ตัวชี้วัดสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

นายอทิตินนท์ ภูพาดทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Performance Indicators for Low Carbon Building and Greenhouse Gas Mitigation Measures

Mr. Athitinon Phupadtong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวชี้วัดสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
โดย	นายอทิตินนท์ ภูพาดทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพล ตันติสัตยกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพล ตันติสัตยกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชนาธิป ผาริโน)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อทิตินนท์ ภูพาดทอง : ตัวชี้วัดสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Performance Indicators for Low Carbon Building and Greenhouse Gas Mitigation Measures) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร. ธนาพล ตันติสัตยกุล, 258 หน้า.

อาคารเป็นภาคส่วนหนึ่งที่มีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) อยู่ในระดับที่สูง ปัจจุบันจึงเกิดแนวคิดด้านอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมขึ้น การดำเนินมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารก็เป็นหนึ่งในเครื่องมือในการลดการใช้พลังงานและการปล่อย GHG โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเกณฑ์ และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อย GHG สำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารควบคุม รวมถึงการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อย GHG โดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำของอาคารแต่ละประเภท เพื่อเสนอตัวชี้วัด และแนวทางการลดการปล่อย GHG โดยอาศัยวิธีการประเมินต้นทุนในการลดการปล่อย GHG ผลจากการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานอาคารคาร์บอนต่ำ จำนวน 11 เกณฑ์มาตรฐานพบว่าตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อย GHG ในช่วงการใช้งานประกอบไปด้วยทั้งหมด 7 ตัวชี้วัด ได้แก่ การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานหมุนเวียน การเกิดขยะมูลฝอย การใช้น้ำประปา การบำบัดน้ำเสีย และการรั่วไหลของ GHG และผลจากการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อย GHG ในทั้ง 7 ตัวชี้วัดจากอาคารตัวแทนทั้งหมด 6 ประเภทรวมจำนวน 21 แห่ง สามารถสรุปในภาพรวมของการปล่อย GHG ได้ว่า กิจกรรมการใช้พลังไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทเป็นสัดส่วนที่ก่อให้เกิดการปล่อย GHG มากที่สุด รองลงมาเป็นกิจกรรมด้านการจัดการขยะมูลฝอย และการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยประเภทอาคารที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ อาคารประเภทศูนย์การค้า รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาร์เก็ต สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับสำหรับมาตรการลดการใช้พลังงานและการปล่อย GHG พบว่าเกือบทุกมาตรการมีความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมาตรการด้านการปรับปรุงพฤติกรรมของผู้ใช้งาน และการลดชั่วโมงใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นมาตรการที่ได้รับการพิจาณาในอันดับต้นๆ เนื่องจากมาตรการดังกล่าวนอกจากจะเป็นมาตรการที่ไม่มีการลงทุนแล้ว ยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5870269121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS: LOW CARBON BUILDING / CARBON DIOXIED EMISSION / GREENHOUSE GAS EMISSION MITIGATION / INDICATOR

ATHITINON PHUPADTONG: Performance Indicators for Low Carbon Building and Greenhouse Gas Mitigation Measures. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. THANAPOL TANTISATTAYAKUL, Ph.D., 258 pp.

In the present era, buildings are highly contributed to both energy consumption and greenhouse gas (GHG) emission. To deal with such problems, A concept of Low carbon building (LCB) was established in many countries. As a result, energy conservative measure in building is one of the best tool to reduce not only energy consumption but also GHG emission in building sector. This research aimed to study criteria and indicators that related to GHG emissions during operation phase of designated building and to offer the suitable measures for GHG mitigation using GHG abatement cost analysis. Seven indicators related to GHG emission including fossil fuel consumption, electricity consumption, renewable energy use, water supply consumption, solid waste, wastewater treatment and GHG leakage. The results regarding energy and GHG emission performances of six building types showed that electricity consumption contributes the largest share of GHG emissions followed by, solid waste generation and fossil fuels consumption. Department store emitted greatest level of GHG emissions followed by, hospital, hotel and supermarket. The results of GHG abatement cost also indicated that almost of energy conservation measures is feasible for implementation. Particularly, the saving practice and working hours measures should be suggested for the implementing in every building as such option provide the best benefits in all three pillars of sustainability at once.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพล ตันติสัตยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล รองศาสตราจารย์ ดร. ชนาธิป ผาริโน รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ และ คุณนันทมล ลิมพิทักษ์พงศ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดีและมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ผู้จัดการ หรือผู้ประกอบการอาคารตัวแทนแต่ละแห่งที่ให้ความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอบคุณศูนย์วิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงอุสาหกรรมอย่างยังยั่งยืน (EMSI) และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทั้งในเรื่ององค์ความรู้ และอุปกรณ์หรือเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว เพื่อนๆ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยให้การช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นกำลังใจในการทำงานและความปราถนาดีที่มอบให้เสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฒ

บทที่1 บทนำ 1

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์ 1

1.2 คำสำคัญ 1

1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5

1.5 ขอบเขตงานวิจัย 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 องค์ความรู้เกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจก 9

2.2 แหล่งกำเนิดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 12

2.3 วิธีการและแนวทางในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 18

2.4 นิยามของอาคารคาร์บอนต่ำ และอาคารเขียว 23

2.5 มาตรฐานอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 24

2.5.1 เกณฑ์มาตรฐานอาคารที่อยู่อาศัยแบบยั่งยืน (Code for Sustainable Homes) 24

2.5.2 เกณฑ์มาตรฐาน BREEAM 26

2.5.3 เกณฑ์มาตรฐาน LEED 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.5.4 เกณฑ์มาตรฐาน CASBEE 30
2.5.5 เกณฑ์มาตรฐาน TREEs 31
2.5.6 มาตรฐานโรงแรมสีเขียว 33
2.5.7 มาตรฐานมหาวิทยาลัยสีเขียว 39
2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาคาร 41
2.7 การแบ่งประเภทของอาคาร 42
2.7.1 การแบ่งประเภทอาคารตามลักษณะอาคารและการใช้งานอาคาร 42
2.7.2 การแบ่งประเภทอาคารตามอายุการใช้งาน 44
2.7.3 การแบ่งประเภทอาคารตามช่วงเวลาการใช้งาน 44
2.8 สัดส่วนของจำนวนอาคารและการใช้พลังงานของอาคารควบคุม 44
2.8.1 สัดส่วนของจำนวนอาคารควบคุม 44
2.8.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารควบคุม 45
2.9 การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารควบคุม 51
2.9.1 รูปแบบและเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า 51
2.9.2 รูปแบบและเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน 54
2.9.3 รูปแบบเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล 59
2.9.4 การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงและอาคารอนุรักษ์พลังงาน 63
2.10 เกณฑ์การใช้น้ำและการเกิดน้ำเสียของอาคาร 66
2.11 การประเมินวัฏจักรชีวิตและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร 68
2.11.1 หลักการสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 68
2.11.2 วัฏจักรชีวิตและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร 70
2.11.3 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคาร 71
2.12 แนวทางและนโยบายด้านการจัดการพลังงานและการลดก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.12.1 แนวทางสำหรับการลดก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร 76
2.12.2 นโยบายการด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย 94
2.13 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการดำเนินการในอาคารควบคุม 105
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 107
บทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย 116
3.1 การกำหนดขอบเขตกลุ่มอาคารที่จะทำการศึกษา 117
3.2 ศึกษา รวบรวมเกณฑ์และตัวชี้วัดสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับส่งแวดล้อม 117
3.3 ศึกษา ทบทวน และรวบรวมเอกสารรายงานเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (DEDE) ในด้านการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานของอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท 117
3.4 คัดเลือกตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคาร 118
3.5 คัดเลือกอาคารตัวแทนสำหรับการเก็บรวบรวบข้อมูลกิจกรรมในแต่ละด้านของตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคารของอาคารควบคุมแต่ละประเภท 118
3.6 ประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำ 120
3.7 เสนอตัวชี้วัดและแนวทางการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการเป็นอาคารคาร์บอนต่ำ 121
บทที่4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล 123
4.1 เกณฑ์ และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 123
4.1.1 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำและอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 123
4.1.2 การคัดเลือกเกณฑ์ และตัวชี้วัดสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 131

หน้า

4.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารแต่ละประเภท 135
4.2.1 ข้อมูลอาคารตัวแทนแต่ละประเภท 135
4.2.2 การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 152
4.2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 154
4.2.4 การเกิดขยะมูลฝอย และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 156
4.2.5 การใช้น้ำประปา และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 158
4.2.6 การเกิดน้ำเสีย และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 158
4.2.7 การรั่วไหล และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 159
4.2.8 ภาพรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท 161
4.2.9 แนวโน้มการใช้พลังงานในด้านต่างๆตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท 164
4.3 ดัชนีการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามกิจกรรม 170
4.3.1 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 170
4.3.2 ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 171
4.3.3 ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 177
4.3.4 ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 185
4.3.5 ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 192
4.3.6 ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 195
4.3.7 ดัชนีด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก 199
4.3.8 สรุปดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการใช้งานในแต่ละประเภทอาคาร 202
4.4 มาตรการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 211
4.4.1 มาตรการลดการใช้พลังงานสำหรับอาคารประเภทต่างๆ 211

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.4.2 การศึกษาต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารแต่ละประเภท 213
บทที่5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 232
5.1 สรุปผลการศึกษา 232
5.2 ข้อเสนอแนะ 237
รายการอ้างอิง 238
ภาคผนวก 241
ภาคผนวก ก รายละเอียดลักษณะอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท 242
ภาคผนวก ข ข้อมูลทั่วไป การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารกรณีศึกษา 245
ภาคผนวก ค รายละเอียดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 251
ภาคผนวก ง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) 252
ภาคผนวก ฉ สมการและตัวอย่างการคำนวณ 253
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 258

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ Bottom-Up และแบบ Top-Down 21

ตารางที่ 2-2 ระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน Code for Sustainable Home 25

ตารางที่ 2-3 สัดส่วนการให้คะแนนของเกฑณ์มาตรฐาน BREEAM 27

ตารางที่ 2-4 ระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน BREEAM 27

ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนการประเมินของมาตรฐาน CASBEE ในแต่ละหมวดหมู่ 31

ตารางที่ 2-6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่แยกตามประเภทอาคารในปี 2550 46

ตารางที่ 2-7 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง LPG ของกลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่แยกตามประเภทอาคารในปี พ.ศ. 2550 47

ตารางที่ 2-8 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทแยกตามกิจกรรม 48

ตารางที่ 2-9 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารหน่วยงาน ราชการ 49

ตารางที่ 2-10 ดัชนีที่ใช้ในการนำเสนอลักษณะการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า 52

ตารางที่ 2-11 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า 53

ตารางที่ 2-12 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า (22 แห่ง) แยกตามระบบต่างๆ 54

ตารางที่ 2-13 ดัชนีที่ใช้ในการนำเสนอลักษณะการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 55

ตารางที่ 2-14 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานตัวอย่าง (20 อาคาร) 56

ตารางที่ 2-15 ค่าดัชนีการใช้พลังงานแยกตามกลุ่มประเภทอาคาร 56

ตารางที่ 2-16 ค่าการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทในแต่ละระดับความสามารถในการประหยัดพลังงาน 64

ตารางที่ 2-17 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิงและอาคารมาตรฐานตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี 2551 65

ตารางที่ 2-18 ความต้องการการใช้น้ำแบ่งตามประเภทการใช้น้ำ 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2-19 ความต้องการการใช้น้ำต่อวันแบ่งตามอาคารประเภทต่างๆ 67

ตารางที่ 2-20 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ 67

ตารางที่ 2-21 ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กรประเภทสถาบันการศึกษา 72

ตารางที่ 2-22 ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กรประเภทสำนักงาน 74

ตารางที่ 2-23 ตัวแปรที่มีความสำคัญในการศึกษาเงินทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 86

ตารางที่ 2-24 รายละเอียดของ Abatement Cost จำแนกตามรายเทคโนโลยี จนถึงปี พ.ศ. 2573 91

ตารางที่ 2-25 สรุปศักยภาพการลดการปล่อย CO_2 ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2552, 2563, 2573 93

ตารางที่ 3-1 แสดงรูปแบบวิธีการเก็บข้อมูลกิจกรรมตามตัวชี้วัดในแต่ละด้านและข้อมูลทั่วไปอื่นๆ 119

ตารางที่ 3-2 แสดงรูปแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 122

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ... 132

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลอาคารตัวแทนประเภท ซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า 136

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลอาคารตัวแทนประเภท โรงแรม และโรงพยาบาล 140

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลอาคารตัวแทนประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา 147

ตารางที่ 4-5 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท 175

ตารางที่ 4-6 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท 183

ตารางที่ 4-7 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบแยกตามองค์ประกอบขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละประเภท 189

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-8 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท 195
ตารางที่ 4-9 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการเกิดน้ำเสียในอาคารแต่ละประเภท 199
ตารางที่ 4-10 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท 201
ตารางที่ 4-11 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต 205
ตารางที่ 4-12 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทศูนยการค้า.. 206
ตารางที่ 4-13 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม 207
ตารางที่ 4-14 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงพยาบาล 208
ตารางที่ 4-15 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงาน 209
ตารางที่ 4-16 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสถานศึกษา . 210
ตารางที่ 4-17 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานและสถานศึกษา 214
ตารางที่ 4-18 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารศูนย์การค้าและซุปเปอร์มาร์เก็ต 219
ตารางที่ 4-19 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารโรงแรม และโรงพยาบาล 224
ตารางที่ 4-20 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตัวแทนทั้ง 21 แห่ง 229
ตารางที่ 4-21 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารทุกประเภททั้ง 97 แห่ง 230

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1-1 แผนผังการแบ่งกลุ่มอาคารตามช่วงเวลาใช้งาน 6
รูปที่ 1-2 แสดงขอบเขตการเก็บข้อมูลกิจกรรมในแต่ละด้านของอาคาร 7
รูปที่ 2-1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามภาคเศรษฐกิจต่างๆในทั่วโลก 13
รูปที่ 2-2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จำแนกตามภาคเศรษฐกิจของประเทศสหรัฐอเมริกา 14
รูปที่ 2-3 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกรายสาขาของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2012..... 15
รูปที่ 2-4 แนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามระดับของการประเมิน 19
รูปที่ 2-5 รูปแบบการจัดหมวดหมู่อาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ในแต่ละข้อกำหนด..... 24
รูปที่ 2-6 สัดส่วนการให้คะแนนของมาตรฐาน LEED 29
รูปที่ 2-7 ระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน LEED 29
รูปที่ 2-8 สัดส่วนการให้คะแนนของมาตรฐาน TREEs..... 33
รูปที่ 2-9 สัดส่วนอาคารควบคุมแต่ละประเภทสรุปเมื่อวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2551 45
รูปที่ 2-10 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารควบคุม 45
รูปที่ 2-11 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารศูนย์การค้า 49
รูปที่ 2-12 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารสำนักงาน..... 50
รูปที่ 2-13 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารประเภทโรงพยาบาล 50
รูปที่ 2-14 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารประเภทโรงแรม 50
รูปที่ 2-15 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารประเภทสถาบันการศึกษา..... 51
รูปที่ 2-16 รูปแบบการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า..... 51
รูปที่ 2-17 รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน 54
รูปที่ 2-18 เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของโรงพยาบาลรัฐ..... 62
รูปที่ 2-19 เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของโรงพยาบาลเอกชน 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2-20 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามขั้นตอนมาตรฐาน ISO 14040 (2006) 68

รูปที่ 2-21 รายละเอียดช่วงวัฏจักรชีวิตต่างๆของอาคาร 70

รูปที่ 2-22 เทคโนโลยีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 77

รูปที่ 2-23 แสดงมูลค่าต้นทุนที่ใช้ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละเทคโนโลยี 77

รูปที่ 2-24 แนวคิดการคำนวณ Abatement Costs 82

รูปที่ 2-25 การกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยกำหนดเทียบกับปีฐานและแนวโน้มในอนาคต 85

รูปที่ 2-26 ตัวอย่างของ Abatement Cost แสดงเป็นราคาต่อตันของ CO_2 ที่ลดได้และศักยภาพของปริมาณสะสมของ CO_2 ที่ลดได้จากเส้นฐาน (UNFCCC) 87

รูปที่ 2-27 Marginal Cost Curve: Top-down approach 88

รูปที่ 2-28 Marginal Cost Curve: Top-down approach 89

รูปที่ 2-29 Abatement Cost ของRE+EEเทคโนโลยีต่างๆและศักยภาพการสะสมของ CO_2 ที่ลดได้ 90

รูปที่ 2-30 Abatement Cost จำแนกตามรายเทคโนโลยีสาขาเศรษฐกิจที่สำคัญ 92

รูปที่ 2-31 มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท House Keeping ที่นิยมดำเนินการในอาคาร 105

รูปที่ 2-32 มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Minor change ที่นิยมดำเนินการในอาคาร 106

รูปที่ 2-33 มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Major change ที่นิยมดำเนินการในอาคาร 107

รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา 116

รูปที่ 4-1 สัดส่วนปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในแต่ละกิจรรมของอาคารแต่ละประเภท 153

รูปที่ 4-2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดแบ่งตามกิจกรรมการใช้งาน 153

รูปที่ 4-3 สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภท 154

รูปที่ 4-4 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดแบ่งตามระบบของอาคารแต่ละประเภท 155

รูปที่ 4-5 สัดส่วนการเกิดขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละประเภท 156

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-6 ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามประเภทขยะมูลฝอยของอาคารแต่ละประเภท....157

รูปที่ 4-7 ปริมาณการใช้น้ำประปาและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในอาคารแต่ละประเภท 158

รูปที่ 4-8 ปริมาณการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารคารแต่ละประเภท.....159

รูปที่ 4-9 สัดส่วนการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท 160

รูปที่ 4-10 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการรั่วไหลของอาคารแต่ละประเภท 161

รูปที่ 4-11 สัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท .162

รูปที่ 4-12 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท.....162

รูปที่ 4-13 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมต่อพื้นที่ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท 163

รูปที่ 4-14 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมต่อพื้นที่ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท 164

รูปที่ 4-15 แนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท 165

รูปที่ 4-16 แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท 166

รูปที่ 4-17 แนวโน้มการใช้น้ำประปาโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท 167

รูปที่ 4-18 แนวโน้มการเกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท.....169

รูปที่ 4-19 ดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม 171

รูปที่ 4-20 ดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร (ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา).....173

รูปที่ 4-21 ค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร (โรงแรม และ โรงพยาบาล).....174

รูปที่ 4-22 ดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม ..177

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-23 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภท....179

รูปที่ 4-24 ค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (อาคารซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)....180

รูปที่ 4-25 ค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)....181

รูปที่ 4-26 ค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท....185

รูปที่ 4-27 ค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (อาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)....186

รูปที่ 4-28 ค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)....188

รูปที่ 4-29 ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท....192

รูปที่ 4-30 ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)....193

รูปที่ 4-31 ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)....194

รูปที่ 4-32 ดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท....196

รูปที่ 4-33 ดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)....197

รูปที่ 4-34 ดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)....198

รูปที่ 4-35 ดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม....200

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-36 ดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ปรับอากาศ.....200

รูปที่ 4-37 มาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา.....211

รูปที่ 4-38 มาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ต และศูนย์การค้า.....212

รูปที่ 4-39 มาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล.....213

รูปที่ 4-40 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา.....218

รูปที่ 4-41 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า.....223

รูปที่ 4-42 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล.....228

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่1
บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย ตัวชี้วัดสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ภาษาอังกฤษ Performance Indicators for Low Carbon Building and Greenhouse Gas Mitigation Measures

1.2 คำสำคัญ

อาคารคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Building)

การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Emission)

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Mitigation)

ดัชนีชี้วัด (Indicator)

1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ความตระหนักที่เพิ่มขึ้นกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศของโลก ทำให้ในหลายๆ ประเทศทั้งในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนามีความตื่นตัวที่จะออกมารับมือและตอบสนองเพื่อหาแนวทางในแก้ปัญหาของผลกระทบดังกล่าวด้วยวิธีการต่างๆ ในหลายภาคส่วน ซึ่งเราต่างก็รู้ดีว่าสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้นมาจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น การใช้พลังงาน และเชื้อเพลิงเพื่อตอบสนองกับความต้องการที่ไม่จำกัดของมนุษย์ทั้งในด้านกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การขนส่ง รวมไปถึงความต้องการใช้พลังงาน และเชื้อเพลิงภายในอาคารประเภทต่างๆ ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะมีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทางเลือก หรือมีนวัตกรรมต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ แต่ทว่าการดำเนินการดังกล่าวก็ยังไม่สามารถทำได้อย่างครอบคลุม ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและความสามารถในการเข้าถึงเทคโนโลยีที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ ตามการควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ประกอบด้วยทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซ

มีเทน (CH_4), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O), ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC), และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) โดยก๊าซแต่ละชนิดมีความสามารถในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุล (Radiative Efficiency) และระยะเวลาที่สามารถอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Atmosphere Lifetime) ของก๊าซเรือนกระจก ตามค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ที่จะคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

อาคารถือเป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานมากถึงร้อยละ 40 ของการใช้ทั้งหมด หรือคิดเป็น 1 ใน 3 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทั่วโลก (UNEP 2009) ซึ่งกิจกรรมการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงในอาคารประเภทต่างๆ ถือเป็นอีกหนึ่งแหล่งกำเนิดหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลจากรายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 5 ที่ประกาศโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ได้แสดงให้เห็นว่าในปี ค.ศ. 2010 ที่ผ่านมา อาคาร (อาคารที่อยู่อาศัย, อาคารพาณิชย์ และอาคารภาครัฐ) เป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานถึงร้อยละ 32 ของการใช้พลังงานในขั้นสุดท้าย (Final Use) หรือคิดเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งทางตรง และทางอ้อมเท่ากับ 8.8 กิกะตันคาร์บอนไดออกไซด์ (GtCO2) นอกจากนี้ทาง IPCC ยังได้คาดการณ์ว่าความต้องการทางด้านพลังงานของอาคารจะเพิ่มขึ้นอีกเป็น 2 เท่า และมีแนวโน้มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นตามไปด้วยถึงร้อยละ 50-150 ภายในช่วงกลางของศตวรรษนี้ โดยความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นผลมาจากการพัฒนาที่เกิดขึ้น อย่างรวดเร็วของชุมชนเมืองและวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป รวมไปถึงการเข้าถึงบริการทางด้านพลังงานที่ทันสมัยอย่างเพียงพอเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง (IPCC 2014)

สำหรับในประเทศไทยผลจากรายงานสถิติการใช้พลังงานในช่วงพ.ศ.2556-2558 พบว่าการใช้พลังงานในภาคส่วนอาคารคิดเป็นประมาณร้อยละ 23 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (อาคารที่อยู่อาศัยร้อยละ 15, อาคารพาณิชย์ร้อยละ 8) และเมื่อคิดเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกไซด์จะประมาณเท่ากับ 9,092 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์ (KtCO2) (สถิติการใช้พลังงานของไทย, 2556-2558) ซึ่งนั่นก็เป็นผลเนื่องมาจากการพัฒนาของชุมชนเมืองและการขยายตัวของพื้นที่เศรษฐกิจ ประกอบกับในช่วงที่ผ่านมาอัตราการก่อสร้างอาคารใหม่ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และแน่นอนว่าการใช้พลังงานย่อมจะต้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอย่างต่อเนื่องในปีต่อๆ มาจึงถือได้ว่าอาคารเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากอาคารมีการบริโภคพลังงานอย่างมหาศาล ทั้งเพื่อการปรับอากาศ การระบายอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ หรืออาจจะกล่าวได้ว่า เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีและประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นของผู้ใช้งานอาคาร ดังนั้นพลังงานจึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องถูกบริโภคอยู่อย่างต่อเนื่อง นอกจาก

ปัจจัยทางด้านพลังงานและคุณภาพชีวิตแล้ว อาคารยังมีผลกระทบทางตรงต่อสิ่งแวดล้อมที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ทั้งในเรื่อง การรุกล้ำระบบนิเวศ การเกิดปัญหาด้านอุกภัย ปรากฏการณ์เกาะร้อน การใช้น้ำในปริมาณมหาศาล การทำลายธรรมชาติจากการแสวงหาวัสดุก่อสร้าง ขยะจากการก่อสร้างและการใช้งานอาคาร มลภาวะทางน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากอาคาร หรือรวมถึงมลภาวะและสารพิษต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอาคารอีกด้วย

ด้วยความความพยามในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคส่วนอาคาร ทำให้ช่วงเวลา ที่ผ่านมาทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนของหลายๆ ประเทศได้มีการกำหนดวิธีการและ/หรือกำหนดแผนนโยบายสำหรับการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคส่วนอาคารขึ้น อีกทั้งยังมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงวิธีการให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับการพัฒนาของเทคโนโลยี สำหรับวิธีการที่ได้รับความนิยมในระดับต้นๆ ที่ประเทศต่างๆ ได้นำมากำหนดเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงาน และเพื่อการดำเนินงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ก็คือ มาตรฐานอาคารเขียว (Green Building Standards) โดยในปัจจุบันองค์กรด้านอาคารเขียวของแต่ละประเทศ ได้มีการรวมตัวกันก่อตั้ง World Green Building Council ขึ้นซึ่งหลักเกณฑ์อาคารเขียวของแต่ละประเทศจะมีชื่อเรียก และมีระบบการประเมินที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เกณฑ์ที่ใช้ประเมินความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของอาคาร LEED ของประเทศสหรัฐอเมริกา, เกณฑ์มาตรฐาน BREEAM ของประเทศอังกฤษ, เกณฑ์มาตฐาน Green Star ของประเทศออสเตรเลีย และเกณฑ์มาตรฐาน CASBEE ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น สำหรับประเทศไทยก็มีชื่อเรียกระบบอาคารเขียวในอีกชื่อหนึ่งว่า TREEs ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์อาคารเขียวที่ได้รับการออกแบบจากระบบ LEED และระบบอื่นๆ ในบางส่วน โดยมีการปรับเปลี่ยนหลักเกณฑ์ให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ วัฒนธรรม รวมถึงบริบทของประเทศไทย นอกจากนี้ในปัจจุบันรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศไทยก็ได้มีการกำหนดนโยบายหรือแผนยุทธศาสตร์ด้านสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ เช่น แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2555–2559, แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี พ.ศ. 2555–2564 และแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2554–2573 เพื่อเป็นการกำหนดเป้าหมายและแนวทางในการลดผลกระทบที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน รวมไปถึงเพื่อให้เป็นการดำเนินการที่ความสอดคล้อง หรือเป็นไปตามอนุสัญญาที่มีร่วมกันในระหว่างประเทศ

จากข้อสรุปในรายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 4 โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ ได้แสดงให้เห็นว่าอาคารเป็นภาคส่วนที่มีศักยภาพมากที่สุดในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพราะเป็นภาคส่วนที่ค่อนข้างมีอิสระในเรื่องของต้นทุนที่ใช้ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Cost per tonCO2eq) ซึ่งทำให้

สามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วกว่าในภาคส่วนอื่นๆ เช่น การเพิ่มประสิทธิของการใช้พลังงานในอาคาร สามารถดำเนินการได้ภายในระยะเวลาอันสั้นบวกกับยังสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ถึงร้อยละ 30-50 โดยไม่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของต้นทุนใดๆ แต่ปัญหาและอุปสรรคที่พบสำหรับการดำเนินการดังกล่าวก็คือ ความสมบูรณ์ของข้อมูลในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานอาคาร และความกังวลในเรื่องต้นทุนทางเศรษฐกิจของผู้ประกอบการ เป็นต้น (IPCC 2007) และจากการศึกษาข้อมูล การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องก็พบว่า ช่วงวัฏจักรชีวิตของอาคารประเภทต่างๆ ประกอบไปด้วย 3 ช่วงหลัก คือ 1)ช่วงก่อนการใช้งาน (Before Use Stage) 2)ช่วงการใช้งาน (Operation/In Use Stage) และ 3)ช่วงหลังการใช้งาน (After Use Stage) ซึ่งโดยจากทั้ง 3 ช่วงนี้ ช่วงที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่มากที่สุด คือ ช่วงการใช้งานอาคาร โดยคิดเป็นร้อยละ 80-90 ของการปล่อยทั้งหมด (UNEP 2009)

ดังนั้นเพื่อเป็นการตอบรับกับนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ต่างๆ ของประเทศ การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ให้ความสำคัญในการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคาร โดยทำการศึกษาในกลุ่มอาคารควบคุมตามประกาศของกฎกระทรวงพลังงานฯ เนื่องจากเป็นกลุ่มอาคารที่มีการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์สูง โดยการศึกษาได้แบ่งกลุ่มอาคารออกเป็น 3 กลุ่มหลักตามช่วงเวลาการใช้งานอาคาร ได้แก่ กลุ่มที่1 เวลาทำการ 9 ชั่วโมง (08:00-17:00 น.) ได้แก่ อาคารสำนักงานและสถานศึกษา กลุ่มที่ 2 เวลาทำการ 12 ชั่วโมง (10:00–22.00 น.) ได้แก่ อาคารศูนย์การค้า กลุ่มที่ 3 เวลาทำการ 24 ชั่วโมง ได้แก่ อาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล ซึ่งจะทำการศึกษาพิจารณาเฉพาะเกณฑ์และตัวชี้วัดสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรือที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคารที่ได้พิจารณาและคัดเลือกจากมาตรฐานอาคารคาร์บอนต่ำ หรือมาตรฐานอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น ตัวชี้วัดด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ด้านการใช้ก๊าซเชื้อเพลิง, ด้านการใช้น้ำ, ด้านการจัดการขยะ, ด้านการจัดการน้ำเสีย, ด้านการงานใช้พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทางเลือกและด้านอื่นๆ อีก เป็นต้น เพื่อนำตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำในแต่ละด้านมาประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอาคารควบคุมดังกล่าวข้างต้น รวมถึงเพื่อเป็นการเสนอตัวชี้วัดและแนวทางสำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคส่วนอาคาร โดยอาศัยวิธีการประเมินต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ GHG Abatement Cost ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ เจ้าของอาคาร หรือผู้มีอำนาจตัดสินใจในการการกำหนด มาตรการ นโยบาย หรือกลยุทธ์สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการงานอาคารสู่การก้าวเป็นอาคารคาร์บอนต่ำของประเทศไทยต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษาเกณฑ์ และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารควบคุมตามประกาศของกฎกระทรวงพลังงานฯ

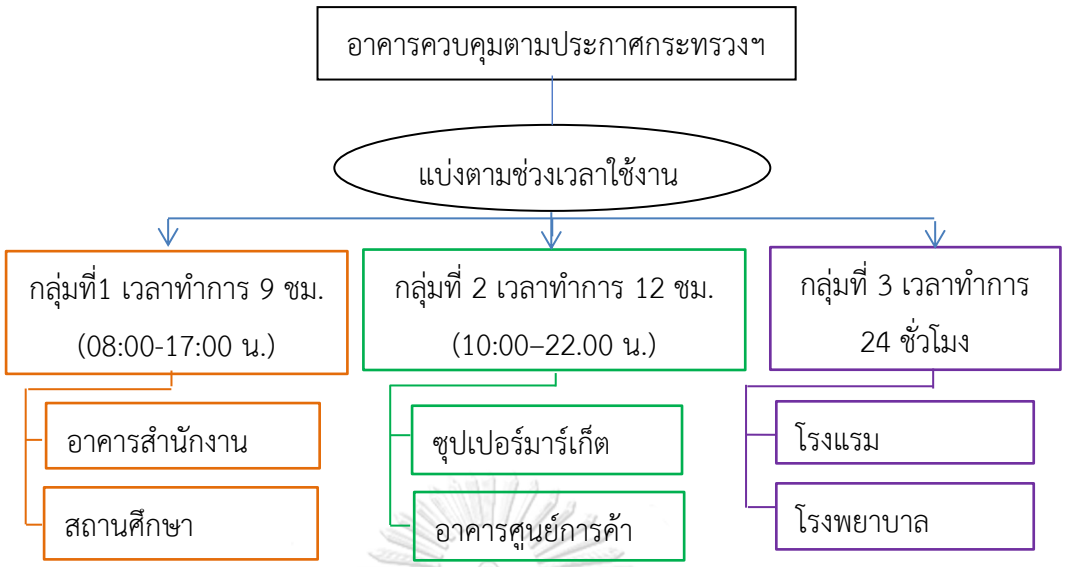
1.4.2 เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำของอาคารแต่ละประเภท

1.4.3 เพื่อเสนอตัวชี้วัดและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการเป็นอาคารคาร์บอนต่ำโดยอาศัยวิธีการประเมินต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาในเฉพาะอาคารควบคุมตามประกาศของกฎกระทรวงพลังงานว่าด้วยการกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2552 ซึ่งจะแบ่งประเภทอาคารที่จะศึกษาออกเป็น 3 กลุ่มหลักตามช่วงเวลาการใช้งานอาคาร ได้แก่ กลุ่มที่1 เวลาทำการ 9 ชั่วโมง (08:00-17:00 น.) ประกอบด้วย อาคารสำนักงานและโรงเรียน กลุ่มที่ 2 เวลาทำการ 12 ชั่วโมง (10:00–22.00 น.) ประกอบด้วยอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า กลุ่มที่ 3 เวลาทำการ 24 ชั่วโมงประกอบด้วย โรงแรม และโรงพยาบาล ดังรูปที่ 1-1 โดยการศึกษาจะศึกษาเฉพาะในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานของแต่ละอาคารเท่านั้น ซึ่งจะไม่รวมถึงกิจกรรมอื่นๆที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงในช่วงการใช้งานอาคาร เช่น ระบบการเดินทางขนส่ง การจัดการของของเสียโดยผู้รับเหมา กิจกรรมในพื้นที่สวนภายนอกอาคาร และพื้นที่ลาดจอดรถภายนอกอาคาร เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



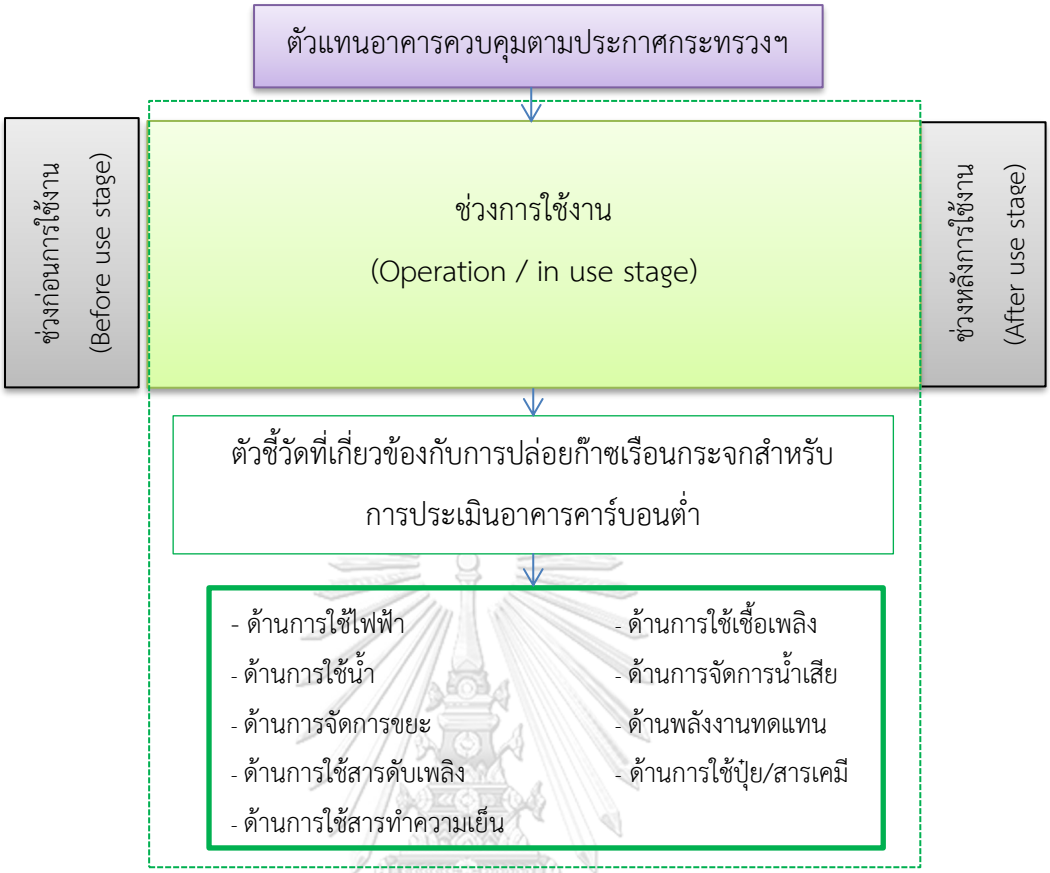
รูปที่ 0-1 แผนผังการแบ่งกลุ่มอาคารตามช่วงเวลาใช้งาน

1.5.2 ศึกษา รวบรวมเกณฑ์ และตัวชี้วัดสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำหรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น เกณฑ์มาตรฐานอาคารสีเขียว โรงแรมสีเขียว มหาวิทยาลัยสีเขียว เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาคัดเลือกเกณฑ์สำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคารที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

1.5.3 ศึกษา ทบทวน และรวบรวม เอกสารรายงานเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (DEDE) ในด้านการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานของอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการทรัพยากรและของเสีย และกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งข้อมูลด้านการตรวจวัดอุปกรณ์ไฟฟ้า เกณฑ์ควบคุม พื้นที่การใช้งาน และมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารประเภทนั้นๆด้วย

1.5.4 คัดเลือกอาคารตัวแทนในแต่ละประเภท อย่างน้อยจำนวนประเภทละ 1 อาคารเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการเก็บรวบรวบข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานของอาคารในแต่ละด้านตัวชี้วัดที่ได้พิจารณาและคัดเลือกมาจากเกณฑ์อาคารคาร์บอนต่ำหรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 1-2 เพื่อนำมาประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำ ส่วนการเก็บรวบข้อมูลนั้นจะใช้ข้อมูลในช่วงเวลา 12 เดือนย้อนหลังของอาคารนั้นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-2 แสดงขอบเขตการเก็บข้อมูลกิจกรรมในแต่ละด้านของอาคาร

1.5.5 เสนอตัวชี้วัดและแนวทางการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำ

โดยในขั้นตอนการเสนอตัวชี้วัดและแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการเป็นอาคารคาร์บอนต่ำนี้ ในเบื้องต้นจะทำการคำนวณต้นทุนของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือที่เรียกว่า GHG Abatement Cost โดยอาศัยหลักการการวิเคราะห์ Marginal Abatement Cost (MAC Method) เพื่อเลือกมาตรการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม(ลงทุนต่ำแต่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง)ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารประเภทต่างๆ จากนั้นจะทำการเสนอตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำโดยการประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสถานการณ์ที่มีการใช้มาตรการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากการศึกษาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 มีตัวชี้วัดและเกณฑ์สำหรับการเป็นอาคารคาร์บอนต่ำที่เหมาะสมของประเทศไทย

1.6.2 มีข้อมูลปริมาณการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานของอาคารแต่ละประเภท

1.6.3 มีแนวทางที่เหมาะสมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการก้าวเป็นอาคารคาร์บอนต่ำของประเทศไทย

1.6.4 มีข้อมูลสนับสนุนการตัดสินสำหรับผู้ประกอบการ เจ้าของอาคาร หรือผู้มีอำนาจตัดสินใจในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทต่างๆ

1.6.5 เป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ความรู้เกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกกำหนดและควบคุมภายใต้สองสนธิสัญญาแห่งสหประชาชาติ ซึ่งนั้นก็คือ พิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol) และพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ที่ได้รับการพัฒนาและศึกษาโดยสถาบันทรัพยากรแห่งโลก หรือ World Resources Institute: WRI และสถาบันนิเวศน์เศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนแห่งโลก หรือ World Business Council for Sustainable Development: WBCSD

พิธีสารมอนทรีออล คือ พิธีสารที่ว่าด้วยสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer) ซึ่งเป็นสนธิสัญญาที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อควบคุม, ยับยั้ง, และรณรงค์ให้ลดการผลิตและการใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน เพื่อรักษาชั้นบรรยากาศโอโซนที่เริ่มจะสูญสลายจากการทำลายโดยก๊าซเรือนกระจก

พิธีสารเกียวโต คือ พิธีสารที่ทางองค์การสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) พยายามที่จะสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อเป็นกรอบการอนุวัตของประเทศภาคี ภายใต้หลักการของอนุสัญญาฯ พิธีสารเกียวโตกำหนดเป็นข้อผูกพันทางกฎหมาย (Legal binding) ซึ่งกำหนดพันธกรณีในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศภาคีในภาคผนวกที่ 1 (Annex I) โดยรวมแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 จากระดับการปล่อยโดยรวมของกลุ่มประเทศภาคผนวกที่ 1 และมีการกำหนดชนิดก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ภายใต้พิธีสารฯไว้ 6 ชนิดคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์, ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน, ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซาฟลูโอไรด์ โดยการลดการปล่อยก๊าซเหล่านี้ให้คิดเทียบเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Brian Theordor, E.I.T. 2016)

IPCC ได้ให้คำนิยามก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) หรือบางครั้งเรียกย่อๆ ว่า GHG คือ “ก๊าซในบรรยากาศที่ดูดซับและปลดปล่อยรังสีภายในช่วงความถี่ (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) อินฟราเรดร้อน (Thermal Infrared Range) ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบางส่วนออกสู่ห้วงอวกาศภายนอกและปลดปล่อยความร้อนกลับสู่พื้นผิวโลก ขบวนการนี้จึงเป็นสาเหตุพื้นฐานของการเกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ด้วยคุณสมบัติของก๊าซ เช่น ไอน้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์, ไนตรัสออกไซด์, ก๊าซมีเทน และโอโซน ที่เป็นก๊าซเรือนกระจกแบบปฐมภูมิ (Primary Greenhouse Gas) ในชั้นบรรยากาศของโลก นอกจากนี้ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่ถูกผลิตขึ้นโดยมนุษย์ (Man-made Greenhouse Gas) เช่น พวกฮาโลคาร์บอน (Halocarbon), สารประกอบในกลุ่มคลอรีน (Chlorine

Compound) และโบรมีน (Bromine Compound) ที่อยู่ภายใต้การควบคุมของพิธีสารมอลทรีออ และนอกจากก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์, ไนตรัสออกไซด์และ ก๊าซมีเทนแล้ว พิธีสารโตเกียว ยังได้มีการควบคุมก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอื่นเช่น ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์, ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน และเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น" (IPCC 2014)

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ(United Nations Environment Programme: UNEP) ได้กล่าวถึงก๊าซเรือนกระจกไว้ว่า "ก๊าซเรือนกระจกเกิดจากการที่โลกมีการรับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์และมีการคืนพลังงานกลับออกไปด้วยการสะท้อนและการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งรังสีความร้อนบางส่วนจะถูกดูดซับโดยกลุ่มของก๊าซที่เรียกว่าก๊าซเรือนกระกระจกและจะแผ่รังสีความร้อนกลับมายังโลก ซึ่งก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อนก็คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ก็จะมีก๊าซอื่นๆ ที่ถูกกำหนดไว้ในพิธีสารเกียวโตอีก เช่น ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์, ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน, ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์" (UNEP 2009)

WBDG หรือ Whole Building Design Guide ของสถาบันวิทยาศาสตร์อาคารแห่งชาติ ของสหรัฐอเมริกา (NIBS) ได้อธิบายความหมายและชนิดของก๊าซเรือนกระจกไว้ว่า ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซที่สามารถดูดซับความร้อนในบรรยากาศ ซึ่งเป็นก๊าซที่สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติบ้างและอีกส่วนใหญ่ที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ โดยได้แก่

1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถึงแม้ว่าจะเป็นก๊าซที่สามารถพบได้ตามธรรมชาติในบรรยากาศ แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ยังเป็นก๊าซระดับต้นๆที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตไฟฟ้า การขนส่ง การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมและ การเผาไหม้ขยะมูลฝอยต่างๆ จึงเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเกือบประมาณร้อยละ 35 นับตั้งแต่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรม

2) ก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาจาก กระบวนการผลิตและการขนส่งของถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันและ จากการทับถมหรือการหมักของพวกขยะอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ และโรงปศุสัตว์ต่างๆ โดยก๊าซมีเทนจะมีช่วงอายุที่อยู่ในชั้นบรรยากาศนานถึง 9 ถึง 15 ปี และมีความสามารถในการดูดซับความร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึงประมาณ 20 เท่า ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 150 นับตั้งแต่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรม

3) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นก๊าซที่มีช่วงอายุในบรรยากาศนานถึง 120 ปีและมีความสามารถ ในการดูดซับความร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 310 เท่า ไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซที่ถูกปล่อยออกมากจากกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ร่วมถึงกิจกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและขยะของเสีย ความเข้มข้นของก๊าซไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 16 นับตั้งแต่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) ก๊าซกลุ่มสารประกอบฟลูออรีน รวมถึงก๊าซเรือนกระจกสังเคราะห์ เช่น ก๊าซไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอนและ ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ซึ่งก๊าซเหล่านี้มีช่วงอายุที่ในบรรยากาศนานต่างๆ กันไปซึ่งอาจนานเป็น 10 ถึง 1000 ปี และมีความสามารถในการดูดซับความร้อนได้เป็นพันๆ เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแหล่งกำเนิดของสารเหล่านี้หลักๆ มาจากแห่งของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารทำความเย็น การผลิตฉนวนกันความร้อน และสารดับเพลิง เป็นต้น

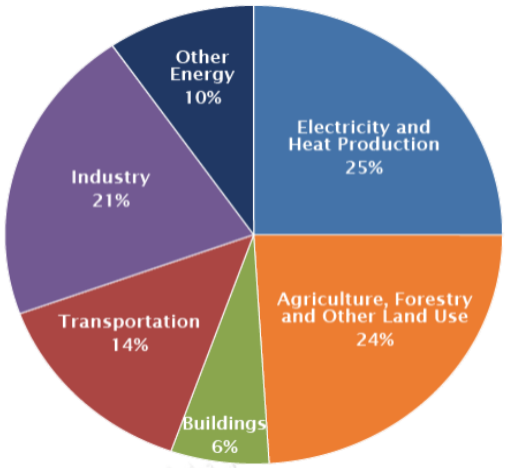
5) ก๊าซกลุ่มคลอโรฟลูออโรคาร์บอน เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลต่อการทำลายชั้นโอโซน ก๊าซเรือนและเป็นสารที่มีถูกใช้มากในอุตสาหกรรมการทำความเย็น เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ บรรจุภัณฑ์รักษาความเย็น ฉนวนกันความร้อนและ ตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น โดยสารทั้งหมดนี้ ก็มักจะถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคาร (Brian Theordor, E.I.T. 2016)

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ของไทยได้ให้คำนิยามก๊าซเรือนกระจกไว้ว่า “ก๊าซเรือนกระจก เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ซึ่งหากบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศดังเช่นดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ในระบบสุริยะแล้วจะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันก๊าซเรือนกระจกในธรรมชาตินั้นประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซ ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Greenhouse Gas Emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์, ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน, ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแล้ว” (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) 2558)

2.2 แหล่งกำเนิดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากรายงานของกลุ่มทำงานที่ 3 สำหรับการจัดทำรายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 5 ประจำปี ค.ศ. 2014 ของ IPCC ได้ระบุแหล่งกำเนิดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามภาคเศรษฐกิจต่างๆ ในทั่วโลก ออกเป็นทั้งหมด 6 ภาคส่วน ประกอบด้วย 1)ภาคการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน (Electricity and Heat Production) 2)ภาคโรงงานอุตสาหกรรม (Industry) 3)ภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Agriculture, Forestry, and Other Land Use) 4).ภาคการขนส่ง (Transportation) 5).ภาคอาคาร (Buildings) และ 6)ภาคพลังงานอื่นๆ (Other Energy) ดังรูปที่ 2-1 โดยปริมาณการปล่อยในภาคพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนคิดเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดถึงร้อยละ 25 ของการปล่อยทั้งหมดในปี ค.ศ. 2010 รองลงมาเป็นภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยคิดเป็นการปล่อยร้อยละ 24 ซึ่งการปล่อยในภาคส่วนนี้สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการทำการเกษตรกรรม เช่น การปลูกพืชและการปศุสัตว์ รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า แต่ในภาคส่วนนี้ยังไม่ได้คิดในส่วนที่มีการชดเชยออกอีกประมาณร้อยละ 20 จากการกักเก็บในรูปของ ชีวมวล (Biomass), ซากสารอินทรีย์ (Dead Organic Matter) และการดูดซับในดิน (Soils), ภาคโรงงานอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 21% จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในพื้นที่ เพื่อผลิตพลังงานและการปล่อยจากการใช้สารเคมี ในการแปรรูปและสกัดแร่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานรวมถึงการปล่อยจากแหล่งการจัดการของเสีย โดยในส่วนนี้ไม่รวมการปล่อยจากการใช้ไฟฟ้าซึ่งครอบคลุมแล้วในภาคการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน, ภาคการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 14 จากการเผ้าไหม้ของเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งทางถนน ทางระบบราง ทางอากาศและทางทะเล ซึ่งโดยส่วนมากพลังงานที่ใช้ในระบบขนส่งทั่วโลกมาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมในกลุ่มของน้ำมันเบนซินและดีเซลเป็นส่วนใหญ่, ภาคอาคารคิดเป็นร้อยละ 6 ส่วนใหญ่มาจากการผลิตพลังงานในอาคารและการเผ่าไหม้เชื้อเพลิงสำหรับการทำความร้อนหรือการประกอบอาหารในครัวเรือน ซึ่งเช่นกันในภาคอาคารนี้ไม่รวมการปล่อยจากการใช้ไฟฟ้าในอาคารซึ่งครอบคลุมแล้วในภาคการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนและอีกร้อยละ 10 ของการปล่อยทั้งหมดในปี ค.ศ. 2010 มาจากภาคพลังงานอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน เช่น การสกัด การกลั่น และการขนส่งเชื้อเพลิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

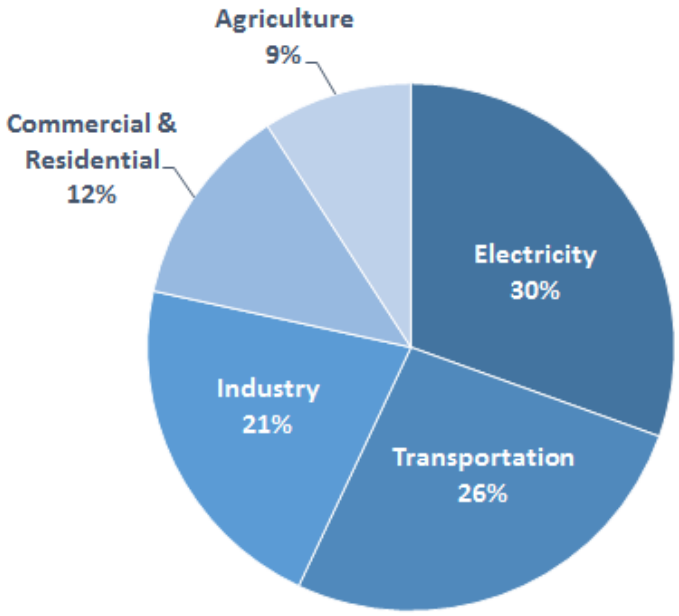


รูปที่ 0-3 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามภาคเศรษฐกิจต่างๆในทั่วโลก

ที่มา: IPCC 2014 (AR 5th)

EPA (Environmental Protection Agency) หรือสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศในช่วงปี ค.ศ. 1990–2014 โดยในรายงานได้แสดงสัดส่วนของแหล่งที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักๆ ออกเป็นทั้งหมด 5 แหล่งตามภาคเศรษฐกิจต่างๆ ดังรูปที่ 2-2 ได้แก่ 1)ภาคการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Electricity production) 2)ภาคการขนส่ง (Transportation) 3)ภาคโรงงานอุสาหกรรม (Industry) 4)ภาคอาคารพาณิชย์และอาคารที่อยู่อาศัย (Commercial and Residential) และ 5)ภาคเกษตรกรรม (Agriculture) ซึ่งภาคส่วนที่มีการปล่อยมากที่สุด คือ ภาคการผลิตพลังงานที่คิดเป็นร้อยละ 30 ของการปล่อยทั้งหมดโดยสาเหตุส่วนใหญ่ที่คิดเป็นถึงร้อยละ 67 มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเพื่อการผลิตไฟฟ้า รองลงมาเป็นร้อยละ 26 ของการปล่อยทั้งหมดในภาคการขนส่งที่มาจากการเผาไหม้เชื้อสำหรับ รถยนต์ รถบรรทุก เรือ รถไฟและ เครื่องบินและ โดยส่วนมากร้อยละ 90 ของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ในระบบการขนส่งเป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ประกอบด้วย น้ำบันเบนซีนและดีเซล ภาคโรงงานอุสาหกรรมคิดเป็นอีกร้อยละ 21 โดยมาจากกิจกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อผลิตพลังงาน และการใช้สารเคมีประจำในการทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อการผลิตสินค้าและวัตถุดิบต่างๆของแต่ละโรงงาน ส่วนในภาคส่วนอาคารพาณิชย์และอาคารที่อยู่อาศัยถูกคิดเป็นร้อยละ 12 ของการปล่อยทั้งหมดซึ่งส่วนมากก็เกิดจาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการทำความร้อน และการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของก๊าซเรือนกระจกรวมถึงการจัดการของเสียในอาคาร และสุดท้ายในภาคส่วนการเกษตรกรรมที่คิดเป็นร้อยละ 9 โดยเป็นผลมาจากการทำปศุสัตว์ เช่น การเลี้ยงโค การทำพื้นที่เกษตร การปลูกข้าว แต่สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินและป่าไม้ (Land Use and Forestry) ใน

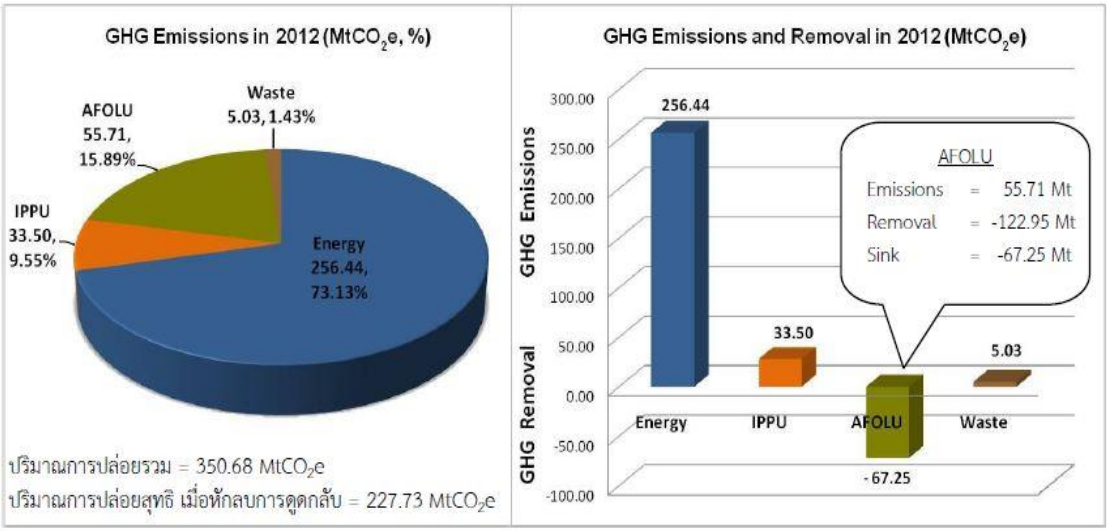
สหรัฐอเมริกาที่เปรียบเสมือนแหล่งในการดูดซับหรือกักเก็บ (Sink) โดยคิดเป็นการ ชดเชยออกถึงร้อยละ 11 จากการปล่อยทั้งหมด



รูปที่ 0-4 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จำแนกตามภาคเศรษฐกิจของประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks:1990 – 2014

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ของไทย ได้แบ่งแหล่งที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็นทั้งหมด 4 ภาคส่วน ได้แก่ ภาคพลังงาน (Energy) ภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (Industrial Process and Product Use; IPPU) ภาคเกษตรป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Agriculture, Forestry and Other Land Use; AFOLU) และภาคการจัดการของเสีย (Waste) โดยผลจากรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายสาขา ระหว่างปี พ.ศ. 2543 – 2555 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเท่ากับ 227.73 $MtCO_2e$ โดยภาคพลังงานเป็นภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 256.44 $MtCO_2e$ หรือเป็นคิดร้อยละ 73.13 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ รองลงมาคือภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 55.71 $MtCO_2e$ คิดเป็นร้อยละ 15.89 สำหรับภาคที่มีการปล่อยเป็นอันดับที่ 3 ได้แก่ ภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์มีการปล่อยเท่ากับ 33.50 $MtCO_2e$ คิดเป็น ร้อยละ 9.55 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศส่วนภาคที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด คือ ภาคการจัดการของเสียโดยมีการปล่อยเท่ากับ 5.03 $MtCO_2e$ หรือเท่ากับร้อยละ 1.43 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด แต่สำหรับภาค AFOLU มีส่วนของการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นการกักเก็บที่เกิดจากการสะสม

ของปริมาณชีวมวลในพื้นที่ป่าและพื้นที่ปลูกไม้ยืนต้นในภาคเกษตร เช่น ปาล์มน้ำมัน ยางพารา และสวนผลไม้ เป็นต้น ทำให้มีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2555 (ค.ศ. 2012) รวมทั้งสิ้น 122.95 $MtCO_2e$ ซึ่งเมื่อหักลบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคนี้จำนวน 55.71 $MtCO_2e$ แล้ว ทำให้ภาค AFOLU เป็นภาคที่มีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 67.25 $MtCO_2e$ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2555 (ค.ศ. 2012) ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเท่ากับ 227.73 $MtCO_2e$ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2-3



รูปที่ 0-5 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกรายสาขาของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2012
ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พ.ศ. 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Greenhouse gas Protocol โดยความร่วมมือของ WRI และ WBCSD ได้จัดทำคู่มือการคำนวณและการรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรฉบับแรก ในปี ค.ศ. 2001 (Corporate Accounting and Reporting Standard 2001) ขึ้น หลังจากนั้นในปีค.ศ.2006 International Organization for Standardization หรือ ISO ก็ได้นำมาเป็นแนวทางในการจัดทำระบบมาตรฐาน ISO 14064-I: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals และต่อมาประเทศไทยก็ได้นำมาเป็นแนวทางในการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการดำเนินงานขององค์กรหรือที่เรียกว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) 2556) โดยในคู่มือได้มีการระบุแหล่งกำเนิดตามขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร ดังนี้

1) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ ตัวอย่างเช่น

1.1) การผลิตไฟฟ้า ความร้อน และไอน้ำ เพื่อใช้เองภายในองค์กร และ/หรือ เพื่อการส่งออกหรือแจกจ่ายให้แก่ผู้ใช้งานนอกขอบเขตองค์กร และการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำ

1.2) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากการใช้งานของอุปกรณ์และ/หรือเครื่องจักรที่องค์กรเป็นเจ้าของ หรือเช่าเหมามาแต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มภายในองค์กร โดยองค์กรเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินงานดังกล่าว

2) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีภายในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการ Calcination ของการผลิตปูนซีเมนต์

3) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น

3.1) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมการขนส่งของยานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของ หรือเช่าเหมามาแต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง

3.2) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมการขนส่งของยานพาหนะที่องค์กรเช่าเหมามา แต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง

4) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่นๆ (Fugitive Emissions) ตัวอย่างเช่น

4.1) การรั่วซึมของก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศภายนอกที่เกิดขึ้น ณ บริเวณรอยเชื่อมข้อต่อท่อของอุปกรณ์ที่ตั้งอยู่ภายในองค์กร เช่น สารทำความเย็น หรือการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ตั้งอยู่ภายในองค์กรในขณะทำการซ่อมบำรุง

4.2) การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากหน่วยผลิตย่อยภายในโรงงาน เช่น การรั่วไหลของก๊าซซัลเฟอร์เฮ็กซาฟลูโอไรด์จากการใช้ Switch Gear

4.3) การใช้อุปกรณ์ดับเพลิงประเภทที่สามารถก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้

4.4) ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียและหลุมฝังกลบ

4.5) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ย หรือสารเคมีเพื่อการซักล้างหรือทำความสะอาดภายในองค์กร

5) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ชีวมวล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ซึ่งองค์กรสามารถวัดหรือประเมินเพื่อการรายงานผลเพิ่มเติมได้ โดยไม่ถือเป็นข้อบังคับตัวอย่างของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่

1) การเดินทางของพนักงานเพื่อการประชุม สัมมนาและติดต่อธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับองค์กรด้วยระบบการขนส่งประเภทต่างๆเช่น ยานพาหนะส่วนตัว ยานพาหนะที่ใช้ภายในองค์กรแต่จ้างเหมาบริการรวมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภายนอกองค์กร รถไฟ เรือโดยสาร เครื่องบิน

2) การเดินทาง ไป-กลับ จากที่พักถึงองค์กร เพื่อการทำงานของพนักงาน ด้วยยานพาหนะส่วนตัวหรือยานพาหนะที่ใช้ภายในองค์กร แต่จ้างเหมาบริการรวมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภายนอกองค์กรหรือระบบขนส่งสาธารณะ

3) การขนส่งผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ คนงาน หรือกากของเสีย ที่เกิดจากการจ้างเหมาบริการโดยหน่วยงานหรือองค์กรอื่นภายนอกขอบเขตขององค์กรที่ได้กำหนดไว้

4) กิจกรรมต่างๆ ที่สามารถก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเกิดจากการจ้างเหมารับช่วงดำเนินงานโดยหน่วยงาน หรือองค์กรอื่นภายนอกขอบเขตขององค์กรที่ได้กำหนดไว้ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มจากกิจกรรมการประกอบอาหารภายในโรงอาหารโดยการจ้างเหมาจากบุคคลหน่วยงาน หรือองค์กรภายนอก

5) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดกากของเสีย และการบำบัดน้ำเสียโดยหน่วยงาน หรือองค์กรอื่นภายนอกขอบเขตขององค์กรที่ได้กำหนดไว้

6) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือบริการขององค์กรในช่วงการใช้งานและช่วงหลังใช้งาน

7) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ไอน้ำ และความร้อนที่องค์กรซื้อมาเพื่อขายต่อไปยังหน่วยงานหรือองค์กรอื่นอีกทอดหนึ่ง

8) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ไอน้ำ หรือความร้อนของหน่วยงานหรือองค์กรอื่นที่มาขอเช่าพื้นที่ขององค์กร

9) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าทางอ้อมของพนักงานภายในองค์กรในกรณีที่มีการเช่าพื้นที่อาคารขององค์กรอื่นเพื่อใช้เป็นสำนักงาน เช่น การใช้ลิฟต์ภายในอาคาร

10) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการทำเหมือง หรือการสกัดวัตถุดิบต่างๆ รวมถึงขั้นตอนกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบตั้งต้น ก่อนที่จะมีการนำเข้ามาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อใช้งานภายใน

11) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้น้ำประปาภายในองค์กร

12) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุสำนักงานที่มีการใช้ภายในองค์กร เช่น กระดาษ

2.3 วิธีการและแนวทางในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ในคู่มือการคำนวณและการรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรปี ค.ศ. 2004 (Greenhouse Gas Protocol for Corporate Accounting and Reporting Standard 2004) ที่จัดทำโดย WRI และ WBCSD ได้อธิบายวิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ว่า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้อยู่ 3 วิธี คือ

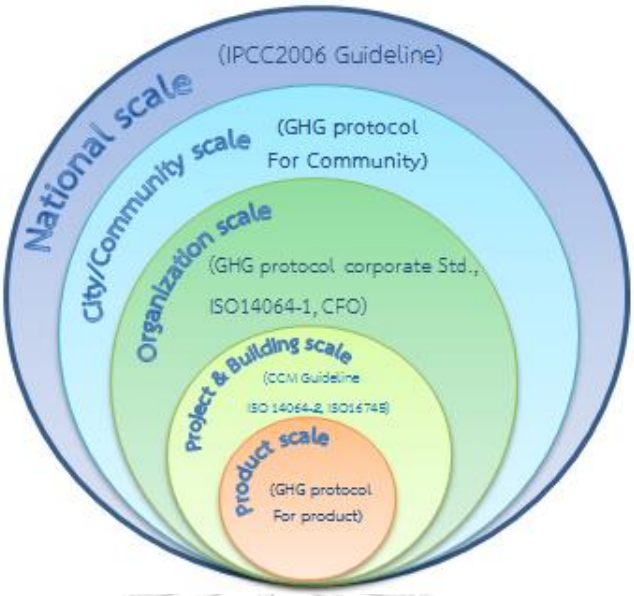
1) จากการตรวจวัด โดยทำการตรวจวัดปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกโดยตรง ณ แหล่งปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องหรือเว้นช่วงเป็นระยะ โดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์การตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน ตามวิธีการตามมาตรฐานสากล ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่มีความถูกต้องสูง

2) จากการคำนวณการหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการคำนวณ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างโมเดล หรือการทำสมการมวลสารสมดุล หรือการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ Facility-Specific หรือการคำนวณโดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กรคูณกับค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก และแสดงผลให้อยู่ในหน่วยตัน (กิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) จากการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณ โดยองค์กรสามารถหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณได้ ตัวอย่างเช่น การนำข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่จัดเก็บ และข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งได้จากการตรวจวัด มาทำการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยอาศัยสมการมวลสารสมดุล เป็นต้น

ส่วนแนวทางในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังรูปที่ 2-4 เมื่อแบ่งตามระดับการประเมินสามารถแบ่งได้ 5 ระดับ ดังนี้



รูปที่ 0-6 แนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามระดับของการประเมิน

1) แนวทางการคำนวณระดับประเทศ (National Scale) เช่น IPCC2006 guideline ที่จัดทำขึ้นโดยองค์กรอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ หรือ UNFCCC เพื่อให้กลุ่มประเทศภาคีที่อยู่ภายใต้อนุสัญญาใช้เป็นแนวทางสำหรับการจัดทำบัญชีปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับชาติ พร้อมกับส่งรายงานให้กับทาง UNFCCC (IPCC 2006)

2) แนวทางการคำนวณระดับเมืองหรือชุมชน (City/Community Scale) เช่น Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories ปีค.ศ.2014 ที่จัดทำขึ้นโดย WRI และWBCSD เพื่อให้รัฐบาลของเมืองหรือชุมชนในประเทศต่างๆ ใช้เป็นแนวทางในการจัดทำบัญชีและรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับเมืองหรือชุมชนที่จะเป็นการนำไปสู่การพัฒนาค่าการปลดปล่อยพื้นฐาน (Emission Baseline) ของเมืองหรือชุมชนนั้นๆ ในการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแผนกลยุทธ์และการกำหนดเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (WBCSD 2016)

3) แนวทางการคำนวณระดับองค์กร (Organization Scale) เช่น คู่มือการคำนวณและการรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ปี ค.ศ. 2001 (Greenhouse Gas Protocol for Corporate Accounting and Reporting Standard 2001) ที่จัดขึ้นโดยความร่วมมือของ WRI และ WBCSD อีกเช่นกัน และนอกจากนี้ยังมีเกณฑ์มาตรฐาน ISO 14064-I: Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals ที่หลังจากนั้นเมื่อในปี ค.ศ. 2006 ทาง ISO ได้นำมาเป็นแนวทางในการจัดทำคู่มือดังกล่าว และต่อมาในปี พ.ศ. 2554 ทางองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การ

มหาชน) ของประเทศไทยก็ได้มีการจัดทำคู่มือที่เป็นแนวทางสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร โดยนำแนวทางมาจากคู่มือ ISO 14064-1 (2006) และ GHG Protocol (2001, 2004) ซึ่งในคู่มือทั้งหมดที่กล่าวมาจะถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานและแนวทางในการเตรียม การจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับกลุ่มบริษัทและองค์กรต่างๆ โดยในคู่มือมีเนื้อหาครอบคลุมไปถึงการคำนวณและการทำรายงานสำหรับก๊าซเรือนกระจกทั้ง 6 ชนิดตามการควบคุมของพิธีสารเกียวโต (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) 2556)

4) แนวทางการคำนวณระดับโครงการและอาคาร (Project and Building Scale) เช่น ISO 14069-2 (2006) Specification with Guidance at the Project Level for Quantification, Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emission Reduction or Removal Enhancements เป็นคู่มือแนวทางสำหรับการประเมินการปล่อย การรายงาน และการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลับหรือการลดก๊าซเรือนกระจกในระดับโครงการ โดยจะเน้นในเรื่องของการลดและการดูดกลับโดยเฉพาะ ซึ่งในคู่มือจะประกอบไปด้วย หลักการและข้อกำหนดในการกำหนดปีฐาน การติดตามตรวจสอบ การตรวจวัดและการรายงานผลรวมถึงแนวทางพื้นฐานในการทวนสอบการประเมิน และ ISO 16745 (2015) Environmental Performance of Building Carbon Metric of a Building-Use Stage เป็นมาตรฐานที่มีวัตถุประสงค์ในการประเมินและการแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจกสำหรับช่วงการใช้งานของกลุ่มอาคารที่ใช้งานอยู่ โดยในคู่มือจะมีวิธีการสำหรับการคำนวณ การแสดงผล การประชาสัมพันธ์ และการทวนสอบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในระหว่างช่วงการใช้งานอาคาร รวมถึงการตรวจวัดการใช้พลังงานของผู้ใช้งานและอื่นๆ เกี่ยวข้องกับการปล่อยและการดูดกลับ นอกจากนี้ยังมี คู่มือ Common Carbon Metric: CCM (2009) ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดการใช้พลังงานและการรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานอาคาร (Measuring Energy Use & Reporting Greenhouse Gas Emissions from Building Operations) คู่มือเล่มนี้จัดทำขึ้นโดย United Nations Environment Program’s Sustainable Buildings & Climate Initiative (UNEP-SBCI) ที่เป็นหน่วยงานหนึ่งจากความร่วมมือขององค์การสหประชาชาติ กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับภาคส่วนอาคารทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน ซึ่งจัดตั้งขึ้นเพื่อการส่งเสริมการพัฒนาอาคารอย่างยั่งยืนในทั่วโลก โดยเน้นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคส่วนอาคารที่เน้นในการตรวจวัดการใช้พลังงานอย่างถูกต้องและแม่นยำพร้อมทั้งการปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้งานอาคารอีกด้วย Common Carbon Metric ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการจัดทำบัญชีการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร โดยการจัดทำบัญชีดังกล่าว สามารถทำการศึกษาได้ทั้ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีแบบ Top-Down และ วิธีแบบ Bottom-Up ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา เช่น หากขอบเขตการศึกษาเป็นการศึกษาในระดับ

ภูมิภาคหรือระดับประเทศ ควรเลือกใช้วิธีแบบ Top-Down แต่หากขอบเขตการศึกษาเป็นเพียงอาคารหรือโครงการส่วนบุคคล ก็ควรเลือกใช้วิธีแบบ Bottom-Up (UNEP 2009)

ตารางที่ 0-1 การเปรียบเทียบแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ Bottom-Up และแบบ Top-Down

วิธีการ	วิธีแบบ Bottom-Up	วิธีแบบ Top-Down
คุณลักษณะพื้นฐาน	• เป็นการวิธีการประเมินสำหรับอาคารหรือโครงการส่วนบุคคล • ผลการประเมินจะออกมาเป็นผลรวมของแต่ละประเภทอาคารที่ศึกษา • โดยผลรวมของการศึกษาในอาคารหรือโครงการแต่ละประเภทนั้นจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่หรือเท่าที่จะสามารถรวบรวมได้ • ในท้ายที่สุดเมื่อทุกประเภทอาคารเป็นตัวแทนทางสถิติ (ตามภูมิภาคหรือสภาพภูมิอากาศ) แล้วก็จะสามารถนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการประเมินในขอบเขตที่กว้างขึ้น	• เป็นวิธีการการประเมินระดับประเทศภูมิภาคและการสร้างเป็นข้อมูลสถิติของแต่ละพื้นที่ • ปริมาณการบริโภคและปริมาณที่สามารถลดหรือประหยัดพลังงานได้จะใช้วิธีการประเมินโดยอาศัยแบบจำลองอาคาร • การศึกษาแบบแยกประเภทจะสามารถถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการศึกษาแบบแยกกลุ่มต่อไป
การนำมาประยุกต์ใช้ทั่วไป	• ใช้สำหรับการประเมินอาคารส่วนบุคคลเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานระหว่างอาคารประเภทเดียวกันหรือเปรียบเทียบกับอาคารตามแบบจำลอง • ให้สำหรับโครงการเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารส่วนบุคคลหรือกลุ่มอาคารที่มีจำนวนไม่มาก • ใช้สำหรับการปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสอดคล้องและเหมาะสมของข้อมูลจากการศึกษาด้วยวิธีแบบ Top-Down	• ใช้สำหรับการประเมินโดยรวมหรือการประเมินสำหรับนโยบายแห่งชาติ • ให้สำหรับโครงการเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับประเทศหรือภูมิภาค • ใช้สำหรับการปรับเทียบและปรับปรุงการศึกษาแบบร่วมกลุ่ม • ใช้สำหรับการสร้างเกณฑ์สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้งานอาคาร ในระดับกลุ่มใหญ่ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการ	วิธีแบบ Bottom-Up	วิธีแบบ Top-Down
	• ใช้สำหรับการสร้างเกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานอาคารในระดับกลุ่มเล็กๆ	
ข้อดีและข้อเสีย	• รายละเอียดของข้อมูลส่วนใหญ่ต้องสามารถถูกรวบรวมไว้ในการประเมินและในแบบจำลอง • การประเมินอาคารส่วนใหญ่มักจะมีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างแบบจำลองขึ้นมา • การประเมินที่มากกกว่าในระดับเดิมจะสามารถปรับปรุงแบบจำลองที่มีอยู่ • การที่จะสร้างเกณฑ์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารแต่ละประเภทต้องใช้อาคารตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดี	• มีข้อมูลจำกัดสำหรับการการประเมินในขั้นแรก • การศึกษาหรือประเมินแบบแยกประเภทอาจสามารถทำได้ง่ายๆหรือซับซ้อน • สามารถใช้เป็นเกณฑ์หรือฐานข้อมูลของทั้งประเทศ ณ สภาพปัจจุบันนั้นๆ • ค่าสถิติที่มีการปรับปรุงและการประเมินของกลุ่มอาคารส่วนบุคคลสามารถถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีนี้ได้ • สามารถดำเนินการบนพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่

ที่มา: ปรับปรุงจากหนังสือคู่มือ Common Carbon Metric, UNEP SBCI 2009

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) แนวทางการคำนวณในระดับผลิตภัณฑ์ (Product Scale) เช่น คู่มือ GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard ที่จัดทำขึ้นในปี ค.ศ.2008 โดย WRI และ WBCSD เช่นกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ การสร้างกรอบการดำเนินงานทั่วไปสำหรับกลุ่ม โรงงาน บริษัท และองค์กรต่างๆ เพื่อการคำนวณปริมาณการปล่อย การดูดกลับและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พร้อมทั้งการรายงานข้อมูลการประเมินของผลิตภัณฑ์จำเพาะใดๆ ที่เกิดจากการออกแบบ การผลิต การซื้อขายหรือใช้ในหน่วยงานนั้นๆออกสู่สาธารณะด้วย (WBCSD 2016)

2.4 นิยามของอาคารคาร์บอนต่ำ และอาคารเขียว

สภาอุตสาหกรรมการก่อสร้าง (Construction Industry Council: CIC) ของประเทศฮ่องกงได้ให้คำนิยาม สำหรับอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ หรือ Zero Carbon Building; ZCB ไว้ว่า “เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิ (Net Energy) หรือมีการปล่อยคาร์บอนสุทธิ (Net Carbon Emission) ในแต่ละปีฐานเป็นศูนย์” (CIC 2016)

สถาบันอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา หรือ USGBC ได้ให้คำนิยามของอาคารเขียวไว้ว่า “อาคารเขียว หรือ Green Building คือ อาคารที่เกิดจากแนวคิดแบบองค์รวม (Holistic Concept) ที่เริ่มจากความเข้าใจที่ว่าการสร้างสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดผลกระทบในเชิงลึกทั้งในแง่บวกและแง่ลบกับสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ซึ่งนั้นก็เหมือนกับผู้คนที่มีการใช้งานอาคารอยู่ในทุกๆวัน อาคารเขียวจึงเป็นแนวคิดที่พยามจะส่งเสริมผลกระทบในแง่บวกและปรับปรุงแก้ไขผลกระทบในแง่ลบของตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตอาคาร” (USGBC 2016)

ในคู่มือการออกแบบบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำปี 2556 ที่จัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ของประเทศไทยได้ให้นิยามบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำว่า หมายถึง “บ้านและอาคารที่มีการก่อสร้าง การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ การใช้งาน การซ่อมแซม และทุบทำลาย โดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยตลอดวัฏจักรชีวิตของบ้านหรืออาคารนั้นๆ เมื่อเทียบกับบ้านและอาคารตึกแถวแบบปกติ” (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) 2556)

โครงการสนับสนุนการออกแบบเมืองอัจฉริยะโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานร่วมกับสถาบันอาคารเขียวประเทศไทยได้อธิบายความหมายของอาคารเขียวไว้ว่า “อาคารเขียว คือ อาคารที่ให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรต่างๆ เช่น วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง การใช้น้ำ และการใช้พลังงาน ในขณะเดียวกันก็ลดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารและสิ่งแวดล้อมตลอดอายุอาคาร ซึ่งทำได้โดยการเลือกที่ตั้งอาคาร การวางผังอาคาร การออกแบบ การเลือกใช้วัสดุ การบริหารจัดการในระหว่างก่อสร้างใช้งาน และบำรุงรักษา ที่ดีกว่าอาคารทั่วไป” (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, ก. 2559)

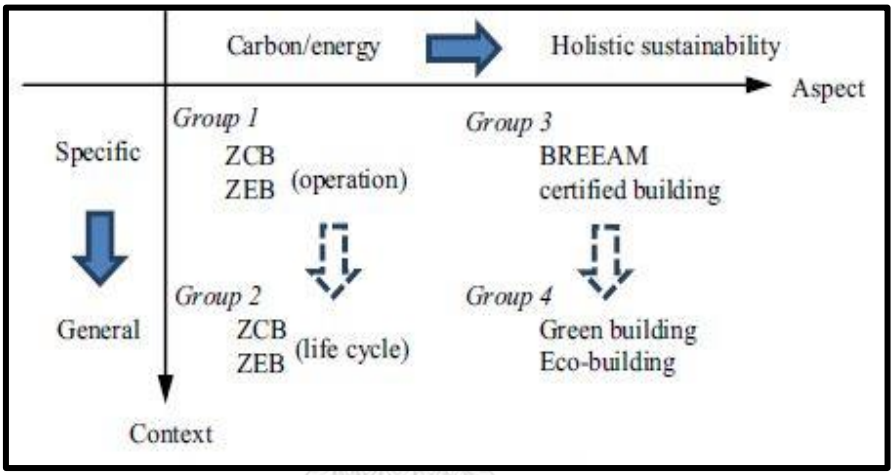
เนื่องจากคำจำกัดความที่หลากหลายเกี่ยวกับแนวคิดของอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความซับซ้อนในการการทำความเข้าใจ จึงมีการศึกษาเพื่อให้เห็นข้อแตกต่างในแต่ละแนวความคิด โดยได้แบ่งแนวความคิดเกี่ยวกับอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ออกเป็น 4 กลุ่ม บนมิติพื้นฐาน 2 ด้าน ได้แก่ มิติด้านลักษณะหรือแนวคิด (Aspect) และมิติด้านรายละเอียดเนื้อหา (Context) ดังแสดงให้เห็นใน รูปที่ 2-5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีความจำเพาะในเนื้อหาเกี่ยวกับคาร์บอน และพลังงาน เช่น ด้านคาร์บอน ได้แก่ ZCB และ Zero Emission Building และด้านพลังงานเช่น ZEB และ nearly ZEB

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีขอบเขตเนื้อหากว้างขึ้นมาจากกลุ่มที่1 ทั้งด้านคาร์บอน และพลังงาน เช่น Lifecycle ZCB และ ZEB

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีขอบเขตในด้านแง่คิดการประเมินที่ไม่ใช่แค่เพียงเกี่ยวกับ คาร์บอน และพลังงานแต่ยังมีความจำเพาะในด้านเนื้อหา เช่น อาคารที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน BREEAM ของประเทศอังกฤษ

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่มีขอบเขตในด้านแง่คิดการประเมินที่ไม่ใช่แค่เพียงเกี่ยวกับ คาร์บอน และพลังงาน และเป็นกลุ่มที่มีขอบเขตด้านเนื้อหาที่กว้างขึ้น เช่น Green Building และ Eco-Building



รูปที่ 0-7 รูปแบบการจัดหมวดหมู่อาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ในแต่ละข้อกำหนด

ที่มา: การศึกษาขอบเขตของอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ (Wei Pan, 2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 มาตรฐานอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.5.1 เกณฑ์มาตรฐานอาคารที่อยู่อาศัยแบบยั่งยืน (Code for Sustainable Homes)

Code for Sustainable Homes คือมาตรฐานสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยใหม่ที่มีการกำหนดระดับของประสิทธิภาพการใช้งานอาคารตามผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งมาตรฐานนี้ได้รับพัฒนามาจากเกณฑ์มาตรฐานอาคารควบคุม (Regulation Building) ของอังกฤษและเวลส์ ที่เป็นมาตรฐานที่ให้ความสำคัญมากกว่าแค่ในเรื่องของการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนออกไซด์จากอาคาร โดยตัวชี้วัดของการประเมินจะประกอบด้วย 9 ด้านดังนี้

1) ด้านการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์
2) ด้านการใช้น้ำ
3) ด้านวัสดุ
4) ด้านน้ำไหลล้นผิวดิน

5) ด้านขยะของเสีย

6) ด้านมลพิษ

7) ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่

8) ด้านการบริหารจัดการอาคาร

9) ด้านระบบนิเวศน์

ส่วนเกณฑ์ระดับการให้การรับรองจะประกอบไปด้วย 6 ระดับแบ่งตามระดับความสามารถในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ดังในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 0-2 ระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน Code for Sustainable Home

ระดับ	**ความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเทียบกับมาตรฐานอาคารควบคุม Part L(2006)**
1	ร้อยละ 10
2	ร้อยละ 18
3	ร้อยละ 25
4	ร้อยละ 44
5	ร้อยละ 100
6	“Net Zero Carbon”

ที่มา: ปรับปรุงจาก Climate Change Toolkit, Low Carbon Standards and Assessment Methods, RIBA (2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับเกณฑ์ในระดับที่ 1-5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถลดได้จะเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่า Target Emission Rate: TER หรือ ค่าอัตราการปล่อยเป้าหมายของมาตรฐานอาคารควบคุม Part L1A โดยที่ค่า TER จะคำนวณออกมาโดยคิดเฉพาะปริมาณการปล่อยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานสำหรับ การทำความร้อน การทำน้ำร้อน และระบบแสงสว่างภายในอาคาร ส่วนเกณฑ์ระดับ 6 จะทำการคำนวณค่า TER โดยการคิดครอบคลุมถึงการใช้พลังงานทั้งหมดรวมถึงการใช้พลังงานสำหรับการทำอาหารและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ด้วย

2.5.2 เกณฑ์มาตรฐาน BREEAM

The Building Research Establishment Environmental Assessment Method หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า มาตรฐาน BREEAM เป็นวิธีการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมอาคารของอังกฤษที่เป็นโครงการแบบสมัครใจสำหรับการประเมินและการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในอาคาร โดยอาคารที่สามารถเข้าร่วมโครงการการประเมินนี้ได้ มีหลายประเภท เช่น อาคารสำนักงาน อาคารสถาบันการศึกษา ห้างขายปลีก โรงงาน เรือนจำ โบสถ์ และอาคารที่พักอาศัยแบบหลายชั้น เป็นต้น โดยโครงการประเมินนี้จะใช้ระบบแบบการให้คะแนนตามเกณฑ์ที่สามารถทำได้ในแต่ละด้าน ดังนี้

1) ด้านระบบบริหารจัดการอาคาร
2) ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่
3) ด้านพลังงาน
4) ด้านการขนส่ง
5) ด้านการใช้น้ำ
6) ด้านวัสดุ
7) ด้านขยะของเสีย
8) ด้านพื้นที่และระบบนิเวศน์
9) ด้านมลพิษ

ซึ่งในแต่ละด้านทางโครงการ การประเมินของมาตรฐาน BREEAM ก็ได้กำหนดสัดส่วนการให้คะแนน (Weighting) ตามความเหมาะสมในแต่ละขอบเขต ดังในตารางที่ 2-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0-3 สัดส่วนการให้คะแนนของเกฑณ์มาตรฐาน BREEAM

หัวข้อการประเมิน	สัดส่วนการให้คะแนน
ด้านระบบบริหารจัดการอาคาร	ร้อยละ 12
ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่	ร้อยละ 15
ด้านพลังงาน	ร้อยละ 19
ด้านการขนส่ง	ร้อยละ 8
ด้านการใช้น้ำ	ร้อยละ 6
ด้านวัสดุ	ร้อยละ12.5
ด้านขยะของเสีย	ร้อยละ 7.5
ด้านพื้นที่และระบบนิเวศน์	ร้อยละ 10
ด้านมลพิษ	ร้อยละ 10

ที่มา: ปรับปรุงจาก Climate Change Toolkit, Low Carbon Standards and Assessment Methods, RIBA (2009)

ส่วนเกณฑ์ในการให้การรับรองของมาตรฐาน BREEAM จะแบ่งตามคะแนนที่สามรถทำได้ในแต่ละด้านดังในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 0-4 ระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน BREEAM

ระดับการรับรอง	คะแนน
Pass	มากกว่าหรือเท่ากับ 30
Good	มากกว่าหรือเท่ากับ 45
Very Good	มากกว่าหรือเท่ากับ 55
Excellent	มากกว่าหรือเท่ากับ 70
Outstanding	มากกว่าหรือเท่ากับ 85

ที่มา: ปรับปรุงจาก Climate Change Toolkit, Low Carbon Standards and Assessment Methods, RIBA (2009)

Chulalongkorn University

2.5.3 เกณฑ์มาตรฐาน LEED

LEED หรือ Leadership in Energy and Environmental Design ถูกพัฒนาขึ้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้ในระบบการจัดระดับอาคารเขียวที่เป็นโครงการหรือมาตรฐานแบบสมัครใจสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืนในอาคาร โดยวัตถุประสงค์ของมาตรฐาน LEED คือ

- ประเมินและให้การรับรองการเป็นอาคารเขียว โดย การสร้างเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจวัดขึ้นมา
- เป็นการส่งเสริมแบบการบูรณาการด้านทักษะการออกแบบอาคาร
- สร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมที่เป็นผู้นำด้านการก่อสร้าง
- กระตุ้นเพื่อให้เกิดการแข่งขันที่เป็นสีเขียว
- สร้างความตระหนักให้กับผู้บริโภคถึงประโยชน์ของการเป็นอาคารเขียว
- เปลี่ยนแปลงระบบตลาดอาคาร

โดยในมาตรฐาน LEED จะมีแนวทางสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของอาคาร เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่มีความยั่งยืน ซึ่งปัจจุบันทางมาตรฐาน LEED ได้จัดทำแนวทางการประเมินตามกลุ่มประเภทอาคารหรือลักษณะโครงการออกเป็น 6 รูปแบบ ดังนี้

1) LEED-NC: New commercial construction and major renovation projects สำหรับประเมินอาคารที่สร้างใหม่ หรืออาคารที่ปรับปรุงใหญ่ โดยออกแบบสำหรับอาคารสำนักงานเป็นหลัก แต่สามารถใช้กับอาคารประเภทอื่นๆ ได้ด้วย เช่น สรรพสินค้า โรงแรม โรงงาน เป็นต้น

2) LEED-EB: Existing building operations สำหรับอาคารที่สร้างเสร็จแล้วที่ต้องการดูแลรักษาอาคารให้เป็นอาคารเขียว

3) LEED-CI: Commercial interiors projects เป็นแนวทางการตกแต่งภายในสำหรับผู้เช่าอาคารและผู้ออกแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) LEED-CS: Core and shell projects สำหรับอาคารที่ผู้ประกอบการจะสร้างแต่เปลือกอาคารคือกรอบผนังภายนอกและหลังคา และส่วนที่เป็นแกนบริการของอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ก็คือลิฟต์ บันไดและช่องท่อต่างๆ นั่นเอง แล้วทำการตลาดเพื่อขายหรือให้เช่าพื้นที่ภายใน โดยผู้เช่าจะเป็นผู้มาตกแต่งกั้นพื้นที่ภายในเอง

5) LEED-H: Homes สำหรับบ้านและอาคารพักอาศัยรวม

6) LEED-ND: Neighbourhood Development สำหรับการวางผังชุมชน

สำหรับการประเมินในแต่ละด้านของมาตรฐาน LEED จะทำการประเมินและให้คะแนนในแต่ละด้านดังนี้

1) ด้านพื้นที่ตั้งอาคารและการขนส่ง

2) ด้านความยั่งยืนของพื้นที่

3) ด้านประสิทธิภาพการบริโภคน้ำ

4) ด้านพลังงานและบรรยากาศ

5) ด้านวัสดุและทรัพยากร

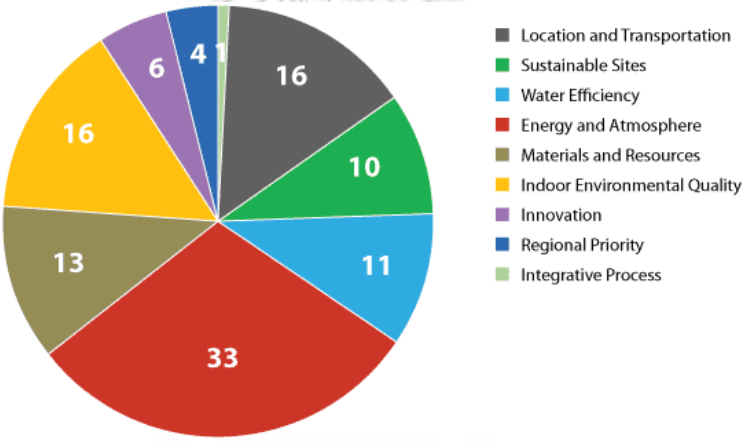
6) ด้านสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

7) ด้านนวัตกรรม

8) ด้านการจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่

9) ด้านกระบวนการบรูณาการ

สำหรับการแบ่งสัดส่วนการให้คะแนนในแต่ละด้านของมาตรฐาน LEED สามารถแบ่งได้ดังในรูปที่ 2-6



รูปที่ 0-8 สัดส่วนการให้คะแนนของมาตรฐาน LEED

ที่มา: USBC, 2013

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

และสำหรับระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน LEED ตามคะแนนที่สามารถทำได้ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังรูปที่ 2-7

40-49 50-59 60-79 80+ คะแนน

รูปที่ 0-9 ระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน LEED

ที่มา: USBC, 2013

2.5.4 เกณฑ์มาตรฐาน CASBEE

มาตรฐาน CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) คือ วิธีการสำหรับการประเมินและการจัดอันดับศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร และครอบคลุมถึงคุณสมบัติของอาคาร เช่น คุณลักษณะด้านความสะดวกสบายภายใน และสุนทรียะที่เหมาะสม โดยมีการคำนึงถึงการดำเนินการทางสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ช่วยในการอนุรักษ์การใช้พลังงาน และการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติให้น้อยที่สุด มาตรฐาน CASBEE ถูกพัฒนาโดย คณะกรรมการวิจัยในปี ค.ศ. 2001 บนพื้นฐานของหลักการ 3 หลักการ ได้แก่ 1) การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 2) การประเมินคุณภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร 3) การประเมินบนพื้นฐานการพัฒนาตัวชี้วัดใหม่ๆ ด้านการสร้างสร้างสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือในการประเมินของมาตฐาน CASBEE จะแบ่งออกตามประเภทของโครงการได้ 4 ระดับ ดังนี้

1) CASBEE สำหรับระบบบ้านที่อยู่อาศัย (Housing System) ประกอบด้วย CASBEE สำหรับ Detached House (New Construction) และCASBEE สำหรับ Detached House (Existing Building)

2) CASBEE สำหรับระบบอาคาร (Building System) ประกอบด้วย CASBEE สำหรับ Building (New Construction), CASBEE สำหรับ Building (Existing Building), CASBEE สำหรับ Building (Renovation), CASBEE สำหรับ Municipality และCASBEE สำหรับ School

3) CASBEE สำหรับระบบชุมชนเมือง (Urban System) ประกอบด้วย CASBEE สำหรับ Urban Development และCASBEE สำหรับ Community Health Checklist

4) CASBEE สำหรับระบบเมืองขนาดใหญ่ (City system) ประกอบด้วย CASBEE สำหรับ Cities

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์มาตรฐาน CASBEE จะประกอบไปด้วยหมวดการประเมินเพื่อรับการรับรองทั้งหมดจำนวน 2 หมวดหลัก ได้แก่

หมวดที่ 1 Q: หมวดคุณภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารประกอบด้วย

Q1 Indoor Environment

Q2 Quality of Service

Q3 Outdoor Environment (On-site)

หมวดที่ 2 LR: หมวดการลดภาระทางสิ่งแวดล้อมของอาคารประกอบด้วย

LR1 Energy

LR2 Resources & Materials

LR3 Off-site Environment

สำหรับการแบ่งสัดส่วนการให้ความสำคัญในแต่ละด้านของมาตรฐาน CASBEE จะแบ่งสัดส่วนในแต่ละด้านโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วน (Weighting Coefficient) ในการคำนวณผลกระทบในแต่ละด้านดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 0-5 ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนการประเมินของมาตรฐาน CASBEE ในแต่ละหมวดหมู่

หมวดหมู่การประเมิน	ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วน (Weighting Coefficient)
Q1 Indoor Environment	0.4
Q2 Quality of Service	0.3
Q3 Outdoor Environment (On-site)	0.3
LR1 Energy	0.4
LR2 Resources & Materials	0.3
LR3 Off-site Environment	0.3

ที่มา: ปรับปรุงจากคู่มือ CASBEE for New Construction (2014)

ส่วนระดับการให้การรับรองของมาตรฐาน CASBEE จะแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

- Excellent (S)
- Very Good (A)
- Good (B+)
- Fairly Poor (B-)
- Poor (C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.5 เกณฑ์มาตรฐาน TREEs

มาตรฐาน TREEs หรือ Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นโดยสถาบันอาคารเขียวของไทยเพื่อการประเมินความยั่งยืนทางพลังงาน และสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคาร โดยทางสถาบันอาคารเขียวได้จัดทำแนวทางการประเมินซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แนวทางตามกลุ่มประเภทอาคาร ได้แก่

1) TREEs EB+OM: Operation and Maintenance สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน

2) TREEs NC/CS: New Construction and Major Renovation สำหรับอาคารก่อสร้างและโครงการปรับปรุงใหม่

เกณฑ์มาตรฐาน TREEs จะประกอบไปด้วยหมวดการประเมินเพื่อให้เป็นอาคารเขียวทั้งหมด จำนวน 8 หมวด ได้แก่

หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Building Management)

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape)

หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (Water Conservation)

หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง(Materials and Resources)

หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร(Indoor Environmental Quality)

หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(Environmental Protection)

หมวดที่ 8 นวัตกรรม (Green Innovation)

เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) ถูกออกแบบให้เหมาะกับลักษณะของโครงการประเภทต่าง ๆ ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า สำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารระหว่างการใช้งาน หรือ TREES-EB เป็นเกณฑ์ที่มุ่งเน้นสำหรับอาคารที่มีการใช้งานจริงแล้วเป็นหลัก ตัวอาคารควรมีการใช้งานที่คงที่ และเสถียรแล้ว เนื่องจากต้องมีการใช้ข้อมูลจริงทั้ง จากผู้ใช้อาคารและข้อมูลทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่วัดได้จริงจากโครงการที่เข้าร่วมโครงการ เกณฑ์ TREES-EB ไม่เหมาะกับอาคารที่ออกแบบและก่อสร้างใหม่ หรือมีการปรับปรุงอาคาร เนื่องจากเกณฑ์จะเน้นการเก็บข้อมูลจากอาคารจริง อย่างไรก็ดีอาจจำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารบ้างเพื่อให้สามารถผ่านการทำคะแนนในข้อบังคับ และข้อคะแนนปกติได้ ลักษณะการประเมินด้วยเกณฑ์ TREES จะเป็นการประเมินด้วยการทำคะแนนในแต่ละหัวข้อคะแนน ซึ่งจะมีลักษณะหัวข้อคะแนนอยู่ 2 จำพวก กลุ่มแรก คือ คะแนนหัวข้อบังคับ หรือ Prerequisite ซึ่งผู้เข้าร่วมประเมินต้องผ่านการประเมินทุกหัวข้อคะแนน ซึ่งใน TREES-EB นี้จะมีหัวข้อบังคับ 5 หัวข้อ โดยหากไม่ผ่านเกณฑ์คะแนนข้อใดข้อหนึ่งในกลุ่มนี้จะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ TREES นั้นเลย กลุ่มคะแนนหัวข้อบังคับจะต่างกับอีกกลุ่มที่มีการวัดด้วยระดับคะแนน ซึ่งมีคะแนนมากน้อยแตกต่างกันไปตามลำดับความสำคัญ ในกลุ่มนี้จะมีคะแนนรวมถึง 100 คะแนน เมื่อผ่านคะแนนข้อบังคับทั้ง 5 แล้ว การทำคะแนนได้มากน้อยจะเป็นตัวตัดสินระดับรางวัลที่จะได้รับ ใน TREES-EB ได้แบ่งระดับรางวัลออกเป็น 4 ระดับ ตามช่วงคะแนน ได้แก่

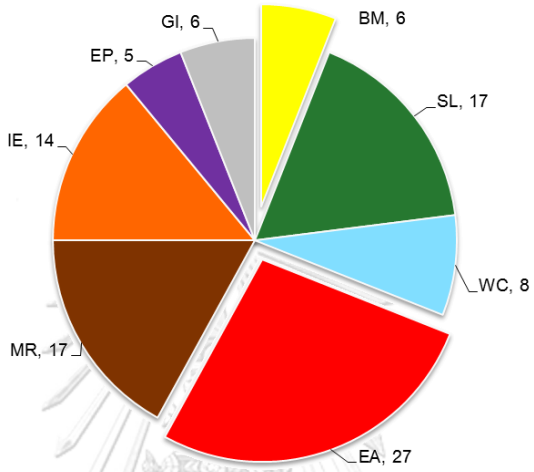
1) ระดับ PLATINUM 75 คะแนน ขึ้นไป

2) ระดับ GOLD 55-74 คะแนน

3) ระดับ SILVER 45-54 คะแนน

4) ระดับ CERTIFIED 35-44 คะแนน

ทุกระดับต้องผ่านคะแนนข้อบังคับ 5 ข้อจากคะแนนเต็ม 100 คะแนน และ 5 คะแนนข้อบังคับของ TREES-EB สามารถแบ่งเป็นหมวดหลัก 8 หมวดหลัก ได้แก่ 1) การบริหารจัดการอาคาร (BM) 2) ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (SL) 3) การประหยัดน้ำ(WC) 4) พลังงานและบรรยากาศ (EA) 5) วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (MR) 6) คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (IE) 7) การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EP) และ 8) นวัตกรรม (GI) ซึ่งในแต่ละหมวดสามารถแบ่งเป็นสัดส่วนคะแนนได้ดัง รูปที่ 2-8



รูปที่ 0-10 สัดส่วนการให้คะแนนของมาตรฐาน TREEs

ที่มา: สถาบันอาคารเขียวไทย, 2554

2.5.6 มาตรฐานโรงแรมสีเขียว

2.5.6.1 มาตรฐานโรงแรมแบ่งตามระดับดาวของประเทศไทย

กรมการท่องเที่ยวร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น มูลนิธิมาตรฐานโรงแรมไทย กรมการปกครอง การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย พัฒนามาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวและนำเข้าสู่กระบวนการตรวจประเมินและรับรองมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยปัจจุบันได้จัดทำรูปเล่มหนังสือมาตรฐานเป็น 2 เล่มคือ มาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวประเภทโรงแรม เล่ม 1 ระดับ 5 ดาว รหัสมาตรฐาน มทท 202 เล่ม 1: 2557 Accommodation Standard for Tourism (Hotel) Part 1: 5 Stars, TTS 202 Part 1: 2014) มาตรฐานโรงแรมฉบับนี้เป็นฉบับปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาเกณฑ์และตัวชี้วัดมาตรฐานโรงแรมระดับ 5 ดาวที่ไม่สอดคล้องกับมาตรฐานของต่างประเทศและเพื่อลดการใช้ดุลยพินิจของคณะกรรมการตรวจประเมิน โดยคณะทำงานปรับปรุงมาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวได้ประชุมหารือและกำหนดเกณฑ์และดัชนีชี้วัดที่ควรมี รวมถึงค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักสำหรับ

มาตรฐานโรงแรมระดับ 5 ดาว ซึ่งประกอบด้วย 12 หมวด 45 เกณฑ์ 499 ตัวชี้วัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

หมวดที่1 สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม สิ่งก่อสร้างทั่วไปและที่จอดรถ (3)

หมวดที่ 2 โถงต้อนรับ ห้องน้ำสาธารณะ ลิฟท์และทางสัญจรภายในอาคาร (3)

หมวดที่ 3 ห้องพักแบบ Standard (รวมการเดินระเบียง และห้องน้ำ) (4)

หมวดที่ 4 ห้องพักแบบ Suite และ Executive Floor (2)

หมวดที่ 5 ห้องอาหาร คอฟฟี่ช็อป บาร์และครัว (2.5)

หมวดที่ 6 ส่วนบริการด้านสันทนาการ และสระว่ายน้ำ (2)

หมวดที่ 7 ส่วนบริการด้านธุรกิจ : ห้องประชุมและ Business Center (1.5)

หมวดที่ 8 บุคลากรและการบริการ (3)

หมวดที่ 9 ระบบความปลอดภัย ในพื้นที่ทั่วไป (3)

หมวดที่ 10 ทรัพยากรและชุมชนแวดล้อมและส่วนสนับสนุนการบริการ (2.5)

หมวดที่ 11 ส่วนของพนักงาน (1.5)

หมวดที่ 12 คุณลักษณะเสริมอื่นๆ (1)

มาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวประเภทโรงแรม เล่ม 2 ระดับ 1–4 ดาว รหัสมาตรฐาน มทท 202 เล่ม 2: 2557 [Accommodation Standard for Tourism (Hotel) Part 2: 1–4 Stars, TTS 202 Part 2: 2014] แบ่งออกเป็น 4 มาตรฐานตามระดับดาว ได้แก่

1) มาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยว ประเภทโรงแรม ระดับ 4 ดาวประกอบด้วย 12 หมวด 45 เกณฑ์ 365 ตัวชี้วัด ได้แก่

หมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม สิ่งก่อสร้างทั่วไปและที่จอดรถ

หมวดที่ 2 โถงต้อนรับ ห้องน้ำสาธารณะ ลิฟท์และทางสัญจรภายในอาคาร

หมวดที่ 3 ห้องพักแบบ Standard (รวมการเดินระเบียง และห้องน้ำ)

หมวดที่ 4 ห้องพักแบบ Suite

หมวดที่ 5 ห้องอาหาร คอฟฟี่ช็อป บาร์และครัว

หมวดที่ 6 ส่วนบริการด้านสันทนาการ (สระว่ายน้ำ)

หมวดที่ 7 ส่วนบริการด้านธุรกิจ : ห้องประชุมและ Business Center

หมวดที่ 8 บุคลากรและการบริการ

หมวดที่ 9 ระบบความปลอดภัย ในพื้นที่ทั่วไป

หมวดที่ 10 ทรัพยากรและชุมชนแวดล้อม

หมวดที่ 11 ส่วนของพนักงาน

หมวดที่ 12 คุณลักษณะเสริมอื่นๆ

2) มาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยว ประเภทโรงแรม ระดับ 3 ดาว ประกอบด้วย 9 หมวด 33 เกณฑ์ 232 ตัวชี้วัด ได้แก่

หมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม สิ่งก่อสร้างทั่วไปและที่จอดรถ

หมวดที่ 2 โถงต้อนรับ ห้องน้ำสาธารณะ ลิฟท์และทางสัญจรภายในอาคาร

หมวดที่ 3 ห้องพักแบบ Standard (รวมการเดินระเบียง และห้องน้ำ)

หมวดที่ 5 ห้องอาหาร คอฟฟี่ช็อป บาร์และครัว

หมวดที่ 8 บุคลากรและการบริการ

หมวดที่ 9 ระบบความปลอดภัย ในพื้นที่ทั่วไป

หมวดที่ 10 ทรัพยากรและชุมชนแวดล้อม

หมวดที่ 11 ส่วนของพนักงาน

หมวดที่ 12 คุณลักษณะเสริมอื่นๆ

3) มาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยว ประเภทโรงแรม ระดับ 2 ดาว ประกอบด้วย 8 หมวด 29 เกณฑ์ 168 ตัวชี้วัด ได้แก่

หมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม สิ่งก่อสร้างทั่วไปและที่จอดรถ

หมวดที่ 2 โถงต้อนรับ ห้องน้ำสาธารณะ ลิฟท์และทางสัญจรภายในอาคาร

หมวดที่ 3 ห้องพักแบบ Standard (รวมการเดินระเบียง และห้องน้ำ)

หมวดที่ 5 ห้องอาหาร คอฟฟี่ช็อป บาร์และครัว

หมวดที่ 8 บุคลากรและการบริการ

หมวดที่ 9 ระบบความปลอดภัย ในพื้นที่ทั่วไป

หมวดที่ 10 ทรัพยากรและชุมชนแวดล้อม

หมวดที่ 11 ส่วนของพนักงาน

4) มาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยว ประเภทโรงแรม ระดับ 1 ดาว ประกอบด้วย 8 หมวด 28 เกณฑ์ 154 ตัวชี้วัด ได้แก่

หมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม สิ่งก่อสร้างทั่วไปและที่จอดรถ

หมวดที่ 2 โถงต้อนรับ ห้องน้ำสาธารณะ ลิฟท์และทางสัญจรภายในอาคาร

หมวดที่ 3 ห้องพักแบบ Standard (รวมการเดินระเบียง และห้องน้ำ)

หมวดที่ 5 ห้องอาหาร คอฟฟี่ช็อป บาร์และครัว

หมวดที่ 8 บุคลากรและการบริการ

หมวดที่ 9 ระบบความปลอดภัย ในพื้นที่ทั่วไป

หมวดที่ 10 ทรัพยากรและชุมชนแวดล้อม

หมวดที่ 11 ส่วนของพนักงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.6.2 มาตรฐานสถานประกอบการที่พักสีเขียว (Green Accommodation)

ศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้จัดทำคู่มือเกณฑ์มาตรฐานสถานประกอบการที่พักสีเขียว สำหรับสถานประกอบการที่พัก ซึ่งเป็นการจัดทำมาตรฐานที่มีความเหมาะสมต่อสภาพพื้นที่ และการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ส่งผลต่อการดูแลรักษาและใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน เพื่อคงคุณค่าความเป็นธรรมชาติ และส่งเสริมสิ่งแวดล้อมของแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ต่างๆ โดยมีปัจจัยในการพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานสถานประกอบการที่พักสีเขียว (Green Accommodation) ประกอบด้วย

1) ปัจจัยหลัก (Core Factors) ที่ใช้ในการประเมินและพิจารณาสถานประกอบการที่พักในทุกพื้นที่ ทุกขนาด และทุกประเภทที่เข้าร่วมโครงการ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานที่มีความสอดคล้องกับแนวทางในการจัดการโดยทั่วไป หรือมีหลักเกณฑ์กำหนดตามกฎหมายเป็นสำคัญ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 หมวด

หมวดที่ 1: การจัดการสภาพแวดล้อมทางกายภาพและสิ่งอำนวยความสะดวก ประกอบด้วย

- การออกแบบและก่อสร้างอาคาร
- การเดินทางเข้าถึงสถานประกอบการที่สะดวกและปลอดภัย
- การจัดการสภาพแวดล้อมพื้นฐานของสถานประกอบการ
- การปฏิบัติตามกฎหมายอย่างเคร่งครัดในการใช้พื้นที่และอาคาร
- การจัดให้มีที่จอดรถที่เพียงพอและปลอดภัย
- การจัดภูมิทัศน์ของพื้นที่
- การจัดให้มีการบริการที่หลากหลายและระบบสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ

หมวดที่ 2: การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร ประกอบด้วย

- การประหยัดพลังงาน
- การจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ
- การจัดการระบายน้ำ
- การบำบัดน้ำเสีย
- การจัดการขยะมูลฝอย
- การจัดการอากาศและเสียง
- การจัดการด้านสาธารณสุขและการส่งเสริมสุขภาพ
- การจัดการป้องกันและระงับอัคคีภัย
- การรักษาความปลอดภัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมวดที่ 3 : การจัดการด้านสังคมและการมีส่วนร่วมของท้องถิ่น

- การเป็นส่วนหนึ่งของท้องถิ่น
- การมีส่วนร่วมเป็นสมาชิกที่ดีของชุมชน
- ภาพลักษณ์การบริหารจัดการธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2) ปัจจัยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ (Area Base Specific Factors) ซึ่งเป็นเกณฑ์พิจารณาอันเนื่องมาจากความแตกต่างของสถานที่ตั้งโครงการ ซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อม สภาพธรรมชาติและคุณค่าของแหล่งท่องเที่ยว โดยปัจจัยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติประเภทชายหาด ทะเล และเกาะ
- แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติประเภทภูเขาและป่าไม้
- พื้นที่แหล่งท่องเที่ยวประเภทประวัติศาสตร์ โบราณคดี และวัฒนธรรม

2.5.6.3 มาตรฐานโรงแรมสีเขียวกลุ่มอาเซียน (ASEAN Green Hotel Standard)

มาตรฐานโรงแรมเขียว (ASEAN Green Hotel Standard) ที่จัดทำขึ้นโดย The ASEAN Secretariat Public Outreach and Civil Society Division เพื่อยกระดับกระบวนการ ให้การรับรองมาตรฐานโรงแรมเขียวสำหรับประเทศในกลุ่มอาเซียน พร้อมทั้งเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพลังงานในอุตสาหกรรมที่พักอาศัย โดยมาตรฐานนี้จะเป็นตัวกำหนดการดำเนินการด้านโรงแรมเขียวอย่างเป็นมืออาชีพ เช่น การวางแผนทางด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ผลิตภัณฑ์สีเขียว การจัดการทรัพยากรมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ชุมชมสามารถอยู่ร่วมกับสิ่งแวดล้อมได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบหรือเกิดผลกระทบที่น้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>เกณฑ์และข้อกำหนดที่สำคัญ</u>

1) มาตรฐานสำหรับการรับรองคุณภาพของแนวทางและผู้เชี่ยวชาญในองค์กร

1.1) ส่งเสริมกิจกรรมและการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างแรงจูงใจในการมีส่วนร่วมของพลังงานโรงแรม ลูกค้า และผู้ผลิต

1.2) การวางแผนเพิ่มความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมให้กับพนักงาน เช่น การฝึกอมรบ

1.3) มีแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับการดำเนินการของโรงแรม

1.4) มีโปรแกรมหรือระบบในการติดตามตรวจสอบสำหรับการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมของโรงแรม

2) การใช้ผลิตภัณฑ์สีเขียว

2.1) การส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ในพื้นที่ เช่น อาหาร และหัตถกรรมชุมชุน

2.2) การส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

3) การทำงานร่วมกันกับองค์กรท้องถิ่นในชุมชน

3.1) การมีแผนงาน หรือกิจกรรมเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพชีวิตของชุมชน

3.2) การมีโปรแกรมสำหรับการสร้างจิตสำนึกให้กับชุมชนท้องถิ่นในการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม

3.3) การสร้างกิจกรรมในการส่งเสริมวัฒนธรรมและการแสดงแบบดั้งเดิมและวิถีชีวิตท้องถิ่น

3.4) การสร้างโอกาสในการทำงานสำหรับชุมชนท้องถิ่น

4) การพัฒนาบุคลากรการจัดโครงการฝึกอบรมพนักงานและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม

5) การจัดการขยะมูลฝอย

5.1) การแนะนำเทคนิคการจัดการขยะ การลดของเสียการใช้ซ้ำการรีไซเคิลการแยกขยะและการทำปุ๋ยหมัก

5.2) การสนับสนุนให้พนักงานของโรงแรมมีส่วนร่วมในการลดขยะนำกลับมาใช้ใหม่การรีไซเคิลการแยกขยะและการทำปุ๋ยหมัก

5.3) การสนับสนุนให้ผู้เข้าพักของโรงแรมมีส่วนร่วมในการนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิลและการแยกขยะ

6) ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

6.1) การแนะนำเทคนิคการประหยัดพลังงานและ/หรือเทคโนโลยีและ

7) มีพื้นที่สูบบุหรี่และห้ามสูบบุหรี่

8) การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกของโรงแรมอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มั่นใจถึงคุณภาพอากาศ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ

9) การควบคุมมลพิษทางเสียงจากการดำเนินงานของโรงแรมด้วยโปรแกรมควบคุมเสียง

10) ระบบการจัดการและบำบัดน้ำเสีย

10.1) การใช้กลไกในการป้องกันการปนเปื้อนของน้ำและลดการผลิตน้ำเสีย

10.2) การส่งเสริมการใช้น้ำรีไซเคิลในการดำเนินงาน เช่น การนำมารดน้ำต้นไม้

10.3) การส่งเสริมการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม

11) การจัดการสารพิษและสารเคมี

11.1) การระบุ หรือมีป้ายแสดงสารที่เป็นพิษอย่างชัดเจน

11.2) การจัดการ และกำจัดขยะอันตรายที่เหมาะสม

11.3) การตรวจสอบทำความสะอาดและบำรุงรักษาเป็นประจำเพื่อจัดเก็บเพื่อหลีกเลี่ยงการรั่วไหลของก๊าซหรือสารเคมีที่เป็นพิษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.7 มาตรฐานมหาวิทยาลัยสีเขียว

หลักเกณฑ์ข้อปฏิบัติสำหรับการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวในการศึกษาหลักเกณฑ์ข้อปฏิบัติในการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ได้ใช้แนวทางจากการศึกษากระบวนการการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวซึ่งดำเนินการโดย University of Indonesia หรือ UI Green metric World University Ranking (2012) ซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์การประเมินไว้ 6 ด้าน ดังนี้

1) ที่ตั้งและโครงสร้างพื้นฐาน (Setting and Infrastructure)

2) การจัดการพลังงานและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Energy and Climate Change)

3) การจัดการของเสีย (Waste Management)

4) การจัดการน้ำ (Water Usage Management)

5) การคมนาคมขนส่ง (Transportation)

6) การศึกษา (Education for Sustainable Environment and Development)

โดยกระบวนการให้คะแนนด้วยเกณฑ์คะแนนเต็มรวม 10,000 คะแนน จากคะแนนเต็มของแต่ละด้านจะมีสัดส่วนคะแนนแตกต่างกัน ประกอบด้วย

ด้านที่ 1 ที่ตั้งและโครงสร้างพื้นฐาน (1,500 คะแนน) แบ่งเป็น

- สัดส่วนพื้นที่เปิด/พื้นที่ทั้งหมด
- สัดส่วนพื้นที่เปิด/จำนวนประชากร
- จำนวนพื้นที่สีเขียวในสภาพที่เป็นป่า
- จำนวนพื้นที่สีเขียวในสภาพที่เป็นสวน สนาม ต้นไม้
- จำนวนพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง/พื้นที่ทั้งหมด
- งบพัฒนาสิ่งแวดล้อม/งบรวมของมหาวิทยาลัย

ด้านที่ 2 การจัดการพลังงานและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (2,100 คะแนน) แบ่งเป็น

- การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงาน
- นโยบายการใช้พลังงานทดแทน
- สัดส่วนจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า/ประชากรทั้งหมด
- โครงการประหยัดพลังงาน
- อาคารสีเขียว
- โครงการลดโลกร้อน
- โครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ด้านที่ 3 การจัดการของเสีย (1,800 คะแนน) แบ่งเป็น

- โครงการเพื่อรณรงค์รีไซเคิลขยะ
- การรีไซเคิลขยะมีพิษ

- การกำจัดขยะอินทรีย์
- การกำจัดขยะอนินทรีย์
- การบำบัดน้ำเสีย
- นโยบายลดการใช้กระดาษและพลาสติก

ด้านที่ 4 การจัดการน้ำ (1,000 คะแนน)

- โครงการประหยัดน้ำ และการใช้น้ำ

ด้านที่ 5 การคมนาคมขนส่ง (1,800 คะแนน)แบ่งเป็น

- จำนวนรถยนต์ที่เข้ามาในมหาวิทยาลัย/จำนวนประชากร
- จำนวนจักรยาน/จำนวนประชากร
- นโยบายเกี่ยวกับการจำกัดจำนวนรถยนต์
- นโยบายเกี่ยวกับการจำกัดหรือลดจำนวนที่จอดรถยนต์
- รถเมล์ขนส่งภายใน
- นโยบายเอื้อต่อการเดินทางและขี่จักรยาน

ด้านที่ 6 การศึกษา (1,800คะแนน) แบ่งเป็น

- จำนวนรายวิชาและหลักสูตรที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม/จำนวนรายวิชาและหลักสูตรทั้งหมดที่เปิดสอน
- จำนวนเงินวิจัยที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมต่อปี (เฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี)/จำนวนเงินวิจัยทั้งหมด (เฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี)
- จำนวนผลงานตีพิมพ์เกี่ยวกับเรื่องสิ่งแวดล้อมต่อปี (เฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี)
- จำนวนงานวิชาการเกี่ยวกับเรื่องสิ่งแวดล้อมต่อปี (เฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี)
- จำนวนองค์กรของนักศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม (300 คะแนน)
- จำนวนของเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับการให้ข้อมูลสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาคาร

พระราชบัญญัติควบคมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้ให้ความหมายของคำว่าอาคารไว้ว่า “อาคาร” หมายความว่า ตึก บ้าน เรือน โรง ร้าน แพ คลังสินค้า สำนักงาน และสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่น ซึ่งบุคคลอาจเขาอยู่หรือเข้าใช้สอยไดและหมายความรวมถึง

1) อัฒจันทร์หรือสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่น เพื่อใช้เป็นที่ชุมนุมของประชาชน

2) เขื่อน สะพาน อุโมงค์ทางหรือท่อระบายน้ำอูเรือคานเรือ ท่าน้ำ ทาจอดเรือรั้วกำแพงหรือประตูที่สร้างขึ้นติดต่อหรือใกล้เคียงกับที่สาธารณะ หรือสิ่งที่สร้างขึ้นให้บุคคลทั่วไปใช้สอย

3) ป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้าย (ก) ที่ติดหรือตั้งไวเหนือที่สาธารณะและมีขนาดเกินหนึ่งตารางเมตร หรือมีน้ำหนักรวมทั้งโครงสร้างเกินสิบกิโลกรัม (ข) ที่ติดหรือตั้งไวในระยะห่างจากที่สาธารณะ ซึ่งเมื่อวัดในทางราบแล้ว ระยะห่างจากที่สาธารณะมีน้อยกว่าความสูงของป้ายนั้น (ค) เมื่อวัดจากพื้นดินและมีขนาดหรือมีน้ำหนักเกิดกว่าที่กำหนดในกฎกระทรวง

4) พื้นที่หรือสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นที่จอดรถ ที่กลับรถ และทางเข้าออกของรถสำหรับอาคารที่กำหนดตามมาตรา 8 (9)

5) สิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ทั้งนี้ให้หมายความรวมถึงส่วนต่างๆ ของอาคารด้วย

<u>อาคารควบควบการอนุรักษ์พลังงาน</u>

ตามประกาศกระทรวงพลังงานว่าด้วยการ กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ซึ่งออกตามความใน พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และ พ.ศ. 2550 (ฉบับที่2) ได้กำหนดให้อาคารที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป กำหนดให้ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงนี้ ซึ่งได้แก่

1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

2) สถานศึกษา

3) สำนักงาน

4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

6) อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

7) อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8) อาคารสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

9) อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

2.7 การแบ่งประเภทของอาคาร

2.7.1 การแบ่งประเภทอาคารตามลักษณะอาคารและการใช้งานอาคาร

ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้แบ่งประเภทอาคารตามลักษณะและการใช้งานไว้ดังนี้

- อาคารอยู่อาศัย หมายความว่า อาคารซึ่งโดยปกติบุคคลใช้อยู่อาศัยได้ทั้งกลางวันและกลางคืน ไม่ว่าจะเป็นการอยู่อาศัยอย่างถาวร หรือชั่วคราว
- ห้องแถว หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างต่อเนื่องกันเป็นแถวยาวตั้งแต่สองคูหาขึ้นไปมีผนังแบ่งอาคารเป็นคูหาและประกอบด้วยวัสดุไม่ทนไฟเป็นส่วนใหญ่
- ตึกแถว หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างต่อเนื่องกันเป็นแถวยาวตั้งแต่สองคูหาขึ้นไปมีผนังแบ่งอาคารเป็นคูหาและประกอบด้วยวัสดุทนไฟเป็นส่วนใหญ่
- บ้านแถว หมายความว่า ห้องแถวหรือตึกแถวที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีที่ว่างด้านหน้าและด้านหลังระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารแต่ละคูหา และมีความสูงของตึกไม่เกินสามชั้น
- บ้านแฝด หมายความว่า อาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยก่อสร้างติดต่อกันสองบ้าน มีผนังแบ่งอาคารเป็นบ้าน มีที่ว่างระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารด้านหน้า ด้านหลัง และด้านข้างของแต่ละบ้าน และมีทางเข้าออกของแต่ละบ้านแยกจากกันเป็นสัดส่วน
- อาคารพาณิชย์ หมายความว่า อาคารที่ใช้เพื่อประโยชน์ในการพาณิชยกรรม หรือบริการธุรกิจ หรืออุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตเทียบได้ไม่เกิน 5 แรงม้าและให้หมายความรวมถึงอาคารอื่นใดที่ก่อสร้างห่างจากถนนหรือทางสาธารณะไม่เกิน 20 เมตร ซึ่งอาจใช้เป็นอาคารเพื่อประโยชน์ในการพาณิชยกรรมได้
- อาคารสาธารณะ หมายความว่า อาคารที่ใช้เพื่อประโยชน์ในการชุมนุมคนได้โดยทั่วไปเพื่อกิจการทางราชการ การเมือง การศึกษา การศาสนา การสังคม การนันทนาการ หรือการพาณิชยกรรม เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด สนามกีฬากลางแจ้ง สถานกีฬาในร่ม ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการ ท่าอากาศยาน อุโมงค์ สะพาน อาคารจอดรถ สถานีรถ ท่าจอดเรือ โป๊ะจอดเรือ สุสาน ฌาปนสถาน ศาสนสถาน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- อาคารพิเศษ หมายความว่า อาคารที่ต้องการมาตรฐานความมั่นคงแข็งแรงและความปลอดภัยเป็นพิเศษ เช่น อาคารดังต่อไปนี้ 1) โรงมหรสพ อัฒจันทร์ หอประชุม หอสมุด หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หรือ ศาสนสถาน 2) อู่เรือ คานเรือ หรือท่าจอดเรือ สำหรับเรือขนาดใหญ่เกิน 100 ตัน 3) อาคารหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสูงเกิน 15 เมตร หรือสะพาน หรืออาคารหรือโครงหลังคาช่วงหนึ่งเกิน 10 เมตร หรือมีลักษณะโครงสร้างที่อาจก่อให้เกิดภยันตรายต่อสาธารณชนได้ 4) อาคารที่เก็บวัสดุไวไฟ วัสดุระเบิด หรือวัสดุกระจายแพร่พิษ หรือรังสี ตามกฎหมายว่าด้วยการนั้น
- อาคารอยู่อาศัยรวม หมายความว่า อาคารหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัยสำหรับหลายครอบครัว โดยแบ่งออกเป็นหน่วยแยกจากกันสำหรับแต่ละครอบครัว
- อาคารขนาดใหญ่ หมายความว่า อาคารที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.00 เมตรขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำ หรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด
- สำนักงาน หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นสำนักงานหรือที่ทำการ
- คลังสินค้า หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นที่สำหรับเก็บสินค้าหรือสิ่งของเพื่อประโยชน์ทางการค้าหรืออุตสาหกรรม
- โรงงาน หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
- โรงมหรสพ หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นสถานที่สำหรับฉายภาพยนตร์ แสดงละคร แสดงดนตรี หรือแสดงมหรสพอื่นใด และมีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดให้สาธารณชนเข้าชมการแสดงนั้น โดยจะมีค่าตอบแทนหรือไม่ก็ตาม
- โรงแรม หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม
- ภัตตาคาร หมายความว่า อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นที่ขายอาหารหรือเครื่องดื่ม โดยมีพื้นที่สำหรับตั้งโต๊ะอาหารไว้บริการภายในอาคารหรือภายนอกอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7.2 การแบ่งประเภทอาคารตามอายุการใช้งาน

แบ่งได้ 3 ประเภทตามประกาศในเทศบัญญัตินครกรุงเทพมหานคร คือ

1) ประเภทอาคารชั่วคราว คือ อาคารที่มีกำหนดเวลารื้อถอน อาคารสนาม หรือ อาคารที่กำหนดอายุใช้งาน 1-5 ปี

2) ประเภทอาคารกึ่งถาวร คือ อาคารที่สร้างขึ้นมีอายุการใช้งานไม่เกิน 15 ปี

3) ประเภทอาคารถาวร เช่น โรงเก็บเครื่องบิน ตึกแถว ตึกที่ทำการและอาคารต่างๆ ที่มีอายุการใช้งานเกิน 15 ปีขึ้นไป

2.7.3 การแบ่งประเภทอาคารตามช่วงเวลาการใช้งาน

ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 แบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ช่วงเวลาใช้งานอาคาร 9 ชั่วโมง (08:00 น.-17:00 น.) ได้แก่ อาคารสถานศึกษา และสำนักงาน

กลุ่มที่ 2 ช่วงเวลาใช้งานอาคาร 12 ชั่วโมง (10:00 น.–22:00 น.) ได้แก่ โรงมหรสพ ศูนย์การค้า อาคารสถานบริการ ห้างสรรพสินค้า และอาคารชุมนุมคน

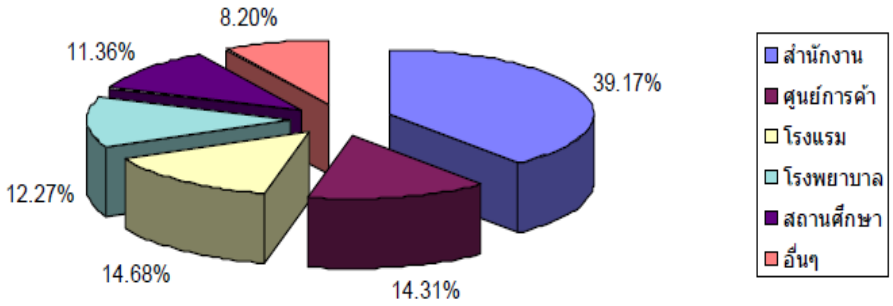
กลุ่มที่ 3: ช่วงเวลาใช้งานอาคาร 24 ชั่วโมง ได้แก่ โรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด

2.8 สัดส่วนของจำนวนอาคารและการใช้พลังงานของอาคารควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8.1 สัดส่วนของจำนวนอาคารควบคุม

ปัจจุบันอาคารที่ควบคุมการใช้พลังงานตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน มีจำนวนทั้งสิ้น 1,866 อาคารทั่วทุกภาคของประเทศ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้จำแนกอาคารควบคุมออกเป็น 6 ประเภท ดังรูปที่ 2-9 ได้แก่ 1) สำนักงาน 2) โรงแรม 3) โรงพยาบาล 4) ศูนย์การค้า 5) สถาบันการศึกษา และ 6) อื่นๆ โดยอาคารสำนักงานนับว่าเป็นอาคารที่มีสัดส่วนจำนวนอาคารมากที่สุดเทียบกับอาคารควบคุมประเภทอื่นๆ จากการรวบรวมข้อมูลจำนวนอาคารที่เข้าข่ายเป็นอาคารควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 พบว่าจากจำนวนอาคารควบคุมทั้งหมดประมาณ 1,866 แห่งที่สรุป ณ วันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2551 จัดเป็นอาคารสำนักงานมากที่สุดโดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 39.17 ของจำนวนอาคารที่เป็นอาคารควบคุมทั้งประเทศ รองลงมาเป็นโรงแรมร้อยละ 14.68 ศูนย์การค้าร้อยละ 14.31 โรงพยาบาล ร้อยละ 12.27 สถานศึกษาร้อยละ 11.36 และอาคารอื่นๆ อีกร้อยละ 8.20

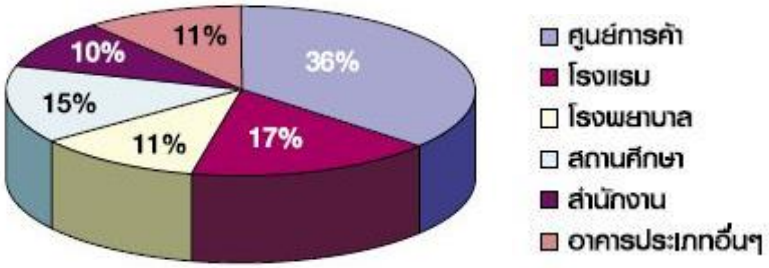


รูปที่ 0-11 สัดส่วนอาคารควบคุมแต่ละประเภทสรุปเมื่อวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2551
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.8.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารควบคุม

2.8.2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามประเภทอาคารธุรกิจ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้สรุปปริมาณการใช้พลังงานของอาคารควบคุมโดยแยกตามประเภทอาคารธุรกิจ ดังรูปที่ 2-10 พบว่าการใช้พลังงานของอาคารศูนย์การค้าเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ ถือว่ามีสัดส่วนที่สูงที่สุด โดยมีปริมาณการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 36 ของปริมาณการใช้ในอาคารควบคุมทั้งหมดรองลงมาเป็นโรงแรมร้อยละ 17 อาคารสถานศึกษาร้อยละ 15 โรงพยาบาลร้อยละ 11 อาคารสำนักงานร้อยละ 10 และอาคารประเภทอื่นๆ ร้อยละ 11



รูปที่ 0-12 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารควบคุม
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่แบ่งเป็นพลังงานประเภท ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง ซึ่งในตารางที่ 2-7 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2550 ของอาคารกลุ่มธุรกิจขนาดใหญ่ทั้งหมด 8 ประเภท

ตารางที่ 0-6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่แยกตามประเภทอาคารในปี 2550

ประเภทอาคาร	**การใช้ไฟฟ้า (GWh)**	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
อาคารสำนักงาน	7,139	37
อาคารห้างสรรพสินค้า	2,351	12
อาคารธุรกิจค้าปลีกและส่ง	2,351	12
โรงแรม	2,339	12
คอนโดมิเนียม	1,303	7
สถานพยาบาล	1,172	6
สถานศึกษา	1,102	6
อาคารทั่วไป	1,365	8
รวม	19,125	100

ที่มา: แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับในด้านการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในส่วนของเชื้อเพลิงได้พิจารณาเฉพาะก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เนื่องจากเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล เป็นต้น มีการใช้น้อยมาก การใช้เชื้อเพลิง LPG แยกตามประเภทอาคารธุรกิจในปี 2550 ดังแสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 0-7 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง LPG ของกลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่แยกตามประเภทอาคารในปี พ.ศ. 2550

ประเภทอาคาร	การใช้เชื้อเพลิง (ktoe)	สัดส่วน (ร้อยละ)
อาคารสำนักงาน	31	12
อาคารห้างสรรพสินค้า	72	28
อาคารธุรกิจค้าปลีกและส่ง	91	36
โรงแรม	32	13
คอนโดมิเนียม	10	4
สถานพยาบาล	8	3
สถานศึกษา	6	3
อาคารทั่วไป	3	1
รวม	254	100

ที่มา: แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน

2.8.2.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามประเภทกิจกรรมหรือระบบต่างๆในอาคาร

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการดำเนินการใช้ (Operating) อาคารต่างๆ ในเขตภูมิอากาศร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็นสามหมวดหลักๆ คือ ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบทำความเย็นปรับอากาศ ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบ แสงสว่าง และไฟฟ้าหรือพลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ ในอาคาร จาก รายงานของ USAID โดย Lawrence Berkley Laboratory ที่ทำให้การพลังงานแห่งชาติ เรื่อง Energy Conservation in Commercial Building ปี พ.ศ. 2528 ได้แสดงการใช้ไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทแยกตามกิจกรรม คือ ระบบทำความเย็น ระบบแสงสว่าง และอื่นๆ เป็นร้อยละของการใช้ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 0-8 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทแยกตามกิจกรรม

ประเภทอาคาร	ระบบทำความเย็น(%)	ระบบแสงสว่าง (%)	ระบบอื่นๆ(%)
สำนักงาน	50.0	25.0	25.0
โรงแรม	61.0	15.3	23.7
ศูนย์การค้า	60.0	25.0	15.0
สถานพยาบาล	77.5	14.7	7.8

ที่มา: วารสาร Engineering Today ปีที่ 1 ฉบับวันที่ 03 มีนาคม 2546

จะเห็นว่า สำหรับอาคารขนาดใหญ่ กระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ไปกับระบบทำความเย็นปรับอากาศถึงครึ่งหนึ่ง หรือมากกว่า (ประมาณร้อยละ 50-75) ลำดับถัดมาได้แก่ ระบบแสงสว่างประมาณร้อยละ 15-25 ขึ้นกับลักษณะกิจกรรมของอาคาร

การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารหน่วยงานราชการ โดยศูนย์อนุรักษ์พลังงาน แห่งประเทศไทยร่วมกับการไฟฟ้านครหลวงและสำนักงบประมาณ ในปีงบประมาณ 2534 พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ ของกลุ่มอาคารในหน่วยงานราชการ ซึ่งแยกตามลักษณะกิจกรรมเป็น ดังตารางที่ 2-10 การใช้ไฟฟ้าของกลุ่มอาคารราชการก็มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ ออกมาในทำนองเดียวกับรายงานของ USAID กล่าวคือมีการใช้ไฟฟ้ามากสุด กว่าครึ่งหรือเกินครึ่งในระบบการทำความเย็น รองลงมาคือในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และท้ายที่สุดในระบบอื่นๆ ดังนั้นการประหยัดและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการดำเนินการ (Operating) อาคารนั้น จะต้องมุ่งเน้นการออกแบบไปที่การลดภาระการทำ ความเย็นและภาระการให้แสงสว่างแก่อาคาร ส่วนไฟฟ้าหรือพลังงานที่ใช้กับส่วนอื่นๆ อันได้แก่ ระบบความร้อน และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ การออกแบบอาคาร คงจะมีบทบาทไม่มากนัก ในการที่จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ คงขึ้นกับเจ้าของอาคาร ผู้ใช้อาคาร และเทคโนโลยีประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ และเครื่องใช้ต่างๆ ในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

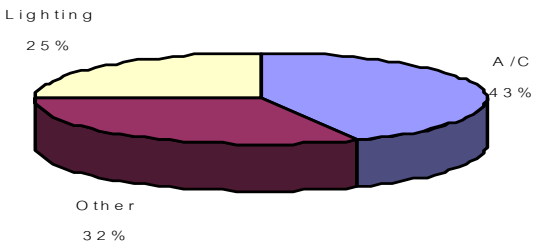
ตารางที่ 0-9 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารหน่วยงาน ราชการ

ประเภทอาคาร	ระบบทำความเย็น(%)	ระบบแสงสว่าง (%)	ระบบอื่นๆ(%)
สำนักงาน	63.0	25.0	12.0
สถานศึกษา	47.0	38.0	15.0
สถานพยาบาล	60.0	22.0	18.0
* ระบบอื่นๆ เช่น มอเตอร์ปั๊มน้ำ ลิฟต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และระบบความร้อนในสถานพยาบาล			

ที่มา: วารสาร Engineering Today ปีที่ 1 ฉบับวันที่ 03 มีนาคม 2546

จากข้อมูลผลการศึกษาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ในโครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารควบคุมแต่ละประเภทมีสัดส่วนดังแสดงในรูปที่ 2-11 ถึงรูปที่ 2-15

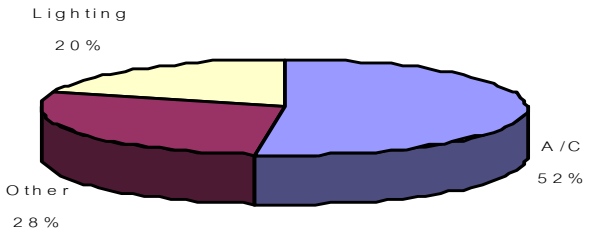
<u>อาคารประเภทศูนย์การค้า</u>



รูปที่ 0-13 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารศูนย์การค้า

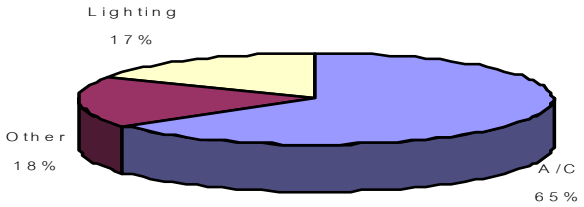
ที่มา: โครงการการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในควบคุม, 2549

อาคารประเภทสำนักงาน



รูปที่ 0-14 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารสำนักงาน
ที่มา: โครงการการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในควบคุม, 2549

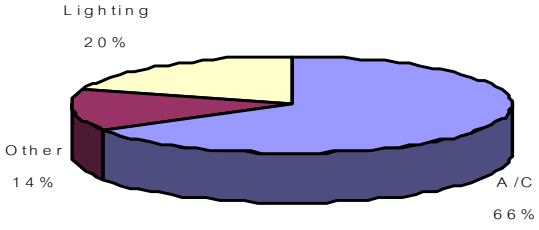
อาคารประเภทโรงพยาบาล



รูปที่ 0-15 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารประเภทโรงพยาบาล
ที่มา: โครงการการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในควบคุม, 2549

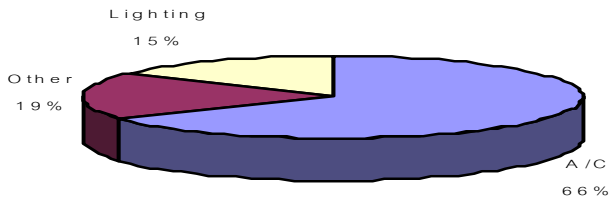
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อาคารประเภทโรงแรม



รูปที่ 0-16 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารประเภทโรงแรม
ที่มา: โครงการการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในควบคุม, 2549

อาคารประเภทสถาบันการศึกษา



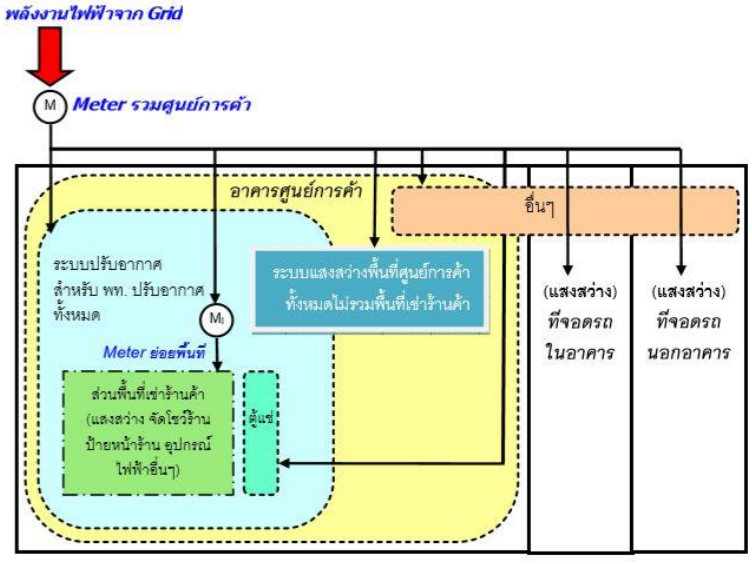
รูปที่ 0-17 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามระบบในอาคารประเภทสถาบันการศึกษา

ที่มา: โครงการการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในควบคุม, 2549

2.9 การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารควบคุม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ทำการศึกษาดัชนีการใช้พลังงานของ อาคารประเภทต่าง ๆ ได้แก่ สำนักงาน ศูนย์การค้า โรงพยาบาล โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยมีรายละเอียดดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภท ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.9.1 รูปแบบและเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า



รูปที่ 0-18 รูปแบบการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภท ศูนย์การค้า ทำการศึกษาโดยจำแนกลักษณะศูนย์การค้า ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ดิสเคาทส์โตร์ (Discount Store) ห้างสรรพสินค้า (Department Store) ช้อปปิ้งพลาซ่า (Shopping Plaza) และซุปเปอร์มาเก็ต (Supermarket) ทั้งนี้ได้คัดเลือกอาคารที่เป็นตัวแทนของแต่ละ กลุ่ม จำานวนรวมทั้งสิ้น 22 อาคาร เพื่อศึกษาดัชนีการใช้พลังงานงานรวม และดัชนีการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ 3 ระบบ ประกอบด้วย ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง และดัชนีการใช้พลังงานในระบบตู้แช่ โดยวิธีการคำานวณดัชนี ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-11

ตารางที่ 0-10 ดัชนีที่ใช้ในการนำเสนอลักษณะการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า

ดัชนีการใช้พลังงาน	สัญลักษณ์	การคำนวณ	หน่วย
1. ดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดไม่รวมพื้นที่จอดรถ	SEC	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดต่อปี ÷ พื้นที่ใช้สอยอาคารไม่รวมพื้นที่จอดรถ	kWh/Yr/m^2
2. ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	SEC-AC_{AREA}	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศต่อปี ÷ พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร	kWh/Yr/m^2
3. ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างต่อพื้นที่ใช้สอย โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถและพื้นที่เช่า	SEC-LT	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแสงสว่างต่อปี ÷ พื้นที่ใช้สอยอาคารไม่รวมพื้นที่จอดรถและไม่รวมพื้นที่เช่า	kWh/Yr/m^2
4. ดัชนีการใช้พลังงานในระบบตู้แช่ต่อปริมาตรตู้แช่	SEC-RF	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในตู้แช่ต่อปี ÷ ปริมาตรตู้แช่	kWh/Yr/m^2

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีการใช้พลังงาน รวมต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารศูนย์การค้าประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 2-12 เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า อ้างอิงค่าเฉลี่ยดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร ศูนย์การค้าแต่ละประเภท โดยตั้งสมมติฐานว่าอาคาร ศูนย์การค้าที่มีดัชนีการใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย ถือว่า เป็นอาคารที่ควรส่งเสริมให้ประหยัดพลังงาน สฎหรับการศึกษานี้พบว่า อาคารควบคุมประเภทศูนย์การค้าที่มีการ ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย มีศักยภาพการ

ประหยัด พลังงานรวมกันถึงประมาณ 310 GWh/ปี หรือคิดเป็น ความสามารถในการลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 15 ของการใช้พลังงานของอาคารควบคุมประเภทศูนย์ การค้าในปัจจุบัน

ตารางที่ 0-11 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า

ประเภท	จำนวนข้อมูล	ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอย (kWh/yr-m^2)	ที่มาข้อมูล
ห้างสรรพสินค้า (Department Store)	169	240.6	ฐานข้อมูล บพอ.1
ดิสเคาท์สโตร (Discount Store)	294	336.4	ฐานข้อมูล บพอ.1
ช้อปปิ้งพลาซ่า (Shopping Plaza)	91	204.2	ฐานข้อมูล บพอ.1
ซุปเปอร์มาเก็ต (Supermarket)	3	418.4	ฐานข้อมูล บพอ.1 ผลสำรวจโครงการ

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

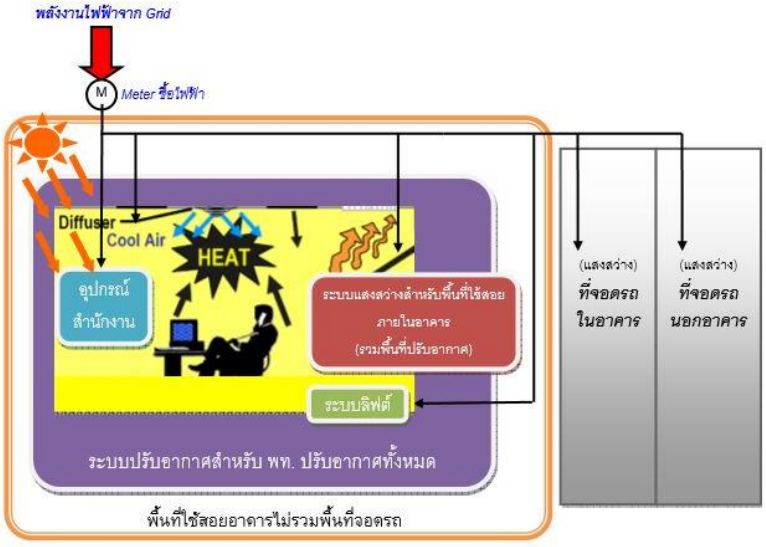
นอกจากนี้ ผลการศึกษาได้นำเสนอดัชนีการใช้พลังงานแยกตามรายระบบต่างๆ ที่สำคัญที่มีการใช้พลังงานสูงในอาคารศูนย์การค้า ซึ่งวิเคราะห์ค่าดัชนีได้จากการผลการสำรวจการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้าตัวอย่างจำนวน 22 แห่ง ซึ่งมีค่าดังแสดงในตารางที่ 2-13

ตารางที่ 0-12 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทศูนย์การค้า (22 แห่ง) แยกตามระบบต่างๆ

ลำดับ	ดัชนีการใช้พลังงาน	สัญลักษณ์	SEC (เฉลี่ย)	ช่วงค่า SEC	หน่วย
1	ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	SEC-AC_{AREA}	144.4	109.7-284.5	kWh/Yr/m^2
2	ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างต่อพื้นที่ใช้สอย โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถและพื้นที่เช่า	SEC-LT	56.3	17.8-149.2	kWh/Yr/m^2
3	ดัชนีการใช้พลังงานในระบบตู้แช่ต่อปริมาตรตู้แช่	SEC-RF	11,548	6,959-19,601	kWh/Yr/m^3

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2.9.2 รูปแบบและเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน



รูปที่ 0-19 รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน

ที่มา:เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

การวิเคราะห์หาค่าดัชนีเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ได้ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารควบคุมประเภทสำนักงานของ พพ. (บพอ.1) และข้อมูลผลการสำรวจการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานตัวอย่างจำนวน 20 แห่ง ซึ่งทำการตรวจวัดการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารและการใช้พลังงานแยกตามระบบ เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ เป็นต้น โดยได้พิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อดัชนีเพื่อต้องการให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานมีความถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่ใช้สอยรวมอาคาร พื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร ปริมาตรอาคาร และจำนวนคนที่ทำงานในอาคารสำนักงานโดยได้กำหนดดัชนีเกณฑ์การใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงาน และดัชนีการใช้พลังงานแยกตามระบบ ดังแสดงในตารางที่ 2-14

ตารางที่ 0-13 ดัชนีที่ใช้ในการนำเสนอลักษณะการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน

ดัชนี	สูตร	หน่วย
1. การใช้พลังงานรวม	SEC= (การใช้พลังงานของอาคารต่อปี)÷ (%Occupancy × พื้นที่ใช้สอย)	kWh/Yr/m^2
2. การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	$SEC_{AC\text{-}AREA}$ = (พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศต่อปี) ÷ (%Occupancy × พื้นที่ปรับอากาศ)	kWh/Yr/m^2
3. การใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง	SEC_{LT} = (พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับแสงสว่างต่อปี) ÷ (%Occupancy × พื้นที่ใช้สอย)	kWh/Yr/m^2
4. การใช้พลังงานในระบบลิฟท์	SEC_{L} = (พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบลิฟท์ต่อปี) ÷ (จำนวนคน× ความสูงของอาคาร)	kWh/Yr/คน-ความสูงตึก

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อการนำเสนอประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและระบบต่างๆ ของอาคารสำนักงานได้ประเมินจากกผลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานโดยละเอียด ในอาคาร สำนักงาน 20 แห่ง ที่เข้าร่วมโครงการซึ่งสามารถสรุปผลค่าเฉลี่ยดัชนีการใช้พลังงาน ได้ดังแสดงในตารางที่ 2-15

ตารางที่ 0-14 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานตัวอย่าง (20 อาคาร)

ดัชนี	สูตร	ค่า	หน่วย
1. การใช้พลังงานรวม	SEC	209.90	kWh/Yr/m^2
2. การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	$SEC_{AC-AREA}$	135.32	kWh/Yr/m^2
3. การใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง	SEC_{LT}	28.53	kWh/Yr/m^2
4. การใช้พลังงานในระบบลิฟท์	SEC_{L}	2.28	kWh/Yr/คน-ความสูงตึก

ที่มา:เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ ค่าดัชนีการใช้พลังงานแยกตามกลุ่มประเภทอาคารสามารถแสดงผลค่าดัชนีได้ตามที่แสดงในตารางที่ 2-16

ตารางที่ 0-15 ค่าดัชนีการใช้พลังงานแยกตามกลุ่มประเภทอาคาร

ดัชนีการใช้พลังงาน		จำนวนอาคาร	SEC	หน่วย	R^2
ดัชนีการใช้พลังงานรวม (SEC) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
ดัชนีการใช้พลังงานรวม		20	209.90	kWh/ปี/m^2	0.84
ดัชนีการใช้พลังงานรวม แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	215.80	kWh/ปี/m^2	0.86
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	199.90		0.91
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	218.50		0.84
	อาคารราชการ	2	143.82		-

Chulalongkorn University

ดัชนีการใช้พลังงาน		จำนวนอาคาร	SEC	หน่วย	R^2
ดัชนีการใช้พลังงานรวม แบ่งตามประเภทธุรกิจ	อาคารเอกชน	18	212.37	kWh/ปี/m^2	0.84
ดัชนีการใช้พลังงานรวมแบ่งตามลักษณะการใช้งานอาคาร	อาคารให้เช่า	13	227.20	kWh/ปี/m^2	0.89
	ใช้เองทั้งหมด	7	141.63		0.70
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	55.26	kWh/ปี/m^2	0.88
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	40.26		0.84
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	52.03		0.52
ชนิดระบบปรับอากาศ	Water-Cooled Chiller	9	38.37	kWh/ปี/m^2	0.81
	Air-Cooled Chiller	1	58.76		-
	Package A/C	10	63.17		0.70
ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง (SEC_{LT}) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
อาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	28.53	kWh/ปี/m^2	0.85
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	27.88		0.60
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	25.10		0.99
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	29.85		0.85
ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ ($SEC_{AC\text{-}AREA}$) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
แยกตามลักษณะต่างๆ ของอาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	135.32	kWh/ปี/m^2	0.72
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	137.24		0.89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดัชนีการใช้พลังงาน		จำนวนอาคาร	SEC	หน่วย	R^2
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	107.11		0.80
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	136.14		0.53
ชนิดระบบปรับอากาศ	Water-Cooled Chiller	9	103.11	kWh/ปี/m^2	0.79
	Air-Cooled Chiller	1	143.96		-
	Package A/C	10	164.95		0.70
ดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อปริมาตรปรับอากาศ (SEC_{AC-VOL}) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
อาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	51.70	kWh/ปี/m^2	0.71
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	55.26		0.88
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	40.26		0.84
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	52.03		0.52
ชนิดระบบปรับอากาศ	Water-Cooled Chiller	9	38.37	kWh/ปี/m^2	0.81
	Air-Cooled Chiller	1	58.76		-
	Package A/C	10	63.17		0.70
ดัชนีการใช้พลังงานรวม แบ่งตามประเภทธุรกิจ	อาคารราชการ	2	143.82	kWh/ปี/m^2	-
	อาคารเอกชน	18	212.37		0.84
ดัชนีการใช้พลังงานรวมแบ่งตามลักษณะการใช้อาคาร	อาคารให้เช่า	13	227.20	kWh/ปี/m^2	0.89
	ใช้เองทั้งหมด	7	141.63		0.70
ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง (SEC_{LT}) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดัชนีการใช้พลังงาน		จำนวนอาคาร	SEC	หน่วย	R^2
อาคารตัวอย่างทั้งหมด		20	28.53	kWh/ปี/m^2	0.85
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	27.88		0.60
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	25.10		0.99
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	10	29.85		0.85
ดัชนีการใช้พลังงานลิฟต์ (SEC_L) (เฉพาะอาคารตัวอย่าง)					
อาคารตัวอย่าง		20	2.28	kWh/ปี/คน-ความสูง	0.94
ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มที่ 1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	5	2.22		0.70
	กลุ่มที่ 2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	5	3.37		0.65
	กลุ่มที่ 3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	5	2.27		0.92

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.9.3 รูปแบบเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารประเภทโรงพยาบาล

พื้นที่ภายในอาคารกว่าร้อยละ 80 มักเป็นส่วนปรับอากาศ โดยเฉพาะพื้นที่ในส่วนการแพทย์ต่างๆ ส่วนที่เหลือที่ไม่ได้รับการปรับอากาศมักเป็นส่วนบริการต่างๆ ของอาคาร เกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภท โรงพยาบาล ในการศึกษาดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปี เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างโรงพยาบาลที่มี ความแตกต่างกันทั้งด้านขนาดและการให้บริการ ทำได้ โดยใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยคนไข้ ใน 1 คน/วัน (เตียง-วัน) การใช้เกณฑ์การใช้พลังงานดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการ ได้ดังนี้

SEC of Hospital X = Total energy consumption in year ÷ Amount of IPD in year
(Bed-day/yr.) (MJ or kWh/yr) (bed-day/yr)

รูปแบบสมการข้างต้นเป็นการสร้าง ค่าพลังงานต่อหน่วย เพื่อใช้เป็นมาตราการในการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างโรงพยาบาลต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันทั้งทางด้านขนาด และการบริการ ค่าพลังงานต่อหน่วยนี้ใช้ดัชนีชี้วัดโดยการหารด้วยจำนวนคนไข้ในตลอดปีที่ทำการคำนวณ จึงได้เป็นค่าพลังงานต่อหน่วยคนไข้เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบระหว่างการใช้พลังงานของอาคารโรงพยาบาลต่างๆ

ค่าเกณฑ์การใช้พลังงานในหน่วย MJ/Bed-Day นี้ขึ้นอยู่กับส่วนของจำนวนคนไข้ในเป็นหลักอาคารโรงพยาบาลที่มีความคล้ายคลึงกันทั้งขนาด และการบริการอาจมีค่าเกณฑ์การใช้พลังงานที่แตกต่างกันได้ อาคารโรงพยาบาลที่มีจำนวนคนไข้ในมากกว่าจะยิ่งมีค่าเกณฑ์การใช้พลังงานที่ต่ำกว่า

จากการพิจารณาข้อมูลของโรงพยาบาลรวม 198 แห่ง จากแบบสรุปข้อมูล บพอ. 1 พบว่าค่า SEC ในปัจจุบันสามารถทำการเฉลี่ยจากข้อมูลในช่วงปี 2546-2548 มีรูปแบบดังนี้

ค่าเฉลี่ย	เท่ากับ	441	MJ/Bed-Day
ค่าสูงสุด	เท่ากับ	4064	MJ/Bed-Day
ค่าต่ำสุด	เท่ากับ	17	MJ/Bed-Day
ค่า Standard Deviation	เท่ากับ	482	

และเมื่อทำการแยกพิจารณาในส่วนของโรงพยาบาลรัฐ และโรงพยาบาลเอกชน พบว่ามีรูปแบบดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>โรงพยาบาลรัฐ</u>

ค่าเฉลี่ย	เท่ากับ	262	MJ/Bed-Day
ค่าสูงสุด	เท่ากับ	2481	MJ/Bed-Day
ค่าต่ำสุด	เท่ากับ	17	MJ/Bed-Day
ค่า Standard Deviation	เท่ากับ	340	

<u>โรงพยาบาลเอกชน</u>

ค่าเฉลี่ย	เท่ากับ	625	MJ/Bed-Day
ค่าสูงสุด	เท่ากับ	4064	MJ/Bed-Day
ค่าต่ำสุด	เท่ากับ	138	MJ/Bed-Day
ค่า Standard Deviation	เท่ากับ	557	

จากการพิจารณาเบื้องต้นพบว่าค่าเกณฑ์การใช้พลังงานของรัฐโดยเฉลี่ยจะต่ำกว่าค่าพลังงานของเอกชนประมาณ 2 เท่า และมีค่าเกณฑ์การใช้พลังงานที่เป็นค่าต่ำสุด ที่ 17 MJ/Bed-Day ซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานที่ต่ำมาก ถ้าตีความจากสมการของค่า SEC จะพบว่าโรงพยาบาลดังกล่าวจะต้องมีจำนวนผู้ป่วยในมากหรือ มีการใช้พลังงานที่ต่ำ แต่จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นพบว่า โรงพยาบาลรัฐมีจำนวนคนไข้ในที่อยู่นอกพื้นที่ปรับอากาศด้วย และในบางครั้งอาจจะมากกว่าจำนวนคนไข้ที่พักอยู่ในห้องปรับอากาศ เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานของเอกชนส่วนใหญ่คนไข้ทั้งหมดมักจะพักอยู่ในห้องปรับอากาศ จึงเป็นไปได้ว่าการที่ค่าเกณฑ์การใช้พลังงานของโรงพยาบาลรัฐมีค่าต่ำกว่าโรงพยาบาลเอกชนมาก เกิดขึ้นจากค่าตัวหาร (จำนวนคนไข้ใน) ที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่ปรับอากาศซึ่งมีการใช้พลังงานเพียงแค่ร้อยละ 10-30 ของพลังงานทั้งหมด แต่กลับเป็นตัวหารที่มาก ทำให้ค่าเกณฑ์มีค่าต่ำลงมากกว่าโรงพยาบาลเอกชน จึงต้องมีการกำหนดดัชนีทาง กายภาพ (Physical Index) โดยมีสมการการหาค่าดัชนี ทางกายภาพ ดังนี้

ดัชนีทางกายภาพ = พื้นที่ปรับอากาศ (m^2) ÷ ปริมาณคนไข้ในต่อปี (Bed-day/yr.)

การประเมินการใช้พลังงานของโรงพยาบาลใด ๆ ทำได้โดยใช้แผนภูมิเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของ โรงพยาบาลรัฐ หรือเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของ โรงพยาบาลเอกชน โดยการคำนวณหาค่าดัชนีการใช้ พลังงานรวมต่อปี และดัชนีทางกายภาพ ตามสมการที่กล่าวไปแล้วข้างต้น เพื่อกำหนดจุดข้อมูลลงบนแผนภูมิ และแปลความหมาย สำหรับเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของโรงพยาบาลรัฐ มีรายละเอียดดังรูปที่ 2-18 การแปลความหมายของจุดข้อมูลบนรูปดังกล่าว มี 3 กรณี คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรณีที่ 1 จุดข้อมูลอยู่สูงกว่าเส้น Upper +8% หมายความว่า โรงพยาบาลดังกล่าวมีการใช้พลังงานที่สูง กว่าเกณฑ์มาตรฐาน และควรทำการบริหารจัดการการใช้ พลังงานในโรงพยาบาลเพื่อลดการใช้พลังงาน

กรณีที่ 2 จุดข้อมูลอยู่ระหว่างแนวเส้น Upper +4% และ Lower -4% หมายความว่า โรงพยาบาลดังกล่าวมี การใช้พลังงานที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

กรณีที่ 3 จุดข้อมูลอยู่ต่ำากว่าแนวเส้น Lower -8% หมายความว่า โรงพยาบาลดังกล่าวมีการใช้พลังงานที่ ต่ำากว่าเกณฑ์มาตรฐาน จัดว่าเป็นโรงพยาบาลที่มีการ ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ต้องพิจารณา ประสิทธิภาพการให้บริการควบคู่ไปด้วย

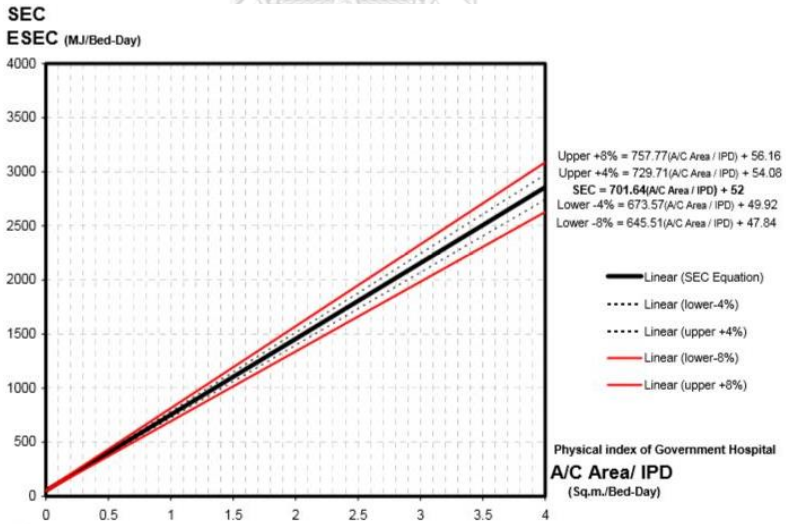
ทั้งนี้ เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของโรงพยาบาลเอกชน มีรายละเอียดดังรูปที่ 2-19 การแปลความหมายของจุดข้อมูลบนรูปดังกล่าว มี 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 จุดข้อมูลอยู่สูงกว่าเส้น Upper +14% หมายความว่า โรงพยาบาลดังกล่าวมีการใช้พลังงานที่สูง กว่าเกณฑ์มาตรฐาน และควรทำการบริหารจัดการการใช้ พลังงานในโรงพยาบาลเพื่อลดการใช้พลังงาน

กรณีที่ 2 จุดข้อมูลอยู่ระหว่างเส้น Upper +7% และ Lower -7% หมายความว่า โรงพยาบาลดังกล่าวมี การใช้พลังงานที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

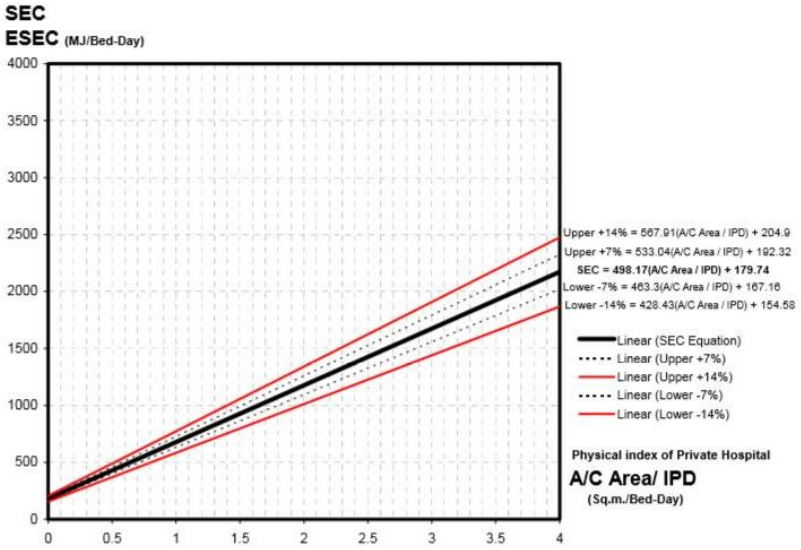
กรณีที่ 3 จุดข้อมูลอยู่ต่ำกว่าแนวเส้น Lower-14% หมายความว่า โรงพยาบาลดังกล่าวมีการใช้พลังงานที่ ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จัดว่าเป็นโรงพยาบาลที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพทั้งนี้ต้องพิจารณาประสิทธิภาพการให้บริการควบคู่ไปด้วย

นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่า อาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาลมีแนวโน้มศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน ทั้งนี้หาก โรงพยาบาลรัฐและเอกชนทั้งหมดที่จุดข้อมูลอยู่ในกรณีที่ 1 ประสบความสำเร็จในการลดการใช้พลังงานจนกระทั่ง มีจุดข้อมูลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หรือในกรณีที่ 2 จะลดการใชพลังงานในกลุ่มโรงพยาบาลรัฐและกลุ่มโรงพยาบาลเอกชนได้ประมาณร้อยละ 17.14 และร้อยละ 15.64 ตามลำดับ หรือ ลดการใช้พลังงานของอาคารควบคุมประเภทโรงพยาบาล ในภาพรวมได้ประมาณร้อยละ 16.39



รูปที่ 0-20 เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของโรงพยาบาลรัฐ

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน



รูปที่ 0-21 เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของโรงพยาบาลเอกชน

ที่มา: เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2.9.4 การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงและอาคารอนุรักษ์พลังงาน

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในภาคอาคารธุรกิจและบ้านอยู่อาศัยได้แยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) อาคารธุรกิจขนาดใหญ่ และ 2) อาคารธุรกิจขนาดเล็กและบ้านอยู่อาศัย เนื่องมีลักษณะการ ใช้พลังงานที่แตกต่างกัน

<u>กลุ่มอาคารธุรกิจขนาดใหญ่</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าอาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อปีของอาคารประเภทต่างๆ ในปัจจุบัน ที่เรียกว่ากรณีอ้างอิง (Reference) กับค่าดังกล่าวในกรณีที่มีการบังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (Building Energy Code, BEC) และเกณฑ์ที่สูงกว่านี้ในอนาคต โดยที่ค่าเฉลี่ยในกรณีอ้างอิงนั้น ได้มาจาก แบบจำลองการใช้พลังงานที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มอาคารที่อาศัยข้อมูลการตรวจการใช้พลังงานของ ทางราชการ ส่วนเกณฑ์การใช้พลังงานในระดับที่สูงกว่า BEC มี 3 ระดับ

1) HEPS (High Energy Performance Standard) คือ ระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่างๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

2) Econ (Economic building) คือ เป้าหมายในอนาคตอันใกล้เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3) ZEB (Zero Energy Building) คือ เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและยังมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ ความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Envelope) ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ ประสิทธิระบบส่องสว่างและอุปกรณ์/เครื่องใช้ไฟฟ้า และการระบายอากาศ

ผลการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ดังกล่าวภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานตามแบบจำลองจะทำให้การใช้พลังงานสุทธิสำหรับอาคารแต่ละประเภทเป็นไปตามตารางที่ 2-17 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับการใช้พลังงานในกรณีที่มีประสิทธิภาพมาก (ZEB) มีค่าเพียง 1/4 ถึง 1/3 ของการใช้ พลังงานในกรณีอ้างอิงในปัจจุบัน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงโอกาสการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารแต่ละประเภท

ตารางที่ 0-16 ค่าการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทในแต่ละระดับความสามารถในการประหยัดพลังงาน

ประเภทอาคาร	**การใช้พลังงานภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/ปี/m^2)**				
	Reference	**BEC**	**HEPS**	**ECON**	**ZEB**
อาคารสำนักงาน	219	171	141	82	57
อาคารห้างสรรพสินค้า	308	231	194	146	112
อาคารธุรกิจการค้าปลีกและส่ง	370	298	266	161	126
โรงแรม	217	199	160	116	97
คอนโดมิเนียม	256	211	198	132	95
สถานพยาบาล	244	195	168	115	81
สถานศึกษา	102	85	72	58	39
อาคารทั่วไป	182	134	110	66	53
ลดลงร้อยละ	0%	20 - 25 %	30 - 35%	60%	70%

ที่มา: แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษพลังงานในอาคารควบคุม โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้สรุปค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิงและอาคารมาตรฐานตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี 2551 ไว้ดังในตารางที่ 2-18

ตารางที่ 0-17 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิงและอาคารมาตรฐานตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปี 2551

ประเภทอาคาร	อาคารอ้างอิง $kWh/m^2/y$	อาคาร ตาม พรบ. $kWh/m^2/y$
สำนักงาน	146.4	98.7
โรงแรม	173.2	117.0
โรงพยาบาล	148.8	123.9
ห้างสรรพสินค้า	556.0	394.3
สถานศึกษา	94.0	79.3
อาคารอื่นๆ	139.7	117.2
อาคารชุด	11 8.4	105.3
ห้างสรรพสินค้าขายปลีกและขายส่ง	394.7	300.9

ที่มา: โครงการจัดทำมาตรฐานการอนุรักษพลังงานในอาคารควบคุม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>กลุ่มอาคารธุรกิจขนาดเล็กและบ้านอยู่อาศัย</u>

เนื่องจากรัฐยังไม่กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานของอาคารธุรกิจขนาดเล็กและบ้านอยู่อาศัย การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มนี้ จึงอาศัยการคาดการณ์การใช้อุปกรณ์/เครื่องใช้ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นหลัก ซึ่งมีการแบ่งการใช้พลังงานออกเป็น 5 หมวด ได้แก่

1) หมวดแสงสว่าง ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไส้

2) หมวดข่าวสารบันเทิง ประกอบด้วย โทรทัศน์สี เครื่องเล่นวีดีโอ วีซีดี (VCD) ดีวีดี (DVD) เครื่องเล่นสเตอริโอ วิทยุ และคอมพิวเตอร์

3) หมวดประกอบอาหาร ประกอบด้วย หม้อหุงข้าว เตาไฟฟ้า กระทะไฟฟ้า เตาไมโครเวฟ เตาอบไฟฟ้า กาต้มน้ำไฟฟ้า เครื่องปั่นน้ำผลไม้ และเครื่องปิ้งขนมปัง ในหมวดนี้มีการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม ถ่าน ฟืน และการใช้พลังงานไฟฟ้า

4) หมวดสะดวกสบาย ประกอบด้วย พัดลม เครื่องปรับอากาศ เครื่องดูดฝุ่น เครื่องซักผ้า เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องสูบน้ำ เตารีดไฟฟ้า และตู้เย็น

5) หมวดอื่นๆ

ข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบการกระจายตัวของประสิทธิภาพอุปกรณ์เครื่องใช้ที่มีอยู่ในตลาดและที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในปัจจุบัน ผลต่างระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดของอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีความเป็นไปได้ทั้งโดยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันและใน อนาคตกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ผนวกกับการคาดการณ์จำนวนอุปกรณ์ที่จะมีการใช้จนถึงปี 2573 จะทำให้ทราบถึงศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

2.10 เกณฑ์การใช้น้ำและการเกิดน้ำเสียของอาคาร

ตารางที่ 2-19 ถึงตารางที่ 2-21 แสดงเกณฑ์ปริมาณความต้องการในการใช้น้ำ และปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากอาคารประเภทต่างๆ ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการศึกษาของหน่วยงานหลายๆแหล่ง เช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง ชมรมวิศวกรรมออกแบบระบบสุขาภิบาล และสมาคมสิ่งแวดล้อมไทย เป็นต้น

ตารางที่ 0-18 ความต้องการการใช้น้ำแบ่งตามประเภทการใช้น้ำ

ประเภทการใช้น้ำ	อัตราการใช้น้ำ	หน่วย
ครัวเรือน	50 - 250	ลิตร/คน/วัน
อาคารสำนักงาน	95 - 100	ลิตร/คน/วัน
โรงพยาบาล	300 - 1000	ลิตร/เตียงคนไข้/วัน
โรงแรม	500 - 1500	ลิตร/ห้องที่มีผู้พัก/วัน
ภัตตาคาร	5 - 20	ลิตร/มื้อ/วัน
พานิชยกรรม	50 - 150	ลิตร/คน/วัน
สาธารณะประโยชน์	25 - 50	ลิตร/คน/วัน

ที่มา: ปรับปรุงจาก Babbitt et al (1962), สำนักวิศวกรรมการผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0-19 ความต้องการการใช้น้ำต่อวันแบ่งตามอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	อัตราการใช้น้ำ	หน่วย
อาคารที่พักอาศัย	100 - 3000	ลิตร/คน/วัน
อาคารสำนักงาน	40 - 70	ลิตร/คน/วัน
อาคารโรงพยาบาล	600 - 1000	ลิตร/คน/วัน
อาคารโรงเรียน	50 - 80	ลิตร/คน/วัน
อาคารโรงแรม	200 - 400	ลิตร/คน/วัน
อาคารโรงแรม	750 - 1000	ลิตร/ห้อง/วัน
หอพัก	200 – 300	ลิตร/คน/วัน
สนามบิน	15 - 25	ลิตร/คน/วัน

ที่มา: ชมรมวิศวกรรมออกแบบระบบสุขาภิบาล (2559)

ตารางที่ 0-20 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	หน่วย	ลิตร/วัน-หน่วย
อาคารชุด/บ้านพัก	ยูนิต	500
โรงแรม	ห้อง	1,000
หอพัก	ห้อง	80
สถานบริการ	ห้อง	400
หมู่บ้านจัดสรร	คน	180
โรงพยาบาล	เตียง	800
ภัตตาคาร	ตารางเมตร	25
ตลาด	ตารางเมตร	70
ห้างสรรพสินค้า	ตารางเมตร	5.0
สำนักงาน	ตารางเมตร	3.0

ที่มา: ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย, เอกสารประกอบการประชุม สวสท’36, สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2536)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.11 การประเมินวัฏจักรชีวิตและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร

2.11.1 หลักการสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร

หลักการ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) หรือ LCA เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่หรือแปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Thai LCI Database, 2016)

การประเมินวัฏจักรชีวิตหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอนตามมาตรฐาน ISO 14040 ได้แก่

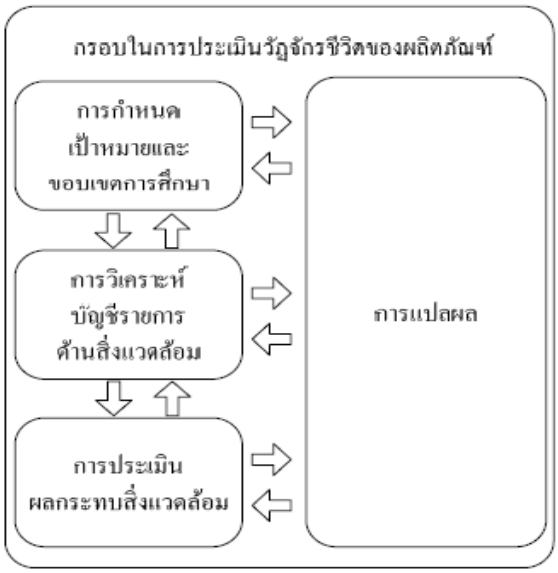
1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

3) การประเมิน ผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

4) การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 2-20



รูปที่ 0-22 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามขั้นตอนมาตรฐาน ISO 14040 (2006)

ที่มา: Thai LCI Database, 2016

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

1.1) การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนแรกในการทำ LCA โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา เพื่อให้ผู้รับสามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์

2.2) การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

การกำหนดขอบเขต คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยประโยชน์ต่อเป้ าหมายของ LCA ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดสิ่งที่เราต้องการศึกษา รวมถึงการกำหนดหน่วยหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit)

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล หมายถึง การเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งรวมถึงการใช้ทรัพยากร การปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูลหรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System)

3) การประเมินผลกระทบ

เป็นการนำข้อมูลมาทำการแปลงแยกแยะตามชนิดของผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) เราจะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญแต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อให้ LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมแหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ

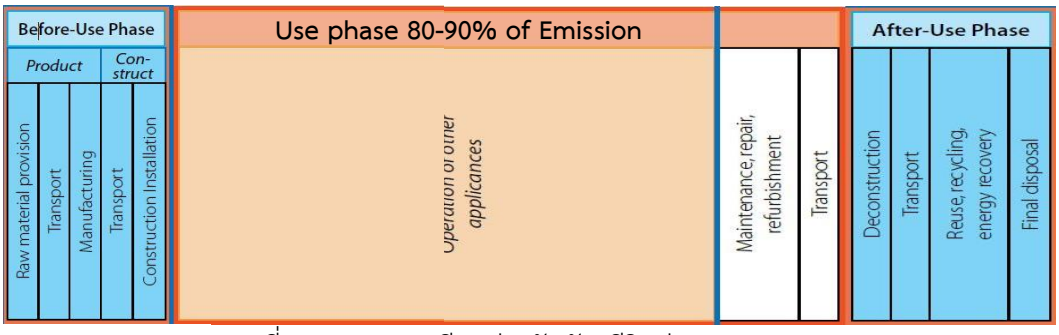
4) การแปลผลการศึกษา

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวม

มาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลของการศึกษาควรจะคำนึงถึงความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งการศึกษาเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการศึกษาหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Methodology Research Team) กลุ่มการศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับภูมิภาค (Regional Environment Research Team) กลุ่มการศึกษาระบบการใช้พลังงาน (Energy Systems Analysis Research Team) กลุ่มการศึกษาประสิทธิภาพการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Efficiency Research Team) โดยแต่ละกลุ่มมีการเชื่อมโยงข้อมูลต่อกันตลอดเวลา

2.11.2 วัฏจักรชีวิตและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร

ภาคส่วนอาคารถือว่าเป็นภาคส่วนที่มีบริบทที่สำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคารนั้นจะเริ่มตั้งแต่ ขั้นตอนก่อนการใช้งานอาคาร(Before-Use Phase) ที่รวมถึงขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบและขบวนการทางการเกษตรที่เกี่ยวข้อง ก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตเป็นวัสดุในการก่อสร้างในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างเป็นตัวอาคารจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ช่วงของการใช้งานอาคาร (Use phase) ซึ่งถือว่าเป็นช่วงชีวิตที่นานที่สุด โดยจะรวมถึง การใช้งานตามปกติ การบำรุงรักษา และการต่อเติมของอาคาร จากนั้นก็จะเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของวัฏจักรชีวิตอาคารซึ่งนั้นก็ คือ ช่วงหลังการใช้งาน (After-Use phase) ที่ประกอบด้วย ขั้นตอนการรื้อถอน การนำกลับมาใช้ใหม่และการรีไซเคิลของวัสดุก่อสร้างอาคาร และการกำจัดของเสียจากการรื้อถอน และนอกจากนี้จะเห็นว่าในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิตอาคารจะมีกระบวนการด้านการขนส่งสินค้า บริการ และบุคคลเข้ามามีความเกี่ยวข้องด้วย ส่วนจากทั้ง 3 ช่วงของวัฏจักรชีวิตอาคารพบว่า ช่วงการใช้งานอาคารเป็นช่วงที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดโดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 80-90 ของการปล่อยทั้งหมดซึ่งการปล่อยเป็นผลมาจากการใช้พลังงาน เช่น การพลังงานสำหรับการทำความร้อน ความเย็น แสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นหลัก ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2-21



รูปที่ 0-23 รายละเอียดช่วงวัฏจักรชีวิตต่างๆของอาคาร

ที่มา: UNEP, 2009

2.11.3 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอาคาร

การพัฒนาและออกแบบบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจกของอาคารสามารถดำเนินการตามวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดขอบเขตขององค์กร (Organization Boundaries) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน (Operational Boundaries) และการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดขอบเขตขององค์กร

โครงสร้างโดยทั่วไปองค์กรอาจประกอบด้วยหน่วยธุรกิจ หรือโรงงานมากกว่าหนึ่งโรง ซึ่งส่งผลให้มีแหล่งปล่อยหรือแหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจกมากกว่าหนึ่งแหล่ง ดังนั้น การกำหนดขอบเขตขององค์กรเพื่อการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญและต้องมีความชัดเจนและเหมาะสม

2) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน

ในการกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน ต้องระบุกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่สัมพันธ์กับการดำเนินงานขององค์กร ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร

ประเภทที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2

3) การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

โดยการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ประกอบด้วยอีก 5 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

3.1) การกำหนดขั้นตอนการคำนวณ

3.2) การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก

3.3) การคัดเลือกวิธีการคำนวณ

3.4) การคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจก

3.5) การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

2.11.3.1 ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกแยกตามประเภทขององค์กร

<u>องค์กรประเภทสถาบันการศึกษา</u>

ตารางที่ 0-21 ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กรประเภทสถาบันการศึกษา

ประเภทของกิจกรรม	ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ
ประเภทที่ 1	การเดินทางภายในและภายนอกสถาบันการศึกษาด้วยยานพาหนะขององค์กร	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 2) ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยตามประเภทของพาหนะที่ใช้ 3) (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
	การทำปฏิกิริยาเคมีและการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมการเรียนการสอน	1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตามปริมาณมวลสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมี 2) ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของเชื้อเพลิง
	การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในองค์กร	ปริมาณสารทำความเย็น x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของสารทำความเย็น
	การใช้สารดับเพลิง	ปริมาณสารดับเพลิง x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้เป็นสารดับเพลิง
	การใช้ปุ๋ยเคมี	ปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้จริง x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทและสูตรของปุ๋ยที่ใช้
	การบำบัดน้ำเสียที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ	1) การคำนวณอ้างอิงตาม UNFCCC (2006) 2) การคำนวณอ้างอิงตาม IPCC (2006)
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากภายนอก	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ประเภทที่ 3	การเดินทางไปกลับระหว่างองค์กรและที่พักของบุคลากร	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 2) ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่าแฟกเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทของกิจกรรม	ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ
		การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของพาหนะที่ใช้ 3) ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
	การเดินทางระหว่างคณะภายในองค์กรด้วยยานพาหนะส่วนตัว	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 2) ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของพาหนะที่ใช้ 3) (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
	การใช้สารเคมีเพื่อทำความสะอาดโดยบริษัทจ้างเหมา	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของสารเคมี
	การใช้น้ำประปา	ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำประปา
	การใช้วัสดุสำนักงาน และวัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษ	ปริมาณกระดาษที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระดาษ
	การใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซหุงต้มของร้านค้าและร้านอาหารที่มาเช่าพื้นที่ภายในองค์กร	ปริมาณก๊าซหุงต้มที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้ก๊าซหุงต้ม
	การกำจัดขยะ	ปริมาณขยะแยกตามองค์ประกอบ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามองค์ประกอบของขยะ

ที่มา: คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

องค์กรประเภทสำนักงาน

ตารางที่ 0-22 ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กรประเภทสำนักงาน

ประเภทของกิจกรรม	ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ
ประเภทที่ 1	การเดินทางภายในและภายนอกสำนักงานด้วยยานพาหนะขององค์กร	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 2) ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของพาหนะที่ใช้ 3) (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 4) ระยะทางที่เดินทาง x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเดินทางโดยเครื่องบิน(กรณีเดินทางด้วยเครื่องบินโดยสาร)
	การใช้สารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของสารเคมี
	การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในองค์กร	ปริมาณสารทำความเย็น x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของสารทำความเย็น
	การใช้สารดับเพลิง	ปริมาณสารดับเพลิง x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้เป็นสารดับเพลิง
	การใช้ปุ๋ยเคมี	ปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้จริง x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทและสูตรปุ๋ย
	การบำบัดน้ำเสียที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ	1) การคำนวณอ้างอิงตาม UNFCCC (2006) 2) การคำนวณอ้างอิงตาม IPCC (2006)
	การใช้เชื้อเพลิงที่เกิดการเผาไหม้ภายในองค์กร	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของเชื้อเพลิง
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากภายนอก	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทของกิจกรรม	ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ
ประเภทที่ 3	การเดินทางไปสัมมนา ดูงาน ติดต่องานของพนักงานภายในองค์กร	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 2) ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของพาหนะที่ใช้ 3) (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 4) ระยะทางที่เดินทาง x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเดินทางโดยเครื่องบิน(กรณีเดินทางด้วยเครื่องบินโดยสาร)
	การใช้ไฟฟ้าจากผู้เช่าพื้นที่ภายในองค์กร	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	การใช้วัสดุสำนักงานและวัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษ	ปริมาณกระดาษที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระดาษ
	การใช้น้ำประปา	ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำประปา
	การบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง	1) การคำนวณอ้างอิงตาม UNFCCC (2006) 2) การคำนวณอ้างอิงตาม IPCC (2006)
	การใช้ลิฟต์ของพนักงานภายในองค์กร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อการใช้ลิฟต์หนึ่งครั้ง x จำนวนครั้งที่ใช้งานลิฟต์ภายในหนึ่งวันของพนักงานหนึ่งคน x จำนวนพนักงานที่ใช้ลิฟต์ทั้งหมดภายในชั้นที่ทำการประเมิน x จำนวนวันที่มีการใช้งานลิฟต์

ที่มา: คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2556)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

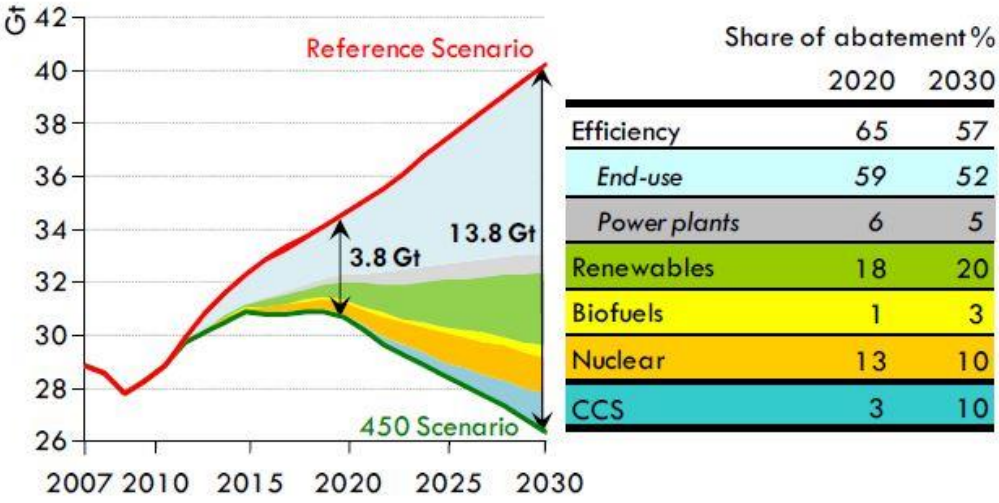
2.12 แนวทางและนโยบายด้านการจัดการพลังงานและการลดก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร

2.12.1 แนวทางสำหรับการลดก๊าซเรือนกระจกจากอาคาร

2.12.1.1 การอนุรักษ์พลังงานและเทคโนโลยีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

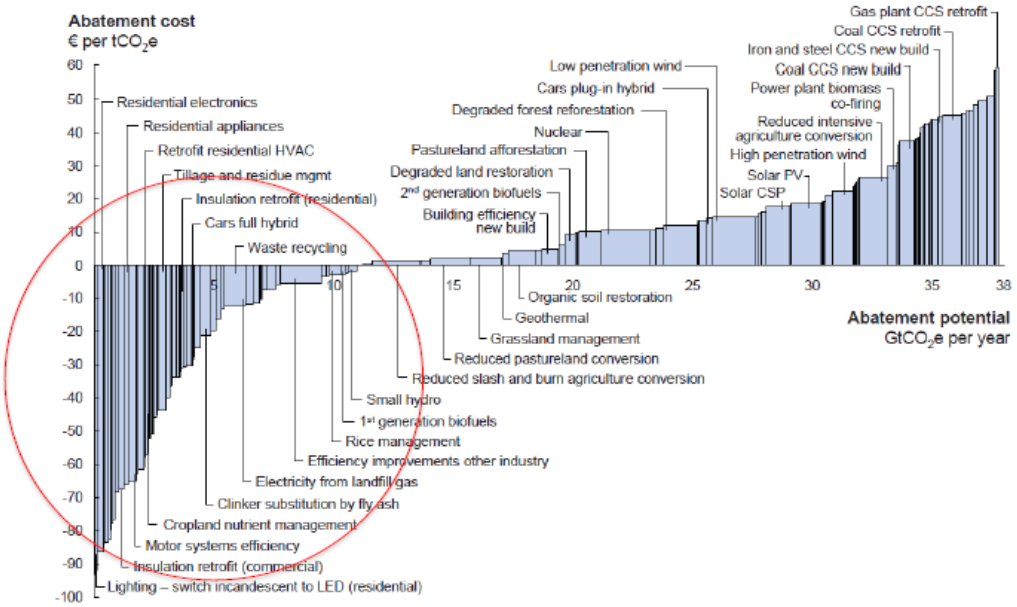
มาตรการสำหรับการลดผลกระทบจากการใช้พลังงานในอาคารที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายก็คือ การส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน แต่ถือว่าเป็นแนวทางที่ต้องมีการคำนึงถึงต้นทุนในการดำเนินการกับผลประโยชน์ที่จะได้รับ จึงเป็นหนึ่งในอุปสรรคในการตัดสินใจของผู้ประกอบการ ดังนั้นจึงมีการเสนอทางเลือกที่มีต้นทุนต่ำและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมีความพร้อมกว่าทางเลือกอื่น ซึ่งนั้นก็คือ การอนุรักษ์พลังงาน เช่น การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหมายถึงการทำงานที่ได้ผลลัพธ์เท่าปกติ แต่ใช้พลังงานน้อยกว่าปกติ ไม่ว่าจะเป็นการส่องสว่าง การทำน้ำร้อน การทำความเย็น การขนส่ง หรือการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในการผลิต ซึ่งถือว่าเป็นแนวทางที่มีศักยภาพที่จะอนุรักษ์หรือพัฒนาได้เพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง จึงถือว่าการอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญของเกือบทุกประเทศแม้กระทั่งประเทศที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงอยู่แล้วดังเช่นในประเทศที่พัฒนาแล้ว นอกจากนี้การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานยังเป็นทางเลือกในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมาก ดังรายงานขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency, IEA) ที่คาดว่าทางเลือกดังกล่าวจะมีส่วนลดก๊าซเรือนกระจกที่จำเป็นสำหรับการป้องกันการเกิดภาวะโลกร้อนถึงกว่าร้อยละ 50 ภายในปี 2573 (ค.ศ. 2030) ดังรูปที่ 2-22 และรูปที่ 2-23 ก็สามารถแสดงให้เห็นเช่นกันว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการอาคารเป็นแนวทางที่ไม่ก่อให้เกิดต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ในทางเดียวกันกลับยังช่วยลดต้นให้กับผู้ประกอบการได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-24 เทคโนโลยีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ที่มา: IEA World Energy Outlook. 2009



รูปที่ 0-25 แสดงมูลค่าต้นทุนที่ใช้ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละเทคโนโลยี

ที่มา: McKinsey, Global GHG abatement cost curve beyond BAU-2030. 2009

2.12.1.2 อาคารอัจฉริยะด้านระบบการใช้พลังงานที่ปราศจากคาร์บอน (SMART BUILDINGS IN A DECARBONISED ENERGY SYSTEM)

เป็นหลักการที่ทางสถาบันด้านประสิทธิภาพการอาคารของทางยุโรป (Buildings Performance Institute Europe: BPIE) ได้นำเสนอขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการด้านพลังงานและการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพภายในอาคาร รวมถึงเป็นการสร้างประโยชน์ให้กับสังคมทั้งด้านการลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและสภาวะความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยทั้งหมด 10 หลักการ ดังนี้

หลักการที่ 1 การเตรียมความพร้อมด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

หลักการที่ 2 การเพิ่มศักยภาพด้านการผลิตพลังงานทดแทนในพื้นที่อาคารหรือพื้นที่ใกล้เคียงและการบริโภคเองภายในอาคาร

หลักการที่ 3 การสร้างแรงกระต้นให้เกิดระบบการกักเก็บพลังงานภายในอาคาร

หลักการที่ 4 การเพิ่มศักยภาพระบบ Demand Response แบบเครือข่ายรวม

หลักการที่ 5 การใช้พลังงานที่ปราศจากคาร์บอน (Decarbonised energy) สำหรับระบบทำความร้อนและความเย็นในอาคาร

หลักการที่ 6 การเพิ่มศักยภาพให้กับผู้ใช้พลังงานโดยใช้ระบบตรวจวัดและควบคุมอัจฉริยะ

หลักการที่ 7 การสร้างระบบสัญญาณราคาพลังงานแบบไดนามิก (Dynamic Price Signal) สำหรับทุกกลุ่มผู้ใช้งาน

หลักการที่ 8 การส่งเสริมบูรณาการธุรกิจต้นแบบศูนย์พลังงานย่อย (Micro Energy-Hub)

หลักการที่ 9 การสร้างระบบอัจฉริยะและการเชื่อมโยงระหว่างเขต

หลักการที่ 10 โครงสร้างพื้นฐานของอาคารที่เอื้อต่อการขับเคลื่อนระบบตลาดรถยนต์ไฟฟ้า (Electrical Vehicle)

2.12.1.3 การศึกษาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Abatement Cost)

การประเมินต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ การประเมินต้นทุนสุทธิ (ต้นทุน-ผลประโยชน์) ในกรณีใช้มาตรการหรือยุทธศาสตร์ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบกับกรณีปกติ (Non Policy Case) ซึ่งส่วนดังกล่าวเรียกว่าต้นทุนเพิ่ม ในบางกรณีผลลัพธ์มีค่าลบ แสดงว่าโครงการนั้นๆ สามารถทำให้เกิดผลประโยชน์ (Benefit) จากการดำเนินการโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

<u>แนวคิดด้านราคาของการลดก๊าซเรือนกระจก</u>

- แนวทางการประเมินต้นทุน (Cost Assessment Approach)

คือ การใช้พื้นฐานทั่วไปของการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis) โดยที่ตัวแปรด้านต้นทุน (Costs) มีนัยว่าก่อให้มีผลกระทบด้านลบ และตัวแปรด้านผลประโยชน์ (Benefit) มีผลกระทบด้านบวก

- Abatement Costs

คือ การเปรียบเทียบกันระหว่างต้นทุนของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation Costs) กับต้นทุนของสถานการณ์ปกติที่ไม่มีการส่งเสริมใช้มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Non-Greenhouse Gas Policy Case) หรือเรียกว่า Baseline Scenario เหตุผลที่ต้องประเมินต้นทุนเพิ่ม คือ เทคโนโลยีหรือทรัพยากรที่ต้องใช้ในมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเลือกจากการใช้งานเดิมของเทคโนโลยีหรือทรัพยากรนั้นๆ ดังนั้น ราคา (Prices) ที่ใช้ในการคำนวณ จะต้องเป็นราคาทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งอาจเป็นราคาตลาด (Market Price) หรือราคาเงา (Shadow Price) หรือต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Costs)

- Opportunity Costs

ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) หมายถึง มูลค่าของผลตอบแทนจากกิจกรรมที่สูญเสียโอกาสไปในการเลือกทำกิจกรรมอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นต้นทุนที่ต้องคำนึงในทางเศรษฐศาสตร์ เช่น กรณีการกักเก็บคาร์บอนโดยการปลูกต้นไม้ในพื้นที่สาธารณะ ในการประมาณต้นทุน (Cost) ก็มีคำถามว่า อะไรบ้างที่ใช้ในการคำนวณต้นทุน ในบางกรณีจะไม่มีต้นทุน เพราะว่าไม่มีการเช่าที่ดินทำให้ไม่มีการจ่ายเงินจากเจ้าของโครงการไปยังเจ้าของที่ดิน อย่างไรก็ตาม การคำนวณดังกล่าวไม่ได้รวม Opportunity Cost ซึ่งต้นทุนของที่ดินจะต้องประเมินในรูปของมูลค่าของผลลัพธ์ที่ได้รับจากที่ดินนั้นๆ ที่ไม่ได้ใช้สำหรับการปลูกป่า และมูลค่าของผลลัพธ์อาจจะได้รับทางตรงจากผลผลิตทางการเกษตรและ/หรือ ทางอ้อมจากการทำกิจกรรมอื่นๆ นอกจากนี้แล้ว ตัวอย่างอื่นๆ เช่น ภาครัฐได้ทำการเช่าที่ดินสำหรับเกษตรกรไว้ทำปศุสัตว์ แต่ถ้าที่ดินนี้ใช้ในการปลูกป่า ภาครัฐก็ไม่ได้เรียกร้องเงินจากกรมป่าไม้แต่อย่างใด ซึ่งในสถานการณ์นี้ Opportunity Cost ก็คือการสูญเสียรายได้ของภาครัฐ อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถประเมินได้ว่าสถานการณ์นี้เป็น Opportunity Cost ของภาครัฐเพราะว่าราคาของการเช่าที่ดินในขณะนั้นอาจจะไม่เท่ากับ Opportunity Cost ของที่ดินนั้นๆ ถึงแม้ว่าจะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมุติว่ามูลค่าสูงสุดคือการใช้ที่ดินสำหรับปศุสัตว์ก็ตาม ซึ่งมูลค่าของการใช้ที่ดินสำหรับปศุสัตว์ คือ รายได้สุทธิจากปศุสัตว์ หลังจากหักค่าใช้จ่ายทั้งหมด

การศึกษายุทธศาสตร์ด้านต้นทุนของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีจุดประสงค์ที่ลด Opportunity Cost ให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งบางกรณี Opportunity Cost ก็คือ Economic Cost และมีความสัมพันธ์กับ Social Cost รวมทั้ง Shadow Price โดย Social Cost ประกอบด้วย External Cost รวมกับ Private Cost ซึ่ง External Cost คือ การมองผลกระทบที่มีต่อบุคคลอื่นในลักษณะต้นทุน ซึ่งมีทั้งต้นทุนที่ให้ผลดีและผลเสีย เช่น ผลลัพธ์ของการปล่อยมลพิษของโรงไฟฟ้าที่มีต่อผลกระทบต่อสุขภาพของชุมชนในบริเวณนั้นๆ สำหรับ Private Cost คือ ต้นทุนที่ผู้ผลิตต้องจ่ายโดยตรง

โดยทั่วไปการประเมินต้นทุนทางเทคนิคประกอบด้วย 3 วิธี คือ

1) Cost-Benefit Analysis คือ การคำนวณมูลค่าเงิน (Monetary) ของผลกระทบ ทั้งด้านบวกและด้านลบการกำหนดราคาในการคำนวณสามารถทำได้ 2 วิธี คือ ราคาที่ใช้ในตลาด (Market Price) และราคาเงา (Shadow Price)

2) Cost Effectiveness Analysis คือ วิธีการคัดกรอง Cost-benefit โดยที่การประเมินต้นทุนทั้งหมดจะต้องมีความสัมพันธ์กับเป้าหมายทางด้านนโยบาย ซึ่งเป้าหมายด้านนโยบาย คือ ผลประโยชน์ (Benefit) ของโครงการนั่นเอง ส่วนผลกระทบในด้านอื่นๆ ทั้งหมด จะถูกประเมินในรูปต้นทุน (Cost) ซึ่งสามารถประเมินได้ทั้งด้านบวกหรือลบ การกำหนดเป้าหมายด้านนโยบายสามารถกระทำได้ โดยการกำหนดปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะอยู่ในรูปเงินลงทุนต่อก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ ($/tCO2) ในกรณีของต้นทุนสามารถคำนวณให้อยู่ใน ณ เวลาปัจจุบัน (Net Present Value, NPVc) โดยใช้สมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$NPVc = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

ซึ่ง i คือ อัตราส่วนลด และ Ct คือต้นทุน ณ เวลา t

สำหรับการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง (GHG Emission Reductions) สามารถคำนวณให้อยู่ ณ ในเวลาปัจจุบัน (Net present value, NPVe) เช่นเดียวกับการคำนวณต้นทุนข้างต้น

$$NPV_E = \sum_{t=0}^{T} \frac{E_t}{(1+i)^t}$$

การคำนวณค่า Abatement costs (Baht per tCO_2) คือ ส่วนต่างต้นทุนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างมาตรการปกติ (Baseline scenario) กับมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ (Mitigation scenario)

$$MRC_t = \frac{CR'_t - CR_t}{R_t - R'_t}$$

ซึ่ง MRCt คือ Marginal reduction costs ณ ปี t

Rt คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ปี t

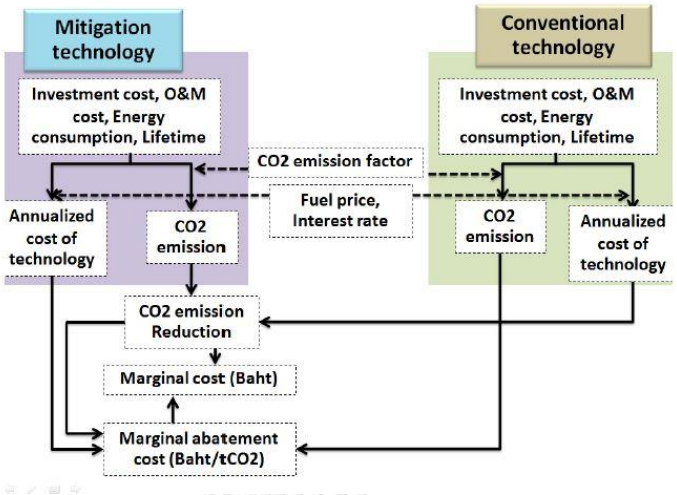
R’t คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากใช้มาตรการ ณ ปี t

CRt คือ ต้นทุนการดำเนินในสถานการณ์ปกติ ณ ปี t

CR’t คือ ต้นทุนการดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซ ณ ปี t

นอกจากนี้ การคำนวณค่า Abatement Costs (Baht per tCO_2) สามารถคำนวณได้โดยการแปลงเป็นต้นทุนรายปี (Levelized Cost) สำหรับกรณีปกติ และกรณีดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation) จากนั้นคำนวณส่วนต่างของทั้งสองกรณี แสดงในรูปที่ 2-24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-26 แนวคิดการคำนวณ Abatement Costs

ที่มา: Japan Scenarios and Action towards Low-Carbon Societies (LCSs), NIES, Kyoto University, Mizuho Information, June 2008)

ต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงสามารถแสดงค่าเป็นรายปีเท่ากันตลอดช่วงอายุการใช้งาน (Levelized Concept) แสดงในสมการข้างล่าง ซึ่งเป็นสมการของต้นทุนและ GHG Emission Reduction ตามลำดับ คือ

$$C_0 = NPV_c \frac{i}{1-(1+i)^{-t}}$$

$$E_0 = NPV_E \frac{i}{1-(1+i)^{-t}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์โครงการด้วยวิธี Cost Effectiveness นอกจากใช้วิธี NPV และวิธีการแปลงเป็นมูลค่ารายปีที่เท่ากันแล้ว (Levlized) ยังสามารถใช้วิธี Internal Rate of Return (IRR) ได้

3) Multi-attribute analysis คือ การคำนวณกรอบสำหรับการรวมตัวกันของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจที่ต่างกันและมูลค่าที่ต่างกัน ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) โดยที่ไม่มีการกำหนดมูลค่าเงินให้กับตัวแปรทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ตัวแปรที่ยากในการกำหนดมูลค่าเงิน คือ ผลกระทบด้านสุขภาพอนามัยของคน มูลค่าของทุน (equity) หรือความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถกลับไปเป็นอย่างเดิมได้

ประเภทของวิธีการวัดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์และกรอบการวัดต้นทุน

การคำนวณต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ ส่วนต่าง (Difference) ของต้นทุนในการดำเนินมาตรการใหม่เพื่อลดการปล่อย เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ปกติ (Reference) ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทคือ

1) ต้นทุนโดยตรงด้านวิศวกรรมและการเงินจากมาตรการด้านเทคนิคเฉพาะ (The Direct Engineering and Financial Costs of Specific Measures) คือ ต้นทุนในการดำเนินการมาตรการด้านเทคนิค เช่น ต้นทุนในการปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันถ่านหินไปเป็นแก๊สในการผลิตไฟฟ้า หรือปรับปรุงประสิทธิภาพ และการปลูกป่า เป็นต้น การรายงานต้นทุนจะแสดงในรูปเงินปัจจุบัน (NPV) หรือต้นทุนเฉลี่ย (Levelized Cost) ตลอดวัฏจักรการดำเนินมาตรการโดยที่ต้นทุนดังกล่าวนี้สามารถให้ผลสุทธิเป็นทั้งค่าบวกและค่าลบได้ ในกรณีผลสุทธิเป็นค่าลบ เนื่องจากผลของการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าต้นทุนในการลงทุน อย่างไรก็ตามการคำนวณต้นทุนจะขึ้นอยู่กับขึ้นกับข้อมูลด้านเทคนิค-เศรษฐศาสตร์และอัตราดอกเบี้ย

2) การคำนวณต้นทุนแยกในแต่ละสาขา (Economic Costs for a Given Sector) คือ การคำนวณต้นทุนที่เกิดจากมาตรการต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่ต่างกัน (Scenario) เพื่อให้ได้ภาพโดยรวมของแต่ละสาขา โดยใช้ปัจจัยต่างๆ เป็นตัวแปร เช่น อัตราการเติบโตของเศรษฐกิจ และสามารถคำนวณจุดสมดุลบางส่วนได้ (Partial Equilibrium) ในปัจจุบันมีแบบจำลองในการคำนวณต้นทุนอย่างแพร่หลายในด้านพลังงานและป่าไม้ แต่ยังไม่แพร่หลายในด้านขนส่งและเกษตรกรรม

3) ต้นทุนเศรษฐศาสตร์มหภาค (Macroeconomic Costs) คือ การประเมินผลกระทบของมาตรการในภาพรวมทั้งหมด เช่น ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Gross Domestic Product, GDP) และการใช้พลังงานในครัวเรือน การลงทุน เป็นต้น โดยการกำหนดดัชนีชี้วัดต่างๆ เช่น เงินมูลค่าเพิ่มของสินค้าและบริการ รวมทั้งกิจกรรมผู้ประกอบการต่างๆ (Human Activities) ในตลาด นอกจากนี้แล้วการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์มหภาคยังสามารถใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาขานั้นๆ กับเศรษฐกิจในภาพรวมได้ โดยใช้แบบจำลองที่คำนวณจุดสมดุลทั่วไป (General Equilibrium) เช่นแบบจำลองคำนวณดุลยภาพทั่วไป (Computable General Equilibrium Model : CGE Model)

4) ต้นทุนด้านสวัสดิการ (Welfare costs) คือ ต้นทุนด้านสุขภาพ สังคม และความเป็นอยู่ของประชาชนซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ GDP จะไม่มีผลโดยตรง โดยมีเหตุผลต่างๆ ดังนี้ คือ (1) การดำเนินนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศอาจมีกระทบต่อ GDP ซึ่งทำให้มีทิศทางการลงทุนที่สูงขึ้นและใช้พลังงานลดลง แต่จะไม่มีผลต่อต้นทุนด้านสวัสดิการ (2) ต้นทุนด้านสวัสดิการอาจไม่เพิ่มขึ้นอย่างเชิง

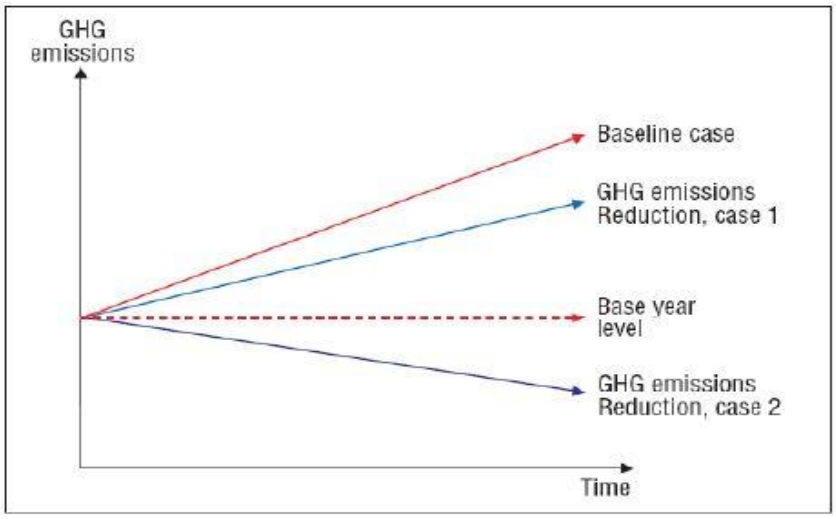
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เส้นเมื่อเทียบกับการใช้พลังงาน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงาน จึงไม่สามารถมาใช้กับต้นทุนด้านสวัสดิการได้ (3) การเปลี่ยนแปลงของระดับ GDP ไม่ก่อให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายรายได้กับต้นทุนด้านสวัสดิการโดยรวม และ (4) ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมมีผลต่อต้นทุนสวัสดิการที่ลดลง แต่จะไม่ทำให้ GDP ลดลง

ปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณต้นทุน

1) Tax Recycling คือ โครงสร้างของระบบภาษีในกรณีสภาวะปกติ (Baseline) และกรณีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation) ที่มีการแทนที่ของภาษี (Tax Substitution) โดยการนำรายได้ที่เก็บได้จากค่าภาษีคาร์บอนไปหมุนเวียนกลับสู่ระบบเศรษฐกิจ (Revenue Recycling) ทั้งรูปแบบของกระจาย (Distribution) และการชดเชย (Compensation) ซึ่งต้นทุนสุทธิของนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศ (Climate Policy) ขึ้นอยู่กับ (1) โครงสร้างของระบบภาษีก่อนนำเสนอนโยบาย และ (2) ลักษณะของนโยบายว่ามีมาตรการด้านภาษีอะไรบ้างที่เกี่ยวข้อง หรือรูปแบบของรายได้ที่จะนำกลับไปหมุนเวียนสู่ระบบและถ้ามีการบิดเบียนของภาษีในอดีต จะทำให้มีความสูญเสียด้านสวัสดิการมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าภาษีคาร์บอนอาจทำให้มีภาระด้านสวัสดิการเพิ่มขึ้น หรือเกิดประโยชน์สองด้าน (Double Dividend) อย่างไรก็ตาม ระบบภาษีคาร์บอนทำให้เกิดประโยชน์มากกว่ามาตรการอื่นๆ ในการบรรลุเป้าหมายของพิธีสารเกียวโต

2) การกำหนดเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามปริมาณและช่วงเวลา (Target Setting for GHG Emission Reduction : Level and Timing) การกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาจะมีผลต่อการประมาณต้นทุนในลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การกำหนดเป้าหมายในการลดการปล่อยมี 2 วิธี คือ (1) กำหนดเทียบกับปีฐาน (Base Year) หรือ (2) การใช้วิธีการคาดการณ์แนวโน้มในอนาคต (Baseline) สำหรับเป้าหมายในการลดเทียบกับปีฐานจะมีความแม่นยำในแง่ของเป้าหมายการลด แต่ในกรณีของการกำหนดเป้าหมายในรูปแบบร้อยละของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต (Baseline) จะมีความไม่แน่นอนสูงสำหรับการบรรลุเป้า เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตไม่มีใครคาดการณ์ได้แน่นอน รูปที่ 2-25 แสดงการเลือกวิธีการกำหนดเป้าหมายที่ต่างกัน โดยที่เป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกรณี 2 จะเทียบกับปีฐาน แต่สำหรับกรณี 1 จะเทียบกับกรณีการคาดการณ์การปล่อยในอนาคต (Baseline Case)



รูปที่ 0-27 การกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยกำหนดเทียบกับปีฐานและแนวโน้มในอนาคต
ที่มา: Richels และคณะ (1995)

นอกจากนี้แล้ว ช่วงเวลา (Timing) ของนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต้นทุน เช่น กรณีนโยบายในระยะสั้น เงินลงทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะขึ้นอยู่กับค่า Capital Stock และสาธารณูปโภคและโครงสร้างของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเป็นต้น

3) กลไกความร่วมมือระดับนานาชาติ (International Co-operative Mechanisms) โดยทั่วไปต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแปรผันในแต่ละประเทศ ขึ้นกับโครงสร้างทางเศรษฐกิจ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และปัจจัยอื่นๆ จากความแตกต่างของต้นทุนในแต่ละประเทศ จึงทำให้โอกาสในการแสวงหาผลประโยชน์จากกลไกความร่วมมือระดับนานาชาติ เช่น การซื้อขายก๊าซเรือนกระจกระหว่างประเทศ (ET) การดำเนินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกร่วมกัน (JI) และกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM)

4) การกำหนดค่าสมมุติฐานขั้นวิกฤตในสาขาพลังงาน (Critical Assumption in the Energy Sector) การตั้งค่าสมมุติฐานมีความสำคัญในการศึกษาเงินทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงในตารางที่ 2-24 ตัวอย่างของตัวแปร เช่น ประชากร อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจ อุปสงค์และอุปทานของพลังงาน ความยืดหยุ่นของอุปสงค์พลังงานต่อราคาและรายได้ มาตรการและกฎ ระเบียบ รวมทั้งระบบภาษีซึ่งตัวแปรในสมมุติฐานจะใช้ในการเชื่อมกันระหว่างกรณีปกติ (baseline) และกรณีนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศ (Climate Policy)

ตารางที่ 0-23 ตัวแปรที่มีความสำคัญในการศึกษาเงินทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ประเภทตัวแปร	ความหมาย
ประชากร	อัตราการเติบโตของประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น
อัตราการเติบโตด้านเศรษฐกิจ	อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการใช้พลังงานในกิจกรรมและอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มขึ้น
ด้านอุปสงค์พลังงาน (energy demand) ● การเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้าง (structural change) ● การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยี (technological change) ● วิถีชีวิต (lifestyle)	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสาขาพลังงานนั้นๆ ทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อการใช้พลังงาน และค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานปฐมภูมิ
ด้านอุปทานพลังงาน (energy supply) ● เทคโนโลยีที่สามารถจัดหาและใช้งานได้ และต้นทุน ● เทคโนโลยีเสริม ● การเรียนรู้จากอดีต (learning)	ต้นทุนของการจัดหาพลังงานทางเลือก โดยที่พลังงงานที่มีปริมาณมากที่สามารถจัดหาได้ จะถูกกำหนดให้เป็นค่าการประมาณต้นทุนสูงสุดอย่างไรก็ตาม ต้นทุนของเทคโนโลยีจะมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา ปริมาณของตลาดและขนาดของหน่วยงานที่ต้องการ
ความยืดหยุ่นของอุปสงค์พลังงานต่อราคาและรายได้	ค่าความยืดหยุ่นคือ ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุปสงค์พลังงานกับการเปลี่ยนแปลงด้านราคาหรือรายได้ ซึ่งถ้าค่าความยืดหยุ่นมากขึ้นก็จะทำให้การใช้พลังงานตอบสนองมาก
ต้นทุนค่าดำเนินการ	ค่าการดำเนินโครงการ ค่าบริหารโครงการและขนาดของโครงการ
มาตรการและเครื่องมือด้านนโยบาย ● เครื่องมือ ● ปัญหาและอุปสรรค	ความสัมพันธ์ระหว่างเศรษฐกิจ และกฎ ระเบียบและมาตรการต่างๆ เช่นต้นทุนในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรค การปรับปรุงและพัฒนาองค์กร หรือการแก้ไขระบบตลาด รวมทั้งการพัฒนาบุคลากร
ระบบภาษีในปัจจุบันและระบบ Tax Recycling	การแทนที่ Distortionary Taxes ทำให้ต้นทุนลดลง
ผลประโยชน์จากความช่วยเหลืออื่นๆ	นโยบายด้านสิ่งแวดในระดับท้องถิ่นและระดับพื้นที่ทำให้เกิดผลประโยชน์ด้านอื่นๆ (Secondary defenefits) เช่น การกระจายรายได้ การจ้างงานเป็นต้น

ที่มา: Alessandro Lanza และคณะ 2001

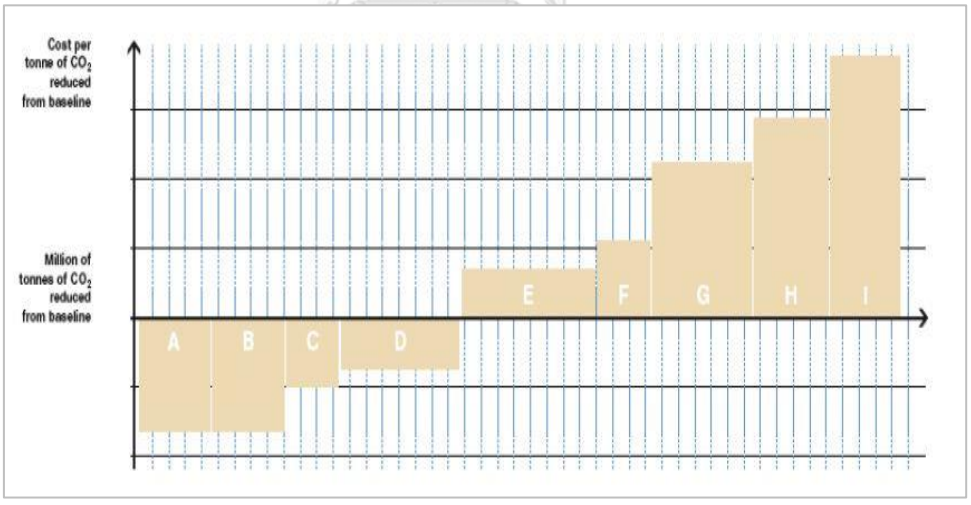
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การรายงานผลการพยากรณ์เชิงปริมาณ

- GHG Emission Reduction Marginal Cost Curves : Bottom-Up Approach

การรายงานผลลัพธ์จากการศึกษาการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถรายงานได้โดยใช้กราฟต้นทุนเพิ่มจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission Reduction Marginal Cost Curves) การรายงานด้วยวิธีดังกล่าวได้มีการนำไปใช้ทั่วไป เช่น การรายงานของ UNEP สำหรับภาคพลังงาน หลักการสำหรับวิธีนี้คือ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนที่น้อยที่สุดในแต่ละมาตรการกับปริมาณของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ยกตัวอย่างกรณี เช่น การสร้างกราฟ Abatement Cost Curves for GHG Emission Reduction ตามแต่ละมาตรการด้วยวิธี Bottom-Up

หลังจากคำนวณ Abatement Cost และ CO_2 Emission Reduction ในแต่ละมาตรการแล้ว นำผลลัพธ์ทั้งหมดมาวาดกราฟ แสดงในรูปที่ 2-26 ซึ่งแกน Y จะแสดงค่า Baht per tCO_2 และแกน X จะแสดงค่าปริมาณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือส่วนต่างระหว่างกรณีปกติกับกรณีดำเนินมาตรการ จากนั้นนำปริมาณการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละมาตรการมารวมกัน (Cumulative Method) สำหรับการคำนวณต้นทุนเพิ่มจากการดำเนินมาตรการ สามารถทำได้โดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ

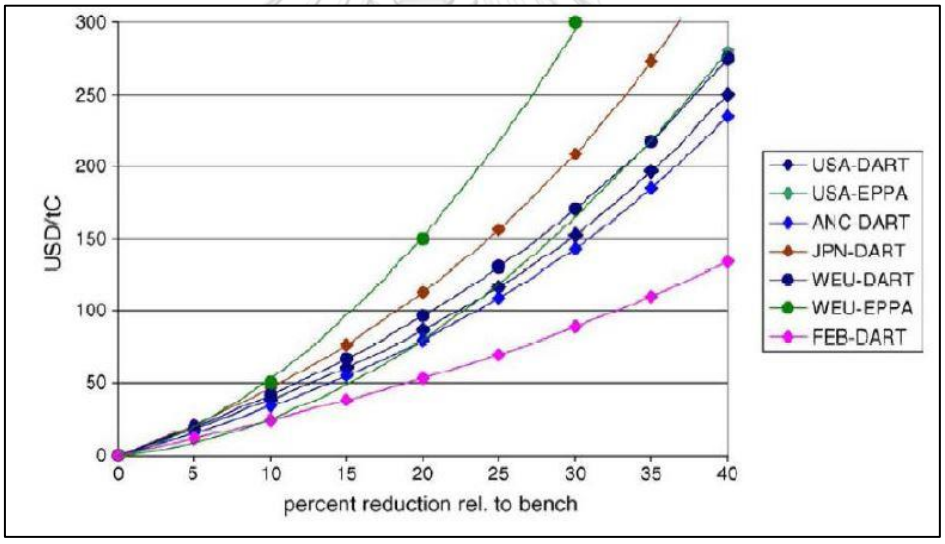


รูปที่ 0-28 ตัวอย่างของ Abatement Cost แสดงเป็นราคาต่อตันของ CO_2 ที่ลดได้และศักยภาพของปริมาณสะสมของ CO_2 ที่ลดได้จากเส้นฐาน (UNFCCC)

ที่มา: GHG Emission Reduction Marginal Cost Curves: Top-Down Approach (Tippichai,2010)

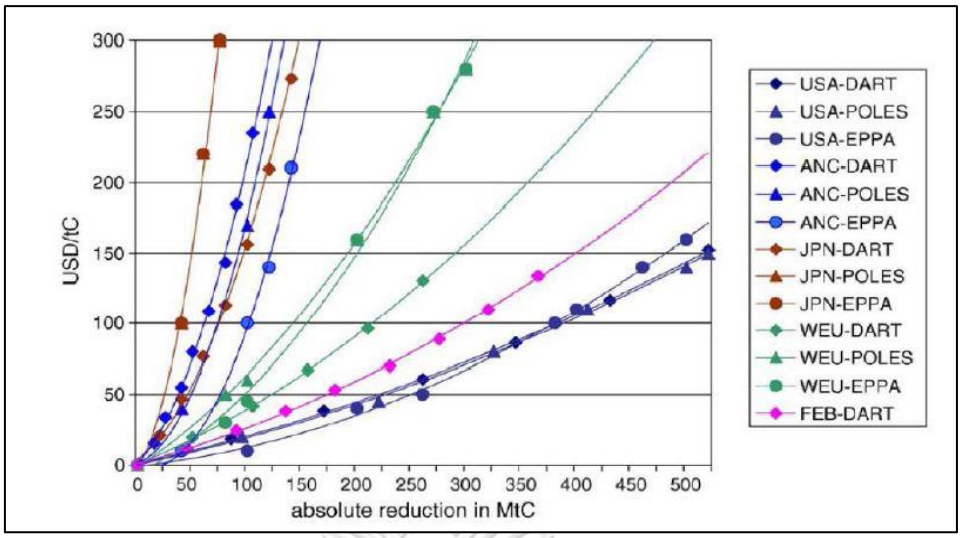
การรายงานผลลัพธ์จากการศึกษาการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก นอกจากจะสามารถรายงานโดยใช้วิธี Bottom-up แล้ว ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การรายงานยังสามารถรายงานได้โดยใช้วิธี Top-down ซึ่งเป็นการศึกษาด้วยแบบจำลองด้านเศรษฐกิจมหภาค (Macroeconomic model) ส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองดุลยภาพทั่วไป (Computable General Equilibrium Model, CGE) ซึ่งส่วนมากมีการศึกษาในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา รัสเซีย ยุโรปตะวันตก ญี่ปุ่น จีน และประเทศอินเดีย การวิเคราะห์ GHG Emission Reduction Marginal Cost Curves โดยใช้ CGE Model ต้นทุนที่ได้จากการคำนวณคือ Shadow Cost ซึ่งอยู่ใต้เงื่อนไขของ Carbon emission และพื้นที่ที่ศึกษา รวมทั้งช่วงเวลาในการศึกษา หรือกล่าวอีกในหนึ่งว่า Shadow Cost คือ ภาษี (Tax) ที่จะต้องให้เกิดขึ้นเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเป็นราคาสำหรับการซื้อขายในตลาดคาร์บอน

รูปที่ 2-27 และ 2-28 แสดง Shadow Price หรือ Tax เทียบกับเปอร์เซ็นต์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 0-29 Marginal Cost Curve: Top-down approach

ที่มา: Klepper and Peterson (2006)



รูปที่ 0-30 Marginal Cost Curve: Top-down approach

ที่มา: Klepper and Peterson (2006)

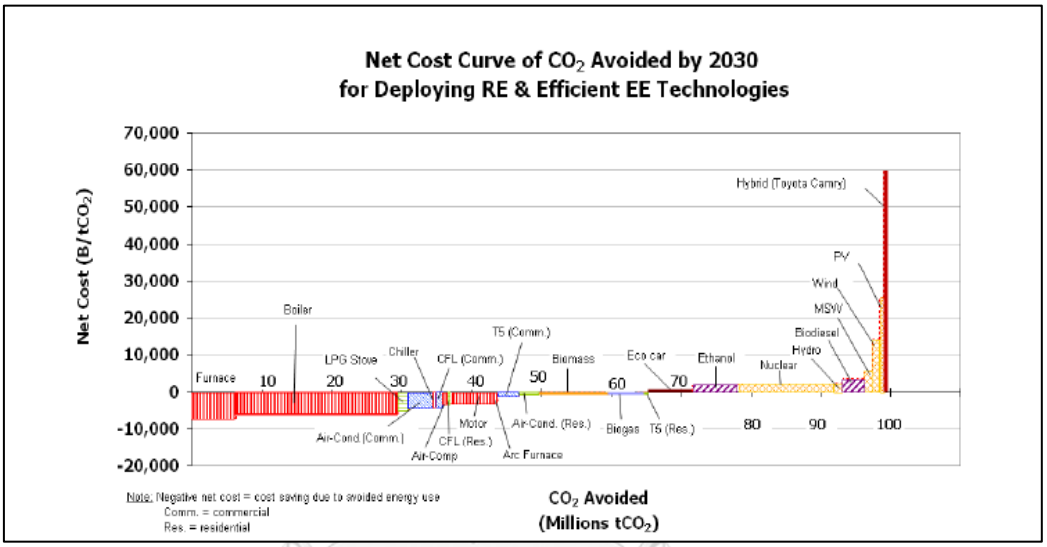
<u>การลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย</u>

การศึกษาการวิเคราะห์ Abatement Cost Curve ภายในประเทศไทย มีการศึกษาอยู่ในบางหน่วยงาน เช่น สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และบริษัท อีอาร์เอ็ม-สยาม จำกัด และสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) และบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอเกล้าธนบุรี เป็นต้น

การศึกษาวิเคราะห์ Abatement Cost Curve โดยบัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย และคณะฯ ในปี พ.ศ. 2552 เป็นการประเมินความรู้ความคุ้มค่าของการลงทุน (Cost effectiveness) ของเทคโนโลยีแต่ละประเภทในภาพรวมของประเทศทั้ง 4 ภาคเศรษฐกิจหลัก ประกอบด้วยภาคอุสาหกรรม ภาคขนส่งทางถนน (ไม่รวมภาคขนส่งทางอากาศและน้ำ) ภาคอาคารและภาคครัวเรือน และพลังงานหมุนเวียนต่างๆ ผลการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 2-28 และตารางที่ 2-25 พบว่า ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย ในปี ค.ศ. 2030 มีทั้งสิ้นประมาณ 100 $MtCO_2$ ส่วนใหญ่อยู่ในภาคอุตสาหกรรม เช่น มาตรการส่งเสริมหม้อไอน้ำประสิทธิภาพสูง (Boiler) มาตรการเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นต้น การคำนวณค่า Abatement Cost มีทั้งค่าลบและค่าบวก โดยที่มาตรการที่เป็นลบมากที่สุด คือ มาตรการส่งเสริมการใช้เตาเผาประสิทธิภาพสูง (Furnace) เท่ากับ -7,050 บาท ต่อ tCO_2 สำหรับมาตรการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในภาค

ผลิตไฟฟ้า พบว่า ค่า Abatement Cost มีค่าเป็นบวก (Regret Option) ทั้งสิ้น โดยเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มีค่า Abatement Cost สูงสุด 25,500 บาท ต่อ tCO_2 (ไม่คิด Hybrid Car)

กล่าวโดยสรุป กลุ่มเทคโนโลยีที่มีศักยภาพประหยัดพลังงานสูงในระยะยาว และมีต้นทุนสุทธิต่ำ ได้แก่ หม้อน้ำ เตาเผาอุตสาหกรรม เตาถ่าน และมอเตอร์ ในแง่การหลีกเลี่ยงการปล่อย CO_2 กลุ่มเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงและต้นทุนสุทธิต่ำก็เป็นกลุ่มเดียวกันกับข้างต้น แต่เพิ่มเครื่องปรับอากาศในอาคารยกเว้นเตาถ่าน



รูปที่ 0-31 Abatement Cost ของRE+EEเทคโนโลยีต่างๆและศักยภาพการสะสมของ CO_2 ที่ลดได้

ที่มา : บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย และคณะฯ 2009 “การประเมิน Cost-Effectiveness ของการลงทุนด้านพลังงานหมุนเวียน และการประหยัดพลังงานในภาพรวมของประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนี้แล้ว บริษัท อีอาร์เอ็ม-สยาม จำกัด ได้ทำการศึกษา Abatement Cost ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการลดก๊าซเรือนกระจกในสาขาเศรษฐกิจที่สำคัญเสนอต่อองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มีนาคม 2553 ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 2-30 ซึ่งแสดงผลเฉพาะค่า Abatement Cost ที่มีค่าต่ำกว่า 250 เหรียญสหรัฐต่อคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า หากพิจารณาเฉพาะมาตรการที่มี Abatement Cost เท่ากับหรือน้อยกว่าศูนย์ พบว่าประเทศไทยมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า มีค่าเท่ากับ 32 $MtCO_2e$ ต่อปี แต่ถ้ามีการพิจารณาทุกมาตรการและเทคโนโลยีรวมกันทั้งหมด จะได้ศักยภาพในการลดการปล่อยเพิ่มขึ้นเป็น 68 $MtCO_2e$

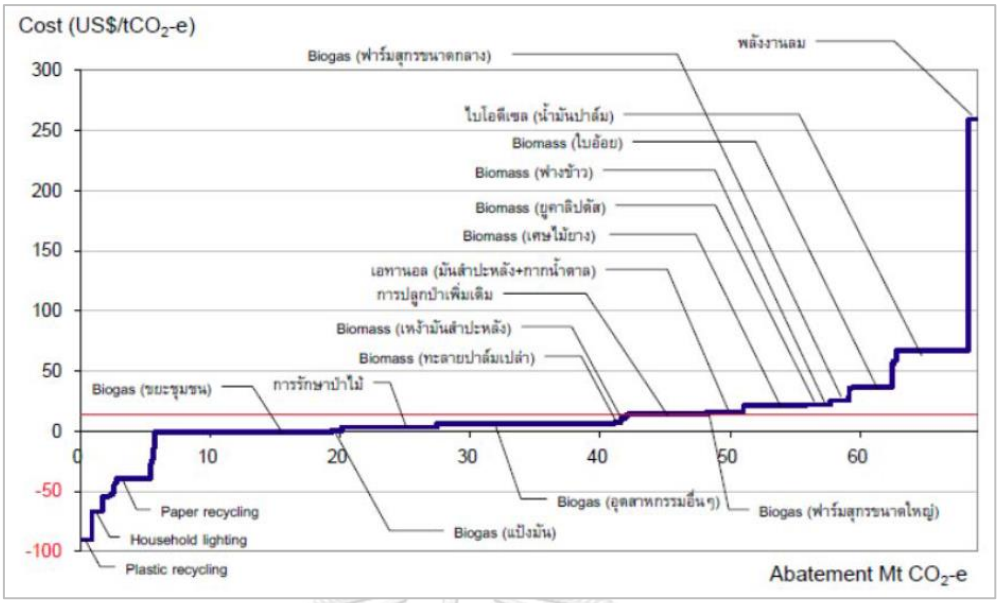
ตารางที่ 0-24 รายละเอียดของ Abatement Cost จำแนกตามรายเทคโนโลยี จนถึงปี พ.ศ.2573

Sector	Technology	Cumulative avoided CO_2 emission $MtCO_2$	Net Cost of avoided CO_2 emission Baht/tCO_2
Industrial			
	Efficient Motor	6.32	-3,070
	Efficient Air Compressor	0.71	-3,300
	Efficient Chiller	0.24	-4,054
	Efficient Arc Furnace	0.24	-2,600
	Efficient Boiler	23.26	-6,050
	Efficient Furnace	6.22	-7,050
Commercial			
	T5 Lamp	3.18	-1,150
	CFL	1.05	-3,810
	Efficient Air-Condition	3.70	-4,340
Residential			
	T5 Lamp	0.32	-20
	CFL	0.42	-3,240
	Efficient Air-Condition Label no.5	2.76	-390
	Efficient LPG Stove	1.54	-5,070
Road Transportation			
	Hybrid Car	0.6	59,882
	Eco-Car	6.59	163
Renewable Energy			
	Biomass	9.2	-85
	Biogas (including CH4)	5.9	-43
	MSW	1.2	5,370
	PV	0.6	25,500
	Wind	1.0	14,100
	Hydro	1.2	2,230
	Nuclear	13.8	2,050
Biofuel	Ethanol	6.4	1950
	Biodiesel	3.1	3,490

หมายเหตุ: ผู้วิจัยได้คำนวณพลังงานหมุนเวียนตามแผนพลังงานทดแทน 15 ปี และประมาณการจนถึงปี พ.ศ. 2573 ตามศักยภาพของแต่ละเทคโนโลยี ยกเว้นเทคโนโลยีแสงอาทิตย์ที่ใช้อัตราการเจริญเติบโตตามแผนพลังงานทดแทนและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ประมาณการติดตั้ง 4,000 MW ค่า plant factor ของ biomass, biogas, MSW, PV, Wind, Nuclear และ Hydro เท่ากับ 0.7, 0.9, 0.94, 0.16, 0.15, 0.85 และ 0.65 ตามลำดับ

ที่มา: บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย (2552)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-32 Abatement Cost จำแนกตามรายเทคโนโลยีสาขาเศรษฐกิจที่สำคัญ
ที่มา: บริษัท อีอาร์เอ็ม-สยาม จำกัด (2553)

จากการทบทวนงานวิจัยด้านศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบริบทของประเทศไทย ในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมาก เหตุผลหลักเกิดจากการพิจารณา Technology Option ที่ต่างกัน รวมทั้งค่าสมมติฐานอื่นๆ เช่น อัตราการใช้งาน (Penetration Rate) เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในปี 2552 มีศักยภาพเท่ากับ 68 $MtCO_2$ ซึ่งพบว่ามาตรการส่วนใหญ่เป็นมาตรการด้านชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และการส่งเสริมการปลูกป่า ในปี พ.ศ. 2563 มีศักยภาพอยู่ระหว่าง 180-508 $MtCO_2$ ในปี พ.ศ. 2573 ศักยภาพลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 100 $MtCO_2$ ซึ่งมาตรการที่มีศักยภาพส่วนใหญ่อยู่ในภาคอุตสาหกรรม โดยการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง

การพิจารณาเลือกมาตรการใดควรทำก่อนหลัง สามารถประเมินได้จากค่า Abatement Cost และขนาดในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยทั่วไปควรเลือกมาตรการที่มีค่า Abatement Cost ติดลบมากที่สุด (แสดงอยู่ในแกน y ของ Abatement Cost) หมายความว่าเป็นมาตรการที่มีความคุ้มค่ามากที่สุดและก่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด ในขณะเดียวกันก็เลือกมาตรการที่ทำให้เกิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (แสดงในแกน x) จากการทบทวนงานวิจัย พบว่า มาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงาน ส่วนใหญ่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งด้านต้นทุนที่ติดลบและขนาดในการลด

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงในโรงงานอุตสาหกรรม มาตรการระบบแสงสว่างประสิทธิภาพสูง มาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงไฟฟ้า

ตารางที่ 0-25 สรุปศักยภาพการลดการปล่อย CO_2 ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2552, 2563, 2573

เทคโนโลยี	**ศักยภาพในการลดการปล่อย CO2 (MtCO2)**			
	ปี 2563	**ปี 2563**	**ปี 2573**	**ปี2552**
	ADB (2552)	**ADB (ALGAS)**	**บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย**	**ERM**
Power : Energy saving	100			
Power : Fuel switching	20			
Power : Fuel SW4*		310.9		
Power : CCS	30			
Power : Nuclear	2		13.8	
Power : Renewable			19.1	
Transport (automobile)	10	4.8	7.2	
Other transport	4			
Residential & Commercial	3			
Other transport	11			
Industry : Co-Gen		47.1		
Industry : Boil		10.9	23.2	
Industry : motor		77.6	6.3	
Industry : Furnace			6.2	
Industry : Air-compressor & Chiller & Arc furnace			1.19	
Residential : Light program		2	0.7	1
Residential : Air-condition program		8.5	2.7	
Residential : Refrigerator program		4.1		
Residential : LPG stove			1.5	
Commercial : Light program		22.7	4.2	
Commercial : Cooling program		19.7		
Commercial : Air-condition program			3.7	
Biofuel			9.5	9
Biomass for heat				10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เทคโนโลยี	ศักยภาพในการลดการปล่อย CO2 (MtCO2)			
	ปี 2563	ปี 2563	ปี 2573	ปี2552
	ADB (2552)	ADB (ALGAS)	บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย	ERM
Biomass				35
Other (reforestation, plastic & paper recycling)				13
Total	**180**	**508**	**100**	**68**

หมายเหตุ * เลือกกรณีที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุด คือ กรณี SW4 ที่มี Fuel mix คือ 3% coal, 10% natural gas และ 80% Nuclear

ที่มา: รายงานการสังเคราะหและประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 (2554)

2.12.2 นโยบายการด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

2.12.2.1 การตอบสนองต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

<u>กรอบความร่วมมือระหว่างประเทศ ในปีพ.ศ. 2533 (ค.ศ. 1990)</u>

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ซึ่งเป็นองค์กรสนับสนุนข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้พิมพ์เผยแพร่รายงานการประเมินสถานการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อยืนยันถึงสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงอันเป็นผลมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศโลก และคาดการณ์ถึงภัยคุกคามที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การละลายของภูเขาน้ำแข็งและธารน้ำแข็ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทร การก่อตัวรุนแรงของภัยธรรมชาติที่เกิดบ่อยครั้งขึ้น เป็นต้น ผลการประเมินดังกล่าวได้ก่อให้เกิดความร่วมมือระดับโลกขึ้น โดยกำหนดเป็นกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) เพื่อใช้เป็นเวทีในการสร้างความร่วมมือจากนานาชาติในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความรุนแรงของปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความจำเป็นในการเข้าร่วมกับประชาคมโลกในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้ร่วมให้สัตยาบันเป็นภาคีในกรอบอนุสัญญาฯ เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2537 ทั้งนี้กรอบอนุสัญญาฯ ได้จำแนกประเทศภาคีเป็น ๓ กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มภาคผนวกที่ 1 คือ ประเทศอุตสาหกรรม ที่พัฒนาแล้วที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากมาก่อน จัดเป็นกลุ่มที่มีต้องมีพันธกรณีที่เป็นรูปธรรมในการลดก๊าซเรือนกระจก เช่น มีเป้าหมายการลด กลุ่มภาคผนวกที่ 2 คือ ประเทศพัฒนาแล้วตามภาคผนวกที่ 1 แต่ไม่รวมประเทศที่มีการเปลี่ยนผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทางเศรษฐกิจ (จากสังคมนิยมเป็นทุนนิยม) โดยกลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มที่ต้องให้การสนับสนุนทางการเงิน การพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีและการสร้างศักยภาพ ให้แก่ประเทศกำลังพัฒนาในการลดก๊าซเรือนกระจกและปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และกลุ่มนอกภาคผนวกที่ 1 คือ ประเทศกำลังพัฒนา ซึ่ง ดังนั้น ตั้งแต่การให้สัตยาบันเมื่อปีพ.ศ. 2537 จนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มนอกภาคผนวกที่ 1 ซึ่งไม่มีพันธกรณีที่จะต้องตั้งเป้าหมายการลด แต่มีพันธกรณีในการ 1) จัดทำและปรับปรุงบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศ รวมถึงเผยแพร่ข้อมูลดังกล่าวให้ประเทศภาคีอนุสัญญาฯ ทราบ 2) จัดทำแผนของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจกและปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 3) ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกรายสาขา ซึ่งรวมถึง พลังงาน คมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม เกษตร ป่าไม้และการจัดการของเสีย 4) สนับสนุนการอนุรักษ์แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ป่าไม้ชีวมวล และระบบนิเวศ ทั้งบนบกชายฝั่ง และทางทะเล 5) ประสานความร่วมมือเพื่อรับมือและปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 6) คำนึงถึงเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในการกำหนดนโยบายและแผนด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม 7) ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้อง 8) ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงวิชาการ เชิงเศรษฐสังคม และเชิงกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินมาตรการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 9) ส่งเสริมความร่วมมือในการให้การศึกษา การฝึกอบรม และการสร้างความตระหนักแก่สาธารณชน ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 10) จัดทำรายงานแห่งชาติครอบคลุมข้อมูลบัญชีก๊าซเรือนกระจก สถานการณ์และการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศ เผยแพร่ให้แก่ประเทศภาคีทราบ โดยประเทศในกลุ่มนอกภาคผนวกที่ 1 จะได้รับการสนับสนุนทางการเงินในการจัดทำรายงานแห่งชาติดังกล่าว การดำเนินงานภายใต้กรอบอนุสัญญาฯ สามารถแบ่งเป็น 1 ช่วงหลัก ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
Chulalongkorn University

- การดำเนินงานสำหรับช่วงก่อน ปี ค.ศ. 2020 (Pre-2020)

สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกเพื่อจัดทำเจตจำนงการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (NAMA Pledge) โดยผลการศึกษาระบุถึงเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 7-20 ในภาคพลังงานและคมนาคมขนส่งเมื่อเทียบกับกรณีปกติในปีค.ศ. 2020 (กรณีปกติได้แก่ ปีค.ศ. 2005)

- การดำเนินงานสำหรับช่วงหลัง ปี ค.ศ. 2020 (Post-2020)

ประเทศไทยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อมโลกในการดำเนินการจัดทำINDCs ของประเทศ โดยจะทำการศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศและกำหนดเป็นเป้าหมายระยะยาวภายหลัง ปีค.ศ. 2020

แนวทางการดำเนินงานภายในประเทศ

หากพิจารณาจากนโยบายและทิศทางในการพัฒนาประเทศไทย จะเห็นได้ว่านโยบายและแผนหลักๆ ของประเทศ เช่น แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2555-2559 เป็นต้น มีแนวคิดและทิศทางที่ส่งเสริมการดำเนินงานเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่แล้ว เนื่องจากในการจัดทำนโยบายและแผนดังกล่าว ได้ระบุเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญประการหนึ่งสำหรับประเทศสำหรับการจัดทำนโยบายและแผนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยตรง ได้มีการจัดทำยุทธศาสตร์แห่งชาติว่าด้วยการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2551-2555 เป็นกรอบแนวทางในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นฉบับแรก ประกอบด้วย 6 ยุทธศาสตร์ได้แก่ 1) การสร้างความสามารถในการปรับตัวเพื่อรับมือและลดความล่อแหลมต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2) การสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มแหล่งดูดซับก๊าซบนพื้นฐานของการพัฒนาที่ยั่งยืน 3) การสนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างความเข้าใจที่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 4) การสร้างความตระหนักรู้และการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 5) การเพิ่มศักยภาพของบุคลากรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 6) การพัฒนาการดำเนินงานในกรอบความร่วมมือกับต่างประเทศ ทั้งนี้การจัดทำแผนแม่บทฯ ฉบับนี้จึงเป็นการกำหนดกรอบแนวทางในระยะที่ต่อเนื่องจากยุทธศาสตร์แห่งชาติฯ ดังกล่าวนอกจากนี้ประเทศไทยยังมีนโยบายและมาตรการรายสาขาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้แก่ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกร้อยละ 25 ใน 10 ปีแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี แผนแม่บทด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช ยุทธศาสตร์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้านการเกษตร แผนยุทธศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติแผนแม่บทการพัฒนาระบบขนส่งที่ยั่งยืนและลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2556-2573 เป็นต้น ทั้งนี้ได้นำแผนด้านพลังงานและคมนาคมขนส่งมาเป็นพื้นฐานสำคัญในการจัดทำเจตจำนงการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศด้วย การกำหนดแนวทางการดำเนินงานของแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593 จึงไม่ได้เริ่มจากสุญญากาศ แต่เป็นการต่อยอดการดำเนินงานที่มีอยู่แล้วโดยมุ่งเน้นให้เกิดความครอบคลุม ครบถ้วน มีความต่อเนื่องของการดำเนินงานเพื่อให้เหมาะสมกับการแก้ปัญหาระยะยาว และมีความสอดคล้องกับการดำเนินงานของนานาประเทศ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์แนวโน้มและสถานการณ์ต่างๆ สามารถสรุปเป็นกรอบแนวทางหลักในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรอบแนวทางที่ 1 มุ่งเน้นการเสริมสร้างขีดความสามารถในการปรับตัวและรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคส่วนต่างๆ อย่างเป็นรูปธรรม โดยให้ความสำคัญกับภาคส่วนที่มีความอ่อนไหวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงและมีศักยภาพต่ำในการรับมือกับผลกระทบ เช่น กลุ่มผู้มีรายได้น้อยชุมชนในพื้นที่เสี่ยงภัยธรรมชาติกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มธุรกิจที่จำเป็นต้องพึ่งพาสภาพอากาศและทรัพยากรธรรมชาติในการหาเลี้ยงชีพ เช่น ภาคการท่องเที่ยวโดยเฉพาะในส่วนที่ดำเนินการโดยผู้ประกอบการรายย่อย เป็นต้น นอกจากนี้ควรเร่งผลักดันมาตรการอนุรักษ์และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนและมาตรการการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดแรงกดดันต่อฐานทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพสิ่งแวดล้อม และรักษาหรือเสริมสร้างขีดความสามารถของฐานทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศในการรับมือและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อป้องกันผลกระทบอื่นๆ ที่เกิดจากการเสื่อมโทรมของฐานทรัพยากรธรรมชาติเช่น ลดปัญหาความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงฐานทรัพยากรธรรมชาติซึ่งนำไปสู่ความเหลื่อมล้ำของรายได้ประชากรในที่สุด

กรอบแนวทางที่ 2 มุ่งเน้นการลดก๊าซเรือนกระจก โดยผลักดันนโยบายการพัฒนาพลังงานที่ปล่อยคาร์บอนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มาตรการอนุรักษ์และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคส่วนต่างๆ เช่น คมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม อาคาร เมือง เป็นต้น ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ปล่อยคาร์บอนต่ำในหลายสาขา การขยายแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกให้ครอบคลุมภาคส่วนอื่นๆ โดยใช้หลักการสมประโยชน์ (win-win) หรือการมีประโยชน์ร่วมกัน (co-benefits) เช่น การเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน การส่งเสริมการผลิตสินค้าและบริการที่ปล่อยคาร์บอนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและขยายตลาดสินค้าและบริการของไทย และการสร้างศักยภาพให้สามารถลดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มเติม สำหรับภาคส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรอบแนวทางที่ 3 มุ่งเน้นการขับเคลื่อนนโยบายและแผนที่เกี่ยวข้องให้มีผลในทางปฏิบัติและสามารถบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความเชื่อมโยงกับการปรับทิศทางการพัฒนาให้มีภูมิคุ้มกันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมุ่งสู่การเติบโตแบบปล่อยคาร์บอนต่ำ จึงจำเป็นต้องวางแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถของทุกภาคส่วนในการขับเคลื่อนไปสู่ทิศทางดังกล่าวได้ทั้งการพัฒนาเรื่องฐานข้อมูลและองค์ความรู้ประกอบการกำหนดนโยบายและแผนอย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาเทคโนโลยีและบุคลากรรองรับทิศทางการพัฒนาในรูปแบบใหม่ การสร้างความตระหนักรู้ของภาคส่วนต่างๆ เพื่อให้สามารถมีส่วนร่วมอย่างเข้าใจในบทบาทที่ถูกต้อง เพื่อให้เกิดการดำเนินงานที่ยั่งยืน

รวมถึงการสอดประสานการดำเนินงานภายในและระหว่างประเทศให้สามารถส่งเสริมและต่อยอดซึ่งกันและกัน

2.12.2.2. แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593

<u>เป้าหมาย</u>

การกำหนดเป้าหมายของแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593 แบ่งเป็นเป้าหมาย 3 ระยะ และเป้าหมายในแต่ละระยะจะแบ่งแนวทางการดำเนินงานออกเป็น 3 ด้าน 1) ด้านการปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 2) ด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการเติมโตที่ปล่อยคาร์บอนต่ำ 3) ด้านการสร้างขีดความสามารถและขับเคลื่อนการดำเนินงาน

- เป้าหมายระยะสั้น (พ.ศ. 2559) ด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการเติมโตที่ปล่อยคาร์บอนต่ำ ประกอบด้วย 2 เป้าหมาย ได้แก่

- มีการจัดทำเป้าหมายและ Roadmap การลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศในระยะกลางและระยะยาว และมีการกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกในระยะกลางและระยะยาวในสาขาอุตสาหกรรมที่มีความพร้อม

- มีการจัดตั้งกลไกภายในประเทศที่เหมาะสมโดยใช้มาตรการผสมผสาน ทั้งเชิงเศรษฐศาสตร์และกฎหมาย ในการสร้างแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนาแบบปล่อยคาร์บอนต่ำ

- เป้าหมายระยะกลาง (พ.ศ. 2563) ด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการเติมโตที่ปล่อยคาร์บอนต่ำ ประกอบด้วย 3 เป้าหมาย ได้แก่

- การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศลดลงร้อยละ 7-20 ในภาคพลังงานและ คมนาคมขนส่ง เมื่อเทียบกับกรณี BAU (ปีเป้าหมาย พ.ศ. 2564)

- มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศอย่างน้อยร้อยละ 25 (ปีเป้าหมาย พ.ศ. 2564) เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564)

- สัดส่วนของเทศบาลที่มีพื้นที่สีเขียวของชุมชนเมืองไม่น้อยกว่า 10 ตารางเมตรต่อคนเพิ่มขึ้น

- เป้าหมายระยะยาวและเป้าหมายต่อเนื่อง ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วยเป้าหมาย ได้แก่

- ค่าความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลดลงอย่างน้อยร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับกรณี BAU (ปีเป้าหมาย พ.ศ. 2573) เพื่อให้สอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573)

- สัดส่วนการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะเพิ่มขึ้น

- สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการคมนาคมขนส่งทางบกลดลง

- สัดส่วนการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมที่ปล่อยคาร์บอนต่ำและที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

- จำนวนพื้นที่กำจัดมูลฝอยแบบเทกอง (Open Dumping) ลดลง

- สัดส่วนพื้นที่เกษตรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) และเกษตรอินทรีย์เพิ่มขึ้น

- สัดส่วนการเผาในพื้นที่เกษตรลดลง

- สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมลดลง

ส่วนแนวทางการดำเนินงานด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการเติบโตที่ปล่อยคาร์บอนต่ำที่เกี่ยวข้องกับภาคส่วนอาคาร จะมีรายละเอียดดังนี้

<u>การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร</u>

1) กำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร (Building Energy Code) สำหรับอาคารธุรกิจที่มีความเข้มข้นขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยให้สอดคล้องกับศักยภาพความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

2) กำหนดให้มีการเผยแพร่ข้อมูลประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารของอาคารที่พักอาศัย อาคารธุรกิจขนาดเล็ก และอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจของผู้บริโภค

3) พัฒนาเทคโนโลยีผนังและรูปทรงอาคารให้มีความเหมาะสมกับภูมิอากาศเมืองร้อนโดยนำองค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีและการจัดการสมัยใหม่ รวมถึงสนับสนุนการศึกษาวิจัยองค์ความรู้เชิงสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมด้านการประหยัดพลังงานในอาคาร วัสดุศาสตร์เพื่อรองรับและเอื้อต่อการกำหนดมาตรฐานที่เข้มข้นขึ้น และเพื่อพัฒนานวัตกรรมด้านการประหยัดพลังงานในอาคารให้ก้าวหน้าสู่การเป็นผู้นำระดับภูมิภาค

4) กำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพขั้นต่ำในการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร

5) สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีและเทคนิคการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์การทำความเย็น การส่องสว่าง และการผลิตน้ำร้อนในอาคาร โดยพิจารณาการใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานร่วมครอบคลุมทั้งอาคารที่พักอาศัย อาคารธุรกิจขนาดเล็ก และอาคารธุรกิจขนาดใหญ่

<u>การลดการใช้พลังงานภายในอาคาร</u>

6) พัฒนาฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในอาคาร เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานของรอยเท้าเชิงนิเวศ (Ecological Footprint) ในด้านต่างๆ รวมถึง carbon footprint อย่างเหมาะสม

7) ร่วมมือกับผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมสร้างแรงจูงใจให้ภาคประชาชนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็คทรอนิคส์เป็นแบบประหยัดพลังงาน เช่น จัดโครงการนำอุปกรณ์เก่ามาแลกใหม่ เป็นต้น เพื่อกระตุ้นให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยให้การจัดการขยะอิเล็คทรอนิคส์อย่างเป็นระบบทำได้ง่ายขึ้น

8) เพิ่มสัดส่วนการจัดซื้อจัดจ้างสินค้าและบริการสีเขียวสำหรับอาคารธุรกิจ โดยมุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เป็นแบบประหยัดพลังงาน

9) ส่งเสริมอาคารสีเขียว โดยเน้นตั้งแต่ขั้นการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

10) ประชาสัมพันธ์และรณรงค์เพื่อปลูกจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยเผยแพร่ข้อมูลที่เข้าใจง่ายในหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนการสอนของสถานศึกษาในระดับต่างๆ และผ่านทางสื่อสาธารณะ

11) กำหนดให้มีการรายงานและตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานสำหรับอาคาร และโรงงานควบคุม

12) สนับสนุนการจัดทำข้อตกลงด้านการประหยัดพลังงานแบบสมัครใจ (Voluntary Agreement) ระหว่างภาครัฐกับภาคธุรกิจ/อุตสาหกรรม โดยเฉพาะสมาคมธุรกิจต่างๆ และธุรกิจขนาดใหญ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.12.2.3 แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558–2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015)

<u>เป้าหมาย</u>

1) ลดความเข้มการใช้พลังงาน (Energy Intensity; EI) ลงร้อยละ 30 ในปีพ.ศ. 2579 (ค.ศ. 2036) เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2010)

2) ตระหนักถึงเจตจำนงของ APEC มีเป้าหมายร่วมในการลด EI ลงร้อยละ 45 ในปี พ.ศ. 2578 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2548 (ค.ศ. 2005) โดยมุ่งเน้นสัดส่วนที่ประเทศไทยจะสามารถมีส่วนร่วมได้เป็นหลัก

3) ตระหนักถึงเจตจำนงของ UNFCCC ในการประชุม COP 20 ที่ประเทศไทยได้เสนอเป้าหมาย NAMAs ในปี พ.ศ. 2563 จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งและภาคพลังงานให้ได้ร้อยละ 7-20 จากปริมาณที่ปล่อยในปี พ.ศ. 2548 ในภาวะปกติ (สำหรับกรณีที่ไม่ได้รับความช่วยเหลือจากชาติอื่น)

ยุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนแผนสู่การปฏิบัติ

กระทรวงพลังงานได้ดำเนินการใน 4 กลุ่มเศรษฐกิจ คือ 1) ภาคอุตสาหกรรม 2) ภาคอาคารธุรกิจ อาคารของรัฐ 3) ภาคบ้านอยู่อาศัย และ 4) ภาคขนส่ง โดยปรับทิศทางด้วยการพิจารณามาตรการที่สามารถเห็นผลได้เชิงประจักษ์ใน 3 กลยุทธ์ 10 มาตรการ ในการขับเคลื่อนแผนสู่การปฏิบัติ ได้แก่

1) กลยุทธ์ภาคบังคับ (Compulsory Program)

1.1) มาตรการบังคับใช้ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550 กำกับอาคาร/โรงงานที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดตั้งแต่ 1,000 kW หรือ 1,175 kVA ขึ้นไป หรือใช้ไฟฟ้าจากระบบความร้อนจากไอน้ำหรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลขึ้นไปจำนวน 7,870 อาคาร และ 11,335 โรงงาน และอาจนำมาตรการชำระค่าธรรมเนียมพิเศษการใช้ไฟฟ้ามาบังคับใช้ จะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 28 คิดเป็นไฟฟ้า 1,674 ktoe คิดเป็นความร้อน 3,482 ktoe

1.2) มาตรการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารใหม่ (Building Code) จำนวน 4,130 อาคาร โดยประสานร่วมมือกับกระทรวงอุตสาหกรรม และมหาดไทย จะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 36 ของความต้องการใช้พลังงานในอาคารใหม่ คิดเป็นไฟฟ้า 1,166 ktoe รวมทั้งดำเนินการส่งเสริมมาตรฐานขั้นสูง ให้มีมาตรการสนับสนุนเพื่อยกระดับอาคารที่ก่อสร้างใหม่ให้ได้ระดับการประเมินมาตรฐานอาคารเขียวในระดับสากล เช่น มาตรฐาน LEED หรือมาตรฐาน TREES ของสถาบันอาคารเขียวไทยเป็นต้น

1.3) มาตรการกำหนดติดฉลากแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า 22 อุปกรณ์และอุปกรณ์ความร้อน 8 อุปกรณ์ จะลดความต้องการใช้พลังงานในอุปกรณ์แต่ละประเภทได้ร้อยละ 6-35 คิดเป็นไฟฟ้า 2,025 ktoe คิดเป็นความร้อน 2,125 ktoe

1.4) มาตรการกำหนดให้ผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าจะต้องช่วยให้ผู้ใช้บริการหรือผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไฟฟ้า Energy Efficiency Resource Standard (EERS) จะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 0.3 โดยที่ไม่ลดผลผลิตคิดเป็นไฟฟ้า 500 ktoe

2) กลยุทธ์ภาคความร่วมมือ (Voluntary Program)

2.1) มาตรการช่วยเหลือ อุดหนุนด้านการเงิน เพื่อเร่งให้มีการตัดสินใจลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์และเกิดการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 10-30 คิดเป็นไฟฟ้า 1,285 ktoe คิดเป็นความร้อน 8,234 ktoe โดยมีรูปแบบการสนับสนุน เช่น

- ผ่านองค์กรหรือหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการพัฒนาโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบครบวงจร (Turnkey) ที่เข้ามาช่วยรับภาระความเสี่ยง (Risk Retention) การลงทุนและดำเนินการแทนเจ้าของกิจการหรือที่เรียกว่า Energy Service Company; ESCO

- เป็นเงินลดภาระดอกเบี้ยเงินกู้เช่น เงินกู้อัตราดอกเบี้ยต่ า (Soft Loan) เงินทุนหมุนเวียน (Revolving funds) การร่วมทุน (Joint Venture) เป็นเงินให้เปล่า (Grant) เป็นต้น

2.2) มาตรการส่งเสริมการใช้แสงสว่างเพื่ออนุรักษ์พลังงาน โดยเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างใน อาคารภาครัฐ 2 ล้านหลอด และทางสาธารณะ 3 ล้านหลอด เป็น Light Emitting Diode (LED) นอกจากจะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 50 คิดเป็นไฟฟ้า 928 ktoe ตลอดจนการสร้างตลาด LED ทำให้ราคาถูกลงจนประชาชนสามารถซื้อไปใช้ได้แพร่หลาย

2.3) มาตรการอนุรักษ์พลังงานภาคขนส่ง

- กำกับราคาเชื้อเพลิงในภาคขนส่งให้สะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ส่งผลให้ผู้บริโภคตระหนักเรื่องราคาพลังงานและเปลี่ยนลักษณะการใช้พลังงาน คิดเป็นพลังงานที่ลดลง 456 ktoe

- สนับสนุนนโยบายของกระทรวงการคลังในการปรับโครงสร้างภาษีสรรพสามิตรถยนต์ที่จะเริ่มจัดเก็บตามปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 27 คิดเป็น 13,731 ktoe

- เพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งน้ำมันของประเทศ โดยพัฒนาระบบขนส่งน้ำมันทางท่อจะช่วยลดการใช้น้ำมันได้ประมาณ 40 ล้านลิตรต่อปี หรือคิดเป็น 34 ktoe

- สนับสนุนนโยบายและแผนงานของกระทรวงคมนาคมในการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานการจราจรและขนส่งโดยเฉพาะการเปลี่ยนล้อเป็นราง ที่จะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 78 คิดเป็น 9,745 ktoe

- ศึกษา วางแผน และดำเนินการรองรับการใช้ยานยนต์พลังงานไฟฟ้า จะลดความ ต้องการใช้พลังงานลง 1,123 ktoe

- กระทรวงพลังงานจะช่วยเหลือผู้ประกอบกิจการขนส่ง

- ด้านวิศวกรรมเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์ การปรับปรุงรถการเลือกใช้ยางรถยนต์ การจัดการรถเที่ยวเปล่า ฯลฯ ซึ่งจะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 10-12 คิดเป็น 3,633 ktoe

- ด้านพัฒนาบุคลากรในการขับขี่เพื่อการประหยัดพลังงาน (ECO Driving) ซึ่งจะลดความต้องการใช้พลังงานลงร้อยละ 25 คิดเป็น 1,491 ktoe

2.4) มาตรการส่งเสริมการศึกษา วิจัย พัฒนาเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงาน การป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการอนุรักษ์พลังงาน และการกำหนดนโยบายและวางแผนพลังงาน

3) กลยุทธ์สนับสนุน (Complementary Program)

3.1) มาตรการสนับสนุนการพัฒนาบุคลากร และสร้างกำลังคนด้านพลังงาน

3.2) มาตรการสนับสนุนการรณรงค์สร้างจิตสำนึกใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า และเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงาน

โดยแผนอนุรักษ์พลังงาน ในช่วงปี พ.ศ. 2558-2579 มีกรอบการดำเนินงานตามมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในภาคอาคาร อยู่ 2 มาตรการหลัก ได้แก่

<u>มาตรการที่ 1</u> มาตรการการจัดการโรงงานและอาคารควบคุม

<u>แนวทางดำเนินการ</u>

ปัจจุบันมีโรงงานควบคุม 5,285 โรงงาน และอาคารควบคุม 3,008 อาคาร มีการใช้พลังงาน 21,430 ktoe และ 1,144 ktoe ตามลำดับ จากการประเมินในปี 2579 จะเพิ่มจำนวนเป็น 11,300โรงงาน และ 6,100 อาคาร มีการใช้พลังงาน 41,600 ktoe และ 3,500 ktoe แนวทางดำเนินการ กำกับดูแลให้มีระบบจัดการพลังงานเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างเข้มข้น มีการติดตามอย่างเป็นระบบ และส่งเสริมให้โรงงานและอาคารยกระดับประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานได้ด้วยตัวเองอย่างต่อเนื่อง

<u>แผนดำเนินการ</u>

การกำกับดูแล การส่งเสริมประกอบด้วย

1) กำกับดูแลให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมมีระบบจัดการพลังงานเป็นไปตามมาตรฐาน

2) พัฒนาระบบให้มีผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ขึ้นทะเบียน และอบรมพัฒนาผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน

4) พัฒนารูปแบบการกำกับดูแล และแก้ไขกฎระเบียบและกฎหมาย

5) การพัฒนาระบบการติดตาม มีระบบสารสนเทศฐานข้อมูล และดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานรองรับ

6) เตรียมนำระบบ “ค่าธรรมเนียมพิเศษ” มาประยุกต์ใช้กับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมที่ไม่สามารถลดการใช้พลังงานตามเป้าหมายที่กำหนดขึ้นเองได้

7) คาดว่าจะเกิดการลงทุนของโรงงาน และอาคารควบคุม

มาตรการที่ 2 มาตรการใช้เกณฑ์มาตรฐานอาคาร

แนวทางดำเนินการ

ปัจจุบันการบังคับใช้กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกับอาคารสร้างใหม่ที่มีขนาดใหญ่ (พื้นที่ใช้สอยมากกว่า 2,000 ต.ร.ม.) เพื่อให้ออกแบบตามมาตรฐาน BEC ที่กฎกระทรวงกำหนด พพ. ได้เตรียมความพร้อมรองรับการดำเนินการเรียบร้อยแล้ว โดยรอการกำหนดให้มาตรฐาน BEC เป็นหนึ่งในข้อบังคับใช้ในการขออนุญาตก่อสร้างร่วมกับ พ.ร.บ. ควบคุมอาคารของกรมโยธาธิการฯ แนวทางดำเนินการ จึงเป็นการประสานให้กรมโยธาธิการฯ กำหนดให้มาตรฐาน BEC เป็นหนึ่งในข้อบังคับใช้ในการขออนุญาตก่อสร้าง พร้อมกับใช้มาตรการส่งเสริมอาคารก่อสร้างใหม่ใช้เกณฑ์มาตรฐานอาคาร (BEC) รวมทั้งส่งเสริมมาตรฐานขั้นสูงให้มีมาตรการสนับสนุนเพื่อยกระดับอาคารที่ก่อสร้างใหม่ให้ได้ระดับการประเมินมาตรฐานอาคารเขียวในระดับสากล เช่น มาตรฐาน LEED หรือมาตรฐาน TREES ของสถาบันอาคารเขียวไทย

แผนดำเนินการ

การกำกับดูแลการบังคับใช้กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกับอาคารสร้างใหม่ที่มีขนาดใหญ่และส่งเสริมอาคารก่อสร้างใหม่ใช้เกณฑ์มาตรฐานอาคารประกอบด้วย

1) บังคับใช้กฎหมายให้อาคารก่อสร้างใหม่ตามกระทรวงพลังงานกำหนด (อาคารสร้างใหม่หรือต่อเติม เกิน 2000 ตรม.) ผ่านศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2) ส่งเสริมอาคารก่อสร้างใหม่ดำเนินการตามกระทรวงพลังงานกำหนด

3) ริเริ่มมาตรการสนับสนุนให้อาคารใหม่ได้รับการประเมินมาตรฐานอาคารเขียวในระดับสากล เช่น LEED หรือ TREES

4) ส่งเสริมการก่อสร้างอาคาร NET ZERO ENERGY BUILDING

5) คาดว่าจะเกิดการลงทุนเพิ่มเติมในการก่อสร้างอาคารใหม่ตามเกณฑ์มาตรฐานอาคาร

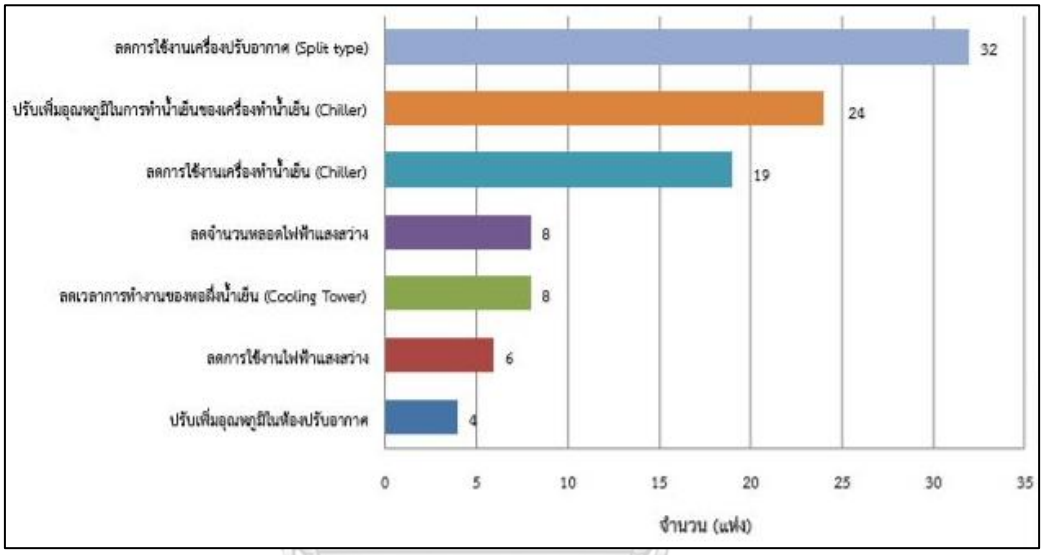
นอกจากนี้จะมีมาตรการอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารเป็นบางส่วนเช่น

มาตรการที่ 3 มาตรการใช้เกณฑ์มาตรฐานและติดฉลากอุปกรณ์ และมาตรการที่ 6 ส่งเสริมการใช้หลอดแอลอีดี ซึ่งจะส่งผลในเรื่องของการใช้พลังงานในอาคารด้วยเช่นกัน

2.13 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการดำเนินการในอาคารควบคุม

มาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 กลุ่มมาตรการ ตามลักษณะของการดำเนินการ ดังนี้

1) มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท House Keeping



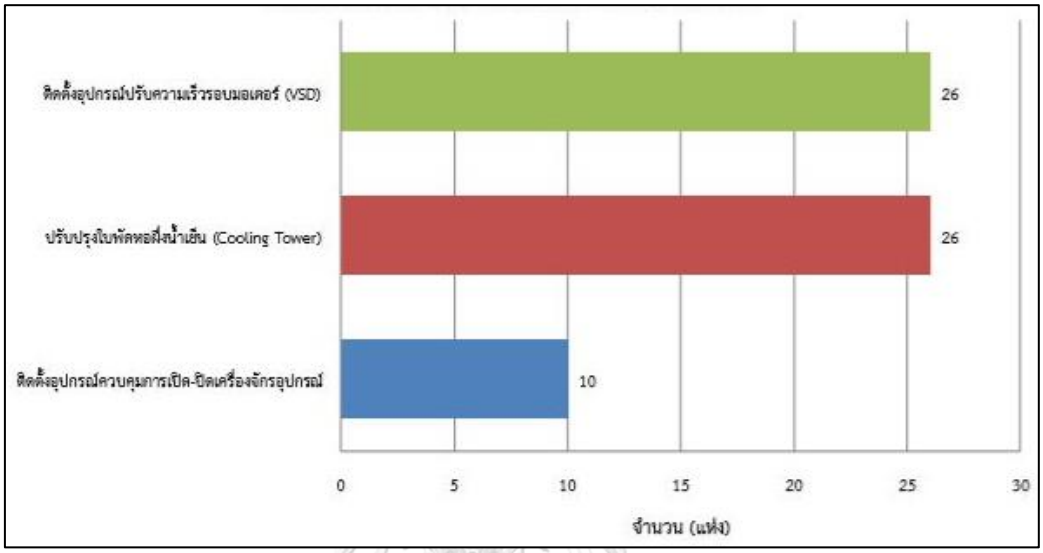
รูปที่ 0-33 มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท House Keeping ที่นิยมดำเนินการในอาคาร
ที่มา: โครงการส่งเสริมการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วยกลไกการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท House Keeping ที่นิยมดำเนินการในอาคารควบคุมมากที่สุด คือ การลดการใช้งานเครื่องปรับอากาศ รองลงมาเป็นการปรับอุณหภูมิการทำน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น การลดการใช้เครื่องทำน้ำเย็น การลดจำนวนหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และการลดเวลาการทำงานของหอผึ่งน้ำเย็น ตามลำดับ

ส่วนมาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Minor change ที่นิยมดำเนินการในอาคารควบคุมมากที่สุดคือ การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ รองลงมาเป็นการปรับปรุงใบพัดหอผึ่งเย็น และการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดขปิดเครื่องจักรอุปกรณ์ ตามลำดับ

2)มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Minor change

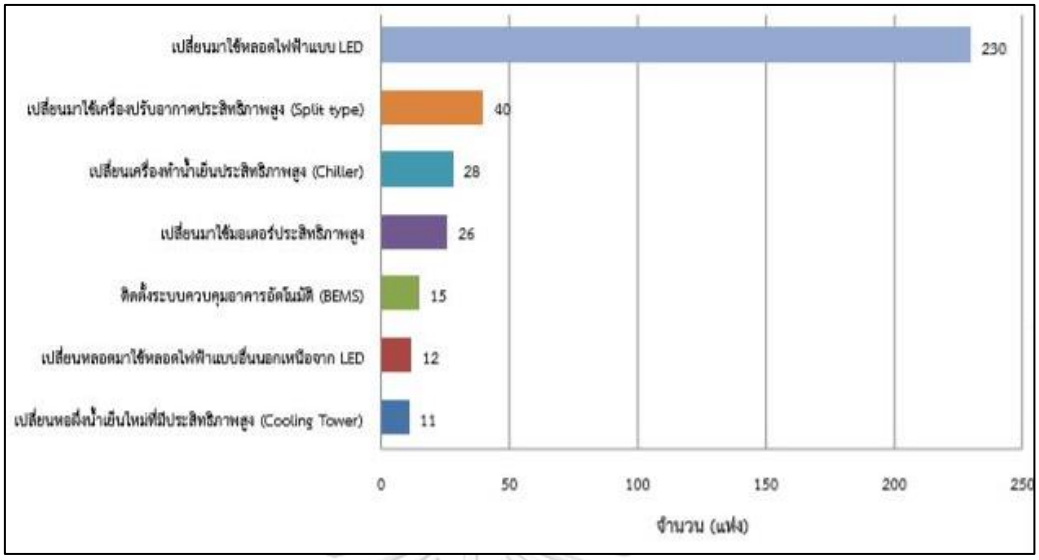


รูปที่ 0-34 มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Minor change ที่นิยมดำเนินการในอาคาร

ที่มา: โครงการส่งเสริมการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วยกลไกการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2560

และมาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Major change ที่นิยมดำเนินการในอาคารควบคุมมากที่สุดคือ การมาใช้หลอดไฟไฟ้แสงสว่างแบบ LED รองลงมาเป็นการเปลี่ยนใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง การเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง การเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และการติดตั้งระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (BEMs) ตามลำดับ

3)มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Major change



รูปที่ 0-35 มาตรการอนุรักษ์พลังงานประเภท Major change ที่นิยมดำเนินการในอาคาร

ที่มา: โครงการส่งเสริมการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วยกลไกการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2560

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Peng, C. (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร (Life Cycle Carbon emission; LCCO2) บนพื้นฐานของระบบ Ecotect Software และ Building Information Modeling (BIM) โดยทำการศึกษาในอาคารของมหาวิทยาลัยในมณฑลหนานจิงของประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า ช่วง การใช้งานของอาคาร (Operation Stage) เป็นช่วงที่มีการปล่อยคาร์บอนออกไซด์มากที่สุด โดยประมาณเท่ากับร้อยละ 85 ของการปล่อยทั้งหมดส่วนช่วงการก่อสร้าง (Construction Stage) คิดเป็นประมาณร้อยละ 12.6 และอีกร้อยละ 2 ในช่วงการรื้อถอนอาคาร (Demolition Stage) โดยหลังจากการศึกษานี้ได้มีการให้คำแนะนำแก่รัฐบาลว่าหากต้องการประสบความสำเร็จในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ควรมีการตั้งเป้าหมายในการดำเนินงานไว้ในช่วงการใช้งานของอาคาร แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรละเลยการประเมินในช่วงอื่นๆ เพราะค่าเฉลี่ยของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่การทำงานต่อปีของช่วงอื่นๆก็มีค่าสูงกว่าช่วงการใช้งานของอาคารเช่นกัน

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร (2550) ได้ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย เพื่อหาแนวทางการเลือกระบบและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาเฉพาะอาคารพักอาศัยมีโครงสร้าง 3 ประเภทหลัก ได้แก่ โครงสร้างไม้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงสร้างคอนกรีต และโครงสร้างเหล็ก แต่เนื่องจากปัจจุบันอาคารโครงสร้างไม้ไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่ากับอาคารโครงสร้างคอนกรีต และโครงสร้างเหล็ก ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอาคารพักอาศัยโครงสร้างคอนกรีตและอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน ผลประเมินโดยรวมพบว่าบ้านโครงสร้างเหล็กเป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อมมากกว่าเล็กน้อย และช่วงการใช้งานอาคารจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด จึงควรเน้นการออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานในช่วงใช้งาน

Ramesh, T. และคณะ (2010) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานในอาคาร โดยได้ทำการศึกษารวบรวมจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานในอาคารของอาคารประเภทที่อยู่อาศัยและอาคารสำนักงาน จำนวนทั้งหมด 73 กรณีศึกษา ใน 13 ประเทศ ผลการศึกษาพบว่า การใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร (ร้อยละ 80-90) และ พลังงานสะสมรวม (ร้อยละ 10-20) เป็นส่วนที่มีผลต่ออุปสงค์ด้านพลังงานของอาคารอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งดัชนีการใช้พลังงานของอาคารประเภทที่อยู่อาศัยจะอยู่ในช่วง 150 – 400 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี ส่วนอาคารประเภทสำนักงานจะอยู่ในช่วง 250 – 550 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี และจากผลการศึกษาพบว่า การลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญสามารถทำได้โดยลดใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร ด้วยการใช้เทคโนโลยีทั้งแบบ Passive และ Active ถึงแม้จะเป็นการเพิ่มปริมาณพลังงานสะสม แต่หากเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมก็จะสามารถ ช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Kofoworola, O.F. และGheewala, S.H. (2009) ได้ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานในอาคารประเภทอาคารสำนักงานทั่วไปในประเทศไทย โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าช่วงการใช้งานอาคารเป็นช่วงมีการใช้พลังงานมากที่สุด ส่วนปริมาณพลังงานสะสมรวมถือว่าเป็นสัดส่วนที่น้อยมาก ซึ่งการใช้พลังงาน (พลังงานไฟฟ้า) ในช่วงการใช้งานอาคารจะมาจากระบบแสงสว่าง และระบบ HVAC เป็นหลัก ส่วนกระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะในกลุ่ม คอนกรีต และเหล็ก เป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าวัสดุอื่นๆ การประยุกต์ใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานแบบผสมผสานแสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงานได้ถึงร้อยละ 40 – 50 ของการใช้พลังงาน (พลังงานไฟฟ้า) นอกจากนี้ยังพบว่าการศึกษาในขั้นต้นพบว่า การนำวัสดุรีไซเคิลกลับมาใช้ในการก่อสร้างอาคารสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้ประมาณร้อยละ 8.9 ของการใช้พลังงานในตลอดวัฏจักรชีวิต ดังนั้นการลดการใช้พลังงานในอาคารควรพิจารณาทั้งในช่วงการใช้งาน และช่วงอื่นๆในวัฏจักรด้วย

Scheuer, C. และคณะ (2003) ได้ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานและสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารประเภทสถานศึกษาที่สร้างใหม่ โดยทำการศึกษาในอาคารที่มีพื้นที่ 7,300

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางเมตร เป็นอาคารสูง 6 ชั้น และกำหนดให้อาคารมีอายุการใช้งาน 75 ปี ซึ่งการใช้งานอาคารแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ชั้นที่ 1-3 ใช้เป็นห้องเรียนและห้องสำนักงาน ส่วนชั้น 4-6 ใช้เป็นห้องพักอาศัย ผลการศึกษาพบว่า จากการประเมินความเข้มของการใช้พลังงานขั้นต้นในตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคารด้วยการใช้แบบจำรองทางคอมพิวเตอร์ มีค่าประมาณเท่ากับ 2.3×10^6 กิกะจูล หรือ 316 กิกะจูลต่อตาราเมตร โดยในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง การขนส่งมายังพื้นที่ก่อสร้าง หรือในช่วงการก่อสร้างนั้นคิดเป็นร้อยละ 2.2 ของการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต ส่วนในช่วงการใช้งานอาคาร ในระบบ HVAC และระบบไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 94.4 รวมถึงการใช้น้ำคิดเป็นร้อยละ 3.3 ส่วนในช่วงการรื้อถอนและการขนส่งเศษวัสดุก่อสร้างคิดเป็นเพียงร้อยละ 0.2 ของการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งผลการประเมินผลกระทบในแต่ละด้าน เช่น ผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน ผลต่อการทำลายชั้นโอโซน เป็นต้น มีความสอดคล้องและสัมพันธ์กับการใช้พลังงานขั้นต้นในแต่ละช่วงตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคารที่ทำการประเมิน

Pan, W. (2014) ได้ศึกษาระบบการกำหนดขอบเขตสำหรับอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ (Zero Carbon Building) เพื่อศึกษารูปแบบแนวคิดและการพัฒนาทางทฤษฎีของการกำหนดขอบเขตการศึกษาสำหรับแนวคิด “อาคารคาร์บอนเป็นศูนย์” จากการทบทวนวรรณกรรมของผู้วิจัยพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาจะมีการศึกษาบนพื้นฐานของพารามิเตอร์สำหรับแนวคิด “คาร์บอนหรือพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net or Nearly Zero Carbon/Energy)” และเน้นการศึกษาเฉพาะในช่วงการใช้งานของอาคารเท่านั้น และจากความตระหนักในเรื่องดังกล่าวหลายๆงานวิจัยจึงได้นำแนวคิดและวิธีการศึกษาแบบวัฏจักรชีวิตเข้ามาใช้ร่วมด้วย ดังนั้นเพื่อให้เป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยที่จะศึกษาเกี่ยวกับการประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และเป็นแนวทางเพื่อใช้สำหรับการอธิบายวิธีการกำหนดขอบเขตการศึกษาโดยละเอียด โดยการพัฒนาทฤษฎีดังกล่าวนี้จะครอบคลุมขอบเขตทั้ง 8 ด้าน ได้แก่ ขอบเขตด้านกรอบเวลาของนโยบาย ขอบเขตด้านวัฏจักรชีวิตของอาคาร ขอบเขตด้านลักษณะทางภูมิศาสตร์ ขอบเขตด้านสภาพภูมิอากาศ ขอบเขตด้านผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ขอบเขตด้านการแบ่งภาคส่วนอาคาร ขอบเขตด้านความหนาแน่น และขอบเขตด้านสถาบันที่เกี่ยวข้อง ซึ่งขอบเขตแต่ละด้านเหล่านี้จะส่งต่ออย่างสัมพันธ์กันและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผลการศึกษานี้ได้ให้ข้อสรุปว่า แนวคิดอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ ควรจะถูกมองว่าเป็นแนวคิดที่มีความซับซ้อนด้านเทคนิคทางสังคมแต่ไม่ควรมองว่าเป็นเสมือนแนวคิดสำหรับอาคารที่ยั่งยืน เนื่องจากผลการศึกษาที่ได้จากการสำรวจกรณีศึกษาในอาคาร 5 แห่งทั่วโลก ได้ยืนยันว่าอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ตัวอย่างทั้ง 5 อาคารมีความหลากหลาย มีความซับซ้อน และไม่มีความชัดเจนในเรื่องของการกำหนดขอบเขตที่จำเพาะ ส่งผลให้การเปรียบเทียบระหว่างอาคารตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของรายละเอียดจึงจะเปรียบเสมือนการเปรียบเทียบระหว่างลูกแอปเปิ้ลกับลูกแพร์

Abu Bakar, N.N. และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Index; EEI) ที่เป็นเหมือนตัวชี้วัดสำหรับการตรวจวัดประสิทธิภาพการใช้พลังในอาคาร โดยเป็นการวิจารณ์ทบทวน รูปแบบของวิธีการศึกษาเพื่อให้ได้มาซึ่งค่า EEI จากงานวิจัยต่างๆ เนื่องจากเห็นว่าการคาดการณ์การใช้พลังงาน เป็นกลยุทธ์หรือวิธีการที่ช่วยให้ประสบความสำเร็จในการลดการใช้พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพ จากการศึกษาพบว่า ตัวบงชี้ส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยมีวัตถุประสงค์ในการ ตรวจติดตาม และการตรวจวัด การใช้พลังงานในอาคารเป็นส่วนมากแต่อย่างไรก็ตามยังพบว่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารในช่วงของการใช้งานอาคาร เช่น ประเภทของกิจกรรมของอาคาร สภาพ วัสดุในการก่อสร้าง ระบบ HVAC และ การใช้งานของผู้ที่อาศัยในอาคาร ซึ่งเป็นตัวบงชี้ที่ยากสำหรับการประเมินและตรวจวัด เนื่องจากตัวแปรต่างๆเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับรูปแบบในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

Tjandra, T.B. และคณะ (2016) ศึกษาการสร้างกรอบแนวทางและวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตปริ้นของอาคารประเภทสำนักงานในประเทศสิงคโปร์ โดยทำการศึกษาในช่วงการใช้งานของอาคาร ซึ่งจะทำการศึกษาโดยแบ่งแหล่งกำเนิดของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารประเภทสำนักงานออกเป็น 4 แหล่งหลักได้แก่ 1) แหล่งที่เป็นอุปกรณ์พื้นฐานของสำนักงาน เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องปริ้นและ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น 2) แหล่งที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน เช่น เครื่องปรับอากาศ และ หลอดไฟ เป็นต้น 3) แหล่งที่เป็นอุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ไมโครเวฟและตู้เย็น 4) แหล่งที่เกิดจากการขนส่งหรือการเดินทางของพลังงาน เช่น การเดินทางโดยรถโดยสารประจำทาง โดยรถไฟฟ้าโดยรถยนต์ส่วนบุคคล และโดยจักรยาน เป็นต้น โดยการคำนวณจะจะอาศัยวิธีการหลักคือ การนำข้อมูลกิจกรรมคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยของแต่ละกิจกรรม ผลการศึกษาในอาคารสำนักงานตัวอย่างพบว่า อาคารแห่งนี้มีค่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในหนึ่งเดือนเท่ากับ 2306.57 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการใช้เครื่องปรับอากาศและการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล นอกการนี้ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่ากรอบแนวทางและวิธีการที่ใช้ในการศึกษาสามารถทำให้สามารถระบุแหล่งกำเนิดหลักของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้

Tiangket, A. และคณะ (2015) ได้ศึกษาแนวทางการคำนวณผลการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยในประเทศไทยด้วยวิธีการแบบ Top-Down เพื่อนำเสนอวิธีการคำนวณสำหรับการประมาณผลการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยของประเทศไทย โดยวิธีการคำนวณที่ทำการศึกษาเป็นมาตรฐานการคำนวณที่ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ (British Standard EN 16212:2012) ซึ่งตัวชี้วัดที่ถูกนำเสนอในการศึกษานี้ ได้แก่ การบริโภคพลังงานทั้งหมด การบริโภคพลังงานไฟฟ้า การบริโภคผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่อหลังคาเรือน การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของตู้เย็น เครื่องซักผ้า เครื่องปรับอากาศ โดยการคำนวณในการศึกษานี้จะพิจารณาพลังงานที่สามารถ

ประหยัดได้ในปี ค.ศ. 2010 และ ปี ค.ศ. 2014 โดยเปรียบเทียบกับปีฐานในปี ค.ศ. 2000 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการประหยัดพลังงานต่อตัวชี้วัดซึ่ง ได้แก่ การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของเครื่องซักผ้า และเครื่องปรับอากาศ พบว่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องซักผ้าที่สามารถประหยัดได้ในปี ค.ศ. 2010 และ ปี ค.ศ. 2014 มีค่าเท่ากับ 24.57 ktoe และ 13.11 ktoe. ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ในระบบปรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 388.72 ktoe และ 625.41 ktoe ตามลำดับ จากผลการศึกษาจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบปรับอากาศเป็นระบบที่สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวชี้วัดอื่นๆ

Thuy, V.T.H. และLimmeechokchai, B. (2015) ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคอาคารที่อยู่อาศัย กรณีศึกษาประเทศไทยและเวียดนาม โดยใช้รูปแบบการศึกษาที่เรียกว่า LEAP หรือ The Long-rang Energy Alternative Planning สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สถานการณ์ 3 รูปแบบ ที่กำหนดขึ้น ได้แก่ 1) สถานการณ์ปกติ (Business as Usual: BUA) ที่ไม่ได้คำนึงถึงมาตรการด้านโยบายเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศซึ่งใช้ข้อมูลทุติยภูมิด้านระบบพลังงานในปี ค.ศ. 2010 เป็นปีฐานและนำแนวโน้มการใช้พลังงานที่มีอยู่ในการคาดการณ์การใช้พลังงานในปี ค.ศ. 2030 2) สถานการณ์การจัดการด้านอุปสงค์ (The Demand Side Management: DSM) ที่เน้นในเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า 4 ประเภทได้แก่ หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์เครื่องครัว และตู้เย็น เพื่อลดความเข้มของการใช้พลังงานในภาคอาคารที่อยู่อาศัย 3) สถานการณ์ด้านพลังงานทดแทน (Renewable Energy :RE) ที่จะนำการใช้พลังงานทดแทนมาวิเคราะห์ด้วย โดยผลการศึกษาในทั้ง 3 สถานการณ์ของทั้งประเทศไทยและเวียดนาม จะถูกนำนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาสถานการณ์ที่เหมาะสมในการลดการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเปรียบเทียบพบว่า ในสถานการณ์ปกติทั้งประเทศไทยและเวียดนามในปี ค.ศ. 2030 ความต้องการด้านพลังงานจะมีค่าถึง 15,600 ktoe และ 18,660 ktoe ตามลำดับ และความต้องการด้านพลังงานของทั้ง 2 ประเทศจะมีค่าลดลงในทุกสถานการณ์ ส่วนค่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้ง 2 ประเทศในปี ค.ศ. 2030 จะมีค่าลดลงจากสถานการณ์ปกติมากที่สุดในสถานการณ์ที่ 2 คือ สามารถลดจาก 77.8 ล้านต้น เป็น 62.2 ล้านตันในประเทศไทย และ ลดจาก 84.78 ล้านตัน เหลือ 79.12 ล้านตันสำหรับประเทศเวียดนาม

จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ (2556) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืนความเหมือน ความต่าง และค่าความสำคัญที่ให้ต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการให้ความสำคัญของเกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืนในด้านต่างๆที่พัฒนาขึ้นในประเทศไทย และนานาประเทศ โดยเฉพาะในกลุ่มประชาคมอาเซียนที่เป็นสมาชิกของ World Green

Building Council ว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร มีการให้น้ำหนักในประเด็นต่างๆ มากน้อยอย่างไร เพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการปรับปรุงเกณฑ์การประเมินอาคารที่ยั่งยืนต่อไป จากการการเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืนในแต่ละประเทศแสดงถึงผลที่คาดว่าจะได้รับหลังจากการทำตามข้อกำหนดดังกล่าว การได้มาซึ่งผลนี้ได้พิจารณาถึงเนื้อหา และวัตถุประสงค์ของข้อกำหนดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหนักหรือคะแนนที่ระบุ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วย กันคือ 1)การทำตามข้อกำหนดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment) 2)การทำตามข้อกำหนดที่มีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Natural Resource) 3)การทำตามข้อกำหนดที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน (Energy) กลุ่มข้อกำหนดที่มีค่าคะแนนรวมสูงสุดคือ กลุ่มที่เมื่อปฏิบัติแล้วมีผลต่อการใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร รองลงมาคือ กลุ่มที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม และกลุ่มที่มีค่าคะแนนรวมต่ำสุดคือกลุ่มที่เมื่อปฏิบัติแล้วมีผลกระทบต่อทรัพยากรหรือวัสดุที่มาใช้ในการก่อสร้างและจากผลการศึกษาพบว่า เกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืนที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้น ให้ความสำคัญในช่วงการออกแบบ เน้นการแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในเชิงรุก (proactive measures) เช่น การป้องกันการคายความร้อนของอาคารออกสู่สภาพแวดล้อม การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า การใช้ระบบขนส่งแนวตั้งและระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ แต่การแก้ปัญหาด้านการใช้วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้างนั้นเป็นไปในเชิงรับ (reactive measure) และให้ความสำคัญน้อย เช่น ส่วนที่เห็นได้ชัดคือ ข้อกำหนดที่ให้มีการบริหารจัดการขยะที่เกิดขึ้นในสถานที่ก่อสร้างและการคัดแยกขยะ

Zhang, Y. และคณะ (2017) ได้ศึกษาเปรียบเทียบมาตรฐานแบบประเมินอาคารเขียวของประเทศจีน (Evaluation standard for green building; ESGB) อังกฤษ (The Code for Sustainable Homes; CSH) และสหรัฐอเมริกา (LEED) โดยทำการเปรียบเทียบจากทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การอนุรักษ์พลังงาน การอนุรักษ์น้ำ การอนุรักษ์วัสดุ การเลือกพื้นที่ และ คุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งการเปรียบเทียบจะให้ความสนใจเกี่ยวกับ วิธีการประเมินและตัวชี้วัดสำหรับการประเมินของทั้งสามแบบประเมินมาตรฐานอาคารเขียว นอกจากนี้ยังมีการสรุปลักษณะทั่วไปของแต่มาตรฐาน ประกอบกับการเสนอแนวทางเพท่อปรับปรุงแบบประเมินมาตรฐานอาคารเขียวของประเทศจีนด้วย ผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญของตัวชี้วัดในแต่ละด้าน ดังนี้ ด้านการอนุรักษ์พลังงาน พบว่าทั้งสามมาตรฐานได้ให้ความสนใจกับตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานทดแทน ด้านการอนุรักษ์น้ำทั้งสามมาตรฐานได้ให้ความสนใจกับตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการลดการบริโภคน้ำและนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่น้ำมาใช้ในการอนุรักษ์น้ำ ด้านการอนุรักษ์วัสดุ ทั้งสามมาตรฐานให้ความสนใจตัวชี้วัดเกี่ยวกับการนำวัสดุที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ด้านการเลือกพื้นที่ ทั้งสามประเทศได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับตัวชี้วัด

ระบบนิเวศน์ในพื้นที่ความหนาแน่นจากการพัฒนา และการออกแบบระบบการจัดการน้ำฝนด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารทั้งสามมาตรฐานได้ให้ความสนใจตัวชี้วัดที่เกี่ยวกับตัวชี้วัดระบบแสงสว่างในช่วงกลางวัน ระบบระบายอากาศ การฟื้นฟูพื้นที่โดยรอบ และการออกแบบระบบป้องกันอุทกภัย

Wang, T. และคณะ (2016) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารเขียว โดยทำการเปรียบเทียบในอาคาร 2 อาคารที่ได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งอาคารหนึ่งเป็นอาคารทั่วไป ในประเทศจีน และอีกอาคารเป็นที่ออกแบบตามมาตรฐานอาคารเขียวในประเทศออสเตรเลีย การศึกษาพบว่า มาตรฐานอาคารเขียวได้ให้ความสนใจในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการใช้งานของอาคารมากกว่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงระหว่างวัฏจักรชีวิตต่างๆของอาคาร ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาโดยพัฒนาระบบประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบประเมินทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคารด้วยรายละเอียดในของแต่ละอาคาร เพื่อนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอาคารก๊าซเรือนกระจกต่ำ และอาคารเขียว ผลการศึกษาพบว่าอาคารเขียวมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดีกว่าอาคารทั่วไปแต่ว่าอย่างไรก็ตามเกณฑ์อาคารเขียวก็ยังไม่ได้ให้ความสนใจในด้านของการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบประเมินตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคาร ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอว่า หากมองในเรื่องของการพัฒนาที่ยั่งยืนควรมีการประเมินประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคารเขียวร่วมด้วย

Zhou, Z. (2016) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารพลังงานต่ำสุทธิของอาคารประเภทสำนักงานในมณฑลเทียนจินของประเทศจีน เนื่องจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับอาคารพลังงานต่ำสุทธิในก่อนหน้านี้ ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับระบบของทฤษฎีและแบบจำลองที่สร้างขึ้นแต่กลับไม่ให้ความสนใจหรือมองข้ามกับผลที่เกิดขึ้นจากใช้งานจริงของผู้อยู่อาศัย ซึ่งผู้วิจัยได้พยายามที่จะศึกษาศักยภาพการใช้งานของอาคารคาร์บอนเป็นศูนย์ผ่านกรณีตัวอย่างอาคารสำนักงานโดยการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารในช่วงการออกแบบ (E-QUEST Software) ในการประเมินการใช้พลังงานในอาคารและมีการพิจารณาระบบโซล่าเซลล์ (PV system) ควบคู่ไปด้วย โดยผลปรากฏว่าการใช้พลังงานในช่วง การใช้งานอาคาร (Operation stage) ของอาคารในช่วงเวลา 1 ปี มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานจากระบบโซล่าเซลล์ ซึ่งได้มีการสรุปว่า อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ 1)ความหลากหลายของกลุ่มอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคารทั้งในเรื่องของ จำนวนและระยะเวลาในการใช้งานตั้งแต่ในช่วงของการออกแบบถึงช่วงการใช้งานที่อาจนำไปสู่การพิจารณาที่ผิดพลาดได้ 2)การควบคุมพฤติกรรมการใช้งานของผู้ที่อยู่อาศัย 3) ประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ที่อาจลดลงเนื่องจากปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นจึงมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความจำเป็นที่จะต้องทำให้แน่ใจว่าในกระบวนการการออกแบบการสร้างแบบจำลองด้านพลังงานจะต้องเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องและสามารถสะท้อนให้เห็นผลการใช้งานพลังงานจริงเมื่อมีการใช้งานอาคาร

Promjiraprawat, K. และคณะ (2014) ได้ศึกษาศักยภาพในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และต้นทุนหน่วยสุดท้ายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารที่อยู่อาศัยและอาคารทั่วไปในประเทศไทย โดยใช้แบบจำลอง AIM/Enduse ในการศึกษามาตรการระยะยาวในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่สัมพันธ์กับต้นทุนหน่วยสุดท้ายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การศึกษาได้นำ 7 มาตรการสำหรับการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ 1) Efficient Lighting Devices, 2) Efficient Cooling Devices, 3) Efficient Heating Devices, 4) Efficient other Electrical Devices, 5) Efficient Cooking Devices, 6) Insulated Houses และ 7) Building Codes ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในสถาณการณ์พื้นฐาน (BAU Scenario) ช่วงปี ค.ศ. 2010 และ 2050 ความต้องการพลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นถึง 39,140 ktoe และ 52,047 kt-CO_2 ตามลำดับ แต่เมื่อมีการใช้มาตการนโยบายดังกล่าวจะสามารถลดความต้องการลงถึงร้อยละ 42.7 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดในปี ค.ศ. 2050 และลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ถึงร้อยละ 35 ของการปล่อยทั้งหมดในปี ค.ศ. 2050 ซึ่งมาตราการที่มีส่วนช่วยในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือ Efficient Cooling Devices เนื่องจากมีต้นทุนหน่วยสุดท้ายที่ต่ำเมื่อเทียบกับมาตรการอื่นๆ

Tantisattayakul, T. และคณะ (2016) ได้ทำการวิเคราหะห์ด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ สำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นของประเทศไทย เนื่องจากเห็นว่า อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นเป็นภาคส่วนที่การใช้พลังงานสูง โดยได้ทำการศึกษาในเชิงลึกทั้งทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ กับมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยอาศัยตัวชี้วัด 4 ตัวในการศึกษา ได้แก่ ศักยภาพในการลดพลังงาน (Energy reduction intensity) ศักยภาพในการลดการปล่อย GHG ศักยภาพในการลดพลังงานต่อเงินลุงทุน และศักยภาพการลดการปล่อย GHG ต่อเงินลงทุน หรือที่เรียกว่าค่า EnROI และ EROI ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคระห์จะเป็นตัวช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานของผู้ประกอบการ

จากการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวสามารถสรุปได้ว่า การศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรชีวิตของอาคารพบว่าในช่วงการใช้งานอาคาร (Use/Operation Stage) เป็นช่วงที่มีส่วนในการปล่อยคาร์บอนหรือก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงอื่นๆ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะให้ความสำคัญในด้านการใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร และในเรื่องการใช้วัสดุในช่วงการ

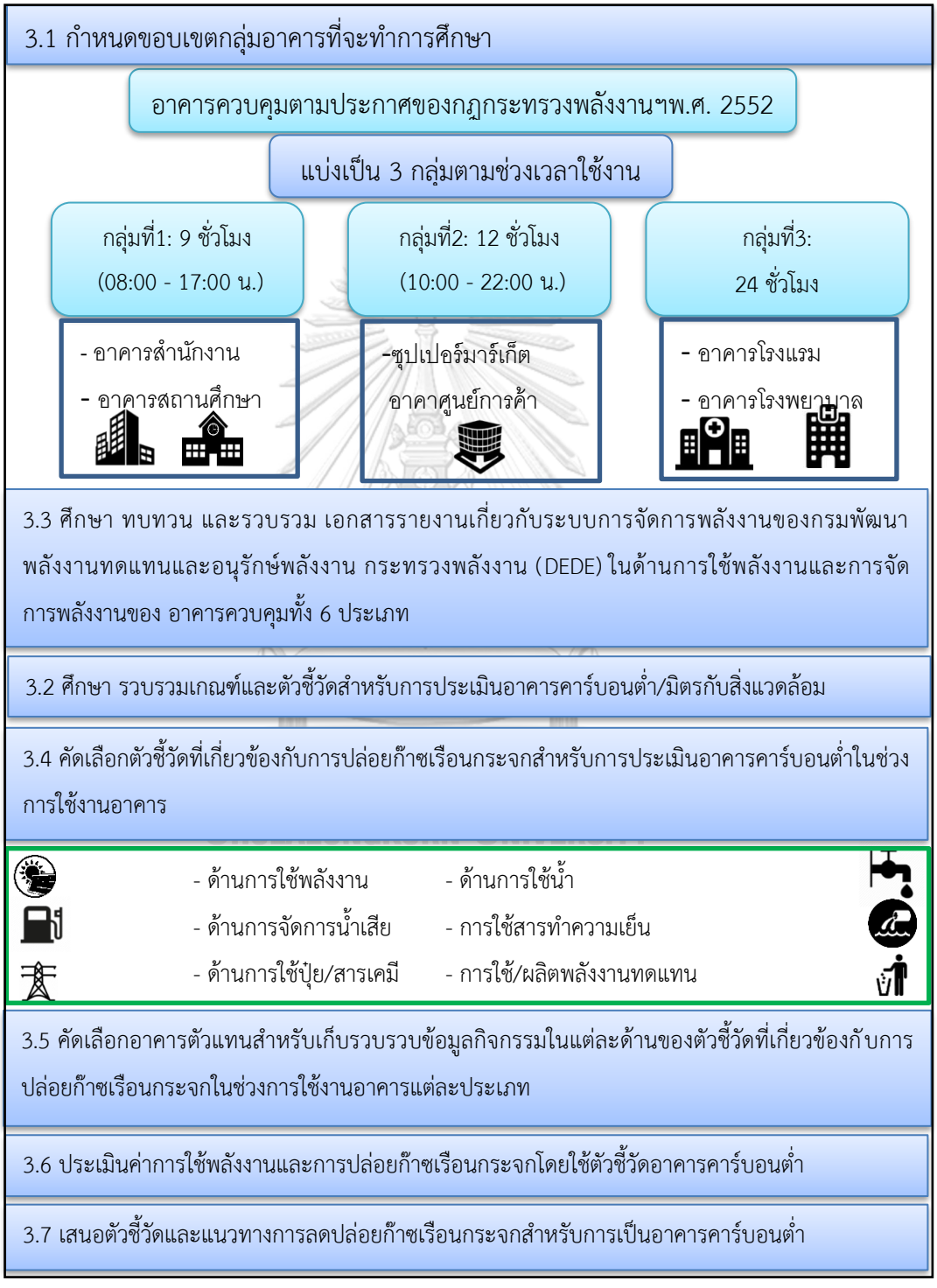
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก่อสร้างอีกบางส่วน โดยอาคารเขียวเป็นอาคารที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าเมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป และยังพบอีกว่าระบบ HVAC และระบบแสงสว่างเป็นระบบหลักในอาคารที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด ซึ่งการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุอาคารจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคาร ส่วนมาตราการหรือเทคโนโลยีในการลดการใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคารพบว่าสามารถทำได้โดยการใช้ Passive และ Active Technologies ในสัดส่วนที่เหมาะสม นอกจากนี้ก็พบว่าเพื่อเป็นการลดผลกระทบในด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการการนำมาตรการหรือเทคโนโลยีเข้ามาใช้งานสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือที่เรียกว่า Marginal Abatement Cost: MAC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่3

วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 0-36 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3-1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การกำหนดขอบเขตกลุ่มอาคารที่จะทำการศึกษา

โดยจะศึกษาในเฉพาะอาคารควบคุมตามประกาศของกฎกระทรวงพลังงานว่าด้วยการกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2552 โดยแบ่งประเภทอาคารที่จะศึกษาออกเป็น 3 กลุ่มหลักตามช่วงเวลาการใช้งานอาคาร ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เวลาทำการ 9 ชั่วโมง (08:00-17:00 น.) ประกอบด้วย อาคารสำนักงานและโรงเรียน

กลุ่มที่ 2 เวลาทำการ 12 ชั่วโมง (10:00–22.00 น.) ประกอบด้วย ซุปเปอร์มาร์เก็ต ศูนย์การค้า

กลุ่มที่ 3 เวลาทำการ 24 ชั่วโมงประกอบด้วย โรงแรม และโรงพยาบาล

ซึ่งการศึกษาจะศึกษาเฉพาะในระบบหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของแต่ละอาคารเท่านั้นโดยจะไม่รวมถึงระบบหรือกิจกรรมอื่นๆที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาคารโดยตรง เช่น ระบบการเดินทางขนส่ง พื้นที่สวนภายนอกอาคาร และพื้นที่ลาดจอดรถภายนอกอาคาร เป็นต้น

3.2 ศึกษา รวบรวมเกณฑ์และตัวชี้วัดสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับส่งแวดล้อม

ในขั้นตอนนี้จะทำการรวบรวบเกณฑ์และตัวชี้วัดในด้านต่างๆ ที่ได้จากการศึกษามาตรฐานอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น มาตรฐานอาคารอาคารสีเขียว มาตรฐานโรงแรมสีเขียว และมาตรฐานมหาวิทยาสีเขียว ที่ได้รับการยอมรับในระดับประเทศหรือในระดับนานาชาติ พร้อมทั้งศึกษาระบบการประเมินและการให้การรับรองของแต่ละมาตรฐาน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบ ในการพิจารณาเกณฑ์และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ

3.3 ศึกษา ทบทวน และรวบรวมเอกสารรายงานเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (DEDE) ในด้านการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานของอาคารควบคุมทั้ง 5 ประเภท

ตามข้อกำหนดใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม) พ.ศ. 2550 ที่ระบุให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมต้องดำเนินการตามวิธีการจัดการพลังงานและต้องจัดทำรายงานการจัดการพลังงาน ให้แก่อธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานภายในเดือนมีนาคมของทุกปีดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาและรวบรวบ เอกสารดังกล่าวเพื่อศึกษาชนิด

และปริมาณเชื้อเพลิง ปริมาณไฟฟ้า การจัดการทรัพยากรและของเสีย และกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งข้อมูลด้านการตรวจวัดอุปกรณ์ไฟฟ้า เกณฑ์ควบคุม ข้อมูลทั่วไปของอาคาร และมาตรการการอนุรักษ์พลังงานของอาคารควบคุมประเภทนั้นๆด้วย

3.4 คัดเลือกตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคาร

เนื่องจากมาตรฐานอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะมีเกณฑ์และตัวชี้วัดบางตัวที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรืออาจเกี่ยวข้องในทางอ้อม ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกเฉพาะเกณฑ์และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารควบคุม

3.5 คัดเลือกอาคารตัวแทนสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมในแต่ละด้านของตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งานอาคารของอาคารควบคุมแต่ละประเภท

ในขั้นตอนนี้จะทำการคัดเลือกอาคารตัวแทนอย่างน้อยจำนวนประเภทละ 1 อาคารจากแต่ละประเภทของอาคารควบคุมที่ระบุในขั้นตอนการกำหนดขอบเขตอาคารที่จะศึกษา เพื่อที่จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ในแต่ละด้านตัวชี้วัดที่ได้คัดเลือกมาในก่อนหน้านี้ เพื่อนำข้อมูลไปใช้สำหรับการประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในช่วงการใช้งานอาคาร และการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละด้านตัวชี้วัด จะทำการรวบรวมข้อมูลในระยะเวลา 12 เดือนย้อนหลังของในแต่ละประเภทอาคารควบคุมนั้นๆ นอกจากนี้จะมีการรวบรวมข้อมูลทั่วไปอื่นๆ เช่น ขนาดพื้นที่อาคาร อายุการใช้งาน จำนวนผู้ใช้งาน และลักษะการใช้งานอาคาร เป็นต้น รวมถึงการรวบรวมข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) โดยพิจารณาข้อมูลจากหน่วยงานภายในประเทศเป็นอันดับแรกและองค์กรต่างประเทศที่ได้รับการยอมรับเป็นลำดับต่อมา โดยรูปแบบวิธีการเก็บข้อมูลกิจกรรมตามตัวชี้วัดในแต่ละด้านและข้อมูลทั่วไปนั้นแสดงให้เห็นดังในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 0-26 แสดงรูปแบบวิธีการเก็บข้อมูลกิจกรรมตามตัวชี้วัดในแต่ละด้านและข้อมูลทั่วไปอื่นๆ

หัวข้อการเก็บข้อมูล	รายละเอียดข้อมูล	หน่วย	แหล่งที่มาของข้อมูล
การใช้ไฟฟ้า[1]	ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในอาคาร	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	- ใบเสร็จค่าไฟฟ้าจากหน่วยงานที่เป็นแหล่งผลิต
การใช้เชื้อเพลิง[1]	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากการใช้งานของเครื่องจักรและ/หรืออุปกรณ์ของอาคาร	ลิตร หรือ กิโลกรัม	- ใบเสร็จค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง - ใบเสร็จค่าก๊าซเชื้อเพลิง
การใช้พลังงานทดแทน/หมุนเวียน[1]	ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมดในอาคาร	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	-บันทึกปริมาณการใช้พลังงานทดแทน
การใช้น้ำ[1]	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดที่ใช้ในอาคาร	ลูกบาศ์กเมตร	- ใบเสร็จค่าน้ำประปาจากการประปา
การจัดการน้ำเสีย[1],[2]	ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดในพื้นที่อาคารหรือที่ส่งบำบัดกับกับส่วนกลาง	ลูกบาศ์กเมตร	- บันทึกปริมาณน้ำเสียที่มีการบำบัดในพื้นที่ - ใบแจ้งหนี้ค่าบริการบำบัดน้ำเสียของทางส่วนกลาง
การจัดการขยะ[1],[2]	ปริมาณขยะที่กำจัดเองในพื้นที่อาคารและที่ส่งกำจัดกับส่วนกลาง	ตัน หรือ กิโลกรัม	- บันทึกปริมาณขยะที่มีการกำจัดในพื้นที่ - ใบแจ้งหนี้ค่าบริการกำจัดขยะของทางส่วนกลาง
การใช้ปุ๋ยหรือสารเคมี[1]	ปริมาณการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีทั้งหมดในอาคาร	กิโลกรัม	- ใบเสร็จการสั่งซื้อปุ๋ยหรือสารเคมี
การใช้สารทำความเย็น[1]	ปริมาณการใช้สารทำความเย็นของระบบปรับอากาศ	กิโลกรัม	- ใบเสร็จการซ่อมบำรุง/การสั่งซื้อสารทำความเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ
การใช้สารดับเพลิง[1]	ปริมาณสารดับเพลิงที่ถูกใช้ไป	กิโลกรัม	- ใบเสร็จการซ่อมบำรุง/การสั่งซื้อถังถังดับเพลิง
พื้นที่ใช้งานอาคาร[2]	พื้นที่ใช้งานอาคารทั้งหมดซึ่งอาจแบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศ หรือแบ่งเป็นพื้นที่การใช้งานในแต่ละฟังก์ชันการใช้งานของอาคาร เป็นต้น แต่ไม่รวมพื้นที่ที่อยู่ภายนอกอาคาร เช่น พื้นที่สวน และพื้นที่จอดรถนอกอาคารเป็นต้น	ตารางเมตร	-บันทึกการใช้พื้นที่ของอาคาร -รายงานการจัดการพลังงานของอาคาร -รายงานประจำปีของอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หัวข้อการเก็บข้อมูล	รายละเอียดข้อมูล	หน่วย	แหล่งที่มาของข้อมูล
จำนวนผู้ใช้งานอาคาร[2]	จำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดของอาคาร ซึ่งอาจแบ่งเป็นผู้ใช้งานประจำ ผู้ใช้บริการ หรือ ผู้มาติดต่อ เป็นต้น	คน	-บันทึกสถิติบุคลากรและผู้ใช้งานของอาคาร
จำนวนห้องพัก (สำหรับโรงแรม)[2]	จำนวนห้องพักทั้งหมด และจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ในแต่ละวัน	ห้อง และ ห้อง/วัน	-บันทึกการจำหน่ายหน่ายห้องพัก
จำนวนเตียงผู้ป่วย (สำหรับโรงพยาบาล)[2]	จำนวนเตียงผู้ป่วยทั้งหมดและจำนวนเตียงผู้ป่วยใน	เตียง และ เตียง/วัน	-บันทึกการลงทะเบียนเข้าพักของผู้ป่วยใน
Emission Factor[2]	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/หน่วย	-ข้อมูลจากหน่วยงานภายในประเทศเป็นอันดับแรกและองค์กรต่างประเทศที่ได้รับการยอมรับ

หมายเหตุ: [1] หมายถึงข้อมูลระดับปฐมภูมิ, [2] หมายถึงข้อมูลระดับทุติยภูมิ

3.6 ประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำ

โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลกิจกรรมในแต่ละด้านตัวชี้วัดที่ได้จากเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละประเภทอาคารควบคุมที่เป็นตัวแทนมาทำการประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สำหรับการประเมินการใช้พลังงานของอาคารควบคุมแต่ละประเภทจะทำการประเมินโดยการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารควบคุมแต่ละประเภทออกมา แล้วทำการเปรียบเทียบกับการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ผ่านมาของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ส่วนการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะอาศัยวิธีการประเมินตามหลักการของการประเมินคาร์บอนฟุ๊ตปริ้นองค์กร (Carbon Footprint for Organization) ที่ทางองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของไทยได้มีการจัดทำคู่มือเป็นแนวทางสำหรับการประเมินไว้ ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จะอาศัยการคำนวณโดยใช้ข้อมูลกิจกรรมที่รวบรวมได้คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก และแสดงผลให้อยู่ในรูปของตัน (กิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) ตามสมการด้านล่าง

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก	=	ข้อมูลกิจกรรม	x	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยหรือดูดกลับ
(GHG Emission)		(Activity data)		(Emission Factor)

3.7 เสนอตัวชี้วัดและแนวทางการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการเป็นอาคารคาร์บอนต่ำ

จากการประเมินการค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารควบคุมแต่ละประเภทแล้ว จะทำให้ทราบถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละด้านของตัวชี้วัดซึ่งเป็นเหมือนข้อมูลพื้นฐานในสถานการณ์ปกติ (Baseline Scenario) ที่จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบในกรณีที่ผู้ประกอบการอาคารมีการนำมาตรการหรือเทคโนโลยีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่างๆมาใช้ (Mitigation Scenario) โดยในขั้นตอนการเสนอตัวชี้วัดและแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำนี้ ในเบื้องต้นจะทำการคำนวณต้นทุนของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือที่เรียกว่า GHG Abatement Cost โดยอาศัยหลักการการวิเคราะห์ Marginal Abatement Cost (MAC Method) เพื่อเลือกมาตรการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม(ลงทุนต่ำแต่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง)ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารประเภทต่างๆ ซึ่ง MAC Method มีหลักการในการคำนวณดังนี้ (รายละเอียดการคำนวน GHG abatement cost แสดงในภาคผนวก ฉ)

$$MRC_t = \frac{CR'_t - CR_t}{R_t - R'_t}$$

ซึ่ง MRCt คือ Marginal reduction costs ณ ปี t

Rt คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ปี t

R’t คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากใช้มาตรการ ณ ปี t

CRt คือ ต้นทุนการดำเนินในสถานการณ์ปกติ ณ ปี t

CR’t คือ ต้นทุนการดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซ ณ ปี t

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นจะทำการเสนอตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำโดยการประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสถานการณ์ที่มีการใช้มาตรการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากการศึกษาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนรูปแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 3-2 โดยจะใช้ข้อมูลภายในระยะเวลา 3 ปีย้อนหลังของการนำมาตรการหรือเทคโนโลยีต่างๆมาใช้ในอาคารประเภทนั้นๆ

ตารางที่ 0-27 แสดงรูปแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

หัวข้อในการเก็บข้อมูล	**หน่วย**	**ระดับของข้อมูล** **แหล่งที่มาของข้อมูล**
ต้นทุนในการลงทุนของแต่ละมาตรการหรือเทคโนโลยี (Incremental cost)[2]	บาท	- รายงานการจัดการพลังงาน - บันทึกการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานอาคาร
ต้นทุนในการดำเนินการและการบำรุงรักษา (Operation and Maintenance Cost)[2]	บาท	- รายงานการจัดการพลังงานบันทึกการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานอาคาร
ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละมาตรการหรือเทคโนโลยี (GHG Reduction Potential)	กิโลกรัม หรือ ตัน	- จากการคำนวณ
มูลค่าของผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ที่ได้จากการใช้มาตรการหรือเทคโนโลยี	บาท	- จากการคำนวน

หมายเหตุ: [1] หมายถึงข้อมูลระดับปฐมภูมิ, [2] หมายถึงข้อมูลระดับทุติยภูมิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 เกณฑ์ และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4.1.1 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำและอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษาเกณฑ์สำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำและอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้ว พบว่ามีเกณฑ์ที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้ในการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำและอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ จำนวน 11 เกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.1.1.1 เกณฑ์มาตรฐานค่าประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Building regulation part L)

เกณฑ์มาตรฐานค่าประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำนี้กำหนดขึ้นโดยหน่วยงานในประเทศอังกฤษและเวลล์ (RIBA, 2009) เพื่อใช้ในควบคุมตามกฎหมาย สำหรับอาคารที่จะก่อสร้างใหม่และอาคารเก่าทั้งอาคารทั่วไปและอาคารที่อยู่อาศัย ที่จะดำเนินการก่อสร้างหรือต่อเติมต้องมีการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำนี้ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐาน Building regulation part L อาจไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็นเกณฑ์สำหรับอาคารคาร์บอนต่ำ แต่มักถูกใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานอาคารคาร์บอนต่ำอีกหลายมาตรฐาน โดยหัวข้อในการประเมินของมาตรฐานนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะของอาคาร ได้แก่

1) Part L1 สำหรับอาคารที่อยู่อาศัยใหม่และเก่า

- อัตราการปล่อยหรือการปล่อยจากบ้านพักอาศัยเป้าหมาย (Dwelling emissions rate/target emissions rate)
- ข้อกำหนดในการออกแบบ (Design limits)
- ค่าความร้อนจัดเกิน (Overheating)
- ค่าการนำความร้อนและการถ่ายเทอากาศ (Thermal bridges and air permeability)
- ข้อกำหนดในการใช้งานอาคารและการบำรุงรักษา (Operating and maintenance instructions)

2) Part L2 สำหรับอาคารทั่วไปใหม่และเก่า

- ข้อมูลย้อนหลังของอาคาร (Historic Buildings)
- ค่าความร้อนขององค์ประกอบอาคาร (Thermal Elements)
- ข้อมูลการออกแบบอาคารที่ก่อสร้างจริงแล้ว (As-Built)

- ข้อมูลบันทึกการใช้งานอาคาร (Building Log-Book)
- ค่าควบคุมการออกแบบอาคาร (Controlled Fittings)
- ค่าความคุมอุปกรณ์ของอาคาร (Controlled services)
- ส่วนต่อขยายของอาคาร (Extensions)
- ส่วนโครงสร้างที่ยึดติดกับอาคาร (Conservatories)
- การใช้วัสดุทางเลือก (Material Alterations)
- การเปลี่ยนแปลงวัสดุ (Material Changes of Use)
- การปรับปรุงประสิทธิภาพอาคาร (Consequential Improvements)

4.1.1.2 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยแบบยั่งยืน (Code for sustainable homes)

เกณฑ์มาตรฐานสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยแบบยั่งยืน (Code for sustainable homes) เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการกำหนดระดับของประสิทธิภาพการใช้งานของอาคารที่อยู่อาศัยที่สร้างใหม่ตามผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งมาตรฐานนี้ได้รับการพัฒนามาจากเกณฑ์มาตรฐานอาคารควบคุม (Regulation building) ของอังกฤษและเวลส์ (RIBA,2009) ที่เป็นมาตรฐานที่ให้ความสำคัญมากกว่าแค่ในเรื่องของการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนออกไซด์ จากอาคาร โดยตัวชี้วัดของการประเมินจะประกอบด้วย 9 ด้านดังนี้

1) ด้านการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Energy and CO2 emission)
2) ด้านการใช้น้ำ (Water)
3) ด้านวัสดุ (Materials)
4) ด้านน้ำไหลล้นผิวดิน (Surface water run-off)
5) ด้านขยะของเสีย (Waste)
6) ด้านมลพิษ (Pollution)
7) ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ (Health and wellbeing)
8) ด้านการบริหารจัดการอาคาร (Management)
9) ด้านระบบนิเวศน์ (Ecology)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1.3 เกณฑ์มาตรฐาน BREEAM

เกณฑ์มาตรฐาน BREEAM หรือThe building research establishment environmental assessment method เป็นวิธีการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมอาคารของอังกฤษที่เป็นโครงการแบบสมัครใจสำหรับการประเมินและการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในอาคาร (BRE

Group,2009) โดยอาคารที่สามารถเข้าร่วมโครงการการประเมินนี้ได้ มีหลายประเภท เช่น อาคารสำนักงาน อาคารสถาบันการศึกษา ห้างขายปลีก โรงงาน เรือนจำ โบสถ์ และอาคารที่พักอาศัยแบบหลายชั้น เป็นต้น โดยโครงการประเมินนี้จะใช้ระบบแบบการให้คะแนนตามเกณฑ์ที่สามารถทำได้ในแต่ละด้าน ดังนี้

1) ด้านระบบบริหารจัดการอาคาร (Management)

2) ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ (Health and wellbeing)

3) ด้านพลังงาน (Energy)

4) ด้านการขนส่ง (Transport)

5) ด้านการใช้น้ำ (Water)

6) ด้านวัสดุ (Materials)

7) ด้านขยะของเสีย (Waste)

8) ด้านพื้นที่และระบบนิเวศน์ (Ecology)

9) ด้านมลพิษ (Pollution)

4.1.1.4 เกณฑ์มาตรฐาน LEED

เกณฑ์มาตรฐาน LEED หรือ Leadership in energy and environmental design ถูกพัฒนาขึ้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา (LEED, 2010) เพื่อใช้ในระบบการจัดระดับอาคารเขียวที่เป็นโครงการหรือมาตรฐานแบบสมัครใจสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืนในอาคาร มาตรฐาน LEED ถูกสร้างขึ้นมาโดยวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและให้การรับรองการเป็นอาคารเขียว โดยการสร้างเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจวัดขึ้นมา เป็นการส่งเสริมเพื่อให้เกิดการบูรณาการด้านทักษะการออกแบบอาคาร การสร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมที่เป็นผู้นำด้านการก่อสร้าง การกระตุ้นเพื่อให้เกิดการแข่งขันที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการสร้างความตระหนักให้กับผู้บริโภคถึงประโยชน์ของการเป็นอาคารเขียว รวมถึงเป็นการเปลี่ยนแปลงระบบตลาดการก่อสร้างอาคาร โดยในมาตรฐาน LEED จะมีแนวทางสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของอาคารเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่มีความยั่งยืน ซึ่งปัจจุบันทางมาตรฐาน LEED ได้จัดทำแนวทางการประเมินตามกลุ่มประเภทอาคารหรือลักษณะโครงการ สำหรับการประเมินในแต่ละด้านของมาตรฐาน LEED จะทำการประเมินในแต่ละด้านดังนี้

1) ด้านพื้นที่ตั้งอาคารและการขนส่ง (Location and transportation)

2) ด้านความยั่งยืนของพื้นที่ (Sustainable sites)

3) ด้านประสิทธิภาพการบริโภคน้ำ (Water efficiency)

4) ด้านพลังงานและบรรยากาศ (Energy and atmospheres)

5) ด้านวัสดุและทรัพยากร (Materials and resources)

6) ด้านสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor environmental quality

7) ด้านนวัตกรรม (Innovation)

8) ด้านการจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ (Reginal priority)

9) ด้านกระบวนการคิดเชิงบรูณาการ (Integrative thinking)

4.1.1.5 เกณฑ์มาตรฐาน CASBEE

CASBEE หรือ Comprehensive assessment system for built environment efficiency เป็นวิธีการสำหรับการประเมินและการจัดอันดับศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร และครอบคลุมถึงคุณสมบัติของอาคาร (JSBC and IBEC, 2009) เช่น คุณลักษณะด้านความสะดวกสบายภายใน และสุนทรียะที่เหมาะสม โดยมีการคำนึงถึงการดำเนินการทางสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ช่วยในการอนุรักษ์การใช้พลังงาน และการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติให้น้อยที่สุด มาตรฐาน CASBEE ถูกพัฒนาโดย คณะกรรมการวิจัยในปี ค.ศ. 2001 บนพื้นฐานของหลักการ 3 หลักการ ได้แก่ 1) การประเมินวัฏจักรชีวิตของอาคาร 2) การประเมินคุณภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร 3) การประเมินบนพื้นฐานการพัฒนาตัวชี้วัดใหม่ๆ ด้านการสร้างสร้างสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือในการประเมินของมาตรฐาน CASBEE จะแบ่งออกตามประเภทของโครงการ สำหรับการแบ่งสัดส่วนการให้ความสำคัญในแต่ละด้านของมาตรฐาน CASBEE จะแบ่งสัดส่วนในแต่ละด้านโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วน (Weighting coefficient) ในการคำนวณผลกระทบในแต่ละด้าน ดังนี้

1) คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor environment)

2) คุณภาพของการให้บริการ (Quality of service)

3) คุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor environment: on-site)

4) ด้านการใช้พลังงาน (Energy)

5) ด้านทรัพยากรและวัสดุการก่อสร้าง (Resources and materials)

6) คุณภาพสิ่งแวดล้อมนอกพื้นที่ภายนอกอาคาร (Off-site environment)

4.1.1.6 เกณฑ์มาตรฐาน TREEs

TREEs หรือ Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นโดยสถาบันอาคารเขียวของไทยเพื่อการประเมินความยั่งยืนทางพลังงาน และสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคาร (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2554) โดย TREES ถูกออกแบบให้เหมาะกับลักษณะของ

โครงการประเภทต่าง ๆ ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า เกณฑ์มาตรฐาน TREEs จะประกอบไปด้วยหมวดการประเมินเพื่อให้เป็นอาคารเขียวทั้งหมดจำนวน 8 หมวด ได้แก่

หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Building management)

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and landscape)

หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (Water conservation)

หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and atmosphere)

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง(Materials and resources)

หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร(Indoor Environmental quality)

หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(Environmental protection)

หมวดที่ 8 นวัตกรรม (Green innovation)

4.1.1.7 เกณฑ์มาตรฐานโรงแรม 5 ดาว

กรมการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น มูลนิธิมาตรฐานโรงแรมไทย กรมการปกครอง พัฒนามาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวและนำเข้าสู่กระบวนการตรวจประเมินและรับรองมาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวประเภทโรงแรม (กรมการท่องเทียว, 2557) โดยคณะทำงานได้มีการปรับปรุงมาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยวโดยการประชุมหารือในการกำหนดเกณฑ์และดัชนีชี้วัดที่ควรมี รวมถึงค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักสำหรับการประเมินในแต่ละหมวด ดังนี้

หมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม สิ่งก่อสร้างทั่วไปและที่จอดรถ

หมวดที่ 2 โถงต้อนรับ ห้องน้ำสาธารณะ ลิฟท์และทางสัญจรภายในอาคาร

หมวดที่ 3 ห้องพักแบบ Standard (รวมการเดินระเบียง และห้องน้ำ)

หมวดที่ 4 ห้องพักแบบ Suite และ Executive Floor

หมวดที่ 5 ห้องอาหาร คอฟฟี่ช็อป บาร์และครัว

หมวดที่ 6 ส่วนบริการด้านสันทนาการ และสระว่ายน้ำ

หมวดที่ 7 ส่วนบริการด้านธุรกิจ : ห้องประชุมและ Business Center

หมวดที่ 8 บุคลากรและการบริการ

หมวดที่ 9 ระบบความปลอดภัย ในพื้นที่ทั่วไป

หมวดที่ 10 ทรัพยากรและชุมชนแวดล้อมและส่วนสนับสนุนการบริการ

หมวดที่ 11 ส่วนของพนักงาน

หมวดที่ 12 คุณลักษณะเสริมอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1.8 เกณฑ์มาตรฐานสถานประกอบการที่พักสีเขียว (Green Accommodation)

ศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้จัดทำคู่มือเกณฑ์มาตรฐานสถานประกอบการที่พักสีเขียว สำหรับสถานประกอบการที่พัก (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2555) ซึ่งเป็นการจัดทำมาตรฐานที่มีความเหมาะสมต่อสภาพพื้นที่ และการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ส่งผลต่อการดูแลรักษาและใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน เพื่อคงคุณค่าความเป็นธรรมชาติ และส่งเสริมสิ่งแวดล้อมของแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ต่างๆ โดยมีปัจจัยในการพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานสถานประกอบการที่พักสีเขียว (Green Accommodation) ประกอบด้วย

1) ปัจจัยหลัก (Core Factors) ที่ใช้ในการประเมินและพิจารณาสถานประกอบการที่พักในทุกพื้นที่ ทุกขนาด และทุกประเภทที่เข้าร่วมโครงการ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานที่มีความสอดคล้องกับแนวทางในการจัดการโดยทั่วไป หรือมีหลักเกณฑ์กำหนดตามกฎหมายเป็นสำคัญ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 หมวด

หมวดที่ 1: การจัดการสภาพแวดล้อมทางกายภาพและสิ่งอำนวยความสะดวกประกอบด้วย

- การออกแบบและก่อสร้างอาคาร
- การเดินทางเข้าถึงสถานประกอบการที่สะดวกและปลอดภัย
- การจัดการสภาพแวดล้อมพื้นฐานของสถานประกอบการ
- การปฏิบัติตามกฎหมายอย่างเคร่งครัดในการใช้พื้นที่และอาคาร
- การจัดให้มีที่จอดรถที่เพียงพอและปลอดภัย
- การจัดภูมิทัศน์ของพื้นที่
- การจัดให้มีการบริการที่หลากหลายและระบบสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ

หมวดที่ 2: การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร ประกอบด้วย

- การประหยัดพลังงาน
- การจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ
- การจัดการระบายน้ำ
- การบำบัดน้ำเสีย
- การจัดการขยะมูลฝอย
- การจัดการอากาศและเสียง
- การจัดการด้านสาธารณสุขและการส่งเสริมสุขภาพ
- การจัดการป้องกันและระงับอัคคีภัย
- การรักษาความปลอดภัย

หมวดที่ 3 : การจัดการด้านสังคมและการมีส่วนร่วมของท้องถิ่น

- การเป็นส่วนหนึ่งของท้องถิ่น
- ภาพลักษณ์การบริหารจัดการธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2) ปัจจัยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ (Area Base Specific Factors) ซึ่งเป็นเกณฑ์พิจารณาอันเนื่องมาจากความแตกต่างของสถานที่ตั้งโครงการ ซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อม สภาพธรรมชาติ และคุณค่าของแหล่งท่องเที่ยว โดยปัจจัยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติประเภทชายหาด ทะเล และเกาะ
- แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติประเภทภูเขาและป่าไม้
- พื้นที่แหล่งท่องเที่ยวประเภทประวัติศาสตร์ โบราณคดี และวัฒนธรรม

4.1.1.9 เกณฑ์มาตรฐานโรงแรมสีเขียวกลุ่มอาเซียน (ASEAN Green Hotel Standard)

มาตรฐานโรงแรมเขียว (ASEAN Green Hotel Standard) ที่จัดทำขึ้นโดย The ASEAN Secretariat Public Outreach and Civil Society Division เพื่อยกระดับกระบวนการ ให้การรับรองมาตรฐานโรงแรมเขียวสำหรับประเทศในกลุ่มอาเซียน พร้อมทั้งเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพลังงานในอุตสาหกรรมที่พักอาศัย (ASEAN Secretariat, 2016) โดยมาตรฐานนี้จะเป็นตัวกำหนดการดำเนินการด้านโรงแรมเขียวอย่างเป็นมืออาชีพ เช่น การวางแผนทางด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ผลิตภัณฑ์สีเขียว การจัดการทรัพยากรมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ชุมชมสามารถอยู่ร่วมกับสิ่งแวดล้อมได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบหรือเกิดผลกระทบที่น้อยที่สุด

เกณฑ์และข้อกำหนดที่สำคัญ

1) มาตรฐานสำหรับการรับรองคุณภาพของแนวทางและผู้เชี่ยวชาญในองค์กร
2) การใช้ผลิตภัณฑ์สีเขียว
3) การทำงานร่วมกันกับองค์กรท้องถิ่นในชุมชน
4) การพัฒนาบุคลากรการจัดโครงการฝึกอบรมพนักงานและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม
5) การจัดการขยะมูลฝอย
6) ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
7) มีพื้นที่สูบบุหรี่และห้ามสูบบุหรี่
8) การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกอย่างสม่ำเสมอ
9) การควบคุมมลพิษทางเสียงจากการดำเนินงานของโรงแรมด้วยโปรแกรมควบคุมเสียง
10) ระบบการจัดการและบำบัดน้ำเสีย
11) การจัดการสารพิษและสารเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1.10 เกณฑ์มาตรฐานมหาวิทยาลัยสีเขียว (UI Green Metric World University Ranking)

UI Green Metric World University Ranking เป็นหลักเกณฑ์ข้อปฏิบัติสำหรับการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ในการศึกษาหลักเกณฑ์ข้อปฏิบัติในการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ได้ใช้แนวทางจากการศึกษากระบวนการการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวที่ดำเนินการโดย University of Indonesia (University of Indonesia, 2016) ซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์การประเมินไว้ 6 ด้าน ดังนี้

1) ที่ตั้งและโครงสร้างพื้นฐาน (Setting and infrastructure)

2) การจัดการพลังงานและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Energy and climate change)

3) การจัดการของเสีย (Waste management)

4) การจัดการน้ำ (Water Usage management)

5) การคมนาคมขนส่ง (Transportation)

6) การศึกษา (Education for sustainable environment and development)

4.1.1.11 เกณฑ์มาตรฐาน Building Energy Code (BEC)

BEC เป็นเกณฑ์มาตฐานที่อำนวยความสะดวกในการตรวจและประเมินการออกแบบอาคารในประเทศไทยว่าเป็นไปตามที่กฎกระทรวงกำหนดหรือไม่ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2559) รวมทั้งช่วยสถาปนิกหรือวิศวกรในการกำหนดแบบอาคารให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะมีการแบ่งกลุ่มประเภทของอาคารตามเกณฑ์ออกแบบตามกฎกระทรวงฯ ออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ 1) อาคารสถานศึกษา อาคารสำนักงาน 2) โรงมหรสพ สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน 3) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด โดยมีการกำหนดเกณฑ์เพื่อใช้ในการตรวจและประเมินในแต่ละด้าน ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ชนิดของวัสดุก่อสร้าง (Material)

2) กรอบอาคารที่ใช้ (Building envelop)

3) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting)

4) ระบบความร้อน ระบายอากาศ และปรับอากาศ (HVAC system)

5) ระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure

4.1.2 การคัดเลือกเกณฑ์ และตัวชี้วัดสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในแต่ละเกณฑ์มาตรฐานตามหัวข้อที่ 4.1 แล้วสามารถสรุปออกมาเป็นตารางเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 11 มาตรฐานเพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อเหมือน- ข้อต่าง ลักษณะทั่วไป ขอบเขตการประเมิน ตัวชี้วัด วิธีการประเมิน รวมไปถึงสัดส่วนการให้น้ำหนัก หรือการให้ความสำคัญสำหรับการประเมินในแต่ละด้านตัวชี้วัดของแต่ละเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4-1 โดยผลจากการศึกษาดังกล่าวทำให้สามารถสรุปตัวชี้วัดเพื่อนำมาประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องจากกิจกรรมการใช้งานอาคาร ในช่วงการใช้งาน ซึ่งประกอบไปด้วยทั้งหมด 7 ตัวชี้วัด ดังนี้

1) การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel consumption)
2) การใช้พลังงานไฟฟ้า (Electricity consumption)
3) การใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy consumption)
4) การเกิดขยะมูลฝอย (Solid waste generation)
5) การใช้น้ำประปา (Water supply consumption)
6) การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment)
7) การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก (GHG leakage)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0-28 การเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Classification	BR part L	CSH	BREEAM	LEED V.4	CASBEE	TREEs	5 stars hotel	GA	AGH	UI Green metric	BEC
Country	England and Wales	England and Wales	United Kingdom	USA	Japan	Thailand	Thailand	Thailand	Asian	Indonesia	Thailand
Latest version	2016	2010	2015	2013	2014	2010	2014	2015	1967	2010	2015
By	UK Gov.	DCL Gov.	BRE	USGBC	JMLITT	TGBI	DT	DEQP	ASEANS	UI	DEDE
Assessment scale	Building and Home	Home	Building	Building	Building	Building	Building (Hotel)	Building (Hotel)	Building (Hotel)	Organization	Building
Measure pattern	Mandatory	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Volunteer	Mandatory
Building covered											
New / design	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Existing	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Interiors	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Core & shell	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Renovated	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+
Mixed use	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Evaluation system	Minimum std.	Rating	Rating	Rating	Rating	Rating	Rating	Rating	Checklist	Raking	Minimum std.
Evaluation item &weighting											
Building service & management	-	+(10%)	+(12%)	-	+(15%)	+(6%)	+	+	+	-	-
Health, wellbeing	-	+(14%)	+(15%)	+(16%)	+(20%)	+(14%)	+	+	+	-	-

Classification	BR part L	CSH	BREEAM	LEED V.4	CASBEE	TREEs	5 stars hotel	GA	AGH	UI Green metric	BEC
&indoor environment											
Outdoor, off-site environmental	-	-	-	-	+(30%)	+(5%)	-	+	-	-	-
Energy, atmosphere &climate change	+	+(36.4%)	+(19%)	+(33%)	+(20%)	+(27%)	-	+	+	+(21%)	+
Transportation	-	-	+(8%)	+(16%)	-	-	-	+	-	+(18%)	-
Water	-	+(9%)	+(6%)	+(11%)	-	+(8%)	-	+	+	+(10%)	-
Material, resources &design	+	+(7.2%)	+(13%)	+(13%)	+(15%)	+(17%)	+	+	-	-	+
Waste, solid waste management	-	+(6.40%)	+(8%)	-	-	-	-	+	+	+(18%)	-
Land, site, Infrastructure &ecology	+	+(18.2%)	+(10%)	+(10%)	-	+(17%)	+	+	-	+(15%)	+
Pollution, noise	-	+(2.8%)	+(10%)	-	-	-	-	+	+	-	-
Innovation, green product	-	-	-	+(6%)	-	+(6%)	-		+	-	-
Others (Regional priority, integrative education)	-	-	-	+(5%)	-	-	-	-	-	+(18%)	-
Certification level	Minimum	Level1 0%	Pass≥ 30%	Certified	Excellent	Platinum	Certified	Good 80%	Certified	Certified	Minimum

Classification	BR part L	CSH	BREEAM	LEED V.4	CASBEE	TREEs	5 stars hotel	GA	AGH	UI Green metric	BEC
	level passed	Level2 0% Level3 0% Level4 25% Level5100% Level6 NZC (Compared with BR part L V.2010)	Good≥ 45% Very Good≥ 55% Excellent ≥ 70% Outstanding≥ 85%	40-49 Silver 50-59 Gold 60-79 Platinum 80+	(S) Very good (A) Good (B+) Fairly poor (B-) poor (C) (Indicate Graph)	75+ Gold 55-74 Silver 45-54 Certified 35-44		+ Silver 70%-80% Bronze60%-70%			level passed

หมายเหตุ: BR= Building regulation
CSH= Code for sustainable home
GA= Green accommodation
AGH= Asian green hotel
BEC= Building energy code
DCLG= Department for communities and local government
JMLITT= Japanese ministry of land, infrastructure, transport and tourism
TGBI= Thai green building institute
DT= Department of tourism
DEQP= Department of environmental quality promotion
ASEAN= The ASEAN secretariat
UI= University of Indonesia
เครื่องหมายบวก (+)= มีการประเมิน
เครื่องหมายลบ (-)= ไม่มีการประเมิน
(-%)= Weighting factor

4.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอาคารแต่ละประเภท

4.2.1 ข้อมูลอาคารตัวแทนแต่ละประเภท

การประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร ได้ดำเนินการประเมินจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละด้าน ทั้ง 7 ตัวชี้วัด โดยสามารถสรุปผลการใช้พลังงานและ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารตัวแทนทั้ง 6 ประเภท รวมจำนวนทั้งหมด 21 แห่ง ซึ่งแบ่งตามช่วงเวลาการใช้งานอาคารได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ (ข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมของอาคารตัวแทนจะแสดงในภาคผนวก ข)

1) อาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า

อาคารตัวแทนประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต มีจะลักษณะเป็นร้านค้าปลีก (Retail) สมัยใหม่ (Modern trade) มีการจัดวางสินค้าเป็นหมวดหมู่ เพื่อความสวยงาม และเป็นระเบียบ ลักษณะของธุรกิจ จะเน้นการจัดจำหน่ายสินค้าอุปโภค บริโภค ที่หลากหลาย ราคาประหยัด โดยส่วนใหญ่ 60% จะเน้นสินค้าที่เป็นอาหาร นอกจากนี้จะมีพื้นที่สำหรับให้เช่า เพื่อเป็นร้านค้า ร้านอาหาร และธนาคาร เป็นต้น มีพื้นที่สำนักงานสำหรับเจ้าหน้าที่แต่ละฝ่าย พื้นที่จอดรถมีทั้งอยู่ในตัวอาคารและนอกอาคาร มีระบบปรับอากาศทั้งตัวอาคารซึ่งมักจะเป็นระบบแบบศูนย์รวม ระบบแสงสว่าง ระบบบันไดเลื่อน และระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนช่วงเวลาการใช้งานอาคารเป็นเวลาที่แน่นอน โดยทั่วไปจะอยู่ที่ ประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน ตัวอย่างของผู้ประกอบการประเภทนี้ ได้แก่ บิ๊กซี เทสโก้โลตัส คาร์ฟูร์ เป็นต้น

อาคารตัวแทนประเภทศูนย์การค้า มีลักษณะเป็นร้านค้าปลีกขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นศูนย์รวมสินค้าทุกชนิดเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าจำนวนมากแบบครบวงจร ในลักษณะ One Stop Shopping การจัดว่างสินค้าจะมีการแบ่งแผนก หรือหมวดหมู่สินค้าชัดเจน โดยเน้นสินค้าที่เป็นสินค้าอุปโภคจำพวกเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในบ้าน ฯลฯ และมีการให้เช่าพื้นที่ภายในศูนย์การค้าเพื่อจัดตั้งร้านค้าเช่าที่หลากหลายประเภทธุรกิจ เช่น ร้าน หรือศูนย์อาหาร โรงภาพยนตร์ และธนาคาร เป็นต้น มีพื้นที่สำนักงานสำหรับฝ่ายบริหารงานอาคาร มีพื้นที่จอดรถขนาดใหญ่ในตัวอาคารแต่ละชั้น มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวมทั้งตัวอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบลิฟท์ บันไดเลื่อน ระบบปั๊มน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น มีช่วงเวลาการใช้งานอาคารที่แน่นอนคือ 12 ชั่วโมงต่อวัน ตัวอย่างผู้ประกอบการประเภทนี้ได้แก่ ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล เดอะมอลล์ พารากอน MBK Terminal21 เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 0-29 ข้อมูลอาคารตัวแทนประเภท ซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า

ประเภทอาคาร			อาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต			อาคารศูนย์การค้า		
หมวดหมู่		**หน่วย**	B1	B2	B3	B1	B2	B3
ข้อมูลทั่วไป								
AC area		m^2	16,961	17,680	19,154	75,040	176,954	165,688
Usage area		m^2	19,014	24,820	23,163	75,916	194,869	166,500
Occupancy		person/day	3,818	2,367	3,150	55,115	13,705	60,511
ปริมาณการใช้งาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก								
Fossil fuel	QTY.	GJ/yr.	2,321	1,028	1,742	24,452	16,336	22,364
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	144	64	108	1,515	1,012	1,387
Electricity	QTY.	MWh/yr.	6,655	5,885	7,869	28,162	52,333	52,259
	GHG	$tonCO_2eq/yr..$	3,769	3,333	4,457	15,951	29,641	29,600
Solar cell	QTY.	MWh/yr.	0	0	0	0	0	0
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	0	0	0	0	0
Solid waste	QTY.	ton/yr.	208	512	765	7,280	990	7,655
	GHG	$tonCO_2eq/yr..$	539	1,330	1,994	19,225	2,598	20,161
Water supply	QTY.	$m^3/yr.$	55,104	54,978	66,737	515,055	637,297	758,549
	GHG	$tonCO_2eq/yr..$	28	28	34	262	324	385
Wastewater	QTY.	$m^3/yr.$	44,083	41,948	56,726	463,550	541,702	682,694
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	0	0	0	0	0
GHG leakage	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	469	304	0	0	2,107	0

หมายเหตุ:

AC area = พื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งหมายถึงพื้นที่ในอาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

Usage area = พื้นที่ใช้งานรวม ซึ่งหมายถึงพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศแต่ไม่รวมพื้นที่จอดรถ

Occupancy = จำนวนผู้ใช้งาน/ผู้ใช้บริการ/ลูกค้า โดยสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตทำการนับจำนวนโดยอ้างอิงจากจำนวนใบเสร็จ ส่วนอาคารประเภทศูนย์การค้าทำการนับจำนวนโดยใช้ระบบ Sensor

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมด้านต่างๆ ของอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้าดังแสดงในตารางที่ 4-2 สามารถอธิบายผลในเบื้องต้นได้ดังนี้

<u>ด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล</u>

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยรวมในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 1,028 - 2,321 (AVG= 1,697 SD=648) กิกะจูลต่อปี (GJ/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 108-144 (AVG= 105 SD=40) ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($tonCO_2eq/yr$) ส่วนอาคารศูนย์ค้า 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 24,452 – 16,336 (AVG= 21,051 SD=4,214) GJ/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 1,515 – 1,012 (AVG= 1,304 SD=261) $tonCO_2eq/yr$ โดยปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตแต่ละแห่ง มีความสอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานหรือลูกค้า แต่ไม่สอดคล้อง

กับขนาดพื้นที่ ส่วนในอาคารประเภทศูนย์การค้าพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ไม่ได้สอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งาน เนื่องจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารสองประเภทนี้อาจไม่ได้มีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ของอาคารแต่ละแห่ง แต่อย่างไรก็ตามการตรวจนับจำนวนผู้ใช้งานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตได้อ้างอิงมาจากจำนวนใบเสร็จการซื้อขาย ที่อาจมีความคาดเคลื่อนจากจำนวนผู้ใช้งานจริง ส่วนอาคารศูนย์การค้าข้อมูลด้านจำนวนผู้ใช้งาน เป็นข้อมูลที่ได้จากการใช้ระบบ Sensor .ในการตรวจนับจำนวนผู้ที่ผ่านเข้าออกทั้งหมด ที่อาจเกิดการนับซ้ำหรือมีความคาดเคลื่อนเกิดขึ้น ประกอบกับข้อมูลด้านจำนวนผู้ใช้งานทั้งในอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า จะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่ามีจำนวนผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในปริมาณเท่าใด

<u>ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 5,885 – 7,869 (AVG= 6,803 SD=1,000) เมกะวัตต์ต่อปี (MWh/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 3,333 – 4,457 (AVG= 3,853 SD=567) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารศูนย์ค้า 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 28,162 – 52,333 (AVG= 44,251 SD=13,934) MWh/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 15,951 – 29,641 (AVG= 25,064 SD=7,892) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งาน ส่วนในอาคารศูนย์การค้าพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความสอดคล้องกับขนาดพื้นที่ใช้งาน แต่ไม่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานอาคาร แต่อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารสองประเภทนี้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับทั้งขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร รวมไปถึงระบบบริหารจัดการอาคารที่อาจแต่ต่างกันออกไปในอาคารแต่ละแห่ง

<u>ด้านการใช้พลังงานทดแทน</u>

จากการศึกษาพบว่าอาคารตัวแทนประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้าทั้ง 6 แห่ง ยังไม่มีการนำระบบการผลิตพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในอาคารเลย แต่จากการสอบถามกับทางผู้ประกอบการบางแห่ง ได้ระบุว่ามีแนวคิดที่จะนำมาใช้ในอนาคตแต่ปัจจุบันยังอยู่ในช่วงการศึกษาข้อมูลด้านการลงทุน หรือความคุ้มทุนที่จะนำระบบผลิตพลังงานทดแทนมาใช้

<u>ด้านการเกิดขยะมูลฝอย</u>

การเกิดขยะมูลฝอยในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 208 – 765 (AVG= 495 SD=279) ตันต่อปี (ton/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 539 – 1,994 (AVG= 1,288 SD=728) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารศูนย์ค้า 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 990 – 7,655 (AVG= 5,308 SD=3,745) ton/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 2,598 – 20,161 (AVG= 13,995 SD=9,881) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งาน ส่วนในอาคารศูนย์การค้าพบว่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความสอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานอาคาร แต่ไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นที่ใช้งาน ซึ่งในอาคารทั้งสองประเภทจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าอาคารที่มีจำนวนผู้ใช้งานมากก็จะมีปริมาณขยะมูลฝอยที่มากตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับทั้งขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าข้อมูลผู้ใช้งานในอาคารสองประเภทนี้อาจมีความคาดเคลื่อนจากจำนวนผู้ใช้งานจริง ประกอบกับการที่ไม่สามารถระบุจำนวนผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดขยะมูลฝอยได้ นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ระบบการจัดการขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละแห่งซึ่งข้อมูลปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยนี้ได้มีเก็บรวบรวมมาจากปริมาณขยะที่จะนำไปสู่บ่อฝังกลบเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยในอาคารบางแห่งจะมีการคัดแยกขยะในส่วนที่รีไซเคิลได้ไว้ แต่ในอาคารบางแห่งก็ไม่มีการคัดแยกไว้ จึงทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณขยะมูลฝอยที่แตกต่างกัน และอาจจะส่งผลทำให้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่ได้มามีความเป็นไปได้ที่จะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ด้านการใช้น้ำประปา</u>

การใช้น้ำประปาในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 54,978 – 66,737 (AVG= 58,940 SD=6,753) ลูกบาศ์กเมตรต่อปี (m^3/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 28 – 34 (AVG= 30 SD=3) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารศูนย์ค้า 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 515,055 – 758,549 (AVG= 636,967 SD=121,747) m^3/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 262 – 385 (AVG= 324 SD=62) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตและอาคารศูนย์การค้า ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งาน แต่อย่างก็ตามดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าข้อมูลผู้ใช้งานในอาคารทั้งสองประเภทนี้อาจมีความคาดเคลื่อนจากจำนวนผู้ใช้งานจริง ประกอบกับการที่ไม่สามารถระบุจำนวนผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำประปาได้ นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น

ลักษณะกิจกรรมการใช้น้ำประปาที่แตกต่างกันถึงแม้ในอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม รวมไปถึงจำนวนห้องน้ำ จำนวนร้านค้า จำนวนสุขภัณฑ์ หรือประสิทธิภาพของสุขภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณการใช้น้ำประปาที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ปริมาณการใช้น้ำประปาจะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการเกิดน้ำเสีย

การเกิดน้ำเสียในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 41,948 – 56,726 (AVG= 47,586 SD=7,988) ลูกบาศ์กเมตรต่อปี (m^3/yr) ส่วนอาคารศูนย์ค้า 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 463,550 – 682,694 (AVG= 562,649 SD=111,064) m^3/yr และจากการศึกษาพบว่าอาคารทั้ง 6 แห่งมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศซึ่งปกติแล้วจะไม่ถือว่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากการบำบัดแต่การคำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะพิจารณาเฉพาะในส่วนปริมาณพลังงานฟ้าที่ใช้ไปในการเดินระบบแต่ในการศึกษานี้ได้รวมปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียไปกับการคำนวณในด้านพลังงานไฟฟ้าแล้ว โดยปริมาณการเกิดน้ำเสีย ในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตและอาคารศูนย์การค้า ก็ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งานเช่นกับการใช้น้ำประปา เพราะปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในอาคารแต่ละแห่งเกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำประปาของอาคาร ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณการเกิดน้ำเสียในอาคารแต่ละแห่งมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำประปาที่ใช้ และเช่นกันอย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าข้อมูลผู้ใช้งานในอาคารทั้งสองประเภทนี้อาจมีความคาดเคลื่อนจากจำนวนผู้ใช้งานจริง ประกอบกับการที่ไม่สามารถระบุจำนวนผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำเสียได้อย่างแน่นอนว่ามีจำนวนเท่าใด นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการเกิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันถึงแม้ในอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณการเกิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ปริมาณการเกิดน้ำเสียจะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก

การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ตพบว่ามีอาคาร 2 .ใน 3 แห่งที่มีการรั่วไหลซึ่งมีปริมาณการรั่วไหลอยู่ในช่วง 304-469 tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารประเภทศูนย์การค้ามีอาคารเพียง 1 แห่งใน 3 แห่งที่มีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีปริมาณการรั่วไหลเท่ากับ 1,217 tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกสามารถเกิดได้ทั้งจากความตั้งใจ เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน และสามารถเกิดจากเหตุสุดวิสัย หรือ เช่น การชำรุดของอุปกรณ์ ที่ขาดการบำรุงรักษาหรือที่มีการใช้งานนานเกิดไป ซึ่งข้อมูลการรั่วไหลที่เก็บรวบรวมได้มานั้นอาจเป็นข้อมูลแค่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของข้อมูลการรั่วไหลในอาคารแต่ละแห่งได้ ถึงแม้ว่าจะเป็นอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม

2) อาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล

อาคารตัวแทนประเภทโรงแรม เป็นอาคารสำหรับให้ผู้ใช้บริการเข้าพักอาศัยแบบชั่วคราว โดยพื้นที่ในอาคารประเภทนี้มักจะประกอบไปด้วย ห้องพัก ห้องโถง ห้องครัว ห้องอาหารจัดเลี้ยง ห้องประชุม สำนักงาน ห้องซักรีด ห้องออกกำลังกาย สระว่ายน้ำ สปา และพื้นที่อุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น การใช้งานระบบปรับอากาศมีทั้งแบบศูนย์รวมและแยกส่วน ระบบแสงสว่าง ระบบมอเตอร์ ปั๊มน้ำ ระบบทำความร้อน/ไอน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น มีช่วงเวลาการใช้งานอาคารคือตลอด 24 ชั่วโมง

อาคารตัวแทนประเภทโรงพยาบาล เป็นสถานที่จัดให้บริการผู้ป่วยโดยสามารถรับผู้ป่วยค้างคืนเกินสามสิบเตียงขึ้นไป ซึ่งมีบริการทางเวชกรรม ด้านการพยาบาล ด้านเภสัชกรรม และด้านเทคนิคการแพทย์เป็นอย่างน้อย และอาจจะมีบริการด้านทันตกรรมหรือด้านการประกอบโรคศิลปะอื่นๆ เป็นต้น พื้นที่ในตัวอาคารมักประกอบไปด้วย พื้นที่สำหรับผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน ห้องตรวจ ห้องรักษาโรคเฉพาะทาง สำนักงาน ห้องอุปกรณ์ต่างๆ พื้นที่ส่วนกลาง พื้นที่โรงครัว และอาจมีร้านค้า ร้านอาหาร เป็นต้น มีพื้นที่จอดรถทั้งนอกและในตัวอาคารตามความเหมาะสมของพื้นที่ มีการใช้ระบบปรับอากาศทั้งแบบศูนย์รวมและแยกส่วน ระบบแสงสว่าง ระบบลิฟท์และบันไดเลื่อน ระบบอุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์ ระบบทำความร้อนหรือไอน้ำ ระบบปั๊ม และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ส่วนช่วงเวลาการใช้งานอาคารจะเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง (อาคารตัวแทนโรงพยาบาลในการศึกษานี้ เป็นโรงพยาบาลเอกชนทั้งหมด)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 0-30 ข้อมูลอาคารตัวแทนประเภท โรงแรม และโรงพยาบาล

ประเภทอาคาร	อาคารโรงแรม	อาคารโรงพยาบาล

หมวดหมู่		หน่วย	B1	B2	B3	B1	B2	B3
ข้อมูลทั่วไป								
AC area		m^2	28,405	30,697	43,754	36,496	47,590	59,638
Usage area		m^2	68,483	33,714	85,340	39,307	50,218	59,924
Room-sold		room-day/yr	111,908	98,018	160,917	-	-	-
IPD-bed		bed-day/yr	-	-	-	36,323	60,973	70,076
ปริมาณการใช้งาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก								
Fossil fuel	QTY.	GJ/yr.	17,185	19,107	18,146	7,414	1,297	1,138
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	1,064	1,183	1,124	460	81	71
Electricity	QTY.	MWh/yr.	8,498	9,229	8,864	6,735	10,224	12,238
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	4,813	5,227	5,020	3,815	5,791	6,932
Solar cell	QTY.	MWh/yr.	0	0	0	0	0	0
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	0	0	0	0	0
Solid waste	QTY.	ton/yr.	97.15	97.08	97.15	255	175	215
	GHG	$tonCO_2eq/yr..$	253	252	253	669	457	563
Water supply	QTY.	m^3/yr	131,449	163,912	147,681	110,891	178,760	189,445
	GHG	$tonCO_2eq/yr..$	67	83	75	56	91	96
Wastewater	QTY.	m^3/yr	104,992	139,235	122,114	80,224	119,026	179,973
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	0	0	0	0	0
GHG leakage	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	79	378	228	421	3	74

หมายเหตุ:

AC area = พื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งหมายถึงพื้นที่ในอาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

Usage area = พื้นที่ใช้งานรวม ซึ่งหมายถึงพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในบริเวณพื้นที่ทางการแพทย์ และการบริการที่เกี่ยข้องกับการแพทย์ทั้งหมด แต่ไม่รวมถึงหอพักแพทย์ หอพักพยาบาล ห้องเรียนนักศึกษาแพทย์ และพื้นที่จอดรถ

Room sold = จำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ในแต่ละปี โดยคำนวนจากผลรวมของห้องพักที่ให้บริการคูณกับจำนวนวันที่ให้บริการ เช่น ห้องพักหมายเลข 1 มีผู้ใช้บริการในรอบ 1 ปี รวมกันทั้งสิ้น 200 วัน หรือเท่ากับ 200 ห้อง-วัน/ปี ห้องพักหมายเลข 2 มีผู้ใช้บริการในรอบ 1 ปี รวมกันทั้งสิ้น 300 วัน หรือเท่ากับ 300 ห้อง-วัน/ปี รวมจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ในรอบ 1 ปี รวมกันทั้งสิ้น 500 ห้อง-วัน/ปี เป็นต้น

Bed-day = จำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี โดยคำนวนจากผลรวมของเตียงผู้ป่วยในที่ให้บริการคูณกับจำนวนวันที่ให้บริการ เช่น เตียงหมายเลข 1 มีผู้ป่วยในใช้บริการในรอบ 1 ปี รวมกันทั้งสิ้น 200 วัน หรือเท่ากับ 200 เตียง-วัน/ปี เตียงหมายเลข 2 มีผู้ป่วยในใช้บริการในรอบ 1 ปี รวมกันทั้งสิ้น 300 วัน หรือเท่ากับ 300 เตียง-วัน/ปี รวมจำนวนผู้ป่วยในที่ใช้บริการในรอบ 1 ปี รวมกันทั้งสิ้น 500 เตียง-วัน/ปี เป็นต้น

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมด้านต่างๆ ของอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาลดังแสดงในตารางที่ 4-3 สามารถอธิบายผลในเบื้องต้นได้ดังนี้

<u>ด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล</u>

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยรวมในอาคารประเภทโรงแรม 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 17,185 – 19,107 (AVG= 18,146 SD=961 GJ/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 1,185-1,064 (AVG= 1,124 SD=59) $tonCO_2eq/yr$ ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาล 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง

1,138 – 7,414 (AVG= 3,283 SD=3,578) GJ/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 71 – 460 (AVG= 204 SD=222) tonCO_2eq/yr :ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าในอาคารประเภทโรงพยาบาลมีค่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ค่อนข้างแตกต่างกัน เนื่องจากในอาคารบางแห่งยังมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับระบบผลิตความร้อน/ไอน้ำอยู่ แต่ในอาคารบางแห่งมีการเปลี่ยนมาใช้ระบบผลิตความร้อนแบบใช้ไฟฟ้าแทน ทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลแตกต่างกันไปมาก โดยปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมในอาคารประเภทโรงแรมแต่ละแห่งพบว่าไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ และจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนในอาคารประเภทโรงพยาบาลพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ก็ไม่ได้มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานเช่นกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงทั้งในอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาลอาจไม่ได้มีค่าแบบแปรผันโดยตรงไปกับข้อมูลตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งต้องพิจารณาแยกออกเป็นรายกิจกรรมเพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลประกอบกับข้อมูลด้านจำนวนผู้ใช้งานที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ ที่สำหรับอาคารโรงแรมจะหมายถึงจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะหมายถึงจำนวนผู้ป่วยใน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในอาคารทั้งสองประเภทจะมีผู้ใช้งานในกลุ่มอื่นๆ ที่เข้ามาใช้บริการและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารทั้งสองประเภทนี้ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ รวมไปถึงระบบการบริหารจัดการ การเดินระบบในอาคารแต่ละแห่งที่มีความแตกต่างกัน จึงอาจส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละแห่ง มีความเป็นไปได้ที่จะไม่สอดคล้องกับข้อมูลทั้งด้านขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ใช้งาน

<u>ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในอาคารประเภทโรงแรมทั้ง 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 8,498 – 9,229 (AVG= 8,864 SD=366) MWh/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 4,813 – 5,227 (AVG= 5,020 SD=207) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาล 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 6,735 – 12,238 (AVG= 9,732 SD=2,784) MWh/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 3,815 – 6,932 (AVG= 5,512 SD=1,577) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนในอาคารประเภทโรงพยาบาลพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งานและจำนวนผู้ป่วยใน แต่อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารสองประเภทนี้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับทั้งขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วย เช่น ชนิดหรือประเภท และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในอาคาร รวมไปถึงระบบบริหารจัดการอาคารที่อาจแต่ต่างกันออกไปในอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการใช้พลังงานทดแทน

จากการศึกษาพบว่าอาคารตัวแทนประเภทอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาลทั้ง 6 แห่ง ยังไม่มีการนำระบบการผลิตพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในอาคารเลย แต่จากการสอบถามกับทางผู้ประกอบการบางแห่ง ได้ระบุว่ามีแนวคิดที่จะนำมาใช้ในอนาคตแต่ปัจจุบันยังอยู่ในช่วงการศึกษาข้อมูลด้านการลงทุน หรือความคุ้มทุนที่จะนำระบบผลิตพลังงานทดแทนมาใช้

ด้านการเกิดขยะมูลฝอย

การเกิดขยะมูลฝอยในอาคารประเภทโรงแรมทั้ง 3 แห่ง มีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 97.08 – 97.21 (AVG= 97.15 SD=0.06) ton/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 252 – 253 (AVG= 253 SD=0.48) tonCO_2eq/yr ส่วนประเภทโรงพยาบาลทั้ง 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 175 – 255 (AVG= 215 SD=40) ton/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 457 – 669 (AVG= 563 SD=106) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนในอาคารโรงพยาบาลพบว่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งาน และจำนวนเตียงผู้ป่วยใน แต่ในอาคารประเภทโรงแรมจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าอาคารที่มีจำนวนห้องพักที่จำหน่วยได้มากก็จะมีปริมาณขยะมูลฝอยที่มากตามไปด้วย อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับทั้งขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าข้อมูลด้านจำนวนผู้ใช้งานที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ ที่สำหรับอาคารประเภทโรงแรมจะหมายถึงจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะหมายถึงจำนวนผู้ป่วยใน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในอาคารทั้งสองประเภทนี้จะมีผู้ใช้งานในกลุ่มอื่นๆ ที่เข้ามาใช้บริการและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดขยะมูลฝอย นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะการใช้งานอาคารและระบบการจัดการขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละแห่งที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะปริมาณขยะที่จะนำไปสู่บ่อฝังกลบเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้น ประกอบในการศึกษานี้จะไม่นำปริมาณขยะอันตรายหรือติดเชื้อมาพิจารณารวมด้วย เนื่องจากขยะประเภทนี้ทางผู้ประกอบการของอาคารแต่ละแห่งได้มีการว่าจ้างผู้รับเหมามาเป็นผู้รับผิดชอบในการกำจัด ซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจจะส่งผลทำให้ข้อมูลปริมาณขยะมูล

ฝอยที่ได้มามีความเป็นไปได้ที่จะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการใช้น้ำประปา

การใช้น้ำประปาในอาคารประเภทโรงแรมทั้ง 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 131,449 – 163,912 (AVG= 14,681 SD=16,232) m^3/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 67 – 83 (AVG= 75 SD=8) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาล 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 110,891 – 189,445 (AVG= 159,699 SD=42,605) m^3/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 56 – 96 (AVG= 81 SD=22) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาล พบว่าปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ป่วยใน แต่อย่างก็ตามดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าข้อมูลผู้ใช้งานในอาคารทั้งสองประเภทนี้อาจมีความคาดเคลื่อนจากจำนวนผู้ใช้งานจริงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำประปา นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะกิจกรรมการใช้น้ำประปาที่แตกต่างกันถึงแม้ในอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม รวมไปถึงจำนวนห้องน้ำ จำนวนร้านค้า จำนวนสุขภัณฑ์ หรือประสิทธิภาพของสุขภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณการใช้น้ำประปาที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ปริมาณการใช้น้ำประปาจะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการเกิดน้ำเสีย

การเกิดน้ำเสียในอาคารประเภทโรงแรมทั้ง 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 104,992 – 139,235 (AVG= 122,114 SD=17,122) m^3/yr ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาลทั้ง 3 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 80,224 – 179,973 (AVG= 126,408 SD=50,282) m^3/yr และจากการศึกษาพบว่าอาคารทั้ง 6 แห่งมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศซึ่งปกติแล้วจะไม่ถือว่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากการบำบัดแต่การคำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะพิจารณาเฉพาะในส่วนปริมาณพลังงานฟ้าที่ใช้ไปในการเดินระบบแต่ในการศึกษานี้ได้รวมปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียไปกับการคำนวณในด้านพลังงานไฟฟ้าแล้ว โดยปริมาณการเกิดน้ำเสีย ในอาคารประเภทโรงแรม ไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาล พบว่าปริมาณการเกิดน้ำเสีย มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ป่วยใน เช่นเดียวกับการใช้น้ำประปา เพราะปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในอาคารแต่ละแห่งเกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำประปาของอาคาร ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณการเกิดน้ำเสียในอาคารแต่ละแห่งมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำประปาที่ใช้ และเช่นกันอย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าข้อมูล

ผู้ใช้งานในอาคารทั้งสองประเภทนี้อาจมีความคาดเคลื่อนจากจำนวนผู้ใช้งานจริงที่เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำเสีย นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการเกิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันถึงแม้ในอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณการเกิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ปริมาณการเกิดน้ำเสียจะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก

การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในอาคารโรงแรมพบว่าอาคารทั้ง 3 แห่งที่มีการรั่วไหลซึ่งมีปริมาณการรั่วไหลอยู่ในช่วง 78-378 tonCO_2eq/yr และเช่นกันอาคารประเภทโรงพยาบาลทั้ง 3 แห่งก็มีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีปริมาณการรั่วไหลอยู่ในช่วง 3-427 tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกสามารถเกิดได้ทั้งจากความตั้งใจ เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน การใช้สารเคมี และสามารถเกิดได้จากเหตุสุดวิสัย หรือ เช่น การชำรุดของอุปกรณ์ ที่ขาดการบำรุงรักษาหรือที่มีการใช้งานนานเกิดไป ซึ่งข้อมูลการรั่วไหลที่เก็บรวบรวมได้มานั้นอาจเป็นข้อมูลแค่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของข้อมูลการรั่วไหลในอาคารแต่ละแห่งได้ ถึงแม้ว่าจะเป็นอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) อาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา

<u>อาคารตัวแทนประเภทสำนักงาน</u> เป็นอาคารที่ใช้ถูกใช้ห้องหรือพื้นที่อื่นๆสำหรับให้ผู้ที่ปฏิบัติงานซึ่งเรียกว่าพนักงาน หรือ เจ้าพนักงาน ที่มีกิจเฉพาะในอาคารนั้นๆเข้ามาปฏิบัติงานเป็นประจำ รวมถึงผู้ที่เข้ามาติดต่องานแบบชั่วคราวอีกด้วย อาคารประเภทนี้มักจะ เป็นอาคารสูงมีการออกแบบให้สามารถใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะไม่มีเสากลางคั้นระหว่างพื้นที่ และองค์ประกอบหลักของอาคารประเภทนี้ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยระบบต่างๆ เช่น ปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบลิฟท์ อุปกรณ์สำนักงาน และระบบปั๊มน้ำ มีพื้นที่จอดรถ พื้นที่ส่วนกลาง และสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารเช่น ร้านค้า ร้านอาหารเป็นต้น ส่วนช่วงเวลาการใช้งานอาคารอาจแตกต่างกันออกไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะหรือกิจกรรมของแต่ละองค์กร โดยอาคารสำนักงานอาจมีสถานที่ตั้งอยู่ในองค์กรขนาดใหญ่ ซึ่งมีจำนวนอาคารตั้งอยู่หลายอาคาร โดยในการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะอาคารที่มีองค์ประกอบของการเป็นอาคารสำนักงานมากที่สุด และมีชั่วเวลาการใช้งานต่อวันประมาณ 9 ชั่วโมง

<u>อาคารตัวแทนประเภทสถานศึกษา</u> เป็นอาคารที่ใช้ห้องหรือพื้นที่ สำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยอาจมีทั้งที่เป็นอาคารสูง หรืออาคารที่สูงไม่กี่ชั้น ในตัวอาคารมักจะประกอบไปด้วยห้องที่เป็นห้องเรียน ห้องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์หรือสื่อการเรียนการสอน ห้องทำกิจกรรมพิเศษ ห้องพักครู อาจารย์ หรือบุคคลากรที่ปฏิบัติงาน พื้นที่ทางเดิน พื้นที่ส่วนกลาง ซึ่งอาจมีหรือไม่มีระบบปรับอากาศก็ได้ ระบบลิฟท์ขึ้นอยู่กับความสูงของอาคาร และบางสถานศึกษาอาจมีร้านค้า หรือร้านอาหารในตัวอาคารด้วย ส่วนช่วงเวลาการใช้งานค่อนข้างเป็นเวลาที่แน่นอนตามเวลาราชการประมาณ 9 ชั่วโมงต่อวัน และอาจมีการหยุดใช้งานหรือใช้งานอาคารน้อยลงในช่วงปิดภาคเรียนในแต่ละปีการศึกษา โดยอาคารตัวแทนประเภทสถานศึกษา อาจมีสถานที่ตั้งอยู่ในองค์กร หรือสถานศึกษาขนาดใหญ่ ซึ่งมีจำนวนอาคารสถานศึกษาตั้งอยู่หลายอาคาร แต่ในการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะอาคารที่มีองค์ประกอบของการเป็นอาคารสถานศึกษามากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0-31 ข้อมูลอาคารตัวแทนประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา

ประเภทอาคาร			อาคารสำนักงาน				อาคารสถานศึกษา				
หมวดหมู่		หน่วย	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B5
ข้อมูลทั่วไป											
AC area		m^2	9,782	40,033	23,000	11,000	3,616	2,100	828	7,400	5,710
Usage area		m^2	16,268	40,033	23,000	11,659	10,640	3,350	3,914	7,400	9,512
Occupancy		person/day	718	1,800	552	432	1,756	719	756	565	760
All students		person/day	-	-	-	-	5,280	1,993	4,500	480	1,500
ปริมาณการใช้งาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก											
Fossil fuel	QTY.	GJ/yr.	21	19	183	9	580	566	452	287	439
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	2	1	12	1	36	35	28	18	27
Electricity	QTY.	MWh/yr.	2,227	5,894	3,791	1,514	128	276	115	618	315
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	1,261	3,338	2,147	858	72	156	65	350	178
Solar cell	QTY.	MWh/yr.	0	115	0	75	0	0	0	41	0
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	-65	0	-43	0	0	0	-23	0
Solid waste	QTY.	ton/yr.	44	123	26	4	7	7	9	4	2
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	124	348	74	12	19	19	24	15	6
Water suppy	QTY.	m^3/yr	12,955	74,831	22,861	8,488	7,152	6,205	12,233	5,324	6,994
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	7	38	12	4	4	3	6	3	4
Wastewater	QTY.	m^3/yr	11,660	18,756	19,432	7,215	5,722	5,585	9,781	4,526	6,295
	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	0	37	0	0	0	0	1	12
GHG leakage	GHG	$tonCO_2eq/yr.$	0	0	0	0	123	0	0	0	25

หมายเหตุ:

AC area = พื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งหมายถึงพื้นที่ในอาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

Usage area = พื้นที่ใช้งานรวม ซึ่งหมายถึงพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศแต่ไม่รวมพื้นที่จอดรถ

Occupancy = จำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งอาคารประเภทสำนักงานจะหมายถึงจำนวนพนักงานประจำที่ปฏิบัติหน้าที่ในอาคาร ส่วนอาคารสถานศึกษาจะหมายถึงจำนวนนักเรียนและบุคลากรที่เข้ามาบริการในอาคาร

All students = จำนวนนักเรียน/นักศึกษาทั้งหมดในสถานศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมด้านต่างๆ ของอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-4 สามารถอธิบายผลในเบื้องต้นได้ดังนี้

ด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยรวมในอาคารประเภทสำนักงาน 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 9 – 183 (AVG= 58 SD= 84) GJ/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 1-12 (AVG= 4 SD=5) $tonCO_2eq/yr$ ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษา 5 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 287 – 580 (AVG= 465 SD=118) GJ/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 18 – 36 (AVG= 29 SD=7) $tonCO_2eq/yr$:ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าในอาคารประเภทสำนักงานมีค่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลของอาคารประเภทสำนักงานส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมการ

การใช้สำหรับเพื่อทดสอบการเดินระบบสำรองฉุกเฉินต่างๆ ในอาคาร ส่วนในอาคารบางแห่งที่มีกิจกรรมการประกอบอาหารภายในอาคารก็จะมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่สูงกว่าอาคารอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าอาคารประเภทสำนักงานมักจะไม่มีกิจกรรมการประกอบอาหารในอาคาร จึงทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลค่อนข้างที่จะแตกต่างกันไปมาก โดยเมื่อพิจารณาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมในอาคารประเภทสำนักงานแต่ละแห่ง พบว่าไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ใช้งาน ส่วนในอาคารประเภทสถานศึกษา พบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ก็ไม่ได้มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานเช่นกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากข้อแตกต่างในเรื่องของ กิจกรรมในอาคารแต่ละแห่ง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารทั้งสองประเภทนี้ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ รวมไปถึงระบบการบริหารจัดการการเดินระบบในอาคารแต่ละแห่งที่มีความแตกต่างกัน จึงอาจส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละแห่ง มีความเป็นไปได้ที่จะไม่สอดคล้องกับข้อมูลทั้งด้านขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ใช้งาน

<u>ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในอาคารประเภทสำนักงานทั้ง 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 1,514 – 5,894 (AVG= 3,356 SD=1,941) MWh/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 858 – 3,338 (AVG= 1,901 SD=1,099) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษาทั้ง 5 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 115 – 618 (AVG= 290 SD=203) MWh/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 65 – 350 (AVG= 164 SD=115) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงาน มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ แต่ไม่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งาน ส่วนในอาคารประเภทสถานศึกษาพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งานและจำนวนผู้ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารสองประเภทนี้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับทั้งขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วย เช่น ชนิด หรือประเภท และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในอาคาร รวมไปถึง ลักษณะกิจกรรมการใช้พื้นที่ และระบบบริหารจัดการอาคารที่อาจแต่ต่างกันออกไปในอาคารแต่ละแห่ง จึงอาจส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละแห่ง มีความเป็นไปได้ที่จะสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับข้อมูลทั้งด้านขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการใช้พลังงานทดแทน

จากการศึกษาพบว่าอาคารตัวแทนประเภทอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษาทั้ง 9 แห่ง มีอาคารทั้งหมด 3 แห่ง (สำนักงาน 1 แห่ง สถานศึกษา 2 แห่ง) ที่มีการนำระบบการผลิตพลังงานทดแทน (Solar cell) เข้ามาใช้ในอาคารซึ่งสามารถช่วยลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าได้ถึงประมาณร้อยละ 2-7 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนในอาคารที่ยังไม่มีการนำระบบพลังงานทดแทนมาใช้ จากการสอบถามกับทางผู้ประกอบการบางแห่ง ได้ระบุว่ามีแนวคิดที่จะนำมาใช้ในอนาคตแต่ปัจจุบันยังอยู่ในช่วงการศึกษาข้อมูลด้านการลงทุน หรือความคุ้มทุนที่จะนำระบบผลิตพลังงานทดแทนมาใช้

ด้านการเกิดขยะมูลฝอย

การเกิดขยะมูลฝอยในอาคารประเภทสำนักงานทั้ง 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 4-123 (AVG= 49 SD=52) ton/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 12 – 348 (AVG= 139 SD=146) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษาทั้ง 5 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 2 – 9 (AVG= 6 SD=3) ton/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 6 – 24 (AVG= 17 SD=7) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงานไม่มีความสอดคล้องกับขนาดพื้น แต่มีความสอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งาน ส่วนในอาคารประเภทสถานศึกษาพบว่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับทั้งขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งาน เนื่องจากในอาคารแต่ละแห่งอาจมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลให้มีปริมาณขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะการใช้งานอาคารและระบบการจัดการขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละแห่งที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะปริมาณขยะที่จะนำไปสู่บ่อฝังกลบเท่านั้น ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้น เนื่องจากจะมีปริมาณขยะบางส่วนที่อาคารบางแห่งมีระบบจัดการคัดแยกประเภทขยะที่สามารถรีไซเคิล หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้ซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจจะส่งผลทำให้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่ได้มามีความเป็นไปได้ที่จะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการใช้น้ำประปา

การใช้น้ำประปาในอาคารประเภทสำนักงานทั้ง 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 8,488 – 74,831 (AVG= 29,784 SD=30,626) m^3/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 4 – 38 (AVG= 15 SD=16) tonCO_2eq/yr ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษาทั้ง 5 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 5,324 – 12,233 (AVG= 7,582 SD=2,700) m^3/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 3 – 6 (AVG= 4

SD=1) tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงาน มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้น แต่ไม่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งาน ส่วนอาคารสถานศึกษา พบว่าปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ช้งาน แต่จะสังเกตเห็นว่าในทั้งสองประเภทอาคารที่มีจำนวนผู้ใช้งานมากก็จะมีปริมาณการใช้น้ำประปาที่มากตามไปด้วย อย่างก็ตามสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะกิจกรรมการใช้น้ำประปาที่แตกต่างกันถึงแม้ในอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม รวมไปถึงจำนวนห้องน้ำ จำนวนร้านค้า จำนวนสุขภัณฑ์ หรือประสิทธิภาพของสุขภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณการใช้น้ำประปาที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ปริมาณการใช้น้ำประปาจะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

<u>ด้านการเกิดน้ำเสีย</u>

การเกิดน้ำเสียในอาคารประเภทสำนักงานทั้ง 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 7,215 – 19,432 (AVG= 14,266 SD=5,870) m^3/yr ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษาทั้ง 5 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 4,526 – 9,781 (AVG= 6,381 SD=2,005) m^3/yr และจากการศึกษาพบว่าอาคารทั้ง 9 แห่งส่วนใหญ่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศซึ่งปกติแล้วจะไม่ถือว่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากการบำบัดแต่การคำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะพิจารณาเฉพาะในส่วนปริมาณพลังงานฟ้าที่ใช้ไปในการเดินระบบแต่ในการศึกษานี้ได้รวมปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียไปกับการคำนวณในด้านพลังงานไฟฟ้าแล้ว และนอกจากนี้ยังพบว่ามีอาคารจำนวน 3 ใน 9 แห่ง (สำนักงาน 1 แห่ง สถานศึกษา 2 แห่ง) ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและการส่งบำบัดกับทางส่วนกลาง ซึ่งคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอยู่ในช่วง 12-37 tonCO_2eq/yr และ 1 tonCO_2eq/yr ตามลำดับ โดยปริมาณการเกิดน้ำเสียในอาคารสำนักงาน และสถานศึกษาไม่มีความสอดคล้องกับทั้งขนาดพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งาน แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าในอาคารประเภทสำนักงานที่มีผู้ใช้งานมากหรือมีพื้นที่ขนาดใหญ่ก็จะมีปริมาณการเกิดน้ำเสียที่มากตามไปด้วย ส่วนในอาคารสถานศึกษาจะสังเกตเห็นว่าอาคารที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากก็จะมีปริมาณการเกิดน้ำเสียที่มากตามไปด้วยเช่นกัน นอกจากนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณการเกิดน้ำเสียในอาคารแต่ละแห่งมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำประปาที่ใช้ เพราะปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในอาคารแต่ละแห่งเกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำประปาของอาคาร แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีค่าปริมาณการเกิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากลักษณะกิจกรรมที่แตกต่างกันถึงแม้ในอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ในอาคารแต่ละแห่งมีปริมาณการเกิดน้ำเสียที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ปริมาณการเกิดน้ำเสียจะไม่สอดคล้องกับขนาดพื้นใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

ด้านการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก

การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงานพบว่าอาคารทั้ง 4 แห่ง ไม่มีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในช่วงที่เก็บข้อมูลเลย ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษาพบว่ามีอาคาร 2 ใน 5 แห่งที่มีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีปริมาณการรั่วไหลอยู่ในช่วง 25- 123 tonCO_2eq/yr โดยปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกสามารถเกิดได้ทั้งจากความตั้งใจ เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน การใช้สารเคมี และสามารถเกิดได้จากเหตุสุดวิสัย หรือ เช่น การชำรุดของอุปกรณ์ ที่ขาดการบำรุงรักษาหรือที่มีการใช้งานนานเกิดไป ซึ่งข้อมูลการรั่วไหลที่เก็บรวบรวมได้มานั้นอาจเป็นข้อมูลแค่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของข้อมูลการรั่วไหลในอาคารแต่ละแห่งได้ ถึงแม้ว่าจะเป็นอาคารประเภทเดียวกันก็ตาม

ดังนั้นจากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมในอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ถึง 4-4 สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่าข้อมูลผลการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมแต่ละด้านสามารถสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องโดยตรงกับทั้งข้อมูลด้านขนาดพื้นที่ หรือจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละแห่งก็ได้ เนื่องจากข้อมูลทั้งในด้านขนาดพื้นที่ และจำนวนผู้ใช้งาน จะไม่สามารถระบุได้อย่างแน่นอนว่ามีค่าในลักษณะที่แปรผันโดยตรงกับผลการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรม เพราะการใช้พลังงานในกิจกรรมต่างๆ ของอาคารแต่ละแห่งจะมีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องระบบการบริหารจัดการ รวมไปถึงชนิด ปริมาณ และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานในอาคารแต่ละแห่ง

จากการเก็บรวบรวบข้อมูลกิจกรรมในอาคารตัวแทนแต่ละประเภทโดยแบ่งกลุ่มตามช่วงเวลาการใช้งาน ซึ่งมีจำนวนอาคารตัวแทนแต่ละประเภทดังนี้ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ช่วงเวลาใช้งาน 9 ชั่วโมง (08:00-17:00 น.) ประกอบด้วย

อาคารสำนักงาน	จำนวน	4	แห่ง
อาคารสถานศึกษา	จำนวน	5	แห่ง

กลุ่มที่ 2 ช่วงเวลาใช้งาน 12 ชั่วโมง (10:00–22.00 น.) ประกอบด้วย

อาคารซุปเปอรมารเก็ต	จำนวน	3	แห่ง
อาคารศูนยการค้า	จำนวน	3	แห่ง

กลุ่มที่ 3 ช่วงเวลาใช้งาน 24 ชั่วโมง ประกอบด้วย

โรงแรม	จำนวน	3	แห่ง
โรงพยาบาล	จำนวน	3	แห่ง

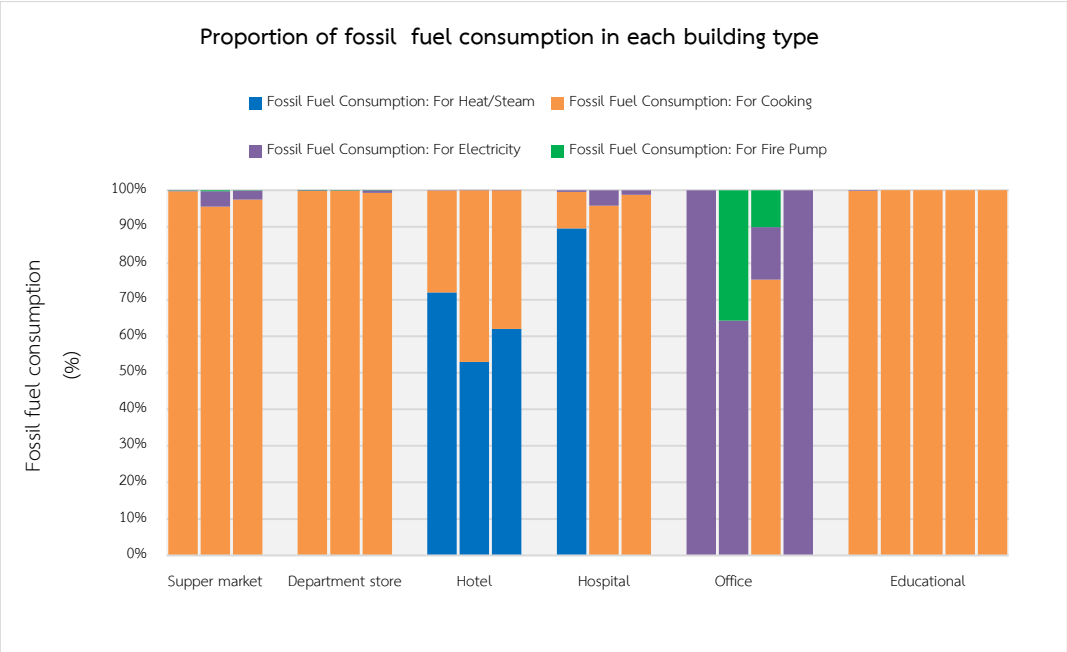
การประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร ได้ดำเนินการประเมินจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละด้าน ทั้ง 7 ตัวชี้วัด จากอาคารตัวแทน 6 ประเภทรวมจำนวน 21 แห่ง โดยมีผลการศึกษาในแต่ละด้านตัวชี้วัด ดังต่อไปนี้

4.2.2 การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

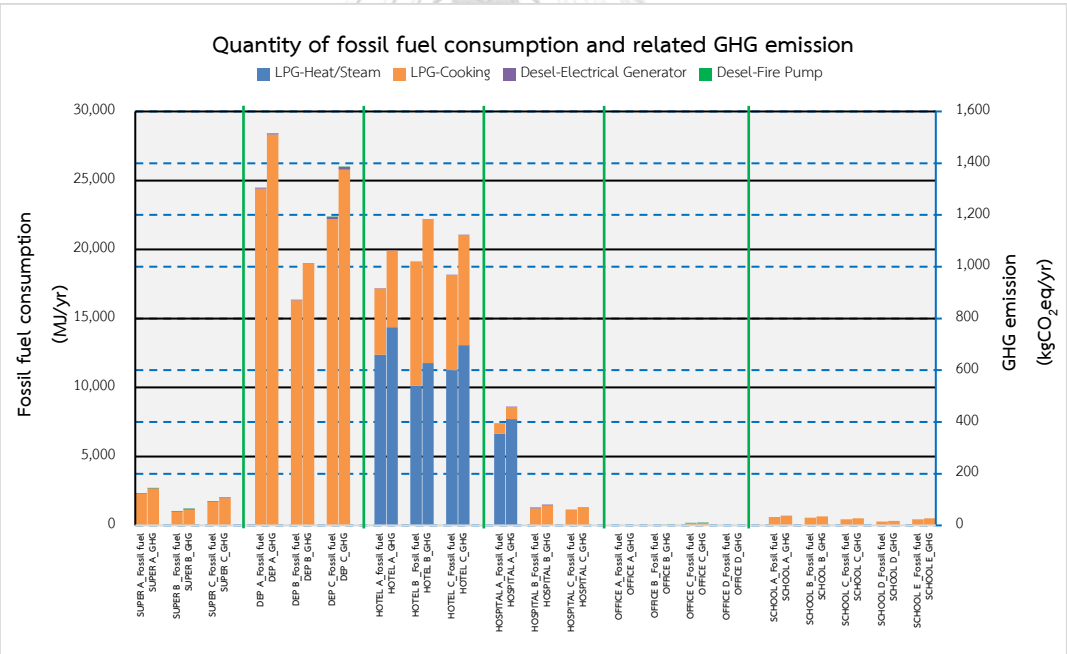
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารแต่ละประเภทเมื่อแบ่งตามกิจกรรมการใช้งานสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 4 ระบบ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงในระบบการผลิตความร้อน/ไอน้ำ การประกอบอาหาร การผลิตไฟฟ้าฉุกเฉิน และระบบการปั๊มน้ำดับเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4-1 ที่แสดงสัดส่วนปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในแต่ละกิจกรรมมของอาคารแต่ละประเภท

จากการเก็บรวบรวบข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลพบว่า อาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ต ศูนย์การค้า และอาคารสถานศึกษา มีกิจกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุดคือ การประกอบอาหาร โดยมีการใช้เพลิงฟอสซิลสูงถึงประมาณร้อยละ 90 เนื่องจากในอาคารประเภทนี้ไม่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตความร้อน/ไอน้ำ และจากรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าอาคารประเภทสำนักงานจำนวน 3 ใน 4 อาคาร ไม่มีการใช้เชื้อเพลิงจากการประกอบอาหาร เนื่องจากในอาคารประเภทนี้มักไม่มีกิจกรรมการประกอบอาหารหรือ ศูนย์อาหารในตัวอาคาร แต่การใช้เชื้อเพลิงในอาคารประเภทนี้จะมาจากกิจกรรมการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉินเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ในกลุ่มอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลนอกจากจะมาจากกิจกรรมการประกอบอาหารแล้วยังพบว่ามีการใช้สำหรับระบบการผลิตความร้อน/ไอน้ำร่วมด้วย เนื่องจากในอาคารประเภทนี้มีความต้องการใช้พลังงานความร้อน/ไอน้ำ สำหรับการทำน้ำร้อน การซักรีด และการทำความสะอาดอุปกรณ์ ยกเว้นในอาคารโรงพยาบาลบางอาคาร (HOSPITAL B และ HOSPITAL C) ที่มีการยกเลิกการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในระบบผลิตความความร้อน/ไอน้ำ จึงทำให้การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการประกอบอาหารเป็นหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-37 สัดส่วนปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในแต่ละกิจรรมของอาคารแต่ละประเภท



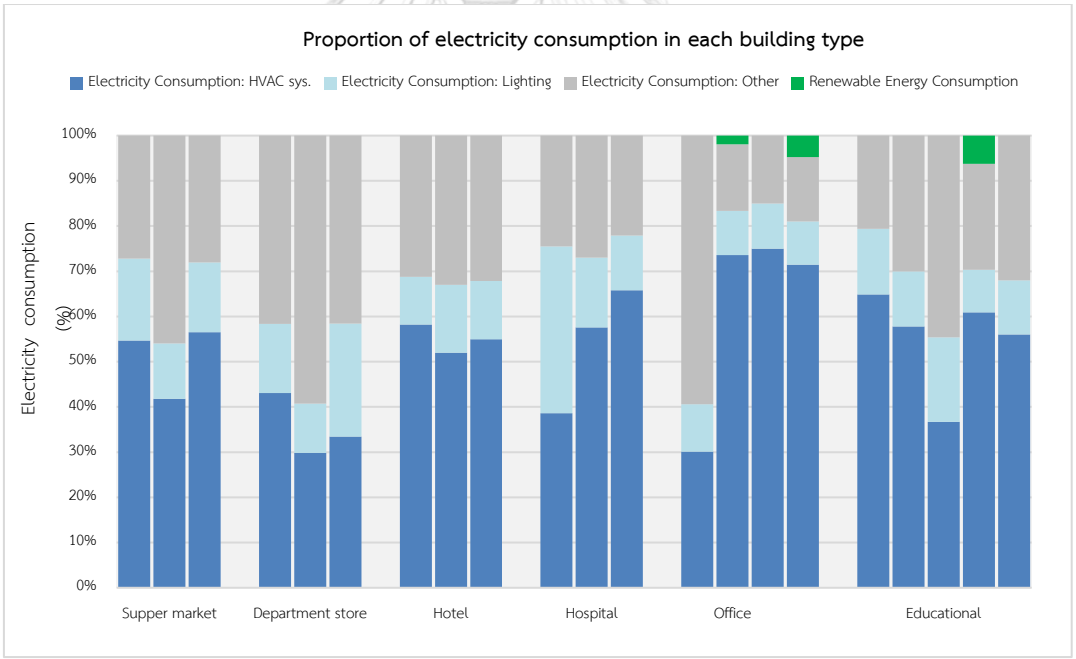
รูปที่ 0-38 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดแบ่งตามกิจกรรมการใช้งาน

จากรูปที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่า อาคารประเภทศูนย์การค้า และโรงแรม มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ โดยอาคารศูนย์การค้ามีค่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลอยู่ในช่วง 16,500-24,500 กิกะจูลต่อปี (GJ/yr) คิดเป็น

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 1,000-1,500 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($tonCO_2eq/yr$) โดยกิจกรรมการใช้งานส่วนใหญ่มาจากการประกอบอาหาร เป็นหลัก ส่วนอาคารประเภทโรงแรม มีค่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลอยู่ในช่วง 17,200-19,200 GJ/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 1,100-1,200 $tonCO_2eq/yr$ ซึ่งกิจกรรมการใช้งานส่วนใหญ่มาจากการผลิตความร้อน/ไอน้ำ และประกอบอาหารเป็นหลัก รองลงมาเป็นอาคารประซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงพยาบาล และสถานศึกษา ตามลำดับ ส่วนอาคารสำนักงานมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ

4.2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

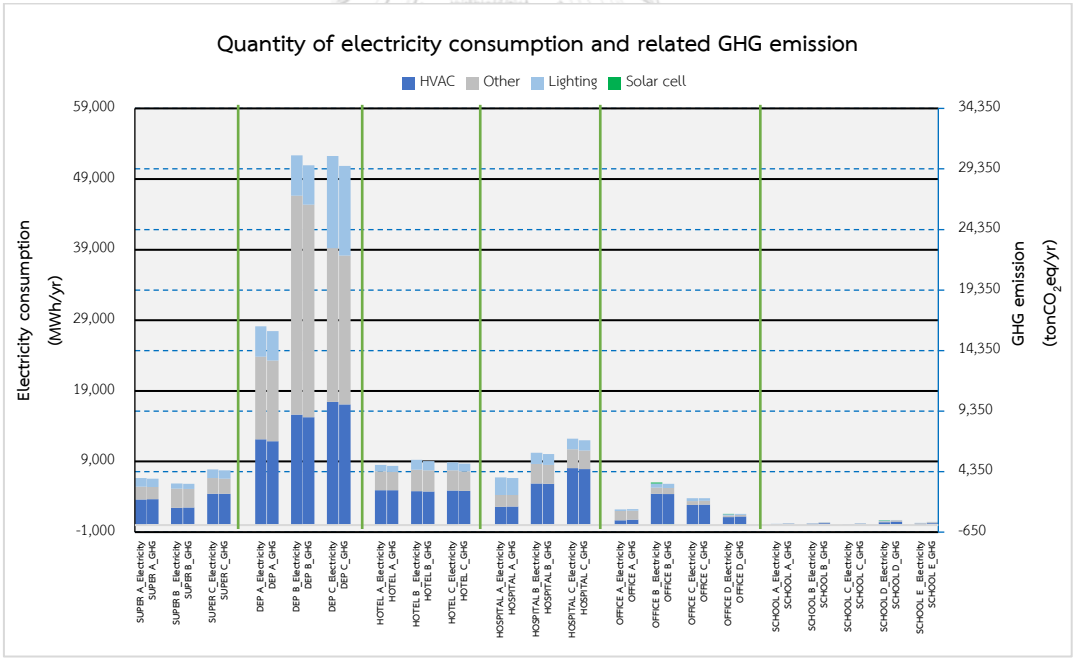
การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทสามารถแบ่งตามกิจกรรมการใช้งานได้ 4 ระบบ ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบอื่นๆ และการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (พลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar cell) .ในอาคารบางประเภท



รูปที่ 0-39 สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภท

จากการเก็บรวบรวบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-3 พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนที่ค่อนมากในทุกประเภทอาคารซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 30-75 และร้อยละ 15-60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างและการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก

พลังงานทดแทนในอาคารบางประเภทที่คิดเป็นประมาณร้อยละ 10-30 และร้อยละ 2-5 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ตามลำดับ โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ของอาคารแต่ละประเภทจะมาจากกิจกรรมที่แตกต่างกันออกไป สำหรับในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆจะมาจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้เช่าเป็นหลักทั้งผู้เช่าประจำและชั่วคราว นอกจากนี้ยังรวมถึงการใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบตู้แช่ ระบบลิฟท์-บันไดเลื่อน และระบบปั๊มน้ำในอาคาร ส่วนในอาคารประเภทโรงแรมจะมาจากกิจกรรม เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบตู้แช่ และระบบปั๊มน้ำในอาคาร เป็นต้น และอาคารประเภทโรงพยาบาลจะมาจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ในแต่ละโรงพยาบาลเป็นหลัก รวมถึงการใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบลิฟท์-บันไดเลื่อนและปั๊มน้ำในอาคารด้วยเช่นกัน ส่วนในอาคารสำนักงานจะมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในสำนักงาน ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบลิฟท์-บันไดเลื่อน และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ สำหรับในอาคารสถานศึกษาจะมาจากการใช้ในระบบลิฟท์ ปั๊มน้ำ อุปกรณ์การเรียนการสอนและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่งทำให้เป็นการยากสำหรับการระบุกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆของอาคารแต่ละประเภทที่แน่นอนได้



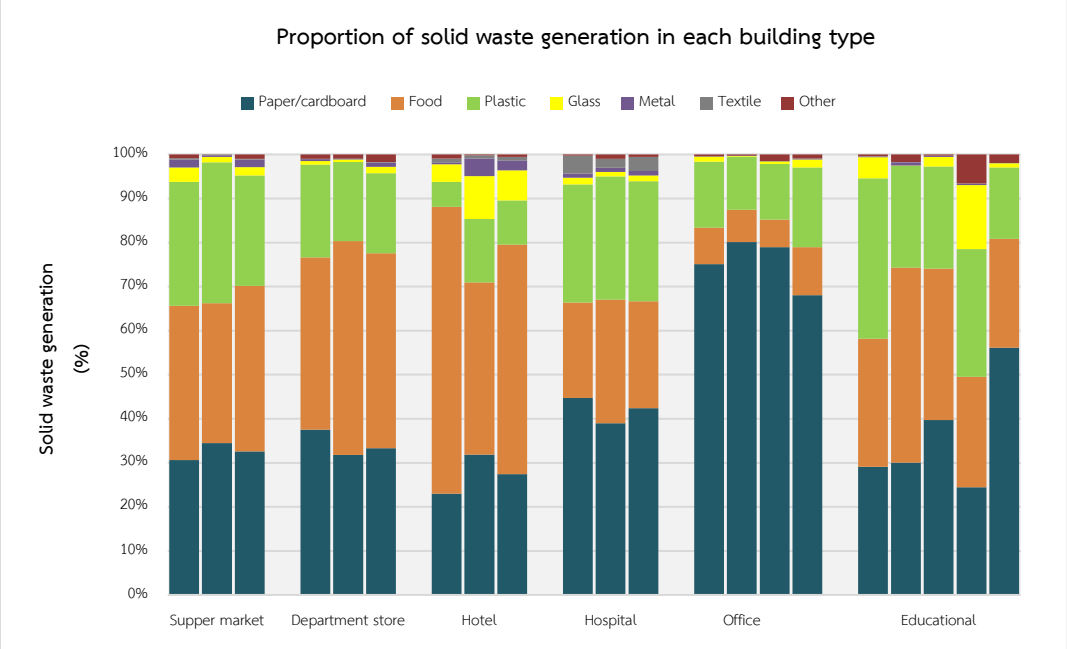
รูปที่ 0-40 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดแบ่งตามระบบของอาคารแต่ละประเภท

จากรูปที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่า อาคารประเภทศูนย์การค้า มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ โดยอาคารศูนย์การค้ามีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 28,000-52,000 เมกะวัตต์ต่อปี (MWh/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกอยู่ในช่วง 16,000-30,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($tonCO_2eq/yr$) โดยกิจกรรมการใช้งานส่วนใหญ่มาจากระบบอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และระบบปรับอากาศ รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 6,700-12,000 MWh/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 3,800-6,900 $tonCO_2eq/yr$ ซึ่งกิจกรรมการใช้งานส่วนใหญ่มาจากระบบปรับอากาศ และระบบอื่นๆ ตามด้วยอาคารประเภทโรงแรม ซุปเปอร์มาร์เก็ต และอาคารสำนักงาน ตามลำดับ สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ

4.2.4 การเกิดขยะมูลฝอย และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

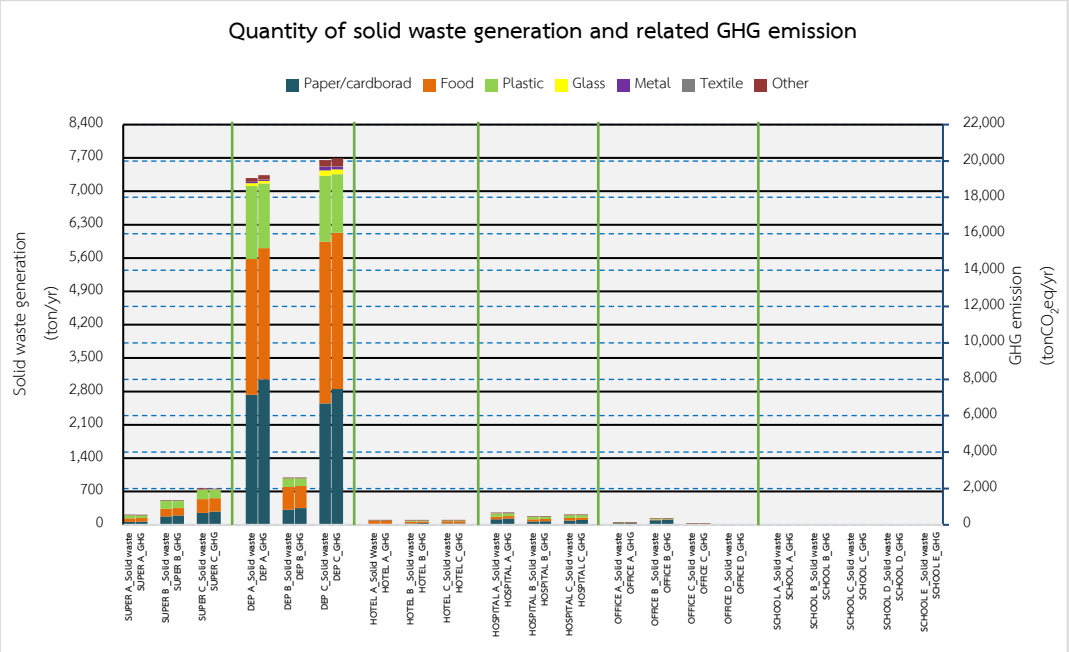
จากการเก็บรวบรวบข้อมูลการเกิดขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละประเภท สามารถแบ่งหรือคัดแยกตามองค์ประกอบของขยะได้ 7 ประเภท ได้แก่ กระดาษ เศษอาหาร พลาสติก แก้ว โลหะ เศษผ้า และอื่นๆ



รูปที่ 0-41 สัดส่วนการเกิดขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละประเภท

ดังรูปที่ 4-5 พบว่า สัดส่วนขยะมูลฝอยประเภทกระดาษ และเศษอาหาร มีสัดส่วนที่ค่อนมากในเกือบทุกประเภทอาคาร โดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 25-80 และร้อยละ 20-60 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด ตามลำดับ ยกเว้นอาคารประเภทสำนักงานที่มีสัดส่วนขยะประเภทกระดาษเป็นหลัก แต่สัดส่วนขยะประเภทเศษอาหารในสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ เนื่องจากอาคาร

ประเภทสำนักงานส่วนใหญ่มักจะไม่มีกิจกรรมการประกอบอาหารเหมือนกับอาคารประเภทอื่นๆ รองลงมาเป็นขยะประเภทพลาสติกซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 10-35 ของขยะมูลฝอยทั้งหมดและขยะประเภทแก้วอีกประมาณร้อยละ 2-10 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด นอกจากนั้นก็จะเป็นขยะประเภทอื่นที่เหลือในสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำ



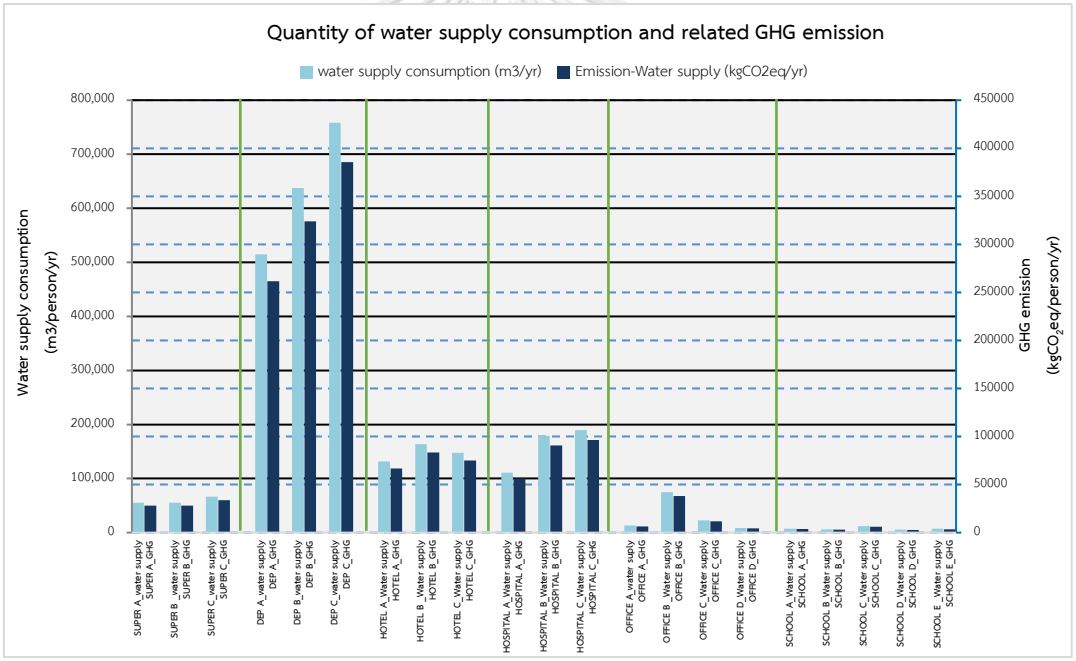
รูปที่ 0-42 ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามประเภทขยะมูลฝอยของอาคารแต่ละประเภท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่า อาคารประเภทศูนย์การค้า มีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ โดยจะสังเกตุเห็นได้ว่าอาคารศูนย์การค้าสองแห่ง (DEPARTMENT A และ C) มีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยที่สูงมาก เนื่องจากอาคารสองแหล่งนี้เป็นอาคารขนาดใหญ่ มีกิจกรรมการใช้งานที่หลากหลาย ประกอบกับสถานที่ตั้งของอาคารอยู่ในใจกลางเมืองส่งผลให้มีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลการศึกษาพบว่าอาคารประเภทศูนย์การค้ามีค่าปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยอยู่ในช่วง 990-7600 ตันต่อปี (ton/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 2,600-20,000 $tonCO_2eq/yr$ โดยประเภทขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ เศษอาหาร กระดาษ และพลาสติก รองลงมาเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงพยาบาล โรงแรม สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับ

4.2.5 การใช้น้ำประปา และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำประปาของอาคารตัวแทนแต่ละประเภทในช่วงระยะเวลา 12 เดือนย้อนหลัง พบว่าอาคารประเภทศูนย์ค้ามีปริมาณการใช้น้ำประปามากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 500,000-750,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี (m^3/yr) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 260-380 tonCO_2eq/yr เนื่องจากอาคารศูนย์การค้าเป็นอาคารขนาดใหญ่ และมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก โดยการใช้น้ำประปาจะมาจากหลายกิจกรรม เช่น การใช้ในห้องน้ำหรือสุขภัณฑ์ และการใช้สำหรับการทำความสะอาด เป็นต้น รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาเก็ต ตามลำดับ ส่วนในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกค่อนข้างมีการใช้น้ำประปาที่น้อย เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ เนื่องจากอาคารสองประเภทนี้มีจำนวนวันใช้งานต่อปีน้อยกว่าอาคารประเภทอื่นๆ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4-7

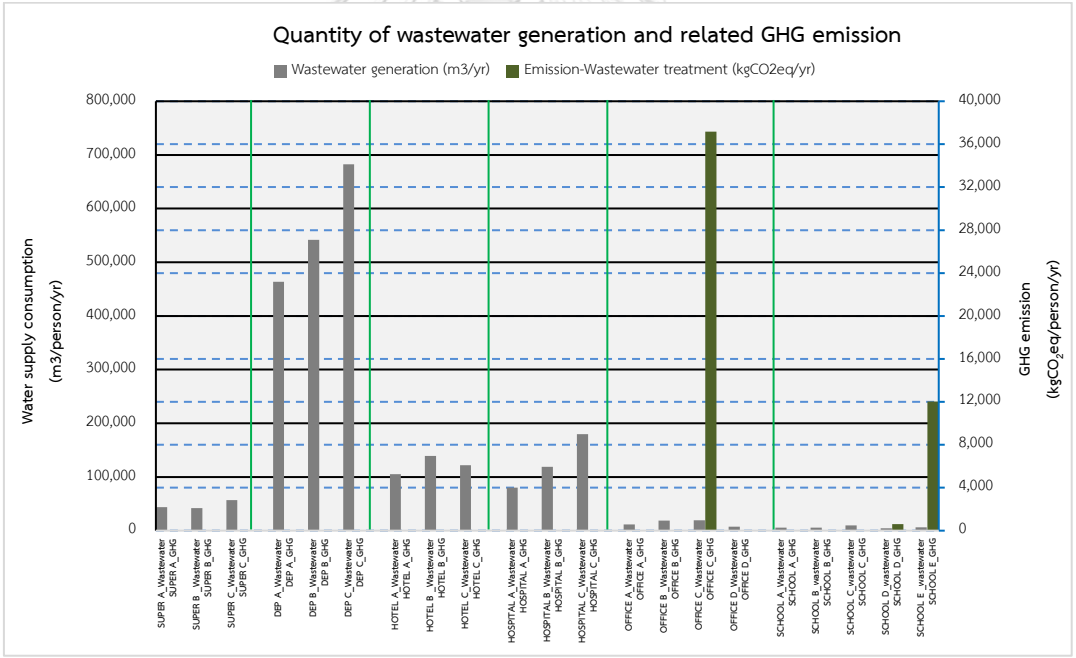


รูปที่ 0-43 ปริมาณการใช้น้ำประปาและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในอาคารแต่ละประเภท

4.2.6 การเกิดน้ำเสีย และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบำบัดน้ำเสียของอาคารตัวแทนแต่ละประเภทในช่วงระยะเวลา 12 เดือนย้อนหลัง ดังแสดงในรูปที่ 4-8 พบว่าอาคารประเภทศูนย์ค้ามีปริมาณการเกิดน้ำเสียมากที่สุด รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาเก็ต ตามลำดับ ส่วนในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกค่อนข้างมีการเกิดน้ำเสียที่น้อย เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนปริมาณการเกิดน้ำเสียต่อการใช้น้ำประปาของอาคารแต่ละประเภทคิดเป็นประมาณ

0.85 โดยเฉลี่ย สำหรับการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการบำบัดน้ำเสีย โดยปกติจะคำนวนจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะในกรณีการบำบัดแบบไร้อากาศ รวมกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสีย แต่การศึกษาในครั้งนี้ได้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียรวมไปกับการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารแต่ละประเภทแล้ว ดังนั้นการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงพิจารณาเฉพาะในอาคารที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและอาคารที่มีการส่งน้ำเสียบำบัดกับทางส่วนกลางเท่านั้น ซึ่งจากการเก็บรวบข้อมูลพบว่ามีอาคาร 3 แห่ง ที่สามารถประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยประกอบด้วย อาคารสำนักงาน 1 แห่ง (OFFICE C) ที่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 36 tonCO_2eq/yr และอาคารสถานศึกษาอีก 2 แห่งที่มีการส่งน้ำเสียบำบัดกับทางส่วนกลาง (SCHOOL D) กับอาคารที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (SCHOOL E) คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 0.6 tonCO_2eq/yr และ 12 tonCO_2eq/yr ตามลำดับ

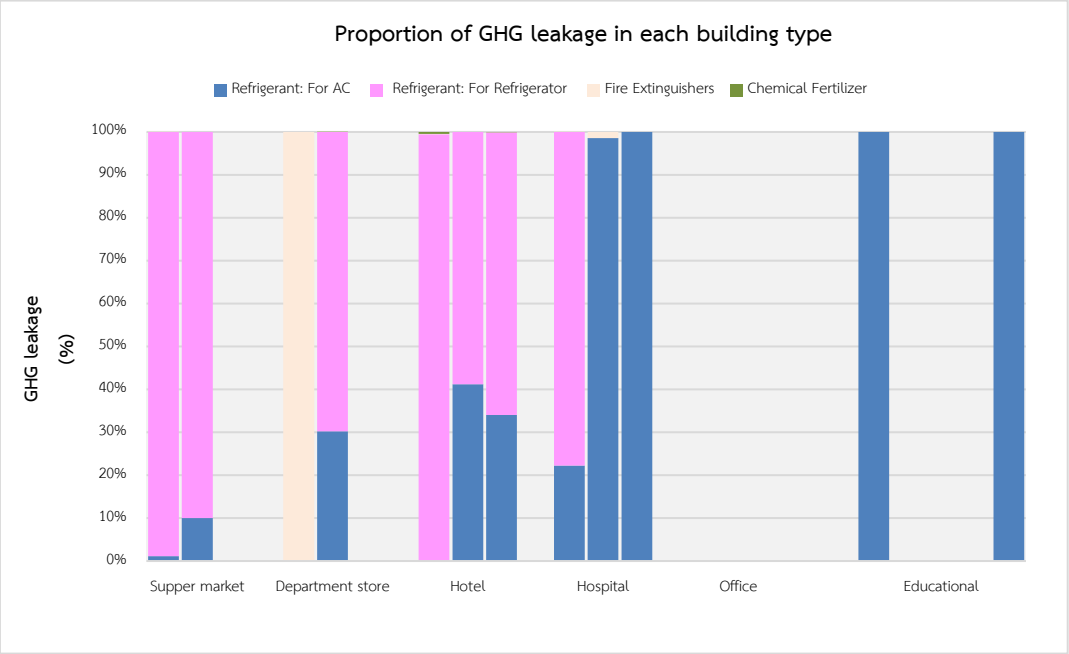


รูปที่ 0-44 ปริมาณการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารคารแต่ละประเภท

4.2.7 การรั่วไหล และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการเก็บรวบข้อมูลการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในช่วงระยะเวลา 12 เดือนย้อนหลัง โดยการพิจารณากิจกรรมที่ก่อให้เกิดการรั่วของก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท พบว่า มีทั้งหมด 4 กิจกรรม ได้แก่ การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ การ

ใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่เย็น การใช้สารดับเพลิง และการใช้ปุ๋ยเคมี ดังรูปที่ 4-9 ซึ่งแสดงสัดส่วนการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

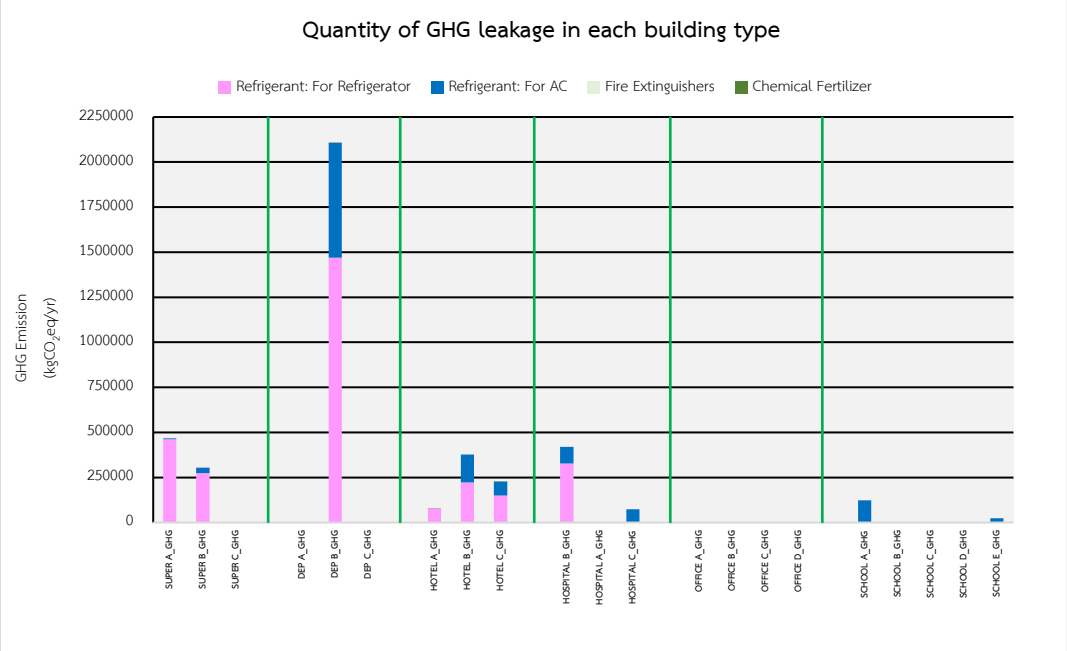


รูปที่ 0-45 สัดส่วนการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

การศึกษาพบว่าการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ จะพบในกลุ่มอาคารทุกประเภท ยกเว้นอาคารสำนักงาน โดยคิดเป็นกิจกรรมที่มีสัดส่วนของการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกโดยประมาณในช่วงร้อยละ 2-10 สำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต ร้อยละ 30 สำหรับอาคารศูนย์การค้า ร้อยละ 35-40 สำหรับอาคารประเภทโรงแรม ร้อยละ 20-100 สำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล และคิดเป็นสัดส่วนของการรั่วไหลทั้งหมด หรือร้อยละ 100 สำหรับประเภทสถานศึกษา สำหรับการรั่วไหลจากกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่เย็น จะพบในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต ศูนย์การค้า โรงแรม และโรงพยาบาล โดยคิดเป็นกิจกรรมที่มีสัดส่วนของการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกโดยประมาณในช่วงร้อยละ 98-90 สำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต ร้อยละ 70 สำหรับอาคารศูนย์การค้า ร้อยละ 60-99 สำหรับอาคารประเภทโรงแรม และร้อยละ 80 สำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล และสำหรับการรั่วไหลจากกิจกรรมการใช้สารดับเพลิง จะพบในอาคารบางแห่งในกลุ่มอาคารประเภทศูนย์การค้า โรงแรม และโรงพยาบาล ส่วนการรั่วไหลจากกิจกรรมการใช้สารเคมีจะพบในสัดส่วนที่น้อยมากในอาคารประเภทโรงแรม และศูนย์การค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-10 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการรั่วไหลของอาคารแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า อาคารศูนย์การค้า มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการรั่วไหลมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่มากจากกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ และในระบบปรับอากาศ ตามลำดับ โดยเนื่องจากในช่วงเวลาการเก็บข้อมูลอาคารศูนย์ค้าบางแห่ง (DEPARTMENT B) มีการซ่อมบำรุงระบบตู้แช่ใหม่ทั้งระบบ ทำให้มีการเติมสารทำความเย็นเข้าไประบบใหม่ และสารทำความเย็นที่ใช้ยังเป็นชนิดที่มีค่า GWP สูงอยู่ รองลงมาเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงพยาบาล และโรงแรม ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่ก็มาจากการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ เช่นกัน และสำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาบางแห่งจะมีการรั่วไหลจากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศเท่านั้น ส่วนในอาคารประเภทสำนักงานพบว่าในช่วงการเก็บข้อมูลไม่พบว่ามีการรั่วไหลจากกิจกรรมใดๆเลย

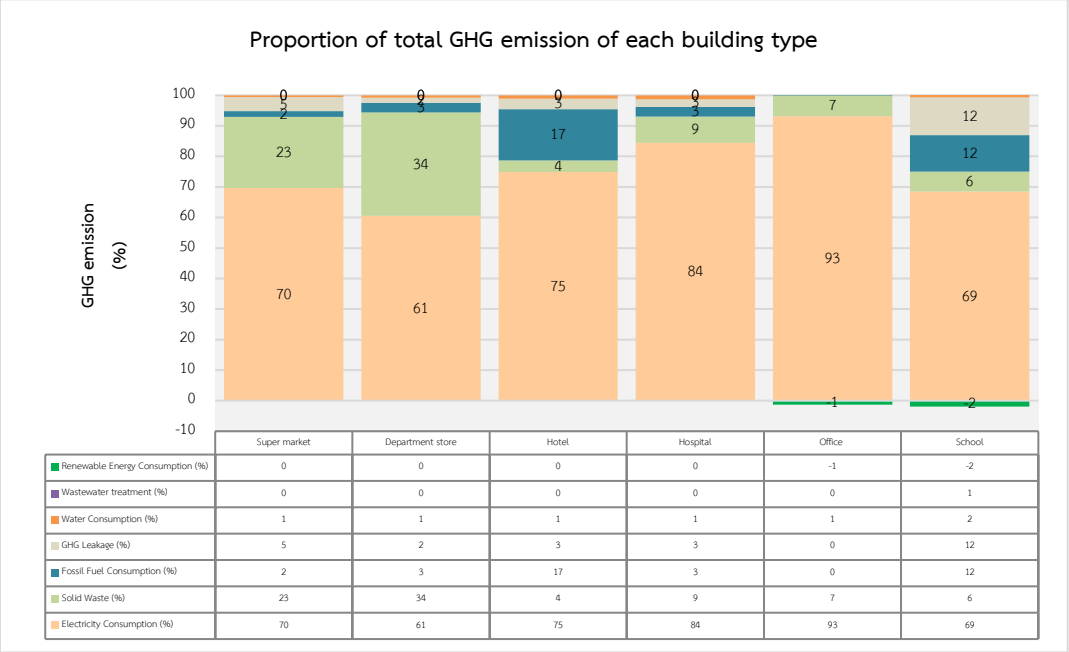


รูปที่ 0-46 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการรั่วไหลของอาคารแต่ละประเภท

4.2.8 ภาพรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท

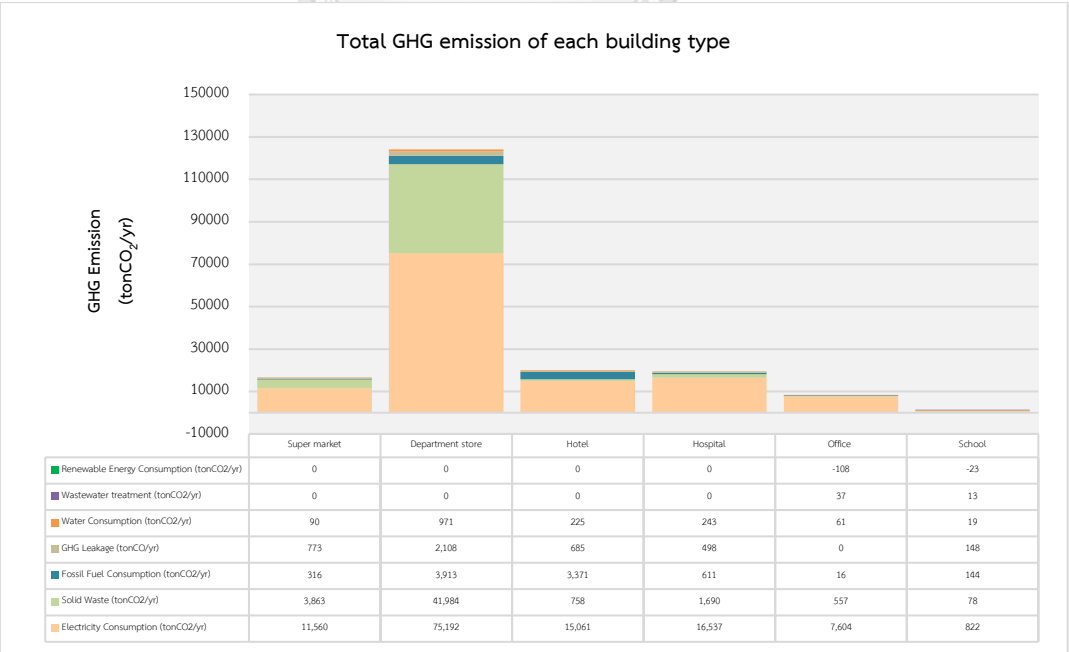
รูปที่ 4-11 แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของอาคารตัวแทนแต่ละประเภท จากการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าการใช้พลังไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทเป็นสัดส่วนที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาเป็นกิจกรรมด้านการจัดการขยะมูลฝอย และการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ยกเว้นอาคารประเภทโรงแรมที่มีสัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าจากการจัดการขยะมูลฝอย แต่รองจากกิจกรรม

การใช้พลังงานไฟฟ้า โดยประเภทอาคารที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ อาคารประเภทศูนย์การค้า รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาร์เก็ต สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-12



	Super market	Department store	Hotel	Hospital	Office	School
Renewable Energy Consumption (%)	0	0	0	0	-1	-2
Wastewater treatment (%)	0	0	0	0	0	1
Water Consumption (%)	1	1	1	1	1	2
GHG Leakage (%)	5	2	3	3	0	12
Fossil Fuel Consumption (%)	2	3	17	3	0	12
Solid Waste (%)	23	34	4	9	7	6
Electricity Consumption (%)	70	61	75	84	93	69

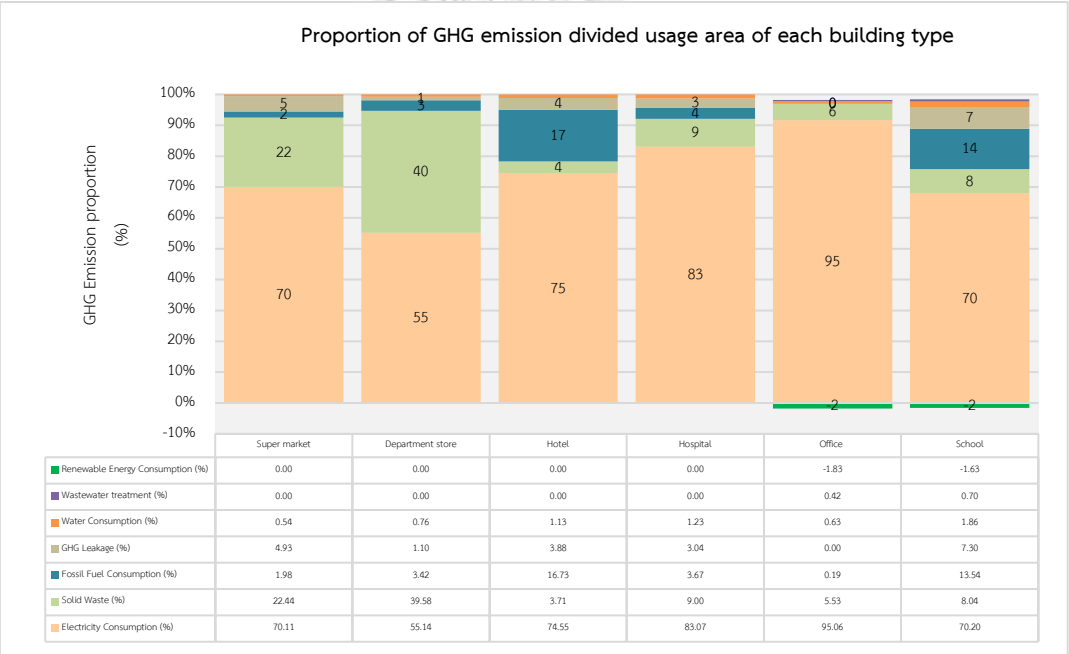
รูปที่ 0-47 สัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท



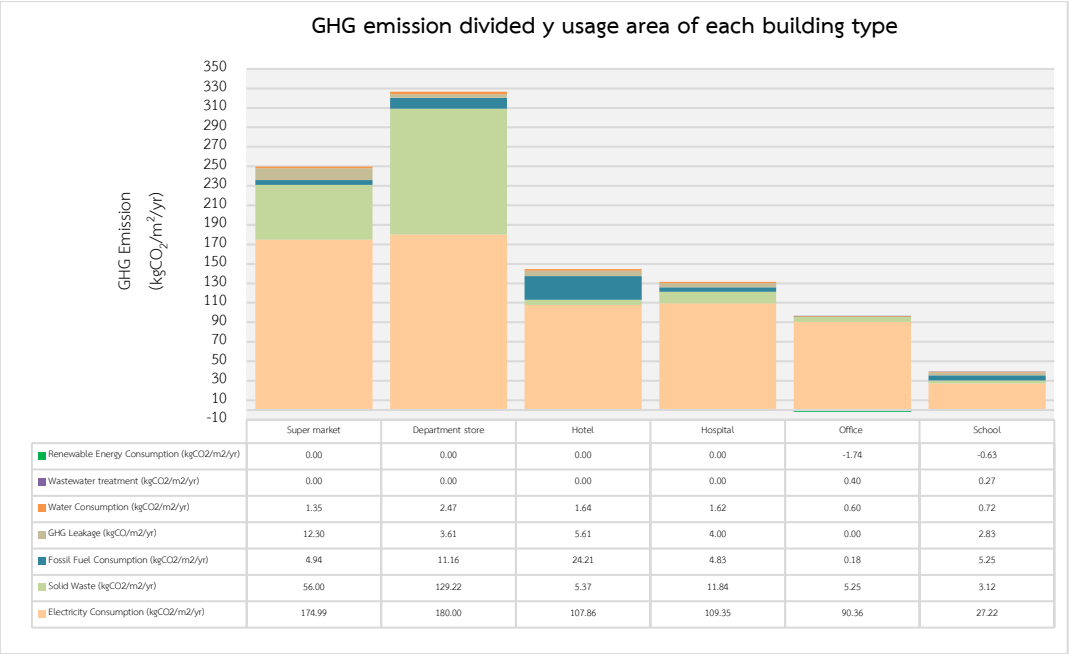
	Super market	Department store	Hotel	Hospital	Office	School
Renewable Energy Consumption (tonCO2/yr)	0	0	0	0	-108	-23
Wastewater treatment (tonCO2/yr)	0	0	0	0	37	13
Water Consumption (tonCO2/yr)	90	971	225	243	61	19
GHG Leakage (tonCO/yr)	773	2,108	685	498	0	148
Fossil Fuel Consumption (tonCO2/yr)	316	3,913	3,371	611	16	144
Solid Waste (tonCO2/yr)	3,863	41,984	758	1,690	557	78
Electricity Consumption (tonCO2/yr)	11,560	75,192	15,061	16,537	7,604	822

รูปที่ 0-48 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

ส่วนในรูปที่ 4-13 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมต่อพื้นที่ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่ากิจกรรมการใช้พลังไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทยังเป็นสัดส่วนที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาเป็นกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอยและการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ยกเว้นอาคารประเภทโรงแรมที่กิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นสัดส่วนที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งาน มากกว่าจากกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอย แต่รองจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า และเช่นเดียวกันว่าเมื่อคำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งาน อาคารศูนย์การค้ายังเป็นประเภทอาคารที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ส่วนอันดับรองลงมาจะเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-14



รูปที่ 0-49 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมต่อพื้นที่ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท



	Super market	Department store	Hotel	Hospital	Office	School
Renewable Energy Consumption (kgCO2/m2/yr)	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.74	-0.63
Wastewater treatment (kgCO2/m2/yr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.27
Water Consumption (kgCO2/m2/yr)	1.35	2.47	1.64	1.62	0.60	0.72
GHG Leakage (kgCO/m2/yr)	12.30	3.61	5.61	4.00	0.00	2.83
Fossil Fuel Consumption (kgCO2/m2/yr)	4.94	11.16	24.21	4.83	0.18	5.25
Solid Waste (kgCO2/m2/yr)	56.00	129.22	5.37	11.84	5.25	3.12
Electricity Consumption (kgCO2/m2/yr)	174.99	180.00	107.86	109.35	90.36	27.22

รูปที่ 0-50 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมต่อพื้นที่ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท

4.2.9 แนวโน้มการใช้พลังงานในด้านต่างๆตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

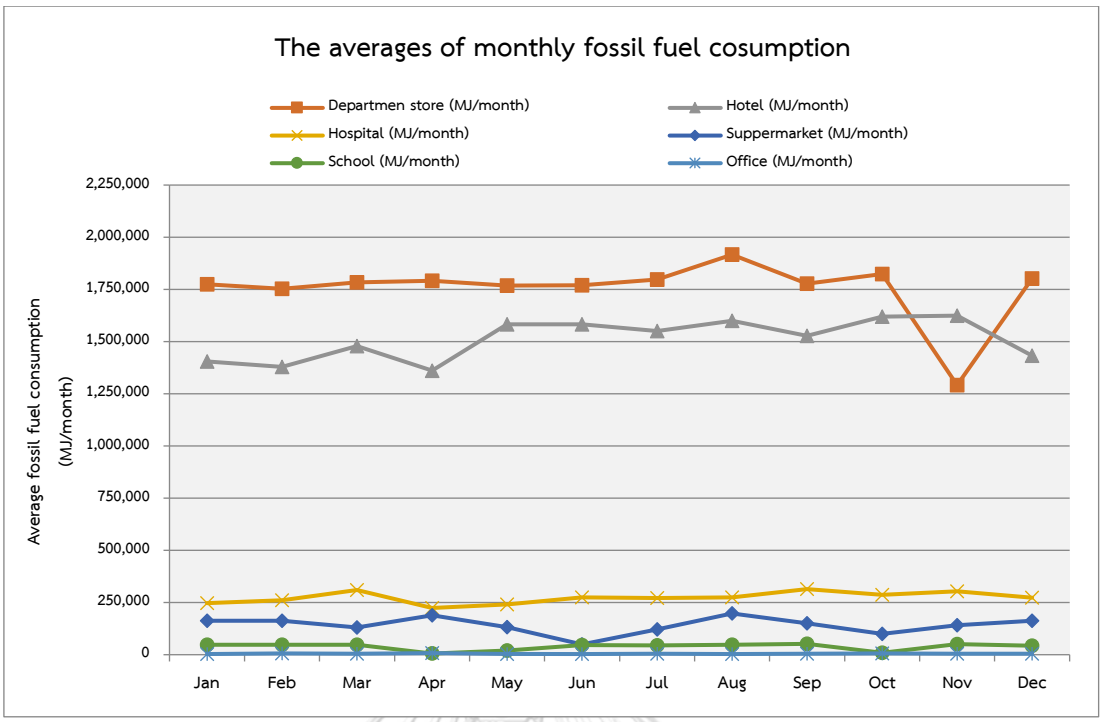
จากการประเมินค่าการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายปีในแต่ละด้านแล้ว เพื่อให้สามารถมองเห็นแนวโน้ม และช่วงของการใช้พลังงานในแต่ละด้าน ซึ่งประกอบด้วย 4 กิจกรรมหลักได้แก่ การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้น้ำประปา และการเกิดน้ำเสีย

4.2.9.1 แนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

ดังแสดงในรูปที่ 4-15 สามารถอธิบายแนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารแต่ละประเภท โดยเรียงจากประเภทอาคารที่การใช้มากที่สุดไปหาประเภทอาคารที่การใช้ต่ำที่สุด ได้ดังนี้

<u>อาคารประเภทศูนย์การค้า</u> มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงต้นปีจนถึงกลางปี หรือในช่วง เดือนมกราคม ถึง กรกฎาคม จากนั้นจะมีค่าการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในเดือน สิงหาคม และจะกลับมามีค่าต่ำที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน

<u>อาคารประเภทโรงแรม</u> มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ต่ำในช่วงต้นปี โดยมีค่าต่ำที่สุดในช่วงเดือน เมษายน จากนั้นจะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างคงที่ในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงช่วงปลายปีในเดือนพฤศจิกายน และจะมีค่าต่ำลงอีกครั้งในเดือนธันวาคม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าในเดือนเมษายน และธันวาคม เป็นเดือนที่มีวันหยุดยาวค่อนข้างมาก จึงส่งผลในผู้ใช้บริการและนักท่องเที่ยวเดินทางออกไปในต่างจังหวัดมากกว่าที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 0-51 แนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

อาคารประเภทโรงพยาบาล มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สูงที่สุดในเดือนมีนาคม จากนั้นจะกลับมามีค่าค่อนคงที่ไปตลอดในช่วงกลางปี และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเดือนกันยายนจนถึงปลายปี

อาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สูงที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม รองลงมาคือเดือน เมษายน และมีการใช้ต่ำที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน

อาคารประเภทสถาศึกษา มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี ยกเว้นในช่วงเดือนเมษายน พฤษภาคม และตุลาคมจะมีค่าการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดต่ำลง เนื่องจากจะเป็นช่วงการปิดภาคเรียนของอาคารประเภทสถานศึกษา

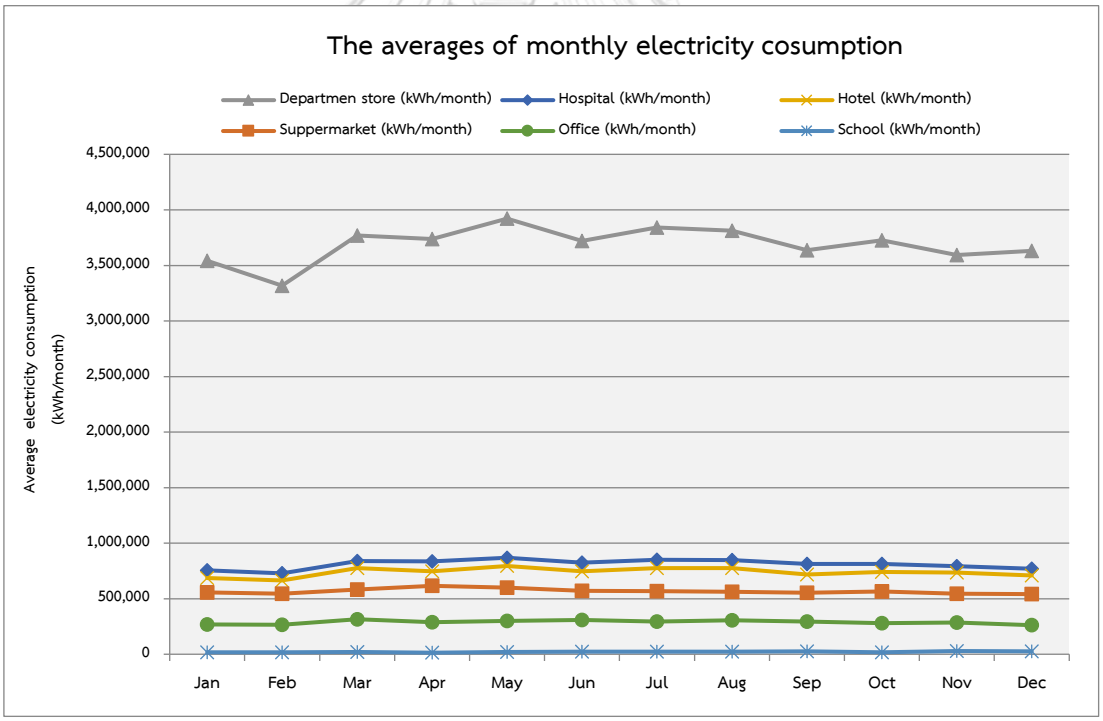
อาคารประเภทสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ค่อนข้างต่ำ และคงที่ตลอดทั้งปี เนื่องจากอาคารประเภทนี้มีกิจกรรมการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่น้อยมาก ซึ่งในอาคารประเภทสำนักงานส่วนใหญ่การใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากจากกิจกรรมการทดสอบการเดินระบบผลิตไฟฟ้าสำรอง และปั๊มน้ำดับเพลิง เท่านั้น

4.2.9.2 แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

ดังแสดงในรูปที่ 4-16 สามารถอธิบายแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภท โดยเรียงจากประเภทอาคารที่การใช้มากที่สุดไปหาประเภทอาคารที่การใช้ต่ำที่สุด ได้ดังนี้

อาคารประเภทศูนย์การค้า มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำในช่วงต้นปี จากนั้นจะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม จนถึง กันยายน และจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ ในช่วงปลายปี โดยค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดจะอยู่ในช่วงเดือน พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน และจะมีค่าต่ำที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอาจเกี่ยวข้องกับช่วงฤดูกาลในแต่ละปีด้วย

อาคารประเภทโรงพยาบาล มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำในช่วงต้นปี โดยมีค่าต่ำที่สุดในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ จากนั้นจะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างคงที่ในช่วงเดือนมีนาคมไปจนถึงช่วงเดือนสิงหาคม ซึ่งค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือน พฤษภาคม และจะมีค่าค่อยๆต่ำลงอีกครั้งในช่วงปลายปี



รูปที่ 0-52 แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

อาคารประเภทโรงแรม มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำในช่วงต้นปี โดยมีค่าต่ำที่สุดในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ จากนั้นจะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างคงที่ในช่วงเดือนมีนาคมไปจนถึงช่วงเดือน

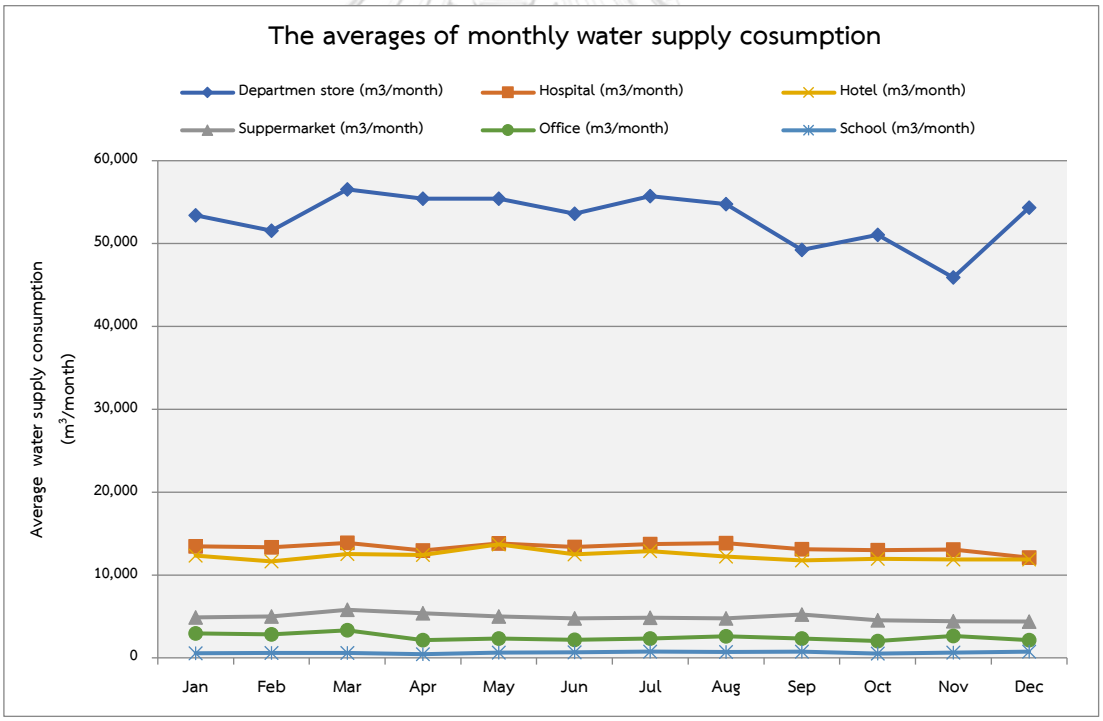
สิงหาคม ซึ่งค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือน พฤษภาคม และจะมีค่าต่ำลงเล็กน้อยในช่วงปลายปี

อาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดอยู่ในเดือน เมษายน รองลงมาเป็นเดือน พฤษภาคม และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน ธันวาคม ตามลำดับ

อาคารประเภทสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดอยู่ในเดือน มีนาคม และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน ธันวาคม

อาคารประเภทสถานศึกษา มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปีเช่นกัน แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงกลางปี โดยค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดอยู่ในเดือน พฤศจิกายน และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน เมษายน เนื่องจากจะเป็นช่วงปิดภาคเรียนของอาคารประเภทสถานศึกษา

4.2.9.3 แนวโน้มการใช้น้ำประปาตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท



รูปที่ 0-53 แนวโน้มการใช้น้ำประปาโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

ดังแสดงในรูปที่ 4-17 สามารถอธิบายแนวโน้มการใช้น้ำประปาในอาคารแต่ละประเภท โดยเรียงจากประเภทอาคารที่การใช้มากที่สุดไปหาประเภทอาคารที่การใช้ต่ำที่สุด ได้ดังนี้

อาคารประเภทศูนย์การค้า มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำประปาที่ค่อนข้างต่ำในช่วงต้นปี จากนั้นจะมีค่าการใช้น้ำประปาเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม จนถึง สิงหาคม และจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆในช่วงปลายปีในเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน โดยค่าการใช้น้ำประปาสูงที่สุดจะอยู่ในเดือนมีนาคม ส่วนค่าต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือนพฤศจิกายน

อาคารประเภทโรงพยาบาล มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำประปาที่ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ช่วงต้นปีจนถึงกลางปีในเดือนสิงหาคม จากนั้นจะมีค่าค่อยลดต่ำลงในช่วงปลายปีในเดือนกันยายนถึงธันวาคม ซึ่งค่าการใช้น้ำประปาที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือน มีนาคม ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือนธันวาคม

อาคารประเภทโรงแรม มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำประปาที่ต่ำในช่วงต้นปี และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ในช่วงเดือน มีนาคม ไปจนถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นจะมีค่าลดต่ำลงในช่วงปลายปี ซึ่งค่าการใช้น้ำประปาที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือน พฤษภาคม ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์

อาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำประปาที่ค่อนข้างคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเดือน มีนาคม ถึง เมษายน และลดลงอีกเล็กน้อยในช่วงปลายปีในเดือนตุลาคมถึงธันวาคม โดยค่าการใช้น้ำประปาที่สูงสุดจะอยู่ในเดือน มีนาคม รองลงมาเป็นเดือน เมษายน ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือน ธันวาคม ตามลำดับ

อาคารประเภทสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำประปาที่ค่อนข้างสูงในช่วงต้นปีในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และจะมีค่าต่ำลงจนถึงช่วงปลายปี โดยค่าการใช้น้ำประปาที่สูงสุดจะอยู่ในเดือน มีนาคม และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน ตุลาคม

อาคารประเภทสถานศึกษา มีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำประปาที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงกลางปีในเดือนมิถุนายนถึงกันยายน โดยค่าการใช้น้ำประปาที่สูงสุดจะอยู่ในเดือน กรกฎาคม และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน เมษายน เนื่องจากจะเป็นช่วงปิดภาคเรียนของอาคารประเภทสถานศึกษา

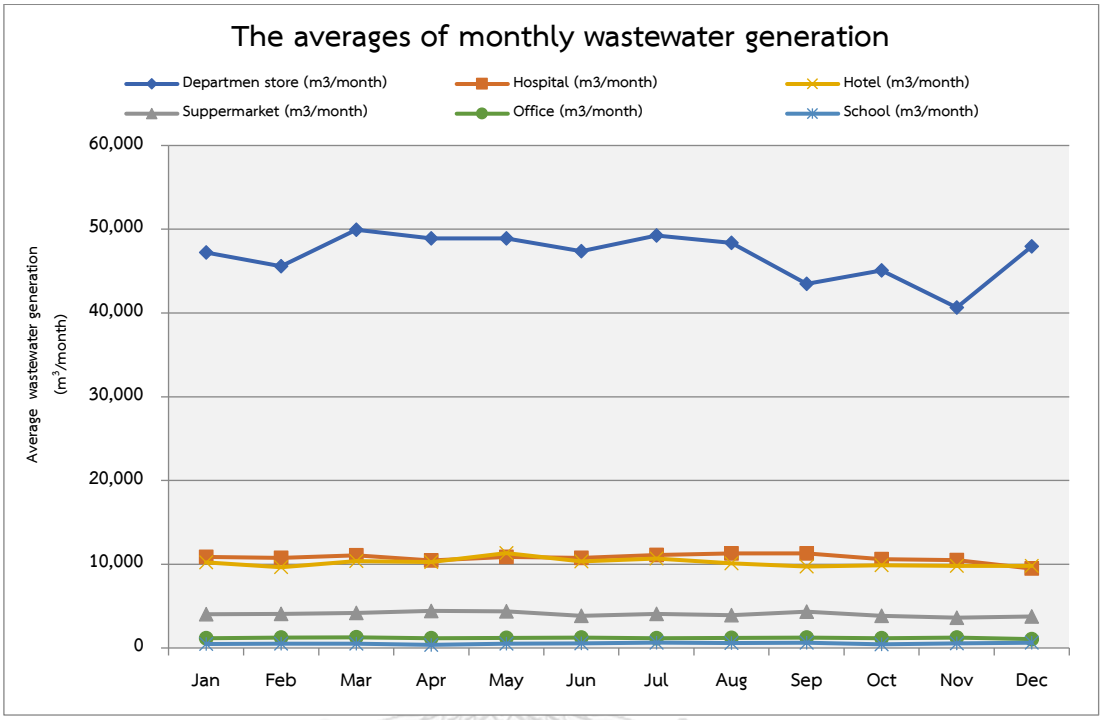
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.9.4 แนวโน้มการเกิดน้ำเสียตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

ดังแสดงในรูปที่ 4-18 สามารถอธิบายแนวโน้มการเกิดน้ำเสียในอาคารแต่ละประเภท โดยเรียงจากประเภทอาคารที่มีปริมาณน้ำเสียมากที่สุดไปหาประเภทอาคารที่มีปริมาณน้ำเสียน้อยที่สุดได้ดังนี้

อาคารประเภทศูนย์การค้า มีค่าเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียที่ค่อนข้างต่ำในช่วงต้นปี จากนั้นจะมีค่าการเกิดน้ำเสียเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม จนถึง สิงหาคม และจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆในช่วงปลายปีในเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน โดยค่าการเกิดน้ำเสียที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือนมีนาคม ส่วนค่าต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือนพฤศจิกายน

อาคารประเภทโรงพยาบาล มีค่าเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียที่ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ช่วงต้นปีจนถึงกลางปีในเดือนสิงหาคม จากนั้นจะมีค่าค่อยลดต่ำลงในช่วงปลายปีในเดือนกันยายนถึงธันวาคม ซึ่งค่าการเกิดน้ำเสียที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือน มีนาคม ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือนธันวาคม



รูปที่ 0-54 แนวโน้มการเกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ยตามช่วงเวลาของอาคารแต่ละประเภท

อาคารประเภทโรงแรม มีค่าเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียที่ต่ำในช่วงต้นปี และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ในช่วงเดือน มีนาคม ไปจนถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นจะมีค่าลดต่ำลงในช่วงปลายปี ซึ่งค่าการเกิดน้ำเสียที่สูงที่สุดจะอยู่ในเดือน พฤษภาคม ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์

อาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต มีค่าเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียที่ค่อนข้างคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเดือน มีนาคม ถึง เมษายน และลดลงอีกเล็กน้อยในช่วงปลายปีในเดือนตุลาคมถึงธันวาคม โดยค่าการเกิดน้ำเสียที่สูงสุดจะอยู่ในเดือน มีนาคม รองลงมาเป็นเดือน เมษายน ส่วนค่าที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในเดือน ธันวาคม ตามลำดับ

อาคารประเภทสำนักงาน มีค่าเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียที่ค่อนข้างสูงในช่วงต้นปีในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และจะมีค่าต่ำลงจนถึงช่วงปลายปี โดยค่าการเกิดน้ำเสียที่สูงสุดจะอยู่ในเดือนมีนาคม และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน ธันวาคม

อาคารประเภทสถานศึกษา มีค่าเฉลี่ยการเกิดน้ำเสียที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงกลางปีในเดือนมิถุนายนถึงกันยายน โดยค่าการเกิดน้ำเสียที่สูงสุดจะอยู่ในเดือน

กรกฎาคม และมีค่าต่ำที่สุดในเดือน เมษายน เนื่องจากจะเป็นช่วงปิดภาคเรียนของอาคารประเภทสถานศึกษา

4.3 ดัชนีการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามกิจกรรม

4.3.1 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

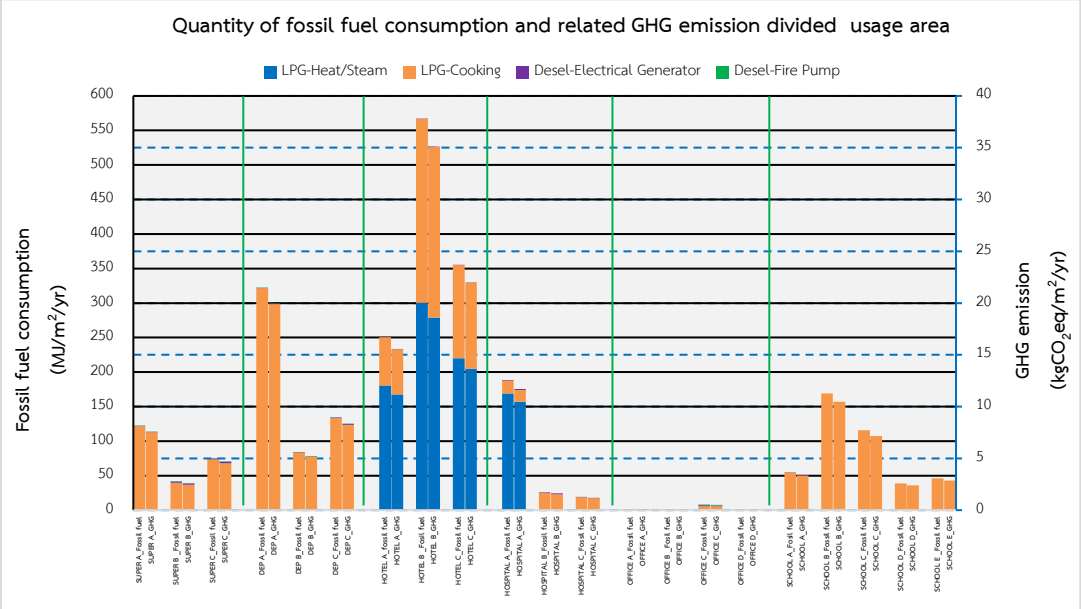
จากการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคาร ในแต่ละด้าน ทั้ง 7 ตัวชี้วัด จากอาคารตัวแทนแต่ละประเภท รวมจำนวน 21 แห่งแล้ว เพื่อเป็นการศึกษาค่าดัชนีที่เหมาะสมในแต่ละตัวชี้วัดสำหรับอาคารแต่ละประเภท จึงได้มีการพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละตัวชี้วัดหรือในแต่ละกิจกรรม เพื่อต้องการให้ค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีความถูกต้องมากที่สุด และสามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอาคารได้ โดยตัวแปรดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) ตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งาน ได้แก่
   - พื้นที่ใช้งานรวม หมายถึง.พื้นที่ใช้งานทั้งหมดไม่รวมพื้นที่จอดรถในหน่วย ตารางเมตร (m^2)
   - พื้นที่ปรับอากาศ หมายถึง พื้นที่ที่มีระบบปรับอากาศทั้งหมดของอาคารในหน่วย AC=m^2
2) ตัวแปรด้านผู้ใช้งานอาคาร ได้แก่
   - จำนวนลูกค้า/ผู้ใช้บริการและพนักงานประจำ (สำหรับอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้าในหน่วย คนต่อปี)
   - จำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ (สำหรับอาคารประเภทโรงแรมในหน่วย ห้อง-วันต่อปี)
   - จำนวนผู้ป่วยใน (สำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาลในหน่วย เตียง-วันต่อปี)
   - จำนวนพนังงานประจำ (สำหรับอาคารประเภทสำนักงานในหน่วย คนต่อปี)
   - จำนวนนักเรียนและบุคลากร (สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาในหน่วย คนต่อปี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.2 ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.3.2.1 ดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม



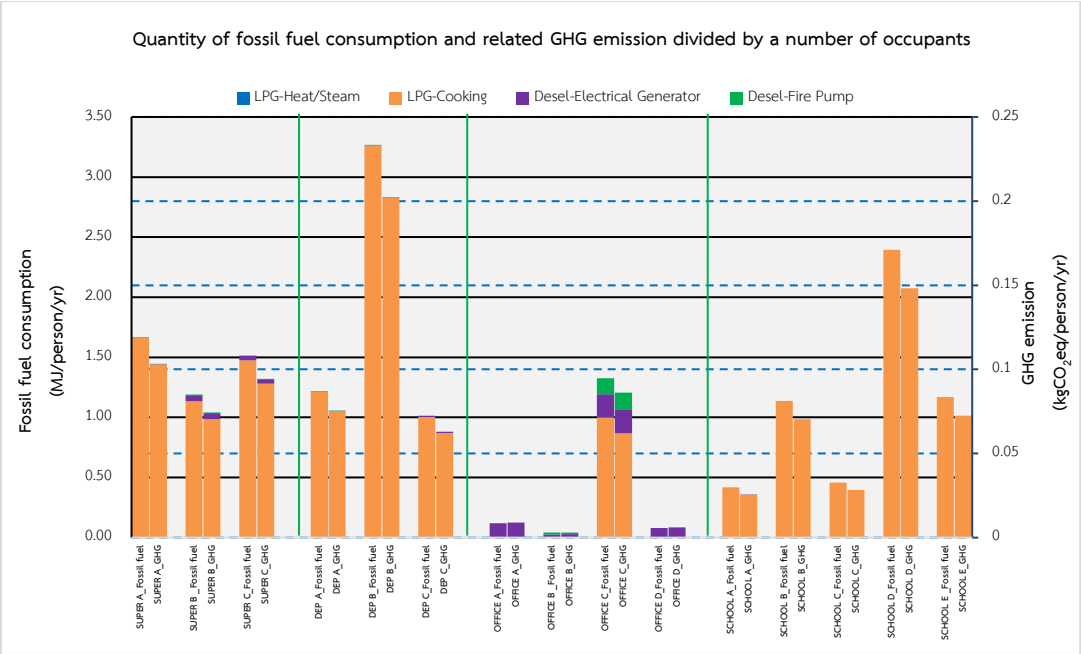
รูปที่ 0-55 ดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม

รูปที่ 4-19 แสดงค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท จากการศึกษาพบว่าอาคารทั้ง 6 ประเภท มีดัชนีการใช้พลังงานที่ต่างกัน ซึ่งแม้แต่อาคารประเภทเดียวกันก็พบว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานก็ยังแตกต่างกันในแต่ละอาคาร เนื่องจากในแต่ละอาคารมีกิจกรรมการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อค่าดัชนีดังกล่าว โดยอาคารประเภทโรงแรมมีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมสูงที่สุดคือมีค่าอยู่ในช่วง 250-560 เมกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2/yr) แบ่งเป็นการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากกิจกรรมการทำความร้อน/ไอน้ำในช่วง 180-300 MJ/m^2/yr และกิจกรรมการประกอบอาหารในช่วง 70-266 MJ/m^2/yr โดยคิดเป็นค่าดัชนีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 16-35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq/m^2/yr$) แบ่งเป็นดัชนีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการทำความร้อน/ไอน้ำในช่วง11-18 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และจากกิจกรรมการประกอบอาหารในช่วง 5-16 $kgCO_2eq$/m2/yr ตามลำดับ รองลงมาเป็นอาคารประเภทศูนย์การค้ามีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดอยู่ในช่วง 60-330 MJ/m^2/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 5-20 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และอาคารสถานศึกษามีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดอยู่ในช่วง 40-170 MJ/m^2/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 3-

11 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ส่วนอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ตมีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดอยู่ในช่วง 40-120 $MJ/m^2/yr$ คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 3-8 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารประเภทศูนย์การค้า สถานศึกษา และซุปเปอร์มาร์เก็ตจะมาจากกิจกรรมการประกอบอาหารเป็นหลัก สำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาลจะเห็นว่าในอาคารที่มีการยกเลิกการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (HOSPITAL B และ HOSPITAL C) เพื่อการผลิตความร้อน/ไอน้ำ จะมีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมที่ค่อนข้างต่ำ แต่ในอาคารที่ยังมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตความร้อน/ไอน้ำ (HOSPITAL A) ก็ยังมีค่าดัชีที่ค่อนข้างสูงอยู่ สำหรับในอาคารประเภทสำนักงานจะเห็นว่ามีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ เนื่องจากอาคารประเภทสำนักงานมีกิจกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่น้อยมาก เช่น การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน หรือในระบบปั๊มน้ำดับเพลิงเท่านั้น

4.3.2.2 ดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน

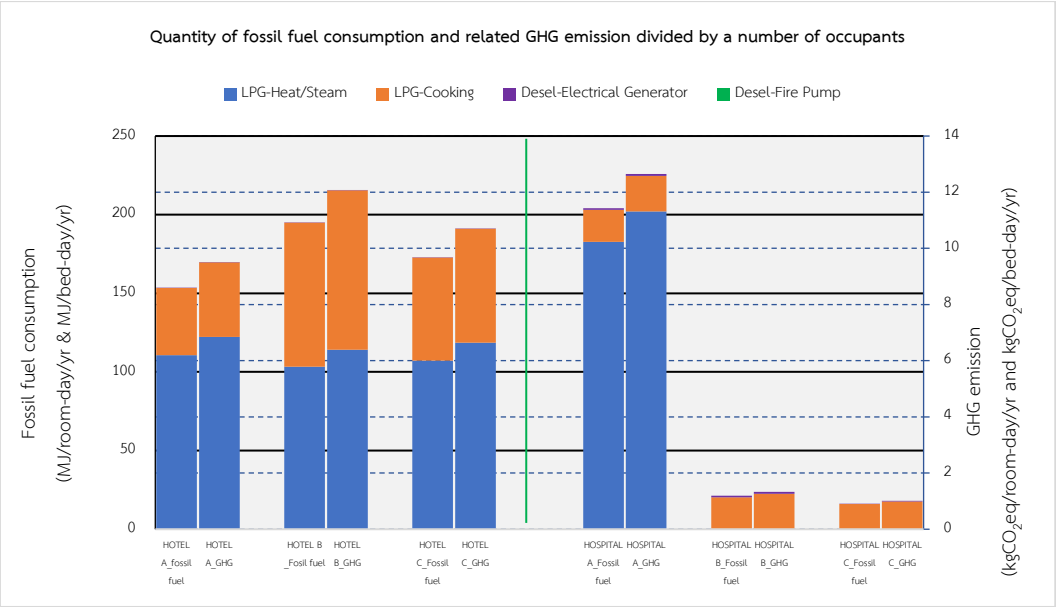
สำหรับการศึกษาผลของตัวแปรด้านผู้ใช้งานอาคารเพื่อประเมินค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองกราฟตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวน ดังรูปที่ 4-20 ที่แสดงถึงค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทนี้หมายถึง จำนวนลูกค้า พนักงาน และบุคลากร ที่เข้ามาใช้งานอาคารในแต่ละปี ยกเว้นอาคารสถานศึกษาที่จำนวนผู้ใช้งานในการประเมินค่าดัชนีนี้ จะหมายถึงจำนวนนักเรียน/นักศึกษาทั้งหมดในสถานศึกษา เนื่องจากดังที่ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารสถานศึกษาแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการประกอบอาหารในศูนย์หรือโรงอาหารเป็นกิจกรรมหลักในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งต้องพิจาณาต่อจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมด ซึ่งนั้นก็คือจำนวนนักเรียน/นักศึกษาที่เข้าไปใช้บริการในศูนย์หรือโรงอาหารทั้งหมด โดยผลการคำนวณค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะรายงานออกมาในหน่วย เมกะจูลต่อคนต่อปี (MJ/person/yr) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคนต่อปี ($kgCO_2eq$/person/yr) ตามลำดับ



รูปที่ 0-56 ดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร (ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-20 พบว่าตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอาคารประเภทศูนย์การค้า และสถานศึกษา เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวม ในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยสำหรับอาคารประเภทศูนย์การค้า มีค่าอยู่ในช่วง 1.10-3.20 MJ/person/yr และคิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.07-0.20 $kgCO_2eq$/person/yr และสำหรับอาคารประเภทสถานศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 0.41-2.40 MJ/person/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.03-0.15 $kgCO_2eq$/person/yr ส่วนอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และอาคารสำนักงานพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวม ในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต มีค่าอยู่ในช่วง 1.14-1.70 MJ/person/yr และคิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.08-0.11 $kgCO_2eq$/person/yr สำหรับอาคารประเภทสำนักงานมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-1.40 MJ/person/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.03-0.15 kgCO2eq/person/yr ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 0-57 ค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร (โรงแรม และ โรงพยาบาล)

ส่วนรูปที่ 4-21 แสดงค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล โดยผู้ใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารประเภทนี้จะหมายถึงจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ และจำนวนผู้ป่วยในที่เข้ามาใช้บริการในแต่ละปีตามลำดับ ซึ่งผลการคำนวณค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารประเภทโรงแรมจะรายงานออกมาในหน่วย เมกะจูลต่อห้อง-วันต่อปี (MJ/room-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อห้อง-วันต่อปี ($kgCO_2eq$/room-day/yr) ตามลำลับ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะรายงานออกมาในหน่วย เมกะจูลต่อเตียง-วันต่อปี (MJ/bed-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเตียง-วันต่อปี ($kgCO_2eq$/bed-day/yr) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-21 พบว่าค่าดัชนีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคารสำหรับอาคารประเภทโรงแรม มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับการคำนวณต่อพื้นที่ใช้งานรวมข้างต้นในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยจะมีค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดอยู่ในช่วง 152-195 MJ/room-day/yr แบ่งเป็นดัชนีจากกิจกรรมการทำความร้อน/ไอน้ำในช่วง 100-110 MJ/room-day/yr และดัชนีจากกิจกรรมการประกอบอาหารในช่วง 43-90 MJ/room-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 9-12 $kgCO_2eq$/room-day/yr แบ่งเป็นปริมาณการปล่อยจากกิจกรรมการทำความร้อน/ไอน้ำอยู่ใน 6-7 $kgCO_2eq$/room-day/yr และจากกิจกรรมการประกอบอาหารในช่วง 3-6 $kgCO_2eq$/room-day/yr ตามลำดับ ส่วนในอาคารประเภทโรงพยาบาลพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีปริมาณการใช้

เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยมีค่าดัชนีอยู่ในช่วง 17-202 MJ/bed-day/yr และคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.1-13 $kgCO_2eq$/bed-day/yr ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ามีช่วงค่าดัชนีที่ค่อนข้างห่างกัน เนื่องจากอาคารบางแห่งยังคงมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตความร้อน/ไอน้ำอยู่ แต่ในบางแห่งมีการยกเลิกการใช้งานไปแล้ว ช่วงค่าที่ได้จึงมีช่วงที่ห่างกันมากอย่างเห็นได้ชัด

จากการประเมินค่าดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมการใช้งานต่อตัวแปรทั้ง 2 ด้านแล้ว สามารถรวบรวมตัวชี้วัดในหน่วยต่างๆทั้งต่อพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานอาคารของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4-5 ซึ่งแสดงค่าดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

ตารางที่ 0-32 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (MJ/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq$/unit/yr)	GHG-SD
ซุปเปอร์มาร์เก็ต	การใช้เชื้อเพลิงรวม	m^2	79.57	42.21	4.94	2.62
		person	1.46	0.29	0.09	0.02
	การประกอบอาหาร	m^2	78.18	41.32	4.84	2.56
		person	1.42	0.27	0.09	0.02
	การผลิตความร้อน/ไอน้ำ	m^2	0	0	0	0
		person	0	0	0	0
	การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน	m^2	1.29	0.88	0.10	0.07
		person	0.03	0.02	2.3E-03	1.8E-03
	การปั๊มน้ำดับเพลิง	m^2	0.10	0.01	0.01	5.4E-04
		person	2.1E-03	9.0E-04	1.5E-04	6.7E-05
ศูนย์การค้า	การใช้เชื้อเพลิงรวม	m^2	180.08	125.89	11.16	7.80
		person	1.83	1.25	0.11	0.08
	การประกอบอาหาร	m^2	179.51	125.41	11.11	7.76
		person	1.83	1.25	0.11	0.08
	การผลิตความร้อน/ไอน้ำ	m^2	0	0	0	0
		person	0	0	0	0
	การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน	m^2	0.54	0.47	0.04	0.04
		person	3.8E-03	3.2E-03	2.8E-04	2.4E-04
	การปั๊มน้ำดับเพลิง	m^2	0.03	0.01	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

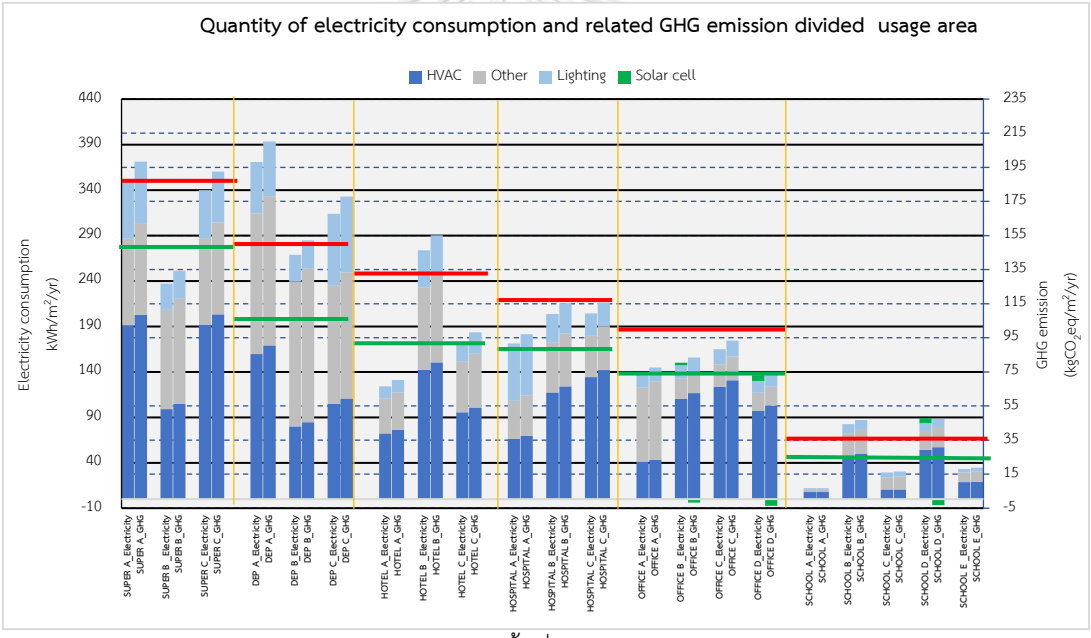
ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (MJ/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq$/unit/yr)	GHG-SD
		person	4.1E-04	4.0E-04	3.0E-05	3.0E-05
โรงแรม	การใช้เชื้อเพลิงรวม	m^2	390.93	161.09	24.21	9.97
		room-day	173.79	28.13	10.76	1.74
	การประกอบอาหาร	m^2	157.01	100.06	9.72	6.20
		room-day	66.67	24.42	4.13	1.51
	การผลิตความร้อน/ไอน้ำ	m^2	233.76	60.94	14.47	3.77
		room-day	107.04	3.66	6.63	0.23
	การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน	m^2	0.16	0.09	0.01	0.01
		room-day	0.08	0.06	0.01	4.5E-03
	การปั๊มน้ำดับเพลิง	m^2	0	0	0	0
		room-day	0	0	0	0
โรงพยาบาล	การใช้เชื้อเพลิงรวม	m^2	77.82	101.43	4.83	6.29
		bed-day	80.55	108.46	5.00	6.72
	การประกอบอาหาร	m^2	20.75	3.45	1.28	0.21
		bed-day	18.91	2.49	3.77	6.53
	การผลิตความร้อน/ไอน้ำ	m^2	56.31	97.53	3.49	6.04
		bed-day	60.93	105.54	1.17	0.15
	การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน	m2	0.76	0.45	0.06	0.03
		bed-day	0.70	0.43	0.05	0.03
	การปั๊มน้ำดับเพลิง	m^2	0	0	0	0
		bed-day	0	0	0	0
สำนักงาน	การใช้เชื้อเพลิงรวม	m^2	2.62	3.84	0.18	0.25
		person	0.39	0.63	0.03	0.04
	การประกอบอาหาร	m	1.50	3.01	0.09	0.19
		p^2erson	0.25	0.50	0.02	0.03
	การผลิตความร้อน/ไอน้ำ	m^2	0	0	0	0
		person	0	0	0	0
	การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน	m^2	0.88	0.45	0.07	0.03
		person	0.10	0.07	0.01	0.01
	การปั๊มน้ำดับเพลิง	m^2	0.24	0.38	0.02	0.03
		person	0.04	0.06	2.8E-03	4.8E-03
สถานศึกษา	การใช้เชื้อเพลิงรวม	m^2	84.78	56.09	5.25	3.47
		person	1.11	0.80	0.07	0.05
	การประกอบอาหาร	m^2	84.76	56.03	5.25	3.47
		person	1.11	0.80	0.07	0.05
	การผลิตความร้อน/ไอน้ำ	m^2	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (MJ/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq/unit/yr$)	GHG-SD
		person	0	0	0	0
	การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน	m^2	0.02	0.06	1.8E-03	4.1E-03
		person	1.9E-04	4.2E-04	1.4E-05	3.1E-05
	การปั๊มน้ำดับเพลิง	m^2	0	0	0	0
		person	0	0	0	0

4.3.3 ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.3.3.1 ดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม



= ค่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่กรณีอาคารอ้างอิง (Reference Building)

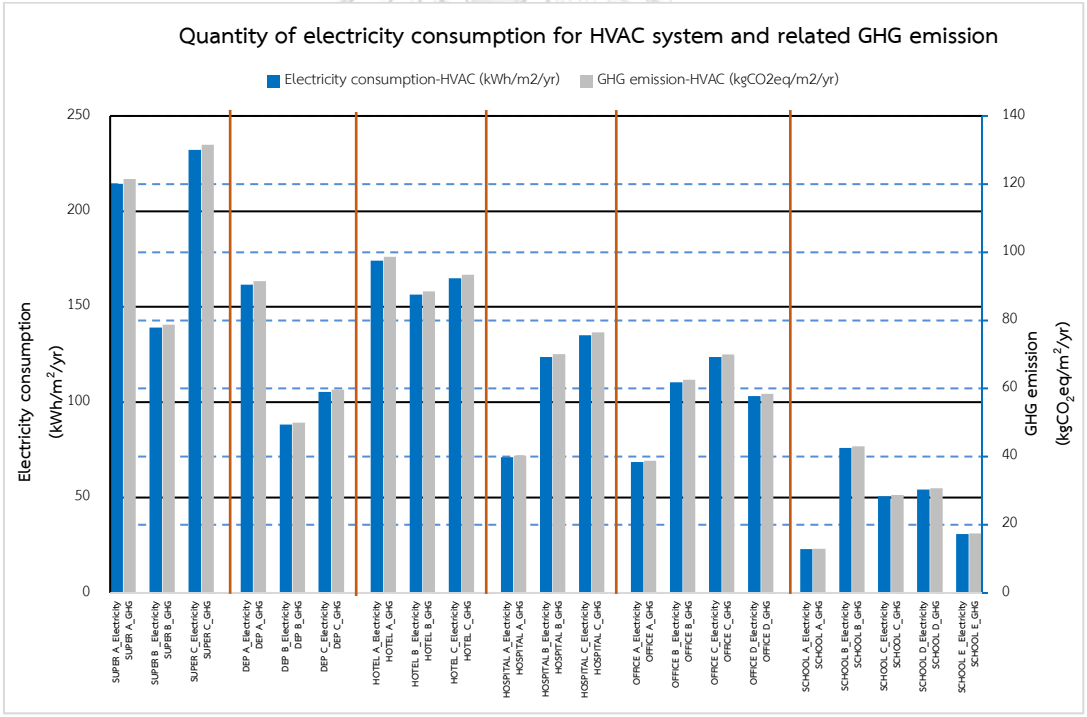
= ค่าเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (Building Energy Code: BEC)

รูปที่ 0-58 ดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม

ดังรูปที่ 4-22 แสดงค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท จากการศึกษาพบว่าอาคารประเภทศูนย์การค้ามีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมมากที่สุดคือมีค่าอยู่ในช่วง 270-370 $kWh/m^2/yr$ แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่างในช่วง 130-160 $kWh/m^2/yr$, 80-160 $kWh/m^2/yr$ และ 30-80 $kWh/m^2/yr$ ตามลำดับ โดย

คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 152-210 $kgCO_2eq/m^2/yr$ แบ่งเป็นจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศในช่วง 45-90 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างในช่วง 17-44 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 70-90 $kgCO_2eq/m^2/yr$ รองลงมาเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 240-350 $kWh/m^2/yr$ แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 100-190 $kWh/m^2/yr$ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 28-52 $kWh/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 95-110 $kWh/m^2/yr$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 130-195 $kgCO_2eq/m^2/yr$ แบ่งเป็นจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 56-108 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 16-36 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 53-61 $kgCO_2eq/m^2/yr$ อาคารประเภทโรงพยาบาลมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 170-200 $kWh/m^2/yr$ แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 66-134 $kWh/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 24-63 $kWh/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 41-54 $kWh/m^2/yr$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 95-115 $kgCO_2eq/m^2/yr$ แบ่งเป็นจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 37-76 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 14-35 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 23-30 $kgCO_2eq/m^2/yr$ อาคารโรงแรมมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 123-273 $kWh/m^2/yr$ แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 72-142 $kWh/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 13-40 $kWh/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 38-90 $kWh/m^2/yr$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 70-155 $kgCO_2eq/m^2/yr$ แบ่งเป็นจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 40-80 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 7-23 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 20-50 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และอาคารสำนักงานมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 136-165 $kWh/m^2/yr$ แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 41-123 $kWh/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 12-16 $kWh/m^2/yr$ ระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 19-80 $kWh/m^2/yr$ และการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังงานทดแทน (โซลาร์เซลล์) ของบางอาคารอยู่ในช่วง 3-6 $kWh/m^2/yr$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 74-93 $kgCO_2eq/m^2/yr$ แบ่งเป็นจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 23-70 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 7-9 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ระบบอื่นๆ อยู่ในช่วง 11-46 $kgCO_2eq/m^2/yr$ และคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากการใช้พลังงานทดแทนอยู่ในช่วง -1 ถึง -3 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษาจะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มอาคารประเภทอื่นๆคืออยู่ในช่วง 15–90 $kWh/m^2/yr$ และคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 8-45 $kgCO_2eq/m^2/yr$ เนื่องจากอาคารสถานศึกษาบางแห่งเป็นอาคารใหม่ (SCHOOL A) ส่งผลให้มีการใช้งานพื้นที่ยังไม่เต็มศักยภาพ

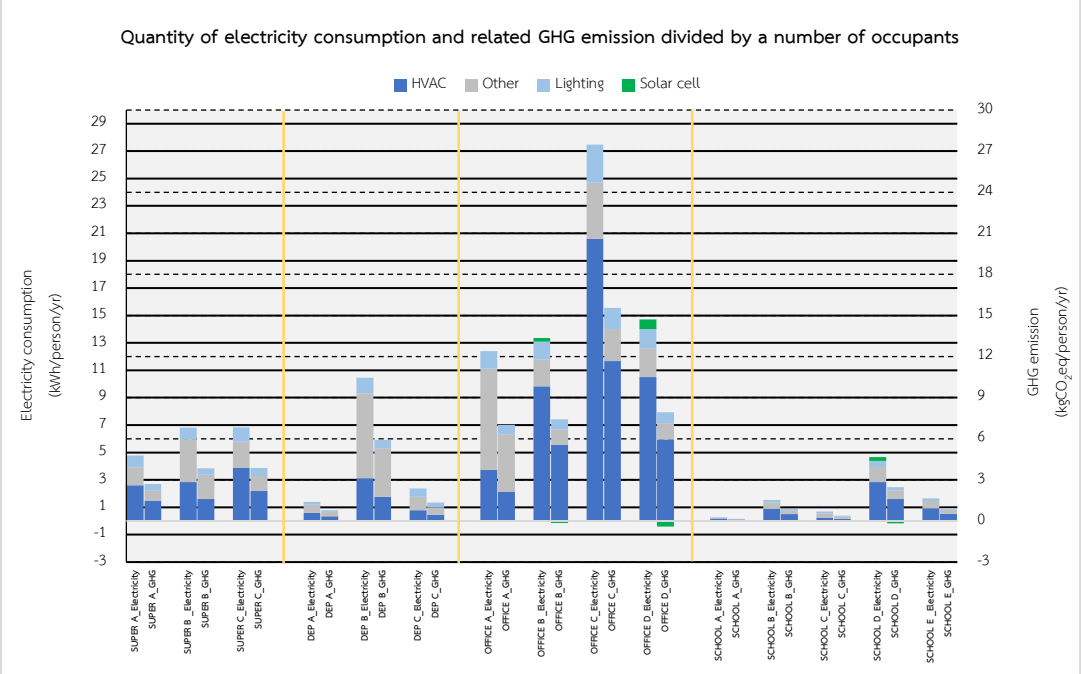
และบางแห่งยังไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาสแต่ยังคงใช้พัดลมเพื่อระบายอากาศอยู่ (SCHOOL C) ทำให้มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำกว่าอาคารประเภทอื่นๆ นอกจากนี้เมื่อนำค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการศึกษาเทียบกับ ค่าเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่กรณีอาคารอ้างอิง และค่าเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร ที่ศึกษาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ) พบว่าอาคารส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่กรณีอาคารอ้างอิง แต่ส่วนใหญ่ยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งานเมื่อแยกตามระบบ โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศมักจะทำการศึกษาต่อตัวแปรด้านพื้นที่ในส่วนที่เป็นพื้นที่ ที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ หรือที่เรียกว่า “พื้นที่ปรับอากาศ” เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจะมีความสัมพันธ์กับขนาดดังกล่าว โดยรูปที่ 4-23 จะแสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภท



รูปที่ 0-59 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภท

4.3.3.2 ดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน

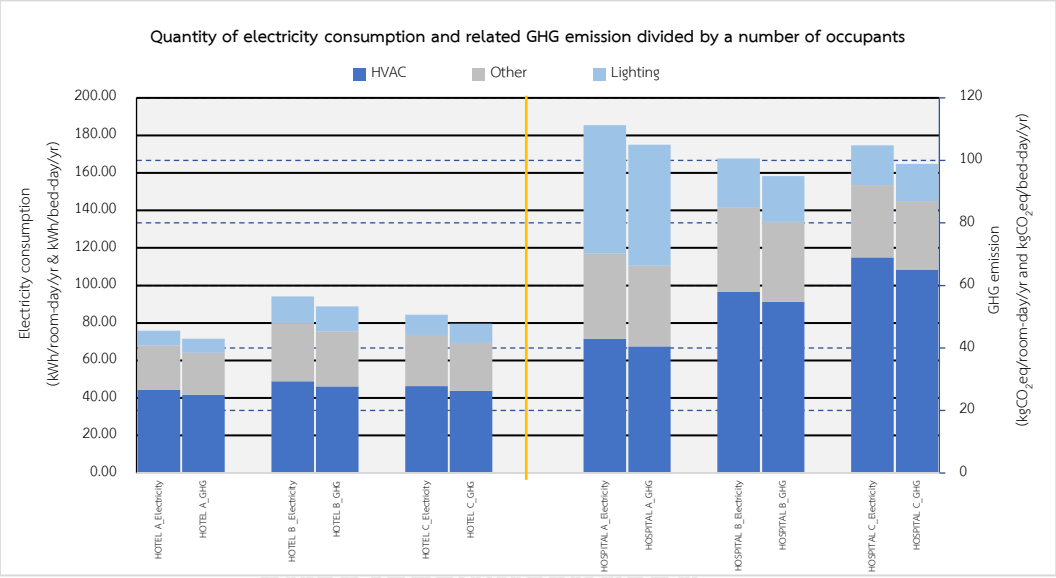
สำหรับการศึกษาผลของตัวแปรด้านผู้ใช้งานอาคารเพื่อประเมินค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองกราฟตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวน ดังรูปที่ 4-24 ที่แสดงถึงค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ต ศูนย์การค้า สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทนี้หมายถึงจำนวนลูกค้า พนักงาน บุคลากร และนักเรียน/นักศึกษา ที่เข้ามาใช้งานอาคารในแต่ละปี โดยผลการคำนวณค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะรายงานออกมาในหน่วย กิโลวัตต์ต่อคนต่อปี (kWh/person/yr) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคนต่อปี ($kgCO_2eq$/person/yr) ตามลำดับ



รูปที่ 0-60 ค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (อาคารซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-24 พบว่าผลของตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานอาคารส่งผลให้กลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ต ศูนย์การค้า สำนักงาน และสถานศึกษา มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน และสามารถสังเกตุเห็นได้ว่ากลุ่มอาคารประเภทศูนย์การค้าและซุปเปอร์มาร์เก็ตมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ

จำนวนผู้ใช้งานที่น้อยกว่ากว่าอาคารบางประเภทอย่างเห็นได้ชัด จากกราฟจะเห็นได้ว่าอาคารประเภทสำนักงานมีค่าดัชนีการใช้พลังไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานสูงกว่าอาคารประเภทอื่นๆ โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 12-27 kWh/person/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 7-15 $kgCO_2eq$/person/yr รองลงมาเป็นอาคารศูนย์การค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ต และสถานศึกษาซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 2-10 kWh/person/yr, 5-7 kWh/person/yr และ 0.5-2.5 kWh/person/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.8-6 $kgCO_2eq$/person/yr, 2-4 $kgCO_2eq$/person/yr และ 0.02-1.5 $kgCO_2eq$/person/yr ตามลำดับ



รูปที่ 0-61 ค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนรูปที่ 4-25 แสดงค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล โดยผู้ใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารประเภทนี้จะหมายถึง จำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ และจำนวนผู้ป่วยในที่เข้ามาใช้บริการในแต่ละปี ซึ่งผลการคำนวณค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารโรงแรมจะรายงานออกมาในหน่วย กิโลวัตต์/ห้อง-วัน/ปี (kWh/room-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ห้อง-วัน/ปี ($kgCO_2eq$/room-day/yr) ตามลำดับ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะรายงานออกมาในหน่วย กิโลวัตต์/เตียง-วัน/ปี (kWh/bed-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เตียง-วัน/ปี ($kgCO_2eq$/bed-day/yr) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5-9

พบว่าค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร สำหรับอาคารประเภทโรงแรม มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับการคำนวณต่อพื้นที่ใช้งานรวม ข้างต้นในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยจะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 75-93 kWh/room-day/yr แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 100-110 kWh/room-day/yr ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 8-15 kWh/room-day/yr และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 20-30 kWh/room-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 43-52 $kgCO_2eq$/room-day/yr แบ่งเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 25-27 $kgCO_2eq$/room-day/yr จากระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 5-8 $kgCO_2eq$/room-day/yr และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 13-17 $kgCO_2eq$/room-day/yr ตามลำดับ ส่วนในอาคารประเภทโรงพยาบาลพบว่าผลของตัวแปรด้านผู้ใช้งานส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในช่วง 167-185 kWh/bed-day/yr แบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 70-115 kWh/bed-day/yr ระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 20-70 kWh/bed-day/yr และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 38-45 kWh/bed-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ในช่วง 93-103 $kgCO_2eq$/room-day/yr แบ่งเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 40-65 $kgCO_2eq$/room-day/yr จากระบบแสงสว่างอยู่ในช่วง 10-40 $kgCO_2eq$/room-day/yr และระบบอื่นๆอยู่ในช่วง 20-25 $kgCO_2eq$/room-day/yr ตามลำดับ

จากการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมการใช้งานต่อตัวแปรทั้ง 2 ด้านแล้ว สามารถรวบรวบตัวชี้วัดในหน่วยต่างๆทั้งต่อพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานอาคารของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4-6 ซึ่งแสดงค่าดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0-33 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (kWh/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq/unit/yr$)	GHG-SD
ซุปเปอร์มาร์เก็ต	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม	m^2	308.95	79.01	174.99	44.75
		person	6.14	1.72	3.48	0.98
	การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	m^2	160.80	53.44	91.08	30.27
		AC-m2	195.25	49.42	110.59	27.99
		person	3.11	0.67	1.76	0.38
	การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	m^2	48.32	17.61	27.37	9.97
		person	0.92	0.12	0.52	0.07
	การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ	m^2	99.83	7.96	56.54	4.51
		person	2.12	0.93	1.20	0.53
	การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	m^2	0	0	0	0
		person	0	0	0	0
ศูนย์การค้า	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม	m^2	317.80	80.72	180.00	45.72
		person	4.74	5.00	2.69	2.83
	การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	m^2	114.91	40.72	65.09	23.06
		AC-m2	118.41	38.35	67.07	21.72
		person	1.51	1.40	0.85	0.79
	การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	m^2	54.85	24.64	31.07	13.96
		person	0.65	0.47	0.37	0.26
	การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ	m^2	148.03	15.35	83.85	8.70
		person	2.59	3.13	1.47	1.77
	การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	m^2	0	0	0	0
		person	0	0	0	0
โรงแรม	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม	m^2	190.43	76.26	107.86	43.19
		room-day	84.85	9.12	48.06	5.16
	การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	m^2	103.33	35.71	58.53	20.23
		AC-m2	165.17	8.95	93.55	5.07
		room-day	46.54	2.37	26.36	1.34
	การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	m^2	25.46	14.28	14.42	8.09
		room-day	10.98	3.07	6.22	1.74
	การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ	m^2	61.63	26.27	34.91	14.88
		room-day	27.32	3.67	15.47	2.08
	การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	m^2	0	0	0	0
		room-day	0	0	0	0
โรงพยาบาล	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม	m^2	193.05	62.84	109.35	35.59
		bed-day	175.91	51.69	99.64	29.28
	การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	m^2	105.92	35.50	59.99	20.11
		$AC-m^2$	109.99	34.04	62.30	19.28
		bed-day	94.35	21.76	53.44	12.32
		m^2	39.78	20.58	22.53	11.66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

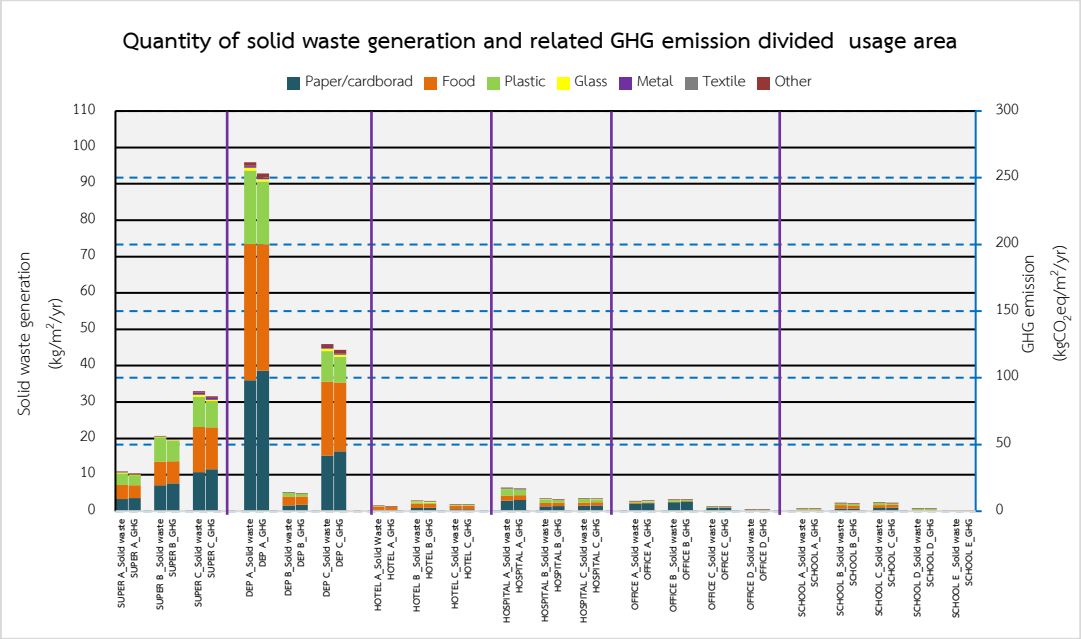
ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (kWh/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq/unit/yr$)	GHG-SD
	การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	bed-day	38.47	26.04	21.79	14.75
	การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ	m^2	47.35	6.75	26.82	3.82
		bed-day	43.09	3.89	24.41	2.20
	การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	m^2	0	0	0	0
		bed-day	0	0	0	0
สำนักงาน	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม	m^2	147.02	70.43	80.63	39.90
		person	16.99	10.54	9.35	5.97
	การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	m^2	93.17	36.23	52.77	20.52
		AC-m2	101.47	23.48	57.47	13.30
		person	11.17	6.99	6.33	3.96
	การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	m^2	14.62	1.44	8.28	0.82
		person	1.69	0.71	0.96	0.40
	การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ	m^2	36.91	29.70	20.90	16.82
		person	3.89	2.52	2.20	1.43
	การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	m^2	2.33	3.05	-1.32	1.74
		person	0.24	0.33	-0.14	0.19
สถานศึกษา	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม	m^2	49.18	36.22	26.59	20.52
		person	1.76	1.74	0.93	0.99
	การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ	m^2	27.79	21.63	15.74	12.25
		$AC\text{-}m^2$	46.96	20.89	26.60	11.83
		Person	1.02	1.08	0.58	0.61
	การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	m^2	5.92	3.33	3.35	1.88
		person	0.20	0.15	0.11	0.08
	การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ	m^2	14.35	8.77	8.13	4.97
		person	0.49	0.38	0.28	0.22
	การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	m^2	1.11	2.49	-0.63	1.42
		person	0.06	0.13	-0.03	0.07

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.4 ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.3.4.1 ดัชนีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม

รูปที่ 0-62 ค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท

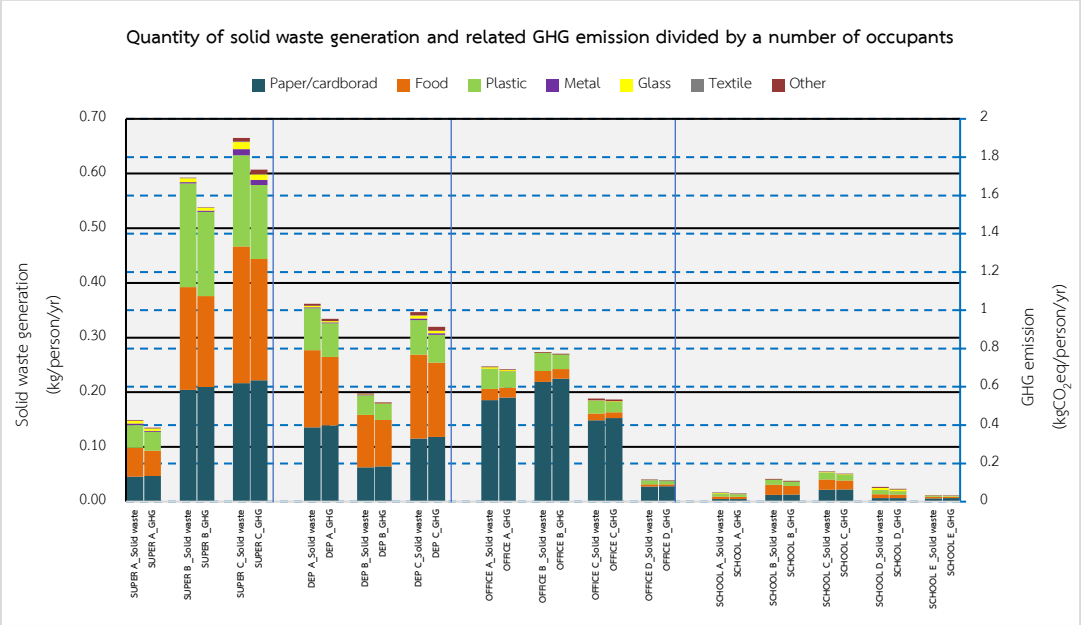


ผลการศึกษาพบว่า อาคารประเภทศูนย์การค้า และซุปเปอร์มาร์เก็ต มีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมสูงกว่าอาคารประเภทอื่นๆ โดยสำหรับอาคารประเภทศูนย์การค้ามีค่าอยู่ในช่วง 6-95 kg/m^2/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 13-250 $kgCO_2/m^2/yr$ ซึ่งจะเห็นว่ามีช่วงค่าดัชนีที่ห่างกันมาก เนื่องจากขนาดของพื้นที่อาคารและปริมาณขยะค่อนข้างที่จะแตกต่างกันอย่างมาก ส่วนอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ตมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยต่อพื้นที่ใช้งานรวมอยู่ในช่วง 12-35 kg/m^2/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 25-80 $kgCO_2/m^2/yr$ และสำหรับอาคารประเภทอื่นๆมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสองประเภทอาคารข้างต้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.2-6 kg/m^2/yr และคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.6-17 $kgCO_2/m^2/yr$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.4.2 ดัชนีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร

การศึกษาผลของตัวแปรด้านผู้ใช้งานอาคารเพื่อประเมินค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองกราฟตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวน ดังรูปที่ 4-23 ที่แสดงถึงค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทนี้หมายถึง จำนวนลูกค้า พนักงานบุคลากร และนักเรียน/นักศึกษา ที่เข้ามาใช้งานอาคารในแต่ละปี โดยผลการคำนวณค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะรายงานออกมาในหน่วย กิโลกรัมต่อคนต่อปี (kg/person/yr) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคนต่อปี ($kgCO_2eq/person/yr$) ตามลำดับ



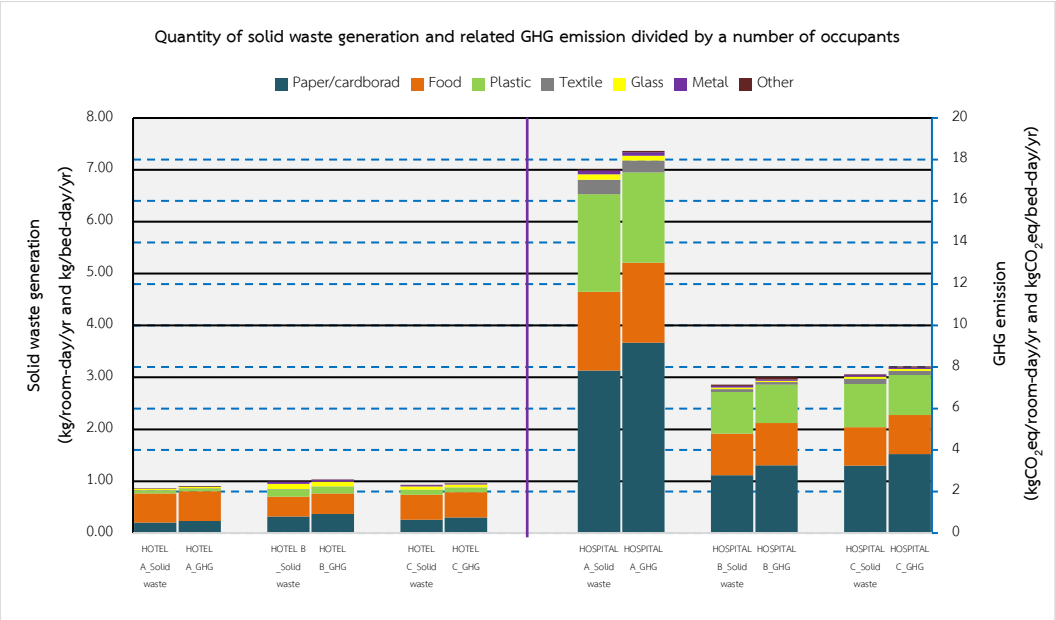
รูปที่ 0-63 ค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (อาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-27 พบว่าตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานไม่ได้ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีการเกิดขยะมูล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน แต่กลับพบว่าในแต่ละกลุ่มประเภทอาคารมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

โดยอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ตมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยต่อจำนวนผู้ใช้งานอยู่ในช่วง 0.15-0.65 kg/person/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.4-1.7 $kgCO_2eq$/person/yr สำหรับอาคารประเภทศูนย์การค้ามีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยต่อจำนวนผู้ใช้งานอยู่ในช่วง 0.2 -0.35 kg/person/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.5-0.9 $kgCO_2eq$/person/yr และสำหรับอาคารประเภทสำนักงานมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยต่อจำนวนผู้ใช้งานอยู่ในช่วง 0.18 -0.27 kg/person/yr คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.5-0.7 $kgCO_2eq$/person/yr ส่วนในอาคารประเภทสถานศึกษาพบว่ามีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ เนื่องจากปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยของอาคารสถานศึกค่อนข้างมีปริมาณที่น้อย ประกอบกับลักษณะของการใช้งานอาคารที่ไม่ได้ถูกใช้ไปในเชิงพานิชย์เหมือนกับอาคารประเภทอื่นๆ

ส่วนรูปที่ 4-28 แสดงค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล โดยผู้ใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารประเภทนี้จะหมายถึงจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ และจำนวนผู้ป่วยในที่เข้ามาใช้บริการในแต่ละปี ซึ่งผลการคำนวณค่าดัชนีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารประเภทโรงแรมจะรายงานออกมาในหน่วย กิโลกรัมต่อห้อง-วันต่อปี (kg/room-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อห้อง-วันต่อปี ($kgCO_2eq$/room-day/yr) ตามลำดับ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะรายงานออกมาในหน่วย กิโลกรัมต่อเตียง-วันต่อปี (kg/bed-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเตียง-วันต่อปี ($kgCO_2eq$/bed-day/yr) ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-64 ค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรมและโรงพยาบาล)

ดังแสดงในรูปที่ 4-24 พบว่าค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคารสำหรับอาคารประเภทโรงแรมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยอยู่ในช่วง 0.9-1 kg/room-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 2-3 $kgCO_2eq$/room-day/yr ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาลมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอยอยู่ในช่วง 2.7-7 kg/bed-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 7-17 $kgCO_2eq$/room-day/yr และจะสังเกตเห็นว่า 2 ใน 3 อาคารมีค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกัน แต่อีกอาคารหนึ่ง (HOSPITAL A) ค่อนข้างมีค่าสูงกว่า เนื่องจากมีจำนวนเตียงผู้ป่วยในน้อยกว่าอีกสองอาคาร

จากการประเมินค่าดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแปงตามองค์ประกอบของขยะต่อตัวแปรทั้ง 2 ด้านแล้ว สามารถรวบรวมตัวชี้วัดในหน่วยต่างๆทั้งต่อพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4-7 ซึ่งแสดงค่าดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแบ่งตามองค์ประกอบขยะในอาคารแต่ละประเภท

ตารางที่ 0-34 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบแยกตามองค์ประกอบขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	องค์ประกอบขยะ	ดัชนีการเกิดขยะมูลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (kg/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq$/unit/yr)	GHG-SD
ซุปเปอร์มาร์เก็ต	ขยะรวม	m^2	21.53	11.36	56.00	29.70
		person	0.47	0.29	1.22	0.75
	Plastic	m^2	5.99	2.65	13.89	6.15
		person	0.13	0.08	0.31	0.18
	Paper/cardboard	m^2	7.07	3.70	20.73	10.85
		person	0.16	0.10	0.46	0.28
	Glass	m^2	0.41	0.20	0.95	0.46
		person	0.01	0.00	0.02	0.01
	Metal	m^2	0.28	0.25	0.65	0.58
		person	0.01	0.01	0.01	0.01
	Textile	m^2	0.04	0.02	0.07	0.04
		person	7.4E-04	3.5E-04	1.5E-03	7.0E-04
	Food	m^2	7.60	4.38	19.22	11.08
		person	0.16	0.10	0.41	0.26
	Other	m2	0.15	0.16	0.49	0.55
		person	2.8E-03	3.4E-03	9.3E-03	1.1E-02
ศูนย์การค้า	ขยะรวม	m^2	0.30	0.09	0.80	0.25
		person	0.30	0.09	0.80	0.25
	Plastic	m^2	0.06	0.02	0.13	0.05
		person	0.06	0.02	0.13	0.05
	Paper/cardboard	m2	0.10	0.04	0.31	0.11
		person	0.10	0.04	0.31	0.11
	Glass	m^2	3.0E-03	2.0E-03	7.0E-03	4.7E-03
		person	3.0E-03	2.0E-03	7.0E-03	4.7E-03
	Metal	m^2	1.8E-03	1.4E-03	4.2E-03	3.3E-03
		person	1.8E-03	1.4E-03	4.2E-03	3.3E-03
	Textile	m^2	2.0E-04	1.6E-04	4.0E-04	3.1E-04
		person	2.0E-04	1.6E-04	4.0E-04	3.1E-04
	Food	m^2	0.13	0.03	0.33	0.08
		person	0.13	0.03	0.33	0.08
	Other	m^2	3.8E-03	2.2E-03	1.3E-02	7.2E-03
		person	3.8E-03	2.2E-03	1.3E-02	7.2E-03
โรงแรม	ขยะรวม	m^2	2.07	0.75	5.37	1.95
		room-day	0.93	0.25	2.41	0.63
	Plastic	m^2	0.23	0.17	0.53	0.39
		room-day	0.10	0.05	0.22	0.11
	Paper/cardboard	m^2	0.59	0.30	1.73	0.88
		room-day	0.26	0.06	0.75	0.17
	Glass	m^2	0.16	0.11	0.36	0.26
		room-day	0.06	0.03	0.15	0.07
	Metal	m^2	0.06	0.06	0.13	0.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทอาคาร	องค์ประกอบขยะ	ดัชนีการเกิดขยะมูลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (kg/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq$/unit/yr)	GHG-SD
		room-day	0.02	0.02	0.05	0.04
	Textile	m^2	1.6E-02	3.2E-03	3.1E-02	6.5E-03
		room-day	7.2E-03	6.1E-04	1.4E-02	1.2E-03
	Food	m^2	1.01	0.10	2.56	0.26
		room-day	0.48	0.09	1.21	0.23
	Other	m^2	9.9E-03	3.2E-03	3.3E-02	1.1E-02
		room-day	5.1E-03	2.8E-03	1.7E-02	9.3E-03
โรงพยาบาล	ขยะรวม	m^2	4.51	1.73	11.84	4.56
		bed-day	4.31	2.35	11.32	6.19
	Plastic	m^2	1.23	0.44	2.85	1.02
		bed-day	1.17	0.61	2.72	1.42
	Paper/cardboard	m^2	1.92	0.85	5.63	2.48
		bed-day	1.85	1.12	5.42	3.27
	Glass	m^2	0.06	0.03	0.14	0.08
		bed-day	0.06	0.04	0.13	0.10
	Metal	m^2	0.05	0.02	0.10	0.04
		bed-day	0.04	0.02	0.10	0.05
	Textile	m^2	0.15	0.10	0.30	0.20
		bed-day	0.15	0.12	0.29	0.24
	Food	m^2	1.08	0.28	2.74	0.72
		bed-day	1.02	0.43	2.58	1.10
	Other	m^2	0.03	0.01	0.08	0.03
		bed-day	0.02	0.01	0.07	0.02
สำนักงาน	ขยะรวม	m^2	1.83	1.30	5.14	3.67
		person	0.19	0.11	0.53	0.30
	Plastic	m^2	0.25	0.17	0.57	0.39
		person	0.03	0.01	0.06	0.03
	Paper/cardboard	m^2	1.41	1.02	4.14	2.99
		person	0.15	0.08	0.43	0.24
	Glass	m^2	0.01	0.01	0.03	0.03
		person	1.3E-03	1.0E-03	2.9E-03	2.4E-03
	Metal	m^2	9.7E-04	7.2E-04	2.2E-03	1.7E-03
		person	1.0E-04	6.3E-05	2.4E-04	1.5E-04
	Textile	m^2	4.4E-04	3.9E-04	8.8E-04	7.9E-04
		person	4.4E-05	3.2E-05	8.8E-05	6.5E-05
	Food	m^2	0.14	0.10	0.36	0.25
		person	0.01	0.01	0.04	0.02
	Other	m^2	0.01	0.01	0.03	0.02
		person	1.2E-03	1.1E-03	4.1E-03	3.7E-03
สถานศึกษา	ขยะรวม	m^2	1.19	1.07	3.26	2.78
		person	0.03	0.02	0.08	0.06
	Plastic	m^2	0.30	0.22	0.83	0.49
		person	0.01	4.07E-03	0.02	0.01
	Paper/cardboard	m^2	0.41	0.37	1.19	1.07

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

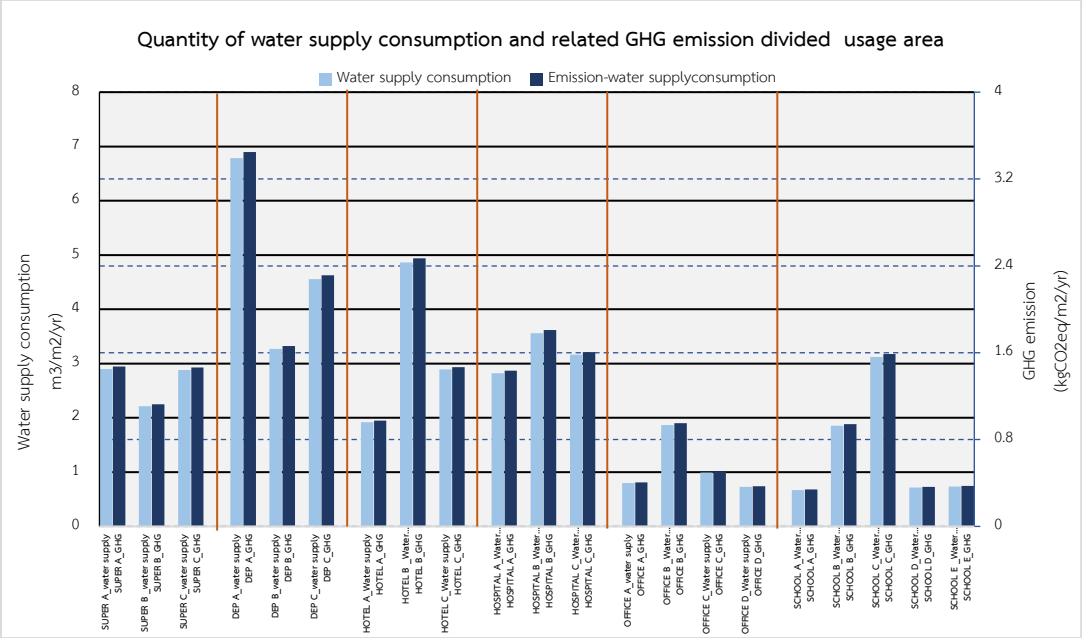
ประเภทอาคาร	องค์ประกอบขยะ	ดัชนีการเกิดขยะมูลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (kg/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq$/unit/yr)	GHG-SD
		person	0.01	0.01	0.03	0.02
	Glass	m^2	0.03	0.03	0.08	0.07
		person	1.20E-03	1.58E-03	2.79E-03	3.66E-03
	Metal	m^2	4.55E-03	0.01	0.01	0.01
		person	1.02E-04	1.10E-04	2.38E-04	2.55E-04
	Textile	m^2	6.71E-04	5.45E-04	1.34E-03	1.09E-03
		person	1.61E-05	7.98E-06	3.22E-05	1.60E-05
	Food	m^2	0.43	0.43	1.10	1.08
		person	0.01	0.01	0.03	0.02
	Other	m^2	0.02	0.02	0.05	0.05
		person	5.84E-04	7.11E-04	1.59E-03	1.65E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.5 ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.3.5.1 ดัชนีปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม

การศึกษาค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท ดังรูปที่ 4-29 พบว่า กลุ่มอาคารประเภทศูนย์การค้า โรงแรม โรงพยาบาล และซุปเปอร์มาร์เก็ต เป็นประเภทอาคารมีค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมที่ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มอาคารอื่นๆ ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2-6 $m^3/m^2/yr$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 1-3 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ส่วนอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษามีค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมอยู่ในช่วง 0.6-3 $m^3/m^2/yr$ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 0.3-1.5 $kgCO_2eq/m^2/yr$ ซึ่งพบว่าอาคารสถานศึกษาบางแห่งมีปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอาคารในกลุ่มเดียวกัน

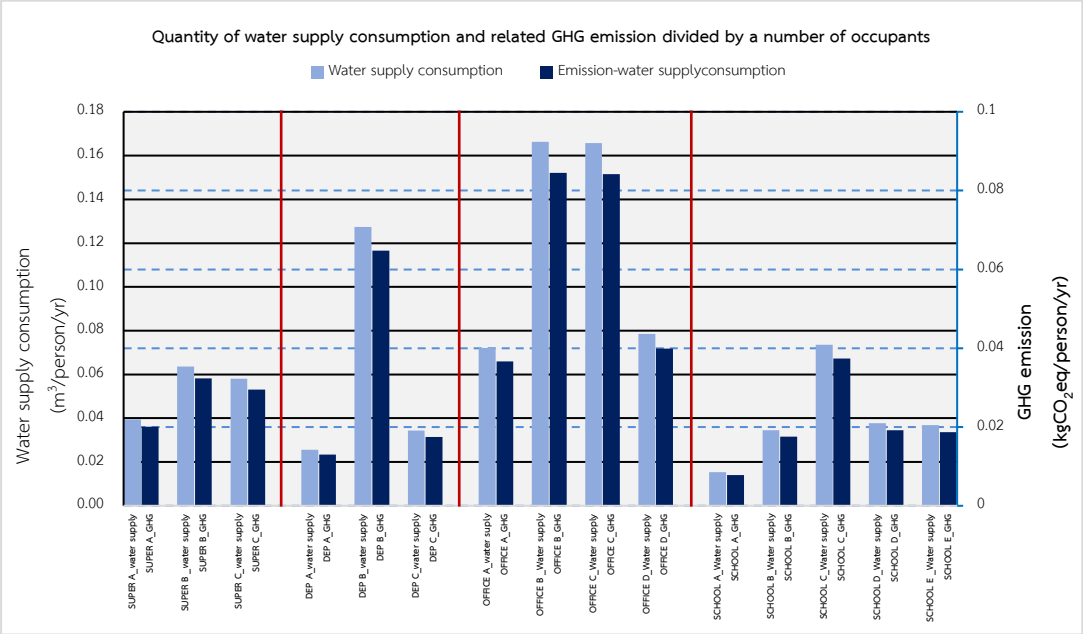


รูปที่ 0-65 ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท

4.3.5.2 ดัชนีปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร

ส่วนการศึกษาผลของตัวแปรด้านผู้ใช้งานอาคารเพื่อประเมินค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองกราฟตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวน ดังรูปที่ 4-30 ที่แสดงถึงค่าดัชนีการใช้น้ำประปา

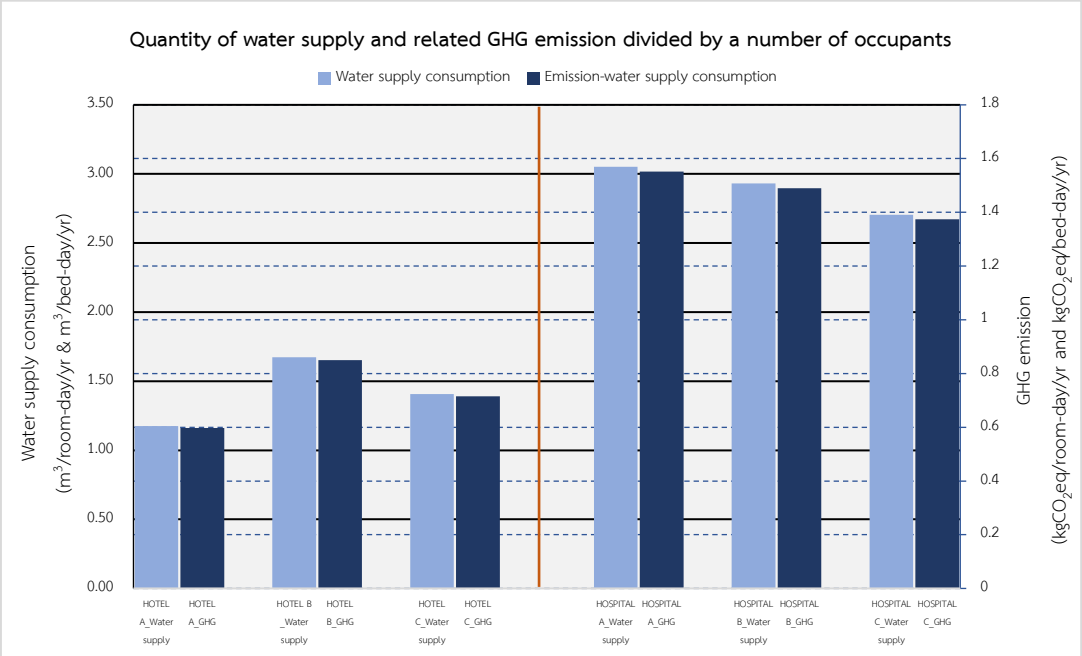
และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต ศูนย์การค้า สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทนี้หมายถึง จำนวนลูกค้า พนักงาน บุคลากร และนักเรียน/นักศึกษา ที่เข้ามาใช้งานอาคารในแต่ละปี โดยผลการคำนวณค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะรายงานออกมาในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี (m^3/person/yr) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคนต่อปี ($kgCO_2eq$/person/yr) ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีการใช้น้ำประปาและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน และจะเห็นว่าอาคารประเภทสำนักงานกลับมีค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าอาคารประเภทอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.16 m^3/person/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 0.03-0.08 $kgCO_2eq$/person/yr เนื่องจากว่าอาคารประเภทสำนักงานมีจำนวนผู้ใช้งานอาคารและปริมาณการใช้น้ำประปาที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ



รูปที่ 0-66 ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)

ส่วนรูปที่ 4-31 แสดงค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล โดยผู้ใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารประเภทนี้จะหมายถึงจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ และจำนวนผู้ป่วยในที่เข้ามาใช้บริการในแต่ละปี ซึ่งผลการ

คำนวณค่าดัชนีปริมาณการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารประเภทโรงแรมจะรายงานออกมาในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อห้อง-วันต่อปี (m^3/room-day/yr) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อห้อง-วันต่อปี ($kgCO_2eq$/room-day/yr) ตามลำดับ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะรายงานออกมาในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อเตียง-วันต่อปี (m^3/bed-day/yr) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเตียง-วันต่อปี ($kgCO_2eq$/bed-day/yr) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคารสำหรับอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาลมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน โดยอาคารประเภทโรงแรมมีค่าดัชนีการใช้น้ำประปาอยู่ในช่วง 1.17-1.67 m^3/room-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 0.6-0.9 $kgCO_2eq$/room-day/yr ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาลมีค่าดัชนีการใช้น้ำประปาอยู่ในช่วง 2.7-3.0 m^3/bed-day/yr คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 1.37-1.55 $kgCO_2eq$/bed-day/yr



รูปที่ 0-67 ค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)

จากการประเมินค่าดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตัวแปรทั้ง 2 ด้านแล้ว สามารถรวบรวมตัวชี้วัดในหน่วยต่างๆทั้งต่อพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่

ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4-8 ซึ่งแสดงค่าดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารแต่ละประเภท

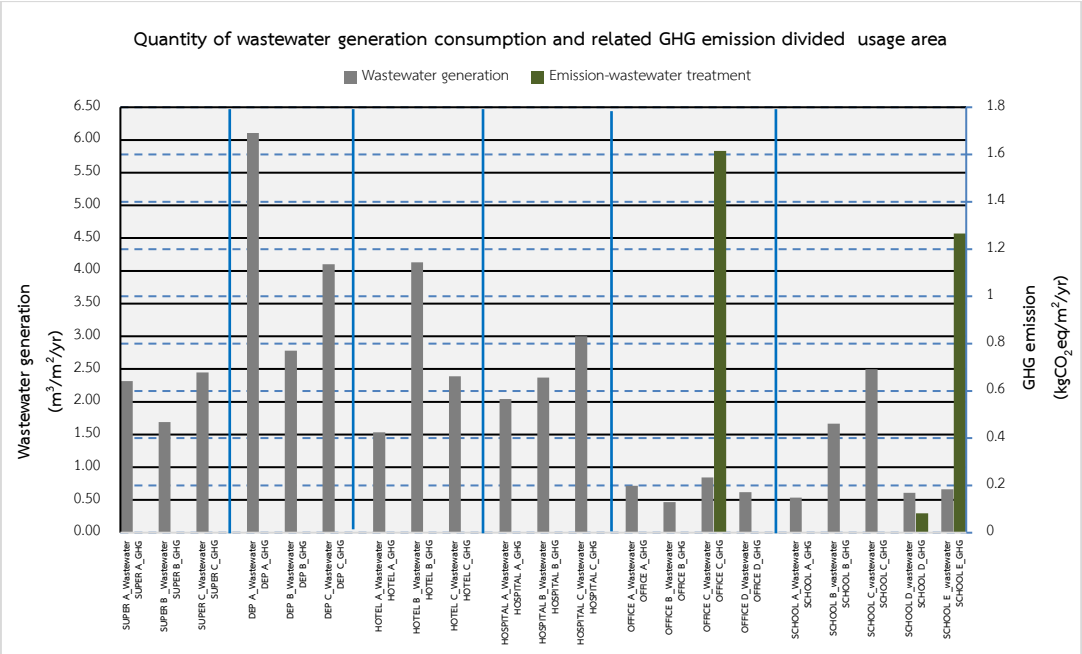
ตารางที่ 0-35 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการใช้น้ำประปาและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
		Unit	QTY.-Mean (m^3/unit/yr)	QTY.-SD	GHG-Mean ($kgCO_2eq$/unit/yr)	GHG-SD
ซุปเปอร์มาร์เก็ต	การใช้น้ำประปา	m^2	2.66	0.39	1.35	0.20
		person	0.05	0.01	0.03	0.01
ศูนย์การค้า	การใช้น้ำประปา	m^2	4.87	1.78	2.47	0.90
		person	0.06	0.06	0.03	0.03
โรงแรม	การใช้น้ำประปา	m^2	3.22	1.50	1.64	0.76
		room-day	1.42	0.25	0.72	0.13
โรงพยาบาล	การใช้น้ำประปา	m^2	3.18	0.37	1.62	0.19
		bed-day	2.90	0.18	1.47	0.09
สำนักงาน	การใช้น้ำประปา	m^2	1.10	0.53	0.56	0.27
		person	0.12	0.05	0.06	0.03
สถานศึกษา	การใช้น้ำประปา	m^2	1.42	1.07	0.72	0.55
		person	0.04	0.02	0.02	0.01

4.3.6 ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.3.6.1 ดัชนีปริมาณการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม

การศึกษาค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท ดังรูปที่ 4-32 พบว่า กลุ่มอาคารประเภทศูนย์การค้า โรงแรม โรงพยาบาล และซุปเปอร์มาร์เก็ต เป็นกลุ่มประเภทอาคารที่มีค่าดัชนีการเกิดน้ำเสียต่อพื้นที่ใช้งานรวมที่ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มอาคารอื่นๆ ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.5-6 $m^3/m^2/yr$ สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษามีค่าดัชนีการเกิดน้ำเสียต่อพื้นที่ใช้งานรวมอยู่ในช่วง 0.4-2.4 $m^3/m^2/yr$ ส่วนการประเมินค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมจากกิจกรรมการบำบัดน้ำเสียในเฉพาะอาคารที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และการส่งบำบัดกับทางส่วนกลาง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.2-1.6 $kgCO_2eq/m^2/yr$ สำหรับอาคารที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และประมาณ 0.08 $kgCO_2eq$/m2/yr สำหรับอาคารที่มีการส่งบำบัดกับทางส่วนกลาง

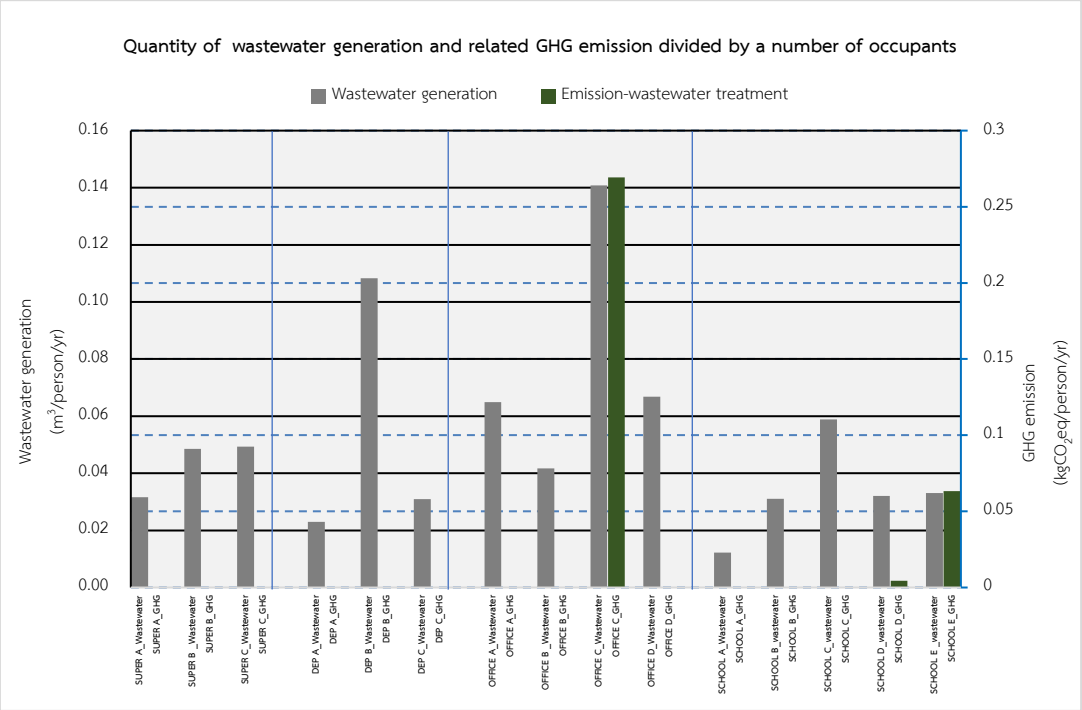


รูปที่ 0-68 ดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมของอาคารแต่ละประเภท

4.3.6.2 ดัชนีปริมาณการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน

ส่วนการศึกษาผลของตัวแปรด้านผู้ใช้งานอาคารเพื่อประเมินค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นสองกราฟตามลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวน ดังรูปที่ 4-33 ที่แสดงถึงค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต ศูนย์การค้า สำนักงาน และสถานศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทนี้หมายถึง จำนวนลูกค้า พนักงานบุคลากร และนักเรียน/นักศึกษา ที่เข้ามาใช้งานอาคารในแต่ละปี โดยผลการคำนวณค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะรายงานออกมาในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี (m^3/person/yr) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคนต่อปี ($kgCO_2eq$/person/yr) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอาคารประเภท ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน และจะเห็นว่าอาคารประเภทสำนักงานกลับมีค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าอาคารประเภทอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.14 m^3/person/yr เนื่องจากว่าอาคารประเภทสำนักงานมีจำนวนผู้ใช้งานอาคาร และปริมาณการเกิดน้ำเสียที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ ส่วนการประเมินค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน

อาคารจากกิจกรรมการบำบัดน้ำเสียโดยในเฉพาะอาคารที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และการส่งบำบัดกับทางส่วนกลาง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.27 $kgCO_2eq/person/yr$ สำหรับอาคารที่มีการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และประมาณ 0.005 $kgCO_2eq/person/yr$ สำหรับอาคารที่มีการส่งบำบัดกับทางส่วนกลาง

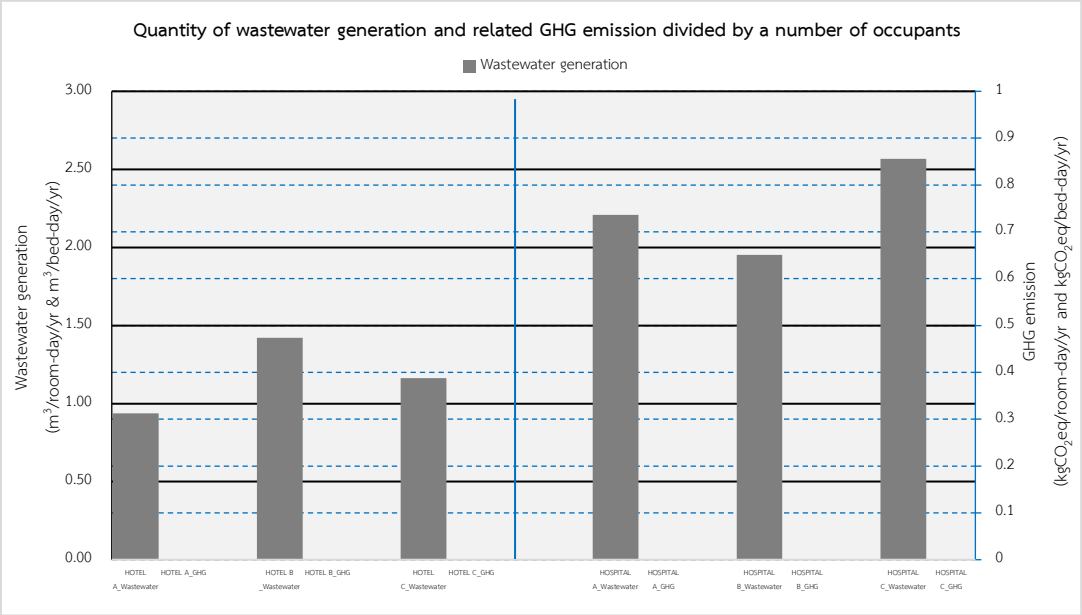


รูปที่ 0-69 ดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (ซุปเปอร์มาเก็ต, ศูนย์การค้า, สำนักงาน และสถานศึกษา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนรูปที่ 4-34 แสดงค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งานของกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล โดยผู้ใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารประเภทนี้จะหมายถึงจำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ และจำนวนผู้ป่วยในที่เข้ามาใช้บริการในแต่ละปี ซึ่งผลการคำนวณค่าดัชนีปริมาณการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารประเภทโรงแรมจะรายงานออกมาในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อห้อง-วันต่อปี ($m^3/room\text{-}day/yr$) และ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อห้อง-วันต่อปี ($kgCO_2eq/room\text{-}day/yr$) ตามลำดับ ส่วนอาคารโรงพยาบาลจะรายงานออกมาในหน่วย ลูกบาศก์เมตร/เตียง-วัน/ปี ($m^3/bed\text{-}day/yr$) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เตียง-วัน/ปี ($kgCO_2eq/bed\text{-}day/yr$) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีการเกิดน้ำเสียต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคารสำหรับอาคารประเภทโรงแรมไม่มีการเปลี่ยนแปลงอันดับ แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคาร

ประเภทเดียวกัน โดยมีค่าดัชนีการเกิดน้ำเสียอยู่ในช่วง 0.9-1.4 m^3/room-day/yr ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาลพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอันดับค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบต่อพื้นที่ใช้งานรวมในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.9-2.5 m^3/bed-day/yr สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนของอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล พบว่าทั้งสองกลุ่มประเภทอาคารมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศซึ่งจะถือว่าไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 0-70 ดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนผู้ใช้งาน (โรงแรม และโรงพยาบาล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการประเมินค่าดัชนีการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตัวแปรทั้ง 2 ด้าน แล้วพบว่า การคำนวนค่าดัชนีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการบำบัดน้ำเสีย จากการประเมินในข้างต้นมีจำนวนข้อมูลไม่เพียงพอในการกำหนดค่าตัวชี้วัด จึงไม่สามารถกำหนดค่าดัชนีโดยเฉลี่ยของการปล่อยการเรือนกระจกในแต่ละประเภทอาคารได้ ดังนั้นในตารางที่ 4-9 จึงแสดงเฉพาะค่าดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการเกิดน้ำเสีย ที่สามารถรวบรวมตัวชี้วัดในหน่วยต่างๆทั้งต่อพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานของอาคารแต่ละประเภท

ตารางที่ 0-36 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการเกิดน้ำเสียในอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการเกิดน้ำเสีย		
		Unit	QTY.-Mean (m^3/unit/yr)	QTY.-SD
ซุปเปอร์มาร์เก็ต	การเกิดน้ำเสีย	m^2	2.15	0.41
		person	0.04	0.01
ศูน์การค้า	การเกิดน้ำเสีย	m^2	4.33	1.67
		person	0.05	0.05
โรงแรม	การเกิดน้ำเสีย	m^2	2.68	1.32
		room-day	1.17	0.24
โรงพยาบาล	การเกิดน้ำเสีย	m^2	2.47	0.49
		bed-day	2.24	0.31
สำนักงาน	การเกิดน้ำเสีย	m^2	0.66	0.16
		person	0.08	0.04
สถานศึกษา	การเกิดน้ำเสีย	m^2	1.20	0.86
		person	0.03	0.02

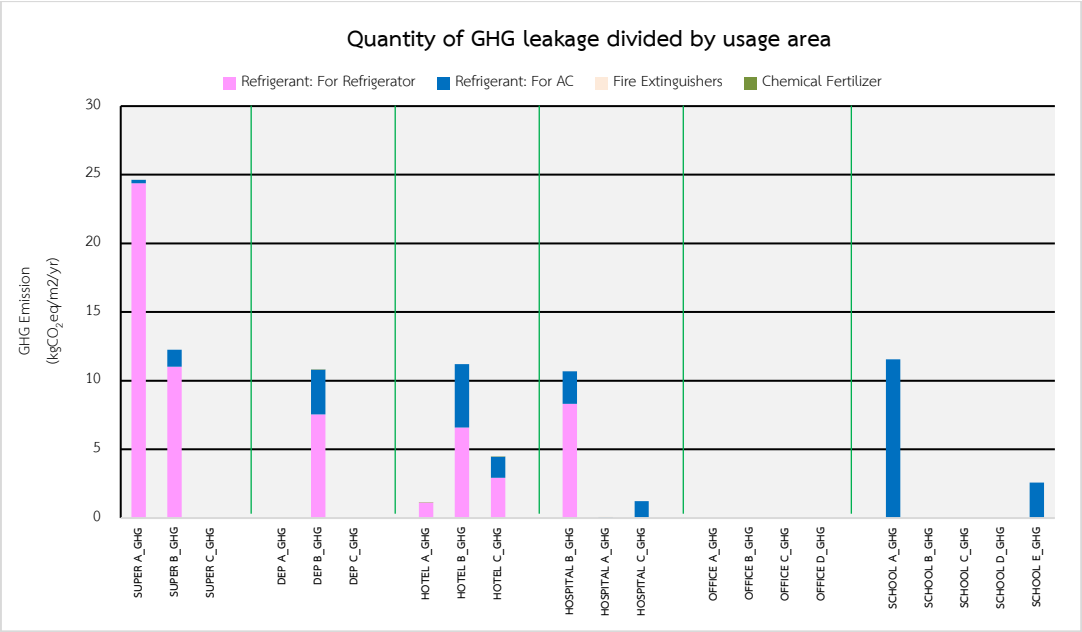
4.3.7 ดัชนีด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก

สำหรับการศึกษาค่าดัชนีด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก จะทำการคำนวณต่อเฉพาะด้านพื้นที่ใช้งานซึ่งได้แก่ พื้นที่ใช้งานรวม และพื้นที่ปรับอากาศ เนื่องจากกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลส่วนใหญ่มาจากระบบ หรือองค์ประกอบที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอาคาร

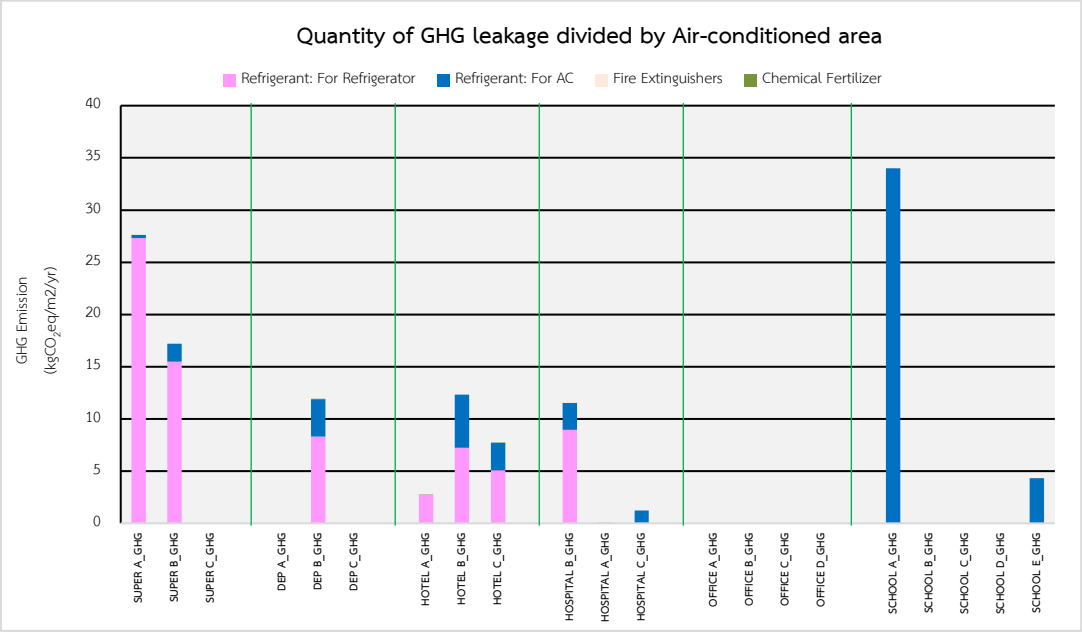
4.3.7.1 ดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งาน

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-35 พบว่าอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ตมีค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวมสูงที่สุด โดยส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ ซึ่งคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนอยู่ในช่วง 13-25 $kgCO_2eq/m^2/yr$ รองลงมาเป็นอาคารประเภทสถานศึกษาที่มีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ และอาคาประเภทศูนย์การค้า โรงแรม และโรงพยาบาลตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 0-71 ดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม



รูปที่ 0-72 ดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ปรับอากาศ

ส่วนในรูปที่ 4-36 แสดงค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ปรับอากาศ เนื่องจากกิจกรรมส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซเรือน

กระจกมาจากการใช้สารทำความเย็นทั้งในระบบตู้แช่ และระบบปรับอากาศ โดยผลการศึกษาพบว่าอาคารสถานศึกษา มีค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ปรับอากาศสูงที่สุด ซึ่งการปล่อยส่วนใหญ่มาจากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศเป็นหลักที่คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 5- 35 $kgCO_2eq/m^2/yr$ รองลงมาเป็นอาคารประเภท ซุปเปอร์มาร์เก็ต ศูนย์การค้า โรงแรม และโรงพยาบาล ตามลำดับ

จากการประเมินค่าดัชนีด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกต่อตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งานแล้ว สามารถรวบรวมตัวชี้วัดในหน่วยต่อพื้นที่ใช้งาน ทั้งพื้นที่ใช้งานรวม และพื้นที่ปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4-10

ตารางที่ 0-37 ดัชนีโดยเฉลี่ยของตัวชี้วัดด้านการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก		
		Unit	GHG.-Mean ($kgCO_2eq/unit/yr$)	GHG.-SD
ซุปเปอร์มาร์เก็ต	การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	m^2	0.50	0.64
		$AC\text{-}m^2$	0.68	0.92
	การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่	m^2	11.80	12.20
		$AC\text{-}m^2$	14.27	13.70
	การใช้สารดับเพลิง	m^2	1.2E-03	2.1E-03
	การใช้ปุ๋ยเคมี	m^2	0	0
ศูนย์การค้า	การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	m^2	1.09	1.89
		$AC\text{-}m^2$	1.20	2.08
	การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่	m^2	2.51	4.35
		$AC\text{-}m^2$	2.77	4.80
	การใช้สารดับเพลิง	m^2	3E-03	3E-03
	การใช้ปุ๋ยเคมี	m^2	4E-05	6E-05
โรงแรม	การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	m^2	2.05	2.35
		$AC\text{-}m^2$	2.57	2.54
	การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่	m^2	3.56	2.78
		$AC\text{-}m^2$	5.03	2.24
	การใช้สารดับเพลิง	m^2	5.5E-04	5.1E-04
	การใช้ปุ๋ยเคมี	m^2	2.8E-03	2.5E-03
โรงพยาบาล	การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	m^2	1.22	1.16
		$AC\text{-}m^2$	1.29	1.25
	การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่	m^2	2.77	4.80
		$AC\text{-}m^2$	2.99	5.17
	การใช้สารดับเพลิง	m^2	8.8E-04	8.7E-04
	การใช้ปุ๋ยเคมี	m^2	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทอาคาร	กิจกรรม	ดัชนีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก		
		Unit	GHG.-Mean ($kgCO_2eq/unit/yr$)	GHG.-SD
สำนักงาน	การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	m^2	0	0
		AC-m^2	0	0
	การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่	m^2	0	0
		AC-m^2	0	0
	การใช้สารดับเพลิง	m^2	0	0
	การใช้ปุ๋ยเคมี	m^2	0	0
สถานศึกษา	การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	m^2	2.83	5.01
		AC-m^2	7.66	14.85
	การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่	m^2	0	0
		AC-m^2	0	0
	การใช้สารดับเพลิง	m^2	0	0
	การใช้ปุ๋ยเคมี	m^2	0	0

4.3.8 สรุปดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการใช้งานในแต่ละประเภทอาคาร

จากการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่กิจกรรม หรือในแต่ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานในอาคารแต่ละประเภท พบว่าอาคารทั้ง 6 ประเภทมีกิจกรรมการใช้พลังงานเพื่อวัตถุประสงค์ที่หลากหลายในแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร การกำหนดค่าดัชนีในแต่ละตัวชี้วัดให้มีความเหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารจึงมีความสำคัญมาก ดังนั้นการคัดเลือกดัชนีที่เหมาะสม และคลอบคลุมกิจกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านของอาคารแต่ละประเภทจึงพิจารณาจากกิจกรรมที่มีปริมาณการใช้งานที่มาก หรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นอันดับแรก รองลงมาคือการพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้รับความนิยมว่านิยมใช้ค่าดัชนีใดรวมถึงการพิจารณาถึงความสอดคล้องของค่าดัชนีต่อตัวแปรที่ศึกษาด้วย ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถสรุปดัชนีที่เหมาะสมสำหรับอาคารแต่ละประเภท โดยเรียงตามกิจกรรมการใช้งานอาคารที่เกิดขึ้นในแต่ละด้าน ดังนี้

1) การกำหนดดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารแต่ละประเภท พบว่า ควรพิจารณาจากกิจกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่มาก รวมถึงวัตถุประสงค์ของการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลว่าถูกใช้ไปเพื่อกิจกรรมใดบ้าง เช่น ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการประกอบอาหารของอาคาร

แต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับปริมาณผู้ใช้งานอาคาร ดังนั้น การกำหนดหน่วยของตัวชี้วัดสำหรับกิจกรรมนี้ควรพิจารณาออกมาในหน่วยของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการประกอบอาหารต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคาร เป็นต้น ส่วนกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตความร้อน/ไอน้ำ การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน และการปั๊มน้ำดับเพลิง เป็นกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีวัตถุประสงค์เพื่อระบบโครงสร้างพื้นฐานของอาคาร ดังนั้นการกำหนดหน่วยของตัวชี้วัดสำหรับกิจกรรมเหล่านี้ควรพิจารณาออกมาในหน่วยของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานรวม

2) การกำหนดดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยทั่วไปแล้วตามมาตรฐานที่ได้รับความนิยมจะทำการศึกษาต่อตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งาน ทั้งพื้นที่ใช้งานรวมและพื้นที่ปรับอากาศ รวมถึงด้านจำนวนผู้ใช้งานสำหรับอาคารบางประเภท โดยจะแบ่งค่าดัชนีตามกิจกรรม หรือระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาก เพื่อให้ครอบคุมกับกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทมากที่สุด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้สามารถแบ่งกิจกรรมหรือระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆแต่ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ในอาคารแต่ละประเภทไม่สามารถระบุกิจกรรมการใช้งานที่แน่นอนได้ ดังงนั้นการกำหนดค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงพิจารณาออกมาในรูปแบบการใช้พลังงานรวม และการใช้แบ่งตามระบบ ซึ่งได้แก่ระบบปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง เท่านั้น

3) การกำหนดดัชนีการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าจากการศึกษาต่อตัวแปรทั้งด้านพื้นที่ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานแล้ว การกำหนดตัวชี้วัดด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท ควรจะพิจารณาถึงองค์ประกอบของขยะ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีสัดส่วนมาก รวมถึงแหล่งที่มาของการเกิดขยะมูลฝอยแต่ละประเภทว่ามาจากแหล่งใดบ้าง ซึ่งจากการประเมินในข้างต้นพบว่าขยะมูลฝอยประเภท กระดาษ เศษอาหาร และพลาสติกเป็นประเภทขยะที่มีสัดส่วนค่อนข้างมากในอาคารแต่ละประเภท และส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากผู้ใช้งานอาคารที่เข้ามาใช้บริการ ดังนั้น การกำหนดหน่วยของตัวชี้วัดด้านการเกิดขยะมูลฝอยนอกจากจะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พิจารณาออกมารูปแบบของปริมาณขยะ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบรวมต่อจำนวนผู้ใช้งานแล้ว ควรจะพิจารณาแบบแยกตามองค์ประกอบของขยะต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคารด้วย

4) การกำหนดดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าโดยทั่วไปแล้วตามมาตรฐานที่ได้รับความนิยม จะกำหนดตัวชี้วัดด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท โดยจะพิจารณาต่อตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานอาคาร เนื่องจากการใช้น้ำประปาส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งจำนวนผู้ใช้งานอาคารจะเป็นตัวกำหนดปริมาณความต้องการใช้น้ำ ในอาคารแต่ละประเภท แต่อย่างไรก็

5) การกำหนดดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าควรจะพิจารณาต่อตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานเช่นเดียวกับการใช้น้ำประปา เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในอาคารแต่ละประเภท จะเกิดจากการใช้น้ำประปาในแต่ละกิจกรรมของผู้ใช้งาน

6) การกำหนดค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก พบว่าจากการประเมินค่าดัชนีในข้างต้น กิจกรรมการรั่วไหลส่วนใหญ่เกิดจาก กิจกรรมการใช้สารทำความเย็น ทั้งในระบบตู้แช่ และระบบปรับอากาศ ดังนั้นการกำหนดค่าดัชนีจึงควรพิจารณาต่อตัวแปรด้านพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ปรับอากาศ ของอาคารแต่ละประเภท

โดยในตารางที่ 4-11 ถึง 4-16 จะสรุปดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการใช้งานในแต่ละประเภทอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 0-38 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต

ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต						
กิจกรรมและชื่อดัชนี		**QTY.-Mean**	**QTY.-SD**	**Std.**	**GHG-Mean**	**GHG-SD**
ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	Unit	(MJ/unit/yr)		(MJ/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	1.46	0.29	N/A	0.09	0.02
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการประกอบอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	1.42	0.27	N/A	0.09	0.02
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	1.29	0.88	N/A	0.10	0.07
ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	Unit	(kWh/unit/yr)		(kWh/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	308.95	79.01	336.4[a]	174.99	44.75
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	195.25	49.42	144.4[a]	110.59	27.99
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	48.32	17.61	56.3[a]	27.37	9.97
ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดขยะมูลฝอยรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.47	0.29	N/A	1.22	0.75
การเกิดขยะมูลประเภทเศษอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.16	0.10	N/A	0.41	0.26
การเกิดขยะมูลประเภทกระดาษ และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.13	0.08	N/A	0.31	0.18
การเกิดขยะมูลประเภทพลาสติก และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.16	0.10	N/A	0.46	0.28
ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา	Unit	(m3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้น้ำประปา และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.05	0.01	0.05-0.15[b]	0.03	0.01
ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดน้ำเสีย และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.04	0.01	N/A	-	-
ดัชนีด้านการรั่วไหลของ GHG	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	-	-	N/A	14.27	13.70
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	-	-	N/A	0.68	0.92

หมายเหตุ:

[a] = การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2550

[b] = เกณฑ์ความต้องการใช้น้ำในอาคารประเภทพานิชยกรรม ปรับปรุงจาก Babbitt et al (1962) โดยสำนักวิศวกรรมผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง

CHULALONGKORN UNIVERS

ตารางที่ 0-39 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทศูนยการค้า

ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทศูนยการค้า						
กิจกรรมและชื่อดัชนี		**QTY.-Mean**	**QTY.-SD**	**Std.**	**GHG-Mean**	**GHG-SD**
ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	Unit	(MJ/unit/yr)		(MJ/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	1.83	1.25	N/A	0.11	0.08
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการประกอบอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	1.83	1.25	N/A	0.11	0.08
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	0.54	0.47	N/A	0.04	0.04
ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	Unit	(kWh/unit/yr)		(kWh/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m2	317.80	80.72	240.6[a]	180.00	45.72
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	118.41	38.35	144.4[a]	67.07	21.72
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m2	54.85	24.64	56.3[a]	31.07	13.96
ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดขยะมูลฝอยรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.30	0.09	N/A	0.80	0.25
การเกิดขยะมูลประเภทเศษอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.13	0.03	N/A	0.33	0.08
การเกิดขยะมูลประเภทกระดาษ และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.10	0.04	N/A	0.31	0.11
การเกิดขยะมูลประเภทพลาสติก และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.06	0.02	N/A	0.13	0.05
ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้น้ำประปา และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.06	0.06	0.05[b]	0.03	0.03
ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดน้ำเสีย และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.05	0.05	N/A	-	-
ดัชนีด้านการรั่วไหลของ GHG	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	N/A	-	-	2.77	4.80
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	N/A	-	-	1.20	2.08

หมายเหตุ:

[a] = การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทศูนย์การค้า โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2550

[b] = เกณฑ์ความต้องการใช้น้ำในอาคารประเภทพานิชยกรรม ปรับปรุงจาก Babbitt et al (1962) โดยสำนักวิศวกรรมผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 0-40 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม

ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม						
กิจกรรมและชื่อดัชนี		**QTY.-Mean**	**QTY.-SD**	**Std.**	**GHG-Mean**	**GHG-SD**
ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	Unit	(MJ/unit/yr)		(MJ/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	390.93	161.09	N/A	24.21	9.97
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	173.79	28.13	N/A	10.76	1.74
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการประกอบอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	66.67	24.42	N/A	4.13	1.51
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับระบบทำความร้อน/ไอน้ำต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	233.76	60.94	N/A	14.47	3.77
ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	Unit	(kWh/unit/yr)		(kWh/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	190.43	76.26	217[a]	107.86	43.19
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	84.85	9.12	N/A	48.06	5.16
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	165.17	8.95	N/A	93.55	5.07
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m2	25.46	14.28	N/A	14.42	8.09
ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดขยะมูลฝอยรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	0.93	0.25	N/A	2.41	0.63
การเกิดขยะมูลประเภทเศษอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	0.48	0.09	N/A	1.21	0.23
การเกิดขยะมูลประเภทกระดาษ และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	0.26	0.06	N/A	0.75	0.17
การเกิดขยะมูลประเภทพลาสติก และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	0.10	0.05	N/A	0.22	0.11
ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้น้ำประปา และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	1.42	0.25	0.5-1.5[b]	0.72	0.13
ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดน้ำเสีย และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	room-day	1.17	0.24	N/A	-	-
ดัชนีด้านการรั่วไหลของ GHG	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	-	-	N/A	2.99	5.17
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m2	-	-	N/A	1.29	1.25

หมายเหตุ:

[a] = การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานสุทธิจากแบบจำลองของอาคารประเภทโรงแรม โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2554

[b] = เกณฑ์ความต้องการใช้น้ำในอาคารประเภทโรงแรม ปรับปรุงจาก Babbitt et al (1962) โดยสำนักวิศวกรรมผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 0-41 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงพยาบาล

ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงพยาบาล						
กิจกรรมและชื่อดัชนี		**QTY.-Mean**	**QTY.-SD**	**Std.**	**GHG-Mean**	**GHG-SD**
ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	Unit	(MJ/unit/yr)		(MJ/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	77.82	101.43	N/A	4.83	6.29
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	80.55	108.46	N/A	5.00	6.72
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการประกอบอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	18.91	2.49	N/A	3.77	6.53
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับระบบทำความร้อน/ไอน้ำต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	56.31	97.53	N/A	3.49	6.04
ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	Unit	(kWh/unit/yr)		(kWh/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	193.05	62.84	244[a]	109.35	35.59
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	175.91	51.69	N/A	99.64	29.28
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	109.99	34.04	N/A	62.30	19.28
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	39.78	20.58	N/A	22.53	11.66
ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดขยะมูลฝอยรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	4.31	2.35	N/A	11.32	6.19
การเกิดขยะมูลประเภทเศษอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	1.02	0.43	N/A	2.58	1.10
การเกิดขยะมูลประเภทกระดาษ และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	1.85	1.12	N/A	5.42	3.27
การเกิดขยะมูลประเภทพลาสติก และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	1.17	0.61	N/A	2.72	1.42
ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้น้ำประปา และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	2.90	0.18	0.3-1.0[b]	1.47	0.09
ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดน้ำเสีย และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	bed-day	2.24	0.31	N/A	-	-
ดัชนีด้านการรั่วไหลของ GHG	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	-	-	N/A	2.99	5.17
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	-	-	N/A	1.29	1.25

หมายเหตุ:

[a] = การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานสุทธิจากแบบจำลองของอาคารประเภทโรงพยาบาล โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2554

[b] = เกณฑ์ความต้องการใช้น้ำในอาคารประเภทสถานพยาบาล ปรับปรุงจาก Babbitt et al (1962) โดยสำนักวิศวกรรมผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 0-42 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงาน

ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสำนักงาน						
กิจกรรมและชื่อดัชนี		**QTY.-Mean**	**QTY.-SD**	**Std.**	**GHG-Mean**	**GHG-SD**
ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	Unit	(MJ/unit/yr)		(MJ/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	2.62	3.84	N/A	0.18	0.25
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการประกอบอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.25	0.50	N/A	0.02	0.03
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	0.88	0.45	N/A	0.07	0.03
ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	Unit	(kWh/unit/yr)		(kWh/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	147.02	70.43	209.90[a]	80.63	39.90
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	101.47	23.48	135.32[a]	57.47	13.30
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	14.62	1.44	28.53[a]	8.28	0.82
ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดขยะมูลฝอยรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.19	0.11	N/A	0.53	0.30
การเกิดขยะมูลประเภทเศษอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.01	0.01	N/A	0.04	0.02
การเกิดขยะมูลประเภทกระดาษ และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.15	0.08	N/A	0.43	0.24
การเกิดขยะมูลประเภทพลาสติก และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.03	0.01	N/A	0.06	0.03
ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา	Unit	(m3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้น้ำประปา และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.12	0.05	0.095-0.10[b]	0.06	0.026609163
ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดน้ำเสีย และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.08	0.04	N/A	-	-

หมายเหตุ:

[a] = การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2550

[b] = เกณฑ์ความต้องการใช้น้ำในอาคารประเภทสำนักงาน ปรับปรุงจาก Babbitt et al (1962) โดยสำนักวิศวกรรมผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 0-43 ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสถานศึกษา

ดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทสถานศึกษา						
กิจกรรมและชื่อดัชนี		**QTY.-Mean**	**QTY.-SD**	**Std.**	**GHG-Mean**	**GHG-SD**
ดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	Unit	(MJ/unit/yr)		(MJ/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	1.11	0.80	N/A	0.07	0.05
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการประกอบอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	1.11	0.80	N/A	0.07	0.05
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	0.02	0.06	N/A	0.00	0.00
ดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า	Unit	(kWh/unit/yr)		(kWh/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	49.18	36.22	94.0[a]	26.59	20.52
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	46.96	20.89	N/A	26.60	11.83
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง และการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ใช้งานรวม	m^2	5.92	3.33	N/A	3.35	1.88
ดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดขยะมูลฝอยรวม และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.03	0.02	N/A	0.08	0.06
การเกิดขยะมูลประเภทเศษอาหาร และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.010	0.008	N/A	0.026	0.020
การเกิดขยะมูลประเภทกระดาษ และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.010	0.007	N/A	0.030	0.021
การเกิดขยะมูลประเภทพลาสติก และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.008	0.004	N/A	0.017	0.009
ดัชนีด้านการใช้น้ำประปา	Unit	(m^3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การใช้น้ำประปา และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.040	0.021	N/A	0.020	0.011
ดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย	Unit	(m3/unit/yr)		(m^3/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การเกิดน้ำเสีย และการปล่อย GHG ต่อจำนวนผู้ใช้งาน	person	0.03	0.02	N/A	-	-
ดัชนีด้านการรั่วไหลของ GHG	Unit	(kg/unit/yr)		(kg/unit/yr)	($kgCO_2eq$/unit/yr)	
การรั่วไหลของ GHG จากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศ	AC-m^2	-	-	N/A	7.66	14.85

หมายเหตุ:

[a] = การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษา โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2550

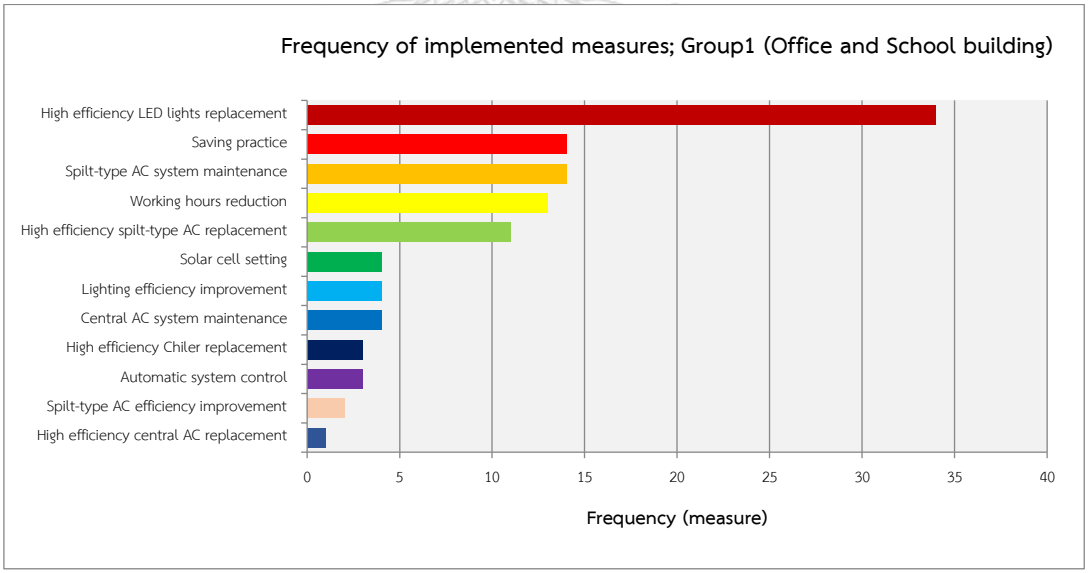
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4 มาตรการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ดังนั้นเพื่อเป็นเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า การศึกษาในครั้งนี้จึงได้ศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารแต่ละประเภท เพื่อประเมินศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละมาตรการ รวมไปถึงการนำแนวคิดทางด้านเศษรฐศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือที่เรียกว่า GHG Abatement Cost โดยอาศัยหลักการการวิเคราะห์ Marginal Abatement Cost (MAC Method) เพื่อเสนอมาตรการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม (ลงทุนต่ำแต่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง) สำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารประเภทต่างๆ

4.4.1 มาตรการลดการใช้พลังงานสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

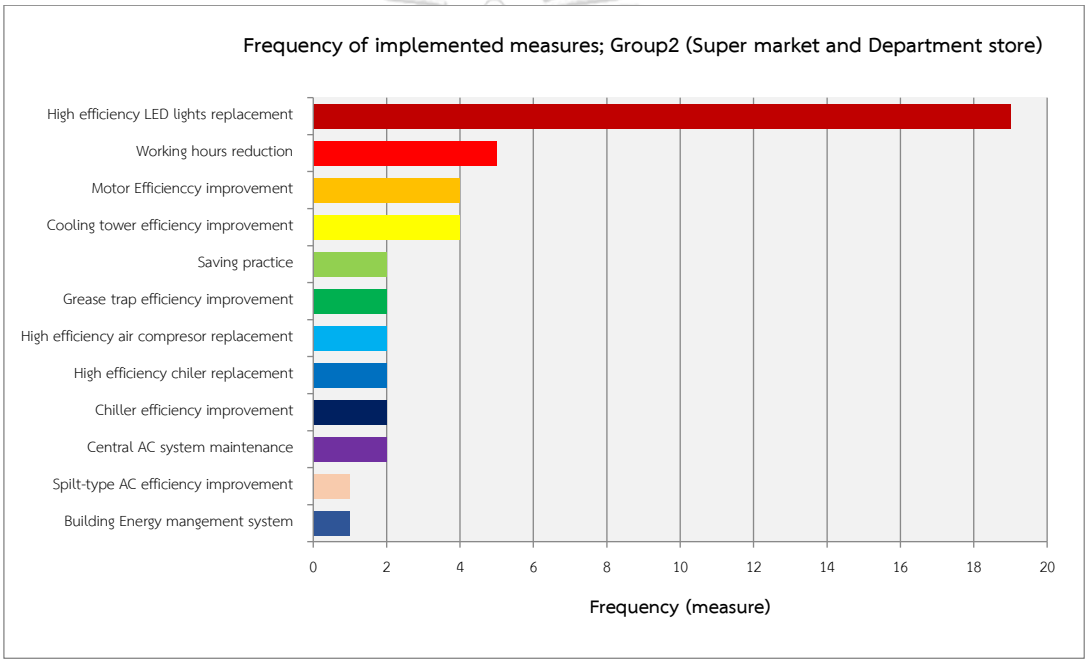
จากการศึกษามาตรการการลดใช้พลังงานในอาคารประเภทต่างๆ พบว่ามีการดำเนินมาตรการที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากอาคารแต่ละประเภทมีกิจกรรมการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปมาตรการที่ดำเนินการในแต่ละประเภทอาคารได้ดังนี้



รูปที่ 0-73 มาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา

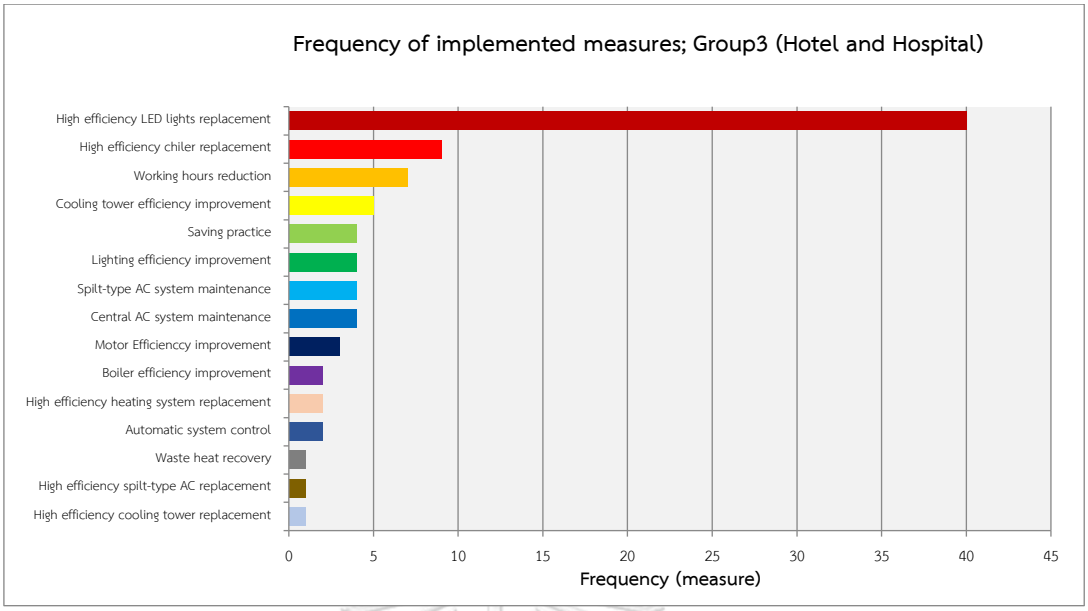
รูปที่ 4-37 แสดงให้เห็นว่าในอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา มีการดำเนินมาตรการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED รองลงมาเป็นการปรับปรุงพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคาร การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน การลดชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า และการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง เป็นต้น

และรูปที่ 4-38 ก็แสดงให้เห็นว่าในอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ต และศูนย์การค้า มีมาตรการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED เช่นกัน รองลงมาเป็นการลดชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า การปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ การปรับปรุงประสิทธิภาพของหอหล่อเย็น และการปรับปรุงพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคาร เป็นต้น



รูปที่ 0-74 มาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาเก็ต และศูนย์การค้า

ส่วนรูปที่ 4-39 แสดงมาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล พบว่ามาตรการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดก็คือ การเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED เช่นกัน รองลงมาเป็นการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง การลดชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า การปรับปรุงประสิทธิภาพของหอหล่อเย็น การปรับปรุงพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคาร และการปรับปรุงประสิทธิภาพของหลอดไฟ เป็นต้น



รูปที่ 0-75 มาตรการลดการใช้พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล

4.4.2 การศึกษาต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารแต่ละประเภท

ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร โดยปกติแนวคิดในการประเมินความเป็นไปได้ของมาตรการประหยัดพลังงานคือการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินการของแต่ละมาตราการกับผลประโยชน์ที่ได้รับจากการประหยัดพลังงาน ซึ่งหากผลประโยชน์สูงกว่าค่าใช้จ่ายจะถือว่ามาตรการดังกล่าวมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาตรการการอนุรักษ์พลังงานของกลุ่มอาคารควบคุมที่มีการดำเนินการในช่วงปี พ.ศ.2557 ถึง 2559 จำนวนทั้งหมด 97 แห่ง ซึ่งแบ่งเป็น

- อาคารประเภทสำนักงาน จำนวน 24 แห่ง
- อาคารประเภทสถานศึกษา จำนวน 26 แห่ง
- อาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต จำนวน 8 แห่ง
- อาคารประเภทศูนย์การค้า จำนวน 11 แห่ง
- อาคารประเภทโรงแรม จำนวน 15 แห่ง
- อาคารประเภทโรงพยาบาล จำนวน 13 แห่ง

โดยสามารถรวบรวมมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้จำนวนทั้งหมด 242 มาตรการ และแบ่งกลุ่มมาตรการได้เป็น 22 กลุ่ม ดังในตารางที่ 4-17 ถึง 4-19 ซึ่งแสดงการวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารแต่ละประเภท

ตารางที่ 0-44 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานและสถานศึกษา

Measure name	EnR (kWh/yr)	ER ($kgCO_2eq/yr$)	EnRI (kwh/m^2)	ERI ($kgCO_2eq/m^2$)	EnROI (kWh/USD)	EROI ($kgCO_2eq/USD$)	Life time (yrs)	EAC (USD/yr)	GHG abatement cost ($USD/kgCO_2eq$)
Saving practice	735,114	416,368	1.81	1.03	N/A	N/A	N/A	0	-0.268
Working hours reduction	794,360	449,925	1.90	1.08	N/A	N/A	N/A	0	-0.268
Central AC system maintenance	537,655	304,528	5.32	3.01	417.35	236.39	20	1,288	-0.264
Spilt-type AC system maintenance	1,860,064	1,053,540	5.58	3.16	163.13	92.40	15	11,402	-0.258
Automatic system control	47,511	26,910	1.29	0.73	99.39	56.29	10	478	-0.251
Spilt-type AC efficiency improvement	45,683	25,875	3.50	1.98	79.47	45.01	15	575	-0.246
High efficiency LED lights replacement	3,340,575	1,892,102	5.53	3.13	31.34	17.75	8	106,582	-0.212
Lighting efficiency improvement	45,550	25,799	1.49	0.84	22.96	13.01	10	1,984	-0.191
High efficiency spilt-type AC replacement	1,640,071	928,936	12.89	7.30	15.59	8.83	15	105,220	-0.155
High efficiency chiler replacement	773,847	438,307	26.91	15.24	10.34	5.86	20	74,828	-0.098
Solar cell setting	286,347	163,017	13.79	7.85	7.35	4.18	25	38,963	-0.028
High efficiency central AC replacement	150,664	85,336	30.57	17.31	5.27	2.98	20	28,595	0.067
Total	10,257,440	5,810,645	110.59	62.68					

หมายเหตุ:

EnR = Energy consumption reduction

ER = GHG emission reduction

EnRI = Average reduction in energy intensity by building area

ERI = Average reduction in GHG emission intensity by building area

EAC = Equivalent annual investment cost allocated over the measure's life time with a discount rate 7 % (source: Bank of Thailand, 2561)

EnROI = Energy consumption reduction on investment cost

EROI = GHG emission reduction on investment cost

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา (Energy consumption and GHG emission reduction: EnR and ER)</u>

ดังในตารางที่ 4-17 ผลการศึกษาพบว่า จากการดำเนินมาตรการของอาคารตัวแทนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมได้ทั้งหมด 10,257 MWh/yr คิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมทั้งหมด 5,810 tonCO_2eq/yr โดยมาตรการที่สามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกมากที่สุด คือ กลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED (High efficiency LED lights replacement) รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC system maintenance) และกลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง (High efficiency spilt-type AC replacement) ซึ่งคิดเป็นการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมร้อยละ 32 ร้อยละ 18 และร้อยละ 15 ของปริมาณพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ทั้งหมดในกลุ่มอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา ตามลำดับ เนื่องจากมาตรการดังกล่าวเป็นประเภทมาตรการที่นิยมดำเนินการในกลุ่มอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-37 อีกทั้งการดำเนินมาตรการเป็นการบำรุงรักษา และการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงจึงทำให้สามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมที่มากตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงต้นทุนที่ใช้ไปสำหรับการดำเนินมาตรการในกลุ่มดังกล่าวด้วย ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มมาตรการอื่นๆ ทั้งกลุ่มมาตรการที่มีการลงทุนและไม่มีการลงทุน

<u>ศักยภาพการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา (Reduction in energy intensity and carbon intensity: EnRI and ERI)</u>

ผลการคำนวนดังแสดงในตารางที่ 4-17 พบว่ากลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้ระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวมประสิทธิภาพสูง (High efficiency central AC replacement) มีค่า EnRI และ ERI สูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High efficiency chiler replacement) และกลุ่มมาตรการการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell setting) ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มมาตรการดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EnR and ER) ได้ค่อนข้างสูง แต่ยังเป็นประเภทมาตรการที่ไม่นิยมดำเนินการในอาคารกลุ่มสำนักงานและสถานศึกษา ซึ่งหากพิจารณาแล้วจะพบว่าเป็นกลุ่มมาตรการที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับมาตรการอื่นๆ ในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน

<u>การวิเคราะห์ด้านเศษรฐศาสตร์ของการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา (Economic analysis of energy conservation measures)</u>

ผลการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมต่อต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินมาตรการหรือ ค่าพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ต่อต้นทุน (Energy consumption and GHG emission reduction on investment cost: EnROI and EROI) ดังแสดงในตารางที่ 4-17 พบว่ามีมาตรการ 2 กลุ่มที่ไม่มีการใช้ต้นทุนในรูปของเงินลงทุนเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent annual investment costs (EAC) ได้แก่ กลุ่มมาตราการลดชั่วโมงการใช้งาน (Working hours

reduction) และกลุ่มมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน (Saving practice) ซึ่งพบว่าทั้ง 2 กลุ่มมาตรการนี้มีความสามารถในการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม (EnR และ ER) อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มมาตรการลดชั่วโมงการใช้งานสามารถลดการใช้พลังงานได้เท่ากับ 794 MWh/yr คิดเป็นปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 449 tonCO_2eq/yr ส่วนกลุ่มมาตรการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งานอาคารสามารถลดการใช้พลังงานได้เท่ากับ 735 MWh/yr และคิดเป็นปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 416 tonCO_2eq/yr ซึ่งหากพิจารณาค่า EnRI และ ERI จะเห็นว่าทั้ง 2 กลุ่มมาตรการที่ไม่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตรการนี้มีศักยภาพในการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มมาตรการที่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตรการ และหากพิจาณาเป็นรายมาตรการจะพบว่ามาตราที่ไม่มีการใช้ต้นทุนจะเป็นมาตรการขนาดเล็กซึ่งมีศักยภาพในการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับมาตรการที่ต้องมีการลงทุนในการดำเนินมาตรการ

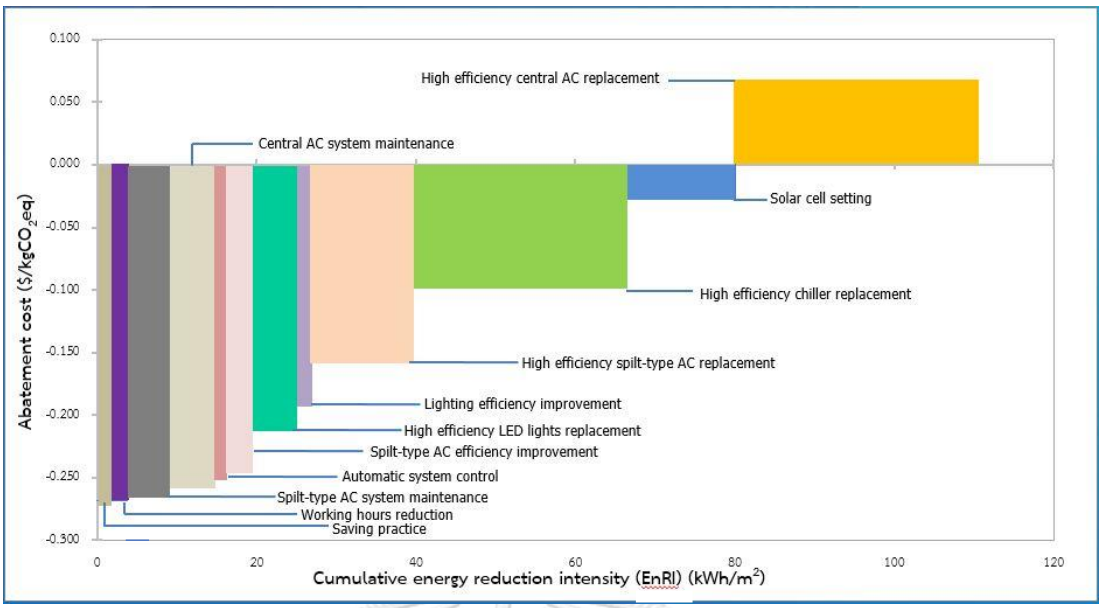
สำหรับกลุ่มมาตรการมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการดำเนินมาตรการ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-17 พบว่าการดำเนินมาตรการในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษามีค่า EnROI และมีค่า EROI อยู่ในช่วง 5.27-417.35 kwh/USD และ 2.98-236.39 kgCO_2eq/USD ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มมาตรการที่มีค่า EnROI และ EROI สูงที่สุดคือ กลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม (Central AC system maintenance) รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC system maintenance) และกลุ่มมาตรการการใช้ระบบความคุมอัตโนมัติ (Automatic system control) โดยมีค่า EnROI เท่ากับ 417.35, 163.13 และ 99.39 kWh/USD และค่า EROI เท่ากับ 236.39, 92.40 และ 56.29 kgCO_2eq/USD ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มมาตรการดังกล่าวมีสัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการต่อค่าพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ต่ำกว่ากลุ่มมาตรการอื่นๆ ที่มีการลงทุนหรือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการ แต่อย่างไรก็ตามมาตรการกลุ่มดังกล่าวหากพิจารณาถึงค่า EnRI และ ERI ก็ยังถือว่ามีค่าที่ต่ำอยู่เมื่อเทียบกับมาตรการอื่นๆ ในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน

จากผลการคำนวนต้นทุนการลดการก๊าซปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG abatement cost) และค่าการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งาน (EnRI and ERI) ของกลุ่มอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา จึงได้นำข้อมูลผลการคำนวนณดังกล่าวมาสร้างกราฟต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ GHG marginal abatement cost curve เพื่อประเมินค่าศักยภาพการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังในรูปที่ 4-36 จะแสดงกราฟต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา โดยแกนแนวนอนในรูปที่ 4-36(ก) และ (ข) คือ ปริมาณพลังงานที่ลดได้สะสม (Cumulative energy saving) หรือผลรวม

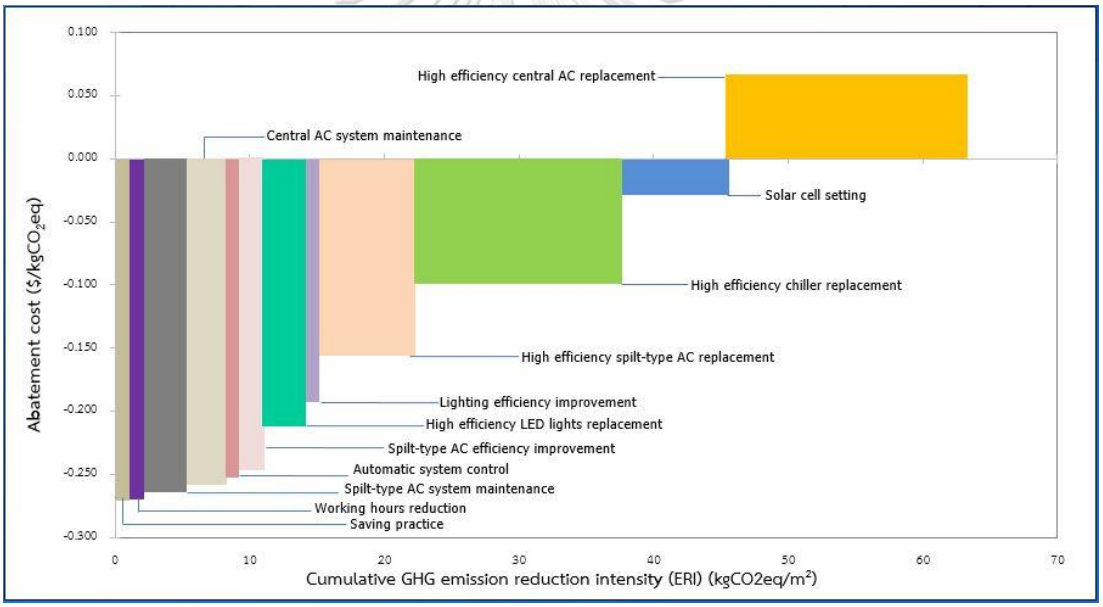
ของค่า EnRI ในหน่วย kWh/m^2 และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้สะสม (Cumulative emission reduction) หรือผลรวมของค่า ERI ในหน่วย $kgCO_2eq/m^2$ ตามลำดับ ส่วนในแกนแนวตั้ง คือ ค่าต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในหน่วย USD/tonCO_2eq ซึ่งหากมาตรการใดมีค่า GHG abatement cost ติดลบ (ผลประโยชน์จากการประหยัดพลังงานมากกว่าต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) จะถือว่าเป็นมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ โดยในรูปที่ 4-40(ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษามีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม จากการดำเนินมาตรการทุกมาตราการ เท่ากับ 110.5 kWh/m^2 และ 62.6 $kgCO_2eq/m^2$ ตามลำดับ ส่วนหากพิจารณาเฉพาะมาตรการที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Abatement cost เป็นบวก) จะมีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมเท่ากับ 80.02 kWh/m^2 และ 45.37 $kgCO_2eq/m^2$ นอกจากนี้ในรูปที่ 4-40 ยังแสดงให้เห็นว่าเกือบทุกมาตรการมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน มาตรการการลดชั่วโมงใช้งาน และการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม ซึ่งเป็นมาตรการที่ควรพิจารณาในการดำเนินการเป็นอันดับต้นๆ รวมไปถึงมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High efficiency chiller replacement) การเปลี่ยนมาใช้เครื่องเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง (High efficiency spilt-type AC replacement) และการเปลี่ยนหลอดมาใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED (High efficiency LED lights replacement) ซึ่งหากมองในมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแล้ว จะเห็นว่ามาตรการเหล่านี้นอกจากจะมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการแล้ว ยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงอีกด้วย แต่ยกเว้นมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวมประสิทธิภาพสูง (High efficiency central AC replacement) ที่มีค่า GHG abatement cost เป็นบวก ซึ่งหมายความว่ามาตรการนี้ไม่มีผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสต์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการ แต่หากมองในด้านสิ่งแวดล้อมจะเห็นว่ามาตรการนี้มีศักยภาพค่อนข้างสูงในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

โดยค่าการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล หรือ Normalization ด้วยพื้นที่ใช้งานของอาคารในกลุ่มอาคารสำนักงานและสถานศึกษา เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างมาตรการต่างๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(ก) ศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน



(ข) ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 0-76 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา

ตารางที่ 0-45 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารศูนย์การค้าและซุปเปอร์มาร์เก็ต

Measure name	EnR (kWh/yr)	ER ($kgCO_2eq/yr$)	EnRI (kwh/m^2)	ERI ($kgCO_2eq/m2$)	EnROI (kWh/USD)	EROI ($kgCO_2eq/USD$)	Life time (yrs)	EAC (USD/yr)	GHG abatement cost ($USD/kgCO_2eq$)
Saving practice	1,819,638	1,030,643	4.02	2.27	N/A	N/A	10	0	-0.268
Working hours reduction	1,280,915	725,510	1.86	1.06	N/A	N/A	10	0	-0.268
Spilt-type AC efficiency improvement	1,484,551	840,850	8.96	5.07	259.26	146.85	15	5,726	-0.262
Motor efficiency improvement	817,743	463,170	3.58	2.03	44.52	25.22	15	18,367	-0.229
Cooling tower efficiency improvement	1,696,194	960,724	2.07	1.17	30.12	17.06	15	56,306	-0.210
Building energy mangement system	156,768	88,793	8.18	4.64	24.92	14.11	20	6,291	-0.198
Central AC system maintenance	297,560	168,538	8.12	4.60	23.80	13.48	20	12,501	-0.194
High efficiency chiler replacement	485,709	275,106	3.93	2.23	18.23	10.33	20	26,638	-0.172
Chiller efficiency improvement	386,439	218,879	1.99	1.13	16.04	9.09	20	24,089	-0.158
High efficiency LED lights replacement	6,481,083	3,670,885	3.51	1.99	11.99	6.79	5	540,714	-0.121
High efficiency air compresor replacement	304,410	172,418	0.67	0.38	9.91	5.61	10	30,709	-0.090
Grease trap efficiency improvement	122,640	69,463	0.37	0.21	3.41	1.93	10	35,948	0.249
Total	15,333,649	8,684,979	47.28	26.78					

หมายเหตุ:

EnR = Energy consumption reduction

ER = GHG emission reduction

EnRI = Average reduction in energy intensity by building area

ERI = Average reduction in GHG emission intensity by building area

EAC = Equivalent annual investment cost allocated over the measure's life time with a discount rate 7 %
(source: Bank of Thailand, 2561)

EnROI = Energy consumption reduction on investment cost

EROI = GHG emission reduction on investment cost

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า (Energy consumption and GHG emission reduction: EnR and ER)</u>

ดังในตารางที่ 4-18 ผลการศึกษาพบว่า จากการดำเนินมาตรการของอาคารตัวแทนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมได้ทั้งหมด 15,333 MWh/yr คิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมทั้งหมด 8,684 tonCO_2eq/yr โดยมาตรการที่สามารถการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ กลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED (High efficiency LED lights replacement) รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้

อาคาร (Saving practice) และกลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของหอหล่อเย็น (Cooling tower efficiency improvement) ซึ่งคิดเป็นการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมร้อยละ 42 ร้อยละ 12 และร้อยละ 11 ของปริมาณพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ทั้งหมดในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ตและศูนย์การค้า ตามลำดับ เนื่องจากมาตรการดังกล่าวเป็นประเภทมาตรการที่นิยมดำเนินการในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า ดังแสดงในรูปที่ 4-38 อีกทั้งการดำเนินมาตรการดังกล่าวเป็นการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมไปถึงเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพ และรูปแบบการใช้งานของอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง จึงทำให้สามารถในการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมที่มากตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตุเห็นว่า สำหรับมาตรการที่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินการ จะมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มมาตรการอื่นๆ ทั้งกลุ่มมาตรการที่มีการลงทุนและไม่มีการลงทุน ดังนั้นควรพิจารณาถึงต้นทุนที่ใช้ไปสำหรับการดำเนินมาตรการในกลุ่มดังกล่าวด้วย

<u>ศักยภาพการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า (Reduction in energy intensity and carbon intensity: EnRI and ERI)</u>

ผลการคำนวนดังแสดงในตารางที่ 4-18 พบว่ากลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC efficiency improvement) มีค่า EnRI และ ERI สูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการใช้ระบบจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System: BEMs) และกลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม (Central AC system maintenance) เนื่องจากกลุ่มมาตรการดังกล่าวเป็นประเภทมาตรการที่ยังไม่ค่อยนิยมดำเนินการในอาคารกลุ่มซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การวิเคราะห์ด้านเศษรฐศาสตร์ของการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า (Economic analysis of energy conservation measures)</u>

ผลการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมต่อต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินมาตรการหรือ ค่าพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ต่อต้นทุน (Energy consumption and GHG emission reduction on investment cost: EnROI and EROI) ดังแสดงในตารางที่ 4-18 พบว่ามีมาตรการ 2 กลุ่มที่ไม่มีการใช้ต้นทุนในรูปของเงินลงทุนเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent annual investment costs (EAC) ได้แก่ กลุ่มมาตราการลดชั่วโมงการใช้งาน (Working hours reduction) และกลุ่มมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน (Saving practice) ซึ่งพบว่ากลุ่มมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งานสามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

โดยรวมได้มากกว่ากลุ่มมาตการการลดชั่วโมงการใช้งาน โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้เท่ากับ 1,819 และ 1,280 MWh/yr และคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 1,030 และ 725 $kgCO_2eq/yr$ ตามลำดับ นอกจากนี้หากพิจารณาค่า EnRI และ ERI จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 กลุ่มมาตรการที่ไม่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตรการก็ยังไม่ใช่มาตรการที่มีศักยภาพในการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มมาตรการอื่นๆที่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตรการ

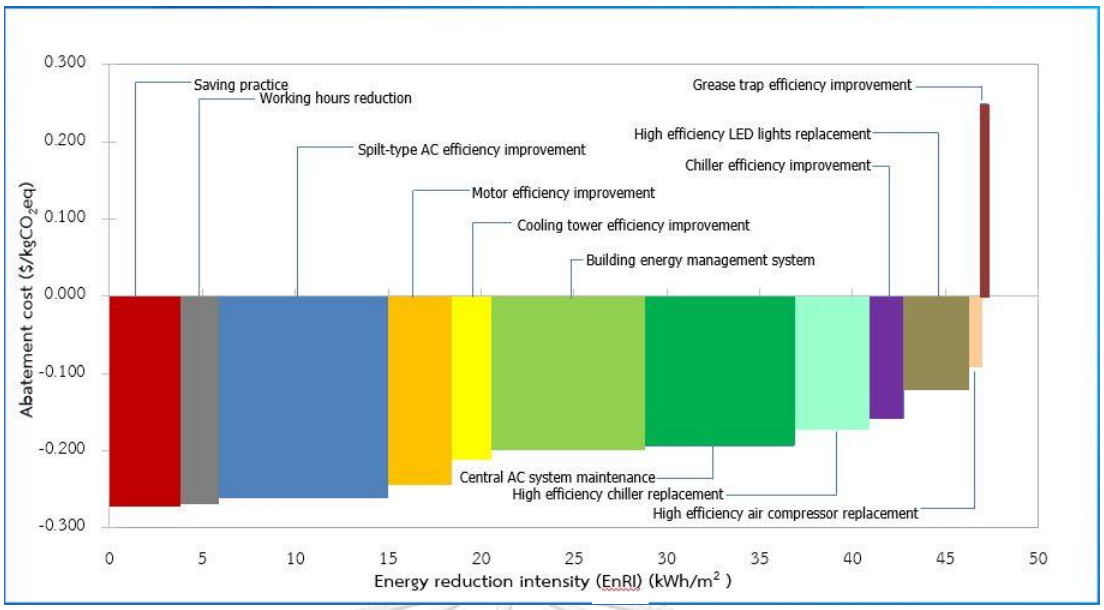
สำหรับกลุ่มมาตรการมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการดำเนินมาตรการ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-18 พบว่าการดำเนินมาตรการในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า มีค่า EnROI และมีค่า EROI อยู่ในช่วง 3.41-259.26 kwh/USD และ 1.93-146.85 $kgCO_2eq/USD$ ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มมาตรการที่มีค่า EnROI และ EROI สูงที่สุดคือ กลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC efficiency improvement) รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์ (Motor efficiency improvement) และกลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพหอหล่อเย็น (Cooling tower efficiency improvement) โดยมีค่า EnROI เท่ากับ 259.26, 44.52 และ 30.12 kWh/USD และค่า EROI เท่ากับ 146.85, 25.22 และ 17.06 $kgCO_2eq/USD$ ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มมาตรการดังกล่าวมีสัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการต่อค่าพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ต่ำกว่ากลุ่มมาตรการอื่นๆ ที่มีการลงทุนหรือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงค่า EnRI และ ERI จะเห็นว่ามาตการการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เป็นมาตรการที่มีศักยภาพในการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุดอีกด้วย

จากผลการคำนวนต้นทุนการลดการก๊าซปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG abatement cost) และค่าการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งาน (EnRI and ERI) ของกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า จึงได้นำข้อมูลผลการคำนวนณดังกล่าวมาสร้างกราฟต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ GHG marginal abatement cost curve เพื่อประเมินค่าศักยภาพการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังในรูปที่ 4-41 จะแสดงกราฟต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า โดยแกนแนวนอนในรูปที่ 4-41(ก) และ (ข) คือ ปริมาณพลังงานที่ลดได้สะสม (Cumulative energy saving) หรือผลรวมของค่า EnRI ในหน่วย kWh/m^2 และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้สะสม (Cumulative emission reduction) หรือผลรวมของค่า ERI ในหน่วย $kgCO_2eq/m^2$ ตามลำดับ ส่วนในแกนแนวตั้งคือ ค่าต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในหน่วย $USD/tonCO_2eq$ ซึ่งหากมาตรการใดมีค่า GHG abatement cost ติดลบ (ผลประโยชน์จากการประหยัดพลังงานมากกว่า

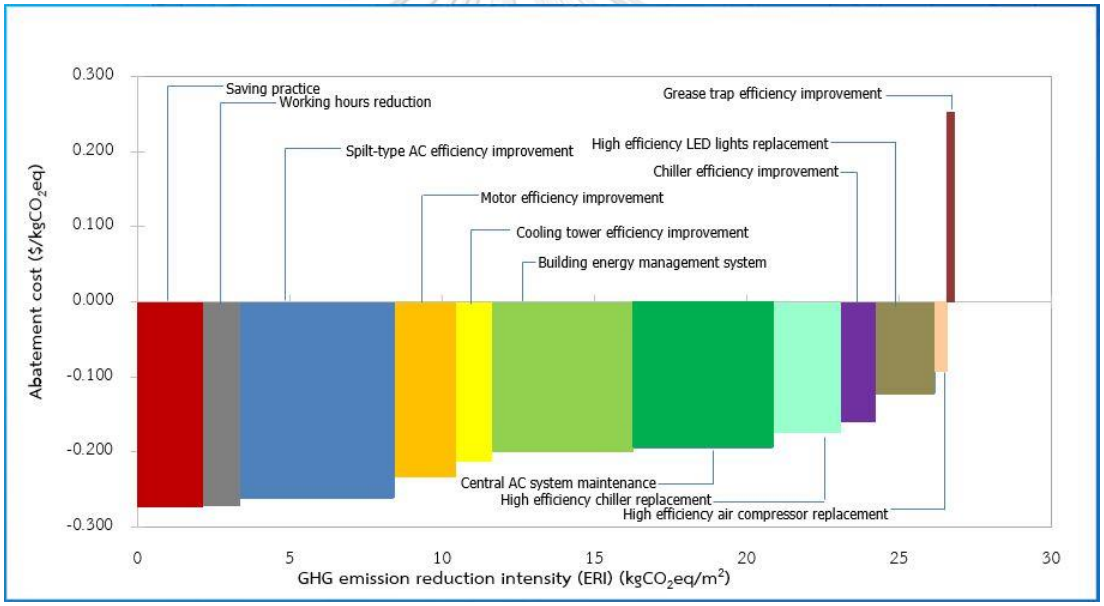
ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) จะถือว่าเป็นมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ โดยในรูปที่ 4-41(ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า มีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม จากการดำเนินมาตรการทุกมาตราการเท่ากับ 47.27 kWh/m^2 และ 26.78 $kgCO_2eq/m^2$ ตามลำดับ ส่วนหากพิจารณาเฉพาะมาตรการที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Abatement cost เป็นบวก) จะมีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดโดยรวมเท่ากับ 46.9 kWh/m^2 และ 26.57 $kgCO_2eq/m^2$ ตามลำดับ นอกจากนี้ในรูปที่ 4-41 ยังแสดงให้เห็นว่าเกือบทุกมาตรการมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในมาตรการในมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน (Saving practice) มาตรการการลดชั่วโมงใช้งาน (Working hours reduction) และมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC efficiency improvement) ซึ่งเป็นมาตรการที่ควรพิจารณาในการดำเนินการเป็นอันดับต้นๆ รวมไปถึงมาตรการการใช้ระบบจัดการพลังงานพลังงานแบบอัตโนมัติ (Building energy management system) การบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม (Central AC system maintenance) และมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์ (Motor efficiency improvement) ซึ่งหากมองในมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแล้ว จะเห็นว่ามาตรการเหล่านี้นอกจากจะมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการแล้ว ยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงอีกด้วย แต่ยกเว้นมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพบ่อดักไขมัน (Grease trap efficiency improvement) ที่มีค่า GHG abatement cost เป็นบวก ซึ่งหมายความว่ามาตรการนี้ไม่มีผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสต์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการ และเมื่อมองในด้านสิ่งแวดล้อมจะเห็นว่ามาตรการนี้ก็มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยค่าการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการศึกษานี้ ได้ทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล หรือ Normalization ด้วยพื้นที่ใช้งานของอาคารในกลุ่มอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ตและศูนย์การค้า เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างมาตรการต่างๆได้



(ก) ศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน



(ข) ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 0-77 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า

ตารางที่ 0-46 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารโรงแรม และโรงพยาบาล

Measure name	EnR (kWh/yr)	ER ($kgCO_2eq/yr$)	EnRI (kwh/m^2)	ERI ($kgCO_2eq/m2$)	EnROI (kWh/USD)	EROI ($kgCO_2eq/USD$)	Life time (yr)	EAC (USD/yr)	GHG abatement cost ($USD/kgCO_2eq$)
Saving practice	646,646	366,260	1.84	1.04	N/A	N/A	10	0	-0.268
Working hours reduction	1,578,074	893,821	3.64	2.06	N/A	N/A	10	0	-0.268
Waste heat recovery	165,844	93,934	5.84	3.31	910.94	515.96	15	182	-0.266
Central AC system maintenance	255,041	144,455	1.32	0.75	593.49	336.15	20	430	-0.265
Motor efficiency improvement	539,599	305,629	4.58	2.59	96.83	54.85	15	5,572	-0.250
Boiler efficiency improvement	169,973	96,272	6.45	3.65	79.59	45.08	15	2,136	-0.246
Lighting efficiency improvement	376,838	213,441	2.50	1.42	63.97	36.23	10	5,891	-0.241
Automatic system control	31,824	18,025	0.31	0.18	60.69	34.38	10	524	-0.239
High efficiency heating system replacement	548,344	310,582	1.51	0.85	59.33	33.60	15	9,243	-0.239
High efficiency spilt-type AC replacement	613,200	347,316	2.43	1.37	37.78	21.40	15	16,229	-0.222
High efficiency cooling tower replacement	247,470	140,167	4.15	2.35	35.34	20.02	15	7,002	-0.218
Cooling tower efficiency improvement	763,244	432,302	2.96	1.68	29.03	16.44	15	26,294	-0.208
High efficiency chiler replacement	5,954,571	3,372,669	16.12	9.13	22.24	12.60	20	267,773	-0.189
High efficiency LED lights replacement	5,442,634	3,082,708	4.54	2.57	20.43	11.57	2	266,341	-0.182
Spilt-type AC system maintenance	2,268,487	1,284,871	5.91	3.35	16.69	9.46	12	135,892	-0.163
Total	19,601,789	11,102,453	64.09	36.30					

หมายเหตุ:

EnR = Energy consumption reduction

ER = GHG emission reduction

EnRI = Average reduction in energy intensity by building area

ERI = Average reduction in GHG emission intensity by building area

EAC = Equivalent annual investment cost allocated over the measure's life time with a discount rate 7 %
(source: Bank of Thailand, 2561)

EnROI = Energy consumption reduction on investment cost

EROI = GHG emission reduction on investment cost

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล(Energy consumption and GHG emission reduction: EnR and ER)

ดังในตารางที่ 4-19 ผลการศึกษาพบว่า จากการดำเนินมาตรการของอาคารตัวแทนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมได้ทั้งหมด 19,601 MWh/yr คิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

โดยรวมทั้งหมด 11,102 tonCO_2eq/yr โดยมาตรการที่สามารถการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ กลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High efficiency chiler replacement) รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูงแบบ LED (High efficiency LED lights replacement) และกลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC system maintenance) ซึ่งคิดเป็นการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมร้อยละ 30 ร้อยละ 27 และร้อยละ 12 ของปริมาณพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ทั้งหมดในกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล ตามลำดับ เนื่องจากมาตรการดังกล่าวเป็นประเภทมาตรการที่นิยมดำเนินการในกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาลดังแสดงในรูปที่ 4-39 อีกทั้งการดำเนินมาตรการดังกล่าวเป็นปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมไปถึงเป็นการบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง จึงทำให้สามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมที่มากตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงต้นทุนที่ใช้ไปสำหรับการดำเนินมาตรการในกลุ่มดังกล่าวด้วย ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มมาตรการอื่นๆ ทั้งกลุ่มมาตรการที่มีการลงทุนและไม่มีการลงทุน

<u>ศักยภาพการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล (Reduction in energy intensity and carbon intensity: EnRI and ERI)</u>

ผลการคำนวนดังแสดงในตารางที่ 4-19 พบว่ากลุ่มมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High efficiency chiler replacement) มีค่า EnRI และ ERI สูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ (Boiler efficiency improvement) และกลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt-type AC system maintenance) เนื่องจากกลุ่มมาตรการดังกล่าวสามารถลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EnR and ER) ได้ค่อนข้างสูง อีกทั้งการดำเนินมาตรการดังกล่าวเป็นปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมไปถึงเป็นการบำรุงรักษาและปรับปรุงประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง จึงทำให้มีศักยภาพในการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากตามไปด้วย แต่หากพิจารณาจะพบว่าเป็นกลุ่มมาตรการที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับมาตรการอื่นๆ ในกลุ่มอาคารประเภทเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ด้านเศษรฐศาสตร์ของการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล (Economic analysis of energy conservation measures)

ผลการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมต่อต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินมาตรการ หรือ ค่าพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ต่อต้นทุน (Energy consumption and GHG emission reduction on investment cost: EnROI and EROI) ดังแสดงในตารางที่ 4-19 พบว่ามีมาตรการ 2 กลุ่มที่ไม่มีการใช้ต้นทุนในรูปของเงินลงทุนเทียบเท่ารายปี หรือ Equivalent annual investment costs (EAC) ได้แก่ กลุ่มมาตราการลดชั่วโมงการใช้งาน (Working hours reduction) และกลุ่มมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน (Saving practice) ซึ่งพบว่ากลุ่มมาตรการการลดชั่วโมงการใช้งานสามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมได้มากกว่ามาตการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้เท่ากับ 1,578 และ 646 MWh/yr และคิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 893 และ 366 tonCO_2eq/yr ตามลำดับ นอกจากนี้หากพิจารณาค่า EnRI และ ERI จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 กลุ่มมาตรการที่ไม่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตรการก็ยังไม่ใช่มาตรการที่มีศักยภาพในการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มมาตรการอื่นๆที่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตรการ

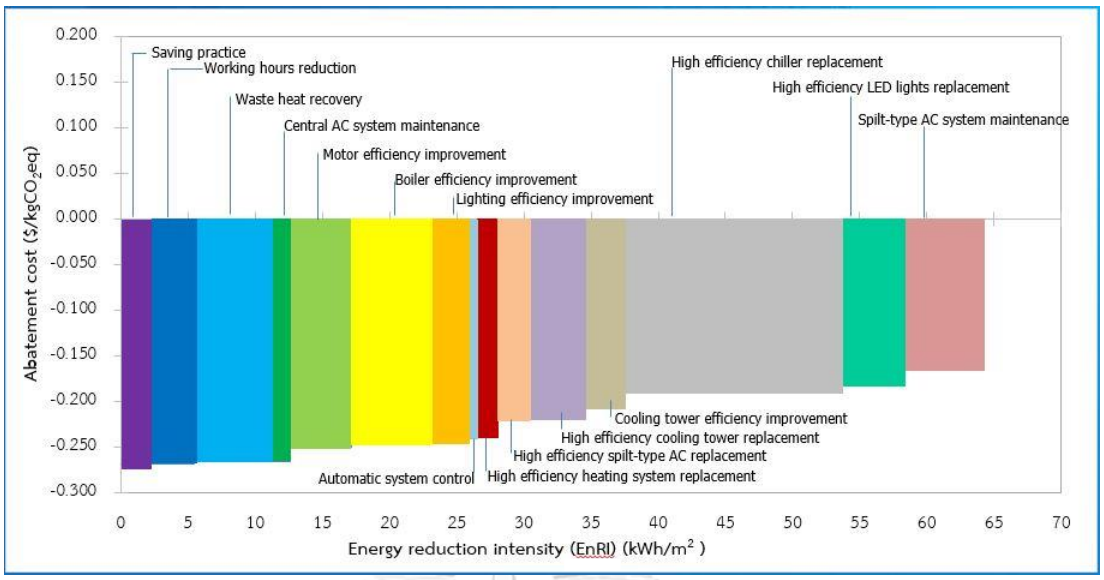
สำหรับกลุ่มมาตรการมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการดำเนินมาตรการ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-19 พบว่าการดำเนินมาตรการในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล มีค่า EnROI และมีค่า EROI อยู่ในช่วง 16.69-910.94 kwh/USD และ 9.46-515.96 kgCO_2eq/USD ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มมาตรการที่มีค่า EnROI และ EROI สูงที่สุดคือ กลุ่มมาตรการการนำกลับความร้อนมาใช้ใหม่ (Waste heat recovery) รองลงมาเป็นกลุ่มมาตรการการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม (Central AC system maintenance) และกลุ่มมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์ (Motor efficiency improvement) โดยมีค่า EnROI เท่ากับ 910.94, 593.49 และ 96.83 kWh/USD และค่า EROI เท่ากับ 515.96, 336.15 และ 54.85 kgCO_2eq/USD ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มมาตรการดังกล่าวมีสัดส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการต่อค่าพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ต่ำกว่ากลุ่มมาตรการอื่นๆ ที่มีการลงทุนหรือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการเช่นกัน

จากผลการคำนวนต้นทุนการลดการก๊าซปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG abatement cost) และค่าการลดใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งาน (EnRI and ERI) ของกลุ่มอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา จึงได้นำข้อมูลผลการคำนวนณดังกล่าวมาสร้างกราฟต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ GHG marginal abatement cost curve เพื่อประเมินค่าศักยภาพการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการลดการปล่อยก๊าซเรือน

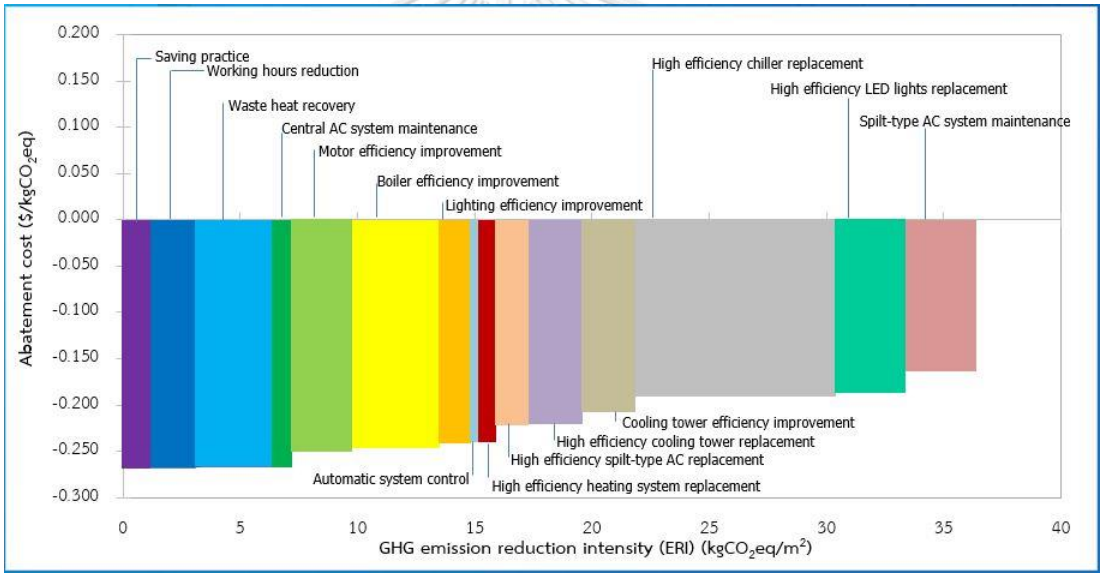
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระจก ดังในรูปที่ 4-42 จะแสดงกราฟต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล โดยแกนแนวนอนในรูปที่ 4-42(ก) และ (ข) คือ ปริมาณพลังงานที่ลดได้สะสม (Cumulative energy saving) หรือผลรวมของค่า EnRI ในหน่วย kWh/m^2 และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้สะสม (Cumulative emission reduction) หรือผลรวมของค่า ERI ในหน่วย kgCO_2eq/m^2 ตามลำดับ ส่วนในแกนแนวตั้ง คือ ค่าต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในหน่วย USD/tonCO_2eq ซึ่งหากมาตรการใดมีค่า GHG abatement cost ติดลบ (ผลประโยชน์จากการประหยัดพลังงานมากกว่าต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) จะถือว่าเป็นมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ โดยในรูปที่ 4-42(ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล มีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม เท่ากับ 64.08 kWh/m^2 และ 36.29 kgCO_2eq/m^2 ตามลำดับ นอกจากนี้ในรูปที่ 4-42 ยังแสดงให้เห็นว่าทุกมาตรการมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน (Saving practice) มาตรการการลดชั่วโมงใช้งาน (Working hours reduction) และมาตรการการนำกลับความร้อนจากบ่อพักน้ำทิ้งมาใช้ใหม่ (Waste heat recovery) ซึ่งจะเห็นว่ามาตรการเหล่านี้ควรเป็นมาตรการที่ได้รับการพิจารณาในการดำเนินการเป็นอันดับต้นๆ นอกจากนี้ยังพบว่ามาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง (High efficiency chiler replacement) การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ (Boiler efficiency improvement) และการปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์ (Motor efficiency improvement) ซึ่งหากมองในมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแล้ว จะเห็นว่ามาตรการเหล่านี้นอกจากจะมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการแล้ว ยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงอีกด้วย

โดยค่าการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการศึกษานี้ ได้ทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล หรือ Normalization ด้วยพื้นที่ใช้งานของอาคารในกลุ่มอาคารโรงแรม และโรงพยาบาล เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างมาตรการต่างๆได้



(ก) ศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน



(ข) ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 0-78 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายสำหรับมาตการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเพื่อเปรียบผลด้านต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการในเฉพาะกลุ่มอาคารตัวแทนจำนวน 21 แห่ง กับมาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมดที่รวบรวมได้จากอาคารทั้ง 97 แห่ง ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มมาตรการได้จำนวน 20 และ 22 มาตรการ ตามลำดับ โดยสองมาตรการที่ยังไม่มีการดำเนินการในกลุ่มอาคารตัวแทน ซึ่งได้แก่ มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ และมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแบบส่วนรวมประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 0-47 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตัวแทนทั้ง 21 แห่ง

Measure name	EnR (kWh/yr)	ER (kgCO2eq/yr)	EnRI (kWh/m2)	ERI (kgCO2eq/m2)	EnROI (kWh/USD)	EROI (kgCO2eq/USD)	Life time (years)	EAC (USD/yr)	GHG abatement cost (USD/kgCO_2eq)
Working hours reduction	905,233	512,724	1.46	0.83	N/A	N/A	10	0	-0.268
Saving practice	1,798,997	1,018,952	10.86	6.15	N/A	N/A	10	0	-0.268
Waste heat recovery	165,844	93,934	5.84	3.31	910.94	515.96	15	182	-0.266
Spilt-type AC efficiency improvement	1,484,551	840,850	8.96	5.07	259.26	146.85	15	5,726	-0.262
Spilt-type AC system maintenance	309,434	175,263	2.78	1.58	103.51	58.63	12	2,989	-0.251
High efficiency heating system replacement	548,344	310,582	1.51	0.85	59.33	33.60	15	9,243	-0.239
Motor efficiency improvement	247,277	140,058	2.99	1.69	54.37	30.80	15	4,548	-0.236
Cooling tower efficiency improvement	1,234,237	699,072	3.99	2.26	51.04	28.91	15	24,180	-0.234
Lighting efficiency improvement	3,660	2,073	0.37	0.21	40.31	22.83	5	91	-0.225
Automatic system control	18,396	10,419	0.50	0.29	35.39	20.05	10	520	-0.218
High efficiency cooling tower replacement	247,470	140,167	4.15	2.35	35.34	20.02	15	7,002	-0.218
Central AC system maintenance	328,203	185,894	2.60	1.47	26.32	14.91	20	12,470	-0.201
Building energy management system	156,768	88,793	8.18	4.64	24.92	14.11	20	6,291	-0.198
High efficiency spilt-type AC replacement	457,213	258,965	52.81	29.91	15.52	8.79	15	29,460	-0.155
Chiller efficiency improvement	254,040	143,888	1.53	0.87	14.81	8.39	20	17,157	-0.149
High efficiency chiller replacement	1,849,443	1,047,525	13.67	7.74	13.03	7.38	20	141,980	-0.133
Solar cell setting	115,302	65,642	22.63	12.88	11.74	6.68	25	9,821	-0.117
High efficiency LED lights replacement	4,798,968	2,718,135	4.49	2.54	10.53	5.97	5	455,582	-0.101
Grease trap efficiency improvement	122,640	69,463	0.37	0.21	3.41	1.93	10	35,948	0.249
High efficiency air compressor replacement	438,00	24,808	0.26	0.15	2.65	1.50	10	16,548	0.399
Total	15,089,820	8,547,209	149.97	85.01					

หมายเหตุ:

EnR = Energy consumption reduction

ER = GHG emission reduction

EnRI = Average reduction in energy intensity by building area

ERI = Average reduction in GHG emission intensity by building area

EAC = Equivalent annual investment cost allocated over the measure's life time with a discount rate 7 %

EnROI = Energy consumption reduction on investment cost

EROI = GHG emission reduction on investment cost

ตารางที่ 0-48 การวิเคราะห์ต้นทุนการลดใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารทุกประเภททั้ง 97 แห่ง

Measure name	EnR (kWh/yr)	ER (kgCO2eq/yr)	EnRI (kWh/m2)	ERI (kgCO2eq/m2)	EnROI (kWh/USD)	EROI (kgCO2eq/USD)	Life time (years)	EAC (USD/yr)	GHG abatement cost (USD/kgCO2eq)
Saving practice	3,201,397	1,813,271	2.65	1.50	N/A	N/A	10	0	-0.268
Working hours reduction	3,653,349	2,069,257	2.37	1.34	N/A	N/A	10	0	-0.268
Waste heat recovery	165,844	93,934	5.84	3.31	910.94	515.96	15	182	-0.266
Spilt-type AC efficiency improvement	1,530,234	866,724	8.56	4.85	242.86	137.56	15	6,301	-0.261
Boiler efficiency improvement	169,973	96,272	6.45	3.65	79.59	45.08	15	2,136	-0.246
Automatic system control	79,335	44,935	0.57	0.32	79.15	44.83	10	1,002	-0.246
Central AC system maintenance	1,090,256	617,521	3.29	1.86	76.68	43.43	20	14,219	-0.245
High efficiency heating system replacement	548,344	310,582	1.51	0.85	59.33	33.60	15	9,243	-0.239
Motor efficiency improvement	1,357,342	768,799	3.92	2.22	56.70	32.11	15	23,939	-0.237
Lighting efficiency improvement	422,387	239,240	2.33	1.32	53.64	30.38	5	7,875	-0.235
High efficiency cooling tower replacement	247470	140,167	4.15	2.35	35.34	20.02	15	7,002	-0.218
Cooling tower efficiency improvement	2,459,438	1,393,026	2.29	1.29	29.78	16.86	15	82,600	-0.209
Spilt-type AC system maintenance	4,128,552	2,338,412	5.76	3.26	28.03	15.88	15	147,294	-0.205
Building energy management system	156,768	88,793	8.18	4.64	24.92	14.11	20	6,291	-0.198
High efficiency chiller replacement	7,214,127	4,086,082	13.83	7.83	19.54	11.07	20	369,239	-0.178
High efficiency spilt-type AC replacement	2,253,271	1,276,253	5.93	3.36	18.55	10.51	15	121,449	-0.173
High efficiency LED lights replacement	15,264,292	8,645,695	4.18	2.37	16.71	9.46	5	913,637	-0.163
Chiller efficiency improvement	386,439	218,879	1.99	1.13	16.04	9.09	20	24,089	-0.158
High efficiency air compressor replacement	304,410	172,418	0.67	0.38	9.91	5.61	10	30,709	-0.090
Solar cell setting	286,347	163,017	13.79	7.85	7.35	4.18	25	38,963	-0.028
High efficiency central AC replacement	150,664	85,336	30.57	17.31	5.27	2.98	20	28,595	0.067
Grease trap efficiency improvement	122,640	69,463	0.37	0.21	3.41	1.93	10	35,948	0.249
Total	45,192,879	25,598,077	129.20	73.22					

หมายเหตุ:

EnR = Energy consumption reduction

ER = GHG emission reduction

EnRI = Average reduction in energy intensity by building area

ERI = Average reduction in GHG emission intensity by building area

EAC = Equivalent annual investment cost allocated over the measure's life time with a discount rate 7 %

EnROI = Energy consumption reduction on investment cost

EROI = GHG emission reduction on investment cost

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานรวมในอาคารตัวแทนทั้ง 21 แห่งมีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม จากการดำเนินมาตรการทุกมาตราการ เท่ากับ 149.97 kWh/m^2 และ 85.01 kgCO_2eq/m^2 ตามลำดับ ส่วนหากพิจารณาเฉพาะมาตรการที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Abatement cost เป็นบวก) จะมีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมเท่ากับ 149.34 kWh/m^2 และ 84.65 kgCO_2eq/m^2 ดังแสดงในตารางที่ 4-20 ส่วนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมดที่รวบรวมได้จากอาคารทั้ง 97 แห่ง จะมีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม จากการดำเนินมาตรการทุกมาตราการ เท่ากับ 129.20 kWh/m^2 และ 73.22 kgCO_2eq/m2 ตามลำดับ ส่วนหากพิจารณาเฉพาะมาตรการที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Abatement cost เป็นบวก) จะมีค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมเท่ากับ 98.26 kWh/m^2 และ 55.7 kgCO_2eq/m^2 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-21 และผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าเกือบทุกมาตรการมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการ ยกเว้นมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพบ่อดักไขมัน ทั้งในกลุ่มมาตรการจากอาคารตัวแทนและมาตรการรวมทั้งหมดจากอาคาร 97 แห่ง และมาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศศูนย์รวมประสิทธิภาพสูง ที่มีเฉพาะในกลุ่มมาตรการรวมจากอาคาร 97 แห่ง ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาแบบแบ่งกลุ่มอาคารในข้างต้น และจะสังเกตเห็นว่า มาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพสูง จะมีค่า Abatement cost เป็นบวก ในกลุ่มมาตรการจากอาคารตัวแทน แต่จะมีค่า Abatement cost เป็นบวก ในกลุ่มมาตรการรวมจากอาคาร 97 แห่ง ซึ่งอาจเนื่องมาจากมีข้อแตกต่างของเทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ที่นำมาใช้ ทั้งในเรื่องประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวชี้วัดสำหรับอาคารคาร์บอนต่ำ และแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อศึกษาเกณฑ์ และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารควบคุมตามประกาศของกฎกระทรวงพลังงาน และประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำของอาคารแต่ละประเภท รวมไปถึงการเสนอตัวชี้วัดและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการเป็นอาคารคาร์บอนต่ำโดยอาศัยวิธีการประเมินต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเกณฑ์ และตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำในช่วงการใช้งานอาคารของกลุ่มอาคารควบคุมตามประกาศของกฎกระทรวงพลังงาน พบว่า มีเกณฑ์ที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้ในการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำและอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ จำนวน 11 เกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจากการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินอาคารคาร์บอนต่ำ หรืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในแต่ละเกณฑ์มาตรฐานสามารถสรุปตัวชี้วัดเพื่อนำมาประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องจากกิจกรรมการใช้งานอาคาร ในช่วงการใช้งาน ซึ่งประกอบไปด้วยทั้งหมด 7 ตัวชี้วัด ดังนี้ 1) การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel consumption) 2) การใช้พลังงานไฟฟ้า (Electricity consumption) 3) การใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy consumption) 4) การเกิดขยะมูลฝอย (Solid waste generation) 5) การใช้น้ำประปา (Water supply consumption) 6) การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment) และ 7) การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก (GHG leakage)

ส่วนการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวชี้วัดอาคารคาร์บอนต่ำของอาคารแต่ละประเภท โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละด้านทั้ง 7 ตัวชี้วัด จากอาคารตัวแทนทั้งหมด 6 ประเภทรวมจำนวน 21 แห่ง โดยสามารถสรุปผลการประเมินในแต่ละด้านตัวชี้วัดได้ดังนี้

1) ด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล พบว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอาคารแต่ละประเภทเมื่อแบ่งตามกิจกรรมการใช้งานสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 4 ระบบ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงใน

ระบบการผลิตความร้อน/ไอน้ำ การประกอบอาหาร การผลิตไฟฟ้าฉุกเฉิน และระบบการปั๊มน้ำดับเพลิง อาคารประเภทศูนย์การค้า และอาคารสถานศึกษา มีกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุดคือ การประกอบอาหาร ส่วนอาคารประเภทสำนักงานมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากกิจกรรมการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉินเป็นส่วนใหญ่ และสำหรับกลุ่มอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลนอกจากจะมาจากกิจกรรมการประกอบอาหารแล้วยังพบว่ามีการใช้สำหรับระบบการผลิตความร้อน/ไอน้ำร่วมด้วย ส่วนการกำหนดดัชนีด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท ควรพิจารณาจากกิจกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่มาก รวมถึงวัตถุประสงค์ของการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลว่าถูกใช้ไปเพื่อกิจกรรมใดบ้าง

2) ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภท สามารถแบ่งตามกิจกรรมการใช้งานได้ 4 ระบบ ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบอื่นๆ และการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนที่ค่อนมากในทุกประเภทอาคาร รองลงมาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างและการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน อาคารประเภทศูนย์การค้า เป็นอาคารที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ซึ่งกิจกรรมการใช้งานส่วนใหญ่มาจากระบบปรับอากาศ และระบบอื่นๆ ตามด้วยอาคารประเภทโรงแรม ซุปเปอร์มาร์เก็ต และอาคารสำนักงาน ตามลำดับ ส่วนอาคารประเภทสถานศึกษามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ สำหรับการกำหนดดัชนีด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยทั่วไปแล้วตามมาตรฐานที่ได้รับความนิยมจะทำการศึกษาต่อตัวแปรด้านพื้นที่ใช้งาน ทั้งพื้นที่ใช้งานรวม และพื้นที่ปรับอากาศ รวมถึงด้านจำนวนผู้ใช้งานสำหรับอาคารบางประเภท โดยควรแบ่งค่าดัชนีตามกิจกรรม หรือระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาก เพื่อให้ครอบคุมกับกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทมากที่สุด

3) ด้านการเกิดขยะมูลฝอย และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษาพบว่าการเกิดขยะมูลฝอยในอาคารแต่ละประเภท สามารถแบ่งหรือคัดแยกตามองค์ประกอบของขยะได้ 7 ประเภท ได้แก่ กระดาษ เศษอาหาร พลาสติก แก้ว โลหะ เศษผ้า และอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหาร กระดาษ และพลาสติก มีสัดส่วนที่ค่อนมากในเกือบทุกประเภทอาคาร ยกเว้นอาคารประเภทสำนักงานที่มีสัดส่วนขยะประเภทกระดาษเป็นหลัก อาคารประเภทศูนย์การค้า มีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ โดยประเภทขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ เศษอาหาร กระดาษ และพลาสติก รองลงมาเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงพยาบาล โรงแรม สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับ สำหรับการการกำหนดดัชนีด้านการเกิดขยะมูลฝอย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท ควรจะพิจารณา ตามองค์ประกอบของขยะ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีสัดส่วนมาก รวมถึงแหล่งที่มาของการเกิดขยะมูลฝอยแต่ละประเภทว่ามาจากแหล่งใด ขยะมูลฝอยประเภท กระดาษ เศษอาหาร และพลาสติกเป็นประเภทขยะที่มีสัดส่วนค่อนข้างมากในอาคารแต่ละประเภท และส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากผู้ใช้งานอาคารที่เข้ามาใช้บริการ ดังนั้น การกำหนดหน่วยของตัวชี้วัดด้านการเกิดขยะมูลฝอยนอกจากจะพิจารณาออกมารูปแบบของปริมาณขยะ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบรวมต่อจำนวนผู้ใช้งานแล้ว ควรจะพิจารณาแบบแยกตามองค์ประกอบของขยะต่อจำนวนผู้ใช้งานอาคารด้วย

4) ด้านการใช้น้ำประปา จากการประเมินพบว่าอาคารประเภทศูนย์ค้ามีปริมาณการใช้น้ำประปามากที่สุด รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาเก็ต ตามลำดับ ส่วนในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกค่อนข้างมีการใช้น้ำประปาที่น้อย เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ เนื่องจากอาคารสองประเภทนี้มีจำนวนวันใช้งานต่อปีน้อยกว่าอาคารประเภทอื่นๆ ส่วนการกำหนดดัชนีการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าโดยทั่วไปแล้วตามมาตรฐานที่ได้รับความนิยม จะกำหนดตัวชี้วัดด้านการใช้น้ำประปา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภท โดยจะพิจารณาต่อตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งานอาคาร เนื่องจากการใช้น้ำประปาส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งจำนวนผู้ใช้งานอาคารจะเป็นตัวกำหนดปริมาณความต้องการใช้น้ำ ในอาคารแต่ละประเภท

5) ด้านการเกิดน้ำเสีย จากการศึกษาพบว่าอาคารประเภทศูนย์ค้ามีปริมาณการเกิดน้ำเสียมากที่สุด รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาเก็ต ตามลำดับ ส่วนในอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกค่อนข้างมีการเกิดน้ำเสียที่น้อย เมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ และพบว่าอาคารส่วนใหญ่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ มากกว่าระบบแบบไร้อากาศ และอีกบางส่วนที่มีการส่งบำบัดกับทางส่วนกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนปริมาณการเกิดน้ำเสียต่อการใช้น้ำประปาของอาคารแต่ละ

ประเภทคิดเป็นประมาณ 0.85 โดยเฉลี่ย ส่วนการกำหนดดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าควรจะพิจารณาต่อตัวแปรด้านจำนวนผู้ใช้งาน เช่นเดียวกับการใช้น้ำประปา เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในอาคารแต่ละประเภทจะเกิดจากการใช้น้ำประปาในแต่ละกิจกรรมของผู้ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามในเกณฑ์มาตรฐานบางเกณฑ์ ก็ยังมีการระบุว่า การกำหนดดัชนีด้านการเกิดน้ำเสีย ในอาคารแต่ละประเภทสามารถกำหนดในหน่วยต่อพื้นที่ใช้งานได้เช่นกัน

6) ด้านการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษา พบว่าอาคารแต่ละประเภทมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการรั่วของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 4 กิจกรรม ได้แก่ การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ การใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่เย็น การใช้สารดับเพลิง และการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ จะพบในกลุ่มอาคารทุกประเภท ยกเว้นอาคารสำนักงาน สำหรับการรั่วไหลจากกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่เย็นจะพบในกลุ่มอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต ศูนย์การค้า โรงแรม และโรงพยาบาล ส่วนการรั่วไหลจากกิจกรรมการใช้สารดับเพลิง และกิจกรรมการใช้สารเคมีจะพบในสัดส่วนที่น้อยมากในอาคารบางประเภท ผลการศึกษาพบว่า อาคารศูนย์การค้ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการรั่วไหลมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่มากจากกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ และในระบบปรับอากาศ รองลงมาเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงพยาบาล และโรงแรม ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่ก็มาจากการใช้สารทำความเย็นในระบบตู้แช่ เช่นกัน ซึ่งยังพบว่าชนิดสารทำความเย็นที่ใช้ยังเป็นชนิดที่มีค่า GWP สูงอยู่ เช่น R12 R22 R134a และ R410A เป็นต้น สำหรับการกำหนดค่าดัชนีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจก ควรควรพิจารณาต่อตัวแปรด้านพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ปรับอากาศ เนื่องจากการประเมินพบว่า กิจกรรมการรั่วไหลส่วนใหญ่เกิดจาก กิจกรรมการใช้สารทำความเย็นทั้งในระบบตู้แช่ และระบบปรับอากาศ

และโดยเมื่อสรุปในภาพรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่ากิจกรรมการใช้พลังไฟฟ้าในอาคารแต่ละประเภทเป็นสัดส่วนที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาเป็นกิจกรรมด้านการจัดการขยะมูลฝอย และการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยประเภทอาคารที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ อาคารประเภทศูนย์การค้า รองลงมาเป็นอาคารประเภทโรงพยาบาล โรงแรม ซุปเปอร์มาร์เก็ต สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับ และเช่นเดียวกันว่าเมื่อคำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่ใช้งานของอาคารแต่ละประเภทพบว่า อาคาร

ศูนย์การค้ายังเป็นประเภทอาคารที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ส่วนอันดับรองลงมาจะเป็นอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงาน และสถานศึกษา ตามลำดับ

สำหรับมาตรการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่ามาตรการการเปลี่ยนหลอด LED เป็นมาตรการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในอาคารทุกประเภท รองลงมาเป็นมาตรการด้านการลดชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และการใช้ระบบปรับอากาศ และมอเตอร์ ประสิทธิภาพสูง จากการศึกษาศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารแต่ละประเภทโดยอาศัยหลักการการวิเคราะห์ Marginal Abatement Cost (MAC Method พบว่าเกือบทุกมาตรการมีความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน โดยมาตรการการปรับปรุงพฤติกรรมผู้ใช้งาน และมาตรการการลดชั่วโมงใช้งาน ซึ่งเป็นกลุ่มมาตรการที่ไม่มีการใช้เงินลงทุนในการดำเนินมาตรการของอาคารทุกประเภท เป็นมาตรการที่ควรได้รับการพิจารณาในอันดับต้นๆ ในการดำเนินการส่วนเมื่อพิจารณามาตรการที่มีการใช้ต้นทุนในการดำเนินมาตราการ สามารถสรุปผลมาตรการที่เหมาะสมในอาคารแต่ละประเภทดังนี้สามารถสรุปมาตรการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม (ลงทุนต่ำแต่มีศักยภาพสูงในการลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก) สำหรับการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารประเภท ได้ดังนี้

1) สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา มีมาตรการที่เหมาะสม ได้แก่ มาตรการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็น และเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง และมาตรการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม เป็นต้น
2) สำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์มาร์เก็ต และศูนย์การค้า มีมาตรการที่เหมาะสม ได้แก่ มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มาตรการการใช้ระบบจัดการพลังงานพลังงานแบบอัตโนมัติ และการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม เป็นต้น
3) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม และโรงพยาบาล มีมาตรการที่เหมาะสม ได้แก่ มาตรการการนำกลับความร้อนจากบ่อพักน้ำทิ้งมาใช้ใหม่ มาตรการการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ และการปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์ เป็นต้น

ซึ่งหากมองในมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแล้ว จะเห็นว่ามาตรการเหล่านี้นอกจากจะมีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการแล้ว ยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่า อาคารประเภทศูนย์การค้า เป็นประเภทอาคารที่มีการใช้พลังงาน และส่งผลกระทบต่อแวดล้อมมากที่สุด ดังนั้นการศึกษาในเชิงลึกทั้งในเรื่องผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และเศษรฐศาสตร์เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในอาคารประเภทศูนย์การค้าควรได้รับการพิจารณาเป็นลำดับต้นๆ และนอกจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่พบว่าเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดแล้ว กิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการเกิดขยะมูลฝอย ก็เป็นอีกกิจกรรมที่ควรได้รับการพิจารณาในการหาแนวทางหรือดำเนินมาตราในการลดการใช้พลังงาน และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Abu Bakar, N. N., et al. (2015). "Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 44: 1-11.

Brian Theordor, E. I. T. (2016). "Greenhouse gas emissions in federal building ". Retrieved 2017 May 15 from https://www.wbdg.org/resources/greenhouse-gas-emissions-federal-buildings.

CIC (2016). "What is a zero carbon building?". Retrieved 2016 November 15, from http://www.cic.hk/eng/main/zcb/ZCB_experience/what_is_zcb/.

IPCC (2006). "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." Retrieved 2017 April 15, from http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006/.

IPCC (2014). Summary for policymakers. In: climate change 2014: mitigation of climate change. United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

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

Pan, W. (2014). "System boundaries of zero carbon buildings." Renewable and Sustainable Energy Reviews 37: 424-434.

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

Ramesh, T., et al. (2010). "Life cycle energy analysis of buildings: An overview." Energy and Buildings 42(10): 1592-1600.

Scheuer, C., et al. (2003). "Life cycle energ y and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications." Energy and Buildings 35(10): 1049-1064.

Tantisattayakul, T., et al. (2016). "Energy, environmental, and economic analysis of energy conservation measures in Thailand's upstream petrochemical industry." Energy for sustainable Development 34: 88-99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Thuy, V. T. H. and B. Limmeechokchai (2015). "Analyses of Energy use and CO2 Emission in Residential Sector: Case Studies in Thailand and Vietnam." Energy Procedia 79: 290-295.

Tiangket, A., et al. (2015). "The Energy Saving Calculation for a Residential Sector in Thailand with Top-Down Methodology." Energy Procedia 79: 415-422.

Tjandra, T. B., et al. (2016). "Framework and methods to quantify carbon footprint based on an office environment in Singapore." Journal of Cleaner Production 112: 4183-4195.

UNEP (2009). Buildings and climate change: Summary for decision-makers. Paris, France, Thad Mermer, The Graphic Environment.

UNEP (2009). Common carbon metric: for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations. Paris, France.

USGBC (2016). LEED v4 for building operation and maintenance Washington, DC.

Wang, T., et al. (2016). "GHG emission reduction performance of state-of-the-art green buildings: Review of two case studies." Renewable and Sustainable Energy Reviews 56: 484-493.

WBCSD (2016). "Standards: GHG protocol." Retrieved 2016 October 24 from http://www.ghgprotocol.org/standards.

Zhang, Y., et al. (2017). "Comparison of evaluation standards for green building in China, Britain, United States." Renewable and Sustainable Energy Reviews 68: 262-271.

Zhou, Z. (2016). "The operational performance of ‘‘net zero energy building”: A study in China." Appiled Energy 77(1): 716-728.

จักรกฤษณ์ เหลืองเจริญรัตน์ (2556). เกณฑ์ประเมินอาคารที่ยั่งยืน: ความเหมือน คววมต่าง และค่าความสำคัญที่ให้ต่อสิ่งแวดล้อมทรัพยากรและพลังงาน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร: 16.

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร (2550). การประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างอาคารโครงสร้างเหล็กและอาคารโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย. สาขาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: 121.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, ก. (2559). "โครงการสนับสนุนการออกแบบเมืองอัจฉริยะ". เข้าถึงเมื่อ 2560 มกราคม 24, จาก http://thailandsmartcities.com/info/.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน) (2556). คู่มือการออกแบบบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำ. กรุงเทพฯ, เปเปอร์เมท(ประเทศไทย).

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน) (2556). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. กรุงเทพฯ.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน) (2558). "สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกและปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก." Retrieved 15 พฤษภาคม 2560, from http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=7&s2=16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก รายละเอียดลักษณะอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท

ตาราง ก-1 รายละเอียดลักษณะอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท

รายละเอียดลักษณะอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท	
ประเภทอาคาร	**รายละเอียด**
สำนักงาน (Office)	อาคารสำนักงานเป็นอาคารที่ใช้ถูกใช้ห้องหรือพื้นที่อื่น สำหรับให้ผู้ที่ปฏิบัติงานซึ่งเรียกว่าพนักงาน หรือ เจ้าพนักงาน ที่มีกิจเฉพาะในอาคารนั้นๆเข้ามาปฏิบัติงานเป็นประจำ รวมถึงผู้ที่เข้ามาติดต่องานแบบชั่วคราวอีกด้วย โดยอาคารประเภทนี้มักจะ เป็นอาคารสูงมีการออกแบบให้สามารถใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะไม่มีเสากลางคั้นระหว่างพื้นที่ และองค์ประกอบหลักของอาคารประเภทนี้ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยระบบต่างๆ เช่น ปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบลิฟท์ อุปกรณ์สำนักงาน และระบบปั๊มน้ำ มีพื้นที่จอดรถ พื้นที่ส่วนกลาง และสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารเช่น ร้านค้า ร้านอาหารเป็นต้น ส่วนช่วงเวลาการใช้งานอาคารอาจแตกต่างกันออกไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะหรือกิจกรรมของแต่ละองค์กร
สถานศึกษา (School)	อาคารสถานศึกษาเป็นอาคารที่ใช้เป็นห้องหรือพื้นที่ สำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยอาจมีทั้งที่เป็นอาคารสูง หรืออาคารที่สูงไม่กี่ชั้น ในตัวอาคารมักจะประกอบไปด้วย ห้องที่เป็นห้องเรียน ห้องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์หรือสื่อการเรียนการสอน ห้องทำกิจกรรมพิเศษ ห้องพักครู อาจารย์หรือบุคคลากรที่ปฏิบัติงาน พื้นที่ทางเดิน พื้นที่ส่วนกลาง อาจมีหรือไม่มีระบบปรับอากาศก็ได้ ระบบลิฟท์ขึ้นอยู่กับความสูงของอาคาร และบางสถานศึกษาอาจมีร้านค้า หรือร้านอาหารในตัวอาคารด้วย ส่วนช่วงเวลาการใช้งานค่อนข้างเป็นเวลาที่แน่นอนตามเวลาราชการ และอาจมีการหยุดใช้งานหรือใช้งานอาคารน้อยลงในช่วงปิดภาคเรียนในแต่ละปีการศึกษา
ซุปเปอร์มาเก็ต (Super market)	ซุปเปอร์มาเก็ตมีลักษณะเป็นร้านค้าปลีก (Retail) สมัยใหม่ (Modern trade) มีการจัดวางสินค้าเป็นหมวดหมู่ เพื่อความสวยงาม และเป็นระเบียบ ลักษณะของธุรกิจ จะเน้นการจัดจำหน่ายสินค้าอุปโภค บริโภค ที่หลากหลาย ราคาประหยัด โดยส่วนใหญ่ 60% จะเน้นสินค้าที่เป็นอาหาร นอกจากนี้จะมีพื้นที่สำหรับให้เช่า เพื่อเป็นร้านค้า ร้านอาหาร และธนาคารเป็นต้น มีพื้นที่สำนักงานสำหรับเจ้าหน้าที่แต่ละฝ่าย พื้นที่จอดรถมีทั้งอยู่ในตัวอาคารและนอกอาคาร มีระบบปรับอากาศทั้งตัวอาคารซึ่งมักจะเป็น

รายละเอียดลักษณะอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท	
ประเภทอาคาร	**รายละเอียด**
	ระบบแบบศูนย์รวม ระบบแสงสว่าง ระบบบันไดเลื่อน และระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนช่วงเวลาการใช้งานอาคารเป็นเวลาที่แน่นอน โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน ตัวอย่างของผู้ประกอบการประเภทนี้ ได้แก่ บิ๊กซี เทสโก้โลตัส คาร์ฟูร์ เป็นต้น
ศูนย์การค้า (Department store)	อาคารศูนย์การค้ามีลักษณะเป็นร้านค้าปลีกขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นศูนย์รวมสินค้าทุกชนิดเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าจำนวนมากแบบครบวงจร ในลักษณะ One Stop Shopping การจัดว่างสินค้าจะมีการแบ่งแผนก หรือหมวดหมู่สินค้าชัดเจน โดยเน้นสินค้าที่เป็นสินค้าอุปโภคจำพวกเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในบ้าน ฯลฯ และมีการให้เช่าพื้นที่ภายในศูนย์การค้าเพื่อจัดตั้งร้านค้าเช่าที่หลากหลายประเภทธุรกิจ เช่น ร้าน หรือศูนย์อาหาร โรงภาพยนตร์ และธนาคาร เป็นต้น มีพื้นที่สำนักงานสำหรับฝ่ายบริหารงานอาคาร มีพื้นที่จอดรถขนาดใหญ่ในตัวอาคารแต่ละชั้น มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวมทั้งตัวอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบลิฟท์ บันไดเลื่อน ระบบปั๊มน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น มีช่วงเวลาการใช้งานอาคารที่แน่นอนคือ 12 ชั่วโมงต่อวัน ตัวอย่างผู้ประกอบการประเภทนี้ได้แก่ ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล เดอะมอลล์ พารากอน MBK Terminal21 เป็นต้น
โรงแรม (Hotel)	โรงแรมเป็นอาคารสำหรับให้ผู้ใช้บริการเข้าพักอาศัยแบบชั่วคราว โดยพื้นที่ในอาคารประเภทนี้มักจะประกอบไปด้วย ห้องพัก ห้องโถง ห้องครัว ห้องอาหารจัดเลี้ยง ห้องประชุม สำนักงาน ห้องซักรีด ห้องออกกำลังกาย สระว่ายน้ำ สปา และพื้นที่อุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น การใช้งานระบบปรับอากาศมีทั้งแบบศูนย์รวมและแยกส่วน ระบบแสงสว่าง ระบบมอเตอร์ ปั๊มน้ำ ระบบทำความร้อน/ไอน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น มีช่วงเวลาการใช้งานอาคารคือตลอด 24 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดลักษณะอาคารกรณีศึกษาแต่ละประเภท	
ประเภทอาคาร	**รายละเอียด**
โรงพยาบาล (Hospital)	โรงพยาบาลเป็นสถานที่จัดให้บริการผู้ป่วยโดยสามารถรับผู้ป่วยค้างคืนเกินสามสิบเตียงขึ้นไป ซึ่งมีบริการทางเวชกรรม ด้านการพยาบาล ด้านเภสัชกรรม และด้านเทคนิคการแพทย์เป็นอย่างน้อย และอาจจะมีบริการด้านทันตกรรมหรือด้านการประกอบโรคศิลปะอื่นๆ เป็นต้น พื้นที่ในตัวอาคารมักประกอบไปด้วย พื้นที่สำหรับผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน ห้องตรวจ ห้องรักษาโรคเฉพาะทาง สำนักงาน ห้องอุปกรณ์ต่างๆ พื้นที่ส่วนกลาง พื้นที่โรงครัว และอาจมีร้านค้า ร้านอาหาร เป็นต้น มีพื้นที่จอดรถทั้งนอกและในตัวอาคารตามความเหมาะสมของพื้นที่ มีการใช้ระบบปรับอากาศทั้งแบบศูนย์รวมและแยกส่วน ระบบแสงสว่าง ระบบลิฟท์และบันไดเลื่อน ระบบอุปกรณ์เครื่องมือทางการแพทย์ ระบบทำความร้อนหรือไอน้ำ ระบบปั๊ม และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ส่วนช่วงเวลาการใช้งานอาคารจะเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข ข้อมูลทั่วไป การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารกรณีศึกษา

ตาราง ข-1 ข้อมูลทั่วไป การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานและสถานศึกษา

หมวดหมู่	หน่วย	อาคารสำนักงาน				อาคารสถานศึกษา				
		B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B5
ข้อมูลทั่วไป										
อายุการใช้งานอาคาร	ปี	15	5	18	20	7	42	42	2	11
จำนวนวันทำการ	วัน/ปี	250	250	250	250	266	250	220	250	250
พื้นที่ปรับอากาศ	m^2	9782	40033	23000	11000	3616	2100	828	7400	5710
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	m^2	6486	0	0	659	7024	1250	3086	0	3802
พื้นที่จอดรถ	m^2	3618	0	8000	0	0	0	0	0	0
พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด	m^2	19886	40033	31000	11659	10640	3350	3914	7400	9512
จำนวนผู้ใช้งานอาคาร	คน/วัน	718	1,800	552	432	1756	719	756	565	760
ข้อมูลประสิทธิภาพการใช้งานอาคาร										
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด	MJ/yr.	21488	18756	183078	8741	579961	565992	452070	287215	438809
สำหรับการทำความร้อนและไอน้ำ		0	0	0	0	0	0	0	0	0
สำหรับการประกอบอาหาร		0	0	138333	0	578650	565992	452070	287215	438809
สำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน		21488	12055	26295	8741	1311	0	0	0	0
สำหรับระบบปั๊มน้ำดับเพลิง		0	6701	18449	0	0	0	0	0	0
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด	kWh/yr.	2226512	5893605	3791000	1514000	127800	276123	114561	618000	314800
สำหรับระบบปรับอากาศ		671047	4420204	2843250	1135500	82878	159544	42010	401700	176288
สำหรับระบบแสงสว่าง		232323	589361	379100	151400	18582	33632	21411	61800	37776
สำหรับระบบอื่นๆ		1323143	884041	568650	227100	26340	82947	51140	154500	100736
ปริมาณการใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด	kWh/yr.	0	114833	0	75000	0	0	0	41188	0
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์		0	114833	0	75000	0	0	0	41188	0
ระบบพลังงานชีวมวล		0	0	0	0	0		0	0	0
ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยทั้งหมด	kg/yr.	44327	122995	26050	4339	7358	7455	9068	3789	2102
พลาสติก		6658	14869	3289	787	2680	1720	2100	1100	340
กระดาษ		33291	98548	20557	2952	2140	2240	3600	925	1180
แก้ว		499	225	144	79	350	10	200	550	20
โลหะ		33	22	16	6	10	50	20	13	0
ผ้า		17	11	4	3	8	5	3	1	2
เศษอาหาร		3662	8983	1645	472	2140	3300	3120	950	520
อื่นๆ		166	337	394	39	30	130	25	250	40
ปริมาณการใช้น้ำประปา	m^3	12955	74831	22861	8488	7152	6205	12233	5324	6994
ปริมาณการเกิดน้ำเสีย		11660	18756	19432	7215	5722	5585	9781	4526	6295
ปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด	kg/yr.	0	0	0	0	86	0	0	0	14
การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ		0	0	0	0	86	0	0	0	14
การใช้สารทำความเย็นระบบตู้แช่/ความเย็น		0	0	0	0	0	0	0	0	0
การใช้สารดับเพลิง		0	0	0	0	0	0	0	0	0
การใช้ปุ๋ย/สารเคมีอื่นๆ		0	0	0	0	0	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ข-2 ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารสำนักงานและสถานศึกษา

หมวดหมู่	หน่วย	อาคารสำนักงาน				อาคารสถานศึกษา				
		B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B5
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก										
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด	$kgCO_2eq/yr.$	1598	1395	11892	650	35925	35043	27990	17783	27169
การทำความร้อนและไอน้ำ		0	0	0	0	0	0	0	0	0
การประกอบอาหาร		0	0	8565	0	35827	35043	27990	17783	27169
การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน		1598	896	1955	650	97	0	0	0	0
ระบบปั๊มน้ำดับเพลิง		0	498	1372	0	0	0	0	0	0
การใช้ไฟฟ้าฟ้าทั้งหมด		1261097	3338138	2147222	857530	72386	156396	64887	350035	178303
ระบบปรับอากาศ		380081	2503603	1610417	643147	46942	90366	23794	227523	99850
ระบบแสงสว่าง		131588	333814	214722	85753	10525	19049	12127	35004	21396
ระบบอื่นๆ		749428	500721	322083	128629	14919	46981	28966	87509	57057
การใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด		0	-65363	0	-42690	0	0	0	-23444	0
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์		0	-65363	0	-42690	0	0	0	-23444	0
ระบบพลังงานชีวมวล		0	0	0	0	0	0	0	0	0
การเกิดขยะมูลฝอยทั้งหมด		124077	347685	73717	12005	18853	19485	23913	14658	5745
พลาสติก		15447	34496	7631	1826	6218	3990	4872	7656	789
กระดาษ		97542	288745	60232	8649	6270	6563	10548	2710	3457
แก้ว		1159	521	334	183	812	23	464	1276	46
โลหะ		77	52	38	15	23	116	46	30	0
ผ้า		33	22	8	6	16	10	6	2	4
เศษอาหาร		9265	22727	4161	1195	5414	8349	7894	2404	1316
อื่นๆ		554	1122	1313	131	100	433	83	580	133
การใช้น้ำประปา		6582	38022	11616	4313	3634	3153	6216	2705	3554
การเกิดน้ำเสีย		0	0	37163	0	0	0	0	611	12038
การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด		0	0	0	0	122980	0	0	0	24616
การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ		0	0	0	0	122980	0	0	0	24616
การใช้สารทำความเย็นระบบตู้แช่/ความเย็น		0	0	0	0	0	0	0	0	0
การใช้สารดับเพลิง		0	0	0	0	0	0	0	0	0
การใช้ปุ๋ย/สารเคมีอื่นๆ		0	0	0	0	0	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-3 ข้อมูลทั่วไป การใช้พลังงานของอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ตและศูนย์การค้า

หมวดหมู่	หน่วย	อาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต			อาคารศูนย์การค้า		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3
ข้อมูลทั่วไป							
อายุการใช้งานอาคาร	ปี	15	21	17	7	22	32
จำนวนวันทำการ	วัน/ปี	365	365	365	365	365	365
พื้นที่ปรับอากาศ	m^2	16961	17680	19154	75040	176954	165688
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	m^2	2053	7140	4009	876	17915	812
พื้นที่จอดรถ	m^2	6912	17765	14840	0	120037	57274
พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด	m^2	25925	42585	38003	75916	314906	223774
จำนวนผู้ใช้งานอาคาร	คน/วัน	3818	2367	3150	55115	13705	60511
ข้อมูลประสิทธิภาพการใช้งานอาคาร							
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด	MJ/yr.	2321445	1027620	1741950	24452046	16335852	22363708
สำหรับการทำความร้อนและไอน้ำ		0	0	0	0	0	0
สำหรับการประกอบอาหาร		2314598	981293	1697372	24404554	16322741	22194829
สำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน		5099	43704	42393	44432	8741	164509
สำหรับระบบปั๊มน้ำดับเพลิง		1748	2622	2185	3059	4370	4370
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าฟ้าทั้งหมด	kWh/yr.	6655000	5885000	7869000	28162000	52332837	52259303
สำหรับระบบปรับอากาศ		3637623	2459342	4447056	12124050	15616219	17465059
สำหรับระบบแสงสว่าง		1206552	719736	1216323	4311349	5708860	13064826
สำหรับระบบอื่นๆ		1810826	2705923	2205621	11726601	31007758	21729418
ปริมาณการใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด	kWh/yr.	0	0	0	0	0	0
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์		0	0	0	0	0	0
ระบบพลังงานชีวมวล		0	0	0	0	0	
ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยทั้งหมด	kg/yr.	208290	511931	764737	7279852	989906	7655250
พลาสติก		58590	163851	191625	1533000	177753	1387500
กระดาษ		63720	176651	249113	2730200	314792	2550000
แก้ว		6730	6144	14564	58400	5362	112500
โลหะ		3760	2048	13031	35040	2085	72750
ผ้า		670	512	1303	3212	348	8250
เศษอาหาร		73060	162314	287438	2847000	480628	3390000
อื่นๆ		1760	410	7665	73000	8937	134250
ปริมาณการใช้น้ำประปา	m^3	55104	54978	66737	515055	637297	758549
ปริมาณการเกิดน้ำเสีย		44083	41948	56726	463550	541702	682694
ปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด	kg/yr.	328	168	0	408	1281	0
การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ		4	17	0	0	438	0
การใช้สารทำความเย็นระบบตู้แช่/ความเย็น		256	151	0	0	812	0
การใช้สารดับเพลิง		68	0	0	408	23	0
การใช้ปุ๋ย/สารเคมีอื่นๆ		0	0	0	0	8	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารซุปเปอร์มาร์เก็ตและศูนย์การค้า

หมวดหมู่	หน่วย	อาคารซุปเปอร์มาร์เก็ต			อาคารศูนย์การค้า		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก							
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด	$kgCO_2eq/year$	143,818	64,202	108,408	1,514,544	1,011,600	1,386,754
การทำความร้อนและไอน้ำ		-	-	-	-	-	-
การประกอบอาหาร		143,309	60,757	105,093	1,511,013	1,010,626	1,374,197
การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน		379	3,250	3,152	3,304	650	12,232
ระบบปั๊มน้ำดับเพลิง		130	195	162	227	325	325
การใช้ไฟฟ้าฟ้าทั้งหมด		3,769,392	3,333,264	4,457,002	15,950,957	29,641,319	29,599,669
ระบบปรับอากาศ		2,060,350	1,392,971	2,518,813	6,867,062	8,845,026	9,892,209
ระบบแสงสว่าง		683,391	407,658	688,925	2,441,948	3,233,498	7,399,917
ระบบอื่นๆ		1,025,652	1,532,635	1,249,264	6,641,947	17,562,794	12,307,542
การใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด		-	-	-	-	-	-
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์		-	-	-	-	-	-
ระบบพลังงานชีวมวล		-	-	-	-	-	-
การเกิดขยะมูลฝอยทั้งหมด		539,008	1,329,772	1,993,835	19,225,251	2,598,451	20,160,533
พลาสติก		135,929	380,133	444,570	3,556,560	412,387	3,219,000
กระดาษ		186,700	517,589	729,900	7,999,486	922,340	7,471,500
แก้ว		15,614	14,255	33,787	135,488	12,441	261,000
โลหะ		8,723	4,752	30,231	81,293	4,838	168,780
ผ้า		1,340	1,024	2,606	6,424	695	16,500
เศษอาหาร		184,842	410,656	727,217	7,202,910	1,215,990	8,576,700
อื่นๆ		5,861	1,364	25,524	243,090	29,761	447,053
การใช้น้ำประปา		27,998	27,934	33,909	261,699	323,811	385,419
การเกิดน้ำเสีย		-	-	-	-	-	-
การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด		468,628	304,080	-	408	2,107,271	-
การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ		5,200	30,408	-	-	636,810	-
การใช้สารทำความเย็นระบบตู้แช่/ความเย็น		463,360	273,672	-	-	1,469,720	-
การใช้สารดับเพลิง		68	-	-	408	720	-
การใช้ปุ๋ย/สารเคมีอื่นๆ		-	-	-	-	21	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ข-5 ข้อมูลทั่วไป และการใช้พลังงานของอาคารโรงแรม และโรงพยาบาล

หมวดหมู่	หน่วย	อาคารโรงแรม			อาคารโรงพยาบาล		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3
ข้อมูลทั่วไป							
อายุการใช้งานอาคาร	ปี	10	7	10	24	20	30
จำนวนวันทำการ	วัน/ปี	365	365	365	365	365	365
พื้นที่ปรับอากาศ	m^2	28,405	30,697	29,551	36,496	47,590	59,638
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	m^2	40,078	3,017	21,548	2,811	2,628	286
พื้นที่จอดรถ	m^2	24,347	12,975	30,835	16,928	22,299	29,911
พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด	m^2	92,830	46,689	116,175	56,235	72,517	89,835
จำนวนห้องพัก	ห้อง	336	333	503			
จำนวนเตียงผู้ป่วย	เตียง				150	230	260
จำนวนห้องพักที่ขายได้	ห้อง-วัน/ปี	111,908	98,018	104,963			
จำนวนเตียงผู้ป่วยใน	เตียง-วัน/ปี				36,323	60,973	70,076
จำนวนผู้ใช้งานอาคาร	คน/วัน	954	868	1,388	1,891	2,454	3,190
ข้อมูลประสิทธิภาพการใช้งานอาคาร							
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด	MJ/yr.	17,185,041	19,106,814	18,145,927	7,414,202	1,297,342	1,138,113
สำหรับการทำความร้อนและไอน้ำ		12,378,279	10,125,715	11,251,997	6,640,004	-	-
สำหรับการประกอบอาหาร		4,790,736	8,978,914	6,884,825	737,778	1,242,238	1,123,545
สำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน		16,025	2,185	9,105	36,420	55,103	14,568
สำหรับระบบปั๊มน้ำดับเพลิง		-	-	-	-	-	-
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด	kWh/yr.	8,498,000	9,229,000	8,863,500	6,735,000	10,224,000	12,238,000
สำหรับระบบปรับอากาศ		4,949,103	4,799,080	4,874,092	2,599,710	5,887,879	8,052,785
สำหรับระบบแสงสว่าง		893,092	1,384,350	1,138,721	2,485,215	1,577,563	1,480,041
สำหรับระบบอื่นๆ		2,655,805	3,045,570	2,850,688	1,650,075	2,758,558	2,705,174
ปริมาณการใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด	kWh/yr.	-	-	-	-	-	-
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์		-	-	-	-	-	-
ระบบพลังงานชีวมวล		-	-	-	-	-	
ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยทั้งหมด	kg/yr.	97,210	97,085	97,147	254,542	174,520	214,531
พลาสติก		5,558	13,996	9,777	68,217	48,866	58,541
กระดาษ		22,367	30,951	26,659	113,780	68,063	90,922
แก้ว		3,846	9,432	6,639	3,818	1,745	2,782
โลหะ		436	3,914	2,175	2,545	1,745	2,145
ผ้า		873	644	758	10,182	3,490	6,836
เศษอาหาร		63,257	37,933	50,595	55,236	48,866	52,051
อื่นๆ		873	215	544	764	1,745	1,254
ปริมาณการใช้น้ำประปา	m^3	131,449	163,912	147,681	110,891	178,760	189,445
ปริมาณการเกิดน้ำเสีย		104,992	139,235	122,114	80,224	119,026	179,973
ปริมาณการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด	kg/yr.	89	141	115	188	86	41
การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ		-	84	42	90	40	41
การใช้สารทำความเย็นระบบตู้แช่/ความเย็น		20	57	38	30	-	-
การใช้สารดับเพลิง		68	-	34	68	46	-
การใช้ปุ๋ย/สารเคมีอื่นๆ		1	-	1	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-6 ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารโรงแรม และโรงพยาบาล

หมวดหมู่	หน่วย	อาคารโรงแรม			อาคารโรงพยาบาล		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก							
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด		1,064,214	1,183,029	1,123,622	459,505	81,011	70,648
การทำความร้อนและไอน้ำ		766,404	626,936	696,670	411,117	-	-
การประกอบอาหาร		296,619	555,931	426,275	45,680	76,913	69,564
การผลิตไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน		1,192	162	677	2,708	4,097	1,083
ระบบปั๊มน้ำดับเพลิง		-	-	-	-	-	-
การใช้ไฟฟ้าฟ้าทั้งหมด		4,813,267	5,227,306	5,020,286	3,814,704	5,790,874	6,931,603
ระบบปรับอากาศ		2,803,172	2,718,199	2,760,685	1,472,476	3,334,895	4,561,097
ระบบแสงสว่าง		505,847	784,096	644,971	1,407,626	893,532	838,295
ระบบอื่นๆ		1,504,248	1,725,011	1,614,629	934,602	1,562,447	1,532,211
การใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด		-	-	-	-	-	-
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์		-	-	-	-	-	-
ระบบพลังงานชีวมวล		-	-	-	-	-	-
การเกิดขยะมูลฝอยทั้งหมด		253,057	252,093	252,575	669,056	457,312	563,184
พลาสติก	$kgCO_2eq/yr.$	12,895	32,472	22,684	158,264	113,368	135,816
กระดาษ		65,536	90,686	78,111	333,376	199,424	266,400
แก้ว		8,922	21,882	15,402	8,858	4,049	6,453
โลหะ		1,012	9,079	5,046	5,905	4,049	4,977
ผ้า		1,746	1,288	1,517	20,363	6,981	13,672
เศษอาหาร		160,040	95,971	128,005	139,746	123,630	131,688
อื่นๆ		2,906	715	1,811	2,543	5,812	4,177
การใช้น้ำประปา		66,789	83,284	75,036	56,344	90,828	96,257
การเกิดน้ำเสีย		-	-	-	-	-	-
การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด		78,847	378,017	228,432	420,648	3,126	73,848
การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ		-	155,640	77,820	93,580	3,080	73,848
การใช้สารทำความเย็นระบบตู้แช่/ความเย็น		78,440	222,377	150,409	327,000	-	-
การใช้สารดับเพลิง		68	-	34	68	46	-
การใช้ปุ๋ย/สารเคมีอื่นๆ		339	-	170	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค รายละเอียดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตาราง ค-1 รายละเอียดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ชื่อมาตรการ	รายละเอียด
Automatic system control	การติดตั้งระบบ/อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติ เช่น การติดตั้ง Door stop เพื่อลดการรั่วไหลของอากาศ, การติดตั้ง timer เพื่อควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศ หรือ การติดตั้ง motion sensor สำหรับบันไดเลื่อน เป็นต้น
Boiler efficiency improvement	การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง
Building Energy management system	การติดตั้งระบบการจัดการและการควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร
Central AC system maintenance	การบำรุงรักษาอุปกรณ์ทั่วไปของระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม เช่น การล้างทำความสะอาดเครื่องทำน้ำเย็น, การล้าง Condenser tube และการบำรุงรักษา Coil AHU เป็นต้น
Chiller efficiency improvement	การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ เช่น การเปลี่ยน Air package water cooled และ Condenser Water Pump เป็นต้น
Cooling tower efficiency improvement	การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของหอหล่อเย็น เช่น การเปลี่ยนใบพัดลมและชุดควบคุมของ Cooling Tow, การปรับปรุง/เปลี่ยน Filling ของ Cooling tower และการติดตั้ง Ozone generator เป็นต้น
Grease trap efficiency improvement	การปรับปรุงประสิทธิภาพของบ่อดักไขมัน เช่น การเปลี่ยนโซ่และชุดใบกวาดไขมัน เป็นต้น
High efficiency air compressor replacement	การเปลี่ยนเครื่องเติมอากาศ/อัดอากาศสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียเป็นชนิดประสิทธิภาพสูง
High efficiency central AC replacement	การเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวมประสิทธิภาพสูง เช่น การเปลี่ยนมาใช้ระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม VRF เป็นต้น
High efficiency Chiller replacement	การเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเดิมเป็นแบบประสิทธิภาพสูง
High efficiency cooling tower replacement	การเปลี่ยนหอหล่อเย็นประสิทธิภาพสูงแทนหอหล่อเย็นชุดเดิม
High efficiency heating system replacement	การติดตั้ง Heat pump ประสิทธิภาพสูงโดยการเปลี่ยนจากระบบเดิมที่มีการใช้น้ำมันเตา หรือ ก๊าซ LPG มาใช้เป็นระบบไฟฟ้า แทน
High efficiency LED lights replacement	การเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดประหยัดพลังงาน LED ประสิทธภาพสูง
High efficiency spilt-type AC replacement	เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูงทดแทนชุดเดิม
Lighting efficiency improvement	การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานหลอดไฟ เช่น Motion sensor, dimmer, Photo cell switch เป็นต้น
Motor efficiency improvement	การปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ เช่น การติดตั้ง VSD สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เป็นต้น
Saving practice	การลดการใช้พลังงานโดยการกำหนดหรือควบคุมผ่านตัวอุปกรณ์นั้นๆ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิ Set point ของเครื่องทำน้ำเย็น, การปรับความเร็วรอบของ VSD พัดลม และการตั้งปิด-เปิดอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น
Solar cell setting	การติดตั้งระบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานใช้ในอาคาร
Spilt-type AC efficiency improvement	การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เช่น การติดตั้งหลังคากับชุดคอยล์ร้อน และการติดตั้งอุปกรณ์ลดความร้อนน้ำยาทำความเย็น เป็นต้น
Spilt-type AC system maintenance	การบำรุงรักษาอุปกรณ์ทั่วไปของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เช่น การล้างทำความสะอาด Condenser เป็นต้น
Waste heat recovery	การนำกลับพลังงานความร้อนที่สูญเปล่ามาใช้งาน โดยการติดตั้ง Heat exchanger
Working hours reduction	การลดการใช้พลังงานโดยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้งาน เช่น การลดชั่วโมงการใช้งานของหลอดไฟ, เครื่องปรับอากาศ หรือการปิดอุกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)

ตาราง ง-1 ค่า Emission factor สำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2eq$/หน่วย	แหล่งข้อมูลอ้างอง	วันที่อัพเดต
การเผาไหม้ของเชื้อเพลง(เผาไหม้อยู่กับที่)						
1	ก๊าซหุงต้ม (LPG)	Conversion from litter to kilogram	kg	3.1100	IPCC	19-Mar-13
2	ดีเซล	Use calorific value from DEDE	L	2.7080	IPCC 2007, DEDE	19-Mar-13
การใช้พลังงานไฟฟ้า						
3	Electricity, gird mix (ไฟฟ้า)	การผลิตไฟฟ้าในระบบ Grid mix ของประเทศไทย	kWh	0.5664	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.)	28-Sep-17
4	Solar cell, wind project	โครงการพลังงานแสงอาทิตย์และลม	kWh	0.5692	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.)	29-Sep-17
การจัดการขยะมูลฝอย						
5	กระดาษ/กระดาษกล่อง	การกำจัดกากของเสียแบบฝังกลบ	kg	2.9300	IPCC 2006, อบก.	Oct-2013
6	ผ้า	การกำจัดกากของเสียแบบฝังกลบ	kg	2.0000	IPCC 2006, อบก.	Oct-2013
7	เศษอาหาร	การกำจัดกากของเสียแบบฝังกลบ	kg	2.5300	IPCC 2006, อบก.	Oct-2013
8	เศษไม้	การกำจัดกากของเสียแบบฝังกลบ	kg	3.3300	IPCC 2006, อบก.	Oct-2013
9	ยางและหนัง	การกำจัดกากของเสียแบบฝังกลบ	kg	3.1300	IPCC 2006, อบก.	Oct-2013
10	อื่นๆ	การกำจัดกากของเสียแบบฝังกลบ	kg	2.3200	IPCC 2006, อบก.	Oct-2013
การใช้น้ำประปา						
11	น้ำประปา-การประปานครหลวง	ผลิตโดยใช้น้ำผิวดิน	m3	0.5081	Thai National Database/MTEC	19-Apr-15
การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย						
12	ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ		Kg-COD	0.0000	อบก.	Oct-2017
13	ระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ		Kg-COD	5.0000	อบก.	Oct-2017
14	การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียชุมชนเมืองขนาดใหญ่	เทคโนโลยีระบบบำบัดแบบ AS/CASS/CSAS/VLR-AS/Two-stage AS/OD/SP; ข้อมูลจากเมืองที่มีประชากรมากกว่า 50,000 คนขึ้นไป	m3	0.0001332	อบก.	28-Sep-17
สารทำความเย็น						
15	R22	HCFC	GWP-100yr	1,810	IPCC/TEAP 2005	
16	R134A	HFC	GWP-100yr	1,430	IPCC/TEAP 2005	
17	R123	HCFC	GWP-100yr	77	IPCC/TEAP 2005	
18	R404A	HFC blend	GWP-100yr	3,922	IPCC/TEAP 2005	
19	R410A	HFC blend	GWP-100yr	2,088	IPCC/TEAP 2005	
20	R12	CFC	GWP-100yr	10,900	IPCC/TEAP 2005	
สารดับเพลิง						
21	สารดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	GWP-100yr	1	IPCC/TEAP 2005	
สารเคมี						
22	ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-16	N_2O	GWP-100yr	298	IPCC/TEAP 2005	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฉ สมการและตัวอย่างการคำนวณ

<u>การคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก</u>

Calculates the Energy performance index

$$\text{Energy index} = \frac{\text{Total energy consumption}}{\text{Building area or Number of occupants}} \quad (1)$$

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

ชื่ออาคาร	ขนาดพื้นที่ (m^2)	จำนวนผู้ใช้งาน (person/yr)	การใช้พลังงานทั้งหมด (kWh/yr)	ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m^2/yr)	ดัชนีการใช้พลังงานต่อคน (kWh/person/yr
อาคาร A	1,000	500	15,000	15	30
อาคาร B	2,000	1000	25,000	12.5	25

Calculation of GHG emission index

$$\text{GHG emission index} = \frac{\text{Total GHG emission (kgCO2eq/year)}}{\text{Building area or Number of occupants}} \quad (2)$$

When:

Total GHG Emission = AD x EF

= ?? (kgCO2eq/year)

Since:

AD = Activity Data (Unit/year)

EF = Emission Factor (kgCO2e/Unit)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

ชื่ออาคาร	ขนาดพื้นที่ (m^2)	จำนวนผู้ใช้งาน (person/yr)	การใช้พลังงานทั้งหมด (kWh/yr)	EF ($kgCO_2eq$/unit)	การปล่อย GHG ทั้งหมด ($kgCO_2eq$/yr)	ดัชนีการปล่อย GHG ต่อพื้นที่ ($kgCO_2eq/m^2$/yr)	ดัชนีการปล่อย GHG ต่อคน ($kgCO_2eq$/person/yr
อาคาร A	1,000	500	15,000	0.5664	8,496	8.50	16.93
อาคาร B	2,000	1000	25,000	0.5664	14,160	7.08	14.16

<u>การคำนวณต้นทุน และศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG abatement cost)</u>

<u>Step1:</u> การประเมินค่าพลังงานที่ลดได้จากการดำเนินมาตรการ

- The energy consumption reduction (EnR) of each measure are calculated by Eq.3

$$EnR = BE_n - PE_n \quad (3)$$

Where:

EnR= Energy consumption reduction (kWh/year)

PE_n= Project energy consumption (kWh/year)

BE_n= Baseline energy consumption (kWh/year)

- The average energy reduction intensity (EnRI)

for each building and measure category can be calculated, as shown in Eq. 4

$$EnRI = \frac{\sum_{i=1}^{n} EnR_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} A_{i,j}} \quad (4)$$

Where:

EnRI = Average reduction in energy intensity of each building type (kWh/m^2)

$EnR_{i,j}$ = Energy consumption reduction in building type i due to measure j (kWh/year)

$A_{i,j}$ = Usage area of building type i implementing measure j (m^2)

n = Number of building type i implementing measure j

i = Index number of building types implementing measure j

j = Index number of measures

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>Step2:</u> การประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการดำเนินมาตรการ

- The GHG emission reduction (ER) of each measure are calculated by Eq.5

$$ER = BE - PE \quad (5)$$

Where:

ER= GHG emission reduction ($kgCO_2eq$/year)

PE= Project GHG emission ($kgCO_2eq$/year)

BE= Baseline GHG emission ($kgCO_2eq$/year)

- The average GHG emission reduction intensity (ERI)

for each building and measure category can be calculated, as shown in Eq. 6

$$ERI = \frac{\sum_{i=1}^{n} ER_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} A_{i,j}} \quad (6)$$

Where:

ERI = Average reduction in GHG emission intensity of each building type (kWh/m^2)

$ER_{i,j}$ = GHG emission reduction in building type i due to measure j(kWh/year)

$A_{i,j}$ = Usage area of building type i implementing measure j (m^2)

n = Number of building type i implementing measure j

i = Index number of building types implementing measure j

j = Index number of measures

<u>Step 3:</u> การประเมินค่าต้นทุนที่ใช้สำหรับการดำเนินมาตรการ

- การประเมินค่าต้นทุนที่ใช้ต่อค่าพลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้

To study the real costs incurred in executing the conservation measures, the capital expenditure data and operation and maintenance cost of each measure from each building were collected for analysis

$$EAC = Inv \frac{r(1+r)^{n-1}}{((1+r)^{n}-1)} + OM \quad (7)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Where:

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

OM = Estimated operating and maintenance cost of the measure (USD/year)

Inv = Investment cost of the measure (USD)

n = lifetime of the measure (years) (Technical lifetime of the equipment or technologies estimated by the sample building)

r = discount rate (%) which was approximately 7%

(Average minimum loan rate (MLR) of the commercial banks in Thailand)

The index for energy saving and GHG emission reduction on the equivalent annual investment cost of each measure as shown in Eq.8

$$\text{EnROI} = \frac{\sum_{i=1}^{n} EnR_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} EAC_{i,j}} \quad (8)$$

Where:

EnROI = Average energy consumption reduction on investment cost of each building type (kWh/USD)

$EnR_{i,j}$ = Energy consumption reduction in building type i due to measure j (kWh/year)

$EAC_{i,j}$ = Equivalent annual investment cost in building type i due to measure j calculated by Eq. 7 (USD/year)

$$\text{EROI} = \frac{\sum_{i=1}^{n} ER_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} EAC_{i,j}} \quad (9)$$

Where:

EnROI = Average GHG emission reduction on investment cost of each building type ($kgCO_2eq$/USD)

$ER_{i,j}$ = GHG emission reduction in building type i due to measure j ($kgCO_2eq$ /year)

$EAC_{i,j}$ = Equivalent annual investment cost in building type i due to measure j calculated by Eq. 7 (USD/year)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>Step 4:</u> การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินมาตรการ (Economic feasibility analysis)

- The GHG abatement cost (USD/tCO2eq) of each measure can be expressed as the following equation

$$\text{GHG abatement cost} = \frac{\mathbf{EAC - (EnR \times PriceEn)}}{\mathbf{ER}} \quad (10)$$

Where:

EAC = Equivalent annual investment cost as described in Eq. 7 (USD/year)

EnR = Energy consumption reduction (kWh/year)

ER = GHG emission reduction (tCO_2eq/year)

$Price_{En}$ = Price of energy (USD/kWh) (0.1USD/kWh by MEA)

Since EnR= EnROI × EAC and EROI = ER/EAC, therefore Eq. 10 can be written as

$$\text{GHG abatement cost} = \frac{1 - EnROI\ x\ PriceEn}{EROI}$$

<u>Step 5</u>: การประเมินศักยภาพการลดใช้พลังงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของการดำเนินมาตรการ

- The potential for energy saving and GHG emission reduction per building usage area then can be estimated by calculating the summation of the indices EnRI and ERI of all measures that meet economic feasibility criteria, as shown in Eqs. 11 and 12 respectively.

$$EnR_{Potential} = \sum_i^{feasible} EnRI_i \quad (11)$$

$$ER_{Potential} = \sum_i^{feasible} ERI_i \quad (12)$$

Where:

$EnR_{Potential}$ = Potential for energy consumption reduction (MWh/USD)

$ER_{Potential}$ = Potential for GHG emission reduction (tCO_2eq/USD)

$EnRI_i$ = Reduction in energy intensity (MWh/USD)

ERI_i = Reduction in carbon intensity (tCO_2eq/USD)

i = Index number for measures that are economically feasible

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย อทิตินนท์ ภูพาดทอง เกิดเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม 2535

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสาธารณสุขศาสตร์(อนามัยสิ่งแวดล้อม) จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

ปีการศึกษา 2558 ศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัยหัวข้อเรื่อง "The assessment of environmental and economic performances for improving existing educational building: a case study of Bangkok, Thailand" .ในงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ 2018 9th International Conference on Material and Manufacturing Technology (ICMMT) ณ เมืองมอสโก ประเทศสหพันธรัสเซีย โดยผู้วิจัยได้รับรางวัล Best Oral Presentation จากการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University