

ผลกระทบของรูปทรง การวางทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพ  
การประหยัดพลังงาน เปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010



นางสาวไยชมภู นาคประสิทธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPACT OF BUILDING FORMS, ORIENTATIONS AND BUILDING ENVELOP ON ENERGY  
PERFORMANCE OF HIGH-RISED CONDOMINIUM COMPARE WITH  
BUILDING BASED ON THE ASHRAE STANDARD 90.1 2010

Miss Yaichompoo Nakprasit



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของรูปทรง การวางทิศทาง และเปลือกอาคาร  
ชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน  
เปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1  
2010

โดย

นางสาวไยชมภู นาคประสิทธิ์

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัชชิตติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตตร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

ไข่มุก นาคประสิทธิ์ : ผลกระทบของรูปทรง การวางทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน เปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 (IMPACT OF BUILDING FORMS, ORIENTATIONS AND BUILDING ENVELOP ON ENERGY PERFORMANCE OF HIGH-RISED CONDOMINIUM COMPARE WITH BUILDING BASED ON THE ASHRAE STANDARD 90.1 2010) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรถนัฐ เศรษฐบุต, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2010 โดยเริ่มจากการสำรวจรูปทรงและเปลือกอาคารของอาคารชุดพักอาศัยที่เป็นอาคารสูงในเขตกรุงเทพมหานคร สร้างเป็นอาคารอ้างอิงที่ทำการศึกษาทั้งหมด 7 รูปทรง 38 ทิศทาง และปรับตัวแปรด้านสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร ผนัง กระฉก และระเบียง โดยทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G. บนข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร รวมอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมด 3,078 รูปแบบ พบว่าปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ หรือ EUI สอดคล้องกับค่าการประหยัดพลังงานจากอาคาร Baseline หรือ %SAVE อย่างชัดเจน อาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยลงก็จะมีค่า %SAVE เพิ่มขึ้นตามลำดับ ต่างจากอาคารสำนักงานที่มีค่า EUI กับ %SAVE ไม่สอดคล้องกันอย่างชัดเจน เนื่องจากอาคารสำนักงานมีชั่วโมงการใช้งานในตอนกลางวัน รูปร่างและทิศทางจึงส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารอย่างยิ่ง ในขณะที่อาคารชุดพักอาศัยเน้นการใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางคืน การบังเงาที่เกิดจากรูปทรงของอาคารส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร แต่รูปทรงและเปลือกอาคารส่งผลกระทบมาก อาคารที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยจะมีการใช้พลังงานในอาคารที่น้อยลงเช่นกัน ประสิทธิภาพของกระฉกส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารมากที่สุด ในกรณีที่ต้องการทำคะแนน %SAVE ให้ได้มากขึ้น ควรใช้กระฉกที่มีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่าที่มาตรฐาน ASHRAE กำหนด หากใช้กระฉกที่มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า ควรออกแบบอาคารให้มีระเบียงหรือแผงบังแดดที่มีประสิทธิภาพ

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

# # 5573344825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: BUILDING FORMS AND ORIENTATIONS / ENERGY EFFICIENCY IN BUILDING / ASHRAE 90.1

YAICHOMPOO NAKPRASIT: IMPACT OF BUILDING FORMS, ORIENTATIONS AND BUILDING ENVELOP ON ENERGY PERFORMANCE OF HIGH-RISED CONDOMINIUM COMPARE WITH BUILDING BASED ON THE ASHRAE STANDARD 90.1 2010. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 108 pp.

This research was conducted to study the effects of shapes, directions and facade of residential buildings on the efficient use of energy based on ASHRAE 90.1 2010 standard. Start by exploring the shape and facade of high rise residential buildings in Bangkok. According to the study of buildings totally 3,078 models (all seven shapes in 38 directions with adjustment of window wall ration outside of the buildings, walls, windows and balconies by building energy simulation program with Visual DOE 4.0 standard ASHRAE 90.1 2010 Appendix G. based on the climate of the city.), the amount of energy per unit area or EUI clearly comply with the energy savings from buildings or Baseline % SAVE. The less energy used in the building, the more %SAVE is increasing which is contrary to the research conducted for office buildings where value of EUI and %SAVE are clearly inconsistent. As the usage of energy for office buildings is during daytime, therefore; shapes, directions of the buildings have an effect on the volume of energy usage. While the energy is mainly used during the night for residential buildings, shading caused by the shape of the building has relatively little impact but shapes and facades have great impact on energy efficiency in the buildings. Buildings with less facade has relatively less volume of energy usage. The quality of window materials has great impact on the level of energy usage in the buildings. In order to get more scores of % SAVE, high quality glass equivalent to ASHRAE standards is recommended. In the case that the glass is low quality, the building should have more effective design of balcony or shading.

Department: Architecture

Student's Signature .....

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นผลมาจากผู้เกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อรรถจน์ เศรษฐบุตฺร ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มทำงานที่แรก จนเริ่มเข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณ รศ.ธนิต จินดาวงศ์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบ และให้คำแนะนำที่ดีแก่วิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน และ ผศ.ดร.วรภัทร อิงคโรจน์ฤทธิ ในฐานะกรรมการสอบ และได้ให้ความรู้ คำแนะนำที่ดีมาตลอดการศึกษานี้ รวมถึง ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่าน เพื่อนร่วมเรียนในหลักสูตรนวัตกรรมออกแบบนิเวศน์สถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ช่วยเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือ ชี้แนะ และช่วยติดต่อประสานงานในการศึกษาครั้งนี้

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ สนับสนุนในทุกๆด้าน รวมถึงทุกท่านที่มีได้เอ่ยนามที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจมาโดยตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.6 สมมติฐานการวิจัย .....	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	11
2.1 ASHRAE 90.1 2010.....	11
2.2 รูปทรงและการวางทิศทางอาคาร .....	14
2.3 ปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร .....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	20
3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	20
3.3 สำนวจลักษณะรูปร่างของอาคารชุดพักอาศัย .....	20

3.4 กำหนดรูปทรงอาคาร Basecase .....	22
3.5 การกำหนดค่า Baseline .....	24
3.6 กำหนดตัวแปรอาคาร Proposed.....	26
3.7 งานระบบและการใช้งานในอาคาร.....	29
3.8 จำลองการใช้พลังงานอาคาร Proposed.....	34
3.9 การเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัด พลังงาน (%SAVE) .....	36
3.10 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)กับพลังงานที่ใช้(EUI) ของอาคาร.....	37
รูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน .....	37
3.11 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
4.1 อาคาร Proposed เริ่มต้น.....	40
4.2 ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่(EUI) และค่าการประหยัดพลังงาน(%SAVE).....	42
4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) ที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI.....	54
4.4 อิทธิพลของกระจกที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI .....	55
4.5 %SAVE ที่มากกว่า 0.....	57
4.6 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น .....	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	88
รายการอ้างอิง .....	92
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก.....	95



ภาคผนวก ข. ....	97
ภาคผนวก ค. ....	100
ภาคผนวก ง. ....	102
ภาคผนวก จ. ....	105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	108



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนหน่วยที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนในเขตกรุงเทพมหานคร จำแนกตามประเภทที่อยู่อาศัย เฉพาะที่อยู่อาศัยที่สร้างโดยผู้ประกอบการ (ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์, 2552 ).....	3
ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์การวิจัย วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ....	10
ตารางที่ 3 แสดงเงื่อนไขในการจำลองการใช้พลังงานอาคาร ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ..	12
ตารางที่ 4 ผลการจำลองการใช้พลังงานสำหรับทาว์นเฮาส์ที่มี WWR = 10–80 % (ผศ.ดร. อรรถนัย เศรษฐบุญสุข, 2007).....	15
ตารางที่ 5 แสดงค่ามาตรฐานกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ.....	18
ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมตามกฎกระทรวง เปรียบเทียบกับค่าจากการสำรวจ (อภิญา บุญมา, 2555).....	18
ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร คำนวณโดย สมการการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ที่มีชั่วโมงการใช้งานตามกฎกระทรวง กับ ค่าชั่วโมงการใช้งาน ชั่วโมงใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง และชั่วโมงใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ (อภิญา บุญมา, 2555) ...	19
ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดรูปทรงอาคารที่ศึกษาทั้ง 7 รูปทรง (1).....	22
ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดรูปทรงอาคารที่ศึกษาทั้ง 7 รูปทรง (2).....	23
ตารางที่ 10 แสดงรูปทรงและทิศทางอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมด 38 แบบ.....	24
ตารางที่ 11 แสดงอาคาร Basecase 19 แบบ.....	25
ตารางที่ 12 แสดงรายละเอียดอาคาร Baseline.....	26
ตารางที่ 13 แสดงตัวแปรด้านสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร(WWR).....	27
ตารางที่ 14 แสดงตัวแปรด้านผนังอาคาร.....	27
ตารางที่ 15 แสดงตัวแปรกระจก.....	28
ตารางที่ 16 แสดงตัวแปรระเบียง.....	29
ตารางที่ 17 รายละเอียดของอาคาร Proposed.....	35

ตารางที่ 18 แสดงอาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า EUI และ %SAVE สูงสุดและต่ำสุด.....	41
ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 7 รูปทรง .....	53
ตารางที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงานทั้ง 9 รูปทรงของอโรชา,2555..	53
ตารางที่ 21 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 7 รูปทรงตามค่า CI EUI และ %SAVE .....	54
ตารางที่ 22 แสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำที่สุด ของภูมิอากาศหนาว-ชื้น และร้อน-ชื้น.....	69
ตารางที่ 23 แสดงอาคาร Proposed เริ่มต้นทั้ง 38 แบบที่นำมาจำลองการใช้พลังงานในสภาพ ภูมิอากาศหนาวเย็น .....	70
ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ย EUI แต่ละรูปทรงอาคาร เปรียบเทียบระหว่างสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และหนาวชื้น .....	72
ตารางที่ 25 แสดงค่าเฉลี่ย %SAVE แต่ละรูปทรงอาคาร เปรียบเทียบระหว่างสภาพภูมิอากาศ ร้อนชื้น และหนาวชื้น.....	72
ตารางที่ 26 แสดงอาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า EUI และ %SAVE สูงสุดและต่ำสุด.....	76
ตารางที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 7 รูปทรง .....	77
ตารางที่ 28 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงานทั้ง 9 รูปทรงของอโรชา,2555..	77
ตารางที่ 29 แสดงอาคารรูปแบบที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุด .....	78
ตารางที่ 30 แสดงรายละเอียดอาคารอ้างอิงของ อภิญา บัญมา(2555).....	85
ตารางที่ 31 แสดงข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละรูปทรง.....	87
ตารางที่ 32 แสดงอาคารที่มี %SAVE เป็นบวก แบ่งตามรูปทรงอาคารและประเภทกระจก (1).....	90
ตารางที่ 33 แสดงอาคารที่มี %SAVE เป็นบวก แบ่งตามรูปทรงอาคารและประเภทกระจก (2).....	91

## สารบัญญภาพ

ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 Appendix G. (อุโรชา เจียรนัยพานิชย์, 2555).....	13
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะอาคารพักอาศัยจากงานวิจัยของ Chua and Chou, 2011.....	14
ภาพที่ 3 แสดงรูปร่างผังอาคารพักอาศัยที่พบจากการสำรวจ.....	21
ภาพที่ 4 แสดงการป้อนข้อมูลงานระบบและการใช้งานในอาคารดังนี้ 1.LPD (Lighting Power Density) 2.ช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง 3.การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือต่างๆ 4.อุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ 5.ช่วงเวลาเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ.....	30
ภาพที่ 5 แสดงการตั้งค่า LPD ในโปรแกรม DOE2.....	31
ภาพที่ 6 แสดงการป้อนข้อมูลชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างตามช่วงเวลาการใช้งานจริง.....	31
ภาพที่ 7 แสดงลักษณะการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในวันจันทร์-ศุกร์ (Weekday).....	32
ภาพที่ 8 แสดงลักษณะการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในวันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์.....	32
ภาพที่ 9 แสดงการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในช่วงวันจันทร์-ศุกร์ วันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์.....	33
ภาพที่ 10 แสดงการตั้งเวลาเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศในช่วงวันจันทร์-ศุกร์ วันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์.....	33
ภาพที่ 11 แสดงข้อกำหนดรายละเอียดระบบปรับอากาศ ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G.....	34
ภาพที่ 12 แสดงข้อกำหนดรายละเอียดค่า COP เครื่องปรับอากาศระบบ PTHP หรือ Packaged Terminal Heat Pumps.....	34
ภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดสัญลักษณ์ประกอบแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE.....	48
ภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดสัญลักษณ์ประกอบแผนภูมิค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารที่ใช้กระจกแต่ละประเภท.....	60
ภาพที่ 15 ผังอาคารอ้างอิงของอภิญา, 2555.....	85

## สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2555 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) .....	1
แผนภูมิที่ 2 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555).....	2
แผนภูมิที่ 3 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555).....	2
แผนภูมิที่ 4 แสดงการโอนกรรมสิทธิ์ที่อยู่อาศัย แยกตามประเภทที่อยู่อาศัย ปี 2555 (กรมที่ดิน, 2555).....	3
แผนภูมิที่ 5 Flow Chart แสดงวิธีการวิจัย.....	38
แผนภูมิที่ 6 แสดงค่า EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ.....	40
แผนภูมิที่ 7 แสดงค่า EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ.....	40
แผนภูมิที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed เริ่มต้นแต่ละรูปทรง .....	42
แผนภูมิที่ 9 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมด 3078 แบบ.....	43
แผนภูมิที่ 10 แสดงอาคารรูปแบบที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุด.....	43
แผนภูมิที่ 11 แสดง EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงาน จากงานวิจัยของอุไรชา,2555.....	45
แผนภูมิที่ 12 แสดง EUI และ %SAVE ของอาคารชุดพักอาศัย.....	45
แผนภูมิที่ 13 แสดงแผนภูมิต่ำ EUI และ %SAVE ของอาคารแต่ละรูปทรงเปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด(1).....	46
แผนภูมิที่ 14 แสดงแผนภูมิต่ำ EUI และ %SAVE ของอาคารแต่ละรูปทรงเปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด(2).....	47
แผนภูมิที่ 15 แสดงค่า EUI อาคารทั้งหมด 7 รูปทรง.....	49
แผนภูมิที่ 16 แสดงค่า EUI ของอาคาร Proposed แบ่งตามรูปทรงและทิศทาง.....	50
แผนภูมิที่ 17 แสดงค่า %SAVE อาคารทั้งหมด 7 รูปทรง.....	51

แผนภูมิที่ 18 แสดงค่า %SAVE ของอาคาร Proposed แบ่งตามรูปทรงและทิศทาง .....	52
แผนภูมิที่ 19 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคารที่ใช้กระจก G0 เปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด .....	55
แผนภูมิที่ 20 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคารที่ใช้กระจก G1 เปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด .....	56
แผนภูมิที่ 21 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคารที่ใช้กระจก G2 เปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด .....	57
แผนภูมิที่ 22 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกและลบ.....	58
แผนภูมิที่ 23 แสดงจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวก .....	58
แผนภูมิที่ 24 แสดงสัดส่วนของอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทกระจก.....	59
แผนภูมิที่ 26 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G0 .....	60
แผนภูมิที่ 27 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G0 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเปียง .....	61
แผนภูมิที่ 28 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G0 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภท WWR.....	62
แผนภูมิที่ 29 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G1 .....	62
แผนภูมิที่ 30 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเปียง .....	64
แผนภูมิที่ 31 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตาม WWR..	64
แผนภูมิที่ 32 จำนวนอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วได้ %SAVE เป็นบวก แบ่งตามรูปทรง,ทิศทางอาคาร และสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคารภายนอก (WWR).....	65
แผนภูมิที่ 33 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G2 .....	66
แผนภูมิที่ 34 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเปียง .....	67
แผนภูมิที่ 35 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตาม WWR..	68
แผนภูมิที่ 36 แสดงค่า EUI เปรียบเทียบอาคารในภูมิภาคหนาวชื้นและร้อนชื้น.....	71

แผนภูมิที่ 37 แสดงค่า %SAVE เปรียบเทียบอาคารในภูมิภาคหนาวชื้นและร้อนชื้น.....	71
แผนภูมิที่ 38 แสดงค่าเฉลี่ย EUI เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย %SAVE ของอาคาร 38 รูปทรง.....	79
แผนภูมิที่ 39 แสดงค่า %SAVE ที่มากกว่า 5% แบ่งตามรูปทรงและทิศทางอาคาร .....	81
แผนภูมิที่ 40 ค่า EUI งานวิจัยของอภิญา และดนตรีณ์ เปรียบเทียบกับค่า %SAVE จากอาคาร Proposed ทั้งหมด .....	86

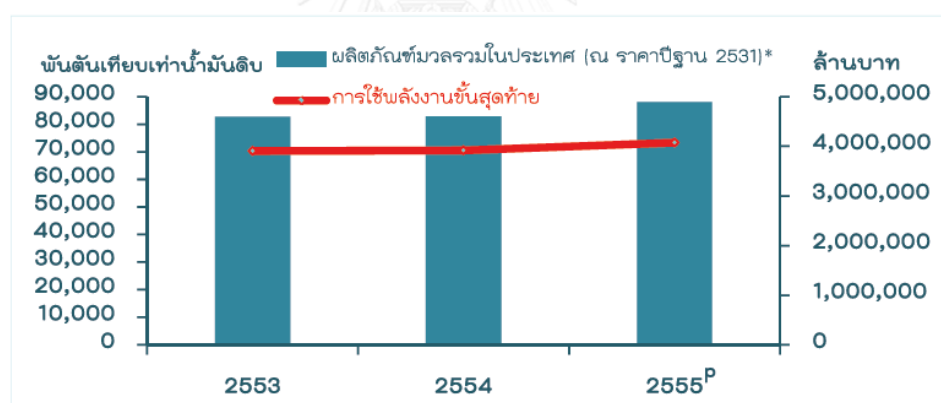


## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะโลกร้อนที่กำลังเกิดขึ้น มาจากการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือย การประหยัดพลังงานจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดสภาวะโลกร้อน หนึ่งในประเภทของพลังงานที่มีความต้องการใช้บริโภคเป็นจำนวนมาก ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศ แหล่งกำเนิดความร้อนอย่างดวงอาทิตย์และสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นจึงส่งโดยตรงผลกระทบต่อภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เกิดผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ทำความเย็น ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อปัญหาด้านการจัดหาพลังงานในภาพรวมระดับประเทศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น การหาวิธีลดภาระความร้อนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในแง่ของการส่งเสริมภะวะน่าสบายและการลดความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานในอาคาร



แผนภูมิที่ 1 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2555 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)





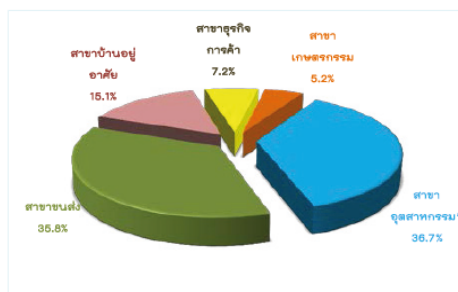
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย จำแนกตามชนิดพลังงาน	ปริมาณ (ขั้นต้นเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2553	2554	2555 <sup>๑</sup>	2554	2555 <sup>๒</sup>
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (รวม)	70,248	70,562	73,316	0.4	3.9
• พลังงานเชิงพาณิชย์	56,829	57,424	59,956	1.0	4.4
- บ้านสำเร็จรูป	32,096	33,067	35,187	3.0	6.4
- ไฟฟ้า	12,724	12,671	13,861	[0.4]	9.4
- ถ่านหิน / ลิกไนต์	8,240	7,201	5,794	[12.6]	[19.5]
- ก๊าซธรรมชาติ	3,769	4,485	5,114	19.0	14.0
• พลังงานหมุนเวียน*	4,534	4,556	5,635	0.5	23.7
• พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม**	8,885	8,582	7,725	[3.4]	[10.0]

\* ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พิน แกลบ อากาศอัด วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ชยะ และก๊าซชีวภาพ  
\*\* ประกอบด้วย พิน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

แผนภูมิที่ 2 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย จำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ	ปริมาณ (ขั้นต้นเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2553	2554	2555 <sup>๑</sup>	2554	2555 <sup>๒</sup>
1. สาขาเกษตรกรรม	3,499	3,686	3,790	5.3	2.8
2. สาขาอุตสาหกรรม *	25,571	24,856	26,910	[2.8]	8.3
3. สาขาบ้านอยู่อาศัย	10,963	11,040	11,083	0.7	0.4
4. สาขาธุรกิจการค้า	5,621	5,511	5,303	[2.0]	[3.8]
5. สาขาขนส่ง	24,594	25,469	26,230	3.6	3.0
รวม	70,248	70,562	73,316	0.4	3.9

\* ประกอบด้วย เหมืองแร่ อุตสาหกรรมการผลิต และก่อสร้าง



แผนภูมิที่ 3 แสดงการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

สถิติการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ปี 2555 จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระบุว่า การใช้พลังงานในสาขาที่อยู่อาศัยเป็นรองสาขาอุตสาหกรรมและการขนส่ง แต่สูงกว่าสาขาธุรกิจการค้าถึงเกือบ 2 เท่า ในขณะที่หลักเกณฑ์การรับรองอาคารอนุรักษ์พลังงานซึ่งส่งเสริมผลประโยชน์ทางการตลาดทางด้านอสังหาริมทรัพย์นั้น ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่อาคารสำนักงาน และอาคารเพื่อธุรกิจการค้าเสียส่วนใหญ่ จึงควรให้ความสนใจมาตรการประหยัดพลังงานในสาขาบ้านพักอาศัยมากยิ่งขึ้น

### อาคารชุดพักอาศัย

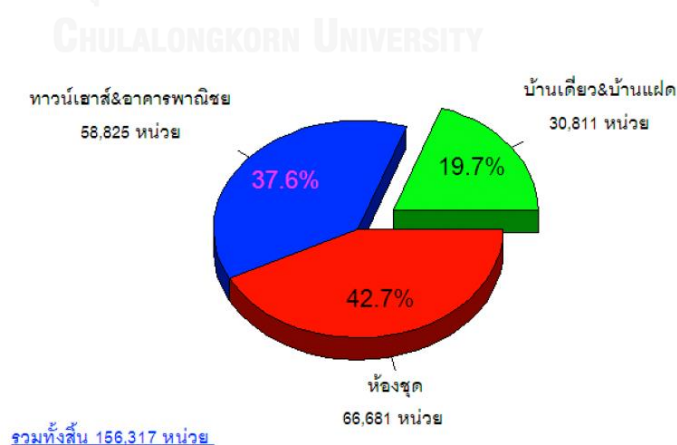
การเพิ่มขึ้นของประชากรในกรุงเทพมหานครที่เป็นการเพิ่มของประชากรนอกพื้นที่ก่อให้เกิดความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากที่อยู่อาศัยแบบปกติ คือ ที่อยู่อาศัยในแนวราบในตัวเมืองมีน้อยและราคาสูงมากทำให้ประชาชนส่วนใหญ่หันไปเลือกที่อยู่อาศัยในรูปแบบใหม่ คือ ที่อยู่อาศัยในแนวสูง และการเลือกที่อยู่อาศัยในรูปแบบใหม่นี้วันจะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นจากราง

ที่ 1 พบว่า ที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนของธุรกิจที่อยู่อาศัยมีการเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ การสร้างที่อยู่อาศัยในแนวราบ (Low-rise) ได้แก่ บ้านเดี่ยว บ้านแฝด ทาวน์เฮาส์และอาคารพาณิชย์ที่ได้รับความนิยมมาโดยตลอดมีการจดทะเบียนลดลง แต่ที่อยู่อาศัยที่มีลักษณะและรูปร่างในแนวสูง (High-rise) หรืออาคารชุด (Condominium) มีการจดทะเบียนเพิ่มมากขึ้น จึงแสดงให้เห็นว่าประชากรในเขตกรุงเทพมหานครมีพฤติกรรมการบริโภคที่อยู่อาศัยที่เปลี่ยนไป คือ เลือกที่อยู่อาศัยในแนวสูงมากกว่าที่อยู่อาศัยในแนวราบ

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนหน่วยที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนในเขตกรุงเทพมหานคร จำแนกตามประเภทที่อยู่อาศัย เฉพาะที่อยู่อาศัยที่สร้างโดยผู้ประกอบการ (ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์, 2552 )

ประเภทที่อยู่อาศัย	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552 (ไตรมาส 1)
ที่อยู่อาศัยในแนวราบ	7,901	13,445	23,361	14,659	13,945	12,193	15,280	1,897
บ้านเดี่ยว	5,655	9,677	16,960	11,134	8,817	8,508	7,613	990
บ้านแฝด	30	13	606	39	516	107	1,454	138
ทาวน์เฮาส์และอาคารพาณิชย์	2,216	3,755	5,795	3,486	4,612	3,578	6,213	769
ที่อยู่อาศัยในแนวสูง (อาคารชุด)	5,118	6,614	8,063	9,478	11,686	14,316	24,151	4,026
รวม	13,019	20,059	31,424	24,137	25,631	26,509	39,431	5,923

หมายเหตุ: 1) ที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียน หมายถึง จำนวนที่อยู่อาศัยที่ก่อสร้างเสร็จไม่ต่ำกว่า 70% และนำมาขอเลขหมายประจำบ้านที่สำนักงานเขตจากกรุงเทพมหานครเทศบาล และสำนักงานจังหวัดปริมณฑล ทั้งที่อยู่อาศัยที่สร้างโดยผู้ประกอบการ(จัดสรรและอาคารชุด) และที่ประชาชนสร้างเอง 2) อาคารชุด หมายถึง อาคารชุดจดทะเบียนที่กรมที่ดิน



ที่มา : สำนักงานเขตในกรุงเทพมหานคร เทศบาลและสำนักงานจังหวัดปริมณฑล กรมการปกครอง กรมที่ดิน

รวบรวมโดย : ฝ่ายวิชาการ ออ.อ. (ปี 2532 - 2547) และข้อมูลของศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ (ปี 2547 - ปัจจุบัน) จัดทำโดย : ฝ่ายวิชาการ ออ.อ.

แผนภูมิที่ 4 แสดงการโอนกรรมสิทธิ์ที่อยู่อาศัย แยกตามประเภทที่อยู่อาศัย ปี 2555 (กรมที่ดิน, 2555)

จากผลสำรวจของศูนย์ข้อมูลวิจัยและประเมินผลค่าอสังหาริมทรัพย์ (โสภณ พรโชคชัย, 2551) พบว่า ณ สิ้นปี พ.ศ. 2550 อาคารชุดใจกลางเมือง (โครงการอาคารชุดที่ตั้งอยู่ในท่าเล รัชดาภิเษก-ลาดพร้าว พหลโยธินช่วงต้น ปทุมวัน-พญาไท สุขุมวิท-พระราม4 และสีลม-ยานนาวา) สามารถขายได้ถึงร้อยละ 84 และในปี 2551 จากรายงานเรื่อง ผลการสำรวจความต้องการที่อยู่อาศัย นโยบายกระตุ้นเศรษฐกิจส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อที่อยู่อาศัยหลังแรก (ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์. ฝ่ายวิจัยตลาดอสังหาริมทรัพย์, 2551) ได้ทำการสำรวจความต้องการที่อยู่อาศัยจากประชาชนที่เข้าชมงานมหกรรมบ้านและคอนโด ครั้งที่ 18 เมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2551 พบว่า ผู้เข้าชมงานต้องการซื้อ คอนโดมิเนียมเป็นบ้านหลังแรกร้อยละ 46 ซึ่งมากกว่าบ้านเดี่ยวที่มีเพียงร้อยละ 17 โดยทำเลที่ตั้งที่ ต้องการซื้อบ้านหลังแรกนั้นอยู่ในกรุงเทพมหานคร ร้อยละ 85 โดยสามเขตแรกที่น่าสนใจคือ ลาดพร้าว สุขุมวิท และพระราม 2

อาคารชุดพักอาศัยที่เปิดดำเนินการมาเป็นระยะเวลาหนึ่งก็มีลักษณะเดียวกับอาคารประเภท อื่นๆ คือ มีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองขึ้นเรื่อยๆ และตัวอาคารก็เกิดการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน ซึ่งการประหยัดพลังงานในอาคารถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญต่อการบริหารอาคาร และควรมีการวางแผน หรือเป้าหมายร่วมด้วย (สุธาสินี พุ่มมาลี, 2552)

จากการเพิ่มจำนวนของคอนโดมิเนียมและอาคารต่างๆ ทำให้มีการใช้พลังงานในอาคารมีเพิ่ม มากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้มีการควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร กระทรวงพลังงาน จึงได้มีการกำหนด หลักเกณฑ์สำหรับควบคุมอาคารต่างๆขึ้น คือกฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ได้มีการกำหนด ประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการ อนุรักษ์พลังงาน<sup>1</sup> โดยมีการกำหนดให้อาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลง ที่มีพื้นที่รวมกันทุกชั้น ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร ขึ้นไปจะต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และยื่นรายการคำนวณ ใน ขั้นตอนส่งแบบขออนุญาตก่อสร้าง หรือดัดแปลงอาคาร ประเภทของอาคารประกอบด้วย อาคาร สำนักงาน สถานศึกษา โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมชน โรงแรม สถานพยาบาล และอาคารชุด

## อาคารเขียว

อาคารเขียว หมายถึง อาคารที่มีความรับผิดชอบในการรักษาสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากร ต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ “ตลอดวงจรชีวิตอาคาร” ในสหรัฐอเมริกาจึงได้มีการพัฒนาเกณฑ์

<sup>1</sup> ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และ การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ. 2552, ราชกิจจานุเบกษา 126, 2552 หน้า 21-58

ประเมินขึ้นมาอันหนึ่ง เพื่อใช้วัดว่าอาคารนั้นเป็นอาคารเขียวหรือไม่ และสามารถเปรียบเทียบได้ว่า อาคารใดจะมีระดับความเขียวมากน้อยกว่ากัน เกณฑ์ประเมินนี้นิยมเรียกชื่อย่อว่า LEED ซึ่งมาจากคำว่า Leadership in Energy and Environmental Design ที่เน้นในเรื่องการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainability) ซึ่งหมายถึง การพัฒนานั้นต้องสามารถตอบสนองความต้องการของผู้คนในปัจจุบัน ได้โดยไม่ทำให้คนรุ่นหลังต้องเดือดร้อน

ถึงแม้จะมีเกณฑ์ระบบวัดอาคารเขียวเกิดขึ้นมากมายรอบโลก แต่ LEED ยังถือว่าเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ได้รับความนิยมมากที่สุด และถูกเอาไปเป็นพื้นฐานในการดัดแปลงเกณฑ์อาคารเขียวให้เหมาะสมในแต่ละประเทศ เช่นในประเทศไทยเองก็พัฒนาเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงาน และสิ่งแวดล้อมไทย หรือ TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) มาจากเกณฑ์ LEED โดยมีการดัดแปลงหรือเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ (พิมพ์ิตา , 2557)

สาเหตุที่ LEED ได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จมากกว่าเกณฑ์วัดของประเทศอื่น เพราะมีการแยกประเภทอาคารต่างๆให้เหมาะสมตามประเภทของอาคาร เช่น LEED-NC (New Construction) ใช้สำหรับอาคารสร้างใหม่ เช่น อาคารพักอาศัย อาคารสำนักงาน อาคารหน่วยราชการ โรงแรม โรงงาน เป็นต้น (พิมพ์ิตา, 2557)

เมื่อพิจารณาไปในเกณฑ์ LEED V.4 ประเภท LEED-NC พบว่าในเกณฑ์ให้คะแนนเต็ม 110 คะแนน หมวดพลังงานและบรรยากาศมีคะแนนมากที่สุดคือ 33 คะแนน ซึ่งมีหัวข้อย่อย ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร มีคะแนนสูงสุดถึง 18 คะแนน หัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานรวมในอาคารให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด มีตัวเลือกให้จำลองอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ระบุรายละเอียดการจำลองการใช้พลังงานรวมทั้งอาคารใน Appendix G. โดยให้คะแนนจากร้อยละของค่าใช้จ่ายพลังงานที่ลดลงเทียบเป็นคะแนน

#### ASHRAE 90.1 2010 Appendix G.

ในเกณฑ์ LEED V.4 หัวข้อย่อย ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร กำหนดให้เป็นข้อบังคับหรือ Prerequisite ว่าอาคารที่เข้ารับการประเมินจะต้องมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ร้อยละ 5 ขึ้นไป มีวิธีการจำลองการใช้พลังงานโดย จำลองอาคารที่กำลังออกแบบ (Proposed Building) ซึ่งมีรายละเอียดอาคารและทิศทางตามจริง กับอาคารอ้างอิง

(Baseline Building) คืออาคารที่มีรายละเอียดตามที่กำหนดใน Appendix G และนำมาคูณ 0.90 180 และ 270 องศา แล้วนำพลังงานที่ได้จากอาคารทั้ง 4 ทิศ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าพลังงาน Baseline แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายอาคารที่กำลังออกแบบเป็นร้อยละของค่าใช้จ่ายพลังงานที่ลดลง หรือค่าการประหยัดพลังงาน(%SAVE)เพื่อนำไปเทียบเป็นคะแนน (ASHRAE, 2010)

จากการศึกษาเรื่อง ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อ ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ของ อุโรชา, 2555 พบว่าการ ให้คะแนนอาคารเขียวในส่วนของหมวดพลังงานอ้างอิงตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2007 ไม่สอดคล้อง กับประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่มีผลมาจากรูปทรงอาคาร โดยระบุว่า ในการจำลองอาคารที่มี รูปทรง ทิศทางและเปลือกอาคารที่แตกต่างกัน 13,500 กรณี อาคารที่มีรูปทรงหรือการวางทิศทาง แตกต่างกัน ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) ไม่สัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร หรือ Energy Use Index การวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยให้อาคารที่ทำการ ออกแบบ มีการใช้พลังงานน้อยกว่าอาคารมาตรฐานในทันทีโดยไม่ต้องรวมผลจากการเพิ่ม ประสิทธิภาพจากส่วนอื่นๆเลย ทำให้อาคารที่มีลักษณะกว้างยาวเท่ากันหรือใกล้เคียงไม่ได้ประโยชน์ ในการหมุนอาคารเพื่อคิดเป็นอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

ในการศึกษาข้างต้น เป็นการศึกษาเฉพาะอาคารสำนักงานที่ใช้งานอาคารในตอนกลางวัน แต่ อาคารชุดพักอาศัยมีการใช้พลังงานอาคารในตอนกลางคืนเสียส่วนใหญ่ กล่าวคือ ผู้พักอาศัยออกไป ทำงานตั้งแต่เวลาเช้าแล้วกลับมาอยู่ที่พักอาศัยในตอนเย็นถึงได้เริ่มมีการใช้พลังงานในอาคารชุดพัก อาศัย การใช้งานอาคารในช่วงเวลาที่แตกต่างกันนั้น น่าจะทำให้เกิดผลการใช้พลังงานในอาคารที่ แตกต่างกัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทยปี 2555 สัดส่วนของการใช้ พลังงานในสาขาบ้านพักอาศัยมีมากกว่าภาคธุรกิจเกือบสองเท่า และในเขตศูนย์กลางธุรกิจ (CDB) ที่ พักอาศัยส่วนใหญ่คืออาคารชุดพักอาศัย ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น มีประชากรเข้าอยู่มาก ขึ้น แม้จะอยู่ในเขตภูมิอากาศเดียวกันแต่ช่วงเวลาในการใช้งานอาคารสำนักงานกับอาคารพักอาศัย แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นจึงควรศึกษาผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคารของ อาคารชุดพักอาศัยต่อการประหยัดพลังงาน หรือ Percentage improvement (%SAVE) เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารต่อพื้นที่ หรือ Energy Use Index (EUI) ตามมาตรฐาน

ASHRAE 90.1 2010 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเกณฑ์การประเมินที่เหมาะสม เพื่อกระตุ้นให้ผู้พัฒนาโครงการมีความสนใจในการนำโครงการอาคารชุดพักอาศัยเข้าเกณฑ์ประเมินเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น และเป็นแนวทางให้อาคารที่ผ่านเกณฑ์สามารถประหยัดพลังงานได้ในความเป็นจริงเหมาะสมกับคะแนนที่ได้รับ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010
- 1.2.2 ศึกษาผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และวัสดุเปลือกอาคารต่อการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010
- 1.2.3 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงาน ของอาคารชุดพักอาศัยที่มีรูปทรง แตกต่างกัน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010
- 1.2.4 สรุปผลการจำลองการใช้พลังงานอาคาร เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการใช้ ASHRAE 90.1 2010 กับอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1. สํารวจอาคารชุดพักอาศัยเพื่อกําหนดอาคารอ้างอิง โดยทำการสํารวจและเลือกอาคารมาทำการศึกษาเพื่อสร้างเป็นอาคารอ้างอิง โดยกําหนดให้เป็นอาคารตามขอบเขตดังต่อไปนี้
  - ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร
  - เป็นอาคารสูงตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 33 ตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (สูงเกิน 23 เมตร)
  - มีพื้นที่ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป (อาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวง พ.ศ.2552)
  - ศึกษาทิศทางของอาคารอ้างอิงโดยหมุนอาคารทีละ 45 องศา
  - ศึกษาและจำลองผลกับข้อมูลภูมิอากาศรายชั่วโมงในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้นในส่วนภูมิภาคหนาวเย็นจำลองผลกับข้อมูลภูมิอากาศของเมืองเม็กซิโก รัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อเปรียบเทียบเฉพาะบางรูปทรง

## 1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ดังนี้

1.4.1.1 มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

1.4.1.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

1.4.1.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อกำหนดตัวแปรในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ให้ดีกว่าอาคาร Baseline

1.4.2 สํารวจอาคารชุดพักอาศัย ที่อยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่มีความสูงเกิน 20 ชั้นเพื่อกำหนดรูปร่างอาคาร และสร้างอาคาร Baseline ของอาคารรูปทรงต่างๆตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

1.4.3 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคารและรูปทรงอาคาร ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed

1.4.4 จำลองการใช้พลังงานของอาคาร Baseline และProposed

1.4.5 การเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่อาคาร (EUI)

1.4.6 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)กับพลังงานที่ใช้(EUI) ของอาคารรูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน

1.4.7 วิเคราะห์ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) กับพลังงานที่ใช้ (EUI) เปรียบเทียบกับอาคารสำนักงานของ อุโรชา, 2555

1.4.8 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

1.5.2 ผลกระทบของรูปทรง การวางทิศทาง และเปลือกอาคารต่อการประหยัดพลังงาน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 สำหรับอาคารชุดพักอาศัยในประเทศไทย

1.5.3 ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคารต่อการประหยัดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารประเภทสำนักงาน

1.5.4 ข้อมูลแนวทางการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงาน

## 1.6 สมมติฐานการวิจัย

อาคารชุดพักอาศัยที่มีรูปทรงหรือการวางทิศทางแตกต่างกัน ค่าการประหยัดพลังงาน หรือ %SAVE และปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือ EUI แตกต่างจากอาคารสำนักงาน





ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์การวิจัย วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
ศึกษาแนวทางการ ประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 สำหรับอาคาร พักอาศัย	ศึกษาทฤษฎีและงาน วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าการ ประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 สำหรับอาคาร พักอาศัย
ศึกษาผลกระทบของ รูปทรงอาคารต่อการประหยัด พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010	แบบจำลองอาคาร โดยทำการ สำรวจ และ เลือ ก อาคาร มา ทำการศึกษาเพื่อสร้างเป็นอาคาร อ้างอิง เป็นอาคาร Baseline ของ อาคารรูปทรงต่างๆตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010	ผลกระทบของรูปทรงและการ วางทิศทางอาคารต่อการประหยัด พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 สำหรับอาคารชุดพัก อาศัยในประเทศไทย
	กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ เปลือกอาคาร ที่มีผลต่อการใช้ พลังงานของอาคารเพื่อใช้ในการ ปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed	
	จำลองการใช้พลังงานของ อาคาร Baseline และอาคาร Proposed	
เปรียบเทียบค่าการ ประหยัดพลังงานกับปริมาณการ ใช้พลังงาน ของอาคารที่มีรูปทรง แตกต่างกัน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010	การเก็บข้อมูล ประเมิน ประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงาน และปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่	อาคารชุดพักอาศัยที่มีรูปทรงหรือ การวางทิศทางแตกต่างกัน ค่าการ ประหยัดพลังงาน หรือ %SAVE และปริมาณการใช้พลังงานต่อ พื้นที่ หรือ EUI แตกต่างจากอาคาร สำนักงาน
	เปรียบเทียบค่าการประหยัด พลังงานกับพลังงานที่ใช้ของอาคาร Proposed เปรียบเทียบกับอาคาร สำนักงาน	
	วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง	
		แนวทางการออกแบบอาคารชุดพัก อาศัยเพื่อการประหยัดพลังงาน

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ซึ่งมีการกำหนดปัจจัยด้านงานระบบอาคาร วัสดุเปลือกอาคาร และสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร ของอาคารมาตรฐาน สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่ทำการออกแบบ ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษารายละเอียดของ ASHRAE 90.1 2010 โดยเฉพาะ Appendix G. ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ระบุรายละเอียดการจำลองการใช้พลังงานอาคาร รูปทรงและทิศทางการวางอาคาร รวมถึงปัจจัยเปลือกอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุด

#### 2.1 ASHRAE 90.1 2010

ASHRAE หรือ American society for Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers เป็นองค์กรหนึ่งที่ทำหน้าที่จัดทำและปรับปรุงมาตรฐานสำหรับงานระบบปรับอากาศ ระบายอากาศ ระบบทำความเย็นและระบบทำความร้อน ซึ่งมีมาตรฐานอยู่หลายฉบับ ส่วนการจำลองอาคารซึ่งเป็นตัวเลือกการทำคะแนนตามระดับใน LEED V.4 กำหนดให้อ้างอิงการจำลองอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G. ซึ่งจะใช้ในการวิจัยนี้

ASHRAE 90.1 2010 เป็นมาตรฐานสำหรับอาคารทั่วไป ยกเว้น บ้านเดี่ยว อาคารพักอาศัยที่มีความสูงต่ำกว่า 3 ชั้น บ้านเคลื่อนที่ได้(mobile homes) และบ้านที่มีลักษณะเป็นหน่วยย่อยมาประกอบกัน(Modular) โดยสามารถใช้ได้กับอาคารใหม่ อาคารหรือส่วนของอาคารที่ต่อเติมใหม่และมีการติดตั้งระบบประกอบอาคารใหม่ รวมถึงอาคารเก่าที่มีการปรับปรุงระบบอาคารใหม่ด้วย โดย ASHRAE 90.1 มีการแบ่งกลุ่มตามสภาพภูมิอากาศครอบคลุมทั่วโลก รวมถึงกำหนดความต้องการขั้นต่ำของแต่ละกลุ่มสภาพภูมิอากาศนั้น ซึ่งประเทศไทยอยู่ในกลุ่มสภาพภูมิอากาศที่ 1 คือภูมิอากาศแบบร้อนมาก-ชื้น

APENDIX G. คือภาคผนวกของ ASHRAE 90.1 เนื้อหาประกอบด้วยวิธีการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร Proposed กับอาคาร

Baseline ที่ระบุความต้องการขั้นต่ำไว้ เปรียบเทียบค่าเป็นอัตราร้อยละเพื่อแสดงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคาร Proposed

$$\text{Percentage improvement} = \frac{100 \times (\text{Baseline building performance} - \text{Proposed building performance})}{\text{Baseline building performance}}$$

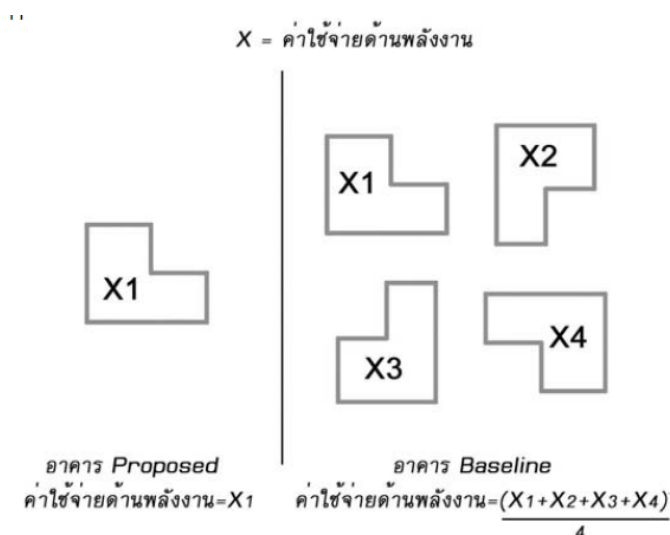
การจำลองการใช้พลังงานกำหนดให้ใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลอง โดยโปรแกรมที่สามารถใช้ได้คือ DOE-2, BLAST หรือ ENERGY PLUS เป็นต้น โดยการจำลองประสิทธิภาพทั้งอาคาร Proposed และ Baseline จะต้องใช้โปรแกรมเดียวกัน ข้อมูลสภาพอากาศและอัตราการใช้พลังงานที่เหมือนกัน ข้อกำหนดในการจำลองอาคารครอบคลุมทั้งทิศทางที่ตั้งอาคาร คุณสมบัติเปลือกอาคาร และงานระบบทั้งอาคาร

ตารางที่ 3 แสดงเงื่อนไขในการจำลองการใช้พลังงานอาคาร ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

อาคาร Baseline	อาคาร Proposed
<p>มีขนาดและพื้นที่ เท่ากับอาคาร Proposed</p> <p>วางทิศทางอาคารที่มุม 0, 90, 180 และ 270 ในการคำนวณ</p> <p>หลังคา – Insulation entirely above deck</p> <p>ผนัง – Steel framed</p> <p>พื้น – Steel joint</p> <p>ช่องแสงของอาคารต้องมีพื้นที่เท่ากับอาคาร Proposed หรือ 40% ของพื้นที่ผนังที่อยู่เหนือดินของอาคาร โดยให้เลือกใช้ค่านี้น้อยกว่า</p> <p>Sky light ต้องมีพื้นที่เท่ากับอาคาร Proposed หรือ 5% ของพื้นที่ชั้นหลังคาของอาคาร โดยให้เลือกค่านี้น้อยกว่า ทิศทางการติดตั้งรูปแบบเดียวกับอาคาร Proposed</p> <p>ค่า U-Factors ของวัสดุทึบแสง และ SHGC ของช่องแสงและ Sky light อ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010</p> <p>ผิวของหลังคาให้มีค่าการสะท้อนกลับ (Reflectance) เท่ากับ 0.30</p> <p>ไม่มีการบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร (self-shading)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>จำลองตามแบบสถาปัตยกรรมจริง</li> <li>หากอาคารมีค่าการสะท้อนกลับ(Reflectance)ของหลังคามากกว่า 0.70 และค่าการแผ่รังสี (Emittance) มากกว่า 0.75 หรือมีค่า SRI อย่างน้อย 82 สามารถใช้ค่าสะท้อนกลับ 0.45 ในการคำนวณได้ หลังคาอื่นๆนอกเหนือจากนี้ ให้กำหนดค่าการสะท้อนกลับ เท่ากับ 0.30</li> <li>องค์ประกอบภายนอกอาคารที่ติดตั้งถาวรเช่น ครัวบังแดด (Fin, Overhang) สามารถใช้ในการคำนวณได้ รวมถึงแผงบังแดดที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ยกเว้นแผงบังแดดที่ปรับด้วยมือ</li> <li>การคำนวณสามารถใช้การบังแดดด้วยรูปทรงอาคารได้ (Self-Shading)</li> </ol>

วิธีการจำลองการใช้พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่กำลังออกแบบ (Proposed Building) กับอาคารอ้างอิง (Baseline Building) ได้มีการระบุไว้ใน APPENDIX G. ซึ่งจะมีเงื่อนไขในการจำลองอาคารครอบคลุมตั้งแต่ทิศทางอาคาร

คุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร รวมถึงงานระบบต่างๆ ซึ่งหากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของกรณี Proposed Building น้อยกว่ากรณี Baseline Building มากเท่าไร ก็จะได้คะแนนมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งคะแนนดังกล่าวมีส่วนทำให้โครงการผ่านการประเมินในระดับที่ต่างกัน คะแนนที่ได้รับจะมาจาก การเปรียบเทียบ Proposed Building กับ Baseline Building เท่านั้น



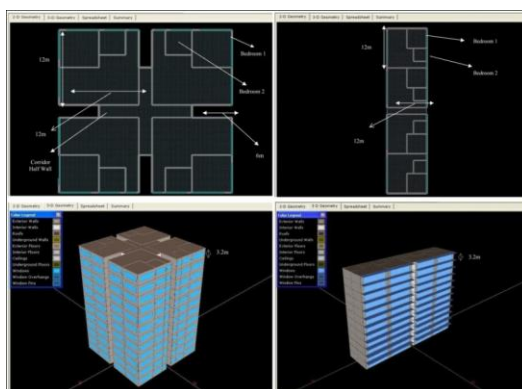
ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 Appendix G. (อุไรษา เจียรนัยพานิชย์, 2555)

นอกจากนี้มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ภาคผนวก G หน้า 213 (ASHRAE, 2010) ระบุให้ อาคาร Baseline ต้องมีการหมุนอาคาร 90, 180 และ 270 องศา และนำค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในแต่ละกรณีมาเฉลี่ย เป็นค่าพลังงานที่ใช้ของอาคาร Baseline ซึ่งการวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยให้อาคาร Proposed มีการใช้พลังงานน้อยกว่าอาคาร Baseline ได้ทันที โดยยังไม่ต้องรวมผลจากการเพิ่มประสิทธิภาพจากส่วนอื่นๆเลย ดังนั้นด้วยรูปทรงและการวางอาคารที่เหมาะสมจึงเป็นจุดที่สามารถทำคะแนนเพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการที่รูปทรงของอาคารมีผลในการทำคะแนน อาคารที่มีลักษณะกว้างยาวเท่ากันหรือใกล้เคียง ย่อมจะไม่ได้ประโยชน์ในการหมุนอาคาร เพื่อคิดเป็นอาคาร Baseline ของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2011 ดังนั้นอาคารที่มีสัดส่วนระหว่างด้านกว้างและด้านยาวอาคาร หรือ SF เท่ากับ 1/1 เช่น อาคารทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นรูปทรงอาคารที่ค่อนข้างได้เปรียบในทุกทิศทาง อาจจะได้คะแนนน้อยกว่าอาคารรูปทรงอื่นๆ เพราะค่าการใช้พลังงานส่วนของอาคาร Baseline จะไม่ต่ำลงมากนัก (Aksoya and Inalli, 2006)

## 2.2 รูปทรงและการวางทิศทางอาคาร

ในการศึกษาจำลองอาคารสำนักงานของอุไรชา(2555) พบว่าอาคารที่มีรูปทรงหรือการวางทิศทางแตกต่างกันค่าการประหยัดพลังงานหรือ %SAVE ไม่สัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร หรือ EUI ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เช่น อาคารที่มีค่า EUI เท่ากับ 150 kWh/m<sup>2</sup>.y สามารถมีค่า %SAVE ได้ตั้งแต่ -5% ถึง 5% หรืออาคารที่มีค่า %SAVE เท่ากัน มีช่วงการใช้พลังงานแตกต่างกัน เนื่องจากการระบุให้ อาคาร Baseline ต้องมีการหมุนอาคาร 90, 180 และ 270 องศา และนำค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในแต่ละกรณีมาเฉลี่ย เป็นค่าพลังงานที่ใช้ของอาคาร Baseline ซึ่งการวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยให้อาคาร Proposed มีการใช้พลังงานน้อยกว่าอาคาร Baseline ได้ทันที โดยไม่ต้องรวมผลจากการเพิ่มประสิทธิภาพจากส่วนอื่นๆเลย ทำให้อาคารที่มีลักษณะกว้างยาวเท่ากันหรือใกล้เคียง เช่น อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ย่อมจะไม่ได้ประโยชน์ในการหมุนอาคารเพื่อคิดเป็นอาคาร Baseline ของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ในส่วนของอาคารที่มีรูปทรงแบบเดียวกัน ค่าการประหยัดพลังงานหรือ %SAVE มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารหรือ EUI ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 (อุไรชา เจียรนัยพานิชย์, 2555)

อาคารชุดพักอาศัยมีลักษณะการใช้งานอาคารที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานอย่างสิ้นเชิง ทั้งในด้านพื้นที่ใช้สอยตามพฤติกรรมการใช้งาน และช่วงระยะเวลาที่ใช้งานอาคาร Chua และ Chou (ค.ศ.2010) ได้พัฒนาสมการการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังของอาคารพักอาศัย (ETTVres) โดยการสร้างแบบจำลองอาคารของอาคารชุดพักอาศัยในประเทศสิงคโปร์ 2 รูปแบบ คือ อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/4



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะอาคารพักอาศัยจากงานวิจัยของ Chua and Chou, 2011

งานวิจัยนี้ ต้องการศึกษารูปร่างและทิศทางอาคารชุดพักอาศัยที่แตกต่างกันที่เป็นข้อมูลปัจจุบันตามจริง จึงควรทำการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครเพื่อใช้อ้างอิงรูปทรงอาคารในการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารให้เป็นไปตามความเป็นจริงมากที่สุด

## 2.3 ปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร

### 2.3.1 สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร

WWR (Window to Wall Ratio) คืออัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ซึ่ง ASHRAE 90.1 2010 กำหนดให้อาคาร Baseline มีค่า WWR เท่ากับอาคาร Proposed หรือใช้ค่า 40% ของผนังที่อยู่เหนือพื้นดินอาคาร

$$\text{Window to Wall Ratio} = \frac{\text{Net Glazing Area}}{\text{Gross Wall Area}}$$

จากการศึกษาเรื่องการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาว์นเฮาส์ ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานโดยทาว์นเฮาส์ที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังตั้งแต่ 10-80 % (WWR 10-80) แต่สัดส่วนช่องเปิดที่มีค่าใกล้เคียงกับทาวเฮาส์ส่วนใหญ่ที่สร้างในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑลคือ 30% (ผศ.ดร.อรรถจัน เศรษฐบุต,2007) และระบุว่าอาคารที่มีช่องเปิดน้อย WWR 20 มีการใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างจาก WWR 30

ตารางที่ 4 ผลการจำลองการใช้พลังงานสำหรับทาว์นเฮาส์ที่มี WWR = 10-80 % (ผศ.ดร.อรรถจัน เศรษฐบุต,2007)

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)	สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (Window to Wall Ratio, %)							
	WWR10	WWR20	WWR30	WWR40	WWR50	WWR60	WWR70	WWR80
แสงสว่าง	5,301	5,301	5,301	5,301	5,301	5,301	5,301	5,301
อุปกรณ์ไฟฟ้า	12,849	12,849	12,849	12,849	12,849	12,849	12,849	12,849
ปรับอากาศ	33,895	34,027	35,378	37,604	40,753	44,082	47,523	51,129
รวม	52,045	52,177	53,528	55,754	58,903	62,232	65,673	69,279
หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้ สอย (kWh/sq.m. ต่อปี)	<b>73.51</b>	<b>73.70</b>	<b>75.60</b>	<b>78.75</b>	<b>83.20</b>	<b>87.90</b>	<b>92.76</b>	<b>97.85</b>

### 2.3.2 กระจก

การถ่ายเทความร้อน ค่าการส่องผ่านของแสง หรือค่าการสะท้อนแสงของกระจก ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารอย่างมาก ในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ได้มีการกำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของกระจก จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Overall Coefficient of Heat Transmission หรือ U Value) หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของวัสดุและฟิล์มอากาศ เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างสิ่งแวดล้อมด้านนอกและด้านในอาคาร ค่า U เป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total Thermal Resistance หรือ ค่า R) มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC) คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังหรือหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ผ่านจากกระจกเข้ามาในตัวอาคาร ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ รังสีอาทิตย์ที่เป็นคลื่นสั้น ซึ่งผ่านเข้ามาในอาคารโดยตรงและ ส่วนของความร้อนที่ดูดกลืนไว้ที่ตัวกระจก และค่อยถ่ายเทเข้ามาในอาคาร

กฎกระทรวง กำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดให้ค่า SHGC ของกระจกอยู่ที่ 0.55-0.30 แต่มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ได้กำหนดค่า U-Value ของกระจกไว้ที่ 6.81 และค่า SHGC 0.25 ในขณะที่การศึกษาเรื่องการพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ได้ทำการสำรวจพบว่าผนังอาคารชุดพักอาศัยส่วนใหญ่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 12 มม. ซึ่งมีค่า SHGC 0.52 (ณุสรณ์ บัวขจร, 2554) แต่ผลการวิเคราะห์ค่าการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนในทาวเฮาส์ 2 ชั้น เพื่อนำไปใช้เป็นกฎหมายระบุว่า ทาวเฮาส์ 2 ชั้นที่มี WWR ไม่เกิน 40% ควรเลือกชุดทางเลือกคือ กระจกที่มีค่า SC ไม่เกิน 0.23 และค่า SHGC ไม่เกิน 0.19 หรือ กระจกที่มีค่า SC ไม่เกิน 0.29 และค่า SHGC ไม่เกิน 0.25 (ผศ.ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร์, 2007) ซึ่งเท่ากับมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 กำหนด

### 2.3.3 ผนังอาคาร

ในส่วนของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 กำหนดให้อาคาร Baseline ใช้ผนังแบบ Steel framed หรือ ผนังเบายึดด้วยโครงคร่าวเหล็ก ที่มีค่า U เท่ากับ  $0.705 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$  โดยค่า U ดังกล่าวจะมีค่าใกล้เคียงกับผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป บุด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ซึ่งมีค่า U เท่ากับ  $0.621 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$

ในส่วนของผนังอาคาร Proposed ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารสูงมีการใช้วัสดุผนัง ที่บดที่หลากหลาย ผนังที่นำมาใช้ในการจำลองประสิทธิภาพอาคารจึงควรอ้างอิงจากการสำรวจเช่นกัน

### 2.3.4 ระเบียง

จากการศึกษาเรื่องผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตาม กฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนโดมิเนียม(อภิญญา บุญมา,2555) ซึ่งได้ทำการสำรวจคอนโดมิเนียม จำนวน 10 โครงการ 13 อาคาร ได้ทำการจำลองอาคารเพื่อหาค่าพลังงานจริงจากการสำรวจ โดย กำหนดความกว้างระเบียงที่ 1.00 เมตร และมีระเบียงเฉพาะบริเวณห้องน้ำ-ห้องครัว ในการวิจัยนี้จึง ใช้ค่าความกว้างระเบียงที่ 1.00 เมตร แต่อาคารชุดพักอาศัยส่วนใหญ่ไม่ได้ติดตั้งระเบียงหรือกันสาด ในทุกๆช่องหน้าต่างภายนอก

### 2.3.5 ค่ามาตรฐานกำลังไฟฟ้าส่องสว่าง LPD

LPD<sub>i</sub> คือ พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง รวมถึงพลังงานที่ใช้สำหรับบัลลาสต์ต่อ พื้นที่  $i$  (Lighting Power Density) มีหน่วยเป็น วัตต์/ตร.ม. ( $\text{Wm}^{-2}$ ) ในข้อกำหนดของ ASHRAE 90.1 2010 ค่า LPD ไม่ส่งผลต่อคะแนนในการคำนวณอาคารพักอาศัย เนื่องจากกำหนดให้การจำลอง การใช้พลังงานอาคาร ทั้งอาคารมาตรฐานและอาคารที่ออกแบบใช้ค่า LPD ที่เท่ากัน โดย พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน 2551 กำหนดค่ามาตรฐานกำลังไฟฟ้าส่องสว่างดังนี้



ตารางที่ 5 แสดงค่ามาตรฐานกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด, วัตต์/ตร.ม. (W/m <sup>2</sup> ) ของพื้นที่ใช้งาน
สำนักงาน สถานศึกษา	14
ร้านค้าย่อย ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์มาร์เก็ต	18
โรงแรม โรงพยาบาล/ สถานพักฟื้น/ คอนโดมิเนียม	12

ตามข้อกำหนดกำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างของอาคารชุดพักอาศัยเท่ากับ  
กับโรงแรม โรงพยาบาล แต่ในการใช้งานจริงจากการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานจริงของผู้พักอาศัย มี  
การใช้กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง หรือ LPD เพียง 8.13 วัตต์/ตร.ม. (W/m<sup>2</sup>) ของพื้นที่ใช้งาน (อภิญา บุญ  
มา,2555)

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมตามกฎกระทรวง เปรียบเทียบกับค่าจากการ  
สำรวจ (อภิญา บุญมา,2555)

รายละเอียด	BASECASE จากการสำรวจ (ส่วนที่ 1)	กฎกระทรวงพลังงาน (ส่วนที่ 2)
OTTV (W/m <sup>2</sup> )	34.08	30
RTTV (W/m <sup>2</sup> )	17.44	10
LPD (W/m <sup>2</sup> )	8.13	12
COP (W)	3.22	3.22
EPD (W/m <sup>2</sup> )	8.96	8.96
ชั่วโมงใช้งานสำหรับอาคารชุด	8,760	8,760
พื้นที่อาคารทั้งหมด (m <sup>2</sup> )	37,584	37,584
พื้นที่ผนัง (m <sup>2</sup> )	35,039	35,039
พื้นที่หลังคา (m <sup>2</sup> )	1,269	1,269
พื้นที่ปรับอากาศ (m <sup>2</sup> )	25,056	25,056
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา	25 cm.	-
หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก	25 cm.	-
ผนังPre-CAST ฉาบปูนเรียบ	10 cm.	-
หน้าต่าง กระจกใส 6 mm.	SHGC= 0.73	-
ความหนาแน่นของผู้อยู่อาศัย	0.037 person/m <sup>2</sup>	0.037 person/m <sup>2</sup>
การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (Kwh)	8,908,678	9,661,407.45
(kWh/m <sup>2</sup> -yr)	237.03	257.06

### 2.3.6 ชั่วโมงการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารชุดพักอาศัย

งานวิจัยของ อภิญญา บุญมา(2555) ยั้ระบุว่า จากการสำรวจพบว่าผู้พักอาศัยภายในอาคารชุดพักอาศัยไม่ได้มีการใช้อาคารตลอด 24 ชั่วโมงใน 1 วัน ตามกฎกระทรวงกำหนดคือ 8,670 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งอยู่ในประเภทเดียวกับโรงพยาบาลและโรงแรม แต่อาคารชุดพักอาศัยมีการใช้พลังงานเหมือนบ้านพักอาศัยทั่วไป การกำหนดค่าการใช้พลังงาน 8,670 ชั่วโมงจึงเป็นค่าที่สูงเกินไป อีกทั้งจากการสำรวจมีการใช้งานอาคารเพียง 4,058 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งเมื่อปรับแก้จำนวนชั่วโมงแล้วทำให้ค่า EUI ลดลงถึง 58.04% การวิจัยนี้จึงอ้างอิงผลการสำรวจนี้ในการจำลองประสิทธิภาพอาคาร เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร คำนวณโดย สมการการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ที่มีชั่วโมงการใช้งานตามกฎกระทรวง กับ ค่าชั่วโมงการใช้งาน ชั่วโมงใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง และชั่วโมงใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ (อภิญญา บุญมา,2555)

รายละเอียด	ชั่วโมงการใช้งาน ค่าตามกฎกระทรวงพลังงาน		ชั่วโมงการใช้งาน ค่าจากการสำรวจ	
	BASECASEจากการสำรวจ (ส่วนที่ 1)	กฎกระทรวงพลังงาน (ส่วนที่ 2)	BASECASEจากการสำรวจ	กฎกระทรวงพลังงาน
OTTV ( $W/m^2$ )	34.08	30	34.08	30
RTTV ( $W/m^2$ )	17.44	10	17.44	10
LPD ( $W/m^2$ )	8.13	12	8.13	12
COP (W)	3.22	3.22	3.22	3.22
EPD ( $W/m^2$ )	8.96	8.96	8.96	8.96
จำนวนชั่วโมงใช้เครื่องปรับอากาศ	8,760	8,760	4,058	4,058
จำนวนชั่วโมงใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง(LPD)	8,760	8,760	2,728	2,728
จำนวนชั่วโมงใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า(EQD)	8,760	8,760	3,957	3,957
พื้นที่อาคารทั้งหมด ( $m^2$ )	37,584	37,584	37,584	37,584
พื้นที่ผนัง ( $m^2$ )	35,039	35,039	35,039	35,039
พื้นที่หลังคา ( $m^2$ )	1,269	1,269	1,269	1,269
พื้นที่ปรับอากาศ ( $m^2$ )	25,056	25,056	25,056	25,056
พื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา	25 cm.	-	25 cm.	-
หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก	25 cm.	-	25 cm.	-
ผนังPre-CAST ฉาบปูนฉาบ	10 cm.	-	10 cm.	-
หน้าต่าง กระจกใส 6 มม.	SHGC= 0.73	-	SHGC= 0.73	-
ความหนาแน่นของผู้อยู่อาศัย	0.037 person/ $m^2$	0.037 person/ $m^2$	person/ $m^2$	0.037 person/ $m^2$
การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร คำนวณโดย WBE (kWh/yr)	8,961,895	9,661,407	3,858,090	4,053,001
( $kWh/m^2$ -yr)	238.45	257.06	102.65	107.84
1 Unit= 48 $m^2$ (kWh/yr)	11,445.59	12,338.96	4,927.32	5,176.25

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเปลือกอาคาร เพื่อพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่แตกต่างกันในแต่ละกรณี และเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานนั้นกับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 โดยมีขั้นตอนรายละเอียดการวิจัยดังนี้

#### 3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

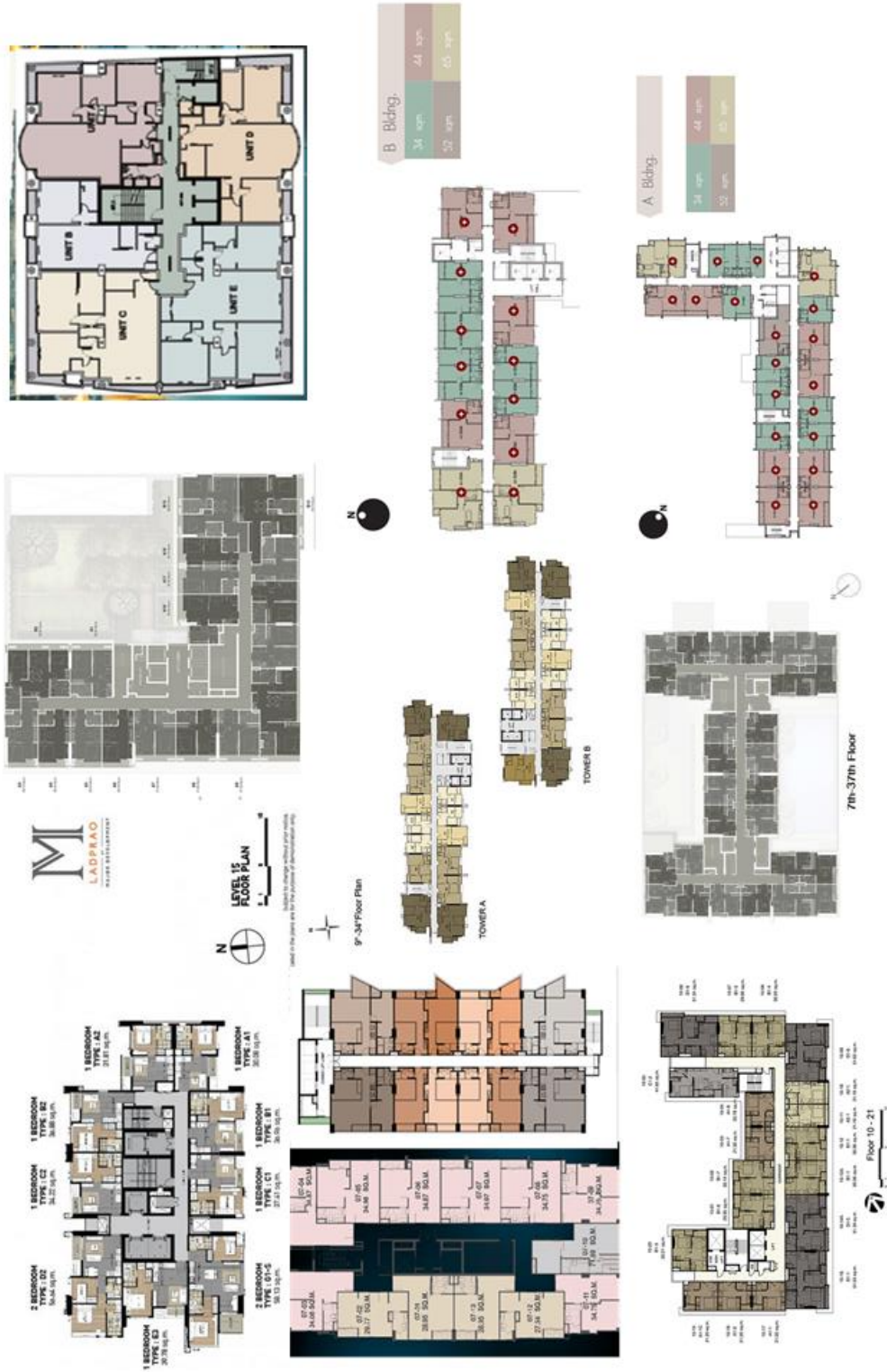
ศึกษามาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 โดยเฉพาะ Appendix G ซึ่งระบุข้อกำหนดและตัวแปรต่างๆในการจำลองอาคาร รวมถึงวิธีการให้คะแนนประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

จำลองการใช้พลังงานอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 รวบรวม คำนวณค่าเฉลี่ยอาคาร Baseline และประมวลผลจากอาคาร Proposed ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

#### 3.3 สำนวนลักษณะรูปร่างของอาคารชุดพักอาศัย

สำนวนรูปร่างของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำนวน 54 อาคาร จากสื่ออินเทอร์เน็ต โดยศึกษาเฉพาะอาคารชุดพักอาศัยขนาดใหญ่ ความสูงมากกว่า 20 ชั้น มีการก่อสร้างแล้วเสร็จในช่วงปี พ.ศ.2554-2559 ราคาขายไม่ต่ำกว่า 85,000 บาทต่อตารางเมตร ผู้วิจัยได้ทำการสำนวนนี้ในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557 จากการสำนวน สามารถจัดประเภทรูปร่างผังพื้นอาคารได้ 7 ลักษณะ คือรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปร่างตัว “I”, “U”, “H” และตัว “L” พบว่าอาคารรูปตัว “I” มีมากที่สุดในกลุ่มที่ทำการสำนวนคิดเป็น 50% ของรูปร่างทั้งหมด มีขนาดความกว้างและความยาวของอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 33 เมตร และ 135 เมตร หรือสัดส่วนอาคาร 1:4 (อ้างอิงตามภาคผนวก ข.)



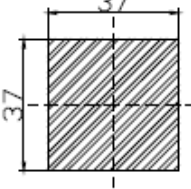

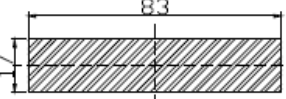
ภาพที่ 3 แสดงรูปร่างผังอาคารพักอาศัยที่พบจากการสำรวจ

เนื่องจากการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 54 แห่ง ใช้วิธีการสำรวจผ่านทางสื่ออินเทอร์เน็ต โดยทำการเก็บข้อมูลรูปร่างอาคาร จำนวนชั้น ผนัง สัดส่วนระหว่างช่องเปิดกับผนังอาคาร วัสดุ กระฉก วัสดุผนังภายนอก และความกว้างของระเบียง แต่บางอาคารได้รับข้อมูลข้างต้นไม่ครบถ้วน ประกอบกับไม่ได้รับการตอบรับจากการติดต่อสอบถามพนักงานขายประจำโครงการของบางแห่ง จึงได้ทำการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการของบริษัทพัฒนาสังหาริมทรัพย์รายใหญ่ 8 ราย ในด้านรายละเอียด วัสดุเปลือกอาคาร ผนัง และกระฉก (อ้างอิงตามภาคผนวก ค.)

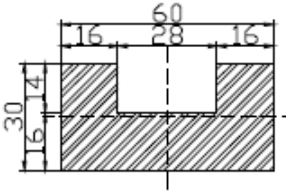
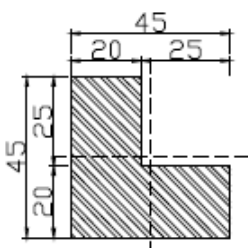
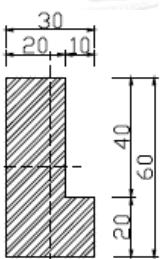
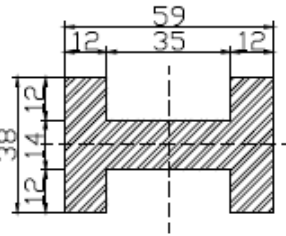
### 3.4 กำหนดรูปทรงอาคาร Basecase

รูปทรงอาคารที่ใช้ทำการศึกษาทั้งหมด 7 รูปทรง โดยกำหนดพื้นที่ต่อชั้นเท่ากับ 1,400 ตารางเมตร และอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร (Shape Factor) ตามค่าเฉลี่ยจากการสำรวจอาคารชุดพักอาศัย 54 แห่ง กำหนดให้มีความสูงพื้นถึงพื้นต่อชั้น 3 เมตร อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยจากการสัมภาษณ์ Developer และจำนวนชั้นพักอาศัย 30 ชั้น ดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดรูปทรงอาคารที่ศึกษาทั้ง 7 รูปทรง (1)

S1		Shape Factor (SF)	1:1
		ความยาวเส้นรอบรูป	148
		พื้นที่ต่อชั้น	1369
		พื้นที่ผิวภายนอก	13320
		ปริมาตรอาคาร	123210
		Compactness Index	9.25
I1		Shape Factor (SF)	1:3
		ความยาวเส้นรอบรูป	172
		พื้นที่ต่อชั้น	1408
		พื้นที่ผิวภายนอก	15480
		ปริมาตรอาคาร	126720
		Compactness Index	8.19
I2		Shape Factor (SF)	1:5
		ความยาวเส้นรอบรูป	200
		พื้นที่ต่อชั้น	1411
		พื้นที่ผิวภายนอก	18000
		ปริมาตรอาคาร	126990
		Compactness Index	7.06

ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดรูปทรงอาคารที่ศึกษาทั้ง 7 รูปทรง (2)

U1		Shape Factor (SF)	1:2
		ความยาวเส้นรอบรูป	208
		พื้นที่ต่อชั้น	1408
		พื้นที่ผิวภายนอก	18720
		ปริมาตรอาคาร	126720
		Compactness Index	6.77
L1		Shape Factor (SF)	1:1
		ความยาวเส้นรอบรูป	180
		พื้นที่ต่อชั้น	1400
		พื้นที่ผิวภายนอก	16200
		ปริมาตรอาคาร	126000
		Compactness Index	7.78
L2		Shape Factor (SF)	1:2
		ความยาวเส้นรอบรูป	180
		พื้นที่ต่อชั้น	1400
		พื้นที่ผิวภายนอก	16200
		ปริมาตรอาคาร	126000
		Compactness Index	7.78
H1		Shape Factor (SF)	1:1.5
		ความยาวเส้นรอบรูป	242
		พื้นที่ต่อชั้น	1402
		พื้นที่ผิวภายนอก	21780
		ปริมาตรอาคาร	126180
		Compactness Index	5.79

จากนั้นจึงหมุนอาคารทั้ง 7 รูปทรง ทีละ 45 องศา รวมได้อาคารพื้นฐานที่จะทำการศึกษา 38 แบบ กำหนดชื่อเรียกอาคารตามรูปทรงและทิศทาง ตัวอย่างเช่น อาคาร S1-1 หมายถึง อาคารรูปทรง สี่เหลี่ยมจัตุรัส หมุนทิศ 0 องศา อาคาร I2-3 หมายถึง อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า S/F=1:5 หมุนทิศ 90 องศา เป็นต้น โดยกำหนดให้ทิศเหนืออยู่ที่ตำแหน่งด้านบนของรูปทรงอาคาร

ตารางที่ 10 แสดงรูปทรงและทิศทางการที่ทำการศึกษาทั้งหมด 38 แบบ

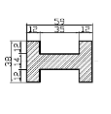
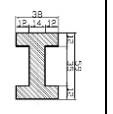
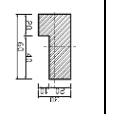
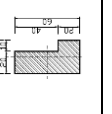
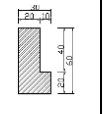
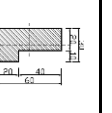
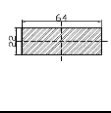
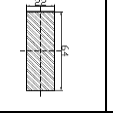
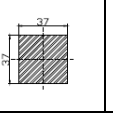
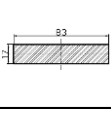
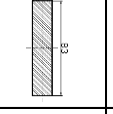
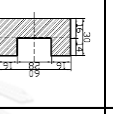
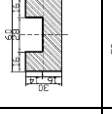
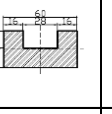
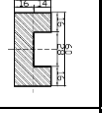
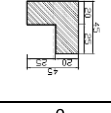
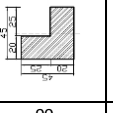
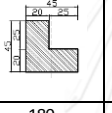
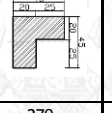
H1								
	H1-1	H1-2	H1-3	H1-4				
I1								
	I1-1	I1-2	I1-3	I1-4				
I2								
	I2-1	I2-2	I2-3	I2-4				
L1								
	L1-1	L1-2	L1-3	L1-4	L1-5	L1-6	L1-7	L1-8
L2								
	L2-1	L2-2	L2-3	L2-4	L2-5	L2-6	L1-7	L1-8
S1								
	S1-1	S1-2						
U1								
	U1-1	U1-2	U1-3	U1-4	U1-5	U1-6	U1-7	U1-8

### 3.5 การกำหนดค่า Baseline

ตามเกณฑ์ LEED V.4 ให้คะแนนประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานจากค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010(%SAVE) ซึ่งมาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานจากอาคารทั้ง 4 ทิศทาง คือ 0 90 180 และ 270 องศา เป็นค่า Baseline เปรียบเทียบกับ ปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานของอาคาร Proposed ดังนั้น จึงต้องหาค่า Baseline ด้วย

จำลองการใช้พลังงานจากอาคารทั้ง 7 รูปทรง และหมุนทิศทางอาคาร 4 ทิศ ได้เป็นอาคาร Basecase 19 แบบ ดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงอาคาร Basecase 19 แบบ

H1					L2				
	0	90				0	90	180	270
I1					S1				
	0	90				0			
I2					U1				
	0	90				0	90	180	270
L1									
	0	90	180	270					

การจำลองการใช้พลังงานของอาคาร พิจารณาเฉพาะส่วนพื้นที่ที่ปกอาศัย ซึ่งความสูงต่อชั้น จากพื้นถึงพื้น 3 เมตร จำนวน 30 ชั้น ซึ่งอ้างอิงตัวแปรของอาคารตามที่ระบุใน ASHRAE 90.1 Appendix G และอ้างอิงค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างต่อพื้นที่ (Lighting Power Density, LPD) จากการสำรวจในการศึกษาเรื่องผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตาม กฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนโดมิเนียม(อภิญญา บุญมา,2555) จึงสรุปรายละเอียดของอาคาร Baseline ได้ดังนี้



ตารางที่ 12 แสดงรายละเอียดอาคาร Baseline

หลังคา	Insulation entirely above deck U - 0.36 W/m <sup>2</sup> .°C
พื้น	คานเหล็ก U - 1.986 W/m <sup>2</sup> .°C
ผนัง	โครงเหล็ก U - 0.705 W/m <sup>2</sup> .°C
กระจก	U = 0.681 W/m <sup>2</sup> .°C, SHGC = 0.25
WWR(Window-Wall Ratio)	40.00%
ระเบียง	ไม่มีระเบียง
LPD(Lighting Power Density)	8.13 W/m <sup>2</sup>
HVAC System	PTHP (Packaged Terminal Heat Pump)
การบังเงาตนเอง	ไม่มีการบังเงา

### 3.6 กำหนดตัวแปรอาคาร Proposed

ในการวิจัยผลกระทบจากเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร ปัจจัยด้านเปลือกอาคารที่ทำการศึกษาคือ สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR) ผนัง กระจก และระเบียง ซึ่งนอกจากกำหนดเปลือกอาคารตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 แล้ว ยังได้เพิ่มตัวแปรเปลือกอาคารซึ่งอ้างอิงจากผลการสำรวจอาคารชุดพักอาศัย ทั้ง 54 แห่ง และจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ ดังนี้

#### 3.6.1 สัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังอาคาร (WWR)

กำหนดให้ช่องเปิดของอาคารมีขนาดเท่ากันทั้งอาคาร Baseline และอาคาร Proposed จากการสำรวจพบว่า สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคาร หรือ WWR ที่น้อยที่สุดคือ 0.18 มากที่สุดคือ 0.57 ซึ่งเป็นอาคารชุดพักอาศัยริมแม่น้ำเจ้าพระยา ในขณะที่อาคารอื่น ๆ มีค่า WWR สูงสุดคือ 0.52 และเนื่องจากงานวิจัยของ ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2007 ระบุว่า อาคารที่มีช่องเปิดน้อยกว่า WWR 20 มีการใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างจาก WWR 30 ในขณะที่มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 กำหนดให้อาคาร Baseline มีสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคารเท่ากับ 40% จึงสรุปตัวแปรดังนี้

ตารางที่ 13 แสดงตัวแปรด้านสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร(WWR)

สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร	
30	อาคารมีพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและ หรือของผนังโปร่งแสง คิดเป็นร้อยละ 30 ของพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมด (WWR 30%)
40	อาคารมีพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและ หรือของผนังโปร่งแสง คิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมด (WWR 40%)
50	อาคารมีพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและ หรือของผนังโปร่งแสง คิดเป็นร้อยละ 50 ของพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมด (WWR 50%)

### 3.6.2 ผนังอาคาร

ผนังอาคารที่เป็นตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงานมีทั้งหมด 3 ชนิด สำหรับค่า U-Value ของผนังชนิดที่ 1(W1) ใช้ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ในส่วนของผนังชนิดที่ 2 และ 3 (W2, W3) คำนวณโดยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 โดยอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) จาก ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 จากการสัมภาษณ์พบว่าอาคารชุดพักอาศัยใช้วัสดุเปลือกอาคารคือ อิฐมอญ อิฐมวลเบา และคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป แต่เนื่องจาก ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น มีค่า U-Value=3.36 W/m<sup>2</sup>.°C และผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป มีค่า U-Value=3.32 W/m<sup>2</sup>.°C ต่างกันเพียง 0.02 W/m<sup>2</sup>.°C ซึ่งใกล้เคียงกันมาก จึงเลือกผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปเป็นตัวแปร W1 และเลือกผนังอิฐมวลเบา ที่มีค่า U-Value=1.05 W/m<sup>2</sup>.°C เป็นตัวแปร W2

ตารางที่ 14 แสดงตัวแปรด้านผนังอาคาร

ผนัง		U-Value (W/m <sup>2</sup> .°C)
W0	ผนังตามมาตรฐาน Baseline ASHRAE (ผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป+ฉนวน)	0.705
W1	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปหนา 0.17 ม. (ปูนฉาบ 15 มม.+ผนังคอนกรีต 140 มม.+ปูนฉาบ 15 มม.)	3.38
W2	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม. (ปูนฉาบ 10 มม.+ผนังมวลเบา 150 มม.+ปูนฉาบ 10 มม.)	1.05

### 3.6.3 กระจกกรอบอาคาร

จากการสัมภาษณ์ พบว่าอาคารชุดพักอาศัยนิยมติดตั้งกระจกลามิเนตใส หนา 6 มม. เป็นหลัก และติดตั้งกระจกลามิเนตหนาใส 8 มม. ในชั้นพักอาศัยที่สูงเกิน 20 ชั้น หรือด้านผนังอาคารที่ต้องปะทะแรงลม ส่วนโครงการที่มีนโยบายใช้วัสดุก่อสร้างที่ช่วยอนุรักษ์พลังงานนั้น นิยมใช้กระจกลามิเนตหนา 15.5 มม. หรือในบางอาคารมีการใช้กระจกชนิดนี้เพียงทิศตะวันตกเท่านั้น

ในส่วนของกระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 นั้นมีค่า SHGC เท่ากับ 0.25 เป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ในขณะที่กระจกที่มีจำหน่ายหรือผลิตในประเทศไทย มีเพียงกระจกชนิดเดียวที่มีค่า SHGC ใกล้เคียงที่สุดเท่ากับ 0.27 คือกระจกลามิเนต เคลือบสารสะท้อนแสง (Reflective Green 6 mm. H/S + Clear PVB 1.52 mm. + Clear 6 mm. H/S) ซึ่งการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยนั้นไม่นิยมติดตั้งกระจกเคลือบสารสะท้อนแสงที่แสงผ่านได้น้อย เนื่องจากผู้อาศัยในอาคารต้องการมองเห็นทัศนียภาพภายนอกที่ชัดเจน สามารถรับรู้แสงธรรมชาติที่ถูกต้อง

ตารางที่ 15 แสดงตัวแปรกระจก

กระจก		U-Value (W/m <sup>2</sup> .°C)	SHGC
G0	ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010	6.81	0.25
G1	กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. (Clear glass 3 mm.+ 0.38 mm. clear PVB + Clear glass 3 mm.)	5.7	0.78
G2	กระจกอินซูเลต 15.5 มม. (GIR Light Green 5 mm. + Air gap 5.5 mm. + Clear Glass 5 mm.)	3.23	0.52

### 3.5.4 ระเบียบ

จากการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร จำนวน 54 แห่งพบว่า ไม่มีกันสาดบังเงาช่องเปิด แต่มีระเบียบ อาคาร 54 แห่ง เป็นอาคารที่มีระเบียบเฉพาะบริเวณครัวหรือห้องน้ำหรือห้องนั่งเล่น อย่างไรก็ตามหนึ่ง คิดเป็น 50% ของช่องเปิดทั้งหมด ส่วนอาคารที่มีระเบียบ ทุกๆช่องเปิด มีเพียง 9.3% ของอาคารที่ทำการสำรวจทั้งหมด เป็นอาคารชุดพักอาศัยนี้เน้นจุดขายคือการอนุรักษ์พลังงาน หรือเป็นอาคารที่มีทิศทางรับแดดตลอดวัน อาคารที่ไม่มีระเบียบมีเพียง 5.5% ของทั้งหมด นอกจากนี้อาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 กำหนดให้ไม่มีระเบียบ

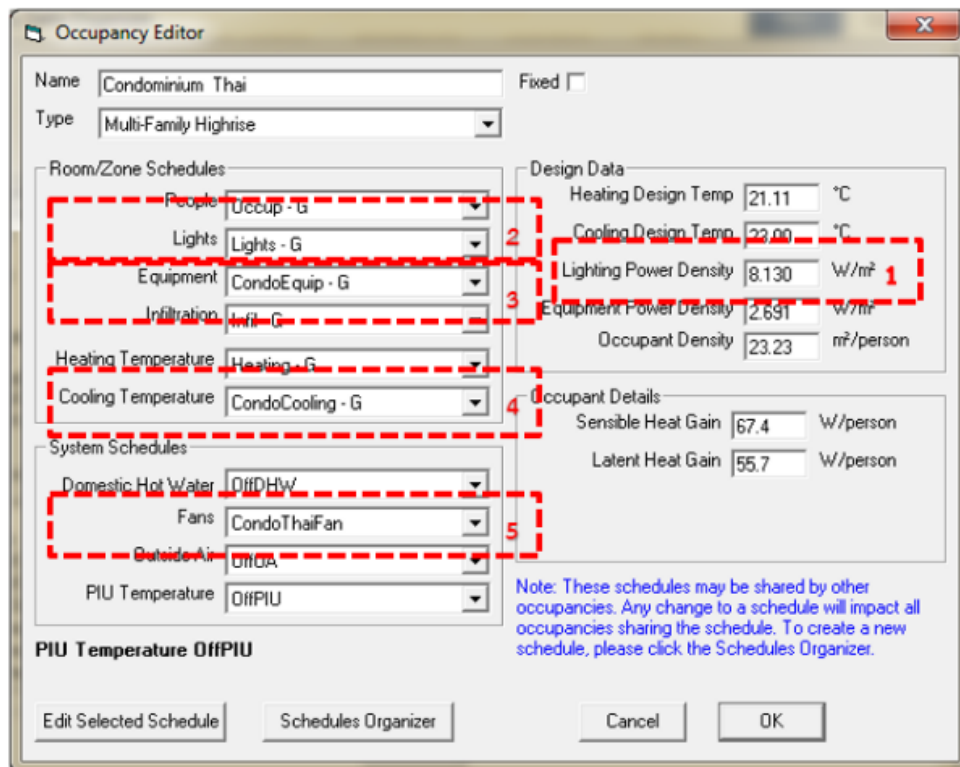
อ้างอิงจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ พบว่าระเบียบของอาคารชุดพักอาศัย มีความลึก ระเบียบประมาณ 0.80-1.00 เมตร ขึ้นอยู่การออกแบบหน้าต่างอาคาร ความกว้างและความสูง เกือบเท่ากับขนาดช่องเปิดที่ออกสู่ระเบียบ จึงสรุปตัวแปรระเบียบได้ดังนี้

ตารางที่ 16 แสดงตัวแปรระเบียบ

ระเบียบ	
FO	ไม่มีระเบียบ
F1	มีระเบียบ 50% ของช่องเปิดทั้งหมด ลึก 1.00 เมตร
F2	มีระเบียบ 100% ของช่องเปิดทั้งหมด ลึก 1.00 เมตร

### 3.7 งานระบบและการใช้งานในอาคาร

งานระบบ และการใช้งานอาคารนั้น ประกอบไปด้วย ค่าการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง หรือ LPD (Lighting Power Density) การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือต่างๆ (EQD) และช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ กำหนดให้ตั้งค่าในโปรแกรม DOE2 อ้างอิงจากการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานจริงของผู้พักอาศัย ในงานวิจัยของ อภิญา บัญญา(2555) ส่วนรายละเอียดระบบปรับอากาศ ตั้งค่าตามกำหนดใน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G.



ภาพที่ 4 แสดงการป้อนข้อมูลงานระบบและการใช้งานในอาคารดังนี้ 1.LPD (Lighting Power Density) 2.ช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง 3.การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือต่างๆ 4.อุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ 5.ช่วงเวลาเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ

### 3.7.1 LPD (Lighting Power Density)

ในข้อกำหนดของ ASHRAE 90.1 2010 ค่า LPD ไม่ส่งผลต่อคะแนนในการคำนวณอาคารพักอาศัย กล่าวคือ ทั้งอาคาร Baseline และอาคาร Proposed กำหนดให้ใช้ค่าเดียวกันตามจริง ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดค่า LPD ตามการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานจริงของผู้พักอาศัย จากงานวิจัยของ อภิญา บุญมา(2555) ที่กำหนดค่า LPD 8.13 วัตต์/ตร.ม. (W/m<sup>2</sup>)

**Occupancy Editor**

Name: Condominium Thai Fixed

Type: Multi-Family Highrise

**Room/Zone Schedules**

People: Occup - G  
 Lights: Lights - G  
 Equipment: CondoEquip - G  
 Infiltration: Infil - G  
 Heating Temperature: Heating - G  
 Cooling Temperature: CondoCooling - G

**System Schedules**

Domestic Hot Water: OffDHW  
 Fans: CondoThaiFan  
 Outside Air: OffOA  
 PIU Temperature: OffPIU

**Design Data**

Heating Design Temp: 21.11 °C  
 Cooling Design Temp: 23.00 °C  
 Lighting Power Density: 8.130 W/m<sup>2</sup>  
 Equipment Power Density: 2.691 W/m<sup>2</sup>  
 Occupant Density: 23.23 m<sup>2</sup>/person

**Occupant Details**

Sensible Heat Gain: 67.4 W/person  
 Latent Heat Gain: 55.7 W/person

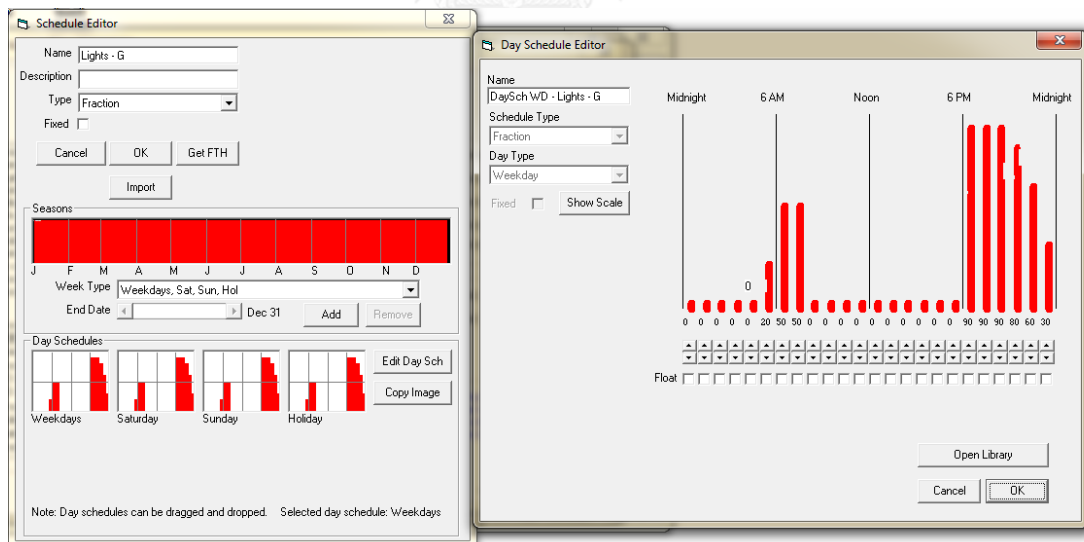
Note: These schedules may be shared by other occupancies. Any change to a schedule will impact all occupancies sharing the schedule. To create a new schedule, please click the Schedules Organizer.

PIU Temperature OffPIU

Buttons: Edit Selected Schedule, Schedules Organizer, Cancel, OK

ภาพที่ 5 แสดงการตั้งค่า LPD ในโปรแกรม DOE2

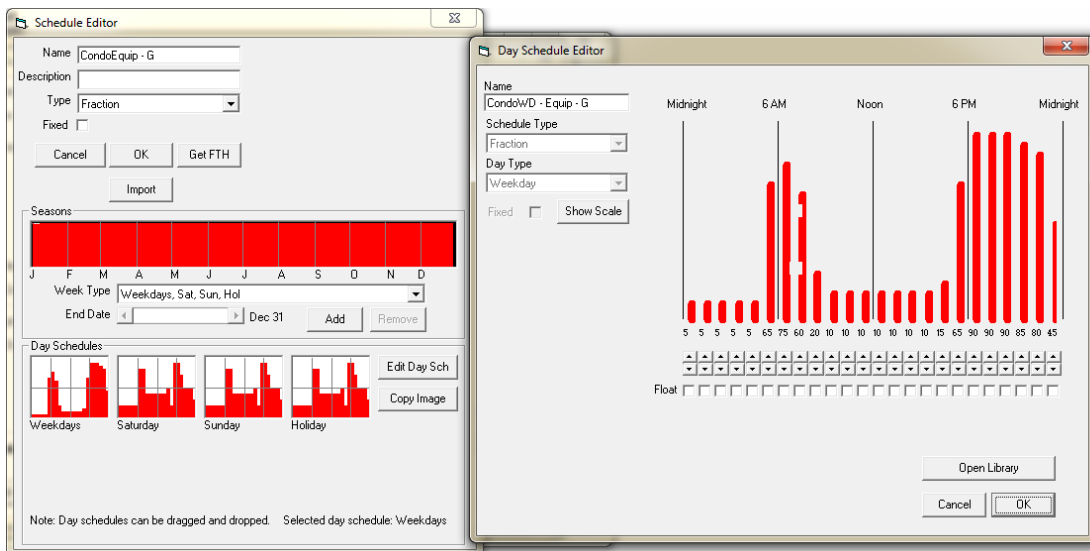
และป้อนข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างแบ่งเป็นช่วงวันจันทร์-ศุกร์ (Weekday) และช่วงวันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์ให้เป็นไปตามการใช้งานจริง



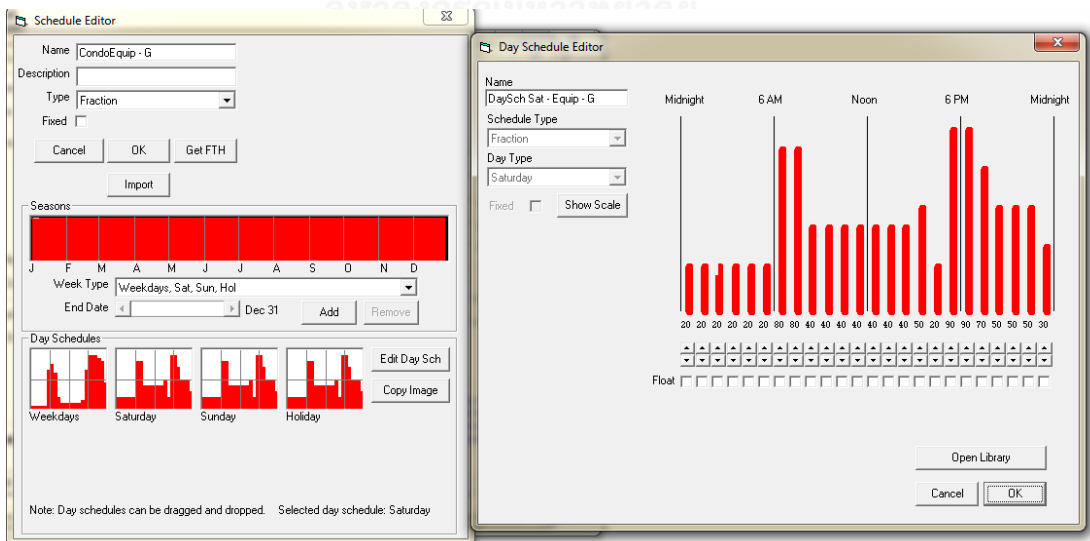
ภาพที่ 6 แสดงการป้อนข้อมูลชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างตามช่วงเวลาการใช้งานจริง

### 3.7.2 การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือต่างๆ (EQD)

ปรับชั่วโมงการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการสำรวจดัชนีภาพที่ แสดงลักษณะการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในวันจันทร์-ศุกร์ (Weekday)



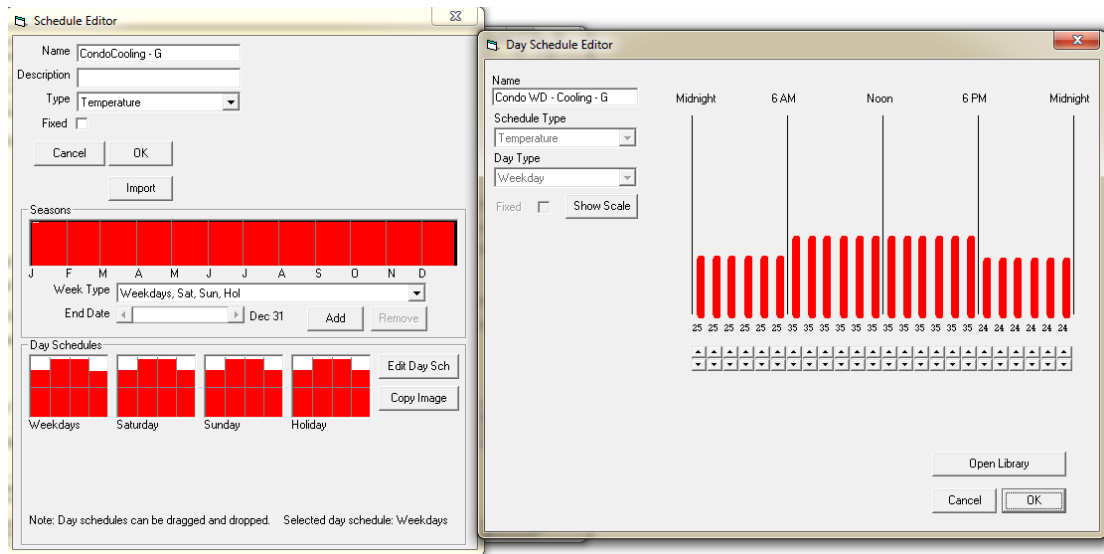
ภาพที่ 7 แสดงลักษณะการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในวันจันทร์-ศุกร์ (Weekday) ในวันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์ ผู้พักอาศัยมีการใช้งานอาคารในช่วงกลางวันมากกว่าช่วงวันจันทร์-ศุกร์ ดังนั้นจึงป้อนข้อมูลให้สอดคล้องกับความเป็นจริง



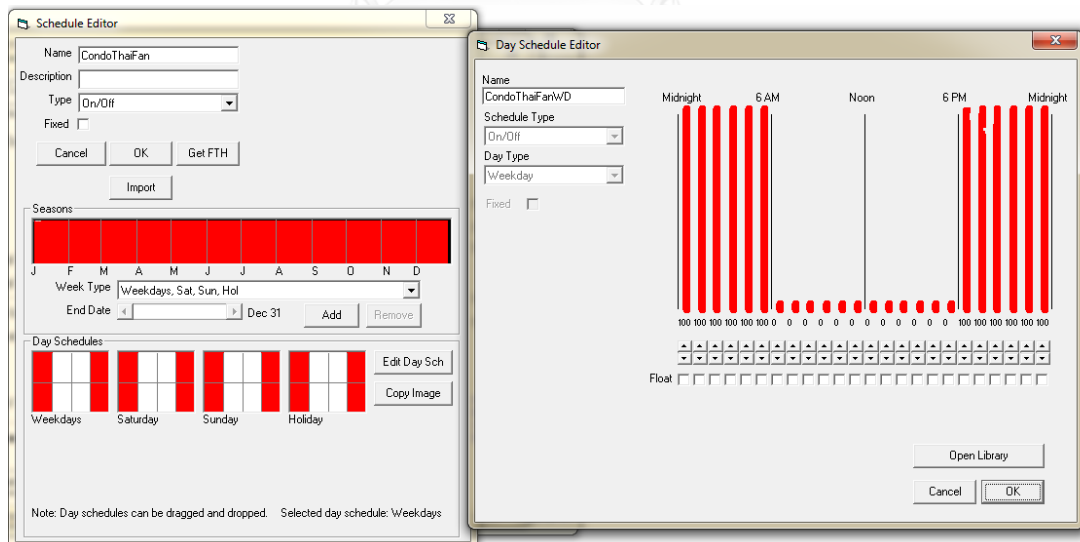
ภาพที่ 8 แสดงลักษณะการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในวันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์

### 3.7.3 ช่วงเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ

โดยข้อมูลจากการสำรวจ การเปิดเครื่องปรับอากาศนี้ จากแบบสอบถามเป็นการถามเป็นช่วงเวลาไม่ได้เป็นรายชั่วโมง โดยในการป้อนข้อมูลในโปรแกรม กำหนดให้อุณหภูมิ ที่ 25 องศาเซลเซียส และมีช่วงเวลาเปิด-ปิดดังนี้



ภาพที่ 9 แสดงการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในช่วงวันจันทร์-ศุกร์ วันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์



ภาพที่ 10 แสดงการตั้งเวลาเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศในช่วงวันจันทร์-ศุกร์ วันหยุด และวันเสาร์-อาทิตย์



ส่วนรายละเอียดระบบปรับอากาศ ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G กำหนดให้อาคารชุดพักอาศัยใช้ระบบปรับอากาศแบบ PTHP หรือ Packaged Terminal Heat Pumps

**TABLE G3.1.1A Baseline HVAC System Types**

Building Type	Fossil Fuel, Fossil/Electric Hybrid, and Purchased Heat	Electric and Other
Residential	System 1—PTAC	System 2—PTHP
Nonresidential and 3 Floors or Less and <2300 m <sup>2</sup>	System 3—PSZ-AC	System 4—PSZ-HP
Nonresidential and 4 or 5 Floors and <2300 m <sup>2</sup> or 5 Floors or Less and 2300 m <sup>2</sup> to 14,000 m <sup>2</sup>	System 5—Packaged VAV with Reheat	System 6—Packaged VAV with PFP Boxes
Nonresidential and More than 5 Floors or >14,000 m <sup>2</sup>	System 7—VAV with Reheat	System 8—VAV with PFP Boxes

Notes:  
Residential building types include dormitory, hotel, motel, and multifamily. Residential space types include guest rooms, living quarters, private living space, and sleeping quarters. Other building and space types are considered nonresidential.  
Where no heating system is to be provided or no heating energy source is specified, use the "Electric and Other" heating source classification.  
Where attributes make a building eligible for more than one *baseline* system type, use the predominant condition to determine the system type for the entire building.  
For laboratory spaces with a minimum of 5000 cfm of exhaust, use system type 5 or 7 and reduce the exhaust and makeup air volume to 50% of design values during unoccupied periods.  
For all-electric buildings, the heating shall be electric resistance.

ภาพที่ 11 แสดงข้อกำหนดรายละเอียดระบบปรับอากาศ ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

### Appendix G

**TABLE 6.8.1D Electrically Operated Packaged Terminal Air Conditioners, Packaged Terminal Heat Pumps, Single-Package Vertical Air Conditioners, Single-Package Vertical Heat Pumps, Room Air Conditioners, and Room Air-Conditioner Heat Pumps—Minimum Efficiency Requirements**

Equipment Type	Size Category (Input)	Subcategory or Rating Condition	Minimum Efficiency	Test Procedure <sup>a</sup>
PTAC (cooling mode) new construction	All capacities	35.0°C db outdoor air	3.66 – (0.213 × Cap/1000) <sup>f</sup> COP	
PTAC (cooling mode) replacements <sup>b</sup>	All capacities	35.0°C db outdoor air	3.19 – (0.213 × Cap/1000) <sup>f</sup> COP	
PTHP (cooling mode) new construction	All capacities	35.0°C db outdoor air	3.60 – (0.213 × Cap/1000) <sup>f</sup> COP	
PTHP (cooling mode) replacements <sup>b</sup>	All capacities	35.0°C db outdoor air	3.16 – (0.213 × Cap/1000) <sup>f</sup> COP	ARI 310/380

ภาพที่ 12 แสดงข้อกำหนดรายละเอียดค่า COP เครื่องปรับอากาศระบบ PTHP หรือ Packaged Terminal Heat Pumps

งานวิจัยนี้ จึงกำหนดให้อาคารชุดพักอาศัยที่ทำการจำลองพลังงานในโปรแกรม DOE2 ใช้ระบบปรับอากาศแบบ PTHP หรือ Packaged Terminal Air Conditioners ค่า COP 3.60 ทั้งอาคาร Baseline และ Proposed

### 3.8 จำลองการใช้พลังงานอาคาร Proposed

การจำลองการใช้พลังงานในอาคาร Proposed ให้มีตัวแปรดังต่อไปนี้

ตารางที่ 17 รายละเอียดของอาคาร Proposed

เปลือกอาคาร	หลังคา	Insulation Entirely above Deck – U 0.360 W/m <sup>2</sup> .°C ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010		
	พื้น	คานเหล็ก – U 1.986 W/m <sup>2</sup> .°C ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010		
	ผนัง	W0	โครงสร้างเหล็ก – U 0.705 W/m <sup>2</sup> .°C ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010	
		W1	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปหนา 0.17 ม. – U 3.38 W/m <sup>2</sup> .°C	
		W2	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม. – U 1.05 W/m <sup>2</sup> .°C	
	กระจก	G0	ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 U 6.81 W/m <sup>2</sup> .°C / SHGC 0.25	
		G1	กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. U 5.7 W/m <sup>2</sup> .°C / SHGC 0.78	
		G2	กระจกลามิเนตหนา 15.5 มม. U 3.23 W/m <sup>2</sup> .°C / SHGC 0.52	
	WWR(Window-Wall Ratio)	30	30%	
		40	40%	
		50	50%	
	ระเบียง	F0	ไม่มีระเบียง	
		F1	มีระเบียง 50% ของช่องเปิดทั้งหมด ลึก 1.00 เมตร	
F2		มีระเบียง 100% ของช่องเปิดทั้งหมด ลึก 1.00 เมตร		
งานระบบ	LPD(Lighting Power Density)	8.13 W/m <sup>2</sup> (เท่ากันทุกกรณี)		
	HVAC System	PTHP (Packaged Terminal Heat Pump)		
อื่นๆ	การบังเงาของตนเอง	Baseline - ไม่มีการบังเงา / Proposed - มีการบังเงาตนเอง		

โดยกำหนดชื่อของการจำลองพลังงานในแต่ละแบบดังนี้

**รูปทรง,ทิศทางอาคาร / WWR / ผนัง / กระจก / ระเบียง**

ตัวอย่าง

L2-1/40/W2/G1/F2 หมายถึง

- อาคารรูปแบบ L2-1
- มีสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร หรือ WWR เท่ากับ 40 %
- ผนังอาคารที่ใช้คือผนังแบบ W2 : ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม.
- กระจกที่ใช้คือกระจกแบบ G1 : กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม.
- อาคารมีระเบียง F2 : มีระเบียง 100% ของช่องเปิดทั้งหมด ระเบียงลึก 1.00 เมตร

### 3.9 การเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)

เก็บรวบรวมข้อมูล ค่าการประหยัดพลังงานของอาคาร Proposed ทั้งหมด 3,078 แบบด้วยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline โดยการเทียบเป็นร้อยละ ยกตัวอย่างอาคาร L2-1/40/W2/G1/F2

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร Baseline L2 เท่ากับ	3,602,422 kWh/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร L2-1/40/W2/G1/F2 เท่ากับ	3,805,968 kWh/ปี
อาคาร L2-1/40/W2/G1/F2 มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากกว่าอาคาร Baseline	203,546 kWh/ปี
ดังนั้นอาคาร L2-1/40/W2/G1/F2 มีค่าการประหยัดพลังงาน เท่ากับ	-17.05 %

### 3.10 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)กับพลังงานที่ใช้(EUI) ของอาคาร รูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน

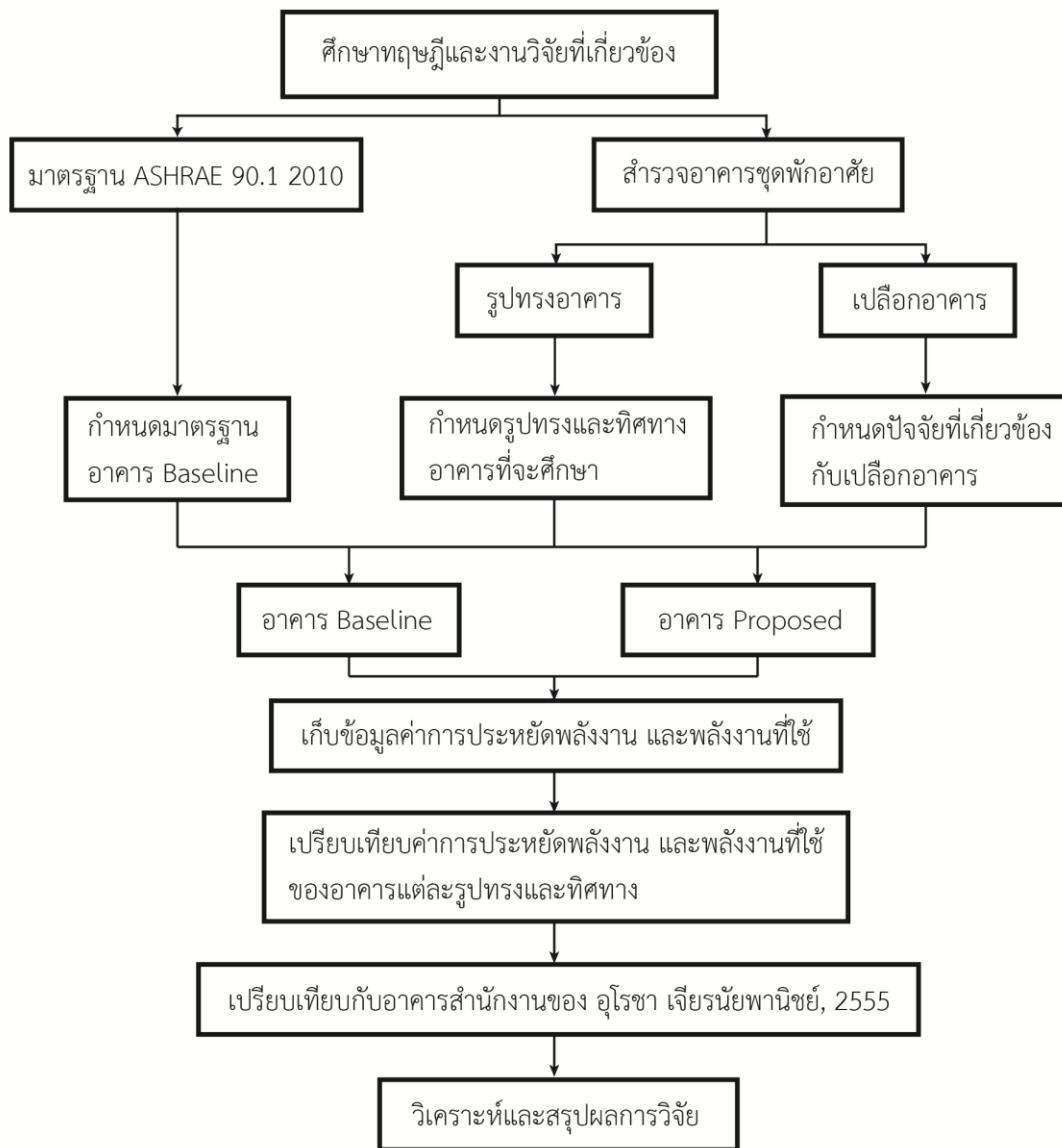
เก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกันด้วย Microsoft excel

### 3.11 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

สรุปผลการจำลองทั้งหมดและเสนอแนวทางในการออกแบบรูปทรงและทิศทางอาคารให้มีค่าการประหยัดพลังงานและปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม



แผนภูมิที่ 5 Flow Chart แสดงวิธีการวิจัย



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการจำลองอาคาร Proposed ทั้งหมด 3,078 แบบ ด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ภายใต้สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร ผลการจำลองออกมาในรูปแบบของ ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ หรือ EUI และนำไปเปรียบเทียบกับค่า Baseline ของอาคารแต่ ละรูปทรงเพื่อให้ได้ค่าการประหยัดพลังงาน หรือ %SAVE อาคาร Proposed ทั้งหมดล้วนมีค่า EUI และ %SAVE ที่แตกต่างกันทั้งสิ้น จึงนำผลการจำลองมาวิเคราะห์ได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- 4.1 อาคาร Proposed เริ่มต้น
- 4.2 ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่(EUI) และค่าการประหยัดพลังงาน(%SAVE)
- 4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) ที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI
- 4.4 อิทธิพลของกระจกที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI
- 4.5 %SAVE ที่มากกว่า 0
- 4.6 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น

ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล กำหนดชื่อย่อและค่าต่างๆดังนี้

“อาคาร Proposed” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา โดยมีรูปทรง ทิศทาง และตัวแปรเปลือกอาคารที่ ต่างกัน รวมทั้งหมด 3078 อาคาร รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

“อาคาร Baseline” หมายถึง อาคารอ้างอิงที่มีรายละเอียดอาคารตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 Appendix G และจำลองพลังงานเพื่อเป็นค่าการใช้พลังงานพื้นฐานสำหรับอาคารแต่ละรูปทรง รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

“อาคาร Proposed เริ่มต้น” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา มีรายละเอียดเหมือนอาคาร Baseline ไม่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเปลือกอาคาร แต่มีการบังเงาของตนเอง (Self-shading)

“%SAVE” หมายถึง Percentage improvement หรือ ค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

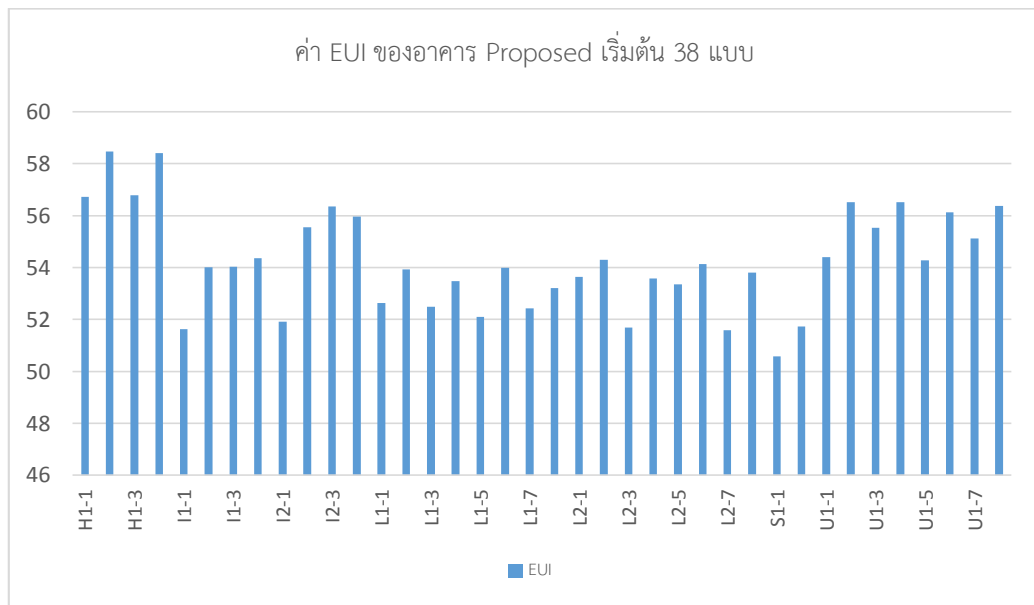
“EUI” หมายถึง ดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Utilization Index) หรือค่าระดับดัชนีการใช้พลังงาน ต่อหน่วยพื้นที่ ผลมาจากการจำลองการใช้พลังงานในอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.0

“CI” หมายถึง Compactness Index หรือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก

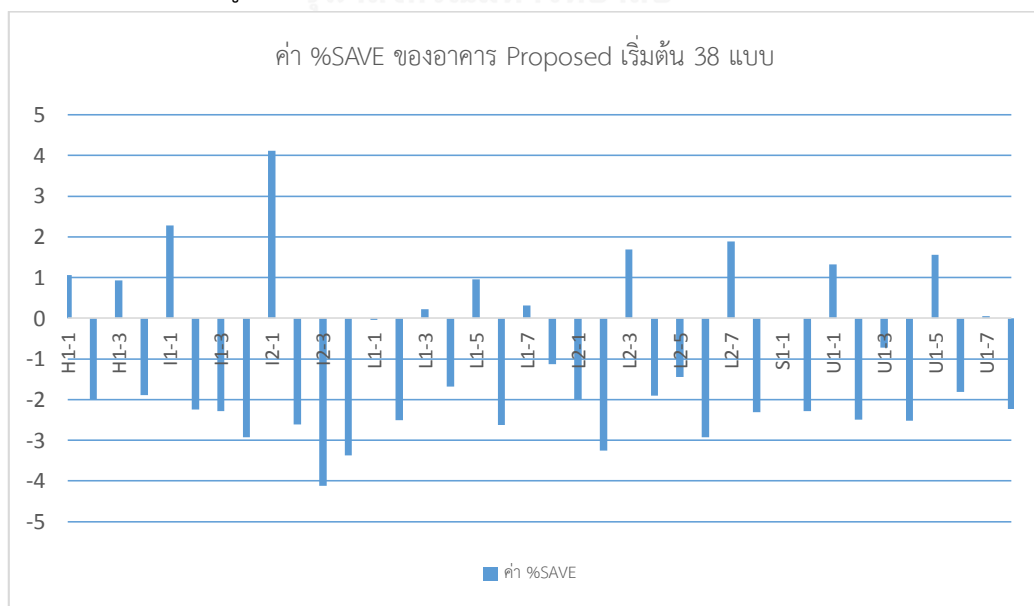
“SF” หมายถึง Shape Factor หรือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร  
 “WWR” หมายถึง Window-Wall Ratio หรือ สัดส่วนของเปิดต่อผนังอาคารภายนอก

#### 4.1 อาคาร Proposed เริ่มต้น

อาคาร Proposed เริ่มต้น คือ อาคารที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเลือกอาคาร รูปแบบอาคารคือ รูปทรง-ทิศทางอาคาร/40/W0/G0/F0 ทั้งหมด 38 อาคาร ได้ผลการจำลองพลังงานดังนี้



แผนภูมิที่ 6 แสดงค่า EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ

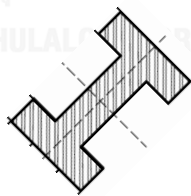

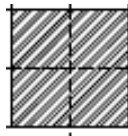
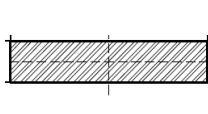


แผนภูมิที่ 7 แสดงค่า EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ

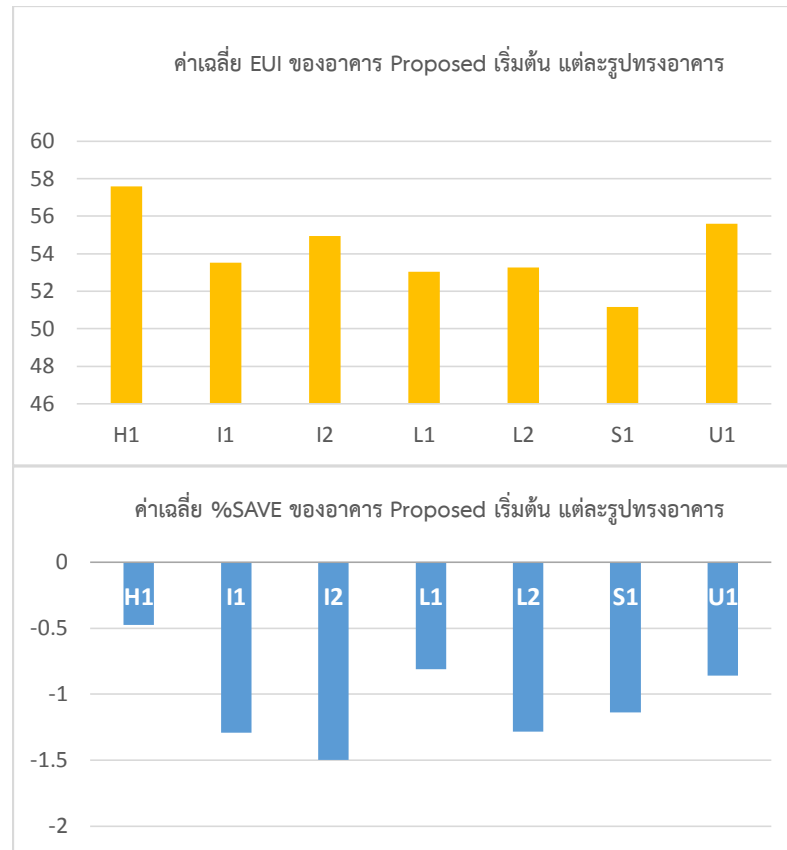
จากแผนภูมิที่ 4.1 อาคารที่ค่า EUI สูงที่สุด คืออาคาร H1-2 มีค่า EUI เท่ากับ 58.46 kWh/m<sup>2</sup>.y ส่วนค่า EUI ที่ต่ำที่สุดคืออาคาร S1-1 มีค่า EUI เท่ากับ 51.90 kWh/m<sup>2</sup>.y แต่เมื่อพิจารณาอาคารที่มีค่า EUI มากที่สุดและน้อยที่สุดพบว่ามีค่าต่างกันเพียง 6.56 kWh/m<sup>2</sup>.y เท่านั้น และจากแผนภูมิที่ 4.2 อาคารที่ค่า %SAVE ต่ำที่สุดคืออาคาร I2-3 มีค่า %SAVE เท่ากับ -4.12% ในขณะที่อาคาร I2-1 มีค่า %SAVE สูงที่สุด เท่ากับ 4.12% หากสังเกตค่า %SAVE ทั้งหมดจะเห็นว่าส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ ซึ่งแปลว่าการบังเงาตนเองของรูปทรงอาคารมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร น้อยเมื่อเทียบกับอาคาร Baseline ที่ไม่คิดการบังเงาของตนเอง

จากผลการจำลองอาคาร Proposed เริ่มต้นทั้ง 38 แบบ ได้ค่า EUI และ %SAVE มาแล้ว พบว่า หากออกแบบอาคารโดยใช้รายละเอียดอาคาร รวมถึงเปลือกอาคารตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 อย่างไม่มีการปรับเปลี่ยนใดๆ ในกรณีที่ต้องการค่า %SAVE มาก อาคารแบบ I2-1 คือ อาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 0 องศา ทำให้มีค่า %SAVE มากที่สุด ในทางกลับกันอาคาร I2-3 เป็นอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 135 องศา มีค่า %SAVE ต่ำที่สุด อาคารทั้งสองนี้มี รูปทรงเดียวกันแต่หันคนละทิศทาง หมายความว่าทิศทางมีผลต่อ %SAVE แต่ถ้าหากต้องการอาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ควรออกแบบอาคารแบบ S1-1 คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส SF 1/1 ซึ่งมีค่า EUI น้อยที่สุด คือ 50.59 kWh/m<sup>2</sup>.y

ตารางที่ 18 แสดงอาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า EUI และ %SAVE สูงสุดและต่ำสุด

EUI		%SAVE	
สูงสุด		ต่ำสุด	
	H1-2 : 58.46 kWh/m <sup>2</sup> .y		I2-3 : -4.12%
ต่ำสุด		สูงสุด	
	S1-1 : 51.90 kWh/m <sup>2</sup> .y		I2-1 : 4.12%



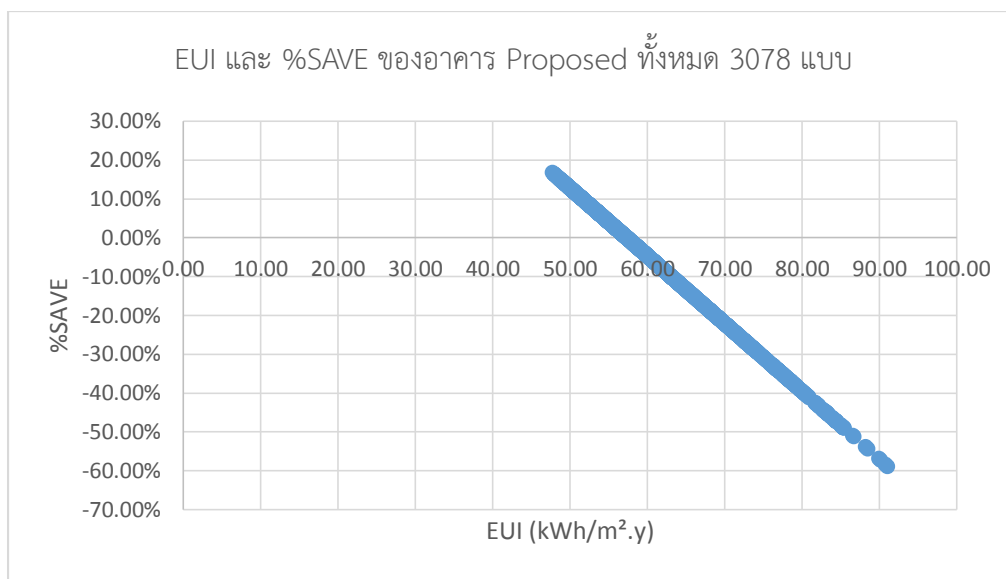


แผนภูมิที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed เริ่มต้นแต่ละรูปทรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 4.2 ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่(EUI) และค่าการประหยัดพลังงาน(%SAVE)

จากการจำลองอาคาร Proposed เริ่มต้นทั้ง 38 แบบแล้ว จึงมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเปลือกอาคาร คือ วัสดุผนัง กระจก และระเบียง รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย การเปรียบเทียบค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมดทำให้สามารถทราบรูปแบบอาคารที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุด

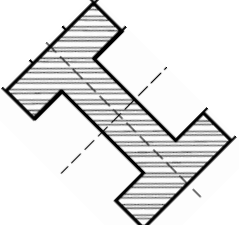
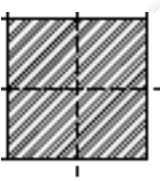


แผนภูมิที่ 9 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมด 3078 แบบ

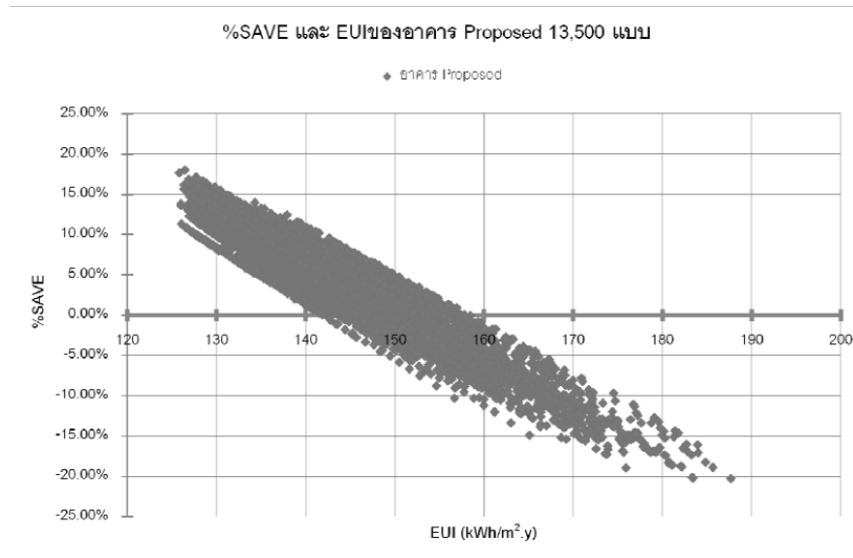
จากแผนภูมิที่ 4.4 พบว่า อาคารที่มี %SAVE สูงที่สุด คืออาคาร S1-1/30/W0/G0/F2 มีค่า %SAVE เท่ากับ 16.76% และเป็นอาคารที่มีค่า EUI ต่ำที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่า EUI เท่ากับ 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y อาคารนี้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหันอาคารทิศ 0 องศา มีค่า CI หรืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก 9.25 มากที่สุดในรูปทรงอาคารทั้งหมดที่ทำการศึกษ WWR 30 คือสัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังอาคาร 30 น้อยกว่า Baseline ที่กำหนดให้มี WWR 40 ใช้วัสดุผนังและกระจกเหมือนอาคาร Baseline และมีระเบียงลึก 1.00 ม. ทุกช่องหน้าต่างภายนอกอาคาร กล่าวคือเป็นอาคารที่ดีที่สุดในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวม

ส่วนอาคารที่มี %SAVE ต่ำที่สุด คืออาคาร H1-4/50/W2/G1/F0 มีค่า %SAVE เท่ากับ -58.88% และเป็นอาคารที่มีค่า EUI สูงที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่า EUI เท่ากับ 91.07 kWh/m<sup>2</sup>.y เป็นอาคารที่มีรูปทรงเป็นรูปตัว H หันทิศ 135 องศา มีค่า CI เท่ากับ 5.79 ต่ำที่สุดในรูปทรงอาคารทั้งหมดที่ทำการศึกษ WWR 50 คือสัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังอาคาร 50 น้อยกว่า Baseline ที่กำหนดให้มี WWR 40 ใช้วัสดุผนังคือผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม. ใช้กระจกกระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และไม่มีระเบียง กล่าวคือเป็นอาคารที่แย่ที่สุดในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวม

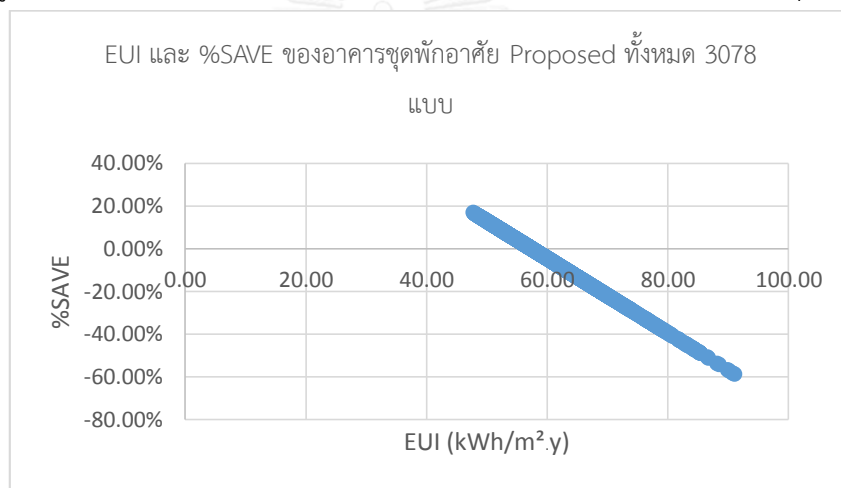
แผนภูมิที่ 10 แสดงอาคารรูปแบบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด

		H1-4/50/W2/G1/F0	
แปะที่สุด		รูปทรง	H1-4
		WWR	50
		ผนัง	ก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม.
		กระจก	ลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม.
		ระเบียง	ไม่มีระเบียง
		CI	5.79
		%SAVE	-58.88%
		EUI	91.07 kWh/m <sup>2</sup> .y
		S1-1/30/W0/G0/F0	
สีที่สุด		รูปทรง	S1-1
		WWR	30
		ผนัง	ASHRAE-อลูมิเนียมสำเร็จรูปคุณภาพ
		กระจก	ASHRAE- U-Value 6.81 W/m <sup>2</sup> .°C
		ระเบียง	มีระเบียง 100% ของช่องเปิด
		CI	9.25
		%SAVE	16.76%
		EUI	47.71 kWh/m <sup>2</sup> .y

ภาพรวมจากผลการจำลองอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเปลือกอาคารทั้งหมด ค่า EUI และ %SAVE สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือหากอาคารที่มีการใช้พลังงานมากก็จะได้คะแนน %SAVE น้อย อาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยลงก็จะได้คะแนน %SAVE มากขึ้นตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอุไรชา เจียรนัยพานิชย์(2555) ซึ่งศึกษาเฉพาะอาคารประเภทสำนักงานที่ใช้งานในเวลากลางวัน พบว่าแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ต่างกันชัดเจน โดยในส่วนของอาคารสำนักงานนั้น ค่า EUI และ %SAVE ไม่สอดคล้องกัน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.5 และ 4.6 ดังนี้

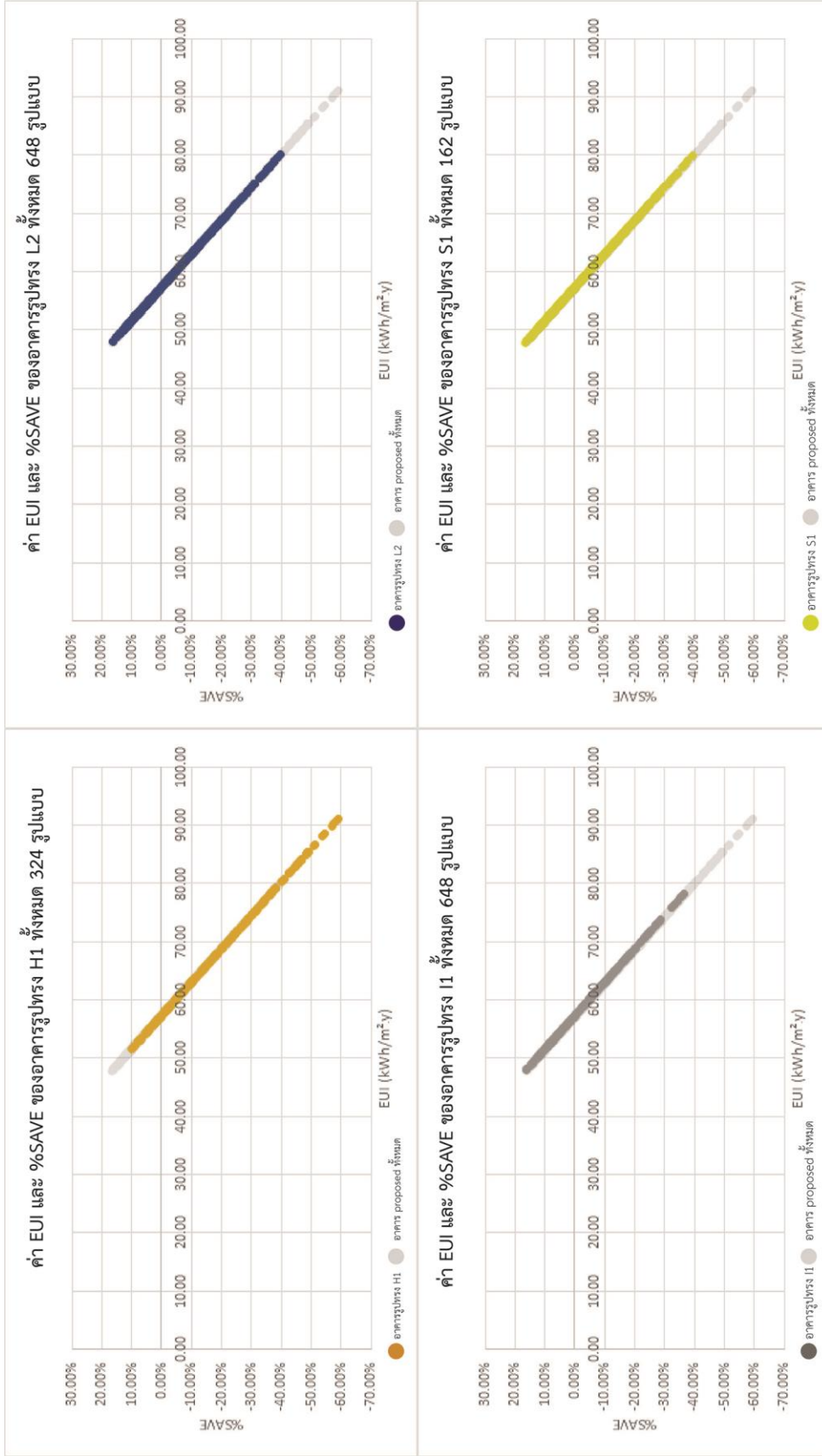


แผนภูมิที่ 11 แสดง EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงาน จากงานวิจัยของอุโรชา,2555

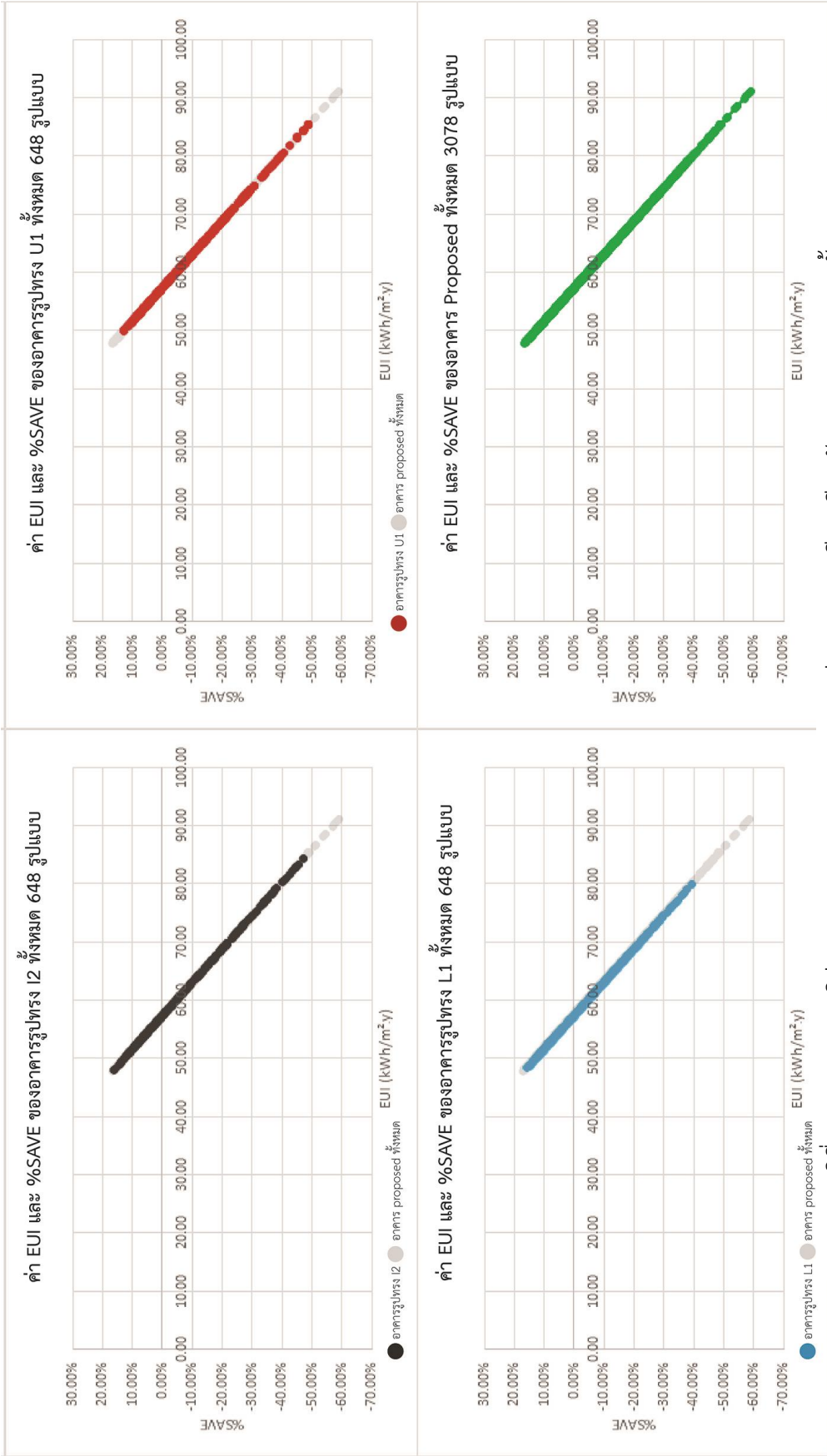


แผนภูมิที่ 12 แสดง EUI และ %SAVE ของอาคารชุดพักอาศัย

เมื่อพิจารณาแผนภูมิกำลางพลังงานโดยรวมแล้ว ทำให้ทราบถึงอาคารที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด เห็นว่าแผนภูมิมีทิศทางค่า EUI และ %SAVE ที่สอดคล้องกัน จากนั้นพิจารณาวิเคราะห์แยกตามกลุ่มรูปทรงอาคาร เพื่อสามารถแยกข้อมูลพิจารณาได้ชัดเจนขึ้น โดยอ้างอิงตำแหน่งจากกราฟเดิมเพื่อให้ทราบพิกัดของค่าพลังงานในแต่ละรูปทรงอาคารต่างๆ ปราบกฎแนวโน้มค่า EUI และ %SAVE ของกลุ่มอาคารรูปทรงต่างๆทั้ง 7 รูปทรงดังนี้



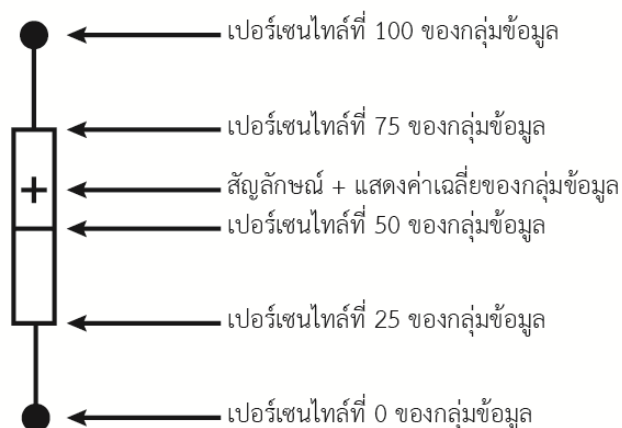
แผนภูมิที่ 13 แสดงแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคารแต่ละรูปทรงเปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด(1)



จากภาพที่ 4.1 อาคารที่มีตำแหน่งค่า EUI และ %SAVE ค่อนไปทางลบคือ อาคารรูปทรง H1 อาคารที่มีตำแหน่งค่า EUI และ %SAVE อยู่ช่วงกลางของอาคาร Proposed ทั้งหมดคืออาคารรูปทรง U1 และอาคารที่มีตำแหน่งค่า EUI และ %SAVE ที่ค่อนไปทางบวกได้แก่ อาคารรูปทรง I1 I2 L1 L2 และ S1 โดยอาคารที่มีตำแหน่งค่อนไปทางบวกมากที่สุดคืออาคารรูปทรง I1

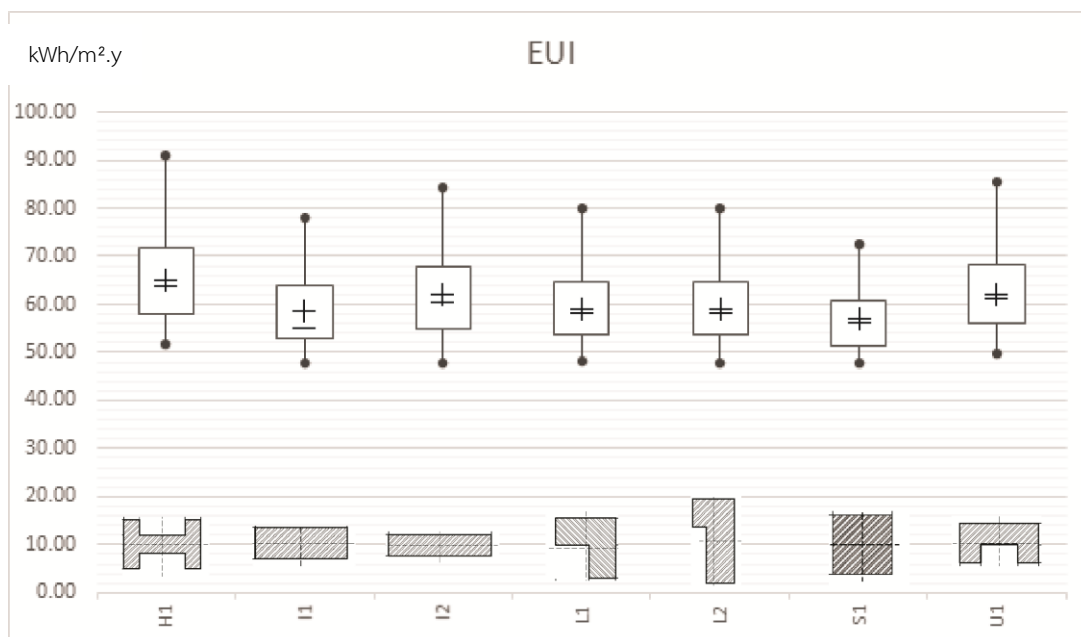
จากข้อมูลข้างต้น หากเปรียบเทียบจากแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมด อาคารทุกรูปทรงมีตำแหน่งค่า EUI และ %SAVE ไปทั้งตำแหน่งที่ค่อนไปทางบวกและลบเหมือนกัน ไม่มีอาคารใดที่แสดงตำแหน่งค่อนไปทางบวกอย่างเดียวอย่างชัดเจน หรือค่อนไปทางลบอย่างเดียวอย่างชัดเจน และทุกรูปทรงอาคารมีแนวตำแหน่งในแผนภูมิที่ทับซ้อนกัน

อย่างไรก็ตามข้อมูลข้างต้นเป็นเพียงการวิเคราะห์อาคารที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดซึ่งยังไม่สามารถระบุรายละเอียดในแต่ละแบบได้ว่ารูปทรงและทิศทางใดที่มีแนวโน้มของค่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์แยกตามกลุ่มของรูปทรงและทิศทางอาคาร โดยอาศัยแผนภูมิแบบ Box Plot ใช้สัญลักษณ์แสดงรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดสัญลักษณ์ประกอบแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE

ในส่วนของค่า EUI นั้น หากพิจารณาแยกตามรูปทรงอาคารทั้ง 7 รูปทรงแล้ว พบว่า อาคารรูปทรง S1 มีค่าเฉลี่ย EUI น้อยที่สุดเท่ากับ 56.65 kWh/m<sup>2</sup>.y และมีช่วงของการใช้พลังงานที่แคบที่สุดคืออยู่ในช่วง 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y ถึง 72.64 kWh/m<sup>2</sup>.y ส่วนอาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุดคืออาคารรูปทรง H1 มีค่าเฉลี่ย EUI เท่ากับ 65.81 kWh/m<sup>2</sup>.y และมีช่วงของการใช้พลังงานกว้างที่สุดคืออยู่ในช่วง 51.61 kWh/m<sup>2</sup>.y ถึง 91.07 kWh/m<sup>2</sup>.y ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.7 ต่อไปนี้

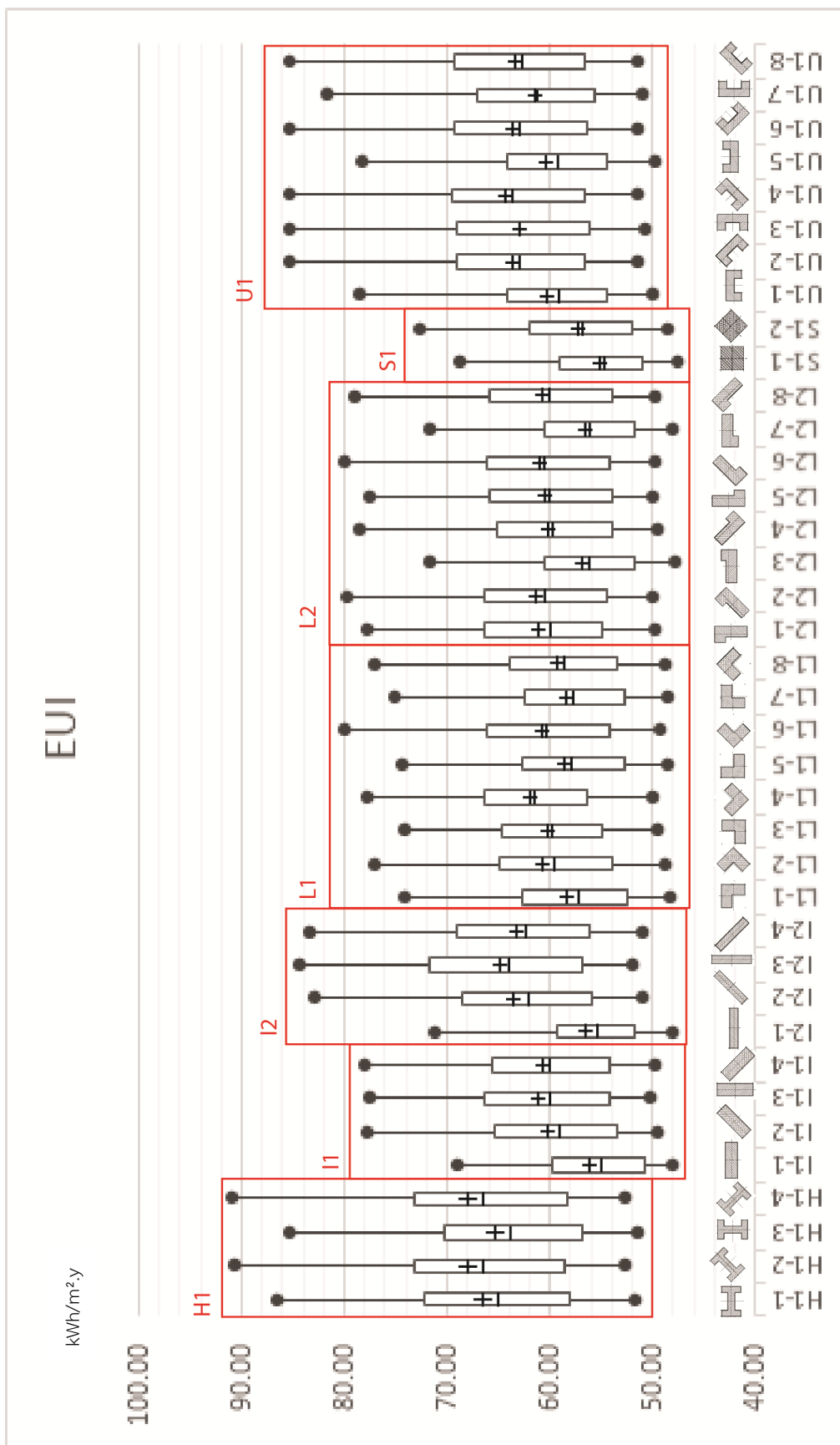


แผนภูมิที่ 15 แสดงค่า EUI อาคารทั้งหมด 7 รูปทรง

เมื่อพิจารณาอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทาง ตามปรากฏในแผนภูมิที่ 4.8 แสดงค่า EUI ของอาคารทั้งหมด 38 ทิศทาง อาคาร H1-2 และ H1-4 มีค่าเฉลี่ย EUI สูงกว่าอาคารอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด โดยอาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุดเท่ากับ 91.07 kWh/m<sup>2</sup>.y คืออาคาร H1-4 เป็นอาคารรูปทรง H หันทิศ 135 องศา อาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI น้อยที่สุดเท่ากับ 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y คืออาคาร S1 เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หันทิศ 0 องศา

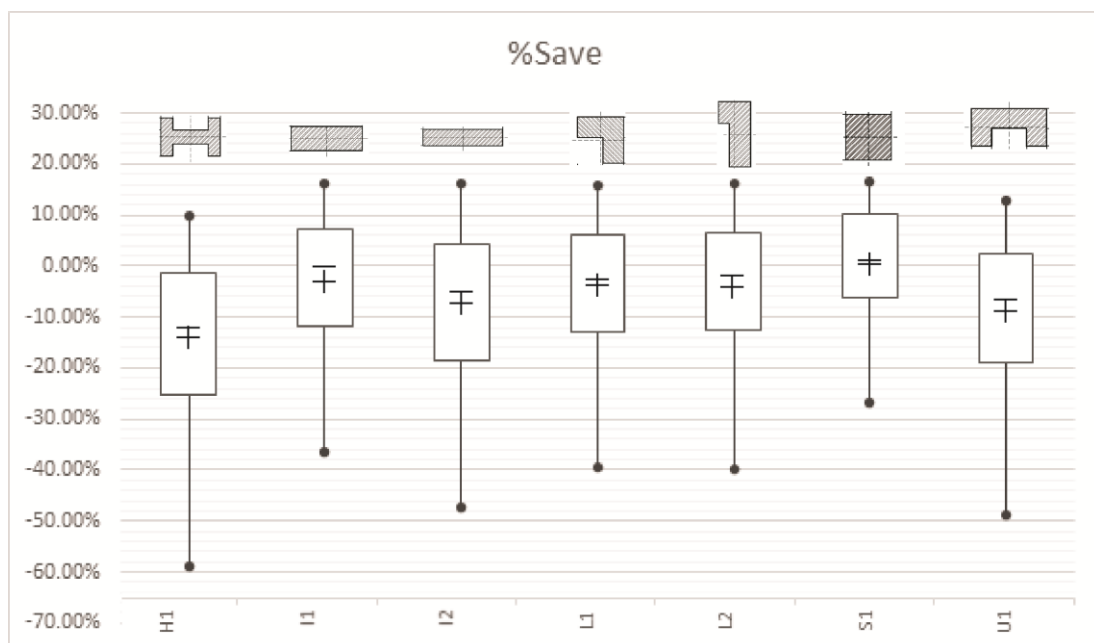
ค่า EUI ต่ำสุดของอาคารทุกแบบอยู่ในช่วงระหว่าง 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y ถึง 52.76 kWh/m<sup>2</sup>.y ซึ่งต่างกัน 5.05 kWh/m<sup>2</sup>.y ในขณะที่ค่า EUI สูงสุดของอาคารทุกแบบอยู่ในช่วงระหว่าง 68.72 kWh/m<sup>2</sup>.y ถึง 91.07 kWh/m<sup>2</sup>.y มีช่วงความต่างที่กว้างกว่าค่า EUI ต่ำสุด โดยต่างกัน 22.35 kWh/m<sup>2</sup>.y





แผนภูมิที่ 16 แสดงค่า EUI ของอาคาร Proposed แบ่งตามรูปทรงและทิศทาง

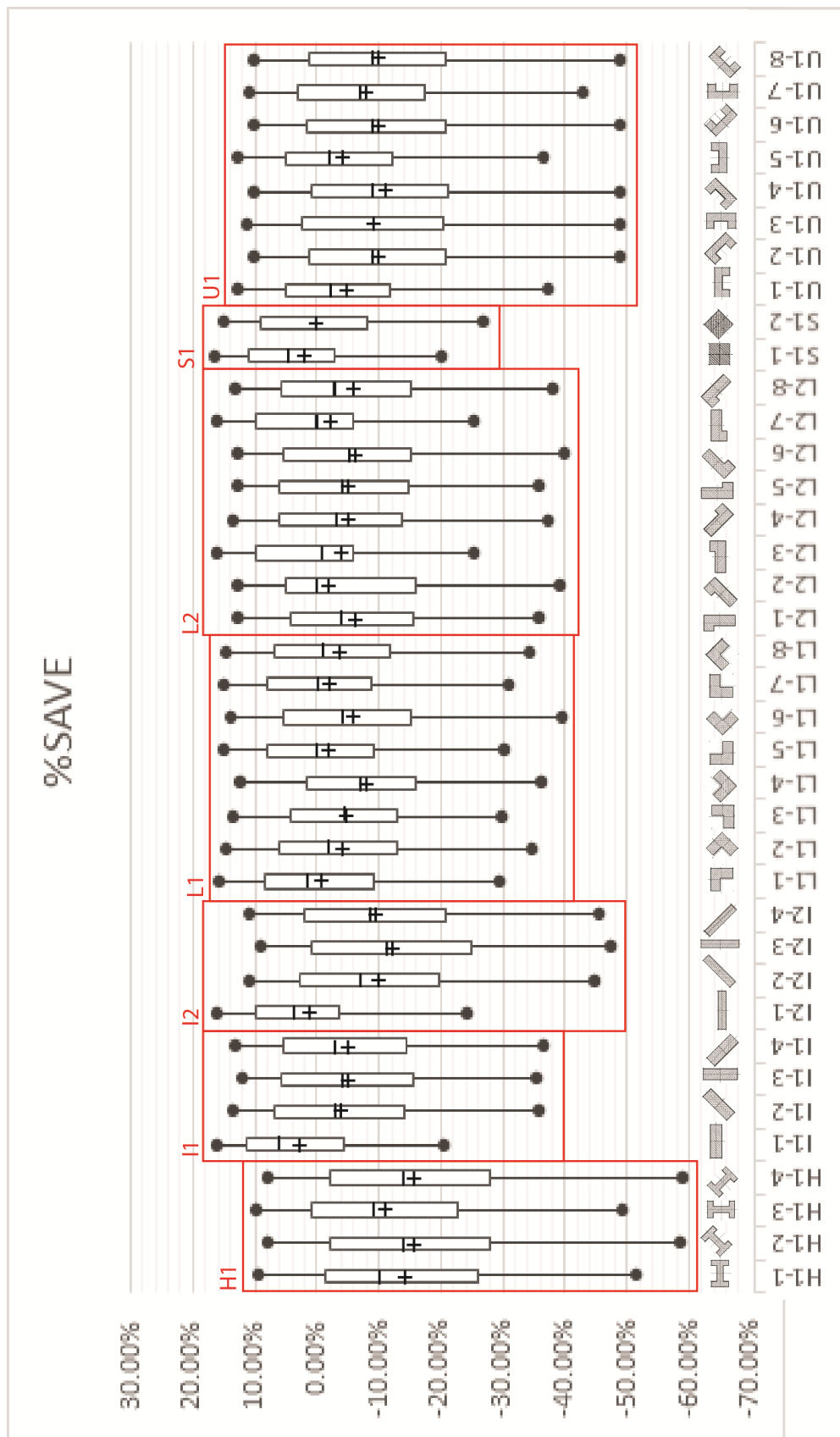
ในส่วนของค่า %SAVE นั้น หากพิจารณาแยกตามรูปทรงอาคารทั้ง 7 รูปทรงแล้ว พบว่า อาคารรูปทรง H1 มีค่าเฉลี่ย %SAVE น้อยที่สุดเท่ากับ -14.81% และมีช่วงของ %SAVE ที่กว้างที่สุด คืออยู่ในช่วง -58.88% ถึง 9.96% ส่วนอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดคืออาคารรูปทรง S1 มีค่าเฉลี่ย %SAVE เท่ากับ 1.17% และมีช่วงของ %SAVE ที่แคบที่สุดคืออยู่ในช่วง -26.73% ถึง 6.76% ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.9 ต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 17 แสดงค่า %SAVE อาคารทั้งหมด 7 รูปทรง








เมื่อพิจารณาอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทาง ตามปรากฏในแผนภูมิที่ 4.10 แสดงค่า %SAVE ของอาคารทั้งหมด 38 ทิศทาง อาคาร H1-2 และ H1-4 มีค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำกว่าอาคารอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด โดยอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดเท่ากับ -58.88% คืออาคาร H1-4 เป็นอาคารรูปทรง H หันทิศ 135 องศา อาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดเท่ากับ 16.76% คืออาคาร S1 เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หันทิศ 0 องศา

ค่า %SAVE สูงสุดของอาคารทุกแบบอยู่ในช่วงระหว่าง 7.95% ถึง 16.76% ซึ่งต่างกันเพียง 8.81% ในขณะที่ค่า %SAVE ต่ำสุดของอาคารทุกแบบอยู่ในช่วงระหว่าง -58.88% ถึง 0% มีช่วงความต่างที่กว้างกว่าค่า %SAVE สูงสุด โดยต่างกัน 58.88%










แผนภูมิที่ 18 แสดงค่า %SAVE ของอาคาร Proposed แบ่งตามรูปทรงและทิศทาง







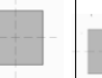


ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 7 รูปทรง

ค่าเฉลี่ย EUI(kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
56.65	59.07	59.74	59.75	61.9	62.44	65.81










  

ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
1.17%	-3.06%	-4.23%	-4.24%	-7.99%	-8.94%	-14.81%

ตารางที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงานทั้ง 9 รูปทรงของอุรุชา,2555

ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย								
								
X2	X1	U1	U2	L1	L2	S1	R1	C1
4.68%	4.23%	3.75%	3.60%	3.31%	3.29%	2.53%	2.48%	2.32%
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3		

ค่าเฉลี่ย EUI (kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก								
								
C1	S1	R1	L1	X1	U1	U2	L2	X2
139.60	141.98	143.44	143.77	144.07	144.90	146.26	146.72	147.95
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3		






















จากตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารทั้งหมด 7 รูปทรง เรียงตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากน้อยไปมาก นั่นคือค่าเฉลี่ย EUI เรียงจากมากไปน้อย ส่วนค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากน้อยไปมาก ในส่วนของอาคารชุดพักอาศัยนั้น ค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE มีความสอดคล้องกัน รูปทรงที่ได้ค่าเฉลี่ย EUI มากที่สุดคือรูปทรง S1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุด เช่นเดียวกัน ส่วนอาคาร I1 L2 L1 I2 U1 และ H1 มีค่าเฉลี่ย EUI ที่มากขึ้น และ ค่าเฉลี่ย %SAVE ที่

น้อยลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงานทั้ง 9 รูปทรงของอุโรชา,2555 พบว่าอาคารสำนักงานมีค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ที่ไม่สอดคล้องกันอย่างเห็นได้ชัด เช่น อาคารรูปทรง C1 มีค่าเฉลี่ย EUI น้อยที่สุด แต่กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE น้อยที่สุด ในขณะที่อาคารรูปทรง X2 มีค่าเฉลี่ย EUI มากที่สุด แต่กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งแตกต่างกับอาคารชุดพักอาศัยอย่างสิ้นเชิง

#### 4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) ที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 พบว่า อาคารที่มีค่า EUI สูง คืออาคารที่มีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก หรือ CI น้อยที่สุด หมายถึงอาคารที่มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารมากที่สุด และอาคารที่มีค่า EUI น้อยที่สุดคืออาคารที่มีค่า CI มากที่สุด ซึ่งก็หมายถึงอาคารที่มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารน้อย ดังนั้นจึงพิจารณาอิทธิพลของ CI ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.5 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 7 รูปทรงตามค่า CI EUI และ %SAVE พบว่า ค่าทั้งหมดสอดคล้องกัน อาคารที่มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารมาก ก็จะมีการใช้พลังงานที่มากและมีค่า %SAVE ที่น้อย ในทางกลับกันอาคารที่มีพื้นที่ผิวน้อย ก็ย่อมจะมีการใช้พลังงานที่น้อยลงตามไปด้วย ส่งผลให้มีค่า %SAVE ที่มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 21 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 7 รูปทรงตามค่า CI EUI และ %SAVE

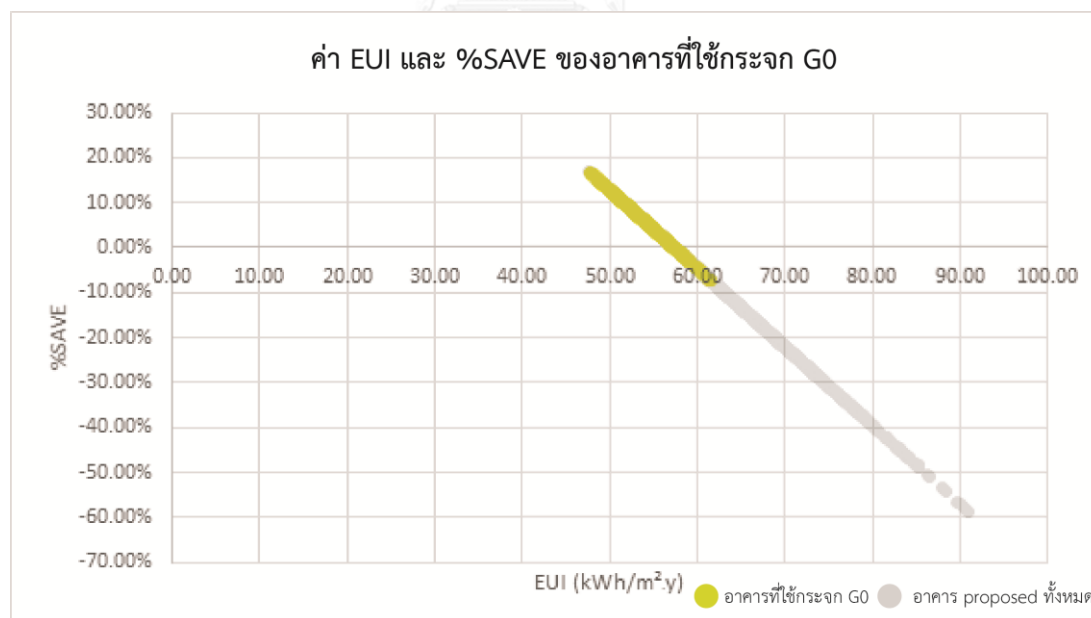
ค่า CI เรียงจากมากไปน้อย						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
9.25	8.19	7.78	7.78	7.06	6.77	5.79
ค่าเฉลี่ย EUI(kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
56.65	59.07	59.74	59.75	61.9	62.44	65.81
ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
1.17%	-3.06%	-4.23%	-4.24%	-7.99%	-8.94%	0.00%

#### 4.4 อิทธิพลของกระจกที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าค่า CI ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งในขณะที่ทำการจำลองผลการใช้พลังงานในอาคารทั้ง 3078 รูปแบบนั้น พบว่าค่าการใช้พลังงานในอาคารจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามประเภทกระจกที่ใช้อย่างสังเกตเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงพิจารณาค่า EUI และ %SAVE แยกตามประเภทของกระจกดังนี้

##### กระจก G0 – กระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

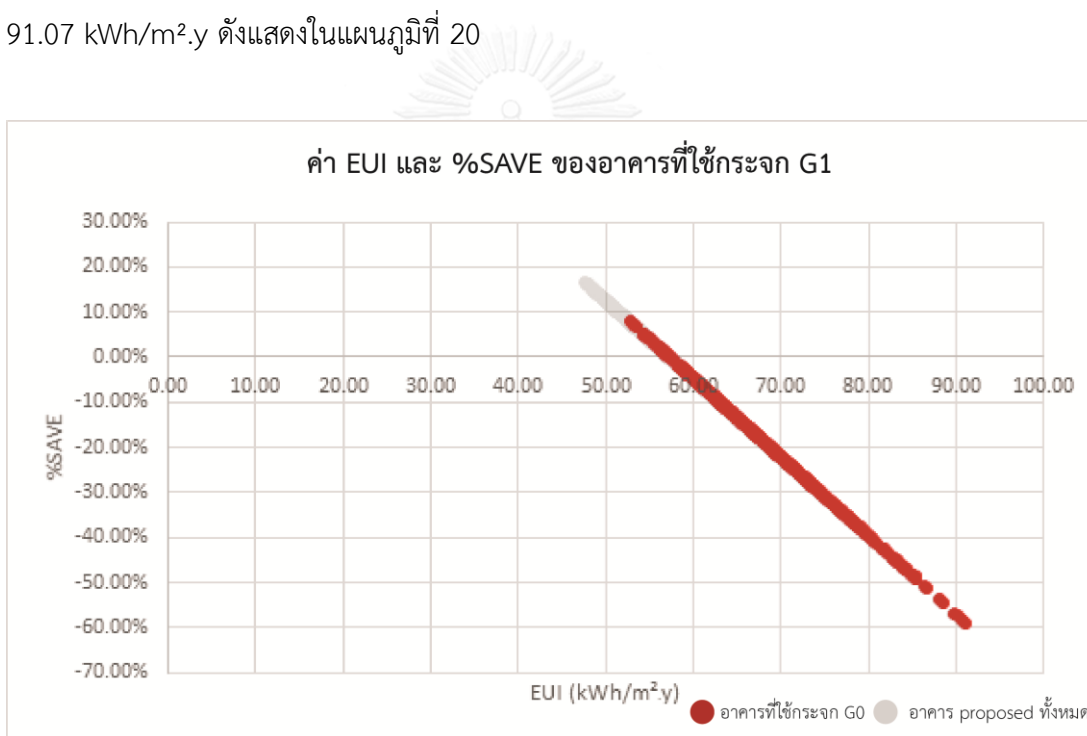
กระจก G0 คือกระจกที่มีประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 มีค่า U-Value เท่ากับ  $6.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$  และค่า SHGC เท่ากับ 0.25 เป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดใกระจกทั้งหมดที่นำมาศึกษาเป็นปัจจัยเปลือกอาคารของงานวิจัยนี้ เมื่อนำมากำหนดตำแหน่งในแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมดจึงพบว่า อาคารรูปแบบที่ใช้กระจก G0 นี้ ส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งที่ %SAVE เป็นบวก และค่า EUI ต่ำ โดยค่า %SAVE ที่สูงที่สุดคือ 16.76% ซึ่งเป็นค่า %SAVE ที่สูงที่สุดของอาคาร Proposed ทั้งหมดด้วย ซึ่งมีค่า EUI เท่ากับ 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y เช่นเดียวกัน ในขณะที่ค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคารที่ใช้กระจก G0 เท่ากับ -7.26% มีค่า EUI เท่ากับ 61.48 kWh/m<sup>2</sup>.y ดังแสดงในแผนภูมิที่ 19



แผนภูมิที่ 19 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคารที่ใช้กระจก G0 เปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด

### กระจก G1 - กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม.

จากการสำรวจพบว่า อาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่ ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. โดยในการจำลองอาคารนี้ ได้ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. ที่มีค่า U-Value เท่ากับ  $5.7 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$  และค่า SHGC เท่ากับ 0.78 ซึ่งเป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในกระจกทั้งหมดที่นำมาศึกษาเป็นปัจจัยเปลือกอาคารของงานวิจัยนี้ เมื่อนำมากำหนดตำแหน่งในแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมดจึงพบว่า อาคารรูปแบบที่ใช้กระจก G1 นี้ ส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งที่ %SAVE เป็นลบ และค่า EUI สูง โดยค่า %SAVE ที่สูงที่สุดคือ 7.94% ค่า EUI ต่ำที่สุดเท่ากับ  $52.76 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{y}$  ในขณะที่ค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคารที่ใช้กระจก G1 เท่ากับ -58.88% ซึ่งเป็นค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคาร Proposed ทั้งหมด และมีค่า EUI เท่ากับ  $91.07 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{y}$  ดังแสดงในแผนภูมิที่ 20

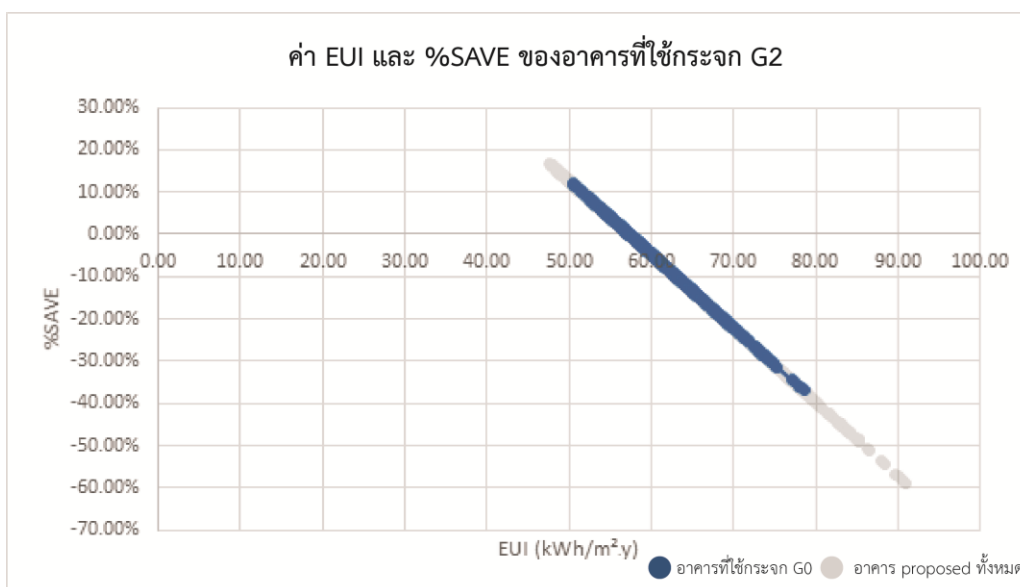


แผนภูมิที่ 20 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคารที่ใช้กระจก G1 เปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด

### กระจก G2 - กระจกอินซูลาตหนา 15.5 มม.

จากการสำรวจพบว่า อาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครที่เน้นจุดขายเรื่องการประหยัดพลังงาน นิยมใช้กระจกอินซูลาต 15.5 มม. โดยในการจำลองอาคารนี้ ได้ใช้กระจกอินซูลาต 15.5 มม. ที่มีค่า U-Value เท่ากับ  $3.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$  และค่า SHGC เท่ากับ 0.52 เมื่อนำมากำหนดตำแหน่งในแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมดจึงพบว่า อาคารรูปแบบที่ใช้กระจก G2 นี้ อยู่ในตำแหน่งช่วงกลางของแผนภูมิ โดยค่า %SAVE ที่สูงที่สุดคือ 12.01% ค่า EUI ต่ำ

ที่สุดเท่ากับ 50.43 kWh/m<sup>2</sup>.y ในขณะที่ค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคารที่ใช้กระจก G2 เท่ากับ -37.01% และมีค่า EUI เท่ากับ 78.53 kWh/m<sup>2</sup>.y ดังแสดงในแผนภูมิที่ 21

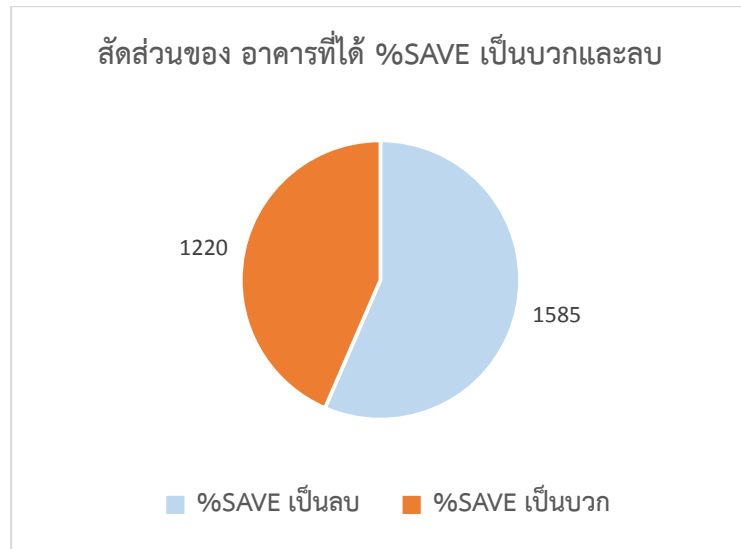


แผนภูมิที่ 21 แสดงค่า EUI และ %SAVE ของอาคารที่ใช้กระจก G2 เปรียบเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด

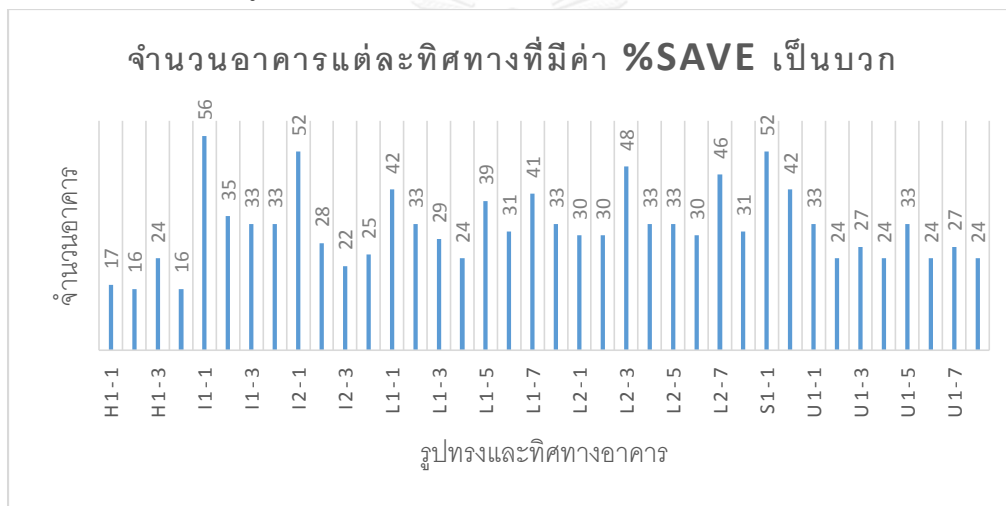
#### 4.5 %SAVE ที่มากกว่า 0

เนื่องจากเกณฑ์การให้คะแนน LEED V.4 กำหนดให้ใช้ค่า %SAVE ในการให้คะแนน ถ้าได้คะแนน %SAVE มากก็จะได้คะแนนมากขึ้นตามลำดับ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงอาคารให้สามารถทำคะแนนที่ดีที่สุด และการจำลองการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด 3078 รูปแบบ ผลการจำลองมีทั้งอาคารที่ได้มีทั้ง %SAVE เป็นบวก และเป็นลบ ซึ่งตามการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อที่ 4.2 ระบุว่าอาคารที่มีค่า EUI ต่ำก็จะมีค่า %SAVE สูง หากค่า EUI สูงขึ้น ค่า %SAVE ก็จะลดลงตามลำดับ โดยอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกมีจำนวน 1,220 รูปแบบ คิดเป็น 39.64% ของอาคารทั้งหมด 3,078 แบบ





แผนภูมิที่ 22 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกและลบ



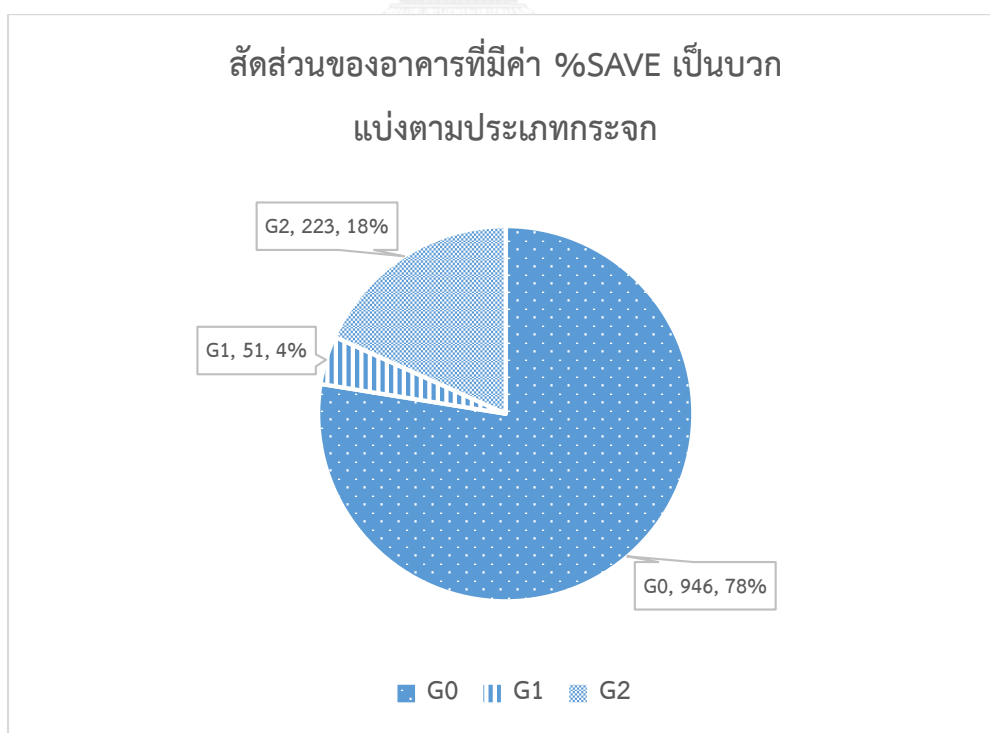
แผนภูมิที่ 23 แสดงจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวก

จากแผนภูมิที่ 23 แสดงจำนวนอาคารแต่ละแบบที่ได้ %SAVE เป็นบวก ทั้งหมด 1,220 รูปแบบ และแยกออกเป็นกลุ่มรูปทรงและทิศทางอาคาร พบว่าอาคารแบบ I1-1 หรืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่า SF เท่ากับ 1/3 ค่า CI เท่ากับ 8.19 หนึ่งทิศ 0 องศา มีจำนวนรูปแบบที่มีค่า %SAVE ที่เป็นบวกมากที่สุดถึง 56 แบบ ส่วนอาคารที่มีจำนวนรูปแบบที่ได้ %SAVE น้อยที่สุดเพียง 16 แบบ คืออาคารแบบ H1-2 และอาคารแบบ H1-4 ซึ่งเป็นอาคารรูปตัว H ค่า SF เท่ากับ 1/1.5 ค่า CI เท่ากับ 5.79 หนึ่งทิศ 45 องศา และ 135 องศา ตามลำดับ

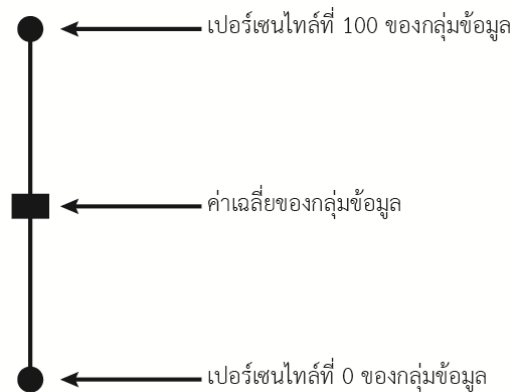
อ้างอิงจากการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อ 4.2 ที่ผ่านมา อาคาร S1 เป็นอาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำที่สุด และเป็นอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE มากที่สุดเมื่อเทียบกับอาคาร Proposed ทั้งหมด แต่จากแผนภูมิที่ 4.15 อาคารแบบที่มีจำนวน %SAVE เป็นบวกมากที่สุดกลับเป็นอาคาร I1-1 แต่เมื่อ

พิจารณาอาคาร I1 ทั้ง 4 ทิศทางเปรียบเทียบกับอาคาร S1 ปรากฏว่า อาคาร I1-1 เป็นอาคารเดียวที่มีจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกมากถึง 56 อาคาร ในขณะที่อาคาร I1-2 I1-3 และ I1-4 กลับมีจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกเพียง 35 33 และ 33 อาคาร ตามลำดับ หมายความว่าอาคาร I1 สามารถทำคะแนน %SAVE ได้ดีเมื่อหันทิศทาง 0 องศาเท่านั้น ในขณะที่อาคาร S1 ทั้งสองทิศทางคือ S1-1 และ S1-2 ยังคงมีจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกสูงถึง 52 และ 42 อาคาร ตามลำดับ

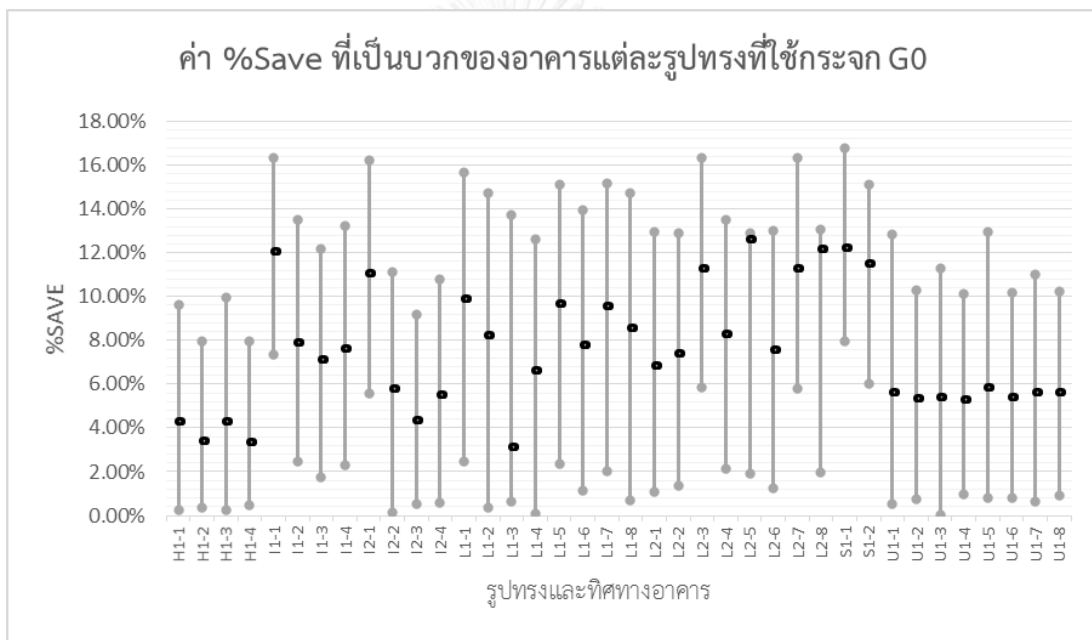
และจากการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อ 4.4 พบว่าการปรับเปลี่ยนตัวแปรกระจกมีผลต่อค่า %SAVE และ EUI ของอาคารอย่างเห็นได้ชัด จึงได้ทำการวิเคราะห์อาคารรูปแบบที่ได้ %SAVE เป็นบวก แบ่งตามประเภทกระจกที่เลือกเป็นปัจจัยในการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคาร คิดเป็นสัดส่วนดังแสดงในแผนภูมิที่ แสดงอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทกระจก อาคารที่ได้ค่า %SAVE เป็นบวกและใช้กระจก G0 หรือกระจกตามมาตรฐาน Asherae 90.1 2010 มีจำนวนมากที่สุดคือ 946 รูปแบบ คิดเป็น 78% รองลงมาคือกระจก G2 หรือกระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. มีจำนวน 223 รูปแบบ คิดเป็น 18 % และน้อยที่สุดคืออาคารที่ใช้กระจก G1 หรือกระจกลามิเนตหนา 6.38 มม. มีจำนวนเพียง 51 รูปแบบ คิดเป็น 4% ของอาคารทั้งหมดที่ได้ %SAVE เป็นบวก และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภูมิจำแนกตามประเภทกระจกโดยอาศัยแผนภูมิซึ่งมีสัญลักษณ์ดังแสดงในภาพที่ 14



แผนภูมิที่ 24 แสดงสัดส่วนของอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทกระจก



ภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดสัญลักษณ์ประกอบแผนภูมิค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารที่ใช้กระจกแต่ละประเภท



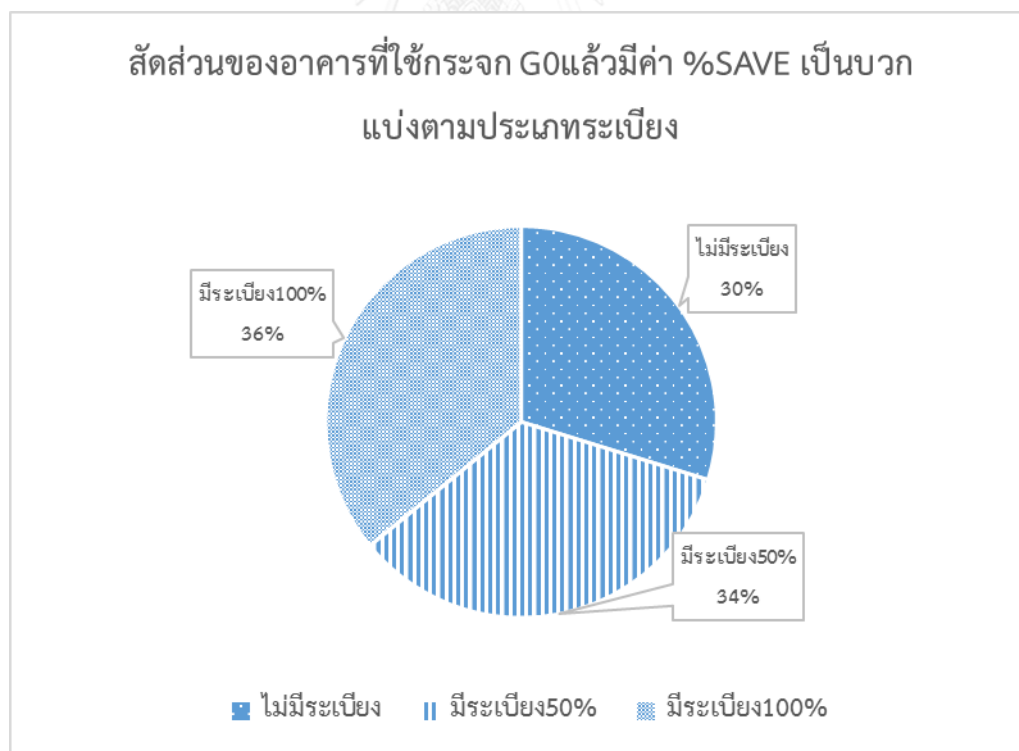
แผนภูมิที่ 25 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G0

จากแผนภูมิที่ 26 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G0 พบว่าอาคารทุกรูปทรงและทุกทิศทางที่ใช้กระจก G0 สามารถมี %SAVE ที่เป็นบวกได้ทั้งหมด โดยอาคารที่ได้ %SAVE มากที่สุดเท่ากับ 16.76 % คืออาคารรูปแบบ S1-1/30/W0/G0/F2 เป็นอาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส WWR30 ใช้วัสดุผนังภายนอกอาคารและกระจกตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 และมีระเบียงทุกๆช่องเปิดภายนอกของอาคาร ส่วนอาคารที่ได้ %SAVE น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบ U1-3/40/W1/G0/F0 เป็นอาคารรูปทรงตัว U WWR40 ใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ใช้กระจกตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 และไม่มีระเบียง

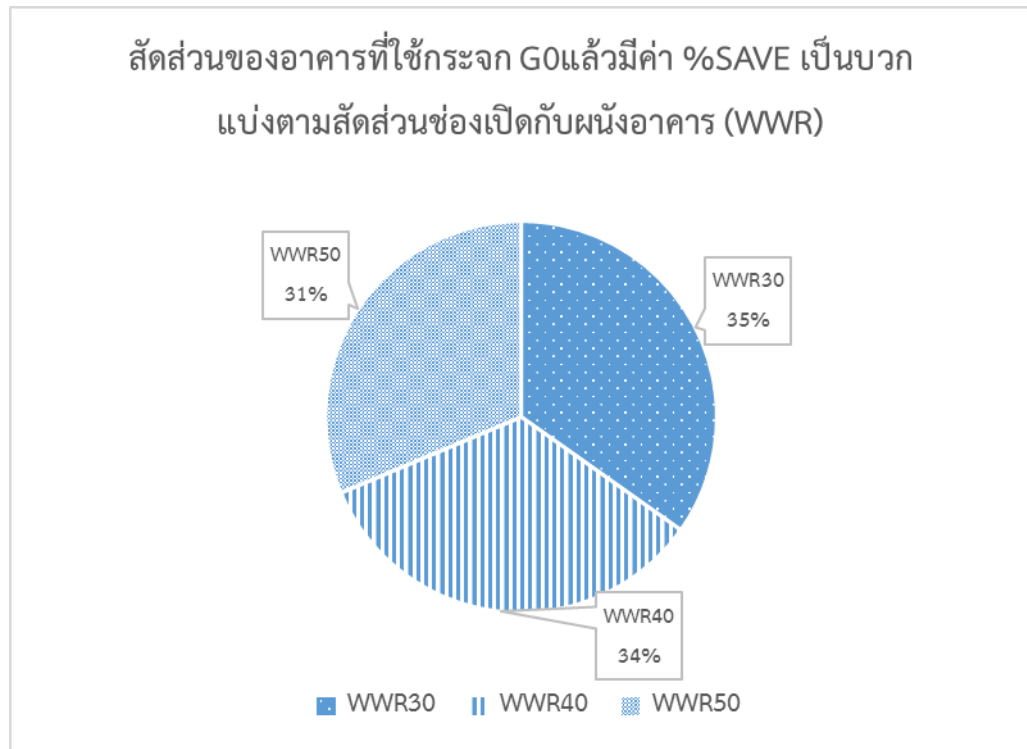
นอกจากนี้ ในส่วนของข้อมูลทั้งหมด 946 รูปแบบ พบว่ามีปัจจัยเปลือกอาคารอื่นๆครบทุก รูปแบบ กล่าวคือ อาคารที่ใช้กระจก G0 และได้ %SAVE เป็นบวกมีทั้งอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคารภายนอกหรือ WWR ครบทั้ง 3 ประเภทคือ WWR30 WWR40 และ WWR50 วัสดุผนังทั้ง 3 ประเภท และประเภทระเบียงครบทั้ง 3 ประเภทเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลการจำลองอาคารที่ใช้กระจก G0 ทั้งหมด สังเกตได้ว่าระเบียงมีส่วนสำคัญในการทำคะแนน %SAVE ดังแสดงในแผนภูมิที่ 27 พบว่าอาคารที่มีระเบียงรูปแบบ F2 หรือมีระเบียง100%ของช่องเปิดภายนอก มีสัดส่วนที่มากที่สุดคือ 36% รองลงมาคืออาคารที่มีระเบียงรูปแบบ F2 หรือมีระเบียง50%ของช่องเปิดภายนอก มีสัดส่วน 34% และน้อยที่สุดคืออาคารที่มีระเบียงรูปแบบ F0 หรือไม่มีระเบียง มีสัดส่วน 30%ของอาคารที่ใช้กระจก G0 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกทั้งหมด

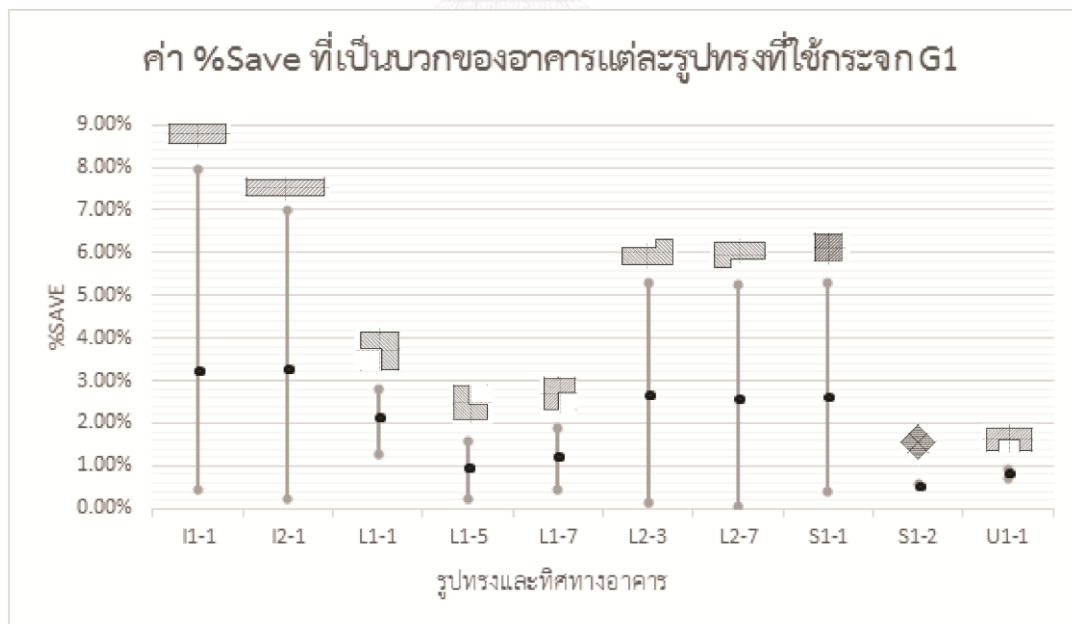
และเมื่อแยกพิจารณาจากอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR) ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 28 พบว่าอาคารที่มี WWR30 หรืออาคารที่มีช่องเปิดคิดเป็น 30% ของผนังภายนอกอาคารทั้งหมด มีสัดส่วนมากที่สุดคือ 35% รองลงมาคืออาคารที่มี WWR40 มีสัดส่วน 34% และน้อยที่สุดคืออาคารที่มี WWR50 มีสัดส่วน 31% ของอาคารที่ใช้กระจก G0 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกทั้งหมด



แผนภูมิที่ 26 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G0 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเบียง



แผนภูมิที่ 27 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G0 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภท WWR



แผนภูมิที่ 28 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G1

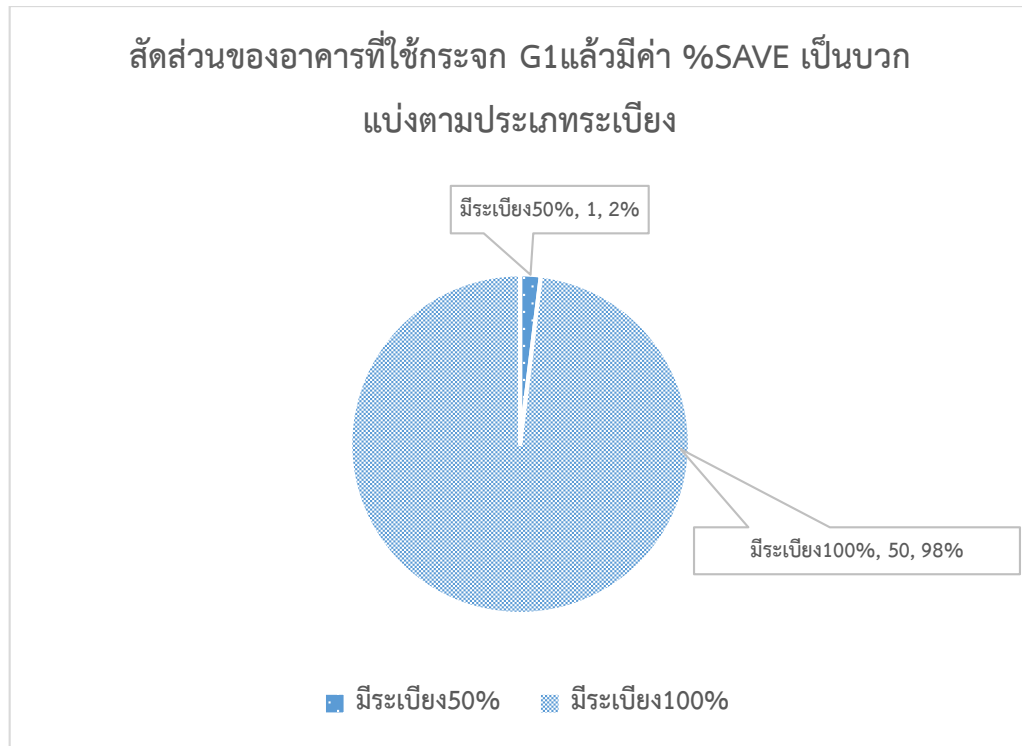
กระจก G1 คือกระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. ซึ่งมีประสิทธิภาพแย่มากที่สุดในกระจก 3 ประเภทที่นำมาเป็นปัจจัยเลือกอาคารในการวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาอาคารที่ใช้กระจก G1 และมีค่า %SAVE เป็นบวกตามแผนภูมิที่ 29 แล้ว พบว่ามีเพียงอาคาร 10 รูปทรง จาก 38 รูปทรงและทิศทางทั้งหมดเท่านั้น ซึ่งคิดเป็น 51 รูปแบบ

อาคาร I1 หรืออาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 ที่ใช้กระจก G1 แล้วได้ %SAVE เป็นบวกมีทิศทางเดียวคือ I1-1 หรือหันทิศ 0 องศา โดยเป็นอาคารที่ได้ %SAVE มากที่สุดเท่ากับ 7.94% เป็นอาคารรูปแบบ I1-1/30/W0/G1/F2 คือมี WWR30 ผนังตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีระเบียง 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร ส่วนค่า %SAVE ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.46% เป็นอาคารรูปแบบ I1-1/50/W2/G1/F2 คือมี WWR50 ผนังอิฐมวลเบา กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีระเบียง 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร ทั้งนี้ อาคาร I1-1 ที่ใช้กระจก G1 มีค่าเฉลี่ย %SAVE ที่เป็นบวกอยู่ที่ 3.24% ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่มากที่สุด และยังเป็นอาคารที่มีช่วง %SAVE ที่กว้างที่สุดอีกด้วย

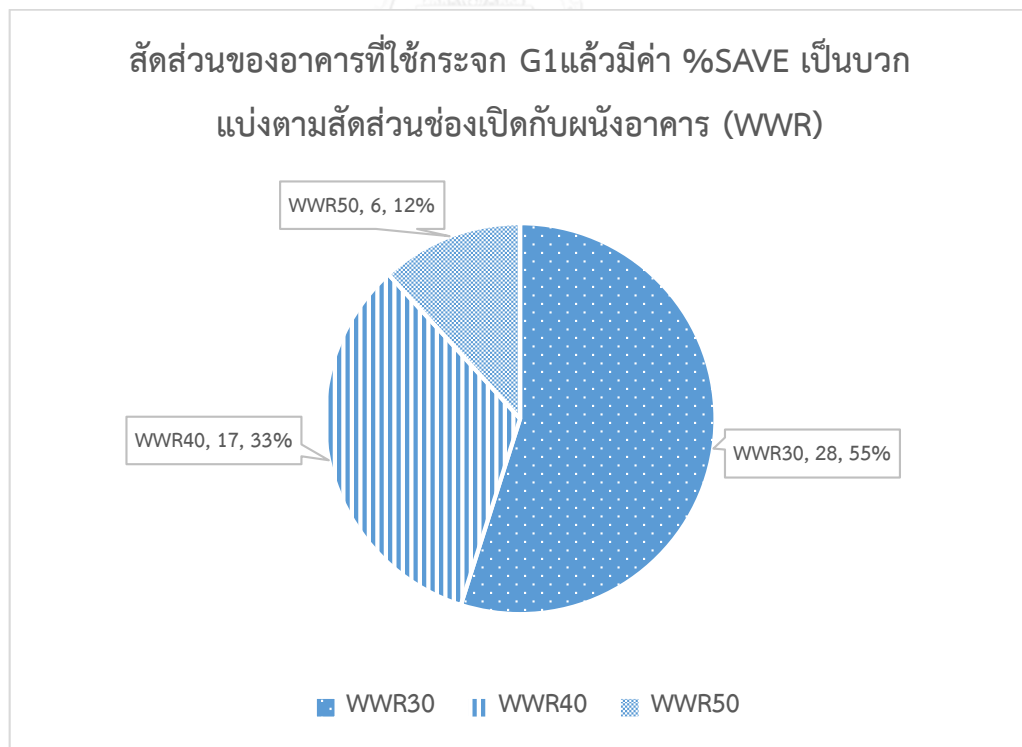
อาคารที่มีค่า %SAVE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.03% คืออาคารรูปแบบ L2-7/40/W2/G1/F2 เป็นอาคารรูปทรงตัว L มีค่า SF เท่ากับ 1/2 หันทิศ 270 องศา มีค่า WWR40 ผนังอิฐมวลเบา กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีระเบียง ส่วนอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดคืออาคาร S1-1 ในขณะที่อาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดคืออาคาร I2-1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.28%

จากแผนภูมิที่ 4.20 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเบียง พบว่ามีเพียงระเบียงสองประเภทเท่านั้น คือ F1 และ F2 อาคารที่มีระเบียงประเภท F1 หรือมีระเบียง 50% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร มีเพียง 1 รูปแบบจากทั้งหมด 51 รูปแบบเท่านั้น นอกจากนั้นคืออาคารที่มีระเบียงประเภท F2 หรือมีระเบียง 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคารทั้งสิ้น 50 แบบ ไม่มีอาคารใดที่ใช้กระจก G1 แล้วได้ค่า %SAVE เป็นบวกโดยใช้ระเบียงประเภท F0 หรือไม่มีระเบียงเลย

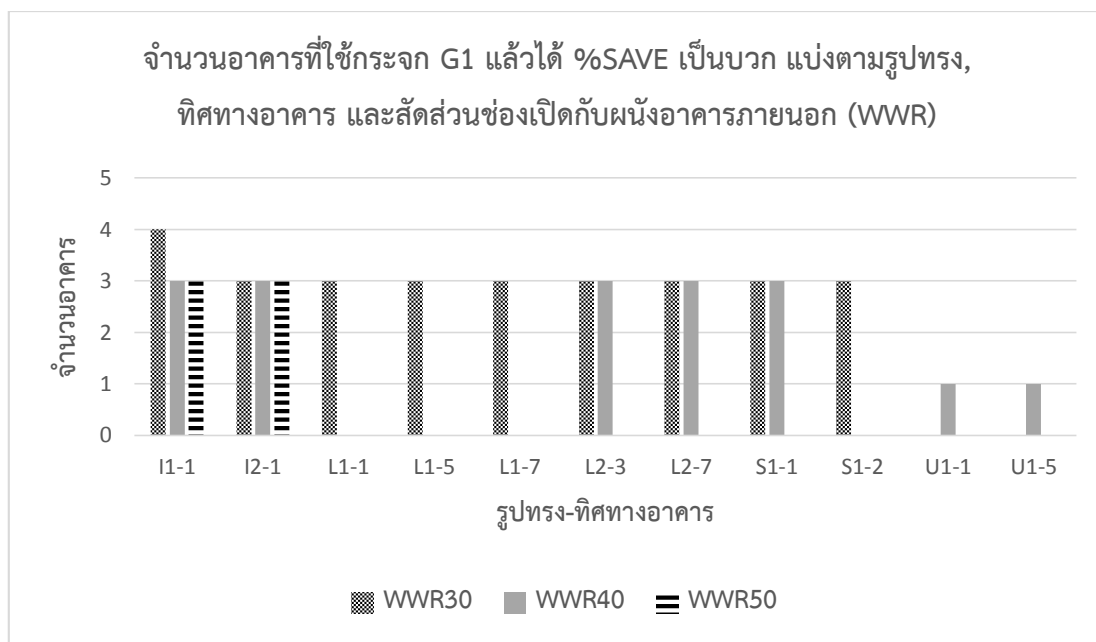
อาคารที่ใช้กระจก G1 และมีระเบียงรูปแบบ F1 หรือมีระเบียงเพียง 50% ของช่องเปิดผนังภายนอกทั้งหมดแล้วยังสามารถได้ %SAVE เป็นบวก มีเพียงอาคารเดียว คืออาคารรูปแบบ I1-1/30/W0/G1/F1 เป็นอาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 มีสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร 30% ผนังตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีระเบียง 50% ของช่องเปิดผนังภายนอก



แผนภูมิที่ 29 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภท  
ระเบียง



แผนภูมิที่ 30 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตาม WWR

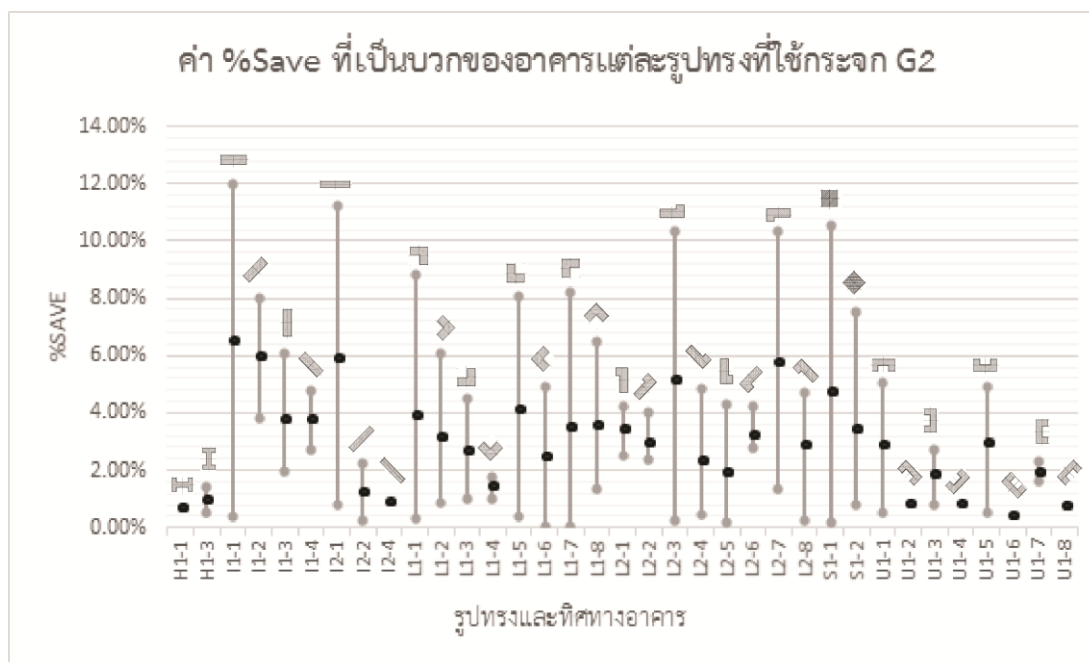


แผนภูมิที่ 31 จำนวนอาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วได้ %SAVE เป็นบวก แบ่งตามรูปทรง,ทิศทางอาคาร และสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคารภายนอก (WWR)

จากแผนภูมิที่ 31 อาคารที่ใช้กระจก G1 แล้วมี %SAVE ที่เป็นบวกนั้น เมื่อแบ่งตามปัจจัย สัดส่วนช่องเปิดกับผนังภายนอกอาคาร หรือ WWR แล้ว พบว่า WWR30 หรือมีช่องเปิดคิดเป็น 30% ของผนังภายนอก มีสัดส่วนมากที่สุดคือ 55% รองลงมาคือ WWR40 หรือมีช่องเปิดคิดเป็น 40% ของผนังภายนอก มีจำนวน 33% และน้อยที่สุดคือ WWR50 หรือมีช่องเปิดคิดเป็น 50% ของผนังภายนอก มีจำนวน 12%

และเมื่อทำการจำแนกอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางเปรียบเทียบตามปัจจัยสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคารภายนอก ดังแสดงในแผนภูมิที่ 32 พบว่าอาคารที่ใช้กระจก G1 และได้ %SAVE เป็นบวก ที่มี WWR ทั้งสามรูปแบบคือ WWR30 WWR40 และ WWR50 ได้แก่ อาคาร I1-1 หรืออาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 หันทิศ 0 องศา และอาคาร I2-1 หรืออาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 0 องศา เพียงสองอาคารนี้เท่านั้น โดยอาคารที่มีจำนวนมากที่สุดคือ อาคาร I1-1 WWR30 และอาคารที่มีจำนวนน้อยที่สุดเพียงรูปทรงละ 1 อาคาร คือ อาคาร U1-1 และอาคาร U1-5 หรืออาคารรูปทรง U มี SF 1/2 หันทิศทาง 0 องศา และ 180 องศาตามลำดับ อาคารทั้งสองรูปแบบใช้ผนังแบบ W2 หรือผนังอิฐมวลเบา มีระบียง 100% ของช่องเปิด และมี WWR40 หรือสัดส่วนช่องเปิดกับผนังภายนอกอาคาร 40%





แผนภูมิที่ 32 แสดงค่า %SAVE ที่เป็นบวกของอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ใช้กระจก G2

กระจก G2 คือกระจกอินซูลेट หนา 15.5 มม. มาจากการสำรวจว่าเป็นกระจกที่นิยมใช้ในอาคารชุดพักอาศัยที่เน้นการประหยัดพลังงานเป็นจุดขาย เมื่อพิจารณาตามแผนภูมิที่ พบว่าอาคารที่ใช้กระจก G2 และมีค่า %SAVE เป็นบวกนั้นมี 35 รูปทรง จากทั้งหมด 38 รูปทรงและทิศทาง โดยอาคารที่ไม่ปรากฏในแผนภูมินี้ คืออาคารรูปทรง H1-2 H1-4 และ I2-3

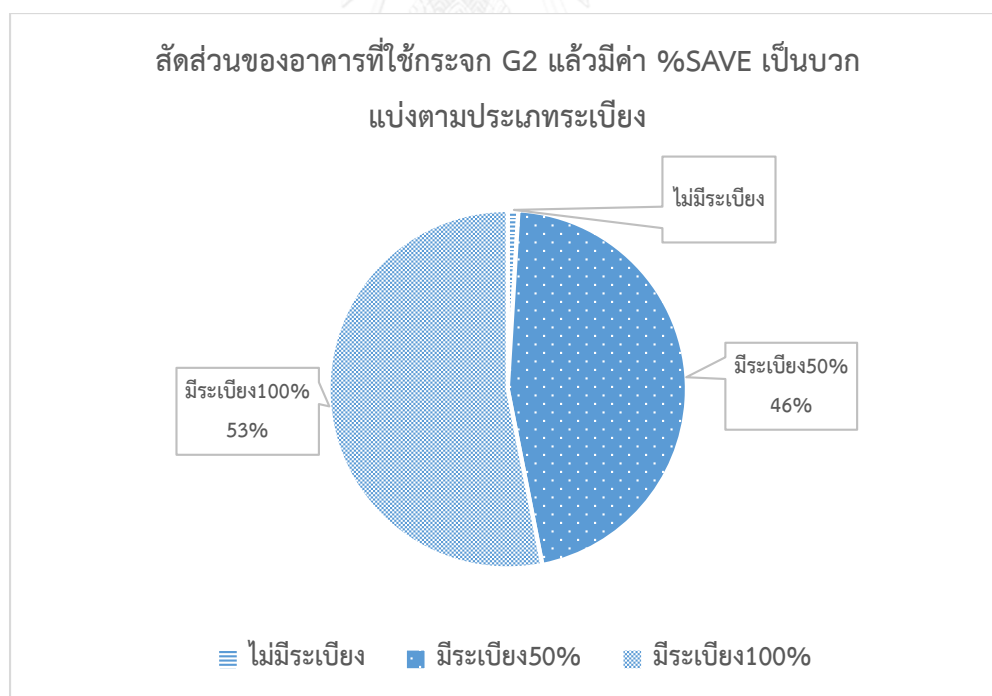
อาคารที่ใช้กระจก G2 มี %SAVE เป็นบวกสูงที่สุด คืออาคาร I1-1 มีค่า %SAVE เท่ากับ 12.01% มีรูปแบบอาคารคือ I1-1/30/W1/G2/F2 หรือ อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 หันทิศทาง 0 องศา สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร 40% (WWR40) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป กระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. และมีระเบียง100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร ทั้งนี้เป็นอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.54% และยังเป็นอาคารที่มีช่วงของกลุ่มข้อมูลกว้างที่สุด คือตั้งแต่ 0.38% จนถึง 12.01%

อาคารที่มีค่า %SAVE ต่ำที่สุดคืออาคาร L1-7 มีค่า %SAVE ต่ำสุดเท่ากับ 0.04% ซึ่งเป็นอาคารที่มีรูปแบบ L1-7/50/W1/G2/F2 เป็นอาคารรูปทรง L มีค่า SF 1/1 หันทิศทาง 270 องศา สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร 50% (WWR50) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป กระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. และมีระเบียง100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร ในส่วนของอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.44% คืออาคาร U1-6 ซึ่งอาคารรูปทรงและทิศทางนี้ปรากฏในแผนภูมิที่ 4.23 เพียงรูปแบบเดียว คือ U1-8/30/W2/G2/F2 เป็นอาคารรูปทรง U ที่มี SF 1/2 หันทิศทาง 315 องศา

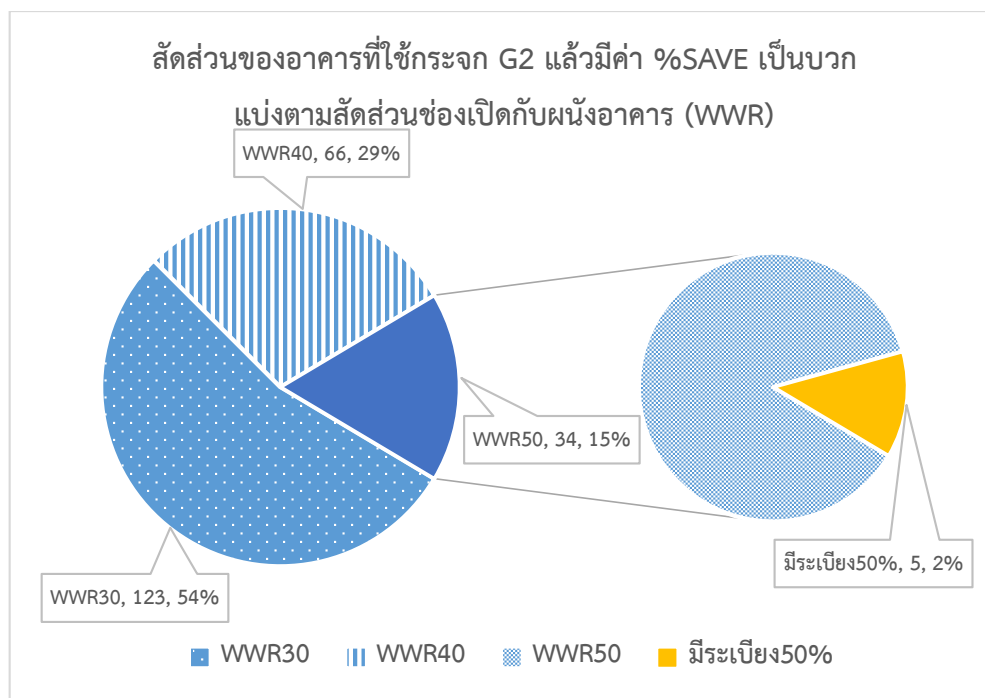
สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร 30% (WWR30) ผนังอิฐมวลเบา กระจกอินซูลเลตหนา 15.5 มม. และมีระเบียง100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร

จากแผนภูมิที่ 34 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเบียง พบว่ามีระเบียงทั้ง 3 ประเภท โดย F0 หรือไม่มีระเบียง มีสัดส่วนน้อยที่สุดคิดเป็น 1% รองลงมาคือ F1 หรือมีระเบียง 50% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร คิดเป็น 46% และมากที่สุดคือระเบียงประเภท F2 หรือมีระเบียง100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร คิดเป็น 53% ของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกทั้งหมด

อาคารที่ใช้กระจก G2 และมี %SAVE เป็นบวก โดยที่ไม่มีระเบียงนั้น มีเพียง 4 อาคาร คือ อาคารรูปแบบ I1-1/30/W0/G2/F0 เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 WWR 30% ผนังตามมาตรฐาน Ashrae 90.0 2010 กระจกอินซูลเลตหนา 15.5 มม. และไม่มีระเบียง มีค่า %SAVE เท่ากับ 0.38% ในขณะที่อาคารอีก 3 รูปแบบล้วนเป็นอาคารรูปทรง S1-1 คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส WWR 30% ใช้กระจกอินซูลเลตหนา 15.5 มม. ไม่มีระเบียง แตกต่างกันเพียงปัจจัยผนังภายนอกอาคารทั้ง 3 รูปแบบ คือ W0 ผนังตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 W1 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และ W2 ผนังอิฐมวลเบา โดยมีค่า %SAVE เท่ากับ 1.83% 0.21% และ 0.35% ตามลำดับ



แผนภูมิที่ 33 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตามประเภทระเบียง



แผนภูมิที่ 34 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกแบ่งตาม WWR

เมื่อพิจารณาตามสัดส่วนของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวก แบ่งตาม สัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR) พบว่า อาคารที่มี WWR 30% นั้นมีสัดส่วนมากที่สุดเท่ากับ 55% รองลงมาคือ อาคารที่มี WWR 40% มีสัดส่วนคิดเป็น 30% และอาคารที่มีสัดส่วนน้อยที่สุดคือ อาคารที่มี WWR 50% มีสัดส่วนเท่ากับ 15% ของอาคารที่ใช้กระจก G2 แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวก ทั้งหมด และเมื่อพิจารณาแยกย่อยลงไปอาคารที่มี WWR 50% แล้วพบว่าสามารถแบ่งเป็นอาคาร ที่มีระเบียง 2 ประเภท คือ อาคารที่มีระเบียง 50% และ 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร โดย อาคารที่มีระเบียง 50% นี้คิดสัดส่วนเป็นเพียง 2% ของอาคารที่มี WWR 50% ทั้งหมด

#### 4.6 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น

จากการเปรียบเทียบค่า %SAVE และ EUI โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของ กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น พบว่า ค่า %SAVE และ EUI ตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 ของอาคารที่มีรูปทรงและทิศทางแตกต่างกันนั้นสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน อาคารที่มีการใช้พลังงานที่ต่ำ หรือมีค่า EUI ต่ำ ก็จะมี %SAVE ที่สูง ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองการใช้พลังงาน ของอาคารรูปแบบเดียวกันในภูมิอากาศหนาวเย็นเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ %SAVE และ EUI ว่าสอดคล้องกันเหมือนกับอาคารในเขตร้อนชื้นหรือไม่ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในโซน 6A – Cold-Humid ตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 ซึ่งในโปรแกรม Visual DOE 4.0 นั้น มีให้นำมาใช้

ได้โดยเป็นข้อมูลของสภาพอากาศเมืองเมดิสัน รัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อเปรียบเทียบกับสภาพภูมิอากาศในโซน 1A Very Hot – Humid ซึ่งเป็นเขตภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 22 แสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำที่สุด ของภูมิอากาศหนาว-ชื้น และร้อน-ชื้น

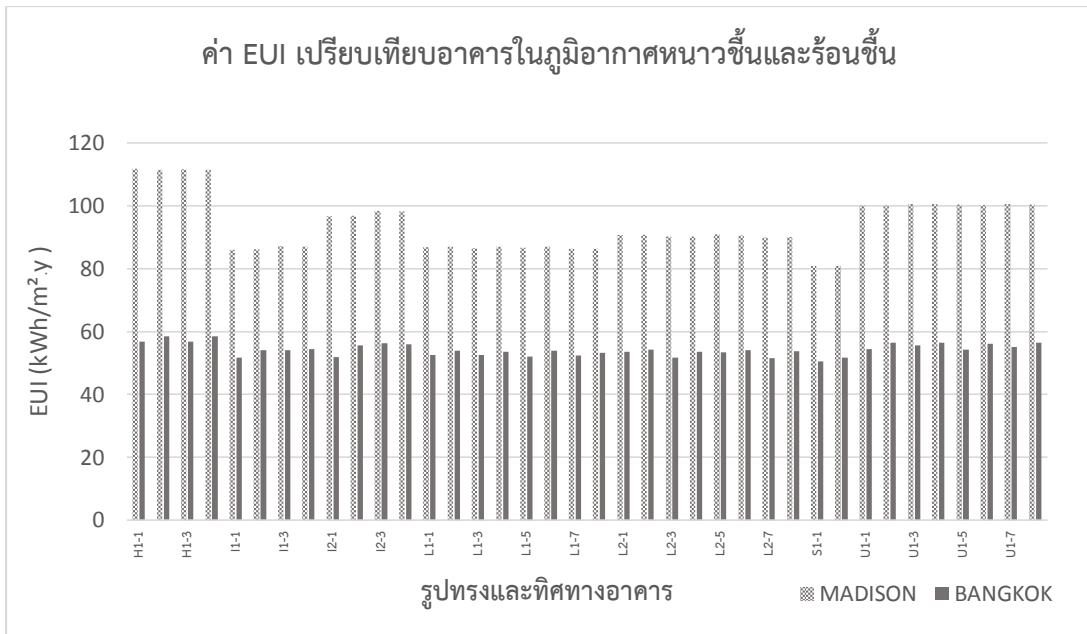
	MADISON	BANGKOK
อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	-28.9	13.3
วันที่ / เดือน	29 มกราคม	25 ธันวาคม
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	35	37.8
วันที่ / เดือน	2 สิงหาคม	7 มีนาคม

อาคารที่นำมาจำลองเปรียบเทียบพลังงานนั้น คืออาคาร Proposed เริ่มต้นทั้ง 38 แบบ ที่ยังไม่มีมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเปลือกอาคารใดๆ ดังแสดงในตารางที่ 22 ผลการจำลองการใช้พลังงานพบว่าค่า EUI ของอาคารทั้ง 38 รูปทรงนั้น ในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น มีค่า EUI ที่สูงกว่าอาคารเดียวกันในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างมาก โดยค่า EUI ที่สูงที่สุดของภูมิอากาศหนาวเย็น ได้แก่ อาคาร H1-3 มีค่า EUI เท่ากับ 111.53 kWh/m<sup>2</sup>.y ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้น อาคารที่มีค่า EUI สูงสุดเท่ากับ 58.46 kWh/m<sup>2</sup>.y คืออาคาร H1-2 ต่างกันถึง 53.07 kWh/m<sup>2</sup>.y และ EUI ต่ำสุดของภูมิอากาศหนาวเย็น ได้แก่อาคาร S1-2 มีค่า EUI เท่ากับ 80.84 kWh/m<sup>2</sup>.y ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้น อาคารที่มีค่า EUI ต่ำสุดเท่ากับ 50.59 kWh/m<sup>2</sup>.y ต่างกัน 30.25 kWh/m<sup>2</sup>.y ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.26 และสังเกตได้ว่า ในภูมิอากาศหนาวชื้น อาคารรูปทรงเดียวกันแต่หันต่างทิศทาง มีค่า EUI ที่แทบไม่ต่างกัน ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้น อาคารรูปทรงเดียวกัน มีค่า EUI ที่แตกต่างกันเมื่อหันคนละทิศทาง

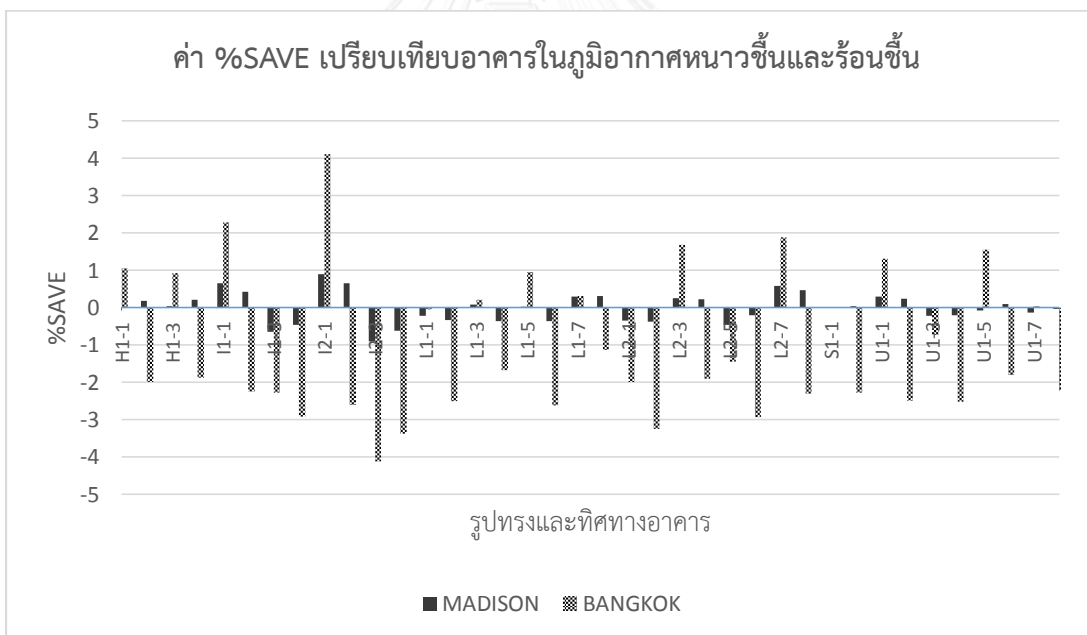
เมื่อพิจารณา ค่า %SAVE ของอาคารทั้ง 38 รูปทรง จากแผนภูมิที่ 4.27 แล้ว พบว่าอาคารในภูมิอากาศหนาวชื้น มีค่า %SAVE ที่ใกล้เคียง 0% อยู่มาก โดยที่ค่า %SAVE สูงสุดเท่ากับ 0.9% ได้แก่อาคารรูปทรง I2-1 ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้น ค่า %SAVE สูงสุดเท่ากับ 4.12% เป็นอาคารรูปทรง I2-1 เช่นเดียวกัน ในด้านค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคารในภูมิอากาศหนาวชื้นได้แก่ อาคารรูปทรง I2-3 มีค่า %SAVE เท่ากับ -0.9% ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้น อาคารรูปทรง I2-3 มีค่า %SAVE ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน แต่มีค่าต่ำถึง -4.12%

ตารางที่ 23 แสดงอาคาร Proposed เริ่มต้นทั้ง 38 แบบที่นำมาจำลองการใช้พลังงานในสภาพ  
ภูมิอากาศหนาวเย็น

H1								
	H1-1	H1-2	H1-3	H1-4				
I1								
	I1-1	I1-2	I1-3	I1-4				
I2								
	I2-1	I2-2	I2-3	I2-4				
L1								
	L1-1	L1-2	L1-3	L1-4	L1-5	L1-6	L1-7	L1-8
L2								
	L2-1	L2-2	L2-3	L2-4	L2-5	L2-6	L2-7	L2-8
S1								
	S1-1	S1-2						
U1								
	U1-1	U1-2	U1-3	U1-4	U1-5	U1-6	U1-7	U1-8



แผนภูมิที่ 35 แสดงค่า EUI เปรียบเทียบอาคารในภูมิภาคทหนาวชื้นและร้อนชื้น

















แผนภูมิที่ 36 แสดงค่า %SAVE เปรียบเทียบอาคารในภูมิภาคทหนาวชื้นและร้อนชื้น

เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE พบว่าในภูมิภาคทหนาวชื้น มีค่าเฉลี่ย EUI แบ่งตามรูปทรงอาคารที่สอดคล้องกันกับภูมิภาคทร้อนชื้น โดยอาคารรูปทรง S1 หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำที่สุด ในขณะที่รูปทรง H มีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุด ในทางกลับกันค่าเฉลี่ย %SAVE มีความแตกต่างกัน โดยอาคารรูปทรง H ยังคงเป็นอาคารที่ได้ค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดทั้งสอง








ภูมิอากาศ แต่ อาคารที่ได้ค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดของภูมิอากาศหนาวเย็นคือ อาคารรูปทรง I1 ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้นคือ อาคาร I2








ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ย EUI แต่ละรูปทรงอาคาร เปรียบเทียบระหว่างสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และหนาวชื้น

กรุงเทพมหานคร	ค่าเฉลี่ย EUI(kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก						
							
	S1	L1	L2	I1	I2	U1	H1
51.16	53.03	53.26	53.51	54.94	55.61	57.59	
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		

เมืองเม็กซิโก รัฐลอสแอนเจลิส สหรัฐอเมริกา	ค่าเฉลี่ย EUI(kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก						
							
	S1	I1	L1	L2	I2	U1	H1
80.86	86.56	86.67	90.38	97.5	100.34	111.47	
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		

ตารางที่ 25 แสดงค่าเฉลี่ย %SAVE แต่ละรูปทรงอาคาร เปรียบเทียบระหว่างสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และหนาวชื้น

กรุงเทพมหานคร	ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย						
							
	H1	L1	U1	S1	L2	I1	I2
-0.47%	-0.81%	0.86%	-1.14%	-1.28%	-1.29%	-1.50%	
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		

เมืองเม็กซิโก รัฐลอสแอนเจลิส สหรัฐอเมริกา	ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย						
							
	H1	L1	S1	L2	I2	U1	I1
0.09%	0.07%	0.02%	0.02%	0.01%	-0.01%	-0.01%	
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		

จากตารางที่ 24 อาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI เรียงลำดับสอดคล้องกันทั้งอาคารที่อยู่ในภูมิภาค ร้อนชื้นและหนาวชื้น แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย %SAVE จากตารางที่ 25 แบ่งกลุ่มคะแนน %SAVE ออกเป็น 3 กลุ่มย่อยตามลำดับคะแนน พบว่า ในกลุ่มที่ 1 ทั้งสองสภาพภูมิอากาศมีความสอดคล้องกัน อาคารรูปทรง H1 ยังคงมีค่า %SAVE มากที่สุด กลุ่มที่ 2 ยังคงมีอาคาร S1 และ L2 ทั้งสอง ภูมิอากาศ แตกต่างกันว่า ภูมิภาคร้อนชื้น มีอาคาร I2 ในกลุ่มนี้ แต่ภูมิภาคหนาวชื้น กลับเป็น อาคาร U1 อยู่ในกลุ่มนี้แทน ซึ่งอาคาร U1 นี้มีค่า %SAVE มากที่สุดในกลุ่มที่ 2 อีกด้วย ส่วนในกลุ่ม ที่ 3 มีอาคาร I1 อยู่ทั้งสองสภาพภูมิอากาศ อาคารที่ได้ค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดของภูมิภาคร้อน ชื้นคือ I2 มีค่าเฉลี่ย %SAVE เท่ากับ -1.50% แต่อาคาร I2 นี้กลับอยู่ในกลุ่มที่ 2 เมื่ออยู่ในภูมิภาค ร้อนชื้น ในทางกลับกัน อาคาร U1 อยู่ในกลุ่มที่ 3 ของภูมิภาคหนาวชื้น แต่กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดในกลุ่มที่ 2 ของภูมิภาคร้อนชื้น นอกจากนี้ อาคารที่ได้ค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดใน ภูมิภาคหนาวชื้นคืออาคาร I1 มีค่าเฉลี่ย %SAVE เท่ากับ -0.01%

การจำลองอาคารทั้งสองภูมิภาคนี้ ทำการกำหนดชั่วโมงการใช้งานอาคารรวมถึงการใช้ เครื่องใช้ไฟฟ้าตามการสำรวจพฤติกรรมผู้พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อ ทำความเย็นหรือทำความร้อนหลัง 18.00 น. จนถึง 06.00 น. เท่านั้น ในขณะที่ผู้พักอาศัยอาคารจริง ในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น ช่วงหน้าหนาวอาจมีการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อทำความร้อนให้แก่ อาคารตลอดทั้งวัน ผลการจำลองอาคารทั้ง 38 แบบ ในสองสภาพภูมิอากาศนี้จึงยังไม่สามารถเทียบ กับการใช้งานตามความเป็นจริงได้ทั้งหมด เป็นเพียงการแสดงผลแนวโน้มประสิทธิภาพการใช้พลังงานใน อาคารตามรูปทรงและทิศทางอาคารเท่านั้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันอาคารในประเทศไทยจำนวนมากที่ให้ความสนใจในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและส่งเสริมภาพลักษณ์ให้แก่องค์กร ซึ่งเกณฑ์ที่เป็นที่รู้จักและนิยมในการรับรองอาคารอนุรักษ์พลังงาน คือ การประเมินในเกณฑ์ LEED จากประเทศสหรัฐอเมริกา รวมถึงเกณฑ์ TREES ของประเทศไทยด้วย แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าส่วนใหญ่อาคารที่ได้รับการประเมินเป็นอาคารสำนักงาน อาคารเพื่อธุรกิจการค้าทั้งสิ้น ยังไม่มีอาคารชุดพักอาศัยใดที่เข้าร่วมเกณฑ์การประเมินนี้ ทั้งที่จำนวนอาคารชุดพักอาศัยมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา

รูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคาร ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานอย่างยิ่ง ซึ่งได้มีการศึกษาทางด้านรูปทรงและทิศทางที่เหมาะสมสำหรับอาคารสำนักงานไปแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษารูปทรง ทิศทางและเปลือกอาคารที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในอาคารชุดพักอาศัยด้วย เพื่อให้ครอบคลุมทุกประเภทอาคาร ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าการให้คะแนนอาคารเขียวในส่วนของหมวดพลังงานอ้างอิงตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2010 สำหรับอาคารสำนักงานนั้น ไม่สอดคล้องกันกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่มีผลมาจากรูปทรงอาคารอย่างสิ้นเชิง

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2010 เริ่มจากการสำรวจรูปทรงและการใช้เปลือกอาคารของอาคารชุดพักอาศัยแบบ High-rised ในกรุงเทพมหานคร สรุปทำการศึกษาอาคารทั้งหมด 7 รูปทรง 38 ทิศทาง และปรับเปลี่ยนตัวแปรด้าน WWR ผังนั่ง กระจก และระเบียง โดยทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.0 ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G. โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร รวมอาคาร Proposed ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 3,078 รูปแบบ รวมถึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับอาคารสำนักงาน และอาคารที่อยู่ในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็นอีกด้วย

การอภิปรายผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

5.1 สรุปผลการวิจัย ผลกระทบของรูปทรง ทิศทาง และเปลือกอาคารชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2010

5.2 ข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องด้วยการวิจัยนี้ศึกษารูปทรงและเปลือกอาคารชุดพักอาศัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ดังนั้นจึงได้ทำการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำนวน 54 อาคาร พบว่าสามารถจัดประเภทรูปทรงอาคารได้ 7 รูปทรง คือสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปร่างตัว “U” “H” และ “L” โดยอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีมากที่สุดในกลุ่มที่ทำการสำรวจ คิดเป็น 50% ของรูปร่างทั้งหมด มีขนาดความกว้างและความยาวของอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 33 เมตร และ 135 เมตร หรือสัดส่วนความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1/4 จากนั้นจึงหมุนทิศทางอาคารละ 8 ทิศทาง ในส่วนของวัสดุเปลือกอาคารนั้น ได้ทำการสอบถามผู้ประกอบการและสรุปเป็นปัจจัยทางด้านผนังภายนอกอาคาร กระฉก และระเบียง รวมอาคารที่ทำการศึกษและจำลองประสิทธิภาพในโปรแกรม Visual DOE 4.0 ทั้งสิ้น 3,078 รูปแบบ

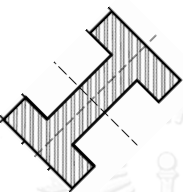
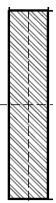
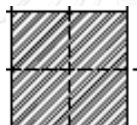

จากผลการทดลองทั้งสิ้น 3,078 รูปแบบ พบว่าการบังเงาที่เกิดจากรูปทรงของอาคารส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร แต่รูปทรงและเปลือกอาคารส่งผลกระทบต่อเป็นอย่างมาก ในขณะที่ทิศทางมีผลกับค่า %SAVE แต่นับว่ามีผลน้อยหากเปรียบเทียบกับผลการหันทิศทางในอาคารสำนักงาน ปริมาณการใช้พลังงาน หรือ EUI สอดคล้องกับค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 หรือ %SAVE อย่างชัดเจน กล่าวคือหากอาคารที่มีการใช้พลังงานมากก็จะได้คะแนน %SAVE น้อย อาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยลงก็จะได้คะแนน %SAVE มากขึ้นตามลำดับ เช่น อาคารที่มี %SAVE สูงที่สุด เท่ากับ 16.76% เป็นอาคารที่มีค่า EUI ต่ำที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่า EUI เท่ากับ 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y ส่วนอาคารที่มี %SAVE ต่ำที่สุด เท่ากับ -58.88% และเป็นอาคารที่มีค่า EUI สูงที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน คือมีค่า EUI เท่ากับ 91.07 kWh/m<sup>2</sup>.y ต่างจากอาคารสำนักงานที่ค่า EUI กับค่า %SAVE ไม่สอดคล้องกันอย่างชัดเจน

### 5.1.1 ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่(EUI) และค่าการประหยัดพลังงาน(%SAVE)

สำหรับอาคารที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้น 38 รูปแบบ โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารจากรายละเอียดอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G. พบว่าในกรณีที่ต้องการค่า %SAVE มาก อาคารแบบ I2-1 คืออาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 0








องศา ทำให้มีค่า %SAVE มากที่สุด ในทางกลับกันอาคาร I2-3 เป็นอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 135 องศา มีค่า %SAVE ต่ำที่สุด อาคารทั้งสองนี้มีรูปทรงเดียวกันแต่หันคนละทิศทาง หมายความว่าทิศทางมีผลต่อ %SAVE อย่างเห็นได้ชัด แต่ถ้าหากต้องการอาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ควรออกแบบอาคารแบบ S1-1 คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส SF 1/1 ซึ่งมีค่า EUI น้อยที่สุด คือ 50.59 kWh/m<sup>2</sup>.y

ตารางที่ 26 แสดงอาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า EUI และ %SAVE สูงสุดและต่ำสุด








EUI		%SAVE	
สูงสุด		ต่ำสุด	
	H1-2 : 58.46 kWh/m <sup>2</sup> .y		I2-3 : -4.12%
ต่ำสุด		สูงสุด	
	S1-1 : 51.90 kWh/m <sup>2</sup> .y		I2-1 : 4.12%

ภาพรวมจากผลการจำลองอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเลือกอาคารทั้งหมด 3,078 รูปแบบ ค่า EUI และ %SAVE สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือหากอาคารที่มีการใช้พลังงานมากก็จะได้คะแนน %SAVE น้อย อาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยลงก็น่าจะได้คะแนน %SAVE มากขึ้นตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอุโรชา เจริญนัยพานิชย์(2555) ซึ่งศึกษาเฉพาะอาคารประเภทสำนักงานที่ใช้งานในเวลากลางวัน พบว่าแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ต่างกันชัดเจน โดยในส่วนของอาคารสำนักงานนั้น ค่า EUI และ %SAVE ไม่สอดคล้องกัน ดังแสดงในตารางที่ 27 และ 28 ดังนี้










ตารางที่ 27 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 7 รูปทรง

ค่าเฉลี่ย EUI(kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
56.65	59.07	59.74	59.75	61.9	62.44	65.81










  

ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย						
						
S1	I1	L2	L1	I2	U1	H1
1.17%	-3.06%	-4.23%	-4.24%	-7.99%	-8.94%	-14.81%

ตารางที่ 28 แสดงค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE ของอาคารสำนักงานทั้ง 9 รูปทรงของโอโรชา,2555

ค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย								
								
X2	X1	U1	U2	L1	L2	S1	R1	C1
4.68%	4.23%	3.75%	3.60%	3.31%	3.29%	2.53%	2.48%	2.32%
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3		

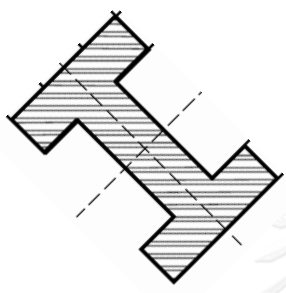
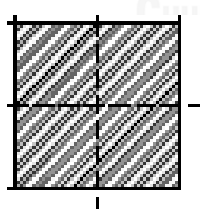
  

ค่าเฉลี่ย EUI (kWh/m <sup>2</sup> .y) เรียงจากน้อยไปมาก								
								
C1	S1	R1	L1	X1	U1	U2	L2	X2
139.60	141.98	143.44	143.77	144.07	144.90	146.26	146.72	147.95
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3		

พิจารณาอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทาง พบว่าค่าเฉลี่ย EUI ของอาคารทั้งหมด 38 รูปแบบ อาคาร H1-2 และ H1-4 มีค่าเฉลี่ย EUI สูงกว่าอาคารอื่น ๆ อย่างไม่เห็นได้ชัด โดยอาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุดเท่ากับ 91.07 kWh/m<sup>2</sup>.y คืออาคาร H1-4 เป็นอาคารรูปทรง H หันทิศ 135 องศา และเป็นอาคารที่มีค่า %SAVE น้อยที่สุดเท่ากับ -58.88% ส่วนอาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI น้อย

ที่สุดเท่ากับ 47.71 kWh/m<sup>2</sup>.y คืออาคาร S1 เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หันทิศ 0 องศา ซึ่งเป็นอาคารที่มีค่า %SAVE สูงที่สุดเท่ากับ 16.76% เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 29 แสดงอาคารรูปแบบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด

		H1-4/50/W2/G1/F0	
แย่ที่สุด		รูปทรง	H1-4
		WWR	50
		ผนัง	ก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม.
		กระจก	ลามิเนตสี่เหลี่ยมหนา 6.38 มม.
		ระเบียง	ไม่มีระเบียง
		CI	5.79
		%SAVE	-58.88%
		EUI	91.07 kWh/m <sup>2</sup> .y
		S1-1/30/W0/G0/F0	
ดีที่สุด		รูปทรง	S1-1
		WWR	30
		ผนัง	ASHRAE-อลูมิเนียมสำเร็จรูปบุฉนวน
		กระจก	ASHRAE- U-Value 6.81 W/m <sup>2</sup> .°C
		ระเบียง	มีระเบียง 100% ของช่องเปิด
		CI	9.25
		%SAVE	16.76%
		EUI	47.71 kWh/m <sup>2</sup> .y

เมื่อพิจารณาแยกรูปทรงอาคารและทิศทาง ทั้งหมด 38 รูปทรง พบว่า อาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE เป็นบวก มีเพียง 5 รูปทรง คือ อาคารรูปทรง I1-1 I2-1 L2-1 L2-5 และ S1-1 โดยอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE มากที่สุดเท่ากับ 3.45% คืออาคารรูปทรง I1-1 หรืออาคารรูปทรง

สี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 หนักต 0 องศา และอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดเท่ากับ -16.67% คือ อาคารรูปทรง H1-4 หรืออาคารรูปทรงตัว H ค่า SF 1/1.5 หนักต 135 องศา ดังในแผนภูมิที่ 38 ดังนี้



แผนภูมิที่ 37 แสดงค่าเฉลี่ย EUI เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย %SAVE ของอาคาร 38 รูปทรง

### 5.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) ที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI

อาคารที่มีค่า EUI สูง คืออาคารที่มีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก หรือ CI น้อยที่สุด หมายถึงอาคารที่มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารมากที่สุด และอาคารที่มีค่า EUI น้อยที่สุดคืออาคารที่มีค่า CI มากที่สุด ซึ่งก็หมายถึงอาคารที่มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารน้อย เมื่อเรียงลำดับอาคาร 7 รูปทรงตามค่า CI EUI และ %SAVE พบว่า ค่าทั้งหมดสอดคล้องกัน อาคารที่มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารมาก ก็จะมีการใช้พลังงานที่มากและมีค่า %SAVE ที่น้อย ในทางกลับกันอาคารที่มีพื้นที่ผิวน้อย ก็ย่อมจะมีการใช้พลังงานที่น้อยลงตามไปด้วย ส่งผลให้มีค่า %SAVE ที่มากขึ้นนั่นเอง

ดังนั้น หากต้องการออกแบบอาคารชุดพักอาศัย การเลือกออกแบบอาคารที่มีพื้นที่ผิวอาคารน้อยย่อมส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากขึ้น ยิ่งอาคารมีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยลง ปริมาณการใช้พลังงานในอาคารก็ย่อมลดน้อยลงตามไปด้วย รวมถึงหากต้องการเข้ารับการประเมินอาคารเขียวที่ใช้มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 พื้นที่ผิวเปลือกอาคารที่น้อยลงจะส่งผลให้สามารถทำคะแนนในส่วนของ %SAVE ได้มากขึ้นตามลำดับ

### 5.1.3 อิทธิพลของกระจกที่มีผลต่อ %SAVE และ EUI

จากการจำลองปริมาณการใช้พลังงานในอาคารทั้ง 3,078 รูปแบบ สังเกตได้ว่าค่าการใช้พลังงานในอาคารจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามประเภทกระจกที่ใช้อย่างสังเกตเห็นได้ชัด อาคารรูปแบบที่ใช้กระจก G0 หรือกระจกที่มีประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 มีค่า U-Value เท่ากับ  $6.81 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  และค่า SHGC เท่ากับ 0.25 ส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งที่ %SAVE เป็นบวก โดยค่า %SAVE ที่สูงที่สุดคือ 16.76% ซึ่งเป็นค่า %SAVE ที่สูงที่สุดของอาคาร Proposed ทั้งหมดด้วย

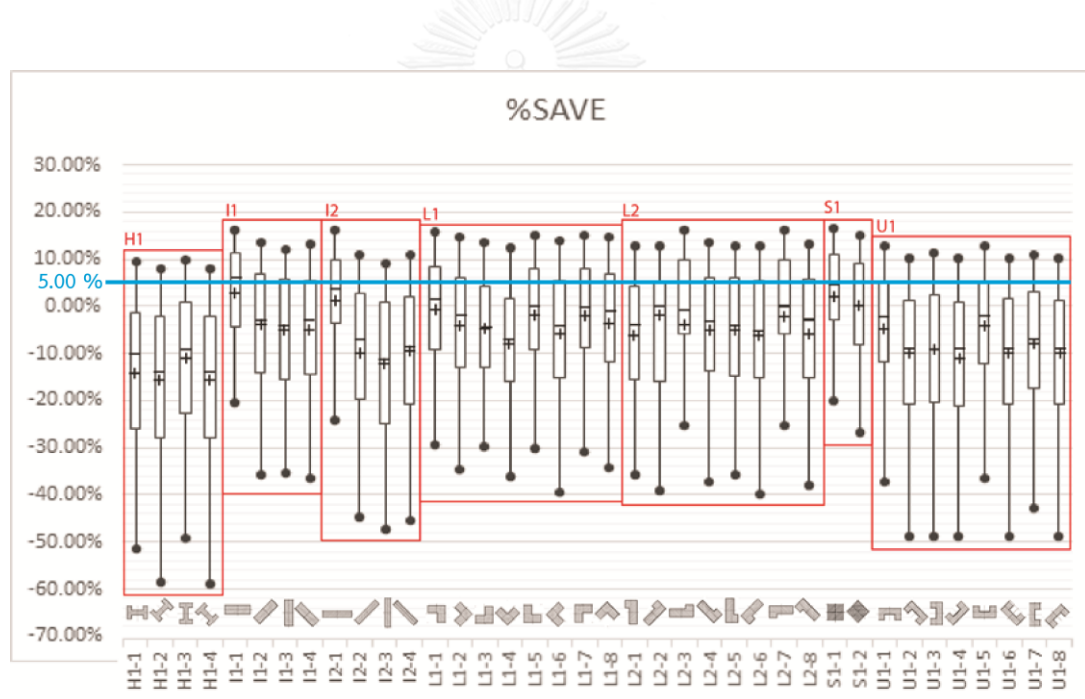
อาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครที่เน้นจุดขายเรื่องการประหยัดพลังงาน นิยมใช้กระจกอินซูลेट 15.5 มม. โดยในการจำลองอาคารนี้ ได้ใช้กระจกอินซูลेट 15.5 มม. ที่มีค่า U-Value เท่ากับ  $3.23 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  และค่า SHGC เท่ากับ 0.52 เมื่อนำมากำหนดตำแหน่งในแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมดจึงพบว่า อาคารรูปแบบที่ใช้กระจก G2 นี้ อยู่ในตำแหน่งช่วงกลางของแผนภูมิ โดยค่า %SAVE ที่สูงที่สุดคือ 12.01% ในขณะที่ค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคารที่ใช้กระจกชนิดนี้ เท่ากับ -37.01% ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงกลางของผลการจำลองอาคารทั้งหมด

จากการสำรวจพบว่า อาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่ ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. โดยในการจำลองอาคารนี้ ได้ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. ที่มีค่า U-Value เท่ากับ  $5.7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  และค่า SHGC เท่ากับ 0.78 อาคารรูปแบบที่ใช้กระจกชนิดนี้ ส่วนใหญ่อยู่ในตำแหน่งที่ %SAVE เป็นลบ โดยค่า %SAVE ที่สูงที่สุดคือ 7.94% ในขณะที่ค่า %SAVE

ที่ต่ำที่สุดของอาคารที่ใช้กระจก G1 เท่ากับ -58.88% ซึ่งเป็นค่า %SAVE ที่ต่ำที่สุดของอาคาร Proposed ทั้งหมด

#### 5.1.4 %SAVE ที่มากกว่า 0

จากข้อมูลค่า %SAVE จากอาคาร Proposed ทั้งหมด 3,078 รูปแบบ ค่า %SAVE สูงที่สุดเท่ากับ 16.76% ในขณะที่ค่า %SAVE ต่ำที่สุดเท่ากับ -58.88% เมื่อจำแนกผลการจำลอง อาคารตามรูปทรงและทิศทางอาคาร พบว่าอาคารทุกรูปทรงและทุกทิศทางสามารถมีค่า %SAVE เป็นบวกได้ เนื่องจากเกณฑ์ LEED-NC V.4 กำหนดให้อาคารที่เข้ารับการประเมินจะต้องมีค่า %SAVE มากกว่า 5% ขึ้นไป ดังนั้นจึงควรพิจารณาปัจจัยเลือกอาคารที่มีผลให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานโดยเฉพาะปัจจัยเลือกอาคารที่ส่งผลให้ค่า %SAVE เป็นบวก



แผนภูมิที่ 38 แสดงค่า %SAVE ที่มากกว่า 5% แบ่งตามรูปทรงและทิศทางอาคาร

อาคารแต่ละแบบที่ได้ %SAVE เป็นบวก ทั้งหมด 1,220 รูปแบบ และแยกออกเป็น กลุ่มรูปทรงและทิศทางอาคาร พบว่าอาคารแบบ I1-1 หรืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่า SF เท่ากับ 1/3 ค่า CI เท่ากับ 8.19 หันทิศ 0 องศา มีจำนวนรูปแบบที่มีค่า %SAVE ที่เป็นบวกมากที่สุด ส่วนอาคารที่มีจำนวนรูปแบบที่ได้ %SAVE น้อยที่สุด คืออาคารแบบ H1-2 และอาคารแบบ H1-4 ซึ่งเป็นอาคารรูปตัว H ค่า SF เท่ากับ 1/1.5 ค่า CI เท่ากับ 5.79 หันทิศ 45 องศา และ 135 องศา ตามลำดับ



เนื่องจากผลการจำลองอาคารที่ผ่านมา สังเกตได้ว่าประสิทธิภาพของกระจกมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารอย่างมาก จึงได้ทำการแยกวิเคราะห์อาคารที่มีค่า %SAVE ที่เป็นบวกตามประเภทกระจก สังเกตได้ว่าระเบียงมีส่วนสำคัญในการทำคะแนน %SAVE อย่างเห็นได้ชัด อาคารที่ใช้กระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 ไม่ว่าจะมีส่วนช่องเปิดกับผนังอาคารภายนอกหรือ WWR เท่ากับ 30 40 หรือ 50 ก็สามารถทำคะแนน %SAVE เป็นบวกได้ รวมถึงจะมีระเบียงหรือไม่มีระเบียงก็ยังสามารถทำคะแนน %SAVE ได้ดี แต่กระจกที่มีจำหน่ายหรือผลิตในประเทศไทย มีเพียงกระจกชนิดเดียวที่มีค่า SHGC ใกล้เคียงที่สุดเท่ากับ 0.27 คือกระจกลามิเนต เคลือบสารสะท้อนแสง (Reflective Green 6 mm. H/S + Clear PVB 1.52 mm. +Clear 6 mm. H/S) ซึ่งการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยนั้นไม่นิยมติดตั้งกระจกเคลือบสารสะท้อนแสง ในการออกแบบอาคารจริงจึงควรพิจารณากระจกที่มีค่า SHGC ใกล้เคียงมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 โดยอาจมีประสิทธิภาพด้อยลงแต่ไม่ทึบแสงมากเท่ากระจกเคลือบสารสะท้อนแสง เพื่อเหมาะสมกับการอยู่อาศัยมากยิ่งขึ้น

อาคารที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีค่า %SAVE เป็นบวก พบว่ามีเพียงอาคาร 10 รูปทรง จาก 38 รูปทรงและทิศทางทั้งหมดเท่านั้น คืออาคารรูปทรง I1-1 I2-1 L1-1 L1-5 L1-7 L2-3 L2-7 S1-1 S1-2 และ U1-1 อาคารที่ได้ %SAVE มากที่สุดเท่ากับ 7.94% เป็นอาคารรูปแบบ I1-1/30/W0/G1/F2 คือมี WWR30 ผนังตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีระเบียง 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร

ในส่วนของระเบียง ไม่มีอาคารใดที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. แล้วได้ค่า %SAVE เป็นบวกโดยไม่มีระเบียงได้เลย อาคารที่มีระเบียง 50% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร มีเพียง 1 รูปแบบเท่านั้น คืออาคารรูปแบบ I1-1/30/W0/G1/F1 เป็นอาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 มีสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร 30% ผนังตามมาตรฐาน Ashrae 90.1 2010 ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และมีระเบียง 50% ของช่องเปิดผนังภายนอก นอกจากนั้นคืออาคารที่มีระเบียง 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคารทั้งสิ้น

และเมื่อทำการจำแนกอาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางเปรียบเทียบตามปัจจัยสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคารภายนอก อาคารที่ใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 6.38 มม. และได้ %SAVE เป็นบวก ที่มี WWR ทั้งสามรูปแบบคือ WWR30 WWR40 และ WWR50 ได้แก่ อาคาร I1-1 หรืออาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 หันทิศ 0 องศา และอาคาร I2-1 หรืออาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 0 องศา เพียงสองอาคารนี้เท่านั้น อาคารรูปทรงอื่นๆที่ใช้กระจกชนิดนี้ จำเป็นต้องมีค่า WWR เท่ากับ 30 หรือ 40 เท่านั้นถึงจะได้ %SAVE เป็นบวก

ในส่วนของกระจกอินซูลेट หนา 15.5 มม. ซึ่งมาจากการสำรวจว่าเป็นกระจกที่นิยมใช้ในอาคารชุดพักอาศัยที่เน้นการประหยัดพลังงานเป็นจุดขาย หากพิจารณาตามรูปทรงและทิศทางพบว่า อาคารที่ใช้กระจกชนิดนี้แล้วไม่สามารถมีค่า %SAVE เป็นบวกได้มีเพียง 3 รูปทรงคือ H1-2

H1-4 คืออาคารรูปทรง H ค่า SF 1/1.5 หันทิศทาง 45 องศา และ 135 องศาตามลำดับ และอาคาร I2-3 คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 หันทิศ 90 องศา อาคารที่ใช้กระจกชนิดนี้แล้วมี %SAVE เป็นบวกสูงที่สุด คืออาคาร I1-1 มีค่า %SAVE เท่ากับ 12.01% มีรูปแบบอาคารคือ I1-1/30/W1/G2/F2 หรือ อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 หันทิศทาง 0 องศา สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังภายนอกอาคาร 40% (WWR40) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป กระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. และมีระเบียง100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร

อาคารที่ใช้กระจกอินซูลेट หนา 15.5 มม. และมี %SAVE เป็นบวก โดยที่ไม่มีระเบียงนั้น มีเพียง 4 อาคาร คืออาคารรูปแบบ I1-1/30/W0/G2/F0 เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 WWR 30% ผนังตามมาตรฐาน ASHRAE 90.0 2010 กระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. และไม่มีระเบียง มีค่า %SAVE เท่ากับ 0.38% ในขณะที่อาคารอีก 3 รูปแบบล้วนเป็นอาคารรูปทรง S1-1 คืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส WWR 30% ใช้กระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. ไม่มีระเบียง แตกต่างกันเพียงปัจจัยผนังภายนอกอาคารทั้ง 3 รูปแบบ คือ W0 ผนังตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 W1 ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และ W2 ผนังอิฐมวลเบา โดยมีค่า %SAVE เท่ากับ 1.83% 0.21% และ 0.35% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตามสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR) พบว่าอาคารที่ใช้กระจกอินซูลेट หนา 15.5 มม. แล้วมีค่า %SAVE เป็นบวกนั้น มีทั้งที่มี WWR เท่ากับ 30 40 และ 50 โดยอาคารที่มี WWR50 มีสัดส่วนเท่ากับ 15% เท่านั้น และเมื่อพิจารณาแยกย่อยลงไปอาคารที่มี WWR 50% แล้วพบว่าสามารถแบ่งเป็นอาคารที่มีระเบียง 2 ประเภท คือ อาคารที่มีระเบียง 50% และ 100% ของช่องเปิดภายนอกอาคาร โดยอาคารที่มีระเบียง 50% นี้คิดสัดส่วนเป็นเพียง 2% ของอาคารที่มี WWR 50% ทั้งหมด กล่าวคือหากออกแบบอาคารโดยใช้กระจกอินซูลेटหนา 15.5 มม. โดยมีสัดส่วนช่องเปิดกับผนังภายนอกอาคารเท่ากับ 50% ควรติดตั้งระเบียงทุกช่องเปิดถ้าต้องการทำคะแนน %SAVE ที่เป็นบวก

### 5.1.5 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น

อาคารที่นำมาจำลองเปรียบเทียบพลังงานนั้น คืออาคาร Proposed เริ่มต้นทั้ง 38 แบบ ที่ยังไม่มีมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเลือกอาคารใดๆ นำผลการจำลองพลังงานมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวขึ้น พบว่าค่า EUI ของอาคารทั้ง 38 รูปทรงนั้น ในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น มีค่า EUI ที่สูงกว่าอาคารเดียวกันในสภาพภูมิอากาศร้อนขึ้นอย่างมาก เนื่องจากเป็นอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้งานในเวลากลางวัน เมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่หนาวเย็นจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการทำความร้อน และแทบไม่ได้ใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อทำความเย็นเลย ดังนั้นอาคารที่มีพื้นที่ผิวมาก หรือมีค่า CI ต่ำจึงยังใช้พลังงานในการทำความร้อนมากกว่า และสังเกต

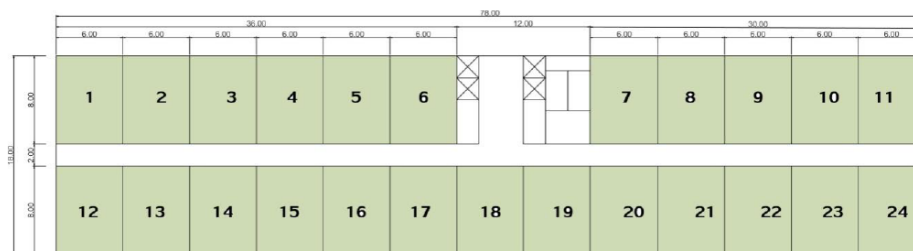
ได้ว่า ในภูมิอากาศหนาวชื้น อาคารรูปทรงเดียวกันแต่หันต่างทิศทาง มีค่า EUI ที่แทบไม่ต่างกัน ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้น อาคารรูปทรงเดียวกัน มีค่า EUI ที่แตกต่างกันเมื่อหันคนละทิศทาง เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE พบว่าในภูมิอากาศหนาวเย็น มีค่าเฉลี่ย EUI แบ่งตามรูปทรงอาคารที่สอดคล้องกันกับภูมิอากาศร้อนชื้น โดยอาคารรูปทรง S1 หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำที่สุด ในขณะที่รูปทรง H มีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุด ในทางกลับกันค่าเฉลี่ย %SAVE มีความแตกต่างกัน โดยอาคารรูปทรง H ยังคงเป็นอาคารที่ได้ค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดทั้งสอง ภูมิอากาศ แต่ อาคารที่ได้ค่าเฉลี่ย %SAVE ต่ำที่สุดของภูมิอากาศหนาวเย็นคือ อาคารรูปทรง I1 ในขณะที่ภูมิอากาศร้อนชื้นคือ อาคาร I2

### 5.1.6 เปรียบเทียบค่า EUI กับงานวิจัยอื่น

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานใน อาคารชุดพักอาศัย ซึ่งได้อ้างอิงการปรับชั่วโมงการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า แสงสว่าง และ เครื่องปรับอากาศ จากการสำรวจในงานวิจัยเรื่อง ผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวม ของอาคารตามกฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนโดมิเนียม ของอภิญญา บุญมา(2555) ซึ่งมี ข้อเสนอแนะให้ปรับแก้จำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคารชุดพักอาศัยให้สอดคล้องกับความเป็นจริง เนื่องจากผลการใช้พลังงานรวมของอาคารจากสมการการใช้พลังงานรวมของอาคารตามมาตรฐานกฎ กระทรวงพลังงาน พ.ศ.2544 สูงกว่าค่าที่ได้จากการสำรวจอย่างมาก

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ ดนุสรณ์ บัวขจร(2554) เรื่องการพัฒนาวิธีการประเมิน ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ที่ กำหนดสมการ OTTV ขึ้นใหม่ เนื่องจากสมการ OTTV ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์ พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 มีผลการใช้พลังงานที่สูงกว่าความเป็นจริง โดยอ้างอิงชั่วโมงการทำงาน เครื่องใช้ไฟฟ้า แสงสว่าง และเครื่องปรับอากาศจากการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยแบบ Low-raised รวมถึงกำหนดอาคารอ้างอิงมาจากการสำรวจด้วย

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงชั่วโมงการใช้งานระบบอาคารต่างๆตาม อภิญญา บุญ มา(2555) ซึ่งจำลองการใช้พลังงานอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.0 และได้มีการคำนวณอาคาร อ้างอิงตามสมการ OTTV ของดนุสรณ์ บัวขจร(2554) ด้วยเช่นเดียวกัน จึงนำค่า EUI ของทั้งสองมา ทำการเปรียบเทียบในครั้งนี้ด้วย โดยอาคารอ้างอิงของ อภิญญา บุญมา(2555) ซึ่งเป็นอาคารรูปทรง สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 18 ม. ยาว 78 ม. SF 1/4.3 เป็นอาคารสูง 29 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3.5 ม. มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 15 ผังอาคารอ้างอิงของอภิญญา, 2555

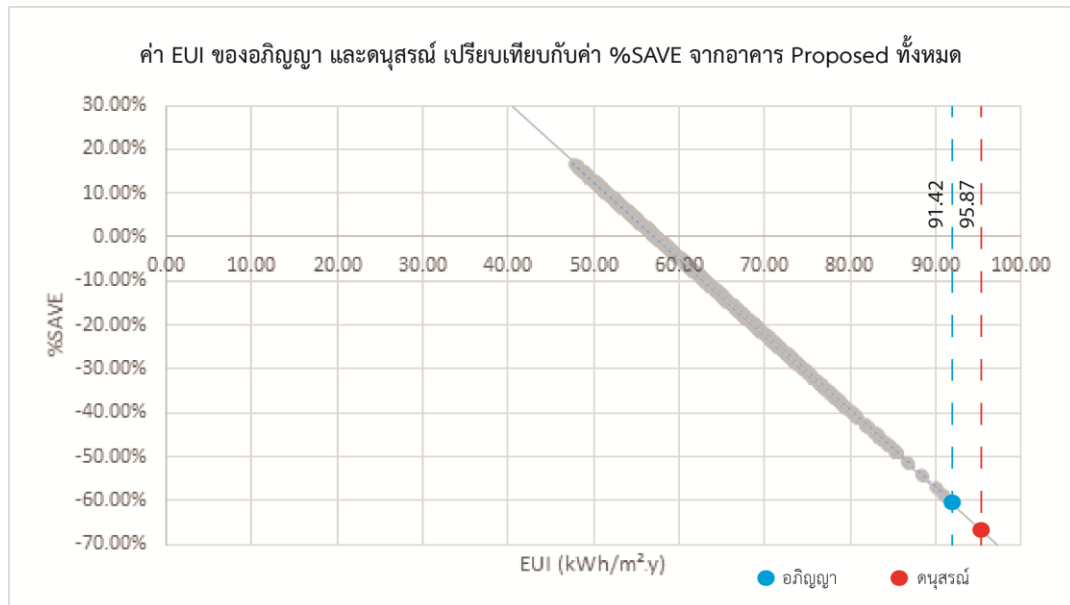
ตารางที่ 30 แสดงรายละเอียดอาคารอ้างอิงของ อภิญญา บัญมา(2555)

เปลือกอาคาร	หลังคา	คอนกรีตหนา 10 ซม. ตัดฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว U - 0.41 W/m <sup>2</sup> .°C
	พื้น	คอนกรีต U - 0.14 W/m <sup>2</sup> .°C
	ผนัง	คอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบหนา 10 ซม U - 1.99 W/m <sup>2</sup> .°C
	กระจก	กระจกใสหนา 6 มม. U - 4.42 W/m <sup>2</sup> .°C, SHGC = 0.73
	WWR(Window-Wall Ratio)	16.10%
	ระเบียง	ไม่มีระเบียง
งานระบบ	LPD(Lighting Power Density)	8.13 W/m <sup>2</sup>
	Cooling System COP	3.22
	HVAC System	Residential System
	การบังเงาตนเอง	มีการบังเงา

และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า EUI จากงานวิจัยของ อภิญญา บัญมา(2555) หากกำหนดตำแหน่งค่า EUI เท่ากับ 91.42 kWh/m<sup>2</sup>.y ซึ่งได้จากการสำรวจลงในแผนภูมิค่า EUI และ %SAVE ของอาคาร Proposed ทั้งหมด พบว่าอยู่ในตำแหน่งที่มี %SAVE ประมาณ -60% และค่า EUI ที่มาจากการคำนวณด้วยสมการ OTTV ของตุนุสรณ์ บัวขจร(2554) เท่ากับ 95.87 kWh/m<sup>2</sup>.y อยู่ในตำแหน่งที่มีค่า %SAVE ประมาณ -77% ซึ่งเป็นค่า %SAVE ที่ต่ำกว่า %SAVE ต่ำสุดของงานวิจัยนี้

งานวิจัยทั้งสองนี้ได้ทำการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร และสัมภาษณ์ผู้อาศัยจริง จึงนำมากำหนดเป็นอาคารอ้างอิง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 แล้ว เห็นได้ชัดว่ามีค่า %SAVE ที่ต่ำมาก หากต้องการเข้ารับการประเมินเกณฑ์ LEED ซึ่งคิดคะแนนตามค่า %SAVE จะต้องปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารและงานระบบอย่างมาก เนื่องจากอาคารอ้างอิงของ (อภิญญา บัญมา, 2555) นั้น ถึงแม้จะมีสัดส่วนช่องเปิดกับผนังอาคาร หรือ WWR เพียง 16% แต่ใช้กระจกที่มีค่า SHGC สูงถึง 0.73 และใช้ระบบปรับอากาศแบบ

Residential System ในขณะที่ตามมาตรฐานที่ ASHRAE 90.1 2010 กำหนดให้ใช้ระบบปรับอากาศแบบ PTHP (Package Terminal Heat Pump) จึงส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานอาคารของ อภิญญา บุญมา(2555) สูงกว่าอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010


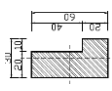
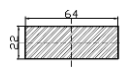
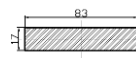
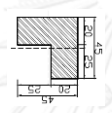
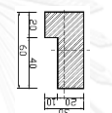
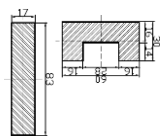
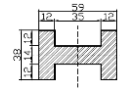


แผนภูมิที่ 39 ค่า EUI งานวิจัยของอภิญญา และตุนสรณ์ เปรียบเทียบกับค่า %SAVE จากอาคาร Proposed ทั้งหมด

### 5.1.7 สรุปข้อดี ข้อเสีย ของอาคารแต่ละรูปทรง

จากผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมดตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 สามารถสรุปเป็นข้อดีและข้อเสียของอาคารแต่ละรูปทรง ดังนี้

ตารางที่ 31 แสดงข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละรูปทรง

	EUI					
	ต่ำที่สุด	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงที่สุด	
%SAVE	สูงที่สุด		 วางอาคารตามแนว ตะวันออก-ตะวันตก			
		SF = 1/1, CI = 9.25	SF = 1/2, CI = 7.78			
	สูง			 วางอาคารตามแนว ตะวันออก-ตะวันตก		
			SF = 1/3, CI = 8.19	SF = 1/5, CI = 7.06		
	ปานกลาง		 วางอาคารตามแนว ตะวันออก-ตะวันตก	 วางอาคารตามแนว ตะวันออก-ตะวันตก		
			SF = 1/1, CI = 7.78	SF = 1/2, CI = 7.78		
	ต่ำ					
				L2-SF = 1/5, CI = 7.06 U1-SF = 1/2, CI = 6.77		
ต่ำที่สุด						
					SF = 1/1.5, CI = 5.79	

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

- การวิจัยนี้จำลองผลการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น จึงควรมีการวัดค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในอาคารจริงเปรียบเทียบกับผลจากโปรแกรมเพื่อความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- อาคารที่ศึกษาคืออาคารชุดพักอาศัย ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมอาคารทุกประเภท อาจมีการศึกษาอาคารประเภทอื่นๆเช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงเรียน เป็นต้น
- การจำลองผลการใช้พลังงานอาคารในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครเท่านั้น ซึ่งยังไม่ครอบคลุมทั่วทั้งภูมิภาคเขตร้อนชื้นทั้งหมด ดังนั้นควรมีจำลองผลการใช้พลังงานในอาคารทั่วทั้งภูมิภาค เพื่อผลการวิจัยที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น
- อาคารชุดพักอาศัยที่ทำการสำรวจเพื่อกำหนดเป็นอาคารอ้างอิงนั้น สำรวจเพียงภายในเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น หากมีการศึกษาต่อในอนาคตควรมีขอบเขตพื้นที่สำรวจที่กว้างมากขึ้น

### 5.2.2 แนวทางการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยเพื่อให้ได้ค่า %SAVE ที่เป็นบวก ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

เกณฑ์อาคารเขียวที่เป็นที่นิยมในประเทศไทยคือ LEED และ TREES ซึ่งกำหนดให้เปรียบเทียบคะแนนจากค่า %SAVE ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 อาคารที่มีค่า %SAVE สูงก็จะได้คะแนนมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากผลการจำลองพลังงานในอาคาร พบว่าอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก มีเพียง 39.64% ของอาคารทั้งหมดเท่านั้น ซึ่งปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารเช่น ผนังที่ฉนวน ชนิดของกระจก และระเบียง ล้วนส่งผลให้อาคารแต่ละรูปทรงสามารถมีค่า %SAVE ที่เป็นบวกได้




ในด้านการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยเพื่อเข้ารับการประเมินเกณฑ์ LEED ในประเทศไทยนั้น ในแง่ของประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารยังเป็นไปได้ค่อนข้างยากลำบาก เนื่องจากเป็นอาคารที่ใช้งานในตอนกลางวัน การบังเงาตนเองของอาคาร (Self-Shading) จึงมีผลน้อยต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคาร ทั้งๆที่เป็นข้อได้เปรียบอย่างมากในการออกแบบอาคารสำนักงานที่ใช้งานในตอนกลางวัน รวมถึง การจำลองปริมาณการใช้พลังงานในอาคารอ้างอิงมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 Appendix G. นั้น กำหนดให้อาคารที่ออกแบบและอาคารอ้างอิงใช้ค่า LPD (Lighting Power Density) หรือค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่เหมือนกัน หมายถึง ไม่สามารถทำคะแนนจากการเลือกใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากขึ้นได้ ในขณะที่พื้นที่

เปลือกอาคารส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากที่สุด แต่ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 กำหนดค่า SHGC ของกระจกเท่ากับ 0.25 ซึ่งเป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพสูงเกินกระจกที่มีผลผลิตหรือจำหน่ายในประเทศไทย กระจกที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงคือกระจกเคลือบสารสะท้อนแสง ไม่เหมาะกับการนำมาเป็นกระจกอาคารชุดพักอาศัยเพราะแสงผ่านได้น้อย ทำให้ผู้พักอาศัยรู้สึกอึดอัด และยังก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนอาคารข้างเคียงจากการสะท้อนแสงของกระจกอีกด้วย เมื่อไม่สามารถใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูงเท่ามาตรฐานนี้ได้ หากออกแบบด้วยกระจกที่นิยมใช้ทั่วไป ก็จำเป็นต้องติดตั้งระเบียงหรือกันสาด การหันทิศทางอาคารรูปทรงที่แย่ สามารถมีค่า %SAVE ที่ดีได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลความแตกต่างของอาคารสำนักงานแล้ว อาคารชุดพักอาศัยน่าจะมียieldน้อย



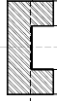

จากผลสรุปการทดลองพบว่าอาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคืออาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งในการจำลองอาคารในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีความกว้างและความยาวของผนังอาคารที่ 37 เมตร ในขณะที่อาคารชุดพักอาศัยนั้น ประกอบไปด้วยโถงทางเดินและห้องชุดที่จำเป็นต้องมีช่องเปิด หน้าต่าง เพื่อความเหมาะสมกับการพักอาศัย ซึ่งหากใช้ขนาดอาคารตามที่ได้กำหนดในงานวิจัยนี้ จะทำให้ขนาดห้องชุดไม่เหมาะสมกับการอยู่อาศัย ดังนั้น ในการออกแบบอาคารจริง ควรคำนึงถึงขนาดพื้นที่ใช้สอยที่เหมาะสมเป็นหลักด้วย ในส่วนของรูปทรงอาคาร สามารถเปรียบเทียบกับทางเลือกใช้ปัจจัยเปลือกอาคารได้ตามตารางที่ 32 และ 33 ดังนี้



ตารางที่ 32 แสดงอาคารที่มี %SAVE เป็นบวก แบ่งตามรูปทรงอาคารและประเภทกระจก (1)

อาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก แบ่งตามประเภทกระจก																									
รูปทรง	ลักษณะ	กระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 U - 6.81 W/m <sup>2</sup> .°C SHGC - 0.25												กระจกตามมิตินิยมไทยหนา 6.38 มม. U - 5.7 W/m <sup>2</sup> .°C SHGC - 0.78						กระจกอินซูลัด 15.5 มม. U - 3.23 W/m <sup>2</sup> .°C SHGC - 0.52					
		WWR 30			WWR 40			WWR 50			WWR 30		WWR 40		WWR 50		WWR 30		WWR 40		WWR 50				
		F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2			
	รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส SF 1/1 CI = 9.25	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ		
		ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	
	รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/3 CI = 8.19	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ		
		ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	
	รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า SF 1/5 CI = 7.06	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ		
		ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	

ตารางที่ 33 แสดงอาคารที่มี %SAVE เป็นบวก แบ่งตามรูปทรงอาคารและประเภทกระจก (2)

รูปทรง		ลักษณะ	อาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก แบ่งตามประเภทกระจก																			
			กระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010 U - 6.81 W/m <sup>2</sup> .°C SHGC - 0.25						กระจกสามมิติสีเขียวหนา 6.38 มม. U - 5.7 W/m <sup>2</sup> .°C SHGC - 0.78						กระจกอินซูลัด 1.5 มม. U - 3.23 W/m <sup>2</sup> .°C SHGC - 0.52							
			WWR 30		WWR 40		WWR 50		WWR 30		WWR 40		WWR 50		WWR 30		WWR 40		WWR 50			
			F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2		
	รูปทรง L SF 1/1 CI = 7.78	ทิศทาง	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	
			ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง
	รูปทรง L SF 1/2 CI = 7.78	ทิศทาง	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ
			ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง
	รูปทรง U SF 1/1 CI = 6.77	ทิศทาง	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ
			ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง
	รูปทรง H SF 1/5 CI = 7.06	ทิศทาง	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ	ทุกทิศ
			ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง	ทาง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- دنوسرن บัซจร. การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. \_ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .2554.
- โสภณ พรโชคชัย. (2551). อาคารชุดพักอาศัยใจกลางเมืองตามแนวรถไฟฟ้า. วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์(14 เมษายน - มิถุนายน), 25-31.
- ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์. ฝ่ายวิจัยตลาดอสังหาริมทรัพย์. 2551. ผลสำรวจความต้องการที่อยู่อาศัยนโยบายกระตุ้นเศรษฐกิจส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อที่อยู่อาศัยหลังแรก. ค้นวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 จาก <http://www.reic.or.th>
- ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์. 2552ก. ที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียน. ค้นวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 จาก <http://www.reic.or.th/index/housing-NewlyCompleted.asp>
- สุธาสิณี พุ่มมาลี. แนวทางการลงทุนปรับปรุงอาคารชุดพักอาศัยโดยใช้วัสดุอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน\_วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ .2552.
- อุไรชา เจียรนัยพานิชย์. ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007\_ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .2555.
- อภิญา บุญมา. (2555). ผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎหมาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรจรณ์ เศรษฐบุต และ ธนิต จินดาวณิก. การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. ในการประชุมเชิงวิชาการ เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550 ณ โรงแรมไบฮกสกาย กรุงเทพมหานคร, 2550.

**ภาษาอังกฤษ**

Aksoya, U., Inalli, M. Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. *Building and Environment* 41 (2006) 1742–1754.

Chua, K.J., & Chou, S.K. Energy performance of residential buildings in Singapore [Online]. Elsevier. 2009. Available from: <http://www.sciencedirect.com/> [2011, December 26]





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



“อาคาร Proposed” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา โดยมีรูปทรง ทิศทาง และตัวแปร  
เปลือกอาคารที่ต่างกัน รวมทั้งหมด 3078 อาคาร รายละเอียดระบุในบทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย

“อาคาร Baseline” หมายถึง อาคารอ้างอิงที่มีรายละเอียดอาคารตามมาตรฐาน Ashrae  
90.1 2010 Appendix G และจำลองพลังงานเพื่อเป็นค่าการใช้พลังงานพื้นฐานสำหรับอาคารแต่ละ  
รูปทรง รายละเอียดระบุในบทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย

“อาคาร Proposed เริ่มต้น” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา มีรายละเอียดเหมือนอาคาร  
Baseline ไม่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรเปลือกอาคาร แต่มีการบังเงาของตนเอง (Self-shading)

“%SAVE” หมายถึง Percentage improvement หรือ ค่าการประหยัดพลังงานตาม  
มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010

“EUI” หมายถึง ดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Utilization Index) หรือค่าระดับดัชนีการใช้  
พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ ผลมาจากการจำลองการใช้พลังงานในอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.0

“CI” หมายถึง Compactness Index หรือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิว  
ภายนอก

“SF” หมายถึง Shape Factor หรือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร

“WWR” หมายถึง Window-Wall Ratio หรือ สัดส่วนของเปิดต่อผนังอาคารภายนอก

ภาคผนวก ข.

รายการสำรวจรูปร่างและขนาดอาคารเพื่อกำหนดอาคารอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางแสดงรายการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร (1)

	Project	developer	level	ปีที่สร้างเสร็จ	Shape	SF	floor area	CI	WWR	รูปแบบระเบียง
1	LE MONACO RESIDENCES	IDTS	28	2556	S	1:1.2	1258.57	8.86	0.38	F2
2	M Ladrao	Major Development	44	2558	S	1:1.4	893.058	5.97	0.35	F1
3	NOBLE REVOLVE ARI	Noble	39	2559	L	1:1	1400	7.63	0.52	F2
4	RHYTHM Phahon-Ari	AP Thailand	53	2557	U	1:1.2	3821.86	11.63	0.34	F1
5	SYM VIBHA-LADPRAO	พัฒนา หรือเพอร์รี่	29	2556	H	1:1.5	4721.64	10.44	0.41	F1
6	Abstract พลโยธิน พาร์ค	BTS Asset	34	2557	I	1:4	1978.18	9.06	0.52	F1
7	EQUINOX PHAHOL-VIBHA	Major Development	42	2557	L	1:2	1445	7.57	0.31	F1
8	SENSE PHAHOLYOTHIN	Sense Estate	21	2555	I	1:2	469	5.15	0.51	F1
9	THE CREST PHAHONYOTHIN 11	SC ASSET	30	2555	L	1:1.2	810.2666	5.44	0.44	F0
10	CENTRIC ARI STATION	SC ASSET	30	2559	L	1:1.3	1067.393	6.99	0.36	F1
11	SIAMESE RATCHAKRU	SIAMESE ASSET	27	2559	I	1:2	1244.7552	8.32	0.42	F1
12	THE ISSARA LADPRAO	ชาญอิสสระ ดีเวลลอปเม้นท์	50	2555	I	1:4	2490.4767	8.27	0.36	F1
13	M PHYATHAI	Major Development	35	2557	I	1:1.5	940.77	7.53	0.33	F1
14	IDEO MOBI PHYAYTHAI	Ananda Development	24	2559	U	1:2	1106.02	6.29	0.36	F1
15	IVY AMPIO	Pruksa Real Estate	29	2557	I	1:3.3	846.96	6.14	0.37	F1
16	LIFE RATCHADAPISEK	AP Thailand	36	2558	I	1:3.8	1482.44	7.84	0.30	F1
17	QUINN CONDO(A) @ RATCHADA 17	MBK GROUP	25	2558	L	1:1.4	1579.66	7.27	0.36	F1
18	QUINN CONDO(B) @ RATCHADA 18	MBK GROUP	32	2558	I	1:3	1126.13	7.19	0.45	F1
19	RHYTHM RATCHADA	AP Thailand	37	2555	I	1:3	1219	7.44	0.38	F1
20	CENTRIC RATCHADA – HUAI KI-WANG	SC ASSET	37	2558	L	1:2	2920.18	8.79	0.45	F1
21	NOBLE REVOLVE RATCHADA	Noble Development	40	2559	H	1:1.5	1468.28	6.17	0.34	F1
22	THE ADDRESS ASOKE	AP Thailand	44	2555	H	1:1.5	1233	6.65	0.39	F1
23	CIRCLE CONDOMINIUM	Fragrant group	43	2555	H	1:1.5	1000.73	5.61	0.39	F2
24	VILLA ASOKE	TCC Capital Land	42	2556	I	1:3	1030	6.27	0.46	F1
25	SUPALAI PREMIER @ ASOKE	Supalai	40	2556	I	1:4	1360	7.45	0.31	F2
26	ASPIRE RAMA 9	AP Thailand	25	2557	L	1:1.5	1300	7.65	0.18	F1
27	IDEO MOBI RAMA 9	Ananda Development	28	2555	H	1:1.5	1568	6.08	0.26	F1
28	CONDOLETTE IZE RATCHATEWI	Pruksa Real Estate	33	2556	I	1:3	695	5.31	0.35	F1
29	SUPALAI PREMIER RATCHATEWI	Supalai	36	2556	I	1:4	1406	7.64	0.28	F2
30	CROSS POINT @ TAOPOON STATION	โรจน์ชัย ดีเวลลอปเม้นท์	26	2557	I	1:4	834	5.91	0.39	F1
31	IDEO VERVE RATCHAPRAROP	Ananda Development	34	2556	L	1:1	1202	6.20	0.30	F1
32	URBANO ABSOLUTE SATHORN-TAKSIN	Pruksa Real Estate	40	2556	I	1:5	1661	7.73	0.45	F1
33	TEAL SATHORN-TAKSIN	Saansiri	27	2556	U	1:1.5	1755.2	7.98	0.37	F1
34	NYE by SANSIRI	Saansiri	30	2558	L	1:1	1303	7.23	0.29	F1
35	HIVE TAKSIN	Saansiri	28	2558	L	1:1.5	1359	6.96	0.31	F1
36	IDEO MOBI SATHORN	Ananda Development	31	2557	L	1:1.5	1851	7.32	0.33	F1
37	THE RIVER	Raimon Land	71	2556	I	1:2	1061.87	7.83	0.57	F1
38	SUPALAI RIVER RESORT	Supalai	42	2556	I	1:4	2538.1	10.22	0.56	F1
39	RHYTHM SATORN	AP Thailand	27	2557	L	1:1	1093	7.05	0.34	F1
40	THE ADDRESS SATHORN	AP Thailand	40	2555	I	1:4	1245	6.62	0.39	F1

ตารางแสดงรายการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร (2)

	Project	developer	level	ปีที่สร้างเสร็จ	Shape	SF	floor area	CI	WWR	รูปแบบระเบียง
41	Centric Sathorn - St.Louis	SC ASSET	28	2557	I	1:4	1395	7.93	0.49	F1
42	THE BANGKOK SATHORN	Land & Houses Plc.	50	2559	I	1:5	2942	9.31	0.30	F0
43	SUPALAI CASA RIVA	Supalai	19	2554	I	1:2	968	7.45	0.36	F2
44	NARA 9 BY Eastern Star	Eastern Star	40	2559	I	1:3	1190	7.63	0.30	F1
45	BANGKOK HORIZON SATHORN-NARATHIWA	CMC	24	2558	I	1:3	942	6.24	0.34	F1
46	SUPALAI PRIMA RIVA	Supalai	47	2557	I	1:4	3119	11.81	0.48	F1
47	ASHTON MORPH 38	Ananda Development	32	2556	I	1:2.5	772	6.23	0.27	F1
48	NOBLE PLOENCHIT	Noble Development	51	2559	I	1:2.5	1022	7.51	0.49	F1
49	NOBLE REMIX	Noble Development	33	2554	I	1:4	1109	7.11	0.22	F1
50	RHYTHM SUKHUMVIT 42	AP Thailand	36	2559	S	1:1.2	1409	9.39	0.44	F1
51	RHYTHM SUKHUMVIT 44/1	AP Thailand	34	2557	L	1:1	1308	7.15	0.38	F1
52	THE ROOM SUKHUMVIT 21	Land & Houses Plc.	29	2554	L	1:1	1117	6.98	0.39	F0
53	WYNE SUKHUMVIT	Saansiri	31	2555	L	1:2	1199	6.70	0.45	F1
54	NOBLE SOLO THONGLOR	Noble Development	24	2554	H	1:1	1726	7.07	0.52	F2





ตารางแสดงวัสดุเปลือกอาคารจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ

DEVELOPER	ผนังภายนอกอาคาร	กระจก
AP	Precast concrete, อิฐมอญ	ลามิเนต 6 มม. / อินซูลेट 12 มม.
Major Development	อิฐมวลฐู	ลามิเนต 6 มม. หรือ 12 มม.
Noble	Precast concrete, อิฐมวลเบา	ลามิเนต 6 มม. หรือ 12 มม.
Land & Houses	Precast concrete	ลามิเนต 8 มม./ อินซูลेट 12 มม.
Sansiri	Precast concrete, อิฐมวลเบา	ลามิเนต 6 มม. / อินซูลेट 12 มม.
Supalai	อิฐมวลเบา	ลามิเนต 6 มม.หรือ อินซูลेट 15 มม. (SMG)
LPN	Precast concrete, อิฐมอญ	ลามิเนต 6 มม. และ Insulate 8 มม.เฉพาะทิศ ตต.
IDTS	Precast concrete	Low-E Insulate





CHEVRON GLASS PTY LTD

**HIGH PERFORMANCE GLASS CHARTS**

\* 0.1227  
544  
1.22

SINGLE GLAZED PRODUCT	Light Transmission	SHGC	U Value W/m <sup>2</sup> °C	Recommended Exposure	
6mm Clear	88%	0.82	0.95	3.00	N,W,E
6mm Grey	75%	0.61	0.68	3.00	N,W,E
6mm Green	77%	0.61	0.71	3.00	N,W,E
6mm Blue	72%	0.72	0.77	3.00	W,E
6mm BlueGreen	76%	0.62	0.63	3.00	N,W,E
6mm SilverBlue	69%	0.54	0.63	3.00	N,W,E
6mm SilverGrey	74%	0.63	0.65	3.00	W,E
<b>6.38mm Clear Laminated</b>	<b>87%</b>	<b>0.78</b>	<b>0.80</b>	<b>3.20</b>	<b>S,N</b>
6.38mm Clear Laminated	85%	0.81	0.77	3.20	N,W,E
<b>6.38mm Green Laminated</b>	<b>71%</b>	<b>0.72</b>	<b>0.83</b>	<b>3.20</b>	<b>N,W,E</b>
6.38mm Green Laminated	69%	0.72	0.83	3.20	N,W,E
<b>SINGLE GLAZED LOW E PRODUCT</b>					
6.38mm ComfortPlus Clear 82 Laminated	82%	0.68	0.79	3.00	S,N
6.38mm ComfortPlus Neutral 59 Laminated	66%	0.51	0.60	3.00	W,E
6.38mm ComfortPlus Silver 57 Laminated	72%	0.59	0.59	3.00	W,E
6.38mm ComfortPlus Green 71 Laminated	71%	0.50	0.58	3.00	S,N,W,E
4mm EnergyTech Clear	83%	0.72	0.83	3.00	S,N
6mm EnergyTech Clear	81%	0.69	0.80	3.00	S,N
4mm EnergyTech Silver 82	82%	0.67	0.81	3.00	W,E
6mm EnergyTech Silver 82	83%	0.63	0.81	3.00	W,E
6mm EVerage Clear	69%	0.63	0.73	3.00	S,N,E
6mm EVerage Grey	72%	0.61	0.66	3.00	W,E
6mm EVerage BlueGreen	69%	0.45	0.52	3.00	W,E
6mm EVerage Bronze	70%	0.50	0.53	3.00	W,E
6mm EVerage Super 10	70%	0.56	0.57	3.00	W,E
6mm EVerage Super 10 1	69%	0.57	0.53	3.00	W,E
4mm SolTech Neutral	61%	0.50	0.62	3.70	S,N,W,E
6mm SolTech Neutral	63%	0.53	0.62	3.70	S,N,W,E
6mm Sunergy Clear	68%	0.58	0.68	4.10	S,N,W,E
10mm Sunergy Clear	68%	0.57	0.57	4.10	S,N,W,E
6mm SuperQ Clear	70%	0.67	0.67	3.00	S,N,W,E
<b>INSULATED GLASS UNITS</b>					
4mm Clear + 6mm air space + 4mm Clear	80%	0.75	0.88	3.10	N,S
6mm Clear + 6mm air space + 6mm Clear	79%	0.71	0.82	3.10	N,S
6mm Clear + 12mm air space + 6mm Clear	78%	0.71	0.82	2.70	N,S
4mm Green + 12mm air space + 4mm Clear	73%	0.57	0.80	3.70	E,N,S
6mm Green + 12mm air space + 6mm Clear	68%	0.50	0.57	2.70	S,N,W,E
4mm SilverBlue + 12mm air space + 4mm Clear	71%	0.53	0.60	3.00	W,E
6mm SilverBlue + 12mm air space + 6mm Clear	67%	0.49	0.56	3.00	W,E
6mm SuperBlue + 12mm air space + 6mm Clear	77%	0.61	0.68	2.70	W,E
6mm SuperGrey + 12mm air space + 6mm Clear	76%	0.61	0.68	2.70	W,E



Guardian  
Total Performance Calculator

March 7, 2014  
Thermal 5.2.6

OUTDOORS		
Lite	GIR Light Green	#1 ----
	Thickness = 3/16" = 5 mm	#2 ----
Gap	Air Space = .236"	
Lite	Clear	#3 ----
	Thickness = 3/16" = 5 mm	#4 ----
Total Unit = .610" = 15.5mm		Slope = 90°

INDOORS									
Visible Light		Solar Energy (Direct)		Winter	Summer				
% Transmittance	% Reflectance		% Transmittance	Reflect % Out	U-Factor	U-Factor	Shading Coef	SHGC	Relative Heat Gain
	Indoor	Outdoor			Night-time	Day-time			
69	13	12	42	8	55	57	.60	523	128

3.23  
WATT/m2.C

ASHRAE NFRC 2004

The performance values shown above represent NOMINAL VALUES for the center of glass (no spacer or framing). Slight variations may occur due to manufacturing tolerances, point of manufacture, and type of instrumentation used to measure the optical properties.

EXPLANATION OF NFRC 2004 STANDARD TERMS

- Visible Light** - radiant energy in the wavelength range of 380 nm to 780 nm with Ill. D65 and CIE 2° observer
- % Transmittance** - percentage of visible light at normal incidence (90° to surface) directly transmitted through the glass
- % Reflectance Indoors** - percentage of visible light at normal incidence directly reflected from the glass back indoors
- % Reflectance Outdoors** - percentage of visible light at normal incidence directly reflected from the glass back outdoors
- Solar Energy (Direct)** - sun's radiant energy with wavelength range of 300 to 2500 nm at air mass 1.5 direct normal, ASTM E 891.
- % Transmittance** - percentage of solar energy at normal incidence (90° to surface) directly transmitted through the glass
- Reflect % Out** - percentage of solar energy at normal incidence directly reflected from the glass back outdoors
- U-Factor** - (also called U-Value) air-to-air thermal conductance of 39" high glazing and associated air films. Units are **Btu/hr.ft².F**  
 Winter-night - 12.3 mph wind at -0.4°F & 69.8°F indoors. Summer - 0 sun, 6.15 mph wind at 89.6°F & 75.2°F still indoor air.
- Shading Coef.** - (SC) fraction of solar heat, direct (300 to 4500 nm) plus indirect (5 to 40 μm), transferred indoors through the glass. For reference, 1/8" (3.1 mm) clear glass has a value of 1.00 (SC is an older term being replaced by the SHGC).
- SHGC** - (Solar Heat Gain Coefficient) fraction of solar energy incident on the glazing that is transferred indoors both directly and indirectly through the glazing. The direct gain portion equals the direct solar transmittance, while the indirect is the fraction of the solar energy absorbed to the energy reradiated & convected indoors. No heat gain from warmer outdoor air is included.  
 $SHGC = (Direct\ Solar\ Trans) + \{[(Indirect\ Solar\ Heat\ Gain) - (Summer\ U-Value)(89.6°F - 75.2°F)] / (243,200\ Btu/hr.ft²)\}$
- Relative Heat Gain (RHG)** - total net heat gain to the indoors due to both the air-to-air thermal conductance and the solar heat gain.  
 $RHG = \{[(Summer\ U-Value)(89.6°F - 75.2°F) + (Shading\ Coef.)(200\ Btu/hr.ft²)]\}$   
 The units are Btu/hr.ft².

This performance analysis is provided under license by Guardian Industries Corp. It is designed to assist the user in evaluating the performance of the glass products identified on this report. Many factors may affect glass performance including glass size, building orientation, shading, wind speed, type of installation, and other factors. While Guardian has made a good faith effort to verify the reliability of this program, it may contain unknown programming errors that could result in incorrect results. With respect to non-Guardian products, this performance analysis may be based on published information from the manufacturer that has not been independently verified by Guardian for accuracy. Moreover, the applicability and results of the analysis are directly related to user inputs and any changes in actual conditions can have a significant effect on the results. GUARDIAN DOES NOT PROVIDE ANY WARRANTY OR GUARANTEE REGARDING THE ACCURACY OF THE INFORMATION IN THIS REPORT OR AGAINST GLASS BREAKAGE OR FOR ANY DIRECT OR INDIRECT DAMAGES THAT MAY BE DUE TO THE USE OF THE PROGRAM.

SunGuard® is a registered trademark of Guardian Industries Corp.

ภาคผนวก จ.

ตารางแสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางแสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ

ลำดับที่	รายละเอียดอาคาร	%SAVE	EUI (KWH/m <sup>2</sup> .Y)
1	H1-1/40/W0/G0/F0	1.05	56.71
2	H1-2/40/W0/G0/F0	-1.99	58.46
3	H1-3/40/W0/G0/F0	0.92	56.79
4	H1-4/40/W0/G0/F0	-1.88	58.40
5	I1-1/40/W0/G0/F0	2.28	51.62
6	I1-2/40/W0/G0/F0	-2.25	54.01
7	I1-3/40/W0/G0/F0	-2.28	54.03
8	I1-4/40/W0/G0/F0	-2.92	54.37
9	I2-1/40/W0/G0/F0	4.12	51.90
10	I2-2/40/W0/G0/F0	-2.61	55.55
11	I2-3/40/W0/G0/F0	-4.12	56.36
12	I2-4/40/W0/G0/F0	-3.38	55.96
13	L1-1/40/W0/G0/F0	-0.04	52.63
14	L1-2/40/W0/G0/F0	-2.51	53.92
15	L1-3/40/W0/G0/F0	0.22	52.49
16	L1-4/40/W0/G0/F0	-1.68	53.49
17	L1-5/40/W0/G0/F0	0.95	52.10
18	L1-6/40/W0/G0/F0	-2.62	53.98
19	L1-7/40/W0/G0/F0	0.32	52.44
20	L1-8/40/W0/G0/F0	-1.14	53.20
21	L2-1/40/W0/G0/F0	-2.00	53.63
22	L2-2/40/W0/G0/F0	-3.25	54.29
23	L2-3/40/W0/G0/F0	1.69	51.69
24	L2-4/40/W0/G0/F0	-1.91	53.58
25	L2-5/40/W0/G0/F0	-1.45	53.34

ตารางแสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 38 แบบ (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียดอาคาร	%SAVE	EUI (KWH/m <sup>2</sup> .Y)
26	L2-6/40/W0/G0/F0	-2.93	54.12
27	L2-7/40/W0/G0/F0	1.89	51.59
28	L2-8/40/W0/G0/F0	-2.31	53.80
29	S1-1/40/W0/G0/F0	0.00	50.59
30	S1-2/40/W0/G0/F0	-2.28	51.74
31	U1-1/40/W0/G0/F0	1.32	54.41
32	U1-2/40/W0/G0/F0	-2.50	56.51
33	U1-3/40/W0/G0/F0	-0.73	55.54
34	U1-4/40/W0/G0/F0	-2.52	56.52
35	U1-5/40/W0/G0/F0	1.56	54.28
36	U1-6/40/W0/G0/F0	-1.81	56.13
37	U1-7/40/W0/G0/F0	0.04	55.11
38	U1-8/40/W0/G0/F0	-2.23	56.37

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ไยชมภู นาคประสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ.2531 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาตรี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขา สถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2555 ปัจจุบัน ทำงานที่บริษัท วิสตอม คอนซัลตติ้งแอนด์โซลูชั่น จำกัด ตำแหน่ง ผู้ช่วย ที่ปรึกษา

