรุปผลการศึกษาการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0....78
5.3 นำเสนอวัสดุกรอบอาคารทางเลือกสำหรับอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐเพื่อเป็นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก....80
5.4 สรุปผลการจำลองการใช้พลังงานระหว่างกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีทางเลือก....80
5.5 สรุปผลการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์....85
5.6 สรุปผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ....86
5.7 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบกับแนวทางการศึกษาของเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา....87
5.8 สรุปผลการวิจัย....89
5.9 ข้อเสนอแนะ....91
รายการอ้างอิง....92
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของวัสดุ....95
รายการวัสดุ....96
รูปแบบกายภาพ....96
รายการวัสดุ....98
กระจกใส....98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

(Clear Glass) 98
ภาคผนวก ข. แบบบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ 99
รูปแบบบ้านเดี่ยว 2 ชั้น (ที่มา:การเคหะแห่งชาติ, 2559) 100
ภาคผนวก ค. แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน ในบ้านพักอาศัย 114
ภาคผนวก ง. สรุปผลจากแบบสอบถามตามภาคผนวก ค. 117
ภาคผนวก จ. (ร่าง) แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (2559-2568) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ 125
ภาคผนวก ฉ. ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและน้ำหนักของวัสดุประกอบอาคาร .. 127
ที่มา:IPCC (2006), SimaPro7.1, Energy Plus 128
ภาคผนวก ช. ตัวอย่างการคำนวณ 129
ภาคผนวก ซ. รายละเอียดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นภายในอาคาร แบ่งตามประเภทวัสดุกรอบอาคาร 131
ภาคผนวก ฌ. ราคากลางวัสดุ 137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 139

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ของการศึกษา วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 8

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 10

ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในอาคารควบคุม 12

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุในระบบกรอบอาคาร 16

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบอาคาร บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 18

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบอาคาร บ้านแฝด 2 ชั้น 19

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบอาคารทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น 19

ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบระบบกรอบอาคารคอนโดมิเนียม 4 ชั้น 20

ตารางที่ 2.9 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย 25

ตารางที่ 2.10 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

ตารางที่ 3.1 บัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) ของวัสดุกรอบอาคาร 42

ตารางที่ 3.2 รายการน้ำหนักวัสดุ 42

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 43

ตารางที่ 3.4 แบบจำลองอาคารในโปรแกรม VisualDOE 4.0 45

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างตารางการใช้งานอาคารในโปรแกรม VisualDOE 4.0 46

ตารางที่ 3.6 สมบัติทางความร้อนของวัสดุ 47

ตารางที่ 3.7 ราคากลางวัสดุกรอบอาคาร 50

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน โครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ 53

ตารางที่ 4.2 ตารางการใช้งานอาคารในโปรแกรม VisualDOE 4.0 55

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของวัสดุ 58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4 รูปแบบกรณีศึกษาอาคารทางเลือก.....60

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและน้ำหนักของวัสดุกรอบอาคาร 61

ตารางที่ 4.6 ตารางบัญชีแสดงปริมาณวัสดุอาคารกรณีศึกษา (BOQ).....61

ตารางที่ 4.7 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุประกอบอาคารในอาคารพักอาศัยกรณีศึกษา..62

ตารางที่ 4.8 ปริมาณวัสดุผนังอาคารในหน่วยกิโลกรัม (kg) 62

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อผนัง.....63

ตารางที่ 4.10 ค่าการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงอายุอาคาร 30 ปี.....67

ตารางที่ 4. 11 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็น ตลอดช่วงอายุการใช้งาน 30 ปี.....67

ตารางที่ 4.12 ค่าไฟที่ใช้ในการทำความเย็นในกรณีศึกษาต่าง ๆ ต่อปี.....68

ตารางที่ 4.13 ราคาค่าก่อสร้างและวัสดุของวัสดุกรอบอาคารชนิดต่าง ๆ.....69

ตารางที่ 4.14 ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ 70

ตารางที่ 4.15 ค่าก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย.....71

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกวัสดุกรอบอาคาร.....76

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นจากวัสดุกรอบอาคารทางเลือก 79

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก.....83

ตารางที่ 5.4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำความเย็น 84

ตารางที่ 5.5 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงการใช้งานอาคารและวัสดุกรอบอาคารจากกรณีอาคารทางเลือก 85

ตารางที่ 5.6 ระยะเวลาคุ้มทุนของอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร.....85

ตารางที่ 5.7 ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ.....86

ตารางที่ 5.8 สรุปผลการวิจัยและเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....88

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ.....11

ภาพที่ 2.2 ประเภทของกระจกอาคาร.....14

ภาพที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังภายในห้อง.....14

ภาพที่ 2.4 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้านผ่านหลังคาที่ใช้วัสดุกระเบื้องคอนกรีตและเมทัลชีท.....15

ภาพที่ 2.5 ปริมาณความร้อนเข้าบ้านผ่านหลังคากรณีติดฉนวนและไม่ติดฉนวนบนฝ้าเพดาน 15

ภาพที่ 2.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลอากาศปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) และข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080).....22

ภาพที่ 2.7 สัดส่วนการใช้พลังงานอาคารสำนักงาน เมื่อใช้ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990.....22

ภาพที่ 2.8 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจก แบ่งประเภทตามวัสดุประกอบอาคาร 23

ภาพที่ 2.9 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารพักอาศัย 28

ภาพที่ 2.10 จุดคุ้มทุน หรือ B.E.P.....28

ภาพที่ 2.11 การวิเคราะห์ค่าความคุ้มทุนในการลงทุน.....29

ภาพที่ 2.12 เกณฑ์การศึกษาความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ 31

ภาพที่ 3.1 เกณฑ์การศึกษาความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ.....51

ภาพที่ 4.1 ค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจ.....74

ภาพที่ 5.2 ค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจ.....87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....38

แผนภูมิที่ 4.1 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังแยกตามประเภทอาคาร 64

แผนภูมิที่ 4.2 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนกระเบื้องหลังคาแยกตามประเภทอาคาร 64

แผนภูมิที่ 4.3 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกแยกตามประเภทอาคาร 65

แผนภูมิที่ 4.4 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนกันความร้อนแยกตามประเภทอาคาร.....66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ภาวะโลกร้อน (global warming) คือการที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนโลกสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอากาศบริเวณใกล้ผิวโลก หรือน้ำในมหาสมุทร ผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่สามารถเห็นได้ชัดเจนคือ สภาพภูมิอากาศและฤดูกาลที่ผิดแปลกไปจากเดิม ภัยธรรมชาติที่รุนแรงมากขึ้น อากาศร้อนผิดปกติ รวมถึงการเกิดโรคระบาดชนิดใหม่

ภาวะโลกร้อนหรือภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (climate change) มีสาเหตุหลักมาจากก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) เพราะก๊าซเรือนกระจกเช่น คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนนั้น มีคุณสมบัติในการดูดซึมและเก็บกักคลื่นรังสีความร้อนได้ดี ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโตมี 6 ชนิด ซึ่งก๊าซทั้ง 6 ชนิดนี้จะต้องเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic greenhouse gas emission) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และ ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) (นิรมล สุธรรมกิจ & ชโลทร แก่นสันติสุขมงคล, 2551)

จากการประชุมของ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) เมื่อปี ค.ศ. 2011 ได้รายงานข้อมูลว่าช่วงระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 20 พบว่าอุณหภูมิพื้นผิวโลกเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศเหนือผิวดินและผิวน้ำทะเล) เพิ่มขึ้นถึง 0.6 องศาเซลเซียส โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีนัยสำคัญในเขตร้อนและเขตอบอุ่นเป็นอันดับต้น ๆ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (climate change) เป็นผลมาจากกิจกรรมในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น จนก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) สาเหตุสำคัญของสภาวะโลกร้อนที่เรากำลังเผชิญในปัจจุบัน อย่างไรก็ดีภาวะเรือนกระจกเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นเพื่อรักษาสมดุลให้กับโลก แต่เนื่องจากการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีขาดการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ทำให้ก๊าซเรือนกระจกสะสมในชั้นบรรยากาศมากจนเกินความสมดุล ภาวะเรือนกระจกที่เคยมีประโยชน์จึงก่อให้เกิดผลเสีย

ปัญหาโลกร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งเกี่ยวพันกับภาคพลังงาน ประเทศไทย ใน พ.ศ. 2543 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 229.08 $TonCO_2eq$ โดยภาคพลังงาน (อุตสาหกรรมการผลิตและการก่อสร้าง) เป็นภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 69.6 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งประเทศ รองลงมาคือ ภาคเกษตร ร้อยละ 16.39 และ

ภาคอุตสาหกรรม ร้อยละ 7.2 ตามลำดับ (บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2553) และจากการสำรวจทางสถิติในช่วง 5 ปีระหว่าง พ.ศ. 2543-2547 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นทุกปีในอัตราร้อยละ 3.8 ต่อปี

อาคารพักอาศัยเป็นปัจจัยสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากระบบปรับอากาศ ระบบส่องสว่าง และระบบอำนวยความสะดวกสบาย และเมื่อจำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การก่อสร้างที่พักอาศัยเพื่อรองรับจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม จากข้อมูลการเพิ่มขึ้นของที่พักอาศัยในกรุงเทพและปริมณฑล ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (ปี 2547–2556) มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยในระยะเวลา 10 ปี พบว่ามีจำนวนการก่อสร้างที่พักอาศัยแล้วเสร็จสูงขึ้นจาก 69,101 หน่วย เพิ่มขึ้นเป็น 130,046 หน่วย (บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2553) และตามที่คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบแผนการยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (พ.ศ. 2559-2568) โดยรัฐบาลเข้ามามีบทบาทในการจัดสร้างที่อยู่อาศัย ภายใต้การดำเนินการโดยการเคหะแห่งชาติ บูรณาการร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ซึ่งในระยะเวลาแผน 10 ปี จะเกิดการก่อสร้างอาคารพักอาศัยโดยประมาณทั้งสิ้น 2,751,947 หน่วย (สำนักนายกรัฐมนตรี, 2559)

โครงการที่จะเกิดขึ้นตามแผนยุทธศาสตร์นี้จะใช้แบบก่อสร้างอาคารต้นแบบเดียวกันคือ ต้นแบบอาคารพักอาศัยในโครงการบ้านประชารัฐ โดยแบ่งออกเป็นบ้านเดี่ยว 2 ชั้น บ้านแฝด 2 ชั้น ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น และคอนโด 4 ชั้น ซึ่งเป็นแบบก่อสร้างต้นแบบที่จัดทำขึ้นใหม่แทนที่การใช้แบบบ้านเอื้ออาทรเดิม ด้วยปริมาณจำนวนหน่วยในการก่อสร้างที่จะเกิดขึ้นนั้น จะส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างอาคารพักอาศัย

การก่อสร้างที่พักอาศัยนั้น ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุก ๆ ขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง ไปจนถึงกระบวนการก่อสร้าง แนวทางการเลือกใช้วัสดุแต่ละชนิดนั้น ส่งผลถึงการใช้พลังงานภายในอาคารพักอาศัยและส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของวัสดุก่อสร้างและในช่วงกระบวนการก่อสร้างของบ้านเอื้ออาทร (สิริรักษ์ เจียราการ & พัฒนะ รักความสุข, 2554) พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 98 มาจากวัสดุประกอบอาคาร และอีกร้อยละ 2 มาจากกระบวนการก่อสร้างอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wahidul K. Biswas (Biswas, 2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างอาคารที่ออสเตรเลีย การก่อสร้างอาคารทั่วไปมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึงร้อยละ 30 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งโลก ซึ่งการศึกษาของ Wahidul K. Biswas ได้ผลสรุปคือวัสดุก่อสร้างที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ คอนกรีต ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 42 ของวัสดุประกอบอาคารรวม

จากการศึกษางานวิจัยของ นลินี อเนกแสน (นลินี อเนกแสน, 2554)ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงาน เริ่มตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) และกระบวนการก่อสร้าง (Gate-to-Gate) และการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย (use phase) เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างพบว่ามากกว่าร้อยละ 90 มาจากวัสดุก่อสร้าง โดยการวิจัยของ นลินี อเนกแสน เลือกพิจารณาวัสดุประกอบอาคารที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุดคือ คอนกรีต ปูนซีเมนต์ และวัสดุก่อกำแพง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลทิพย์ อรัญศิริ (กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553) ที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคาร และได้ผลการศึกษาว่าอาคารที่ก่อสร้างด้วยอิฐมอญนั้น มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุด การวิจัยนี้ยังพบว่าวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุกรอบอาคารนั้นมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานภายในอาคารอีกด้วย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและการใช้พลังงานภายในอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ โดยมีขอบเขตการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่กระบวนการก่อสร้าง (Gate to Gate) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย (use phase) โดยจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า carbon intensity ของการก่อสร้างในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และสร้างแบบจำลองอาคารพักอาศัยต้นแบบโดยใช้โปรแกรม VisualDOE 4.0 ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพักอาศัยต้นแบบที่มีการเลือกใช้กรอบอาคารแตกต่างกัน รวมถึงการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางนิเวศเศรษฐกิจและระยะเวลาการคืนทุนของโครงการ เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยนี้มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อให้การเคหะแห่งชาติสามารถนำผลการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาทางเลือกของวัสดุกรอบอาคารในโครงการเพื่อผู้มีรายได้น้อยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ โดยศึกษาในกระบวนการก่อสร้าง (Gate to Gate)

1.2.2 ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารซึ่งในการศึกษานี้ได้แก่ วัสดุก่อกำแพง วัสดุกระจก วัสดุหลังคา และวัสดุฉนวน และนำเสนอวัสดุกรอบอาคารทางเลือกสำหรับอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ

1.2.3 ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากช่วงการพักอาศัย (use phase) และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารที่ประกอบด้วยกรอบอาคารซึ่งมีวัสดุแตกต่างกัน เพื่อนำไปสู่การนำเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบ้านพักอาศัยต่อไป

1.2.4 ศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

1.2.5 เสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 20–25 ภายในปี 2573 ตามที่รัฐบาลไทยได้นำเสนอตัวเลขในการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 21 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 ณ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส

Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ของการศึกษา วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ประโยชน์
1. ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการ โครงการบ้านประชารัฐ โดยศึกษาในกระบวนการก่อสร้าง	ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทำตารางเปรียบเทียบข้อมูล พร้อมทั้งทำรายการแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (BOQ)	ได้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างอาคารพักอาศัยต้นแบบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารซึ่งในการศึกษานี้ได้แก่ วัสดุก่อกำแพง วัสดุกระจก และวัสดุหลังคา และนำเสนอวัสดุกรอบอาคารทางเลือกสำหรับอาคารพักอาศัยต้นแบบ	ศึกษาฐานข้อมูลวัสดุในท้องตลาดและศึกษาฐานข้อมูลจากโปรแกรม VisualDOE 4.0 รวมถึงศึกษามาตรฐาน IPCC (2006) และ ICE V.2 เพื่อทำการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ได้ค่า specific emission factor ของอาคารพักอาศัยต้นแบบของโครงการการเคหะชุมชนและบริการชุมชนโครงการบ้านประชารัฐ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการพัฒนาการออกแบบ
3. ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากช่วงการพักอาศัย และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารที่ประกอบด้วยกรอบอาคารซึ่งมีวัสดุแตกต่างกัน เพื่อนำไปสู่การนำเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบ้านพักอาศัยต่อไป	ทำการจำลองการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารในอาคารพักอาศัยต้นแบบ และจากการวิเคราะห์รูปแบบการพักอาศัยจากแบบสอบถามที่ได้จัดทำขึ้น	ได้แนวทางในการเลือกใช้วัสดุเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการใช้พลังงานเพื่อใช้ในการพัฒนาการออกแบบ
4. เสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 20–25 ภายในปี พ.ศ. 2573	วิเคราะห์และสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบวัสดุกรอบอาคารทางเลือกที่ดีที่สุดในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยต้นแบบ	เสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ลงร้อยละ 20–25 จากค่ามาตรฐานของอาคารพักอาศัยต้นแบบ โครงการบ้านประชารัฐ
5. ศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ	นำผลการใช้พลังงานที่ได้ มาคำนวณเพื่อหาค่าไฟ และคำนวณตามสมการดัชนีความเหมาะสมทางประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ	ได้ค่าดัชนีความเหมาะสมทางประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ และระยะเวลาคืนทุน เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปพัฒนาโครงการ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การวิจัยนี้มีวิธีการคำนวณอ้างอิงจากคู่มือ IPCC (2006) (Houghton et al., 2007) ในลักษณะ Gate to Gate ซึ่งเป็นการพิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้วัสดุเท่านั้น โดยไม่พิจารณากระบวนการขนส่ง โดยมีขอบเขตดังนี้

1.3.1 เลือกศึกษาอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ 4 ประเภทคือ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น บ้านแฝด 2 ชั้น ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น และคอนโด 4 ชั้น โดยข้อมูลปริมาณวัสดุได้จากการถอดปริมาณโดยผู้วิจัยและใส่ข้อมูลลงในบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ)

1.3.2 คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) โดยใช้ฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์จาก ICE Version 2 และ IPCC (2006)

1.3.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพักอาศัยที่มีวัสดุกรอบอาคารแตกต่างกัน เช่น วัสดุก่อผนังได้แก่ อิฐมอญ อิฐมวลเบา คอนกรีตบล็อก และพรีคาสต์คอนกรีต โดยใช้โปรแกรม VisualDOE 4.0 เพื่อประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี และนำเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างอาคารพักอาศัยต้นแบบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน

1.4.2 ได้ค่า specific emission factor ของอาคารพักอาศัยต้นแบบของโครงการบ้านประชารัฐ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการพัฒนาการออกแบบ

1.4.3 ได้แนวทางในการเลือกใช้วัสดุเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการใช้พลังงานเพื่อใช้ในการพัฒนาการออกแบบ

1.4.4 เสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ลงร้อยละ 20–25 จากค่ามาตรฐานของอาคารพักอาศัยต้นแบบของโครงการบ้านประชารัฐ

1.4.5 ได้ค่าดัชนีชี้วัดความเหมาะสมทางประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ และระยะเวลาคืนทุน เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปพัฒนาโครงการของการเคหะแห่งชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งทำการวิเคราะห์และสืบค้นเอกสาร เพื่อหาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานภายในอาคารที่มีผลกระทบจากวัสดุกรอบอาคาร โดยนำความรู้ที่ได้รับจากการทบทวนวรรณกรรม เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ภาวะเรือนกระจก

2.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อน

2.4 ระบบกรอบอาคาร

2.5 รูปแบบบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ

2.6 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 สรุปการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในรายละเอียดส่วนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดนิยามและความหมายของคำดังต่อไปนี้

“Greenhouse gases” หมายถึง ก๊าซเรือนกระจก

“Global Warming Potential (GWP)” หมายถึง ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน

“Activity data” หมายถึง ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

“Emission factor” หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกะจก

“Cradle to gate” หมายถึง การพิจารณาพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิต ผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ

“Gate to Gate” หมายถึง ข้อมูลที่มีขอบเขตการพิจารณาในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน และการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ

“Embodied Energy” หมายถึง ค่าการใช้พลังงานตลอดชั่ววัฏจักรชีวิตของวัสดุ

“Operation CO_2” หมายถึง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงการใช้สอยอาคาร

2.1 ภาวะเรือนกระจก

ภาวะเรือนกระจกคือ ภาวะที่ชั้นบรรยากาศของโลกกระทำตัวเสมือนเรือนกระจก ที่ห่อหุ้มโลกเอาไว้ โดยตามธรรมชาตินั้น ชั้นบรรยากาศจะเหมือนเป็นตัวกรองที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังผิวโลกได้ และจะทำหน้าที่กระจายพลังงานความร้อนให้กับอากาศและพื้นผิวโลก ก่อให้เกิดความสมดุลทางอุณหภูมิ ที่มีความเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต ช่วยเป็นเกราะป้องกันไม่ให้โลกสูญเสียความร้อนออกไปจากชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลกอย่างฉับพลัน

หากแต่ในปัจจุบันก๊าซที่อยู่ในชั้นบรรยากาศและมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อน เกิดการสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศโลกมากจนผิดปกติและทำลายสมดุลที่เคยมี ทำให้เกิดการคายพลังงานความร้อนไปยังพื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศโลกมากผิดปกติ โลกจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งปริมาณก๊าซที่สะสมจนมากเกินพอดีนั้น เป็นก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการดำรงชีวิตของมนุษย์

ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโตนั้นมี 6 ชนิด และมีการบังคับใช้ใน พ.ศ. 2548 (นิรมล สุธรรมกิจ & ชโลทร แก่นสันติสุขมงคล, 2551) โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานยนต์ และการหายใจของสิ่งมีชีวิต ก๊าซมีเทน (Methane) เกิดจากการทำการเกษตรและการปศุสัตว์ การผลิตถ่านหิน หรือการทำเหมืองแร่ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide) เกิดจากการทำเกษตรรวมถึงการใช้ปุ๋ยเคมีและกลุ่มของสาร CFC (Chlorofluorocarbon) เกิดจากอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น โดยใช้เป็นสารหล่อเย็นในตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ

เราสามารถแสดงศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential : GWP) โดยเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หน่วย ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์	200-450	1
มีเทน	9-15	23
ไนตรัสออกไซด์	120	296
CFC-12	100	10,600
เตตระฟลูออโรมีเทน	50,000	5,700
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	3,200	23,000

(ที่มา: IPCC Forth Assessment Report – Climate Change, 2007)

เดิมทีนั้นก๊าซเรือนกระจกมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้หากมีในปริมาณที่เหมาะสม โดยก๊าซเรือนกระจกนั้นมีเพื่อรักษาความอบอุ่นให้กับโลก ทำให้สิ่งมีชีวิตภายในเรือนกระจกนั้นมีอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโต แต่เมื่อเทคโนโลยีก้าวไปไกลมากขึ้นการทำลายทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมก็มากขึ้น เป็นทวีคูณ เช่น การนำฟอสซิลมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงต่าง ๆ การผลิตสารสังเคราะห์จากอุตสาหกรรม หรือการจัดการขยะที่เหลือจากการบริโภค เป็นสาเหตุหลักที่เพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น

2.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเทศที่เข้าร่วมในภาคีอนุสัญญานั้นจะต้องดำเนินการให้เป็นไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์ ภายใต้มาตรฐานเดียวกัน ดังนั้นคณะกรรมาธิการระหว่างรัฐด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ได้จัดทำคู่มือในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีจุดประสงค์หลักคือคู่มือการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนี้จะต้องสามารถนำมาปรับใช้ได้อย่างหลากหลายและสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปร เพื่อให้ประเทศในภาคีที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านที่มาของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล รวมถึงความจำเพาะของข้อมูล สามารถใช้มาตรฐานเดียวกันในการคำนวณได้ วิธีการคำนวณจึงถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของสมการที่ (1) ดังนี้

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) = ข้อมูลกิจกรรม activity data x ค่าการปล่อย emission factor (EF).....(1)

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะสามารถให้ความหมายของตัวแปรได้คือ ข้อมูลกิจกรรม (activity data) เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ ที่ได้มาจากกิจกรรมซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกประเภทต่าง ๆ เช่น ปริมาณของน้ำมันหรือถ่านหิน ที่ใช้ในการสร้างให้เกิดพลังงานขึ้นมา ซึ่งข้อมูลกิจกรรมนี้อาจจะมีหน่วยที่แตกต่างกันไปในแต่ละภาคส่วนและสาขาของการคำนวณในแต่ละกิจกรรม การนำข้อมูลกิจกรรมมาใช้นั้น จึงจะต้องนำมาคำนวณหรือปรับเพิ่มเติม เพื่อให้เป็นค่าที่สามารถนำมาใช้คำนวณในสมการข้างต้นได้ โดยที่ค่าการปล่อย (emission factor) เป็นค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ซึ่งค่าการปล่อยนี้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการผลิตของแต่ละประเทศ ซึ่งอาจจะมีค่าการปล่อยที่เฉพาะเจาะจงลงไปอีก หากแต่ในคู่มือของ IPCC นั้นได้นำเสนอค่าการปล่อยที่เป็นค่ามาตรฐานแนะนำ (default value of emission factor) เพื่อให้ประเทศสมาชิกได้นำค่ามาตรฐานเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณโดยสามารถแสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รายการ	หน่วย	EF	ขอบเขต	แหล่งอ้างอิง
เหล็ก	kg	1.60	Cradle-to-Gate	IPCC 1996
กระเบื้องหลังคา	kg	0.49	Cradle-to-Gate	IPCC 1996
ปูนซีเมนต์	kg	0.49	Cradle-to-Gate	IPCC 1996
ทราย	kg	0.01	Cradle-to-Gate	IPCC 1996
ฝ้ายิปซั่ม	kg	0.34	Cradle-to-Gate	ICE Version 2
อิฐมอญ	kg	0.218	Cradle-to-Gate	ICE Version 2
อิฐมวลเบา	kg	0.22	Cradle-to-Gate	ICE Version 2
คอนกรีตบล็อก	kg	0.38	Cradle-to-Gate	ICE Version 2
กระเบื้องเซรามิค	kg	0.76	Cradle-to-Gate	ICE Version 2

หมายเหตุ Cradle to Gate พิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้วัสดุเท่านั้นโดยไม่พิจารณากระบวนการขนส่ง

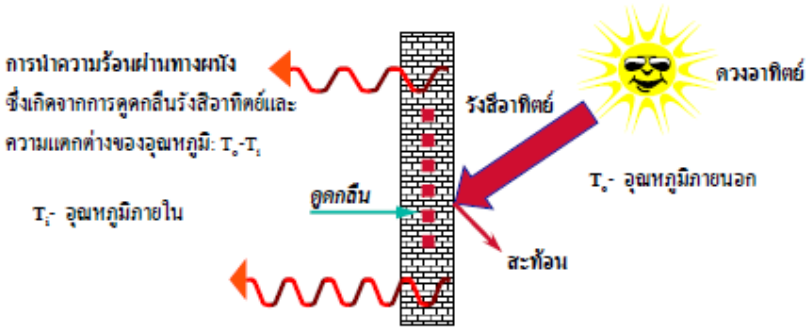
การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจะได้ผลลัพธ์ในหน่วยของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในการศึกษาเพื่อเทียบผลการศึกษาได้

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในอาคารนั้น เกือบทั้งหมดมาจากแหล่งกำเนิดความร้อน 2 ส่วนหลักคือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร และความร้อนจากภายนอกอาคาร ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร คือ ความร้อนซึ่งอาจจะเกิดจากคน หรือสัตว์ และการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในอาคาร โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดความร้อนจากภายนอกอาคาร นั้นเป็นปัจจัยที่ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติ และมนุษย์ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์จากการส่งผ่านความร้อนผ่านตัวกลางเข้ามาสู่อาคาร (วัชระ มั่งวิทิตกุล, 2546) ซึ่งการถ่ายทอดความร้อนสู่อาคารมีรายละเอียดดังนี้

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (internal heat gain: Q) เป็นความร้อนที่อาจเกิดได้ทั้งจากคนหรือมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในอาคาร เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า ตู้เย็น เป็นต้น

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (external heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ และอิทธิพลของความร้อนภายนอกอาคาร



ภาพที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ
(วัชระ มั่งวิทิตกุล, 2546)

เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนของวัสดุนั้นจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติทางทฤษฎี (กาญจน์กรอง สุอังคะ, 2557) คือ

ค่าความสามารถในการต้านทางความร้อน (resistivity) เป็นค่าการต้านทางความร้อน หรือที่เรียกว่าค่า R-Value เป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ ในกรณีที่วัสดุซ้อนกันหลายชั้น ค่าความต้านทางความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในแต่ละชั้นรวมกัน

ค่าการนำความร้อน (conductivity) หรือที่เรียกว่าค่า K-Value คือค่าที่บอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร การคิดค่าการนำความร้อนของกรอบอาคาร ย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาและชนิดของวัสดุกรอบอาคารนั้น ๆ จึงต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมหรือค่า U-Value เข้ามาใช้ในการคำนวณด้วย

ค่าความจุความร้อน (thermal capacity) ค่าความจุความร้อนของวัสดุได้มาจากการคูณกันของมวลสารกับความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity) ซึ่งเป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับอุณหภูมิ โดยเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้วัสดุที่มีมวล 1 หน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส

2.4 ระบบกรอบอาคาร

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น (hot humid climates) ดวงอาทิตย์มีวงโคจรค่อนไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ มีแสงแดดจัดตลอดทั้งปี อุณหภูมิและความชื้นอยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย (comfort zone) เกือบตลอดทั้งปี เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย การป้องกันหรือการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้ามาในอาคารให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ควบคู่ไปกับการปรับอากาศภายในพื้นที่การใช้งานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยในการประหยัดพลังงานในการ

ทำความเย็นให้กับอาคาร จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารพาณิชย์เพื่อการปรับอากาศมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 50-60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร ซึ่งคาดว่าความต้องการในการใช้พลังงานในอาคารจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งส่วนสำคัญที่ช่วยให้เกิดภาวะน่าสบายนี้ในอาคาร คือ ระบบกรอบอาคาร

ระบบกรอบอาคารสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนของหลังคา และส่วนของผนังอาคาร ซึ่งมีความสำคัญไม่ต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับประเภทและพื้นที่ของแต่ละอาคาร ในปัจจุบันระบบผนังอาคารสามารถจำแนกวัสดุที่ใช้เป็น 2 ประเภทคือ วัสดุที่มีมวลสารมาก (high mass material) หมายถึง ผนังที่มีมวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนังโดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน และวัสดุที่มีมวลสารน้อย (low mass material) เช่น ผนังมวลเบา โดยผนังทั้งสองชนิดที่กล่าวมาจัดได้ว่าเป็นผนังที่มีความนิยมในงานก่อสร้างของประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) วัสดุในระบบกรอบอาคารนั้นสามารถจำแนกได้ตามรายละเอียดดังนี้

2.4.1 วัสดุผนัง

การพิจารณาเลือกใช้วัสดุผนังภายนอกอาคารเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานนั้น จะต้องพิจารณาคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงาน คือค่าความต้านทานความร้อนสูง ไม่สะสมความร้อนหรือมีความจุความร้อนไม่สูง หรือเป็นวัสดุที่มีมวลสารต่ำ มีความทนทานต่อการขยายตัวหรือการหดตัวได้ดี เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวและมีการดูดซับความชื้นต่ำ

สำหรับวัสดุผนัง ที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา พรีคาสต์คอนกรีต และกระจก (กรมบัญชีกลาง, 2559) จากการศึกษารายงานการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารกว่า 273 แห่ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) สามารถจัดกลุ่มของวัสดุกรอบอาคารตามวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

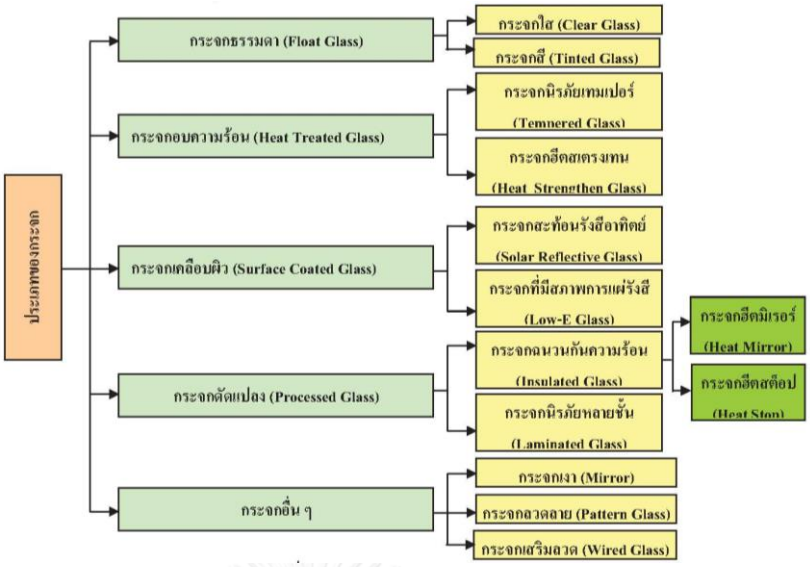
ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในอาคารควบคุม

ลักษณะของผนังทึบ	จำนวนอาคาร (ทั้งหมด 273 อาคาร)
ผนังชั้นเดียวก่อสร้างด้วยอิฐ	143
ผนังชั้นเดียวก่อสร้างด้วยคอนกรีต	66
ผนังชั้นเดียวก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	28
ผนังสองชั้นก่อสร้างด้วยอิฐ	9
ผนังสองชั้นก่อสร้างด้วยคอนกรีต	22
ผนังสองชั้นก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	17
ผนังกระจก	6

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 2.3 จะพบว่าวัสดุกรอบอาคารที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยผนังก่ออิฐมอญนั้นเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากมีขายทั่วไปตามท้องตลาด สามารถหาซื้อได้ในราคาไม่แพงและช่างมีความชำนาญในการใช้งาน ผนังก่ออิฐฉาบปูนมีมวลสารมาก จึงมีการดูดกลืนความร้อนสูงหากก่อสร้างให้มีความหนาที่พอเหมาะ ลำดับถัดมาที่ได้รับความนิยมในการใช้งานคือผนังพรีคาสต์คอนกรีต ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการสร้างบ้านยุคใหม่ ที่สามารถช่วยให้ก่อสร้าง อาคาร ให้รวดเร็วขึ้น โดยการเปลี่ยนผนังบ้านที่สร้างขึ้นมาจากการก่ออิฐทีละก้อน มาเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ที่นำมาประกอบกันแล้วก็สามารถใช้งานได้เลย วัสดุที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในการก่อกำแพงคือ คอนกรีตมวลเบาซึ่งเป็นวัสดุที่ผลิตสังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ทราย ปูนขาวปูนซีเมนต์ ยิปซัม และสารกระจายฟองอากาศ ไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2-3 เท่า เนื่องจากเนื้อวัสดุประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอประมาณร้อยละ 75 ของเนื้อวัสดุ น้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (ความหนา 10 เซนติเมตร) แต่มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ 0.6-0.8 ตารางเมตร เคลวินต่อวัตต์ และสามารถป้องกันเสียงได้ไม่ต่ำกว่า 38 เดซิเบล ยิ่งไปกว่านั้นคอนกรีตมวลเบายังสามารถทนไฟได้นานถึง 4 ชั่วโมงอีกด้วย

2.4.3 กระจก

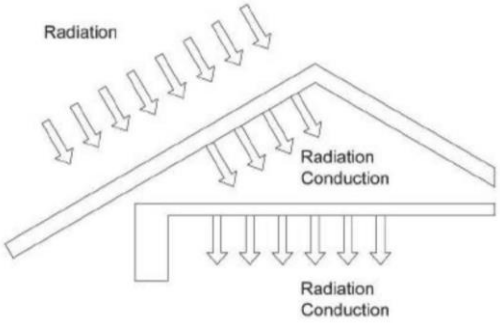
กระจกเป็นวัสดุกรอบอาคารที่ปัจจุบันได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย กระจกมีด้วยกันหลายประเภท และแต่ละประเภทยังมีความหนาและค่าสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกัน กระจกที่ใช้ประกอบอาคารโดยทั่วไปได้แก่ กระจกชั้นเดียวที่มีความหนาระหว่าง 3-6 มิลลิเมตร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูง 5-10 เท่า เมื่อเทียบกับผนังทึบ การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนจะสามารถลดภาระความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก โดยสามารถแสดงการจัดแบ่งประเภทของกระจกที่มีใช้ในอาคารได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ประเภทของกระจกอาคาร
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

2.4.2 วัสดุหลังคาและฉนวน

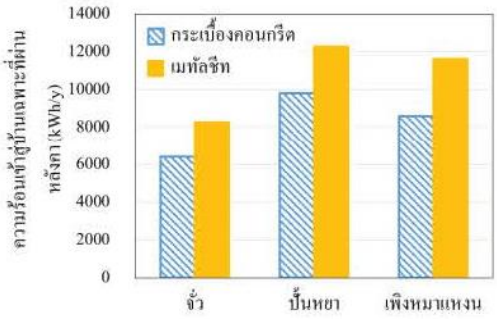
หลังคาเป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่สำคัญที่ช่วยป้องกันอาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอก เพราะหลังคาเป็นกรอบอาคารที่ต้องรองรับความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากดวงอาทิตย์ โดยหลังคาจะดูดซับรังสีความร้อนไว้และส่งผ่านไปยังช่องว่างระหว่างหลังคา (attic) และถ่ายเทความร้อนต่อไปยังฝ้าเพดาน (ceiling) และส่งต่อไปยังพื้นที่ภายในห้อง ทำให้ห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังภายในห้อง
(พงษ์พิชญ์ จงศุภางครัตน์, 2554)

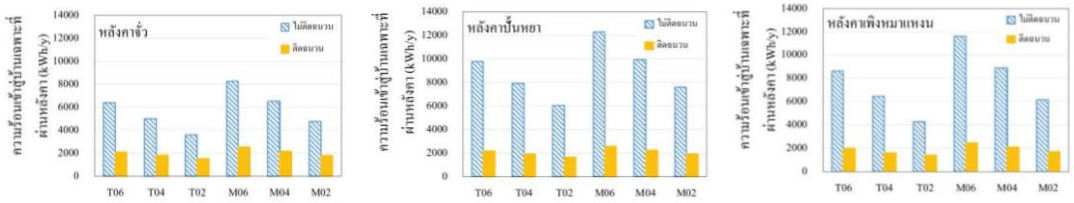
วัสดุหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนคือ วัสดุมุงหลังคา (roofing) วัสดุที่ใช้มุงหลังคาของอาคาร เป็นส่วนที่รองรับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ประเภทวัสดุมุงหลังคาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องเซรามิค กระเบื้องดินเผา แผ่นหลังคาแอสฟัลท์ และหลังคาแผ่นโลหะ หากแต่การศึกษาของ Hanan Sareh และ Kushana Kubaha

(Hanan Sareh & Kuskana Kubaha, 2016) ในเรื่องของหลังคาที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นพบว่า เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุมุงหลังคาคอนกรีต และวัสดุมุงหลังคาแผ่นโลหะแล้วนั้น วัสดุมุงหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีคุณสมบัติกันความร้อนได้ดีกว่าวัสดุมุงหลังคาแผ่นโลหะ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้านผ่านหลังคาที่ใช้วัสดุกระเบื้องคอนกรีตและเมทัลชีท

นอกจากนั้นผลการศึกษายังพบอีกว่าเมื่อเปรียบเทียบการนำความร้อนเข้าสู่อาคารในกรณีที่มีฉนวนและไม่ติดตั้งฉนวนนั้น กรณีที่ติดตั้งฉนวนนั้นพบว่ามีนัยสำคัญในการลดความร้อนเข้าสู่บ้านได้เป็นอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ปริมาณความร้อนเข้าบ้านผ่านหลังคากรณีติดฉนวนและไม่ติดฉนวนบนฝ้าเพดาน

การป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านมาทางหลังคาที่มีประสิทธิภาพมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้ฉนวนกันความร้อน และการใช้ฟอยล์อลูมิเนียมสะท้อนแสง ซึ่งงานวิจัยของ จญาดา บุญเกียรติ (จญาดา บุณยเกียรติ, 2537) ได้ทำการศึกษาวัสดุดังกล่าวไว้ โดยการจำลองอาคารย่อส่วน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุกันความร้อน โดยพบว่าฉนวนกันความร้อนนั้นเป็นวัสดุที่สามารถกันความร้อนได้ดีที่สุด ต่อมาวิกรม จำนงจิตต์ (วิกรม จำนงค์จิตต์, 2545) ได้ทำการทดลองประสิทธิภาพของฉนวนในความหนาที่แตกต่างกัน และพบผลการทดลองที่น่าสนใจว่า ฉนวนกันความร้อนนั้นทำให้เกิดการหน่วงความร้อน จนอุณหภูมิในหลังคาบ้านทดลองสูงขึ้น ซึ่งฉนวนกันความร้อนนั้นมีมวลสารเป็นตัวสะสมความร้อน ซึ่งจะมีผลต่อภาระในการทำความเย็นช่วงกลางคืน หากเลือกฉนวนที่มีมวลสารน้อยกว่า เช่น แทนที่ฉนวน 4 นิ้วด้วยฉนวน 2 นิ้ว จะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า

ฉนวนกันความร้อน (insulation) หมายถึง วัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยความเป็นฉนวนของวัสดุที่มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนที่สูงของตัววัสดุเอง วัสดุส่วนใหญ่

จะมีลักษณะเป็นเส้นใย มีโพรง หรือช่องกลางเช่น ฉนวนใยแก้ว (fiber glass) ซึ่งเป็นฉนวนผลิตจากการหลอมแก้วแล้วปั่นออกมาเป็นเส้นใยโดยทั่วไปจะใช้ที่ความหนาแน่น 16 kg/m^3 อาจผลิตในรูปแผ่นแข็ง แบบม้วน หรือขึ้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ กัน ตัวเส้นใยจะถูกเคลือบไว้ด้วยตัวประสาน (binder) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเส้นใยโดยมากจะเป็นฟีนอลฟอร์มัลดีไฮน์ ซึงจะติดไฟได้ ฉนวนใยแก้วมีข้อดี คือ มีค่าความต้านทานความร้อนสูง หาซื้อได้ง่ายติดตั้งง่ายแต่ความต้านทานร้อนของใยแก้วจะลดลงเมื่อได้รับความชื้นจึงต้องมีวัสดุห่อหุ้ม เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ หรือ ฟิล์มพลาสติก ซึ่งต้องพิจารณาเรื่องการติดไฟของวัสดุที่นำมาห่อหุ้มด้วย การติดตั้งฉนวนใยแก้ว ส่วนมากจะวางบนฝ้าเพดาน (ภัทริน จินดาวัฒนานนท์, 2554) และฉนวนใยเซลลูโลส หรือฉนวนเยื่อกระดาษ (cellulose fiber) เป็นฉนวนประเภทเซลลูโลส เป็นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อไม้กระดาษ ดังนั้นจึงต้องใส่สารป้องกันการลามไฟ ส่วนใหญ่มักเป็นชนิดพ่นใต้ช่องว่างหรือฝ้าเพดาน มีคุณสมบัติในการกันความร้อนดีพอ ๆ กับฉนวนใยแก้ว มีความหนา 2 นิ้ว และมีวัสดุหุ้มปิดป้องกันเศษกระดาษร่วงหล่นจากอายุการใช้งาน

วิธีการลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านหลังคาที่นิยมกันโดยทั่วไปคือ การติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน ซึ่งสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาลงมายังพื้นที่ภายในอาคารได้

เมื่อพิจารณาโดยสรุปแล้วนั้นจะพบว่าวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกันไปเมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนของวัสดุนั้นสามารถพิจารณารายละเอียดดังแสดงได้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุในระบบกรอบอาคาร

วัสดุ	ความหนา (m)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
อิฐมอญ	0.1	0.473	1,650	800
คอนกรีตมวลเบา	0.1	0.089	640	600
คอนกรีตบล็อก	0.1	0.519	765	550
ปูนฉาบ	0.01	0.72	1,858	837
คอนกรีต	0.2	1.31	2,242	837
แผ่นยิปซั่ม	0.012	0.16	801	1,090
วัสดุ	ความหนา (mm)	U-Factor (W/m^2-K)	Shading Coefficient	Light Transmission
กระจกใส	6	5.762	0.96	0.88
กระจกตัดแสงสีเทา (Tinted Glass)	6	5.93	0.32	0.74

วัสดุ	ความหนา (m)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
กระจก Low E (CG.+Low E – Dry Air –Clear G.)	6+12+6	2.17	0.67	0.82
วัสดุ	ความหนา (mm)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Resistivity (ตร.ม. K/W)
ฉนวนใยแก้ว	50	0.035	16	1.40
ฉนวนเยื่อกระดาษ	50	0.045	45	1.87
วัสดุ	ความหนา (m)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	9	0.993	2,400	0.79
Asphalt shingle	10	1.226	1,100	1.51

2.5 รูปแบบโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ

บ้านประชารัฐคือโครงการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์สร้างที่อยู่อาศัยให้กับผู้มีรายได้น้อย โดยดำเนินงานตามแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (2559–2568) ซึ่งตามแผนยุทธศาสตร์จะมีการก่อสร้างที่พักอาศัยจำนวนทั้งสิ้น 2,751,947 หน่วย ดำเนินการโดยการเคหะแห่งชาติ และกระทรวงพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ ซึ่งรูปแบบของอาคารพักอาศัยนั้น จะเป็นการนำรูปแบบบ้านเอื้ออาทรทรงเดิมมาปรับปรุงใหม่ โดยสามารถแบ่งประเภทการพักอาศัย คือ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น บ้านแฝด 2 ชั้น ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น และคอนโด 4 ชั้น โดยมีรายละเอียดส่วนประกอบอาคารดังนี้

2.5.1 กรณีศึกษา บ้านเดี่ยว 2 ชั้น

บ้านเดี่ยว 2 ชั้นในโครงการบ้านประชารัฐนั้น แบ่งเป็น ห้องเอนกประสงค์ชั้นล่าง จำนวน 1 ห้อง มีพื้นที่ขนาด 25 ตร.ม. และห้องน้ำ 1 ห้อง มีลานซักล้างบริเวณหลังบ้าน ส่วนชั้น 2 ของบ้านนั้นแบ่งเป็นห้องนอนจำนวน 2 ห้อง มีพื้นที่รวมกันขนาด 25 ตร.ม.[1] และสามารถแสดงรายละเอียดส่วนประกอบอาคารได้ดังตารางที่ 2.5

[1] ดูรายละเอียดผังอาคารได้ในภาคผนวก ข. รูปแบบบ้านเดี่ยว 2 ชั้น

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบอาคาร บ้านเดี่ยว 2 ชั้น

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
พื้นที่ใช้สอย 50 ตร.ม. ต่อหลัง		
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	ชั้น 1	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องเซรามิคขนาด 12x12 นิ้ว พร้อมบัวเชิงผนังพีวีซีชนิดตัน
	ชั้น 2	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องเซรามิคขนาด 12x12 นิ้ว พร้อมบัวเชิงผนังพีวีซีชนิดตัน
ผนัง	ผนังภายนอก	ผนังก่ออิฐมอญ ผิวฉาบปูนเรียบทาสี
	ผนังภายใน	ผนังยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. ชนิดขอบลาดฉาบเรียบรอยต่อทาสี
หลังคา	-	กระเบื้องคอนกรีตลอนคู่ สี 0.50x1.20 ม. หนา 5 มม.
หน้าต่าง	-	กระจกบานเกล็ดใสหนา 6 มม.
ฉนวน	-	-

2.5.2 กรณีศึกษา บ้านแฝด 2 ชั้น

บ้านแฝด 2 ชั้นในโครงการบ้านประชารัฐนั้น แบ่งเป็น ห้องเอนกประสงค์ชั้นล่าง จำนวน 1 ห้อง มีพื้นที่ขนาด 40 ตร.ม. และห้องน้ำ 1 ห้อง มีลานซักล้างบริเวณหลังบ้าน รวมถึงมีพื้นที่จอดรถบริเวณหน้าบ้าน ส่วนชั้น 2 ของบ้านนั้น แบ่งเป็นห้องนอนจำนวน 3 ห้อง มีพื้นที่รวมกันขนาด 52 ตร.ม.[2] และสามารถแสดงรายละเอียดส่วนประกอบอาคารได้ดังตารางที่ 2.6

[2] ดูรายละเอียดผังอาคารได้ในภาคผนวก ข. รูปแบบบ้านแฝด 2 ชั้น

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบอาคาร บ้านแฝด 2 ชั้น

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
พื้นที่ใช้สอย 184 ตร.ม. (92 ตร.ม. ต่อหลัง)		
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	ชั้น 1	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องเซรามิคขนาด 16x16 นิ้ว พร้อมบัวเชิงผนัง
	ชั้น 2	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูพื้นไม้ลามิเนตหนา 8 มม. พร้อมบัวเชิงผนัง
ผนัง	ผนังภายนอก	ผนังก่ออิฐมอญ ขนาด 0.19x0.39x0.07 เมตร ผิวฉาบปูนเรียบทาสี
	ผนังภายใน	ผนังก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี
หลังคา	-	กระเบื้องคอนกรีตลอนคู่ ขนาด 33x42 ซม.
หน้าต่าง	-	กระจกใสหนา 6 มม.
ฉนวน	-	-

2.5.3 กรณีศึกษา ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น

ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้นในโครงการบ้านประชารัฐนั้น แบ่งเป็น ห้องเอนกประสงค์ชั้นล่าง จำนวน 1 ห้อง มีพื้นที่ขนาด 50 ตร.ม. และห้องน้ำ 1 ห้อง มีลานซักล้างบริเวณหลังบ้าน รวมถึงมีพื้นที่จอดรถบริเวณหน้าบ้าน ส่วนชั้น 2 ของบ้านนั้น แบ่งเป็นห้องนอนจำนวน 3 ห้อง มีพื้นที่รวมกันขนาด 50 ตร.ม.[3] และสามารถแสดงรายละเอียดส่วนประกอบอาคารได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบอาคารทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
พื้นที่ใช้สอย 500 ตร.ม. (100 ตร.ม. ต่อหลัง)		
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก

[3] ดูรายละเอียดผังอาคารได้ในภาคผนวก ข. รูปแบบทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
พื้น	ชั้น 1	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องแกรนิตโต้ ขนาด 60x60 ซม. พร้อมบัวเชิงผนัง PVC ขนาด 10 ซม.
	ชั้น 2	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูพื้นไม้ลามิเนตหนา 8 มม. พร้อมบัวเชิงผนัง
ผนัง	ผนังภายนอก	ผนังก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี
	ผนังภายใน	ผนังก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี
หลังคา	-	กระเบื้องคอนกรีตแผ่นเรียบ
หน้าต่าง	-	กระจกใสหนา 6 มม.

2.5.4 กรณีศึกษา คอนโด 4 ชั้น

คอนโดมิเนียม 4 ชั้นในโครงการบ้านประชารัฐนั้น มีพื้นที่ใช้สอยโดยรวมของอาคารอยู่ที่ 1,324 ตร.ม. โดยมีพื้นที่ใช้สอยต่อห้องอยู่ที่ 27 ตร.ม. หรือมีจำนวนห้องพักทั้งสิ้น 49 ห้อง โดยมีลักษณะเป็นห้องเอนกประสงค์ และมีห้องน้ำจำนวน 1 ห้อง รวมถึงมีพื้นที่ระเบียง ที่สามารถใช้เป็นพื้นที่ซักล้าง[4] สามารถแสดงรายละเอียดส่วนประกอบอาคารได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบระบบกรอบอาคารคอนโดมิเนียม 4 ชั้น

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
พื้นที่ใช้สอยต่อห้อง 27 ตร.ม. พื้นที่ใช้สอยรวม 1,324 ตร.ม.		
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	ชั้น 1	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องเซรามิค ขนาด 12x12 นิ้ว พร้อมบัวเชิงผนัง PVC สูง 10 ซม.
	ชั้น 2 - 4	พื้น คสล.สำเร็จรูปหนา 0.10 เมตร วางบนคาน (Slab on beam) ปูกระเบื้องเซรามิค ขนาด 12x12 นิ้ว พร้อมบัวเชิงผนัง PVC สูง 10 ซม.
ผนัง	ผนังภายนอก	ผนังก่ออิฐมอญ ผิวฉาบปูนเรียบทาสี
	ผนังภายใน	ผนังก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี

[4] ดูรายละเอียดผังอาคารได้ในภาคผนวก ข. รูปแบบคอนโดมิเนียม 4 ชั้น

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
หลังคา	-	กระเบื้องคอนกรีตแผ่นเรียบ
หน้าต่าง	-	กระจกใสหนา 6 มม.

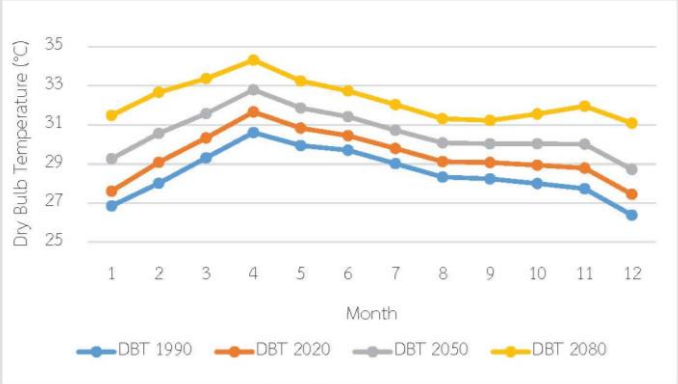
2.6 การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การศึกษาเรื่องลักษณะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาล ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของสหประชาชาติได้จัดทำรายงานฉบับที่ 5 (IPCC's Fifth Assessment Report: AR5) ขึ้นในปี ค.ศ. 2013 เพื่อรายงานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก โดยศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกพบว่าในช่วงปี ค.ศ. 1888-2012 โลกมีแนวโน้มอุณหภูมิสูง ขึ้นโดยเฉลี่ย 0.85 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูงขึ้น ภาวะน่าสบายภายในอาคารที่เกิดจากการปรับอากาศนั้นก็จะมีการใช้พลังงานที่สูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการจำลองประสิทธิภาพอาคารในขั้นตอนการออกแบบ นอกจากจะเป็นสิ่งที่ช่วยประเมินทางเลือกในการออกแบบแล้ว ยังช่วยให้สามารถจำลองการใช้พลังงานของอาคารได้ใกล้เคียงความเป็นจริงอีกด้วย โดยทั่วไปในการจำลองประสิทธิภาพอาคารนั้น แสงธรรมชาติ ลม หรือสภาวะน่าสบายในอาคาร คือสิ่งจำเป็นและสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาปรับใช้ในการจำลอง หากแต่สภาพอากาศที่ใช้ในการจำลองในปัจจุบันนั้นยังไม่มีการเพิ่มเติมข้อมูลในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงของอากาศในปัจจุบัน ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าข้อมูลอากาศที่ใช้กันอยู่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจำลองประสิทธิภาพอาคารได้

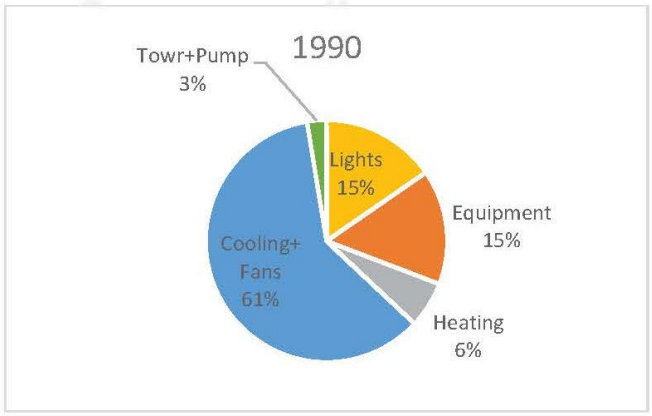
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร ณัฏฐา ตระกูลไทย (ณัฏฐา ตระกูลไทย, 2558) จึงทำการศึกษาและทดลองสร้างไฟล์ข้อมูลอากาศของกรุงเทพมหานคร ที่เป็นไปตามการคาดคะเนผลกระทบจากภาวการณ์เปลี่ยนแปลงของอากาศในอนาคตใน 3 ปี คือ ปี 2020 2050 และ 2080 ตามวิธีการของ SE Belcher, JN Hacker และ DS Powell (2005) ด้วยการใช้ข้อมูลอากาศเดิม นำมารวมเข้ากับข้อมูลการคาดการณ์เปลี่ยนแปลงของอากาศ และนำข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นมาจำลองการใช้พลังงานอาคารสำนักงานด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 และเปรียบเทียบกับการจำลองพลังงาน โดยใช้ข้อมูลอากาศปัจจุบันที่เป็นข้อมูลอากาศ IWEC ที่จัดทำโดย ASHRAE ซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงปี ค.ศ. 1990 ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิของกรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยทั้งปี ในปี ค.ศ.1990 อยู่ที่ 28.51 องศาเซลเซียส และ เพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี ค.ศ. 2020 อยู่ที่ 29.43 องศาเซลเซียส ในปี ค.ศ. 2050 อยู่ที่

30.59 องศาเซลเซียส และปี ค.ศ. 2080 อยู่ที่ 32.24 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นถึง 4 องศาเซลเซียสในปลายศตวรรษที่ 21 ดังสามารถแสดงรายละเอียดได้ในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลอากาศปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1990) และข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ (ปี ค.ศ. 2020, 2050, 2080)

จากนั้นเมื่อนำค่าอุณหภูมิที่ได้ไปใช้ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 พบว่าพลังงานในการทำความเย็น หรือ cooling นั้นเป็นสัดส่วนที่มากกว่าการใช้พลังงานด้านอื่น ๆ และเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานทั้งหมด อีกทั้งยังมีการเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้ข้อมูลอากาศในอนาคตดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 สัดส่วนการใช้พลังงานอาคารสำนักงาน เมื่อใช้ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1990

การจำลองการใช้พลังงานของอาคารที่ผ่านมาจึงอาจจะมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงที่เปลี่ยนไปตามสภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการนำไฟล์ค่าอากาศที่ได้รับการพัฒนาให้สอดคล้องกับสภาพอากาศในปัจจุบันไปใช้ในการจำลองก็จะเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ทำให้งานวิจัยต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นนั้นมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2.6.2 การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคารและการใช้พลังงานงานภายในอาคาร

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เราจึงจำเปนต้องให้ความสำคัญกับกรอบอาคารเนื่องจากกรอบอาคารนั้นเป็นปราการด่านแรกที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนจากภายนอกอาคารเข้ามาภายในอาคาร เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศและนำไปสู การลดการใช้พลังงาน โดยปกติภาระการปรับอากาศที่เกิดจากความร้อนถายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคารจะมีสัดสวนสูงกวาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) จึงได้เกิดกระแสของสถาปัตยกรรมยั่งยืน (sustainable architecture) ขึ้นมาพร้อมกับคำว่า “embodied energy” ที่มีการคำนึงถึงการใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานน้อยทั้งในแง่การผลิต (Production) การก่อสร้าง (construction) และการย่อยสลาย (disposition) (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2556) ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร

นลินี อเนกแสน (นลินี อเนกแสน, 2554) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงาน เริ่มตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้าง (Cradle to Gate) และกระบวนการก่อสร้าง (Gate to Gate) คำนวณโดยใช้โปรแกรม Energy plus ในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมีรูปแบบบ้านกรณีศึกษาที่มีพื้นที่ใช้สอยและวัสดุในการก่อสร้างที่แตกต่างกันได้แก่ บ้านก่ออิฐมอญ บ้านคอนกรีตมวลเบา บ้านชิ้นส่วนสำเร็จรูป และบ้านไม้ครึ่งปูนโดยแบ่งตามขนาดพื้นที่ใช้สอยได้เป็น 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก (120-180 ตร.ม.) ขนาดกลาง (181-350 ตร.ม.) และขนาดใหญ่ (351-500 ตร.ม.) ผลการศึกษาพบว่าบ้านสำเร็จรูป มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด รองลงมาคือบ้านก่ออิฐมอญ บ้านคอนกรีตมวลเบา และบ้านไม้ครึ่งปูนตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.8

Chulalongkorn University

วัสดุ (kg CO_2- eg/ m^2)	
เหล็ก	40.38
กระเบื้องหลังคา	15.75
ปูนซีเมนต์	78.95
ทราย	5.34
หิน	4.34
ฝ้ายิปซั่ม	2.37
น้ำประปา	0.02
อิฐมอญ	47.02
กระเบื้องเซรามิก	15.57
กระจกเขียว	4.84
กระบวนการ (kg CO_2- eg/ m^2)	
ไฟฟ้า	1.60
น้ำมันดีเซล	1.68

วัสดุ (kg CO_2- eg/ m^2)	
เหล็ก	52.28
กระเบื้องหลังคา	12.68
ปูนซีเมนต์	76.02
ทราย	4.91
หิน	4.45
ฝ้ายิปซั่ม	2.32
น้ำประปา	0.02
คอนกรีตมวลเบา	17.97
กระเบื้องเซรามิก	15.16
กระจกเขียว	5.77
กระบวนการ (kg CO_2- eg/ m^2)	
ไฟฟ้า	2.42
น้ำมันดีเซล	1.28

วัสดุ (kg CO_2- eg/ m^2)	
เหล็ก	84.38
กระเบื้องหลังคา	8.88
ปูนซีเมนต์	102.95
ทราย	7.76
หิน	8.79
ฝ้ายิปซั่ม	1.8
น้ำประปา	0.02
กระเบื้องเซรามิก	14.19
กระจกเขียว	4.23
กระบวนการ (kg CO_2- eg/ m^2)	
ไฟฟ้า	0.75
น้ำมันดีเซล	3.53

ภาพที่ 2.8 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจก แบ่งประเภทตามวัสดุประกอบอาคาร

ผลการศึกษายังพบอีกว่าอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าอาคารที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก เนื่องด้วยสัดส่วนของพื้นที่ต่อสัดส่วนของผนังอาคารซึ่งอาคารขนาดเล็กจะมีสัดส่วนพื้นที่อาคารต่อผนังอาคารที่มากกว่าอาคารขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาร้อยละของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างพบว่า ร้อยละ 98 มาจากส่วนของวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 2 มาจากกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งการวิจัยนี้ได้ผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลทิพย์ อรัญสิริ

กมลทิพย์ อรัญสิริ (กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553) ได้ทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการสร้างบ้านด้วยวิธีการก่ออิฐ วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (precast construction) และวิธีการก่อสร้างด้วยการประกอบชิ้นส่วน (knockdown) โดยทำการศึกษาบ้านที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยแตกต่างกันคือ ขนาด 155 ตร.ม. ขนาด 150 ตร.ม. และขนาด 30 ตร.ม. โดยทำการกำหนดขอบเขตของการศึกษาคือ Cradle to Gate ซึ่งเป็นการพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง และ Gate to Gate ซึ่งพิจารณาเฉพาะกระบวนการก่อสร้างรวมทั้งวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ (eco-efficiency) ของวิธีการก่อสร้างทั้ง 3 วิธี คำนวณโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ผลการศึกษาพบว่าบ้านที่ใช้วิธีก่อสร้างด้วยการก่ออิฐนั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด โดยแบ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากส่วนวัสดุก่อสร้าง ร้อยละ 97 และก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการก่อสร้างอีกร้อยละ 3 โดยวัสดุที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ คอนกรีต และอิฐมอญ และเมื่อศึกษาผลของวัสดุผนังที่มีต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่จำลองด้วยโปรแกรม VisaualDOE 4.0 พบว่าอาคารที่มีวัสดุผนังคือ อิฐมอญ คอนกรีต มีค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นสูงที่สุด

เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ รณิดา ปานทอง (รณิดา ปานทอง, 2557) ที่ศึกษาในเรื่องของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานของอาคารชุดพักอาศัยในประเทศไทยที่มีรูปแบบ พื้นที่ใช้สอย รวมถึงวัสดุหลักในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ผลการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกเมื่อปล่อยจากส่วนวัสดุและกระบวนการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยพบว่า เมื่อพิจารณาร้อยละการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างแล้ว แหล่งการปล่อยหลักมากกว่าร้อยละ 95 มาจากส่วนของวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 5 มาจากส่วนกระบวนการก่อสร้าง เมื่อศึกษาผลของวัสดุผนังต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงอยู่อาศัยของอาคารชุดพักอาศัยที่มีผนังต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 68.68 kWh/m^2/year, 66.14 kWh/m^2/year และ 75.86 kWh/m^2/year ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากที่สุดมาจากระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบแสง

การก่อสร้างอาคารทั่วไปมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึงร้อยละ 30 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งโลก อรรจน์ เศรษฐบุตร (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2554) ศึกษาเรื่องการจัดทำค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย ด้วยวิธีการประเมินตลอดช่วงการก่อสร้างและการใช้งาน โดยทำการเก็บข้อมูลการก่อสร้างอาคาร เพื่อสร้างอาคารกรณีศึกษาได้แก่ บ้านเดี่ยว คอนโดมีเนียม และสำนักงาน หลังจากนั้นได้ทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาโดยใช้โปรแกรม VisualDOE 2.1E เพื่อศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงการใช้สอยอาคาร (operation CO_2) โดยในช่วงการผลิตวัสดุและก่อสร้างอาคารนั้น ได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุจากฐานข้อมูลในประเทศเช่น ข้อมูลจากองค์การจัดการก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งหาข้อมูลจากต่างประเทศเพื่อนำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยทำการถอดแบบอาคารเพื่อคำนวณหาปริมาณวัสดุก่อสร้างที่ใช้ต่ออาคารหนึ่งหลัง เมื่อทำการรวมค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างอาคาร รวมกับการใช้สอยอาคารตลอด 30 ปี จึงได้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร และสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังตารางที่ 2.9 จากการนำค่าสัมประสิทธิ์มาคำนวณได้ผลการทดลองว่าอาคารที่มีการออกแบบเลือกใช้วัสดุที่มีคาร์บอนต่ำตั้งแต่แรก จะมีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยกว่าอาคารก่อสร้างทั่วไป และผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่าระบบประกอบอาคาร ที่เป็นวัสดุก่อผนังนั้นมีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด อย่างไรก็ตามระบบผนังอาคารนั้น ถูกพัฒนาขึ้นหลายชนิดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและถูกจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้งานและความเหมาะสมของโครงการ ซึ่งระบบกรอบอาคาร ในส่วนของวัสดุก่อผนังที่นิยมใช้แพร่หลาย และเป็นตัวเลือกหลักในการก่อสร้างทั่วไปคือ ผนังอิฐมอญ ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังคอนกรีตบล็อก และผนังพรีคาสต์คอนกรีต

Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.9 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย

งานวิจัย		อรรจน์ เศรษฐบุตร (2554) ค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย		
รายการ	หน่วย	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	คอนโด 7 ชั้น	สำนักงาน 7 ชั้น
พื้นที่อาคาร	ตารางเมตร	264	9,205	11,375
จำนวนคนในอาคาร	คน	4	292	9,205

งานวิจัย		อรรจน์ เศรษฐบุตร (2554) ค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย		
รายการ	หน่วย	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	คอนโด 7 ชั้น	สำนักงาน 7 ชั้น
Embodie CO_2 ในวัสดุอาคาร	$TonCO_2$	278	3,825	3,764
อายุการใช้งานอาคาร	Year	30	30	30
Total life operation CO_2	$TonCO_2$	367	22,144	33,649
Total Life CO_2 (Embodied + Operation)	$TonCO_2$	645	25,970	37,412
% of Embodied CO_2 จาก Total Life CO_2	%	43%	15%	10%
Total Life CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร	$TonCO_2$/ตร.ม.	2.4	2.8	3.3
Total Life CO_2 ต่อคนใช้อาคาร	$TonCO_2$/คน	161	89	82

2.6.3 การศึกษารูปแบบการอยู่อาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ

โครงการบ้านประชารัฐนั้น เป็นโครงการที่ถูกพัฒนารูปแบบของการวางผังอาคารมาจากโครงการบ้านเอื้ออาทร อีกทั้งยังเป็นโครงการที่จัดทำขึ้นเพื่อผู้มีรายได้น้อย เพื่อตอบสนองนโยบายการพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (สำนักนายกรัฐมนตรี, 2559) เพื่อให้ผู้มีรายได้น้อยสามารถมีที่อยู่อาศัยเป็นของตนเอง และเนื่องจากโครงการบ้านประชารัฐนั้น ยังเป็นโครงการที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อให้เข้าใจในรูปแบบการพักอาศัยของผู้มีรายได้น้อย ผู้วิจัยจึงทำการศึกษารูปแบบการอยู่อาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทร เนื่องจากเป็นรูปแบบการอยู่อาศัยที่ใกล้เคียงกับบ้านประชารัฐมากที่สุด รวมถึงผู้ใช้งานก็อยู่ในกลุ่มเป้าหมายเดียวกัน ทั้งนี้จากรายงานการศึกษารูปแบบการอยู่อาศัยนั้นที่ผ่านมานั้น พบว่าพื้นที่ชั้นล่างของบ้านเดี่ยวในโครงการยังไม่สามารถตอบสนองต่อกิจกรรมของผู้อยู่อาศัยได้

การศึกษาของปัญชลีย์ แสงคง (ปัญชลีย์ แสงคง, 2552) จึงทำการศึกษาเรื่องการใช้พื้นที่ในบ้านเดี่ยวของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 3 ด้วยวิธีการสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยและลงพื้นที่เพื่อทำ

การสำรวจเก็บข้อมูลสภาพโครงการ ในการสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยถึงรูปแบบการพักอาศัยนั้น ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลและนำมาสรุปผล

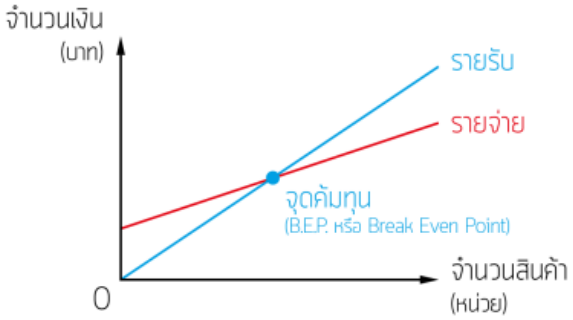
ผลการศึกษาพบว่า ผู้อยู่อาศัยในโครงการส่วนใหญ่เป็นครอบครัวขนาดเล็ก มีสมาชิกไม่เกิน 5 คน สำหรับพื้นที่ขนาด 50 ตร.ม. มีระยะเวลาอยู่อาศัย 3–5 ปีขึ้นไป โดยมีช่วงอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 31–80 ปี ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพพนักงานเอกชนและรับจ้าง ผู้อยู่อาศัยส่วนใหญ่ยังไม่ต้องการต่อเติมพื้นที่อาศัย เนื่องจากยังไม่มีความพร้อมทางการเงิน และใช้เวลาพักผ่อนส่วนใหญ่ในพื้นที่โถงเอนกประสงค์และห้องเอนกประสงค์มากที่สุดในเวลากลางวัน ส่วนเมื่อเวลาตกค่ำ จะกลับเข้าไปใช้พื้นที่ห้องนอนของตนเองเป็นส่วนใหญ่ ผลสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในครัวเรือนพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วเครื่องใช้ไฟฟ้ามาตรฐานที่ทุกครัวเรือนจะต้องมีคือ โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และพัดลม

การศึกษาของ ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ (ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ & ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2554) เรื่องแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยว 2 ชั้น โครงการบ้านเอื้ออาทร จังหวัดขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน เพื่อประเมินอาคารในโครงการ โดยทำการศึกษาบ้านเดี่ยว 2 ชั้น จำนวน 8 หลัง และได้ทำการวัดอุณหภูมิภายในบ้านทั้งสองชั้น เพื่อหาอุณหภูมิเฉลี่ยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอก จากนั้นจึง ประเมินบ้านทั้ง 8 หลัง ด้วยแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากการวัดอุณหภูมิเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิอากาศ ภายในอาคารมีค่าสูง ในช่วงเวลากลางวัน และมีการปรับปรุงอาคารโดยการต่อเติมโครงสร้างอาคารเพื่อแก้ปัญหาความร้อน เช่น การต่อหลังคาเพื่อป้องกันแดด ผลการศึกษาพบว่าบ้านในโครงการมีการเลือกใช้วัสดุที่ประหยัด และไม่มีการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคาร และสามารถสรุปแนวทางหลักในการปรับปรุงที่สำคัญคือ การปรับปรุงกรอบอาคาร โดยนำเสนอให้ติดตั้งฉนวนที่ฝ้าเพดาน ได้แก่ ฉนวนใยแก้วขนาด 2 นิ้ว ฉนวนใยแก้วขนาด 4 นิ้ว หรือฉนวนเยื่อกระดาษขนาด 2 นิ้วแทนการติดตั้งฉนวนบนผนัง เนื่องจากจะไปรบกวนกับพื้นที่ใช้สอยเดิม รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดให้อาคารเพิ่มเติมด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารพักอาศัย

2.6.4 การศึกษาการคำนวณระยะเวลาคืนทุน และประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจพร้อมทั้งประโยชน์ และการนำมาใช้

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (break - even analysis) หมายถึง การหาปริมาณขายที่ทำให้รายได้รวมเท่ากับต้นทุนรวมหรือการหาปริมาณขายที่ทำให้กำไรสุทธิเท่ากับศูนย์เรียกว่า จุดคุ้มทุน (break - even point) ดังแสดงได้ในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 จุดคุ้มทุน หรือ B.E.P

ในการศึกษาวิจัยของ สุรพล เดชพล (สุรพล เดชพล, 2552) ได้กล่าวถึงวิธีการแปรผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาวิจัยแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนัก งานราชการ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 2.11

ทางเลือก	หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาทต่อปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาทต่อปี)	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย(ปี)	สัดส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน(ร้อยละ)
Base case	267,471	802,413				
TP1	237,232	711,696	90,717	1,076,364	11.87	8.43
TP2	235,353	706,059	96,354	1,473,660	15.29	6.54
TP3	249,665	748,995	53,418	1,541,436	28.86	3.47
TP4	236,353	709,059	93,354	1,119,623	11.99	8.34
TP5	234,396	703,188	99,225	1,516,919	15.29	6.54
TP6	248,818	746,454	55,959	1,584,695	28.32	3.53

ภาพที่ 2.11 การวิเคราะห์ค่าความคุ้มทุนในการลงทุน

การศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการแปรผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการใช้วิธีการคำนวณ คือ ระยะเวลา (ปี) คืนทุนอย่างง่าย เท่ากับ มูลค่าเงินที่ลงทุน / ค่าไฟฟ้าที่ลดลง โดยมีตัวแปรประกอบ คือ สัดส่วนผลตอบแทน เท่ากับ ค่าไฟฟ้าที่ลดลง ต่อ เงินลงทุน และอัตราส่วนค่าพลังงานที่ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง จากนั้นจึงสรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ นำไปสู่การจัดลำดับทางเลือกแต่ละทางเลือกเพื่อประกอบข้อมูลการเลือกใช้

เช่นเดียวกับการศึกษาของ ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์ (ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์, 2556) ซึ่งได้ทำการศึกษาและให้ความหมายของ จุดคุ้มทุน (breakeven point) และระยะเวลาคืนทุน (payback period) ที่สามารถสรุปได้คือ ระดับของยอดขายของกิจการที่เท่ากับค่าใช้จ่ายทั้งหมดของกิจการ การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนเป็นการวางแผนการทำกำไรจากการดำเนินงานของธุรกิจโดยมองที่ราคาขาย ส่วนระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่ได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดเข้าเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายลงทุน โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นการวิเคราะห์โครงการลงทุนที่มีระยะค่อนข้างนาน และควรพิจารณาความเสี่ยงจากการลงทุน เพื่อใช้ในการเลือกโครงการลงทุน โดยดูจากระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุด เพราะจะทำให้ผู้ประกอบการมีความเสี่ยงจากการลงทุนน้อยลงด้วย

การคำนวณระยะเวลาคุ้มทุนนั้นสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2) คือ

$$\mathrm{n} = \frac{TS}{Yi} \qquad (2)$$

เมื่อ n = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

TS = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)

Yi = ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาทต่อปี) (net annual cash flow) ซึ่งคิดได้จากกระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี – กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี

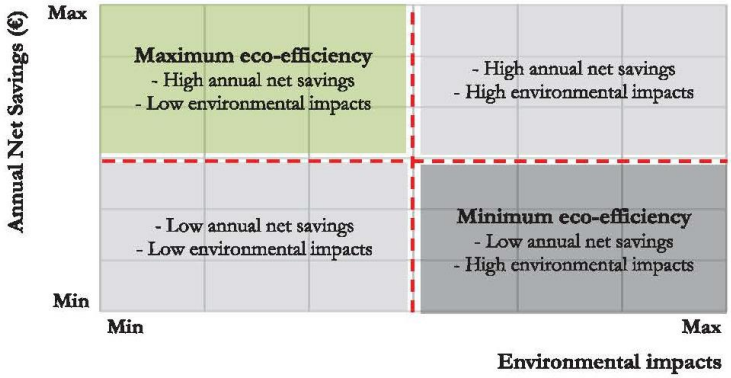
นอกจากการศึกษาในเรื่องความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์แล้วปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุ หรือการลงทุนในการปรับเปลี่ยนพัฒนาอาคารคือ การศึกษาเรื่องประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (eco-efficiency)

คำว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาจากการรวมกันของ คำ 2 คำ ได้แก่คำว่า eco หมายความได้ถึง ระบบนิเวศ (ecology) และ เศรษฐกิจ (economy) กับคำว่า efficiency ซึ่งแปลตามภาษาไทยว่า ประสิทธิภาพ นิยามของคำว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจถูกบัญญัติขึ้นโดย The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) หมายความถึงการนำมาซึ่งการแข่งขันกันในศักยภาพด้านการผลิตและการบริการโดยมีจุดประสงค์ที่จะตอบสนองความต้องการของมนุษย์และนำมาซึ่งคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจสามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์และการบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดย WBCSD ได้กำหนดวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ (3)

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (eco-efficiency)} = \frac{\text{มูลค่าผลิตภัณฑ์หรือการบริการ (product or service value)}}{\text{ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental influence)}} \quad (3)$$

เนื่องจากการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจโดยสมการข้างต้นมีหลายวิธีในการนำค่าข้อมูลมาคำนวณ เนื่องจากทั้งผลิตภัณฑ์หรือการบริการ และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยตัวชี้วัด (indicator) มากมายหลากหลายที่ไม่สามารถนำมารวมกันเป็นตัวเลขเดียวได้ ดังนั้นในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากสมการดังกล่าวจึงต้องเลือกค่าข้อมูลจากตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับการศึกษา

จากการศึกษาของ Carla Rodrigues และ Fausto Freire (Rodrigues & Freire, 2017) ในเรื่องของการวัดประสิทธิผลทางนิเวศเศรษฐกิจต่อการปรับปรุงระบบปรับอากาศภายในอาคารอนุรักษ์โดยมีการศึกษาประเภทอาคารคือ อาคารพักอาศัย และอาคารสำนักงาน โดยจำลองลักษณะการใช้งานระบบปรับอากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยมีค่าการทำความร้อนคือ 18 องศาเซล เซียส 20 องศาเซลเซียส และ 22 องศาเซลเซียส ร่วมกับการปรับอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส 25 องศาเซลเซียส และ 27 องศาเซลเซียส โดยมีเกณฑ์ในการศึกษาความเหมาะสมของความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 เกณฑ์การศึกษาความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ

การนำหลักการประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจไปใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการปรับเปลี่ยน พัฒนาในส่วนภาคการก่อสร้างนั้นสามารถช่วยให้เกิดผลกำไรที่เพิ่มมากขึ้นจากการพยายามลดการใช้ทรัพยากร หรือวัตถุดิบตั้งต้น และพลังงาน รวมถึงลดการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมลง จะเห็นได้ว่าหลักการของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ นอกจากจะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในทางธุรกิจที่สามารถตรวจวัดได้จริงและชัดเจนแล้ว ยังเป็นดัชนีชี้วัดความสัมพันธ์ด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่ช่วยชี้นำทิศทางและสนับสนุนให้นโยบายของรัฐ มุ่งไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนเพิ่มมากขึ้น อันเป็นเป้าหมายโดยรวมของประเทศในระยะยาว

2.7 สรุปการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในข้างต้นนั้น สามารถสรุปประเด็นที่นำมาศึกษาต่อ รวมถึงการกำหนดแนวทางและวิธีการในการศึกษาได้ดังตารางที่ 2.11

การศึกษาทบทวนเอกสาร และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าการวิจัยส่วนใหญ่ มีผลการศึกษาที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือในส่วนของอาคารพักอาศัยนั้น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยส่วนใหญ่มาจากวัสดุกว่าร้อยละ 90 งานวิจัยส่วนใหญ่จึงเน้นไปในแนวทางที่เป็นการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุก่อสร้าง เพื่อดูปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เปลี่ยนแปลงไป หากแต่งานวิจัยในปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมถึงการศึกษาถึงผลกระทบด้านพลังงานที่เกิดขึ้นจากการใช้งานอาคารจึงส่งผลให้เกิดคำถามต่อในการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงวัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในอาคาร อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมานั้นยังไม่ได้กล่าวถึงการใช้ข้อมูลอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารให้ได้ออกมาใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และเพื่อเป็นการตอบรับกับนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการใช้พลังงาน ผู้วิจัยจึงเห็นว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษาวิจัย เพื่อเสนอแนะเป็นแนวทางให้การเคหะแห่งชาติสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงในการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างโครงการต่อไป

ตารางที่ 2.10 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสาร งานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก		
Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC	การศึกษาคู่มือในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงความหมาย คำจำกัดความ และวิธีการใช้ตัวแปรต่าง ๆ ในสมการ	วิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยสมการที่ (1) และค่าสัมประสิทธิ์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุประเภทต่าง ๆ
ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน		
วัชระ มั่งวิทิตกุล, 2546	แหล่งกำเนิดความร้อน 2 ส่วน หลักคือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร และความร้อนจากภายนอกอาคาร รวมถึงลักษณะการส่งผ่าน ถ่ายเทความร้อน	ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความร้อนภายในอาคาร และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุในระบบกรอบอาคาร
กาญจน์กรอง สุอังคะ, 2557	คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ	การพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุด้วยคุณสมับติในการถ่ายเทความร้อนต่าง ๆ ได้แก่ ค่า R-Value ค่า U-Value ค่า K-Value และค่าความจุความร้อนจำเพาะ
ระบบกรอบอาคาร		
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553	ความหมายและรายละเอียดของวัสดุประกอบอาคาร โดยสามารถแบ่งเป็น ส่วนก่อผนัง กระจก และหลังคา	วัสดุที่ได้รับความนิยมในการใช้งานทั่วไปได้แก่ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา พรีคาสต์คอนกรีต และกระจก ซึ่งจะนำมาใช้เพื่อการศึกษาวัสดุแต่ละประเภทในระบบกรอบอาคารต่อไป

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2540	วัสดุกรอบอาคารประเภทหลังคามีความสำคัญในการป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคาร โดยเป็นกรอบอาคารที่รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง การเพิ่มฉนวนบริเวณเหนือฝ้าเพดานจะสามารถช่วยเริมประสิทธิภาพในการกันความร้อนของระบบหลังคาได้ดียิ่งขึ้น	ประเภทวัสดุมุงหลังคาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้แก่กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องเซรามิค กระเบื้องดินเผา และแผ่นหลังคาแอสฟัลท์
รูปแบบโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ		
การเคหะแห่งชาติ, 2558	รายละเอียดของรูปแบบบ้านประชารัฐ รวมถึงผังอาคาร และปริมาณวัสดุ	ปริมาณของวัสดุประกอบอาคารที่จะนำไปถอดปริมาณเพื่อใส่ลงในตาราง BOQ เพื่อใช้ในการคำนวณหา GHG ต่อไป
การศึกษาเรื่องลักษณะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร		
ณัฏฐา ตระกูลไทย, 2558	เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในอาคารจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม	การนำไฟล์ข้อมูลอากาศที่ได้จากการศึกษาที่มีค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะโลกร้อน ในปี ค.ศ. 2020 ไปใช้ร่วมกับการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0
การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคารและการใช้พลังงานงานภายในอาคาร		
นลินี อเนกแสน, 2554	บ้านสำเร็จรูป มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด รองลงมาคือบ้านก่ออิฐมอญ บ้านคอนกรีตมวลเบา และบ้านไม้ครึ่งปูน เมื่อพิจารณาร้อยละ	อาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าอาคารที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก เนื่องด้วยสัดส่วนของพื้นที่ต่อสัดส่วนของผนัง

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
	ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้างพบว่า ร้อยละ 98 มาจากส่วนของวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 2 มาจากกระบวนการก่อสร้าง	อาคารซึ่งอาคารขนาดเล็กจะมีสัดส่วนพื้นที่อาคารต่อผนังอาคารที่มากกว่าอาคารขนาดใหญ่ และการเลือกชนิดของวัสดุก่อกำแพงที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไปศึกษาวิจัย
กมลทิพย์ อรัญสิริ, 2553	บ้านที่ใช้วิธีก่อสร้างด้วยการก่ออิฐนั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด โดยแบ่งเป็นจากส่วนวัสดุก่อสร้างร้อยละ 97 และจากกระบวนการก่อสร้างอีกร้อยละ 3 โดยวัสดุที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ คอนกรีต และอิฐมอญ และเมื่อศึกษาผลของวัสดุผนังที่มีต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร พบว่าอาคารที่มีวัสดุผนังคือ อิฐมอญ คอนกรีต มีค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นสูงที่สุด	การเลือกชนิดของวัสดุก่อกำแพงที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นในอาคารไปศึกษาวิจัย
รณิดา ปานทอง, 2557	การปล่อยหลักร้อยละ 95 มาจากส่วนของวัสดุก่อสร้างและร้อยละ 5 มาจากส่วนกระบวนการก่อสร้าง เมื่อศึกษาผลของวัสดุผนังต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารชุดพักอาศัยที่มีผนังต่างกัน 3 ชนิด พบว่าผนังอิฐ	ชนิดของวัสดุประกอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นของอาคาร

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
	มอญ และคอนกรีต มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด โดยพบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากที่สุดมาจากระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบแสง	
อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2554	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากส่วนวัสดุอาคารและการใช้พลังงานเป็นสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 43 และร้อยละ 57 โดยในอาคารขนาดเล็กจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวสูงกว่าอาคารขนาดใหญ่	การถอดปริมาณวัสดุประกอบอาคารเพื่อการคำนวณหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ และการจำลองการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 รวมถึงการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเทียบเป็นต่อพื้นที่ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวของผู้ใช้งานอาคาร
การศึกษารูปแบบการอยู่อาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ		
ปัญชลีย์ แสงคง, 2552	ผู้อยู่อาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทรยังคงมีความต้องการต่อเติมบ้าน หากแต่ยังไม่พร้อมทางการเงิน รูปแบบการพักอาศัยเป็นครอบครัวขนาดเล็ก ส่วนใหญ่แล้วใช้เวลาอยู่ในบริเวณห้องเอนกประสงค์ โดยมีเครื่องใช้ไฟฟ้ามาตรฐานคือ โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และพัดลม	การกำหนดรูปแบบการจัดทำแบบสอบถาม รวมถึงการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ, 2554	แนวทางในการประเมินอุณหภูมิภายในอาคารและแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงอาคารพักอาศัยให้เกิดภาวะน่าสบาย โดยเสนอวิธีการติดตั้งฉนวนบริเวณเหนือฝ้า	การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุฉนวนประเภทฉนวนใยแก้ว และฉนวนเยื่อกระดาษ เพื่อลดการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นในอาคาร
การศึกษาการคำนวณระยะเวลาคืนทุน และประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ พร้อมทั้งประโยชน์และการนำมาใช้		
สุรพล เดชพล, 2552	วิธีการแปรผลวิเคราะห์ทางเศรษฐ ศาสตร์ในการศึกษาวิจัยแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า และการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (break - even analysis)	วิธีการคำนวณระยะเวลาคืนทุนและแนวทางการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นำไปสู่การจัดลำดับทางเลือกแต่ละทางเลือกเพื่อประกอบข้อมูลการเลือกใช้
ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์ , 2551	ความหมายของ จุดคุ้มทุน (Break Even Point) และระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) และสมการในการคำนวณจุดคุ้มทุน	วิธีการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารทางเลือกตามวิธีการคำนวณในสมการที่ (2)
The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)	ความหมายของประสิทธิภาพเชิงนิเวสเศรษฐกิจ รวมถึงสมการในการคำนวณและความหมายของตัวแปรต่าง ๆ	สมการในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจตามสมการที่ (3)
Carla Rodrigues และ Fausto Freire, 2017	วิธีการให้ค่าน้ำหนัก และวิธีการคำนวณโดยใช้เกณฑ์การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ	เกณฑ์การศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากอาคารที่พักอาศัยซึ่งเป็นอาคารต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ โดยมีระเบียบวิธีการวิจัยที่แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 3.1 แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงานและการเก็บข้อมูล

3.1.1 ศึกษาทฤษฎี เอกสารงานวิจัย และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.2 สำรวจและเก็บข้อมูลรูปแบบการพักอาศัยของผู้อยู่อาศัยในโครงการ การเคหะชุมชน และบริการชุมชน การเคหะแห่งชาติ เพื่อกำหนดรูปแบบการใช้พลังงานภายในอาคารและการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

3.1.3 กำหนดชนิดวัสดุกรอบอาคารเพื่อใช้ในการจำลองการใช้พลังงานและคำนวณเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.1.4 ศึกษาอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ 4 ประเภทคือ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น บ้านแฝด 2 ชั้น ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น และคอนโด 4 ชั้น รวมถึงเก็บข้อมูลและจัดทำแผนผังชนิดและปริมาณการใช้วัสดุ โดยการถอดแบบบัญชีแสดงปริมาณราคาและวัสดุ (Bill of Quantities: BOQ)

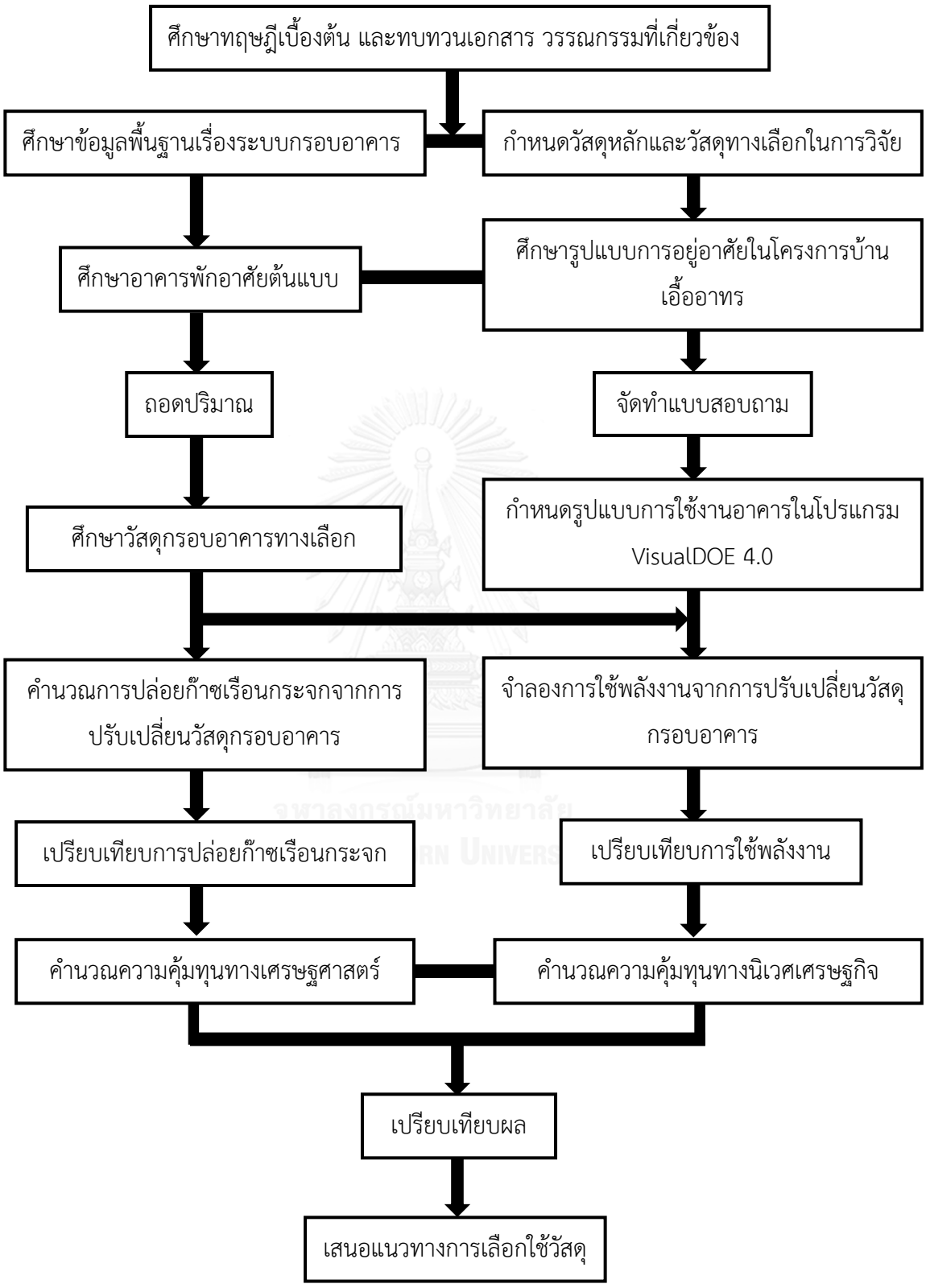
3.1.5 คำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของวัสดุก่อสร้าง โดยใช้ฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก ICE Version 2 และ IPCC (2006) และ SimaPro 7.1 ในขอบเขตการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง (Cradle to Gate) เพื่อศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิด

3.1.6 เปรียบเทียบวัสดุแต่ละชนิดได้แก่ วัสดุก่อผนัง วัสดุกระจก วัสดุหลังคา และฉนวน ที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นภายในอาคารพักอาศัยด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร

3.1.7 ศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุนเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการสร้างแนวทางเลือกการใช้วัสดุสำหรับโครงการบ้านประชารัฐ ของการเคหะแห่งชาติ

3.1.8 เสนอแนวทางในการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในอาคารพักอาศัยที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ตามนโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล รวมถึงมีความคุ้มทุนสำหรับการเลือกใช้ของการเคหะแห่งชาติ

แผนภูมิที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย



3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน

จัดทำเพื่อเก็บข้อมูลรูปแบบการพักอาศัย ปริมาณผู้พักอาศัย วัน เวลา และจำนวนชั่วโมงในการพักอาศัย รูปแบบการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยลงพื้นที่เก็บข้อมูลในโครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ เนื่องจากเป็นรูปแบบการพักอาศัยในอาคารที่ใกล้เคียงกับโครงการกรณีศึกษา บ้านประชารัฐ

3.2.2 โปรแกรม Microsoft excel

จัดการข้อมูลในเชิงปริมาณ เช่น ข้อมูลการใช้พลังงาน โดยแบ่งเป็นข้อมูลอุณหภูมิรายชั่วโมง (Hourly data) และข้อมูลการใช้พลังงานแยกประเภทรายเดือน

3.2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคาร VisualDOE 4.0

โปรแกรม VisualDOE 4.0 นั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยสถาบันวิจัยแห่งชาติของมหาวิทยาลัย Berkeley เพื่อใช้คานวณการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ มีการปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่อง ได้รับการยอมรับในเรื่องความแม่นยำในการทำงานสูง ประกอบกับการใช้งานที่ง่าย โดยผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งตัวแปรในระบบต่าง ๆ ของอาคารได้หลากหลายตามสภาวะการใช้งานจริง จุดประสงค์ของโปรแกรมคือความแม่นยำในการคำนวณทุกขั้นตอน คำนวณภาระการปรับอากาศโดยวิธี transfer function method คำนวณการใช้พลังงานตลอดปีโดยวิธี hour – by – hour method ใช้ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงในการคำนวณการใช้พลังงาน จากข้อมูลสภาพอากาศจริง หรือการคำนวณข้อมูลสภาพอากาศขึ้นใหม่จากข้อมูลจริงที่มีอยู่

3.3 การเก็บข้อมูลในการสำรวจและการศึกษารูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร

การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกโครงการบ้านเอื้ออาทรบึงกุ่ม โครงการบ้านเอื้ออาทรพหลโยธิน 52 และโครงการบ้านเอื้ออาทรหัวหมาก เนื่องจากเป็นโครงการที่มีรูปแบบอาคารอยู่อาศัยของผู้มีรายได้น้อยครอบคลุมทุกรูปแบบในการศึกษาคือ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น บ้านแฝด 2 ชั้น ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น และคอนโด 4 ชั้น และเป็นโครงการที่ดำเนินการแล้วเสร็จตั้งแต่ช่วง ปี พ.ศ. 2547 สามารถจำหน่ายได้หมด และครบกำหนดเวลาดำเนินโครงการ 5 ปีจึงเป็นโครงการที่สามารถนำมาศึกษาได้ มีผู้อยู่อาศัยจริงเกินร้อยละ 80 ทำให้กลุ่มประชากรที่นำมาศึกษามีความหลากหลายและจำนวนกลุ่มตัวอย่างมีให้เลือกสุ่มมากพอ โดยศึกษาในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560

การได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างใช้การสุ่มแบบไม่อิงทฤษฎีความน่าจะเป็น (non-probability sampling) โดยแบ่งวิธีการสุ่มคือ

- เลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยกระจายการเลือกไปตามกลุ่มที่ได้แบ่งไว้และบ้านที่ได้สำรวจไว้เบื้องต้น แต่ต้องได้รับความสะดวกใจจากเจ้าของบ้านด้วย

- สุ่มตามความสะดวก (accidental sampling) ในที่นี้จะหมายถึงความสะดวกของเจ้าของบ้านที่เต็มใจที่จะให้ทำการศึกษา

โดยสรุปแล้วการสุ่มคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างนั้น นอกจากความสนใจในการคัดเลือกตามประเภทอาคารที่ต้องการศึกษาของตัวผู้วิจัยเองแล้ว ยังต้องได้รับความสะดวกใจของเจ้าของบ้านด้วย

3.3.1 สร้างแบบสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยในโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือ แบบสัมภาษณ์ โดยมีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ การกำหนดตัวแปรจากงานวิจัย แนวคิด ทฤษฎีและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและนำตัวแปรที่ต้องการเพื่อกำหนดรูปแบบในโปรแกรม VisualDOE 4.0 มาใช้ในการออกแบบสัมภาษณ์ โดยตัวแปรนั้นแบ่งออกเป็น

(1) ลักษณะข้อมูลพื้นฐาน เกี่ยวกับผู้อยู่อาศัย ข้อมูลทั่วไป ได้แก่เพศ อายุ อาชีพ จำนวนสมาชิกในครอบครัว

(2) ลักษณะการอยู่อาศัย กิจกรรม พฤติกรรมที่เกิดขึ้น

(3) ช่วงเวลาการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมถึงแสงสว่างภายในอาคาร

3.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการจัดเรียง

เก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) ด้วยเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นคือ แบบสอบถาม โดยจะทำการลงพื้นที่ตามลักษณะประเภทอาคารในช่วงวันธรรมดา และวันเสาร์ อาทิตย์ โดยช่วงเวลาที่ลงพื้นที่นั้นจะเป็นช่วงเย็น เพื่อให้สามารถเข้าถึงผู้อยู่อาศัยได้ทั่วถึงมากที่สุด

3.3.3 การกำหนดวิธีวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ตามความเหมาะสมของมาตรวัดในระดับตัวแปร โดยสามารถกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลได้ 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปที่จะนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อตรวจสอบผู้อยู่อาศัยว่าเป็นคนในกลุ่มหัวข้อใดของแบบสอบถามที่สร้างขึ้น

ส่วนที่ 2 ข้อมูลของผู้อยู่อาศัย ลักษณะอาชีพ กิจกรรมอยู่อาศัย รวมถึงลักษณะการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า วิเคราะห์จากพื้นที่ที่ซ้ำกันของข้อมูลและใช้ค่าทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำตัวแปรที่เกิดขึ้นไปกำหนดรูปแบบการใช้พลังงานในโปรแกรม VisualDOE 4.0 เพื่อทำการจำลองพลังงานจากการใช้สอยอาคารเพื่อทำความเย็นต่อไป

3.4 กำหนดวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการวิจัย

กำหนดเกณฑ์ทางเลือกในด้านคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ ราคา และจากการสอบถามไปยังผู้รับผิดชอบของการเคหะแห่งชาติเพื่อขอข้อมูลรายการวัสดุที่การเคหะแห่งชาติเลือกไว้เป็นตัวเลือกอยู่แล้ว ได้ ตลอดจนข้อดีและข้อจำกัด ของวัสดุต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1 กำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร

(1) เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกวัสดุเพื่อปรับปรุงระบบกรอบอาคาร

(2) เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกฉนวนชนิดต่าง ๆ

3.4.2 เสนอแนวทางปรับปรุงในแนวทางต่าง ๆ

โดยอาศัยเกณฑ์ในการพิจารณาข้างต้น ทำการเลือกตัวแทนที่ดีที่สุดจากแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาประกอบ เป็นแต่ละทางเลือก เมื่อได้ทางเลือกต่าง ๆ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผล ดังนี้

(1) เปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุด้วยวิธีการคำนวณอ้างอิงจากสมการที่ (1) IPCC (2006)

(2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุทางเลือกด้วยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นำค่าตัวแปรแต่ละวัสดุทางเลือก มาประมวลผลด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 เพื่อหาค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น

(3) สรุปทางเลือกในการปรับปรุงที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบจากผลการจำลองดังนี้

- ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุการใช้งาน 30 ปี
- ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุการใช้งาน 30 ปี ต่อพื้นที่ใช้สอย
- ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมต่อปี 30 ปี
- ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย 30 ปี

3.5 การศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการก่อสร้างอาคารพักอาศัยต้นแบบโดยเปรียบเทียบวัสดุกรอบอาคารที่ต่างชนิดกัน และทำการหาผลการทดลองด้วยการคำนวณ เพื่อนำผลการคำนวณมาเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยต้นแบบที่ปรับปรุงแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร และวิเคราะห์เพื่อสรุปผลหาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำแบบอาคารพักอาศัยต้นแบบมาถอดข้อมูลในส่วนของวัสดุกรอบอาคาร โดยใส่ข้อมูลที่ได้ลงในบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 บัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) ของวัสดุกรอบอาคาร

วัสดุ	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮาส์	คอนโดมิเนียม
กระเบื้องหลังคา	50 m^2	102 kg	403 m^2	597 m^2
อิฐมอญ	105 m^2	226 m^2	1,025 m^2	1,786 m^2
กระเบื้อง	59 m^2	118 m^2	413 m^2	2,398 m^2

หมายเหตุ หน่วย กิโลกรัม (kg) และ ตารางเมตร (m^2)

จากนั้นในหัวข้อวัสดุที่ระบุเป็นขนาดพื้นที่ จะต้องนำพื้นที่ของวัสดุชนิดต่าง ๆ นั้นมาคำนวณน้ำหนักและปริมาตรให้อยู่ในหน่วยกิโลกรัม เพื่อนำปริมาณวัสดุที่ได้มานั้นไปทำการคำนวณเพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีค่าน้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยเพื่อใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายการน้ำหนักวัสดุ

วัสดุ	น้ำหนัก (kg)
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	40.5 kg/m^2
อิฐมอญ	130 kg/m^2
Asphalt Shingle	19 kg/m^2
กระเบื้องหลังคาดินเผา	42.9 kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	46.5 kg/m^2
คอนกรีตบล็อก	90 kg/m^2
พรีคาสท์	1,000 kg/m^2
วัสดุทางเลือก	น้ำหนัก (kg)
ฉนวนใยแก้ว	0.8 kg/m^2
ฉนวนเยื่อกระดาษ	2.5 kg/m^2
กระจกใส	15 kg/m^2
กระจกตัดแสงสีเทา	15 kg/m^2
กระจก Low E	30.5 kg/m^2

จากนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการ IPCC (2006) ดังรายละเอียดในสมการที่ (1)

GHG = Activity Data x Emission Factor .....(1)

โดยที่

GHG (Greenhouse Gases) หมายถึง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity Data หมายถึง ข้อมูลการใช้พลังงาน เชื้อเพลิง หรือวัตถุดิบที่ใช้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

Emission Factor (EF) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วัสดุ	EF
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.49
อิฐมอญ	0.218
Asphalt Shingle	0.66
กระเบื้องหลังคาดินเผา	0.48
คอนกรีตมวลเบา	0.22
วัสดุทางเลือก	EF
คอนกรีตบล็อก	0.38
พรีคาสท์	2.39
ฉนวนใยแก้ว	2.54
ฉนวนเยื่อกระดาษ	4.35
กระจกใส	1.26
กระจกตัดแสงสีเทา	1.26
กระจก Low E	1.70

จากนั้นจึงนำมาคำนวณตามสมการที่ (1) โดยสามารถยกตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง เมื่อมีปริมาณเหล็ก 1,153 Ton และกำหนดค่า Emission Factor ของเหล็กอ้างอิงจากคู่มือ IPCC (2006) มีค่า 1.6 TonCO_2/Ton products นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ตามสมการดังนี้

GHG = Activity Data x EF

แทนค่า = (1.153 Ton) x (1.6 TonCO_2/Ton products)

= 1.8448 TonCO_2

= 1,844.8 kgCO_2

โดยคิดเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ 50 ตารางเมตร

= (1,844.8 kg$CO_{2)}$ / (50 m^2)

= 36.89 kgCO_2/ m^2

ค่าที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสมการที่ (1) จะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย (kgCO_2eq) จากนั้นจึงทำการคำนวณในส่วนของวัสดุทางเลือกที่ได้จากการกำหนดในการวิเคราะห์ข้อ 3.4 และนำมาเปรียบเทียบกับอาคารพักอาศัยต้นแบบ เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุทางเลือกต่าง ๆ และนำผลที่ได้จากการคำนวณไปวิเคราะห์ร่วมกับผลที่ได้จากการจำลองการใช้พลังงาน รวมถึงหัวข้อความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ และความคุ้มทุนเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เพื่อเสนอเป็นแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการบ้านประชารัฐต่อไป

3.6 การศึกษาการใช้พลังงานภายในอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

จากการศึกษา ทบทวนงานวิจัยพบว่าการก่อสร้างอาคารด้วยวัสดุกรอบอาคารที่แตกต่างกันนั้น มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารพักอาศัย (นลินี อเนกแสน, 2554) ซึ่งการใช้พลังงานนี้เป็นผลมาจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุกรอบอาคารเข้ามายังตัวอาคาร และส่งผลต่อการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร โดยการวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม VisualDOE 4.0 จำลองการใช้พลังงานจากการคำนวณภาระการปรับอากาศ ซึ่งจะประกอบไปด้วย (1) การจำลองรูปแบบอาคารที่จะทำการทดลอง (2) การกำหนดรูปแบบการพักอาศัย (3) กำหนดรูปแบบและตารางการใช้งาน (4) กำหนดชนิดของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการจำลองและ (5) การประเมินค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในของอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกัน

ทั้งนี้สิ่งสำคัญในการจำลองประสิทธิภาพอาคารคือ ข้อมูลอากาศรายชั่วโมงซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกต้องตามภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งข้อมูลอากาศที่ใช้ในปัจจุบันนั้น เป็นข้อมูลอากาศที่ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลในปี ค.ศ. 1961-1990 เป็นข้อมูลที่ไม่มีการคำนึงถึงเรื่องภาวการณ์เปลี่ยนแปลงของอากาศในปัจจุบัน เพื่อให้ได้การจำลองการใช้พลังงานที่สมบูรณ์และถูกต้องกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในปัจจุบัน จึงนำไฟล์ข้อมูลอากาศของประเทศไทย ที่เป็นไปตามการคาดคะเนผลกระทบจากภาวะโลกร้อนในอนาคต จากงานวิจัยของ ณัฏฐา ตระกูลไทย (ณัฏฐา ตระกูลไทย, 2558) มาปรับใช้กับการกำหนดค่าในการจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารก็จะทำให้ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากขึ้น

3.6.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานในการทำความเย็นในอาคารด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

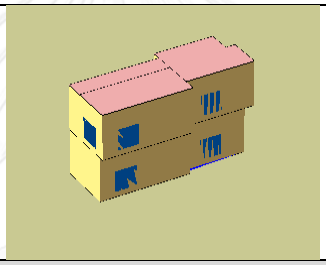
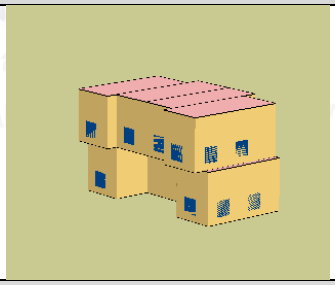
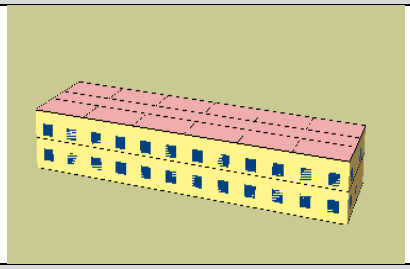
(1) การจำลองรูปแบบอาคารที่จะทำการทดลอง

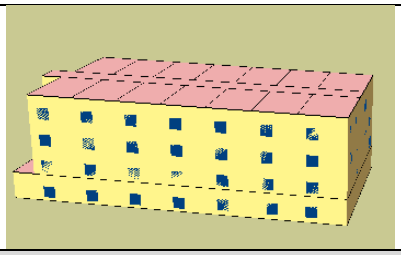
(1.1) กำหนดสถานที่ของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

- สถานที่คือ กรุงเทพมหานคร
- ข้อมูลสภาพอากาศประเทศไทยปี ค.ศ. 2020 อุณหภูมิ 29.43 องศาเซลเซียส
- เวลา GMT+ 7.00 กทม
- ละติจูด 13.92 ลองติจูด 100.6

(1.2) สร้างแบบจำลองอาคารจากแบบแปลนที่ใช้ในการก่อสร้างจริง ตามลักษณะของอาคารที่พักอาศัย ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แบบจำลองอาคารในโปรแกรม VisualDOE 4.0


บ้านเดี่ยว 2 ชั้น

บ้านแฝด 2 ชั้น

ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น



คอนโด 4 ชั้น

(2) กำหนดรูปแบบการพักอาศัย (activity)

กำหนดให้เป็นประเภทพักอาศัย (residential) และมีรายละเอียดคือ จำนวนผู้อยู่อาศัย รูปแบบการใช้งานอาคาร และรูปแบบการใช้เครื่องไฟฟ้า

(3) กำหนดรูปแบบและตารางการใช้งาน

(3.1) กำหนดรูปแบบและคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศดังนี้

- Type : Split type
- Return Air Path : Though space
- Temperature : 26 ^{0}c

(3.2) กำหนดตารางการใช้งานอาคาร และการใช้งานแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน โดยค่าต่าง ๆ ในตารางนั้นจะเป็นผลจากการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานจากการตอบแบบสอบถามของผู้อยู่อาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทร ดังที่ได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งรูปแบบตารางการใช้งานอาคารนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างตารางการใช้งานอาคารในโปรแกรม VisualDOE 4.0

ประเภทบ้าน	วัน	เวลา			
		การใช้อาคาร	แสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	จ - ศ	N/A	N/A	N/A	N/A
	ส - อ	N/A	N/A	N/A	N/A
บ้านแฝด 2 ชั้น	จ - ศ	N/A	N/A	N/A	N/A
	ส - อ	N/A	N/A	N/A	N/A
ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น	จ - ศ	N/A	N/A	N/A	N/A
	ส - อ	N/A	N/A	N/A	N/A
คอนโด 4 ชั้น	จ - ศ	N/A	N/A	N/A	N/A
	ส - อ	N/A	N/A	N/A	N/A

* หมายเหตุ: N/A ข้อมูลจะถูกเติมเต็มในบทที่ 4 ผลการวิจัย

(4) กำหนดชนิดของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการจำลอง

การเลือกกำหนดวัสดุที่จะนำมาทดลองปรับเปลี่ยนในระบบกรอบอาคารนั้น จะทำการเลือกกำหนดวัสดุตามหลักเกณฑ์ที่ได้จากการกำหนดในข้อ 3.4 จากนั้นจึงทำการกำหนดรูปแบบต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองได้แก่

(4.1) กำหนดชนิดของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในแบบจำลองแบ่งตามประเภทได้แก่

1.1) วัสดุก่อผนัง

1.2) วัสดุหลังคา

1.3) วัสดุกระจก

1.4) วัสดุฉนวน

(4.2) กำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ที่ได้มาจากโปรแกรม SimaPro 7.1 และ IPCC (2006) ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สมบัติทางความร้อนของวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (m)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kg.K)
อิฐมอญ	0.1	0.473	1,650	800
คอนกรีตมวลเบา	0.1	0.089	640	600
คอนกรีตบล็อก	0.1	0.519	765	550
ปูนฉาบ	0.01	0.72	1,858	837
คอนกรีต	0.2	1.31	2,242	837
แผ่นยิปซั่ม	0.012	0.16	801	1,090
วัสดุ	ความหนา (mm)	U-Factor ($W/m^2.K$)	Shading Coefficient	Light Transmittion
กระจกใส	6	5.762	0.96	0.88
กระจกตัดแสงสีเทา	6	1.93	0.32	0.74
กระจก Low E	6+12+6	2.17	0.67	0.82
วัสดุ	ความหนา (mm)	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m^3)	Resistivity (m^2K/W)
ฉนวนใยแก้ว	50	0.035	16	1.40
ฉนวนเยื่อกระดาษ	50	0.045	45	1.87

(5) การประเมินค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในของอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกัน

เมื่อโปรแกรมประมวลผล จะแสดงค่าการใช้พลังงานของภาระการปรับอากาศและภาระการทำความเย็น ออกมาในหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/year) โดยการจำลองการใช้พลังงานนี้จะทำการจัดกลุ่มของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักของระบบกรอบอาคารจำแนกเป็นประเภทคือ กลุ่มที่ 1 วัสดุก่อผนัง กลุ่มที่ 2 วัสดุกระเบื้องหลังคา กลุ่มที่ 3 กระจก และกลุ่มที่ 4 วัสดุฉนวน โดยจะทำการปรับเปลี่ยนวัสดุต่าง ๆ และนำผลที่ได้มาสรุปค่าพลังงานในการทำความเย็นที่เกิดขึ้นเพื่อหาตัวเลือกที่ดีที่สุดจากวัสดุกรอบอาคารแต่ละประเภท โดยในการทดลองนั้นจะทำการกำหนดลักษณะกรณีศึกษาขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงทำการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารโดยแยกเป็นประเภท เช่น ในกลุ่มวัสดุก่อผนัง จะตั้งต้นการทดลองโดยการสร้างอาคารกรณีศึกษาตามแบบของโครงการบ้านประชารัฐ ซึ่งจะประกอบด้วยวัสดุกรอบอาคารแต่ละประเภทคือ วัสดุก่อผนังกำหนดเป็นอิฐมอญ วัสดุหลังคากำหนดเป็นกระเบื้องหลังคาคอนกรีต วัสดุกระจกกำหนดเป็นกระจกใส หนา 6 มม. วัสดุฉนวนในรูปแบบอาคารของโครงการบ้านประชารัฐกำหนดให้ไม่มีการใส่วัสดุฉนวนเหนือฝ้า จากนั้นจึงตั้งกรณีศึกษาทางเลือกอื่น ๆ โดยมีการปรับเปลี่ยนวัสดุแต่ละประเภท เช่นในกรณีศึกษานี้จะยกตัวอย่างการกำหนดกรณีศึกษาทางเลือกของ*วัสดุก่อกำแพง*ดังนี้

<u>อาคารกรณีศึกษาวัสดุก่อกำแพง</u>

วัสดุคือ *อิฐมอญ* + กระเบื้องหลังคาคอนกรีต +กระจกใสหนา 6 มม. และไม่มีฉนวนเหนือฝ้า

<u>อาคารทางเลือกวัสดุก่อกำแพง</u>

วัสดุคือ *อิฐ X* + กระเบื้องหลังคาคอนกรีต +กระจกใสหนา 6 มม. และไม่มีฉนวนเหนือฝ้า

ตัวอย่างการกำหนดกรณีศึกษาทางเลือกของ*วัสดุกระเบื้องหลังคา*ดังนี้

<u>อาคารกรณีศึกษาวัสดุกระเบื้องหลังคา</u>

วัสดุคือ อิฐมอญ + *กระเบื้องหลังคาคอนกรีต* +กระจกใสหนา 6 มม. และไม่มีฉนวนเหนือฝ้า

<u>อาคารทางเลือกวัสดุกระเบื้องหลังคา</u>

วัสดุคือ อิฐมอญ + กระเบื้องหลังคา Y +กระจกใสหนา 6 มม. และไม่มีฉนวนเหนือฝ้า

เมื่อทำการแทนที่วัสดุกรอบอาคารเดิมตามอาคารกรณีศึกษา ด้วยวัสดุทางเลือกต่าง ๆ ตามผลการกำหนดชนิดของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อที่ 3.4 จนครบทุกประเภทวัสดุของระบบกรอบอาคารแล้ว จากนั้นจึงทำการจำลองการใช้พลังงานและนำผลจากกรณีต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกันเพื่อหากรณีที่วัสดุทางเลือก มีผลในการช่วยลดการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นได้มากที่สุด โดยจะทำการทดลองปรับเปลี่ยนไปจนครบทุกประเภทวัสดุกรอบอาคารดังที่ได้แสดงไว้ใน

ข้างต้น จากนั้นจึงนำวัสดุที่ได้ผลจากการจำลอง เช่น วัสดุก่อชนิด (X) วัสดุกระเบื้องหลังคาชนิด (Y) วัสดุกระจกชนิด (Z) และวัสดุฉนวนชนิด (A) เป็นวัสดุที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด ไปทำการจำลองร่วมกันโดยแทนที่วัสดุกรอบอาคารเดิมทั้งหมดในอาคารกรณีศึกษาคือ

วัสดุก่อชนิด (X) + วัสดุกระเบื้องหลังคาชนิด (Y) + วัสดุกระจกชนิด (Z) + วัสดุฉนวนชนิด (A)

เมื่อได้การจำลองอาคารกรณีศึกษาทางเลือกที่สมบูรณ์แล้ว จึงทำการจำลองการใช้พลังงานจากอาคารที่ปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารทั้งหมดอีกครั้ง เพื่อนำค่าพลังงานที่ได้ผลจากการจำลอง มาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปและแตกต่างกันจากกรณีทั้งสองโดยคิดค่าการใช้พลังงานตลอดอายุอาคาร 30 ปี และจะนำผลการศึกษาที่ได้ในขั้นตอนนี้ไปศึกษาต่อร่วมกับผลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 3.5 ต่อไป

3.7 การศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์ (ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์, 2556) ได้ให้คำนิยามของระยะเวลาคืนทุนว่าหมายถึง ระยะเวลาที่จะได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดเข้า เท่ากับกระแสเงินสดที่ใช้ในการลงทุน โดยไม่มีการนำเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นการมองที่กระแสเงินสดรับเข้า ไม่ใช่ตัวกำไรหรือขาดทุนของกิจการ ซึ่งสามารถกำหนดแนวทางการศึกษาได้ดังนี้

3.7.1 แปรผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

- ระยะเวลา (ปี) คืนทุนอย่างง่าย เท่ากับ มูลค่าเงินที่ลงทุน / ค่าไฟฟ้าที่ลดลง
- สัดส่วนผลตอบแทน เท่ากับ ค่าไฟฟ้าที่ลดลง ต่อ เงินลงทุน
- อัตราส่วนค่าพลังงานที่ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

3.7.2 สรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ นำไปสู่การจัดลำดับทางเลือกแต่ละทางเลือกประกอบข้อมูลการตัดสินใจ

การนำมาปรับใช้กับงานวิจัยนี้จะสามารถดำเนินการได้โดยการหาราคาวัสดุก่อสร้างซึ่งเป็นราคากลาง ณ ปัจจุบัน นำมาคำนวณและเปรียบเทียบส่วนต่างของราคาก่อสร้างด้วยวัสดุแต่ละชนิดพร้อม ๆ กับการจำลองค่าการใช้พลังงานของอาคารเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุแต่ละชนิดด้วย แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนจากการลงทุนในการปรับเปลี่ยนวัสดุนี้ โดยผู้วิจัยได้รวบรวมราคาวัสดุซึ่งเป็นราคากลางจากกรมบัญชีกลาง พ.ศ. 2559 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ราคากลางวัสดุกรอบอาคาร

วัสดุ	หน่วย	ราคา
อิฐมอญ	บาท / ตร.ม	190
คอนกรีตมวลเบา	บาท / ตร.ม	315
คอนกรีตบล็อก	บาท / ตร.ม	200
กระเบื้องคอนกรีต	บาท / ตร.ม	165
Asphalt shingle	บาท / ตร.ม	600
กระเบื้องดินเผา	บาท / ตร.ม	369
ฉนวนใยแก้ว	บาท / ตร.ม	410
ฉนวนเยื่อกระดาษ	บาท / ตร.ม	945
กระจกใส	บาท / ตร.ม	33
กระจกตัดแสง	บาท / ตร.ม	78
กระจกกันความร้อน	บาท / ตร.ม	215

ที่มา: กรมบัญชีกลาง (2559)

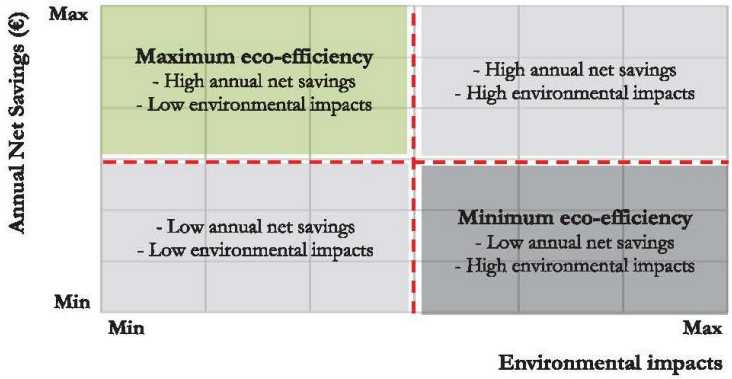
3.8 การศึกษาความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ เป็นดัชนีซึ่งใช้ชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่ง ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล (ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล, 2551) ได้ศึกษาวิจัยไว้ในบทความ การพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงเศรษฐนิเวศ โดยให้ความหมายของคำว่า นิเวศเศรษฐกิจ (eco-efficiency) เอาไว้ว่า เครื่องมือการจัดการที่ทำให้ภาคธุรกิจมีศักยภาพในการแข่งขันมากยิ่งขึ้นควบคู่ไปกับความรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ จึงมีความสำคัญในการใช้เพื่อชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างผลกำไรเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งในการวิจัยนี้คือ การศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจก ตามสมการที่ (3) ดังนี้

$$\text{eco-efficiency} = \frac{\text{ราคาค่าก่อสร้าง (บาท)}}{\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย } (kgCO_2eq)} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อทำการคำนวณจนได้ผลค่า eco-efficiency ออกมาแล้วนั้นจะนำเกณฑ์ในการศึกษาความเหมาะสมของความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจโดย Carla Rodrigues และ Fausto Freire

(Rodrigues & Freire, 2017) มาใช้เพื่อแสดงค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจต่อไป แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เกณฑ์การศึกษาความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจ

3.9 เสนอแนวทางในการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการศึกษา ทดลอง และการคำนวณในเบื้องต้นนั้น จะสามารถสรุป วิเคราะห์ผล เพื่อนำแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารทางเลือกในการลดการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในอาคารพักอาศัย โดยพิจารณาจากผลประหยัดของการใช้พลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง รวมถึงความคุ้มทุนเชิงเศรษฐกิจ และความคุ้มทุนเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เพื่อนำไปใช้พัฒนาแนวทางการเลือกใช้วัสดุในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ และบ้านพักเพื่อผู้มีรายได้น้อยโครงการอื่น ๆ ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการก่อสร้างและการใช้งานอาคารบ้านพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ โดยมีการศึกษา วิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนการวิจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 และสามารถแสดงผลการวิจัยโดยจะพิจารณาในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจและการศึกษารูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร โครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ

4.2 ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการวิจัย

4.3 ผลการกำหนดรูปแบบกรณีศึกษาที่ใช้ในการจำลองการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารที่แตกต่างกัน

4.4 ผลการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร

4.5 ผลการจำลองการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

4.6 ผลการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

4.7 ผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ในรายละเอียดส่วนผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดนิยามและความหมายของคำดังต่อไปนี้

“Embodied CO_2” หมายถึง ปริมาณ พลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างอาคารทั้งหมดที่ถูกนำมาคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของกิลโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ $kgCO_2$

“Total Life CO_2” หมายถึง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคารที่เป็นผลรวมมาจากวัสดุก่อสร้างและจากการใช้งานอาคาร

4.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจและการศึกษารูปแบบการใช้พลังงานในอาคาร โครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ

4.1.1 แบบสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยในโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือ แบบสัมภาษณ์ โดยมีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือคือ การกำหนดตัวแปรจากงานวิจัย แนวคิด ทฤษฎีและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและนำตัวแปรที่ต้องการเพื่อกำหนดรูปแบบการจำลองในโปรแกรม VisualDOE 4.0 มาใช้พัฒนาแบบสัมภาษณ์ โดยสรุปออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การใช้พลังงานภายในอาคารพักอาศัย โดยมีรายละเอียดคือ ลักษณะการอยู่อาศัย กิจกรรม พฤติกรรมที่เกิดขึ้น ช่วงเวลาการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า แสงสว่างภายในอาคาร จำนวนผู้ใช้งานอาคาร และการปรับอากาศ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยมีรายละเอียดคือ ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผู้อยู่อาศัย ข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ อาชีพ จำนวนสมาชิกในครอบครัว ช่วงเวลาการพักอาศัยในที่พัก

หลังจากนั้นจึงทำการลงพื้นที่เพื่อสอบถามและให้ผู้อยู่อาศัยในโครงการทำแบบสอบถาม โดยลงพื้นที่ตามลักษณะประเภทอาคารในวันธรรมดา และวันเสาร์ อาทิตย์ โดยช่วงเวลาที่ลงพื้นที่นั้นเป็นช่วงเย็น เพื่อให้ข้าถึงผู้อยู่อาศัยได้ทั่วถึงมากที่สุด

4.1.2 การกำหนดรูปแบบการใช้งานอาคาร

เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงของผู้อยู่อาศัยในโครงการบ้านประชารัฐนั้น ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อศึกษารูปแบบการใช้พลังงาน รูปแบบการพักอาศัย จำนวนของผู้พักอาศัย ทั้งในวันธรรมดา และวันหยุด จำนวนชั่วโมงในการพักอาศัย รูปแบบการใช้เครื่องปรับอากาศ รวมถึงจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและนำข้อมูลมากำหนดรูปแบบการพักอาศัยในการจำลองการใช้พลังงาน จึงได้เลือกพื้นที่สำรวจในหมู่บ้านเอื้ออาทรเดิมคือ หมู่บ้านเอื้ออาทรเขตบึงกุ่ม หมู่บ้านเอื้ออาทรพหลโยธิน 32 หมู่บ้านเอื้ออาทรหนองจอก และหมู่บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 10 จากข้อมูลแบบสอบถามทั้งหมดจำนวน 220 ชุด สามารถสรุปโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน โครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ

ประเภทอาคาร	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮ้าส์	คอนโด
คำถาม	ผลการทำแบบสอบถาม	ผลการทำแบบสอบถาม	ผลการทำแบบสอบถาม	ผลการทำแบบสอบถาม
จำนวนผู้พักอาศัย	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
1-2 คน	39	37	38	92
2-4 คน	60	61	60	6
4-6 คน	1	3	2	2
อายุ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
ต่ำกว่า 20	6	0	0	8
21-30 ปี	33	11	4	36
30-40 ปี	45	48	44	32

ประเภทอาคาร	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮ้าส์	คอนโด
คำถาม	ผลการทำแบบสอบถาม	ผลการทำแบบสอบถาม	ผลการทำแบบสอบถาม	ผลการทำแบบสอบถาม
41-60 ปี	13	36	48	15
มากกว่า 60 ปี	3	5	4	9
ระยะเวลาการอยู่อาศัย	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
น้อยกว่า 1 ปี	15	10	8	22
1-2 ปี	20	26	22	10
2-3 ปี	30	30	24	29
3-5 ปี	35	34	46	39
อาชีพ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
พนักงานรัฐวิสาหกิจ	8	34	32	27
รับราชการหรือพนักงานของรัฐ	13	3	8	10
พนักงานบริษัทเอกชน	42	27	28	31
รับจ้างรายวัน	20	11	12	13
ค้าขาย	8	15	6	5
ธุรกิจส่วนตัว	5	5	8	9
อื่น ๆ	4	5	6	5
ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
อยู่บ้านทั้งวัน	5	6	0	0
ช่วงเช้า 6:00-10:00 น. ช่วงเย็น 17:00-19:00 น. และช่วงกลางคืน 20:00-5:00 น.	95	94	100	100
เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวนเฉลี่ย	จำนวนเฉลี่ย	จำนวนเฉลี่ย	จำนวนเฉลี่ย
เครื่องปรับอากาศ	1	1	1	1
พัดลม	2	3	3	2
ตู้เย็น	1	1	1	1
โทรทัศน์	1	1	1	1
หลอดไฟ	12	12	12	12

ผลจากการสำรวจพบว่ารูปแบบการพักอาศัยของบ้านเดี่ยวนั้น จะมีผู้พักอาศัยจำนวน 2-4 คน โดยมีช่วงอายุ 30-40 ปี อาชีพพนักงานบริษัทเอกชน โดยมีช่วงเวลาการใช้งานอาคารคือ เลิกงานกลับถึงบ้านเวลาหกโมงเย็นและจะออกจากบ้านไปทำงานในตอนเช้าเวลาเจ็ดโมงเช้า ช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศคือเวลา 21:00-05:00น. ส่วนใหญ่เครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานเช่น ทีวี ตู้เย็น มีจำนวนครอบครัวละหนึ่งเครื่อง หลอดไฟมีจำนวนเฉลี่ย 12 ดวง ซึ่งจะมีการใช้งานเพื่อแสงสว่างช่วงเวลาตีห้าถึงหกโมงเช้า และช่วงเวลา 19:00-23:00 น. ของทุกวันระยะเวลาอยู่อาศัยนาน 3-5 ปี

รูปแบบการพักอาศัยของบ้านเดี่ยว บ้านแฝดและทาวน์เฮาส์มีรูปแบบใกล้เคียงกันทั้งจำนวนผู้พักอาศัยและช่วงเวลาการใช้งานของอาคาร เครื่องปรับอากาศจะติดตั้งในห้องนอนเป็นหลัก แต่มีจุดที่แตกต่างกันคืออาชีพของผู้พักอาศัยในทาวน์เฮาส์ส่วนใหญ่จะเป็นพนักงานรัฐวิสาหกิจ

ส่วนรูปแบบการพักอาศัยของคอนโดมิเนียม จากการสำรวจพบว่าส่วนใหญ่มีผู้พักอาศัย 1-2 คน โดยมีอายุเฉลี่ยคือ 21–30 ปี อาชีพเป็นพนักงานเอกชน มีช่วงเวลาการใช้งานอาคารคือ 19:00-07:00 น. มีช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ 20:00-05:00 โดยเฉลี่ยเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน เช่น ทีวี ตู้เย็น เฉลี่ย 1 เครื่อง มีหลอดไฟฟ้า 12 ดวง และจะมีช่วงเวลาใช้งานแสงสว่าง 05:00-06:00 และ 19:00-23:00 น. มีระยะเวลาพักอาศัย 3-5 ปี ซึ่งผลการศึกษานั้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของปัญชลีย์ แสงคง (ปัญชลีย์ แสงคง, 2552) ในการศึกษารูปแบบการใช้พื้นที่ในบ้านเอื้ออาทรในเรื่องของรูปแบบผู้อยู่อาศัย ไม่ว่าจะเป็นจำนวนสมาชิกในครอบครัว จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ไปจนถึงอาชีพ หากแต่มีส่วนต่างกันเล็กน้อยคือ เวลาการใช้งานอาคารในช่วงเช้า ซึ่งผู้อยู่อาศัยในคอนโด 4 ชั้น จะมีเวลาการออกจากบ้านเพื่อไปทำงานที่เร็วกว่าประมาณ 1 ชั่วโมง และกลับถึงที่พักช้ากว่าประมาณ 1 ชั่วโมงเช่นกัน ทำให้ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในอาคารนั้นน้อยกว่าอาคารประเภทอื่น ๆ

ผลการสรุปแบบสอบถามรูปแบบการพักอาศัยข้างต้นสามารถแสดงรายละเอียดการนำไปกำหนดรูปแบบการใช้งานอาคารภายในโปรแกรม VisualDOE 4.0 ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางการใช้งานอาคารในโปรแกรม VisualDOE 4.0

ประเภทบ้าน	วัน	เวลา			
		การใช้อาคาร	แสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	จ - ศ	18:00-7:00	5:00–6:00 18:00-23:00	21:00-05:00	7:00-22:00
	ส - อ	ใช้ทั้งวัน	5:00–6:00 18:00-23:00	21:00-06:00	7:00-22:00
บ้านแฝด 2 ชั้น	จ - ศ	18:00-7:00	5:00–6:00 18:00-23:00	21:00-06:00	7:00-22:00

ประเภทบ้าน	วัน	เวลา			
		การใช้อาคาร	แสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน
	ส - อ	ใช้ทั้งวัน	5:00–6:00 18:00-23:00	21:00-06:00	7:00- 22:00
ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น	จ - ศ	18:00-7:00	5:00–6:00 18:00-23:00	21:00-06:00	7:00-22:00
	ส - อ	ใช้ทั้งวัน	5.00–6.00 18.00-23.00	21:00-06:00	7:00-22:00
คอนโด 4 ชั้น	จ - ศ	19:00-7:00	5:00–6:00 18:00-23:00	20:00-05:00	7:00-22:00
	ส - อ	ใช้ทั้งวัน	5:00–6:00 19:00-23:00	20:00-05:00	7:00-22:00

ทั้งนี้จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) พบว่าการใช้พลังงานภายในอาคารนั้น มีสัดส่วนการใช้พลังงานจากการทำความเย็นสูงถึงร้อยละ 60 ในขณะที่พลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ นั้นคิดเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 40 ดังนั้นในการกำหนดรูปแบบการใช้พลังงานในโปรแกรม VisualDOE 4.0 นั้น จึงกำหนดให้ค่าการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ (equipment) ให้เป็นค่าตั้งต้น และทำการเปรียบเทียบในส่วนของพลังงานที่เกิดจากการทำความเย็นเป็นหลัก

4.2 ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ในการวิจัย

ตามที่พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2550 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา วันที่ 16 ต.ค. 2550 เป็นการเพิ่มความในมาตรา 7 ซึ่งเป็นมาตราที่ให้อำนาจรัฐมนตรีในการออกกฎกระทรวง เพื่อยกเว้น ผ่อนผัน หรือกำหนดเงื่อนไขในการปฏิบัติตามกฎหมายควบคุมอาคารเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อย โครงการสำหรับผู้มีรายได้น้อยที่เกิดขึ้นในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมานอกจากโครงการบ้านเอื้ออาทร ของการเคหะแห่งชาติแล้วยังมีโครงการอื่น เช่น โครงการบ้านมั่นคง ที่พัฒนาขึ้นโดยต้องการให้มีความสอดคล้องกับฐานะทางเศรษฐกิจของผู้มีรายได้น้อย และด้วยเงื่อนไขที่จำกัดของที่ตั้งโครงการ ขนาดแปลงที่ดิน ฯลฯ หลาย ๆ กรณีจึงไม่สามารถปฏิบัติให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามกฎหมายที่มีอยู่ได้ทั้งหมด รวมถึงได้มีการแก้ไขกฎหมาย เช่น การออกประกาศกระทรวงเพื่อยกเว้นให้โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติไม่ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม หรือไม่ต้องปฏิบัติตามพรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2551 จนครบถ้วนเป็นต้น ดังนั้นการจัดทำเกณฑ์ในการกำหนดวัสดุที่ใช้ในการศึกษาจึงเป็นเกณฑ์ที่

กำหนดจากการศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในด้านของคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ ราคา และจากการสอบถามไปยังผู้รับผิดชอบของการเคหะแห่งชาติเพื่อขอข้อมูลรายการวัสดุที่การเคหะแห่งชาติเลือกไว้เป็นตัวเลือกอยู่แล้ว ตลอดจนศึกษาข้อดีและข้อจำกัดของวัสดุนั้น ๆ การประเมินผลในด้านกายภาพของวัสดุ ได้มีการประเมินผลอยู่ 3 ส่วนที่ต้องการทำการพิจารณาคือ

ส่วนที่ 1 ความเหมาะสมทางด้านเทคนิค (technical evaluation)

ส่วนที่ 2 ความเหมาะสมด้านราคา (cost evaluation)

ส่วนที่ 3 ความเหมาะสมด้านความคุ้มทุน (economic evaluation)

การประเมินผลทางด้านเทคนิคนั้นจะพิจารณาจากราคาที่ขายตามท้องตลาดหาได้ง่าย ส่วนทางด้านราคาและความคุ้มทุนจะใช้วิธีการประเมินเปรียบเทียบด้วยค่าราคาต่อหน่วยและราคาต่อพื้นที่ ในเรื่องการประเมินความคุ้มทุนสามารถใช้วิธีการคำนวณผลต่างของราคาค่าก่อสร้างเปรียบเทียบกับผลต่างมูลค่าการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าระหว่างอาคารตัวแทน (base case) กับอาคารที่ได้ทำการเปลี่ยนวัสดุ เพื่อหาอัตราระยะเวลาคืนทุน (simple payback period) แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

จากการศึกษางานวิจัยของ Hanan Sareh และ Kuskana Kubaha (Hanan Sareh & Kuskana Kubaha, 2016) พบว่า ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารนั้น มาจากส่วนของผนังประมาณร้อยละ 20 ส่วนกระจกประมาณร้อยละ 44 และส่วนของหลังคาประมาณร้อยละ 43 ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนั้นเป็นวัสดุในระบบกรอบอาคารทั้งสิ้น ดังนั้นการพิจารณาความสำคัญและความจำเป็นในการป้องกันความร้อนจากระบบกรอบอาคารดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรกำหนดวัสดุเพื่อใช้ในการศึกษานี้ ดังสามารถแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคารประเภทต่าง ๆ ที่จะนำมาพิจารณาได้ดังตาราง 4.3

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของวัสดุ

รายการวัสดุ	อิฐมอญ	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา
รูปแบบกายภาพ	ก้อน	ก้อน	ก้อน
ราคาต่อหน่วย (บาท)	0.60	4.50	25.21 – 37.80
ราคารวมต่อ ตร.ม. (บาท)	100 - 190	200	315 - 412
ค่าแรง	44	59	120
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตร.ม. (บาท)	425 - 440	390	450 - 646
ขนาด (Volume) (cm^3)	7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1615 - 1650	765	550 - 640
จำนวนก้อนต่อ ตร.ม. (ก้อน,แผ่น)	145	14	8.33
น้ำหนักต่อ ตร.ม. (kg/m^2)	130	90	46.5
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม “Q” (Thermal Transfer) (W/m^2)	30-45	-	32-42 15
ค่าการนำความร้อน “K” (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.473	0.519	0.089 - 0.132
ค่าการต้านทานความร้อน “R” (Resistivity – R value) (m^2K/W)	0.15	0.149	0.58
ค่าความจุความร้อน “C”(Thermal Capacity) (J/kg.K)	800-1,000	-	น้อยกว่าอิฐมอญ 2.5 เท่า
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2” Fiber Glass	ฉนวนเยื่อกระดาษ Cellulose	ยิบซั่มบอร์ด
รูปแบบกายภาพ	ปูบนฝ้า (แผ่น)	ปูบนฝ้า (แผ่น)	แผ่น ติดตั้ง
ราคาต่อหน่วย (บาท)	180	300	73
ราคารวมต่อตร.ม. (บาท)	75	125	10
วัสดุ+ค่าแรง+ติดตั้ง / ตรม (บาท)	95	145	21
ขนาด (Volume)(cm^3)	5x60x400	7.5x60x400	1.2x60x120
น้ำหนักต่อตร.ม. (kg/m^2)	0.5-0.8	2.5	0.9
ค่าความหนาแน่น(kg/m^3)	16	45-80	800 + Foil
ค่าการสะท้อนความร้อน (%)	95	-	95
ค่าการดูดกลืนความร้อน (%)	5	-	5
ค่าการนำความร้อน (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.0365	0.029 - 0.045	0.19 + Foil
ค่าการต้านทานความร้อน(Resistivity – R value) (m^2K/W)	1.392	1.875	0.04 + Foil

รายการวัสดุ	กระจกใส (Clear Glass)	กระจกตัดแสง (Tinted Glass)	กระจกกันความร้อน (Insulating Glass)
		COol gray	Clear G. - Dry Air–Clear G.
ราคารวมต่อตารางฟุต (บาท)	25 - 27	46 - 70	160 - 210
ราคาค่าแรง / ตร.ฟ. (บาท)	8	8	18
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)	33	78	228
ความหนา (mm)	6	6	6-12-6
ค่าสัมประสิทธิการบังเงา (SC)	0.96	0.32	0.67
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2) ค่า U	5.762	5.93	2.17
ค่าการนำความร้อน (Conductivity – Kvalue)(W/m.K)	0.779	0.52	0.751
ค่าสะท้อนแสง Vis-R (%)	7	7	14
ค่าการส่องผ่านแสง Vis-T (%)	88	74	78
ค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Solar-Energy Transmittance (%)	80	43	61
ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ Solar-Energy Absorption (%)	13	45	28
ค่าการส่องผ่านแสง Vis-T /การส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ LSG	1.10	1.72	1.28

จากหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้วัสดุทั้ง 3 ส่วน รวมถึงการทบทวนและวิเคราะห์เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของผลกระทบที่เกิดขึ้นทางด้านพลังงานในการทำความเย็น ซึ่งเกิดจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารต่าง ๆ รวมถึงการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน ลักษณะการใช้งาน น้ำหนัก และราคา ของวัสดุ สามารถสรุปวัสดุกรอบอาคารทางเลือกที่ใช้ในการศึกษาได้ดังนี้

วัสดุก่อผนัง: คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา และพรีคาสท์

วัสดุหลังคา: กระเบื้องหลังคาดินเผา และกระเบื้อง Asphalt shingle

วัสดุกระจก: กระจกตัดแสงสีเทาหนา 6 mm และกระจกกันความร้อน ใส หนา 6 mm

วัสดุฉนวน: ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ฉนวนเยื่อกระดาษหนา 2 นิ้ว

โดยจะนำวัสดุกรอบอาคารที่กำหนดนี้ไปศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลการใช้พลังงานในการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุต่อไป

4.3 ผลการกำหนดรูปแบบกรณีศึกษาที่ใช้ในการจำลองการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารที่แตกต่างกัน

การจำลองการใช้พลังงานด้วย VisualDOE 4.0 จะทำการจัดกลุ่มของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักของระบบกรอบอาคารจำแนกเป็นประเภทคือ กลุ่มที่ 1 วัสดุก่อผนัง กลุ่มที่ 2 วัสดุกระเบื้องหลังคา กลุ่มที่ 3 กระจก และกลุ่มที่ 4 วัสดุฉนวน โดยทำการปรับเปลี่ยนวัสดุต่าง ๆ และนำผลที่ได้มาสรุปค่าพลังงานเพื่อหาตัวเลือกที่ดีที่สุดจากวัสดุกรอบอาคารแต่ละประเภท โดยในการทดลองนั้นจะทำการกำหนดลักษณะกรณีศึกษาขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงทำการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารโดยแยกเป็นประเภท ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบกรณีศึกษาอาคารทางเลือกต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 รูปแบบกรณีศึกษาอาคารทางเลือก

กรณีศึกษา	วัสดุกรอบอาคารที่ทำการศึกษาในการจำลองการใช้พลังงาน			
	วัสดุก่อผนัง	วัสดุมุงหลังคา	วัสดุกระจก	วัสดุฉนวน
อาคารต้นแบบ	**อิฐมอญ**	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระจกใส	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 2	**คอนกรีตบล็อก**	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระจกใส	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 3	**คอนกรีตมวลเบา**	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระจกใส	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 4	**พรีคาสท์คอนกรีต**	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระจกใส	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 5	อิฐมอญ	**กระเบื้องหลังคา asphalt shingle**	กระจกใส	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 6	อิฐมอญ	**กระเบื้องหลังคาดินเผา**	กระจกใส	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 7	อิฐมอญ	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	**กระจกตัดแสงสีเทา**	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 8	อิฐมอญ	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	**กระจกกันความร้อน**	ไม่มีฉนวนใต้หลังคา
กรณี 9	อิฐมอญ	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระจกใส	**ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว**

กรณีศึกษา	วัสดุกรอบอาคารที่ทำการศึกษาในการจำลองการใช้พลังงาน			
	วัสดุก่อผนัง	วัสดุมุงหลังคา	วัสดุกระจก	วัสดุฉนวน
กรณี 10	อิฐมอญ	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระจกใส	**ฉนวนใยกระดาษหนา 2 นิ้ว**

4.4 ผลการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงขอบเขตของการวิจัยนี้ จึงสามารถแสดงตารางค่าสัมประสิทธิ์และน้ำหนักของวัสดุกรอบอาคารได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและน้ำหนักของวัสดุกรอบอาคาร

วัสดุ	Emission factor (EF)	น้ำหนัก (kg m^2)
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.49	40.5 kg/m^2
อิฐมอญ	0.218	130 kg/m^2
asphalt shingle	0.66	19 kg/m^2
กระเบื้องหลังคาดินเผา	0.48	42.9/m^2
คอนกรีตมวลเบา	0.22	46.5/m^2
อิฐบล็อค	0.38	90/m^2
พรีคาสท์	2.39	1,000 kg/m^2
ฉนวนใยแก้ว	2.54	0.8 kg/m^2
ฉนวนเยื่อกระดาษ	4.35	2.5 kg/m^2
กระจกใส	1.26	15 kg/m^2
กระจกตัดแสงสีเทา	1.26	15 kg/m^2
กระจก Low E	1.70	30.5 kg/m^2

จากนั้นจึงนำพื้นที่ของวัสดุกรอบอาคาร ชนิดต่าง ๆ ที่ มาคำนวณน้ำหนักและปริมาตรให้อยู่ในหน่วยกิโลกรัมดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางบัญชีแสดงปริมาณวัสดุอาคารกรณีศึกษา (BOQ)

รายการ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
อิฐมอญ	13,650	29,380	133,250	232,180
กระเบื้องหลังคา	2,025	4,131	16,321	24,178
กระจก	188	622	1,815	3,268
ฉนวน	0	0	0	0

หมายเหตุ หน่วย กิโลกรัม (kg)

เมื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากวัสดุกรอบอาคารของอาคารต้นแบบแต่ละประเภท โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1 ตามหลักการ IPCC (2006) คือ

GHG = Activity Data x Emission Factor.....(1)

จะได้ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคารชนิดต่าง ๆ ของอาคารกรณีศึกษาตามรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุประกอบอาคารในอาคารพักอาศัยกรณีศึกษา

รายการ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
อิฐมอญ	2,975	6,404	29,048	51,615
กระเบื้องหลังคา	992	2,024	7,997	11,847
กระจก	236	783	2,287	41,183
ฉนวน	0	0	0	0
Total GHG	4,203	9,211	39,332	104,645

หมายเหตุ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$)

จากการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารด้วยวัสดุที่ได้กำหนดเอาไว้ในข้อที่ 4.3 โดยใช้พื้นที่และปริมาณ ตามรูปแบบของอาคารกรณีศึกษาเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุแต่ละชนิดโดยสามารถแสดงปริมาณของวัสดุกรอบอาคารทางเลือกได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณวัสดุผนังอาคารในหน่วยกิโลกรัม (kg)

รายการวัสดุ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เอาส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
อิฐมอญ	13,650	29,380	133,250	232,180
อิฐบล็อก	9,450	20,340	92,250	160,740
คอนกรีตมวลเบา	4,883	10,509	47,663	83,049
พรีคาสท์คอนกรีต	105,000	226,000	1,025,000	1,786,000
กระจกใส	188	622.2	1,815	32,685
กระจกตัดแสง	188	622.2	1,815	32,685
กระจก Low E	383.69	1,265	3,691	66,460
กระเบื้องคอนกรีต	2,025	4,131	16,321	24,178
asphalt shingle	950	1,938	7,657	11,343
กระเบื้องดินเผา	2,145	4,376	17,288	25,611
ฉนวนใยแก้ว	40	81.6	322	478
ฉนวนเยื่อกระดาษ	125	255	1,007	1,492

จากนั้นจึงทำการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยต้นแบบแต่ละประเภท โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1 ตามหลักการ IPCC (2006) จะได้ผลตามรายละเอียดดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อผนัง

รายการวัสดุ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เอาส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
อิฐมอญ	2,975	6,404	29,048	50,615
คอนกรีตบล็อก	3,591	7,729	35,055	61,081
คอนกรีตมวลเบา	1,074	2,312	10,485	18,270
พรีคาสท์คอนกรีต	250,950	540,140	2,449,750	4,268,540
กระจกใส	237	784	2,287	41,183
กระจกตัดแสง	237	784	2,287	41,183
กระจก Low E	652	2,150	6,273	223,981
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	992	2,024	7,997	11,847
asphalt shingle	627	1,279	5,053	7,486
กระเบื้องหลังคาดินเผา	1,029	2,100	8,298	12,293
ฉนวนใยแก้ว	101	207	818	1,213
ฉนวนเยื่อกระดาษ	543	1,109	4,382	6,492

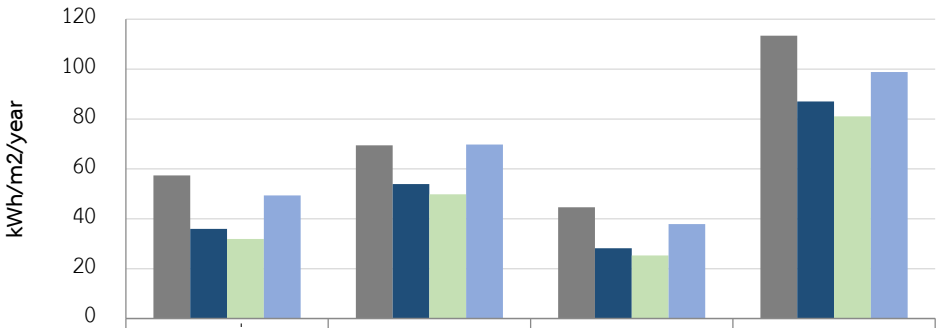
หมายเหตุ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$)

4.5 ผลการจำลองการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

จากผลการกำหนดกรณีศึกษาเพื่อทำการจำลองการใช้พลังงานตามตารางที่ 4.4 สามารถแสดงผลการจำลองค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นที่เปลี่ยนแปลงไปจากการปรับเปลี่ยนวัสดุแยกตามประเภทอาคารได้ดังนี้

4.5.1 กลุ่มวัสดุก่อผนัง

มีวัสดุกรณีศึกษาคือ อิฐมอญ และวัสดุทางเลือกคือ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบาและพรีคาสท์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังและจำลองการใช้พลังงานแล้วสามารถแสดงค่าการใช้พลังงานแยกตามประเภทอาคารได้ดังแผนภูมิที่ 4.1 ผลการใช้พลังงานในการทำความเย็นพบว่าวัสดุก่อผนังที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือ คอนกรีตมวลเบา

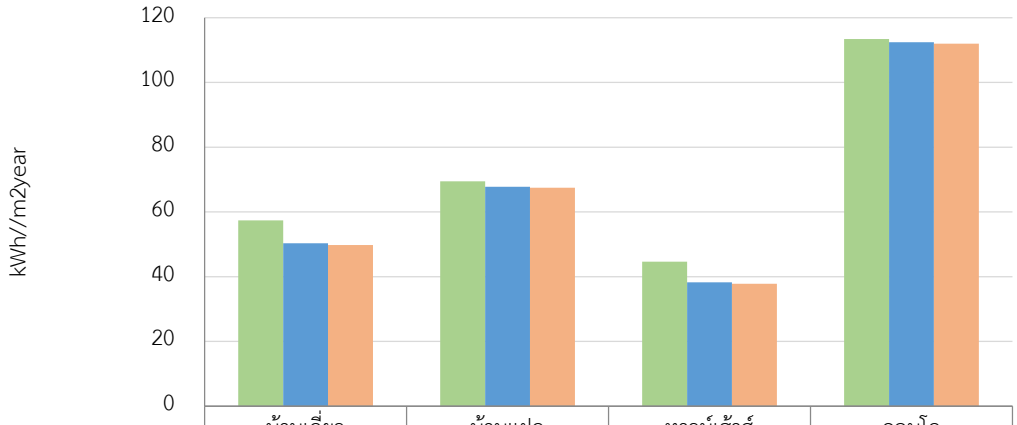


	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮ้าส์	คอนโด
อิฐมอญ	57	69	45	113
อิฐบล๊อค	36	54	28	87
มวลเบา	32	50	25	81
พรีคาสต์	49	70	38	99

แผนภูมิที่ 4.1 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังแยกตามประเภทอาคาร

4.5.2 กลุ่มวัสดุกระเบื้องหลังคา

มีวัสดุกรณีศึกษาคือ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต และวัสดุทางเลือกคือ กระเบื้องหลังคา asphalt shingle และกระเบื้องหลังคาดินเผา เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกระเบื้องหลังคาและจำลองการใช้พลังงานแล้วสามารถแสดงค่าการใช้พลังงานแยกตามประเภทอาคารได้ดังแผนภูมิที่ 4.2



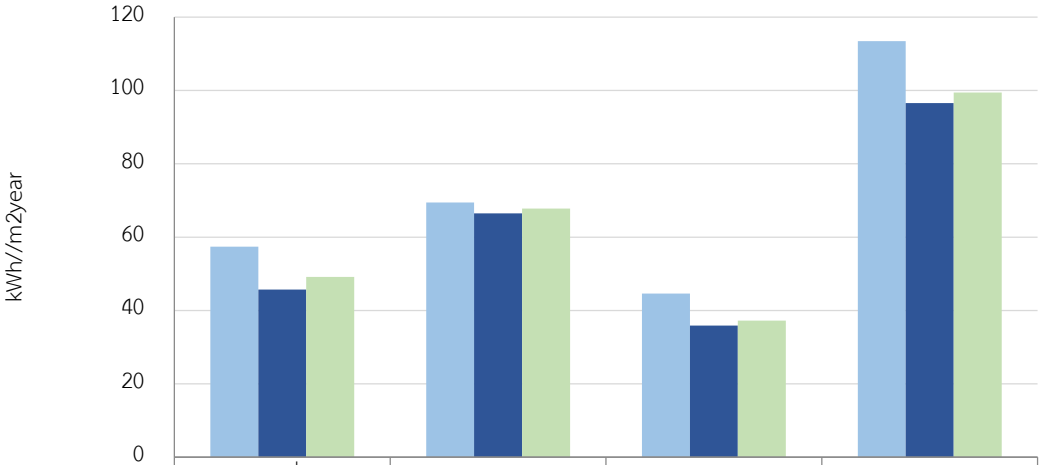
	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮ้าส์	คอนโด
กระเบื้องคอนกรีต	57.4	69	45	113
Asphlat shinglr	50.3	68	38	112
กระเบื้องดินเผา	49.78	67	38	112

แผนภูมิที่ 4.2 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนกระเบื้องหลังคาแยกตามประเภทอาคาร

ผลการใช้พลังงานในการทำความเย็นพบว่ากระเบื้องหลังคาที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือ กระเบื้องหลังคาดินเผา

4.5.3 กลุ่มวัสดุกระจก

วัสดุกรณีศึกษาคือ กระจกใส หนา 6 มม. และวัสดุทางเลือกคือ กระจกตัดแสงสีเทา หนา 6 มม. และกระจกกันความร้อน ใส หนา 6-12-6 มม. เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกและจำลองการใช้พลังงานแล้วสามารถแสดงค่าการใช้พลังงานแยกตามประเภทอาคารได้ดังแผนภูมิที่ 4.3



	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮ้าส์	คอนโด
กระจกใส	57	69	45	113
กระจกตัดแสง	46	66	36	97
กระจก Low E	49	68	37	99

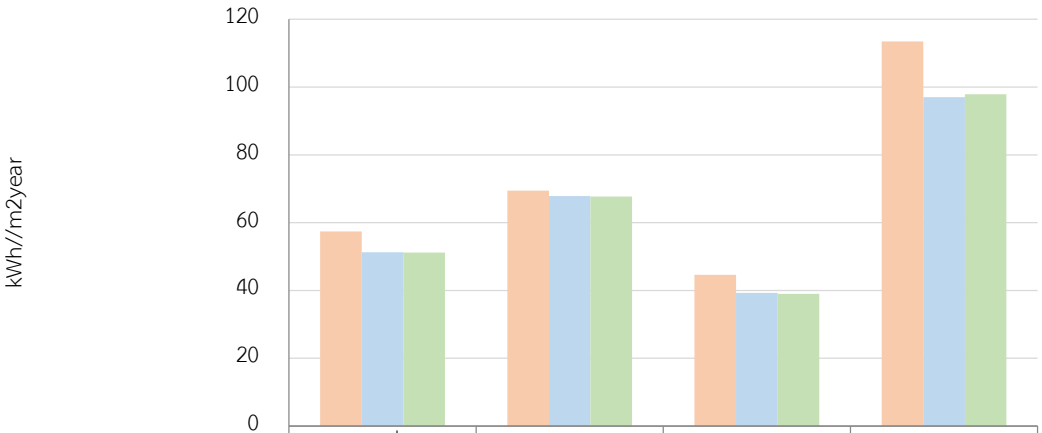
แผนภูมิที่ 4.3 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกแยกตามประเภทอาคาร

Chulalongkorn University

ผลการใช้พลังงานในการทำความเย็นพบว่าวัสดุกระจกที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือ กระจกตัดแสงสีเทา หนา 6 มม.

4.5.4 กลุ่มวัสดุฉนวน

อาคารกรณีศึกษานั้นไม่มีการใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนในอาคาร และวัสดุทางเลือกคือ ฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว และฉนวนเยื่อกระดาษ หนา 2 นิ้ว เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนและจำลองการใช้พลังงานแล้วสามารถแสดงค่าการใช้พลังงานแยกตามประเภทอาคารได้ดังแผนภูมิที่ 4.4 ผลการใช้พลังงานในการทำความเย็นพบว่าวัสดุฉนวนที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือ ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว



	บ้านเดี่ยว	บ้านแฝด	ทาวน์เฮ้าส์	คอนโด
ไม่มีฉนวน	57	69	45	113
ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	51	68	39	97
ฉนวนเยื่อกระดาษหนา 2 นิ้ว	51	68	39	98

แผนภูมิที่ 4.4 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนกันความร้อนแยกตามประเภทอาคาร

จากการทดลองการปรับเปลี่ยนวัสดุเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นนั้น พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุระบบกรอบอาคาร ได้แก่ อิฐก่อผนัง กระเบื้องหลังคา ฉนวน และกระจก จากเดิมคือ อิฐมอญ เป็นคอนกรีตมวลเบา กระเบื้องหลังคาเปลี่ยนจากเดิมคือ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต เป็น กระเบื้องหลังคาดินเผา กระจกเปลี่ยนจากเดิมคือ กระจกใส หนา 6 มม. เป็นกระจกตัดแสง และใส่ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว เข้าไปเพิ่มเติมบริเวณเหนือฝ้า จะทำให้ลดการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นได้ดีที่สุด

4.5.5 ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดช่วงอายุอาคาร 30 ปี

เพื่อให้สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ร่วมกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุได้ จึงต้องทำการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความเย็นตลอดช่วงอายุอาคารซึ่งในการศึกษานี้ อ้างอิงระยะเวลาตลอดช่วงอายุอาคารคือ 30 ปี (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2554) โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยคือ 0.561 $kgCO_2eq/kWh$ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559) และสามารถสรุปค่าการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงอายุอาคาร 30 ปี ได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงอายุอาคาร 30 ปี

รายการวัสดุ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
อิฐมอญ	86,100	383,310	669,540	4,505,880
คอนกรีตบล็อก	53,910	297,540	422,640	3,458,010
คอนกรีตมวลเบา	47,850	275,160	379,680	3,219,150
พรีคาสท์คอนกรีต	74,070	385,200	568,650	3,926,910
กระจกตัดแสง	68,550	366,930	538,050	3,834,900
กระจก Low E	73,710	374,310	558,690	3,949,140
asphalt shingle	75,450	374,130	573,930	4,465,710
กระเบื้องหลังคาดินเผา	74,670	372,420	566,790	4,447,380
ฉนวนใยแก้ว	76,890	374,400	589,080	3,853,080
ฉนวนเยื่อกระดาษ	76,740	373,800	585,000	3,888,540

*หมายเหตุ: หน่วย kWh

จากนั้นจึงนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเพื่อการทำความเย็นในระยะเวลา 30 ปี ไปคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4. 11 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็น ตลอดช่วงอายุการใช้งาน 30 ปี

รายการวัสดุ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
อิฐมอญ	48,300	215,036	375,612	2,527,798
คอนกรีตบล็อก	30,243	166,919	237,101	1,939,943
คอนกรีตมวลเบา	26,843	154,364	213,000	1,805,943
พรีคาสท์คอนกรีต	41,553	216,097	319,013	2,202,996
กระจกตัดแสง	38,456	205,847	301,846	2,151,378
กระจก Low E	41,351	209,987	313,425	2,215,467
Asphalt Shingle	42,327	209,886	321,974	2,505,263
กระเบื้องหลังคาดินเผา	41,889	208,927	317,969	2,494,980
ฉนวนใยแก้ว	43,152	210,038	330,473	2,161,577
ฉนวนเยื่อกระดาษ	43,101	209,701	328,185	2,181,470

*หมายเหตุ: หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$)

4.6 ผลการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีวิเคราะห์ผลการคืนทุนอย่างง่ายซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการในวิเคราะห์ผลในการลงทุนทั่วๆ ไป โดยสามารถพิจารณาได้ 2 แนวทาง คือ

แนวทางที่ 1 อัตราส่วนค่าพลังงานที่ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

แนวทางที่ 2 ระยะเวลาคุ้มทุน

ในการคิดหาอัตราส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงนั้นจะใช้วิธีนำผลจำลองที่ได้จากการจำลองค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 มาคำนวณด้วยวิธีการคิดค่าไฟฟ้าในอัตราก้าวหน้าตามคู่มือการคิดค่าไฟจากกรมไฟฟ้านครหลวง คือ หน่วยที่ 151 – 400 หน่วย ละ 4.23 บาท เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) หน่วยละ 4.43 บาท โดยผลการคำนวณค่าไฟฟ้านั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าไฟที่ใช้ในการทำความเย็นในกรณีศึกษาต่าง ๆ ต่อปี

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
กรณีศึกษา		12,140	56,602	94,405	635,329
คอนกรีตมวลเบา	ค่าไฟที่ใช้	6,746	40,631	53,534	453,900
	ค่าไฟที่ลดได้	5,394	15,971	40,871	181,429
คอนกรีตบล็อก	ค่าไฟที่ใช้	7,601	43,936	59,592	487,579
	ค่าไฟที่ลดได้	4,539	12,666	34,813	147,750
พรีคาสท์คอนกรีต	ค่าไฟที่ใช้	10,443	56,881	80,179	553,694
	ค่าไฟที่ลดได้	1,697	-279	14,226	81,635
กระจกตัดแสง	ค่าไฟที่ใช้	9,665	54,183	75,865	540,720
	ค่าไฟที่ลดได้	2,475	2,419	18,540	94,609
กระจก Low E	ค่าไฟที่ใช้	10,393	55,273	78,775	556,828
	ค่าไฟที่ลดได้	1,747	1,329	15,630	78,501
Asphalt Shingle	ค่าไฟที่ใช้	10,638	55,246	80,924	629,665
	ค่าไฟที่ลดได้	1,502	1,356	13,481	5,664
กระเบื้องหลังคาดินเผา	ค่าไฟที่ใช้	10,528	54,994	79,917	627,080
	ค่าไฟที่ลดได้	1,612	1,608	14,488	8,249
ฉนวนใยแก้ว	ค่าไฟที่ใช้	10,845	55,286	83,060	543,284
	ค่าไฟที่ลดได้	1,295	1,316	11,345	92,045
ฉนวนเยื่อกระดาษ	ค่าไฟที่ใช้	10,833	55,197	82,485	548,284
	ค่าไฟที่ลดได้	1,307	1,405	11,920	87,045

หมายเหตุ: หน่วย บาท (-) คือค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

และในส่วนของการคำนวณค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารนั้น จะทำการคำนวณค่าก่อสร้างอ้างอิงตามราคากลางของกรมบัญชีกลาง ในตารางที่ 3.9 จะสามารถแสดงค่าก่อสร้างของวัสดุกรณีศึกษาต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ราคาค่าก่อสร้างและวัสดุของวัสดุกรอบอาคารชนิดต่าง ๆ

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
อิฐมอญ (กรณีศึกษา)		24,570	52,884	239,850	417,924
คอนกรีตมวลเบา	ค่าก่อสร้าง	45,675	98,310	445,875	776,910
	เพิ่มขึ้น	21,105	45,426	206,025	358,986
คอนกรีตบล็อก	ค่าก่อสร้าง	33,180	71,416	322,875	564,376
	เพิ่มขึ้น	8,610	18,532	83,025	146,452
พรีคาสท์ คอนกรีต	ค่าก่อสร้าง	57,750	124,300	563,750	982,300
	เพิ่มขึ้น	33,000	71,416	323,900	564,376
กระจกใส(กรณีศึกษา)		515	1,700	4,961	89,339
กระจกตัดแสง	ค่าก่อสร้าง	1,081	3,567	10,406	187,394
	เพิ่มขึ้น	566	1,867	5,445	98,055
กระจก Low E	ค่าก่อสร้าง	3,069	10,121	29,524	531,676
	เพิ่มขึ้น	2,554	8,421	24,563	44,2337
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต (กรณีศึกษา)		4,300	8,772	34,658	51,342
Asphalt Shingle	ค่าก่อสร้าง	30,000	61,200	241,800	358,200
	เพิ่มขึ้น	25,700	52,428	207,142	306,858
กระเบื้องหลังคาดินเผา	ค่าก่อสร้าง	3,874	7,902	31,224	46,255
	เพิ่มขึ้น	-426	-870	-3434	-5087
กรณีศึกษาไม่มีฉนวน		0	0	0	0
ฉนวนใยแก้ว	ค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น	7,250	13,775	58,435	86,565
ฉนวนเยื่อกระดาษ	ค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น	9,750	18,525	78,585	116,415

หมายเหตุ หน่วย บาท (-) คือค่าก่อสร้างลดลง

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารด้วยวัสดุทางเลือกตามที่ได้สรุปการศึกษาในหัวข้อที่ 4.3 แล้วจะสามารถนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณตามสมการการหาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ได้ผลดังตารางที่ 4.14

$$\text{ระยะเวลาคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุ}}{\text{ค่าไฟที่ลดลงได้ต่อปี}} \quad \text{.....(4)}$$

ตารางที่ 4.14 ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

รายการวัสดุ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
คอนกรีตมวลเบา	4 ปี	3 ปี	5 ปี	2 ปี
คอนกรีตบล็อก	2 ปี	1 ปี	2 ปี	1 ปี
พรีคาสท์คอนกรีต	19 ปี	25 ปี	23 ปี	7 ปี
กระจกตัดแสง	2 เดือน	7 เดือน	3 เดือน	1 ปี
กระจก Low E	1 ปี	6 ปี	2 ปี	6 ปี
Asphalt Shingle	17 ปี	39 ปี	15 ปี	54 ปี
กระเบื้องหลังคาดินเผา	2 เดือน	5 เดือน	2 เดือน	6 เดือน
ฉนวนใยแก้ว	6 ปี	10 ปี	5 ปี	1 ปี
ฉนวนเยื่อกระดาษ	7 ปี	13 ปี	7 ปี	1 ปี

4.7 ผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

การคำนวณความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจนั้นประกอบไปด้วย 2 ตัวแปรสำคัญคือ ค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้คือ ค่าก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.14 และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 จากนั้นจึงทำการคำนวณตามสมการที่ (3) ดังนี้

$$\text{Eco-Efficiency} = \frac{\text{ราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ตร.ม)}}{\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง } (kgCO_2eq/m^2)} \quad \text{.....(3)}$$

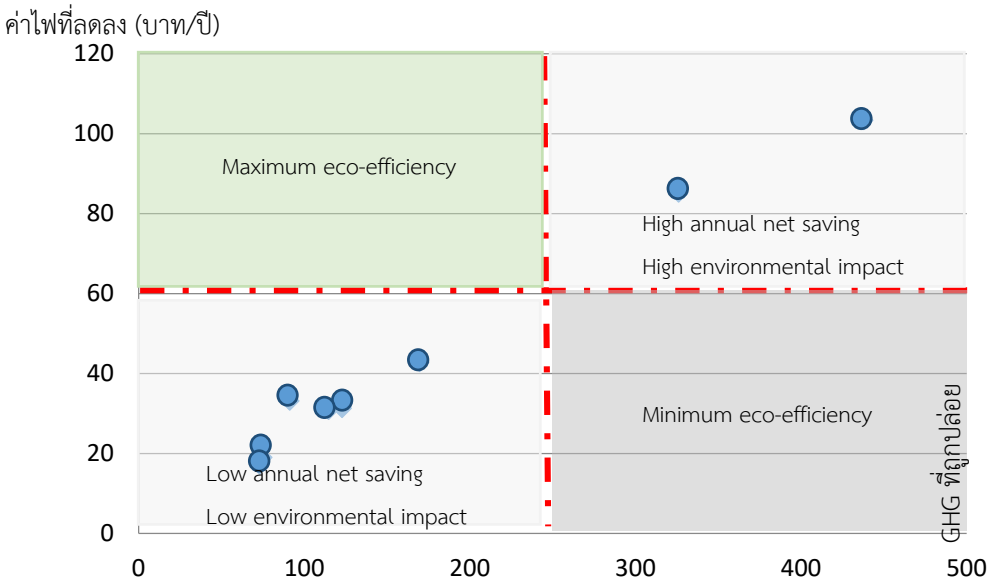
ตารางที่ 4.15 ค่าก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
อิฐมอญ (กรณีศึกษา)	Total life operation CO_2	48,300	215,036	375,611	2,527,798
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	2,975	6,404	29,048	50,615
	Total Life CO_2	51,275	221,440	404,659	2,578,413
คอนกรีตมวลเบา	Total life operation CO_2	26,843	154,364	213,000	1,805,943
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	1,074	2,312	10,485	18,270
	Total Life CO_2	27,917	156,676	223,485	1,824,213
Total Life CO_2 ที่ลดลง		23,358	64,764	181,174	754,200
คอนกรีตบล็อก	Total life operation CO_2	30,243	166,919	237,101	1,939,943
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	3,591	7,729	35,055	61,081
	Total Life CO_2	33,834	174,648	272,156	2,001,024
Total Life CO_2 ที่ลดลง		17,441	46,792	132,503	577,389
พรีคาสท์ คอนกรีต	Total life operation CO_2	41,553	216,097	319,012	2,202,996
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	250,950	540,140	2,449,750	4,268,540
	Total Life CO_2	292,503	756,237	2,768,762	6,471,536
Total Life CO_2 ที่ลดลง		-241,228	-534,797	-2,364,103	-3,893,123
กระจกใส (กรณีศึกษา)	Total life operation CO_2	48,300	215,036	375,611	2,527,798
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	237	784	2,287	41,183
	Total Life CO_2	48,537	215,820	377,899	2,568,981
กระจกตัดแสง	Total life operation CO_2	38,456	205,847	301,846	2,151,378

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	237	784	2,287	41,183
	Total Life CO_2	38,693	206,631	304,133	2,192,561
Total Life CO_2 ที่ลดลง		9,844	9,189	73,766	376,420
กระจก Low E	Total life operation CO_2	41,351	209,987	313,425	2,215,467
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	652	2,150	6,273	223,981
	Total Life CO_2	42,003	212,137	319,698	2,439,448
Total Life CO_2 ที่ลดลง		6,534	3,683	58,201	129,533
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต (กรณีศึกษา)	Total life operation CO_2	48,300	215,036	375,611	2,527,798
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	992	2,024	7,997	11,847
	Total Life CO_2	49,292	217,060	245,098	2,539,645
Asphalt Shingle	Total life operation CO_2	42,327	209,886	321,974	2,505,263
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	627	1,279	5,053	7,486
	Total Life CO_2	6,338	5,895	56,581	26,896
Total Life CO_2 ที่ลดลง					
กระเบื้องหลังคาดินเผา	Total life operation CO_2	41,889	208,927	317,969	2,494,980
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	1,029	2,100	8,298	12,293
	Total Life CO_2	6,374	6,033	57,341	32,372
Total Life CO_2 ที่ลดลง					
กรณีศึกษาไม่มีฉนวน	Total life operation CO_2	48,300	215,036	375,611	2,527,798
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	0	0	0	0
	Total Life CO_2	48,300	215,036	237,101	2,527,798

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
ฉนวนใยแก้ว	Total life operation CO_2	43,152	210,038	330,473	2,161,577
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	101	207	818	1,213
	Total Life CO_2	43,253	210,245	331,291	2,162,790
Total Life CO_2 ที่ลดลง		5,047	4,791	44,321	365,008
ฉนวนเยื่อกระดาษ	Total life operation CO_2	43,101	209,701	328,185	2,181,470
	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	543	1,109	4,382	6,492
	Total Life CO_2	43,644	210,810	332,567	2,187,962
Total Life CO_2 ที่ลดลง		4,656	4,226	43,045	339,836

เมื่อทำการคำนวณจนได้ผลค่า eco-efficiency ออกมาแล้วนั้นจะนำเกณฑ์ในการศึกษาความเหมาะสมของความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจโดย Carla Rodrigues และ Fausto Freire (Rodrigues & Freire, 2017) มาใช้เพื่อแสดงค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจ แสดงดังภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุที่อยู่ในขอบข่ายการเลือกใช้ของโครงการบ้านเอื้ออาทรนั้นยังมีประสิทธิภาพในเชิงนิเวศเศรษฐกิจอยู่ในพื้นที่ของกราฟที่ค่อนไปทางต่ำ คือ เป็นวัสดุที่มีค่าประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานน้อย และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย หากแต่มีวัสดุคอนกรีตมวลเบา และวัสดุคอนกรีตบล็อกที่อยู่ในพื้นที่ค่อนไปทางสูงคือ มีค่าประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงเช่นกัน



ภาพที่ 4.1 ค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์เชิงนิเวศเศรษฐกิจนั้นเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจของผู้บริโภค เป็นหลักการที่ช่วยจัดการให้ภาคธุรกิจมีศักยภาพในการแข่งขันมากขึ้น ควบคู่ไปกับความรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยประเมินให้เห็นถึงสภาพของผลิตภัณฑ์ อาคารพักอาศัยของการเคหะแห่งชาติที่ได้สร้างในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่ผ่านมา สามารถใช้เทียบเคียงสมรรถนะด้านการจัดการกับองค์กรหรือภาคธุรกิจอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน (Benchmarking) อันจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและใช้เป็นกลยุทธ์ด้านการตลาดและส่งเสริมภาพลักษณ์ขององค์กรในการเป็นผู้นำด้านการพัฒนาและก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่ตระหนักถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อมต่อไป

Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุก่อสร้างและการใช้งานอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ โดยจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ การทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การศึกษาค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นภายในอาคารที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร และ การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร โดยในขั้นตอนการสรุปผลนั้นจะนำผลการศึกษาที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมทั้งหมด และจึงนำเสนออาคารทางเลือก ที่ใช้วัสดุกรอบอาคารที่ได้ผลจากการทดลองเพื่อเป็นแนวทางให้การเคหะแห่งชาติได้นำไปใช้พัฒนาการออกแบบอาคารที่อยู่อาศัยในโครงการต่อไป

จากการทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารพักอาศัยนั้น เกิดขึ้นในขั้นตอนก่อสร้าง โดยมาจากวัสดุอาคารกว่าร้อยละ 90 วัสดุที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ คอนกรีต เหล็ก และวัสดุก่อผนัง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ที่มีวิธีการคำนวณโดยอ้างอิงจากคู่มือ IPCC (2006) ในลักษณะ Gate to Gate ซึ่งเป็นการพิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้วัสดุเท่านั้น โดยไม่พิจารณากระบวนการขนส่ง จากการศึกษาพบว่า การปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร มีผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคาร ซึ่งเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นก็จะลดลง ซึ่งการปรับเปลี่ยนวัสดุนี้ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของอาคารอีกด้วย โดยมีการศึกษา วิเคราะห์ ตามลำดับขั้นตอนการวิจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา โดยจะพิจารณาในหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

5.2 สรุปผลการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร

5.3 นำเสนอวัสดุกรอบอาคารทางเลือกเพื่อเป็นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

5.4 สรุปผลการจำลองการใช้พลังงานระหว่างกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีทางเลือก

5.5 สรุปผลการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

5.6 สรุปผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

5.7 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบกับแนวทางการศึกษาของเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

5.8 สรุปผลการวิจัย

5.9 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคาร

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารพักอาศัยต้นแบบแต่ละประเภท โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1 ตามหลักการ IPCC (2006) ในข้อที่ 4.5 นั้นจะสามารถสรุปผลการคำนวณเพื่อหาวัสดุกรอบอาคารทางเลือกที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกวัสดุกรอบอาคาร

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
อิฐมอญ (กรณีศึกษา)	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	2,975	6,404	29,048	50,615
คอนกรีตมวลเบา	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	1,074	2,312	10,485	18,270
	CO_2 ที่ลดลง	1,901	4,092	18,563	32,345
	ลดลงร้อยละ	64	64	64	64
คอนกรีตบล็อก	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	3,591	7,729	35,055	61,081
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	616	1,325	6,007	10,466
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	21	21	21	21
พรีคาสท์ คอนกรีต	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	250,950	540,140	2,449,750	4,268,540
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	247,975	533,736	2,420,702	4,217,925
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	8,333	8,333	8,333	8,333
กระจกใส (กรณีศึกษา)	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	237	784	2,287	41,183
กระจกตัดแสง	Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	237	784	2,287	41,183
	CO_2 ที่ลดลง	0	0	0	0

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	237	784	2,287	41,183
กระจก Low E	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	652	2,150	6,273	223,981
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	415	1,366	3,986	182,798
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	175	174	174	444
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต (กรณีศึกษา)	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	992	2,024	7,997	11,847
asphalt shingle	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	627	1,279	5,053	7,486
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	-365	-745	-2,944	-4,361
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	-37	-37	-37	-37
กระเบื้องหลังคาดินเผา	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	1,029	2,100	8,298	12,293
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	37	76	301	446
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	4	4	4	4
กรณีศึกษาไม่มีฉนวน	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	0	0	0	0
ฉนวนใยแก้ว	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	101	207	818	1,213
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	101	207	818	1,213
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	100	100	100	100
ฉนวนเยื่อกระดาษ	Embodied CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	543	1,109	4,382	6,492
	CO_2 ที่เพิ่มขึ้น	543	1,109	4,382	6,492
	เพิ่มขึ้นร้อยละ	100	100	100	100

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรายละเอียดดังตารางข้างต้น สามารถสรุปวัสดุทางเลือกที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้มากที่สุดได้แก่

วัสดุก่อผนัง: คอนกรีตมวลเบา สามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 64

วัสดุหลังคา: กระเบื้องหลังคาดินเผา เป็นวัสดุกระเบื้องหลังคาที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 4

วัสดุกระจก: กระจกตัดแสงสีเทาหนา 6 มม.. ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่าเดิม

วัสดุฉนวน: ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว เป็นฉนวนที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มน้อยขึ้นน้อยที่สุดคือร้อยละ 37

ทั้งนี้การพิจารณาเลือกวัสดุทางเลือกที่จะใช้นำเสนอเป็นแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น นอกจากจะพิจารณาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากตัววัสดุเองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติในการช่วยลดการใช้ไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นในอาคารด้วย เนื่องจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน ดังสามารถสรุปผลการศึกษาได้หัวข้อต่อไป

5.2 สรุปผลการศึกษาการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0

ผลการศึกษาการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นภายในอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังที่แตกต่างกันด้วยโปรแกรม VisualDOE 4.0 นั้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ดีที่สุดในการลดการใช้พลังงานของวัสดุแต่ละประเภทคือ

วัสดุก่อผนัง ได้แก่ **คอนกรีตมวลเบา** โดยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นจากอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

ประเภทบ้านเดี่ยว ลด 1,073 kWh ต่อปี

ประเภทบ้านแฝด ลด 3,605 kWh ต่อปี

ประเภททาวน์เฮ้าส์ ลด 9,662 kWh ต่อปี

ประเภททาวน์เฮ้าส์ ลด 42,891 kWh ต่อปี

วัสดุหลังคา ได้แก่ **หลังคากระเบื้องดินเผา** โดยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นจากอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

ประเภทบ้านเดี่ยว ลด 381 kWh ต่อปี

ประเภทบ้านแฝด ลด 363 kWh ต่อปี

ประเภททาวน์เฮ้าส์ ลด 3,425 kWh ต่อปี

ประเภทคอนโด ลด 1,950 kWh ต่อปี

วัสดุกระจก ได้แก่ **กระจกตัดแสงสีเทา หนา 6 มม.** โดยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นจากอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

ประเภทบ้านเดี่ยว ลด 586 kWh ต่อปี

ประเภทบ้านแฝด ลด 546 kWh ต่อปี

ประเภททาวน์เฮ้าส์ ลด 4,383 kWh ต่อปี

ประเภทคอนโด ลด 22,366 kWh ต่อปี

วัสดุฉนวน ได้แก่ **ฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว** โดยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นจากอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

ประเภทบ้านเดี่ยว ลด 307 kWh ต่อปี

ประเภทบ้านแฝด ลด 297 kWh ต่อปี

ประเภททาวน์เฮ้าส์ ลด 2,682 kWh ต่อปี

ประเภทคอนโด ลด 21,760 kWh ต่อปี

ผลการวิจัยสามารถสรุปค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากการทำความเย็นเพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเป็นร้อยละได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นจากวัสดุกรอบอาคารทางเลือก

รายการวัสดุ		บ้านเดี่ยว 2 ชั้น 50 m^2	บ้านแฝด 2 ชั้น 184 m^2	ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น 500 m^2	คอนโด 4 ชั้น 1,324 m^2
กรณีศึกษา	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	2,870	12,777	22,318	150,196
คอนกรีตมวลเบา	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	1,797	9,172	12,656	107,305
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	1,073	3,605	9,662	42,891
	ลดลงร้อยละ	**37**	**28**	**43**	**29**
กระจกตัดแสง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	2,285	12,231	17,935	127,830
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	585	546	4,383	22,366
	ลดลงร้อยละ	**20**	**4**	**20**	**15**

กระเบื้องหลังคาดินเผา	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	2,489	12,414	18,893	148,246
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	381	363	3,425	1,950
	ลดลงร้อยละ	**13**	**3**	**15**	**1**
ฉนวนใยแก้ว	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	2,563	12,480	19,636	128,436
	พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	307	297	2,682	21,760
	ลดลงร้อยละ	**11**	**2**	**12**	**14**

หมายเหตุ: หน่วย kWh/year

5.3 นำเสนอวัสดุกรอบอาคารทางเลือกสำหรับอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐเพื่อเป็นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการศึกษาในหัวข้อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุกรอบอาคารและการศึกษาค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากการทำความเย็นที่มีผลมาจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารนั้น สามารถสรุปผลการศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารทางเลือกเพื่อใช้ในการจำลองกรณีอาคารทางเลือกได้ดังนี้

วัสดุก่อผนัง: คอนกรีตมวลเบา

วัสดุหลังคา: กระเบื้องหลังคาดินเผา

วัสดุกระจก: กระจกตัดแสงสีเทาหนา 6 มม.

วัสดุฉนวน: ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว

เมื่อสามารถสรุปผลการศึกษาเพื่อนำเสนอวัสดุกรอบอาคารทางเลือกที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด รวมถึงมีประสิทธิภาพในการลดภาระการทำความเย็นมากที่สุดแล้ว จากนั้นจะนำวัสดุทางเลือกเหล่านี้ไป จำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 อีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำการเปรียบเทียบการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมระหว่างอาคารกรณีศึกษากับอาคารที่ใช้วัสดุกรอบอาคารทางเลือก

5.4 สรุปผลการจำลองการใช้พลังงานระหว่างกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีทางเลือก

ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้มากที่สุดคือกรอบอาคารทางเลือกซึ่งประกอบไปด้วย วัสดุคอนกรีตมวลเบา กระเบื้องหลังคาดินเผา กระจกตัดแสง สีเทาหนา 6 มม. และฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว บริเวณเหนือฝ้าเพดาน เมื่อได้ผลการกำหนดกรณีศึกษาของวัสดุที่ดีที่สุดในการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือน

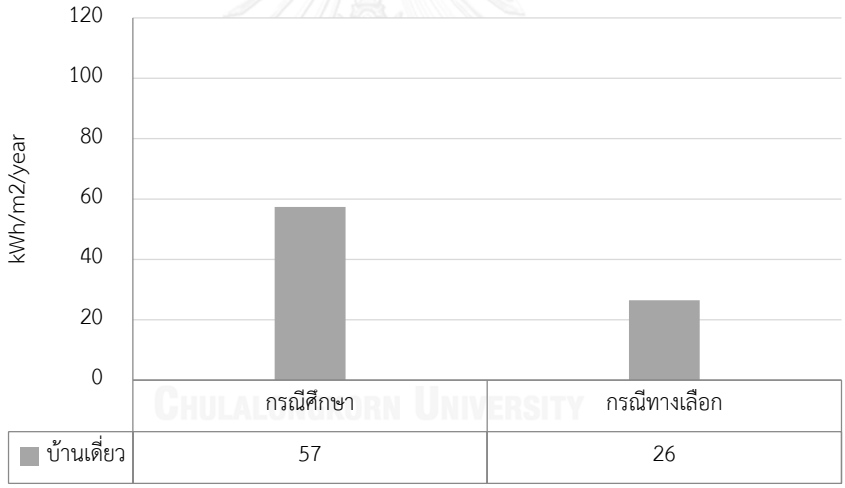
กระจกมาแล้ว จากนั้นจึงนำวัสดุที่ได้ไปทำการจำลองร่วมกันโดยแทนที่วัสดุกรอบอาคารเดิมทั้งหมดในอาคารกรณีศึกษาคือ

อาคารกรณีศึกษา กำหนดวัสดุคือ อิฐมอญ + กระเบื้องหลังคาคอนกรีต +กระจกใสหนา 6 มม. และไม่มีฉนวนเหนือฝ้า

อาคารทางเลือก กำหนดวัสดุคือ คอนกรีตมวลเบา + กระเบื้องหลังคาดินเผา+กระจกตัดแสงสีเทาหนา 6 มม. และฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว บริเวณเหนือฝ้าเพดาน

เมื่อได้การจำลองอาคารกรณีศึกษาทางเลือกที่สมบูรณ์ดังข้างต้นแล้ว จึงทำการจำลองการใช้พลังงานจากอาคารที่ปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารทั้งหมดอีกครั้ง เพื่อนำค่าพลังงานที่ได้ผลจากการจำลอง มาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ ได้ผลการศึกษาดังแผนภูมิที่ 5.1-5.4

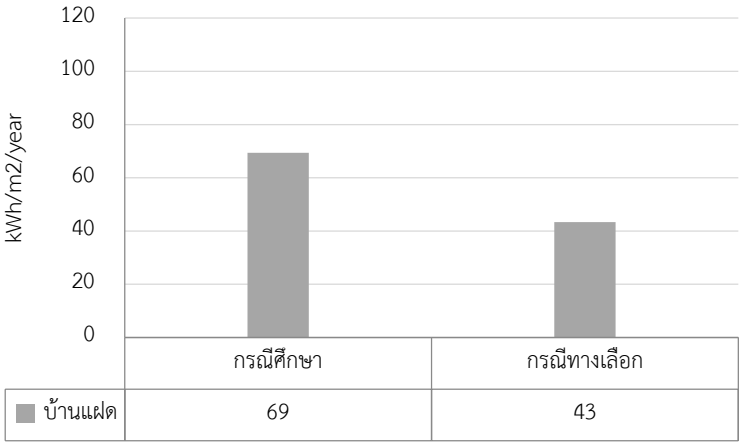
บ้านเดี่ยว พื้นที่ใช้สอย 50 ตร.ม.



แผนภูมิที่ 5.1 ค่าการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือก ประเภทบ้านเดี่ยว

ผลการจำลองการใช้พลังงานจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารในบ้านเดี่ยว 2 ชั้น เทียบกับอาคารกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าต่อปีลง 1,548 kWh/year ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงลง 868 $kgCO_2eq$ หรือลดลงร้อยละ 53

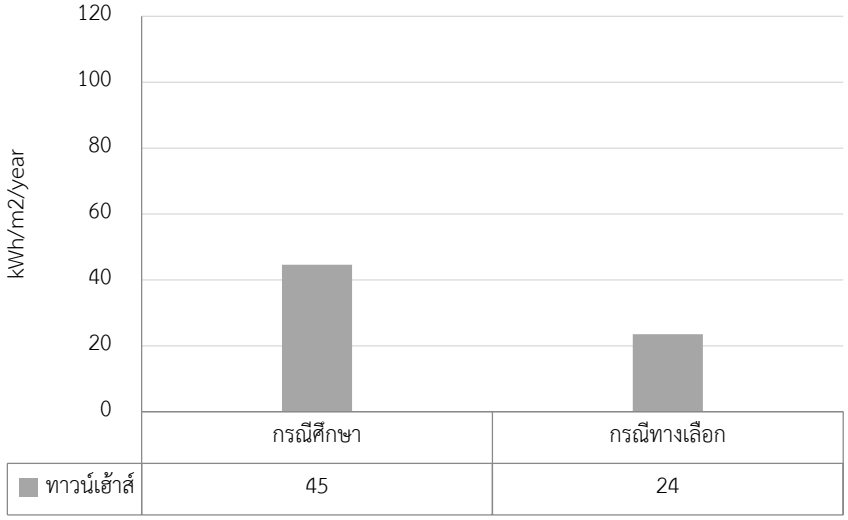
<u>บ้านแฝด</u> พื้นที่ใช้สอย 184 ตร.ม.



แผนภูมิที่ 5.2 ค่าการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือก ประเภทบ้านแฝด

ผลการจำลองการใช้พลังงานจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารในบ้านแฝด 2 ชั้น เทียบกับอาคารกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าลง 4,801 kWh/year ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงลง 2,693 $kgCO_2eq$ หรือลดลงร้อยละ 37

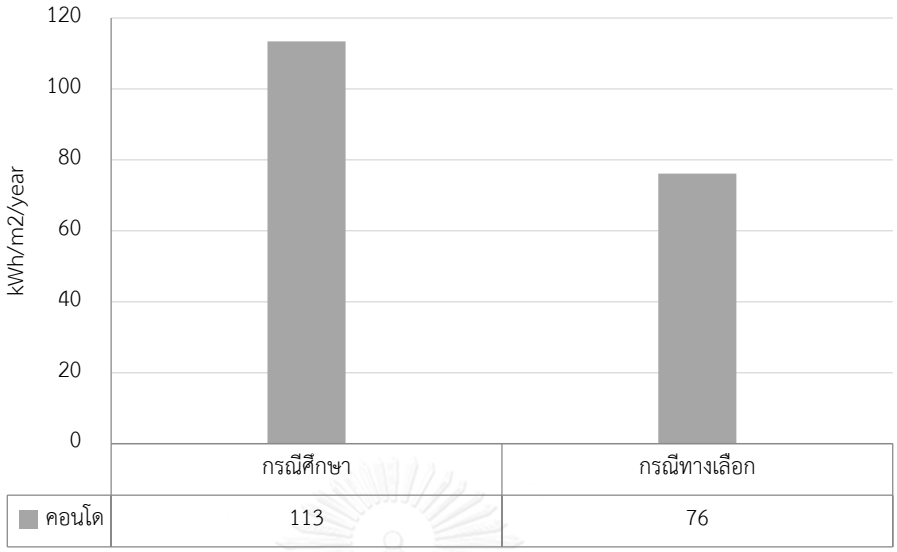
<u>ทาวน์เฮ้าส์</u> พื้นที่ใช้สอย 500 ตร.ม.



แผนภูมิที่ 5.3 ค่าการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือก ประเภททาวน์เฮ้าส์

ผลการจำลองการใช้พลังงานจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารในทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น เทียบกับอาคารกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าลง 10,547 kWh/year ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง 5,916 $kgCO_2eq$ หรือลดลงร้อยละ 47

<u>คอนโด</u> พื้นที่ใช้สอย 1,324 ตร.ม.



แผนภูมิที่ 5.4 ค่าการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำความเย็นระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือก ประเภทคอนโด

ผลการจำลองการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารในคอนโด 4 ชั้น เทียบกับอาคารกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าลง 49,417 kWh/year ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงลง 27,722 kgCO_2eq หรือลดลงร้อยละ 33

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารด้วยวัสดุทางเลือก ตามกรณีอาคารทางเลือกที่แสดงไว้ข้างต้นแล้ว ผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นจะสามารถสรุปรายละเอียด และเปรียบเทียบผลได้ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รายการ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น		บ้านแฝด 2 ชั้น		ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น		คอนโด 4 ชั้น	
	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก
ปริมาณใช้ไฟฟ้า kWh/y	2,870	1,322	12,777	7,976	22,318	11,771	150,196	100,779
ผลต่าง kWh/y	1,548		4,801		10,547		49,417	

รายการ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น		บ้านแฝด 2 ชั้น		ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น		คอนโด 4 ชั้น	
	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก	กรณีศึกษา	กรณีทางเลือก
Total LC GHG 30 year	48,300	**22,230**	215,010	**134,220**	375,600	**198,090**	2,527,770	**1,696,110**
ผลต่าง GHG	**26,070**		**80,790**		**177,510**		**831,660**	

หมายเหตุ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) EF พลังงานไฟฟ้า/1 หน่วย คือ 0.561 $kgCO_2eq$

จากนั้นจึงทำการสรุปผลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากวัสดุกรอบอาคารชนิดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 5. 4

ตารางที่ 5.4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำความเย็น

รายการ	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น		บ้านแฝด 2 ชั้น		ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น		คอนโด 4 ชั้น	
	กรณีศึกษา	วัสดุทางเลือก	กรณีศึกษา	วัสดุทางเลือก	กรณีศึกษา	วัสดุทางเลือก	กรณีศึกษา	วัสดุทางเลือก
กระเบื้องหลังคา	992	627	2,024	1,279	7,997	5,053	11,847	7,486
วัสดุก่อ	2,975	1,074	6,404	2,312	29,048	10,485	51,615	18,270
กระเบื้องเซรามิค	5,380	5,380	10,761	10,761	37,665	37,665	218,515	218,515
กระจก	236	236	783	783	2,287	2,287	41,183	41,183
Total GHG	20,477	**18,211**	50,508	**45,671**	214,877	**193,370**	808,927	**771,221**
ผลต่าง	**2,266**		**4,837**		**21,507**		**37,706**	
ลดลงร้อยละ	**11**		**9**		**10**		**5**	

หมายเหตุ หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย ($kgCO_2eq$)

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 นั้น สามารถนำมาสรุปผลการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทั้งช่วงการใช้งานอาคารและจากส่วนวัสดุประกอบอาคารกรณีอาคารทางเลือกที่ปรับเปลี่ยนตามผลการศึกษา ได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงการใช้งานอาคารและวัสดุกรอบอาคารจากกรณีอาคารทางเลือก

รายการ	หน่วย	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
พื้นที่อาคาร	ตารางเมตร	50	184	500	1324
Embodied CO_2 ในวัสดุอาคาร	$kgCO_2$	18,211	45,671	193,370	771,221
Operation CO_2 30 year	$kgCO_2$	22,230	134,220	198,090	1,696,110
Total CO_2 (Embodied + Operation)	$kgCO_2$	40,441	179,891	391,460	2,467,331
% of Embodied CO_2 จาก Total Life CO_2	%	45	25	49	31
Total Life CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร	$kgCO_2/m^2$	808	977	782	1,863
Total Life CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร	$TonCO_2/m^2$	0.81	0.98	0.78	1.86

5.5 สรุปผลการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีวิเคราะห์ผลการคืนทุนอย่างง่ายซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการในวิเคราะห์ผลในการลงทุนทั่ว ๆ ไป เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารด้วยวัสดุทางเลือกตามที่ได้สรุปผลการศึกษาในหัวข้อที่ 5.4 แล้วจะสามารถนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณตามสมการการหาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ได้ผลดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ระยะเวลาคุ้มทุนของอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร

ประเภทอาคาร	ราคาค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น (บาท)	ลดค่าไฟต่อปีได้ (บาท)	คุ้มทุนใน (ปี)
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น อาคารทางเลือก	71,371	10,836	6

บ้านแฝด 2 ชั้น อาคารทางเลือก	92,024	33,607	3
ทาวน์เฮ้าส์ 2 อาคารทางเลือก	332,583	73,829	5
คอนโด 4 ชั้น อาคารทางเลือก	1,050,459	345,919	4

5.6 สรุปผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

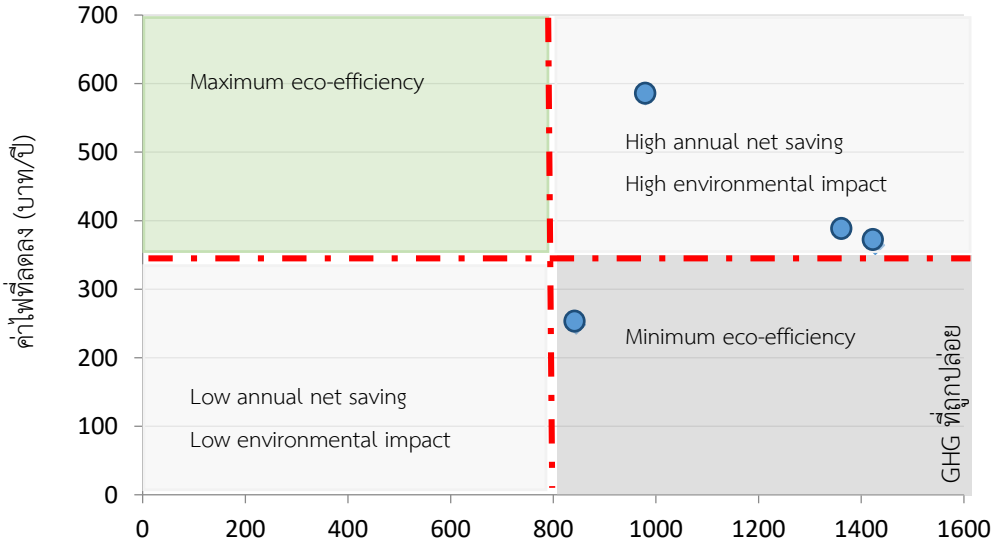
เมื่อทำการศึกษาจำลองการใช้พลังงานในการทำความเย็นรวมถึงการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้มาจากการกำหนดแนวทางวัสดุกรอบอาคารทางเลือก โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีศึกษา และกรณีทางเลือกแล้วนั้น จึงสามารถสรุปราคาค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นเพื่อนำมาศึกษาต่อในเรื่องของความคุ้มค่าเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ประเภทอาคาร	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย จากวัสดุกรอบอาคารและการใช้พลังงาน ($kgCO_2eq$)	eco-efficiency	eco-efficiency ที่เพิ่มขึ้น (เท่า)
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น อาคารกรณีศึกษา	2,870	20,477	1.40	2.50
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น อาคารทางเลือก	1,322	18,211	3.90	
บ้านแฝด 2 ชั้น อาคารกรณีศึกษา	12,777	50,508	1.25	2.15
บ้านแฝด 2 ชั้น อาคารทางเลือก	7,976	45,671	3.40	
ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้นอาคารกรณีศึกษา	22,318	214,877	1.30	2.20
ทาวน์เฮ้าส์ 2 อาคารทางเลือก	11,771	193,370	3.50	
คอนโด 4 ชั้น อาคารกรณีศึกษา	150,196	808,927	0.73	0.73
คอนโด 4 ชั้น อาคารทางเลือก	100,779	771,221	1.46	

เมื่อทำการคำนวณจนได้ผลค่า eco-efficiency ออกมาแล้วนั้นจะนำเกณฑ์ในการศึกษาความเหมาะสมของความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจโดย Carla Rodrigues และ Fausto Freire (2017) มาใช้เพื่อแสดงค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจ แสดงดังภาพที่ 5.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุทางเลือกในงานศึกษานี้ยังมีประสิทธิภาพในเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่สูงคือ มีค่าประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือ

embodied energy สูงเช่นกัน ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุทางเลือกจึงควรเป็นวัสดุที่มีค่าประสิทธิภาพด้านการลดการใช้พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย



ภาพที่ 5.2 ค่าประสิทธิภาพความคุ้มทุนของนิเวศเศรษฐกิจ

5.7 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบกับแนวทางการศึกษาของเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมานั้น แสดงให้เห็นถึงความพยายามในการพัฒนาเพื่อหาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีมาโดยตลอด ทั้งนี้สามารถสรุปงานวิจัยที่ผ่านมาและมีเนื้อหาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้คือการศึกษาของ อรรจน์ เศรษฐบุตร (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2554) ในเรื่องค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย ด้วยวิธีการประเมินตลอดช่วงก่อสร้างและใช้งาน ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สรุปในตารางที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษานั้นมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุประกอบอาคาร พบว่า วัสดุที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ วัสดุกระเบื้องหลังคาคอนกรีต ผนังก่ออิฐมอญ และโครงสร้างคอนกรีต การวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากวัสดุด้วยการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารนี้จะมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งหากพิจารณาถึงการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของอาคาร 30 ปี การใช้สอยอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการทำความเย็น เมื่อรวมกันทั้งหมดแล้วนั้น อาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ สูงกว่าอาคารที่มีพื้นที่น้อย เนื่องมาจากความหนาแน่นต่อพื้นที่ที่มากกว่า และสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร ($TonCO_2/m^2$) ของ

อาคารขนาดเล็กมีค่าสูงเมื่อเทียบกับอาคารขนาดใหญ่ก็คือพื้นที่วัสดุผนังอาคารทั้งภายนอก และผนังกั้นห้องภายใน ซึ่งมีปริมาณเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบสัดส่วนกับพื้นที่และปริมาตรของทั้งอาคาร เช่น บ้านแฝดนั้นในรูปแบบของบ้านประชารัฐจะไม่ได้มีการใช้ผนังร่วมกัน ในขณะที่ปริมาณการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับจำนวนคนที่อาศัย กิจกรรมการทำงาน และช่วงเวลาใช้สอยอาคารเป็นหลัก ดังนั้นการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานในการทำความเย็นจึงช่วยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมาก

ตารางที่ 5.8 สรุปผลการวิจัยและเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย		อรรจน์ เศรษฐบุตร (2554) ค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย		ผลการศึกษา (2559) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ			
รายการ	หน่วย	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	คอนโด 7 ชั้น	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	บ้านแฝด 2 ชั้น	ทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น	คอนโด 4 ชั้น
พื้นที่อาคาร	ตร.ม.	264	9,205	50	184	500	1,324
จำนวนคนในอาคาร	คน	4	292	4	8	20	196
Embodie CO_2 ในวัสดุกรอบอาคาร	TonCO_2	146	2,096	18.21	45.67	193.37	771.22
อายุการใช้งานอาคาร	Year	30	30	30	30	30	30
Total life Cooling operation CO_2	TonCO_2	216	15,722	22.25	134.23	198.10	1,696.11
Total Life CO_2 (Embodied + Operation)	TonCO_2	362	17,818	40.46	179	391.47	2,467.33
% of Embodied CO_2 จาก Total Life CO_2	%	40%	12%	45%	25%	49%	31%
Total Life CO_2 ต่อพื้นที่อาคาร	TonCO_2 /m_2	1.37	1.93	0.80	0.97	0.78	1.86

Total Life CO_2 ต่อคนใช้อาคาร	TonCO_2 /คน	90	61	10.12	22.37	19.57	12.58

5.8 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยข้างต้น พบว่าวัสดุที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้ในการออกแบบก่อสร้างของโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติในการลดการใช้พลังงานในการทำความเย็น รวมถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงราคาและความคุ้มทุนของวัสดุ สามารถสรุปผลแนวทางการเลือกใช้วัสดุได้ดังนี้

วัสดุก่อผนัง: คอนกรีตมวลเบา

วัสดุหลังคา: กระเบื้องหลังคาดินเผา

วัสดุกระจก: กระจกตัดแสงสีเทา หนา 6 มม.

วัสดุฉนวน: ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว

และเมื่อนำแนวทางการเลือกใช้วัสดุนี้ไปทำการจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 ประเภทของโครงการบ้านประชารัฐนั้น สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

บ้านเดี่ยว 2 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 20 เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุแล้วสามารถลดค่าไฟลงได้ร้อยละ 54 และมีค่าความคุ้มทุนในการลงทุนการก่อสร้างใน 6 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 6 เท่า ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมสามารถลดลงคิดเป็นร้อยละ 14 ต่อปี

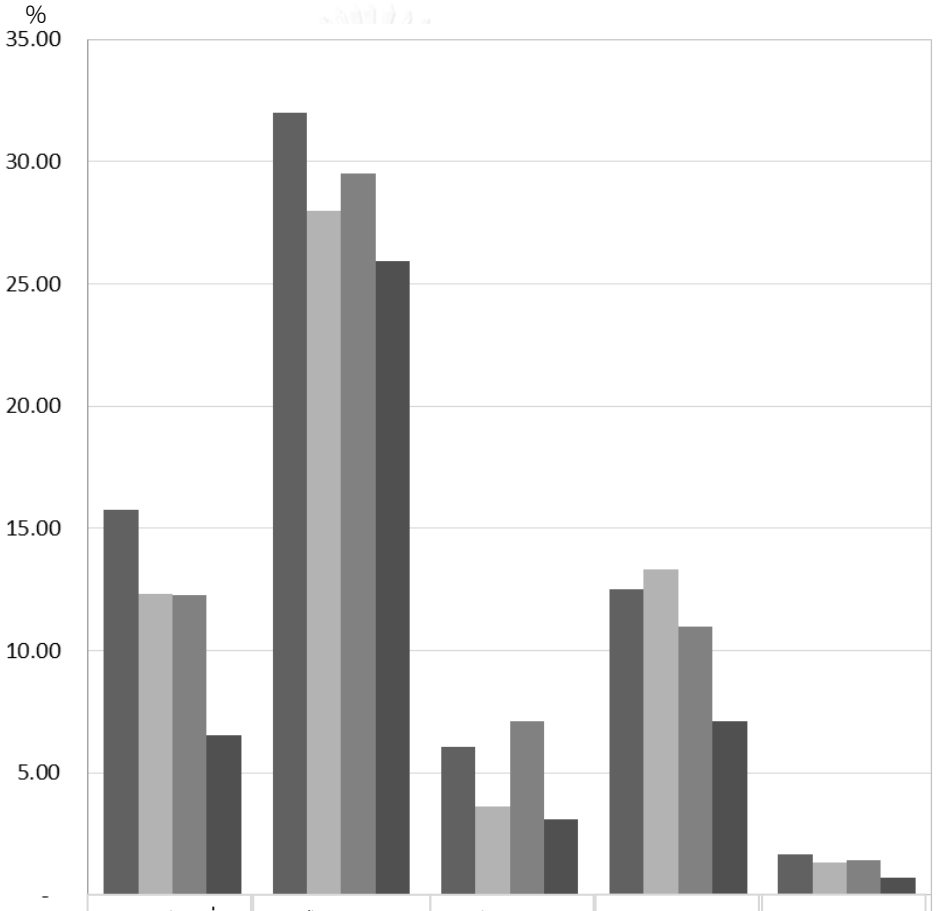
บ้านแฝด 2 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 9 เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุแล้วสามารถลดค่าไฟลงได้ร้อยละ 38 และมีค่าความคุ้มทุนในการลงทุนการก่อสร้างใน 3 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 เท่า ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมสามารถลดลงคิดเป็นร้อยละ 14 ต่อปี

ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 12.28 เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุแล้วสามารถลดค่าไฟลงได้ร้อยละ 29.50 และมีค่าความคุ้มทุนในการลงทุนการก่อสร้างใน 5 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 1.41 เท่า ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมสามารถลดลงคิดเป็นร้อยละ 10.97 ต่อปี

คอนโด 4 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 6.53 เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุแล้วสามารถลดค่าไฟลงได้ร้อยละ 25.91 และมีค่าความคุ้มทุนในการลงทุนการก่อสร้างใน 3 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 0.73 เท่า ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมสามารถลดลงคิดเป็นร้อยละ 7.11 ต่อปี

โดยสามารถสรุปได้คือ เมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุก่อกำแพงค่าตามกรอบอาคารทางเลือกที่ได้กำหนดไว้จะทำให้ลดการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นได้ดีที่สุด ซึ่งการปรับเปลี่ยนนี้แม้มีค่า

ก่อสร้างโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 แต่สามารถลดค่าไฟลงได้เฉลี่ยร้อยละ 43 และมีค่าความคุ้มทุนในการก่อสร้างโดยเฉลี่ย 4 ปี รวมถึงมีค่าประสิทธิผลเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 4 เท่า โดยมีปริมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 12 ซึ่งเมื่อคำนวณด้วยจำนวนหน่วยของการก่อสร้างในโครงการที่มีกว่า 2,751,947 หน่วย จะสามารถนำเสนอเป็นแนวทางส่งเสริมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของทั้งประเทศลงจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 20–25 ภายในปี 2573 ตามที่รัฐบาลไทยได้นำเสนอตัวเลขในการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 21 เดือนธันวาคม 2558 ณ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้สามารถสรุปรายละเอียดแสดงได้ดังแผนภูมิที่ 5.5



	ค่าก่อสร้างเพิ่ม (%)	ค่าไฟลด (%)	คุ้มทุน/ปี	CO_2 ลด $kgCO_2eq/m^2$	Eco-eff มากขึ้น (เท่า)
ท้ายบเตี่ยว	15.78	32.02	6.05	12.52	1.65
ท้ายบแฝด	12.30	27.99	3.63	13.33	1.35
ทาวน์	12.28	29.50	7.12	10.97	1.41
คอนโด	6.53	25.91	3.09	7.11	0.73

แผนภูมิที่ 5.5 สรุปผลการศึกษา

5.9 ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับประเทศไทยนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกยังมีไม่ครอบคลุมในทุกประเภทของวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้าง ทำให้ในการคำนวณ บางวัสดุที่ไทยยังไม่มีการระบุค่าสัมประสิทธิ์ จึงต้องใช้ค่าของต่างประเทศ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะที่ของประเทศนั้น ๆ จึงอาจจะส่งผลให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการจัดทำคู่มือค่าสัมประสิทธ์เฉพาะสำหรับประเทศไทยให้ครอบคลุม ครบถ้วน จึงเป็นส่วนสำคัญในการทดลองและวิจัยเพื่อหาวิธีลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2. การนำข้อมูลปริมาณการก่อสร้างรวมถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่จะเกิดขึ้นจริงในโครงการบ้านประชารัฐ ตามแผนการยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (พ.ศ. 2559-2568) ใช้ในการคำนวณนั้น เป็นไปตาม BOQ ที่ได้มาจากการเคหะแห่งชาติ หากแต่เมื่อผู้รับเหมาก่อสร้างประมูลและนำไปก่อสร้างก็อาจจะมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบรวมถึงวัสดุได้อีก ซึ่งอาจมีผลให้การวิจัยคลาดเคลื่อนไปได้

3. การศึกษานี้ได้ศึกษาในเรื่องของความคุ้มทุนต่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งราคาที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นราคาวัสดุที่เพิ่มขึ้นและราคาค่าแรงของผู้รับเหมา แต่หากเป็นราคาที่เจ้าของบ้านจะต้องจ่ายเพิ่มขึ้น ก็มักจะมีการรวมกำไรปละค่าดำเนินการของผู้รับเหมาเข้าไปอีก ดังนั้นหากมีการประสานงานกับภาครัฐในการเสนอโครงการ โดยดูจากค่าก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น และความคุ้มทุนทางนิเวศเศรษฐกิจเพื่อของบประมาณสนับสนุน ก็อาจจะแบ่งเบาภาระของเจ้าของบ้าน พร้อมทั้งเป็นการสนับสนุนนโยบายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย

4. การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการปรับเปลี่ยนที่ส่งผลต่อผู้อยู่อาศัยโดยตรง ดังนั้นเมื่อได้ผลการศึกษามาแล้ว ควรมีการนำผลการศึกษานี้ กลับไปสอบถามความคิดเห็นต่อผู้อยู่อาศัยจริงในโครงการด้วย เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับผลการศึกษา

รายการอ้างอิง

Biswas, W. K. (2014). Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia. *International Journal of Sustainable Built Environment, 3*(2), 179-186. doi: 10.1016/j.ijsbe.2014.11.004

Hanan Sareh, & Kuskana Kubaha. (2016). The Appropriate Roof for Residence in Hot and Humid Climate. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 23*, 50-59.

Houghton, J. T., Meira Filho, L.G., Treanton, K., M., I., B., . . . Callander, B. A. E. (2007). IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. *2*(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)).

Rodrigues, C., & Freire, F. (2017). Adaptive reuse of buildings: Eco-efficiency assessment of retrofit strategies for alternative uses of an historic building. *Journal of Cleaner Production, 157*, 94-105. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.104

กมลทิพย์ อรัญศิริ. (2553). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้าง. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กรมบัญชีกลาง. (2559). ราคากลางงานก่อสร้างอาคาร.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร): กระทรวงพลังงาน.

กาญจน์กรอง สุอังคะ. (2557). การประเมินด้านการประหยัดพลังงานของการออกแบบและการใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

จญาดา บุณยเกียรติ. (2537). การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ฐานันดร ปรีดากัญญารัตน์. (2556). จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน. มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทิร์น.

ณัฏฐา ตระกูลไทย. (2558). ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้น. (หลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นลินี อเนกแสน. (2554). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นิรมล สุธรรมกิจ, & ชโลทร แก่นสันติสุขมงคล. (2551). พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol). โครงการ พัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ด้านความตกลงพหุภาคีระหว่างประเทศด้านสิ่งแวดล้อม: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม. (2553). การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ปัญชลีย์ แสงคง. (2552). การใช้พื้นที่ในบ้านเดี่ยวของโครงการบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง *3.* (ปริญญาเคหพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ, & ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2554). แนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวสองชั้น โครงการบ้านเอื้ออาทร จังหวัดขอนแก่น

เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 10*.

พงษ์พิชญ์ จงศุภางครัตน์. (2554). การพัฒนาตัวแปรปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่มีบักษณะสองชั้น. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรม.

รณิดา ปานทอง. (2557). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานในอาคาร ประเภทอาคารชุดพักอาศัย: ช่วงการก่อสร้างและพักอาศัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วัชระ มั่งวิทิตกุล. (2546). สภาวะแวดล้อมของบ้านกับการประหยัดพลังงาน (Vol. 5). สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน: กระทรวงพลังงาน.

วิกรม จำนงค์จิตต์. (2545). ประสิทธิผลของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล. (2551). การพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงเศรษฐนิเวศ. *Industrial technology review, 14*(186), 152-157.

สำนักนายกรัฐมนตรี. (2559). แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี 2559–2568: สำนักนายกรัฐมนตรี.

สิริรักษ์ เจียราการ, & พัฒนะ รักความสุข. (2554). ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสร้างบ้านพักอาศัยของผู้มีรายได้น้อยในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุรพล เดชพล. (2552). แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสานักงานราชการกรณีศึกษาอาคารสานักงานอธิการบดีหลังใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2559). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) รวบรวมจากข้อมูลทุติยภูมิ สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2554). ค่าดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2556). สถาปัตยกรรมสีเขียว:การท้าทายเพื่อความยั่งยืน. วารสารอาษา*, 70*, 10:51-11:51.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.
คุณสมบัติของวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ก.1 คุณสมบัติของวัสดุ

รายการวัสดุ	**อิฐมอญ**	**คอนกรีตบล็อก**	**คอนกรีตมวลเบา**
รูปแบบกายภาพ	**ก้อน**	**ก้อน**	**ก้อน**
ราคาต่อหน่วย (บาท)	0.60	4.50	25.21 – 37.80
ราคารวมต่อ ตร.ม. (บาท).	100 - 190	200	315 - 412
ค่าแรง	44	59	120
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)	425 - 440	390	450 - 646
ขนาด (Volume) (cm^3)	7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1615 - 1650	765	550 - 640
จำนวนก้อนต่อ ตร.ม. (ก้อน,แผ่น)	145	14	8.33
น้ำหนักต่อ ตร.ม. (kg/m^2)	130	90	46.5
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อ ตร.ม. (kg/m^2)	180 - 200	130	90 – 100
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม “Q” (Thermal Transfer) (W/m^2)	30-45	-	32-42 15
ค่าการนำความร้อน “K” (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.473	0.519	0.089 - 0.132
ค่าการต้านทานความร้อน “R” (Resistivity – R value) (m^2K/W)	0.15	0.149	0.58
ค่าความจุความร้อน “C”(Thermal Capacity) (J/kg.K)	800-1,000	-	น้อยกว่าอิฐมอญ 2.5 เท่า
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว(Thermal Expansion / °C)	4.6×10^{-6}	4.5×10^{-6}	$8\text{-}10 \times 10^{-6}$
	-	-	0.13
การหดตัวเมื่อแห้ง	1.8	0.8	0.2
การต้านทานแรงอัด (kg/cm^2)	35 kg/cm^2	-	40-50
การกันเสียง (dB)	36-40	-	38-43
การทนไฟ (ชั่วโมง)	0.5 - 2	-	4
อัตราการซึมน้ำ (%)	40%	30%	30%
การยืดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)	+ 0.18	- 0.8	- 0.2

รายการวัสดุ	**ฉนวนใยแก้ว 2”** Fiber Glass	**ฉนวนเยื่อกระดาษ** Cellulose	**ยิบซั่มบอร์ด**
รูปแบบกายภาพ	ปูบนฝ้า	ปูบนฝ้า	แผ่น
ราคาต่อหน่วย (บาท)	180	300	73
ราคารวมต่อตร.ม. (บาท)	75	125	10
วัสดุ+ค่าแรง+ติดตั้ง/ตร.ม. (บาท)	95	145	21
ขนาด (Volume)	5x60x400	7.5x60x400	1.2x60x120
น้ำหนักต่อ ตร.ม. (kg/m^2)	0.5-0.8	2.5	0.9
ค่าอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสม (^oC)	- 51 ถึง 204	-	0.35
ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	16	45-80	800 + Foil
ค่าการสะท้อนความร้อน (%)	95	-	95
ค่าการดูดกลืนความร้อน (%)	5	-	5
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Transfer–Q value)(W/m^2)	0.696	-	-
ค่าการนำความร้อน (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.0365	0.029 - 0.045	0.19 + Foil
ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity–R value) (m^2K/W)	1.392	1.875	0.04 + Foil
ค่าการกันเสียง (dB)	-	>42 - 95%	65 + Foil
การทนไฟ	-	ชะลอการลามของไฟ	½ - 4 + Foil

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการวัสดุ	กระจกใส (Clear Glass)	กระจกตัดแสง (Tinted Glass)	กระจกกันความร้อน (Insulating Glass)
		Cool gray	Clear G. - Dry Air–Clear G.
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)	33	78	228
ความหนา (mm)	6	6	6-12-6
ค่าสัมประสิทธิการบังเงา (SC)	0.96	0.32	0.67
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2) ค่า U	5.762	5.93	2.17
ค่าการนำความร้อน (Conductivity–Kvalue) (W/m.K)	0.779	0.52	0.751
ค่าสะท้อนแสง Vis-R (%)	7	7	14
ค่าการส่องผ่านแสง Vis-T (%)	88	74	78
ค่าสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Solar-Energy Reflectance (%)	7	5	11
ค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Solar-Energy Transmittance (%)	80	43	61
ค่าการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ Solar-Energy Absorption (%)	13	45	28
ค่าการถ่ายเทความร้อน (เขตร้อน) U-value (W / m^2hr^oC)	5.83	3.18	3.18
ค่าการส่องผ่านแสง Vis-T/การส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์	1.10	1.72	1.28

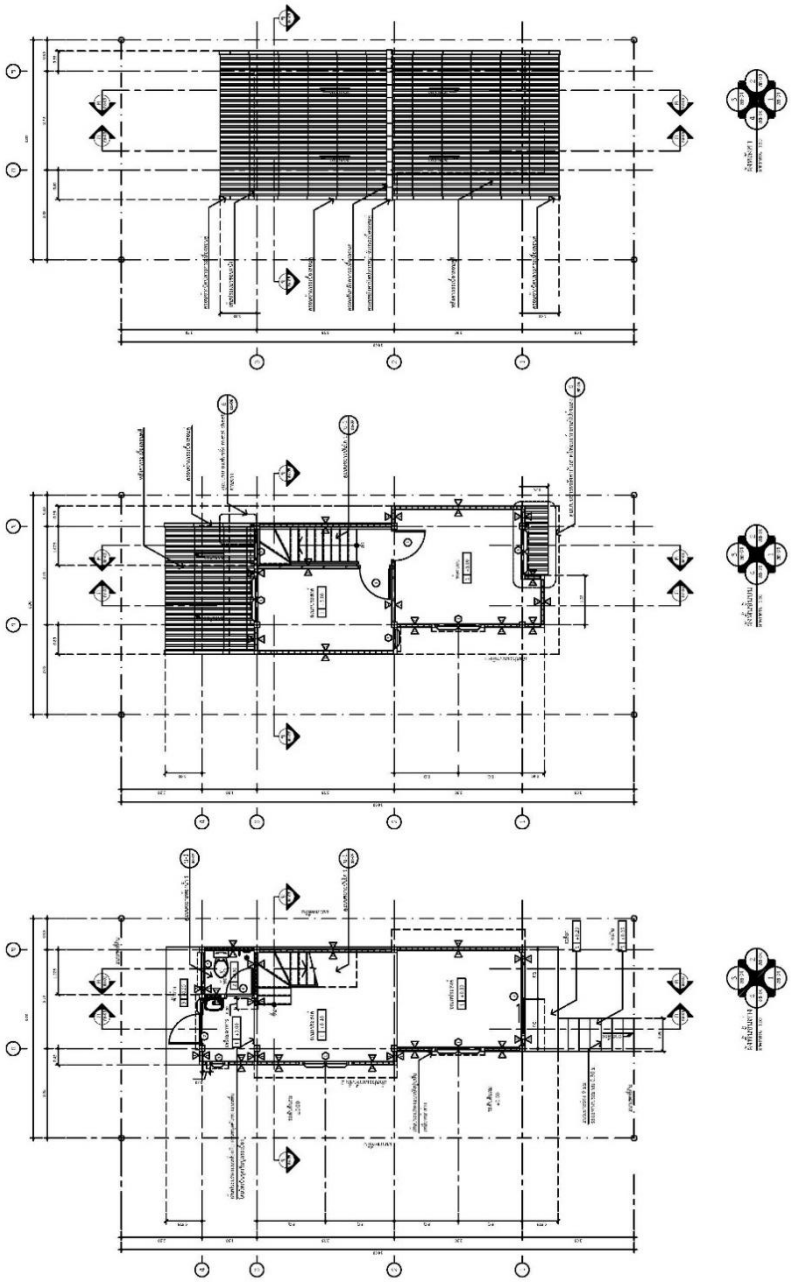
หมายเหตุ : **SC** (Shading Coefficient) **Vis-R** (Visible-Rays Reflectance) **Vis-T** (Visible-Rays Transmittance)

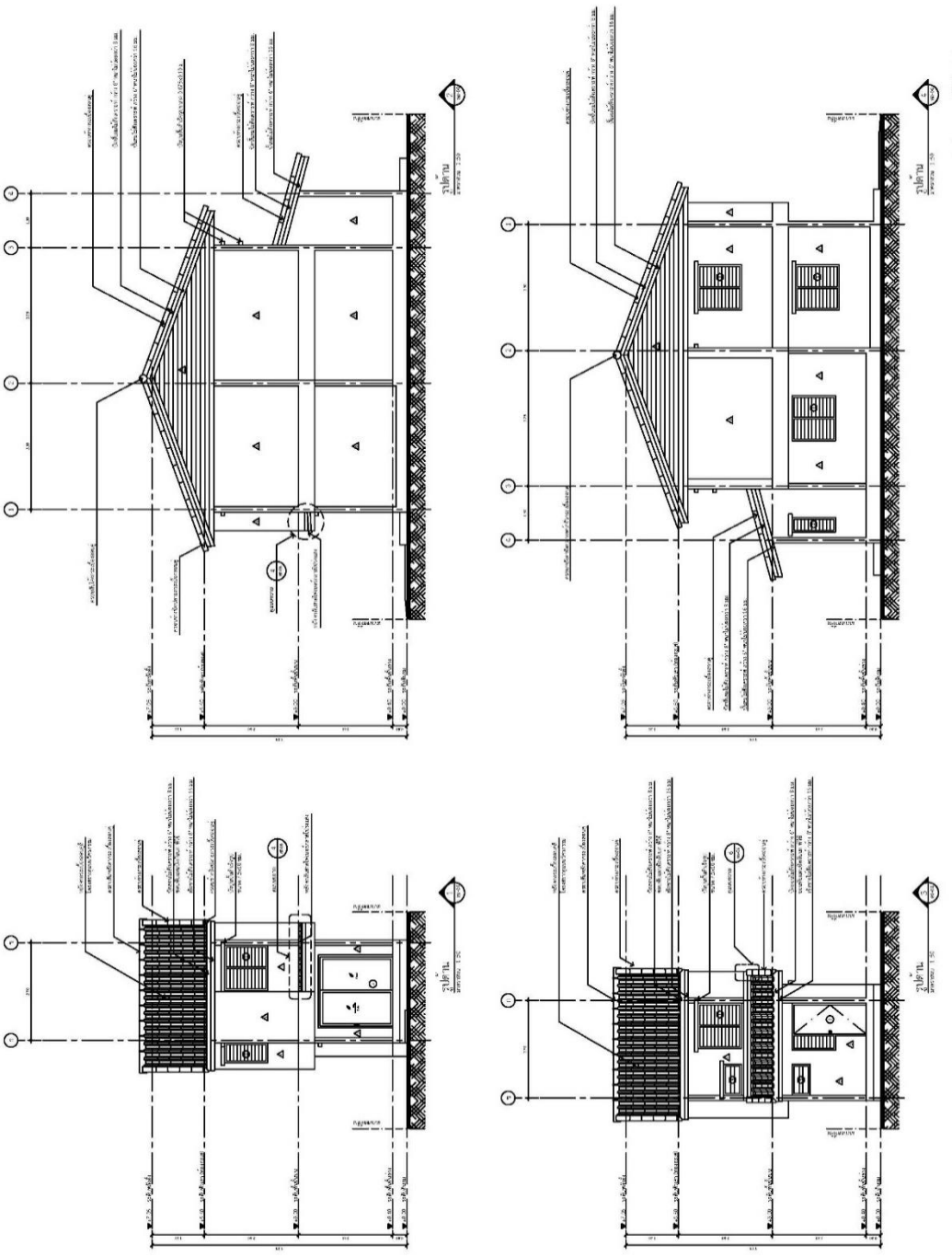
UV-T (Ultraviolet-Rays Transmittance) **RHG** (Relative Heat Gain

ภาคผนวก ข.
แบบบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ

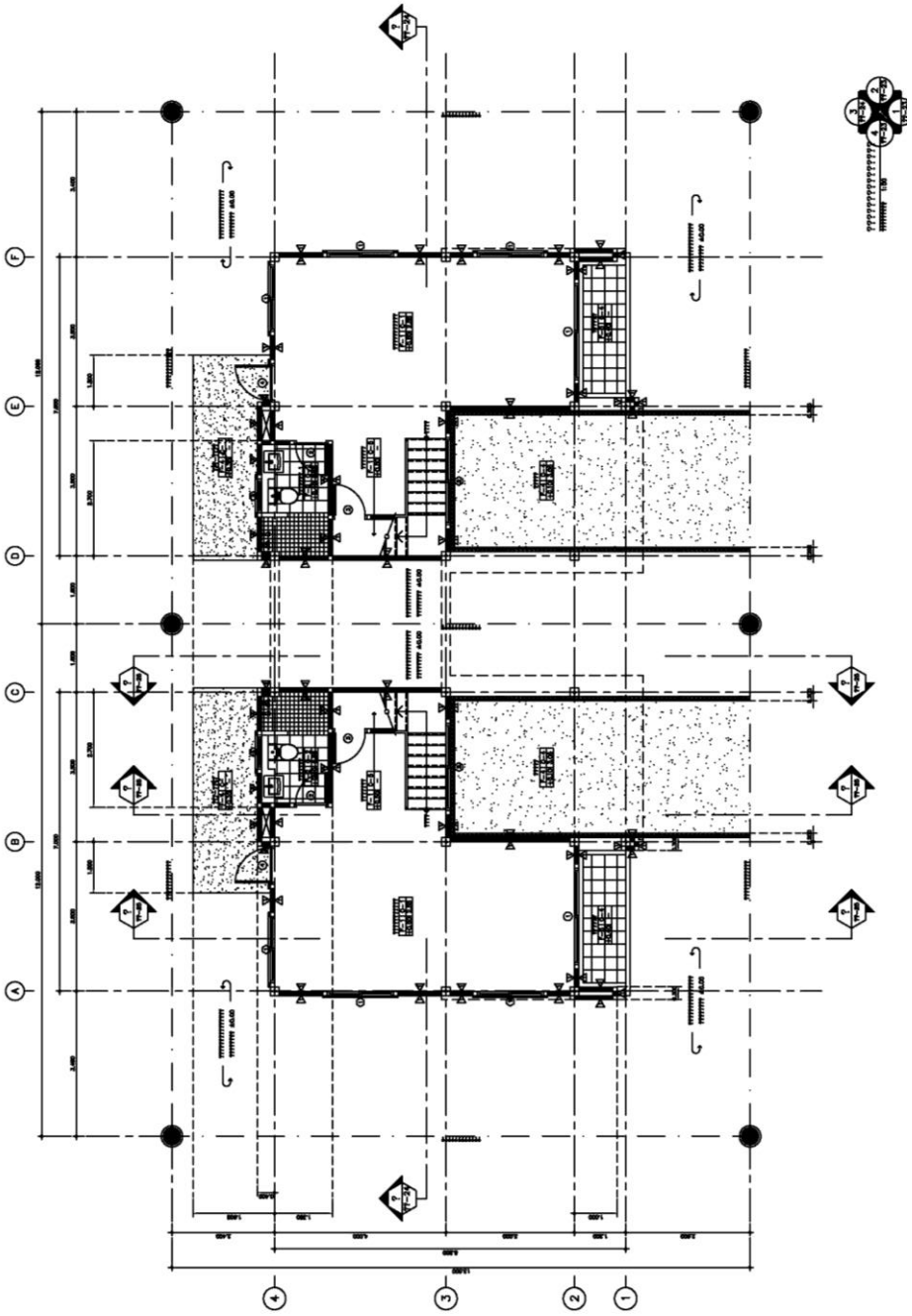
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

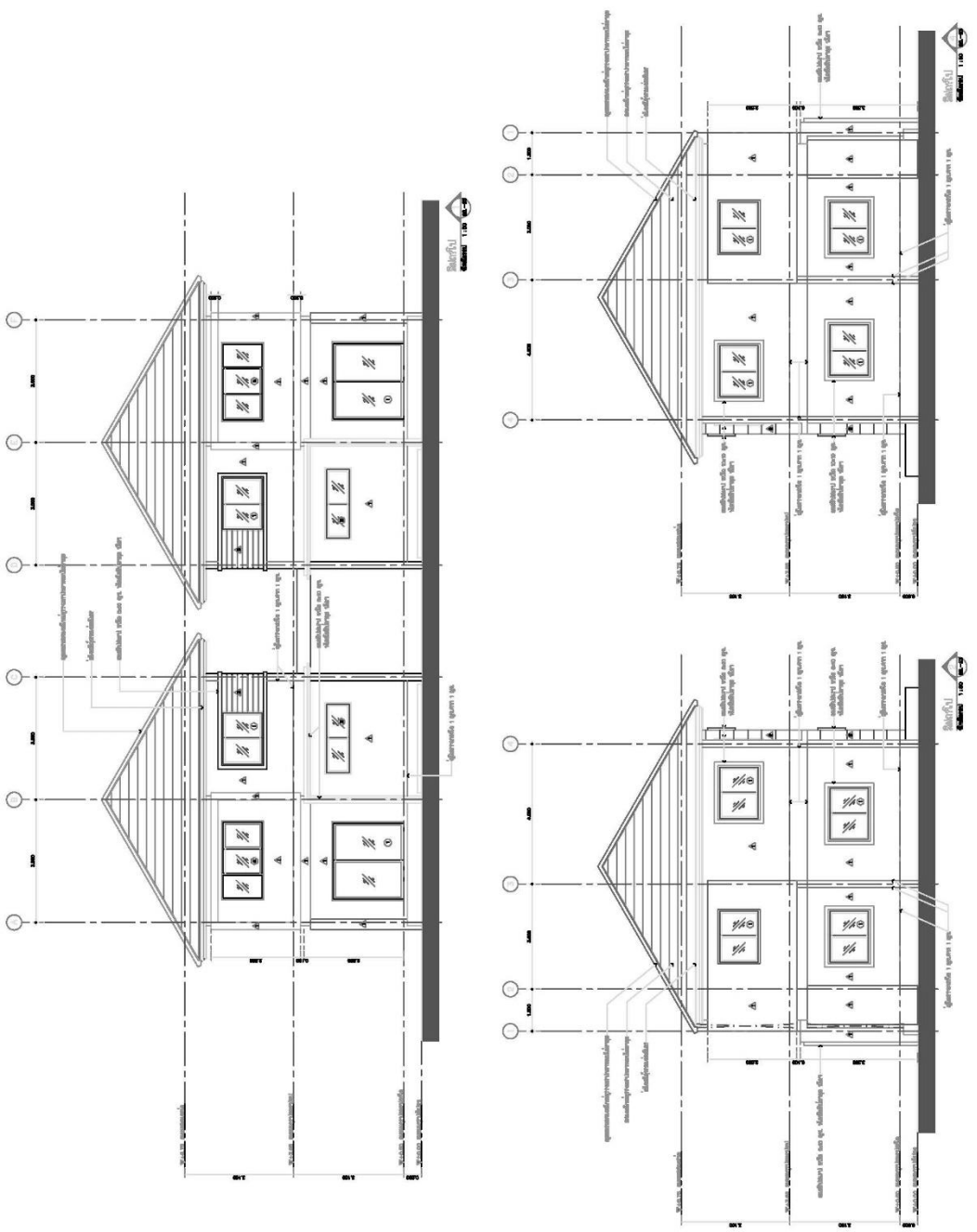
รูปแบบบ้านเดี่ยว 2 ชั้น (ที่มา:การเคหะแห่งชาติ, 2559)

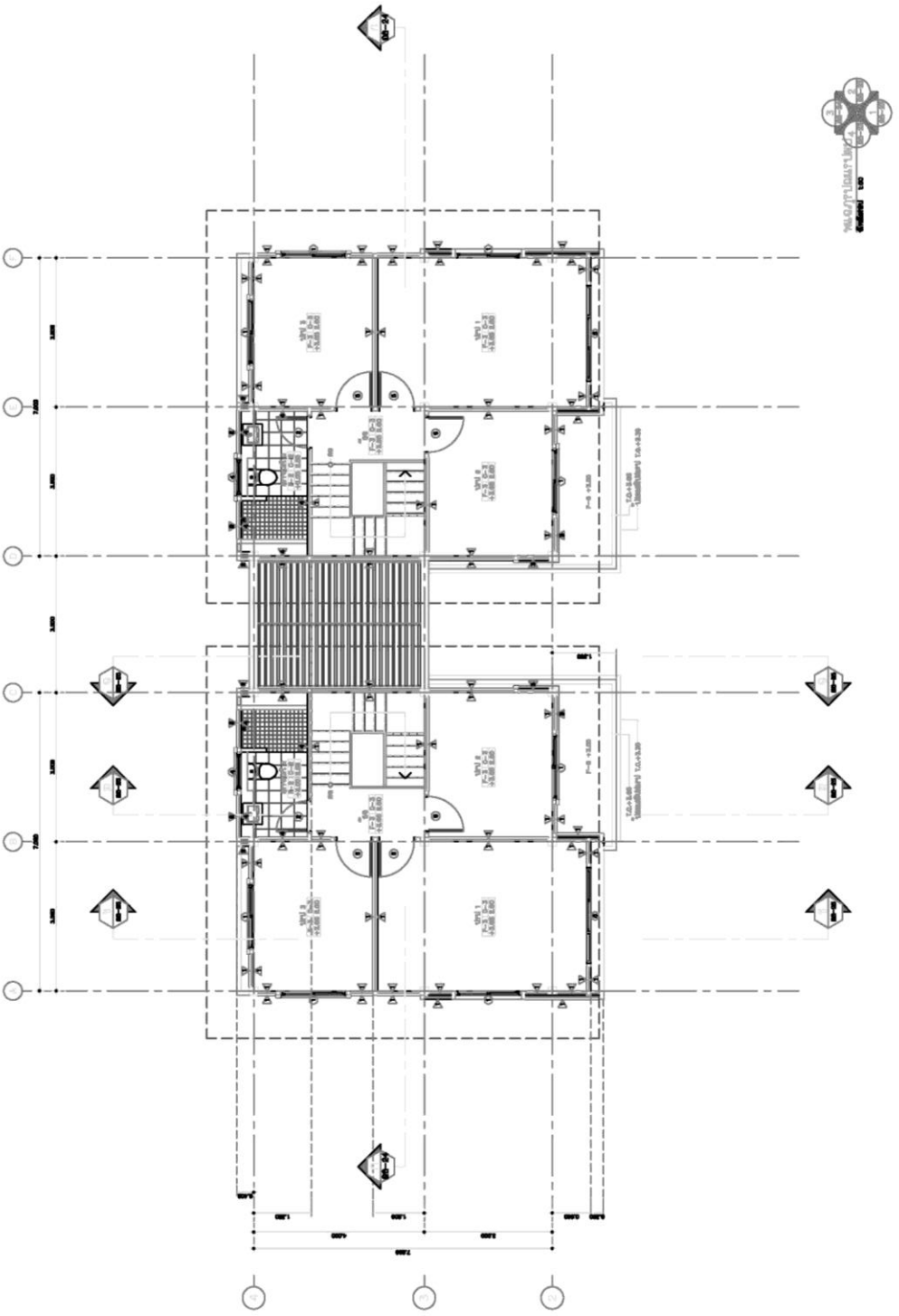




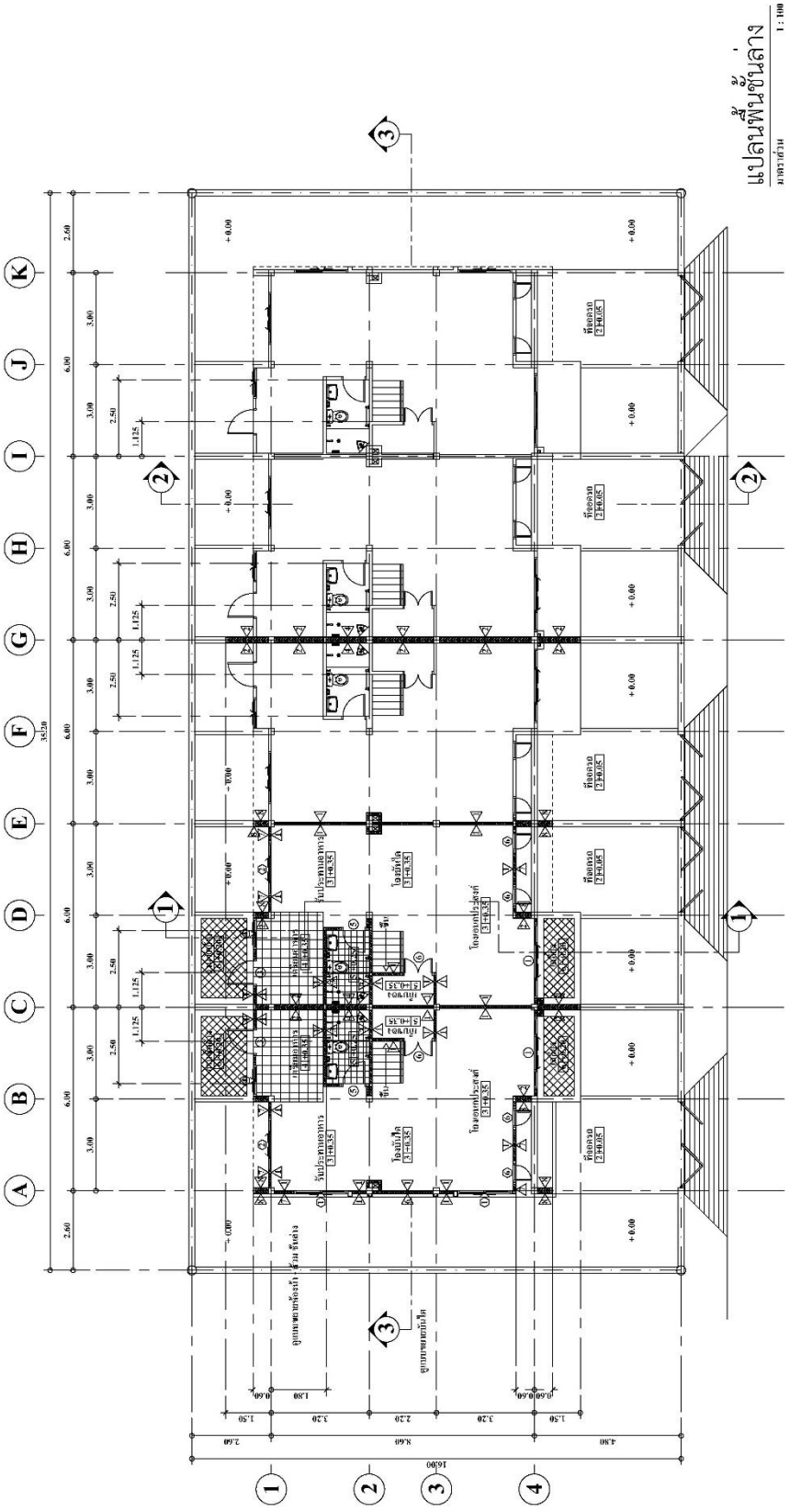
บ้านแฝด 2 ชั้น (ที่มา:การเคหะแห่งชาติ, 2559)

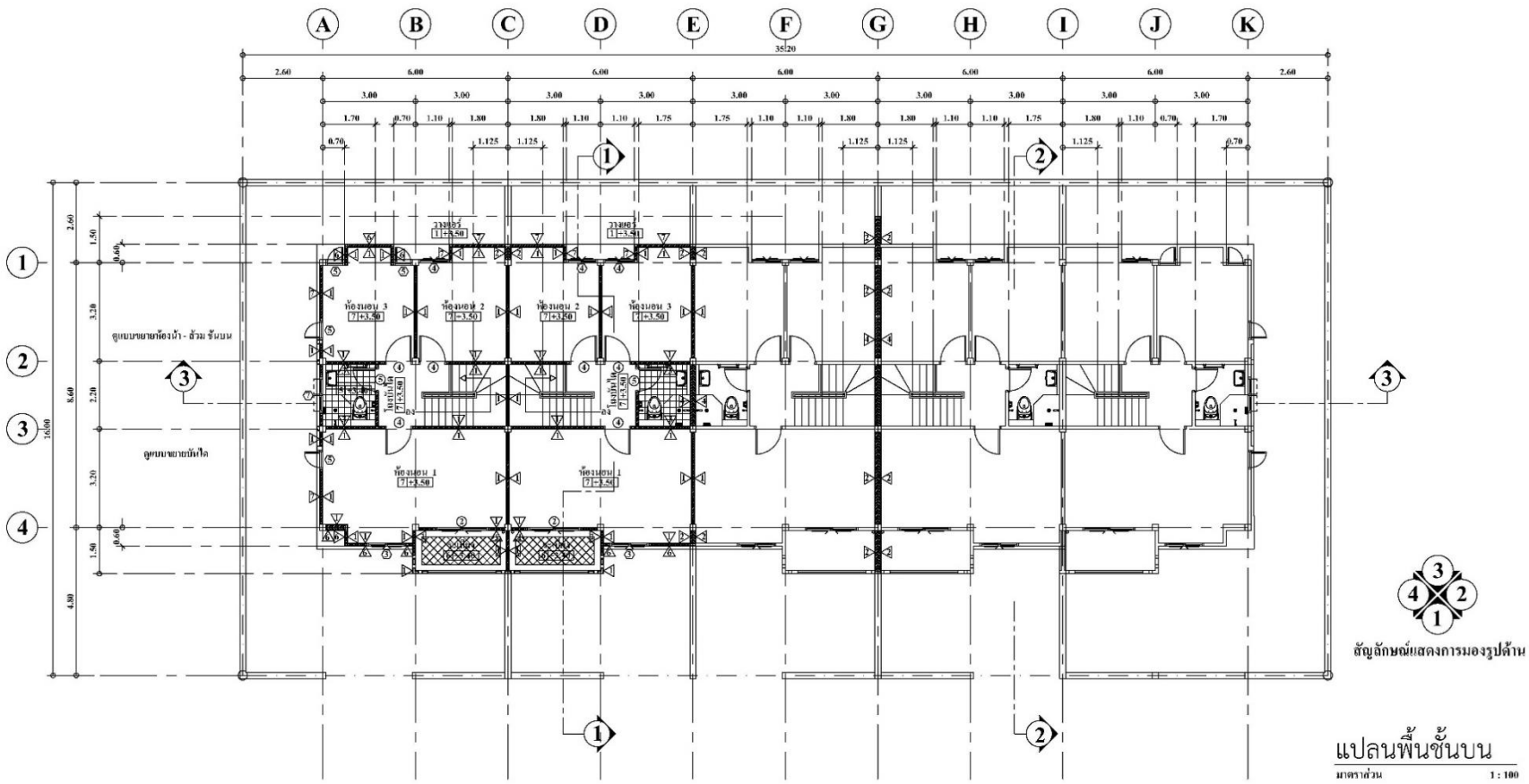






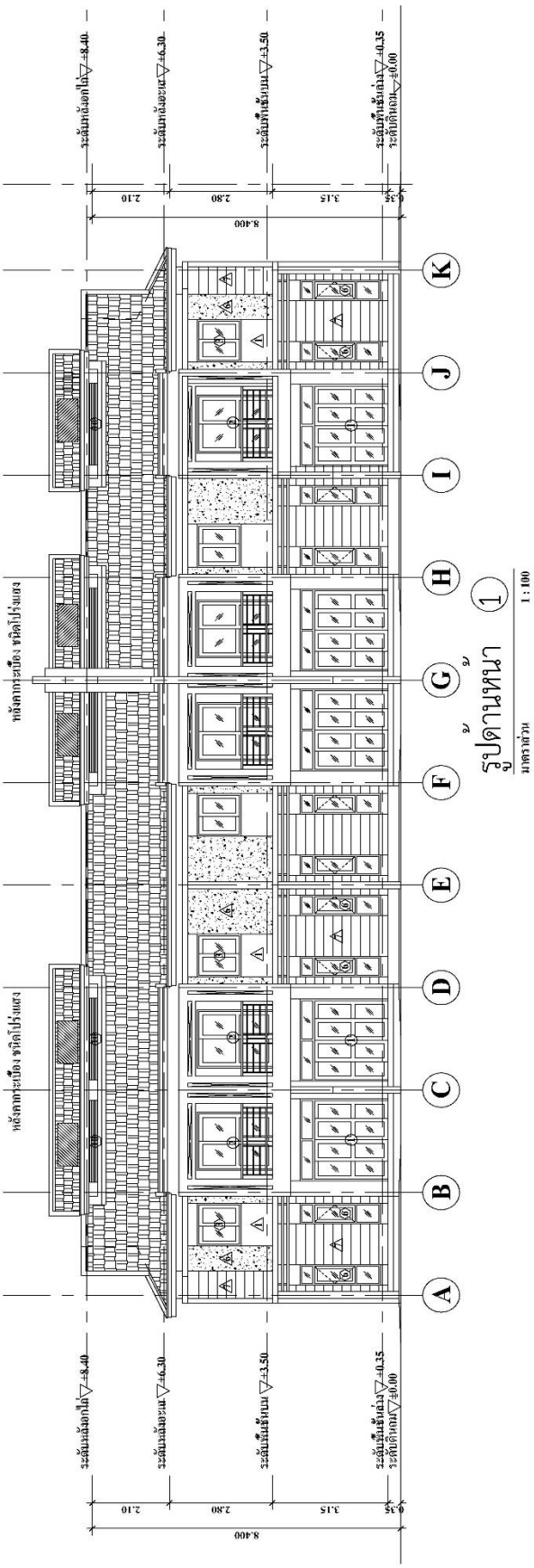
ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น (ที่มา:การเคหะแห่งชาติ, 2559)

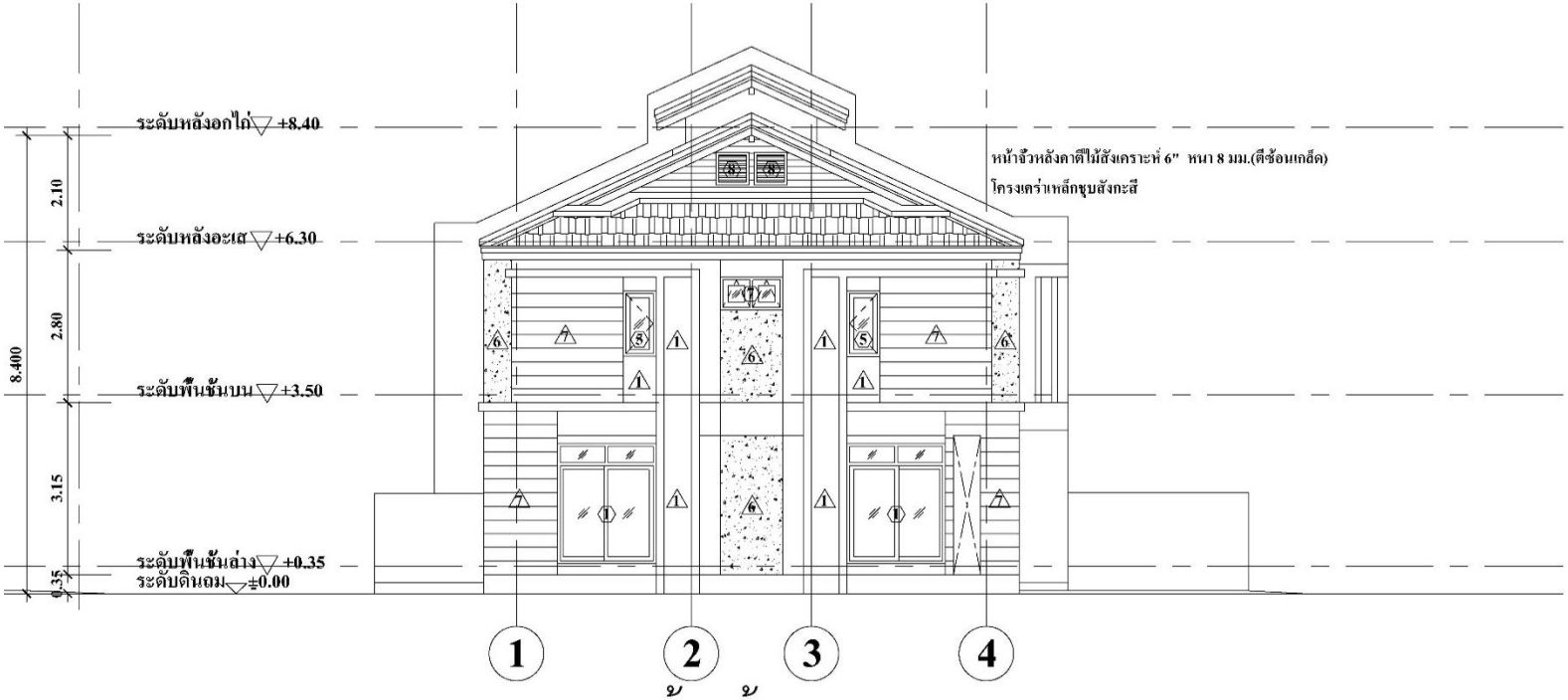




แปลนพื้นชั้นบน

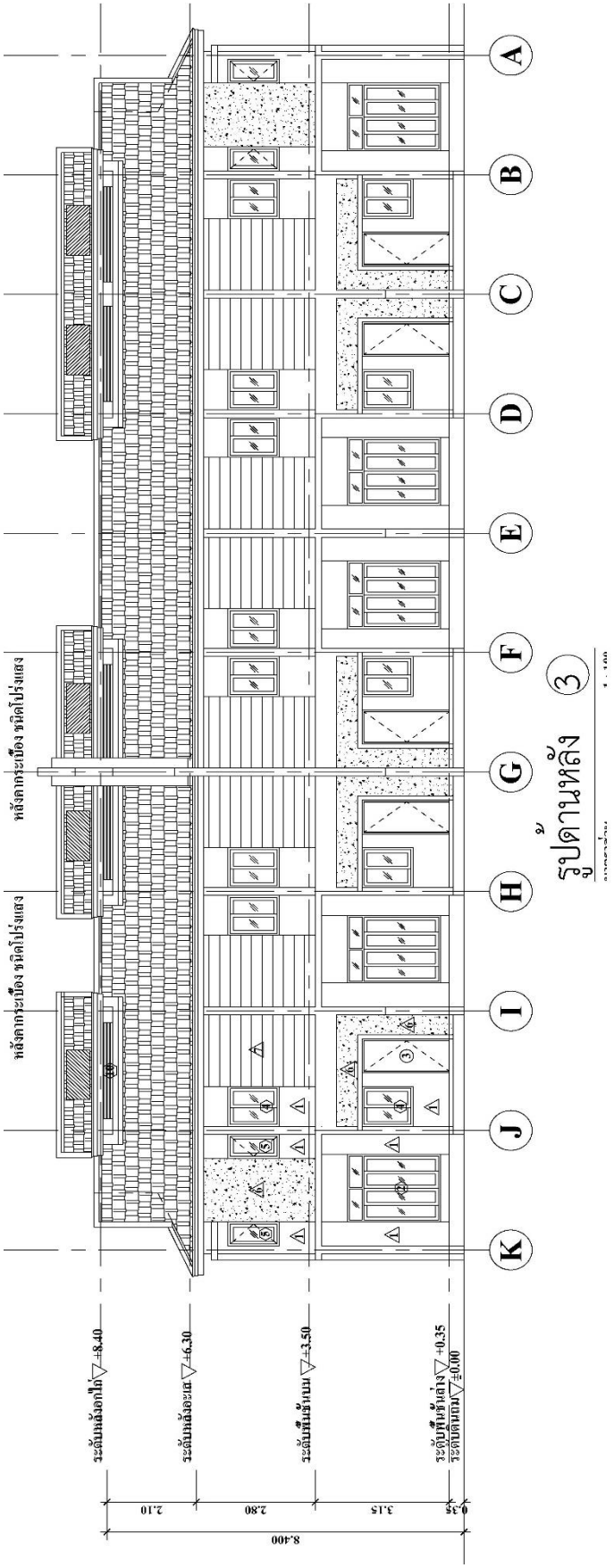
มาตราส่วน 1 : 100


รูปด้านหน้า 1
1 : 100
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
8,400
2.10
2.80
3.15
0.35
+8.40
+6.30
+3.50
+0.35
±0.00



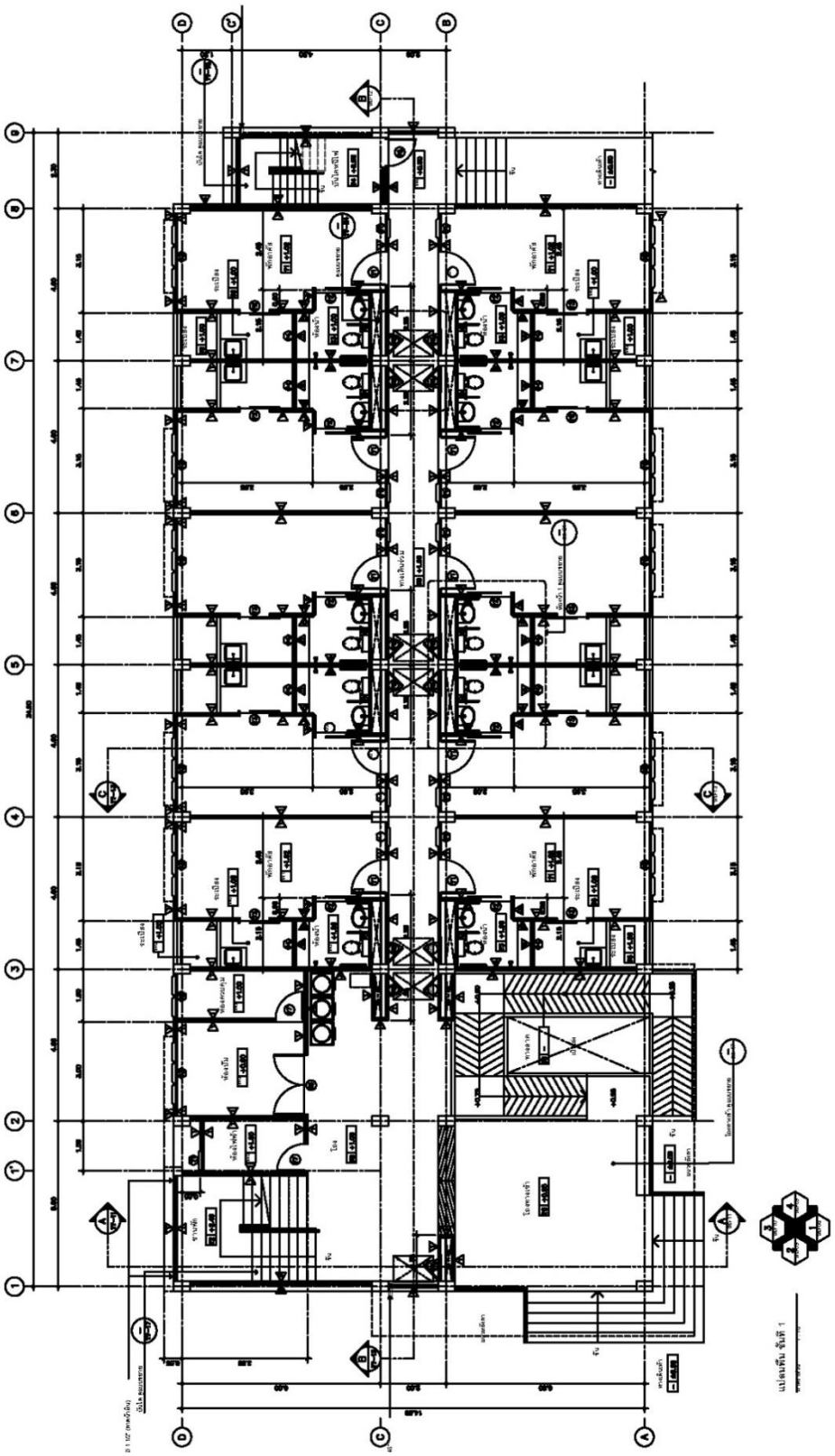
รูปด้านข้าง 4

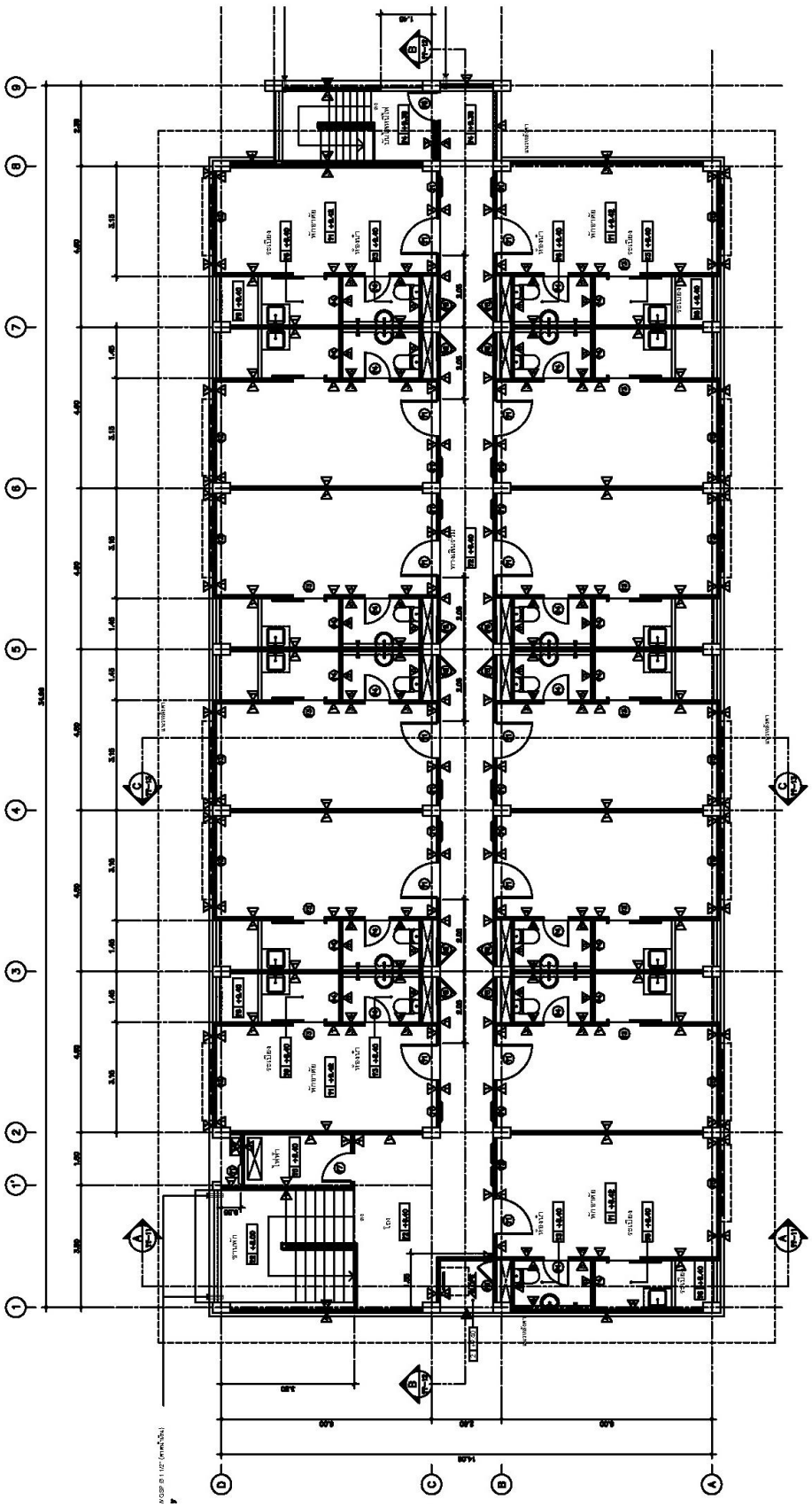
มาตราส่วน 1 : 100

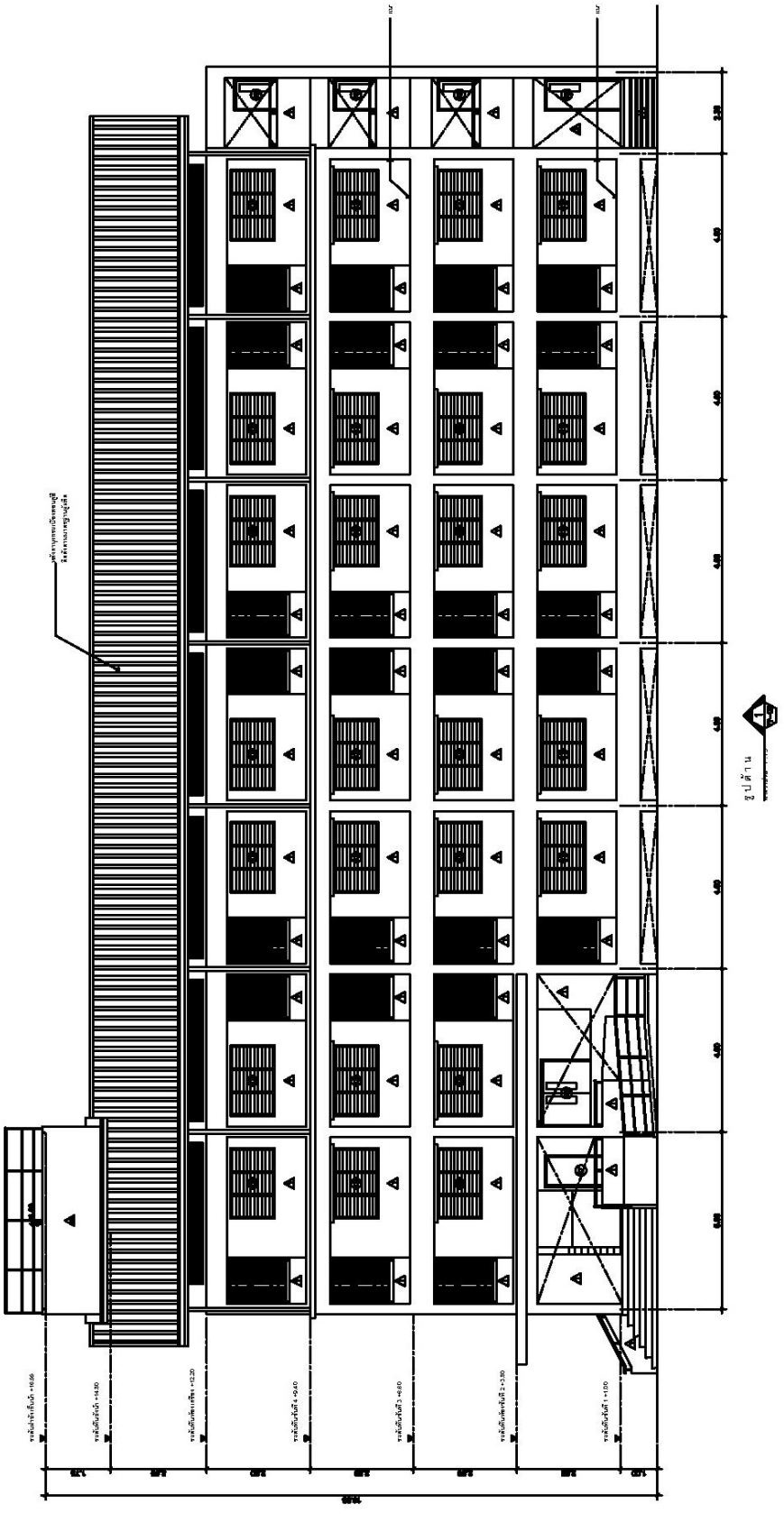

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
หลังคากระเบื้อง ชนิดโปร่งแสง
หลังคากระเบื้อง ชนิดโปร่งแสง
ระดับขอบหลังคาด้านหน้า +8.40
ระดับขอบหลังคาด้านหลัง +6.30
ระดับพื้นชั้นที่ 2 +3.50
ระดับพื้นชั้นล่าง +0.35
ระดับพื้นดินถมบดอัดแน่น ±0.00
2.10
2.80
3.15
0.35
8,400

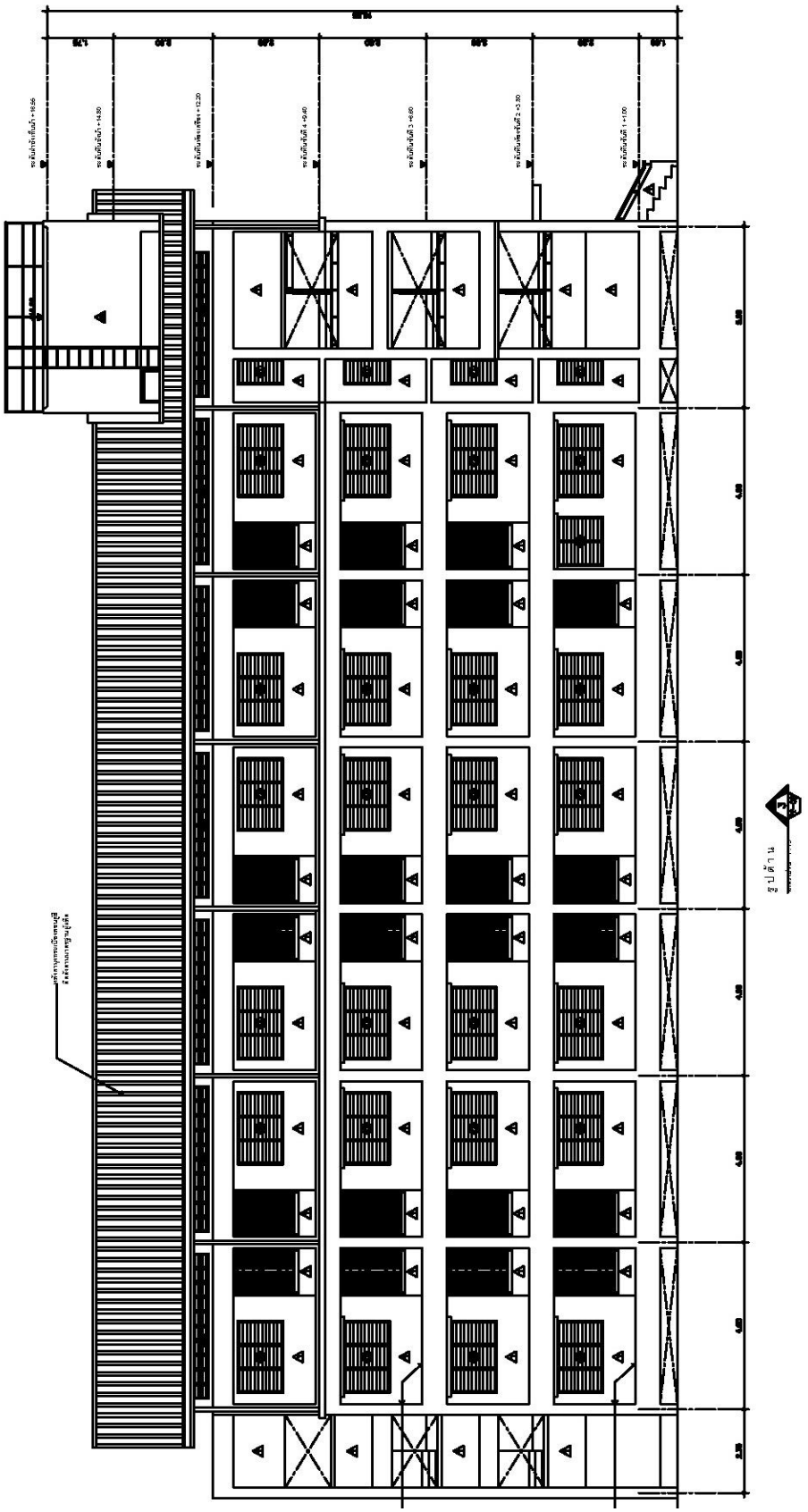
รูปด้านหลัง ③

คอนโด 4 ชั้น (ที่มา:การเคหะแห่งชาติ, 2559)









ภาคผนวก ค.

แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน ในบ้านพักอาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถามรูปแบบการใช้พลังงาน ในบ้านพักอาศัย

โครงการบ้านเอื้ออาทร การเคหะแห่งชาติ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาการออกแบบนิเวศน์สถาปัตย์ หลักสูตรมหาบัณฑิต ดำเนินโครงการวิจัยเพื่อใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและช่วงการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการการเคหะชุมชนและบริการชุมชน การเคหะแห่งชาติโครงการบ้านประชารัฐ ขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตอบแบบสอบถาม ซึ่ง

ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การใช้พลังงานภายในอาคารพักอาศัย

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ทั้งนี้ คณะทำการวิจัย ใคร่ขอขอบพระคุณ ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน ไว้ ณ ที่นี้

แบบสอบถามส่วนที่ 1 การใช้พลังงานภายในอาคารพักอาศัย

1. ประเภทของบ้านพักอาศัย

☐ คอนโด 4 ชั้น ☐ บ้านเดี่ยว 2 ชั้น

☐ บ้านแฝด 2 ชั้น ☐ ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น

2. จำนวนผู้พักอาศัยภายในบ้าน

☐ 1-2 คน ☐ 2-4 คน ☐ 4-6 คน

3. ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร

☐ อยู่บ้านทั้งวัน ☐ ช่วงเช้า 6.00-10.00 น.

☐ ช่วงกลางวัน 11.00-13.00 น. ☐ ช่วงบ่าย 14.00-16.00 น.

☐ ช่วงเย็น 17.00-19.00 น. ☐ ช่วงกลางคืน 20.00-5.00 น.

4. เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

ชนิด	จำนวน	ช่วงเวลาการใช้งาน
เครื่องปรับอากาศ		
พัดลม		
ตู้เย็น		
โทรทัศน์		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เตารีด		
เครื่องทำน้ำร้อน		
หลอดไฟ		

แบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อที่ท่านเลือก

1. อายุ

☐ ต่ำกว่า 20 ☐ 21-30 ปี ☐ 30-40 ปี

☐ 41-60 ปี ☐ มากกว่า 60 ปี

2. ระยะเวลาการพักอาศัยในที่พักปัจจุบัน

☐ น้อยกว่า 1 ปี ☐ 1-2 ปี ☐ 2-3 ปี

☐ 3-5 ปี

3. อาชีพ

☐ พนักงานรัฐวิสาหกิจ ☐ รับราชการหรือพนักงานของรัฐ

☐ พนักงานบริษัทเอกชน ☐ รับจ้างรายวัน

☐ ค้าขาย ☐ ธุรกิจส่วนตัว

☐ อื่น ๆ ระบุ.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

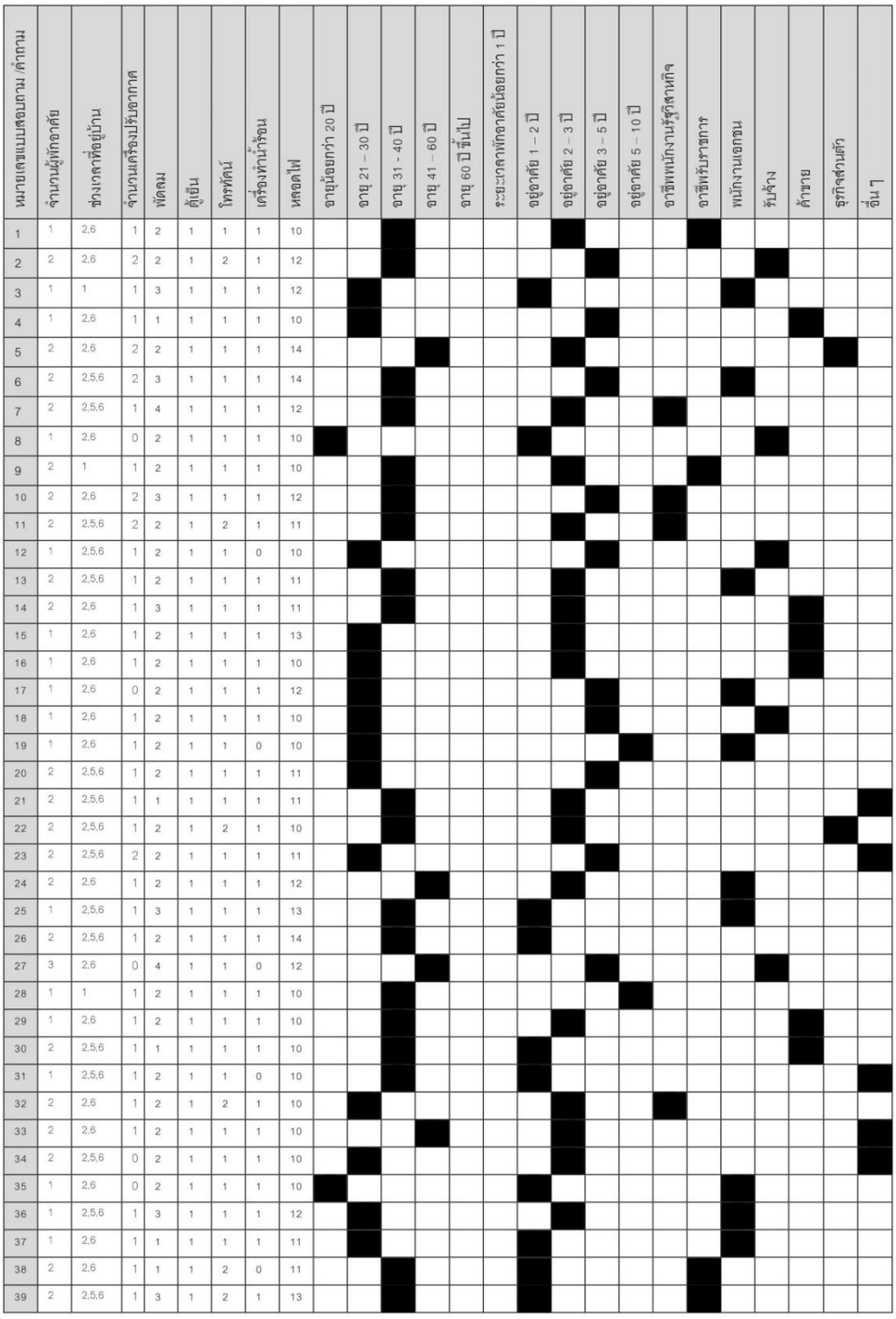
ขอขอบคุณที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม

ภาคผนวก ง.

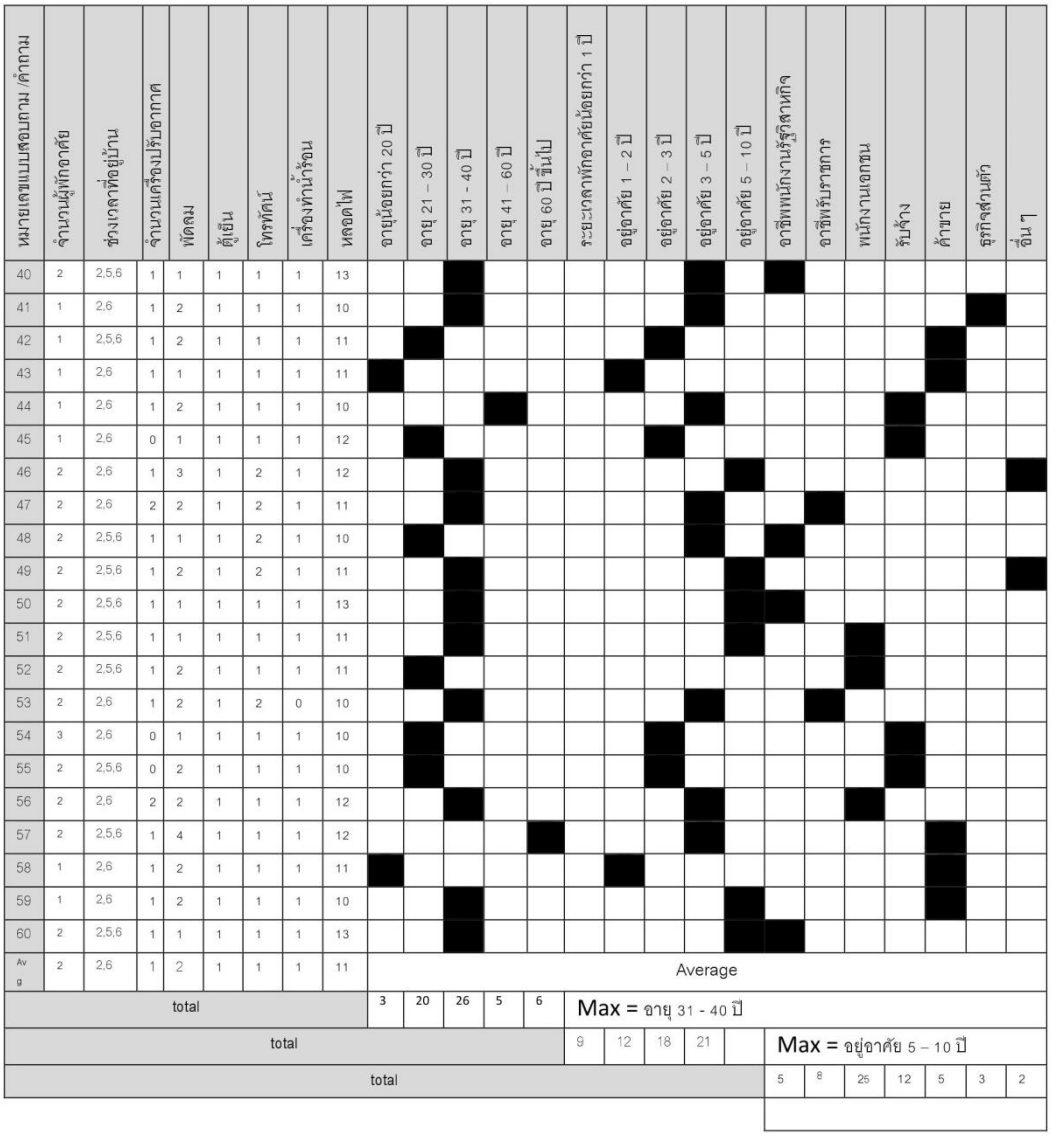
สรุปผลจากแบบสอบถามตามภาคผนวก ค.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บ้านเดี่ยว 2 ชั้น

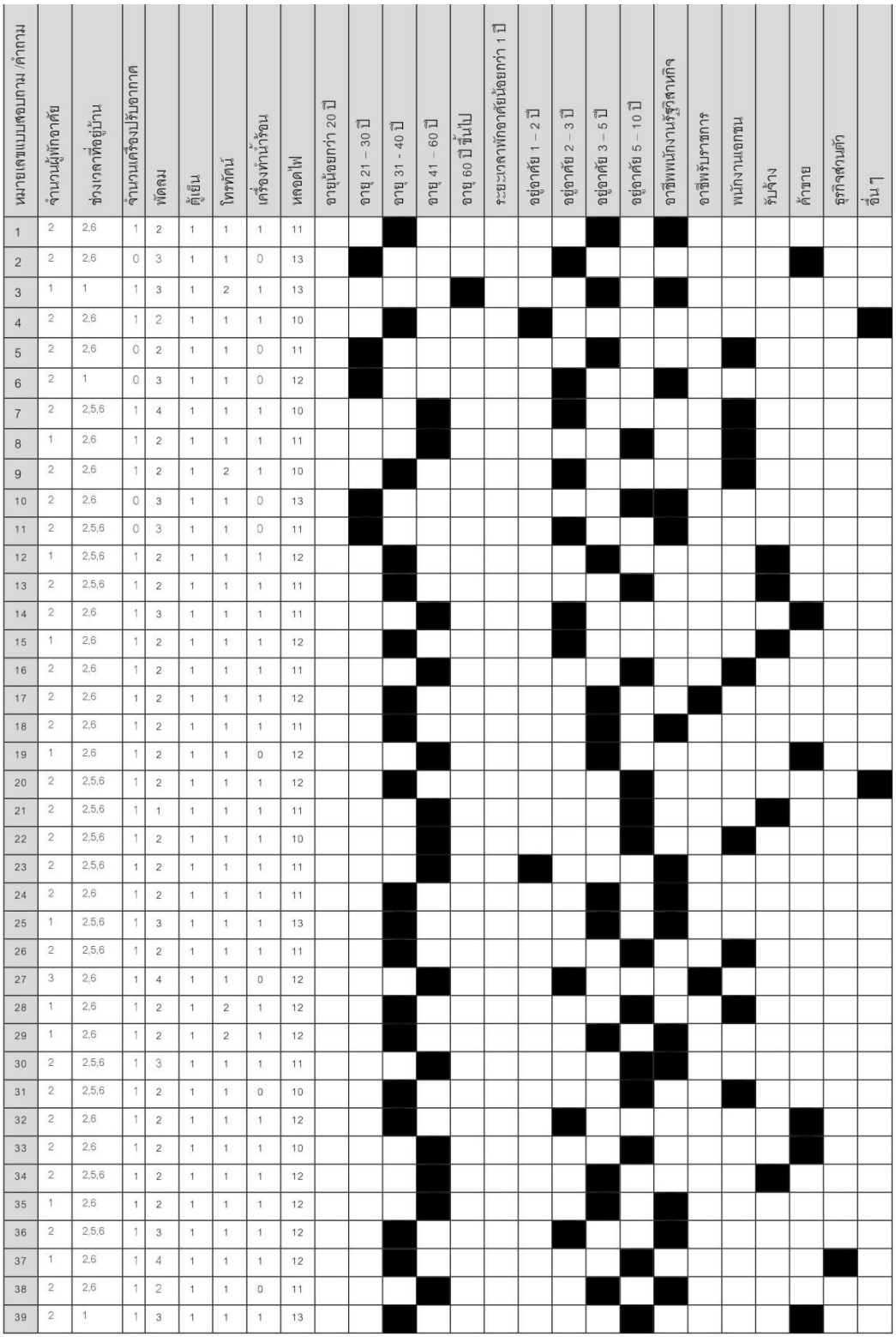


หมายเลขตัวอย่าง	จำนวนผู้อาศัย	ขนาดของที่อยู่อาศัย	จำนวนเครื่องปรับอากาศ	พัดลม	ตู้เย็น	โทรทัศน์	เครื่องทำน้ำร้อน	หลอดไฟ	อายุน้อยกว่า 20 ปี	อายุ 21 – 30 ปี	อายุ 31 - 40 ปี	อายุ 41 – 60 ปี	อายุ 60 ปีขึ้นไป	ระยะเวลาพักอาศัยน้อยกว่า 1 ปี	อยู่อาศัย 1 – 2 ปี	อยู่อาศัย 2 – 3 ปี	อยู่อาศัย 3 – 5 ปี	อยู่อาศัย 5 – 10 ปี	อาชีพแพทย์/ครู/ข้าราชการ	อาชีพรับจ้างทั่วไป	หน่วยงานเอกชน	รับจ้าง	ค้าขาย	ธุรกิจส่วนตัว	อื่น ๆ
1	1	2,6	1	2	1	1	1	10			■					■				■					
2	2	2,6	2	2	1	2	1	12			■						■					■			
3	1	1	1	3	1	1	1	12		■					■							■			
4	1	2,6	1	1	1	1	1	10		■							■						■		
5	2	2,6	2	2	1	1	1	14				■				■								■	
6	2	2,5,6	2	3	1	1	1	14			■						■				■				
7	2	2,5,6	1	4	1	1	1	12			■					■			■						
8	1	2,6	0	2	1	1	1	10	■						■							■			
9	2	1	1	2	1	1	1	10			■					■				■					
10	2	2,6	2	3	1	1	1	12			■						■		■						
11	2	2,5,6	2	2	1	2	1	11			■					■			■						
12	1	2,5,6	1	2	1	1	0	10		■							■					■			
13	2	2,5,6	1	2	1	1	1	11			■					■						■			
14	2	2,6	1	3	1	1	1	11			■					■							■		
15	1	2,6	1	2	1	1	1	13		■						■							■		
16	1	2,6	1	2	1	1	1	10		■						■							■		
17	1	2,6	0	2	1	1	1	12		■							■					■			
18	1	2,6	1	2	1	1	1	10		■							■						■		
19	1	2,6	1	2	1	1	0	10		■								■				■			
20	2	2,5,6	1	2	1	1	1	11		■							■								
21	2	2,5,6	1	1	1	1	1	11			■					■									■
22	2	2,5,6	1	2	1	2	1	10			■					■								■	
23	2	2,5,6	2	2	1	1	1	11		■							■								■
24	2	2,6	1	2	1	1	1	12				■				■						■			
25	1	2,5,6	1	3	1	1	1	13			■				■							■			
26	2	2,5,6	1	2	1	1	1	14			■				■										
27	3	2,6	0	4	1	1	0	12				■					■						■		
28	1	1	1	2	1	1	1	10			■							■							
29	1	2,6	1	2	1	1	1	10			■					■							■		
30	2	2,5,6	1	1	1	1	1	10			■				■								■		
31	1	2,5,6	1	2	1	1	0	10			■				■										■
32	2	2,6	1	2	1	2	1	10		■						■				■					
33	2	2,6	1	2	1	1	1	10				■				■									■
34	2	2,5,6	0	2	1	1	1	10		■						■									■
35	1	2,6	0	2	1	1	1	10	■						■							■				
36	1	2,5,6	1	3	1	1	1	12		■						■						■				
37	1	2,6	1	1	1	1	1	11		■					■							■				
38	2	2,6	1	1	1	2	0	11			■				■						■					
39	2	2,5,6	1	3	1	2	1	13			■				■						■					



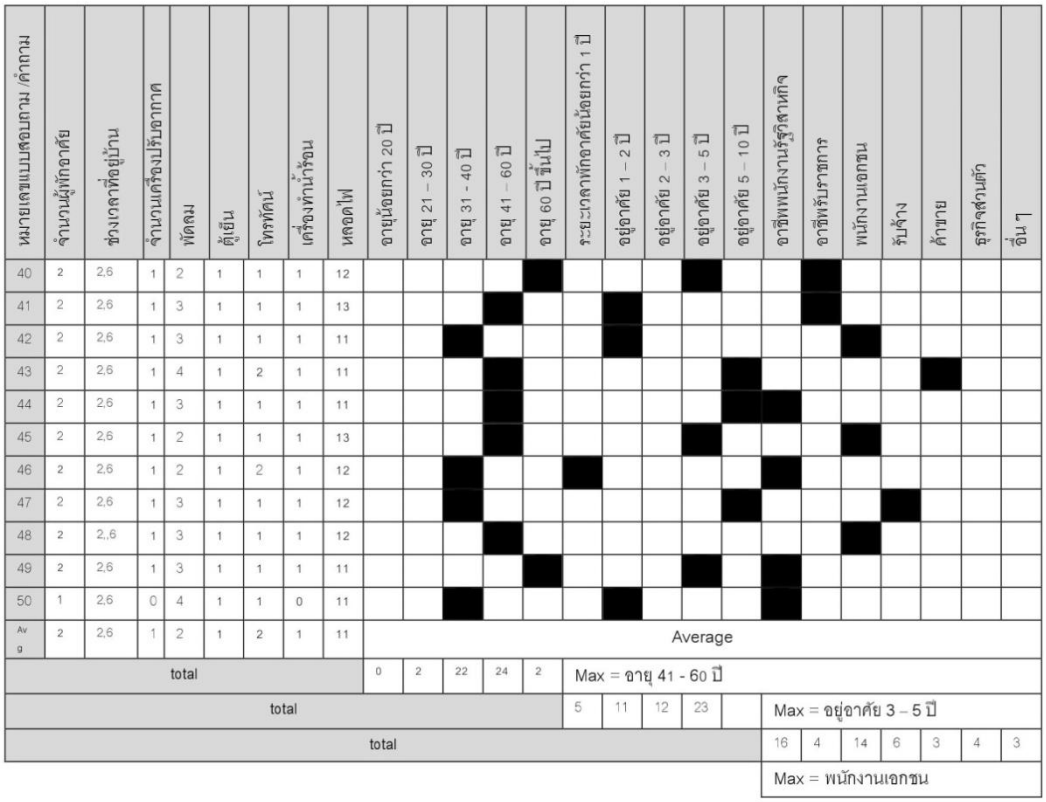
ระบบคุ้ม/ระบบอพาทเมนต์แห่ง	จำนวนผู้ครอบครัว	จำนวนผู้อยู่อาศัย	ยานยนต์ประจำครัวเรือน	ทีวี	ตู้เย็น	โทรศัพท์	เครื่องทำน้ำอุ่น	หลอดไฟ	อายุน้อยกว่า 20 ปี	อายุ 21 – 30 ปี	อายุ 31 - 40 ปี	อายุ 41 – 60 ปี	อายุ 60 ปี ขึ้นไป	ระยะเวลาพักอาศัยน้อยกว่า 1 ปี	อยู่อาศัย 1 – 2 ปี	อยู่อาศัย 2 – 3 ปี	อยู่อาศัย 3 – 5 ปี	อยู่อาศัย 5 – 10 ปี	อาชีพพนักงานรัฐวิสาหกิจ	อาชีพรับราชการ	พนักงานบริษัท	รับจ้าง	ค้าขาย	นักศึกษา	อื่น ๆ
40	2	2,5,6	1	1	1	1	1	13			■						■		■						
41	1	2,6	1	2	1	1	1	10			■						■							■	
42	1	2,5,6	1	2	1	1	1	11		■						■							■		
43	1	2,6	1	1	1	1	1	11	■						■								■		
44	1	2,6	1	2	1	1	1	10				■					■					■			
45	1	2,6	0	1	1	1	1	12		■						■						■			
46	2	2,6	1	3	1	2	1	12			■							■							■
47	2	2,6	2	2	1	2	1	11			■						■			■					
48	2	2,5,6	1	1	1	2	1	10		■							■		■						
49	2	2,5,6	1	2	1	2	1	11			■							■							■
50	2	2,5,6	1	1	1	1	1	13			■							■	■						
51	2	2,5,6	1	1	1	1	1	11			■							■			■				
52	2	2,5,6	1	2	1	1	1	11		■											■				
53	2	2,6	1	2	1	2	0	10			■						■			■					
54	3	2,6	0	1	1	1	1	10		■						■						■			
55	2	2,5,6	0	2	1	1	1	10		■						■						■			
56	2	2,6	2	2	1	1	1	12			■						■				■				
57	2	2,5,6	1	4	1	1	1	12					■				■							■	
58	1	2,6	1	2	1	1	1	11	■						■									■	
59	1	2,6	1	2	1	1	1	10			■							■						■	
60	2	2,5,6	1	1	1	1	1	13			■							■	■						
Avg	2	2,6	1	2	1	1	1	11	Average																
total									3	20	26	5	6	Max = อายุ 31 - 40 ปี											
total														9	12	18	21		Max = อยู่อาศัย 5 – 10 ปี						
total																			5	8	25	12	5	3	2

บ้านแฝด 2 ชั้น



ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น

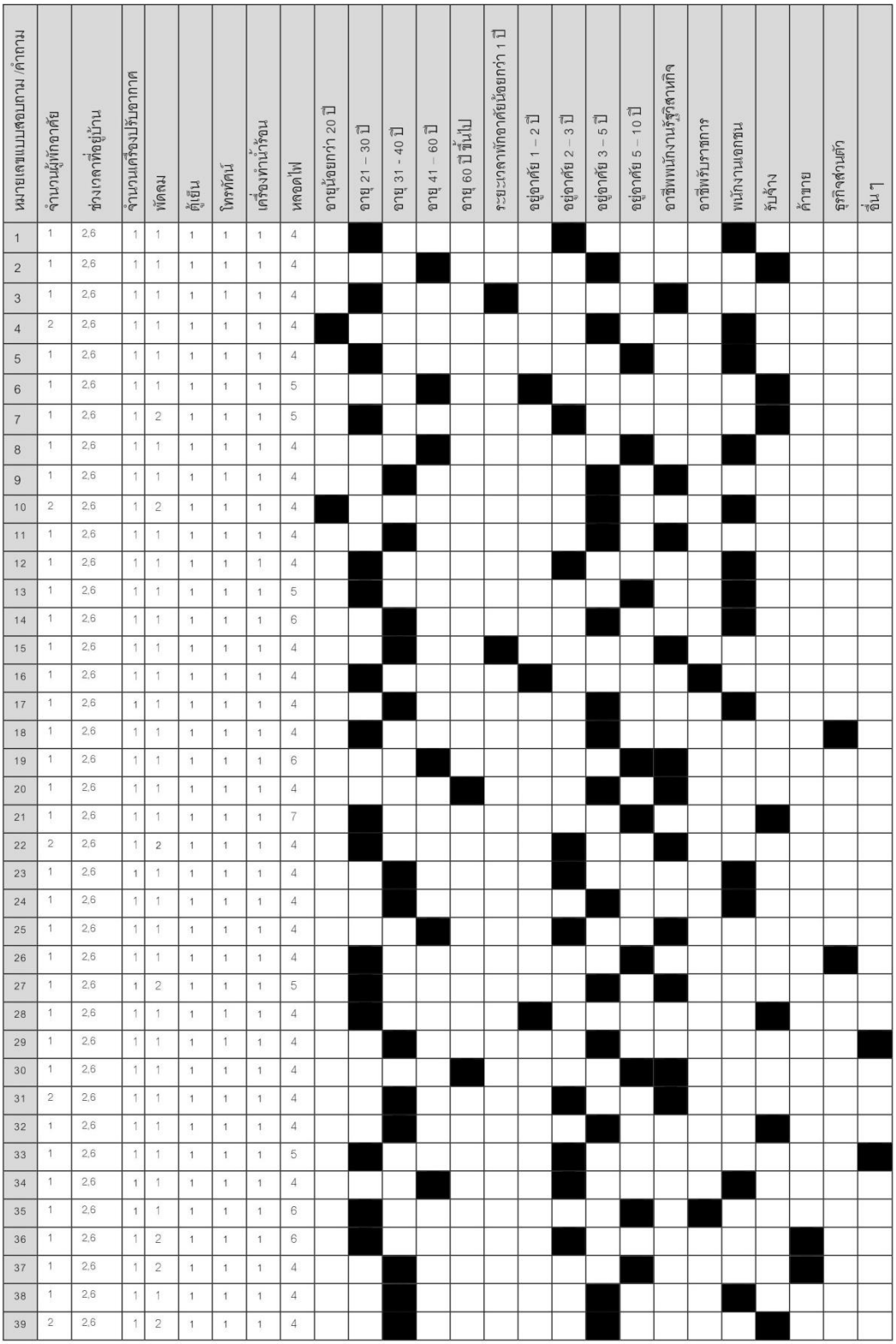
หมายเลข/คุณลักษณะ	จำนวนผู้อยู่อาศัย	ช่วงราคาที่ผู้อยู่อาศัยจ่ายได้	ความถี่ในการเดินทางไปจับจ่ายซื้อของ	ทีวี	ตู้เย็น	โทรศัพท์	เครื่องทำน้ำอุ่น	หลอดไฟ	อายุน้อยกว่า 20 ปี	อายุ 21 – 30 ปี	อายุ 31 - 40 ปี	อายุ 41 – 60 ปี	อายุ 60 ปี ขึ้นไป	ระยะเวลาพักอาศัยน้อยกว่า 1 ปี	อยู่อาศัย 1 – 2 ปี	อยู่อาศัย 2 – 3 ปี	อยู่อาศัย 3 – 5 ปี	อยู่อาศัย 5 – 10 ปี	อาชีพพนักงานรัฐวิสาหกิจ	อาชีพรับราชการ	พนักงานเอกชน	รับจ้าง	ค้าขาย	ธุรกิจส่วนตัว	อื่น ๆ
1	2	2,6	1	3	1	1	1	11			■						■								■
2	2	2,6	1	3	1	1	1	11			■					■			■						
3	2	2,6	1	2	1	2	1	11				■				■			■						
4	2	2,6	1	3	1	1	1	13			■						■				■				
5	2	2,6	1	3	1	1	1	13				■						■			■				
6	2	2,6	1	2	1	1	1	11				■				■			■						
7	2	2,6	1	2	1	1	1	11				■					■				■				
8	2	2,6	1	3	1	1	1	13			■				■							■			
9	2	2,6	1	3	1	2	1	13				■					■		■						
10	2	2,6	1	2	1	1	1	14			■						■				■				
11	2	2,6	1	2	1	1	1	12				■				■			■						
12	2	2,6	1	3	1	1	1	11			■							■							■
13	2	2,6	1	3	1	1	1	12			■					■				■					
14	2	2,6	1	2	1	1	1	12				■					■				■				
15	2	2,6	1	2	1	1	1	11			■					■			■						
16	2	2,6	1	3	1	1	1	11				■						■				■			
17	2	2,6	1	3	1	1	1	11				■					■				■				
18	2	2,6	1	2	1	1	1	11				■			■				■						
19	2	2,6	1	3	1	1	1	11				■					■		■						
20	1	2,6	1	3	1	1	1	11				■						■				■			
21	2	2,6	1	2	1	1	1	11			■					■					■				
22	2	2,6	1	2	1	1	1	13				■					■		■						
23	1	2,6	1	3	1	1	1	12				■				■					■				
24	2	2,6	1	3	1	1	1	12			■							■						■	
25	2	2,6	1	2	1	1	1	12			■						■							■	
26	2	2,6	1	2	1	1	1	13		■							■		■						
27	3	2,6	1	2	1	1	1	11				■		■			■				■				
28	2	2,6	1	4	1	2	1	11			■							■						■	
29	2	2,6	1	3	1	2	1	11				■		■				■		■					
30	2	2,6	1	2	1	1	1	12			■						■				■				
31	2	2,6	1	2	1	1	1	12			■							■			■				
32	2	2,6	1	3	1	1	1	12			■							■						■	
33	2	2,6	1	3	1	1	1	12				■				■									■
34	2	2,6	1	3	1	1	1	12			■						■		■						
35	2	2,6	1	4	1	1	1	12		■							■		■						
36	2	2,6	1	2	1	1	1	11			■							■						■	
37	2	2,6	1	2	1	1	1	11				■				■							■		
38	2	2,6	1	4	1	1	1	12			■						■						■		
39	2	2,6	1	2	1	1	1	12				■						■						■	

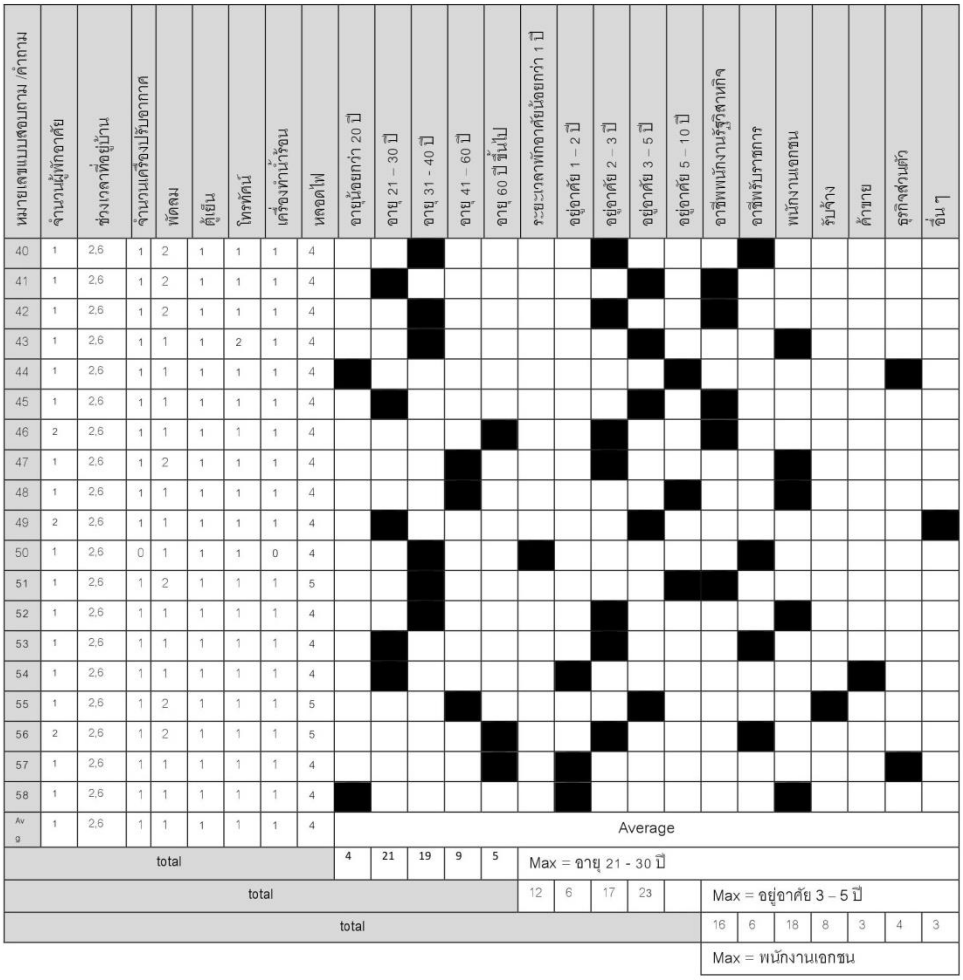


ถนน/ ทางแยก	ธุรกิจขนาดเล็ก	ที่อยู่อาศัย	ถนนสายรองในชุมชน	สถานที่	ที่ดินว่าง	ศาสนสถาน	ตึกแถวพาณิชยกรรม	โรงแรม	อายุน้อยกว่า 20 ปี	อายุ 21 – 30 ปี	อายุ 31 - 40 ปี	อายุ 41 – 60 ปี	อายุ 60 ปี ขึ้นไป	ระยะเวลาพักอาศัยน้อยกว่า 1 ปี	อยู่อาศัย 1 – 2 ปี	อยู่อาศัย 2 – 3 ปี	อยู่อาศัย 3 – 5 ปี	อยู่อาศัย 5 – 10 ปี	อาชีพนักบริหาร/ผู้จัดการ	ธนาคาร	หอพักเอกชน	ร้านค้า	ถนน	บริษัทห้างหุ้นส่วน	ไม่ทราบ
40	2	2,6	1	2	1	1	1	12					■				■			■					
41	2	2,6	1	3	1	1	1	13				■			■					■					
42	2	2,6	1	3	1	1	1	11			■				■						■				
43	2	2,6	1	4	1	2	1	11				■						■					■		
44	2	2,6	1	3	1	1	1	11				■						■	■						
45	2	2,6	1	2	1	1	1	13				■					■				■				
46	2	2,6	1	2	1	2	1	12			■			■					■						
47	2	2,6	1	3	1	1	1	12			■							■				■			
48	2	2,6	1	3	1	1	1	12				■									■				
49	2	2,6	1	3	1	1	1	11					■				■		■						
50	1	2,6	0	4	1	1	0	11			■				■				■						
Avg	2	2,6	1	2	1	2	1	11	Average																
total									0	2	22	24	2	Max = อายุ 41 - 60 ปี											
total														5	11	12	23		Max = อยู่อาศัย 3 – 5 ปี						
total																			16	4	14	6	3	4	3
																			Max = พนักงานเอกชน						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คอนโด 4 ชั้น


หมายเลขแถวตามแนวตั้ง
หมายเลข/ชื่อแถวตามแนวนอน
รายได้ผู้ประกอบการ
ค่าบำรุงส่วนกลาง
ขนาดพื้นที่ห้องชุด
ห้องนอน
ผู้เช่า
โทรทัศน์
เครื่องทำน้ำร้อน
หลอดไฟ
อายุน้อยกว่า 20 ปี
อายุ 21 – 30 ปี
อายุ 31 - 40 ปี
อายุ 41 – 60 ปี
อายุ 60 ปีขึ้นไป
ระยะเวลาพักอาศัยน้อยกว่า 1 ปี
อยู่อาศัย 1 – 2 ปี
อยู่อาศัย 2 – 3 ปี
อยู่อาศัย 3 – 5 ปี
อยู่อาศัย 5 – 10 ปี
อาชีพพนักงานบริษัทเอกชน
อาชีพรับราชการ
พนักงานบริษัท
รับจ้าง
ค้าขาย
ธุรกิจส่วนตัว
อื่น ๆ



ระดับ/ระดับการศึกษา	ถูกต้องมั้ยที่ทำนั้น	ระดับที่ถูกต้องที่ทำนั้น	ขับขี่ถูกต้องที่ทำนั้น	เพศ	ที่อยู่	ใบขับขี่	การรับประทานยาคู่	เพศชาย/หญิง	อายุผู้ขับขี่ 20 ปี	อายุ 21 – 30 ปี	อายุ 31 - 40 ปี	อายุ 41 – 60 ปี	อายุ 60 ปีขึ้นไป	ระยะเวลาที่ใช้ขับขี่น้อยกว่า 1 ปี	อยู่อาศัย 1 – 2 ปี	อยู่อาศัย 2 – 3 ปี	อยู่อาศัย 3 – 5 ปี	อยู่อาศัย 5 – 10 ปี	อาชีพพนักงานรัฐวิสาหกิจ	อาชีพรับราชการ	พนักงานเอกชน	รับจ้าง	ค้าขาย	ธุรกิจส่วนตัว	อื่น ๆ
40	1	2.6	1	2	1	1	1	4			■					■				■					
41	1	2.6	1	2	1	1	1	4		■							■		■						
42	1	2.6	1	2	1	1	1	4			■					■			■						
43	1	2.6	1	1	1	2	1	4			■						■				■				
44	1	2.6	1	1	1	1	1	4	■									■						■	
45	1	2.6	1	1	1	1	1	4		■							■		■						
46	2	2.6	1	1	1	1	1	4					■			■			■						
47	1	2.6	1	2	1	1	1	4				■				■					■				
48	1	2.6	1	1	1	1	1	4				■						■			■				
49	2	2.6	1	1	1	1	1	4		■							■								■
50	1	2.6	0	1	1	1	0	4			■			■						■					
51	1	2.6	1	2	1	1	1	5			■							■	■						
52	1	2.6	1	1	1	1	1	4			■					■					■				
53	1	2.6	1	1	1	1	1	4		■						■				■					
54	1	2.6	1	1	1	1	1	4		■					■								■		
55	1	2.6	1	2	1	1	1	5				■					■					■			
56	2	2.6	1	2	1	1	1	5					■			■				■					
57	1	2.6	1	1	1	1	1	4					■		■									■	
58	1	2.6	1	1	1	1	1	4	■						■						■				
Avg	1	2.6	1	1	1	1	1	4	Average																
total									4	21	19	9	5	Max = อายุ 21 - 30 ปี											
total														12	6	17	23		Max = อยู่อาศัย 3 – 5 ปี						
total																			16	6	18	8	3	4	3
																			Max = พนักงานเอกชน						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

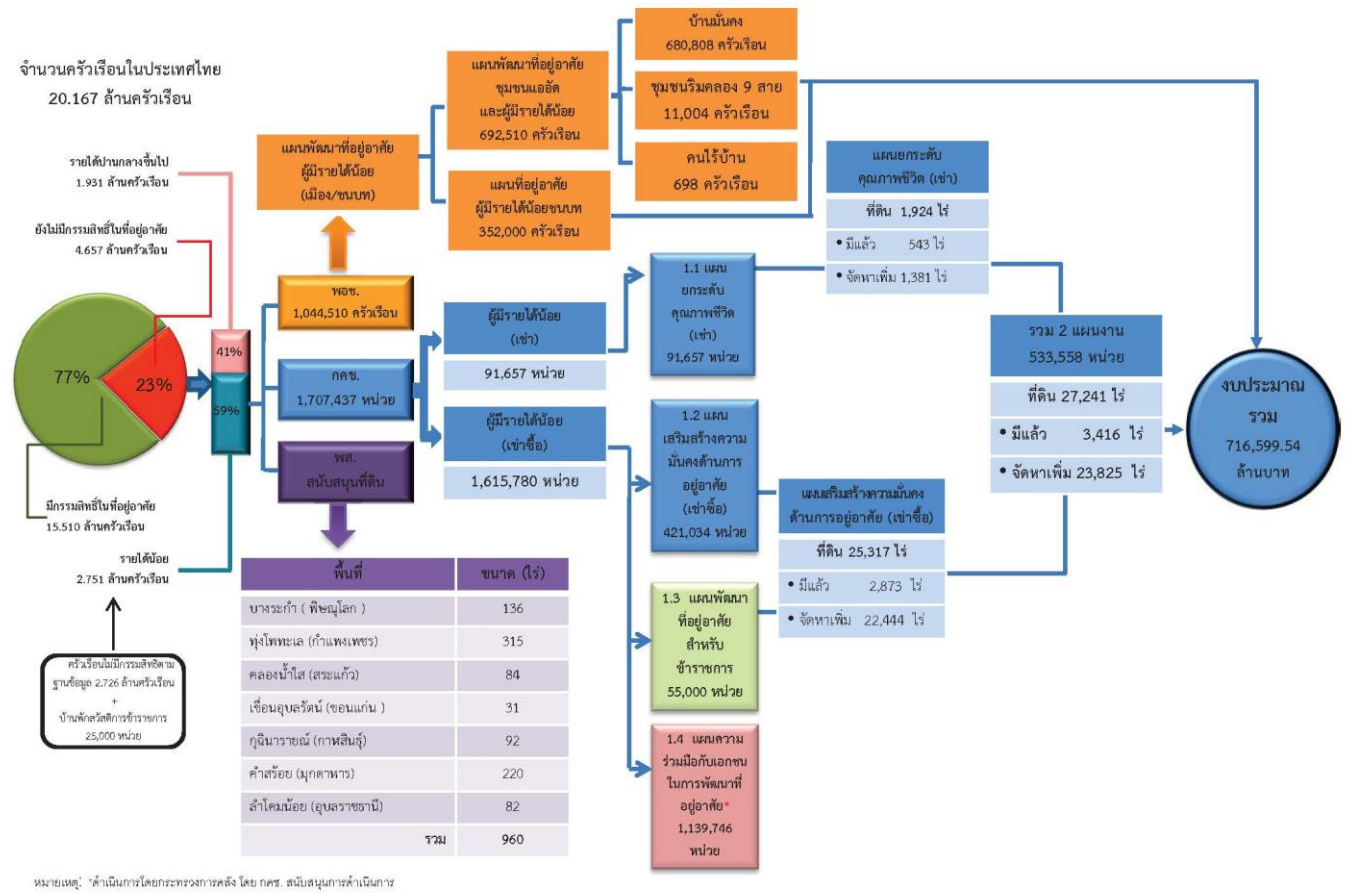
ภาคผนวก จ.

(ร่าง) แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (2559-2568)

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ร่าง)แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาที่อยู่อาศัย 10 ปี (2559-2568) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์



พื้นที่	ขนาด (ไร่)
บางระกำ (พิษณุโลก)	136
ทุ่งโพธิ์ทะเล (กำแพงเพชร)	315
คลองน้ำใส (สระแก้ว)	84
เขื่อนอุบลรัตน์ (ขอนแก่น)	31
กุฉินารายณ์ (กาฬสินธุ์)	92
คำสร้อย (มุกดาหาร)	220
ลำโคมน้อย (อุบลราชธานี)	82
รวม	960

หมายเหตุ: *ดำเนินการโดยกระทรวงการคลัง โดย กคช. สนับสนุนการดำเนินการ

ภาคผนวก ฉ.
ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและน้ำหนักของวัสดุประกอบอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.1 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและน้ำหนักของวัสดุประกอบอาคาร

วัสดุ	EF	น้ำหนัก (kg)
เหล็ก	1.60	1kg
กระเบื้องคอนกรีต	0.49	40.5 kg/m^2
ปูนซีเมนต์	0.49	1,000 kg/m^2
ทราย	0.01	1,000 kg/m^2
ฝ้ายิปซั่ม	0.34	8.33 kg/m^2
อิฐมอญ	0.218	130 kg/m^2
กระเบื้อง	0.76	120 kg/m^2
วัสดุทางเลือก	EF	น้ำหนัก (kg)
Asphalt Shingle	0.66	19 kg/m^2
กระเบื้องดินเผา	0.48	42.9 kg/m^2
คอนกรีตมวลเบา	0.22	46.5 kg/m^2
คอนกรีตบล็อก	0.38	90 kg/m^2
พรีคาสต์	2.39	1,000 kg/m^2
ฉนวนใยแก้ว	2.54	0.8 kg/m^2
ฉนวนเยื่อกระดาษ	4.35	2.5 kg/m^2
กระจกใส	1.26	15 kg/m^2
กระจกตัดแสงสีเทา	1.26	15 kg/m^2
กระจก Low E	1.70	30.5 kg/m^2

ที่มา:IPCC (2006), SimaPro7.1, Energy Plus

ภาคผนวก ช.
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจก

หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง เมื่อมีปริมาณเหล็ก 1,153 Ton และกำหนดค่า Emission Factor ของเหล็กอ้างอิงจากคู่มือ IPCC (2006) มีค่า 1.6 $TonCO_2$/Ton products นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ตามสมการดังนี้

GHG = Activity Data x EF

แทนค่า

= (1.153 Ton) x (1.6 $TonCO_2$/Ton products)

= 1.8448 $TonCO_2$

= 1,844.8 $kgCO_2$

โดยคิดเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ 50 ตารางเมตร

= (1,844.8 $kgCO_{2)}$ / (50 m^2)

= 36.89 $kgCO_2$/ m^2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ซ.

รายละเอียดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นภายในอาคาร แบ่งตามประเภทวัสดุกรอบอาคาร

วัสดุก่อผนัง (หน่วย kWh/y)

ตารางที่ ซ.1 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังประเภทบ้านเดี่ยว

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อิฐมอญ	197	206	263	308	298	275	267	233	230	230	201	163	2,870
อิฐบล็อค	103	123	162	215	200	187	177	148	142	143	115	82	1,797
คอนกรีตมวลเบา	85	107	144	197	182	171	159	132	125	126	99	67	1,595
พรีคาสต์	169	175	231	272	259	238	230	196	193	194	173	140	2,469

ตารางที่ ซ.2 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังประเภทบ้านแฝด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อิฐมอญ	893	933	1,164	1,326	1,292	1,202	1,173	1,046	1,026	1,031	923	768	893
อิฐบล็อค	607	695	893	1,104	1,044	993	943	829	787	798	691	535	607
คอนกรีตมวลเบา	532	634	824	1,049	981	944	885	769	725	735	627	466	532
พรีคาสต์	905	930	1,174	1,312	1,276	1,201	1,172	1,052	1,023	1,039	942	813	905

ตารางที่ ซ.3 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังประเภททาวน์เฮ้าส์

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อิฐมอญ	1,607	1,631	2,019	2,345	2,262	2,091	2,040	1,773	1,767	1,795	1,629	1,359	1,607
อิฐบล็อค	830	973	1,271	1,661	1,542	1,454	1,355	1,151	1,103	1,131	937	682	830
คอนกรีตมวลเบา	697	853	1,144	1,550	1,422	1,358	1,242	1,036	982	1,010	804	560	697
พรีคาสต์	1,337	1,364	1,736	2,042	1,944	1,807	1,731	1,495	1,469	1,527	1,379	1,120	1,337

ตารางที่ ซ.4 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุก่อผนังประเภทคอนโด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อิฐมอญ	11,515	11,218	13,316	14,508	14,292	13,265	13,291	12,054	11,978	12,378	11,744	10,638	11,515
อิฐบล็อค	8,106	8,320	10,288	11,775	11,387	10,678	10,443	9,319	9,113	9,533	8,728	7,579	8,106
คอนกรีตมวลเบา	7,244	7,655	9,613	11,303	10,809	10,201	9,853	8,693	8,462	8,873	11,001	6,598	7,244
พรีคาสต์	9,900	9,628	11,834	12,949	12,677	11,781	11,580	10,437	10,312	10,721	10,073	9,005	9,900

วัสดุกระเบื้องหลังคา (หน่วย kWh/y)

ตารางที่ ซ.5 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระเบื้องหลังคาประเภทบ้านเดี่ยว

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระเบื้องคอนกรีต	197	206	263	308	298	275	267	233	230	230	201	163	2,870
Asphalt Shingle	172	180	232	270	260	239	235	203	199	200	178	146	2,515
กระเบื้องดินเผา	170	178	230	269	258	238	233	200	197	198	175	143	2,489

ตารางที่ ซ.6 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระเบื้องหลังคาประเภทบ้านแฝด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระเบื้องคอนกรีต	893	933	1,164	1,326	1,292	1,202	1,173	1,046	1,026	1,031	923	768	893
Asphalt Shingle	880	909	1,125	1,256	1,229	1,156	1,139	1,032	1,003	1,017	923	800	880
กระเบื้องดินเผา	869	903	1,122	1,257	1,229	1,155	1,136	1,027	997	1,011	916	792	869

ตารางที่ ซ.7 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระเบื้องหลังคาประเภททาวน์เฮ้าส์

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระเบื้องคอนกรีต	1,607	1,631	2,019	2,345	2,262	2,091	2,040	1,773	1,767	1,795	1,629	1,359	1,607
Asphalt Shingle	1,362	1,390	1,736	2,021	1,939	1,796	1,742	1,525	1,499	1,552	1,405	1,164	1,362
กระเบื้องดินเผา	1,335	1,369	1,715	2,010	1,924	1,783	1,726	1508	1,480	1,531	1,380	1,131	1,335

ตารางที่ ซ.8 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระเบื้องหลังคาประเทศคอนโด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระเบื้องคอนกรีต	11,515	11,218	13,316	14,508	14,292	13,265	13,291	12,054	11,978	12,378	11,744	10,638	11,515
Asphalt Shingle	11,420	11,118	13,195	14,371	14,159	13,143	13,171	11,949	11,872	12,270	11,643	10,549	11,420
กระเบื้องดินเผา	11,378	11,076	13,140	14,304	14,094	13,088	13,113	11,903	11,825	12,221	11,599	10,507	11,378

วัสดุกระจก (หน่วย kWh/y)

ตารางที่ ซ.9 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกประเภทบ้านเดี่ยว

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระจกใส	197	206	263	308	298	275	267	233	230	230	201	163	2,870
กระจกตัดแสง	151	162	211	253	242	221	216	184	181	182	158	125	2,285
กระจก Low E	167	175	226	266	256	235	230	199	194	196	173	141	2,457

ตารางที่ ซ.10 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกประเภทบ้านแฝด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระจกใส	893	933	1,164	1,326	1,292	1,202	1,173	1,046	1,026	1,031	923	768	893
กระจกตัดแสง	841	886	1,106	1,258	1,224	1,150	1,126	1,015	981	992	895	757	841
กระจก Low E	869	907	1,129	1,268	1,238	1,163	1,144	1,034	1,004	1,015	919	791	869

ตารางที่ ซ.11 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกประเภททาวน์เฮ้าส์

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระจกใส	1,607	1,631	2,019	2,345	2,262	2,091	2,040	1,773	1,767	1,795	1,629	1,359	1,607
กระจกตัดแสง	1,208	1,274	1,631	1,969	1,877	1,739	1,669	1,442	1,409	1,446	1,273	997	1,208
กระจก Low E	1,286	1,342	1,694	2,006	1,918	1,776	1,714	1,491	1,461	1,504	1,348	1,082	1,286

ตารางที่ ซ.12 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกประเภทคอนโด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
กระจกใส	11,515	11,218	13,316	14,508	14,292	13,265	13,291	12,054	11,978	12,378	11,744	10,638	11,515
กระจกตัดแสง	9,569	9,414	11,423	12,511	12,312	11,472	11,362	10,341	10,169	10,533	9,879	8,843	9,569
กระจก Low E	9971	9,738	11,749	12,800	12,611	11,757	11,659	10,632	10,466	10,854	10,233	9,166	9,971

วัสดุฉนวน (หน่วย kWh/y)

ตารางที่ ซ.13 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนใต้ฝ้าเพดานประเภทบ้านเดี่ยว

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ไม่มีฉนวน	197	206	263	308	298	275	267	233	230	230	201	163	2,870
ฉนวนใยแก้ว	179	183	236	271	262	241	238	207	204	206	183	154	2,563
ฉนวนเยื่อกระดาษ	179	184	236	271	262	241	238	206	202	205	183	154	2,558

ตารางที่ ซ.14 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนใต้ฝ้าเพดานประเภทบ้านแฝด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ไม่มีฉนวน	893	933	1,164	1,326	1,292	1,202	1,173	1,046	1,026	1,031	923	768	12,777
ฉนวนใยแก้ว	901	915	1,120	1,235	1,214	1,143	1,131	1,030	1,006	1,024	937	823	12,480
ฉนวนเยื่อกระดาษ	895	913	1,119	1,238	1,216	1,144	1,131	1,029	1,003	1,021	932	819	12,460

ตารางที่ ซ.15 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนใต้ฝ้าเพดานประเภททาวน์เฮ้าส์

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ไม่มีฉนวน	1,607	1,631	2,019	2,345	2,262	2,091	2,040	1,773	1,767	1,795	1,629	1,359	1,607
ฉนวนใยแก้ว	1,439	1,436	1,774	2,018	1,951	1,809	1,768	1,562	1,541	1,602	1,473	1,263	1,439
ฉนวนเยื่อกระดาษ	1,420	1,424	1,762	2,015	1,945	1,803	1,759	1,551	1,530	1,590	1,457	1,244	1,420

ตารางที่ ซ.16 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเมื่อปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนใต้ฝ้าเพดานประเภทคอนโด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ไม่มีฉนวน	11,515	11,218	13,316	14,508	14,292	13,265	13,291	12,054	11,978	12,378	11,744	10,638	11,515
ฉนวนใยแก้ว	9,763	9,513	11,449	12,469	12,278	11,453	11,354	10,356	10,200	10,591	10,009	9,005	9,763
ฉนวนเยื่อกระดาษ	9,853	9,601	11,558	12,586	12,394	11,562	11,462	10,452	10,295	10,689	10,099	9,066	9,853

ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือก (หน่วย kWh/y)

ตารางที่ ซ.17 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเปรียบเทียบระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือกประเภทบ้านเดี่ยว

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อาคารกรณีศึกษา	197	206	263	308	298	275	267	233	230	230	201	163	2,870
อาคารทางเลือก	97	115	151	198	185	173	165	138	132	136	109	77	1,322

ตารางที่ ซ.18 ค่าการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นเปรียบเทียบระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือกประเภทบ้านแฝด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อาคารกรณีศึกษา	899	905	1,168	1,321	1,297	1,196	1,179	1,050	1,021	1,037	918	774	12,765
อาคารทางเลือก	480	489	799	911	891	785	775	692	644	563	535	412	7,976

ตารางที่ ซ.19 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นเปรียบเทียบระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือกประเภททาวน์เฮ้าส์

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อาคารกรณีศึกษา	1,629	1,542	2,036	2,331	2,282	2,071	2,065	1,790	1,753	1,817	1,615	1,384	22,315
อาคารทางเลือก	704	694	1,118	1,408	1,371	1,131	1,123	960	934	1,011	774	543	11,771

ตารางที่ ซ.20 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นเปรียบเทียบระหว่างอาคารกรณีศึกษาและอาคารทางเลือกประเภทคอนโด

วัสดุ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
อาคารกรณีศึกษา	11,582	10,952	13,366	14,466	14,351	13,207	13,366	12,104	11,936	12,445	11,702	10,713	150,190
อาคารทางเลือก	6,822	6,910	9,088	10,566	10,223	9,540	9,360	8,257	7,935	8,413	7,448	6,217	100,779

ภาคผนวก ฌ.
ราคากลางวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฌ.1 ราคากลางวัสดุ

วัสดุ	ราคา (บาท/ตร.ม.)
เหล็ก	22,110 บาท/ตัน
กระเบื้องคอนกรีต	58 บาท/แผ่น
ปูนซีเมนต์	2,150 บาท/ตัน
ทราย	310 บาท/ลบ.ม.
ฝ้ายิปซั่ม	262 บาท/ตร.ม.
อิฐมอญ	190 บาท/ตร.ม.
กระเบื้อง	250 บาท/ตร.ม.
Asphalt Shingle	600 บาท/ตร.ม.
กระเบื้องดินเผา	34 บาท/แผ่น
คอนกรีตมวลเบา	315 บาท/ตร.ม.
คอนกรีตบล็อก	196 บาท/ตร.ม.
พรีคาสต์	2,150 บาท/ตัน
ฉนวนใยแก้ว	75 บาท/ตร.ม.
ฉนวนเยื่อกระดาษ	125 บาท/ตร.ม.
กระจกใส	33 บาท/ตร.ฟ.
กระจกตัดแสงสีเทา	78 บาท/ตร.ฟ.
กระจก Low E	228 บาท/ตร.ฟ.

ที่มา: กรมบัญชีกลาง: 2559

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ณัฏฐ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันทำงานที่บริษัท ลุมพินี เดเวลอปเม้น จำกัด ในตำแหน่ง สถาปนิกโครงการ Email address: rung.nutvipa@gmail.com

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University