

ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน
ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

นางสาวอุไรชา เจียรนัยพานิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

IMPACTS OF BUILDING FORMS AND ORIENTATIONS ON ENERGY PERFORMANCE
OF OFFICE BUILDING BASED ON THE ASHRAE STANDARD 90.1 2007

Miss Urocha Jiaranaipanich

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงาน ต่อ
ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE
90.1 2007

โดย

นางสาวอุไรษา เจียรน้อยพานิชย์

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐิ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตตร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรมัทธ ینگคโรจน์ฤทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ณรงศ์วิทย์ อารีมิตร)

คูโรซา เจียร์นัยพานิชย์ : ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 (IMPACTS OF BUILDING FORMS AND ORIENTATIONS ON ENERGY PERFORMANCE OF OFFICE BUILDING BASED ON THE ASHRAE STANDARD 90.1 2007) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร, 105 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของรูปทรงและทิศทางอาคารต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 สำหรับอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร โดยใช้การจำลองพลังงานของอาคาร 9 รูปทรงในทิศทางต่างๆ รวมทั้งหมด 45 แบบ และได้ปรับเปลี่ยนตัวแปรทางด้านสัดส่วนพื้นที่กระจก (WWR) ชนิดกระจก ผนังแผงกันแดด และระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ การจำลองการใช้พลังงานใช้โปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ตั้งค่าการจำลองตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 APPENDIX G ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร รวมกรณีอาคารที่จำลองทั้งหมด 13,500 กรณี ผลการทดลอง พบว่าในอาคารที่มีรูปทรงหรือการวางทิศทางแตกต่างกันค่าการประหยัดพลังงานจากอาคาร Baseline หรือ %SAVE ไม่สัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือ EUI อาคารบางรูปทรงมีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำ ซึ่งหมายความว่ามีการใช้พลังงานน้อย แต่กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE น้อยกว่าอาคารบางรูปทรง อาคารที่มีผังพื้นเป็นรูปวงกลม มีค่าเฉลี่ยของ EUI น้อยที่สุด แต่กลับเป็นรูปทรงที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE น้อยที่สุดด้วย ส่วนอาคารที่มีลักษณะผังพื้นเป็นรูปกากบาท ที่มีอัตราส่วนความกว้างและความยาวของอาคาร หรือ SF เท่ากับ 1/2 เป็นอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE มากที่สุด ในขณะที่มีค่าเฉลี่ย EUI มากที่สุด อาคารที่อยู่ในระดับกลางๆ คือมี %SAVE สูงปานกลาง มี EUI ต่ำปานกลาง ได้แก่อาคารตัวแอลที่มี SF 1/1 ในกรณีที่ไม่ต้องการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคาร อาคารแบบกากบาท SF 1/2 วางอาคารตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกจะทำให้ได้ค่า %SAVE สูงสุด โดยอาคารรูปแบบที่มี SF 1/2 วางอาคารตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกจะมีโอกาสที่จะมีค่า %SAVE สูงกว่าอาคารแบบอื่น ในกลุ่มอาคารรูปทรงและทิศทางเดียวกัน พบว่า %SAVE ค่อนข้างจะสอดคล้องกับ EUI อาคารรูปสี่เหลี่ยม รูปตัวแอล และรูปตัวยูที่มี SF 1/1 จะมีค่าเฉลี่ย EUI น้อยกว่ารูปทรงเดียวกันที่มี SF 1/2 และมี %SAVE มากกว่า ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง แต่สำหรับรูปทรงกากบาท SF1/2 มีค่าเฉลี่ย EUI และ %SAVE สูงกว่าแบบ SF 1/1 ในส่วนของอิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อค่า %SAVE และ EUI รูปทรงอาคารตัวแอล SF 1/1 สามารถใช้ประโยชน์จากแผงกันแดดได้สูงทั้งในด้านการเพิ่มค่า %SAVE และในด้านการลดค่า EUI ส่วนรูปทรงตัวแอล SF 1/2 อยู่ในระดับกลางๆในการใช้ประโยชน์จากแผงบังแดดเพื่อเพิ่มค่า %SAVE แต่ จะได้ผลดีกับแผงบังแดดที่มีลักษณะเป็นแนวนอนและแนวตั้ง งานวิจัยนี้ได้ทดลองการจำลองการใช้พลังงานในภูมิอากาศหนาวเย็น เฉพาะอาคารที่ไม่มี การปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารจำนวน 13 แบบ โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของเมืองเมดิสัน รัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าในภูมิอากาศหนาวเย็น อาคารที่มีรูปทรงและทิศทางแตกต่างกันมีค่า %SAVE และ EUI ไม่สอดคล้องกันเช่นเดียวกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์..... ลายมือชื่ออนิสิต.....
 สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555.....

5473411025: MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : BUILDING FORM / FORM AND ORIENTATION / ASHRAE 90.1 / ENERGY EFFICIENCY

UROCHA JIARANAIPANICH: IMPACTS OF BUILDING FORMS AND ORIENTATIONS ON ENERGY PERFORMANCE OF OFFICE BUILDING BASED ON THE ASHRAE STANDARD 90.1 2007. ADVISOR : ASST.PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 105 pp.

This research studied the impacts of building forms and orientations on the energy performance of office buildings in Bangkok based on the ASHRAE Standard 90.1 2007. Nine building shapes with various orientations forming the total of 45 cases were set for the simulations. Modifications of window area, types of walls, glasses, shading devices, and daylight controls were performed. The totals of 13,500 cases were simulated by Visual DOE 4.0 following the procedures set forth in the Appendix G of the ASHRAE Standard 90.1 2007. The climatic data file of Bangkok was used.

The simulation results showed that, due to various buildings shapes and orientations, the energy cost saving from the ASHRAE baseline or %SAVE is not directly associated with energy consumption per unit area or EUI. Some building shapes with lower EUI were found to have less saving than some that have higher EUI. Circular-shape buildings perform better in terms of lowest EUI; however they achieve very small savings from the ASHRAE Standard. Buildings with an X-shape floor plan with the Shape Factor of 1/2 have the highest EUI, which means they would consume more energy; however they can achieve the highest saving.

The building shape that has moderate EUI and % SAVE is L-shape with the Shape Factor of 1/1. In cases where modification of the envelope is not needed, buildings with an X-shape floor plan with the Shape Factor of 1/2 aligned on the east-west direction can have the highest %SAVE. Building shapes with SF 1/2 along the east - west have an opportunity to achieve higher %SAVE than others. Buildings with rectangular, L, and U-shape plans tend to have a good agreement between EUI and %SAVE. On the average buildings with an X-shape plan with the Shape Factor of 1/2 have both EUI and %SAVE higher than those with the Shape Factor of 1/1.

For envelope modifications using shading devices, L shaped buildings with SF 1/1 perform better in terms of lower EUI and higher %SAVE, whereas those with SF 1/2 can only moderately benefit from shadings to increase %SAVE, and effective shading devices for these cases need to be horizontal or vertical configuration. The research also performed the tests using 13 building shapes without exterior shading and daylight controls on cold climate of Madison, Wisconsin, USA. The result showed that there is no relationship between the EUI and %SAVE for cold climates.

Department : Architecture Student's Signature.....

Field of Study : Architecture Advisor's Signature.....

Academic Year : ... 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างยิ่งของ ผศ. ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตฺร ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้สั่งสอนให้วิชาความรู้ตั้งแต่เริ่มต้นเข้าศึกษา และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐฐิติ ในฐานะประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, รศ.พรพรรณชลัท สุริโยธิน ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ที่ให้คำแนะนำและความรู้ รวมทั้ง ดร.ณรงค์วิทย์ อาริมิตร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและร่วมการสอบวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ และขอขอบคุณบุคคลรอบข้างทุกท่าน ที่ได้เอ่ยนามที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	9
2.2 การศึกษาเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน.....	12
2.3 ปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร	15
2.3.1 สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร	15
2.3.2 กระฉก.....	16
2.3.3 ผนังอาคาร.....	18
2.3.4 แผงกันแดด.....	20
2.3.5 ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	22
3.3 สร้างอาคาร Baseline ของอาคารรูปทรงต่างๆตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	23

3.4	กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคารและรูปทรงอาคาร ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed	28
3.4.1	สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR).....	28
3.4.2	กระจกอาคาร	29
3.4.3	ผนังอาคาร.....	30
3.4.4	แผงกันแดด.....	30
3.4.5	ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ	31
3.5	จำลองการใช้พลังงานของอาคาร Baseline และอาคาร Proposed	32
3.6	การเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงาน(%SAVE)	34
3.7	เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)กับพลังงานที่ใช้(EUI) ของอาคารรูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน.....	34
3.8	วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง.....	34
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
4.1	อาคาร Proposed เริ่มต้น.....	37
4.2	ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI)	39
4.3	การให้คะแนนตามค่า EUI และ %SAVE	48
4.3.1	การให้คะแนนตามปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI)	48
4.3.2	การให้คะแนนตามค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)	49
4.3.3	การให้คะแนนรวม	49
4.3.4	เปรียบเทียบการให้คะแนนตามปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI), ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และคะแนนรวม	50
4.3.5	จัดอันดับอาคารตามคะแนน.....	59
4.4	อาคาร Proposed ที่มีค่า %SAVE ตั้งแต่ 0 ขึ้นไป.....	60
4.5	อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร(SF) กับ%SAVE และ EUI	63
4.6	อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) กับ %SAVE และ EUI	64
4.7	อิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อ %SAVE และ EUI	65
4.8	เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น	69

บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	72
5.1	สรุปผลการวิจัย	73
5.1.1	ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI) กับรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร	73
5.1.2	อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร(SF) และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) กับรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร	78
5.1.3	อิทธิพลของแสงกันแดดกับรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร	78
5.1.4	ความสัมพันธ์ของ %SAVE และ EUI ในภูมิภาคภาคเหนือ	79
5.1.5	จัดอันดับอาคารรูปทรงและทิศทางต่างๆ ตามเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละแบบ	79
5.1.6	ตารางสรุปข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละแบบ	80
5.2	ข้อเสนอแนะ	82
5.2.1	ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป	82
5.2.2	แนวทางการพิจารณาให้คะแนนด้านการใช้พลังงานในอนาคต	82
	รายการอ้างอิง	86
	ภาคผนวก	89
	ภาคผนวก ก	90
	ภาคผนวก ข	92
	ภาคผนวก ค	95
	ภาคผนวก ง	98
	ภาคผนวก จ	100
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	105

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์การวิจัย วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .	8
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบทางเลือกในการจำลองการใช้พลังงานระหว่าง TREES-NC และ LEED-NC ..	10
ตารางที่ 2.2	เงื่อนไขในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline	11
ตารางที่ 2.3	การศึกษาเรื่องตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร	12
ตารางที่ 2.4	แสดงวัสดุประกอบผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูปและ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	19
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดของรูปทรงอาคารที่ทำการศึกษา.....	23
ตารางที่ 3.2	แสดงรูปทรงและทิศทางอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมด	25
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดของอาคาร Baseline.....	26
ตารางที่ 3.4	การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและปริมาณการใช้พลังงานอาคาร Baseline ของอาคารแบบ X2-1	27
ตารางที่ 3.5	แสดงตัวแปรด้านสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร	29
ตารางที่ 3.6	แสดงตัวแปรด้านกระจกอาคาร	29
ตารางที่ 3.7	แสดงตัวแปรด้านผนังอาคาร.....	30
ตารางที่ 3.8	แสดงตัวแปรด้านแผงกันแดด.....	30
ตารางที่ 3.9	แสดงตัวแปรด้านระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ	31
ตารางที่ 3.10	รายละเอียดของอาคาร Proposed	32
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุด ของ %SAVE	40
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุด ของ EUI	41
ตารางที่ 4.3	แสดงการเรียงลำดับอาคาร 9 รูปทรงตาม %SAVE และ EUI	47
ตารางที่ 4.4	แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม EUI	48
ตารางที่ 4.5	แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม %SAVE	49
ตารางที่ 4.6	แสดงเกณฑ์การให้คะแนนรวม.....	50
ตารางที่ 4.7	แสดงผลสรุปของรูปทรงและทิศทางอาคารแบ่งตามคะแนน	58
ตารางที่ 4.8	การแปลงคะแนนเป็นตัวเลข	59
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคารที่มี SF ต่างกัน	63
ตารางที่ 4.10	แสดงการเรียงลำดับอาคาร 9 รูปทรงตามค่า CI, %SAVE และ EUI	64
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบอิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อค่า %SAVE และ EUI.....	68
ตารางที่ 4.13	เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI ในภูมิภาคภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ.....	71
ตารางที่ 5.1	แสดงข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละแบบ	80
ตารางที่ 5.2	แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม EUI	83
ตารางที่ 5.3	แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม %SAVE	83

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 Appendix G.	5
ภาพที่ 2.1	แสดงตัวอย่างอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร (Shape Factor)	13
ภาพที่ 2.2	แสดงตัวอย่างอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก(Compactness index)	13
ภาพที่ 2.3	แสดงการหมุนอาคารเพื่อศึกษาหารูปทรงและทิศทางที่เหมาะสม	14
ภาพที่ 2.4	แสดงขนาดช่องเปิด WWR 40%	15
ภาพที่ 2.5	แสดงขนาดช่องเปิด WWR 60%	16
ภาพที่ 3.1	แสดงรูปแบบของแผงกันแดด.....	31
ภาพที่ 4.1	อาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า % SAVE สูงสุดและ EUI ต่ำที่สุด	38
ภาพที่ 4.2	สัญลักษณ์แสดงรายละเอียดของ %SAVE และ EUI.....	42
ภาพที่ 5.1	อาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า % SAVE และ EUI สูงและต่ำที่สุด.....	73
ภาพที่ 5.2	อาคาร Proposed ที่มีค่า % SAVE และ EUI สูงและต่ำที่สุด.....	77

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 3.1	Flow Chart แสดงวิธีการวิจัย.....	35
แผนภูมิที่ 4.1	แสดง %SAVE ของอาคาร Proposed เริ่มต้น.....	37
แผนภูมิที่ 4.2	แสดง EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น.....	38
แผนภูมิที่ 4.3	แสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed ทั้งหมด.....	39
แผนภูมิที่ 4.4	แสดง %SAVE ของอาคาร 9 รูปทรง.....	43
แผนภูมิที่ 4.5	แสดง %SAVE ของอาคาร 45 แบบ.....	44
แผนภูมิที่ 4.6	แสดง EUI ของอาคาร 9 รูปทรง.....	45
แผนภูมิที่ 4.7	แสดง EUI ของอาคาร 45 แบบ.....	46
แผนภูมิที่ 4.8	แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ A , %A และ A(T).....	52
แผนภูมิที่ 4.9	แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ B และ %B.....	53
แผนภูมิที่ 4.10	แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ C และ %C.....	54
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ D และ %D.....	55
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงสัดส่วนของอาคารที่ได้ %SAVE เป็นลบและบวก.....	60
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวก.....	61
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงอัตราส่วนคะแนนแบบต่าง.....	62
แผนภูมิที่ 5.1	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคารแต่ละรูปทรง (13,500 กรณี).....	74
แผนภูมิที่ 5.2	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคาร 45 แบบ (13,500 กรณี).....	76
แผนภูมิที่ 5.3	การแบ่งระดับอาคารตาม EUI และ %SAVE.....	84
แผนภูมิที่ 5.4	แสดงการแบ่งระดับอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก.....	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังตื่นตัวเรื่องการประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งกระแสดังกล่าวกำลังเกิดขึ้นในทุกๆ ส่วนของสังคมรวมถึงในวงการอสังหาริมทรัพย์ด้วย หลายประเทศทั่วโลกได้ตระหนักถึงการก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจังมากขึ้น มีการจัดตั้ง World Green Building Council ขึ้น เป็นองค์กรด้านอาคารเขียวของโลก โดยมีองค์กรที่เป็นตัวแทนจากประเทศต่างๆ เข้าร่วมเป็นสมาชิก เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์และให้การรับรองอาคารเขียวในประเทศนั้นๆ (นิพนทา ไชยธีรภิญโญ, 2553) และเพื่อส่งเสริมให้เกิดผลในการปฏิบัติ สถาปนิกเขียวของแต่ละประเทศก็ได้จัดทำหลักเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศตนเอง โดยเมื่ออาคารใดผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ สถาปนิกเขียวก็จะออกใบรับรองให้ ซึ่งหลักเกณฑ์อาคารเขียวของแต่ละประเทศก็จะมีชื่อเรียกและมีระบบการประเมินที่แตกต่างกัน เช่น หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของประเทศไทย (TREES) หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา หรือ The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) สำหรับของญี่ปุ่นคือ Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) เป็นต้น ซึ่งกระแสของอาคารเขียวกำลังเป็นที่นิยมและมีการกล่าวถึงในวงกว้าง

อาคารเขียว

การออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงานหรืออาคารเขียวนั้น นอกจากจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังส่งผลดีกับเจ้าของโครงการในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานที่น้อยลง มูลค่าของอาคารเพิ่มขึ้น อัตราการเช่าเพิ่มขึ้น (จตุวัฒน์ วิโรดมพันธ์, 2553; USGBC, 2012) และยิ่งส่งผลต่อภาพลักษณ์ขององค์กรอีกด้วย (Popescu et. al., 2012) นอกจากนี้ในมุมมองของผู้ใช้อาคารก็มีแนวโน้มที่จะยอมจ่ายมากกว่าเพื่อผลประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน (Chau et. al., 2010)

การที่จะนำเอาจุดเด่นเรื่องอาคารเขียวหรือโครงการอนุรักษ์พลังงานมาใช้เพื่อเพิ่มผลประโยชน์ทางการตลาดในโครงการอสังหาริมทรัพย์นั้น ก็จำเป็นที่โครงการดังกล่าวต้องได้รับการรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ ว่ามีการออกแบบให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานอย่างถูกต้อง, มีการคำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงานมากกว่าที่กฎหมายกำหนด

จากประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับหลายประการ ทำให้ผู้พัฒนาโครงการในประเทศไทยเริ่มมีความสนใจที่จะพัฒนาโครงการให้ได้รับการรับรองว่าเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามผู้พัฒนาโครงการบางส่วนยังมีความเชื่อว่าการจะทำอาคารให้ได้มาตรฐานอาคารเขียวจะต้องมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นและค่าก่อสร้างที่สูง (Issa et. al., 2010; Tatari and Kucukvar, 2011) อาจจะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ซึ่งค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น เกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทและระดับของเกณฑ์มาตรฐานที่จะขอ ในสหรัฐอเมริกา ได้มีการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น กับระดับในการขอการรับรอง LEED ของโครงการสำนักงานและโรงเรียน พบว่า การขอการรับรอง LEED ในระดับ Certified นั้นมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น 0.66% แต่ถ้าขอการรับรอง LEED ในระดับ Platinum ค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้น 6.50% (Kats, 2003) ในทางกลับกันก็มีอาคารหลายแห่งที่สามารถผ่านเกณฑ์การประเมินโดยที่งบประมาณของโครงการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือไม่เพิ่มเลย (Davis Langdon, 2007) ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือ การเพิ่มของค่าใช้จ่ายเนื่องจากใช้เวลาที่มากขึ้น เช่น ขั้นตอนการออกแบบ, การตรวจสอบราคา รวมถึงการปรับอาคารให้สอดคล้องกับเกณฑ์ที่เลือก (Kats, 2003) มีการศึกษาว่า เวลาที่ใช้ในการออกแบบที่เพิ่มขึ้นนั้น มาจากการที่ผู้ออกแบบเพิ่มเรื่องการขอรับการประเมินอาคารเข้ามาในภายหลัง (Langdon, 2007) ทำให้ต้องเสียเวลาในการปรับเปลี่ยนต่างๆ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า โครงการที่มีการเตรียมรายละเอียดเพื่อรองรับการขอเข้ารับการประเมินอาคารเขียวตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ จะมีผลดีต่องบประมาณของอาคาร (Kats, 2003)

รูปทรงและการวางทิศทางอาคาร

โดยทั่วไปแล้ว รูปทรงและการวางทิศทางอาคาร เป็นขั้นตอนแรกๆที่ผู้ออกแบบจะพิจารณาในการออกแบบอาคาร การศึกษาเรื่องตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร พบว่า รูปทรงอาคารและการวางทิศทางอาคารเป็นหนึ่งในตัวแปรที่ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบอาคารเขียวด้วย เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Ekici and Aksoy, 2011) นอกจากนี้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน พบว่า รูปทรงอาคารและลักษณะของเปลือกอาคาร รวมถึงสภาพภูมิอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อรูปทรงอาคารได้แก่ อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร (Shape Factor / SF) และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (Compactness Index / CI) ส่วนทิศทางการวางอาคาร นับเป็นแนวทางที่ประหยัดที่สุดที่สามารถนำมาใช้ได้ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นในการออกแบบอาคาร (Pacheco et. al., 2012)

การศึกษาเรื่องรูปทรงอาคารและทิศทางการวางอาคารในเขตภูมิอากาศหนาวเย็น โดยกำหนดอาคารให้มีพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่มี SF แตกต่างกันคือ 1/1 1/2 และ 2/1 และหมุนอาคารที่ละ 15 องศา พบว่าสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งฉนวน รูปทรงที่มี SF เท่ากับ 1/1 เป็นรูปทรงที่มีความได้เปรียบมากที่สุดใ้รอบทุกทิศทาง โดยในทิศทางที่หมุน 45 องศาจะเป็นทิศทางที่ใช้พลังงานมากที่สุดสำหรับอาคารแบบ 1/1 ส่วนอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบ 1/2 และ 2/1 การหันด้านยาวของอาคารไปทางทิศใต้จะใช้พลังงานน้อยกว่าในทิศอื่นๆ (Aksoya and Inalli, 2006) และการศึกษาเรื่องรูปทรงอาคารกับความต้องการในการใช้พลังงานพบว่า การลดค่า CI เช่นการเพิ่มพื้นที่ผิวโดยที่ปริมาตรเท่าเดิม จะทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานของอาคารในเขตภูมิอากาศหนาวเย็นเพิ่มขึ้น (Depecker et. al., 2001) นอกจากนี้การศึกษาเรื่อง อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารในประเทศไทย พบว่า สัดส่วนของอาคารสำนักงาน โรงแรม และ ศูนย์การค้า ที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานตามแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย อยู่ระหว่าง 1:1.3 และ 1:1.7 หรือเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็กน้อย การศึกษาดังกล่าวใช้การจำลองการใช้พลังงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร (ณัฐภูมิ รัชคำอินทร์, 2552)

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่า รูปทรงและทิศทางอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ดังนั้นในช่วงแรกของขั้นตอนการออกแบบนั้น การพิจารณารูปทรงและทิศทางอาคารให้เหมาะสมกับภูมิอากาศท้องถิ่น จะช่วยให้อาคารมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและยังสามารถเป็นข้อได้เปรียบในการเตรียมพร้อมเข้ารับการประเมินอาคารเขียว ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานของโครงการลงได้

อาคารเขียวในประเทศไทย

ในประเทศไทยนั้น หลักเกณฑ์ที่เป็นที่รู้จักและนิยม คือ การประเมินในระบบ LEED จากประเทศสหรัฐอเมริกา สังเกตได้จากอาคารหลายแห่งการได้มีการยื่นขอรับรองในระบบ LEED แล้ว เช่น อาคาร Energy Complex ของ ปตท., อาคาร Park Venture ของบริษัท Univentures เป็นต้น ในส่วนของหลักเกณฑ์อาคารเขียวภายในประเทศ หรือ TREES ก็ได้มีการพัฒนามาจากระบบ LEED ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ได้มีการปรับปรุงเนื้อหาให้เหมาะสมกับประเทศไทย (พร วิรุฬห์รักษ์, 2553)

รูปแบบการประเมินของ LEED-NC 2009 และ TREES-NC Ver.1.1 จะให้ความสำคัญในหมวดพลังงานและบรรยากาศโดยในเกณฑ์ LEED หมวดดังกล่าวมีคะแนน 35 (LEED, 2009) และ 20 คะแนนในเกณฑ์ TREES (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2555) โดยภายในหมวดพลังงานและ

บรรยากาศ จะมีการแบ่งหัวข้อย่อยลงไปอีก ซึ่งหัวข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ หัวข้อ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีคะแนน 19 คะแนน สำหรับเกณฑ์ LEED และ 16 คะแนน สำหรับเกณฑ์ TREES โดยมีจุดมุ่งหมายให้พัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารให้มากกว่าที่มาตรฐานกำหนด และส่วนที่คล้ายคลึงกันทั้งสองเกณฑ์ คือ ทางเลือกให้ใช้แนวทางในการจำลองการใช้พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 Appendix G เพื่อแสดงให้เห็นว่าอาคารมีการลดการใช้พลังงานลง และนำร้อยละของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลงไปเทียบเป็นคะแนน

ASHRAE 90.1 2007

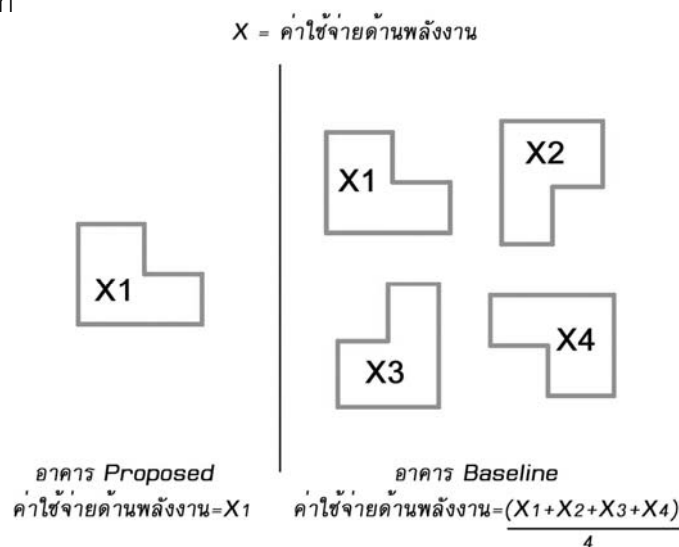
วิธีการจำลองการใช้พลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007¹ เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารที่กำลังออกแบบ (Proposed Building) กับอาคารอ้างอิง (Baseline Building) ได้มีการระบุไว้ใน APPENDIX G. ซึ่งจะมีเงื่อนไขในการจำลองอาคารครอบคลุมตั้งแต่ทิศทางอาคาร คุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร รวมถึงงานระบบต่างๆ ซึ่งหากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของกรณี Proposed Building น้อยกว่ากรณี Baseline Building มากเท่าไร ก็จะได้คะแนนมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งคะแนนดังกล่าวมีส่วนทำให้โครงการผ่านการประเมินในระดับที่ต่างกัน (ASHRAE, 2007)

คะแนนที่ได้รับจะมาจากการเปรียบเทียบ Proposed Building กับ Baseline Building เท่านั้น ไม่ได้พิจารณาจากค่าปริมาณการใช้พลังงานที่จำลองได้จริง ดังนั้นระดับคะแนนอาคารเขียวจึงไม่ได้สอดคล้องกับปริมาณการใช้พลังงานเสมอไป ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานของอาคาร LEED และ CBECS (Commercial Building Energy Consumption Surveys) โดยคัดเลือกเฉพาะกลุ่มอาคารที่เปรียบเทียบกันได้เท่านั้น พบว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจริงไม่มีความสัมพันธ์กับระดับคะแนนด้านพลังงาน (Newsham et al., 2009)

นอกจากนี้มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ภาคผนวก G หน้า 178 (ASHRAE, 2007) ระบุให้ อาคาร Baseline ต้องมีการหมุนอาคาร 90, 180 และ 270 องศา และนำค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในแต่ละกรณีมาเฉลี่ย เป็นค่าพลังงานที่ใช้ของอาคาร Baseline ตามภาพที่ 1.1 ซึ่งการวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยให้อาคาร Proposed มีการใช้พลังงานน้อย

¹ ปัจจุบันมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ฉบับล่าสุดคือปี 2010 แต่เกณฑ์ TREES-NC Ver.1.1 และ LEED-NC 2009 ซึ่งเป็นฉบับล่าสุดกำหนดให้อ้างอิง ASHRAE 90.1 2007 ดังนั้นจึงเลือกใช้มาตรฐานของปี 2007 ในงานวิจัยชิ้นนี้

กว่าอาคาร Baseline ได้ทันที โดยยังไม่ต้องรวมผลจากการเพิ่มประสิทธิภาพจากส่วนอื่นๆเลย ดังนั้นด้วยรูปทรงและการวางอาคารที่เหมาะสมจึงเป็นจุดที่สามารถทำคะแนนเพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการที่รูปทรงของอาคารมีผลในการทำคะแนน อาคารที่มีลักษณะกว้างยาวเท่ากันหรือใกล้เคียง ย่อมจะไม่ได้ประโยชน์ในการหมุนอาคารเพื่อคิดเป็นอาคาร Baseline ของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ดังนั้นอาคารที่มี SF 1/1 เช่น อาคารทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเป็นรูปทรงอาคารที่ค่อนข้างได้เปรียบในทุกทิศทาง (Aksoya and Inalli, 2006) อาจจะได้คะแนนน้อยกว่าอาคารรูปทรงอื่นๆ เพราะค่าการใช้พลังงานส่วนของอาคาร Baseline จะไม่ต่ำลงมากนัก



ภาพที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 Appendix G.

ถึงแม้จุดประสงค์หลักของการพัฒนาอาคารเขียว คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคาร ไม่ใช่การนับคะแนน แต่ก็ต้องยอมรับว่า ผู้พัฒนาโครงการย่อมต้องการคะแนนที่มากกว่าเพื่ออาคารจะได้รับรางวัลในระดับที่สูงขึ้น อันจะช่วยส่งเสริมภาพลักษณ์ขององค์กร และช่วยในการทำการตลาดหรือการขายโครงการ สำหรับอาคารในประเทศไทยที่ต้องการใช้ประโยชน์จากการผ่านการรับรองภายใต้มาตรฐานอาคารเขียวทั้งในแง่ของการตลาดและการประหยัดค่าบำรุงรักษามักจะเป็นอาคารสำนักงาน โดยปัจจุบันอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครมีพื้นที่ประมาณ 8,119,413 ตร.ม. ซึ่งมีอัตราการเช่าอยู่ที่ 85% และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีแนวโน้มที่ค่าเช่าจะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสำนักงานระดับ A ในเขต CBD (Central Business District) ที่อยู่ใกล้ขนส่งมวลชน เช่น รถไฟฟ้า พื้นที่ให้เช่าต่อชั้นอยู่ที่ประมาณ 1,000-2,000 ตารางเมตร (Tongpun, 2012) ซึ่งมีแนวโน้มที่ผู้ประกอบการจะลงทุนในโครงการสำนักงานประเภทนี้เพิ่มขึ้น

ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาผลกระทบของรูปทรงและทิศทางของอาคารสำนักงานอาคารสำนักงาน ต่อค่าการประหยัดพลังงาน หรือ Percentage improvement (%SAVE) เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของอาคารต่อพื้นที่ หรือ Energy Use Index (EUI) ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเกณฑ์การประเมินที่เหมาะสม ซึ่งนอกจากจะช่วยกระตุ้นให้ผู้พัฒนาโครงการมีความสนใจในอาคารเขียวแล้ว อาคารที่ผ่านเกณฑ์ยังสามารถประหยัดพลังงานได้เหมาะสมกับระดับรางวัลที่ได้รับอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของรูปทรงอาคารต่อการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

1.2.3 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงาน ของอาคารที่มีรูปทรง แตกต่างกัน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 แบบจำลองอาคาร อ้างอิงจำนวนชั้นและพื้นที่อาคาร จากการศึกษาเรื่องการค้าขาย OTTV สำหรับอาคารพาณิชย์ในประเทศไทย (Chirarattananon and Taveekun, 2004)

1.3.2 จำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเฉพาะส่วนพื้นที่สำนักงาน ซึ่งมีพื้นที่ต่อชั้น ประมาณ 1,600 ตารางเมตร ความสูงพื้นถึงพื้น 4 เมตร ความสูงรวมทั้งหมด 12 ชั้น

1.3.4 อาคารที่ศึกษา ประกอบไปด้วยอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกัน 9 แบบซึ่งมีค่า SF เท่ากับ 1/1 และ 1/2

1.3.5 ศึกษาทิศทางของอาคารโดยหมุนอาคารที่ละ 45 องศา รวมอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมด 45 แบบซึ่งมีรูปทรงหรือทิศทางแตกต่างกัน

1.3.6 ศึกษาและจำลองผลกับข้อมูลภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้นในส่วนภูมิภาคหนาวเย็นจะจำลองผลกับข้อมูลภูมิอากาศของเมืองเม็กซิโก รัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อเปรียบเทียบเฉพาะบางรูปทรง

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ดังนี้

1.4.1.1 มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

1.4.1.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

1.4.1.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อกำหนดตัวแปรในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ให้ดีกว่าอาคาร Baseline

1.4.2 สร้างอาคาร Baseline ของอาคารรูปทรงต่างๆตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

1.4.3 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคารและรูปทรงอาคาร ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed

1.4.4 จำลองการใช้พลังงานของอาคาร Baseline และ Proposed

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

1.4.6 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) กับพลังงานที่ใช้ (EUI) ของอาคารรูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน

1.4.7 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1

1.5.2 ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารต่อการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 สำหรับอาคารสำนักงานในประเทศไทย

1.5.3 รูปทรงและการวางทิศทางอาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงานไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้พลังงาน

1.5.4 ข้อมูลสำหรับปรับปรุงเกณฑ์อาคารเขียวไทยให้เหมาะสมมากขึ้นในอนาคต

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์การวิจัย วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1.2.1.ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007
1.2.2 ศึกษาผลกระทบของรูปทรงอาคารต่อการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	1.4.2 สร้างอาคาร Baseline ของอาคารรูปทรงต่างๆตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	1.5.2 ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารต่อการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 สำหรับอาคารสำนักงานในประเทศไทย
	1.4.3 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคาร ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed	
	1.4.4 จำลองการใช้พลังงานของอาคาร Baseline และอาคาร Proposed	
1.2.3 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงาน ของอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	1.4.5 การเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงานและปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่	1.5.3 รูปทรงและการวางทิศทางอาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงานไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้พลังงาน
	1.4.6 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับพลังงานที่ใช้ของอาคารรูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน	
	1.4.7 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง	
		1.5.4 ข้อมูลสำหรับการปรับปรุงเกณฑ์อาคารเขียวไทยให้เหมาะสมมากขึ้นในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในเรื่องมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 รวมถึง วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อกำหนดตัวแปรในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ให้ดีกว่าอาคาร Baseline

2.1 มาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

ASHRAE 90.1 (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building) เป็นมาตรฐานที่ระบุความต้องการขั้นต่ำสำหรับใช้ในการออกแบบเพื่อให้อาคารมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน โดยมาตรฐาน 90.1 ฉบับแรกคือ ASHRAE 90.1 2001 และมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็น 2004, 2007 และ 2010 ตามลำดับ ถึงแม้ปัจจุบันมาตรฐาน ASHRAE 90.1 ฉบับล่าสุดคือปี 2010 แต่เกณฑ์ TREES-NC Ver.1.1 และ LEED-NC 2009 ซึ่งเป็นฉบับล่าสุดกำหนดให้อ้างอิงมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 APPENDIX G. ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบทางเลือกในการจำลองการใช้พลังงานระหว่าง TREES-NC และ LEED-NC ดังนั้นจึงเลือกใช้มาตรฐานของปี 2007 ในงานวิจัยชิ้นนี้

ASHRAE 90.1 2007 เป็นมาตรฐานสำหรับอาคารทั่วไป ยกเว้น บ้านเดี่ยว อาคารพักอาศัยที่มีความสูง 3 ชั้นหรือต่ำกว่านั้น บ้านที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile homes) และบ้านที่มีลักษณะเป็นหน่วยย่อยๆ มาประกอบกัน (Modular) โดยมาตรฐานนี้สามารถใช้ได้กับอาคารใหม่ อาคารหรือส่วนของอาคารที่ต่อเติมใหม่และมีการติดตั้งระบบประกอบอาคารใหม่ รวมถึงอาคารเก่าที่มีการปรับปรุงระบบประกอบอาคารใหม่ด้วย ASHRAE 90.1 แบ่งโซนอากาศออกเป็น 8 โซนหลัก เพื่อให้ครอบคลุมกับภูมิอากาศทั่วโลก และมีการกำหนดความต้องการขั้นต่ำของแต่ละโซนแตกต่างกัน โดยประเทศไทยถูกจัดให้อยู่ในโซนที่ 1 คือภูมิอากาศแบบร้อนมาก-ชื้น

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบทางเลือกในการจำลองการใช้พลังงานระหว่าง TREES-NC และ LEED-NC

TREES-NC Ver. 1.1		LEED-NC 2009	
ทางเลือก 1	ใช้ Whole building simulation ตามรายละเอียดใน กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 (4-16 คะแนน)	ทางเลือก 1	Whole building simulation อ้างอิงตาม ASHRAE 90.1-2007 Appendix G เป็นเกณฑ์ (1-19 คะแนน)
ทางเลือก 2	Whole building simulation อ้างอิงตาม ASHRAE 90.1-2007 Appendix G เป็นเกณฑ์ ซึ่งใช้ได้กับภูมิอากาศของประเทศไทย (4-16 คะแนน)	ทางเลือก 2	อาคารสอดคล้องกับเกณฑ์ ASHREA Advance Energy Design guide (1 คะแนน)
ทางเลือก 3	ใช้การเทียบค่าจากอาคารที่ใช้แบบประเมินการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก(TEEAM) รุ่น 49 เป็นเกณฑ์ (4-12 คะแนน)	ทางเลือก 3	อาคารสอดคล้องกับเกณฑ์ Advance Building Core Performance guide (1-3 คะแนน)

APPENDIX G. คือภาคผนวกของ ASHRAE 90.1 ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับ วิธีการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำหรับอาคารที่มีการออกแบบให้มีประสิทธิภาพเหนือกว่าความต้องการขั้นต่ำที่ระบุไว้ใน ASHRAE 90.1 โดยการวัดประสิทธิภาพอาคารจะเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร Proposed กับอาคาร Baseline ออกมาเป็นอัตราร้อยละเพื่อแสดงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคาร Proposed โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะแสดงค่าดังกล่าวในลักษณะของค่าการประหยัดพลังงาน หรือ %SAVE

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

การจำลองการใช้พลังงานกำหนดให้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลอง เช่น DOE-2, BLAST หรือ ENERGY PLUS เป็นต้น โดยมีเงื่อนไขว่าการจำลองอาคาร Baseline และอาคาร Proposed นั้นต้องจำลองด้วยโปรแกรมเดียวกัน และใช้ข้อมูลอากาศรวมถึงอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแบบเดียวกัน สำหรับรูปแบบการจำลองการใช้พลังงานของอาคารได้กำหนดครอบคลุมตั้งแต่ทิศทางอาคาร คุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร รวมถึงงานระบบต่างๆ โดยข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานสถาปัตยกรรมรวมถึงรูปทรงและทิศทางอาคารสามารถสรุปโดยย่อได้ดังตารางที่ 2.2 เงื่อนไขในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline

ตารางที่ 2.2 เงื่อนไขในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline

อาคาร Proposed	อาคาร Baseline
<ol style="list-style-type: none"> 1. การจำลองอาคารให้จำลองตามแบบสถาปัตยกรรมจริง 2. สามารถใช้ค่าการสะท้อนกลับ (Reflectance) ของหลังคาเท่ากับ 0.45 ได้ ในกรณีที่อาคารจริงมีค่าการสะท้อนกลับมากกว่า 0.70 และค่าการแผ่รังสี (Emittance) มากกว่า 0.75 หรือมีค่า SRI อย่างน้อย 82 โดยค่าต่างๆ ต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ดังนี้ ค่าการสะท้อนกลับ - ASTM C1549, ASTM E903 หรือ ASTM E1918 ค่าการแผ่รังสี - ASTM C1371 หรือ ASTM E408 SRI - ASTM E1980 หลังคาอื่นๆ นอกเหนือจากนี้ ให้กำหนดค่าการสะท้อนกลับเท่ากับ 0.30 3. องค์ประกอบต่างๆ ที่ติดตั้งถาวร เช่น ครัวสำหรับบังแดด (Fin, Overhang) สามารถรวมเข้ามาในโมเดลจำลองได้ รวมถึงแผงบังแดดที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับแผงบังแดดที่ต้องใช้การปรับด้วยมือ ไม่สามารถรวมเข้ามาในโมเดลได้ 4. มีการบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร (Self-Shading) ได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องมีขนาดและพื้นที่เท่ากับอาคาร Proposed 2. หมุนอาคาร 90, 180 และ 270 องศา และนำค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในแต่ละกรณีมาเฉลี่ยเป็นค่าพลังงานที่ใช้ของอาคาร Baseline 3. ไม่มีการบังแดดด้วยรูปทรงอาคาร (Self-Shading) 4. หลังคา – Insulation entirely above deck ผนัง – Steel framed พื้น – Steel Joint 5. ช่องแสงของอาคาร ต้องมีพื้นที่เท่ากับอาคาร Proposed หรือ 40% ของพื้นที่ผนังที่อยู่เหนือดินของอาคาร โดยให้เลือกใช้ค่าที่น้อยกว่า 6. Sky light ต้องมีพื้นที่เท่ากับอาคาร Proposed หรือ 5% ของพื้นที่ชั้นหลังคาของอาคาร โดยให้เลือกใช้ค่าที่น้อยกว่า ทิศทางการติดตั้งรูปแบบเดียวกันกับอาคาร Proposed 7. ค่า U-Factors ของวัสดุที่บังแสง ค่า U-Factors และ SHGC ของช่องแสงและ Sky light อ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ตารางที่ 5.5-1 ถึง 5.5-8 8. ผิวของหลังคาให้มีค่าการสะท้อนกลับ (Reflectance) เท่ากับ 0.30

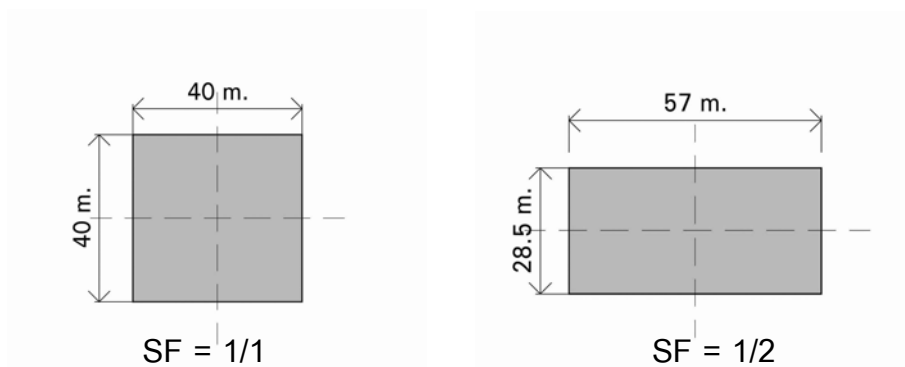
2.2 การศึกษาเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

โดยทั่วไปแล้ว รูปทรงและการวางทิศทางอาคาร เป็นขั้นตอนแรกๆที่ผู้ออกแบบจะพิจารณาในการออกแบบอาคาร การศึกษาเรื่องตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร พบว่า รูปทรงอาคารและการวางทิศทางอาคารเป็นหนึ่งในตัวแปรที่ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบอาคารเขียวด้วย เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (Ekici and Aksoy, 2011)

ตารางที่ 2.3 การศึกษาเรื่องตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร (Ekici and Aksoy, 2011)

Physical environmental parameters	Artificial design parameters
Hourly outdoor temperature (°C)	Building form factor
Solar radiation (W/m ²)	Transparency ratio
Wind direction and velocity (m/s)	Orientation
	Thermo-physical properties of building materials.
	The distance between buildings

นอกจากนี้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน พบว่า รูปทรงอาคารและลักษณะของเปลือกอาคาร รวมถึงสภาพภูมิอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อรูปทรงอาคารได้แก่ อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร หรือ Shape factor (ภาพที่ 2.1) และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก หรือ Compactness index (ภาพที่ 2.2) โดยอาคารที่มีปริมาตรเท่ากัน อาคารที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าจะมีค่า CI (Compactness index) มากกว่า และจากศึกษาเรื่องเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น พบว่ารูปทรงที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดในขณะที่มีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด หรือมีค่า CI มาก นับเป็นรูปทรงที่เหมาะสมในการเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน (การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548) สำหรับในภูมิภาคหนาวเย็น พบว่าการลดค่า CI เช่นการเพิ่มพื้นที่ผิวโดยที่ปริมาตรเท่าเดิม จะทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานของอาคารในเขตภูมิภาคหนาวเย็นเพิ่มขึ้น (Depecker et. al., 2001)



ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร (Shape Factor)



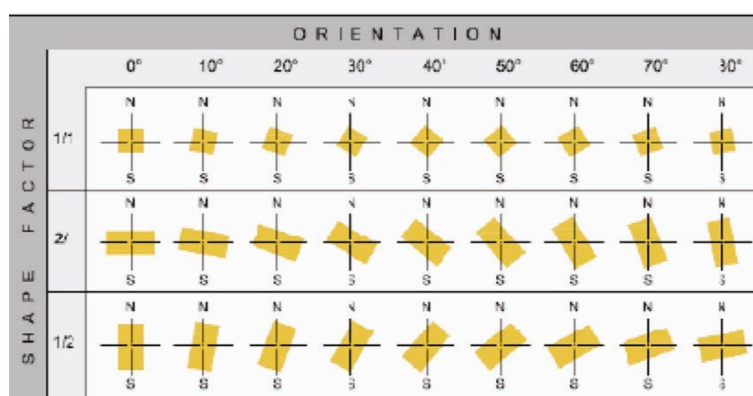
CI = 3.45

CI = 5

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (Compactness index)

(Pacheco et. al., 2012)

จากการศึกษาเรื่องรูปทรงอาคารและทิศทางการวางอาคารในเขตภูมิอากาศหนาวเย็นในประเทศตุรกี โดยกำหนดอาคารให้มีพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่มี SF แตกต่างกันคือ 1/1 1/2 และ 2/1 โดยแบ่งอาคารเป็น 2 กลุ่ม คืออาคารที่มีการติดตั้งฉนวน และอาคารที่ไม่มีการติดตั้งฉนวน จากนั้นหมุนอาคารทีละ 15 องศา ดังแสดงในภาพที่ 2.3 พบว่าสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งฉนวน รูปทรงที่มี SF เท่ากับ 1/1 เป็นรูปทรงที่มีความได้เปรียบมากที่สุดในเกือบทุกทิศทาง โดยในทิศทางที่หมุน 45 องศาจะเป็นทิศทางที่ใช้พลังงานมากที่สุดสำหรับอาคารแบบ 1/1 ส่วนอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบ 1/2 และ 2/1 การหันด้านยาวของอาคารไปทางทิศใต้จะใช้พลังงานน้อยกว่าในทิศทางอื่นๆ (Aksoya and Inalli, 2006)



ภาพที่ 2.3 แสดงการหมุนอาคารเพื่อศึกษาหารูปทรงและทิศทางที่เหมาะสม (Pacheco et. al., 2012)

นอกจากนี้การศึกษาเรื่อง อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารในประเทศไทย พบว่า สัดส่วนของอาคารสำนักงาน โรงแรม และ ศูนย์การค้า ที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานตามแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย อยู่ระหว่าง 1:1.3 และ 1:1.7 หรือเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็กน้อย การศึกษาดังกล่าวใช้การจำลองการใช้พลังงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร (ณัฐภูมิ รัชคำอินทร์, 2552)

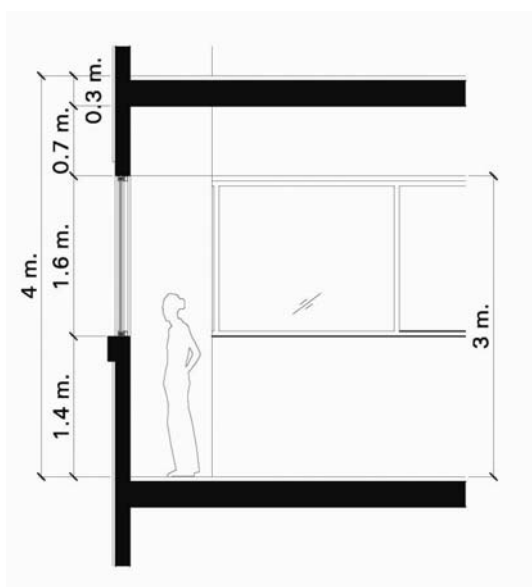
จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่า รูปทรงและทิศทางอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร และสำหรับทิศทางอาคารนั้น นับเป็นแนวทางที่ประหยัดที่สุดที่สามารถนำมาใช้ได้ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นในการออกแบบอาคาร และเป็นหนึ่งในหัวข้อที่มาการศึกษาบ่อยครั้ง (Pacheco et. al., 2012) อย่างไรก็ตามยังไม่พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของรูปทรงและทิศทางอาคารกับเกณฑ์อาคารเขียวต่างๆ หรือ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นในช่วงแรกของขั้นตอนการออกแบบนั้น การพิจารณารูปทรงและทิศทางอาคารให้เหมาะสมกับภูมิอากาศท้องถิ่น จะช่วยให้อาคารมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และยังสามารถเป็นข้อได้เปรียบในการเตรียมพร้อมเข้ารับการประเมินอาคารเขียว ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานของโครงการลงได้

2.3 ปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร

นอกจากรูปทรงและทิศทางอาคารแล้วเปลือกอาคารนับเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคาร เนื่องจากเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร มีหน้าที่ป้องกันอาคารจากสภาวะแวดล้อมภายนอก โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อกำหนดตัวแปรในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ให้ดีกว่าอาคาร Baseline

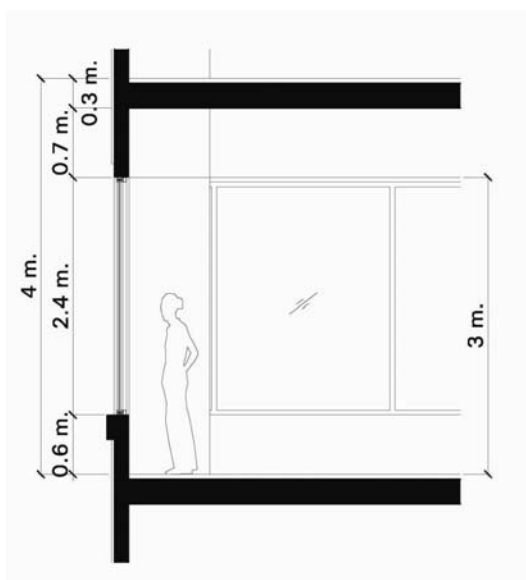
2.3.1 สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร

WWR (Window to Wall Ratio) คืออัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังอาคาร โดยใน ASHRAE 90.1 2007 กำหนดค่าของ WWR สำหรับอาคาร Baseline ให้เท่ากับอาคาร Proposed หรือ 40% ของพื้นที่ผนังที่อยู่เหนือดินของอาคาร โดยให้เลือกใช้ค่าที่น้อยกว่า หมายความว่า ถ้าอาคารมีพื้นที่ผนังด้านนอกเท่ากับ 100 ตารางเมตร อาคาร Baseline ต้องมีพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและหรือของผนังโปร่งแสงไม่เกิน 40 ตารางเมตร ซึ่งในกรณีที่พิจารณาให้ผนังทุกด้านมีค่า WWR ที่เท่ากัน อาคารที่ใช้พิจารณา มีความสูงจากพื้นถึงพื้นของแต่ละชั้นเท่ากับ 4.00 เมตร ความสูงฝ้าเพดาน 3.00 เมตรจะพบว่าขนาดช่องเปิดของอาคารจะมีความสูงเท่ากับ 1.6 เมตร ตามที่แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงขนาดช่องเปิด WWR 40%

สำหรับอาคารสำนักงานให้เช่าในกรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่ต้องการพื้นที่ช่องเปิดค่อนข้างมาก เนื่องจากจะทำให้ภายในสำนักงานมีความโปร่งสบายกว่าและผู้ใช้สามารถมองเห็นทิวทัศน์ภายนอกได้มากกว่า ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งสัดส่วนพื้นที่ช่องแสงกับพื้นที่ผนังทึบของอาคารจะเท่ากับ 60%



ภาพที่ 2.5 แสดงขนาดช่องเปิด WWR 60%

ดังนั้น WWR ของอาคารที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีสองค่า คือ 40% และ 60% ตามลำดับ เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2007 และอาคารจริง

ในส่วนของ WWR 40% จะกำหนดให้ใช้ขนาดความสูงกระจกแบบเดียวกับ WWR 60% แต่มีระยะการติดตั้งกระจกแต่ละบานห่างกว่าแบบ 60% เพื่อให้ลักษณะการส่องผ่านของแสงเป็นแบบเดียวกัน

2.3.2 กระจก

กระจกนับเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งในการใช้พลังงานของอาคาร คุณสมบัติต่างๆของกระจก เช่น ค่าการสะท้อนแสง ค่าการส่องผ่านของแสง หรือการถ่ายเทความร้อน ล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคาร ในส่วนของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ได้กำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของกระจก จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Overall Coefficient of Heat Transmission หรือ U Value) หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของวัสดุและ

ฟิล์มอากาศ เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างสิ่งแวดล้อมด้านนอกและด้านในอาคาร ค่า U เป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total Thermal Resistance หรือ ค่า R) มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

2) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC) คืออัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังหรือหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ผ่านจากกระจกเข้ามาในตัวอาคาร ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) รังสีอาทิตย์ที่เป็นคลื่นสั้น ซึ่งผ่านเข้ามาในอาคารโดยตรง และ (2) ส่วนของความร้อนที่ดูดกลืนไว้ที่ตัวกระจก และค่อยถ่ายเทเข้ามาในอาคาร

การเคลือบสารบนผิวกระจกนับเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระจกให้สามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการสะท้อนแสงและคลื่นความร้อนบางส่วนที่แสงแดด ในขณะที่สีและความใสของกระจกจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบนั้นๆ (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552) โดยสามารถแบ่งประเภทของกระจกที่มีสารเคลือบออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่

1) กระจกสะท้อนแสงหรือกระจกสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Reflective Glass) คือการนำเอากระจกธรรมดาเคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ที่มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง กระจกชนิดนี้มีหลากหลายสี ขึ้นอยู่กับโลหะและวิธีการที่ใช้ในการเคลือบ ซึ่งจะสามารถสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ที่จะผ่านเข้าสู่อาคารได้ เป็นการลดแสงที่เข้ามาสู่อาคารก่อนให้เกิดความสบายตาแก่ผู้ใช้อาคาร อีกทั้งยังช่วยลดความร้อนจากแสงแดดได้บางส่วนซึ่งเป็นการลดภาระของระบบปรับอากาศ และจากการที่กระจกมีความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย ทำให้ในเวลากลางวันคนภายนอกอาคารสามารถมองเข้ามาภายในอาคารได้ลำบาก ในขณะที่คนที่อยู่ภายในอาคารสามารถมองออกไปภายนอกได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงการสะท้อนแสงของกระจกที่อาจจะรบกวนสภาพแวดล้อมข้างเคียงได้ และควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีอุณหภูมิภายนอกกับภายในที่แตกต่างกันมากจนเกินไปเพราะจะทำให้กระจกแตกร้าวได้

2) กระจกแผ่นรังสีต่ำ (Low-E Glass) คือ กระจกที่มีกระบวนการผลิตคล้ายกระจกสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ แต่จะแตกต่างที่โลหะที่ใช้เคลือบจะมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นส่วนประกอบสำคัญ เพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีค่าการคายรังสี (Emissivity) ที่ต่ำมาก หมายความว่ากระจกนั้นมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวกระจกน้อยมาก ทำให้กระจกชนิดนี้ถูกนำไปใช้ทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ (Short Wave Radiation) ผ่านเข้ามาในตัวอาคาร ในขณะที่สะท้อนรังสีคลื่นยาวหรือรังสีความร้อน

(Long Wave Radiation) ออกพอสสมควรร ซึ่งจะไปลดการสะสมความร้อนในอาคาร ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นให้กับอาคาร โดยที่กระจกยังคงมีลักษณะใส ไม่ทึบแสง ให้ค่าแสงส่งผ่านมาก นอกจากนี้ยังมีค่าการสะท้อนแสงน้อย ซึ่งจะช่วยให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี จึงสามารถลดปัญหาเรื่องกระจกแตกร้าว ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของกระจกสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ ในทางกลับกันกระจกแผ่นรังสีต่ำจะลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้น้อยกว่ากระจกสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ ทั้งนี้กระจกแผ่นรังสีต่ำมีลักษณะการเคลือบผิวโลหะอยู่ 2 ประเภทคือ Hard coat และ Soft coat โดยลักษณะการเคลือบแบบ Hard coat คือการเคลือบโลหะที่ผิวกระจกให้เป็นเนื้อเดียวกับกระจก โดยการอบกระจกด้วยความร้อนเมื่อกระจกเริ่มอ่อนตัวจะโรยผงออกไซด์ของโลหะลงบนผิวของกระจกที่อ่อนตัว เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกับผิวของกระจก ซึ่งข้อเสียของกระจกที่เกิดจากการผลิต คือ สีและการสะท้อนแสงของกระจกที่ถูกเคลือบจะไม่สม่ำเสมอจนตลอดทั้งแผ่น ส่วนลักษณะการเคลือบแบบ Soft coat คือการนำไปเคลือบสารโลหะเพื่อแต่งผิว โดยการพ่นผงออกไซด์ของโลหะเคลือบทับลงบนพื้นผิวของกระจกเท่านั้น ซึ่งข้อเสียของกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตคือ สารที่เคลือบกระจกจะไม่ทนทานต่อการขูดขีด ดังนั้นกระจก Soft coat ส่วนมากจึงนิยมถูกนำมาแปรรูปให้เป็นกระจกอินซูลัต นอกจากนี้ กระจก Soft coat นั้นสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่ากระจก Hard coat เนื่องจากมีค่า SHGC ต่ำกว่า ในขณะที่มีค่าแสงธรรมชาติส่องผ่านใกล้เคียงกัน (สววิชา ดาวประกายมงคล, 2552)

นอกจากนั้นผลสำรวจความคิดเห็นของผู้ออกแบบในงานวิจัยเรื่องแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำหรับสำนักงานปรับอากาศ พบว่ากระจกที่ผู้ออกแบบมักเลือกใช้คือ กระจกลามิเนต โดยได้รับความนิยมาถึงร้อยละ 47 ส่วนสีของกระจกที่ได้รับความนิยมากที่สุดคือสีเขียว ในอัตราร้อยละ 78 (สววิชา ดาวประกายมงคล, 2552) ดังนั้นกระจกที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกใช้กระจกลามิเนตเป็นพื้นฐาน ส่วนสีของกระจกเลือกใช้กระจกสีเขียว

2.3.3 ผนังอาคาร

จากผลสำรวจความคิดเห็นของผู้ออกแบบในงานวิจัยเรื่องแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำหรับสำนักงานปรับอากาศ พบว่าวัสดุที่นิยมใช้ก่อสร้างเป็นผนังที่บสำหรับอาคารสำนักงานคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังก่ออิฐมวลเบา ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป และผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป (สววิชา ดาวประกายมงคล, 2552)

ในส่วนของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 กำหนดให้อาคาร Baseline ใช้ผนังแบบ Steel framed หรือ ผนังเบายึดด้วยโครงเคร่าเหล็ก ที่มีค่า U เท่ากับ $0.705 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ โดยค่า U ดังกล่าวจะมีค่าใกล้เคียงกับผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป บุด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ซึ่งมีค่า U เท่ากับ $0.621 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ดังตารางที่ 2.4 แสดงการคำนวณค่า U ของผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป

ตารางที่ 2.4 แสดงวัสดุประกอบผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูปและ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (ราชกิจจานุเบกษา, 2552)

ผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป บุด้วยฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม				
ชั้นวัสดุ		Conductivity	ความหนา	R-Value
		(k)	(x)	(R)
		($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)	(เมตร)	($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)
1	Outside air film (High E)	-	-	0.044
2	อลูมิเนียมสำเร็จรูป หนา 3 มม.	0.036	0.003	0.083
3	ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 16 กก./ลบ.ม.	0.038	0.050	1.316
4	แผ่นยิปซัม	0.282	0.012	0.043
5	พลาสติกห่อหุ้มยิปซัม	0.230	0.001	0.004
6	Inside air film (High E)	-	-	0.120
ความหนาผนังรวม (เมตร)	ความต้านทานความร้อนรวม (R Total)			1.610
0.066	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($U=1/R$)			0.621

สำหรับผนังที่ขของอาคารที่จะนำมาเป็นตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Proposed จะเลือกใช้ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากพัฒนาโครงการในปัจจุบันมักมีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการก่อสร้าง ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหรือ Precast wall จึงเป็นที่นิยมเพราะสามารถหล่อผนังไว้ล่วงหน้าได้ จากนั้นจึงนำมาติดตั้งเข้ากับตัวอาคารเมื่อโครงสร้างหลักเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำให้ประหยัดเวลาในการก่อผนัง โดยผนังคอนกรีตสำเร็จรูปความหนา 17 เซนติเมตรจะมีค่า U ประมาณ $3.38 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

นอกจากนั้นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปแล้ว ผนังก่ออิฐมวลเบาก็จะถูกนำมาพิจารณาเป็นตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Proposed ด้วย เนื่องจากมีค่า U ที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ที่นิยมทำเป็นผนังอาคาร คือประมาณ $1.05 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ที่ความหนา 17 เซนติเมตร ในขณะที่อิฐมวลเบามีค่า U ประมาณ $1.99 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ นอกจากนี้อิฐมวลเบายังสามารถก่อสร้างได้เร็วกว่าการก่ออิฐมวลเบามาก เนื่องจากมีขนาดของก้อนใหญ่กว่า

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงพิจารณาตัวแปรของผนังที่บัพทั้งหมด 3 แบบ คือ

1. ผนังตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007
ซึ่งใกล้เคียงกับผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูปด้วยฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว
2. ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูน 2 ด้านรวมความหนา 17 เซนติเมตร
3. ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน 2 ด้านรวมความหนา 17 เซนติเมตร

2.3.4 แผงกันแดด

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีแสงแดดแรงเกือบตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ผู้ออกแบบต้องหาทางลดปริมาณความร้อนที่จะผ่านเข้ามาในตัวอาคาร นอกจากการวางทิศทางอาคารให้เหมาะสม หรือการเลือกใช้ผนังอาคารที่มีประสิทธิภาพ การติดตั้งอุปกรณ์กันแดดเพื่อป้องกันหรือลดผลกระทบจากแสงแดดและความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มภาวะน่าสบายภายในอาคารได้

อุปกรณ์กันแดด (Shading Device) แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ชนิด คือ ภายนอกอาคารและภายในอาคาร(ประพันธ์พงศ์ จงปติยัตต์, 2546)

1) ที่กันแดดภายนอกอาคาร ได้แก่ หลังคา ชายคา กันสาด ส่วนยื่นของโครงสร้างพื้นหรือผนัง เฉลียงหรือระเบียง ตรีบหรือแผงกันแดด บานปิดต่าง ๆ และหมายความรวมไปถึง อาคารหรือสิ่งก่อสร้างข้างเคียง ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ด้วย

2) ที่กันแดดภายในอาคาร ได้แก่ ม่าน มู่ลี่ ฉากกั้น เป็นต้นส่วนนกระฉากประเภทต่างๆ และฟิล์มกรองแสง ถือเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคาร(ช่องหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง)

สำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ จะศึกษาเฉพาะแผงกันแดดภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้มีลักษณะเป็นตรีบยื่นออกมาจากผนังทั้งแนวตั้งและแนวนอน ในระยะ 30 และ 60 เซนติเมตร

2.3.5 ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ

การออกแบบอาคารให้สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน โดยไม่จำเป็นต้องใช้แสงสว่างจากหลอดไฟส่องสว่างที่ติดตั้งภายในอาคาร จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของอาคารได้ ซึ่งรูปทรงและทิศทางอาคารที่เหมาะสมก็จะส่งผลให้สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้เต็มที่ด้วย อย่างไรก็ตามอาจจะมีปัจจัยอื่นที่ทำให้ไม่สามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ ไม่ว่าจะเป็นข้อจำกัดเรื่องที่ตั้งอาคารและอาคารข้างเคียง นอกจากนี้แสงสว่างจากธรรมชาติจะแปรผันไปตามสภาพอากาศ ฤดูกาล ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการใช้เทคโนโลยีควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติมาแก้ปัญหา

ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ เป็นระบบที่สามารถควบคุมการเปิดปิดหรือปรับหรือหลอดไฟส่องสว่าง เพื่อให้แต่ละบริเวณมีความสว่างเหมาะสมกับการใช้งาน โดยอาศัยเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแสงที่ติดตั้งไว้ตามบริเวณต่างๆของอาคาร นอกจากเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงแล้ว เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวของมนุษย์ก็เป็นเซนเซอร์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมแสงสว่าง (ดุสิต ธนเพททาย, 2553) ในส่วนของงานวิจัยชิ้นนี้เป็น การจำลองการใช้พลังงานโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งไม่สามารถคำนวณรูปแบบการใช้งานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแสงโดยติดตั้งชั้นละ 2 จุด ห่างจากขอบหน้าต่างอาคาร 4 เมตร และกำหนดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่เหมาะสมเท่ากับ 500 lux

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VISUAL DOE 4.0 โดยจำลองอาคาร Baseline ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 จากนั้นปรับตัวแปรเกี่ยวกับเปลือกอาคารเพื่อให้ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารลดลงและเปรียบเทียบเป็นค่าการประหยัดพลังงาน จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน กับปริมาณการใช้พลังงาน ของอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 โดยมีขั้นตอนรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ศึกษามาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เพื่อให้ทราบถึงข้อกำหนดในการจำลองอาคาร รวมถึงประสิทธิภาพขั้นต่ำของ Baseline และศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน รวมถึง ปัจจัยของเปลือกอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อรวบรวมและกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมในการปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับอาคาร Baseline

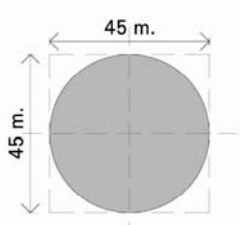
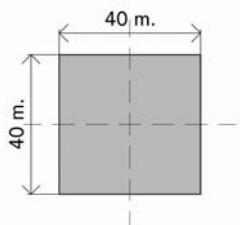
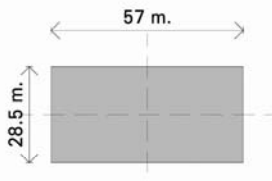
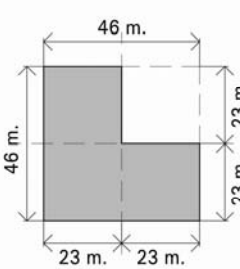
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

จำลองการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 อ้างอิงค่าต่างๆตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เพื่อสร้างอาคาร Baseline และอาคาร Proposed และเก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกันด้วย Microsoft excel และ SPSS Statistics 17.0

3.3 สร้างอาคาร Baseline ของอาคารรูปทรงต่างๆตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

รูปทรงอาคารที่ใช้อาคารที่ศึกษา ประกอบไปอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกัน 9 แบบซึ่งมีค่า SF เท่ากับ 1/1 และ 1/2 ดังแสดงในตาราง ที่ 3.1 จากนั้นหมุนอาคารทีละ 45 องศา รวมอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมด 45 แบบซึ่งมีรูปทรงหรือทิศทางแตกต่างกัน ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดรูปทรงอาคารที่ทำการศึกษา














































C1		Shape Factor (SF)	1/1
		Compactness Index (CI)	11.28
		ความยาวเส้นรอบรูป	141 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,590 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	6,768 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	76,320 ลูกบาศก์เมตร
S1		Shape Factor (SF)	1/1
		Compactness Index (CI)	10
		ความยาวเส้นรอบรูป	160 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,600 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	7,680 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	76,800 ลูกบาศก์เมตร
R1		Shape Factor (SF)	1/2
		Compactness Index (CI)	9.50
		ความยาวเส้นรอบรูป	171 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,624 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	8,208 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	77,952 ลูกบาศก์เมตร
L1		Shape Factor (SF)	1/1
		Compactness Index (CI)	8.63
		ความยาวเส้นรอบรูป	184 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,587 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	8,832 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	76,176 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) แสดงรายละเอียดรูปทรงอาคารที่ทำการศึกษา

L2		Shape Factor (SF)	1/2
		Compactness Index (CI)	7.98
		ความยาวเส้นรอบรูป	198 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,580 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	9,504 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	75,840 ลูกบาศก์เมตร
U1		Shape Factor (SF)	1/1
		Compactness Index (CI)	8.09
		ความยาวเส้นรอบรูป	198 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,602 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	9,504 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	76,896 ลูกบาศก์เมตร
U2		Shape Factor (SF)	1/2
		Compactness Index (CI)	7.89
		ความยาวเส้นรอบรูป	205 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,618 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	9,840 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	77,664 ลูกบาศก์เมตร
X1		Shape Factor (SF)	1/1
		Compactness Index (CI)	8.00
		ความยาวเส้นรอบรูป	200 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,600 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	9,600 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	76,800 ลูกบาศก์เมตร
X2		Shape Factor (SF)	1/2
		Compactness Index (CI)	7.02
		ความยาวเส้นรอบรูป	228 เมตร
		พื้นที่ต่อชั้น	1,600 ตารางเมตร
		พื้นที่ผิวภายนอก	10,944 ตารางเมตร
		ปริมาตรอาคาร	76,800 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3.2 แสดงรูปทรงและทิศทางการอาคารที่ทำการศึกษาทั้งหมด

N
↑

	1	2	3	4	5	6	7	8
C1	 1							
	C1-1							
S1	 2	 3						
	S1-1	S1-2						
R1	 4	 5	 6	 7				
	R1-1	R1-2	R1-3	R1-4				
L1	 8	 9	 10	 11	 12	 13	 14	 15
	L1-1	L1-2	L1-3	L1-4	L1-5	L1-6	L1-7	L1-8
L2	 16	 17	 18	 19	 20	 21	 22	 23
	L2-1	L2-2	L2-3	L2-4	L2-5	L2-6	L2-7	L2-8
U1	 24	 25	 26	 27	 28	 29	 30	 31
	U1-1	U1-2	U1-3	U1-4	U1-5	U1-6	U1-7	U1-8
U2	 32	 33	 34	 35	 36	 37	 38	 39
	U2-1	U2-2	U2-3	U2-4	U2-5	U2-6	U2-7	U2-8
X1	 40	 41						
	X1-1	X1-2						
X2	 42	 43	 44	 45				
	X2-1	X2-2	X2-3	X2-4				

อาคารแต่ละรูปทรงและทิศทางจะมีชื่อเรียกและหมายเลขกำกับ เช่นอาคารรูปทรงและทิศทางแบบที่ 1 ชื่อ C1-1 แบบที่ 2 ชื่อ S1-1 แบบที่ 3 ชื่อ S1-2 เป็นต้น โดยกำหนดให้ทิศเหนืออยู่ที่ตำแหน่ง ด้านบนของรูปทรง





การจำลองการใช้พลังงานของอาคาร จะพิจารณาเฉพาะส่วนพื้นที่สำนักงาน ซึ่งมีพื้นที่ต่อชั้นประมาณ 1,600 ตารางเมตร ความสูงพื้นถึงพื้น 4 เมตร ความสูงรวมทั้งหมด 12 ชั้น ซึ่งอ้างอิงมาจากการศึกษาเรื่องการคำนวณ OTTV สำหรับอาคารพาณิชย์ในประเทศไทย (Chirarattananon and Taveekun, 2004) โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้น รายละเอียดของอาคาร Baseline แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของอาคาร Baseline

เปลือกอาคาร	<ul style="list-style-type: none"> ● หลังคา : Insulation Entirely above Deck – U 0.360 W/m².°C ● ผนังอาคาร : Steel Framed – U 0.705 W/m².°C ● พื้น : Steel Joist – U 1.986 W/m².°C ● กระจก : U 0.681 W/m².°C / SHGC 0.25 ● อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR)ไม่เกิน 40% ● ไม่มีแผงบังแดด
งานระบบ	<ul style="list-style-type: none"> ● LPD : 11 W/m² ● Centrifugal Chiller COP : 6.10 ● HVAC System : Variable Air Volume ● ไม่มีระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ
อื่นๆ	<ul style="list-style-type: none"> ● กำหนดให้ไม่มีการบังเงาของรูปทรงอาคาร (Self Shading)

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมถึงปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร Baseline แต่ละแบบมาจากค่าเฉลี่ยของอาคารรูปแบบดังกล่าวที่มีการหมุน 0, 90, 180 และ 270 องศา ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ดังตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและปริมาณการใช้พลังงานอาคาร Baseline ของอาคารแบบ X2-1 ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและปริมาณการใช้พลังงานอาคาร Baseline ของอาคารแบบ X2-1

	0 องศา	90 องศา	180 องศา	270 องศา	ค่าเฉลี่ย
					
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	233,768	242,856	233,768	242,856	238,312
ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/m².y)	152.58	158.41	152.58	158.41	155.50

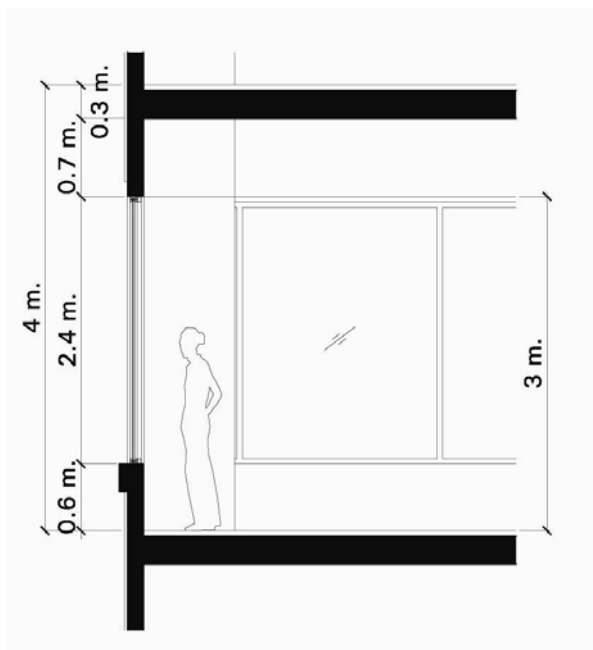
ตามตารางที่ 3.4 แสดงว่าอาคารแบบ X2-1 (0 องศา) มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเท่ากับ 233,768 และมีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 152.58 kWh/m².y จากนั้นนำอาคารมาหมุน 90, 180 และ 270 องศา และนำค่าใช้จ่ายด้านพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงานมาเฉลี่ยกัน ทำให้อาคาร Baseline ของรูปทรงแบบ X2-1 มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเท่ากับ 238,312 และมีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 155.50 Kwh/Y. m²

3.4 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคารและรูปทรงอาคาร ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนอาคาร Proposed

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคารและรูปทรงอาคารออกเป็น 5 อย่างคือ สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR) กระจกอาคาร ผนังอาคาร แผงกันแดด และระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ โดยรวมเอาประสิทธิภาพของเปลือกอาคารที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เข้ามาเป็นตัวแปรในการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารของอาคาร Proposed ให้มีการใช้พลังงานแตกต่างไปจากอาคาร Baseline ด้วย ซึ่งตัวแปรต่างๆมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR)

กำหนดความสูงของช่องเปิดและระดับฝ้าเพดานเท่ากัน 2.4 ในทั้งสองกรณีตามรูปที่ 3.1 แสดงรูปตัดบริเวณริมผนังของอาคารที่ทำการศึกษา โดยใช้ระยะห่างของช่องเปิดเป็นตัวกำหนดค่า WWR ให้เท่ากับ 40% และ 60% ตามลำดับตามตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.1 แสดงรูปตัดบริเวณริมผนังของอาคารที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 3.5 แสดงตัวแปรด้านสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร

สัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร (WWR)	
40	อาคารมีพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและ หรือของผนังโปร่งแสง คิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมด (WWR 40%)
60	อาคารมีพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงและ หรือของผนังโปร่งแสง คิดเป็นร้อยละ 60 ของพื้นที่ผนังด้านนอกทั้งหมด (WWR 60%)

3.4.2 กระจกอาคาร

กระจกที่เป็นตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงานมีทั้งหมด 5 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงตัวแปรด้านกระจกอาคาร

กระจก		U-Value (W/m ² .°C)	SHGC
G0	กระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007	6.81	0.25
G1	กระจกลามิเนตสีเขียว ¹ Green 6 mm. A/N + Clear PVB 0.76 mm. + Clear 6 mm. A/N	5.44	0.51
G2	กระจกลามิเนตสีเขียว เคลือบสาร Low-E ⁶ Clear 6 mm. A/N + Clear PVB 0.76 mm. + Green 6 mm. H/S (Low-E #4)	2.93	0.37
G3	กระจกลามิเนตสีเขียว เคลือบสารสะท้อนแสง ⁶ Reflective Green 6 mm. H/S + Clear PVB 1.52 mm. +Clear 6 mm. H/S	5.33	0.27
G4	กระจกลามิเนตอินซูลเลตสีเขียว เคลือบสาร Low-E ⁶ Clear 6 mm A/N + Clear PVB 0.38 mm. + Green 6 mm. A/L (Low-E #4) + 10 mm. bending spacer with argon gas + Clear 6 mm A/N	1.85	0.28

¹ อ้างอิงข้อมูลตามภาคผนวก ข

3.4.3 ผนังอาคาร

ผนังอาคารที่เป็นตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงานมีทั้งหมด 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.7 สำหรับค่า U-Value ของผนังชนิดที่ 1(W1) ใช้ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ในส่วนของผนังชนิดที่ 2 และ 3 (W2, W3) คำนวณโดยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 โดยอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) จาก ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ. 2552

ตารางที่ 3.7 แสดงตัวแปรด้านผนังอาคาร

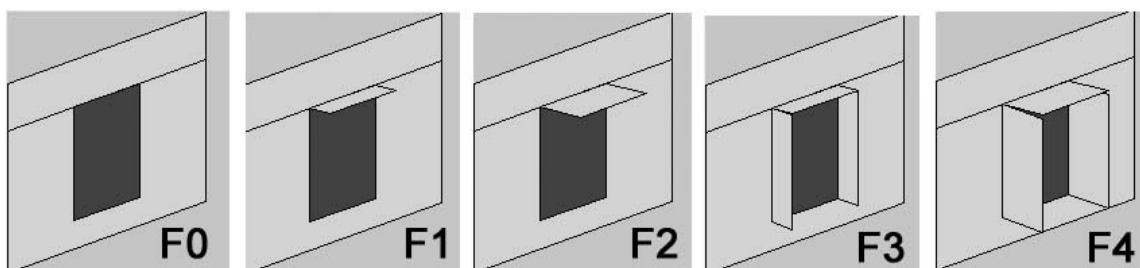
ชนิดผนัง		U-Value (W/m ² .°C)
W0	ผนังตามมาตรฐาน Baseline ASHRAE (ผนังอลูมิเนียมสำเร็จรูป+ฉนวน)	0.705
W1	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปหนา 0.17 ม. (ปูนฉาบ 15 มม.+ผนังคอนกรีต 140 มม.+ปูนฉาบ 15 มม.)	3.38
W2	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม. (ปูนฉาบ 10 มม.+ผนังมวลเบา 150 มม.+ปูนฉาบ 10 มม.)	1.05

3.4.4 แผงกันแดด

สำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ จะศึกษาเฉพาะแผงกันแดดภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้มีลักษณะเป็นครีดยื่นออกมาจากผนังทั้งแนวตั้งและแนวนอน ในระยะ 30 และ 60 เซนติเมตร ตามรายละเอียดในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงตัวแปรด้านแผงกันแดด

แผงกันแดด	
F0	ไม่มีแผงกันแดด
F1	แผงกันแดดยื่น 30 ซม. แนวนอนเหนือช่องเปิด
F2	แผงกันแดด 60 ซม. แนวนอนเหนือช่องเปิด
F3	แผงกันแดด 30 ซม. แนวนอนเหนือช่องเปิดและแนวตั้งด้านข้างช่องเปิด
F4	แผงกันแดด 60 ซม. แนวนอนและแนวตั้งด้านข้างช่องเปิด



ภาพที่ 3.1 แสดงรูปแบบของแผงกันแดด

3.4.5 ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ

ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติเลือกใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแสงโดยติดตั้งชั้นละ 2 จุดห่างจากขอบหน้าต่างอาคาร 4 เมตร กำหนดให้พื้นที่ทำงานสูงจากพื้น 0.80 เมตร ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่เหมาะสมเท่ากับ 500 lux แบ่งเป็น 2 กรณีคือ ติดตั้งเซ็นเซอร์และไม่ติดตั้งเซ็นเซอร์ ดังสรุปในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงตัวแปรด้านระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ

Daylight Sensor	
D0	ไม่ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแสง
D1	ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความส่องสว่างของแสง

3.5 จำลองการใช้พลังงานของอาคาร Baseline และอาคาร Proposed

การจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Baseline นั้นจะใช้ค่ามาตรฐานต่างๆตามที่กำหนดไว้ใน ASHRAE 90.1 2007 สำหรับอาคาร Proposed นั้นจะมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรด้านเปลือกอาคารดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 รายละเอียดของอาคาร Proposed


เปลือกอาคาร	<ul style="list-style-type: none"> ● หลังคา : Insulation Entirely above Deck – U 0.360 W/m².°C (รูปแบบเหมือนกับอาคาร Baseline) ● ผนังอาคาร : 3 แบบ W0 (รูปแบบเหมือนกับอาคาร Baseline) / W1 / W2 ● พื้น : พื้นที่นิยมในประเทศไทย พื้นคอนกรีตหนา 0.30 U= 2.5 W/m².°C ● กระจก : 5 แบบ G0 (รูปแบบเหมือนกับอาคาร Baseline) / G1 / G2 / G3 / G4 ● อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง : 2 แบบ WWR 40% (รูปแบบเหมือนกับอาคาร Baseline) / WWR 60% ● แผงบังแดด : 5 แบบ F0 (รูปแบบเหมือนกับอาคาร Baseline) / F1 / F2 / F3 / F4
งานระบบ	<ul style="list-style-type: none"> ● LPD : 11 W/m² ● Centrifugal Chiller COP : 6.10 ● HVAC System : Variable Air Volume ● ระบบ Lighting Sensor : 2 แบบ D0 (รูปแบบเหมือนกับอาคาร Baseline) / D1
อื่นๆ	<ul style="list-style-type: none"> ● กำหนดให้มีการบังเงาของรูปทรงอาคาร (Self Shading)

รูปทรงและทิศทางของอาคารที่ศึกษามีทั้งหมด 45 แบบ ตัวแปรที่ศึกษามีทั้งหมด 5 ตัวแปร 17 แบบ ดังนั้นอาคาร Proposed ในแต่ละรูปทรงจะมีรูปแบบเปลือกอาคารและระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติที่แตกต่างกัน 300 แบบ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้มีการกำหนดชื่อของการจำลองพลังงานในแต่ละแบบดังนี้


รูปทรง,ทิศทางอาคาร / WWR / กระจก / ผนัง / แผงกันแดด / ระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ

ตัวอย่าง

L2-1/60/G1/W2/F3/D1 หมายถึง

- อาคารรูปแบบ L2-1 
- มีสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร หรือ WWR เท่ากับ 60 %
- กระจกที่ใช้คือกระจกแบบ G1 : กระจกลามิเนตสีเขียว
- ผนังอาคารที่ใช้คือผนังแบบ W2 : ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม.
- อาคารมีแผงบังแดดแบบ F3 : แผงกันแดด 30 ซม. แนวนอนเหนือช่องเปิดและแนวตั้งด้านข้างช่องเปิด
- อาคารมีระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ : D1

U1-1/40/G0/W0/F0/D0 หมายถึง

- อาคารรูปแบบ U1-1 
- มีสัดส่วนของช่องเปิดกับผนังอาคาร หรือ WWR เท่ากับ 40 %
- กระจกที่ใช้คือกระจกแบบ G0 : กระจกตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007
- ผนังอาคารที่ใช้คือผนังแบบ W2 : ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.17 ม.
- อาคารมีแผงบังแดดแบบ F3 : แผงกันแดด 30 ซม. แนวนอนเหนือช่องเปิดและแนวตั้งด้านข้างช่องเปิด
- อาคารมีระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ : D1

3.6 การเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพของอาคาร Proposed เพื่อหาค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)

เก็บรวบรวมข้อมูล ค่าการประหยัดพลังงานของอาคาร Proposed ทั้งหมด 13,500 แบบ ด้วยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร Proposed และอาคาร Baseline โดยการเทียบเป็นร้อยละ ยกตัวอย่างอาคาร X2-1/40/G0/W0/F0/D0

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร Baseline X2-1 เท่ากับ	238,312
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร X2-1/40/G0/W0/F0/D0 เท่ากับ	221,875
อาคาร X2-1/40/G0/W0/F0/D0 มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานน้อยกว่าอาคาร Baseline	16,437
ดังนั้นอาคาร X2-1/40/G0/W0/F0/D0 มีค่าการประหยัดพลังงาน เท่ากับ	6.90 %

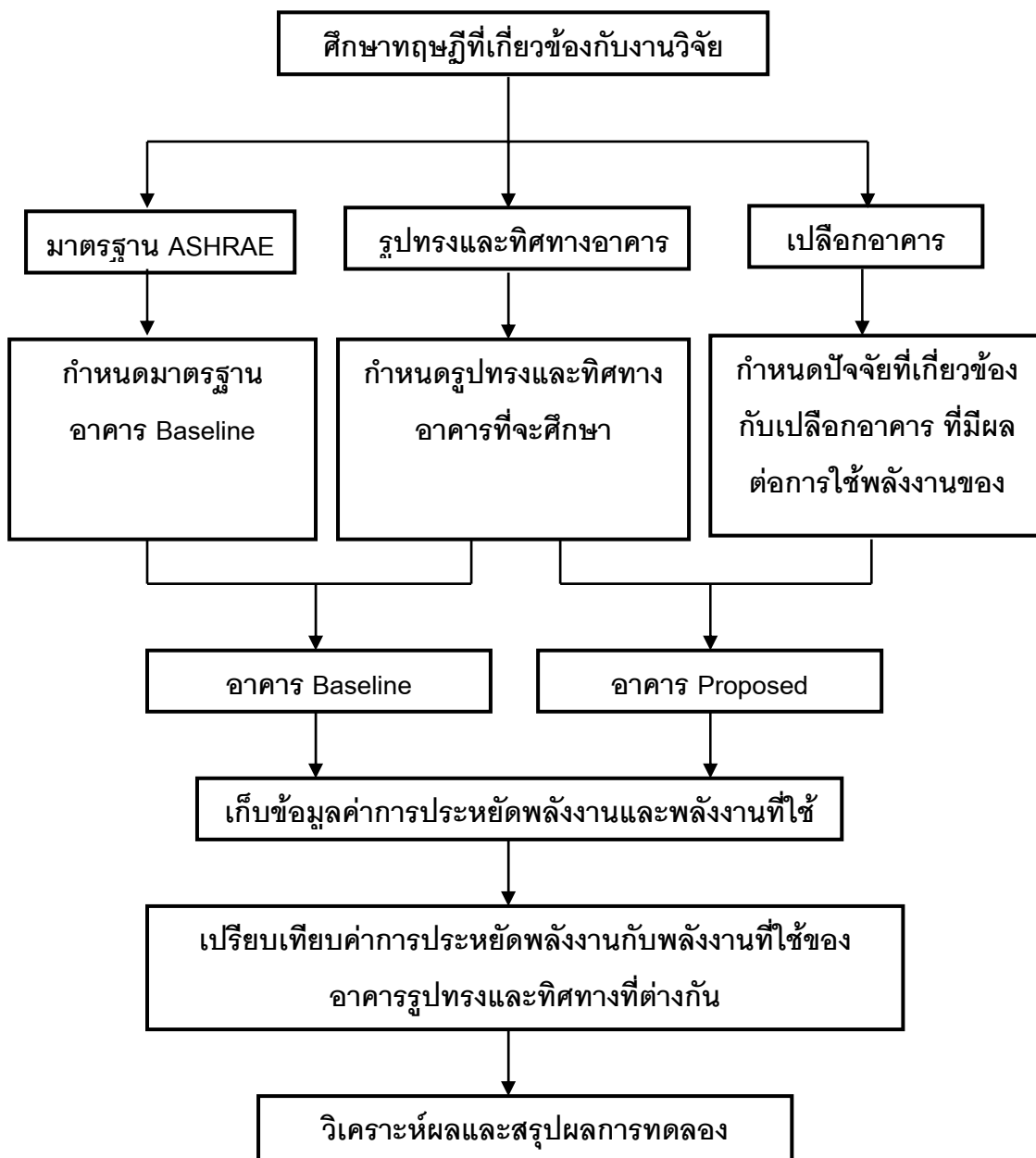
3.7 เปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)กับพลังงานที่ใช้(EUI) ของอาคารรูปทรงและทิศทางที่ต่างกัน

เก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่มีรูปทรงแตกต่างกันด้วย Microsoft excel และ SPSS Statistics 17.0

3.8 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

สรุปผลการจำลองทั้งหมดและเสนอแนวทางในการออกแบบรูปทรงและทิศทางอาคารให้มีค่าการประหยัดพลังงานและปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม

แผนภูมิที่ 3.1 Flow Chart แสดงวิธีการวิจัย



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การจำลองผลอาคาร Proposed ทั้งหมด 13,500 แบบ ด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร ทำให้ได้ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณการใช้พลังงาน(EUI) ของอาคาร Proposed ในแต่ละแบบ ซึ่งมีค่าการประหยัดพลังงานและปริมาณการใช้พลังงานแตกต่างกันออกไป โดยทำการวิเคราะห์ผลการทดลองตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- 4.1 อาคาร Proposed เริ่มต้น
- 4.2 ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI)
- 4.3 การให้คะแนนตามค่า %SAVE และ EUI
- 4.4 อาคาร Proposed ที่มีค่า %SAVE ตั้งแต่ 0 ขึ้นไป
- 4.5 อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร(SF) กับ%SAVE และ EUI
- 4.6 อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) กับ %SAVE และ EUI
- 4.7 อิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อ %SAVE และ EUI
- 4.8 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น

ในรายละเอียดส่วนของผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดให้

“อาคาร Baseline” หมายถึง อาคารอ้างอิงที่ได้มีการจำลองพลังงานตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 APPENDIX G. รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

“อาคาร Proposed” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรด้านเปลือกอาคาร รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

“อาคาร Proposed เริ่มต้น” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา โดยอาคารยังไม่มีมีการปรับตัวแปรด้านเปลือกอาคารใดๆ โดยมีรูปแบบอาคารคือ รูปทรง,ทิศทางอาคาร/40/G0/W0/F0/D0

“%SAVE” หมายถึง Percentage improvement หรือ ค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

“EUI” หมายถึง Energy Use Index หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่ได้ได้รับมาจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ต่อหน่วยพื้นที่

“SF” อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร

“CI” หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก

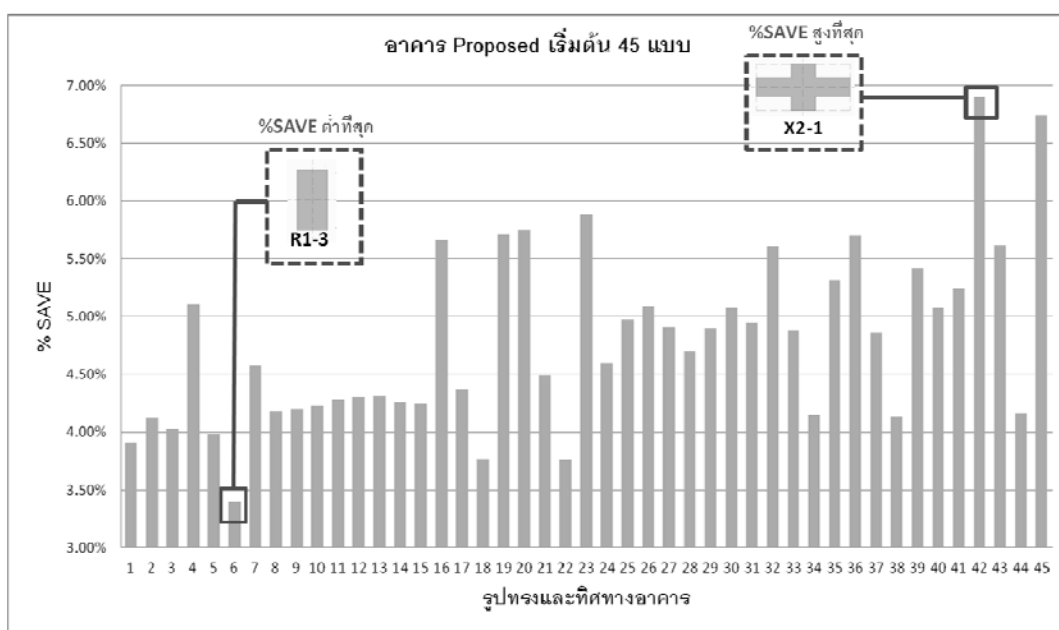
“คะแนน EUI” หมายถึง คะแนนที่ได้รับจากค่า EUI โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงคะแนน คือ A, B, C และ D ตามลำดับ

“คะแนน %SAVE” หมายถึง คะแนนที่ได้รับจากค่า %SAVE โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงคะแนน คือ %A, %B, %C และ %D ตามลำดับ

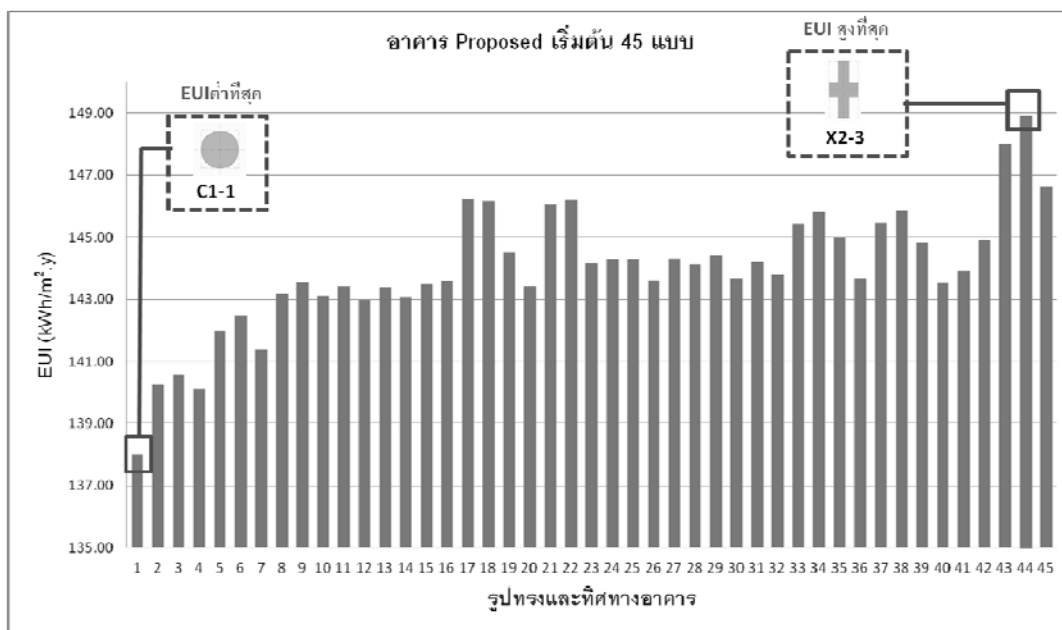
“คะแนนรวม” หมายถึง คะแนนที่ได้จากการเฉลี่ยคะแนน EUI และคะแนน %SAVE โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงคะแนน คือ A(T), B(T), C(T) และ D(T) ตามลำดับ

4.1 อาคาร Proposed เริ่มต้น

อาคาร Proposed เริ่มต้น คืออาคารที่ยังไม่มีการปรับตัวแปรด้านเปลือกอาคารใดๆ โดยมีรูปแบบอาคารคือ **รูปทรง,ทิศทางอาคาร/40/G0/W0/F0/D0** จากรูปแบบอาคารทั้งหมด 45 แบบพบมีค่า %SAVE อยู่ที่ 3.40% จนถึง 6.90% และ EUI ที่ 138.00 ถึง 148.91 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.1 และ 4.2 เปรียบเทียบค่า %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น



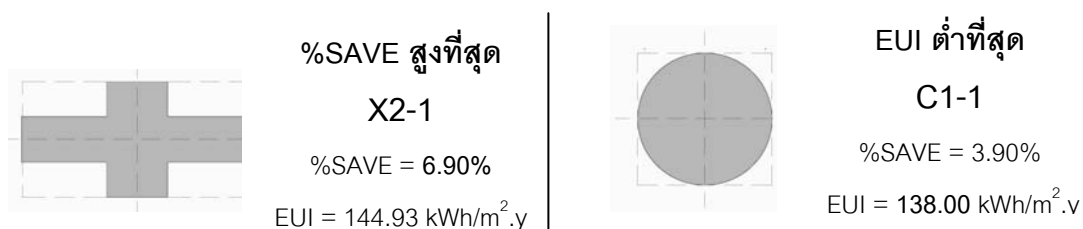
แผนภูมิที่ 4.1 แสดง %SAVE ของอาคาร Proposed เริ่มต้น



แผนภูมิที่ 4.2 แสดง EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น

จากแผนภูมิที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่า %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้นในแต่ละรูปทรงและทิศทางอาคาร พบว่าอาคารที่มี %SAVE สูงสุดคืออาคารแบบที่ 42 หรือ X2-1 มี % SAVE เท่ากับ 6.90% อาคารที่มี %SAVE ต่ำสุดคืออาคารแบบที่ 6 หรือ R1-3 มี % SAVE เท่ากับ 3.40% ในส่วนของอาคารที่มีค่า EUI สูงสุดคืออาคารแบบที่ 44 หรือ X2-3 มี EUI เท่ากับ 148.91 kWh/m².y อาคารที่มีค่า EUI ต่ำที่สุดคืออาคารแบบที่ 1 หรือ C1-1 มี EUI เท่ากับ 138.00 kWh/m².y

จากการเปรียบเทียบ %SAVE และ EUI ของอาคารแต่ละแบบ¹ พบว่าในกรณีที่ไม่ต้องการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคาร อาคารแบบ X2-1 จะทำให้ได้ค่า %SAVE สูงสุดตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 สำหรับอาคารที่ใช้พลังงานน้อยสุดคืออาคารรูปแบบ C1-1 และพบว่าอาคารแบบที่มี SF 1/2 วางอาคารตามแนวทิศตะวันออกตะวันตกจะมีโอกาสที่จะมีค่า %SAVE สูงกว่าอาคารแบบอื่น



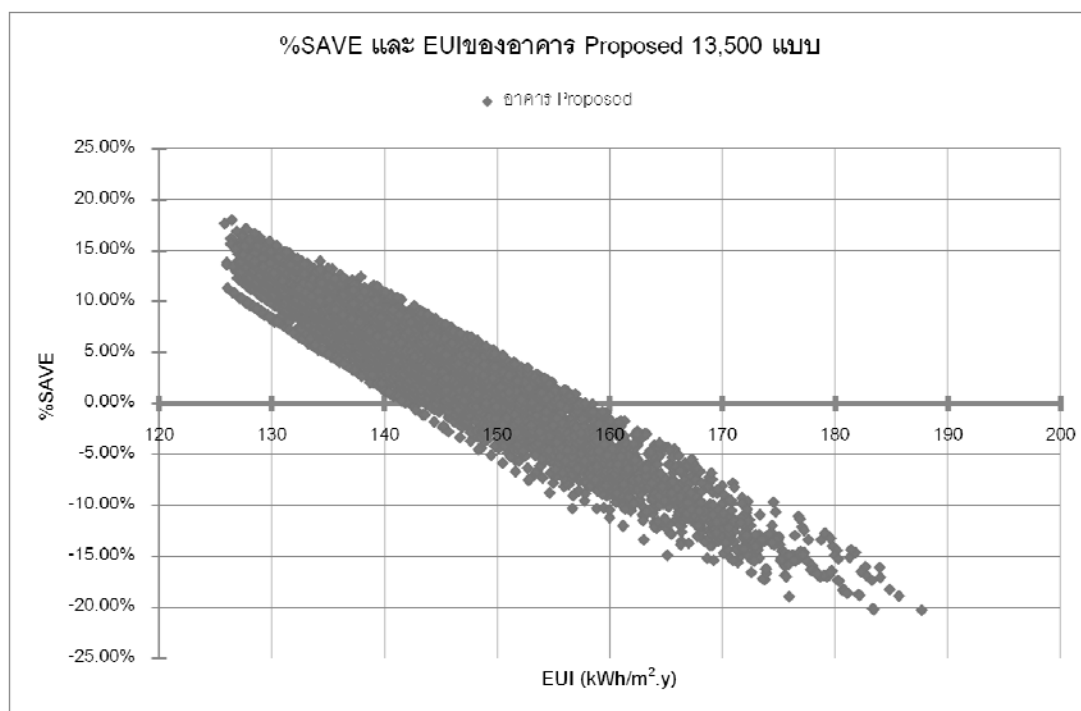
ภาพที่ 4.1 อาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า % SAVE สูงสุดและ EUI ต่ำที่สุด

¹ ตารางแสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 45 แบบ ดูในภาคผนวก ค

อาคารแบบ X2-1 ที่มี %SAVE สูงสุดเท่ากับ 6.90% นั้น มีค่า EUI เท่ากับ 144.93 kWh/m².y ซึ่งมากกว่าอาคารแบบ C1-1 ที่มีค่า EUI ต่ำสุดเท่ากับ 138.00 kWh/m².y แต่มี %SAVE เพียง 3.90%

4.2 ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI)

นอกเหนือจากรูปทรงและทิศทางอาคารแล้ว การปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารก็ส่งผลต่อ %SAVE และ EUI ด้วย ดังนั้นอาคารที่มีรูปทรงและทิศทางได้เปรียบตั้งแต่แรก ถ้ามีการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ย่อมจะสามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้อีกด้วย การเปรียบเทียบรูปแบบอาคารทั้งหมดจะทำให้สามารถทราบถึงรูปแบบของอาคารที่มีค่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์ดี

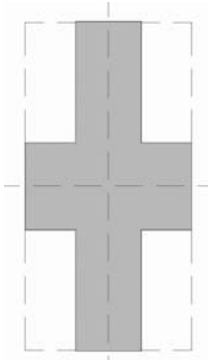
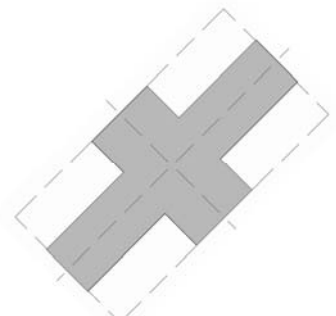


แผนภูมิที่ 4.3 แสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed ทั้งหมด

จากแผนภูมิที่ 4.3 พบว่าอาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงาน หรือ %SAVE สูงที่สุดในอาคาร Proposed ทั้ง 13,500 แบบ คือ อาคารแบบ X2-4/40/G4/W2/F4/D1 โดยมีค่า %SAVE เท่ากับ 18.01% สำหรับอาคารที่มีค่า %SAVE ต่ำที่สุดคือ อาคารแบบ X2-3/60/G1/W1/F0/D0 ซึ่งมีค่า %SAVE เท่ากับ -20.24% และในส่วนของปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร หรือ EUI อาคารแบบ X2-3/60/G1/W1/F0/D0 เป็นรูปแบบที่มี EUI สูงที่สุด คือ 187.65 kWh/m².y อาคาร

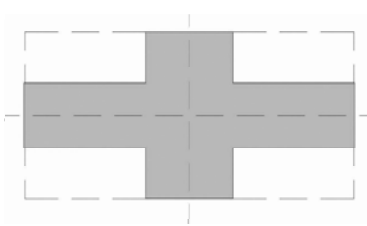
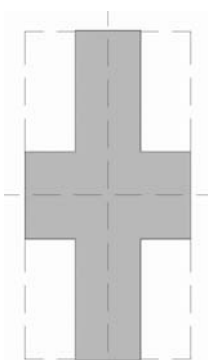
แบบ X2-1/40/G4/W2/F4/D1 เป็นรูปแบบที่มี EUI ต่ำที่สุด คือ 125.83 kWh/m².y ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ค่าสูงสุดและต่ำสุด ของ %SAVE และ EUI

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุด ของ %SAVE

		%SAVE	
ต่ำที่สุด	X2-3/60/G1/W1/F0/D0		
		รูปทรง	X2-3
		WWR	60%
		กระจก	ลามิเนตสีเขียว
		ผนัง	คอนกรีตเสริมเหล็ก
		แผงกันแดด	ไม่มี
		ควบคุมแสง	ไม่มี
		%SAVE	-20.24%
EUI (kWh/m ² .y)		187.65	
สูงที่สุด	X2-4/40/G4/W2/F4/D1		
		รูปทรง	X2-4
		WWR	40%
		กระจก	ลามิเนต-อินซูลेट Low-E
		ผนัง	มวลเบา
		แผงกันแดด	60 ซม. แนวตั้งและแนวนอน
		ควบคุมแสง	มี
		%SAVE	18.01%
EUI (kWh/m ² .y)		126.45	

จากตารางที่ 4.1 พบว่ารูปทรงที่มีค่า % SAVE สูงสุดและต่ำสุดเป็นรูปทรงเดียวกัน คือ รูปทรงแบบ X-2 แต่มีทิศทางการวางอาคารแตกต่างกัน สำหรับอาคารที่มี %SAVE สูงมีเปลือกอาคารที่มีคุณสมบัติค่อนข้างดี รวมถึงมีการใส่แผงบังแดดและระบบควบคุมแสงอัตโนมัติ ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกับอาคาร Baseline แล้ว ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงถึง 18.01% ในส่วนของอาคารที่มี %SAVE ต่ำมีคุณสมบัติของเปลือกอาคารต่ำกว่าอาคาร Baseline ไม่ว่าจะเป็นกระจกหรือผนัง นอกจากนี้ยังมีค่า WWR สูงกว่าอาคาร Baseline อีกด้วย รวมถึงไม่มีการใช้แผงบังแดดและระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ

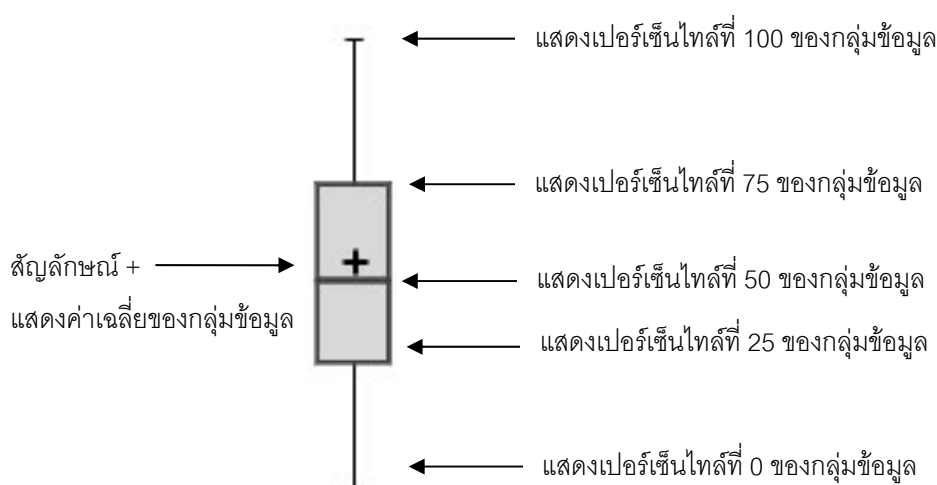
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุด ของ EUI

		EUI	
ต่ำที่สุด	X2-1/40/G4/W2/F4/D1		
		รูปทรง	X2-1
		WWR	40%
		กระจก	ลามิเนต-อินซูลेट Low-E
		ผนัง	มวลเบา
		แผงกันแดด	60 ซม. แนวตั้งและแนวนอน
		ควบคุมแสง	มี
		%SAVE	17.63%
		EUI (kWh/m ² .y)	125.83
สูงที่สุด	X2-3/60/G1/W1/F0/D0		
		รูปทรง	X2-3
		WWR	60%
		กระจก	ลามิเนตสีเขียว
		ผนัง	คอนกรีตเสริมเหล็ก
		แผงกันแดด	ไม่มี
		ควบคุมแสง	ไม่มี
		%SAVE	-20.24%
		EUI (kWh/m ² .y)	187.65

จากตารางที่ 4.2 พบว่ารูปทรงที่มีค่า EUI สูงสุดและต่ำสุดเป็นรูปทรงเดียวกัน คือรูปทรงแบบ X-2 แต่มีทิศทางการวางอาคารแตกต่างกัน สำหรับอาคารที่มี EUI สูงที่สุดเป็นอาคารเดียวกับอาคารที่มี %SAVE ต่ำสุด คือ X2-3/60/G1/W1/F0/D0 ซึ่งมีคุณสมบัติของเปลือกอาคารต่ำกว่าอาคาร Baseline ตามที่กล่าวมาแล้ว ในส่วนของอาคารที่มีค่า EUI น้อยที่สุดกลับไม่ใช่อาคารเดียวกับอาคารที่มี %SAVE สูงที่สุด แต่มีรูปทรงและเปลือกอาคารแบบเดียวกัน ต่างกันเพียงทิศทางการวางอาคาร

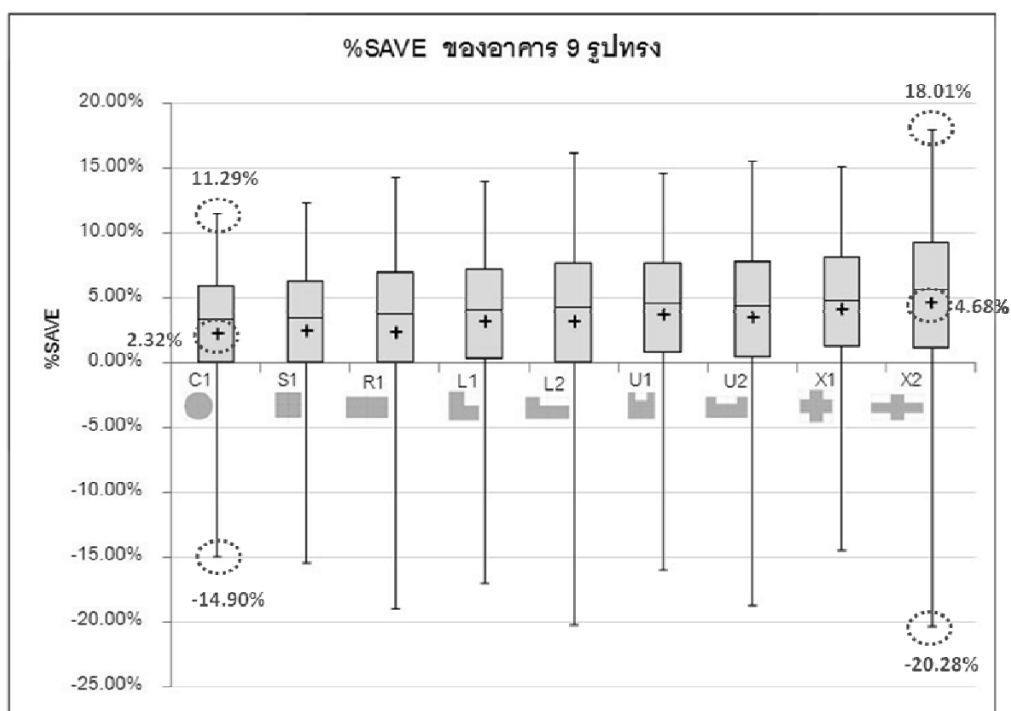
พบว่าอาคารที่มี %SAVE และ EUI ทั้งสูงสุดและต่ำสุดเป็นอาคารรูปทรงเดียวกันคือเป็นแบบตัว X ที่มี SF เท่ากับ 1/2 แต่มีทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกันอย่างไรก็ตามการที่ข้อมูลมีจำนวนมากการนำเฉพาะค่าสูงสุดและต่ำสุดมาพิจารณาอาจจะไม่สามารถระบุได้ว่าอาคารที่มีรูปทรงและทิศทางแบบใด มีแนวโน้มที่จะมีค่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์ดี

นอกจากพิจารณาอาคารที่มี %SAVE และ EUI สูงสุดและต่ำสุดแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ %SAVE และ EUI โดยแยกตามกลุ่มของรูปทรงและทิศทางอาคาร โดยวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิแบบ Box plot ใช้สัญลักษณ์เพื่อแสดงรายละเอียดของ %SAVE และ EUI ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 สัญลักษณ์แสดงรายละเอียดของ %SAVE และ EUI

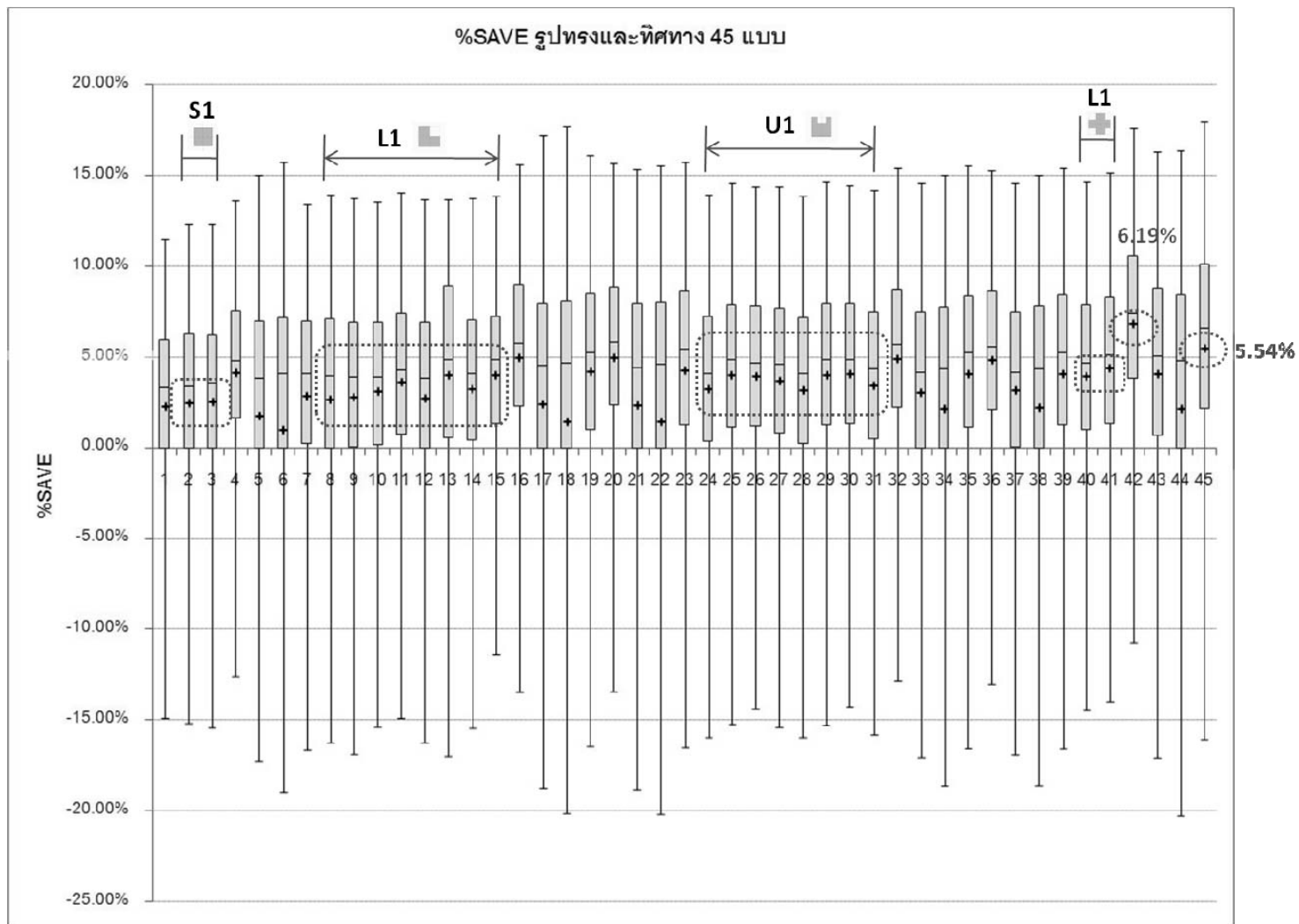
เมื่อพิจารณาในส่วนของ %SAVE เฉพาะรูปทรงอาคารทั้งหมด 9 แบบ พบว่า อาคารแบบ C1 หรืออาคารที่มีผังพื้นเป็นรูปวงกลม มีค่าเฉลี่ยของ %SAVE น้อยที่สุดคือ 2.32% และมีช่วงของ %SAVE น้อยที่สุด คืออยู่ในช่วง -14.90 % ถึง 11.29% สำหรับอาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุดเท่ากับ 4.68% คืออาคารแบบ X2 หรืออาคารที่มีลักษณะผังพื้นเป็นรูปกากบาท ที่มี SF เท่ากับ 1/2 นอกจากนั้นอาคารแบบ X2 ยังเป็นอาคารที่มีช่วงของ %SAVE มากที่สุด คืออยู่ในช่วง -20.24% ถึง 18.01% ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.4 แสดง %SAVE ของอาคาร 9 รูปทรง



แผนภูมิที่ 4.4 แสดง %SAVE ของอาคาร 9 รูปทรง

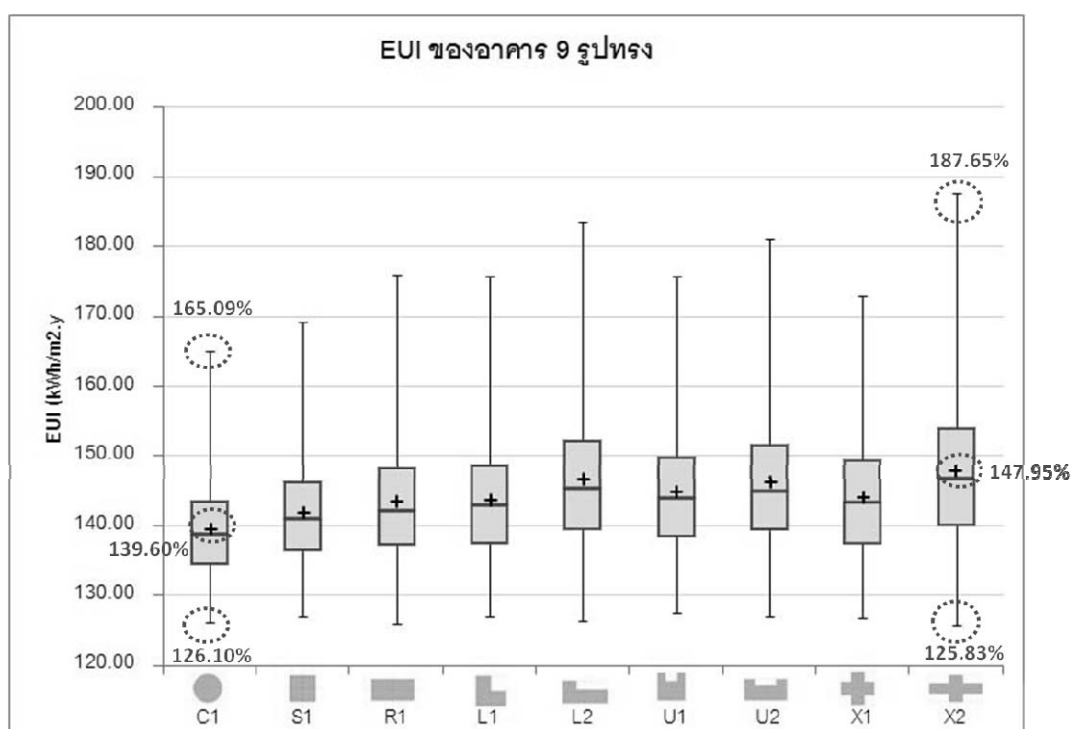
เมื่อพิจารณาแยกย่อยลงไปในส่วนของทิศทางอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.5 แสดง %SAVE ของอาคาร 45 แบบ พบว่า อาคารแบบ X2-1 หรืออาคารแบบ X2 ในทิศทางแบบที่ 1 คือวางอาคารแนวขนานตามทิศตะวันออกและตะวันตก มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงกว่าอาคารรูปแบบอื่นๆ อย่างชัดเจน คือ 6.91% นอกจากนี้ อาคารที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE เกิน 5% มีเพียงสองแบบคือ X2-1 และ X2-4 ซึ่งส่งผลให้อาคารแบบ X2 มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงกว่าอาคารรูปทรงอื่น

สำหรับอาคารที่มี SF 1/1 ค่าเฉลี่ยของ %SAVE ในแต่ละทิศทางจะไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเท่าอาคารที่มี SF เท่ากับ 1/2 นอกจากนี้พบว่าอาคารทุกรูปทรงและทิศทางที่ทำการศึกษามีค่า %SAVE สูงสุดมากกว่า 6% ซึ่งเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำของ TREES-NC Ver 1.1 และในส่วนของเกณฑ์ LEED-NC 2009 ได้กำหนดให้ %SAVE ขั้นต่ำสุดเท่ากับ 12% มีเพียงรูปทรง C1 หรือวงกลมเท่านั้นที่ค่า %SAVE สูงสุดไม่ถึง 12% โดยมีค่า %SAVE เท่ากับ 11.29% ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบเปลือกอาคารหรืองานระบบให้มีประสิทธิภาพมาก



แผนภูมิที่ 4.5 แสดง %SAVE ของอาคาร 45 แบบ

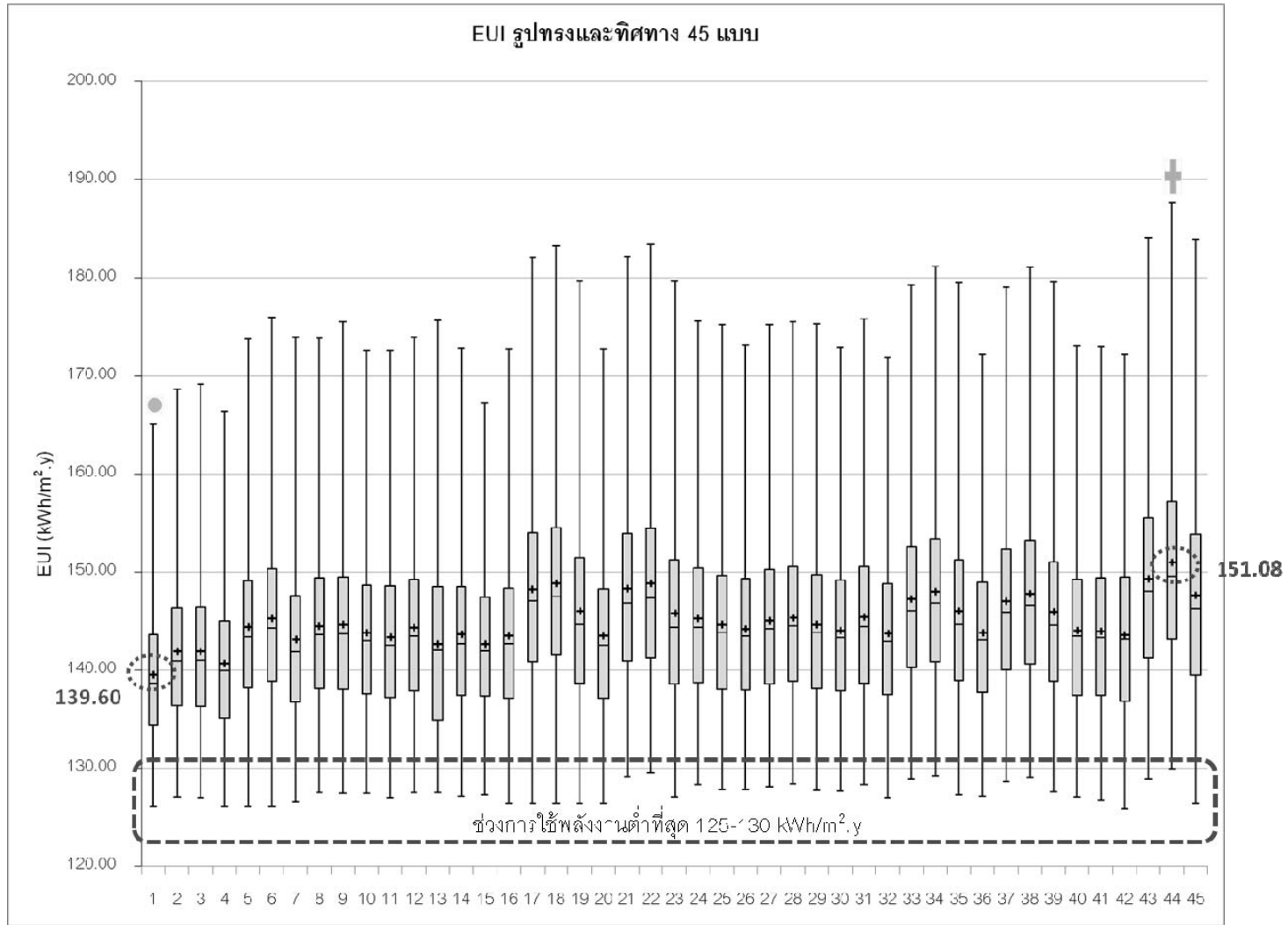
เมื่อพิจารณาในส่วนของ EUI เฉพาะรูปทรงอาคารทั้งหมด 9 แบบ พบว่า อาคารแบบ C1 หรืออาคารที่มีผังพื้นเป็นรูปวงกลม มีค่าเฉลี่ยของ EUI น้อยที่สุดเท่ากับ 139.60 kWh/m².y และมีช่วงของการใช้พลังงานน้อยที่สุด คืออยู่ในช่วง 126.10 kWh/m².y ถึง 165.09 kWh/m².y สำหรับอาคารที่มีค่าเฉลี่ย EUI สูงที่สุดเท่ากับ 147.95 kWh/m².y คืออาคารแบบ X2 หรืออาคารที่มีลักษณะผังพื้นเป็นรูปกากบาท ที่มี SF เท่ากับ 1/2 นอกจากนั้นอาคารแบบ X2 ยังเป็นอาคารที่มีช่วงของการใช้พลังงานมากที่สุด คืออยู่ในช่วง 125.83 kWh/m².y ถึง 187.65 kWh/m².y ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.6 แสดง EUI ของอาคาร 9 รูปทรง



แผนภูมิที่ 4.6 แสดง EUI ของอาคาร 9 รูปทรง

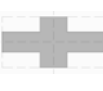





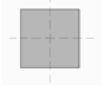


เมื่อพิจารณาแยกย่อยลงไปในส่วนของทิศทางอาคาร ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.7 แสดง EUI ของอาคาร 45 แบบ พบว่า อาคารแบบ X2-1 หรืออาคารแบบ X2 ในทิศทางแบบที่ 3 คือวางอาคารแนวขนานตามทิศเหนือใต้ มีค่าเฉลี่ย EUI สูงกว่าอาคารรูปแบบอื่นๆ อย่างชัดเจน คือ 151.08 kWh/m².y และเป็นอาคารเดียวที่มีค่าเฉลี่ย EUI เกิน 150 kWh/m².y


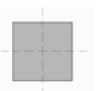






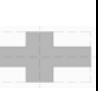
ค่า EUI ต่ำสุดของอาคารทุกแบบ อยู่ระหว่าง 125-130 kWh/m².y เท่านั้น แต่ค่า EUI สูงสุดค่อนข้างมีช่วงกว้างกว่า คือ อยู่ระหว่าง 165-190 kWh/m².y



แผนภูมิที่ 4.7 แสดง EUI ของอาคาร 45 แบบ

ตารางที่ 4.3 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 9 รูปทรงตาม %SAVE และ EUI

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 ² .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 4.3 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 9 รูปทรงตาม %SAVE และ EUI โดยเรียงตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารจากมากไปน้อย ดังนั้นค่าเฉลี่ย %SAVE เรียงจากมากไปน้อย ส่วนค่าเฉลี่ย EUI เรียงจากน้อยไปมาก พบว่า ค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ไม่สอดคล้องกันเลย รูปทรงที่อยู่ในลำดับท้ายของค่าเฉลี่ย %SAVE กลับอยู่ในลำดับต้นๆของค่าเฉลี่ย EUI ส่วนรูปทรงที่อยู่ในลำดับต้นของค่าเฉลี่ย %SAVE จะอยู่ในกลุ่มปานกลางของค่าเฉลี่ย EUI ยกเว้นรูปทรง X2 ตกลงมาอยู่ในกลุ่มท้าย สำหรับรูปทรงที่อยู่ในกลุ่มเดิมมีรูปทรงเดียวคือ L1 คือ อยู่ในกลุ่มปานกลางของค่าเฉลี่ยทั้งสองแบบ

4.3 การให้คะแนนตามค่า EUI และ %SAVE

เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้มีจุดมุ่งหมายในการเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานกับปริมาณพลังงานที่ใช้จริงตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 โดยมีสมมติฐานว่า สำหรับอาคารที่มีรูปทรงและทิศทางแตกต่างกัน ค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร โดยอาคารที่มีการใช้พลังงานมากกว่า อาจจะมีค่าการประหยัดพลังงานมากกว่าอาคารที่ที่ใช้พลังงานน้อย ดังนั้นจึงทำการให้คะแนนโดยอ้างอิงปริมาณการใช้พลังงานของอาคารหรือ ค่า EUI เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 และเพื่อให้เกิดการเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน จึงได้นำค่า %SAVE มาแบ่งเป็นช่วงคะแนนด้วย จากนั้นนำคะแนนจาก %SAVE และ EUI มาพิจารณาหาคะแนนกลางอีกครั้ง

4.3.1 การให้คะแนนตามปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI)

คะแนนดังกล่าวแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ A, B, C และ D โดยนำค่า EUI มาเรียงจากน้อยไปมากและแบ่งออกเป็น 4 ช่วง กำหนดให้เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 0-25 ได้คะแนนเท่ากับ A เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 26-50 ได้คะแนนเท่ากับ B เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 51-75 ได้คะแนนเท่ากับ C และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 76-100 ได้คะแนนเท่ากับ D ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม EUI

ตารางที่ 4.4 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม EUI

เปอร์เซ็นต์ไทล์	EUI (kWh/m ² .y)	คะแนน
0-25	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 138.27	A
26-50	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 143.94	B
51-75	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 150.45	C
75-100	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 187.65	D

จากรูปแบบอาคารทั้งหมด 13,500 แบบ เมื่อทำการให้คะแนนตามค่า EUI อาคารที่ได้คะแนน A, B, C และ D จะมีจำนวน 3,375 แบบเท่าๆกัน

4.3.2 การให้คะแนนตามค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE)

คะแนนดังกล่าวแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ %A, %B, %C และ %D โดยนำค่า%SAVE มาเรียงจากน้อยไปมากและแบ่งออกเป็น 4 ช่วง กำหนดให้เปอร์เซ็นต์ที่ 0-25 ได้คะแนนเท่ากับ %D เปอร์เซ็นที่ 26-50 ได้คะแนนเท่ากับ %C เปอร์เซ็นที่ 51-75 ได้คะแนนเท่ากับ %B และเปอร์เซ็นต์ที่ 76-100 ได้คะแนนเท่ากับ %A ดังแสดงในตารางที่ 4.5 เกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม %SAVE

ตารางที่ 4.5 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม %SAVE

เปอร์เซ็นต์	%SAVE	คะแนน
0-25	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.34%	%D
26-50	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.24%	%C
51-75	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.57%	%B
76-100	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 18.01%	%A

จากรูปแบบอาคารทั้งหมด 13,500 แบบ เมื่อทำการให้คะแนนตามค่า %SAVE อาคารที่ได้คะแนน %A, %B, %C และ %D จะมีจำนวน 3,375 แบบเท่าๆกัน

4.3.3 การให้คะแนนรวม

นำคะแนน EUI และ %SAVE มาเฉลี่ยกัน โดยกำหนดให้ A, %A มีค่าเท่ากับ 4 B,%B มีค่าเท่ากับ 3 C,%C มีค่าเท่ากับ 2 และ D, %D มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งคะแนนดังกล่าวแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 3.5 – 4 ได้คะแนนเท่ากับ A(T), 2.5 - 3 ได้คะแนน เท่ากับ B(T), 1.5-2 ได้คะแนนเท่ากับ C(T) และ 1 ได้คะแนนเท่ากับ D(T) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เกณฑ์การให้คะแนนรวม

จากรูปแบบอาคารทั้งหมด 13,500 แบบ เมื่อทำการให้คะแนนรวมแล้ว อาคารที่ได้คะแนน A(T) เท่ากับ 2,801 แบบ คิดเป็น 20.75% ได้คะแนน B(T) เท่ากับ 3,322 แบบ คิดเป็น 24.61% ได้คะแนน C(T) เท่ากับ 3,578 แบบ คิดเป็น 26.50% และได้คะแนน D(T) เท่ากับ 3,799 แบบ คิดเป็น 28.14% จำนวนอาคารที่ได้คะแนน D(T) มีจำนวนมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนรวม

คะแนน EUI	คะแนน %SAVE	คะแนน รวม	คะแนน EUI	คะแนน %SAVE	คะแนน รวม
A	%A	A(T)	B	%A	A(T)
A	%B	A(T)	B	%B	B(T)
A	%C	B(T)	B	%C	B(T)
A	%D	B(T)	B	%D	C(T)
C	%A	B(T)	D	%A	B(T)
C	%B	B(T)	D	%B	C(T)
C	%C	C(T)	D	%C	C(T)
C	%D	C(T)	D	%D	D(T)

4.3.4 เปรียบเทียบการให้คะแนนตามปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI), ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และคะแนนรวม

เปรียบเทียบจำนวนอาคารตามช่วงคะแนนทั้ง 3 แบบเพื่อพิจารณาความสอดคล้องของการให้คะแนน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว อาคารที่ได้คะแนนในส่วนของ %SAVE ดี ควรจะได้คะแนนในส่วนของ EUI ดีด้วย และส่งผลให้คะแนนรวมดี เพื่อที่จะแสดงว่า อาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงานสูงกว่า จะมีปริมาณการใช้พลังงานน้อยกว่า แต่จากการแบ่งช่วงคะแนนตามข้อมูลของงานวิจัยนี้ พบว่า คะแนนของ %SAVE , EUI และคะแนนรวมไม่ได้สอดคล้องกันเสมอไป ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.8-4.11 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนแบบเดียวกัน

อาคาร A, %A และ A(T)

แผนภูมิที่ 4.8 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ A, %A และ A(T) พบว่าพบอาคารรูปแบบที่ 1 หรือ C1-1 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน A มากที่สุดคือ 143 แบบจากอาคารแบบ C1-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 47.67% แต่กลับมีคะแนน %A เพียง 40 แบบ คิดเป็น 13.33% สำหรับอาคารที่มีจำนวนคะแนน A น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบที่ 44 หรือ X2-3 ได้คะแนน A เพียง 33 แบบจากอาคารแบบ X2-3 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 11.00% โดยมีคะแนน %A เท่ากับ 66 แบบ คิดเป็น 22.00%

กรณีทีพิจารณาคะแนนจากค่า %SAVE พบว่าอาคารรูปแบบที่ 42 หรือ X2-1 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน %A มากที่สุดคือ 146 แบบจากอาคารแบบ X2-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 48.67% และมีคะแนน A ซึ่งอ้างอิงค่า EUI เท่ากับ 93 แบบ คิดเป็น 31.00% สำหรับอาคารที่มีจำนวนคะแนน %A น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบที่ 6 หรือ R1-3 ได้คะแนน %A เพียง 32 แบบจากอาคารแบบ R1-3 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 10.06% โดยมีคะแนน A เท่ากับ 68 แบบ คิดเป็น 22.67%

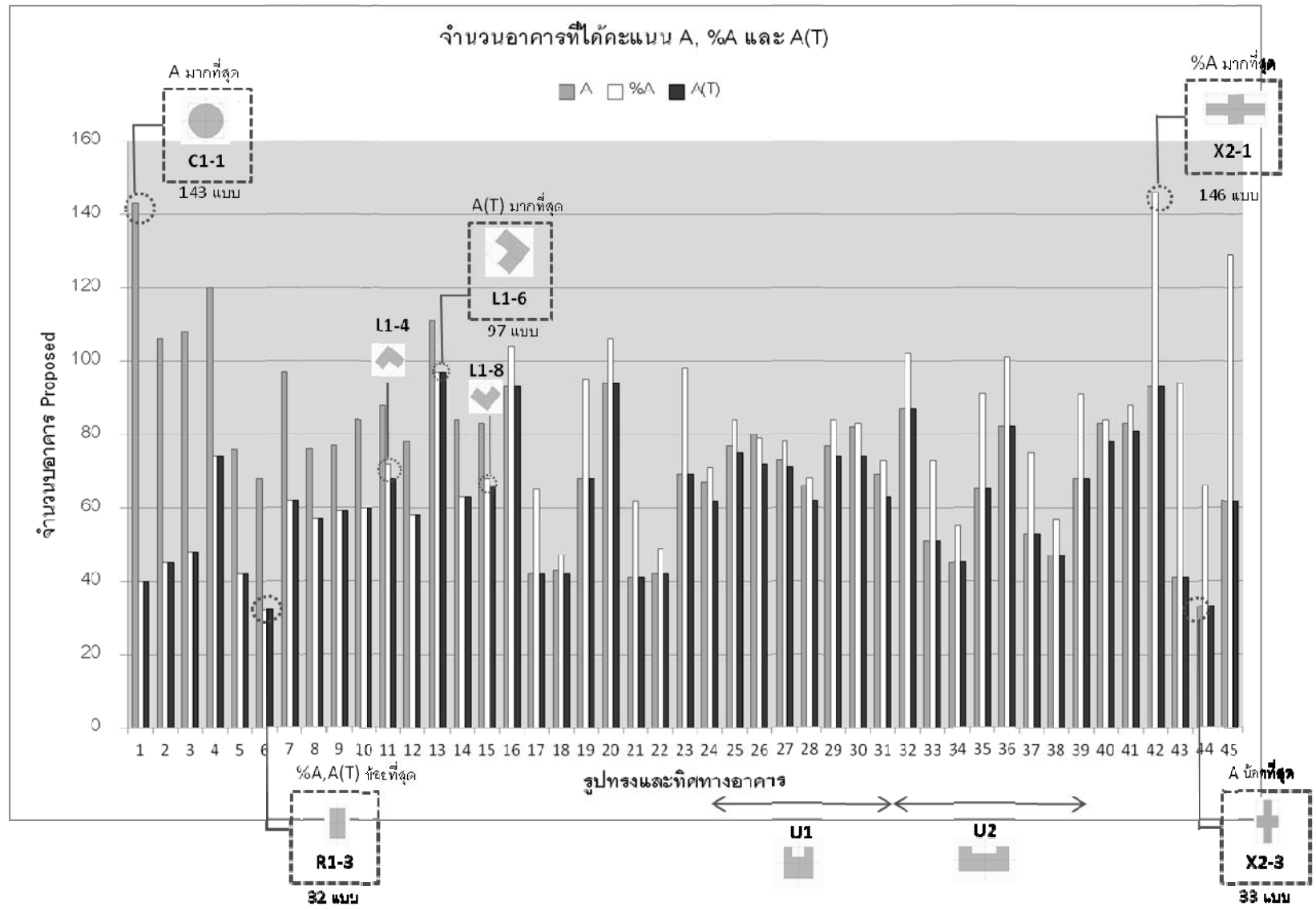
ในส่วนของคะแนนรวม อาคารที่ได้คะแนน A(T) มากที่สุด 97 แบบ คืออาคารแบบ L1-6 ได้ และน้อยที่สุด 32 แบบ คืออาคารแบบ R1-3 นอกจากนี้พบว่ารูปทรงที่ 1-15 คืออาคารแบบ วงกลม, สี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมผืนผ้า และตัว L ที่มี SF 1/1 มีจำนวนอาคารที่ได้คะแนนรวม A(T) เท่ากับจำนวนอาคารที่ได้คะแนน %A ยกเว้น L1-4 และ L1-8 และอาคารรูปทรง X2 มีจำนวนอาคาร Proposed ที่ได้คะแนนจากค่า EUI และคะแนนรวมเท่ากัน สำหรับอาคารที่ได้คะแนนทั้ง 3 แบบใกล้เคียงกัน ได้แก่อาคารรูปทรง U1 ในทุกทิศทาง

อาคาร B, %B และ B(T)

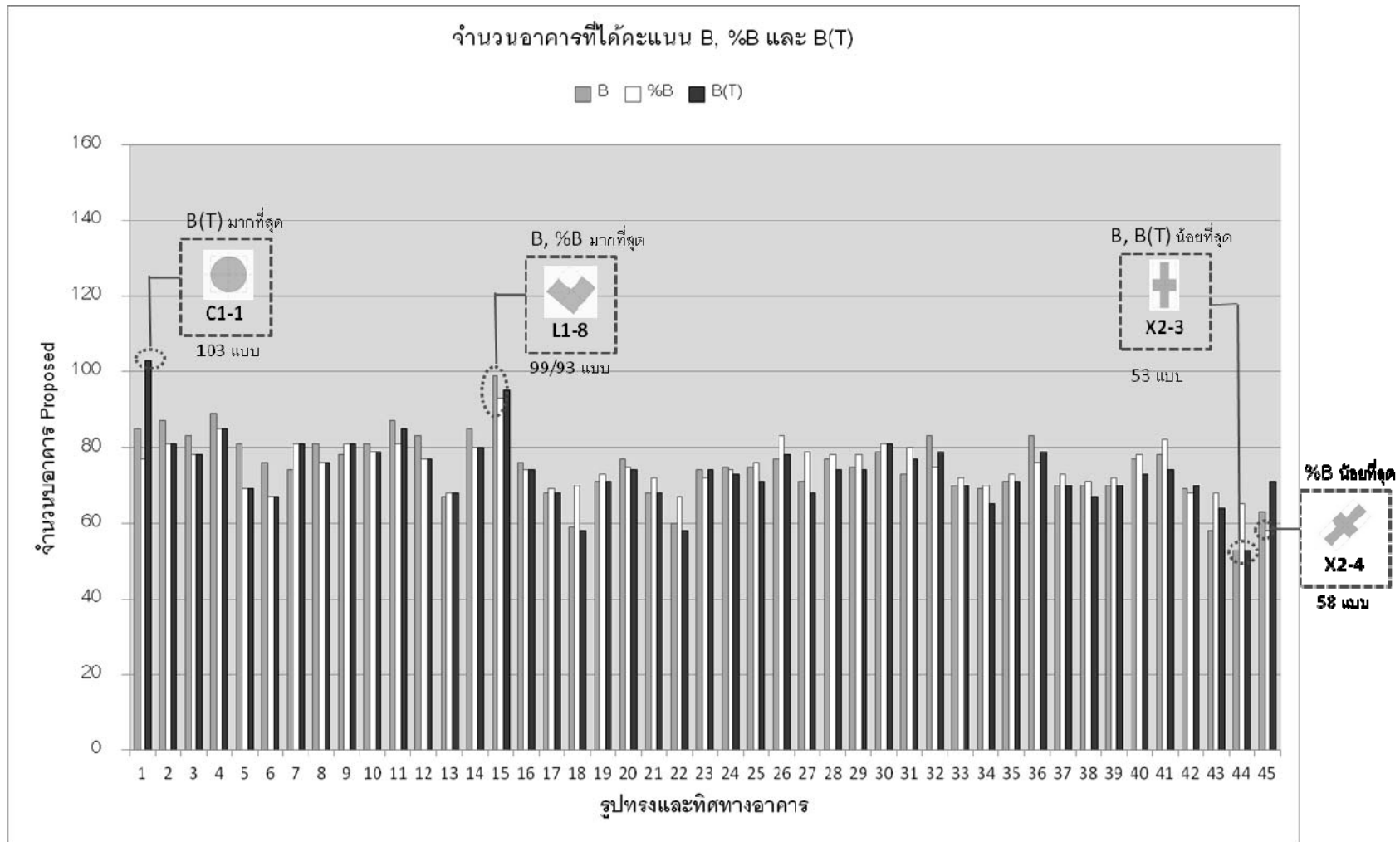
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ B, %B และ B(T) แสดงให้เห็นว่าอาคารรูปแบบที่ 15 หรือ L1-8 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน B มากที่สุดคือ 99 แบบจากอาคารแบบ L1-8 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 33.00% และอาคารที่มีจำนวนคะแนน B น้อยที่สุดคือรูปแบบที่ 44 หรือ X2-3 ได้คะแนน B เท่ากับ 53 แบบจากอาคารแบบ X2-3 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 17.65%

กรณีทีพิจารณาคะแนนจากค่า %SAVE พบว่าอาคารรูปแบบที่ 15 หรือ L1-8 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน %B มากที่สุดคือ 93 แบบจากอาคารแบบ L1-8 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 31.00% สำหรับอาคารที่มีจำนวนคะแนน %B น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบที่ 45 หรือ X2-4 ได้คะแนน %B เท่ากับ 58 แบบจากอาคารแบบ X2-4 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 19.33%

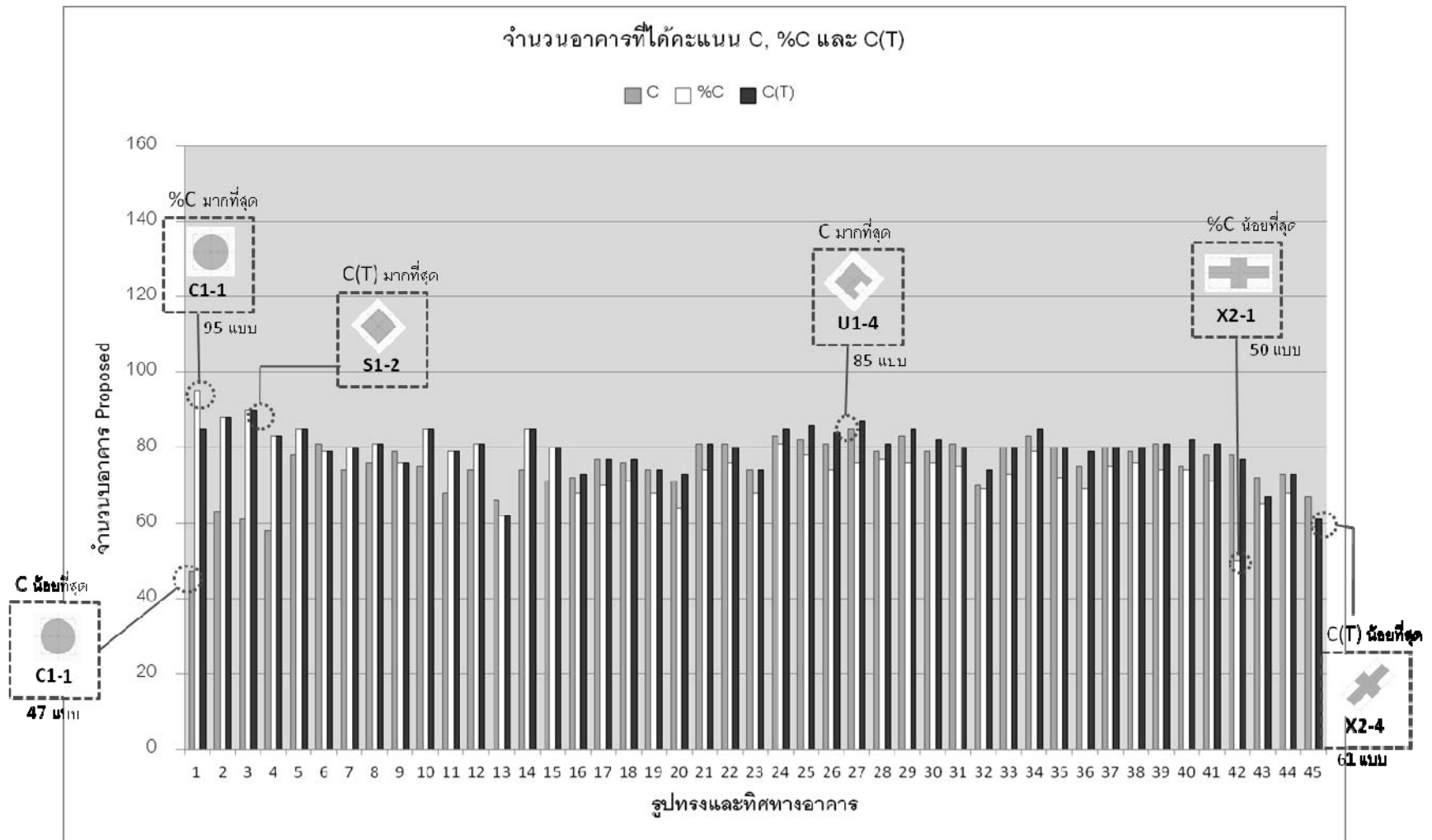
ในส่วนของคะแนนรวม อาคารที่ได้คะแนน B(T) มากที่สุด 103 แบบ คืออาคารแบบ C1-1 ได้ และน้อยที่สุด 53 แบบ คืออาคารแบบ X2-3 โดยรวมพบว่าจำนวนอาคารที่ได้คะแนนคะแนนทั้ง 3 แบบ มีจำนวนใกล้เคียงกัน ส่วนที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนได้แก่อาคารแบบ C1-1



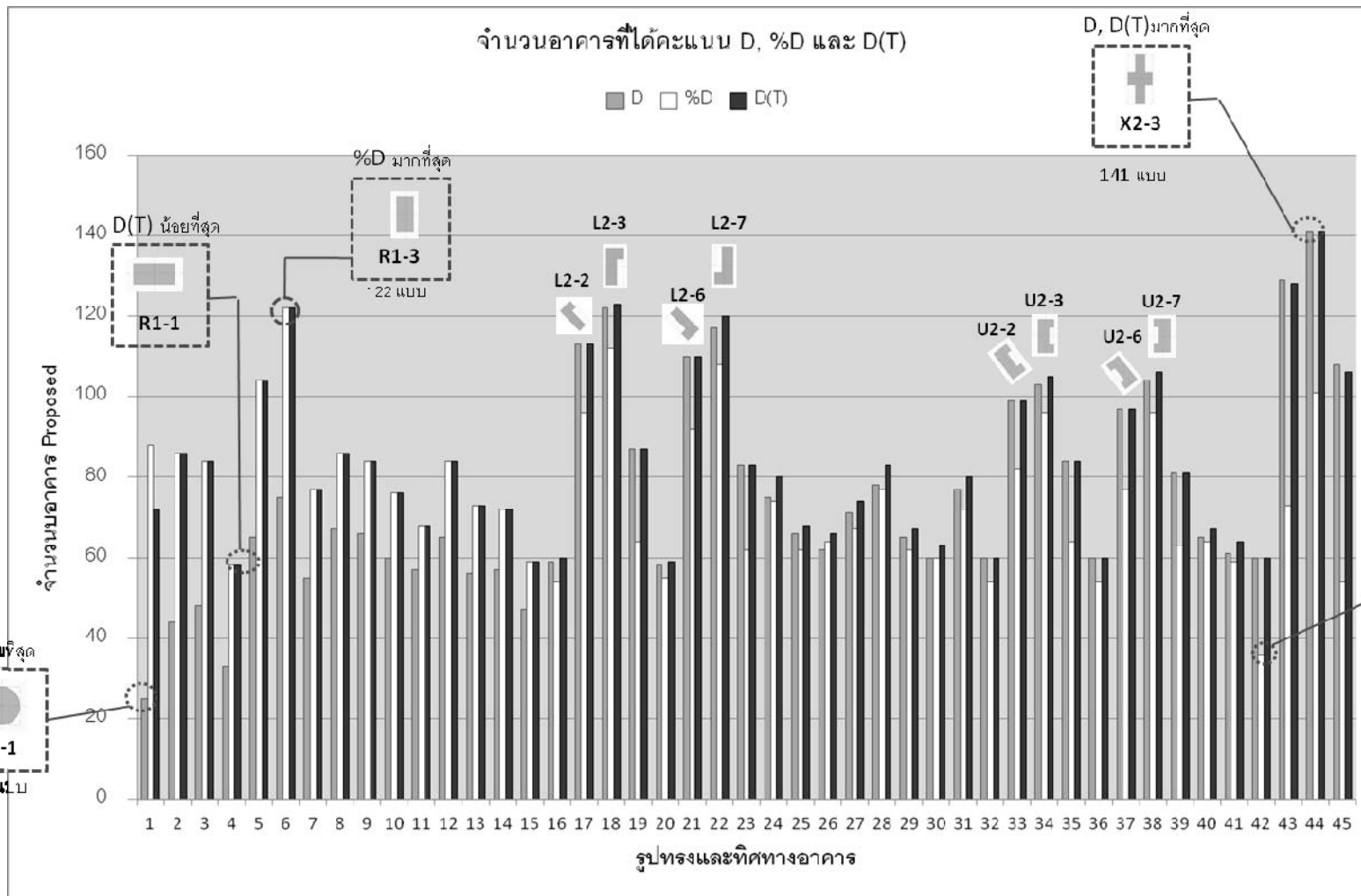
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ A , %A และ A(T)



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ B และ %B



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ C และ %C



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ D และ %D

อาคาร C, %C และ C(T)

แผนภูมิที่ 4.10 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ C , %C และ C(T) แสดงให้เห็นว่าอาคารรูปแบบที่ 27 หรือ U1-4 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน C มากที่สุดคือ 85 แบบจากอาคารแบบ U1-4 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 28.33% และอาคารที่มีจำนวนคะแนน C น้อยที่สุดคือรูปแบบที่ 1 หรือ C1-1 ได้คะแนน C เท่ากับ 47 แบบจากอาคารแบบ C1-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 15.67%

กรณีที่พิจารณาคะแนนจาก %SAVE พบว่าอาคารรูปแบบที่ 1 หรือ C1-1 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน %C มากที่สุดคือ 95 แบบจากอาคารแบบ C1-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 31.67% สำหรับอาคารที่มีจำนวนคะแนน %C น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบที่ 42 หรือ X2-1 ได้คะแนน %C เท่ากับ 50 แบบจากอาคารแบบ X2-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 16.67%

ในส่วนของคะแนนรวม อาคารที่ได้คะแนน C(T) มากที่สุด 90 แบบ คืออาคารแบบ S1-2 ได้ และน้อยที่สุด 61 แบบ คืออาคารแบบ X2-4

จากการพิจารณาอาคารที่ได้คะแนน C และ %C พบว่าอาคารแบบ C1-1 เป็นอาคารที่ได้คะแนนไม่สอดคล้องกันอย่างชัดเจน เนื่องจากเป็นอาคารที่มีคะแนน %C ซึ่งอ้างอิงมาจากค่า %SAVE มากที่สุด แต่กลับมีคะแนน C ซึ่งอ้างอิงมาจากค่า EUI น้อยที่สุด

อาคาร D, %D และ D(T)

สำหรับอาคารที่ได้คะแนน D หมายถึงอาคารที่อยู่ในกลุ่มอาคารที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดจากทั้งหมด 4 กลุ่ม พบว่าอาคารรูปแบบที่ 44 หรือ X2-3 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน D มากที่สุดคือ 141 แบบจากอาคารแบบ X2-3 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 47.00% และยังเป็นอาคารที่มีจำนวนคะแนน D(T) มากที่สุดด้วยคือ 141 แบบเท่ากัน สำหรับอาคารที่มีจำนวนคะแนน D น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบที่ 1 หรือ C1-1 ได้คะแนน D เท่ากับ 25 แบบจากอาคารแบบ C1-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 8.33% ตามแผนภูมิที่ 4.11 แสดงจำนวนอาคารในแต่ละรูปทรงและทิศทางที่ได้คะแนนเท่ากับ D , %D และ D(T)

กรณีที่พิจารณาคะแนนจาก %SAVE พบว่าอาคารรูปแบบที่ 6 หรือ R1-3 เป็นรูปแบบอาคารที่มีจำนวนคะแนน %D มากที่สุดคือ 122 แบบจากอาคารแบบ R1-3 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 40.67% สำหรับอาคารที่มีจำนวนคะแนน %D น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบที่ 42 หรือ X2-1 ได้คะแนน %D เท่ากับ 36 แบบจากอาคารแบบ X2-1 ทั้งหมด 300 แบบ คิดเป็น 12.00%

























ในส่วนของคะแนนรวม อาคารที่ได้คะแนน D(T) มากที่สุด 141 แบบ คืออาคารแบบ X2-3 ได้ และน้อยที่สุด 58 แบบ คืออาคารแบบ R1-1 นอกจากนี้พบว่าอาคารที่มีปริมาณคะแนน D และ D(T) เท่ากันและอยู่ในระดับสูงคืออาคารแบบ L2-2, L2-3, L2-6, L2-7 และ U2-2, U2-3, U2-6, U2-7 ซึ่งเป็นอาคารที่มี SF เท่ากับ 1/2 และวางอาคารหันด้านยาวไปในแนวเหนือใต้

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลสรุปของรูปทรงและทิศทางอาคารแบ่งตามคะแนน พบว่าอาคารแบบ C1-1 หรืออาคารรูปวงกลม มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากที่สุด โดยสามารถทำคะแนนในระดับ A ถึง D ได้ 47.67% , 28.33% , 15.67% และ 8.83% ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนอ้างอิงค่าการประหยัดพลังงาน อาคารรูปแบบ C1-1 มีอาคารที่ได้คะแนน %A เพียง 13.33% เท่านั้น ซึ่งอยู่ที่ลำดับ 44 จากรูปทรงและทิศทางทั้งหมด 45 แบบ และเมื่อพิจารณาอาคารที่ได้คะแนนรวม A(T) มากที่สุด พบว่าเป็นอาคารรูปแบบ L1-6 เนื่องจากอาคารดังกล่าว มีจำนวนคะแนน A และ %A ไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในลำดับที่ค่อนข้างสูงเมื่อนำคะแนนมาเฉลี่ยกัน จึงเป็นรูปทรงที่มีโอกาสได้คะแนนรวม A(T) มากที่สุด

ในการพิจารณาอาคารจากคะแนนที่อ้างอิงค่าการประหยัดพลังงาน อาคาร X2-1 เป็นอาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 มากที่สุด โดยสามารถทำคะแนนในระดับ %A ถึง %D ได้ 48.67% , 22.67% , 16.67% และ 12.00% ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนอ้างอิงปริมาณการใช้พลังงาน อาคารรูปแบบ X2-1 มีอาคารที่ได้คะแนน A เพียง 11.00% เท่านั้น ซึ่งอยู่ที่ลำดับ 44 จากรูปทรงและทิศทางทั้งหมด 45 แบบ

จากข้อมูลข้างต้น แสดงว่ารูปทรงและทิศทางอาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงานอยู่ในเกณฑ์ดี หรือมีจำนวนอาคารที่ได้คะแนน %A มาก กลับอยู่ในลำดับเกือบสุดท้ายถ้าเทียบคะแนนโดยการอ้างอิงปริมาณการใช้พลังงาน และในทางกลับกันรูปทรงและทิศทางอาคารที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ดี หรือมีจำนวนอาคารที่ได้คะแนน A มาก กลับอยู่ในลำดับเกือบสุดท้ายถ้าเทียบคะแนนโดยการอ้างอิงค่าการประหยัดพลังงาน และรูปทรงที่ได้คะแนนรวมอยู่ในเกณฑ์ดี เป็นรูปทรงที่มีจำนวนคะแนนจาก EUI และ %SAVE ไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในลำดับที่ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 4.7 แสดงผลสรุปของรูปทรงและทิศทางการแบ่งตามคะแนน

น้อยที่สุด			มากที่สุด			
A (EUI)		X2-3			C1-1	
		A	11.00%		A	47.67%
		%A	22.00%		%A	13.33%
%A (%SAVE)		R1-3			X2-1	
		A	22.67%		A	31.00%
		%A	10.67%		%A	48.67%
A(T) (Total)		R1-3			L1-6	
		-	-		-	-
		-	-		-	-
B (EUI)		X2-3			L1-8	
		B	17.67%		B	33.33%
		%B	21.67%		%B	31.00%
%B (%SAVE)		X2-4			L1-8	
		B	21.00%		B	33.33%
		%B	19.33%		%B	31.00%
B(T) (Total)		X2-3			C1-1	
		-	-		-	-
		-	-		-	-
C (EUI)		C1-1			U1-4	
		C	15.67%		C	28.33%
		%C	31.67%		%C	25.33%
%C (%SAVE)		X2-1			C1-1	
		C	26.00%		C	15.67%
		%C	16.67%		%C	31.67%
C(T) (Total)		X2-4			S1-2	
		-	-		-	-
		-	-		-	-
D (EUI)		C1-1			X2-3	
		D	8.33%		D	47.00%
		%D	29.33%		%D	33.67%
%D (%SAVE)		X2-1			R1-3	
		D	20.00%		D	25.00%
		%D	12.00%		%D	40.66%
D(T) (Total)		R1-1			X2-3	
		-	-		-	-
		-	-		-	-

4.3.5 จัดอันดับอาคารตามคะแนน

จากการให้คะแนนรวมซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจาก %SAVE และ EUI สามารถระบุได้ว่าอาคารที่ได้ A(T) มากที่สุด เป็นอาคารที่มีแนวโน้มในการใช้พลังงานและมีค่าประหยัดพลังงานอยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากขึ้น จึงได้นำคะแนนทั้ง 4 ระดับมาแปลงเป็นตัวเลขเพื่อให้สามารถจัดอันดับมากน้อยได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้รูปแบบอาคารต่อไป โดยกำหนดให้คะแนนทั้ง 4 ช่วงมีค่าดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การแปลงคะแนนเป็นตัวเลข

คะแนน	ค่าตัวเลข
A,%A, A(T)	4
B,%B, B(T)	3
C,%C, C(T)	2
D,%D, D(T)	1

ยกตัวอย่างเช่น อาคารแบบ L1-1 เมื่อให้คะแนนอ้างอิงตามคะแนนรวมจากอาคาร Proposed 300 แบบ ได้คะแนนรวมดังนี้ A(T) 57 แบบ B(T) 76 แบบ C(T) 81 แบบ และ D(T) 86 แบบ จากนั้นนำค่าตัวเลขไปคูณกับจำนวนอาคาร Proposed ที่ได้คะแนนในแต่ละระดับ

$$A(T) \dots \dots \dots 57 \times 4 = 228$$

$$B(T) \dots \dots \dots 76 \times 3 = 228$$

$$C(T) \dots \dots \dots 81 \times 2 = 162$$

$$D(T) \dots \dots \dots 86 \times 1 = 86$$

$$\text{รวม} \qquad \qquad \qquad = 704$$

เมื่อแปลงระดับคะแนนเป็นตัวเลขแล้ว พบว่าอาคารแบบ L2-5 อยู่ในอันดับสูงที่สุดของคะแนนรวม ส่วนอาคาร L1-6 ที่มีระดับคะแนน A(T) มากที่สุด อยู่ในอันดับที่ 5 อันดับสุดท้ายคืออาคารแบบ X2-3

ในส่วนของคะแนนอ้างอิงตาม %SAVE และ EUI เมื่อนำมาแปลงเป็นตัวเลขและจัดอันดับพบว่าอันดับของรูปทรงและการวางทิศทางแบบต่างๆ ใกล้เคียงกับการจัดอันดับโดยอ้างอิงค่าเฉลี่ย %SAVE และ ²

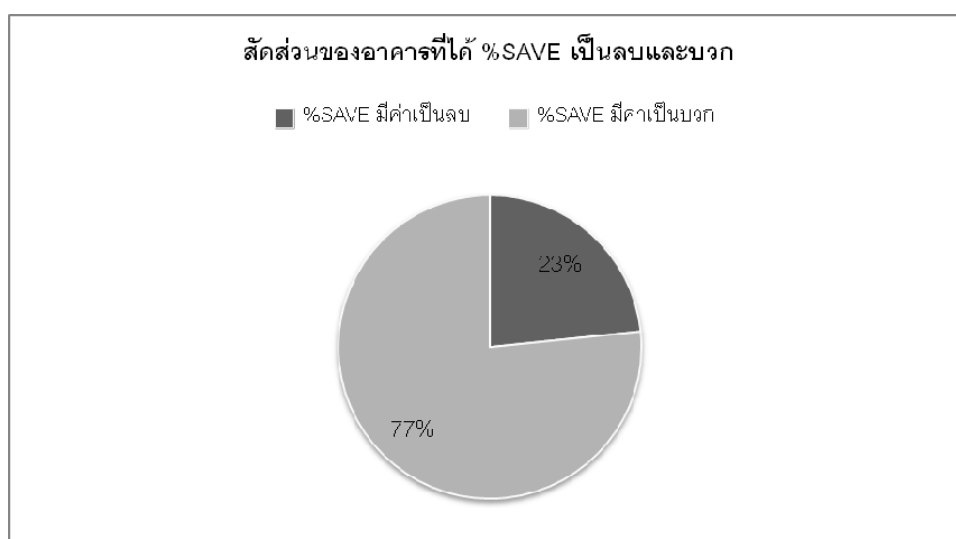
² อ้างอิงภาคผนวก ง

4.4 อาคาร Proposed ที่มีค่า %SAVE ตั้งแต่ 0 ขึ้นไป

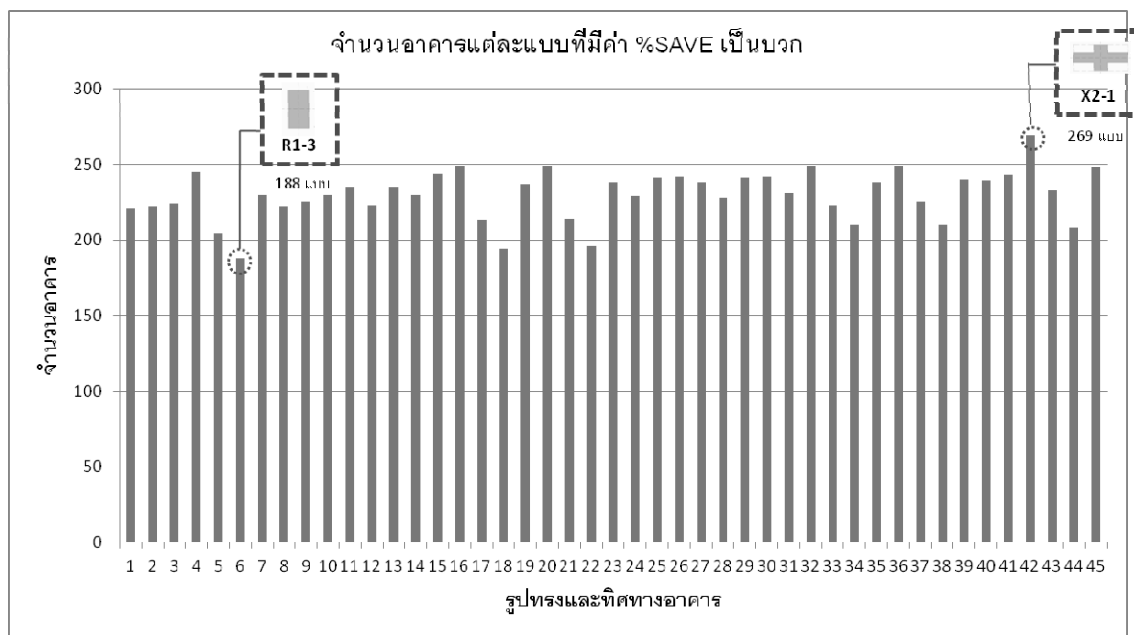
จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่าในอาคารที่มีรูปทรงและทิศทางที่แตกต่างกัน ค่าการประหยัดพลังงานหรือ %SAVE ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ที่เลือกใช้ในเกณฑ์อาคารเขียว ไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้พลังงาน หรือ EUI ของอาคาร เนื่องจาก %SAVE ได้มาจากการเปรียบเทียบอาคาร Proposed กับอาคาร Baseline ที่มีรูปทรงเดียวกันเท่านั้น ดังนั้นอาคารบางรูปทรงที่มีค่า EUI สูง กลับมี %SAVE สูงกว่าอาคารบางรูปทรงที่มี EUI ต่ำกว่าอย่างชัดเจน

ในกลุ่มอาคารเดียวกัน พบว่า %SAVE ค่อนข้างจะสอดคล้องกับ EUI เช่นอาคารแบบที่มี %SAVE สูงกว่าก็จะมี EUI ต่ำกว่า ยกเว้นบางกรณีที่อาคารมี EUI ใกล้เคียงกัน อาคารที่มีค่า Meter demand หรือ ความต้องการในการใช้พลังงานสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง สูงกว่า จะมี %SAVE น้อยกว่า เนื่องจาก %SAVE นั้นเทียบมาจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อย่างไรก็ตามถ้า EUI แตกต่างกันอย่างชัดเจน EUI มากกว่าจะมีค่า %SAVE น้อยกว่า

เนื่องจากการให้คะแนนอาคารเขียวในปัจจุบัน มีการใช้ค่า %SAVE เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการให้คะแนน ถ้าได้ %SAVE มากก็ได้คะแนนมากขึ้นตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าอาคารบางแบบมีค่า %SAVE เป็นลบ ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงอาคารอีกเพื่อให้สามารถทำคะแนนได้ และการจำลองการใช้พลังงานทั้งหมด 13,500 แบบ พบว่ามีอาคารที่ได้ %SAVE เป็นลบหรือต่ำกว่าศูนย์เท่ากับ 3,156 แบบ คิดเป็น 23% ตามแผนภูมิที่ 4.12 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ได้ %SAVE เป็นลบและบวก

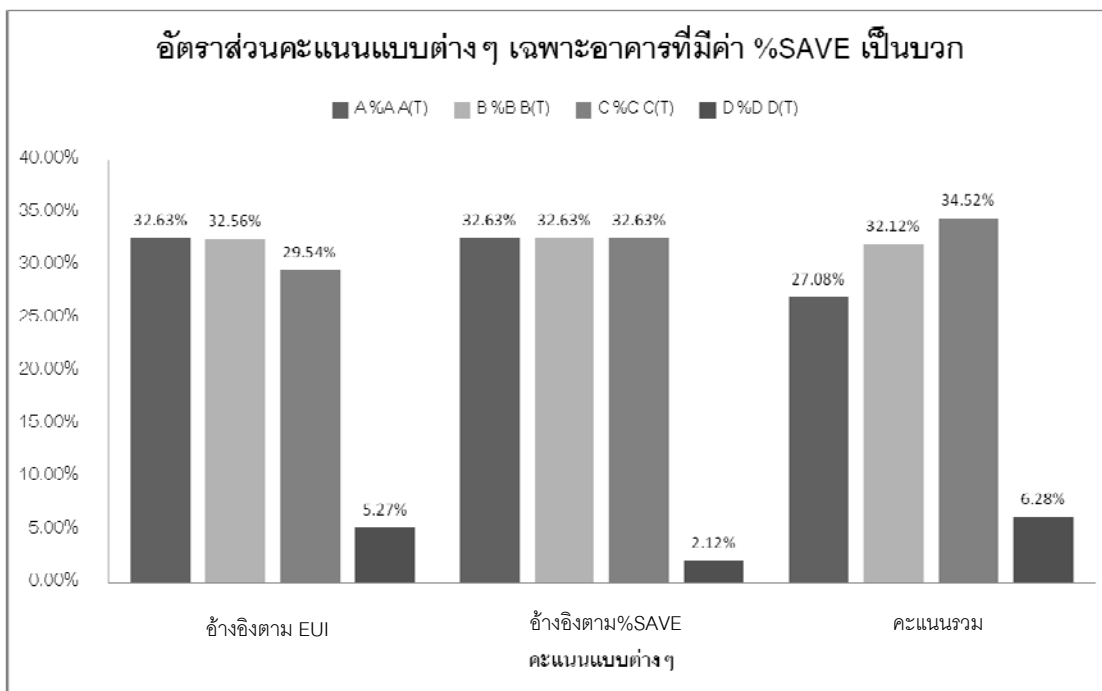


แผนภูมิที่ 4.12 แสดงสัดส่วนของอาคารที่ได้ %SAVE เป็นลบและบวก



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงจำนวนอาคารที่ได้ %SAVE เป็นบวก

จากแผนภูมิที่ 4.13 แสดงจำนวนอาคารแต่ละแบบที่มี %SAVE เป็นบวก ทั้งหมด 10,344 แบบ และแยกออกเป็นกลุ่มเป็นรูปทรงและทิศทางอาคาร พบว่าอาคารแบบ X2-1 เป็นรูปแบบอาคารที่มีอาคาร Proposed มีค่า %SAVE เป็นบวกมากที่สุดคือ 269 แบบ คิดเป็น 89.66% ของอาคาร Proposed 300 แบบ และอาคารแบบ R1-3 เป็นรูปแบบอาคารที่มีอาคาร Proposed มีค่า %SAVE เป็นบวกน้อยที่สุดคือ 188 แบบ คิดเป็น 62.66% ของอาคาร Proposed 300 แบบ โดยเฉลี่ยแล้วอาคารแต่ละแบบจะมี %SAVE เป็นบวกประมาณ 76.66%



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอัตราส่วนคะแนนแบบต่างๆ

จากแผนภูมิที่ 4.14 แสดงอัตราส่วนคะแนนแบบต่างๆ เฉพาะอาคารที่มี %SAVE เป็นบวก พบว่าพบว่ามีในกรณีพิจารณาคะแนนอ้างอิงตามค่า EUI อาคารที่ได้ A และ B มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ 32.63 % และ 32.56% ส่วนอาคารที่ได้ C มีสัดส่วนรองลงมาคือ 29.54% และอาคารที่ได้ D มีสัดส่วนที่น้อยกว่าอย่างชัดเจน คือ 5.27%

กรณีที่พิจารณาคะแนนอ้างอิงตาม %SAVE พบว่าอัตราส่วนของอาคารที่ได้รับคะแนน %A, %B และ %C มีจำนวนเท่ากัน คือ 32.63% และอาคารที่ได้ %D มีสัดส่วนเพียง 2.12% เท่านั้น เนื่องการให้คะแนนแบบนี้อ้างอิง %SAVE เป็นหลัก ดังนั้นอาคารส่วนมากที่ได้คะแนน %D จะเป็นอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นลบจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา










ในส่วนของคะแนนรวม พบว่าอัตราส่วนของอาคารที่ได้รับคะแนน C(T) มีจำนวนสูงที่สุดเท่ากัน คือ 34.52% อาคารที่ได้ B(T) มีสัดส่วนรองลงมา คือ 32.12% อาคารที่ได้ A(T) มีสัดส่วนรองลงมาเป็นอันดับสาม คือ 27.08% และอาคารที่ได้ D(T) มีสัดส่วนเท่ากับ 6.28%

4.5 อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร(SF) กับ%SAVE และ EUI

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ศึกษาอาคารที่มี SF แตกต่างกันสองแบบ คือ 1/1 และ 1/2 โดยพบว่า อาคารที่มี SF 1/1 มีค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI น้อยกว่าอาคารที่มี SF 1/2 หมายความว่าอาคารที่มี SF 1/1 มีค่าเฉลี่ยในการใช้พลังงานน้อยกว่า 1/2 แต่กลับมีค่าเฉลี่ยของค่าการประหยัดพลังงานน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปทรงที่คล้ายคลึงกันแต่มีค่า SF แตกต่างกัน อาคารรูปสี่เหลี่ยม รูปตัวแอล และรูปตัวยูที่มี SF 1/1 จะมีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงกว่าและ EUI น้อยกว่ารูปทรงเดียวกันที่มี SF 1/2 ซึ่งเป็นทิศทางที่ถูกต้อง แต่สำหรับรูปทรงกากบาท กลับเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม คือแบบ SF 1/2 มีค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI มากกว่าแบบ 1/1 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคารที่มี SF ต่างกัน










ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคารที่มี SF ต่างกัน










	SF 1/1		SF 1/2	
	ค่าเฉลี่ย %SAVE	ค่าเฉลี่ย EUI (kWh/m ² .y)	ค่าเฉลี่ย %SAVE	ค่าเฉลี่ย EUI (kWh/m ² .y)
	2.32%	139.60		
C1				
	2.53%	141.98		2.48%
S1			R1	143.44
	3.31%	143.77		3.29%
L1			L2	146.72
	3.75%	144.90		3.60%
U1			U2	146.26
	4.23%	144.07		4.68%
X1			X2	147.95
		3.23%		3.51%
		142.86		146.09










4.6 อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) กับ %SAVE และ EUI

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่า อาคารที่มีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก หรือค่า CI มากกว่า จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่า ซึ่งหมายความว่าควรจะมีค่าการประหยัดพลังงานมากกว่าด้วย จากตารางที่ 00 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 9 รูปทรงตามค่า CI, %SAVE และ EUI พบว่าค่า CI และค่าเฉลี่ย EUI ค่อนข้างสอดคล้องกัน อาคารแบบเดียวกันถูกจัดอยู่ในอันดับใกล้เคียงกัน แต่การเรียงลำดับตามค่า CI จะไม่สอดคล้องกับ %SAVE รูปทรงที่มีค่า CI น้อย ซึ่งหมายความว่าอาคารมีพื้นที่ผิวเยอะ กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุด

ตารางที่ 4.10 แสดงการเรียงลำดับอาคาร 9 รูปทรงตามค่า CI, %SAVE และ EUI

ค่า CI		เรียงจากมากไปน้อย						
								
C1	S1	R1	L1	U1	X1	L2	U2	X2
11.28	10.00	9.50	8.63	8.09	8.00	7.98	7.89	7.02
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3		

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 ² .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		

4.7 อิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อ %SAVE และ EUI

แผงกันแดดเป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่ช่วยพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของอาคารให้ดีขึ้น ซึ่งการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานก็แตกต่างกันไปในแต่ละรูปทรงและทิศทางอาคาร ในการวิเคราะห์อิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อ %SAVE และ EUI นั้น จะพิจารณาเฉพาะอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนแผงกันแดดอย่างเดียวนั้น เทียบกับอาคาร Proposed เริ่มต้นที่ไม่มีแผงกันแดด

ยกตัวอย่างเช่น อาคาร C1-1 จะพิจารณาเฉพาะอาคารต่อไปนี้

C1-1/40/G0/W0/F0/D0

C1-1/40/G0/W0/F1/D0

C1-1/40/G0/W0/F2/D0

C1-1/40/G0/W0/F3/D0

C1-1/40/G0/W0/F4/D0

แผงกันแดด F1 – แผงกันแดดยื่น 30 ซม.ในแนวนอน

การเพิ่มแผงกันแดด 30 ซม.ในแนวนอนจะช่วยทำให้ %SAVE สูงขึ้นจากปกติประมาณร้อยละ 12.17 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า %SAVE อยู่ที่ 5.37% รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F1 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถเพิ่ม %SAVE ได้ร้อยละ 17.93 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-8 สามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 25.44 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ X2 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 10.09 และอาคารแบบ X2-1 สามารถเพิ่ม %SAVE ได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 7.93

ในส่วนของ EUI การเพิ่มแผงกันแดด 30 ซม.ในแนวนอนจะช่วยทำให้ EUI ลดลงจากปกติประมาณร้อยละ 0.59 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า EUI อยู่ที่ 143.16 kWh/m².y รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F1 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 0.77 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-8 สามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 1.11 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ C1 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 0.43

แผงกันแดด F2 – แผงกันแดดยื่น 60 ซม.ในแนวนอน

การเพิ่มแผงกันแดด 60 ซม.ในแนวนอนจะช่วยทำให้ %SAVE สูงขึ้นจากปกติประมาณร้อยละ 20.89 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า %SAVE อยู่ที่ 5.79% รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F2 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถเพิ่ม %SAVE ได้ร้อยละ 27.85 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-8 สามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 34.85 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ X2 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 17.57 และอาคารแบบ X2-4 สามารถเพิ่ม %SAVE ได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 14.09

ในส่วนของ EUI การเพิ่มแผงกันแดด 60 ซม.ในแนวนอนจะช่วยทำให้ EUI ลดลงจากปกติประมาณร้อยละ 1.01 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า EUI อยู่ที่ 142.56 kWh/m².y รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F2 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 1.20 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-8 สามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 1.51 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ C1 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 0.76

แผงกันแดด F3 – แผงกันแดดยื่น 30 ซม.ในแนวนอนและแนวตั้ง

การเพิ่มแผงกันแดด 30 ซม.ในแนวนอนและแนวตั้งจะช่วยทำให้ %SAVE สูงขึ้นจากปกติประมาณร้อยละ 47.53 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า %SAVE อยู่ที่ 7.07% รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F3 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถเพิ่ม %SAVE ได้ร้อยละ 57.74 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-4 สามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 65.89 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ X2 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 39.87และอาคารแบบ X2-1 สามารถเพิ่ม %SAVE ได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 32.96

ในส่วนของ EUI การเพิ่มแผงกันแดด 30 ซม.ในแนวนอนและแนวตั้งจะช่วยทำให้ EUI ลดลงจากปกติประมาณร้อยละ 2.37 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า EUI อยู่ที่ 140.59 kWh/m².y รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F3 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 2.54 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-4 สามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 2.94 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ C1 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 1.78

แผงกันแดด F4 – แผงกันแดดยื่น 60 ซม.ในแนวนอนและแนวตั้ง

การเพิ่มแผงกันแดด 60 ซม.ในแนวนอนและแนวตั้งจะช่วยทำให้ %SAVE สูงขึ้นจากปกติ ประมาณร้อยละ 72.73 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า %SAVE อยู่ที่ 8.27% รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F4 ที่สุดคือรูปทรง L1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถเพิ่ม %SAVE ได้ร้อยละ 84.76 โดยเฉพาะในรูปทรง L1-4 สามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 92.10 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ X1 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถเพิ่มค่า %SAVE ได้ร้อยละ 61.91 และอาคารแบบ X2-1 สามารถเพิ่ม %SAVE ได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 49.05

ในส่วนของ EUI การเพิ่มแผงกันแดด 60 ซม.ในแนวนอนและแนวตั้งจะช่วยทำให้ EUI ลดลงจากปกติประมาณร้อยละ 3.61 โดยเฉลี่ยทุกรูปทรงมีค่า EUI อยู่ที่ 138.80 kWh/m².y รูปทรงที่ได้ประโยชน์จากแผงกันแดดแบบ F4 ที่สุดคือรูปทรง L2 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 3.72 แต่รูปทรงที่สามารถลดค่า EUI ได้มากที่สุดคือรูปทรง U2-4 สามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 4.17 ส่วนรูปทรงที่ได้ประโยชน์น้อยที่สุดคือรูปทรงแบบ C1 ซึ่งโดยเฉลี่ยสามารถลดค่า EUI ได้ร้อยละ 2.77³

³ ตารางสรุปอ้างอิงภาคผนวก จ.

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบอิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อค่า %SAVE และ EUI

		เรียงลำดับค่าเฉลี่ยการเพิ่มของค่า %SAVE ⁴				เรียงลำดับค่าเฉลี่ยการลดของค่า EUI ⁵			
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
มากกว่า		L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L2
		+17.93%	+27.85%	+57.74%	+84.76%	-0.77%	-1.20%	-2.54%	-3.77%
		R1	S1	S1	S1	X2	U1	L2	L1
		+12.23%	+21.61%	+51.79%	+78.30%	-0.57%	-1.01%	-2.45%	-3.72%
		S1	R1	R1	R1	U1	U2	U2	X2
		+11.96%	+21.42%	+50.49%	+78.26%	-0.57%	-0.99%	-2.38%	-3.71%
		L2	U1	L2	L2	U2	X2	X2	U2
		+11.50%	+20.38%	+48.52%	+75.70%	-0.56%	-0.98%	-2.37%	-3.67%
		U1	L2	U2	U2	X1	X1	U1	U1
		+11.45%	+20.21%	+46.19%	+71.67%	-0.55%	-0.96%	-2.33%	-3.60%
		U2	U2	U1	U1	L2	L2	R1	R1
		+11.39%	+20.20%	+45.76%	+70.81%	-0.54%	-0.95%	-2.23%	-3.41%
		C1	C1	C1	C1	R1	S1	S1	S1
		+10.66%	+19.04%	+43.74%	+68.67%	-0.51%	-0.91%	-2.21%	-3.32%
		X1	X1	X1	X2	S1	R1	X1	X1
		+10.46%	+18.45%	+40.34%	+63.29%	-0.50%	-0.90%	-2.17%	-3.30%
	X2	X2	X2	X1	C1	C1	C1	C1	
	+10.09%	+17.57%	+39.87%	+61.91%	-0.43%	-0.76%	-1.78%	-2.77%	
น้อยกว่า									

⁴ แสดงร้อยละที่เพิ่มขึ้นของ %SAVE เมื่อเพิ่มแผงบังแดดแต่ละแบบเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีแผงกันแดด

⁵ แสดงร้อยละที่ลดลงของ EUI เมื่อเพิ่มแผงบังแดดแต่ละแบบเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีแผงกันแดด

จากตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงกันแดดที่มีต่อค่า %SAVE และ EUI รูปทรงอาคารแบบ L1 หรือรูปตัวแอล SF 1/1 สามารถใช้ประโยชน์จากแผงกันแดดได้สูงกว่ารูปทรงอื่นทั้งในด้านการเพิ่มค่า %SAVE และในด้านการลดค่า EUI ส่วนรูปทรงตัวแอล SF 1/2 หรือ L2 อยู่ในระดับกลางๆในการใช้ประโยชน์จากแผงกันแดดเพื่อเพิ่มค่า %SAVE แต่ในการใช้แผงกันแดดเพื่อลดค่า EUI จะได้ผลดีกับแผงกันแดดแบบ F3 และ F4 ซึ่งมีลักษณะเป็นแนวนอนและแนวตั้ง

รูปทรงแบบที่ไม่มีการบังเงาของอาคารตัวเอง เช่น S1 และ R1 การเพิ่มแผงกันแดดจะสามารถช่วยให้ %SAVE สูงขึ้น มากกว่าอาคารที่มีส่วนของอาคารช่วยในการบังเงา เช่น L1, U1, U2 เป็นต้น แต่ในทางกลับกัน อาคารแบบที่ไม่มีการบังเงาของอาคารตัวเองกลับไม่สามารถลดค่า EUI ได้มากกว่าอาคารที่มีส่วนของอาคารช่วยในการบังเงา

สำหรับอาคารแบบ C1 หรือวงกลม เป็นรูปทรงที่โดยปกติมีค่า EUI น้อย และ %SAVE น้อย การเพิ่มแผงกันแดด จะได้ประโยชน์จากแผงกันแดดน้อยกว่ารูปทรงอื่นไม่ว่าจะเป็นการเพิ่ม %SAVE หรือลดค่า EUI


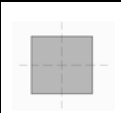

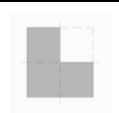
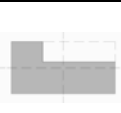
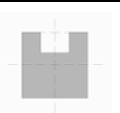
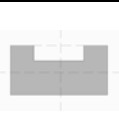
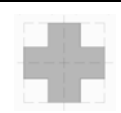
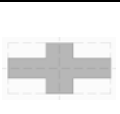
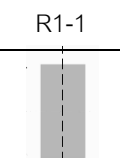


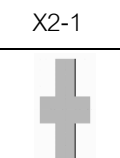
4.8 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI กับภูมิอากาศหนาวเย็น

จากเปรียบเทียบ %SAVE และ EUI โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น พบว่า ค่า %SAVE และ EUI ตามมาตรฐาน ASHREA 90.1 2007 ของอาคารที่มีรูปทรงและทิศทางแตกต่างกัน ไม่สอดคล้องกัน คือ รูปทรงและทิศทางอาคารที่มีปริมาณการใช้พลังงานหรือ EUI ต่ำกว่า ไม่จำเป็นจะต้องมีค่าการประหยัดพลังงานหรือ %SAVE สูงกว่าเสมอไป

ดังนั้นจึงทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารรูปแบบเดียวกันในภูมิอากาศหนาวเย็น เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ %SAVE และ EUI ว่ามีลักษณะเหมือนอาคารในภูมิอากาศร้อนชื้นหรือไม่ โดยเลือกใช้ข้อมูลภูมิอากาศในโซน 6A Cold-Humid ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เพื่อเปรียบเทียบกับอาคารในภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร คือ โซน 1A Very Hot – Humid ทั้งนี้ภายในโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 มีข้อมูลภูมิอากาศของโซน 6A ให้นำมาใช้ได้ ซึ่งเป็นข้อมูลภูมิอากาศของเมืองเมดิสัน รัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกา

อาคารที่นำมาจำลองเพื่อเปรียบเทียบ เลือกใช้อาคาร Proposed เริ่มต้น คืออาคารที่ยังไม่ได้ปรับเปลี่ยนตัวแปรของเปลือกอาคารของอาคาร 13แบบ คือ C1-1, S1-1, R1-1, R1-3, L1-1, L2-1, L2-3, U1-1, U2-1, U2-3, X1-1, X2-1 และ X2-3 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงรูปแบบอาคารที่นำมาจำลองการใช้พลังงานในภูมิภาคหนาวเย็น

								
C1-1	S1-1	R1-1	L1-1	L2-1	U1-1	U2-1	X1-1	X2-1
								
		R1-3		L2-3		U2-3		X2-3

จากผลการจำลองการใช้พลังงาน พบว่าในภูมิภาคหนาวเย็น มีค่า %SAVE และ EUI ของรูปทรงที่แตกต่างกันไม่สอดคล้องกันเช่นเดียวกับภูมิภาคแบบร้อนชื้น โดยอาคารแบบ C1-1 หรือรูปวงกลม เป็นอาคารที่มีค่า EUI ต่ำสุดทั้งภูมิภาคหนาวเย็นและร้อนชื้น ในขณะที่มีค่า %SAVE อยู่ในระดับกลางๆ ของภูมิภาคหนาวเย็น และมีค่า %SAVE ต่ำที่สุดในภูมิภาคแบบร้อนชื้น

อาคารแบบ X2-1 หรือรูปกากบาทที่มี SF 1/2 เป็นอาคารที่มีค่า %SAVE สูงที่สุด ในขณะที่ค่า EUI อยู่ในเกณฑ์สูงทั้งในเขตภูมิภาคหนาวเย็นและร้อนชื้น สำหรับอาคารแบบ X1-1 หรือรูปกากบาท SF 1/1 มีค่า %SAVE และค่า EUI อยู่ในระดับที่สอดคล้องกันในเขตภูมิภาคร้อนชื้น และมีค่า %SAVE ค่อนข้างสูงในเขตภูมิภาคหนาวเย็น

อาคารแบบ R1-1 หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางขนานกับทิศตะวันออกและตะวันตกเป็นรูปทรงที่มีค่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งในเขตภูมิภาคหนาวเย็นและร้อนชื้น แต่เมื่อวางในทิศทางกลับกันคือขนานไปตามทิศเหนือใต้ หรือ R1-3 พบว่าค่า EUI อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ค่า %SAVE อยู่ในระดับต่ำสุด ของภูมิภาคทั้งสองแบบ

ในเขตภูมิภาคหนาวเย็น อาคารแบบ L1-1 หรืออาคารรูปตัวแอล SF 1/1 มีค่า EUI อยู่ในเกณฑ์ดี แต่กลับได้ %SAVE อยู่ในเกณฑ์ไม่ดี ส่วนอาคารแบบเดียวกันที่มี SF 1/2 วางขนานกับทิศตะวันออกและตะวันตก หรือ L2-1 มีค่า %SAVE และ EUI ไม่สัมพันธ์กัน ในภูมิภาคทั้งสองแบบ แต่เมื่อวางในทิศทางกลับกันคือขนานไปตามทิศเหนือใต้ หรือ L2-3 พบว่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์แย่ ของภูมิภาคทั้งสองแบบ

อาคารที่มี SF 1/2 วางในทิศทางขนานไปตามทิศเหนือใต้ พบว่าค่า %SAVE ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี แต่สำหรับภูมิภาคแบบร้อนชื้นบางรูปทรงมีค่า %SAVE มากกว่าอาคารแบบวงกลม ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบ %SAVE และ EUI ในภูมิภาคภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ

เมืองเมดิสัน รัฐวิสคอนซิน สหรัฐอเมริกา (เรียงจากประสิทธิภาพสูงสุดไปต่ำสุด)			
%SAVE		EUI	
R1-3	-0.98%		
X2-3	575.96		
L2-3	-0.74%		
U2-3	-0.34%		
L1-1	-0.21%		
S1-1	0.02%		
C1-1	0.18%		
U1-1	0.68%		
U2-1	1.03%		
L2-1	1.08%		
R1-1	1.15%		
X1-1	1.45%		
X2-1	2.13%		

กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย (เรียงจากประสิทธิภาพสูงสุดไปต่ำสุด)			
%SAVE		EUI	
R1-3	3.40%		
X2-3	148.91		
L2-3	3.77%		
L2-3	146.19		
C1-1	3.90%		
S1-1	4.13%		
U2-3	4.15%		
X2-3	4.16%		
L1-1	4.18%		
U1-1	4.60%		
X1-1	5.07%		
R1-1	5.10%		
U2-1	5.62%		
L2-1	5.66%		
X2-1	6.90%		

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงานหรืออาคารเขียว นั้น นอกจากจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังส่งผลดีกับเจ้าของโครงการในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานที่น้อยลง มูลค่าของอาคารเพิ่มขึ้น อัตราการเช่าเพิ่มขึ้น และยังส่งผลต่อภาพลักษณ์ขององค์กรอีกด้วย จากประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับหลายประการ ทำให้ผู้พัฒนาโครงการในประเทศไทยเริ่มมีความสนใจที่จะพัฒนาโครงการให้ได้รับการรับรองว่าเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน สำหรับเกณฑ์อาคารเขียวในประเทศไทยนั้น หลักเกณฑ์ที่เป็นที่รู้จักและนิยม คือ การประเมินในระบบ LEED จากประเทศสหรัฐอเมริกา และ TREES ของประเทศไทย

รูปทรงและทิศทางอาคาร นับเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ซึ่งหัวข้อเรื่องรูปทรงและทิศทางอาคารกับการใช้พลังงานได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการเลือกรูปทรงและทิศทางที่เหมาะสม ย่อมจะส่งผลให้อาคารมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกับระดับเกณฑ์อาคารเขียวที่ได้รับ อย่างไรก็ตามพบว่า การให้คะแนนอาคารเขียวในส่วนของหมวดพลังงานอ้างอิงตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2007 ไม่สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่มีผลมาจากรูปทรงอาคาร

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของรูปทรงและทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2007 สำหรับอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร โดยศึกษาอาคาร 45 แบบ และปรับเปลี่ยนตัวแปรทางด้าน WWR กระจก ฉนวน แฉกกันแดด และระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ ทำการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 APPENDIX G โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร รวมอาคาร Proposed ทั้งหมด 13,500 แบบ

การอภิปรายผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

5.1 สรุปผลการวิจัย ผลกระทบของรูปทรงและทิศทางอาคารสำนักงานต่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามเกณฑ์ ASHRAE 90.1 2007

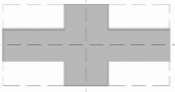
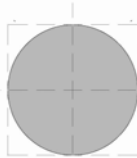
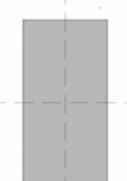

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทั้งหมด 13,500 กรณี พบว่าในอาคารที่มีรูปทรงหรือการวางทิศทางแตกต่างกันค่าการประหยัดพลังงานหรือ %SAVE ไม่สัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารหรือ EUI ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 เช่นอาคารที่มีค่า EUI เท่ากับ 150 kWh/m².y สามารถมีค่า %SAVE ได้ตั้งแต่ -5% ถึง 5% หรืออาคารที่มีค่า %SAVE เท่ากัน มีช่วงการใช้พลังงานแตกต่างกัน เนื่องจากมีการระบุให้ อาคาร Baseline ต้องมีการหมุนอาคาร 90, 180 และ 270 องศา และนำค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในแต่ละกรณีมาเฉลี่ย เป็นค่าพลังงานที่ใช้ของอาคาร Baseline ซึ่งการวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยให้อาคาร Proposed มีการใช้พลังงานน้อยกว่าอาคาร Baseline ได้ทันที โดยยังไม่ต้องรวมผลจากการเพิ่มประสิทธิภาพจากส่วนอื่นๆเลย ทำให้อาคารที่มีลักษณะกว้างยาวเท่ากันหรือใกล้เคียง ย่อมจะไม่ได้ประโยชน์ในการหมุนอาคารเพื่อคิดเป็นอาคาร Baseline ของมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 ในส่วนของอาคารที่มีรูปทรงแบบเดียวกัน ค่าการประหยัดพลังงานหรือ %SAVE มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานของอาคารหรือ EUI ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

5.1.1 ค่าการประหยัดพลังงาน (%SAVE) และปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (EUI) กับรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร

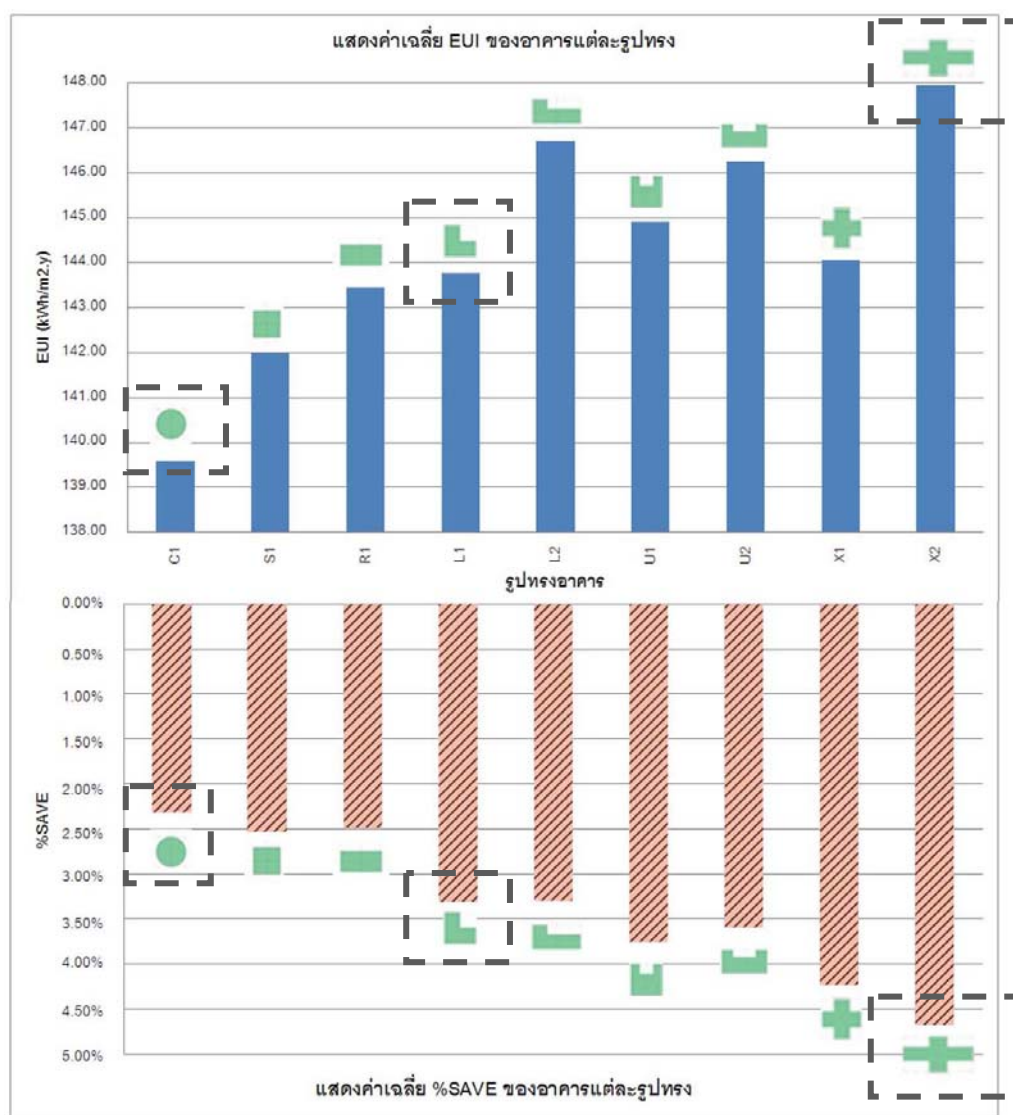
สำหรับรูปแบบอาคารที่ใช้ในการศึกษา 45 แบบ พบว่าในกรณีที่ไม่ต้องการปรับเปลี่ยนเปลือกอาคาร อาคารแบบ X2-1 จะทำให้ได้ค่า %SAVE สูงสุด และอาคารแบบ R1-3 มี %SAVE ต่ำที่สุด ในส่วนของอาคารที่มีค่า EUI สูงสุดคืออาคารแบบที่ X2-3 อาคารที่มีค่า EUI น้อยที่สุดคืออาคารรูปแบบ C1-1 อาคารรูปแบบที่มี SF 1/2 วางอาคารตามแนวทิศตะวันออกตะวันตกจะมีโอกาสที่จะมีค่า %SAVE สูงกว่าอาคารแบบอื่น

	%SAVE สูงที่สุด X2-1 %SAVE = 6.90% EUI = 144.93 kWh/m ² .y		EUI ต่ำที่สุด C1-1 %SAVE = 3.90% EUI = 138.00 kWh/m ² .y
	%SAVE ต่ำที่สุด R1-3 %SAVE = 3.40% EUI = 142.47 kWh/m ² .y		EUI สูงที่สุด X2-3 %SAVE = 4.16% EUI = 148.91 kWh/m ² .y

ภาพที่ 5.1 อาคาร Proposed เริ่มต้นที่มีค่า % SAVE และ EUI สูงและต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยแยกตามรูปทรงอาคาร พบว่า %SAVE และ EUI ไม่สัมพันธ์กัน อาคารบางรูปทรงมีค่าเฉลี่ย EUI ต่ำ ซึ่งหมายความว่ามีการใช้พลังงานน้อย กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE น้อยกว่าอาคารบางรูปทรง ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.1

แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคารแต่ละรูปทรง (13,500 กรณี)



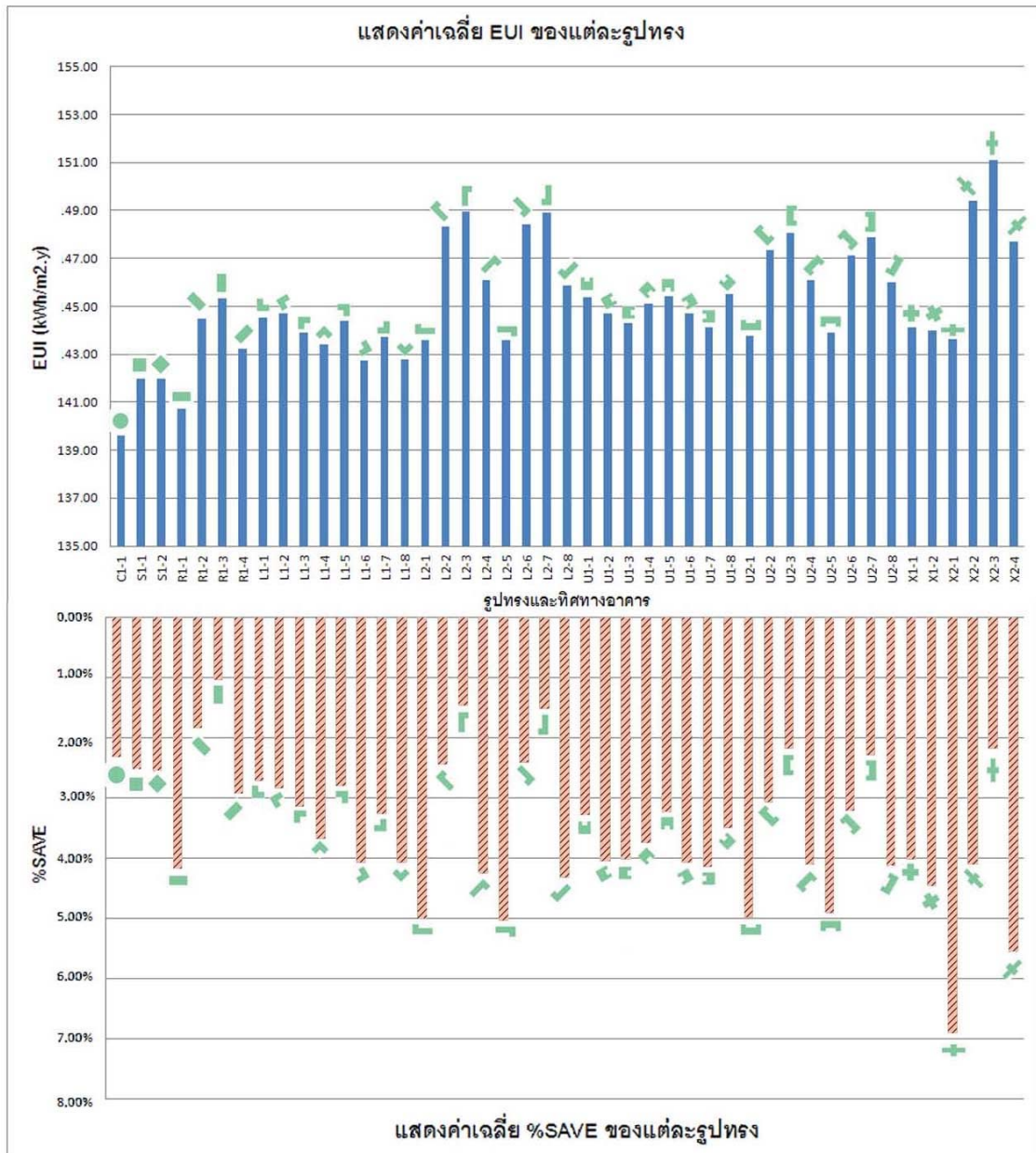
เมื่อพิจารณาในส่วนของ %SAVE เฉพาะรูปทรงอาคารทั้งหมด 9 แบบ พบว่า อาคารแบบ C1 หรืออาคารที่มีผังพื้นเป็นรูปวงกลม มีค่าเฉลี่ยของ EUI น้อยที่สุด เนื่องจากเป็นรูปทรงที่มีค่า CI มาก และเนื่องจากเป็นรูปทรงที่มีลักษณะสมมาตร ไม่ว่าจะหมุนอาคารในทิศทางใด ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงเป็นรูปทรงที่มีค่าเฉลี่ย %SAVE น้อยที่สุดด้วย

ส่วนอาคารแบบ X2 หรืออาคารที่มีลักษณะผังพื้นเป็นรูปกากบาท ที่มี SF เท่ากับ 1/2 เป็นอาคารที่มี %SAVE มากที่สุด เนื่องจากสำหรับรูปทรงแบบ 1/2 นั้น การวางอาคารในทิศทางแต่ละแบบ มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไม่เท่ากัน เมื่อวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องคือวางตามแนวตะวันออกตะวันตก จึงมีโอกาที่อาคารจะมีค่า %SAVE มากกว่าอาคารแบบ SF 1/1 นอกจากนี้อาคารรูปทรงกากบาทยังมีการบังเงาของอาคาร (Self Shading) ซึ่งมีส่วนช่วยลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากเปลือกอาคารสู่ตัวอาคารด้วย ในส่วนของค่าเฉลี่ย EUI พบว่ารูปทรง X2 เป็นรูปทรงที่มีค่า CI น้อย คือมีพื้นที่เปลือกอาคารมาก จึงมีค่าเฉลี่ย EUI มากที่สุด และอาคารที่อยู่ในระดับกลางๆ คือมี %SAVE สูงปานกลาง มี EUI ต่ำปานกลาง ได้แก่อาคารแบบ L1 หรืออาคารตัวแอลที่มี SF 1/1

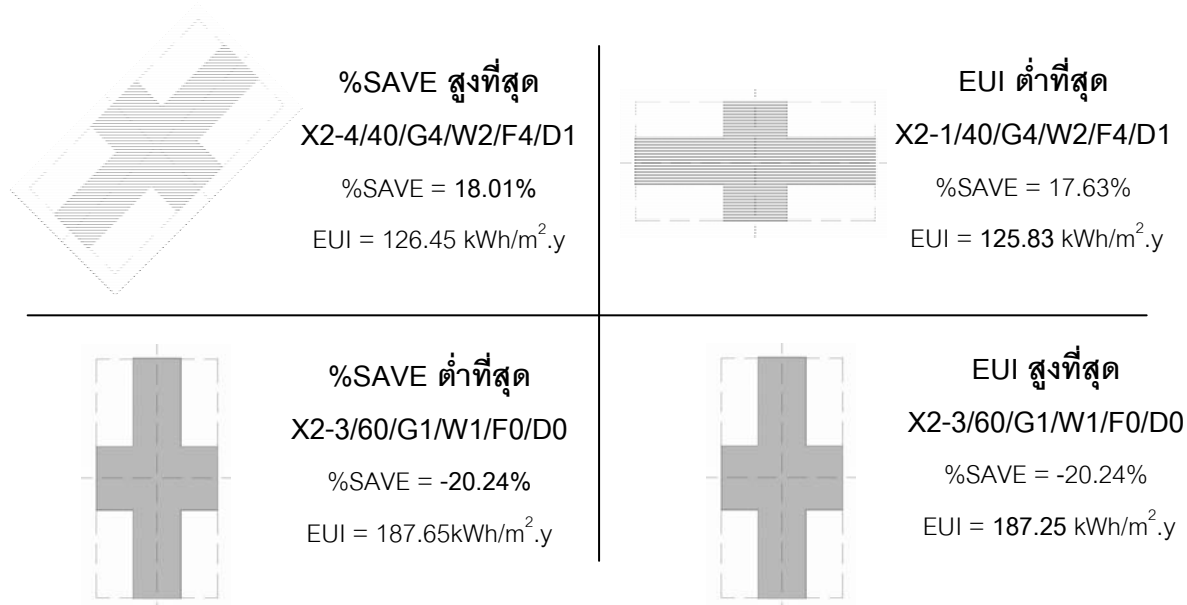
เมื่อพิจารณาแยกย่อยลงไปในส่วนของทิศทางอาคาร พบว่า อาคารแบบ X2-1 หรืออาคารแบบ X2 ในทิศทางวางอาคารแนวขนานตามทิศตะวันออกและตะวันตก มีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงกว่าอาคารรูปแบบอื่นๆ อย่างชัดเจน และอาคารแบบเดียวกันแต่วางอาคารแนวขนานตามทิศเหนือใต้ มีค่าเฉลี่ย EUI สูงกว่าอาคารรูปแบบอื่นๆ อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคาร 45 แบบ

ในกลุ่มอาคารรูปทรงและทิศทางเดียวกัน พบว่า %SAVE ค่อนข้างจะสอดคล้องกับ EUI เช่นอาคารแบบที่มี %SAVE สูงกว่าก็จะมี EUI ต่ำกว่า ยกเว้นบางกรณีที่อาคารมี EUI ใกล้เคียงกัน อาคารที่มีค่า Meter demand หรือ ความต้องการในการใช้พลังงานสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง สูงกว่า จะมี %SAVE น้อยกว่า เนื่องจาก %SAVE นั้นเทียบมาจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อย่างไรก็ตามถ้า EUI แตกต่างกันอย่างชัดเจน EUI มากกว่าจะมีค่า %SAVE น้อยกว่า

แผนภูมิที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI ของอาคาร 45 แบบ (13,500 ครัวเรือน)



จากการจำลองอาคาร 13,500 แบบ พบว่า อาคารแบบ X2-4/40/G4/W2/F4/D1 มีค่า %SAVE มากที่สุด และในส่วนของปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร หรือ EUI อาคารแบบ X2-1/40/G4/W2/F4/D1 เป็นรูปแบบที่มี EUI ต่ำที่สุด และอาคารแบบ X2-3/60/G1/W1/F0/D0 เป็นรูปแบบที่มี EUI สูงที่สุดและ %SAVE ต่ำที่สุด



ภาพที่ 5.2 อาคาร Proposed ที่มีค่า % SAVE และ EUI สูงและต่ำที่สุด

รูปทรงแบบ X2 เป็นรูปทรงที่มีค่า CI ต่ำกว่ารูปทรงอื่นๆ หมายความว่าพื้นที่เปลือกอาคารคิดเป็นอัตราส่วนสูงกว่าอาคารรูปแบบอื่นๆ จึงมีโอกาสที่จะใช้พลังงานมากกว่า อย่างไรก็ตามด้วยลักษณะของรูปทรงที่สามารถช่วยบังเงาตัวเองได้ เมื่อวางอาคารในทิศทางที่ถูกต้องและปรับปรุงเปลือกอาคารแล้วจึงมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารรูปแบบอื่นที่มีการปรับปรุงเปลือกอาคารแบบเดียวกัน

นอกจากนี้พบว่าอาคารทุกรูปทรงและทิศทางที่ทำการศึกษามีค่า %SAVE สูงสุดมากกว่า 6% ซึ่งเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำของ TREES-NC Ver 1.1 และในส่วนของเกณฑ์ LEED-NC 2009 ได้กำหนดให้ %SAVE ขั้นต่ำสุดเท่ากับ 12% มีเพียงรูปทรง C1 หรือวงกลมเท่านั้นที่ค่า %SAVE สูงสุดไม่ถึง 12% โดยมีค่า %SAVE เท่ากับ 11.29% ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบเปลือกอาคารหรืองานระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1.2 อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร(SF) และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก (CI) กับรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร

เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปทรงที่คล้ายคลึงกันแต่มีค่า SF แตกต่างกัน อาคารรูปสี่เหลี่ยม รูปตัวแอล และรูปตัวยูที่มี SF 1/1 จะมีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงกว่าและ EUI น้อยกว่ารูปทรงเดียวกันที่มี SF 1/2 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง แต่สำหรับรูปทรงกากบาท กลับเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม คือแบบ SF 1/2 มีค่าเฉลี่ย %SAVE และ EUI มากกว่าแบบ 1/1

สำหรับค่า CI พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย EUI จะไม่สอดคล้องกับ %SAVE รูปทรงที่มีค่า CI น้อย ซึ่งหมายความว่าอาคารมีพื้นที่ผิวเยอะ มีโอกาสที่จะใช้พลังงานสูง กลับมีค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุด

5.1.3 อิทธิพลของแผงกันแดดกับรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร

ในส่วนของอิทธิพลของแผงกันแดดที่มีต่อค่า %SAVE และ EUI รูปทรงอาคาร พบว่าการเพิ่มแผงกันแดด สามารถลดการใช้พลังงาน ลดค่า EUI ได้ รวมถึงสามารถเพิ่ม %SAVE ได้ในอาคารทุกแบบ แต่การตอบสนองต่อแผงกันแดดของอาคารแต่ละรูปทรงทั้งในด้านการลดค่า EUI หรือเพิ่ม %SAVE มีความแตกต่างกัน¹

อาคารแบบ L1 หรือรูปตัวแอล SF 1/1 สามารถใช้ประโยชน์จากแผงกันแดดได้สูงกว่าอาคารแบบอื่นทั้งในด้านการเพิ่มค่า %SAVE และในด้านการลดค่า EUI ส่วนรูปทรงตัวแอล SF 1/2 หรือ L2 อยู่ในระดับกลางๆในการใช้ประโยชน์จากแผงบังแดดเพื่อเพิ่มค่า %SAVE แต่ในการใช้แผงบังแดดเพื่อลดค่า EUI จะได้ผลดีกับแผงบังแดดแบบ F3 และ F4 ซึ่งมีลักษณะเป็นแนวนอนและแนวตั้ง

รูปทรงแบบที่ไม่มีการบังเงาของอาคารตัวเอง เช่น S1 และ R1 การเพิ่มแผงบังแดดจะสามารถช่วยให้ %SAVE สูงขึ้น มากกว่าอาคารที่มีส่วนของอาคารช่วยในการบังเงา เช่น L1, U1, U2 เป็นต้น แต่ในทางกลับกัน อาคารแบบที่ไม่มีการบังเงาของอาคารตัวเองกลับไม่สามารถลดค่า EUI ได้มากกว่าอาคารที่มีส่วนของอาคารช่วยในการบังเงา

สำหรับอาคารแบบ C1 หรือวงกลม เป็นรูปทรงที่โดยปกติมีค่า EUI น้อย และ %SAVE น้อย การเพิ่มแผงบังแดด จะไม่ค่อยได้ประโยชน์เท่ากับอาคารรูปทรงอื่นๆไม่ว่าจะเป็นเพิ่ม %SAVE หรือลดค่า EUI

¹ ข้อมูลเพิ่มเติมใน ภาคผนวก จ.ตารางแสดง การเพิ่ม %SAVE และ EUI ของอาคาร 45 แบบ โดยแผงกันแดด 4 แบบ

5.1.4 ความสัมพันธ์ของ %SAVE และ EUI ในภูมิภาคอากาศหนาวเย็น

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ %SAVE และ EUI ในภูมิภาคอากาศหนาวเย็น พบว่าในภูมิภาคอากาศหนาวเย็น มีค่า %SAVE และ EUI ไม่สอดคล้องกันเช่นเดียวกับภูมิภาคแบบร้อนชื้น และลักษณะอาคารที่ใช้พลังงานน้อยรวมถึงอาคารที่มี %SAVE สูง เป็นอาคารลักษณะเดียวกัน เนื่องจากอาคารที่ศึกษาเป็นอาคารสำนักงาน ใช้งานในเวลากลางวัน และจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องปรับอากาศ ทั้งทำความเย็นและทำความร้อน ทำให้อาคารที่มีพื้นที่ผิวมาก หรือค่า CI ต่ำกว่า จำเป็นต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าในภูมิภาคอากาศทั้ง 2 แบบ

โดยอาคารแบบ C1-1 หรือรูปวงกลม เป็นอาคารที่มีค่า EUI ต่ำสุดทั้งภูมิภาคอากาศหนาวเย็นและร้อนชื้น ในขณะที่มีค่า %SAVE อยู่ในระดับกลางๆ ของภูมิภาคอากาศหนาวเย็น และมีค่า %SAVE ต่ำที่สุดในภูมิภาคแบบร้อนชื้น

อาคารแบบ R1-1 หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางขนานกับทิศตะวันออกและตะวันตกเป็นรูปทรงที่มีค่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งในเขตภูมิภาคอากาศหนาวเย็นและร้อนชื้น แต่เมื่อวางในทิศทางกลับกันคือขนานไปตามทิศเหนือใต้ หรือ R1-3 พบว่าค่า EUI อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ค่า %SAVE อยู่ในระดับต่ำสุด ของภูมิภาคอากาศทั้งสองแบบ และรูปทรงแบบ L2-3 คือตัวแอล SF 1/2 วางอาคารตามแนวเหนือใต้ มีค่า %SAVE และ EUI อยู่ในเกณฑ์แย่มากของภูมิภาคทั้งสองแบบ

อย่างไรก็ดี อาคารที่ใช้ในการจำลองอาคารสำหรับภูมิภาคอากาศหนาวเย็น มีเพียง 13 แบบ และยังไม่มีการปรับเปลี่ยนเปลือกรูปทรงใดๆ ดังนั้นผลการทดลองจึงเป็นได้แต่เพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น จำต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดในภายหลัง

5.1.5 จัดอันดับอาคารรูปทรงและทิศทางต่างๆ ตามเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละแบบ²

ในการพิจารณาจัดลำดับอาคารแต่ละรูปแบบ โดยให้นำหน้า %SAVE และ EUI เท่ากัน พบว่าอาคารแบบ L2-5 อยู่ในอันดับสูงที่สุดของการจัดอันดับอ้างอิงคะแนนรวม อันดับสุดท้ายคืออาคารแบบ X2-3 อาคารที่อยู่ในอันดับหลังๆ ส่วนมากเป็นอาคารที่มี S/F 1/2 วางอาคารในแนวเหนือใต้ อาคารที่อยู่ในอันดับที่ค่อนข้างสูงของการจัดอันดับตาม EUI เช่นอาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะอยู่ในอันดับค่อนข้างต่ำเมื่อจัดตามคะแนนรวม

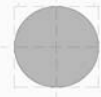

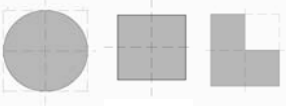




ในส่วนของคะแนนอ้างอิงตาม %SAVE และ EUI เมื่อนำมาแปลงเป็นตัวเลขและจัดอันดับ พบว่าอันดับของรูปทรงและการวางทิศทางแบบต่างๆ ใกล้เคียงกับการจัดอันดับโดยอ้างอิงค่าเฉลี่ยของ %SAVE และ EUI

² อ้างอิงภาคผนวก ง.

5.1.6 ตารางสรุปข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละแบบ

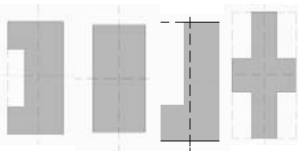





จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่าตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 อาคารแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป อาคารบางรูปทรงมีค่าการประหยัดพลังงาน หรือ %SAVE ดี อาคารบางรูปทรงมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีกว่ารูปทรงอื่น ดังแสดงในตารางที่ 5.1 แสดงข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละแบบ

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละแบบ

รูปทรง	ลักษณะ	รายละเอียด
	อาคารวงกลม SF 1/1	- ค่าเฉลี่ย EUI ต่ำที่สุด
	กากบาท SF 1/1	- ค่าเฉลี่ย %SAVE สูงที่สุด
	อาคารวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส ตัวแอล SF 1/1	- ไม่มีข้อได้เปรียบด้าน %SAVE - EUI น้อย - %SAVE น้อย
	ตัว U SF 1/1	- อยู่ในระดับกลางๆของค่าเฉลี่ย EUI และ ค่าเฉลี่ย %SAVE - ใช้พลังงานมากกว่ารูปทรงอื่นๆ ที่มี SF 1/2
	ตัวแอล SF 1/2 วางตามแนวตะวันออกตะวันตก	- อยู่ในอันดับดีที่สุดจากการให้ คะแนนรวม (803 และ 800 คะแนน) ³
	สี่เหลี่ยม SF 1/2 วางตามแนวตะวันออกตะวันตก	- %SAVE และ EUI อยู่ในระดับที่เหมาะสม คือมีการใช้พลังงานในระดับน้อย และมีค่า %SAVE ในระดับปานกลางค่อนข้างสูง ³ - ค่าเฉลี่ย EUI อยู่ในลำดับที่ 2 รองจาก อาคารรูปทรงวงกลม
	SF 1/2 วางตามแนวตะวันออกตะวันตก	- ได้เปรียบด้าน %SAVE เมื่อเทียบกับ รูปทรงแบบอื่น

³ อ้างอิงภาคผนวก ง.

ตารางที่ 5.1(ต่อ) แสดงข้อดีข้อเสียของอาคารแต่ละแบบ

รูปทรง	ลักษณะ	รายละเอียด
	SF 1/2 วางตามแนวเหนือใต้	- เสียเปรียบด้าน %SAVE เมื่อเทียบกับรูปทรงแบบอื่น
	ตัวแอล SF 1/1	- ตอบสนองต่อแสงกันแดดได้ดีกว่ารูปทรงอื่น ยกเว้นแสงกันแดดแบบ F4 คือ 60 ซม. ทั้งแนวตั้งและแนวนอน (อ้างอิงตารางที่ 4.11)
	กากบาท	- ตอบสนองต่อแสงกันแดดได้น้อยกว่ารูปทรงอื่น (อ้างอิงตารางที่ 4.11)
	กากบาท SF 1/2 วางตามแนวตะวันออกตะวันตก	- ค่าเฉลี่ย %SAVE สูงกว่าอาคารแบบอื่น - เมื่อปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารให้เหมาะสมสามารถลดค่า EUI ได้มากกว่าอาคารแบบอื่น (อ้างอิงภาพที่ 5.2)
	ตัวแอล SF 1/1 หมุนอาคาร 225 องศา	- จัดอันดับตามคะแนนรวมอยู่ในลำดับที่ 5 เป็นอาคาร SF 1/1 ที่อยู่ในลำดับสูงสุดเมื่อเทียบกับอาคาร SF 1/1 แบบอื่นๆ ⁴
	กากบาท SF 1/2 หมุนอาคาร 45 องศา	- ค่าเฉลี่ยและการจัดอันดับด้าน %SAVE สูงกว่าอาคาร SF 1/1 แบบอื่นๆ

⁴ อ้างอิงภาคผนวก ง.

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยชิ้นนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

5.1.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

5.1.2 แนวทางการพิจารณาให้คะแนนด้านการใช้พลังงานในอนาคต

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. การวิจัยนี้ทำการจำลองผลโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในจังหวัดกรุงเทพมหานครเท่านั้น ซึ่งอาจจะยังไม่ครอบคลุมทั้งภูมิภาคเขตร้อนชื้นทั้งหมด ดังนั้นควรมีการเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศทั่วภูมิภาค เพื่อผลวิจัยที่ขอบเขตกว้างมากขึ้น

2. อาคารที่ทำการศึกษานในงานวิจัยนี้คืออาคารสำนักงานเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในอนาคตอาจสามารถศึกษาประเภทอาคารประเภทอื่น เช่น อาคารชุดพักอาศัย โรงแรม เป็นต้น เพื่อให้ครอบคลุมอาคารทุกประเภท

3. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะอาคารที่มี SF 1/1 และ 1/2 ดังนั้นในงานวิจัยในอนาคตสามารถทำการศึกษาสัดส่วนอาคารแบบอื่นๆนอกเหนือจากนี้

4. ผลการจำลองทั้งหมดเป็นการจำลองผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม ควรมีการเทียบเคียงผลการทดลองทางคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองที่วัดค่าจริงในอาคารที่ใช้งานจริง นอกจากนั้นการเก็บข้อมูลจากอาคารจริงจะสามารถขยายผลเพื่อปรับปรุงเกณฑ์อาคารเขียวให้เหมาะสมต่อไป

5.2.2 แนวทางการพิจารณาให้คะแนนด้านการใช้พลังงานในอนาคต

สำหรับเกณฑ์อาคารเขียวที่นิยมในประเทศไทย คือ LEED และ TREES กำหนดให้เปรียบเทียบค่า %SAVE กับคะแนนที่ได้รับในหมวดพลังงาน หมายความว่ายิ่งมีค่า %SAVE สูง ก็จะได้คะแนนมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ในการพิจารณาเฉพาะ %SAVE อาคารที่ได้คะแนนสูงกว่าอาจจะมีปริมาณการใช้พลังงานสูงกว่าอาคารที่ได้ %SAVE ต่ำกว่า ดังนั้นการพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ควรจะพิจารณาจากปริมาณการใช้พลังงานของอาคารนั้นๆ เมื่อเทียบกับอาคารอื่น

อย่างไรก็ตามการออกแบบอาคารยังมีปัจจัยภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ข้อจำกัดของพื้นที่ก่อสร้าง หรือ ข้อจำกัดด้านกฎหมาย ทำให้อาคารบางแห่งจำเป็นต้องมีลักษณะบางอย่างที่ไม่เหมาะสม เช่น จำเป็นต้องวางอาคารในแนวเหนือใต้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านที่ดิน แต่เมื่อมีการคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน จึงชดเชยด้วยเปลือกอาคารและงานระบบที่มีคุณภาพ เพื่อพยายามลดการใช้พลังงานของอาคารลง ในกรณีนี้การพิจารณา %SAVE ร่วมด้วยย่อมจะมีส่วนกระตุ้นและส่งเสริมให้เจ้าของโครงการสนใจลงทุนในอาคารเขียวมากกว่าพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้พลังงานของอาคารเพียงอย่างเดียว

จากข้อมูลอาคาร 13,500 แบบ เมื่อพิจารณาเฉพาะอาคารที่มี %SAVE เป็นบวก พบว่ามีจำนวนอาคารเหลือ 10,344 แบบ จากนั้นกำหนดค่าของการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานของอาคารแต่ละช่วงว่าควรจะได้คะแนนเท่าใด โดยอ้างอิงตามระดับการให้คะแนนของ EUI และ %SAVE ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม EUI และ %SAVE

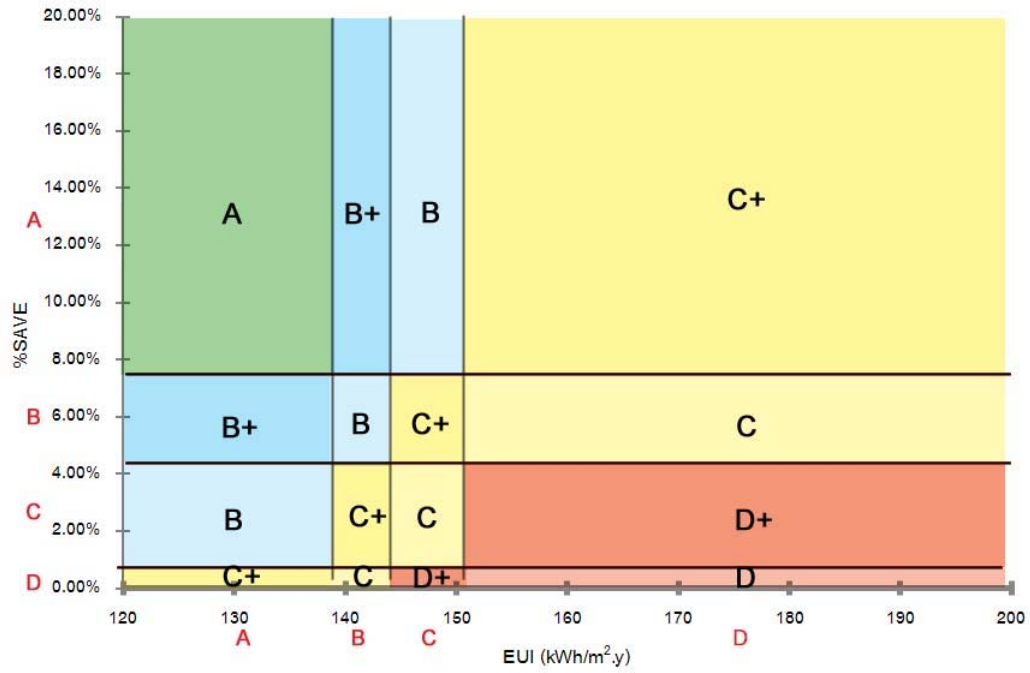
ตารางที่ 5.2 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม EUI

เปอร์เซ็นต์ไทล์	EUI (kWh/m ² .y)	คะแนน
0-25	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 138.27	A
26-50	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 143.94	B
51-75	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 150.45	C
75-100	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 187.65	D

ตารางที่ 5.3 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงตาม %SAVE

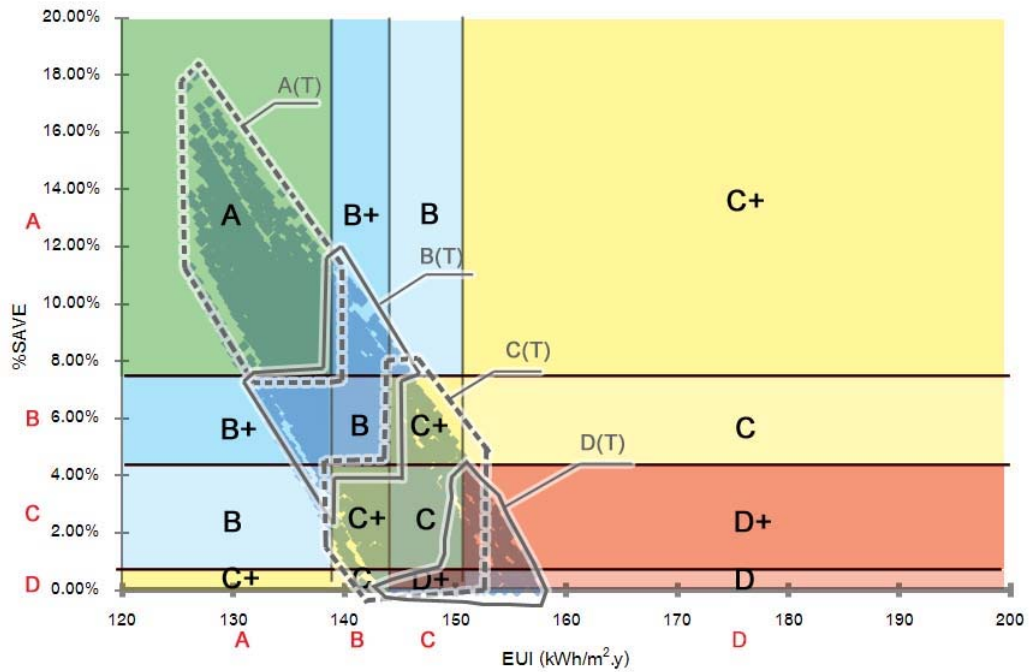
เปอร์เซ็นต์ไทล์	%SAVE	คะแนน
0-25	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.34%	D
26-50	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.24%	C
51-75	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.57%	B
75-100	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 18.01%	A

การแบ่งระดับอาคารตาม %SAVE และ EUI



แผนภูมิที่ 5.3 การแบ่งระดับอาคารตาม EUI และ %SAVE

การแบ่งระดับอาคารตาม %SAVE และ EUI



แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการแบ่งระดับอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก

แผนภูมิที่ 5.3 แสดงการแบ่งระดับอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก โดยให้นำหน้าทั้ง EUI และ %SAVE และเมื่อพิจารณาค่า %SAVE และ EUI ของอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.4 แสดงการแบ่งระดับอาคารที่มีค่า %SAVE เป็นบวก พบว่าอาคารที่ได้คะแนนรวม A(T) ส่วนมากอยู่ในระดับ A อาคารที่ได้คะแนนรวม B(T) ส่วนมากอยู่ในระดับ B+ ถึง B มีส่วนน้อยอยู่ในระดับ C+ อาคารที่ได้คะแนนรวม C(T) อยู่ในระดับ C+ ถึง C และบางส่วนอยู่ในระดับ D+ และอาคารที่ได้คะแนนรวม D(T) อยู่ในระดับ D ถึง D+ โดยมีบางส่วนอยู่ในระดับ C

อย่างไรก็ตามวิธีการจัดอันดับการใช้พลังงานของอาคารเขียวดังกล่าว เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้นเท่านั้น ควรจะพิจารณาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร และการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างอาคารจริงร่วมด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับเกณฑ์อาคารเขียวแต่ละแบบว่ามีจุดมุ่งหมายและแนวทางของเกณฑ์อย่างไร

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การุณย์ ศุภมิตรโยธิน. การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

จตุวัฒน์ วจิตมพันธ์. เรื่อง LEED ที่ควรรู้ จากมุมมองของ LEED AP. รวมบทความ วสท. ประจำปี 2553 (2010): 143-151.

ณัฐภูมิ รับคำอินทร์. อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

ดุสิต ธนเพทาย. ระบบอาคารอัตโนมัติ. รวมบทความ วสท. ประจำปี 2553 (2010): 91-94.

นินนาท ไชยธีรวิญญู. หลักเกณฑ์การประเมิน Green Building มาตรฐานอาคารเพื่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. Green Technology and innovation (2010): 17-22.

“ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552.” ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126, ตอนพิเศษ 122ง (28 สิงหาคม 2552): 27-29

ประพันธ์พงศ์ จงปติยัตต์. รูปแบบและองค์ประกอบผังบังแดดของอาคารพาณิชย์ กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น. ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2546.

พร วิรุฬห์รักษ์. เกมชิงพื้นที่การค้าเขียว : สาเหตุที่เราต้องมีสภาอาคารเขียวไทย. รวมบทความ วสท. ประจำปี 2553 (2010): 130-135.

สถาบันอาคารเขียวไทย. คู่มือสำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่. (ม.ป.ท.), มกราคม 2555

สวิชญา ดาวประกายมงคล. แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

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.
- ASHRAE (2007) Energy Standards for Buildings except Low-rise Residential Building. Standard 90.1 American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineer. Atlanta, GA USA
- Chirarattananon, S., Taveekun, J. An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand. Energy and Buildings 36 (2004) 680–689
- Chau C.K., Tse M.S., Chung K.Y. A choice experiment to estimate the effect of green experience on preferences and willingness-to-pay for green building attributes. Building and Environment 45 (2010): 2553–2561.
- Davis Langdon. The Cost of Green Revisited[online]. 2007. Available from: <http://www.davislangdon.com/upload/images/publications/USA/The%20Cost%20of%20Green%20Revisited.pdf> [2012, January 10]
- Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J., Lepers, S.. Design of buildings shape and energetic consumption. Building and Environment 36 (2001) 627-635
- Ekici, B., Aksoy, U. Canadian Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS. Expert Systems with Applications 38 (2011) 5352–5358.
- Gregory H. K. Green Building Costs and Financial Benefits. Massachusetts Technology Collaborative 2003. Available from: http://www.sfenvironment.org/downloads/library/costs__financial_benefits_of_green_building.pdf [2012, January 10]
- Issa, M.H., Rankin, J.H., Christian, A.J. Canadian practitioners' perception of research work investigating the cost premiums, long-term costs and health and productivity benefits of green buildings. Building and Environment 45 (2010): 1698–1711.
- LEED 2009 for new construction and major renovation [online]. 2012 Available from: <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=8868> [2012, September 15]

- Newsham, G., Mancini, S., Birt, B. Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but...
Energy and Building 41 (2009): 897–905.
- Pacheco, R., Ordonez, J., Martinez, G. Martinez. Energy efficient design of building: A
review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 3559– 3573
- Popescu, D., Bienert, S., Schutzenhofer, C., Boazu, R. Impact of energy efficiency
measures on the economic value of buildings. Applied Energy 89 (2012): 454–
463.
- Tatari, O., Kucukvar, M. Cost premium prediction of certified green buildings: A neural
network approach. Building and Environment 46 (2011): 1081–1086.
- Tongpun, N. Market View Bangkok Office (Fourth Quarter 2011). CBRE 2012.
Available from: [http://www.cbre.co.th/en/Bangkok-Office-MarketView-Q4-
2011.asp](http://www.cbre.co.th/en/Bangkok-Office-MarketView-Q4-2011.asp) [2012, March 14]
- USGBC. Green Building Facts. 2012. [online] Available from:
<http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=18693> [2012, September
20]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
นิตยสารศัพท์

“**อาคาร Baseline**” หมายถึง อาคารอ้างอิงที่ได้มีการจำลองพลังงานตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007 APPENDIX G. รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

“**อาคาร Proposed**” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรด้านเปลือกอาคาร รายละเอียดระบุในบทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

“**อาคาร Proposed เริ่มต้น**” หมายถึง อาคารที่กำลังศึกษา โดยอาคารยังไม่มีมีการปรับตัวแปรด้านเปลือกอาคารใดๆ โดยมีรูปแบบอาคารคือ รูปทรง,ทิศทางอาคาร/40/G0/W0/F0/DO

“**%SAVE**” หมายถึง Percentage improvement หรือค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2007

“**EUI**” หมายถึง Energy Use Index หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่ได้ได้รับมาจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม VISUAL DOE 4.0 ต่อหน่วยพื้นที่

“**SF**” อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของอาคาร

“**CI**” หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอาคารต่อพื้นที่ผิวภายนอก

“**คะแนน EUI**” หมายถึง คะแนนที่ได้รับจากค่า EUI โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงคะแนน คือ A, B, C และ D ตามลำดับ

“**คะแนน %SAVE**” หมายถึง คะแนนที่ได้รับจากค่า %SAVE โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงคะแนน คือ %A, %B, %C และ %D ตามลำดับ

“**คะแนนรวม**” หมายถึง คะแนนที่ได้จากการเฉลี่ยคะแนน EUI และคะแนน %SAVE โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงคะแนน คือ A(T), B(T), C(T) และ D(T) ตามลำดับ

ภาคผนวก ข
คุณสมบัติกระจก



บริษัท กระจกไทยอาชาฮี จำกัด (มหาชน)

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

Project name :

07-Dec-12

MK TSP 1212/09

Customer :

Dealer :

Schedule :

* This is the calculation data.

Quantity

_____ Ft²

item	Combination	Method	Visible ray(%)			Solar energy(%)			U-value (W/m ² K) Summer	Shading Coefficient	SHGC	RHG ASHRAE
			transmittance	Reflectance		transmittance	Reflectance Outside	Absorb				
				Outside	Inside							
G1	Green 6 mm. A/N + Clear PVB 0.76 mm. + Clear 6 mm. A/N	GSDB3GL	68.8	6.9	6.8	35.9	5.3	58.8	5.44	0.58	0.51	409
G3	SolarTAG Plus CS214 on Green 6 mm. H/S + Clear PVB 1.52 mm. + Clear 6 mm. H/S		11.7	24.8	27.4	6.2	13.7	80.1	5.33	0.31	0.27	238

* GSDB3GL = Calculation by AGC software.

Disclaimer : The performance data in the tables are based on measurement of samples and calculation.
The samples and calculation have variation of tolerances. The actual values may vary due to its tolerances.

ISO

Remark Solar Energy absorbtion ≥ 70 % should be use heat strenghten glass.

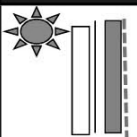
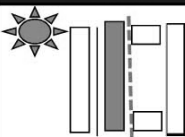
TGSG บริษัท ไทย-เยอรมัน สเปเชียลตี้กลาส จำกัด
Thai-German Specialty Glass Co.,Ltd.

Subject: Compare Glass Performance by Calculation

Project: -

G2

G4

REQUIREMENT	laminated สีเขียว(Low-E) 6+6	laminated-insulated สี เขียว(Low-E)
Product Name	12.76 REAVGN	28 HEAT STOP REAVGN
Criteria		
Combination from outside to inside building	6 mm. clear float glass + 0.76 mm. clear PVB. interlayer + 6 mm. green Low-E(CVD#4) Heat Strengthened glass	6 mm. clear float glass + 0.38 mm. clear PVB.interlayer + 6 mm. green Low-E(CVD#4) float glass / 10 mm. bending spacer with argon gas / 6 mm. clear float glass
THICKNESS (mm.)	12.38	28.38
1. Visible Light		
1.1 L/T (%)	46	42
1.2 L/R OUT(%)	15	16
1.3 L/R IN (%)	27	29
2. Solar Energy		
2.1 S/T	21	18
2.2 S/R out	8	8
2.3 Absorption	71	74
3. U-VALUE (W/m ² K)	2.93	1.85
4. SC	0.42	0.32
5. SHGC.	0.37	0.28
6. Relative Heat Gain (W/m ²)	285.02	214.98
7. Color	green	green
8. STC	37	41
9. Coating / IR Emittance at 283 K	CVD <0.16	CVD <0.16
10. Rectangular price Baht / M2	2,989	3,365
11. Standard	1. กระจกโฟลต	AS 2208, TIS 880-2532
	2. กระจกลามิเนต	AS 2208
	3. Quality Assurance	ISO 9001:2000/EN ISO 9001:2000 by RWTUV ISO/TS 16949: 2002 by RWTUV
12. Test Methods for durability CEN/TC 129 N 322 prEN ISO 12543-4 1997		1. High temperature test 2. Humidity test 3. Radiation test
13. Test Methods		1. Boiled Test 2. Hammered Test

Remarks:

- Maximum size : 2140 x 3300

ภาคผนวก ค

ตารางแสดง %SAVEและ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 45 แบบ

ตารางแสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 45 แบบ

แบบ	รายละเอียด	%save	EUI (kWh/m ² .y)
1	C1-1/40/G0/W0/F0/D0	3.90%	138.00
2	S-1/40/G0/W0/F0/D0	4.13%	140.27
3	S-2/40/G0/W0/F0/D0	4.03%	140.57
4	R1-1/40/G0/W0/F0/D0	5.10%	140.10
5	R1-2/40/G0/W0/F0/D0	3.98%	141.99
6	R1-3/40/G0/W0/F0/D0	3.40%	142.47
7	R1-4/40/G0/W0/F0/D0	4.58%	141.37
8	L1-1/40/G0/W0/F0/D0	4.18%	143.19
9	L1-2/40/G0/W0/F0/D0	4.20%	143.54
10	L1-3/40/G0/W0/F0/D0	4.23%	143.11
11	L1-4/40/G0/W0/F0/D0	4.28%	143.44
12	L1-5/40/G0/W0/F0/D0	4.31%	143.00
13	L1-6/40/G0/W0/F0/D0	4.31%	143.39
14	L1-7/40/G0/W0/F0/D0	4.26%	143.08
15	L1-8/40/G0/W0/F0/D0	4.24%	143.49
16	L2-1/40/G0/W0/F0/D0	5.66%	143.58
17	L2-2/40/G0/W0/F0/D0	4.38%	146.23
18	L2-3/40/G0/W0/F0/D0	3.77%	146.19
19	L2-4/40/G0/W0/F0/D0	5.71%	144.52
20	L2-5/40/G0/W0/F0/D0	5.75%	143.44
21	L2-6/40/G0/W0/F0/D0	4.49%	146.07
22	L2-7/40/G0/W0/F0/D0	3.76%	146.22
23	L2-8/40/G0/W0/F0/D0	5.88%	144.17
24	U1-1/40/G0/W0/F0/D0	4.60%	144.29
25	U1-2/40/G0/W0/F0/D0	4.97%	144.30
26	U1-3/40/G0/W0/F0/D0	5.09%	143.61

ตารางแสดง %SAVE และ EUI ของอาคาร Proposed เริ่มต้น 45 แบบ (ต่อ)

แบบ	รายละเอียด	%save	EUI (kWh/m ² .y)
27	U1-4/40/G0/W0/F0/D0	4.91%	144.31
28	U1-5/40/G0/W0/F0/D0	4.70%	144.12
29	U1-6/40/G0/W0/F0/D0	4.90%	144.43
30	U1-7/40/G0/W0/F0/D0	5.08%	143.65
31	U1-8/40/G0/W0/F0/D0	4.95%	144.22
32	U2-1/40/G0/W0/F0/D0	5.62%	143.81
33	U2-2/40/G0/W0/F0/D0	4.88%	145.42
34	U2-3/40/G0/W0/F0/D0	4.15%	145.82
35	U2-4/40/G0/W0/F0/D0	5.31%	145.03
36	U2-5/40/G0/W0/F0/D0	5.70%	143.65
37	U2-6/40/G0/W0/F0/D0	4.86%	145.49
38	U2-7/40/G0/W0/F0/D0	4.13%	145.86
39	U2-8/40/G0/W0/F0/D0	5.42%	144.82
40	X1-1/40/G0/W0/F0/D0	5.07%	143.52
41	X1-2/40/G0/W0/F0/D0	5.24%	143.93
42	X2-1/40/G0/W0/F0/D0	6.90%	144.93
43	X2-2/40/G0/W0/F0/D0	5.62%	148.02
44	X2-3/40/G0/W0/F0/D0	4.16%	148.91
45	X2-4/40/G0/W0/F0/D0	6.74%	146.63

ภาคผนวก ง

จัดอันดับอาคารรูปทรงและทิศทางต่างๆ ตามเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละแบบ

การจัดอันดับรูปทรงและการวางทิศทางแบบต่างๆ

อ้างอิงค่าเฉลี่ย EUI

C1-1	R1-1	S1-1	S1-2	L1-6	L1-8	R1-4	L1-4	L2-5	L2-1	X2-1	L1-7	U2-1	L1-3	U2-5	X1-2	X1-1	U1-7	U1-3	L1-5	R1-2	L1-1	L1-2	U1-6	U1-2	U1-4	R1-3	U1-1	U1-5	U1-8	L2-8	U2-8	L2-4	U2-4	U2-6	U2-2	X2-4	U2-7	U2-3	L2-2	L2-6	L2-7	L2-3	X2-2	X2-3
139.60	140.74	141.97	141.99	142.73	142.76	143.22	143.41	143.58	143.59	143.65	143.73	143.77	143.89	143.89	144.01	144.13	144.13	144.28	144.41	144.50	144.55	144.71	144.72	144.72	145.09	145.32	145.36	145.44	145.49	145.86	145.99	146.09	146.10	147.11	147.34	147.68	147.88	148.05	148.35	148.42	148.90	148.94	149.38	151.08

การใช้พลังงานน้อยที่สุด → การใช้พลังงานมากที่สุด

อ้างอิงค่าเฉลี่ย %SAVE

X2-1	X2-4	L2-5	L2-1	U2-1	U2-5	X1-2	L2-8	L2-4	R1-1	U1-7	U2-8	X2-2	U2-4	U1-6	L1-6	L1-8	U1-2	U1-3	X1-1	U1-4	L1-4	U1-8	U1-1	L1-7	U1-5	U2-6	L1-3	U2-2	R1-4	L1-2	L1-5	L1-1	S1-2	S1-1	L2-2	L2-6	C1-1	U2-7	X2-3	U2-3	R1-2	L2-7	L2-3	R1-3
6.91%	5.45%	5.02%	4.99%	4.98%	4.90%	4.46%	4.31%	4.23%	4.16%	4.13%	4.12%	4.10%	4.09%	4.06%	4.06%	4.05%	4.04%	4.02%	4.01%	3.74%	3.67%	3.49%	3.28%	3.25%	3.22%	3.21%	3.12%	3.06%	2.92%	2.83%	2.79%	2.71%	2.57%	2.50%	2.44%	2.40%	2.32%	2.27%	2.17%	2.16%	1.82%	1.50%	1.46%	1.03%

ค่าการประหยัดพลังงานมากที่สุด → ค่าการประหยัดพลังงานน้อยที่สุด

จัดอันดับตามคะแนน EUI

C1-1	R1-1	S1-1	S1-2	L1-6	L1-8	R1-4	L2-5	L1-4	L2-1	U2-1	L1-7	X2-1	L1-3	U2-5	U1-7	X1-2	X1-1	U1-3	L1-5	R1-2	L1-1	L1-2	U1-6	U1-2	U1-4	R1-3	U1-1	U1-8	U1-5	L2-8	U2-8	L2-4	U2-4	U2-6	X2-4	U2-2	U2-7	U2-3	L2-6	L2-2	L2-7	L2-3	X2-2	X2-3
946	896	855	851	833	818	813	807	806	803	797	796	795	789	787	783	783	778	775	774	768	766	766	764	763	746	737	734	734	731	729	725	720	717	679	679	673	660	656	640	639	627	623	611	578

ได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ดี → ได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

จัดอันดับตามคะแนน %SAVE

X2-1	X2-4	L2-5	L2-1	U2-1	U2-5	L2-8	L2-4	X1-2	U2-4	U2-8	L1-6	U1-7	U1-6	X2-2	U1-2	X1-1	U1-3	R1-1	L1-8	U1-4	L1-4	U1-8	U2-6	U1-1	U1-5	U2-2	L1-7	R1-4	L1-3	L1-2	L1-5	L1-1	L2-6	L2-2	X2-3	S1-2	U2-7	S1-1	U2-3	C1-1	L2-7	L2-3	R1-2	R1-3
924	862	832	828	825	824	806	799	799	791	791	789	787	784	783	782	782	777	775	770	768	757	754	746	742	737	736	734	728	723	715	709	704	704	703	696	690	689	685	684	669	657	652	649	609

ได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ดี → ได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

จัดอันดับตามคะแนนรวม

L2-5	L2-1	X2-1	U2-1	L1-6	U2-5	R1-1	X1-2	L1-8	U1-7	X1-1	U1-3	U1-6	L1-4	U1-2	U1-4	L1-7	L2-8	R1-4	U2-8	L1-3	U1-8	L2-4	U1-1	U2-4	L1-2	U1-5	C1-1	L1-5	L1-1	S1-2	X2-4	S1-1	U2-6	U2-2	U2-7	U2-3	R1-2	L2-6	L2-2	L2-7	L2-3	X2-2	R1-3	X2-3
803	800	796	793	789	783	775	772	768	766	762	756	755	753	753	736	734	729	728	725	723	723	720	717	717	715	715	711	709	704	690	689	685	679	673	655	650	649	640	639	622	619	618	609	578

ได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ดี → ได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

ภาคผนวก จ

ตารางแสดง การเพิ่ม %SAVE และลด EUI ของอาคาร 45 แบบ โดยแผงผังแดด 4 แบบ

ตารางแสดง อัตราการเพิ่ม %SAVE ของอาคาร 45 แบบ โดยแบ่งผังแคต 4 แบบ

แบบ	รูปทรง	อัตราการเพิ่มของ %SAVE			
		F1	F2	F3	F1
1	C1-1	10.66%	19.04%	43.74%	68.67%
2	S1-1	11.37%	20.82%	49.62%	72.03%
3	S1-2	12.55%	22.40%	53.96%	84.58%
4	R1-1	9.20%	16.64%	46.28%	62.68%
5	R1-2	13.41%	21.96%	50.19%	84.11%
6	R1-3	14.80%	26.90%	55.14%	89.40%
7	R1-4	11.52%	20.19%	50.35%	76.86%
8	L1-1	14.23%	24.52%	56.13%	82.68%
9	L1-2	14.23%	24.91%	58.43%	89.18%
10	L1-3	20.87%	30.49%	55.59%	81.13%
11	L1-4	24.74%	34.61%	65.89%	92.10%
12	L1-5	12.99%	22.70%	53.45%	77.15%
13	L1-6	11.88%	21.93%	53.35%	83.63%
14	L1-7	19.10%	28.81%	59.10%	82.60%
15	L1-8	25.44%	34.85%	59.98%	89.66%
16	L2-1	9.45%	17.28%	45.95%	64.65%
17	L2-2	11.51%	20.67%	56.57%	91.16%
18	L2-3	14.66%	25.81%	51.54%	85.44%
19	L2-4	10.32%	18.27%	44.26%	66.58%
20	L2-5	9.15%	16.55%	43.80%	62.88%
21	L2-6	10.98%	19.72%	49.50%	83.34%
22	L2-7	16.47%	27.59%	55.97%	91.43%
23	L2-8	9.46%	15.78%	40.56%	60.12%

ตารางแสดง อัตราการเพิ่ม %SAVE ของอาคาร 45 แบบ โดยแบ่งผังแคต 4 แบบ (ต่อ)

แบบ	รูปทรง	อัตราการเพิ่มของ %SAVE			
		F1	F2	F3	F1
24	U1-1	11.92%	21.85%	48.08%	71.07%
25	U1-2	11.94%	20.81%	48.13%	76.39%
26	U1-3	10.55%	19.02%	43.92%	63.28%
27	U1-4	12.08%	20.96%	44.84%	74.22%
28	U1-5	11.36%	20.59%	42.85%	65.70%
29	U1-6	12.13%	21.25%	50.07%	79.03%
30	U1-7	10.31%	18.80%	46.83%	66.18%
31	U1-8	11.30%	19.80%	41.38%	70.59%
32	U2-1	9.47%	17.13%	44.18%	62.17%
33	U2-2	10.31%	18.40%	41.49%	71.50%
34	U2-3	13.63%	25.03%	50.42%	80.78%
35	U2-4	11.27%	19.95%	49.78%	73.78%
36	U2-5	9.32%	16.40%	39.53%	57.47%
37	U2-6	12.50%	20.53%	43.23%	73.92%
38	U2-7	13.98%	25.40%	54.26%	84.97%
39	U2-8	10.60%	18.76%	46.66%	68.76%
40	X1-1	10.42%	18.46%	38.24%	59.69%
41	X1-2	10.51%	18.45%	42.45%	64.13%
42	X2-1	7.93%	14.13%	32.96%	49.05%
43	X2-2	11.31%	18.70%	38.91%	65.00%
44	X2-3	12.73%	23.35%	49.73%	82.71%
45	X2-4	8.40%	14.09%	37.89%	56.38%

ตารางแสดง อัตราการลด EUI ของอาคาร 45 แบบ โดยแบ่งผังแดด 4 แบบ

แบบ	รูปทรง	อัตราการเพิ่มของ %SAVE			
		F1	F2	F3	F1
1	C1-1	0.43%	0.76%	1.78%	2.77%
2	S1-1	0.49%	0.89%	2.14%	3.05%
3	S1-2	0.52%	0.92%	2.29%	3.60%
4	R1-1	0.50%	0.90%	2.53%	3.37%
5	R1-2	0.53%	0.86%	2.05%	3.48%
6	R1-3	0.49%	0.89%	1.88%	3.02%
7	R1-4	0.53%	0.94%	2.44%	3.77%
8	L1-1	0.60%	1.04%	2.42%	3.50%
9	L1-2	0.59%	1.04%	2.55%	3.93%
10	L1-3	0.90%	1.32%	2.39%	3.47%
11	L1-4	1.07%	1.50%	2.94%	4.12%
12	L1-5	0.57%	1.00%	2.39%	3.38%
13	L1-6	0.50%	0.94%	2.40%	3.79%
14	L1-7	0.82%	1.24%	2.59%	3.57%
15	L1-8	1.11%	1.51%	2.66%	3.99%
16	L2-1	0.57%	1.04%	2.80%	3.86%
17	L2-2	0.48%	0.85%	2.58%	4.16%
18	L2-3	0.52%	0.90%	1.91%	3.16%
19	L2-4	0.60%	1.06%	2.68%	4.08%
20	L2-5	0.56%	1.02%	2.72%	3.83%
21	L2-6	0.47%	0.84%	2.32%	3.93%
22	L2-7	0.60%	0.99%	2.07%	3.39%
23	L2-8	0.57%	0.92%	2.52%	3.78%

ตารางแสดง อัตราการลด EUI ของอาคาร 45 แบบ โดยแบ่งผังแคต 4 แบบ (ต่อ)

แบบ	รูปทรง	อัตราการเพิ่มของ %SAVE			
		F1	F2	F3	F1
24	U1-1	0.55%	1.01%	2.26%	3.31%
25	U1-2	0.60%	1.03%	2.50%	4.00%
26	U1-3	0.55%	1.00%	2.34%	3.33%
27	U1-4	0.59%	1.03%	2.30%	3.81%
28	U1-5	0.54%	0.97%	2.06%	3.13%
29	U1-6	0.60%	1.05%	2.58%	4.10%
30	U1-7	0.54%	0.99%	2.50%	3.46%
31	U1-8	0.56%	0.98%	2.12%	3.64%
32	U2-1	0.55%	1.01%	2.65%	3.66%
33	U2-2	0.48%	0.86%	2.09%	3.63%
34	U2-3	0.55%	1.01%	2.06%	3.31%
35	U2-4	0.61%	1.07%	2.77%	4.17%
36	U2-5	0.55%	0.98%	2.41%	3.42%
37	U2-6	0.61%	0.98%	2.19%	3.75%
38	U2-7	0.56%	1.02%	2.23%	3.47%
39	U2-8	0.58%	1.02%	2.66%	3.95%
40	X1-1	0.54%	0.95%	1.98%	3.04%
41	X1-2	0.55%	0.98%	2.36%	3.56%
42	X2-1	0.58%	1.04%	2.44%	3.57%
43	X2-2	0.63%	1.02%	2.26%	3.81%
44	X2-3	0.49%	0.90%	2.06%	3.38%
45	X2-4	0.58%	0.96%	2.73%	4.09%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาว อุโรชา เจียรนัยพานิชย์

เกิด วันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2524

การศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์)
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์)
- ระดับอุดมศึกษา
 - สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต
 - ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
 - สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เข้าศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มวิชานวัตกรรมการออกแบบ
นิเวศสถาปัตย์ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

การทำงาน

- พ.ศ. 2546-ปัจจุบัน บริษัท ปาล์มเมอร์ แอนด์ เทอร์เนอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
ตำแหน่ง Associate