

การประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในอาคารสำนักงาน
และคอนโดมิเนียมพักอาศัย ด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF ENERGY CONSERVATION MEASURES AND GREENHOUSE GAS EMISSION
REDUCTION IN OFFICE AND RESIDENTIAL CONDOMINIUM BUILDINGS USING MARGINAL
ABATEMENT COST CURVES.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
FACULTY OF ARCHITECTURE
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในอาคารสำนักงานและคอนโดมิเนียมพักอาศัย ด้วยการประเมินต้นทุนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน
โดย	นายกันตพงศ์ ศรีเมือง
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

----- คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจฤดี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

----- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พรณชลัท สุริโยธิน)

----- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

----- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์)

----- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

กัณฑ์พงศ์ ศรีเมือง : การประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในอาคารสำนักงานและคอนโดมิเนียมพักอาศัย ด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน. (EVALUATION OF ENERGY CONSERVATION MEASURES AND GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION IN OFFICE AND RESIDENTIAL CONDOMINIUM BUILDINGS USING MARGINAL ABATEMENT COST CURVES.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุต

การใช้พลังงานของอาคารในช่วงการก่อสร้างและช่วงใช้งานอาคาร เป็นปัจจัยสำคัญที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับชั้นบรรยากาศโลก งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก เพื่อประเมินความคุ้มค่าของมาตรการที่มีในปัจจุบัน โดยทำการเก็บข้อมูลอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เพื่อใช้เป็นแบบอาคารอ้างอิง และศึกษามาตรการในกลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา กลุ่มพลังงานทดแทน กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ รวมถึงกลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยศึกษาจากฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2 และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ.2563 ของประเทศไทย จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก นำเสนอด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน

จากการศึกษาในช่วงอายุอาคาร 60 ปี พบว่า ในอาคารสำนักงาน การติดตั้งกระจกฉนวนกันความร้อน เป็นทางเลือกที่คุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 7.99% และมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารลดลงร้อยละ 5.98% ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ทุกมาตรการมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ยกเว้นกลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว เป็นทางเลือกที่คุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 10.37 และมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารลดลงร้อยละ 1.31

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370004625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: Marginal abatement cost curve, Carbon Footprint, Embodied Energy,
Building Materials, Life Cycle Cost

Kantaphong Srimuang : EVALUATION OF ENERGY CONSERVATION MEASURES
AND GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION IN OFFICE AND RESIDENTIAL
CONDOMINIUM BUILDINGS USING MARGINAL ABATEMENT COST CURVES..

Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

Energy consumption during the Cradle-to-Gate and Use-Phase is still the main factor of the CO₂ emission in the atmosphere. This research aims to study the effectiveness of various energy conservation measure related to buildings to assess the cost-effectiveness of existing energy conservation measures. In addition, the data collected from office and residential condominium buildings was used as a baseline to study the energy conservation measures for building designs : orientations, wall insulations, roof insulations, solar cells, cooling systems, and lighting systems. The estimations of greenhouse gas emission factors based on ICE Version 2, and Thailand Greenhouse Gas Management Organization in 2020 by using Marginal Abatement Cost Curves were also analyzed.

According to the study of buildings that were built over 60 years, it was found that in the office building, installation of insulated glass is the most cost-effective option due to the ability to reduce the emission of CO₂ by 7.99% and reduce the life cycle costs by 5.98%. In residential condominium buildings, all energy conservation measures are effective in reducing CO₂ emissions except the use to roof insulations. Among this, energy conservation measure cooling – EER=22.5, is the most cost-effective choice with its capability to reduce CO₂ emissions by 10.37% and reduce life cycle costs by 1.31%.

Field of Study: Architecture

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร.อรรรจน์ เศรษฐบุตฺร ที่ให้คำแนะนำแนวทาง สนับสนุน ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงการให้คำแนะนำเรื่องมาตรการในการประหยัด พลังงานของอาคาร ขอขอบคุณกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน และ ผศ.ดร. วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์ ที่ชี้แนะแนวทางและคอยให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณ รศ.ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ตลอดช่วงการศึกษาไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ในการอำนวยความสะดวกตลอดการศึกษา รวมถึงทุนอุดหนุน ค่าใช้จ่ายในบางส่วนระหว่างช่วงการศึกษา

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงนิสิต ที่ศึกษา ในระดับปริญญาโท สาขาสถาปัตยกรรมทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ใน ครั้งนี้ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างมากที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กัณฑ์พงศ์ ศรีเมือง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ญ	ญ
สารบัญรูปภาพ.....ฉ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 6	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 6	6
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย..... 6	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7	7
1.6 สมมติฐานในการวิจัย..... 9	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11	11
2.1 ปัญหาก๊าซเรือนกระจก..... 11	11
2.2 แนวคิดเกี่ยวกับประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ..... 14	14
2.3 แนวคิดเกี่ยวกับ MACC..... 15	15
2.4 การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก..... 19	19
2.4.1 การศึกษาค่า Emission Factor ของประเทศไทย..... 19	19
2.4.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก..... 20	20
2.5 มูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money: TVM)..... 20	20

2.6	ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	23
2.7	หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร.....	25
2.8	วิธีการคำนวณพลังงานทดแทน.....	26
2.9	การศึกษาช่วงชีวิตของอาคาร.....	26
2.10	การศึกษาแบบอาคารอ้างอิง.....	26
2.9.1	แบบอาคารอ้างอิงอาคารสำนักงาน.....	27
2.9.2	แบบอาคารอ้างอิงอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	28
2.11	สรุปการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1	แผนการดำเนินงาน.....	33
3.2	การสร้างแบบอาคารอ้างอิง.....	34
3.2.1	การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิง อาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร.....	34
3.2.2	การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิง อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร.....	36
3.3	การเลือกมาตรการประหยัดพลังงาน.....	38
3.3.1	กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม (Orientation).....	38
3.3.2	กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง (Wall Insulation).....	39
3.3.3	กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา (Roof Insulation).....	39
3.3.4	กลุ่มพลังงานทดแทน (Solar Cell).....	40
3.3.5	กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (Cooling).....	40
3.3.6	กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting).....	41
3.4	การศึกษาการใช้พลังงานของอาคาร ในแต่ละมาตรการ.....	42
3.4.1	การใช้พลังงานในแบบอาคารอ้างอิง.....	42

3.4.2	กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม	43
3.4.3	กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง.....	45
3.4.4	กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา	46
3.4.5	กลุ่มพลังงานทดแทน	47
3.4.6	กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ	47
3.4.7	กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	50
3.5	การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	52
3.5.1	การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง	52
3.5.2	การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานอาคาร	55
3.6	การกำหนดตารางการใช้งานอาคาร.....	58
3.6.1	การกำหนดตารางการใช้งานอาคารสำนักงาน.....	58
3.6.2	การกำหนดตารางการใช้งานอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	60
3.7	การศึกษาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	63
3.7.1	การคำนวณต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง.....	63
3.7.2	การคำนวณต้นทุนในช่วงอยู่อาศัย.....	65
3.8	การสรุปผลและการเสนอแนะแนวทาง	66
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	67
4.1	ผลการประเมินมาตรการประหยัดพลังงานในช่วงอายุอาคาร 1 ปี.....	67
4.2	ผลการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิในการลดการปล่อยคาร์บอน	72
4.3	ผลของสัดส่วนต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	79
4.4	ผลของต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า	83
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1	สรุปผลประสิทธิภาพของมาตรการจำแนกตามกลุ่ม ช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	86

5.1.1	ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารอ้างอิง	86
5.1.2	กลุ่มของมาตรการใน Zone A.....	87
5.1.3	กลุ่มของมาตรการใน Zone B	88
5.1.4	กลุ่มของมาตรการใน Zone C	88
5.1.5	กลุ่มของมาตรการใน Zone D.....	90
5.1.6	กลุ่มของมาตรการใน Zone E.....	90
5.1.7	กลุ่มของมาตรการใน Zone F.....	91
5.2	การนำเสนอมาตรการตามประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ	92
5.3	สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบกับแนวทางการศึกษาของวรรณกรรมที่ผ่านมา	93
5.3.1	การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคาร	94
5.3.2	การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการการออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด.....	95
5.3.3	การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการกลุ่มการติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคาและวัสดุฉนวนผนัง.....	97
5.3.4	การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการกลุ่มพลังงานทดแทน.....	98
5.4	ข้อเสนอแนะ	99
	บรรณานุกรม	101
	ภาคผนวก ก. การศึกษาแบบอาคารอ้างอิง	105
	ภาคผนวก ข. คุณสมบัติวัสดุ.....	116
	ภาคผนวก ค. รายละเอียดการศึกษาประสิทธิภาพในการลดต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	118
	ประวัติผู้เขียน	135

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ความสัมพันธ์ของวัตถุดิบ ประสงค์ วิธีการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	8
ตารางที่ 2.1 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอาคาร	15
ตารางที่ 2.2 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
ตารางที่ 3.1 ประสิทธิภาพของวัสดุผนังแต่ละประเภท ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552	46
ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพของฉนวนแต่ละประเภท ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552	46
ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ปี พ.ศ. 2562	48
ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ	53
ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	54
ตารางที่ 3.6 สรุปมาตรการที่นำมาใช้ในการวิจัยและวิธีการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	56
ตารางที่ 3.7 ราคากลางวัสดุ	63
ตารางที่ 4.1 ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารสำนักงานอ้างอิง	67
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย 70	
ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร อาคาร Baseline ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี	87
ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone A	87
ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone B	88
ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone C	89

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone D.....90

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone E91

ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone F91

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคารกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในช่วงอายุอาคาร 30 ปี.....95

ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการการออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....97

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการการกลุ่มการติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคาและวัสดุฉนวนผนัง98



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งจากการก่อสร้างและการใช้พลังงานของอาคาร เทียบต่อพื้นที่อาคาร 1 ตร.ม. ตลอดระยะเวลา 30 ปี ของอาคาร 3 ชนิด	5
ภาพที่ 1.2 สมมติฐานในการวิจัยของอาคารสำนักงาน	9
ภาพที่ 1.3 สมมติฐานในการวิจัยของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย	10
ภาพที่ 2.1 การประเมินแนวทางการจัดการปัญหาก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย.....	13
ภาพที่ 2.2 แนวความคิดในการนำเสนอผลการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยใช้ MACC	16
ภาพที่ 2.3 MACC ในแต่ละมาตรการของประเทศอาร์เมเนีย.....	18
ภาพที่ 2.4 MACC ในแต่ละมาตรการของประเทศจอร์เจีย.....	18
ภาพที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการนำความร้อน	23
ภาพที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการแผ่รังสีความร้อน.....	24
ภาพที่ 2.7 การถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการพาความร้อน	24
ภาพที่ 2.8 รายละเอียดรูปทรงอาคารที่ได้ใช้แบบอาคารอ้างอิง ของอาคารทั้ง 3 ประเภท.....	27
ภาพที่ 2.9 รายละเอียดรูปทรงอาคารสำนักงาน ทั้ง 9 แบบ ที่ใช้เป็นแบบอาคารอ้างอิงในการศึกษา	28
ภาพที่ 2.10 แบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	29
ภาพที่ 2.11 แบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	29
ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	34
ภาพที่ 3.2 สัดส่วนลักษณะการวางผังอาคารในแต่ละรูปแบบ จากการสำรวจอาคารสำนักงานจำนวน 32 อาคาร.....	35
ภาพที่ 3.3 แบบอาคารสำนักงานอ้างอิงในการศึกษา.....	36

ภาพที่ 3.4 สัดส่วนลักษณะการวางผังอาคารในแต่ละรูปแบบ จากการสำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยจำนวน 21 อาคาร.....	37
ภาพที่ 3.5 แบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยอ้างอิงในการศึกษา.....	38
ภาพที่ 3.6 หุ่นจำลองในโปรแกรม Visual DOE 4.0	42
ภาพที่ 3.7 การตั้งค่าวัสดุเปลือกอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.0.....	43
ภาพที่ 3.8 การติดตั้งแผงกันแดดในโปรแกรม Visual DOE 4.0	44
ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการตั้งค่าการจำลองสภาพ ของพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบโซล่าเซลล์ ในฐานข้อมูล PWATTS (The National Renewable Energy Laboratory (NREL))	47
ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างการตั้งค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว ในโปรแกรม Visual DOE 4.0	49
ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างการติดตั้งระบบควบคุมแสงอัตโนมัติในอาคารสำนักงาน.....	51
ภาพที่ 3.12 สัดส่วนการใช้พลังงานที่ลดลง จากการติดตั้งระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ	51
ภาพที่ 3.13 ทิศทางในการหมุนอาคารตามทิศ ทั้ง 8 ทิศ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วง การใช้งานอาคาร จากตัวอย่างแบบอาคารอ้างอิงของอาคารสำนักงาน.....	56
ภาพที่ 3.14 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารสำนักงาน	59
ภาพที่ 3.15 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารสำนักงาน.....	59
ภาพที่ 3.16 ตารางการใช้งานระบบปรับอากาศ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารสำนักงาน.....	60
ภาพที่ 3.17 ตารางการใช้งานระบบปรับอากาศ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารสำนักงาน.....	60
ภาพที่ 3.18 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย	61
ภาพที่ 3.19 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	61

ภาพที่ 3.20 ตารางการใช้งานระบบปรับอากาศ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	62
ภาพที่ 3.21 ตารางการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	62
ภาพที่ 3.22 อัตราค่าไฟเป็นแบบอัตราปกติ.....	65
ภาพที่ 4.1 สัดส่วนการใช้พลังงาน ตามแบบอาคารอ้างอิง ในอาคารสำนักงาน.....	68
ภาพที่ 4.2 ค่า EUI ของแต่ละมาตรการ ในอาคารสำนักงาน.....	69
ภาพที่ 4.3 สัดส่วนการใช้พลังงาน ตามแบบอาคารอ้างอิง ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	71
ภาพที่ 4.4 ค่า EUI ของแต่ละมาตรการ ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย.....	72
ภาพที่ 4.5 MACC ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 20 ปี.....	74
ภาพที่ 4.6 MACC ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 40 ปี.....	75
ภาพที่ 4.7 MACC ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	75
ภาพที่ 4.8 MACC ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 20 ปี.....	77
ภาพที่ 4.9 MACC ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 40 ปี.....	78
ภาพที่ 4.10 MACC ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	78
ภาพที่ 4.11 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละมาตรการ ในอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	80
ภาพที่ 4.12 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละมาตรการ ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	80
ภาพที่ 4.13 ร้อยละของค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	82
ภาพที่ 4.14 ร้อยละของค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละมาตรการ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	82
ภาพที่ 4.15 Eco-Efficiency ในแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	84
ภาพที่ 4.16 Eco-Efficiency ในแต่ละมาตรการ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....	84

ภาพที่ 5.1 Eco-Efficiency ในแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี.....86



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ประเทศไทยได้เสนอเป้าหมายในลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในปี พ.ศ. 2563 แก่ประเทศภาคีสมาชิกอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ในการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 20 (COP 20) โดยมีเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกของภาคขนส่งและภาคพลังงานให้ได้ร้อยละ 7-20 จากปริมาณที่ปล่อยในปี พ.ศ. 2548 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2562 ในการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 26 (COP 26) ประเด็นสำคัญที่ถูกหารือระหว่างการประชุม คือ แนวลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 45% ภายในปี พ.ศ. 2573 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero carbon) ภายในปี พ.ศ.2593 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อตกลงดังกล่าว ประเทศไทยจึงมีเป้าหมายที่จะมุ่งไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เหลือศูนย์โดยเร็วที่สุดภายในครึ่งหลังของศตวรรษนี้ และมุ่งสู่ความเป็นกลางของคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ.2608 (United Nations Development Programme, 2021)

อย่างไรก็ดี ในปี ค.ศ. 2564 Climate Action Tracker หรือ CAT ซึ่งเป็นโครงการภายใต้ความร่วมมือขององค์กรวิจัยนานาชาติเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ แสดงให้เห็นว่า ผลการดำเนินงานด้านสภาพอากาศของประเทศไทย ยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากมีแนวโน้มของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นทุกๆ ปี และคาดว่าจะยังไม่บรรลุเป้าหมายภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Action Tracker, 2021)

จากการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย รวมถึงความสำคัญของปัญหาก๊าซเรือนกระจกในระดับโลก ในส่วนของกิจกรรมการก่อสร้างอาคาร เป็นปัญหาสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ ภาครัฐจึงมีการออกมาตรการต่างๆ เพื่อช่วยในการควบคุมการ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ตัวอย่างเช่น กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 ซึ่งได้กำหนดให้ การก่อสร้างอาคารสำหรับใช้เป็นหรือเพื่อกิจการทั้งอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย หากมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นในอาคารหลังเดียวกันตั้งแต่ 2000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (กระทรวงพลังงาน, 2563)

การก่อสร้างและใช้สอยอาคารเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมาก ตั้งแต่การขุดค้นหาวัตถุดิบ การแปรรูปวัตถุดิบ การขนส่ง รวมถึงกิจกรรมการก่อสร้างจนสำเร็จออกมาเป็นอาคารหนึ่งหลัง หลังจากอาคารก่อสร้างแล้วเสร็จ การใช้งานตลอดช่วงชีวิตของอาคารยังต้องใช้พลังงาน การก่อสร้างอาคารจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลก โดยคิดเป็นร้อยละ 30 ของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลก ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) กระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้าง (Gate-to-Gate) และการใช้งานอาคาร (Use-Phase) (อรรถจน์ เศรษฐบุตร, 2555) เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ และกระบวนการก่อสร้างของบ้านพักอาศัย พบว่า มากกว่าร้อยละ 90 มาจากวัสดุก่อสร้างบ้าน (นลินี เอนกแสน, 2554) นอกจากนี้ ระบบปรับอากาศยังเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคาร โดยพบว่าระบบปรับอากาศมีส่วนแบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าคิด เป็นร้อยละ 47-60 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร (สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ, 2561) ซึ่งสัดส่วนการใช้พลังงานเหล่านี้ เป็นส่วนสำคัญของปัญหาก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ

จะเห็นได้ว่า วัสดุประกอบอาคารและระบบปรับอากาศ เป็นส่วนสำคัญของปัญหาก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ดังนั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการกำหนดมาตรการประหยัดพลังงาน (Energy conservation measures) ใดๆ ที่มีการนำมาใช้กับอาคาร จึงต้องมีการศึกษาปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุ หรือการลงทุนในการปรับเปลี่ยนพัฒนาอาคาร โดยใช้แนวคิด เรื่องประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) (ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ หมายถึงการนำมาซึ่งการแข่งขันกันในด้านคุณภาพการผลิตและการบริการ โดยมีจุดประสงค์ที่จะตอบสนองความต้องการของมนุษย์ และนำมาซึ่งคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนของมูลค่า

ผลิตภัณฑ์และบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกลยุทธ์การจัดการที่เชื่อมโยงประสิทธิภาพทางการเงินและสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยลง (Katherine Madden, 2006) โดยเป็นเครื่องมือประกอบการพิจารณา ที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินถึงประสิทธิภาพของมาตรการต่างๆ ที่นำมาปรับใช้กับอาคาร

การศึกษางานวิจัยของ ฌ็อง-ฌัก วิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) ซึ่งได้ศึกษาการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ในวัสดุอาคาร ในช่วงการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) และช่วงการใช้งานอาคาร (Use Phase) ของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ โดยทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคาร เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคาร ได้แก่ อิฐก่อผนังเปลี่ยนจากเดิม คือ อิฐมวลเบา เป็นผนังคอนกรีตมวลเบา กระเบื้องหลังคาเปลี่ยนจากเดิม คือ กระเบื้องคอนกรีต เป็น กระเบื้องดินเผา กระฉก เปลี่ยนจากเดิม คือ กระฉกสีหนา 6 มม. เป็นกระฉกตัดแสง และติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว เข้าไปเพิ่มเติมที่ฝ้าเพดาน ผลการวิจัยพบว่า ทุกมาตรการที่มีการปรับเปลี่ยน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจได้ในช่วง 0.73-1.65 เท่า ขึ้นอยู่กับประเภทอาคารที่นำมาทดลอง

การศึกษางานวิจัยของ Tomoscheit S., et al (2011) เป็นตัวอย่างในการศึกษามาตรการที่มาจากวัสดุทางเลือก โดยศึกษาการปรับเปลี่ยนวัสดุผนังแบบเดิม ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก ทับด้วยฉนวนกันความร้อนและแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ในอาคาร INNOTEX ของมหาวิทยาลัยอาเคน ประเทศเยอรมันนี เป็นวัสดุผนังเบา โดยใช้คอนกรีตผสมใยผ้า (Textile Reinforced Concrete) ประกอบกับฉนวนกันความร้อนโพลียูรีเทน ซึ่งมีศักยภาพในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 69.34 kgCO₂e /m² หรือประมาณ 85% ของระบบผนังแบบเดิม (Tomoscheit et al., 2011)

จะเห็นได้ว่า มาตรการในแต่ละด้านที่เกี่ยวข้องกับอาคาร เป็นปัจจัยสำคัญ ในการนำไปสู่การแก้ปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ เมื่อพิจารณาควบคู่กับการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ จะทำให้เห็นสัดส่วนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อต้นทุนในแต่ละมาตรการ ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในการสรุปผล ใช้วิธีนำเสนอด้วยการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Marginal Abatement Cost Curve) หรือ MACC ซึ่งเป็นวิธีการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2535 โดย Alan Kevin Meier เพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของพลังงานไฟฟ้า ต่อมาเริ่มมีการนำมาใช้วิเคราะห์มลพิษทางอากาศ ในปี พ.ศ. 2537 จากนั้น MACC กลายเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ด้านสภาพภูมิอากาศ

ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Kesicki & Strachan, 2011) โดยจากการศึกษางานวิจัยของ Jiang et al., (2019) ซึ่งได้รวบรวมงานวิจัยที่ใช้ MACC ในการศึกษาและนำเสนอผลการวิเคราะห์ จากแหล่งข้อมูล Web of Science (WOS) พบว่า MACC มักถูกใช้ในการวิเคราะห์ด้านนโยบายด้านพลังงาน ด้านเศรษฐศาสตร์พลังงาน และด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในปัจจุบัน MACC ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ในการใช้ประเมินมาตรการต่างๆ ของอาคาร (Jiang et al., 2019)

ในปัจจุบัน ยังคงมีมาตรการอีกเป็นจำนวนมาก ที่มีผลต่อศักยภาพในตลาดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารที่แตกต่างกัน จากคู่มือแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560) ได้มีการเสนอแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน ในหลายๆ ด้าน เช่น การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) การเพิ่มประสิทธิภาพของผนังโปร่งแสง ผนังทึบ และระบบหลังคา การออกแบบอาคารตามสภาพภูมิอากาศ การใช้อุปกรณ์บังแดด การเลือกใช้ระบบปรับอากาศ รวมถึงการเลือกใช้ระบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, 2560)

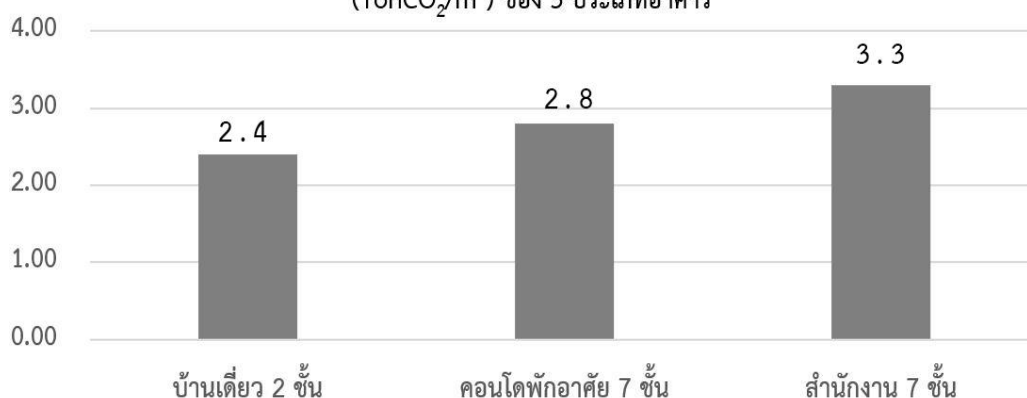
นอกจากนี้ พลังงานทดแทนและการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน จะยังเป็นส่วนสำคัญของการผลิตและการใช้พลังงานของประเทศ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะแพร่หลายมากขึ้นในอุตสาหกรรม Blockchain คือ ไม่อาศัยตัวกลาง ซึ่งเป็นสถาบันการเงินอีกต่อไป ด้วยต้นทุนแฝงโซล่าเซลล์ที่ลดลงมาก ผสมกับการพัฒนาและผลิตแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานกันอย่างจริงจัง ทำให้เกิดความเชื่อมั่นในการบริหารจัดการพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นทางเลือกของอุตสาหกรรมและแม้แต่บ้านเรือน ที่อยู่อาศัย ซึ่งในอนาคตการซื้อขายไฟฟ้าอาจจะอิสระมากขึ้น โดยทุกคนที่ฐานะเป็น Prosumer คือผลิตไฟใช้เอง และอาจจะสามารถขายกันระหว่างบุคคลได้อีกด้วย โดยเป็นระบบ Energy Storage (สุนิรัตน์ พุกตะ, 2562)

กรุงเทพมหานครในฐานะที่เป็นเมืองหลวงและศูนย์กลางสำคัญ ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ เป็นศูนย์รวมความเจริญด้านเทคโนโลยี การศึกษาและแหล่งงานทำให้ผู้คนหลั่งไหลเข้ามาเพื่อประกอบอาชีพ เพื่อการศึกษาและเพื่อความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น กรุงเทพมหานครจึงเป็นแหล่งอุปสงค์สำคัญของที่อยู่อาศัยและสำนักงาน ทำให้เกิดการปลูกสร้างอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยอย่างหนาแน่น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างก๊าซเรือนกระจกให้กับชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งอาคารแต่ละหลังที่ได้รับการก่อสร้างจนมาถึงช่วงการใช้งาน ต่างใช้พลังงานรวมแตกต่างกันไป การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารหนึ่งหลัง จึงไม่อาจประเมินได้

ด้วยการก่อสร้างหรือการใช้งานอาคารเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง จำเป็นต้องคำนึงถึงทั้งสองอย่าง ตลอดช่วงอายุอาคาร จากการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 ตร.ม. ของพื้นที่บ้านพักอาศัย อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย และอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 30 ปี พบว่าอาคารสำนักงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด ทั้งจากการก่อสร้างและการใช้พลังงานในช่วงใช้งานอาคาร และอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองจากอาคารสำนักงาน โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 90% มาจากช่วงการใช้งานและอีกประมาณ 10% มาจากก่อสร้าง ในทางกลับกัน บ้านเดี่ยว 2 ชั้น จะมีอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าอาคารอีกสองประเภท เนื่องจาก operation energy ที่ต่ำกว่ามาก แสดงในภาพที่ 1.1 (อรรถน์ เศรษฐบุต, 2555)



การปล่อย CO₂ ทั้งหมดต่อพื้นที่อาคารตลอดชั่วอายุอาคาร 30 ปี
(TonCO₂/m²) ของ 3 ประเภทอาคาร



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งจากการก่อสร้างและการใช้พลังงานของอาคาร เทียบต่อพื้นที่อาคาร 1 ตร.ม. ตลอดระยะเวลา 30 ปี ของอาคาร 3 ชนิด
(อรรถน์ เศรษฐบุต, 2555)

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงปัญหาและความสำคัญของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลให้เกิดการศึกษามาตรการต่างๆ ตามมา โดยในแต่ละมาตรการ ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน แต่ในการศึกษาเกี่ยวกับมาตรการเหล่านี้ กลับพบว่ายังไม่ได้มีการศึกษามาตรการที่เกี่ยวข้องกับอาคาร และการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละมาตรการให้มีความครอบคลุมในทุกๆ ด้าน ด้วยเหตุนี้จึงนำไปสู่การตั้งคำถามในงานวิจัยว่า “มาตรการใด ที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีความคุ้มค่าในด้านการ

ลงทุนมากที่สุด” ซึ่งเป็นการสนับสนุนแนวทาง การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดย เลือกรีวิวการนำเสนอด้วย MACC ซึ่งแสดงเป็นแผนภาพข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายตลอด ช่วงอายุอาคาร และประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในการเปรียบเทียบและ นำเสนอผล รวมถึงได้มีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของลักษณะการใช้พลังงานและมาตรการต่างๆ ในอาคารที่มีการใช้งานแตกต่างกัน ของอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงที่มาและความสำคัญของมาตรการที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแต่ละ มาตรการกับแบบอาคารอ้างอิง ในช่วงอายุอาคาร 20ปี 40ปี และ 60ปี โดยนำเสนอด้วยวิธีการ ประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน (MACC)

1.2.3 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือน กระจก ในประเภทอาคาร ที่มีการใช้งานแตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาในอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยที่มีพื้นที่ไม่เกิน 10,000 ตร.ม. และสูงไม่เกิน 23 ม. ในกรุงเทพมหานคร

1.3.2. ศึกษาต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก เฉพาะในช่วงกระบวนการ ก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) ซึ่งเป็นการประเมินตั้งแต่กระบวนการผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายัง โรงงาน จนถึงการผลิตในโรงงาน และช่วงใช้งานอาคาร (Use-Phase) ซึ่งเป็นการประเมินจากการใช้ งานอาคารตลอดช่วงชีวิตอาคาร ทั้งนี้ การศึกษาไม่รวมถึงการรื้อถอนทำลาย (Disposal) และการ ขนส่งสินค้าไปจัดจำหน่ายหรือไปยังสถานที่ก่อสร้าง (Transportation)

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 กำหนดแบบอาคารอ้างอิงจากการสำรวจแบบอาคารในกรุงเทพมหานคร

1.4.3 กำหนดมาตรการจากปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร

1.4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้าง โดยการถอดปริมาณวัสดุเพื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก ICE Version 2 ควบคู่กับค่า Emission Factor ปี พ.ศ. 2563 ของประเทศไทย และข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม

1.4.5 ศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร ในช่วงการก่อสร้าง จากราคากลางวัสดุของปี พ.ศ. 2560-2564

1.4.6 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงอยู่อาศัย โดยการ Simulation ผ่านโปรแกรม Visual DOE 4.0 และ PVWATT จากนั้นนำไปเทียบกับค่า Emission Factor ปี พ.ศ. 2563 ของประเทศไทย และข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม

1.4.7 ศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร ในช่วงอยู่อาศัย จากอัตราของค่าไฟ สำหรับอาคารที่ประกอบกิจการขนาดกลาง โดยการไฟฟ้านครหลวง

1.4.8 สร้าง MACC เพื่อศึกษาลำดับความคุ้มค่าในด้านค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละมาตรการ โดยใช้วิธีคิดแบบ Time value of money : TMV

1.4.9 ศึกษาความสัมพันธ์ของ MACC จากแบบอาคารอ้างอิงที่แตกต่างกัน 2 ประเภทอาคาร คืออาคารสำนักงาน และอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงที่มาและความสำคัญของมาตรการต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร

1.5.2 ทราบถึงความสัมพันธ์ของการลดก๊าซเรือนกระจก ต่อต้นทุน ในแต่ละมาตรการ

1.5.3 ทราบถึงลำดับของความคุ้มค่า ของแต่ละมาตรการที่ได้นำมาพิจารณา

1.5.4 ทราบถึงความสัมพันธ์ของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อต้นทุนในประเภทอาคาร ที่มีการใช้งานแตกต่างกัน

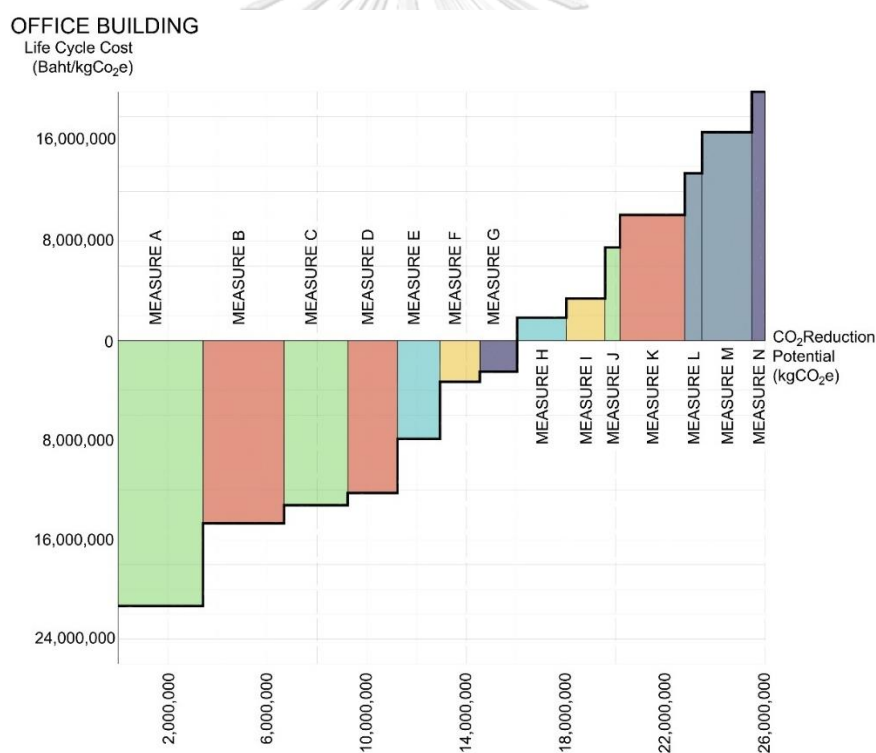
1.5.5 เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจ ให้กับผู้ออกแบบหรือเจ้าของโครงการ ในการพิจารณาต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร

ตารางที่ 1.1 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ วิธีการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงที่มาและความสำคัญของมาตรการที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร	ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	ทราบถึงที่มา และความสำคัญของมาตรการต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแต่ละมาตรการกับแบบอาคารอ้างอิง ในช่วงอายุอาคาร 20ปี 40ปี และ 60ปี โดยนำเสนอผ่าน MACC	กำหนดมาตรการขึ้น จากปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร	ทราบถึงความสัมพันธ์ของการลดก๊าซเรือนกระจก ต่อต้นทุน และลำดับของความคุ้มค่าของแต่ละมาตรการที่ได้นำมาพิจารณา
	ศึกษาประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของอาคาร โดยการเทียบค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก ICE Version 2 ควบคู่กับค่า Emission Factor	ศึกษาต้นทุนในการเพิ่มประสิทธิภาพในลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร จากราคากลาง ปี พ.ศ. 2560-2564 และอัตราค่าไฟปกติ จากการไฟฟ้านครหลวง ปี พ.ศ. 2561
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในประเภทอาคาร ที่มีการใช้งานแตกต่างกัน โดยนำเสนอผ่าน MACC	เปรียบเทียบ MACC จากแบบอาคารอ้างอิงที่แตกต่างกัน 2 ประเภทอาคาร คืออาคารสำนักงาน และอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย	ทราบถึงความสัมพันธ์ของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อต้นทุนในประเภทอาคาร ที่มีการใช้งานแตกต่างกัน

1.6 สมมติฐานในการวิจัย

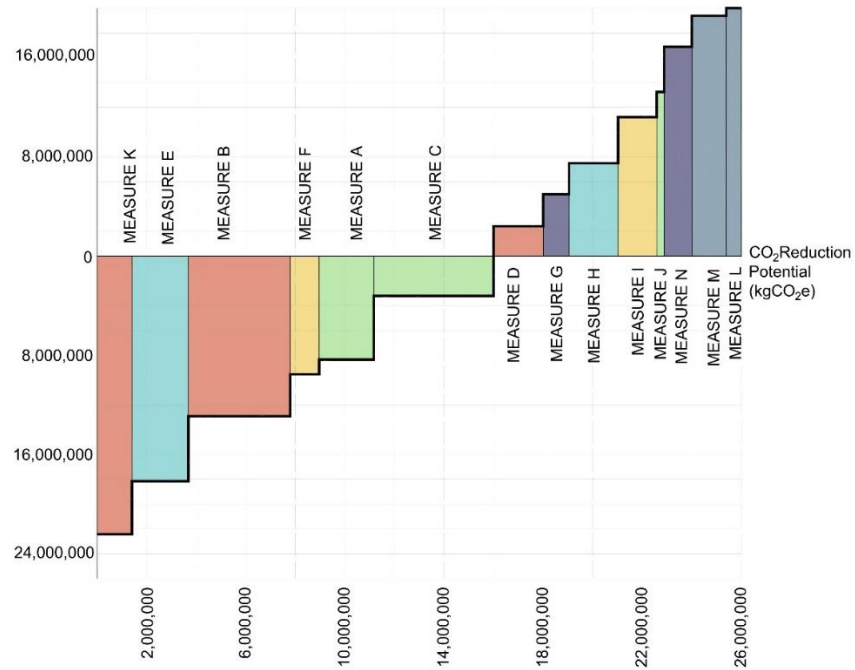
การประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถแสดงให้เห็นถึงลำดับความคุ้มค่าในแต่ละมาตรการ แต่ในกรณีของอาคารที่มีการใช้งานแตกต่างกัน ของอาคารสำนักงาน ที่เน้นใช้งานกลางวัน และอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ที่เน้นการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ย่อมส่งผลที่แตกต่างกันของลำดับความคุ้มค่าในแต่ละมาตรการ ตัวอย่างเช่น มาตรการที่คุ้มค่าในด้านเงินลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในอาคารสำนักงาน คือมาตรการ A แต่ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เป็นมาตรการ K เป็นต้น (ภาพที่ 1.2 และภาพที่ 1.3) นอกจากนี้ ในช่วงอายุอาคารที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อลำดับความคุ้มค่าในแต่ละมาตรการที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในช่วงอายุอาคารที่ มากกว่า 1 ช่วงอายุ



ภาพที่ 1.2 สมมติฐานในการวิจัยของอาคารสำนักงาน

RESIDENCE BUILDING

Life Cycle Cost
(Bath/kgCO₂e)



ภาพที่ 1.3 สมมติฐานในการวิจัยของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินต้นทุนของการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วงกระบวนการก่อสร้างและช่วงใช้งานอาคาร โดยมีคำสำคัญที่แสดงในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดความหมายและรายละเอียดของคำไว้ ดังต่อไปนี้

“Greenhouse gases” หมายถึง ก๊าซเรือนกระจก

“Life cycle cost” หมายถึง ค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร หรือต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

“Activity data” หมายถึง ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

“Emission factor” หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

“Cradle-to-Gate” หมายถึง การพิจารณาพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างวัสดุ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิต ผลิตภัณฑ์ในโรงงาน ไม่รวมถึงการขนส่งสินค้าไปจัดจำหน่ายหรือไปยังสถานที่ก่อสร้าง

“Use-Phase” หมายถึง การพิจารณาพลังงานที่ใช้ในช่วงใช้งานอาคาร

“Marginal Abatement Cost Curves” หมายถึง การประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน ซึ่งแสดงเป็นแผนภาพข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร และประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.1 ปัญหาก๊าซเรือนกระจก

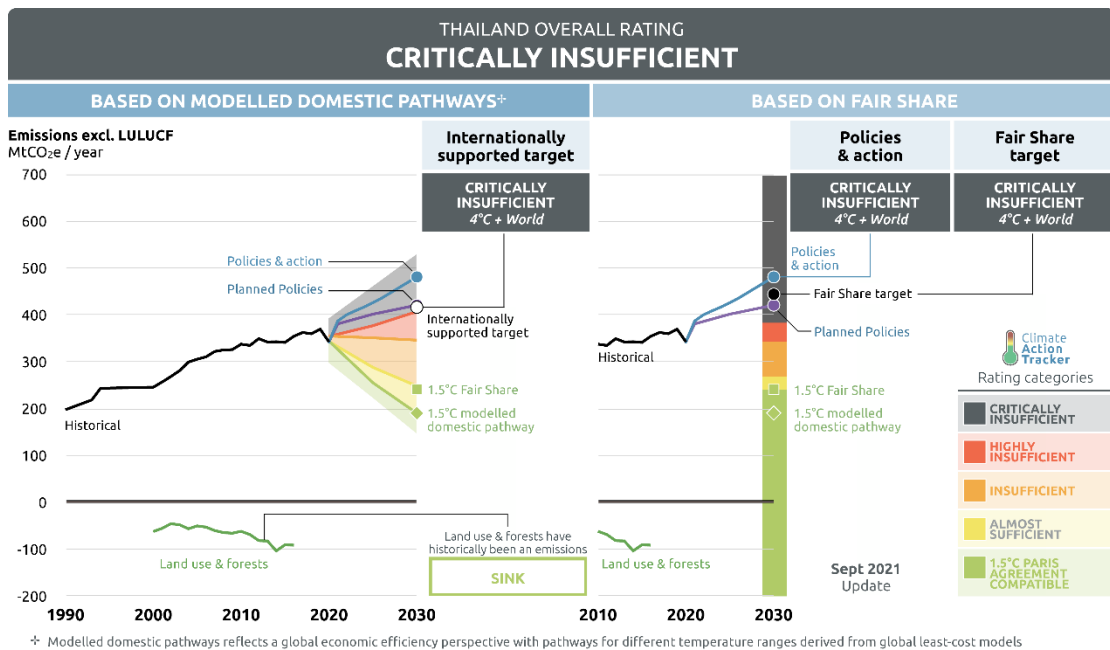
ภาวะโลกร้อน (Global warming) คือการที่อุณหภูมิของโลกเฉลี่ยสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอากาศใกล้บริเวณผิวโลก หรือน้ำมหาสมุทร ผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่สามารถเห็นได้ชัดคือ สภาพภูมิอากาศและฤดูกาลที่ผิดแปลกไปจากเดิม ภัยธรรมชาติที่รุนแรงมากขึ้น การเกิดโรคระบาดชนิดใหม่ และที่สำคัญ คือสภาพอากาศที่ร้อนผิดปกติ มีสาเหตุมาจากก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บคลื่นรังสีความร้อนได้ดี โดยก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธี

สารเกียวโต มี 6 ชนิด ซึ่งทั้ง 6 ชนิดนี้ ต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) (ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)

ปัญหาอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) เพื่อให้แต่ละประเทศ มีการกำหนดนโยบายในการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ในการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 20 (COP20) เมื่อเดือนธันวาคม 2557 ณ กรุงลิมา สาธารณรัฐเปรู ประเทศไทยได้เสนอเป้าหมายในปี พ.ศ. 2563 ที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งและภาคพลังงานให้ได้รับร้อยละ 7-20 จากปริมาณที่ปล่อยในปี พ.ศ. 2548 ซึ่งเป็นไปตามกรอบแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2557-2593 จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2557 และได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ เมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2562 ในการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 26 (COP 26) ประเด็นสำคัญที่ถูกหารือระหว่างการประชุม คือ แนวลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 45% ภายในปี พ.ศ. 2573 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero carbon) ภายในปี พ.ศ. 2593 รวมถึง งดระดับการเพิ่มของอุณหภูมิโลกไว้ที่ 1.5 องศาเซลเซียสภายในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อตกลงดังกล่าว ประเทศไทยตั้งเป้าที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2573 โดยมีเป้าหมายที่จะมุ่งไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เหลือศูนย์โดยเร็วที่สุดภายในครึ่งหลังของศตวรรษนี้ และมุ่งสู่ความเป็นกลางของคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2608 (United Nations Development Programme, 2021)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2564 Climate Action Tracker แสดงให้เห็นว่า ผลการดำเนินงานด้านสภาพอากาศของประเทศไทย ยังไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากมีแนวโน้มของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นทุกๆ ปี และคาดว่าจะยังไม่บรรลุเป้าหมายภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หากประเทศไทยไม่ดำเนินการเพิ่มเติมเกี่ยวกับนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การประเมินแนวทางการจัดการปัญหาก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย
(<https://climateactiontracker.org/countries/thailand/>, 19 พฤษภาคม 2565)

จากความสำคัญของปัญหาก๊าซเรือนกระจก ทำให้เกิดการกำหนดนโยบายในการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ตามมา รวมถึงเกิดเป็นงานวิจัย ซึ่งเกี่ยวกับการศึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยในปัจจุบัน ยังคงมีมาตรการอีกมาก ซึ่งมีผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการก่อสร้างอาคาร และสามารถเป็นทางเลือกในการนำไปพิจารณาเลือกใช้วัสดุ หรือการลงทุนในการปรับเปลี่ยนพัฒนาอาคาร โดยคำนึงถึงต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารเป็นสำคัญ

การศึกษางานวิจัยของ Tomoscheit S., et al (2011) เป็นตัวอย่างในการศึกษาวัสดุทางเลือก โดยศึกษาการปรับเปลี่ยนวัสดุผนังแบบเดิม ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก ทับด้วยฉนวนกันความร้อนและแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ในอาคาร INNOTEX ของมหาวิทยาลัยอาเคน ประเทศเยอรมันนี่ เป็นวัสดุผนังเบา โดยใช้คอนกรีตผสมใยผ้า (Textile Reinforced Concrete) ประกอบกับฉนวนกันความร้อนโพลียูรีเทน ซึ่งมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 69.34 kgCO₂e /m² หรือประมาณ 85% ของระบบผนังแบบเดิม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนแล้ว วัสดุผนังเบาดังกล่าว มีต้นทุนสูงขึ้น 2.34 เท่า จากต้นทุนของระบบผนังแบบเดิม

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

คำว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ มาจากการรวมตัวกันของ คำ 2 คำ ได้แก่คำว่า Eco หมายถึง ระบบนิเวศ (Ecology) และ เศรษฐกิจ (Economy) และคำว่า Efficiency ซึ่งแปลตามภาษาไทยว่า ประสิทธิภาพ นิยามของเชิงนิเวศเศรษฐกิจ จึงหมายถึงการนำมาซึ่งการแข่งขันกันใน ศักยภาพด้านการผลิตและการบริการ โดยมีจุดประสงค์ที่จะตอบสนองความต้องการของมนุษย์ และ นำมาซึ่งคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถทำได้จากการ พิจารณาสัดส่วนของมูลค่าผลิตภัณฑ์ และบริการเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกลยุทธ์การจัดการที่เชื่อมโยงประสิทธิภาพทางการเงินและสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยมี ผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยลง (Katherine Madden, 2006)

The World Business Council for Sustainable Development ได้กำหนดวิธีการประเมิน ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ (1) (World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2000)

$$\text{Eco Efficiency} = \frac{\text{Product or Service value}}{\text{Environmental Influence}} \quad (1)$$

การศึกษางานวิจัยของ ญัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) เป็นตัวอย่างในการประเมิน ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอาคาร โดยการศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ และการใช้งานของอาคารพักอาศัย โดยการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนวัสดุผนังเปลี่ยนเป็นผนังคอนกรีตมวลเบา เปลี่ยน หลังคาเป็นกระเบื้องดินเผา เปลี่ยนกระจกเป็นกระจกตัดแสง และติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว เข้า ไปเพิ่มเติมที่ฝ้าเพดาน จากการศึกษาต้นทุนและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น จากการ ปรับเปลี่ยนวัสดุพบว่า บ้านเดี่ยว 2 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากแบบอาคารอ้างอิง คิดเป็นร้อยละ 15.78 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 12.52 ต่อปี ประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 1.65 บ้านแฝด 2 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 12.30 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 13.33 ต่อปี ประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 1.35 ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 12.28 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 10.97 ต่อปี ประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 1.41 และคอนโด 4 ชั้น มีมูลค่าการก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาคิดเป็น ร้อยละ 6.53 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 7.11 ต่อปี ประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจเพิ่มขึ้น 0.73 (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอาคาร

(ที่มา : อนุรักษ์วิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559)

ประเภทอาคาร	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย (kgCO ₂ e)	ECO-Efficiency (เท่า)	ECO-Efficiency ที่เพิ่มขึ้น (เท่า)
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น กรณีศึกษา	29,385	19,634	1.49	1.65
บ้านเดี่ยว 2 ชั้น เปลี่ยนวัสดุ	55,381	17,624	3.14	
บ้านแฝด 2 ชั้น กรณีศึกษา	63,356	49,786	1.27	1.35
บ้านแฝด 2 ชั้น เปลี่ยนวัสดุ	119,470	45,458	2.62	
ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้นกรณีศึกษา	279,469	212,860	1.31	1.41
ทาวน์เฮ้าส์ 2 ชั้นเปลี่ยนวัสดุ	525,790	193,231	2.72	
คอนโด 4 ชั้น กรณีศึกษา	558,605	764,160	0.73	0.73
คอนโด 4 ชั้น เปลี่ยนวัสดุ	1,067,274	729,958	1.46	

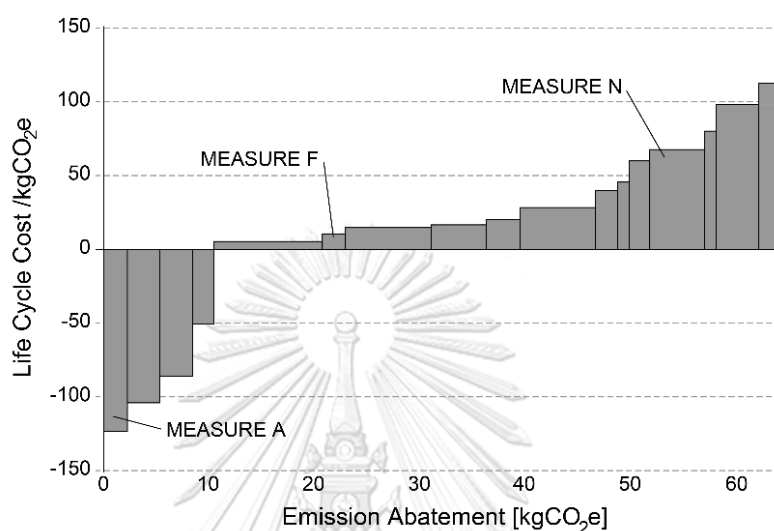
2.3 แนวคิดเกี่ยวกับ MACC

จากการศึกษางานวิจัยของ Peng et al. (2016) ได้มีการแสดงวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ในงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของรถยนต์ต่อต้นทุน โดยแสดงออกมาในรูปแบบของ MACC ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2) (Peng et al., 2016)

$$\text{CO}_2 \text{ emissions abatement cost} = \frac{\text{Incremental full cost of abatement option to baseline option}}{\text{CO}_2 \text{ emission reduction of abatement option to baseline option}} \quad (2)$$

MACC ถูกกำหนดเป็นแผนภาพที่แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (Life Cycle Cost) และประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยแสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร ในแกน Y ซึ่งแสดงเป็นสกุลเงินที่นำมาวิเคราะห์ และแสดงปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแกน X ซึ่งแสดงออกมาเป็นหน่วยกิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO₂e) โดยข้อมูลของแต่ละชุด แสดงถึงมาตรการที่นำมาใช้ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเรียงตามลำดับความคุ้มค่าของแต่ละมาตรการ MACC ไม่ได้จำกัดเฉพาะการศึกษาด้านปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่สามารถนำไปใช้โดยทั่วไป ในการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่าง

การเพิ่มศักยภาพของเศรษฐกิจที่ดีขึ้น ต่อต้นทุนส่วนเพิ่มที่เกี่ยวข้องหรือต้นทุนหน่วยสุดท้าย (Kesicki & Strachan, 2011) ลักษณะของ MACC ที่แสดง Life Cycle Cost/kgCO₂e เป็นบวก หมายถึงมี Eco-Efficiency ต่ำ ในทางกลับกันหากแสดงเป็นลบ หมายถึงมี Eco-Efficiency สูง (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.2 แนวความคิดในการนำเสนอผลการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยใช้ MACC

MACC ไม่ได้จำกัดเฉพาะการศึกษาด้านปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่สามารถนำไปใช้โดยทั่วไป ในการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างการเพิ่มศักยภาพของเศรษฐกิจที่ดีขึ้น ต่อต้นทุนส่วนเพิ่มที่เกี่ยวข้องหรือต้นทุนสุดท้ายหน่วย (Kesicki & Strachan, 2011) แม้ว่าจากงานวิจัยของ Jiang et al., (2019) ซึ่งได้รวบรวมงานวิจัยที่ใช้ MACC ในการศึกษาและนำเสนอผลการวิเคราะห์จากแหล่งข้อมูล Web of Science (WOS) พบว่า MACC มักถูกใช้ในการวิเคราะห์ด้านนโยบายด้านพลังงาน ด้านเศรษฐศาสตร์พลังงาน และด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม

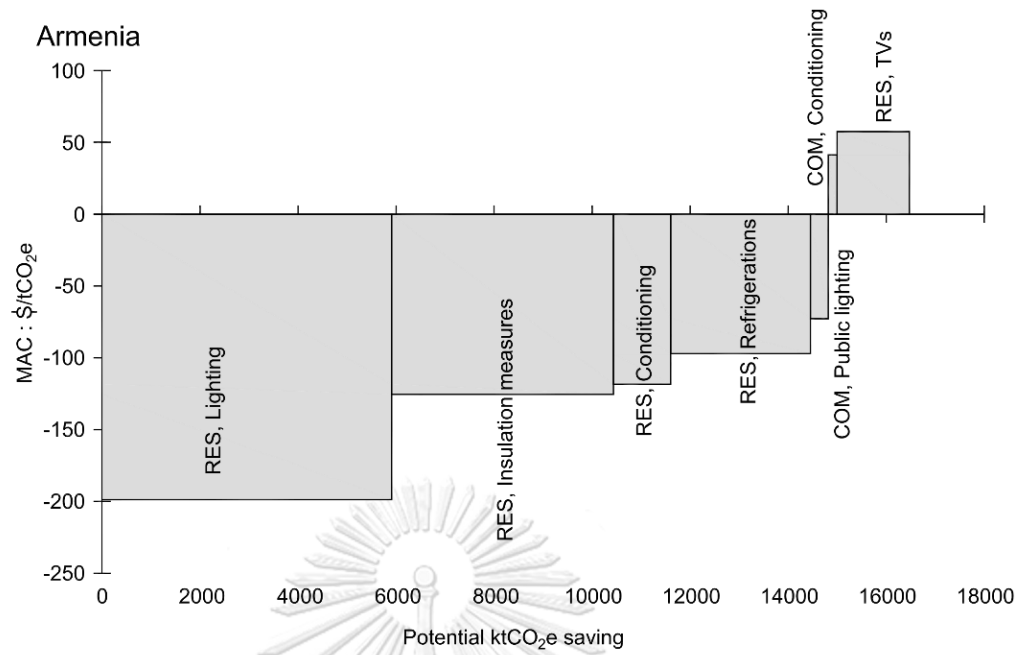
จากการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารอ้างอิง ทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของอาคาร ซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับมาตรการต่างๆ ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร โดยอาศัย MACC เพื่อเลือกมาตรการที่เหมาะสม กล่าวคือ เป็นการพิจารณาหามาตรการที่มีต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงในอาคารประเภทต่างๆ ซึ่ง MACC มีหลักการในการคำนวณได้ตามสการ (3) (อติตินนท์ ภูพาดทอง, 2560)

$$MRC_t = \frac{CR'_t - CR_t}{R_t - R'_t} \quad (3)$$

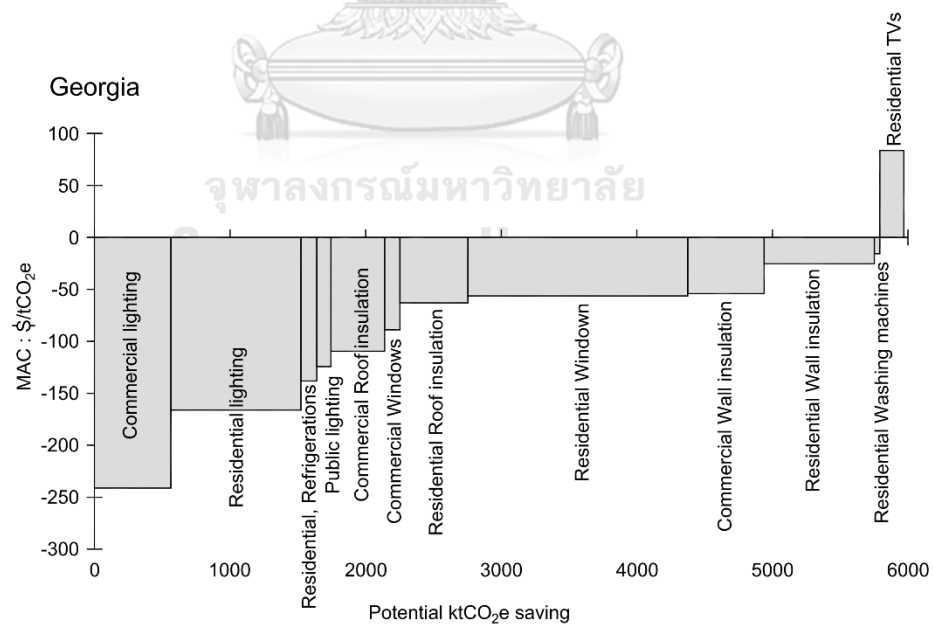
- เมื่อ MRC_t คือ Marginal Reduction Cost ณ ปี t
 R_t คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ปี t
 R'_t คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากใช้มาตรการ ณ ปี t
 CR_t คือ ต้นทุนของแบบอาคารอ้างอิง ณ ปี t
 CR'_t คือ ต้นทุนการดำเนินตามมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ณ ปี t

ซึ่งจากสมการที่ (1), (2) และ (3) เป็นแนวคิดที่สอดคล้องกัน โดยสมการ (1) จะเน้นอธิบายถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในแง่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สมการ (2) แสดงภาพรวมของข้อมูลสำหรับใช้ประเมินประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก และสมการ (3) แสดงวิธีการคำนวณ MACC ในช่วงปีนั้นๆ ซึ่งจะแสดงเป็นเงินทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก 1 kgCO₂e

การศึกษางานวิจัยของ Timilsina, G. R., et al (2017) เป็นตัวอย่างในการศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ของต้นทุนของการลดก๊าซเรือนกระจก ในประเทศจอร์เจีย และประเทศอาร์เมเนีย โดยการนำ MACC เป็นเครื่องมือในการประเมิน เพื่อเป็นแนวทางการกำหนดนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศโลก โดยศึกษาในอาคารพาณิชย์และอาคารพักอาศัย จากการศึกษาพบว่า การปรับเปลี่ยนดวงโคม จากหลอดไส้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เป็นทางเลือกที่คุ้มค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับตัวเลือกในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานส่วนใหญ่ เช่น การใช้วัสดุฉนวนผนัง การใช้วัสดุฉนวนหลังคา เป็นต้น (ภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3) ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษารูปแบบอาคารอ้างอิงจากการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ย ของตัวอย่างอาคารในพื้นที่ศึกษา ในประเทศจอร์เจีย และประเทศอาร์เมเนีย (Timilsina et al., 2017)



ภาพที่ 2.3 MACC ในแต่ละมาตรการของประเทศอาร์เมเนีย (Timilsina, G. R., et al, 2017)



ภาพที่ 2.4 MACC ในแต่ละมาตรการของประเทศจอร์เจีย (Timilsina, G. R., et al, 2017)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการนำ MACC มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และกำหนดนโยบายต่างๆ ด้านพลังงานภายในประเทศ โดยมีการศึกษามาตรการที่มีความหลากหลาย เช่น การประเมินแนวโน้มปัญหาก๊าซเรือนกระจกของโลก การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมการผลิต การประเมินทางเลือกของระบบขนส่งมวลชน และการประเมินการใช้พลังงานในภาคครัวเรือนของระดับประเทศ เป็นต้น ในส่วนของมาตรการและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับอาคารโดยตรง จะเป็นลักษณะของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนำวัสดุอาคารทางเลือก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยลดก๊าซเรือนกระจก มาปรับใช้กับแบบอาคารอ้างอิง

งานวิจัยในประเทศไทยมีการศึกษาในลักษณะเช่นเดียวกัน แต่ยังไม่ได้มีการศึกษามาตรการที่เกี่ยวข้องกับอาคารควบคู่กับการวิเคราะห์ต้นทุน ให้มีความครอบคลุมในทุกๆ ด้าน และยังคงมีมาตรการอีกมากมาย เช่น การออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม ความหลากหลายของวัสดุฉนวนหลังคา วัสดุฉนวนผนัง การออกแบบระบบแสงสว่าง และการเลือกใช้ระบบปรับอากาศ รวมถึงในด้านของพลังงานทดแทน เป็นต้น จึงสามารถนำประเด็นดังกล่าวมาต่อยอดเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ การใช้ MACC มาเป็นเครื่องมือในการประเมิน ยังสามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในแต่ละมาตรการได้อย่างชัดเจน จึงเลือกเครื่องมือดังกล่าวมาต่อยอดเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับอาคารในประเทศไทย

2.4 การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.4.1 การศึกษาค่า Emission Factor ของประเทศไทย

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากการดำเนินโครงการและกิจกรรมที่มีการผลิตและใช้พลังงาน โดยแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ประเมินได้ในหน่วยของปริมาณเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยค่า Emission Factor ของไทย มีการกำหนดจากข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และเผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆ ปี ตามผลการประเมินประสิทธิภาพในปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของปีนั้นๆ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ค่า Emission Factor ในปี พ.ศ. 2559 มีค่าเท่ากับ 0.6093 kgCO₂e/kWh และมีการปรับในปี พ.ศ. 2563 เป็น 0.5986 kgCO₂e/kWh ในปี พ.ศ. 2564 มีการประกาศใช้ค่า Emission Factor ซึ่งค่าดังกล่าวยังคงเป็นค่าเดิมของปี 2563 ซึ่งยังเป็นค่าที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

2.4.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเทศที่เข้าร่วมในภาคินุสัญญาฉบับนี้ จะต้องดำเนินการให้เป็นไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์ ภายใต้มาตรฐานเดียวกัน ดังนั้นคณะกรรมการระหว่างรัฐด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental panel on climate : IPCC, 2006) ได้จัดทำคู่มือในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีจุดประสงค์หลักคือ จะต้องสามารถนำมาปรับใช้ได้อย่างหลากหลายและสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปร เพื่อให้ประเทศในภาคินุสัญญาที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล รวมถึงความจำเพาะของข้อมูล สามารถใช้มาตรฐานเดียวกัน ในส่วนของการคำนวณ จึงถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของสมการที่ (4) ดังนี้

$$\text{Greenhouse} = \text{Activity} \times \text{Emission Factor (EF)} \quad (4)$$

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กล่าวถึงความหมายของตัวแปร ดังนี้ ข้อมูลกิจกรรม (activity data) เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ ที่ได้มาจากกิจกรรมซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกประเภทต่างๆ เช่น ปริมาณของน้ำมันหรือถ่านหิน ที่ใช้ในการสร้างให้เกิดพลังงานขึ้นมา ซึ่งข้อมูลกิจกรรมนี้อาจจะมีหน่วยที่แตกต่างกันไปในแต่ละภาคส่วนและสาขาของการคำนวณในแต่ละกิจกรรม การนำข้อมูลกิจกรรมมาใช้นั้น จึงจะต้องนำมาคำนวณหรือปรับเพิ่มเติม เพื่อให้เป็นค่าที่สามารถนำมาใช้คำนวณในสมการข้างต้นได้ โดยที่ค่าการปล่อย (Emission Factor) เป็นค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ซึ่งค่าการปล่อยนี้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการผลิตของแต่ละประเทศ

วิธีการคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจก ใช้เทียบกับฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2 (Hammond Geoff and Jones Craig, 2011) เนื่องจากฐานข้อมูลดังกล่าวสำหรับประเทศไทยยังไม่มีการจัดทำและเปิดเผยอย่างเป็นทางการ ในส่วนของการแปลงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ใช้ค่าที่จัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย (อรรถจัน เศรษฐบุตร, 2555) ซึ่งในปี พ.ศ. 2563 มีการกำหนดค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 kgCO₂e/kWh (องค์กรจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย, 2564) โดยทั้งนี้ได้กำหนดให้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงความร้อนมีค่า 1 Mj เท่ากับ 0.28 kWh (สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, 2553)

2.5 มูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money: TVM)

เนื่องจากจำนวนเงินที่เท่ากัน แต่อยู่ต่างเวลากัน จะมีมูลค่าไม่เท่ากัน ในการคำนวณมูลค่าของเงินในอนาคต จำเป็นต้องใช้แนวคิด มูลค่าเงินตามเวลา (Time Value of Money: TVM) ซึ่งเป็น

แนวคิดที่ว่าเงินที่จะได้รับในวันนี้ มีมูลค่าน้อยกว่าเงินที่จะได้รับในอนาคต เพราะสามารถสร้างผลตอบแทนได้จากเงินที่ได้รับในวันนี้ เช่น เงิน 100,000 บาทในวันนี้ หากนำไปลงทุนได้ผลตอบแทน 5% ต่อปี ในอีก 1 ปีข้างหน้า จะได้รับเงินทั้งสิ้น 105,000 บาท แนวคิดเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบมูลค่าของเงินในเวลาที่แตกต่างกันได้อย่างเหมาะสม โดยมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น เป็นการคำนวณแบบอัตราคิดลด (Discount rate) ซึ่งเป็นอัตราที่ใช้ในการนำมูลค่าอนาคตที่ย้อนกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน บางกรณีเรียกค่านี้ว่า Present value interest factor (PVIF) (อัจฉรา โยมสินธุ์, 2555)

ในทางเศรษฐศาสตร์ อัตราคิดลด คืออัตราที่ใช้ในการแปลงมูลค่าในอนาคตมาเป็นมูลค่าในปัจจุบัน ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบมูลค่าสองมูลค่าที่อยู่ในช่วงเวลาต่างกันได้ ยิ่งอัตราคิดลดยิ่งสูงมูลค่าปัจจุบันก็จะยิ่งน้อย เนื่องจากอัตราคิดลดสัมพันธ์ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

- 1) อัตราเงินเฟ้อ (Inflation rates)
- 2) อัตราดอกเบี้ย (Interest rates)
- 3) อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำ หรือค่าเสียโอกาส (Opportunity costs)
- 4) อัตราภาษี (Taxes)
- 5) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)

ดังนั้นการกำหนดอัตราคิดลด จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สัมพันธ์ปัจจัยดังกล่าว ที่เกิดขึ้นปัจจุบัน โดยจากการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยพบว่า ในการวิจัยมีการกำหนดอัตราคิดลดอยู่ในช่วง 6%-11% ขึ้นอยู่กับประเภทของการลงทุน ตัวอย่างเช่น ในปี 2552 จากงานวิจัยของ สวิชญา ดาวประกายมงคล ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงาน เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2552 ได้มีการศึกษาอยู่บนพื้นฐานของอัตราคิดลด 8% (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552) ต่อมาในปี พ.ศ. 2557 งานวิจัยของ สันติ สุขสะอาด และ อรรถชัย บรมบัญญัติ มีการกำหนดอัตราคิดลด 7% 9% และ 11% ซึ่งได้นำไปใช้ศึกษาด้านการตลาดและการวิเคราะห์ทางการเงินของการลงทุนทำสวนไม้กฤษณาในจังหวัดระยอง (สันติ สุขสะอาด และ อรรถชัย บรมบัญญัติ, 2557) ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 งานวิจัยของ พิมพรักร์ เสนาจักร มีการกำหนดอัตราคิดลด 8.25% สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ขานอ้อยเพื่อการผลิตไฟฟ้ากับการผลิตเอทานอล (พิมพรักร์ เสนาจักร, 2560) การกำหนดอัตราคิดลด จึงเป็นค่าที่สามารถคาดการณ์ได้ยาก ในการศึกษา ควรพิจารณาให้อยู่ในช่วง 6%-11% ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้เป็นส่วนใหญ่มากจากการทบทวนวรรณกรรม

มูลค่าเงินในอนาคต (Future Value: FV) หมายถึงมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา (Time) และอัตราผลตอบแทน (Rate of Return) ที่ได้รับ ซึ่งมูลค่าในอนาคต เป็นมูลค่ารวมของเงินต้น (มูลค่าปัจจุบัน) กับผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ในส่วนของมูลค่าเงินปัจจุบัน (Present Value: PV) หมายถึงมูลค่า ณ วันนี้ของเงินจำนวนหนึ่งที่จะได้รับในอนาคต ซึ่งมูลค่าปัจจุบันคำนวณได้จากสูตร (4) และ (5) (อัจฉรา โยมสินธุ์, 2555)

$$PV = \frac{Fv}{(1+r)^n} \quad (4)$$

เมื่อ	Pv	คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน
	Fv	คือ มูลค่าเงินในอนาคต
	r	คือ อัตราผลตอบแทนต่อปี
	n	คือ ระยะเวลา (จำนวนงวด)

สำหรับการคำนวณมูลค่าปัจจุบัน ที่เกิดขึ้นเป็นงวด มีการใช้จ่ายเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอ เช่น ค่าเช่ารายเดือน ค่าบำรุงรักษารายปี เป็นต้น สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่พัฒนามาจากสมการ (4) แสดงในรูปสมการ (5) ดังนี้

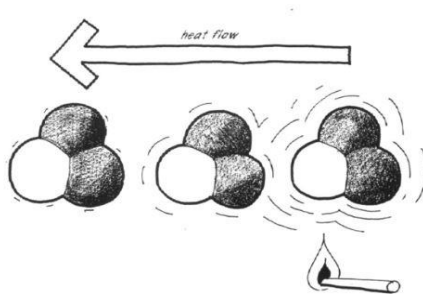
$$P = Ax \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (5)$$

เมื่อ	P	คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน
	A	คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นประจำในอนาคต หรือ งวดการจ่าย
	i	คือ อัตราคิดลด
	n	คือ ระยะเวลา (จำนวนงวด)

ดังนั้น จากสมการ (4) จึงสามารถนำไปคำนวณต้นทุนในช่วงการก่อสร้างของแบบอาคาร อ่างอิงและต้นทุนในการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของมาตรการ ในช่วงใช้งานอาคาร และสมการ (5) สามารถนำไปคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี ในช่วงการใช้งานอาคาร ตลอดช่วงอายุอาคาร

2.6 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

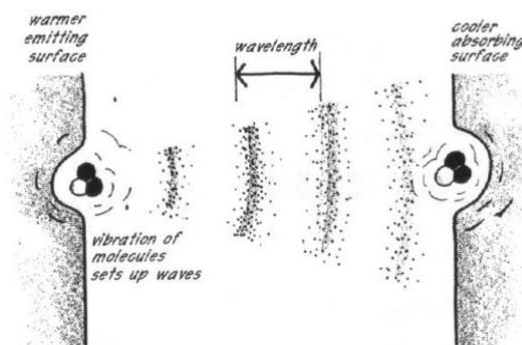
การถ่ายเทความร้อน คือการเคลื่อนที่ของพลังงาน ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันของผิวแต่ละด้านตัวกลาง โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ และหยุดการเคลื่อนที่เมื่ออุณหภูมิของทั้ง 2 บริเวณเท่ากัน โดยสามารถเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ดังนี้ (Moore F., 1993; Yunus A. Cengel and Afshin J.Ghajar, 2015)



ภาพที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการนำความร้อน

(Moore F., 1993)

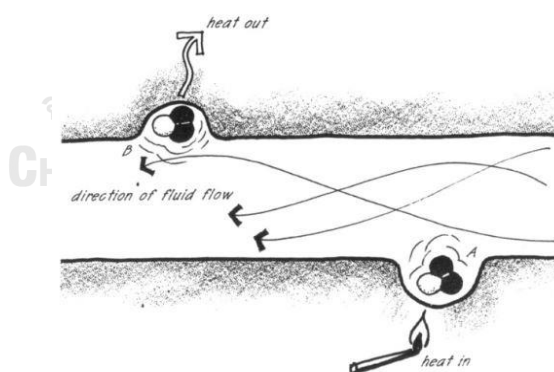
2.6.1. การนำความร้อน (conduction) ภาพที่ 2.5 คือการเคลื่อนที่ของพลังงานจากสสารที่มีพลังงานมากกว่า ไปยังสสารที่มีพลังงานน้อยกว่าที่อยู่ติดกัน โดยมีสาเหตุมาจากการสั่นตัวของโมเลกุล การถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดได้ทุกทิศทาง ไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งอัตราการนำความร้อนผ่านตัวกลางขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น รูปทรงของตัวกลาง ความหนา อุณหภูมิ ความแตกต่างระหว่างตัวกลาง ตลอดจนค่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อน (Thermal conduction) เป็นต้น ตัวอย่างการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สามารถเกิดขึ้นได้ผ่านทางผนังภายนอกทั้งผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ฝ้า ผ้าเพดาน และหลังคา (Yunus A. Cengel and Afshin J.Ghajar, 2015)



ภาพที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการแผ่รังสีความร้อน

(Moore F., 1993)

2.6.2. การแผ่รังสีความร้อน (radiation) ภาพที่ 2.6 คือ พลังงานที่ปล่อยออกมาจากสสารในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยไม่อาศัยตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลก เป็นตัวอย่างของการแผ่รังสีความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคาร จะเกิดขึ้นโดยที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านพื้นที่ผนังโปร่งแสง เช่น หน้าต่างกระจก หลังคาโปร่งแสง หรือ Skylight เป็นต้น (Yunus A. Cengel and Afshin J.Ghajar, 2015) อาคารในประเทศไทยได้รับผลกระทบอย่างมากจากกระบวนการนี้ เนื่องจากที่ตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรของโลก



ภาพที่ 2.7 การถ่ายเทความร้อน โดยวิธีการพาความร้อน

(Moore F., 1993)

2.6.3. การพาความร้อน (convection) คือ การถ่ายเทพลังงานระหว่างพื้นผิวของสสาร เมื่อสสารได้รับความร้อน โมเลกุลจะสั่นเร็วขึ้น ทำให้โมเลกุลขยายตัวและแตกออกจากกัน ของแข็งและ

ของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ของเหลวและก๊าซ (ของไหล) จะมีความหนาแน่นต่ำลงและลอยตัวมากกว่าของไหลที่เย็นกว่า การพาความร้อน แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ forced convection (การพาความร้อนแบบบังคับ) คือการพาความร้อนโดยอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องกล และ natural convection (การพาความร้อนแบบธรรมชาติ) คือการพาความร้อนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่มีการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องกลใดๆ ในการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการ การพาความร้อนเป็นความร้อนที่มากับอากาศภายนอก ซึ่งนำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายใน (Ventilation) การพาความร้อนนี้จะรวมถึงอากาศภายนอกที่แทรกซึมเข้ามาภายใน (Infiltration) อาคารตามช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ประตู หน้าต่าง สำหรับความร้อนในลักษณะนี้ ทิศทาง และ ความเร็วของกระแสลมถือว่ามีความสำคัญ (Yunus A. Cengel and Afshin J.Ghajar, 2015)

จากทฤษฎีดังกล่าว เป็นพื้นฐานของการศึกษามาตรการที่ส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานในอาคาร รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคารตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

2.7 หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร

ปัจจัยจากภายนอกอาคาร (external load factors) เป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลอย่างมากต่อการใช้พลังงานของอาคาร ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทมายังกรอบอาคาร เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ซึ่งมีสัดส่วนที่มากที่สุดของการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร (สุดาภรณ์ สูดประเสริฐ, 2561)

ในการศึกษาเกี่ยวกับ กรณีศึกษาการลดก๊าซเรือนกระจกในอาคาร จำเป็นต้องศึกษาควบคู่กับการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร (กระทรวงพลังงาน, 2552) โดยสมการที่ (6) ดังนี้

$$U = \frac{1}{R} \quad \text{และ} \quad R = \frac{\Delta x}{k} \quad (6)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์
 $((m^2 \cdot ^\circ C)/W)$

Δx คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

K คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร - องศาเซลเซียส
 $(W/(m \cdot ^\circ C))$

R_t คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม มีหน่วยเป็นตารางเมตร - องศาเซลเซียสต่อวัตต์
 $((m^2 \cdot ^\circ C)/W)$

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส
 $(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$

2.8 วิธีการคำนวณพลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นในการทดแทนการใช้พลังงานในช่วงใช้งานอาคาร และช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับชั้นบรรยากาศ โดยโซลาร์เซลล์ยังคงเป็นทางเลือกในการผลิตพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยการคำนวณพลังงานไฟฟ้ารวมที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ ใช้วิธีการคำนวณผ่านเว็บไซต์ <https://pwatts.nrel.gov/index.php> ของ The National Renewable Energy Laboratory (NREL) ของสหรัฐอเมริกา

2.9 การศึกษาช่วงชีวิตของอาคาร

นอกจากนี้ช่วงชีวิตของอาคาร ยังเป็นกรอบเวลาที่สำคัญในการใช้ระยะเวลาสำหรับการวิจัย โดยคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุหลักสำหรับการก่อสร้าง ในการออกแบบค่ากำลังอัดของคอนกรีตสำหรับบ้านพักอาศัย มักระบุกำลังอัดที่อายุ 28 วันประมาณ 180-240 กก./ตารางเซนติเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานได้ 50-80 ปี (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2560) หากต้องการให้อาคารมีอายุที่ยาวนานขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีต นอกจากนี้การออกแบบอาคารที่ดีนอกจากจะต้องใส่ใจในประสิทธิภาพอาคารในสภาพอากาศปัจจุบัน จากปัญหาภาวะโลกร้อนที่กำลังทวีความรุนแรงขึ้น ทำให้ควรหันมาใส่ใจถึงประสิทธิภาพอาคารต่อไปในอนาคตด้วย เนื่องจากอาคารหลังหนึ่งโดยทั่วไปมีอายุการใช้งานยาวนานหลายสิบปี อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีอายุประมาณ 50-60 ปี (สำเริง รักซ้อน, 2552) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดช่วงอายุอาคารในการศึกษา ไม่เกิน 60 ปี

2.10 การศึกษาแบบอาคารอ้างอิง

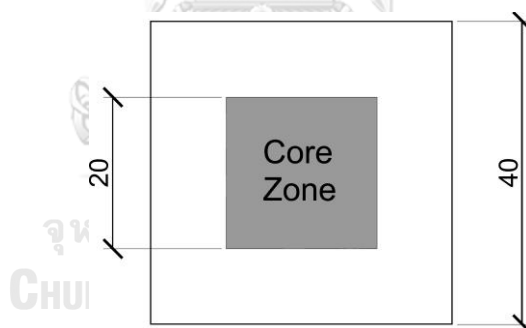
ในการสร้างอาคารอ้างอิง ศึกษาวิธีการสร้างจากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อหาแบบอ้างอิงที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และใกล้เคียงกับอาคารที่มีการก่อสร้างจริงมากที่สุด

2.9.1 แบบอาคารอ้างอิงอาคารสำนักงาน

จากการศึกษางานวิจัยของ Surapong Chirattananon และ Juntakan Taveekun (2004) ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และสมการพลังงาน ของอาคารที่มีตารางการใช้งานแตกต่างกัน 3 ประเภท คือ

- 1) กลุ่มอาคารสำนักงาน มีตารางการใช้งาน 8:00น.-17:00น. 5 วันต่อสัปดาห์
- 2) กลุ่มโรงแรมและโรงพยาบาล มีตารางการใช้งานทุกวัน ตลอด 24 ชม.
- 3) กลุ่มห้างสรรพสินค้า มีตารางการใช้งาน 10:00น.-21:00น. ใช้งานทุกวัน

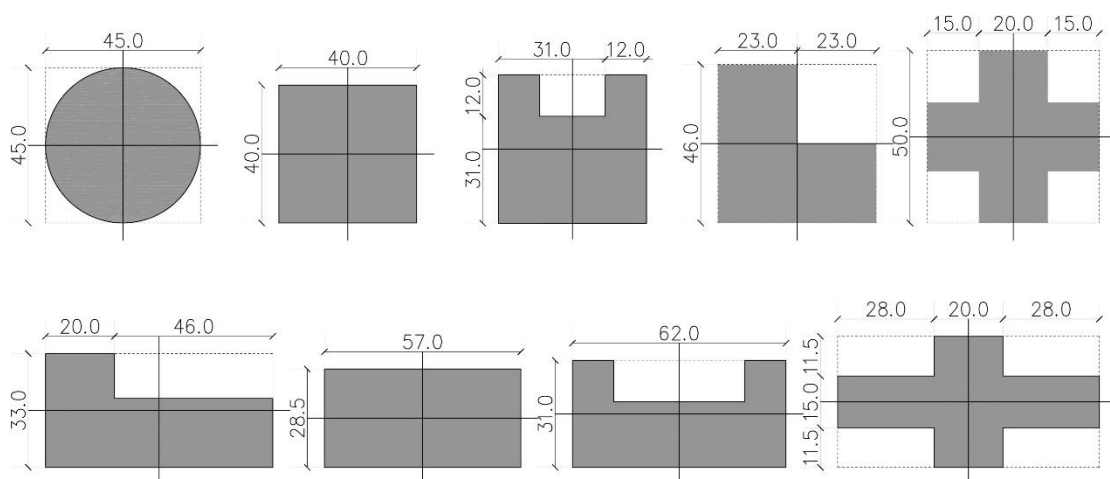
โดยในการศึกษา ใช้แบบอาคารอ้างอิง ที่มีลักษณะเป็นอาคารสูง 12 ชั้น มีการวางผังเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40x40 เมตร มี Core ตรงกลาง ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ปรับอากาศ หลังคามีการกำหนดค่า Absorptance เท่ากับ 0.005 และ U-value เท่ากับ 0.679 แสงดวงในภาพที่ 2.11 จากงานวิจัยดังกล่าว จึงทำให้ได้ทราบลักษณะอาคารกรณีศึกษาที่ใช้เป็นตัวแทนของอาคารทั้ง 3 ประเภทในประเทศไทย



ภาพที่ 2.8 รายละเอียดรูปทรงอาคารที่ได้ใช้แบบอาคารอ้างอิง ของอาคารทั้ง 3 ประเภท (Surapong Chirattananon and Juntakan Taveekun, 2004)

จากการศึกษางานวิจัยของ อุโรชา เจียรนัยพานิชย์ (2555) ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ทำให้ทราบว่ามีการกำหนดแบบอาคารอ้างอิง ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เป็นอาคารสูง 12 ชั้น อาคารที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกแบ่งออกเป็นอาคารที่มีรูปทรง

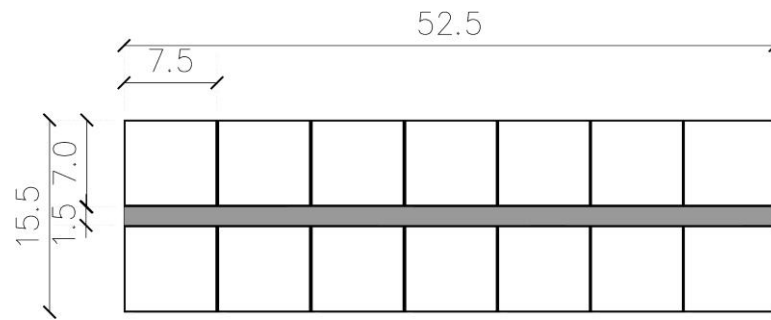
แตกต่างกัน 9 แบบ ตามการกำหนดค่า Shape Factor (SF) ที่มีค่าเท่ากับ 1/1 และ 1/2 พื้นที่ต่อชั้นของอาคารประมาณ 1,600 ตารางเมตร ความสูงจากพื้นถึงพื้น 4.00 เมตร ภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 รายละเอียดรูปทรงอาคารสำนักงาน ทั้ง 9 แบบ ที่ใช้เป็นแบบอาคารอ้างอิงในการศึกษา (อุไรชา เจียนัยพานิชย์, 2555)

2.9.2 แบบอาคารอ้างอิงอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

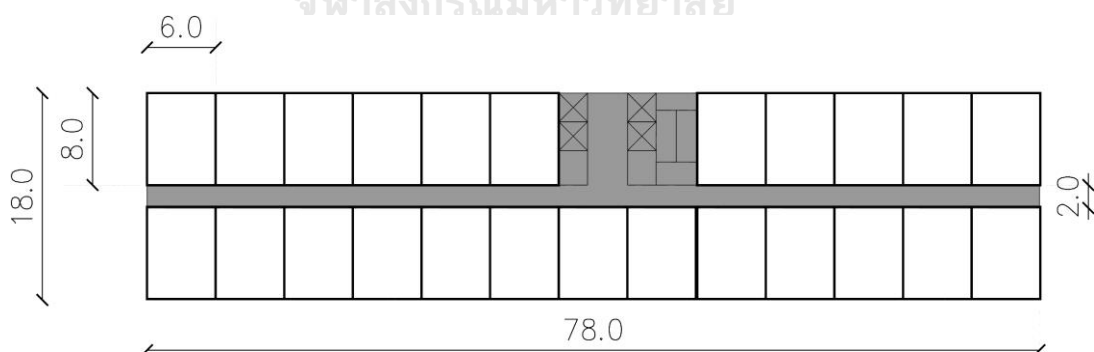
จากงานวิจัยของ ดนุสรณ์ บัวขจร (2554) มีการสำรวจรูปร่างของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากสื่ออินเทอร์เน็ต จำนวน 50 อาคาร ในช่วงเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2554 โดยศึกษาเฉพาะคอนโดมิเนียมพักอาศัยขนาดใหญ่ ที่มีพื้นที่ไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร ความสูง 7-8 ชั้น สามารถจัดประเภทรูปร่างผังพื้นที่อาคารได้ 6 ลักษณะ คือ รูปร่างตัว I, ตัว U, ตัว L, ตัว O, ตัว T, และรูปร่างผสม พบว่าอาคารรูปตัว I มีจำนวนมากที่สุดในกลุ่มที่ทำการสำรวจ คิดเป็น 54% ของรูปร่างทั้งหมด มีขนาดความกว้างและและความยาวเฉลี่ยของอาคาร 15 เมตร และ 52 เมตร ตามลำดับ หรือสักรัส่วนอาคาร 1:3 ภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย
(ดนตรีสรณ์ บัวขจร, 2554)

จากงานวิจัยของ อภิญา บุษมา (2555) ซึ่งได้สำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยจากสื่ออินเทอร์เน็ต จำนวน 16 อาคาร มี 6,994 หน่วยพักอาศัย และสำรวจข้อมูลผู้พักอาศัย จำนวน 381 คน สามารถสรุปเป็นแบบอาคารอ้างอิง ภาพที่ 2.11 ซึ่งมีรายละเอียดของอาคาร ประกอบด้วย

- 1) เป็นอาคารที่มีจำนวน 699 หน่วย
- 2) มีจำนวนชั้น เฉพาะส่วนห้องพัก 29 ชั้น
- 3) มีจำนวนหน่วยพักอาศัยต่อ 1 ชั้น เท่ากับ 24 หน่วย
- 4) มีความกว้างของทางเดิน 2 เมตร
- 5) มีลิฟต์ทั้งหมด 4 ตัว



ภาพที่ 2.11 แบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย
(อภิญา บุษมา, 2555)

2.11 สรุปการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันปัญหาก๊าซเรือนกระจกของโลก เป็นสิ่งสำคัญที่หลายๆ ประเทศตระหนัก การมีแนวทางและนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะในการก่อสร้างอาคารซึ่งเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 30% ของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลก ทำให้เกิดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารตามมา บนพื้นฐานของแบบอาคารอ้างอิง ซึ่งได้จากการสำรวจอาคารที่มีการก่อสร้างจริง ด้วยเหตุนี้ การกำหนดมาตรการที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงจำเป็นต้องศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการต่างๆ ของอาคาร โดยอาศัยแนวคิด Eco-Efficiency และ MACC เพื่อกำหนดมาตรการที่มีผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อต้นทุนที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามนโยบายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยในงานวิจัยนี้ มีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสมการของ Intergovernmental panel on climate : IPCC (2006) และศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2 และองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย, 2564 โดยมุ่งเน้นศึกษามาตรการที่เกี่ยวข้องกับอาคารให้มีความครอบคลุมในทุกๆ ด้าน ทั้งมาตรการที่มีในปัจจุบันและนวัตกรรมสมัยใหม่ในอนาคต

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปประเด็นที่ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อ และกำหนดระเบียบวิธีวิจัยในการศึกษาได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
ปัญหาก๊าซเรือนกระจก		
สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558	ความสำคัญของปัญหาและแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาครัฐ	นำไปสู่การตั้งคำถามในงานวิจัยว่า “มาตรการใด ที่มีผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อต้นทุนที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามนโยบายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย”
United Nations Development Programme, 2021	เป้าหมายในการจัดการปัญหาก๊าซเรือนกระจกในอนาคต	
Climate Action Tracker, 2564	ผลการดำเนินงานในการจัดการปัญหาก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย	

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
Tomoscheit S., et al, 2011	การคิดค้นวัสดุเปลือกอาคาร ที่มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกได้ดีขึ้น	การศึกษามาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นนวัตกรรมสมัยใหม่
ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล, 2559	การประเมิน Eco-Efficiency ในมาตรการต่างๆ ของเปลือกอาคาร ก๊าซที่เกี่ยวข้องกับปัญหาก๊าซเรือนกระจก	การศึกษามาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจก ที่มีการใช้ทั่วไปในปัจจุบัน และความสัมพันธ์ของมาตรการในอาคารที่มีการใช้งานแตกต่างกัน
Timilsina, G. R., et al, 2017	การใช้ MACC ในการประเมินประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก ในระดับเมือง	การใช้ MACC ในการประเมินประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกของแต่ละมาตรการของอาคาร
แนวคิด Eco-Efficiency		
Katherine Madden, 2006	สมการ Eco-Efficiency	ใช้ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกของแต่ละมาตรการ
แนวคิดและทฤษฎีของ MACC		
Peng et al., 2016	สมการของ MACC	ศึกษาประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกของแต่ละมาตรการ
อติดินนท์ ภูพาดทอง, 2560		
Jiang et al., 2019	แนวทางการนำ MACC ไปใช้ประเมินผล Eco-Efficiency	ช่องว่างในงานวิจัย สำหรับการนำ MACC ไปใช้ประเมินมาตรการที่เกี่ยวข้องกับอาคาร
Kesicki & Strachan, 2011	ความหมายของแผนภาพ MACC	ใช้ประกอบการเขียน MACC
หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก		
Intergovernmental panel on climate : IPCC, 2006	สมการการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ใช้คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละมาตรการ
อรรถจัน เศรษฐบุตตร, 2555	วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย, 2564	ค่า Emission Factor ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563	
สุธรรม พทุมสวัสดิ์, 2553	การแปลงหน่วย Mj เป็น kWh	

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัย ที่ทำการศึกษา	สิ่งที่ได้จากการทบทวน	ประเด็นที่นำไปศึกษาต่อ
ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน		
Moore, 1993	ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ที่เกี่ยวข้องกับอาคาร	ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการ
Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, 2015		
หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร		
สุตการณ์ สุตประเสริฐ, 2561	ความสำคัญของระบบปรับอากาศต่อการใช้พลังงานรวมของอาคาร	ศึกษาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการ เพื่อ
กระทรวงพลังงาน, 2552	สมการในการศึกษาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ	เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจก
The National Renewable Energy Laboratory (NREL)		
The National Renewable Energy Laboratory (NREL)	การคำนวณพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์	นำไปใช้ศึกษาในมาตรการที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน
การศึกษาช่วงชีวิตอาคาร		
ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2560	คอนกรีตมีอายุการใช้งาน 50-80 ปี	ศึกษาในรอบช่วงอายุอาคาร ไม่เกิน 60ปี โดยผู้วิจัยกำหนดช่วงอายุอาคารในการศึกษา เป็น 20ปี 40ปี และ60ปี
สำเร็จ รักซ้อน, 2552	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีอายุประมาณ 50-60 ปี	
แบบอาคารอ้างอิงอาคารสำนักงาน		
Surapong Chirattananon และ JuntakanTaveekun, 2004	ตัวอย่างการสร้างแบบอาคารอ้างอิงอาคารสำนักงาน	เป็นแนวทางในการสร้างแบบอาคารอ้างอิง อาคารสำนักงาน
อุไรชา เจียรนัยพานิชย์ , 2555		
دنุสรณ์ บัวขจร, 2554	ตัวอย่างการสร้างแบบอาคารอ้างอิงอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย	เป็นแนวทางในการสร้างแบบอาคารอ้างอิง คอนโดมิเนียมพักอาศัย
อภิญา บุญมา, 2555		
มูลค่าเงินตามเวลา		
อัจฉรา โยมสินธุ์, 2555	วิธีคิดมูลค่าของเงินตามเวลา	ใช้คำนวณมูลค่าของเงินในอนาคต ทั้งในช่วงการก่อสร้างและช่วงใช้งานอาคาร

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ประเมินผลมาตรการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารสำนักงานและคอนโดมิเนียมพักอาศัย โดยมีระเบียบวิธีวิจัยแบบออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังภาพที่ 3.1 แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.1.1 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาช่องว่างในวรรณกรรม (Gaps in Literature) และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง มาใช้กำหนดแนวทางในการศึกษา

3.1.2 กำหนดแบบอาคารอ้างอิง (Baseline) โดยศึกษาในอาคารสำนักงานและคอนโดมิเนียมพักอาศัย

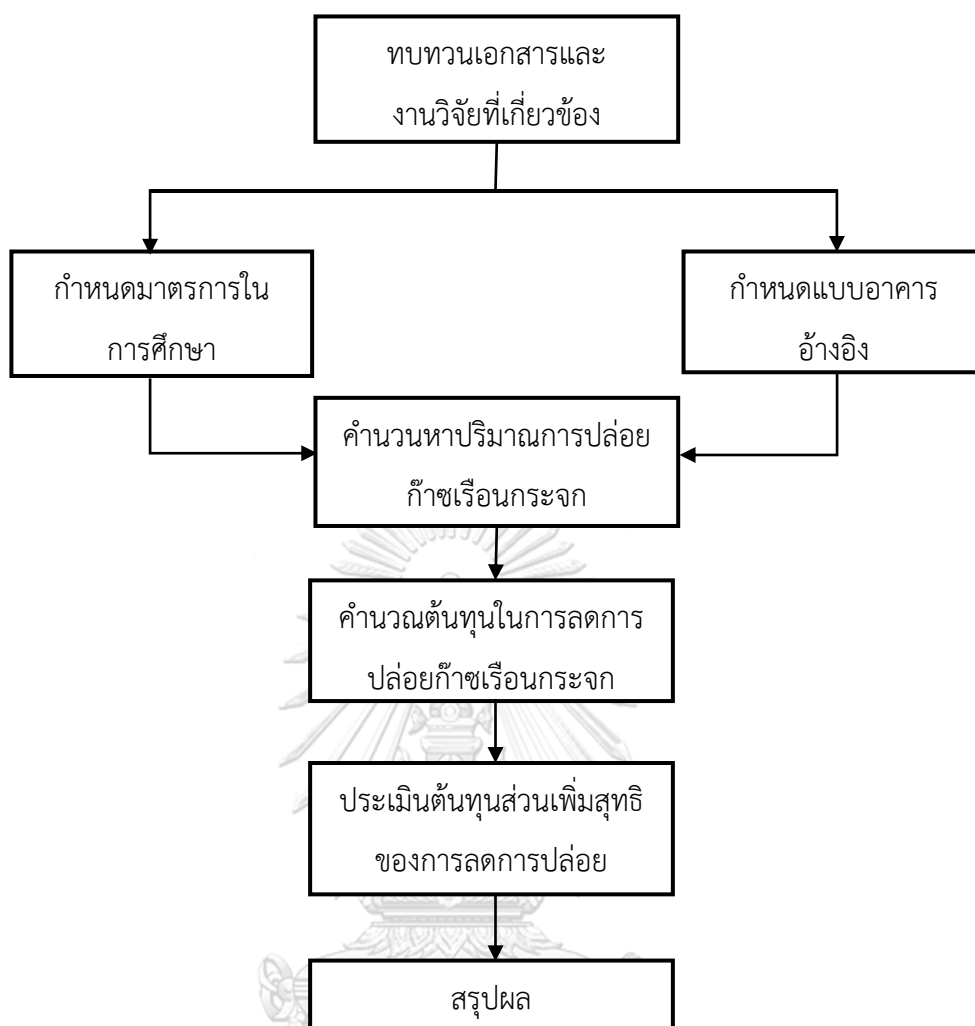
3.1.3 กำหนดมาตรการ สำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับอาคาร เปรียบเทียบกับแบบอาคารอ้างอิง แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา กลุ่มพลังงานทดแทน กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ และกลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

3.1.4 คำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ใช้เทียบกับฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2 (Hammond Geoff and Jones Craig, 2011) และการแปลงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ใช้ค่า Emission Factor ปี พ.ศ. 2563 ที่จัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย

3.1.5 คำนวณต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยตรวจสอบจากราคาวัสดุของปี พ.ศ. 2560-2564 และอัตราปกติของค่าไฟ ในกิจการขนาดกลาง จากการไฟฟ้านครหลวง ปี พ.ศ.2561 การคำนวณใช้อัตราคิดลด 8%

3.1.6 ประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิของการลดการปล่อยคาร์บอน โดยสร้างเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละมาตรการ

3.1.7 สรุปผลถึงประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของแต่ละมาตรการ ในอาคารสำนักงานและคอนโดมิเนียมพักอาศัย



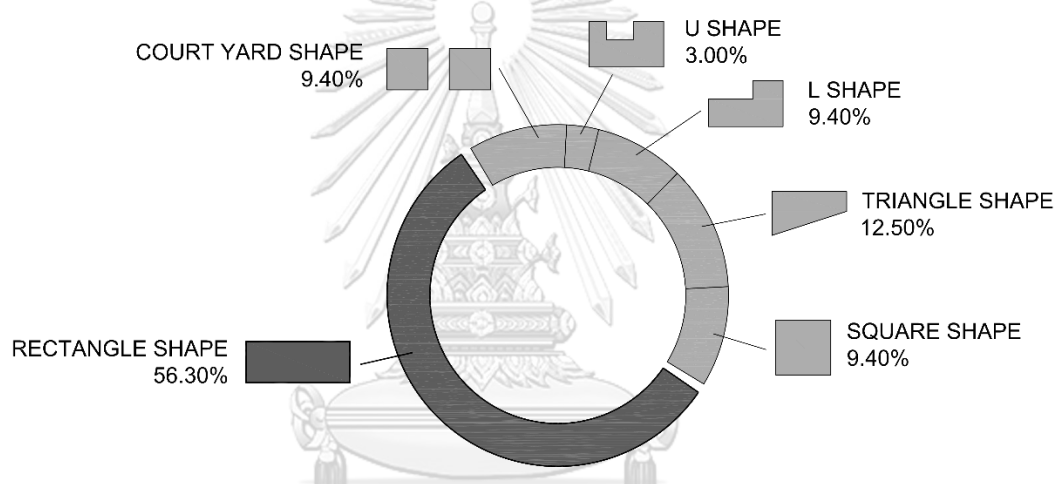
ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 การสร้างแบบอาคารอ้างอิง

3.2.1 การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิง อาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร

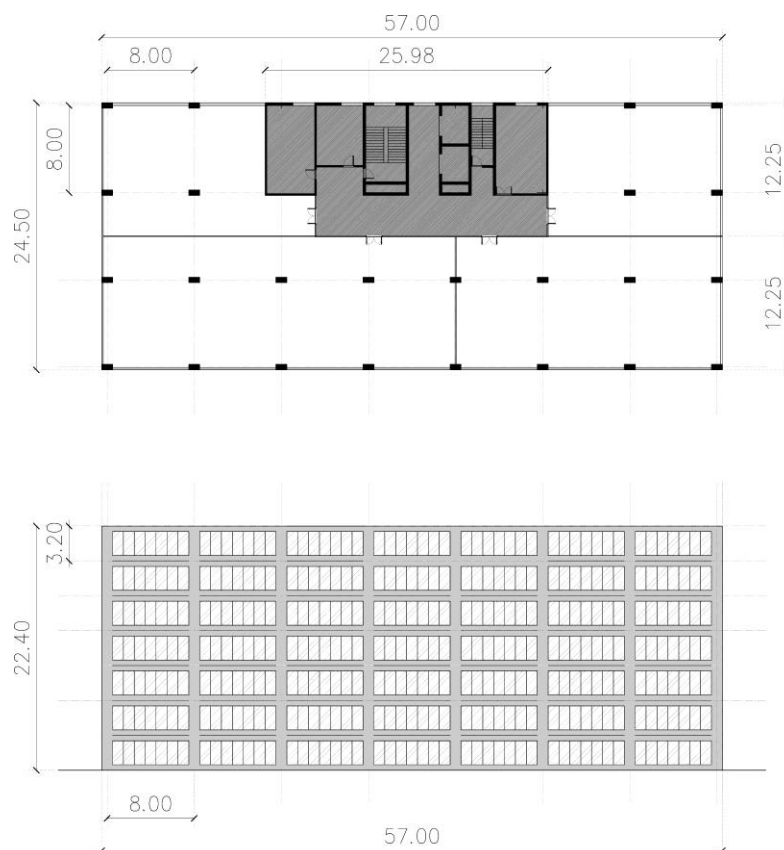
การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิงของสำนักงาน งานวิจัยนี้ ใช้วิธีการศึกษาจากแบบอาคารอ้างอิง โดยการเก็บข้อมูลแบบแปลนอาคารสำนักงานใน กรุงเทพมหานคร จากสื่ออินเทอร์เน็ต จำนวน 32 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่มีการก่อสร้างในช่วงปี พ.ศ. 2551-2563 จากการสำรวจอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 7 ชั้น เพื่อมิให้มีความสูงอาคารเกิน 23 ม. อันจะทำให้ต้องเข้าข่ายอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร พบว่าอาคารสำนักงานร้อยละ 56.30 มีลักษณะการวางผังอาคารเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อต้องการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ขายมากที่สุด ภาพที่ 3.2

ในส่วนของงานโครงสร้าง พบว่ามีการใช้ระยะช่วงเสาที่ 8 ม. เนื่องจากเป็นระยะช่วงเสาที่ประหยัดที่สุด ระบบหลังคา มักมีการใช้เป็นหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อใช้พื้นที่ลาดฟ้าในการติดตั้งงานระบบ เช่น ระบบประปา ระบบลิฟต์ ระบบปรับอากาศ เป็นต้น ผนังอาคารส่วนใหญ่จะเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หรือผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสี หน้าต่างมีการใช้หน้าต่างวงกบอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ ลูกฟักกระจกใสและกระจกตัดแสง มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดบ้าง สำหรับสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) มีสัดส่วนของการใช้กระจกประมาณร้อยละ 50-60 โดยเฉพาะอาคารสำนักงานสมัยใหม่ นิยมใช้กระจกมากขึ้น ระบบแสงสว่างภายในอาคารนิยมใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด LED เป็นส่วนใหญ่ ระบบปรับอากาศมีการใช้เป็นระบบแยกส่วน ในอาคารที่มีภาระการทำความเย็นไม่มากนัก



ภาพที่ 3.2 สัดส่วนลักษณะการวางผังอาคารในแต่ละรูปแบบ จากการสำรวจอาคารสำนักงานจำนวน 32 อาคาร

สำหรับการศึกษาในแบบอาคารอ้างอิง ใช้การจำลองสภาพแวดล้อมในการศึกษาให้เป็นอาคารที่สูงไม่เกิน 23 ม. มีพื้นที่อาคารไม่เกิน 10,000 ตร.ม. มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ประมาณร้อยละ 60 สัดส่วนของอาคาร (กว้างxยาว) เป็น 1 ต่อ 2.3 สัดส่วนพื้นที่ Core ต่อพื้นที่อาคารต่อชั้นเป็น 1 ต่อ 4.6 ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วน (Split Type) มีการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 24°C พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) เท่ากับ 10.00 วัตต์/ตร.ม. (กระทรวงพลังงาน, 2564) พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ (EQD) เท่ากับ 16.00 วัตต์/ตร.ม. (อรจรณ์ เศรษฐบุตร, 2555) ซึ่งมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในอาคาร มีตารางการใช้งานทุกวันจันทร์-ศุกร์ เวลา 7:00 น.-22:00 น. และไม่มีการใช้งานในวันเสาร์-อาทิตย์ รวมถึงวันหยุดนักขัตฤกษ์ ภาพที่ 3.3



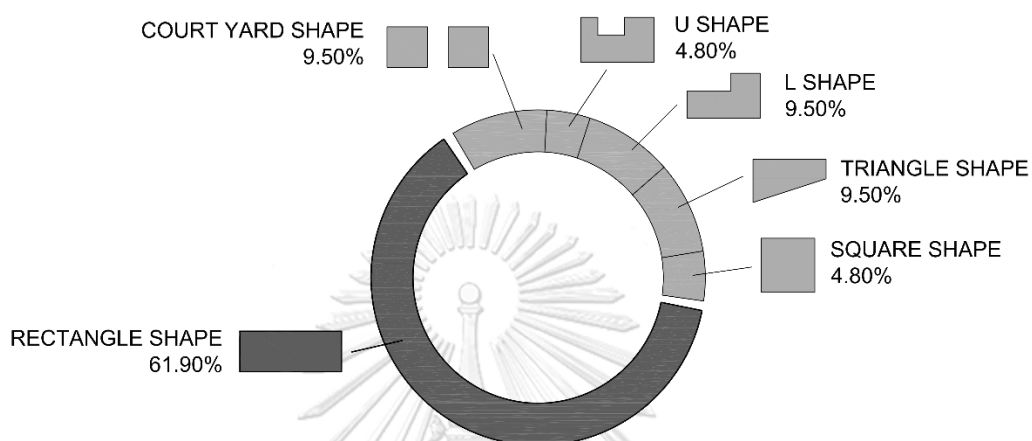
ภาพที่ 3.3 แบบอาคารสำนักงานอำนวยการในการศึกษา

3.2.2 การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิง อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

การศึกษาลักษณะแบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย งานวิจัยนี้ ใช้วิธีการศึกษาจากแบบอาคารอ้างอิง โดยการเก็บข้อมูลแบบแปลนอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในกรุงเทพมหานคร จากสื่ออินเทอร์เน็ต จำนวน 21 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่มีการก่อสร้างในช่วงปี พ.ศ. 2551-2565 จากการสำรวจอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 7 ชั้น เพื่อมิให้มีความสูงอาคารเกิน 23 ม. อันจะทำให้ต้องเข้าข่ายอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร พบว่าอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยร้อยละ 61.90 มีลักษณะการวางผังอาคารเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อต้องการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ชายมากที่สุด ภาพที่ 3.4

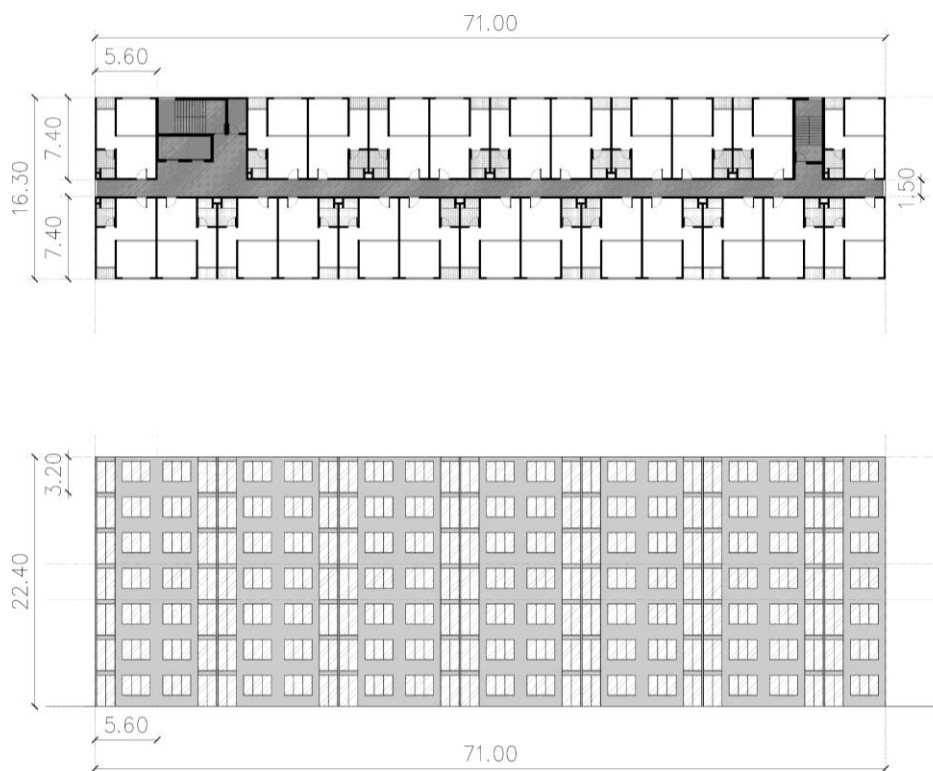
ในส่วนของงานโครงสร้าง พบว่ามีการใช้ระยะช่วงเสาตามความกว้างของห้องพัก เนื่องจากสามารถจัดพื้นที่การใช้ได้โดยง่าย ระบบหลังคา มักมีการใช้เป็นหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อใช้พื้นที่ดาดฟ้าในการติดตั้งงานระบบ เช่น ระบบประปา ระบบลิฟต์ ระบบปรับอากาศ เป็นต้น ผนังอาคารส่วนใหญ่จะเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป หรือผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสี หน้าต่างมีการใช้หน้าต่างวงกบอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ ลูกฟักกระจกใสและกระจกตัดแสง มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดบ้าง สำหรับ

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด มีสัดส่วนของการใช้กระจกประมาณร้อยละ 40-50 โดยเฉพาะอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสมัยใหม่ นิยมใช้กระจกมากขึ้น ระบบแสงสว่างภายในอาคาร นิยมใช้หลอด LED เป็นส่วนใหญ่ ระบบปรับอากาศมีการใช้เป็นระบบแยกส่วน โดยแยกการควบคุมตามแต่ละห้องพัก



ภาพที่ 3.4 สัดส่วนลักษณะการวางผังอาคารในแต่ละรูปแบบ จากการสำรวจอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอาศัยจำนวน 21 อาคาร

สำหรับการศึกษาในแบบอาคารอ้างอิง ใช้การจำลองสภาพแวดล้อมในการศึกษาให้เป็นอาคารที่สูงไม่เกิน 23 ม. มีพื้นที่อาคารไม่เกิน 10,000 ตร.ม. มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ประมาณร้อยละ 40 สัดส่วนของอาคารเป็น 1 ต่อ 4.3 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่อ้างอิงถึงระยะห่างของบันไดหนีไฟตามกฎหมาย มีเสาอยู่ตามระยะความกว้างของห้องพัก สัดส่วนพื้นที่ Core ต่อพื้นที่อาคารต่อชั้นเป็น 1 ต่อ 6.3 ระบบปรับอากาศเป็นระบบแบบแยกส่วน มีการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 24 °C พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 8.13 วัตต์/ตร.ม. พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์เท่ากับ 8.96 วัตต์/ตร.ม. (อภิญา บุษมา, 2555) ซึ่งมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆในอาคาร เช่น โทรทัศน์ พัดลม คอมพิวเตอร์ เต้าไมโครเวฟ หม้อหุงข้าว เครื่องทำน้ำร้อน เป็นต้น มีตารางการใช้งานทุกวัน ตลอด 24 ชม. ภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยอำนวยการศึกษา

3.3 การเลือกมาตรการประหยัดพลังงาน

เพื่อให้การศึกษามาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร มีความครอบคลุมในทุกๆ ด้าน มากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ตั้งกลุ่มของมาตรการต่างๆ ออกเป็น 6 กลุ่ม ประกอบด้วย

3.3.1 กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม (Orientation)

แนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน จำเป็นต้องคำนึงถึง ทิศทางแสงแดด อุปกรณ์บังแดดภายนอก สัดส่วนของผนังที่ผนังโปร่ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานในอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) โดยปัจจัยเหล่านี้ เป็นสิ่งที่สามารถนำมาปรับใช้กับอาคารได้ เนื่องจากมีต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำ หรือไม่จำเป็นต้องมีการลงทุนใดๆ ในกลุ่มนี้ จึงมีการแบ่งมาตรการออกเป็น 3 มาตรการ ประกอบด้วย

- 1) การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)
- 2) การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด (Building Orientation)
- 3) การติดตั้งแผงกันแดด (Shading Device)

3.3.2 กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง (Wall Insulation)

การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา และกระจกฉนวนกันความร้อน เป็นทางเลือกสำคัญ ที่ส่งผลให้การ
ใช้พลังงานในอาคารลดลง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) และการเพิ่ม
 ฉนวนผนัง โดยเฉพาะฉนวนใยแก้ว เป็นที่นิยมในปัจจุบันเพราะนอกจากประสิทธิภาพในการป้องกัน
 ความร้อนให้กับอาคาร ยังสามารถกันเสียงได้ดี มีอัตราการทนไฟสูงกว่าฉนวนชนิดอื่นๆ และไม่เป็น
 อันตรายต่อสุขภาพ (วิฑูรย์ หนูเล็ก และ ชีวะ ทักณา, 2559) นอกจากนี้ การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอก
 อาคาร ยังเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพราะไม่เป็นวัสดุที่ดูด
 ซ้ำก๊าซเรือนกระจกตลอดการเจริญเติบโต (Kaltimber, 2017) ในกลุ่มนี้จึงแบ่งมาตรการออกเป็น 5
 มาตรการ ประกอบด้วย

- 1) การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete Block)
- 2) การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง (Lightweight Concrete Block + Air Gap)
- 3) การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก (Fiberglass insulation)
- 4) การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร (Wood Cladding)
- 5) การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน (IGU)

3.3.3 กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา (Roof Insulation)

ทางเลือกในการติดตั้งฉนวนหลังคาในปัจจุบัน มีมากมายหลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น วัสดุ
 ของฉนวนประเภท Polystyrene foam (PS) Polyurethane foam (PU) Polyethylene Foam
 (PE) และ Fiberglass เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ในการกำหนด
 มาตรการ จึงหยิบยกเอาวัสดุฉนวนทั้ง 4 ประเภทนี้ มาติดตั้งบนหลังคาคอนกรีตหล่อในที่ เพื่อศึกษา
 การใช้พลังงานของอาคารที่เปลี่ยนแปลงไปของฉนวนแต่ละประเภท ทำให้สามารถแบ่งมาตรการ
 ออกเป็น 4 มาตรการ ประกอบด้วย

- 1) การใช้ฉนวนโพลีสไตรีน (Roof-PS Insulation)
- 2) การใช้ฉนวนโพลียูรีเทน (Roof-PU Insulation)
- 3) การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน (Roof-PE Insulation)
- 4) การใช้ฉนวนใยแก้ว (Roof-Fiberglass Insulation)

3.3.4 กลุ่มพลังงานทดแทน (Solar Cell)

แนวโน้มของพลังงานทดแทนและการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน จะยังเป็นส่วนสำคัญของการผลิตและการใช้พลังงานของประเทศ ด้วยต้นทุนแผงโซลาร์ที่ถูกกลง ผนวกกับการพัฒนาและผลิตแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานกันอย่างจริงจัง ทำให้เกิดความเชื่อมั่นในการบริหารจัดการพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกของการก่อสร้างบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย ซึ่งในอนาคตการซื้อขายไฟฟ้าอาจจะอิสระมากขึ้น โดยทุกบ้านมีฐานะเป็น Prosumer คือผลิตไฟใช้เอง และอาจจะสามารถขายกันระหว่างบุคคลได้อีกด้วย โดยเป็นระบบ Energy Storage (สุนิรัตน์ พุกตะ, 2562) ดังนั้นในการกำหนดมาตรการ ผู้วิจัยได้กำหนดเป็นส่วนพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ต่อพลังงานที่ใช้ในอาคารทั้งหมด ในช่วง 5%-20% เนื่องจากสามารถติดตั้งบนหลังคาของอาคารได้สูงสุดประมาณ 15%-20% ของพลังงานที่ใช้ในอาคารทั้งหมด โดยแบ่งมาตรการออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- 1) พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5% (Solar Cell 5%)
- 2) พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10% (Solar Cell 10%)
- 3) พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15% (Solar Cell 15%)
- 4) พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20% (Solar Cell 20%)

3.3.5 กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (Cooling)

ในปัจจุบันประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพให้ผ่านเกณฑ์การประหยัดไฟเบอร์ 5 ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับการเลือกใช้ระบบปรับอากาศ แต่เนื่องจากเกณฑ์การประหยัดไฟเบอร์ 5 ยังแบ่งออกเป็น 4 เกณฑ์ย่อย ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) ที่ส่งผลต่อระบบ ประกอบด้วย เบอร์ 5 เบอร์ 5 1 ดาว เบอร์ 5 2 ดาว เบอร์ 5 3 ดาว โดยเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพพลังงานสูง ตามจำนวนดาวที่ได้รับ สูงสุดที่ 3 ดาว (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2563) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ (DC Solar Air) ซึ่งเป็นการลดการใช้ไฟฟ้าให้กับระบบปรับอากาศได้เป็นอย่างดี การกำหนดมาตรการในกลุ่มนี้ จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แบ่งตามเกณฑ์ประหยัดไฟเบอร์ 5 และการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว (Cooling-EER=17.5)
- 2) ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว (Cooling-EER=20.0)

3) ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว (Cooling-EER=22.5)

4) การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ (DC Solar Air-EER=20.8)

3.3.6 กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting)

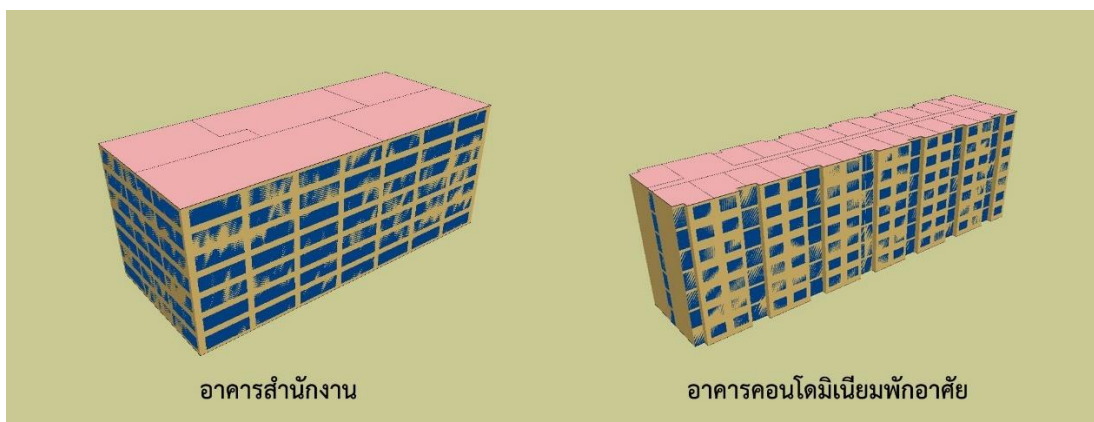
จากมาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1 2010 ได้กำหนดเกณฑ์ให้อาคารที่มีพื้นที่ติดกับหน้าต่างในระยะแนวราบ ซึ่งไม่เกินระยะแนวตั้งของความสูงของหน้าต่าง และมีพื้นที่ตั้งแต่ 23.22 ตารางเมตร ขึ้นไป ต้องจัดให้มีระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ ในระดับ 50% และ 70% ของการส่องสว่าง และอาคารที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน (Occupancy Sensor) ระบุไว้ว่า สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารลงได้ 10% สำหรับอาคารที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 464.51 ตารางเมตร ขึ้นไป (ASHRAE, 2010)

นอกจากนี้ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างในปัจจุบัน ยังมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากงานวิจัยของ นิชากร เฮอร์ศรี และ สันต์ จันทร์สมศักดิ์ (2562) ได้มีการแสดงให้เห็นถึงแนวคิด ที่ใช้ในการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในการส่องสว่างต่อตารางเมตร (Lighting power density, LPD) ใหม่ ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 ปี พ.ศ. 2537 เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดค่า LPD ของกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยหลอด T8 สามารถคำนวณค่า LPD ได้ต่ำกว่าที่ระบุในข้อกำหนดของ กฎกระทรวงฯ เกือบ 19% และยังสามารถลดลงได้ ถึง 31% หากเปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเทคโนโลยีประเภทแอลอีดี (Light-Emitted Diode: LED) หรือเกณฑ์ TREES ซึ่งได้กำหนดค่า LPD ไว้ต่ำกว่าเกณฑ์ของกฎกระทรวงฯ เพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน มาตรการในกลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่างจึงมีความสำคัญกับการใช้พลังงานของอาคาร ดังนั้นในกลุ่มนี้จึงแบ่งมาตรการออกเป็น 3 มาตรการ ประกอบด้วย

- 1) การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ (Automatic Daylighting Controls)
- 2) การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน (Occupancy Sensor)
- 3) การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง (LED Lighting)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร นำไปสู่ตั้งมาตรการในการศึกษาจำนวนทั้งหมด 23 มาตรการ โดยนำไปปรับใช้กับแบบอาคารอ้างอิง 2 ประเภทอาคาร ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของมาตรการต่างๆ ในการลดก๊าซเรือนกระจก

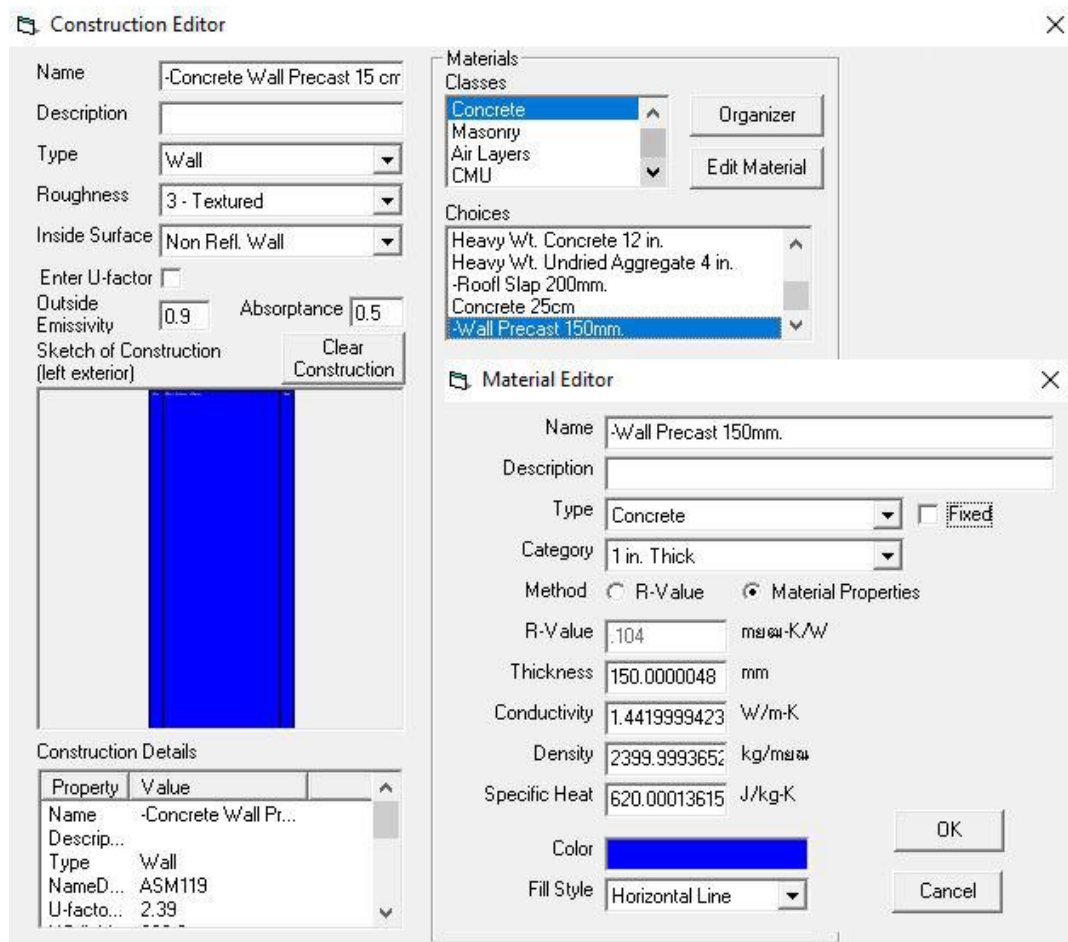
3.4 การศึกษาการใช้พลังงานของอาคาร ในแต่ละมาตรการ



ภาพที่ 3.6 หุ่นจำลองในโปรแกรม Visual DOE 4.0

3.4.1 การใช้พลังงานในแบบอาคารอ้างอิง

แบบอาคารอ้างอิงสำหรับการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 ใช้ข้อมูลพื้นฐานตามหัวข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 ซึ่งการนำมาสร้างเป็นหุ่นจำลองในโปรแกรม ภาพที่ 3.6 โดยใช้เปลือกอาคารเป็นผนังคอนกรีตหล่อในที่ หนา 150 มม. ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ $1.442 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ วัสดุต่อตารางเมตรองศา มีค่าความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) เท่ากับ 2400 kg/m^3 และมีค่าความร้อนจำเพาะ (C_p) เท่ากับ $0.62 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ แสดงในตาราง 3.1 มีการกำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในของผนัง (R_i) และภายนอกของผนัง (R_o) เท่ากับ 0.12 และ 0.044 ตามลำดับ (กระทรวงพลังงาน, 2552) ภาพที่ 3.7 ในส่วนของกระจกใช้สเปคของผู้ผลิต บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด ซึ่งเป็นกระจกใสหนา 5 มม. มีค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) เท่ากับ 0.84



ภาพที่ 3.7 การตั้งค่าวัสดุเปลือกอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.0

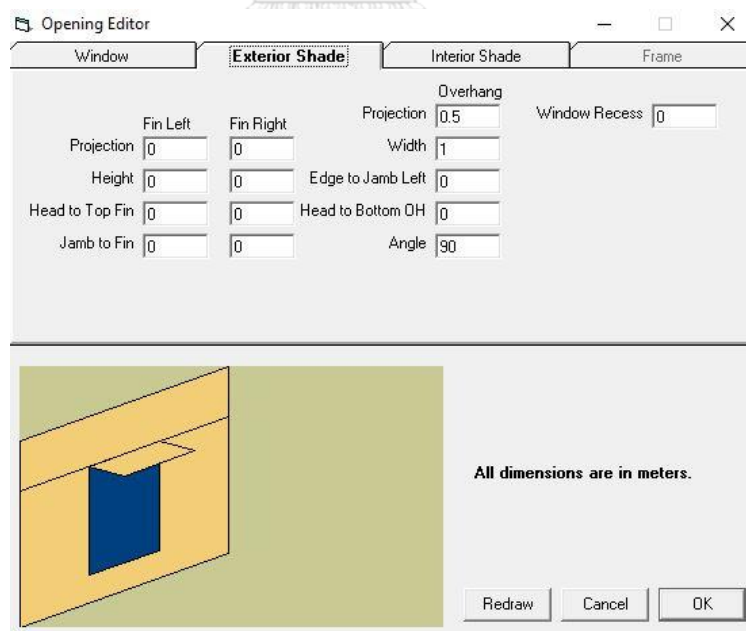
3.4.2 กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม

มาตรการในกลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม เป็นพื้นฐานของการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงาน เนื่องจากเป็นกลุ่มมาตรการที่ใช้อัตราเงินลงทุนน้อย ซึ่งในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำมาศึกษา 3 มาตรการ ประกอบด้วย

1) การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ทั้งหมด เป็นการออกแบบให้มีส่วนที่บของอาคารมากขึ้น โดยในอาคารสำนักงาน ผู้วิจัยปรับลด WWR ของอาคารลง จากเดิม 61.80% เป็น 42.10% โดยการปรับลดความสูงหน้าต่างของอาคารจากเดิม สูง 2.20 เมตร ลดเหลือ 1.50 เมตร ในส่วนของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ผู้วิจัยปรับลด WWR ของอาคารลง จากเดิม 39.90% เป็น 28.40% โดยการปรับลดความสูงหน้าต่างของอาคารจากเดิม สูง 1.80 เมตร ลดเหลือ 1.20 เมตร และปรับลดความสูงประตูออกสู่ระเบียงของอาคารจากเดิม สูง 2.80 เมตร ลดเหลือ 2.00 เมตร

2) การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด เป็นการศึกษาโดยไม่มีการปรับเปลี่ยนค่ามาตรฐานเดิมจาก Baseline ในการจำลองการใช้พลังงาน จะมีการปรับเปลี่ยนเฉพาะองศาของการวางผังอาคาร โดยปรับเปลี่ยนครั้งละ 45 องศา ภาพที่ 3.8 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของอาคารที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากทิศทางของแดดและการเคลื่อนของดวงอาทิตย์ ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร อาคารที่มีเปลือกอาคารส่วนใหญ่ หันไปยังทิศทางของแดดโดยตรง ในทิศตะวันตก หรือทิศใต้ ย่อมส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าการหันไปยังทิศตะวันออก หรือทิศเหนือ โดยเฉพาะในอาคารที่มีลักษณะของผังเป็นสิ่งเหลื่อมผืนผ้า ดังเช่นอาคารตาม Baseline ดังนั้นจากการจำลองใช้พลังงานของอาคารในแต่ละทิศ จะสามารถตรวจสอบได้ว่า การวางผังอาคารในลักษณะใด ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารน้อยที่สุด ของทั้ง 2 ประเภทอาคาร

3) การติดตั้งแผงกันแดด ผู้วิจัยกำหนดลักษณะของแผงกันแดด ซึ่งติดตั้งเพิ่มเติมจากแบบอาคารอ้างอิง โดยมีลักษณะเป็นแผงกันแดดที่ติดตั้งเหนือช่องเปิดทั้งหมดของอาคาร มีความกว้างเท่ากับขนาดของช่องเปิดพอดี และยื่นออกมาจากช่องเปิด 50 เซนติเมตร ใช้โครงสร้างเป็นคอนกรีตหล่อในที่ฉาบปูนหนา 10 เซนติเมตร ภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การติดตั้งแผงกันแดดในโปรแกรม Visual DOE 4.0

3.4.3 กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง

1) การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา เป็นการปรับเปลี่ยนวัสดุผนังเดิมของแบบอาคารอ้างอิง ซึ่งเป็นคอนกรีตหล่อในที่ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง ปรับเปลี่ยนเป็นผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน 2 ด้าน มีความหนารวมเท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่า

2) การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง เป็นการปรับเปลี่ยนวัสดุผนังเดิมของแบบอาคารอ้างอิง เป็นผนังคอนกรีตมวลเบา ซึ่งก่อบทกัน 2 ชั้น โดยมีช่องอากาศตรงกลาง และมีการฉาบปูนทับทั้ง 2 ด้าน โดยมีความหนารวมเท่ากับ 20 เซนติเมตร เนื่องจากการออกแบบเปลือกอาคารในลักษณะนี้ จะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ได้ดีกว่าผนังก่ออิฐมวลเบาเพียงชั้นเดียว

3) การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก เป็นการเพิ่มเติมฉนวนใยแก้วที่มีความหนา 5 เซนติเมตร กรุผนังภายนอกอาคารของแบบอาคารอ้างอิงเดิม และปิดผิวทับด้วยอลูมิเนียมคอมโพสิต ซึ่งเป็นวัสดุที่มักนำมาใช้ในการออกแบบอาคารสมัยใหม่ โดยใช้ในการตกแต่งเปลือกอาคาร และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีขึ้นกว่าผนังเดิม

4) การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร เป็นการเพิ่มวัสดุไม้ปาปลุก ที่มีความหนา 5 เซนติเมตร กรุทับผนังภายนอกอาคารของแบบอาคารอ้างอิงเดิม เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการเจริญเติบโต ดังนั้นการนำไม้มาใช้ในการออกแบบอาคาร ส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกัน

5) การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน เป็นการปรับเปลี่ยนวัสดุกระจกเดิมของแบบอาคารอ้างอิง ซึ่งมีค่า SHGC สูง โดยในกระจกของแบบอาคารอ้างอิงมีค่า SHGC เท่ากับ 0.84 ปรับเปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนหรือที่เรียกว่ากระจก IGU ซึ่งมีค่า SHGC เท่ากับ 0.49 แสดงถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารของกระจกที่ดีขึ้น

ตารางที่ 3.1 ประสิทธิภาพของวัสดุผนังแต่ละประเภท ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

ประเภทของวัสดุผนัง	ค่าประสิทธิภาพของวัสดุ		
	K (W/m ² °C)	ρ (kg/m ³)	C _p (kJ/kg°C)
คอนกรีตหล่อในที่	1.442	2400	0.62
ผนังคอนกรีตมวลเบา	0.180	620	0.84
ไม้เนื้อแข็ง	0.217	800	1.30
ฉนวนใยแก้ว	0.046	10	0.96

3.4.4 กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา

การติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคา ซึ่งเป็นการติดตั้งเพิ่มจากแบบอาคารอ้างอิงเดิม โดยเป็นการติดตั้งฉนวนหลังคาทั้ง 4 ประเภท ประกอบด้วย ฉนวนโพลีโพลีสไตรีน ฉนวนโพลีโพลียูรีเทน ฉนวนโพลีเอทิลีน และฉนวนใยแก้ว ที่มีความหนา 5 เซนติเมตร เท่ากันทุกประเภท ติดตั้งเหนือหลังคาคอนกรีตหล่อในที่ ฉนวนแต่ละประเภทจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 3.2 ดังนั้นการใช้ฉนวนที่ต่างกัน ย่อมส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารที่แตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพของฉนวนแต่ละประเภท ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

ประเภทของฉนวน	ค่าประสิทธิภาพของวัสดุ		
	K (W/m ² °C)	ρ (kg/m ³)	C _p (kJ/kg°C)
ฉนวนโพลีโพลีสไตรีน	0.047	9	1.21
ฉนวนโพลีโพลียูรีเทน	0.023	24	1.59
ฉนวนโพลีโพลีเอทิลีน	0.029	45	1.21
ฉนวนใยแก้ว	0.046	10	0.96

3.4.5 กลุ่มพลังงานทดแทน

การศึกษามาตรการที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน จะศึกษาโดยใช้ฐานข้อมูลของ PWATTS ซึ่งเป็นระบบประมาณการค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าและประมาณค่าใช้จ่าย ทำงานผ่านระบบเว็บไซต์ <http://pwatts.nrel.gov> จัดทำโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา เลือกพื้นที่ในการศึกษาเป็น กรุงเทพมหานคร ละติจูด 13.77, ลองจิจูด 100.5 ใช้การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบอิสระ องศาในการเอียงมีการยึดติดตาย ที่มุม 20° แผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศใต้ ที่มุม 180° มีค่าการสูญเสียในระบบเท่ากับ 14.08% ของพลังงานที่ได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของระบบ ภาพที่ 3.9 จากนั้นกำหนดกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ เท่ากับ 360 วัตต์ ต่อโซลาร์เซลล์ 1 แผง ซึ่งค่าดังกล่าว เป็นสเปคของแผงโซลาร์เซลล์ที่มีขายอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการตั้งค่าการจำลองสภาพ ของพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบโซลาร์เซลล์ ในฐานข้อมูล PWATTS (The National Renewable Energy Laboratory (NREL))

3.4.6 กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

มาตรการกลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ แบ่งเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย

- 1) การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ตามข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งได้แบ่งเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ออกเป็น 4 ประเภท ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ปี พ.ศ. 2562

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5 1 ดาว	เบอร์ 5 2 ดาว	เบอร์ 5 3 ดาว
ไม่เกิน 8,000 วัตต์ ($\leq 27,296$ บีทียู/ชั่วโมง)	15.00-17.49	17.50-19.99	20.00-22.49	≥ 22.50
มากกว่า 8,000-12,000 วัตต์ ($>27,296-40,944$ บีทียู/ชั่วโมง)	14.00-16.49	16.50-18.99	19.00-21.49	≥ 21.50

โดยค่าประสิทธิภาพที่กำหนดไว้ในตารางนั้น เป็นค่าประสิทธิภาพหรือค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Seasonal Energy Efficiency Ratio ; SEER) ซึ่งการนำมาใช้ในโปรแกรม Visual DOE 4.0 จำเป็นต้องมีการแปลงหน่วยเป็นหน่วย SI โดยนำค่า SEER หารด้วย 3.412 ซึ่งในโปรแกรม ให้ป้อนข้อมูลค่าดังกล่าวในส่วนของ Energy Input Ratio ; EIR ภาพที่ 3.10 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงแปลงค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจากตารางเป็นค่า EIR ก่อนนำไปใช้จำลองพลังงานในโปรแกรม โดยค่า EIR ที่ได้ ประกอบด้วย EIR=5.128 (EER=17.50) , EIR=5.861 (EER=20.00) และ EIR=6.594 (EER=22.50) ซึ่งหมายถึง 3 มาตรการ ของการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ตั้งแต่เบอร์ 5 1 ดาว-3 ดาว

Cooling

Template: DX High Eff

Specification DX Specification Curves

Energy Efficiency Ratio: 6.594 Note: Water-Cooled Condenser
 Energy Input Ratio: 0.35 EIR = 3.413 / EER
 Desuperheater EIR = 1/ COP
 Fraction of Load Recoverable: 0.7
 Waste Heat Use: Space Heat & Hot Water
 Evaporatively Pre-Cooled Condenser
 Rated Effectiveness: 0.8
 Electric Consumption: 0.01 kW/(Cap. in kW)

Cancel OK

ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างการตั้งค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว ในโปรแกรม Visual DOE 4.0

2) การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ ซึ่งในปัจจุบัน มีจำหน่ายหลายผู้ผลิต โดยมีการจำหน่ายเครื่องปรับอากาศพร้อมกับระบบพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ ซึ่งในขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงาน จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าของอาคารควบคู่กับพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบปรับอากาศได้ประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน และสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 90% ของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศในขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ทำงาน (บริษัท คูล คูล จำกัด, 2022) หากในช่วงเวลาดังกล่าว แผงโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ระบบจึงนำพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าของอาคารมาใช้ทดแทน หรือในช่วงเวลาที่แผงโซลาร์เซลล์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เช่น ช่วงเวลากลางคืน ช่วงเวลาที่ฟ้ามีเมฆมาก เป็นต้น ระบบจะพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าของอาคารทั้งหมด

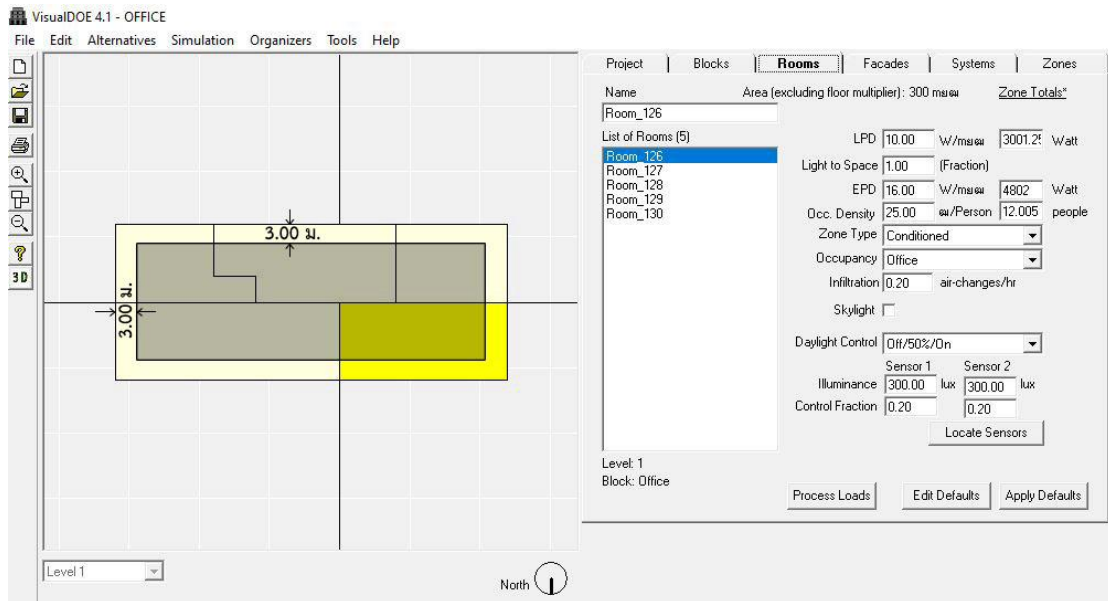
ในการศึกษาการใช้พลังงานของมาตรการนี้ ผู้วิจัยได้มีการคำนวณสัดส่วนที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถทดแทนได้ในแต่ละประเภทอาคาร โดยในอาคารสำนักงาน มีชั่วโมงการทำงานของระบบปรับอากาศ 4,160 ชั่วโมงต่อปี ในวันจันทร์-ศุกร์ และ 3,120 ชั่วโมงต่อปี ในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยโซลาร์เซลล์สามารถทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 1,820 ชั่วโมงต่อปี อีกทั้งโซลาร์เซลล์สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเพียง 90% ของ

พลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศในขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ทำงาน หรือ 1,638 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งคิดเป็น 22.50% ของการใช้งานระบบปรับอากาศตลอดทั้งปี

ในส่วนของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย การได้รับประโยชน์จากการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ จะลดน้อยลง เนื่องจากโซลาร์เซลล์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น โดยอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จะเน้นการใช้งานในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งมีชั่วโมงการทำงานของระบบปรับอากาศ 3,120 ชั่วโมงต่อปี ในวันจันทร์-ศุกร์ และ 1,160 ชั่วโมงต่อปี ในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยโซลาร์เซลล์สามารถทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 520 ชั่วโมงต่อปี อีกทั้งโซลาร์เซลล์สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเพียง 90% ของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศในขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ทำงาน หรือ 468 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งคิดเป็น 6.43% ของการใช้งานระบบปรับอากาศตลอดทั้งปี

3.4.7 กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1) การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ อ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1 2010 ได้กำหนดเกณฑ์ให้อาคารที่มีพื้นที่ติดกับหน้าต่างในระยะแนวราบ ซึ่งไม่เกินระยะแนวตั้งของความสูงของหน้าต่าง และมีพื้นที่ตั้งแต่ 23.22 ตารางเมตร ขึ้นไป ต้องจัดให้มีระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ ในระดับ 50% และ 70% ของการส่องสว่าง เพื่อเป็นประโยชน์ในการลดการใช้พลังงานของอาคาร ในการศึกษาี้ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ทั้ง 2 ประเภทอาคาร มีการติดตั้งระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ โดยติดตั้งห้องละ 2 ชุด แต่ละชุดติดตั้งห่างจากหน้าต่างเข้ามายังภายในอาคาร 3 เมตร และกำหนดให้ควบคุมระดับความส่องสว่าง (Illuminance) เท่ากับ 300lux ภาพที่ 3.11 หากระดับความส่องสว่างเกินกว่า 300lux ระบบจะปิดการทำงานของแสงประดิษฐ์ (Artificial Light) จากดวงโคมโดยอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดให้มีการควบคุมในพื้นที่ 20% ของพื้นที่ห้องทั้งหมด



ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างการติดตั้งระบบควบคุมแสงอัตโนมัติในอาคารสำนักงาน

2) การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน มีการลดสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างลง 10% ทั้งของอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1, 2010 ซึ่งกำหนดว่า อาคารที่ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารในส่วนจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้ 10% สำหรับอาคารที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 464.51 ตารางเมตร ภาพที่ 3.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE G3.2 Power Adjustment Percentage For
Automatic Lighting Controls

Automatic Control Device(S)	Non-24-h and	All
	$\leq 464.51 \text{ m}^2$	Other
1. Programmable timing control	10%	0%
2. Occupancy sensor	15%	10%
3. Occupancy sensor and programmable Timing Control	15%	10%

ภาพที่ 3.12 สัดส่วนการใช้พลังงานที่ลดลง จากการติดตั้งระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ

(ASHRAE Standard 90.1, 2010)

3) มาตรการการใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของหลอด LED ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจาก Baseline โดยในอาคารสำนักงาน อ้างอิงจากงานวิจัยของ นิชากร เสง รัศมี และ สันต์ จันทร์สมศักดิ์ (2562) ได้มีการแสดงให้เห็นถึงแนวคิด ที่ใช้ในการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้า สูงสุดในการส่องสว่างต่อตารางเมตรใหม่ ของกฎกระทรวง 39 เพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีใน ปัจจุบัน โดยเสนอว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ควรมีค่าเท่ากับ 9.70 วัตต์/ตร.ม. สำหรับอาคาร คอนโดมิเนียมพักอาศัย อ้างอิงจากมูลนิธิอาคารเขียวไทย (2564) ซึ่งมีการระบุว่า บ้าน ทาวน์เฮ้าส์ อาคารชุด อพาร์ทเมนต์ ต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดไม่เกิน 8 วัตต์ต่อตารางเมตร

3.5 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.5.1 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง

จากแบบอาคารอ้างอิงและมาตรการในการประหยัดพลังงานต่างๆ สามารถนำไปศึกษาปริมาณ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง โดยการถอดปริมาณวัสดุประกอบอาคาร และใช้ ปริมาณวัสดุแต่ละชนิด เทียบกับฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2 ของมหาวิทยาลัยบาร ประเทศอังกฤษ ซึ่งจะได้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงความร้อน มีหน่วย เป็น Mj จากนั้นจึงแปลงค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยค่าการใช้พลังงานเชื้อเพลิงความ ร้อนมีค่า 1 Mj เท่ากับ 0.28 kWh จากนั้นแปลค่าเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการเทียบ กับค่า Emission Factor ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2563 มีการกำหนดค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 kgCO₂e/kWh ซึ่งจะได้ปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของวัสดุก่อสร้างจากแบบอาคารอ้างอิง แสดงในตารางที่ 3.4 และแสดง ตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุ

ที่มา : (Inventory of carbon & energy (ICE Version 2) Summary, 2011; สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, 2553; องค์การจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย, 2564)

วัสดุ	Embodied Energy (Mj/kg)	พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงความร้อน (kWh/Mj)	Emission Factor ปี 2563 (kCO ₂ e/kWh)
สีทาภายใน/ภายนอก	21.00	0.28	0.5986
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	0.75	0.28	0.5986
ผนังคอนกรีตหล่อในที่	0.75	0.28	0.5986
ปูนฉาบ (ซีเมนต์ 1 : ทราย 2 : น้ำ 4)	0.82	0.28	0.5986
ฝ้ายิปซัมบอร์ด	1.80	0.28	0.5986
พื้นกระเบื้องเซรามิก	12.00	0.28	0.5986
วงกบอลูมิเนียม	214.00	0.28	0.5986
กระจกโพลติส (Primary glass)	15.00	0.28	0.5986
ประตูไม้จริง	10.00	0.28	0.5986
ประตู MDF	11.00	0.28	0.5986
เหล็ก DB12	17.40	0.28	0.5986
เหล็ก DB20	17.40	0.28	0.5986
เหล็ก DB28	17.40	0.28	0.5986
เหล็ก RB9	17.40	0.28	0.5986
การใช้นวนใยแก้ว	28.00	0.28	0.5986
การใช้นวนโฟมโพลีเอทิลีน	83.10	0.28	0.5986
การใช้นวนโฟมโพลีสไตรีน	72.10	0.28	0.5986
การใช้นวนโฟมโพลียูรีเทน	86.40	0.28	0.5986
ผนังคอนกรีตมวลเบา	3.00	0.28	0.5986

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วัสดุ	ปริมาณ (kg)	Embodied Energy (Mj/kg)	พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิง ความร้อน (kWh/Mj)	Emission Factor ปี 2563 (kCO ₂ e/kWh)	Embodied carbon (kgCO ₂ e)
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	829,488.00	0.75	0.28	0.5986	104,271.62
ผนังคอนกรีตหล่อในที่	964,464.00	0.75	0.28	0.5986	121,238.91
ปูนฉาบ	351,390.69	0.82	0.28	0.5986	48,294.63
ฝ้ายิปซัมบอร์ด	52,976.88	1.80	0.28	0.5986	15,982.83
พื้นกระเบื้องเซรามิก	16,359.26	12.00	0.28	0.5986	32,903.31
วงกบอลูมิเนียม	651.84	214.00	0.28	0.5986	23,380.27
กระจกใส	18,688.00	15.00	0.28	0.5986	46,983.87
ประตู MDF	1,575.00	11.00	0.28	0.5986	2,903.81
เหล็ก DB12	209,464.84	17.40	0.28	0.5986	610,878.91
เหล็ก RB9	4,187.14	17.40	0.28	0.5986	12,211.29

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง ของมาตรการที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทนจากระบบโซลาร์เซลล์ จะอ้างอิงถึงการศึกษาของ Chris W. (2021) ซึ่งระบุว่ากระบวนการผลิตโซลาร์เซลล์ 1 kWh ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 500-600 kgCO₂e สำหรับ Monocrystalline Silicon ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ นอกจากนี้ ยังพบว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ดีขึ้น ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตโซลาร์เซลล์มีแนวโน้มลดลง โดยในปี ค.ศ. 2020 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2,560 kgCO₂e/kWh และคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2040 จะลดลงเหลือ 325 kgCO₂e/kWh และลดลงเหลือ 205 kgCO₂e/kWh ในปี ค.ศ. 2050 (Chris Worboys, 2021)

ในส่วนของมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร ใช้ค่าเฉลี่ยในการดูดซับก๊าซเรือนกระจกจาก Kaltimber ซึ่งเป็นบริษัทผลิตไม้แปรรูป ตั้งอยู่ที่ เมืองบาห์ลี ประเทศอินโดนีเซีย โดยมีการระบุค่าเฉลี่ยในการดูดซับก๊าซเรือนกระจกของไม้จริง เท่ากับ 1.65 kgCO₂e/kg (Kaltimber, 2017)

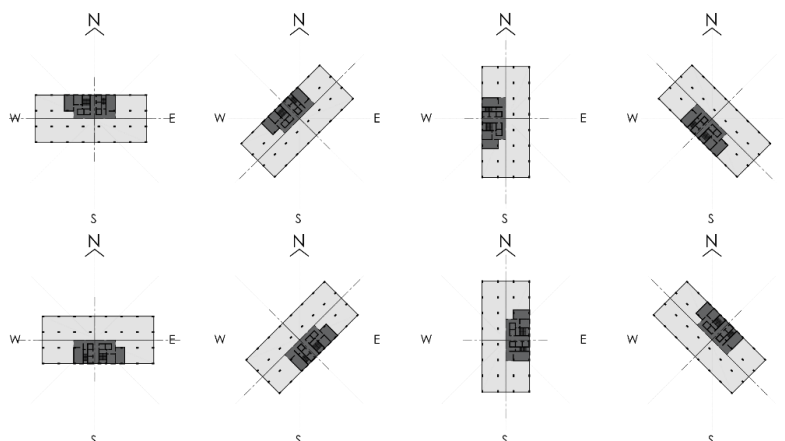
ทั้งนี้ บางมาตรการไม่สามารถคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างได้ เนื่องจากยังไม่มีข้อมูล ดังนั้นในมาตรการดังกล่าว จึงไม่ได้มีการนำมาคำนวณในการศึกษานี้ แสดงในตาราง 3.6 ประกอบด้วย

1) มาตรการทั้งหมดในกลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (ยกเว้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้โซล่าเซลล์ในมาตรการ การนำพลังงานทดแทนจากโซล่าเซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ) ซึ่งหมายถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตเครื่องปรับอากาศและจากสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

2) มาตรการทั้งหมดในกลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งหมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตหลอด LED และเซนเซอร์ต่างๆ

3.5.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานอาคาร

จากแบบอาคารอ้างอิง สามารถนำไปศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร ช่วงอยู่การอาศัย ผ่านโปรแกรม Visual DOE 4.0 โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้ ยังไม่ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครในอนาคต การแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุในโปรแกรม ใช้วิธีการคำนวณจากสมการการถ่ายเทความร้อน จากประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร จากนั้นจึงทำการจำลองสภาพ (Simulation) โดยหาค่าเฉลี่ยใช้พลังงานไฟฟ้าจากการหมุนอาคารในแต่ละทิศ จากทั้งหมด 8 ทิศ ภาพที่ 3.13 ในกรณีการศึกษามาตรการในกลุ่มพลังงานทดแทน การหมุนอาคารจะไม่ส่งผลใดๆ กับมาตรการในกลุ่มนี้ เนื่องการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ใช้การติดตั้งแผงโซล่าเซลล์แบบอิสระองศาในการเอียงมีการยึดติดตาย ที่มุม 20° แผงโซล่าเซลล์หันไปทางทิศใต้ ที่มุม 180° เหมือนกันในการหมุนอาคารแต่ละทิศ ซึ่งสามารถนำค่าการใช้พลังงานดังกล่าวไปเทียบกับค่า Emission Factor ของประเทศไทย เพื่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 3.13 ทิศทางในการหมุนอาคารตามทิศ ทั้ง 8 ทิศ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วง การใช้งานอาคาร จากตัวอย่างแบบอาคารอ้างอิงของอาคารสำนักงาน

นอกจากนี้ ในช่วงอายุอาคารที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อลำดับความคุ้มค่าในแต่ละมาตรการที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในช่วงอายุอาคารที่ มากกว่า 1 ช่วงอายุ ดังนั้น จึงศึกษาใน 3 ช่วงอายุอาคาร คือช่วง 20ปี 40ปี และ 60 ปี เพื่อต้องการศึกษาลำดับความคุ้มค่าในแต่ละมาตรการที่แตกต่างไปตามช่วงอายุอาคาร โดยช่วงอายุการใช้งานของวัสดุแต่ละประเภท ระบุไว้ในตาราง 3.7 ซึ่งเมื่อมีการใช้งานจนครบช่วงอายุการใช้งานของวัสดุ จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวัสดุชุดใหม่เข้าไปแทนที่ (Replacement cost) ซึ่งนับเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในช่วงการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 สรุปมาตรการที่นำมาใช้ในการวิจัยและวิธีการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

มาตรการ	การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
	ช่วงการก่อสร้าง	ช่วงใช้งานอาคาร
กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม		
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ขังทั้งหมด	ใช้ปริมาณวัสดุก่อสร้างเทียบกับฐานข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2	ปรับลด WWR ในการจำลองสภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0
การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด		ศึกษาการใช้พลังงานรวมของอาคาร ที่น้อยที่สุด จากการหมุนอาคาร ในการจำลองสภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0
การติดตั้งแผงกันแดด		ติดตั้งแผงกันแดดยื่น 50 ซม. ในการจำลองสภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0

มาตรการ	การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
	ช่วงการก่อสร้าง	ช่วงใช้งานอาคาร
กลุ่มวัสดุฉนวนผนัง		
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา	ใช้ปริมาณวัสดุก่อสร้าง เทียบกับฐานข้อมูลค่า สัมประสิทธิ์การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก ICE Version 2	ปรับปรุงวัสดุ ในการจำลองสภาพ โดย โปรแกรม Visual DOE 4.0
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่าง ผนัง		
การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก		
การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร		
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน		
กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา		
การใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	ใช้ปริมาณวัสดุก่อสร้าง เทียบกับฐานข้อมูลค่า สัมประสิทธิ์การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก ICE Version	เพิ่มเติมฉนวน เหนือหลังคา ในการจำลอง สภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0
การใช้ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน		
การใช้ฉนวนโฟมโพลีเอทิลีน		
การใช้ฉนวนใยแก้ว		
กลุ่มพลังงานทดแทน		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5%	เทียบกับการศึกษา ของ Chris Worboys (2021)	ใช้ฐานข้อมูลของ PWATTS จัดทำโดย NREL : National Renewable Energy Laboratory
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10%		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15%		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20%		
กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ		
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว	ไม่มีการคำนวณ	ปรับเปลี่ยนค่า EER ของระบบปรับอากาศ ในการจำลองสภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว		
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว		
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับ อากาศ	เทียบกับการศึกษา ของ Chris Worboys (2021) เฉพาะแผงโซ ลาร์เซลล์	จำลองสภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0 ร่วมกับการคำนวณประสิทธิภาพของโซ ลาร์เซลล์ในการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ ระบบปรับอากาศ แบบรายชั่วโมง

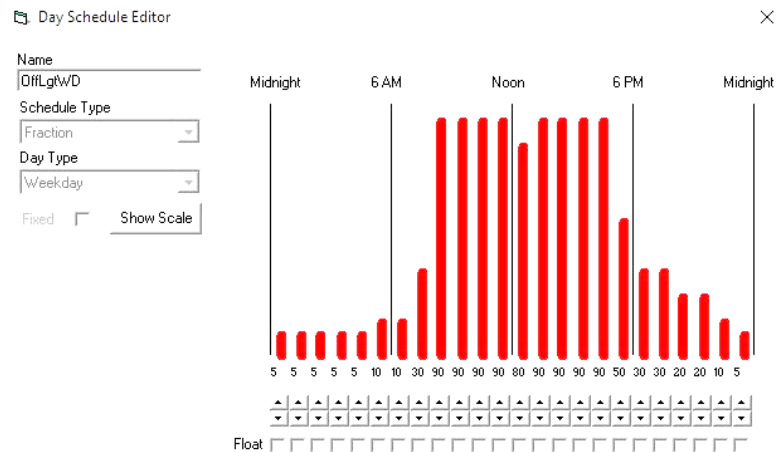
มาตรการ	การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
	ช่วงการก่อสร้าง	ช่วงใช้งานอาคาร
กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง		
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ	ไม่มีการคำนวณ	เทียบกับมาตรฐาน ASHRAE Standard 90.1 2010
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน		ติดตั้งเซนเซอร์ ในการจำลองสภาพ โดยโปรแกรม Visual DOE 4.0
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง		ในอาคารสำนักงาน : เทียบกับการศึกษาของ นิชากร เฮงรัมย์ และ สันต์ จันท์สมศักดิ์ (2562) ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย : เทียบกับเกณฑ์ TREES

หมายเหตุ : การแปลงหน่วยของพลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ใช้วิธีเทียบกับค่า Emission Factor ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563 ในทุกมาตรการ

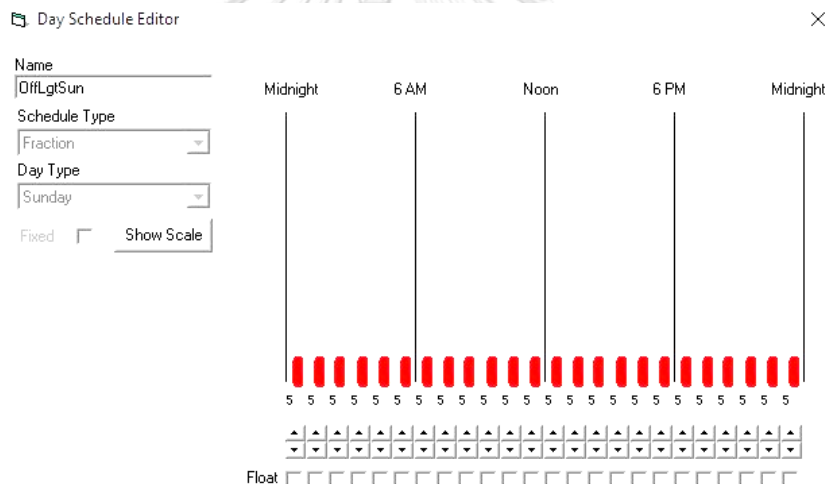
3.6 การกำหนดตารางการใช้งานอาคาร

3.6.1 การกำหนดตารางการใช้งานอาคารสำนักงาน

1) ตารางการใช้งานพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้กำหนดตารางการใช้งานเป็นลักษณะเดียวกัน โดยในอาคารสำนักงาน จะเน้นการใช้งานในช่วงกลางวัน ในวันจันทร์-ศุกร์ เนื่องจากเป็นวันทำงานปกติของสำนักงานทั่วไป จึงกำหนดให้มีการใช้งานตั้งแต่ประมาณ 7.00น. และมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตลอดทั้งวัน มีการใช้งานลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาพักกลางวัน เนื่องจากผู้ใช้อาคารบางส่วนอาจจะออกไปรับประทานอาหารกลางวัน และกลับเข้ามาทำงานอีกครั้งในช่วงบ่าย ช่วงเวลาประมาณ 17:00น.-18:00น. จะเริ่มมีการใช้งานลดน้อยลง เนื่องจากเป็นช่วงเวลาเลิกงาน การใช้พลังงานหลังจากนั้น จึงมีการใช้งานเพียงเล็กน้อยต่อเนื่องไปจนถึงเวลาประมาณ 22:00น. จึงสิ้นสุดการใช้งาน ภาพที่ 3.14 ในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ผู้วิจัยกำหนดให้ไม่มีการใช้งานอาคารเกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ภาพที่ 3.15

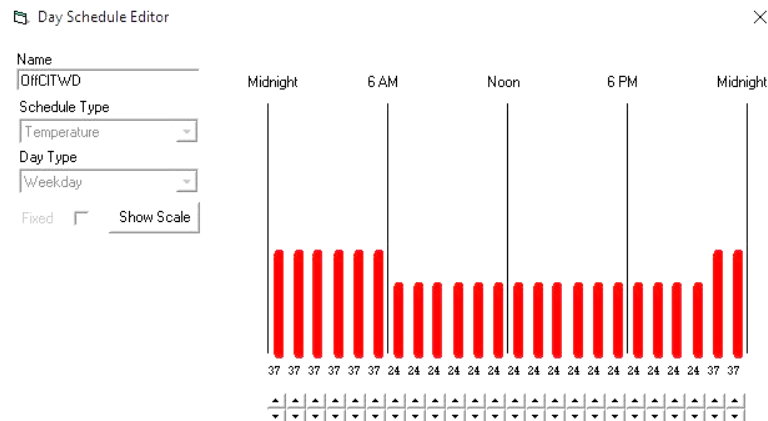


ภาพที่ 3.14 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารสำนักงาน

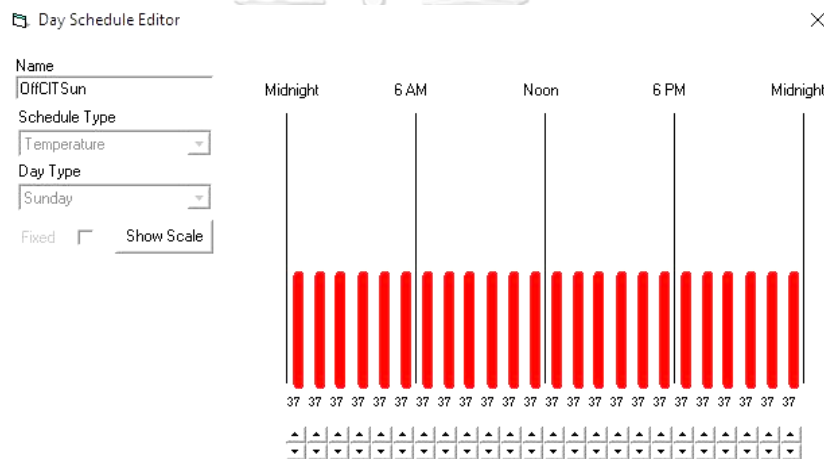


ภาพที่ 3.15 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารสำนักงาน

2) ตารางการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารสำนักงาน ผู้วิจัยกำหนดให้มีการตั้งอุณหภูมิที่ 24°C โดยเริ่มใช้งานระบบปรับอากาศตลอดทั้งวัน ตั้งแต่ช่วงเวลา 7:00 น.-22:00น. ภาพที่ 3.16 และในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ผู้วิจัยกำหนดให้ไม่มีการใช้งานอาคารเกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.16 ตารางการใช้งานระบบปรับอากาศ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารสำนักงาน

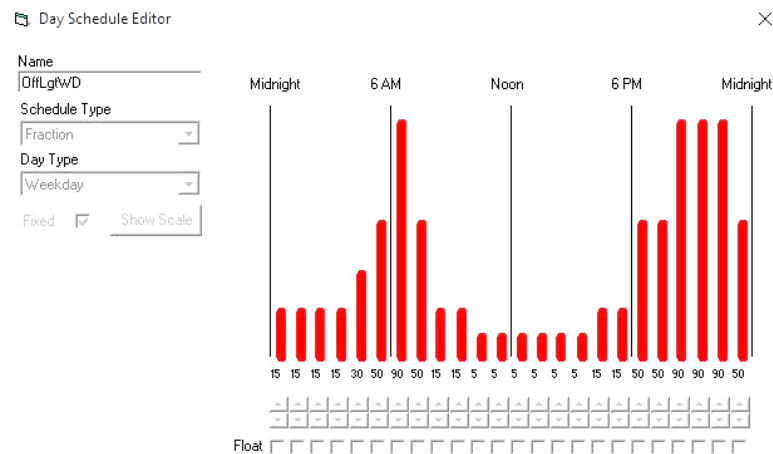


ภาพที่ 3.17 ตารางการใช้งานระบบปรับอากาศ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารสำนักงาน

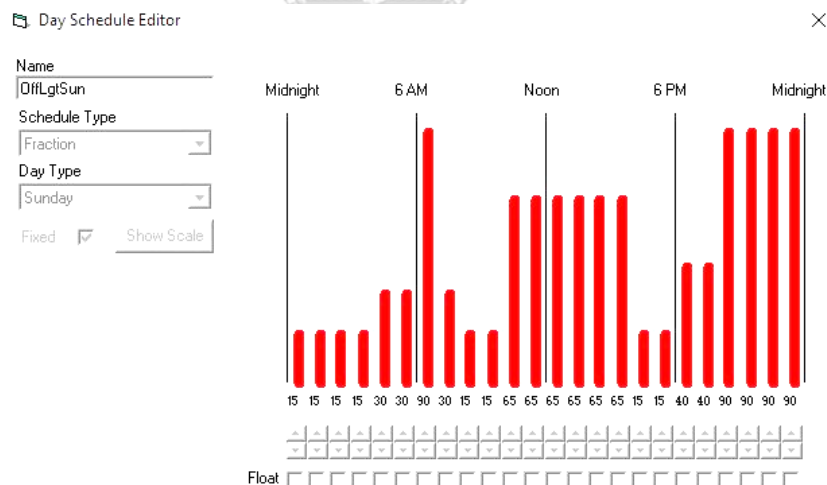
3.6.2 การกำหนดตารางการใช้งานอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

1) ตารางการใช้งานพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้กำหนดตารางการใช้งานเป็นลักษณะเดียวกัน โดยในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จะมีการใช้งานในลักษณะตรงข้ามกับอาคารสำนักงาน จะเน้นการใช้งานในช่วงกลางคืน ในวันจันทร์-ศุกร์ เนื่องจากในเวลากลางวัน ผู้ใช้อาคารมักออกไปทำงาน จึงไม่ได้มีการใช้งานอาคารในเวลากลางวัน ผู้วิจัยจึงกำหนดให้มีการใช้งานตั้งแต่ประมาณ 17:00น.-8:00น. ระหว่างนั้นในช่วงเวลาหลังเที่ยงคืน เป็นต้นไป จะมีการใช้งานน้อยลง เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้อาคารนอนหลับ และจะเริ่มมีการใช้งานอีกครั้งประมาณช่วงเช้า เวลา 5:00น. ภาพที่ 3.18 ในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์

จะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากเป็นวันหยุด ที่ผู้ใช้อาคารไม่ต้องออกไปทำงาน ผู้วิจัยกำหนดให้มีการใช้งานอาคารเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ภาพที่ 3.19



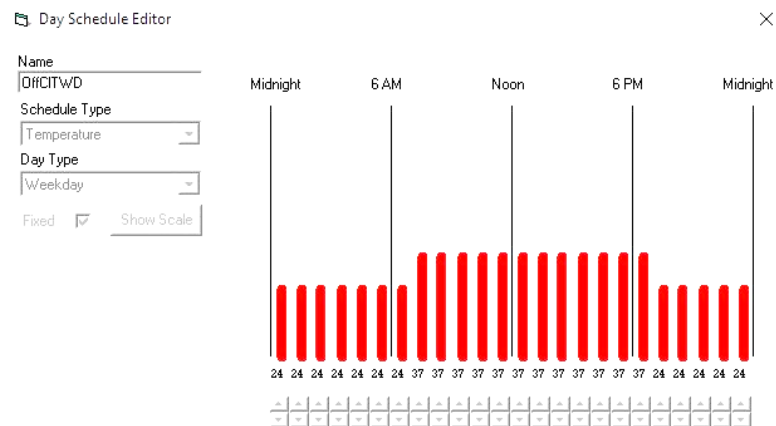
ภาพที่ 3.18 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย



ภาพที่ 3.19 ตารางการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

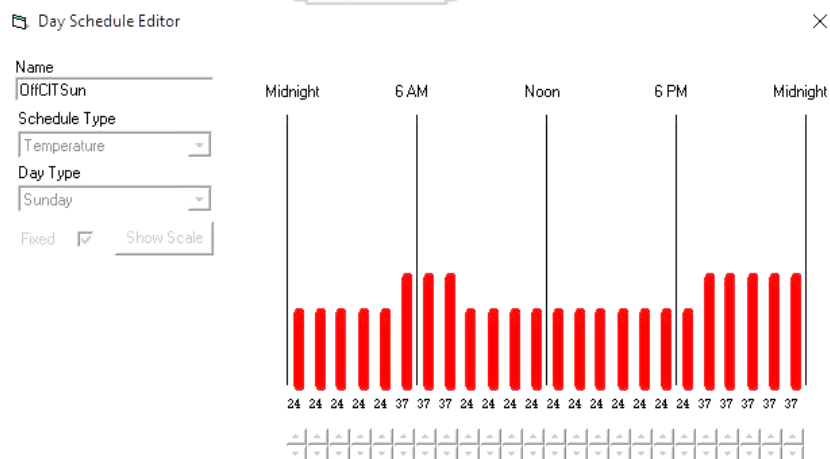
2) ตารางการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ผู้วิจัยกำหนดให้มีการตั้งอุณหภูมิที่ 24°C โดยเน้นการใช้งานในเวลากลางคืน เริ่มตั้งแต่

ช่วงเวลา 20:00น.-7:00น. ภาพที่ 3.20 และในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักชัตฤกษ์ ผู้วิจัยกำหนดให้ไม่มีการใช้งานระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวัน เวลา 9:00น.-19:00น. ภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.20 ตารางการใช้งานระบบปรับอากาศ ช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพัก

อาศัย



ภาพที่ 3.21 ตารางการใช้งานพลังงานระบบปรับอากาศ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักชัตฤกษ์ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

3.7 การศึกษาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.7.1 การคำนวณต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง

การศึกษาราคาวัสดุก่อสร้างและค่าก่อสร้างในช่วงการก่อสร้าง อ้างอิงจากแนวทางวิธีปฏิบัติ และรายละเอียดประกอบการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง จากกรมบัญชีกลาง ปี พ.ศ. 2560 บัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรง จากกลุ่มออกแบบและก่อสร้าง กระทรวงศึกษาธิการ ปี พ.ศ. 2564 และการสำรวจราคากลางจากผู้ผลิต ปี พ.ศ. 2564

ตารางที่ 3.7 ราคากลางวัสดุ

(กรมบัญชีกลาง, 2560; กระทรวงศึกษาธิการ, 2564) และราคาจากผู้ผลิต ปี พ.ศ.2564

วัสดุ	ราคากลางวัสดุ		ที่มา	อายุการใช้งาน
สีทาภายใน	35.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
สีทาภายนอก	44.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	1,797.00	m ³	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ผนังคอนกรีตหล่อในที่	1,797.00	m ³	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ปูนฉาบ	80.00	m ³	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
พื้น-หลังคาคอนกรีตหล่อในที่	1,797.00	m ³	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ฝ้ายิปซัมบอร์ด หนา 9 มม.+โครงคร่าว	292.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
พื้นกระเบื้องเซรามิก 30x30 ซม.	350.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
วงกบอลูมิเนียม	270.00	m	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
กระจกใส 5 มม. (SHGC 0.84)	161.45	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ประตูไม้	2,600.00	ชุด	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ประตู MDF	915.00	ชุด	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
เหล็ก DB12	13.91	m	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
เหล็ก DB20	38.20	m	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
เหล็ก DB28	74.70	m	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
เหล็ก RB9	8.10	m	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	290	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	15 ปี
ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน	350	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	15 ปี
ฉนวนโฟมโพลีเอทีลีน	250	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	15 ปี
ฉนวนใยแก้ว	145	m ²	กรมบัญชีกลาง ปี 2560	60 ปี
ผนังคอนกรีตมวลเบา ชั้นเดียว	195.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี

วัสดุ	ราคากลางวัสดุ		ที่มา	อายุการใช้งาน
ผนังคอนกรีตมวลเบา สองชั้น	390.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
แผ่นไม้เนื้อแข็ง	689.00	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	10 ปี
กระจก IGU (SHGC 0.49)	387.50	m ²	กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2564	60 ปี
solar cell 360w	29,900.00	ชุด	บริษัท โซล่าดี จำกัด ปี 2564	25 ปี
Occupancy sensor	1,090.00	ชุด	PHILIPS WIZ MOTION Sensor ปี 2565	15 ปี
Automatic Daylighting Controls	1,430.00	ชุด	PHILIPS HUE MOTION Sensor ปี 2565	15 ปี
DC SOLAR AIR: 24,225 BTU	77,900.00	ชุด	บริษัท คลู คลู จำกัด ปี 2565	15 ปี
เครื่องปรับอากาศ : 24,000 BTU (เบอร์ 5)	33,400.00	ชุด	บริษัท แคนเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี 2564	15 ปี
เครื่องปรับอากาศ : 24,200 BTU (เบอร์ 5 1 ดาว)	38,900.00	ชุด	บริษัท แคนเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี 2564	15 ปี
เครื่องปรับอากาศ : 24,200 BTU (เบอร์ 5 2 ดาว)	43,900.00	ชุด	บริษัท ไตกิ้นอินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี 2564	15 ปี
เครื่องปรับอากาศ : 24,000 BTU (เบอร์ 5 3 ดาว)	46,900.00	ชุด	บริษัท ไตกิ้นอินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี 2564	15 ปี

ในมาตรการที่มีการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของอาคาร หลังจากทีอาคารมีการก่อสร้างแล้วเสร็จ เช่น การปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนหลังคา ทุกๆ 15 ปี ใช้วิธีการคำนวณเงินปัจจุบันแบบ Time value of money ตามสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณเงินก้อนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยกำหนดอัตราคิดลดเท่ากับ 8% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สวิขญา ดาวประกายมงคล (2552) ตัวอย่างเช่น การปรับเปลี่ยนฉนวนหลังคา ของมาตรการการติดตั้งฉนวนใยแก้วในอาคารสำนักงาน ซึ่งมีพื้นที่ 1,396 ตารางเมตร ราคาค่าก่อสร้างในปัจจุบัน 290 บาทต่อตารางเมตร ในช่วงก่อสร้างจะมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น 404,840 บาท แต่หากคำนวณค่าก่อสร้างในปีที่ 15 จะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นอีก 127,622.45 บาท ซึ่งน้อยกว่าต้นทุนในช่วงการก่อสร้างเริ่มแรก โดยมีวิธีคิดดังนี้

$$\text{จาก } PV = \frac{Fv}{(1+r)^n} \quad (4)$$

เมื่อ	Pv	คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน
	Fv	คือ มูลค่าเงินในอนาคต
	r	คือ อัตราผลตอบแทนต่อปี
	n	คือ ระยะเวลา (จำนวนงวด)

$$\text{วิธีคิด } Pv = \frac{404,840}{(1+0.08)^{15}}$$

$$Pv = 127,622.45$$

3.7.2 การคำนวณต้นทุนในช่วงอยู่อาศัย

ต้นทุนในช่วงอยู่อาศัย คำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้งานในอาคาร ซึ่งคิดจากอัตราค่าไฟของการไฟฟ้านครหลวง (2561) โดยอาคารสำนักงาน และอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ตามแบบอาคารอ้างอิง จัดเป็นอาคารประกอบกิจการขนาดกลาง โดยใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 kWh ต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราปกติของพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.1471 บาทต่อหน่วย ภาพที่ 3.22 (การไฟฟ้านครหลวง, 2561) ทั้งนี้งานวิจัยนี้คิดอัตราค่าไฟเป็นแบบอัตราปกติตามอัตรารายเดือน ไม่ได้คิดแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

แรงดัน	ค่าความต้องการ พลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงาน ไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70	3.1097	312.24
12-24 กิโลโวลต์	196.26	3.1471	312.24
ต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	221.50	3.1751	312.24

ภาพที่ 3.22 อัตราค่าไฟเป็นแบบอัตราปกติ
(การไฟฟ้านครหลวง, 2561)

สำหรับการคำนวณอัตราค่าไฟที่เกิดขึ้นเป็นงวด มีการใช้จ่ายเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอ ใช้วิธีการคำนวณเงินปัจจุบันแบบ Present Value ตามสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณเงินงวดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยกำหนดอัตราคิดลดเท่ากับ 8% เช่นเดียวกับในช่วงการก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น ในแบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มีการอัตราค่าไฟที่ต้องจ่ายจำนวน 2,674,984.25 บาทต่อปี หากต้องการเตรียมเงินปัจจุบันให้เพียงพอต่อการจ่ายค่าไฟตลอด 20 ปี จะต้องเตรียมเงินไว้ 26,263,389.68 บาท โดยมีวิธีคิดดังนี้

$$\text{จาก } P = Ax \left[\frac{(1+i)^n - 1}{ix(1+i)^n} \right] \quad (5)$$

เมื่อ P คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน
 A คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นประจำในอนาคต หรือ งวดการจ่าย
 i คือ อัตราคิดลด
 n คือ ระยะเวลา (จำนวนงวด)

$$\text{วิธีคิด } P = 2,674,984.25 \left[\frac{(1+0.08)^{20} - 1}{0.08 \times (1+0.08)^{20}} \right]$$

$$P = 26,263,389.68$$

3.8 การสรุปผลและการเสนอแนะแนวทาง

3.8.1 จากมาตรการที่นำมาใช้ในงานวิจัย สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์และประเมินผลประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ในช่วงกระบวนการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) และช่วงใช้งานอาคาร (Use-Phase) ในแต่ละมาตรการ

3.8.2 ใช้การเปรียบเทียบ Eco-Efficiency มาอภิปรายผลถึงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารที่แตกต่างกันในแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการก่อสร้าง

บทที่ 4 ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาความคุ้มค่าในแต่ละมาตรการ ในด้านประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและด้านงานลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้างและช่วงใช้งานอาคาร โดยศึกษาในแบบอาคารอ้างอิงของอาคารสำนักงานและอาคารชุดพักอาศัย ทำให้สามารถแสดงผลการวิจัยในประเด็นดังต่อไปนี้

4.1 ผลการประเมินมาตรการประหยัดพลังงานในช่วงอายุอาคาร 1 ปี

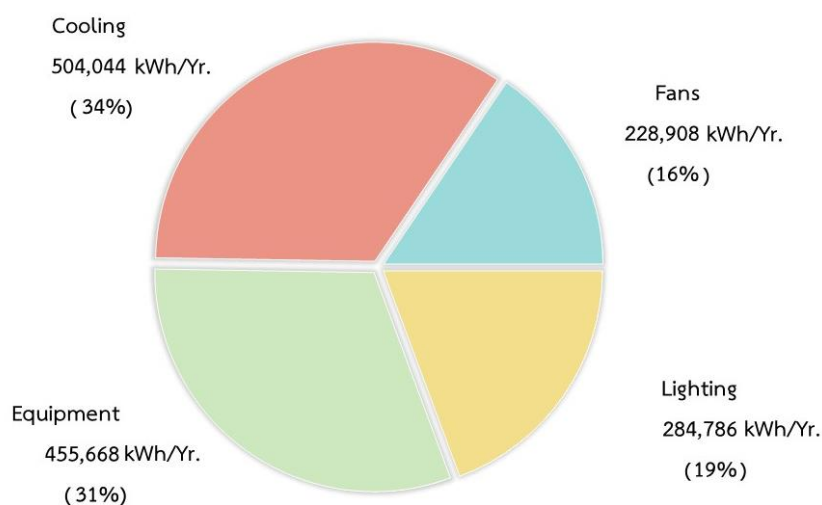
จากการศึกษาต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแบบอาคารสำนักงานอ้างอิง พบว่าในช่วงการก่อสร้าง มีต้นทุนในการก่อสร้างรวม 16,910,516.87 บาท หรือประมาณ 1,729.88 บาทต่อตารางเมตร และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 2,106,135.88 kgCO₂e แสดงในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารสำนักงานอ้างอิง

วัสดุ	ปริมาณ (unit)	Embodied carbon (kgCO ₂ e)	ค่าก่อสร้าง (Baht)
สีภายใน	4,460.33 m ²	15,699.33	156,111.55
สีภายนอก	1,788.99 m ²	6,296.83	78,715.56
ผนัง คอนกรีตสำเร็จรูป หนา 150 มม.	345.62 m ³	104,271.62	621,079.14
ผนังคอนกรีตหล่อในที่	401.86 m ³	121,238.91	722,142.42
ปูนฉาบ 15 มม.	146.23 m ³	48,294.63	11,698.40
พื้นคอนกรีตหนา 200 มม.	2,193.60 m ³	661,796.84	3,941,899.20
ฝ้ายิปซัมบอร์ด หนา 9 มม.	8,476.30 m ²	15,982.83	2,475,079.60
โครงเคร่าฝ้าเพดาน	11,962.30 m	215,535.05	
พื้นกระเบื้องเซรามิค	8,476.30 m ²	32,903.31	2,966,705.00
วงกบอลูมิเนียม	4,074.00 m	23,380.27	1,099,980.00
กระจกใส 5 มม.	2,048.00 m ²	46,983.87	330,649.60

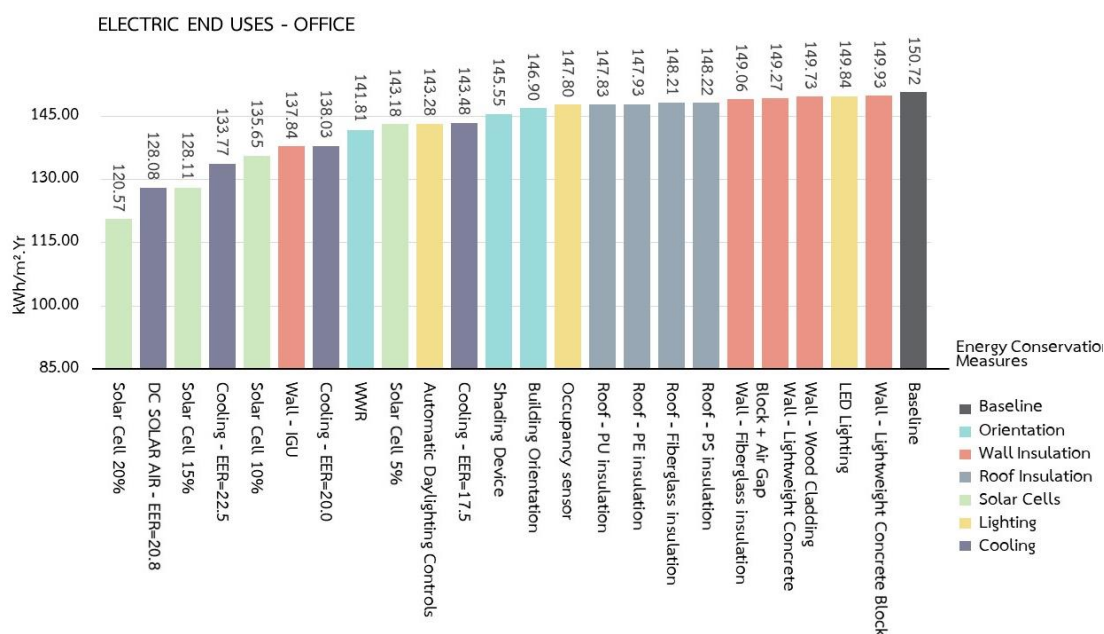
วัสดุ	ปริมาณ (unit)	Embodied carbon (kgCO ₂ e)	ค่าก่อสร้าง (Baht)
ประตูไม้	0.67 m ³	891.67	72,800.00
	3.02 m ³	3,041.08	
ประตู MDF	1.75 m ³	2,903.81	25,620.00
เหล็ก DB12	235,883.83 m	610,878.91	3,281,144.08
เหล็ก DB20	861.21 m	6,193.64	32,898.22
เหล็ก DB28	12,600.00 m	177,631.99	941,220.00
เหล็ก RB9	18,861.00 m	12,211.29	152,774.10
รวม		2,106,135.88	16,910,516.87

ในส่วนของการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย ผลจากการจำลองพลังงานใน 1 ปี พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเท่ากับ 1,473,406.63 kWh/Yr โดยสัดส่วนการใช้พลังงานส่วนใหญ่ จะใช้ไปกับระบบปรับอากาศ (Cooling) และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆในอาคาร (Equipment) เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีการใช้งานช่วงกลางวันเป็นหลัก และมีอุปกรณ์สำนักงาน ที่มีการใช้งานตลอดทั้งวัน ซึ่งมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ 34% และ 31% ของการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม แสดงในภาพที่ 4.1 จากการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปริมาณ 838,460.44 kgCO₂e/Yr



ภาพที่ 4.1 สัดส่วนการใช้พลังงาน ตามแบบอาคารอ้างอิง ในอาคารสำนักงาน

ในส่วนของการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย ผลจากการจำลองพลังงานใน 1 ปี ของแต่ละมาตรการ พบว่ามีการใช้พลังงานลดลงในทุกมาตรการ โดยแบบอาคารอ้างอิงของอาคารสำนักงาน มีค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Operation Energy Use Index) หรือที่เรียกว่า EUI เท่ากับ 150.72 kWh/m²Yr และในมาตรการการใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้มากที่สุด โดยมีค่า EUI เท่ากับ 120.57 kWh/m²Yr ภาพที่ 4.2



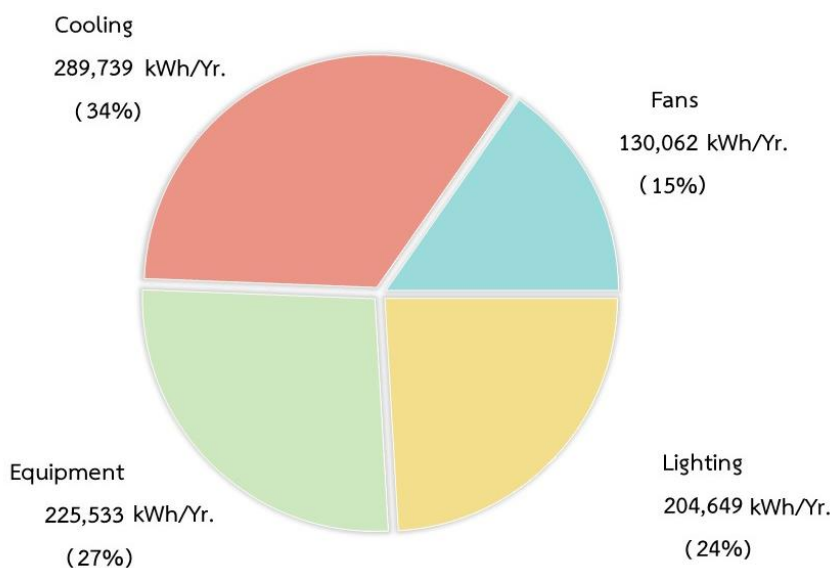
ภาพที่ 4.2 ค่า EUI ของแต่ละมาตรการ ในอาคารสำนักงาน

จากการศึกษาต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยอ้างอิง พบว่าในช่วงการก่อสร้าง มีต้นทุนในการก่อสร้างรวม 19,392,194.39 บาท หรือ 2,498.35 บาทต่อตารางเมตร และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 2,408,460.32 kgCO₂e แสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กพักอาศัย

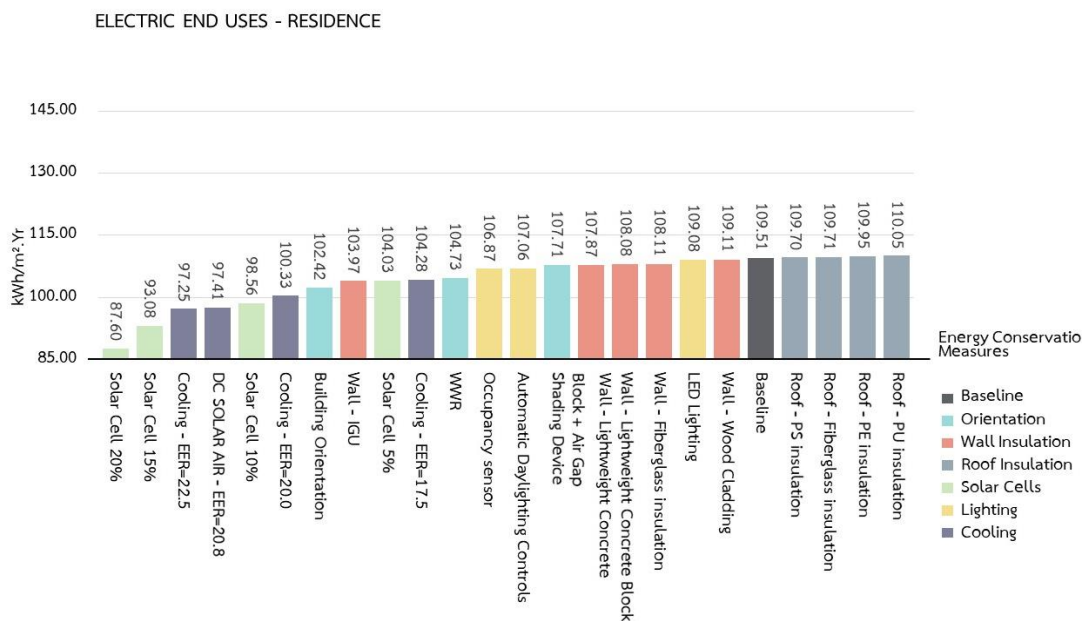
วัสดุ	ปริมาณ (unit)	Embodied carbon (kgCO ₂ e)	ค่าก่อสร้าง (Baht)
สีภายใน	20,833.24 m ²	73,328.17	729,163.40
สีภายนอก	3,364.62 m ²	11,842.68	148,043.28
ผนังคอนกรีตหล่อในที่	276.86 m ³	83,528.32	497,524.61
ปูนฉาบ 15 มม.	367.98 m ³	121,530.86	29,438.40
พื้นคอนกรีตหนา 200 มม.	1,851.68 m ³	558,641.49	3,327,468.96
ฝ้ายิปซัมบอร์ด หนา 9 มม.	8,101.10 m ²	15,275.35	2,365,521.20
โครงคร่าวฝ้าเพดาน	10,441.55 m	188,134.39	
ผนัง คอนกรีตสำเร็จรูป หนา 150 มม.	2,396.80 m ³	723,101.14	4,307,049.60
วงกบอลูมิเนียม	6,392.40 m	36,685.33	1,725,948.00
กระจกใส 5 มม.	1,634.08 m ²	37,487.99	263,822.22
ประตูไม้	4.45 m ³	5,969.53	436,800.00
	16.25 m ³	16,345.80	
ประตู MDF	18.82 m ³	31,221.75	153,720.00
เหล็ก DB12	138,102.76 m	357,650.89	1,921,009.39
เหล็ก DB20	15,515.73 m	111,585.89	592,700.89
เหล็ก RB9	7,234.50 m	4,683.88	153,720.00
รวม		2,408,460.32	19,392,194.39

ในส่วนของการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย ผลจากการจำลองพลังงานใน 1 ปี พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเท่ากับ 849,983.88 kWh/Yr โดยสัดส่วนการใช้พลังงานส่วนใหญ่ จะใช้ไปกับระบบปรับอากาศ เนื่องจากอาคารดังกล่าวมีการใช้งานทุกวัน โดยเฉพาะเวลากลางคืน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน 34% ของการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม แสดงในภาพที่ 4.3 จากการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปริมาณ 508,800.35 kgCO₂e/Yr



ภาพที่ 4.3 สัดส่วนการใช้พลังงาน ตามแบบอาคารอ้างอิง ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

ในส่วนของการใช้พลังงานในช่วงอยู่อาศัย ผลจากการจำลองพลังงานใน 1 ปี ของแต่ละมาตรการ พบว่ามีการใช้พลังงานลดลงในทุกมาตรการ โดยแบบอาคารอ้างอิงของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มีค่าดัชนีการใช้พลังงาน เท่ากับ 109.51 kWh/m²Yr และในมาตรการการใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้มากที่สุด เช่นเดียวกับในอาคารสำนักงาน โดยมีค่า EUI เท่ากับ 87.60 kWh/m²Yr มาตรการในกลุ่มของวัสดุฉนวนหลังคา เป็นมาตรการที่ไม่ส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากในการจำลองนี้เป็นอาคารสูงหลายชั้น แต่มีหลังคาเฉพาะชั้นบนสุด พื้นที่ชั้นล่างลงมาจึงไม่ได้รับประโยชน์จากฉนวนหลังคา อีกทั้งมีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น เวลาส่วนใหญ่ทั้งปี จึงไม่ได้รับประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนของหลังคา ภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ค่า EUI ของแต่ละมาตรการ ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

ทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในแต่ละมาตรการ ยังไม่ได้รวมถึงต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างและช่วงการอยู่อาศัย รวมถึงการศึกษาในช่วงชีวิตอาคารอื่นๆ ที่แตกต่างกันไป ข้อมูลที่แสดงนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาในเบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพในแต่ละมาตรการ เพื่อคาดการณ์ถึงมาตรการที่คุ้มค่าที่สุด ในการปรับใช้กับอาคารทั้ง 2 ประเภท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 ผลการประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิในการลดการปล่อยคาร์บอน

จากประเมินประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร สามารถแสดงเป็น MACC ในช่วงชีวิตอาคาร 20ปี 40ปี และ 60ปี โดยอาคารสำนักงาน ตามที่ภาพที่ 4.3 – ภาพ 4.5 พบว่าตลอดช่วงอายุอาคาร 60ปี มาตรการการใช้กระจกฉนวนกันความร้อนเป็นมาตรการที่ลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารได้มากที่สุด โดยการลดค่า SHGC ลงจาก 0.84 ในแบบอาคารอ้างอิง เหลือ 0.49 ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารลงได้ 4,439,802.12 บาท อีกทั้งยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 4,398,503.55 kgCO₂e ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างรวมทั้งช่วงใช้งานอาคาร มาตรการการใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีที่สุดในทุกช่วงอายุอาคาร โดยในช่วงอายุอาคาร 60 ปี สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 10,299,194.65 kgCO₂e แต่

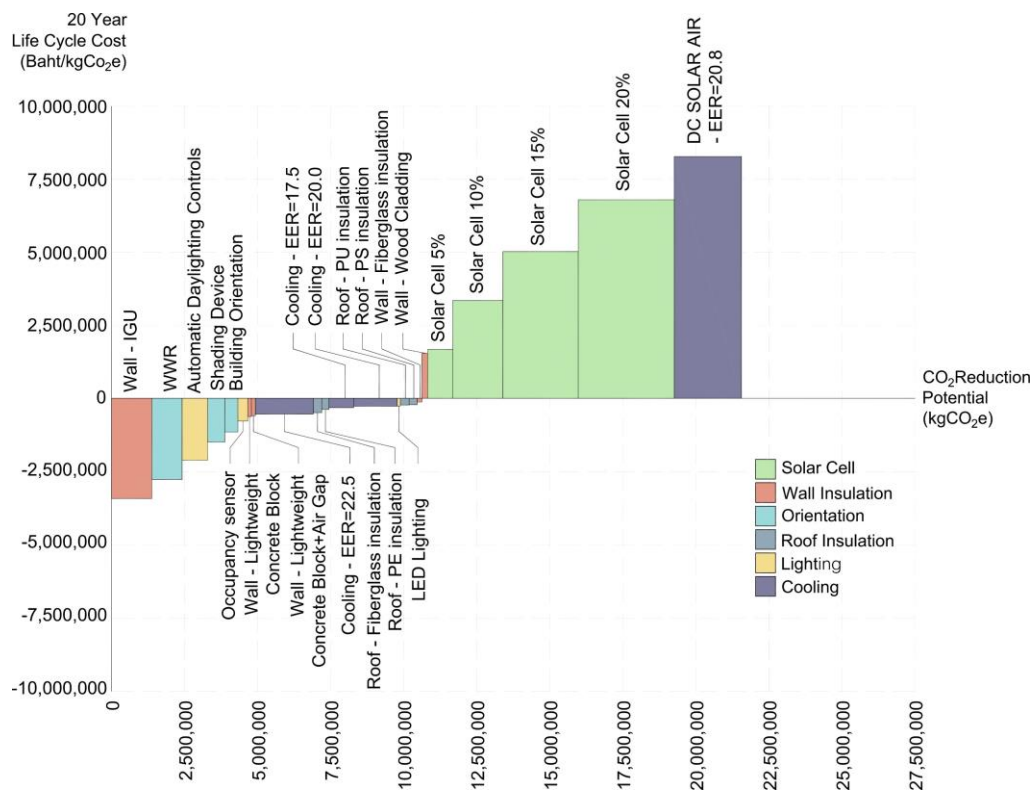
มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยมาตรการในกลุ่มพลังงานทดแทนทั้งหมด มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก และในช่วงอายุอาคาร 60 ปี จะต้องมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้น 6,910,443.10 บาท

ทุกมาตรการในกลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นกลุ่มมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ใกล้เคียงกัน ทั้งกลุ่ม เช่นเดียวกับกลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา เนื่องจากการใช้วัสดุฉนวนหลังคาแต่ละประเภท มีประสิทธิภาพต่างกันไม่มากนัก และการใช้เป็นฉนวนของหลังคาซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานของอาคารได้ดี เฉพาะในชั้นสูงสุดเท่านั้น ชั้นอื่นๆ ของอาคารจะไม่ได้รับประโยชน์จากการติดตั้งฉนวนหลังคา ทำให้ประสิทธิภาพในกลุ่มนี้ ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ไม่มากนัก

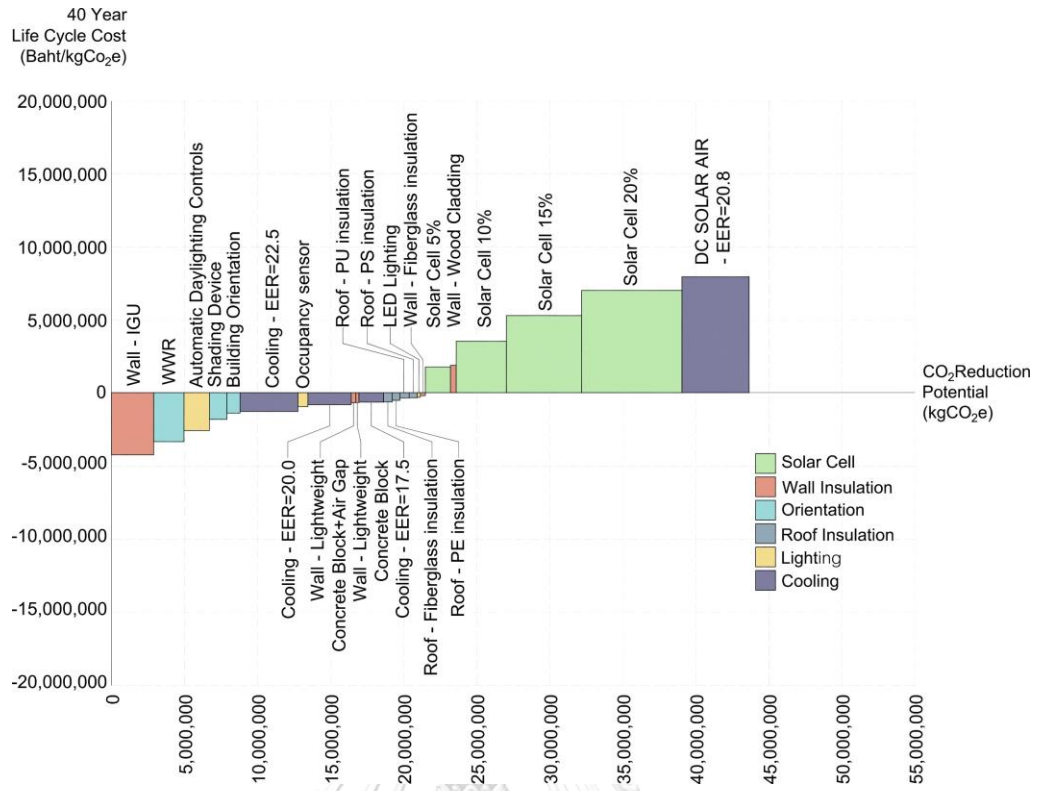
มาตรการในกลุ่มของวัสดุฉนวนผนัง เป็นกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารแตกต่างกันมาก แต่ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างน้อย ซึ่งใกล้เคียงกันทั้งกลุ่ม เนื่องจากอาคารสำนักงานมี WWR ประมาณ 60% การติดตั้งฉนวนให้กับผนังทึบ ซึ่งมีประมาณ 40% จึงส่งผลต่อส่งผลกระทบต่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่มากนัก โดยเฉพาะมาตรการในการใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร ซึ่งมีราคาสูง และมีอายุในการใช้งานที่สั้น ตลอดช่วงอายุอาคาร 60 ปี มาตรการในการใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร จึงมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้น 1,939,626.79 บาท ซึ่งสูงกว่าทุกมาตรการในกลุ่มฉนวนผนัง เว้นแต่การเพิ่มประสิทธิภาพของกระจกในมาตรการการใช้กระจกฉนวนกันความร้อน ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของเปลือกอาคาร

การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ ซึ่งเป็นมาตรการที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เป็นอย่างดี เพียงแต่ราคาของอุปกรณ์เหล่านี้ในปัจจุบัน ยังคงมีราคาสูง อีกทั้งยังผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศได้เพียงช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวันเท่านั้น ในเวลากลางคืน ระบบจะต้องใช้ระบบไฟหลักของอาคาร ทำให้มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้น 8,263,047.76 บาท ในช่วงอายุอาคาร 20 ปี ซึ่งสูงกว่ามาตรการทั้งหมด แต่จะลดลงในทุกๆ ช่วงอายุอาคารที่เพิ่มขึ้น ในด้านประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า ยังคงมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นลำดับ 3 ในทุกช่วงอายุอาคาร และสามารถลดลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงสุด 6,902,226.36 kgCO₂e ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

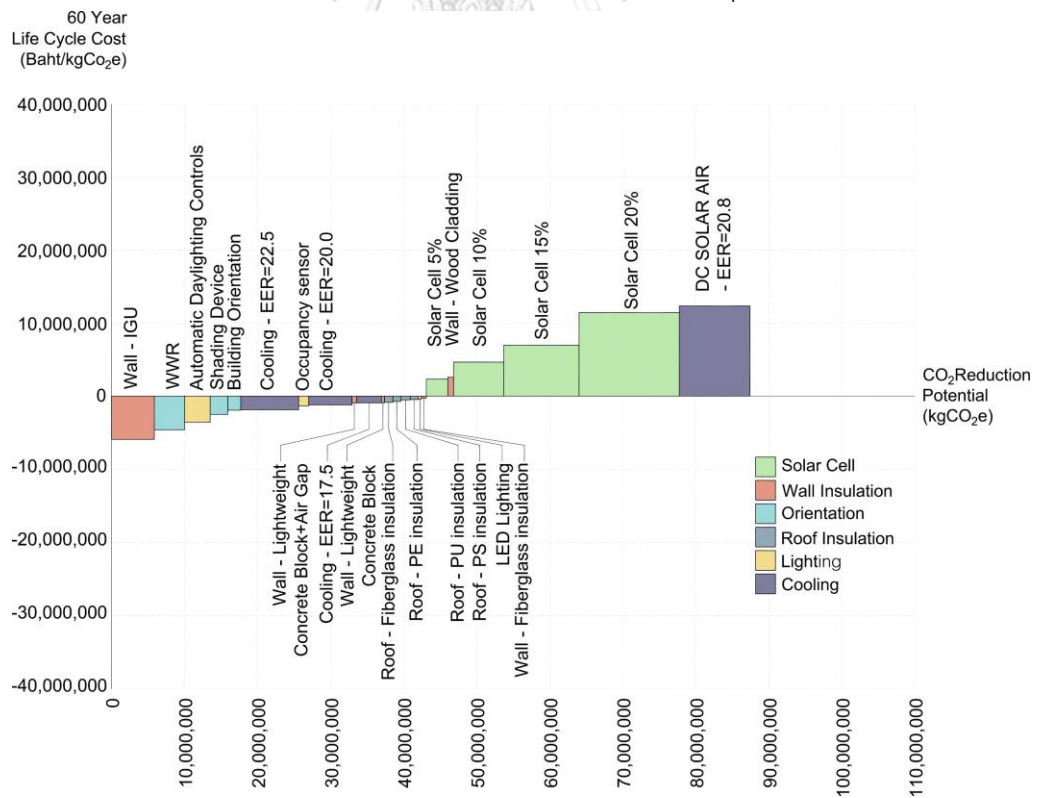
ในส่วนของมาตรการอื่นๆ ในกลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ พบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีที่สุดในมาตรการการใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว ซึ่งสามารถการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้สูงสุด 5,949,741.30 kgCO₂e ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการนำพลังงานทดแทนจากโซล่าเซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ แต่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารถูกกว่ามาก โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารลงได้สูงสุด 1,418,841.67 บาท ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี ภาพที่ 4.5-4.7



ภาพที่ 4.5 MACC ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 20 ปี



ภาพที่ 4.6 MACC ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 40 ปี



ภาพที่ 4.7 MACC ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

ในส่วนของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอาศัย ตามที่แสดงในภาพที่ 4.8 - ภาพที่ 4.10 พบว่าตลอดช่วงอายุอาคาร 60 ปี กลุ่มของวัสดุฉนวนผนัง เป็นมาตรการที่ลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารได้ดีที่สุด โดยเฉพาะมาตรการการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา แทนที่ผนังผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเดิม เป็นมาตรการที่คุ้มค่าที่สุดในทุกช่วงอายุอาคาร ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารลงได้ 4,223,369.80 บาท และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 957,631.86 kgCO₂e ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนังเล็กน้อย เว้นแต่การใช้ฉนวนใยแก้วกั๊วกับผนังภายนอกและการใช้ไม้กั๊วกับผนังภายนอกอาคาร ไม่ส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากนัก และมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารสูง เนื่องจากอาคารมีการใช้งานส่วนใหญ่เป็นเวลากลางคืน อีกทั้งช่วงอายุการใช้งานยังสั้นกว่า การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาหรือกระฉกฉนวนกันความร้อน

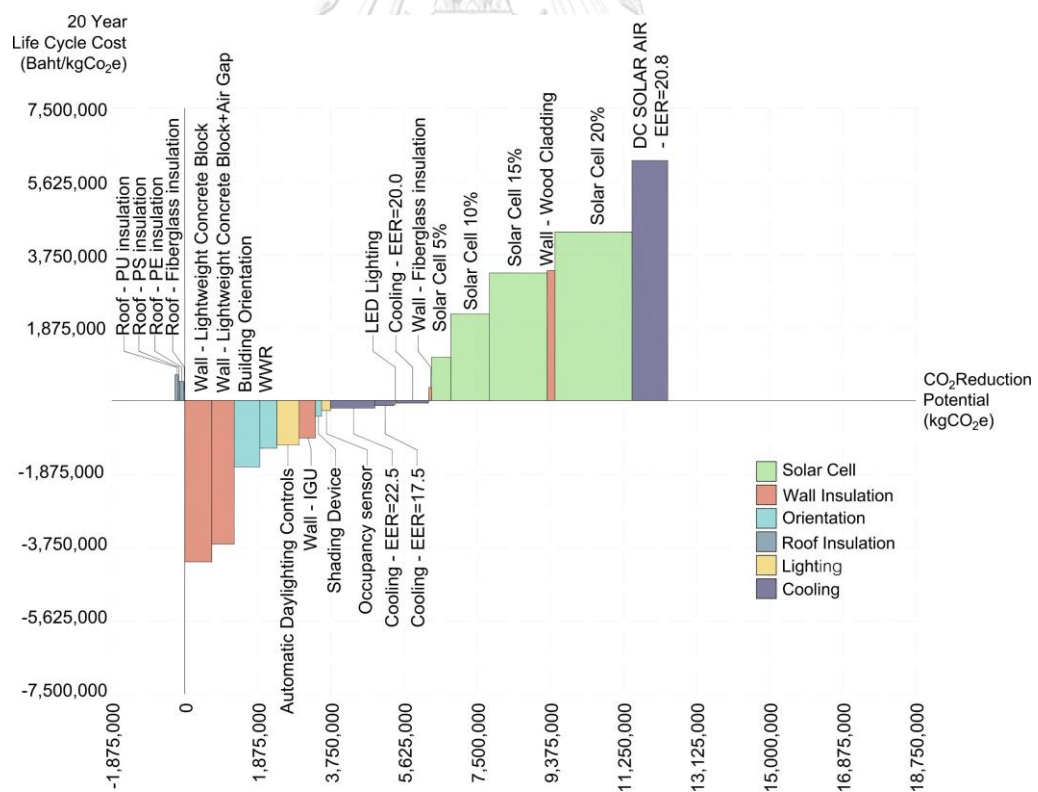
มาตรการในกลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม เป็นมาตรการที่ลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารได้สูง รองจากการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา เนื่องจากเป็นมาตรการที่มีต้นทุนต่ำ อีกทั้งยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับอาคารได้เป็นอย่างดี ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด สามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2,143,816.41 บาท และ 1,976,740.32 kgCO₂e ตามลำดับ และการปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่บัพทั้งหมด สามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,521,294.03 บาท และ 1,324,460.20 kgCO₂e ตามลำดับ

ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี พบว่ามาตรการการใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงที่สุดในทุกช่วงอายุอาคาร คือสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 5,990,404.35 kgCO₂e แต่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะในช่วงอายุอาคาร 40 ปี จะต้องมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้น 4,585,090.37 บาท หากเทียบกับสัดส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทุกมาตรการในกลุ่มพลังงานทดแทน พบว่าจะมีความคุ้มค่าเพิ่มมากขึ้น ตามอายุอาคารที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการใช้ในอาคารสำนักงาน

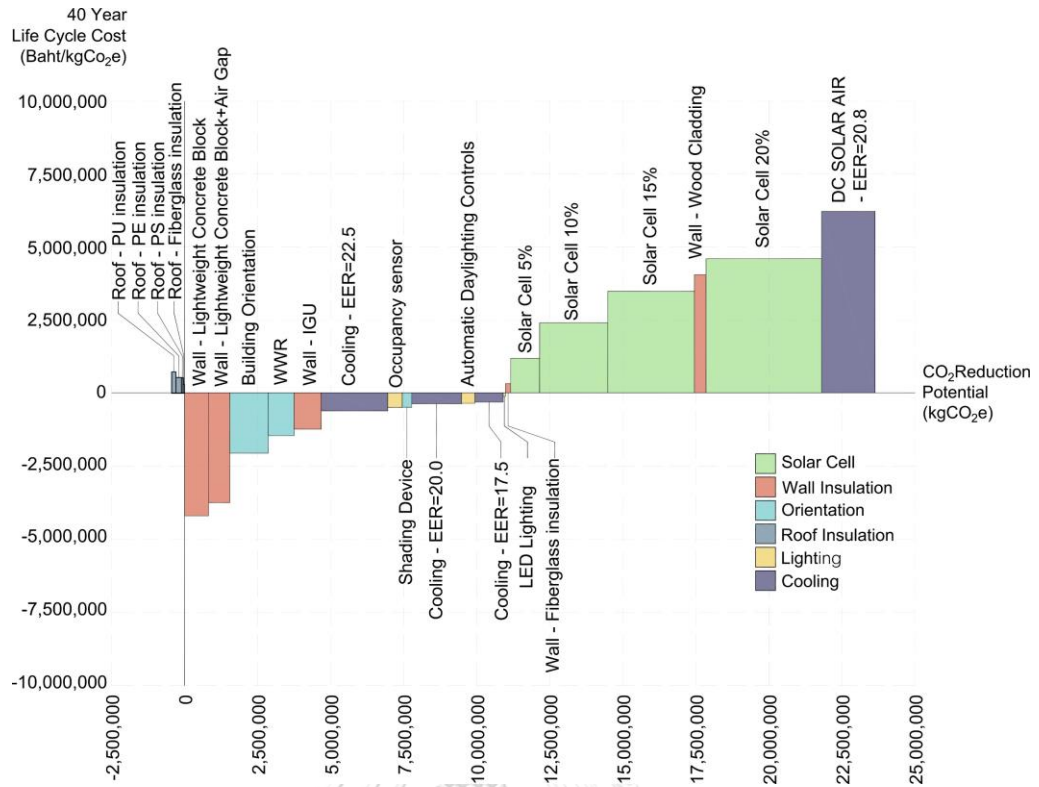
มาตรการในกลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา เป็นกลุ่มที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารสูงในทุกช่วงอายุอาคาร อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างอีกด้วย เนื่องจากอาคารมีการใช้งานส่วนใหญ่เป็นเวลากลางคืน และมีอายุการใช้งานของวัสดุค่อนข้างสั้น ต้องมีการปรับเปลี่ยนทุกๆ 15 ปี

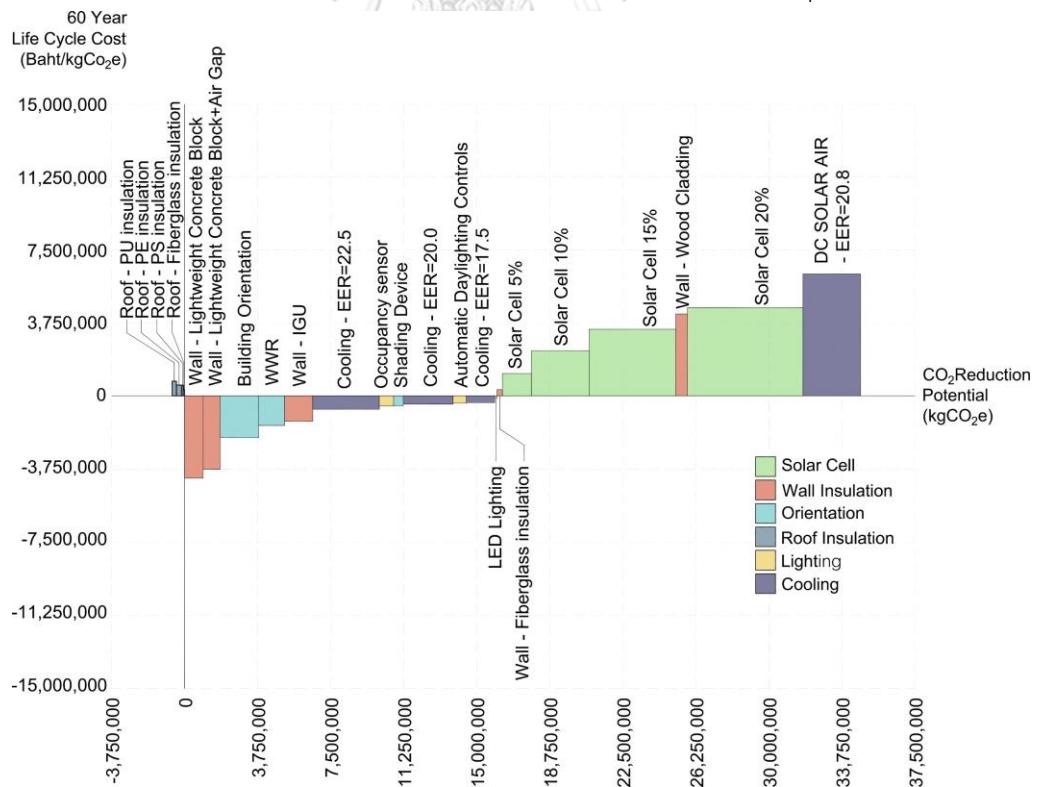
มาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ ยังคงเป็นมาตรการที่ไม่เกิดความคุ้มค่าในช่วงอายุอาคาร 60 ปี เช่นเดียวกับการนำไปใช้ในอาคารสำนักงาน โดยมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารสูงที่สุด ในทุกๆมาตรการและทุกช่วงอายุอาคารในกลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยเฉพาะมาตรการที่เกี่ยวข้องกับระบบเซนเซอร์ต่างๆ มีประสิทธิภาพลดลง เมื่อเทียบกับการนำไปใช้กับอาคารสำนักงาน เนื่องจากอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มีการกันห้องเป็นหลายห้อง ทำให้ต้องมีการติดเซนเซอร์ในทุกห้อง แต่ในอาคารสำนักงาน มีการจัดผังแบบเปิดโล่ง ทำให้ใช้จำนวนเซนเซอร์น้อยกว่า แต่ในปัจจุบัน ราคาของเซนเซอร์เหล่านี้ มีราคาไม่สูงมากนัก ทำให้ยังคงเป็นมาตรการที่มีความคุ้มค่า ตัวอย่างเช่น การติดตั้งระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ ยังเป็นมาตรการที่มีความคุ้มค่าเป็นอันดับที่ 5 ในทุกช่วงอายุอาคาร แสดงในภาพที่ 4.8 - ภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.8 MACC ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 20 ปี



ภาพที่ 4.9 MACC ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 40 ปี

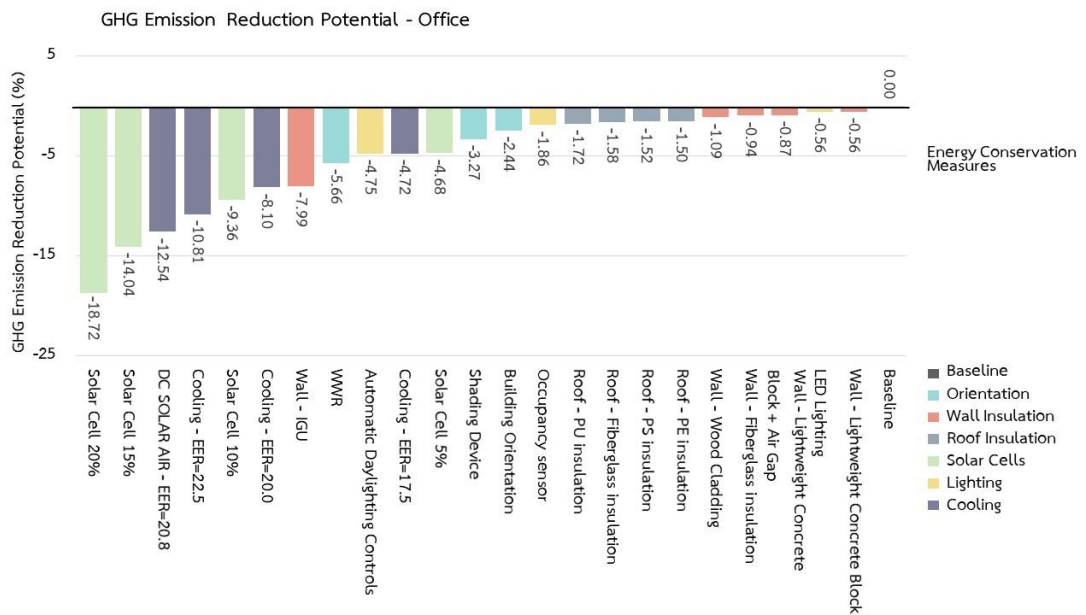


ภาพที่ 4.10 MACC ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

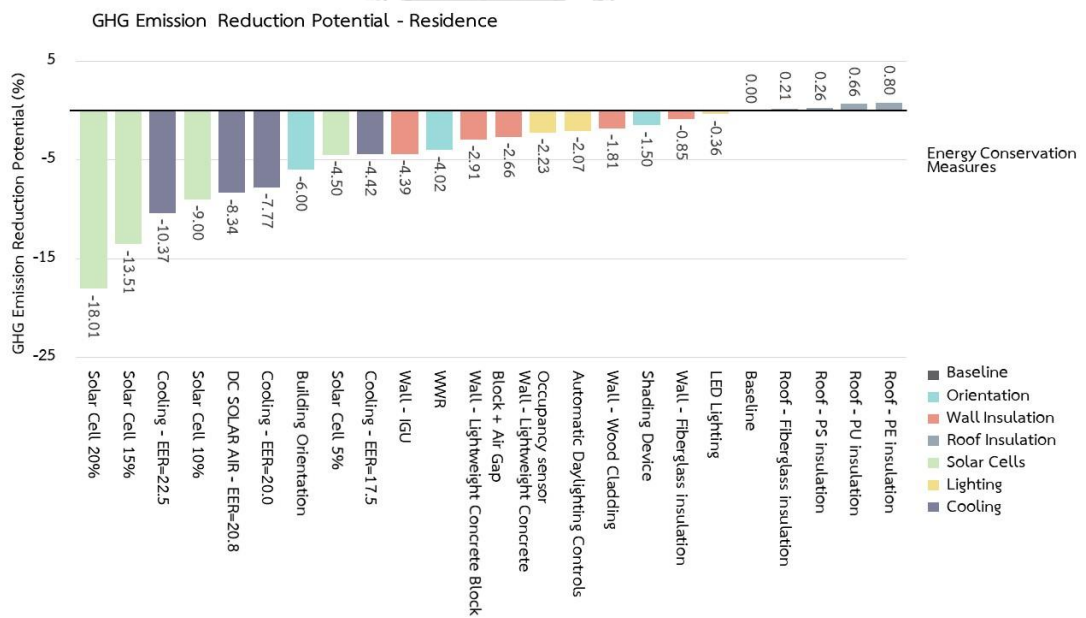
4.3 ผลของสัดส่วนต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี ในอาคารสำนักงาน 3 มาตรการแรกที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีที่สุด คือ มาตรการการติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% การติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 15% และมาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 18.72%, 14.04% และ 12.54% ตามลำดับ โดยมาตรการที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีในอาคารสำนักงานสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีเช่นเดียวกันในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จะเห็นได้ว่า มาตรการการติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% และการติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 15% ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 18.01% และ 13.51% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการนำไปใช้ในอาคารสำนักงาน เว้นแต่การติดตั้งระบบควบคุมแสงธรรมชาติอัตโนมัติ จะมีประสิทธิภาพน้อยลง โดยมี มาตรการการใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว เป็น มาตรการที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และมีประสิทธิภาพสูงเป็นลำดับ 3 จากมาตรการทั้งหมด ซึ่งสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 10.37%

ในทางกลับกัน มาตรการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ไม่มากนักของทั้ง 2 ประเภทอาคารกลับไม่สัมพันธ์กัน กล่าวคือในอาคารสำนักงานมาตรการในกลุ่มวัสดุฉนวนผนังเป็นกลุ่มที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ไม่มากนัก เช่น การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาและการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง ซึ่งสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เพียง 0.56% และ 0.87 % ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าในกลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา แต่ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มาตรการในกลุ่มฉนวนหลังคาเป็นกลุ่มที่ไม่มีผลต่อการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างอีกด้วย และมาตรการในกลุ่มวัสดุฉนวนผนังกลับมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาและการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง ซึ่งสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2.66% และ 2.91% ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12



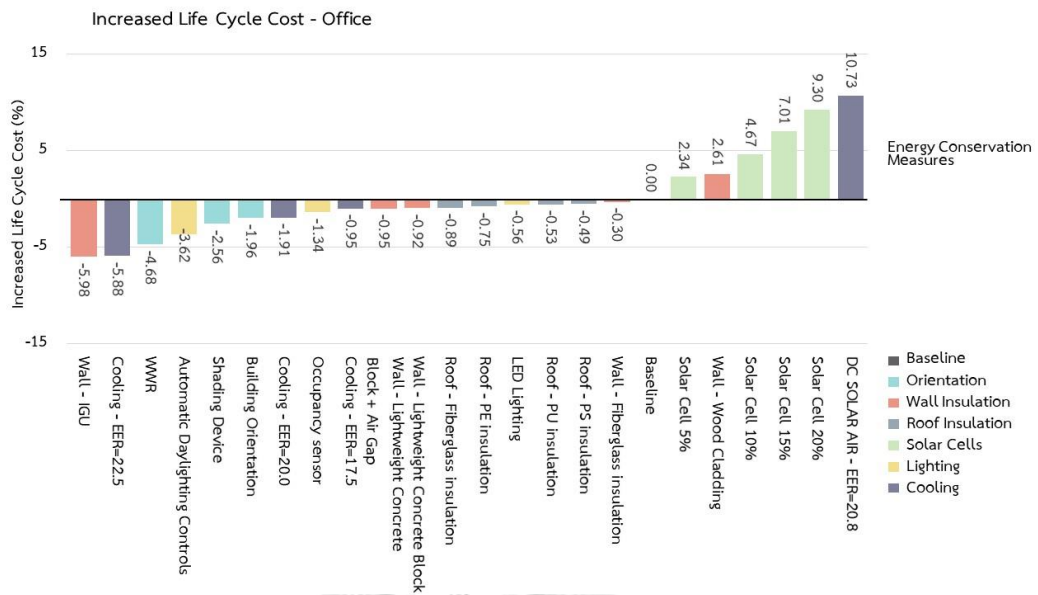
ภาพที่ 4.11 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละมาตรการ ในอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี



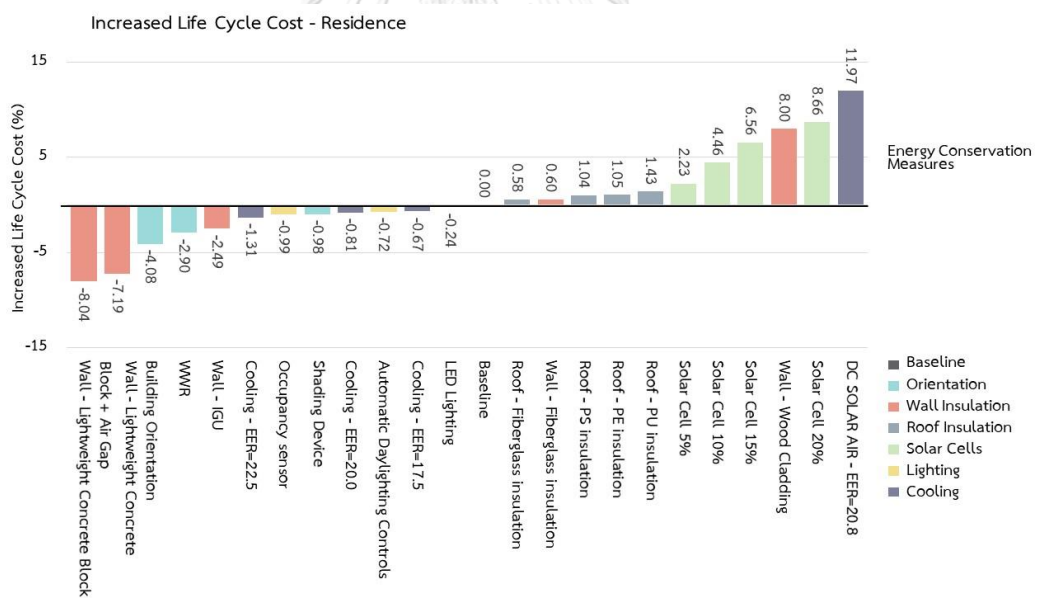
ภาพที่ 4.12 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละมาตรการ ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

หากมองในด้านค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ในอาคารสำนักงาน มาตรการการใช้กระจก ฉนวนกันความร้อน เป็นมาตรการที่คุ้มค่ามากที่สุด โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารได้ถึง 5.98% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด มาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้า กระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ และมาตรการการใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร เป็นมาตรการที่ส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก กล่าวคือมีอัตราเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น 10.73% และ 2.61% ตามลำดับเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารทั้งหมด เช่นเดียวกับมาตรการในกลุ่มพลังงานทดแทน ซึ่งทุกมาตรการในกลุ่มนี้มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก ในช่วง 2.34%-9.30% ในขณะที่มาตรการอื่นๆ มีอัตราเงินลงทุนเป็นลบ แสดงในภาพที่ 4.13

ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มาตรการการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา แทนที่ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเดิม เป็นมาตรการที่คุ้มค่ามากที่สุด โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารได้ถึง 8.04% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด นอกจากนี้มาตรการในกลุ่มฉนวนหลังคา กลุ่มพลังงานทดแทน การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก และการใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร รวมถึงมาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ เป็นกลุ่มของมาตรการที่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก โดยมาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ เป็นมาตรการที่มีเงินลงทุนเพิ่มสูงขึ้น มากที่สุด คือ 11.97% ซึ่งสูงกว่าการลงทุนในอาคารสำนักงาน แสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 ร้อยละของค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี



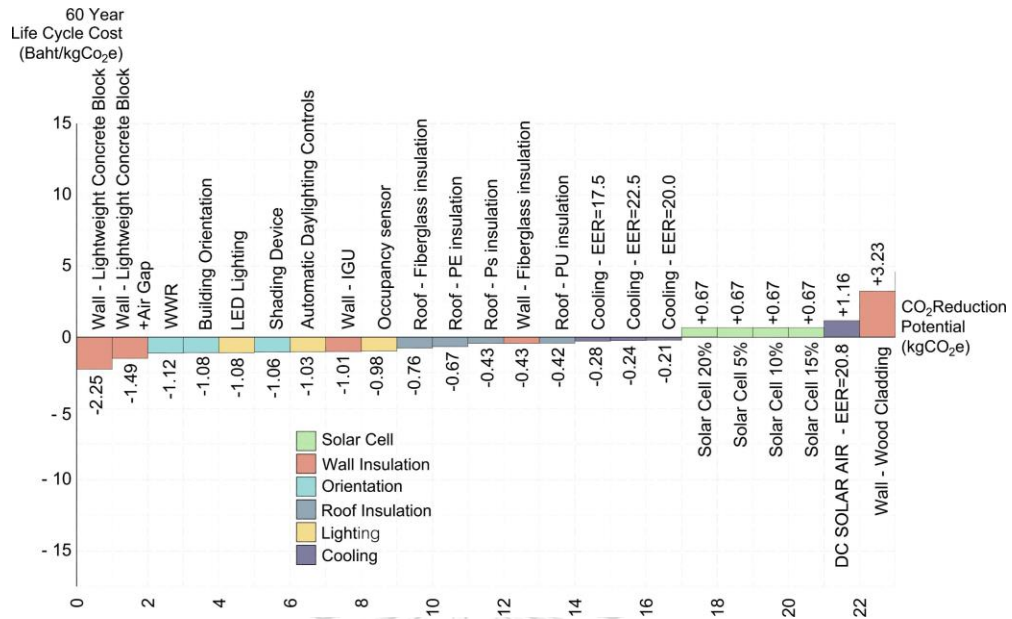
ภาพที่ 4.14 ร้อยละของค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละมาตรการ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

4.4 ผลของต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า

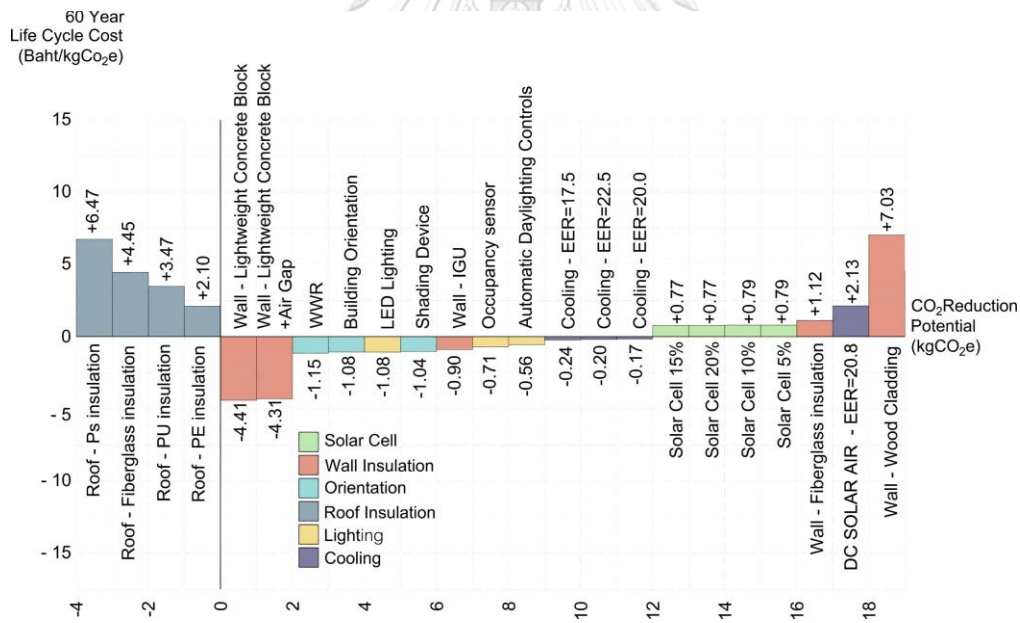
หากประเมินต้นทุนส่วนเพิ่มสุทธิในการลดการปล่อยคาร์บอนต่อ 1 kgCO₂e หรือต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 kgCO₂e ซึ่งหากแสดง Life Cycle Cost/kgCO₂e เป็นบวก หมายถึงมี Eco-Efficiency ต่ำ ในทางกลับกันหากแสดงเป็นลบ หมายถึงมี Eco-Efficiency สูง พบว่าการใช้ผนังอิฐมวลเบาและการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง ในกลุ่มวัสดุฉนวนผนัง มีความคุ้มค่ามากที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กันทั้งในอาคารสำนักงานและอาคารชุดพักอาศัย โดยในอาคารสำนักงาน จะมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นลบ อยู่ที่ 2.25 Baht/kgCO₂e และ 1.49 Baht/kgCO₂e ตามลำดับ และในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จะมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นลบ อยู่ที่ 4.41 Baht/kgCO₂e และ 4.31 Baht/kgCO₂e ตามลำดับ

มาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ และมาตรการในการใช้ไม้กรุผนังภายนอกอาคาร เป็นมาตรการที่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวกสูงสุดในทุกช่วงอายุอาคาร ซึ่งสัมพันธ์กันทั้ง 2 ประเภทอาคาร โดยในช่วงอายุอาคาร 60 ปี อาคารสำนักงานจะมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก ในมาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศเท่ากับ 1.16 Baht/kgCO₂e และในมาตรการการใช้ไม้กรุผนังภายนอก เท่ากับ 3.23 Baht/kgCO₂e ในส่วนของอาคารชุดพักอาศัย จะมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก ในมาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ เท่ากับ 7.03 Baht/kgCO₂e และในมาตรการการใช้ไม้กรุผนังภายนอก เท่ากับ 2.13 Baht/kgCO₂e แสดงในภาพที่ 15 และภาพที่ 16

นอกจากนี้ มาตรการในกลุ่มฉนวนหลังคาของทั้ง 2 ประเภทอาคาร กลับไม่สัมพันธ์กัน โดยในอาคารสำนักงานยังคงมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นลบ อยู่ในช่วง 0.42-0.76 Baht/kgCO₂e แต่ในอาคารชุดพักอาศัย มาตรการดังกล่าว กลับไม่ส่งผลในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเป็นการเพิ่มการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงการก่อสร้างอีกด้วย



ภาพที่ 4.15 Eco-Efficiency ในแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงาน ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี



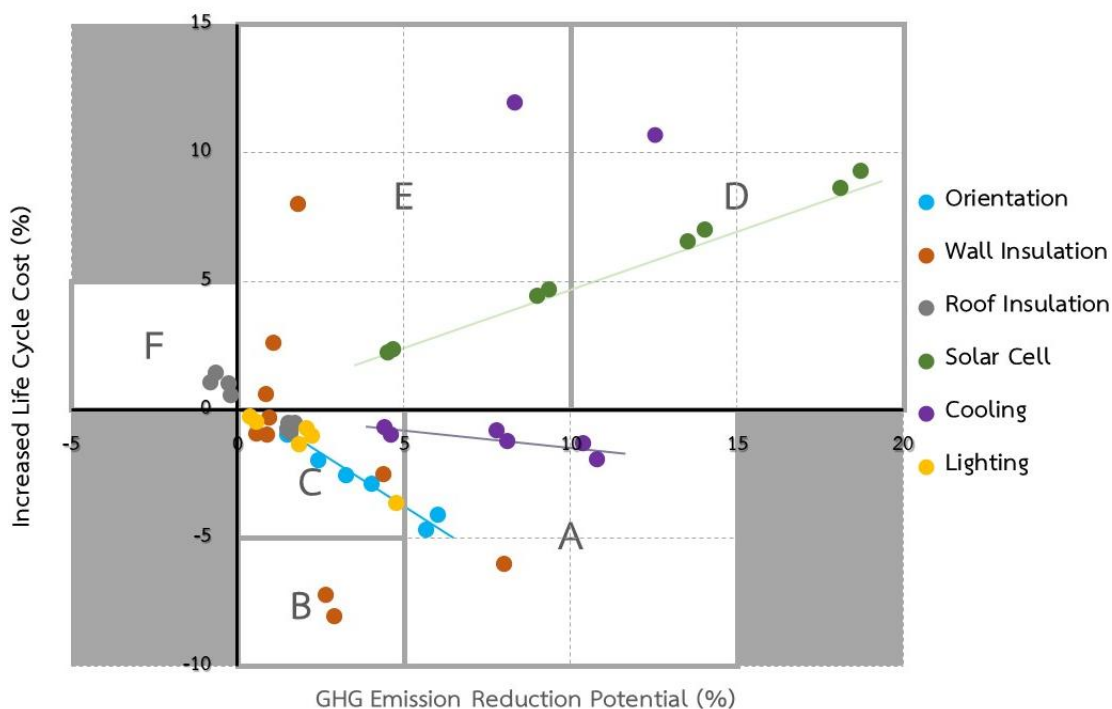
ภาพที่ 4.16 Eco-Efficiency ในแต่ละมาตรการ ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการสรุปผลงานวิจัย ผู้วิจัยได้มีการจัดกลุ่มของมาตรการต่างๆ ตามประสิทธิภาพเชิงนิเวศ เศรษฐกิจของมาตรการนั้นๆ โดยการกำหนด Zone เป็น 6 Zone ตามที่แสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร และประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน โดยเรียงตาม Zone ที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด ไปหา Zone ที่มีความคุ่มค่าน้อยที่สุด ประกอบด้วย

- 1) Zone A คือกลุ่มที่สามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารในช่วง 0%-10% และมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วง 5%-15% ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด
- 2) Zone B คือกลุ่มที่สามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารในช่วง 5%-10% และมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วง 0%-5%
- 3) Zone C คือกลุ่มที่สามารถลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารในช่วง 0%-5% และมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วง 0%-5%
- 4) Zone D คือกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเพิ่มขึ้นในช่วง 0%-15% และมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วง 0%-10%
- 5) Zone E คือกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเพิ่มขึ้นในช่วง 0%-15% และมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วง 10%-20%
- 6) Zone E คือกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเพิ่มขึ้นในช่วง 0%-5% และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 0%-5% ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด



ภาพที่ 5.1 Eco-Efficiency ในแต่ละมาตรการ ของอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

5.1 สรุปผลประสิทธิภาพของมาตรการจำแนกตามกลุ่ม ช่วงอายุอาคาร 60 ปี

จากผลสรุปสัดส่วนค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำให้เห็นว่าในแต่ละช่วงอายุอาคาร ทั้ง 20ปี 40ปี และ 60ปี มีสัดส่วนไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นในการสรุปผล ผู้วิจัยจึงสรุปผลเฉพาะในช่วงอายุอาคาร 60ปี เนื่องจากมีความครอบคลุมช่วงอายุอาคารอื่นๆ ไว้แล้ว โดยการสรุปผลแบ่งเป็นกลุ่มๆ ดังต่อไปนี้

5.1.1 ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแบบอาคารอ้างอิง

เป็นกลุ่มที่อธิบายถึงแบบอาคารอ้างอิงเดิม ที่นำมาใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับมาตรการอื่นๆ โดยมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาคาร 60 ปี ตามที่แสดงในตาราง 5.1 ซึ่งในช่วงการก่อสร้างส่งผลต่อค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่มากนัก โดยอาคารสำนักงานมีสัดส่วนคิดเป็น 5.72% และ 3.82% ตามลำดับ และในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยคิดเป็น 10.77% และ 7.31%

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร
อาคาร Baseline ในช่วงอายุอาคาร 60 ปี

ค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (Baht)			ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e)		
ช่วงการก่อสร้าง	ช่วงใช้งานอาคาร	รวม	ช่วงการก่อสร้าง	ช่วงใช้งานอาคาร	รวม
Baseline อาคารสำนักงาน					
16,910,516.87	278,217,479.37	295,127,996.24	2,106,135.88	52,918,872.34	55,025,008.22
Baseline อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย					
19,392,194.39	160,499,055.18	179,891,249.57	2,408,460.32	30,528,020.85	32,936,481.18

5.1.2 กลุ่มของมาตรการใน Zone A

ใน Zone A มี 7 มาตรการที่อยู่ใน Zone นี้ โดยมีมาตรการการใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 2 ดาว และ 3 ดาว ของทั้ง 2 ประเภทอาคาร เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงและมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นลบ มาตรการการใช้กระจกฉนวนกันความร้อนในอาคารสำนักงาน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับมาตรการการปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ทั้งหมด ในอาคารสำนักงาน และมาตรการการออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone A

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารสำนักงาน				
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน	-4,439,802.12	-5.98%	-4,398,503.55	-7.99%
การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว	-1,418,841.67	-1.91%	-5,949,741.30	-10.81%
การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 2 ดาว	-916,943.44	-1.23%	-4,455,518.97	-8.10%
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ทั้งหมด	-3,476,637.00	-4.68%	-3,116,136.48	-5.66%

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย				
การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว	-689,383.81	-1.31%	-3,416,962.94	-10.37%
การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 2 ดาว	-427,748.71	-0.81%	-2,557,650.19	-7.77%
การออกแบบผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	-2,143,816.41	-4.08%	-1,976,740.32	-6.00%

5.1.3 กลุ่มของมาตรการใน Zone B

ใน Zone B มีมาตรการอยู่ใน Zone นี้ 2 มาตรการ ประกอบด้วย มาตรการการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา และมาตรการการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ซึ่งเป็นกลุ่มมาตรการที่มีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารต่ำ แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone B

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย				
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา	-4,223,369.80	-8.04%	-957,631.86	-2.91
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง	-3,775,573.32	-7.19	-876,525.34	-2.66

5.1.4 กลุ่มของมาตรการใน Zone C

ใน Zone C มีมาตรการอยู่ใน Zone นี้ หลายมาตรการด้วยกัน ซึ่งเป็น Zone ที่มีมาตรการอยู่มากที่สุด จำนวน 20 มาตรการ ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยมีมาตรการการใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ ในอาคารสำนักงาน เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดใน Zone นี้ แสดงในตารางที่ 5.4 และสูงที่สุดในกลุ่มมาตรการระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone C

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารสำนักงาน				
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา	-686,218.35	-0.92	-305,496.32	-0.56
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง	-708,759.98	-0.95	-476,547.50	-0.87
การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 1 ดาว	-705,936.98	-0.95	-2,541,892.05	-4.62
การติดตั้งแผงกันแดด	-1,901,450.58	-2.56	-1,800,260.27	-3.27
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน	-999,035.15	-1.34	-1,022,837.40	-1.86
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน	-394,654.31	-0.53	-944,661.66	-1.72
การใช้ฉนวนใยแก้ว	-662,553.90	-0.89	-869,254.35	-1.58
การใช้ฉนวนโพลีไสตรีน	-364,506.39	-0.49	-839,100.16	-1.52
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน	-558,320.54	-0.75	-828,019.74	-1.50
การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก	-221,434.83	-0.30	-518,434.47	-0.94
การออกแบบผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	-1,453,388.56	-1.96	-1,340,120.24	-2.44
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง	-333,036.66	-0.45	-307,081.80	-0.56
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ	-2,687,306.49	-3.62	-2,611,245.84	-4.75
อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย				
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน	-1,304,768.16	-2.49	-1,446,209.88	-4.39
การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 1 ดาว	-351,400.62	-0.67	-1,457,139.06	-4.42
การติดตั้งแผงกันแดด	-515,582.83	-0.98	-495,092.87	-1.50
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่บัพทั้งหมด	-1,521,294.03	-2.90	-1,324,460.20	-4.02
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน	-521,508.01	-0.99	-735,017.35	-2.23
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง	-127,332.97	-0.24	-117,409.40	-0.36
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ	-518,184.95	-0.99	-811,230.20	-2.46

5.1.5 กลุ่มของมาตรการใน Zone D

ใน Zone D มีมาตรการอยู่ใน Zone นี้ 5 มาตรการด้วยกัน ซึ่งเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างสูง แต่ยังคงมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวกได้แก่ มาตรการการนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ ในอาคารสำนักงาน และการใช้โซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% - 15% ทั้งในอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย แสดงดังในตาราง 5.5

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone D

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารสำนักงาน				
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ	+7,973,807.81	+10.73%	-6,902,226.36	-2.54%
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15%	+4,960,354.19	+6.68%	-7,795,270.72	-4.17%
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20%	+6,579,539.80	+8.86%	-10,394,054.65	-8.89%
อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย				
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15%	+3,443,043.33	+6.56%	-4,449,063.08	-13.51%
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20%	+4,544,199.79	+8.66%	-5,932,804.35	-18.01%

5.1.6 กลุ่มของมาตรการใน Zone E

ใน Zone E มีมาตรการอยู่ใน Zone นี้ 8 มาตรการด้วยกัน ซึ่งประสิทธิภาพของแต่ละมาตรการกระจายตัวอยู่ภายใน Zone โดยมีมาตรการการใช้โซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 10% ทั้งในอาคารและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดใน Zone นี้ แสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone E

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารสำนักงาน				
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10%	+3,472,668.39	+4.67%	-5,149,327.14	-9.36%
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5%	+1,735,529.07	+2.34%	-2,575,405.96	-4.68%
การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร	+1,939,626.79	+2.61%	-600,477.81	-1.09%
อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย				
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10%	+2,341,886.49	+4.46%	-2,965,322.18	-9.00%
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5%	+1,170,943.44	+2.23%	-1,482,660.91	-4.50%
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ	+6,285,059.04	+11.97%	-2,746,528.63	-8.34%
การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร	+4,198,746.13	+8.00%	-597,251.64	-1.81%
การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก	+314,724.09	+0.60%	-280,676.37	-0.85%

5.1.7 กลุ่มของมาตรการใน Zone F

มาตรการใน Zone นี้ เป็นมาตรการที่ไม่ส่งผลต่อการลดปริมาณกระจกและเป็นการเพิ่มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงกระบวนการก่อสร้าง รวมถึงมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก ซึ่งมีมาตรการอยู่ใน Zone นี้ 4 มาตรการด้วยกัน ซึ่งเป็นกลุ่มมาตรการที่เกี่ยวข้องกับฉนวนหลังคาในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยทั้งหมด แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพของมาตรการใน Zone F

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก		ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก	
	(Baht)	(%)	(kgCO ₂ e)	(%)
อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย				
การใช้ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน	+2,754,786.21	+1.53%	+216,558.65	+0.66%
การใช้ฉนวนโฟมโพลีเอทิลีน	+2,053,964.20	+1.14%	+264,148.11	+0.80%
การใช้ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	+1,910,057.63	+1.06%	+84,196.41	+0.26%
การใช้ฉนวนใยแก้ว	+1,116,239.01	+0.62%	+68,717.35	+0.21%

5.2 การนำเสนอมาตรการตามประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

มาตรการต่างๆ มี Eco-Efficiency แตกต่างกัน ตลอดช่วงอายุอาคาร 60 ปี ประสิทธิภาพของ มาตรการในกลุ่มพลังงานทดแทน มีลักษณะแปรผันตรง หมายถึงประสิทธิภาพในการลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกจะสูงขึ้น เมื่อมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารสูงขึ้น ในทางกลับกัน ประสิทธิภาพของ มาตรการในกลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟเบอร์ 5 1 ดาว – 3 ดาว และ มาตรการกลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม มีลักษณะแปรผกผัน กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะสูงขึ้น เมื่อมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารลดลง ประสิทธิภาพของมาตรการกลุ่มวัสดุฉนวนหลังคาและกลุ่มวัสดุฉนวนผนัง มีลักษณะใกล้เคียงกัน จึง เกาะกลุ่มกันอยู่ใน Zone F และ Zone C ตามลำดับ และประสิทธิภาพของมาตรการในกลุ่มฉนวน ผนัง มีลักษณะกระจายตัว อยู่ในหลาย Zone แสดงในภาพที่ 5.1

ในอาคารสำนักงาน มาตรการที่คุ้มค่ามากที่สุดในการเงินลงทุนเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก คือ มาตรการการใช้กระจกฉนวนกันความร้อน เนื่องจากเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของเปลือกอาคาร ซึ่งสามารถ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 4,398,503.55 kgCO₂e หรือร้อยละ 7.99 และลดค่าใช้จ่าย ตลอดอายุอาคาร จำนวน 4,439,802.12 บาท หรือร้อยละ 5.98 รวมถึงมีค่า EUI เท่ากับ 137.84 kWh/m²Yr มาตรการที่คุ้มค่าที่สุดในแง่ของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ มาตรการของ พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน ปริมาณ 10,299,194.65 kgCO₂e หรือร้อยละ 18.72 แต่จะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้น จำนวน 6,910,443.10 บาท หรือร้อยละ 9.30 รวมถึงมีค่า EUI เท่ากับ 120.57 kWh/m²Yr ซึ่งน้อยกว่ามาตรการการใช้กระจกฉนวนกันความร้อน มาตรการในกลุ่มของฉนวนผนังและวัสดุหลังคา ยกเว้น มาตรการการใช้กระจกฉนวนกันความร้อน ส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างน้อย อยู่ในช่วง 0.56%-1.72%

ในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย มาตรการการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาแทนที่ผนังคอนกรีต สำเร็จรูปเดิมของอาคาร เป็นมาตรการที่คุ้มค่ามากที่สุดในด้านเงินลงทุนเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 957,631.86 kgCO₂e หรือร้อยละ 2.91 และลดค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร จำนวน 4,223,369.80 บาท หรือร้อยละ 8.04 รวมถึงมีค่า EUI เท่ากับ 108.08 kWh/m²Yr การติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นปริมาณ 20% เป็นมาตรการที่คุ้มค่าที่สุดในด้าน ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 5,932,804.35 kgCO₂e หรือร้อยละ 18.01 แต่จะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคารเพิ่มขึ้น จำนวน 4,544,199.79 บาท หรือร้อยละ 8.66 รวมถึงมีค่า EUI เท่ากับ 87.60 kWh/m²Yr

เพื่อเป็นการตอบคำถามในงานวิจัยว่า “มาตรการใด ที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีความคุ้มค่าในด้านการลงทุนมากที่สุด” ซึ่งเป็นการสนับสนุนแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ผู้วิจัยจึงต้องการนำเสนอมาตรการที่มีความคุ้มค่ามากที่สุดจากการศึกษา โดยจำเป็นต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าทั้งในด้านค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร และประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการแบ่ง Zone เพื่อแยกกลุ่มของมาตรการตามประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ทำให้ทราบว่ามาตรการในกลุ่ม Zone A เป็นมาตรการที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด จากมาตรการทั้งหมด โดยสามารถในการลดค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารได้ในช่วง 0% - 10% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด และมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ในช่วง 5% - 15% ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอมาตรการทั้งหมด 7 มาตรการ เพื่อเป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจให้กับผู้ออกแบบและเจ้าของโครงการ ในการพิจารณาด้านต้นทุนและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นมาตรการที่อยู่ในกลุ่ม Zone A ทั้งหมด โดยในอาคารสำนักงานนำเสนอ 4 มาตรการ ประกอบด้วย การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 2 ดาว และ 3 ดาว รวมถึงการปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ในส่วนของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย นำเสนอ 3 มาตรการ ประกอบด้วย การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 2 ดาว และ 3 ดาว รวมถึงการออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด

มาตรการที่ไม่ส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารจากการวิจัยนี้ คือ มาตรการในกลุ่มของฉนวนหลังคา ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ เป็นการจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งมีตารางการใช้งานในช่วงกลางวันเป็นหลัก จึงไม่ได้ประโยชน์จากการใช้มาตรการดังกล่าว อีกทั้งการติดตั้งฉนวนหลังคา สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนให้กับอาคาร ในชั้นเหนือสุดเท่านั้น ชั้นที่อยู่ปริมาณด้านล่าง จึงไม่ได้รับประโยชน์จากการติดตั้งฉนวนหลังคา

5.3 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบกับแนวทางการศึกษาของวรรณกรรมที่ผ่านมา

จากผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 และบทที่ 5 ผู้วิจัยต้องการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองดังกล่าว เพื่อให้ผลการศึกษาที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น จึงเลือกวิธีตรวจสอบ โดยการนำผลการศึกษาที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อศึกษาถึงความสอดคล้อง หรือความขัดแย้งกันของผลการศึกษาของผู้วิจัยและผลการศึกษาในงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา โดยเปรียบเทียบในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.3.1 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคาร

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา นั้น พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับมาตรการในการประหยัดพลังงานให้กับอาคารมาโดยตลอด โดยการเปรียบเทียบผลการศึกษาเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้นำการศึกษาของ อรรถน ศรีษฐบุตร (2555) เรื่อง ดัชนีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย ด้วยวิธีการประเมินตลอดช่วงการก่อสร้างและอยู่อาศัย ซึ่งได้ศึกษาในอาคารอ้างอิง ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย และอาคารสำนักงาน ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับการศึกษาของผู้วิจัย และการศึกษาของ ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559) เรื่อง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ ซึ่งศึกษามาตรการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยการเปลี่ยนวัสดุผนัง เปลี่ยนเป็นผนังคอนกรีตมวลเบา เปลี่ยนหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผา เปลี่ยนกระจกเป็นกระจกตัดแสง และติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว เข้าไปเพิ่มเติมที่ฝ้าเพดาน โดยใช้เปรียบเทียบกับการศึกษาของผู้วิจัย

จากการเปรียบเทียบพบว่า เมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานรวมของอาคารในช่วงอายุอาคาร 30 ปี แสดงให้เห็นว่า อาคารที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าอาคารที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากความหนาแน่นของพื้นที่ที่สูงกว่า อีกทั้งอาคารขนาดใหญ่มีการกันผนังเกิดขึ้นมากกว่าอาคารขนาดเล็ก ทำให้เป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุผนังอาคารที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตารางเมตรในอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัยที่มีพื้นที่ 37,412 ตารางเมตร พื้นที่ 8,101 ตารางเมตร และพื้นที่ 1,324 ตารางเมตร จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตารางเมตร เท่ากับ 2.82 TonCO₂e/m² 2.27 TonCO₂e/m² และ 1.86 TonCO₂e/m² ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่อาคารกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในช่วงอายุอาคาร 30 ปี

ที่มา	มาตรการ	ประเภทอาคาร	พื้นที่อาคาร (m ²)	Total life CO ₂ (TonCO ₂ e)	Total life CO ₂ /m ² (TonCO ₂ e)
อรรถจน์ เศรษฐบุตร (2555)	แบบอาคารอ้างอิง	สำนักงาน 7 ชั้น	11,375	37,412	3.28
		คอนโดมิเนียมพักอาศัย 7 ชั้น	9,205	25,970	2.82
ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล (2559)	ปรับปรุงระบบเปลือกอาคารและฉนวนฝ้าเพดาน	คอนโดมิเนียมพักอาศัย 4 ชั้น	1,324	2,467	1.86
ผลการศึกษา (2565)	แบบอาคารอ้างอิง	สำนักงาน 7 ชั้น	9,775	28,565	2.92
		คอนโดมิเนียมพักอาศัย 7 ชั้น	8,101	17,672	2.18
	การใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว	สำนักงาน 7 ชั้น	9,775	25,590	2.61
		คอนโดมิเนียมพักอาศัย 7 ชั้น	8,101	15,963	1.97

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการ ใน Zone A ซึ่งเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพสูงในการประหยัดพลังงานให้กับอาคาร กับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ถึงแม้จะใช้มาตรการที่มีประสิทธิภาพสูง แต่หากนำไปเปรียบเทียบกับอาคารที่มีขนาดเล็กกว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ยังคงสูงกว่าอาคารขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น มาตรการการใช้ระบบปรับอากาศประหยัดไฟเบอร์ 5 3 ดาว ในอาคารคอนโดมิเนียม 7 ชั้น สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก 2.27 TonCO₂e/m² เหลือ 2.05 TonCO₂e/m² แต่เมื่อนำไปเทียบกับอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย 4 ชั้น ซึ่งมีขนาดพื้นที่อาคารน้อยกว่า มาตรการดังกล่าวยังคงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตารางเมตรสูงกว่าในอาคารที่มีขนาดเล็ก แสดงในตารางที่ 5.9

5.3.2 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการการออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานในอาคารกับการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด จำนวน 2 งานวิจัย จากงานวิจัยของ อุไรษา เจียรนัยพานิชย์ (2555) ซึ่งศึกษาเรื่อง ผลกระทบของรูปทรงต่อการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อ

ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHREA 90.1 2007 โดยมีการศึกษาในแบบอาคารอ้างอิง ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานสูง 12 ชั้น อาคารที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกแบ่งออกเป็นอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกัน 9 แบบ ตามการกำหนดค่า Shape Factor (SF) ที่มีค่าเท่ากับ 1/1 และ 1/2 พื้นที่ต่อชั้นของอาคารประมาณ 1,600 ตารางเมตร ความสูงจากพื้นถึงพื้น 4.00 เมตร ในลักษณะผังอาคารมีลักษณะผังเป็นวงกลม ผังเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผังเป็นรูปร่างตัว I ผังเป็นรูปร่างตัว L ผังเป็นรูปร่างตัว U และผังเป็นรูปร่างตัว X โดยผู้วิจัยได้พิจารณาในลักษณะการวางผังเป็นรูปตัว I เนื่องจากเป็นลักษณะการวางผังแบบเดียวกันกับมาตรการที่ผู้วิจัยได้มีการนำมาศึกษา โดยผลวิจัยพบว่าลักษณะการวางผังเป็นรูปตัว I ในการหมุนทิศทางอาคารด้านยาวไปหาทิศเหนือ เป็นทางเลือกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารต่ำที่สุด โดยพบว่ามีค่า EUI เท่ากับ 140.74 และสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 4.16% (อุไรชา เจียนัยพานิชย์, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของผู้วิจัย โดยผลการศึกษาของผู้วิจัยพบว่า ลักษณะการวางผังเป็นรูปตัว I ในการหมุนทิศทางอาคารด้านยาวไปหาทิศเหนือ เป็นทางเลือกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารต่ำที่สุด โดยพบว่ามีค่า EUI เท่ากับ 146.96 และสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 2.53% ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ อุไรชา เจียนัยพานิชย์ (2555)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2557 พบว่ามีการศึกษาในลักษณะเดียวกัน ในงานวิจัยของ ไชยมภู นาคประสิทธิ์ แต่เป็นการเปลี่ยนประเภทอาคารเป็นอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย โดยศึกษาในเรื่องผลกระทบของรูปทรง การวางทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน เปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 โดยมีการศึกษาในแบบอาคารอ้างอิง ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานสูง 30 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงพื้น 4.00 เมตร อาคารที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกแบ่งออกเป็นอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกัน 7 แบบ ตามการกำหนดค่า Shape Factor (SF) ตามค่าเฉลี่ยจากการสำรวจอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย จำนวน 54 แห่ง ซึ่งอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 1:5 พื้นที่ต่อชั้นของอาคารประมาณ 1,400 ตารางเมตร ในลักษณะผังอาคารมีลักษณะผังเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผังเป็นรูปร่างตัว I ผังเป็นรูปร่างตัว L ผังเป็นรูปร่างตัว U และผังเป็นรูปร่างตัว H ผลวิจัยจากลักษณะการวางผังเป็นรูปตัว I พบว่าในการหมุนทิศทางอาคารด้านยาวไปหาทิศเหนือ เป็นทางเลือกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารต่ำที่สุด โดยพบว่ามีค่า EUI เท่ากับ 51.62 kWh/m² และสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 2.28% (ไชยมภู นาคประสิทธิ์, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของผู้วิจัย โดยผลการศึกษาของผู้วิจัยพบว่า ลักษณะการวางผังเป็นรูปตัว I ในการหมุนทิศทางอาคารด้านยาวไปหาทิศเหนือ เป็นทางเลือกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารต่ำที่สุด โดยพบว่ามีค่า EUI เท่ากับ 102.42 kWh/m² และสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 6.48% แต่ค่า EUI และประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานจากผลการศึกษาของผู้วิจัย กลับสูงกว่าผลการศึกษาของ ไชยมภู นาคประสิทธิ์ (2557) ค่อนข้างมาก อันเนื่องมาจากแบบอาคารของผู้วิจัย มีสัดส่วนที่แคบกว่ามาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความ

ร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า โดยแบบอาคารอ้างอิงของผู้วิจัย มีความกว้างของผังอาคารเท่ากับ 16.30x71.00 เมตร และมี Shape Factor เท่ากับ 1:4.3 แต่ของ โยชมภู นาคประสิทธิ์ (2557) มีความกว้างของผังอาคารเท่ากับ 22.00x64.00 เมตร และมี Shape Factor เท่ากับ 1:3

ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการการออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่มา	มาตรการ	ประเภทอาคาร	พื้นที่อาคาร (m ²)	EUI (kWh/m ²)	%SAVE
อุโรชา เจียรนัยพานิชย์ (2555)	การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	สำนักงาน 12 ชั้น	19,200	140.74	4.16%
โยชมภู นาคประสิทธิ์ (2557)	การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	คอนโดมิเนียมพักอาศัย 30 ชั้น	42,000	51.62	2.28%
ผลการศึกษา (2565)	การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	สำนักงาน 7 ชั้น	9,775	146.96	2.53%
		คอนโดมิเนียมพักอาศัย 7 ชั้น	8,101	102.42	6.48%

5.3.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการกลุ่มการติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคาและวัสดุฉนวนผนัง

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่ามีงานวิจัยของ สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ (2561) ที่ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวัสดุฉนวน ในการลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยศึกษาในอาคารประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น พื้นที่อาคารรวม 121.00 ตารางเมตร ศึกษาโดยการติดตั้งฉนวนใยแก้ว ความหนา 75 มม. เข้าไปผนังและหลังคา จากนั้นศึกษาการใช้พลังงานของอาคารที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยโปรแกรม eQuest ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคา มีประสิทธิภาพสูงกว่าการติดตั้งฉนวน โดยการศึกษาพบว่า การติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคา สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ ประมาณ 24.58% และการติดตั้งฉนวนผนังสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 19.52% (สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ, 2561)

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของผู้วิจัยพบว่า มีความขัดแย้งกัน เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างที่น่ามาใช้เป็น Baseline แตกต่างกัน ประกอบด้วย

1) โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาแตกต่างกัน ระหว่างโปรแกรม eQuest และโปรแกรม VisualDOE 4.0 ซึ่งผลจากการ Simulation จากโปรแกรมทั้งสอง อาจจะมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้

2) มาตรการที่นำมาศึกษา มีความหนาของวัสดุฉนวนแตกต่างกัน ระหว่าง 75มม. และ 50มม. ตามที่แสดงในตาราง 5.11 ซึ่งส่งผลให้ผลการศึกษาของ สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ (2561) มีประสิทธิภาพสูงกว่าผลการศึกษาของผู้วิจัย

3) แบบอาคารอ้างอิงที่นำมาใช้ศึกษาเป็นประเภทอาคารที่แตกต่างกัน ทำให้มีตารางการใช้งานที่แตกต่างกัน

ทั้งนี้ ผลการศึกษาของผู้วิจัยพบว่า มาตรการที่ศึกษา มีประสิทธิภาพต่ำกว่าผลการศึกษาของ สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ (2561) ค่อนข้างมาก โดยพบว่าประสิทธิภาพของวัสดุฉนวนผนังและหลังคา ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารไม่มากนัก สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้ไม่เกิน 2% ตามที่แสดงในตาราง 5.11

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการการก่อกำหนดติดตั้งวัสดุฉนวนหลังคาและวัสดุฉนวนผนัง

ที่มา	มาตรการ	ประเภทอาคาร	พื้นที่อาคาร (m ²)	EUI (kWh/m ²)	%SAVE
สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ (2561)	การติดตั้งฉนวนใยแก้ว สำหรับหลังคา 75มม.	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	121	54.81	24.58%
	การติดตั้งฉนวนใยแก้ว สำหรับผนัง 75มม.			58.49	19.52%
ผลการศึกษา (2565)	การติดตั้งฉนวนใยแก้ว สำหรับหลังคา 50มม.	สำนักงาน 7 ชั้น	9,775	148.21	1.66%
		คอนโดมิเนียมพักอาศัย 7 ชั้น	8,101	109.71	-0.18%
	การติดตั้งฉนวนใยแก้ว สำหรับผนัง 50มม.	สำนักงาน 7 ชั้น	9,775	149.06	1.10%
		คอนโดมิเนียมพักอาศัย 7 ชั้น	8,101	108.11	1.27%

5.3.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ในมาตรการกลุ่มพลังงานทดแทน

จากงานวิจัยของ พิษยาดา จิรวรรษวงศ์ (2556) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย ซึ่งมีพื้นที่อาคาร 125 ตารางเมตร โดยศึกษาจากการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบพอดี้กับความต้องการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน ภายใต้อายุโครงการ 25 ปี ตามอายุของแผงโซลาร์เซลล์ ใช้อัตราดอกเบี้ย 5% และค่าไฟเพิ่มขึ้นปีละ 3% พบว่าภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว

โครงการจะยังไม่มีมูลค่าในด้านการลงทุน เนื่องจากโครงการยังคงมีต้นทุนค่อนข้างสูง โดยมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก เป็นจำนวนเงิน 553,470 บาท (พิชยาดา จีวรราชวงศ์, 2556)

งานวิจัยดังกล่าว สอดคล้องกับผลการศึกษาของผู้วิจัย ซึ่งใช้ช่วงอายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 25 ปี ตามที่แสดงในตารางที่ 3.7 โดยผลการศึกษาของผู้วิจัยในช่วงอายุอาคาร 20ปี 40ปี และ60ปี พบว่าภายใต้อัตราคิดลด 8% โครงการยังไม่เกิดความคุ้มค่าในด้านการลงทุนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในทุกช่วงอายุอาคารมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นบวก ทั้งในอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย อันเนื่องมาจากต้นทุนของแผงโซลาร์เซลล์ที่ยังคงมีราคาค่อนข้างสูง

ทั้งนี้ พิชยาดา จีวรราชวงศ์ (2556) ได้เสนอแนะแนวทาง ให้มีการปรับเปลี่ยนต้นทุนและรายได้ของโครงการ โดยมีการสนับสนุนค่าอุปกรณ์ในการติดตั้ง 50% และค่าไฟเพิ่มขึ้นปีละ 10% จะทำให้โครงการมีความคุ้มค่าในด้านการลงทุน โดยมีค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคารเป็นลบ เป็นจำนวนเงิน 390,700 บาท (พิชยาดา จีวรราชวงศ์, 2556)

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาโดยใช้ค่าเงินแบบ Time Value of money โดยกำหนดให้มีอัตราคิดลดที่ 8% เนื่องจากมูลค่าของเงินในอนาคตมีการแปรเปลี่ยนไปจากปัจจุบัน แต่การแปรเปลี่ยนของมูลค่าเงินนั้น สามารถคาดการณ์ได้ยาก ดังนั้นการนำข้อมูลในงานวิจัยนี้ไปใช้ในอนาคตสำหรับผู้ประกอบการหรือผู้ออกแบบ จำเป็นต้องพิจารณาอัตราคิดลดของค่าเงินในปีนั้นๆ ควบคู่กันเพื่อความแม่นยำในประเมินมาตรการประหยัดพลังงาน ในแต่ละมาตรการ

งานวิจัยนี้ ศึกษา MACC ของอาคารสำนักงานและอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย ในกรุงเทพมหานคร โดยใช้วิธีการสำรวจอาคารอ้างอิง ซึ่งกำหนดเป็นผังกี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีพื้นที่อาคารรวมไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร และสูงไม่เกิน 23 เมตร ซึ่งยังคงมีลักษณะการวางผังและพื้นที่อาคารในรูปแบบอื่นๆ ที่ยังไม่ได้นำมาศึกษา อีกทั้งการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ศึกษาเฉพาะในช่วงกระบวนการก่อสร้าง (Cradle-to-Gate) และช่วงใช้งานอาคาร (Use-Phase) โดยไม่รวมการรื้อถอนทำลาย (Disposal) ซึ่งเป็นโอกาสในการต่อยอดการศึกษาในอนาคต เพื่อให้การประเมินมาตรการประหยัดพลังงานมีความแม่นยำมากขึ้น

ค่า Emission factor ซึ่งนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาจากองค์การจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นค่าของปี พ.ศ. 2563 โดยค่าดังกล่าวมีการปรับเปลี่ยนไปตามแนวโน้มและ

ข้อมูลการผลิตก๊าซเรือนกระจกในแต่ละปี ดังนั้นสำหรับผู้ประกอบการหรือผู้ออกแบบ จำเป็นต้องพิจารณาค่า Emission factor ในแต่ละปี ควบคู่กับการศึกษามาตรการประหยัดพลังงาน ซึ่งอย่างไรก็ดี ค่านี้อาจจะไม่เปลี่ยนแปลงมากอย่างรวดเร็ว หากพิจารณาถึงอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้าของประเทศที่ยังไม่เปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงในระยะเวลายาวไกล โดยในอนาคตหากมีการเก็บข้อมูลอย่างจริงจังเกี่ยวกับอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมาตรการต่างๆในอาคาร เป็นมาตรฐานของประเทศไทย จะทำให้การคำนวณประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

มาตรการการใช้พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ เป็นปริมาณ 20% เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีที่สุดในทุกมาตรการที่นำมาศึกษา แต่ปัจจุบันราคาของแผงโซลาร์เซลล์ยังคงมีราคาสูง ทำให้การลงทุนในช่วงเริ่มต้นมีราคาสูง ถึงแม้จะมีความคุ้มค่าเพิ่มมากขึ้นตามอายุอาคารที่เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่ยังคงใช้เวลานานกว่าจะถึงจุดคุ้มทุน อีกทั้งกระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งหากผู้ผลิตสามารถผลิตแผงโซลาร์เซลล์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง รวมถึงมีราคาที่ต่ำลง มาตรการการใช้พลังงานทดแทนจากแผงโซลาร์เซลล์ จะมีแนวโน้มเป็นที่นิยมมากขึ้นในอนาคต

บรรณานุกรม

- ASHRAE. (2010). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010. Atlanta, GA USA.
- Chris Worboys. (2021). The rapid fall of solar's embodied carbon. Retrieved 03 March 2022 from <https://www.linkedin.com/pulse/rapid-fall-solars-embodied-carbon-chris-worboys>
- Climate Action Tracker. (2021). Thailand's overall climate performance. Retrieved 03 March 2022 from <https://climateactiontracker.org/countries/thailand/>
- Hammond Geoff and Jones Craig. (2011). Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0 Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.
- Intergovernmental panel on climate : IPCC. (2006). Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual.
- Jiang, H.-D., Dong, K.-Y., & Liang, Q.-M. (2019). Research on marginal abatement cost: A bibliometric analysis. Energy Procedia, 158, 4073-4078.
- Kaltimber. (2017). How much CO2 is stored in 1 kg of wood. Retrieved 03 March 2022 from <https://www.kaltimber.com/blog/2017/6/19/how-much-co2-is-stored-in-1-kg-of-wood>
- Katherine Madden. (2006). Eco-Efficiency Learning Module. The World Business Council for Sustainable Development.
- Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. Environmental Science & Policy, 14(8), 1195-1204.
- Moore F. (1993). Environment control systems : heating cooling lighting. International Edition. Singapore.
- Peng, B.-B., Fan, Y., & Xu, J.-H. (2016). Integrated assessment of energy efficiency technologies and CO2 abatement cost curves in China's road passenger car sector. Energy Conversion and Management, 109, 195-212.
- Surapong Chirattananon and Juntakan Taveekun. (2004). An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand. Energy and Buildings, 36, 680-689.

The National Renewable Energy Laboratory (NREL). PVWatts® Calculator. USA.

Retrieved 02 February 2022 from <https://pwwatts.nrel.gov/index.php>

Timilsina, G. R., Sikharulidze, A., Karapoghosyan, E., & Shatvoryan, S. (2017).

Development of marginal abatement cost curves for the building sector in Armenia and Georgia. *Energy Policy*, 108, 29-43.

Tomoscheit, S., Gries, T., Horstmann, M., & Hegger, J. (2011). Project Life INSUSHELL:

Reducing the Carbon Footprint in Concrete Construction. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2(2), 162-169.

United Nations Development Programme. (2021). Mid-century, Long-term Low

Greenhouse Gas Emission Development Strategy. United Nations Climate Change.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2000). Eco-Efficiency

Leaning Module.

Yunus A. Cengel and Afshin J.Ghajar. (2015). Heat and Mass Transfer. University of

Nevada.

กรมบัญชีกลาง. (2560). แนวทาง วิธีปฏิบัติและรายละเอียดประกอบการออกแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2552). ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร. กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2560). แนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2563). กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563. กระทรวงพลังงาน.

กระทรวงพลังงาน. (2564). ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร. กระทรวงพลังงาน.

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2564). บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน. สำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการศึกษาขั้นพื้นฐาน.
- การไฟฟ้านครหลวง. (2561). อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff : TOD Tariff). กรุงเทพฯ. Retrieved 19 สิงหาคม 2564 from <https://www.mea.or.th/profile/109/114>
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2563). ข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 เครื่องปรับอากาศ นนทบุรี. กองส่งเสริมประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าฝ่ายบริหารด้านการใช้ไฟฟ้าและกิจการเพื่อสังคม.
- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2560). เรื่องน่ารู้งานคอนกรีต. บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด Retrieved 09 ธันวาคม 2561 from <https://cpac.bv2dapp.com/th/article/46>
- ณัฐวิภา รุ่งเรืองธนาผล. (2559). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและการใช้งานของอาคารพักอาศัยต้นแบบในโครงการบ้านประชารัฐ การเคหะแห่งชาติ. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- دنوسรณ์ บัวขจร. (2554). การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นลินี เอนกแสน. (2554). ค่าคาร์บอนอินเทนซิตีของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บริษัท คุล คุล จำกัด. (2022). เครื่องปรับอากาศโซลาร์เซลล์. Retrieved 02 สิงหาคม 2564 from <https://www.kuku-solarair.com/product/>
- พิชยาดา จีรวรรชวงค์. (2556). การศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- พิมพ์รัก เสนาจักกร. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ชานอ้อยเพื่อการผลิตไฟฟ้ากับการผลิตเอทานอล สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไยชมภู นาคประสิทธิ์. (2557). ผลกระทบของรูปทรง การวางทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน เปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิฑูรย์ หนูเล็ก และ ชีวะ ทศนา. (2559). ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยไบบางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

- สวิชญา ดาวประกายมงคล. (2552). แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันติ สุขสะอาด และ อรรถชัย บรมบัญญัติ. (2557). การตลาดและการวิเคราะห์ทางการเงินของการลงทุนทำสวนไม้กฤษณาในจังหวัดระยอง คณะวนศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558-2579. กรุงเทพมหานคร . กระทรวงพลังงาน.
- สำเร็จ รักซ้อน. (2552). ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ.
- สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ. (2561). การศึกษาแบบจำลองค่าพลังงานไฟฟ้าการปรับอากาศและระยะเวลาการคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนในกรอบอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล, 27, 193-204.
- สุธรรม ปทุมสวัสดิ์. (2553). การศึกษาและกำหนดค่า Carbon Intensity ของอุตสาหกรรมพลังงาน (โรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุนิรัตน์ พุกตะ. (2562). แนวโน้มพลังงานแห่งอนาคต (Future Energy Trend). Green Network, (96 November – December 2019), 12.
- องค์กรจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย. (2564). ค่า Emission Factor แบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม.
- อติดินนท์ ภูพาดทอง. (2560). ตัวชี้วัดสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิญา บุญมา. (2555). ผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2555). ค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัจฉรา โยมสินธุ์. (2555). 365+1 ... คำศัพท์การเงินและการลงทุน. ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย.
- อุไรชา เจียนัยพานิชย์. (2555). ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

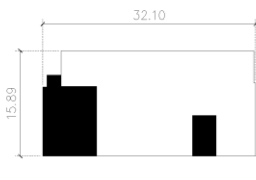

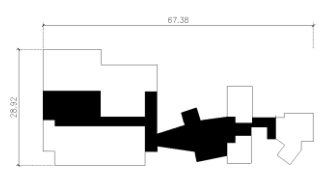

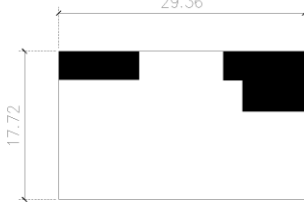
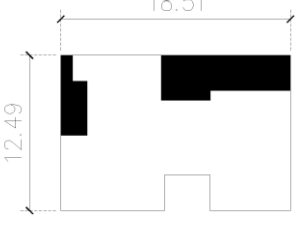


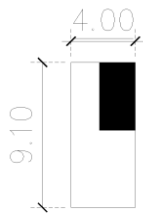
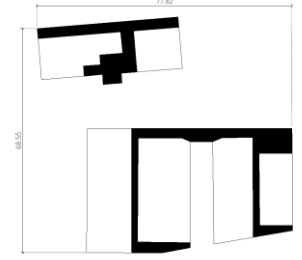
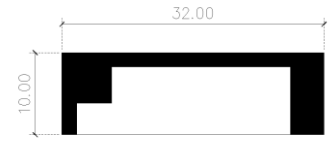
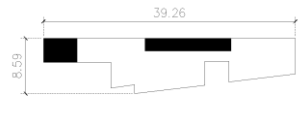
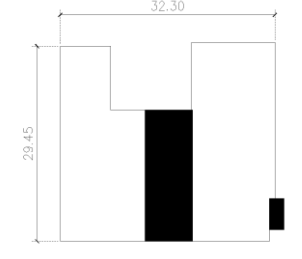
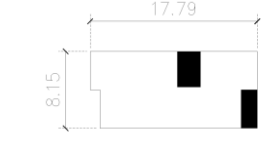
ภาคผนวก ก. การศึกษาแบบอาคารอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

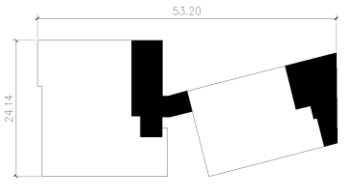
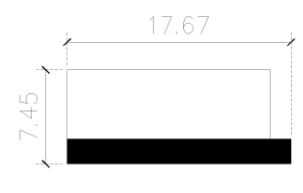
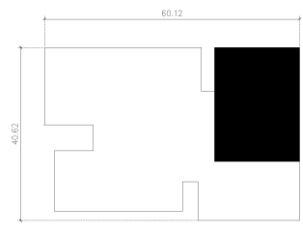
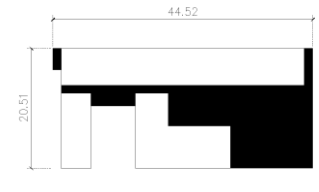
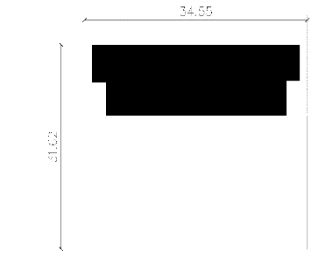
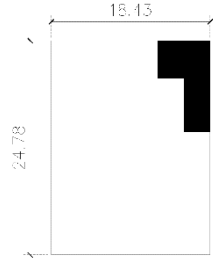
ตาราง ก.1 การสำรวจแบบอาคารสำนักงาน ในกรุงเทพมหานคร เพื่อกำหนดแบบอาคารอ้างอิง

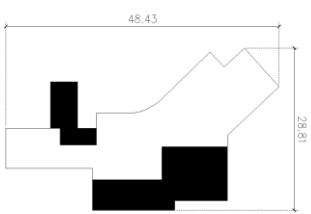
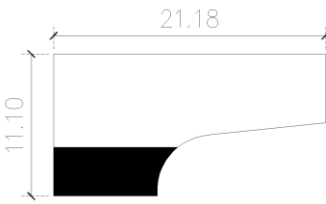
ลำดับ	ผังพื้น	ที่ตั้ง	ข้อมูล
1		Lightmos ซอยเอกมัย 2 แขวง พระโขนงเหนือ เขต วัฒนา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 5 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.18
			ความยาวเส้นรอบรูป : 51.87 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 140 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:8.6			
2		Chai Tour Office ถนนราธิวาสราษ นครินทร์ แขวงช่อง นนทรี เขตยาน นาวา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.3
			ความยาวเส้นรอบรูป : 80.13 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 218.93 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.3			
3		Sun one building 181 ลาดพร้าว ซอย 1 แขวงจอม พล เขตจตุจักร	รูปร่างอาคาร : SQUARE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1
			ความยาวเส้นรอบรูป : 97.64 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 500 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.85			
4		Zonic Vision Office ซอยนนทรี 32 แขวง ช่องนนทรี เขต ยานนาวา	รูปร่างอาคาร : SQUARE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1
			ความยาวเส้นรอบรูป : 108.76 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 626.14 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.54			
5		NOW26 สยามสแควร์ซอย 7 กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2
			ความยาวเส้นรอบรูป : 82.42 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 364.79 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.4			
6		VNG Office 591 ซอยสุขุมวิท 33 แขวงคลองตัน เหนือ เขตวัฒนา	รูปร่างอาคาร : TRIANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:4.53
			ความยาวเส้นรอบรูป : 207.4 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1225.2 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.2			

ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
7		DP Group Headquarters 44 สมุทรโพธิ์ทาว เวอร์ 1502 ถนน สาทรเหนือ แขวงสี ลม เขตบางรัก	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2
			ความยาวเส้นรอบรูป : 96 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 497.43 ตร.ม.
			สัดส่วน Core :พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.49
8		VIKASA Headquarters ซอย 24 ถนน สุขุมวิท แขวงคลอง ตัน เขตวัฒนา	รูปร่างอาคาร : TRIANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 2 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:4.15
			ความยาวเส้นรอบรูป : 121.22 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 424.6 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.15
9		NAIIPA ART COMPLEX 46/2 ซอยภูมิจิตร แขวงพระโขนง เขต คลองเตย	รูปร่างอาคาร : COURT YARD SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.33
			ความยาวเส้นรอบรูป : 246.25 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1110.86 ตร.ม.
			สัดส่วน Core :พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.94
10		Office Rama IX ถนนพระราม 9 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.34
			ความยาวเส้นรอบรูป : 76.64 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 307.9 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4
11		Dplus Intertrade Head Office ถนนนนทบุรี แขวง ช่องนนทบุรี เขตยาน นาวา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.65
			ความยาวเส้นรอบรูป : 94.15 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 520.27 ตร.ม.
			สัดส่วน Core :พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.54
12		Peak Office ซอย 3 ถนน รัชดาภิเษก - ซอย รัชดาภิเษก 7 แขวง ดินแดง เขตดินแดง	รูปร่างอาคาร : SQUARE SHAPE
			จำนวนชั้น : 5 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.4
			ความยาวเส้นรอบรูป : 67.73 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 220.66 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5

ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
13		TA-THA-TA Studio ซอยพิบูลอุปถัมภ์ ตลาดพร้าว แขวง สามเสนนอก เขต ห้วยขวาง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 3 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.27
			ความยาวเส้นรอบรูป : 26.2 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 36.41 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.84
14		Bhiraj Tower at Sathorn ถนนสาทรใต้ แขวง ยานนาวา เขต สาทร	รูปร่างอาคาร : COURT YARD SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.13
			ความยาวเส้นรอบรูป : 382.24 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 2726 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4
15		Est64 ปทุมวิถี แขวงบาง จาก เขตพระโขนง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:3.2
			ความยาวเส้นรอบรูป : 84 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 320 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.6
16		IDIN Office ถนนสุทธิสาร วินิจฉัย แขวงดิน แดง เขตดินแดง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:4.57
			ความยาวเส้นรอบรูป : 100 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 231.1 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5
17		Inter Crop Group Building 22 อาคารไอซีจี ถนน พระรามที่ 6 แขวงพญาไท เขต พญาไท	รูปร่างอาคาร : U SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1
			ความยาวเส้นรอบรูป : 146.62 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 845.54 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.55
18		Summer Hub Offices ถนนสุขุมวิท แขวง พระโขนง เขต คลองเตย	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.18
			ความยาวเส้นรอบรูป : 160 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1293.86 ตร.ม.
			สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.65

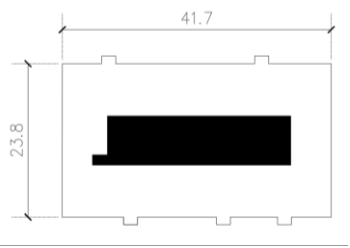
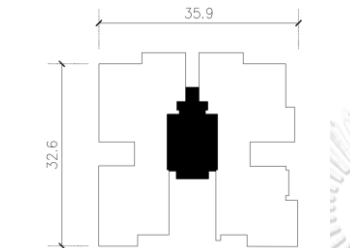
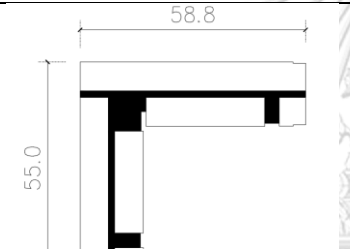
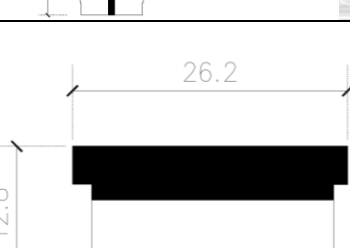

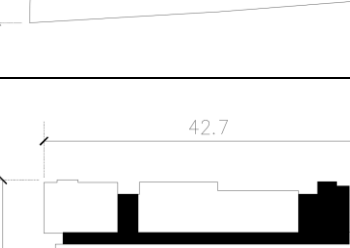
ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
19		District 8 Home & Office 526 ซอยสุขุมวิท 65 แขวงพระโขนง เหนือ เขตวัฒนา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.47
			ความยาวเส้นรอบรูป : 71.13 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 306.69 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:6.68			
20		MacroCare Office 88/8 ถนน ราชพฤกษ์ แขวง ดลิ่ง ชั้น เขตตลิ่งชัน	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 5 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2
			ความยาวเส้นรอบรูป : 89 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 403.36 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.75			
21		Move amaze 24/25 ซอย ลาดพร้าว 19 แขวง จอมพล เขตจตุจักร	รูปร่างอาคาร : TRIANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.36
			ความยาวเส้นรอบรูป : 74.59 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 282.84 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.33			
22		Lee & Son Leather ซอยอินทามระ 38 แขวงดินแดง เขต ดินแดง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.1
			ความยาวเส้นรอบรูป : 97.5 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 505.55 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.48			
23		FASHOF Office 31/4 ซ.เหล้าลาด, 39 ถ. อรุณ อมรินทร์ แขวง อรุณอมรินทร์ เขต บางกอกน้อย	รูปร่างอาคาร : L SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:19
			ความยาวเส้นรอบรูป : 78.11 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 273 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.8			
24		Summer Point ถนนสุขุมวิท แขวง พระโขนงเหนือ เขต วัฒนา	รูปร่างอาคาร : TRIANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 5 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.38
			ความยาวเส้นรอบรูป : 160.87 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1087.5 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.53			

ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
25		Exion Office 2 ซอยประเสริฐมนูกิจ 25 ถนนประเสริฐมนูกิจ แขวงจระเข้บัว เขตลาดพร้าว	รูปร่างอาคาร : COURT YARD SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.2
			ความยาวเส้นรอบรูป : 179.88 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 951.98 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.7			
26		KK6 For Rent ถนนสุขุมวิท ซอยสุขุมวิท 35 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.37
			ความยาวเส้นรอบรูป : 50.24 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 122.8 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.5			
27		Toyota Motor Thailand Marketing Office Complex แขวงบางนา เขตบางนา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.4
			ความยาวเส้นรอบรูป : 254 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 2200 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4			
28		MASSTEC LINK CO., LTD. 74 ซอยนาคินวิาส 48 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 4 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.17
			ความยาวเส้นรอบรูป : 151.3 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 806.58 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.44			
29		FTE Office Building 1198, 5 ถนนพระราม 9 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : SQUARE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1
			ความยาวเส้นรอบรูป : 141 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1044.5 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.1			
30		1.6 Office ย่านพร้อมพงษ์ กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 2 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.34
			ความยาวเส้นรอบรูป : 86.5 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 456.5 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:10			

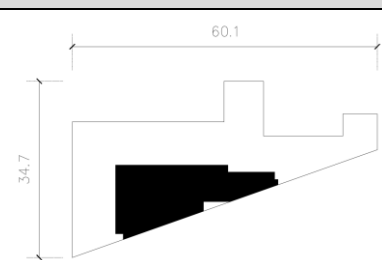
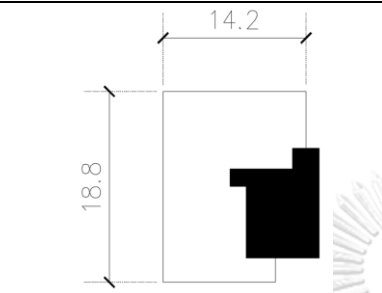
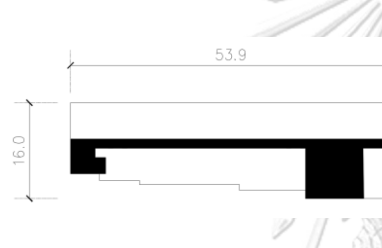
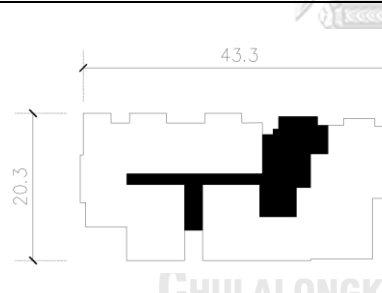
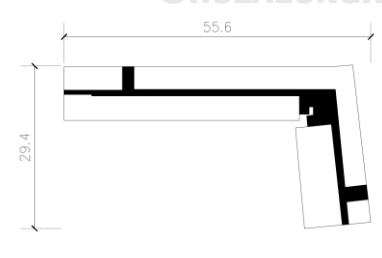
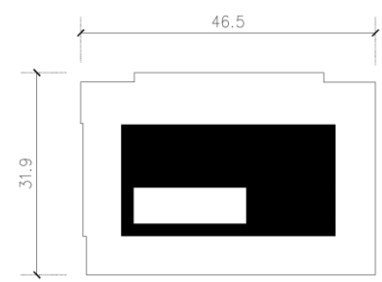
ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
31		ศูนย์รับสมัครและ บริการข้อมูล ม. กรุงเทพฯ ถ.พระราม 4 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : L SHAPE
			จำนวนชั้น : 2 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.6
			ความยาวเส้นรอบรูป : 157 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 711.5 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.9			
32		Seven Lakes Office 30 ซอย กรีสอนดี แขวง คลองสองต้น นุ่น เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : L SHAPE
			จำนวนชั้น : 1 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.9
			ความยาวเส้นรอบรูป : 61.8 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 172.2 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.3			


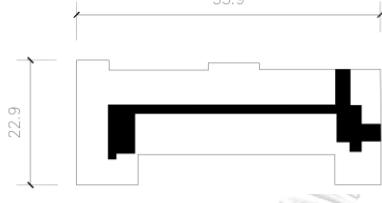
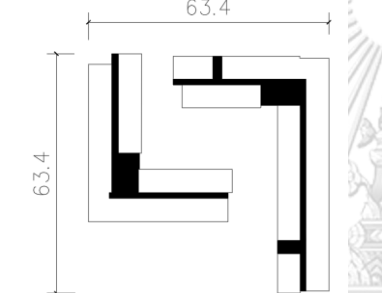


ตารางที่ ก.2 การสำรวจแบบอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย เพื่อกำหนดแบบอาคารอ้างอิง

ลำดับ	ผังพื้น	ที่ตั้ง	ข้อมูล
1		Via 31 176 ถนนสุขุมวิท 31 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE จำนวนชั้น : 7 ชั้น Shape Factor (SF) : 1:1.75 ความยาวเส้นรอบรูป : 142.81 ม. พื้นที่ต่อชั้น : 1,005.87 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.56
2		The Pine Crest Residence 42 ซอยตันสน แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน	รูปร่างอาคาร : U SHAPE จำนวนชั้น : 7 ชั้น Shape Factor (SF) : 1:1.10 ความยาวเส้นรอบรูป : 214.84 ม. พื้นที่ต่อชั้น : 963.33 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:8.17
3		THE MUVE Bangkhae 916 ซอยประสาน แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค	รูปร่างอาคาร : L SHAPE จำนวนชั้น : 7 ชั้น Shape Factor (SF) : 1:1.07 ความยาวเส้นรอบรูป : 239.43 ม. พื้นที่ต่อชั้น : 1,595 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.48
4		Bangkok TRYP Residential Building ซอยพหลโยธิน 3 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE จำนวนชั้น : 7 ชั้น Shape Factor (SF) : .1:2.05 ความยาวเส้นรอบรูป : 84.24 ม. พื้นที่ต่อชั้น : 290.18 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.24
5		Groove Vibes Ladprao 18 ซอยลาดพร้าว 18 แขวงจอมพล เขตจตุจักร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE จำนวนชั้น : 7 ชั้น Shape Factor (SF) : 1:3.07 ความยาวเส้นรอบรูป : 170.60 ม. พื้นที่ต่อชั้น : 1,273.06 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น 1:3
6		FYNN Aree 50 ซอยอารีย์ 2 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE จำนวนชั้น : 7 ชั้น Shape Factor (SF) : 1:2.89 ความยาวเส้นรอบรูป : 142.78 ม. พื้นที่ต่อชั้น : 542.16 ตร.ม. สัดส่วนCore:พื้นที่อาคารต่อชั้น 1:5

ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
7		Altitude Samyan-Silom 195 ถนนสีพระยา แขวงสีพระยา เขตบางรัก	รูปร่างอาคาร : TRIANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.96
			ความยาวเส้นรอบรูป : 144.91 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 763.54 ตร.ม.
สัดส่วน Core:พื้นที่อาคารต่อชั้น:1:4.4			
8		Na Vara Residence 25 ซอยหลังสวน แขวงลุมพินี เขต ปทุมวัน	รูปร่างอาคาร : SQUARE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.01
			ความยาวเส้นรอบรูป : 153.73 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 994.59 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.88			
9		Urbitia Thong Lo 16 ซอยสุขุมวิท 36 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : .1:2.54
			ความยาวเส้นรอบรูป : 141.59 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1,016.95 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.17			
10		Baan 33 Apartment 33 ซอยสุขุมวิท 27 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 5 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.92
			ความยาวเส้นรอบรูป : 82.55 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 336.32 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.62			
11		IDEO MOBI Sukhumvit 40 ซอยสุขุมวิท 40 แขวงพระโขนงเหนือ เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : COURT YARD SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.46
			ความยาวเส้นรอบรูป : 428.64 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 2,220 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.12			
12		The Moment Ratchada 19 ซอยรัชดาภิเษก 19 แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1.79
			ความยาวเส้นรอบรูป : 114.11 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 353.07 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.66			

ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
13		Craft Ploenchit ถนนวิทย์ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : TRIANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.73
			ความยาวเส้นรอบรูป : 180.59 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 995.03 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.51
14		Formosa Ratchayothin ซอยพลโยธิน 26 แขวงจอมพล เขต จตุจักร กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 6 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.3
			ความยาวเส้นรอบรูป : 68.58 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 273.31 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.82
15		Medal Ladprao 35 35 ซอยสุภาพงษ์ แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:3.37
			ความยาวเส้นรอบรูป : 139.83 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 768.77 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:4.09
16		Fynn Sukhumvit 31 77 ถนนสุขุมวิท แขวง คลองเตย เหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.13
			ความยาวเส้นรอบรูป : 148.63 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 776.15 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.68
17		Chateau In Town Ratchayothin ซอยพลโยธิน 30 แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	รูปร่างอาคาร : L SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.89
			ความยาวเส้นรอบรูป : 163.40 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 732.95 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:6.06
18		ESQUE Sukhumvit 1011 72 ซอยวิจิตรธรรม สาธิต 25 แขวงบาง จาก เขตพระโขนง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1.45
			ความยาวเส้นรอบรูป : 156.80 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1,440 ตร.ม. สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:2.93

ลำดับ	ผังพื้นที่	ที่ตั้ง	ข้อมูล
19		Groove Scape 48 ซอยลาดพร้าว 48 แยก 8 แขวงสาม เสนนอก เขตห้วย ขวาง	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.51
			ความยาวเส้นรอบรูป : 168.38 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1,283.97 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:3.01			
20		Quintara Phume Sukhumvit 39 ซอยสุขุมวิท 39 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา	รูปร่างอาคาร : RECTANGLE SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:2.44
			ความยาวเส้นรอบรูป : 171.27 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 1,004.19 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.96			
21		D condo Ramkhamhaeng 40 ซอยยามคำแหง 40 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ	รูปร่างอาคาร : COURT YARD SHAPE
			จำนวนชั้น : 7 ชั้น
			Shape Factor (SF) : 1:1
			ความยาวเส้นรอบรูป : 374.93 ม.
			พื้นที่ต่อชั้น : 2,128 ตร.ม.
สัดส่วน Core : พื้นที่อาคารต่อชั้น : 1:5.40			



PairTAG on Clear or Tinted

Product Specification:

Type	Thickness (mm.)	Light Performances			Energy Performances						U Value		
		EN			EN	ISO	NFRC	EN	ISO	NFRC	EN	ISO	NFRC
		LT (%)	LR Out (%)	LR In (%)	SF (%)	SHGC (%)	SC			W/(m ² .K)		U-Summer W/(m ² .K)	
PAIRTAG Clear (6+A12+6)	24	78	15	15	0.71	0.71	0.71	0.81	0.82	0.82	2.82	2.83	2.70
PAIRTAG Green (6+A12+6)	24	65	12	14	0.48	0.48	0.48	0.55	0.55	0.55	2.82	2.83	2.70
PAIRTAG Sky Blue (6+A12+6)	24	51	9	13	0.46	0.47	0.48	0.53	0.54	0.55	2.82	2.83	2.70
PAIRTAG Euro Bronze (6+A12+6)	24	45	8	12	0.50	0.52	0.54	0.58	0.59	0.62	2.82	2.83	2.70
PAIRTAG Euro Grey (6+A12+6)	24	40	7	12	0.46	0.47	0.49	0.53	0.54	0.56	2.82	2.83	2.70
PAIRTAG Blue Green (6+A12+6)	24	55	9	13	0.43	0.43	0.44	0.49	0.50	0.51	2.82	2.83	2.70
PAIRTAG Energy Green (6+A12+6)	24	53	9	13	0.36	0.36	0.37	0.41	0.41	0.42	2.82	2.83	2.70

ภาพที่ ข.1 สเปคกระจกที่ใช้ในมาตรการกระจกฉนวนกันความร้อน

(ที่มา : บริษัท กระจกไทยอาซี จำกัด)


Clear Float
Product Specification:

Type	Thickness (mm.)	Light Performances			Energy Performances						U Value		
		EN			EN	ISO	NFRC	EN	ISO	NFRC	EN	ISO	NFRC
		LT (%)	LR Out (%)	LR In (%)	SF (%)	SHGC (%)	SC			W/(m ² .K)		U-Summer W/(m ² .K)	
Clear Float	2.0												
	3.0	90	8	8	0.86	0.87	0.87	0.99	0.99	1.00	5.79	5.84	5.92
	4.0	89	8	8	0.85	0.85	0.85	0.97	0.98	0.98	5.76	5.80	5.88
	5.0	89	8	8	0.83	0.84	0.84	0.96	0.96	0.96	5.73	5.77	5.85
	6.0	88	8	8	0.82	0.82	0.82	0.94	0.94	0.95	5.69	5.74	5.82
	8.0	87	8	8	0.79	0.80	0.80	0.91	0.91	0.92	5.64	5.68	5.75
	10.0	86	8	8	0.77	0.77	0.77	0.88	0.88	0.89	5.57	5.62	5.69
	12.0	85	8	8	0.74	0.74	0.75	0.85	0.85	0.86	5.50	5.54	5.61
	15.0	83	8	8	0.72	0.73	0.74	0.83	0.84	0.85	5.41	5.45	5.52
	19.0	81	7	7	0.69	0.69	0.70	0.79	0.80	0.81	5.30	5.34	5.39

ภาพที่ ข.2 สเปคกระจกที่ใช้ในแบบอาคารอ้างอิง

(ที่มา : บริษัท กระจกไทยอาซี จำกัด)

ภาคผนวก ค. รายละเอียดการศึกษาประสิทธิภาพในการลดต้นทุนและปริมาณการ
ปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารสำนักงาน

	ต้นทุนในช่วงอายุอาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง (บาท)	ค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุอาคาร (ปี)	สัดส่วนการลดลง	
								สัดส่วนต้นทุนลดลง (%)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
แบบอาคารอ้างอิง (Baseline)	45,525,653.54	16,910,516.87	62,436,170.41	17,639,624.11	2,106,135.88	19,745,759.99	20		
	55,295,724.03	16,910,516.87	72,206,240.89	35,279,248.23	2,106,135.88	37,385,384.11	40		
	57,391,629.04	16,910,516.87	74,302,145.90	52,918,872.34	2,106,135.88	55,025,008.22	60		
มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุอาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุอาคาร (ปี)	สัดส่วนต้นทุนลดลง (%)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
กลุ่มวัสดุฉนวนหลังคา	44,768,063.76	17,176,699.17	-491,407.49	17,346,084.14	2,111,818.66	-287,857.19	20	-0.79	-1.46
	54,375,551.06	17,196,738.75	-633,951.09	34,692,168.29	2,114,660.05	-578,555.77	40	-0.88	-1.55
	56,436,578.23	17,203,013.77	-662,553.90	52,038,252.43	2,117,501.44	-869,254.35	60	-0.89	-1.58
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน	44,682,730.58	17,369,451.87	-383,987.97	17,313,020.47	2,182,031.47	-250,708.05	20	-0.62	-1.27
	54,271,904.88	17,404,002.87	-530,333.15	34,626,040.94	2,219,979.27	-539,363.89	40	-0.73	-1.44
	56,329,003.50	17,414,821.87	-558,320.54	51,939,061.42	2,257,927.07	-828,019.74	60	-0.75	-1.50
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน	44,772,466.75	17,442,881.47	-220,822.19	17,347,790.15	2,124,336.74	-273,633.10	20	-0.35	-1.39
	54,380,898.96	17,482,960.63	-342,381.30	34,695,580.31	2,133,437.17	-556,366.63	40	-0.47	-1.49
	56,442,128.85	17,495,510.67	-364,506.39	52,043,370.46	2,142,537.60	-839,100.16	60	-0.49	-1.52

หมายเหตุ : Replacement cost รวมอยู่ในต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง โดยมีอายุการใช้งานในแต่ละมาตรการ แสดงในตาราง 3.7

ตาราง ค.1 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารสำนักงาน (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุ อาคาร (บาท)	ต้นทุนในช่วงการ ก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย ตลอดช่วงอายุ อาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในส่วนของการลดการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจกตลอดช่วงอายุ อาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุ อาคาร (ปี)	สัดส่วน ต้นทุน ลดลง (%)	สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ลดลง (%)
มาตรการประหยัดพลังงาน	44,652,543.01	17,553,025.87	-230,601.53	17,301,323.83	-303,180.69	20	-0.37	-1.54
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีนรีเทน	54,235,238.88	17,601,397.27	-369,604.74	34,602,647.66	-623,921.18	40	-0.51	-1.67
	56,290,947.73	17,616,543.87	-394,654.31	51,903,971.48	-944,661.66	60	-0.53	-1.72
กลุ่มวัสดุทนผนัง								
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา	45,288,718.21	16,522,989.56	-624,462.64	17,547,819.83	-121,887.75	60	-1.00	-0.62
	55,007,940.99	16,522,989.56	-675,310.34	35,095,639.65	-213,692.03	40	-0.94	-0.57
	57,092,938.00	16,522,989.56	-686,218.35	52,643,459.48	-305,496.32	60	-0.92	-0.56
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น	45,087,825.65	16,753,701.86	-594,642.89	17,469,980.87	-137,261.02	20	-0.95	-0.70
ร่วมกับช่องอากาศตรงกลาง	54,763,935.72	16,753,701.86	-688,603.31	34,939,961.75	-306,904.26	40	-0.95	-0.82
ระหว่างผนัง	56,839,684.06	16,753,701.86	-708,759.98	52,409,942.62	-476,547.50	60	-0.95	-0.87
การใช้ฉนวนใยแก้วกั๊พผนัง	45,026,291.83	17,281,885.94	-127,992.63	17,446,138.64	-162,474.50	20	-0.20	-0.82
ภายนอก	54,689,196.38	17,309,844.53	-207,199.98	34,892,277.27	-340,454.48	40	-0.29	-0.91
	56,762,111.84	17,318,599.24	-221,434.83	52,338,415.91	-518,434.47	60	-0.30	-0.94
การใช้ไม้กั๊พผนังภายนอกอาคาร	45,227,601.51	18,747,489.66	1,538,920.77	17,524,139.21	-200,159.27	20	2.46	-1.01
	54,933,708.29	19,141,754.50	1,869,221.90	35,048,278.42	-400,318.54	40	2.59	-1.07
	57,015,891.62	19,225,881.08	1,939,626.79	52,572,417.63	-600,477.81	60	2.61	-1.09
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน	41,636,566.99	17,373,467.27	-3,426,136.15	16,132,736.91	-1,384,729.13	20	-5.49	-7.01
	50,572,016.84	17,373,467.27	-4,260,756.78	32,265,473.82	-2,891,616.34	40	-5.90	-7.73
	52,488,876.52	17,373,467.27	-4,439,802.12	48,398,210.72	-4,398,503.55	60	-5.98	-7.99

ตาราง ค.1 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารสำนักงาน (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุอาคาร (บาท)	ต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุอาคาร (ปี)	สัดส่วนต้นทุนลดลง (%)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ									
ระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว	43,338,885.54	18,776,814.34	-320,470.53	16,792,326.77	2,106,135.88	-847,297.35	20	-0.51	-4.29
	52,639,662.87	18,917,318.86	-649,259.16	33,584,653.53	2,106,135.88	-1,694,594.70	40	-0.90	-4.53
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว	54,634,893.70	18,961,315.23	-705,936.98	50,376,980.30	2,106,135.88	-2,541,892.05	60	-0.95	-4.62
	41,692,608.65	20,473,448.40	-270,113.35	16,154,451.12	2,106,135.88	-1,485,172.99	20	-0.43	-7.52
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว	50,640,085.37	20,741,684.31	-824,471.21	32,308,902.25	2,106,135.88	-2,970,345.98	40	-1.14	-7.95
	52,559,525.09	20,825,677.38	-916,943.44	48,463,353.37	2,106,135.88	-4,455,518.97	60	-1.23	-8.10
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว	40,407,141.96	21,491,428.84	-537,599.61	15,656,377.01	2,106,135.88	-1,983,247.10	20	-0.86	-10.04
	49,078,750.03	21,836,303.58	-1,291,187.28	31,312,754.03	2,106,135.88	-3,966,494.20	40	-1.79	-10.61
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ	50,939,009.57	21,944,294.66	-1,418,841.67	46,969,131.04	2,106,135.88	-5,949,741.30	60	-1.91	-10.81
	38,688,658.13	32,010,560.04	8,263,047.76	14,990,523.67	2,454,494.20	-2,300,742.12	20	13.23	-11.65
	46,991,469.57	33,147,369.38	7,932,598.05	29,981,047.34	2,802,852.53	-4,601,484.24	40	10.99	-12.31
	48,772,613.74	33,503,339.98	7,973,807.81	44,971,571.00	3,151,210.85	-6,902,226.36	60	10.73	-12.54
กลุ่มการออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม									
การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	44,372,759.55	16,910,516.87	-1,152,893.99	17,192,917.37	2,106,135.88	-446,706.75	20	-1.85	-2.26
	53,895,412.27	16,910,516.87	-1,400,311.75	34,385,834.74	2,106,135.88	-893,413.49	40	-1.94	-2.39
	55,938,240.48	16,910,516.87	-1,453,388.56	51,578,752.10	2,106,135.88	-1,340,120.24	60	-1.96	-2.44

ตาราง ค.1 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารสำนักงาน (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุ อาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วง การก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย ตลอดช่วงอายุ อาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจกตลอดช่วงอายุ อาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุ อาคาร (ปี)	สัดส่วน ต้นทุน ลดลง (%)	สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ลดลง (%)
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่อง เปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	42,836,445.60	16,824,012.97	-2,775,711.85	16,597,648.58	2,115,926.01	-1,032,185.40	20	-4.45	-5.23
	52,029,396.39	16,824,012.97	-3,352,831.54	33,195,297.15	2,115,926.01	-2,074,160.94	40	-4.64	-5.55
	54,001,495.94	16,824,012.97	-3,476,637.00	49,792,945.73	2,115,926.01	-3,116,136.48	60	-4.68	-5.66
การติดตั้งแผงกันแดด	43,964,872.05	16,976,655.67	-1,494,642.69	17,034,875.00	2,120,122.96	-590,762.03	20	-2.39	-2.99
	53,399,989.73	16,976,655.67	-1,829,595.49	34,069,749.99	2,120,122.96	-1,195,511.15	40	-2.53	-3.20
	55,424,039.66	16,976,655.67	-1,901,450.58	51,104,624.99	2,120,122.96	-1,800,260.27	60	-2.56	-3.27
กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง									
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ	43,279,221.06	17,042,148.37	-2,114,800.98	16,769,208.83	2,106,135.88	-870,415.28	20	-3.39	-4.41
	52,567,194.05	17,052,058.27	-2,586,988.58	33,538,417.67	2,106,135.88	-1,740,830.56	40	-3.58	-4.66
	54,559,678.05	17,055,161.37	-2,687,306.49	50,307,626.50	2,106,135.88	-2,611,245.84	60	-3.62	-4.75
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน	44,645,715.27	17,010,851.37	-779,603.77	17,298,678.32	2,106,135.88	-340,945.80	20	-1.25	-1.73
	54,226,945.88	17,018,405.07	-960,889.95	34,597,356.63	2,106,135.88	-681,891.60	40	-1.33	-1.82
	56,282,340.39	17,020,770.37	-999,035.15	51,896,034.95	2,106,135.88	-1,022,837.40	60	-1.34	-1.86
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพ สูง	45,261,473.69	16,910,516.87	-264,179.85	17,537,263.51	2,106,135.88	-102,360.60	20	-0.42	-0.52
	54,974,849.64	16,910,516.87	-320,874.38	35,074,527.03	2,106,135.88	-204,721.20	40	-0.44	-0.55
	57,058,592.37	16,910,516.87	-333,036.66	52,611,790.54	2,106,135.88	-307,081.80	60	-0.45	-0.56

ตาราง ค.1 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารสำนักงาน (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุ อาคาร (บาท)	ต้นทุนในช่วง การก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย ตลอดช่วงอายุ อาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจกตลอดช่วงอายุ อาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุ อาคาร (ปี)	สัดส่วน ต้นทุน ลดลง (%)	สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ลดลง (%)
กลุ่มพลังงานทดแทน									
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5%	43,248,732.24	20,857,316.87	1,669,878.70	16,757,395.46	2,129,895.88	-858,468.65	20	2.67	-4.35
	52,530,162.14	21,433,549.67	1,757,470.92	33,514,790.93	2,153,655.88	-1,716,937.30	40	2.43	-4.59
	54,521,242.50	21,516,432.47	1,735,529.07	50,272,186.39	2,177,415.88	-2,575,405.96	60	2.34	-4.68
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10%	40,973,088.26	24,804,116.87	3,341,034.72	15,875,661.73	2,153,655.88	-1,716,442.38	20	5.35	-8.69
	49,766,151.72	25,956,582.47	3,516,493.29	31,751,323.47	2,201,175.88	-3,432,884.76	40	4.87	-9.18
	51,652,466.23	26,122,348.07	3,472,668.39	47,626,985.20	2,248,695.88	-5,149,327.14	60	4.67	-9.36
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15%	38,696,805.63	28,750,916.87	5,011,552.08	14,993,680.54	2,177,415.88	-2,574,663.57	20	8.03	-13.04
	47,001,365.56	30,479,615.27	5,274,739.94	29,987,361.08	2,248,695.88	-5,149,327.14	40	7.31	-13.77
	48,782,884.83	30,728,263.67	5,209,002.59	44,981,041.63	2,319,975.88	-7,723,990.72	60	7.01	-14.04
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20%	36,420,522.68	32,667,816.87	6,652,169.14	14,111,699.23	2,200,995.88	-3,433,064.88	20	10.65	-17.39
	44,236,579.03	34,968,382.67	6,998,720.81	28,223,398.46	2,295,855.88	-6,866,129.77	40	9.69	-18.37
	45,913,303.03	35,299,285.97	6,910,443.10	42,335,097.70	2,390,715.88	-10,299,194.65	60	9.30	-18.72

ตาราง ค.2 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย

	ต้นทุนในช่วงอายุ อาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วงการ ก่อสร้าง (บาท)	ค่าใช้จ่ายตลอดช่วง อายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือน กระจกตลอดช่วง อายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุ อาคาร (ปี)	สัดส่วนการ	
								สัดส่วน ต้นทุน ลดลง (%)	สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ลดลง (%)
แบบอาคารอ้างอิง (Baseline)	26,262,995.40	19,392,194.39	45,655,189.79	10,176,006.95	2,408,460.32	12,584,467.27	20		
	31,899,187.22	19,392,194.39	51,291,381.61	20,352,013.90	2,408,460.32	22,760,474.23	40		
	33,108,280.10	19,392,194.39	52,500,474.49	30,528,020.85	2,408,460.32	32,936,481.18	60		
มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุ อาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วงการ ก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย ตลอดช่วงอายุ อาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจกตลอดช่วงอายุ อาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุ อาคาร (ปี)	สัดส่วน ต้นทุน ลดลง (%)	สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ลดลง (%)
กลุ่มวัสดุผนังหลังคา									
การใช้ฉนวนใยแก้ว	26,313,158.67	19,612,862.57	270,831.45	10,195,443.49	2,413,664.18	24,640.40	20	0.59	0.20
	31,960,115.82	19,629,475.61	298,209.82	20,390,886.99	2,416,266.11	46,678.87	40	0.58	0.21
	33,171,518.11	19,634,677.67	305,721.30	30,586,330.48	2,418,868.04	68,717.35	60	0.58	0.21
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน	26,370,660.27	19,772,656.77	488,127.25	10,217,723.39	2,477,959.73	111,215.84	20	1.07	0.88
	32,029,957.60	19,801,299.94	539,875.93	20,435,446.77	2,512,709.43	187,681.97	40	1.05	0.82
	33,244,007.15	19,810,269.02	553,801.67	30,653,170.16	2,547,459.13	264,148.11	60	1.05	0.80
การใช้ฉนวนโพลีไสตรีน	26,310,563.22	19,833,530.75	488,904.18	10,194,437.85	2,422,912.18	32,882.76	20	1.07	0.26
	31,956,963.37	19,866,756.83	532,338.59	20,388,875.69	2,430,138.12	58,539.58	40	1.04	0.26
	33,168,246.18	19,877,160.96	544,932.64	30,583,313.54	2,437,364.05	84,196.41	60	1.04	0.26

หมายเหตุ : Replacement cost รวมอยู่ในต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง โดยมีอายุการใช้งานในแต่ละมาตรการ แสดงในตาราง 3.7

ตาราง ค.2 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอาศัย (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุอาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุอาคาร (ปี)	สัดส่วนต้นทุนลดลง (%)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
การใช้น้ำมันเพื่อปั๊มลิฟต์ขึ้น	26,393,965.26	19,924,841.72	663,617.19	10,226,753.27	2,440,620.18	82,906.17	82,906.17	20	1.45	0.66
	32,058,263.98	19,964,942.16	731,824.53	20,453,506.53	2,456,700.10	149,732.41	149,732.41	40	1.43	0.66
	33,273,386.43	19,977,498.87	750,410.81	30,680,259.80	2,472,780.03	216,558.65	216,558.65	60	1.43	0.66
กลุ่มวัสดุทนไฟ										
การใช้น้ำคอนกรีตมวลเบา	25,920,307.01	15,600,832.55	-4,134,050.22	10,043,227.00	1,849,168.33	-692,071.95	-692,071.95	20	-9.05	-5.50
	31,482,955.91	15,600,832.55	-4,207,593.15	20,086,453.99	1,849,168.33	-824,851.90	-824,851.90	40	-8.20	-3.62
	32,676,272.14	15,600,832.55	-4,223,369.80	30,129,680.99	1,849,168.33	-957,631.86	-957,631.86	60	-8.04	-2.91
การใช้น้ำคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง	25,871,426.02	16,110,250.55	-3,673,513.22	10,024,287.29	1,987,093.96	-573,086.02	-573,086.02	20	-8.05	-4.55
	31,423,584.77	16,110,250.55	-3,757,546.29	20,048,574.58	1,987,093.96	-724,805.68	-724,805.68	40	-7.33	-3.18
	32,614,650.62	16,110,250.55	-3,775,573.32	30,072,861.88	1,987,093.96	-876,525.34	-876,525.34	60	-7.19	-2.66
การใช้น้ำมันเยื่อแก้วทึบผนังภายนอก	25,927,062.14	20,063,996.72	335,869.07	10,045,844.37	2,463,366.00	-75,256.90	-75,256.90	20	0.74	-0.60
	31,491,160.73	20,114,573.47	314,352.59	20,091,688.75	2,490,818.84	-177,966.63	-177,966.63	40	0.61	-0.78
	32,684,787.95	20,130,410.64	314,724.09	30,137,533.12	2,518,271.69	-280,676.37	-280,676.37	60	0.60	-0.85
การใช้น้ำกรูทึบผนังภายนอก	26,169,010.71	22,817,413.26	3,331,234.18	10,139,591.12	2,245,792.27	-199,083.88	-199,083.88	20	7.30	-1.58
	31,785,032.87	23,552,559.34	4,046,210.61	20,279,182.24	2,083,124.22	-398,167.76	-398,167.76	40	7.89	-1.75
	32,989,798.90	23,709,421.72	4,198,746.13	30,418,773.36	1,920,456.18	-597,251.64	-597,251.64	60	8.00	-1.81
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน	24,934,981.84	19,761,578.18	-958,629.77	9,661,447.40	2,505,929.10	-417,090.77	-417,090.77	20	-2.10	-3.31
	30,286,174.22	19,761,578.18	-1,243,629.22	19,322,894.80	2,505,929.10	-931,650.32	-931,650.32	40	-2.42	-4.09
	31,434,128.16	19,761,578.18	-1,304,768.16	28,984,342.20	2,505,929.10	-1,446,209.88	-1,446,209.88	60	-2.49	-4.39

ตาราง ค.2 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุอาคาร (บาท)	ต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุอาคาร (ปี)	สัดส่วนต้นทุนลดลง (%)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
กลุ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ									
ระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว	25,009,431.12	20,510,533.46	-135,225.21	9,690,293.93	2,408,460.32	-485,713.02	20	-0.30	-3.86
	30,376,600.74	20,594,727.81	-320,053.06	19,380,587.87	2,408,460.32	-971,426.04	40	-0.62	-4.27
	31,527,982.17	20,621,091.69	-351,400.62	29,070,881.80	2,408,460.32	-1,457,139.06	60	-0.67	-4.42
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว	24,062,670.80	21,527,205.34	-65,313.65	9,323,456.89	2,408,460.32	-852,550.06	20	-0.14	-6.77
	29,226,660.14	21,687,940.00	-376,781.46	18,646,913.78	2,408,460.32	-1,705,100.13	40	-0.73	-7.49
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว	30,334,454.72	21,738,271.06	-427,748.71	27,970,370.66	2,408,460.32	-2,557,650.19	60	-0.81	-7.77
	23,323,411.39	22,137,208.47	-194,569.93	9,037,019.31	2,408,460.32	-1,138,987.65	20	-0.43	-9.05
	28,328,751.35	22,343,867.33	-618,762.93	18,074,038.61	2,408,460.32	-2,277,975.29	40	-1.21	-10.01
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ	29,402,511.99	22,408,578.69	-689,383.81	27,111,057.92	2,408,460.32	-3,416,962.94	60	-1.31	-10.37
	23,361,432.27	28,440,574.12	6,146,816.60	9,051,751.09	2,617,206.64	-915,509.54	20	13.46	-7.27
การออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม	28,374,931.74	29,121,782.93	6,205,333.07	18,103,502.18	2,825,952.96	-1,831,019.09	40	12.10	-8.04
	29,450,442.78	29,335,090.74	6,285,059.04	27,155,253.27	3,034,699.27	-2,746,528.63	60	11.97	-8.34
การออกแบบอาคารให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม									
การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด	24,562,422.60	19,392,194.39	-1,700,572.80	9,517,093.51	2,408,460.32	-658,913.44	20	-3.72	-5.24
	29,833,661.59	19,392,194.39	-2,065,525.63	19,034,187.02	2,408,460.32	-1,317,826.88	40	-4.03	-5.79
	30,964,463.69	19,392,194.39	-2,143,816.41	28,551,280.54	2,408,460.32	-1,976,740.32	60	-4.08	-6.00

ตาราง ค.2 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กพักอาศัย (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุ อาคาร (บาท)	ต้นทุนในช่วงการ ก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย ตลอดช่วงอายุ อาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการ ปล่อยก๊าซเรือน กระจกตลอดช่วงอายุ อาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุ อาคาร (ปี)	สัดส่วน ต้นทุน ลดลง (%)	สัดส่วนการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก ลดลง (%)
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่อง เปิดพื้นที่ผนังทั้งทั้งหมด	25,116,929.92	19,315,680.60	-1,222,579.27	9,731,946.02	2,416,182.93	-436,338.33	20	-2.68	-3.47
	30,507,169.41	19,315,680.60	-1,468,531.60	19,463,892.03	2,416,182.93	-880,399.26	40	-2.86	-3.87
	31,663,499.86	19,315,680.60	-1,521,294.03	29,195,838.05	2,416,182.93	-1,324,460.20	60	-2.90	-4.02
การติดตั้งแผงกันแดด	25,833,000.21	19,418,682.29	-403,507.29	10,009,398.61	2,413,192.47	-161,876.19	20	-0.88	-1.29
	31,376,912.56	19,418,682.29	-495,786.76	20,018,797.23	2,413,192.47	-328,484.53	40	-0.97	-1.44
	32,566,209.37	19,418,682.29	-515,582.83	30,028,195.84	2,413,192.47	-495,092.87	60	-0.98	-1.50
กลุ่มระบบไฟฟ้าแสงสว่าง									
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ	25,565,100.99	19,721,273.14	-368,815.66	9,905,596.88	2,408,460.32	-270,410.07	20	-0.81	-2.15
	31,051,520.60	19,746,047.89	-493,813.12	19,811,193.77	2,408,460.32	-540,820.14	40	-0.96	-2.38
	32,228,483.90	19,753,805.64	-518,184.95	29,716,790.65	2,408,460.32	-811,230.20	60	-0.99	-2.46
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้ งาน	25,630,666.25	19,643,030.64	-381,492.89	9,931,001.17	2,408,460.32	-245,005.78	20	-0.84	-1.95
	31,131,156.56	19,661,914.89	-498,310.16	19,862,002.34	2,408,460.32	-490,011.57	40	-0.97	-2.15
	32,311,138.34	19,667,828.14	-521,508.01	29,793,003.51	2,408,460.32	-735,017.35	60	-0.99	-2.23
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพ สูง	26,161,989.09	19,392,194.39	-101,006.31	10,136,870.48	2,408,460.32	-39,136.47	20	-0.22	-0.31
	31,776,504.37	19,392,194.39	-122,682.85	20,273,740.97	2,408,460.32	-78,272.94	40	-0.24	-0.34
	32,980,947.13	19,392,194.39	-127,332.97	30,410,611.45	2,408,460.32	-117,409.40	60	-0.24	-0.36

ตาราง ค.2 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอาศัย (ต่อ)

มาตรการประหยัดพลังงาน	ต้นทุนในช่วงอายุอาศัย (บาท)	ต้นทุนในช่วงการก่อสร้าง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุอาคาร (บาท)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงอายุอาศัย (kgCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง (kgCO ₂ e)	ส่วนต่างการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงอายุอาคาร (kgCO ₂ e)	ช่วงอายุอาคาร (ปี)	สัดส่วนต้นทุนลดลง (%)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
กลุ่มพลังงานทดแทน									
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5%	24,949,845.74	21,814,094.39	1,108,750.35	9,667,206.65	2,423,040.32	-494,220.30	20	2.43	-3.93
	30,304,228.00	22,167,691.79	1,180,538.18	19,334,413.30	2,437,620.32	-988,440.61	40	2.30	-4.34
	31,452,866.24	22,218,551.69	1,170,943.44	29,001,619.95	2,452,200.32	-1,482,660.91	60	2.23	-4.50
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10%	23,636,695.78	24,235,994.39	2,217,500.38	9,158,406.23	2,437,620.32	-988,440.73	20	4.86	-7.85
	28,709,268.40	24,943,189.19	2,361,075.98	18,316,812.45	2,466,780.32	-1,976,881.45	40	4.60	-8.69
	29,797,451.99	25,044,908.99	2,341,886.49	27,475,218.68	2,495,940.32	-2,965,322.18	60	4.46	-9.00
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15%	22,323,546.13	26,598,094.39	3,266,450.73	8,649,605.92	2,451,840.32	-1,483,021.03	20	7.15	-11.78
	27,114,309.18	27,650,155.79	3,473,083.36	17,299,211.85	2,495,220.32	-2,966,042.06	40	6.77	-13.03
	28,142,038.13	27,801,479.69	3,443,043.33	25,948,817.77	2,538,600.32	-4,449,063.08	60	6.56	-13.51
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20%	21,010,396.16	28,960,194.39	4,315,400.77	8,140,805.50	2,466,060.32	-1,977,601.45	20	9.45	-15.71
	25,519,349.59	30,357,122.39	4,585,090.37	16,281,611.00	2,523,660.32	-3,955,202.90	40	8.94	-17.38
	26,486,623.88	30,558,050.39	4,544,199.79	24,422,416.50	2,581,260.32	-5,932,804.35	60	8.66	-18.01

ตาราง ค.3 ค่าการใช้พลังงานรายปี จากการจำลองการใช้พลังงาน แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ของอาคารสำนักงาน

มาตรการ	ค่าการใช้พลังงานรายปี (kWh/Yr)			
	Lighting	Equipment	Cooling	Fans
แบบอาคารอ้างอิง (Baseline)	284,786.00	455,668.00	504,044.38	228,908.25
การใช้ฉนวนใยแก้ว (Fiberglass Insulation)	284,786.00	455,668.00	487,082.25	221,351.50
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน (PE Insulation)	284,786.00	455,668.00	485,174.38	220,497.63
การใช้ฉนวนโพลีไสติเร็น (PS Insulation)	284,786.00	455,668.00	487,180.75	221,395.50
การใช้ฉนวนโพลียูรีเทน (PU Insulation)	284,786.00	455,668.00	484,499.63	220,195.38
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete Block)	284,786.00	455,668.00	498,743.50	226,540.88
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง (Lightweight Concrete Block + Air Gap)	284,786.00	455,668.00	494,267.50	224,515.13
การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร (Wood Cladding)	284,786.00	455,668.00	497,392.25	225,914.13
การใช้ฉนวนใยแก้วที่ผนังภายนอก (Fiberglass insulation)	284,786.00	455,668.00	492,928.38	223,862.75
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน (IGU)	284,786.00	455,668.00	417,636.88	189,448.13
ระบบปรับอากาศ ระบายไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว (Cooling – EER=17.5)	284,786.00	455,668.00	433,271.13	228,908.25
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว (Cooling – EER=20.0)	284,786.00	455,668.00	379,990.50	228,908.25
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว (Cooling – EER=22.5)	284,786.00	455,668.00	338,387.25	228,908.25
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ (DC SOLAR AIR – EER=20.8)	284,786.00	455,668.00	282,769.70	228,908.25
การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด (Building Orientation)	284,786.00	455,668.00	478,934.00	216,706.00

ตาราง ค.3 ค่าการใช้พลังงานรายปี จากการจำลองการใช้พลังงาน แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ของอาคารสำนักงาน (ต่อ)

มาตรการ	ค่าการใช้พลังงานรายปี (kWh/Yr)			
	Lighting	Equipment	Cooling	Fans
การติดตั้งแผงกันแดด (Shading Device)	284,786.00	455,668.00	469,178.88	213,260.13
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่นั่งทั้งหมด (WWR)	284,786.00	455,668.00	444,536.75	201,381.50
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน (Occupancy Sensor)	256,307.40	455,668.00	504,044.38	228,908.25
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ (Automatic Daylighting Controls)	212,081.75	455,668.00	504,044.38	228,908.25
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง (LED Lighting)	276,236.00	455,668.00	504,044.38	228,908.25
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5% (Solar Cell 5%)		1,399,715.63		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10% (Solar Cell 10%)		1,326,065.97		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15% (Solar Cell 15%)		1,252,395.64		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20% (Solar Cell 20%)		1,178,725.30		

ตาราง ค.4 ค่าการใช้พลังงานรายปี จากการจำลองการใช้พลังงาน แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ของอาคารคอมโมเดิร์นเมียมฟัทอาศัย

มาตรการ	ค่าการใช้พลังงานรายปี (kWh/yr)			
	Lighting	Equipment	Cooling	Fans
แบบอาคารอ้างอิง (Baseline)	204,649.00	225,533.00	289,739.88	130,062.00
การใช้ฉนวนใยแก้ว (Fiberglass Insulation)	204,649.00	225,533.00	290,870.13	130,555.25
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน (PE Insulation)	204,649.00	225,533.00	292,161.25	131,125.13
การใช้ฉนวนโพลีสไตรีน (PS Insulation)	204,649.00	225,533.00	290,811.88	130,529.50
การใช้ฉนวนโพลียูรีเทน (PU Insulation)	204,649.00	225,533.00	292,684.50	131,356.13
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete Block)	204,649.00	225,533.00	282,502.75	126,208.25
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางผนัง (Lightweight Concrete Block + Air Gap)	204,649.00	225,533.00	281,248.13	125,880.88
การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร (Wood Cladding)	204,649.00	225,533.00	287,488.25	129,271.88
การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก (Fiberglass insulation)	204,649.00	225,533.00	282,078.88	126,850.75
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน (IGU)	204,649.00	225,533.00	260,790.13	116,031.50
ระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว (Cooling – EER=17.5)	204,649.00	225,533.00	249,169.13	130,062.00
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว (Cooling – EER=20.0)	204,649.00	225,533.00	218,527.88	130,062.00
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว (Cooling – EER=22.5)	204,649.00	225,533.00	194,602.25	130,062.00
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ (DC SOLAR AIR – EER=20.8)	204,649.00	225,533.00	195,832.77	130,062.00
การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด (Building Orientation)	204,649.00	225,533.00	253,572.00	111,192.00

ตาราง ค.4 ค่าการใช้พลังงานรายปี จากการจำลองการใช้พลังงาน แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ของอาคารคอมโมเดิร์นเมียมพท์อาศัย (ต่อ)

มาตรการ	ค่าการใช้พลังงานรายปี (kWh/Yr)			
	Lighting	Equipment	Cooling	Fans
การติดตั้งแผงกันแดด (Shading Device)	204,649.00	225,533.00	280,191.88	125,693.50
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)	204,649.00	225,533.00	265,265.63	117,444.63
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน (Occupancy Sensor)	184,184.10	225,533.00	289,739.88	130,062.00
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ (Automatic Daylighting Controls)	182,062.13	225,533.00	289,739.88	130,062.00
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง (LED Lighting)	201,380.00	225,533.00	289,739.88	130,062.00
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5% (Solar Cell 5%)		807,484.69		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10% (Solar Cell 10%)		764,985.49		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15% (Solar Cell 15%)		722,486.30		
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20% (Solar Cell 20%)		679,987.10		

ตาราง ค.5 ค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานและอาคารชุดพักอาศัย ในช่วงอาคาร 1 ปี จากการจำลองการใช้พลังงาน

มาตรการ	ค่าการใช้พลังงานรายปี (kWh/Yr)	
	อาคารสำนักงาน	อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย
แบบอาคารอ้างอิง (Baseline)	1,473,406.63	849,983.88
การใช้ฉนวนใยแก้ว (Fiberglass Insulation)	1,448,887.75	851,607.38
การใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน (PE Insulation)	1,446,126.00	853,468.38
การใช้ฉนวนโพลีสไตรีน (PS Insulation)	1,449,030.25	851,523.38
การใช้ฉนวนโพลียูรีเทน (PU Insulation)	1,445,149.00	854,222.63
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete Block)	1,465,738.38	838,893.00
การใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา 2 ชั้น ร่วมกับช่องอากาศตรงกลางระหว่างผนัง (Lightweight Concrete Block + Air Gap)	1,459,236.63	837,311.00
การใช้ไม้กรุทับผนังภายนอกอาคาร (Wood Cladding)	1,463,760.38	846,942.13
การใช้ฉนวนใยแก้วกรุทับผนังภายนอก (Fiberglass insulation)	1,457,245.13	839,111.63
การใช้กระจกฉนวนกันความร้อน (IGU)	1,347,539.00	807,003.63
ระบบปรับอากาศ ประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 1 ดาว (Cooling – EER=17.5)	1,402,633.38	809,413.13
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 2 ดาว (Cooling – EER=20.0)	1,349,352.75	778,771.88
ระบบปรับอากาศประหยัดไฟ ระดับเบอร์ 5 3 ดาว (Cooling – EER=22.5)	1,307,749.50	754,846.25
การนำพลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ มาผลิตไฟฟ้า กระแสตรงให้กับระบบปรับอากาศ (DC SOLAR AIR – EER=20.8)	1,252,131.95	756,076.77
การออกแบบการวางผังอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางของแดด (Building Orientation)	1,436,094.00	794,946.00
การติดตั้งแผงกันแดด (Shading Device)	1,422,893.00	836,067.38

ตาราง ค.5 ค่าการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานและอาคารชุดพักอาศัย ในช่วงอาคาร 1 ปี จากการจำลองการใช้พลังงาน (ต่อ)

มาตรการ	ค่าการใช้พลังงานรายปี (kWh/Yr)	
	อาคารสำนักงาน	อาคารคอนโดมิเนียมพักอาศัย
การปรับเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทึบทั้งหมด (WWR)	1,386,372.25	812,892.25
การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการใช้งาน (Occupancy Sensor)	1,444,928.03	829,518.98
การใช้ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ (Automatic Daylighting Controls)	1,400,702.38	827,397.00
การใช้หลอด LED ประสิทธิภาพสูง (LED Lighting)	1,464,856.63	846,714.88
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 5% (Solar Cell 5%)	1,399,715.63	807,484.69
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 10% (Solar Cell 10%)	1,326,065.97	764,985.49
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 15% (Solar Cell 15%)	1,252,395.64	722,486.30
พลังงานทดแทนจากโซลาร์เซลล์ 20% (Solar Cell 20%)	1,178,725.30	679,987.10

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กันตพงศ์ ศรีเมือง
วัน เดือน ปี เกิด	27 สิงหาคม 2537
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	หลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต - มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	58/2 หมู่ 5 ต.ตลิ่งชัน อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY