



การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีผลต่อ
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศใน
บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว

โดย

นางสาวณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีผลต่อ
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศใน
บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว

โดย

นางสาวณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



SENSITIVITY ANALYSIS OF THE IMPACT OF BUILDING
COMPONENTS ON AC ELECTRICITY CONSUMPTION
IN THAI DETACHED HOUSE

BY

MISS NATTHAUMPORN INPROM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวณัฐฐาอำพร อินทร์พรหม

เรื่อง

การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีผลต่อ
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศใน
บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

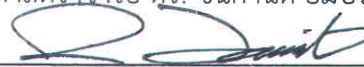
เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกันต์ ยิ้มประยูร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร. สาธิตา สกุรัตน์กุลชัย)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสต์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบ กรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของ เครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว
ชื่อผู้เขียน	นางสาวณัฐธำมพร อินทร์พรหม
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร.ดารณี จาริมิตร
ปีการศึกษา	2558

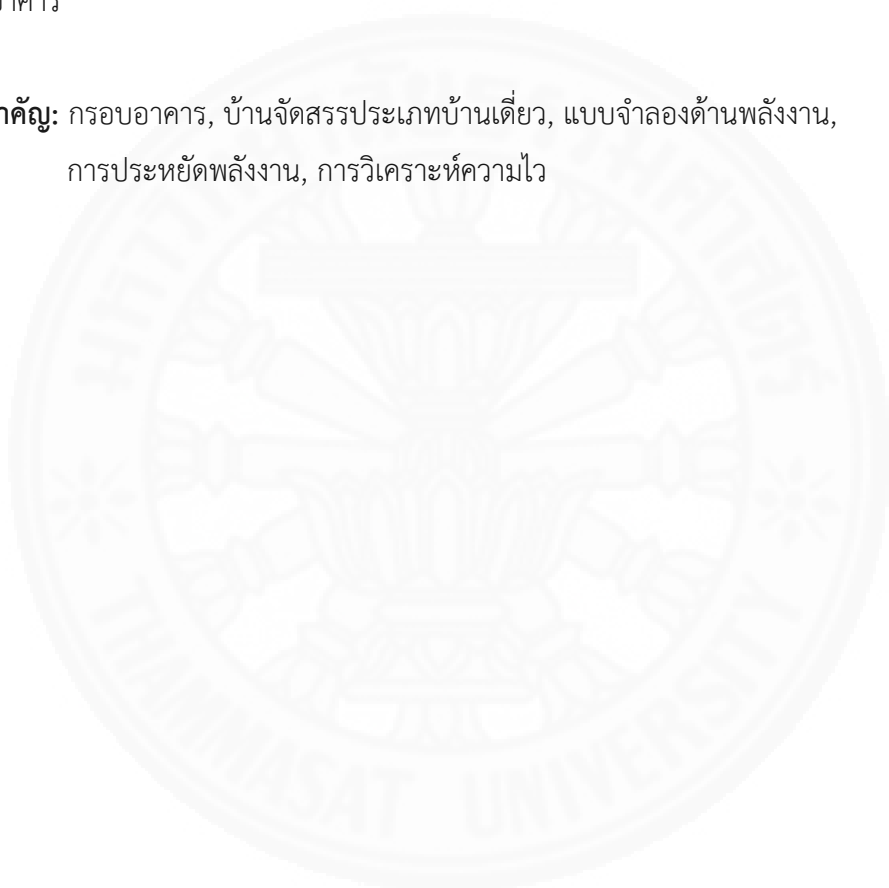
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว เพื่อหาข้อสรุปแนวทางในการพิจารณาประกอบการตัดสินใจสำหรับการออกแบบบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานในอนาคต ตลอดจนการปรับปรุงที่เหมาะสมสำหรับบ้านในโครงการจัดสรรที่มีอยู่เดิมให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดรูปแบบบ้านกรณีศึกษาและกำหนดขอบเขตของตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่จะทำการศึกษา โดยทำการศึกษาจากรูปแบบบ้านเดี่ยวทั้งหมด 546 แบบ ที่พบในโครงการจัดสรรที่ตั้งอยู่ภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และช่วงที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความไวของตัวแปรองค์ประกอบของกรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้การวิเคราะห์ความไวแบบมหภาค

จากการจำลองพลังงานของบ้านกรณีศึกษาในโปรแกรม eQUEST 3.64 พบว่า ทิศทางการวางอาคารที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีมีค่าแตกต่างกันที่ร้อยละ 3.2 – 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก ซึ่งมีช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด (2336.20 – 3981.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) และปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก ซึ่งมีช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากที่สุด (2413.30 – 4183.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) และจากการจัดลำดับพบว่า บ้านกรณีศึกษาทั้ง 4 ทิศทางการวางอาคารมีลำดับอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบกรอบ

อาคารที่ควรให้ความสำคัญในการออกแบบหรือเลือกปรับปรุงเพื่อการประหยัดพลังงานมากที่สุดใน 4 ลำดับแรกๆที่เหมือนกัน ได้แก่ 1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) 2) สีผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) 3) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง และ 4) ระยะยื่นชายคา ตามลำดับ ส่วนตัวแปรองค์ประกอบของกรอบอาคารอื่น ๆ มีลำดับแตกต่างกันไปในแต่ละบ้านกรณศึกษาที่มีทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ผลจากการวิจัยได้นำเสนอสมการพยากรณ์ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับบ้านกรณศึกษาในแต่ละทิศทางการวางอาคาร

คำสำคัญ: กรอบอาคาร, บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว, แบบจำลองด้านพลังงาน, การประหยัดพลังงาน, การวิเคราะห์ความไว



Thesis Title	SENSITIVITY ANALYSIS OF THE IMPACT OF BUILDING COMPONENTS ON AC ELECTRICITY CONSUMPTION IN THAI DETACHED HOUSE
Author	Miss Natthaumporn Inprom
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Daranee Jareemit, Ph.D
Academic Years	2015

ABSTRACT

This research studies an influence of envelope design parameters on energy consumption for space cooling in Thai detached houses. The research results provide a design guideline for energy efficient houses and retrofitting existing houses becoming more energy efficient, which is related to building orientation. The study composes of two parts; the first part is to develop the reference houses and define a distribution of envelope design parameters, which are observed from the design document from existing 546 detached houses located in Bangkok neighborhoods. The second part is to analyze the envelope design parameters, which significantly impact the building energy consumption for space cooling via using global sensitivity analysis.

The analysis of reference home energy performance uses eQUEST 3.64. The results show that the building orientation makes the difference in energy performance ranging from 3.2 – 4.8 percent. The east facing houses consume less energy ranging from 2336.20 – 3981.70 kWh and the highest energy consumption ranging from 2413.30 – 4183.40 kWh is found in the west facing houses. Interestingly, the most important influence parameters on energy performance for all different building orientations are 1) SHGC, 2) wall colors, 3) U-value of walls, and 4) depth of

roof overhang, respectively. Finally, the study proposes the equations to predict total energy consumption for space cooling (kWh) for a detached house associated to building orientation.

Keywords: Building Envelope, Detached Houses, Energy Simulation Model, Energy Saving, Sensitivity Analysis



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความกรุณาอย่างดียิ่งจาก ดร.ดารณี จาริมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความรู้ ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ตลอดจนข้อคิดเห็นและคำชี้แนะสำหรับแนวทางในการทำงานต่าง ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาและอุปสรรคในการศึกษาวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สาธิตา สุกุลรัตน์กุลชัย กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาด้านการใช้เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยเสมอมา ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกันต์ ยิ้มประยูร จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่นอกจากจะกรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้วยังกรุณาสละเวลาช่วยตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมรุ่น รวมถึงเจ้าหน้าที่ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ทุกท่านที่คอยสนับสนุนข้อมูลข่าวสารที่เป็นประโยชน์และคอยให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวทุกท่าน ที่พร้อมให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในทุก ๆ ด้าน รวมถึงคอยรับฟังปัญหาและเป็นให้กำลังใจที่สำคัญแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาในการศึกษาที่ผ่านมา จนทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2559 ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 15/2559

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสามารถทำประโยชน์ให้แก่วงการสถาปัตยกรรมได้ไม่มากนัก

นางสาวณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
สารบัญแผนภูมิ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 คำถามวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา	4
1.5.2 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
1.7 นิยามศัพท์	5
1.8 กรอบวิธีการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 แหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคาร	7
2.1.1 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมาจากภายนอกอาคาร	7
2.1.2 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมาจากภายในอาคาร	8
2.2 วิธีการและประเภทตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการคำนวณปริมาณความร้อน	8

2.2.1 การคำนวณปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจก	10
2.2.2 การคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านผนังทึบ	11
2.3 แนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน	14
2.3.1 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการจัดทิศทางอาคาร	14
2.3.2 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการออกแบบหลังคา	15
2.3.3 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการออกแบบช่องเปิด	16
2.4 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร	21
2.4.1 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ local	21
2.4.2 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ global	22
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	28
3.1 การดำเนินการวิจัย	28
3.1.1 การศึกษาเชิงสำรวจ	28
3.1.2 การคำนวณเชิงตัวเลข	30
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	31
บทที่ 4 แบบบ้านกรณีศึกษาและตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข	34
4.1 ผลจากการสำรวจข้อมูล	34
4.1.1 ข้อมูลที่เก็บสำหรับกำหนดบ้านกรณีศึกษา	34
4.1.2 สรุปรูปแบบบ้านกรณีศึกษาเพื่อใช้ในแบบจำลองพลังงาน	44
4.1.3 ข้อมูลที่เก็บสำหรับกำหนดช่วงตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข	45
4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข	47
4.2.1 ตัวแปรต้น	47
4.2.2 ตัวแปรตาม	48
4.2.3 ตัวแปรควบคุม	48

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร	50
5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	50
5.1.1 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ	50
5.1.2 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก	51
5.1.3 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศใต้	51
5.1.4 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก	53
5.2 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอย	54
5.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	57
5.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน	71
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	91
6.1 ผลการวิจัย	91
6.1.1 ผลการสำรวจ	91
6.1.2 ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงาน	92
6.2 แนวทางการประยุกต์ใช้	96
6.2.1 กำหนดรายละเอียดของบ้านที่ต้องการออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไข	96
6.2.2 กำหนดทิศทางการวางอาคารของบ้าน	98
6.2.3 เลือกลำดับความสำคัญและระบุค่าต่าง ๆ ขององค์ประกอบรอบอาคาร	98
6.2.4 คำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh) ของเครื่องปรับอากาศ	99
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	102
รายการอ้างอิง	103
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	109
ภาคผนวก ข	113

ภาคผนวก ค	117
ภาคผนวก ง	121
ประวัติผู้เขียน	125



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปงานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้อง	19
2.2 สรุปงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง	21
4.1 สัดส่วนความกว้าง ความยาวของห้องต่าง ๆ ในผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา	44
4.2 สรุปข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่พบมากที่สุดในแต่ละด้าน แต่ละชั้น	46
4.3 สรุปตัวแปรต้นที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่าง	48
4.4 ตัวอย่างชุดข้อมูลตัวแปรต้นสำหรับขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลข	49
4.5 สรุปตัวแปรควบคุมสำหรับขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลข	49
5.1 สรุป 14 ตัวแปรต้น และ 1 ตัวแปรตามสำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอย	56
5.2 สรุปค่า R^2 และความคลาดเคลื่อน (std. error of the estimate) ทั้ง 4 กรณีศึกษาการวางอาคาร	56
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 11 กรณีอาคารหันไปทิศเหนือ	59
5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 11 กรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก	59
5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 11 กรณีอาคารหันไปทิศใต้	60
5.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 10 กรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก	60
5.7 ค่าตัวแปร X_1 ถึง X_{11} ในชุดข้อมูลแต่ละกรณีที่แทนลงในสมการที่ 5.1 ถึง 5.43	68
5.8 เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศเหนือ	75
5.9 เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
5.10	เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไป ได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศใต้	82
5.11	เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไป ได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก	86
6.1	สัดส่วนความกว้าง ความยาวของห้องต่าง ๆ ในผังพื้นที่ 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา	92
6.2	สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับ บ้านที่หันไปทางทิศเหนือ	93
6.3	สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับ บ้านที่หันไปทางทิศตะวันออก	94
6.4	สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับ บ้านที่หันไปทางทิศใต้	94
6.5	สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับ บ้านที่หันไปทางทิศตะวันตก	95
6.6	ช่วงขอบเขตข้อมูลองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่พบจากการสำรวจ สำหรับบ้านกรณีศึกษา	98
6.7	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงซึ่งมีผลมาจากการออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบ ของกรอบอาคารในแต่ละส่วนโดยอ้างอิงจากช่วงขอบเขตของการสำรวจองค์ประกอบ กรอบอาคารของบ้านกรณีศึกษา	102

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนการคำนวณวิธีแบบอนุกรมเวลา	9
2.2 สรุปตัวแปรในด้านการออกแบบกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านทางช่องเปิดหรือกระจก	11
2.3 สรุปตัวแปรในด้านการออกแบบกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังทึบ	13
2.4 ลักษณะการจัดวางอาคารที่สัมพันธ์กับทิศทางตกกระทบของแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	15
2.5 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอน	17
2.6 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้ง	17
2.7 อุปกรณ์บังแดดแบบผสม	18
2.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ Global sensitivity analysis ในเชิงอนุรักษ์พลังงาน	23
2.9 การสุ่มตัวอย่างแบบ LHS ในแต่ละอันตรภาคชั้นของข้อมูล	24
2.10 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากหลักการ LHS กับ SRS	25
3.1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อกำหนดบ้านกรณีศึกษา	29
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยช่วงการสำรวจ	29
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยช่วงการคำนวณเชิงตัวเลข	31
3.4 ตัวอย่างโปรแกรม Simlab 2.2	32
3.5 ตัวอย่างโปรแกรม eQUEST 3.64	32
3.6 ตัวอย่างโปรแกรม SPSS	33
4.1 ลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ชั้น 1	35
4.2 ลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องนอน และห้องน้ำในพื้นที่ชั้น 2	37
4.3 ผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา	44
4.4 แบบจำลองบ้านกรณีศึกษา	47
5.1 ขั้นตอนการสร้างสมการถดถอยจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้น	58

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนัง แต่ละด้านกรณีอาคารหันไปทิศเหนือ	77
5.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนัง แต่ละด้านกรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก	79
5.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนัง แต่ละด้านกรณีอาคารหันไปทิศใต้	83
5.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนัง แต่ละด้านกรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก	87
6.1 ผังพื้นที่ 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา	90
6.2 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบหรือเพื่อการตัดสินใจปรับปรุงแก้ไข กรอบอาคารสำหรับบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว	97
6.3 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศจาก สมการที่ 5.1 และ 5.2	100

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
4.1 จำนวนในแต่ละแบบของลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 1	36
4.2 จำนวนห้องนอน และห้องน้ำที่อยู่ในพื้นที่ชั้น 2 ของแบบ B	36
4.3 จำนวนในแต่ละแบบของลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องนอนและห้องน้ำในพื้นที่ชั้น 2	38
4.4 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมในชั้น 1 และ 2	39
4.5 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่างๆ ในพื้นที่ชั้น 1	39
4.6 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่างๆ ในพื้นที่ชั้น 2	40
4.7 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของความกว้างและความยาวของผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2	41
4.8 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 1	42
4.9 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 2	43
4.10 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังในแต่ละด้านของชั้น 1	45
4.11 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังในแต่ละด้านของชั้น 2	46
5.1 ช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีทั้ง 4 ทิศทางการวางอาคาร	50
5.2 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีกรณีที่อาคารหันไปทางทิศเหนือ	51

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า
5.3 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีที่อาคารหันไปทางทิศตะวันออก	52
5.4 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีที่อาคารหันไปทางทิศใต้	52
5.5 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีที่อาคารหันไปทางทิศตะวันตก	53
5.6 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการ กับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ	69
5.7 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการ กับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก	69
5.8 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการ กับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศใต้	70
5.9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการ กับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก	70
5.10 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศเหนือ	72
5.11 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก	73
5.12 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศใต้	73
5.13 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก	74
6.1 สรุปลำดับของอิทธิพลตัวแปรต้นในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคาร	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวัน และกระทบต่อการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ที่ขับเคลื่อนภาคเศรษฐกิจสำคัญในแต่ละประเทศ ซึ่งจากการประเมินสถานการณ์พลังงานโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานจากภาคอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 40 ของการใช้พลังงานทั่วโลก และถือเป็นตัวการสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ทำลายสภาพแวดล้อม (IPCC, 2014) สำหรับในประเทศไทย จากระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2538 – 2558) การใช้พลังงานของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เฉลี่ยร้อยละ 4.4 ต่อปี จนปัจจุบันมีการใช้พลังงานเป็น 2.1 เท่าของปี 2538 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) และจากการคาดการณ์สถานการณ์ในอีก 30 ปีข้างหน้า พบว่าปริมาณการใช้พลังงานทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 56 เมื่อเทียบกับปัจจุบัน โดยปริมาณการใช้พลังงานร้อยละ 85 จะถูกใช้ไปในส่วนของการพัฒนาเมือง และสิ่งก่อสร้างมากที่สุด (U.S. EIA, 2013) ซึ่งถึงแม้ว่าปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นนี้จะเป็นการเติบโตที่ควบคู่ไปกับอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจก็ตาม แต่ถ้าหากระดับความต้องการใช้พลังงานนี้ยังไม่สามารถลดปริมาณลง ในอนาคตอันใกล้อาจก่อให้เกิดภาวะปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่รุนแรงได้

จากแนวโน้มสถานการณ์ทางพลังงานในช่วงต้นนั้น ทำให้ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงการให้ความสำคัญของการใช้พลังงาน โดยมีมาตรการและนโยบายรับมือต่าง ๆ ออกมารองรับสถานการณ์ ซึ่งมาตรการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเชื่อว่าจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพ คือ การรณรงค์ให้ประหยัดพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารประเภทต่าง ๆ มากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของอาคารพาณิชย์ที่อยู่อาศัย ในต่างประเทศมีการกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารที่อยู่อาศัยมากขึ้น อาทิ ประเทศญี่ปุ่น อินเดีย จีน ออสเตรเลีย และกลุ่มประเทศในองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนาของประเทศกลุ่มยุโรป (OECD) โดยมีทั้งนโยบายที่มีผลบังคับใช้ออกโดยรัฐบาล นโยบายที่ส่งเสริมโดยใช้แรงจูงใจทางเศรษฐกิจ และนโยบายที่อาศัยความสมัครใจในความร่วมมือจากสมาคมด้านพลังงาน เช่น การลดหย่อนภาษี การปล่อยสินเชื่อพิเศษ และการมอบรางวัลสำหรับอาคารที่ประหยัดพลังงานในเกณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้น (Shen et al., 2015) สำหรับในประเทศไทย กระทรวงพลังงานได้มีการจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579

(Energy Efficiency Plan; EEP 2015) ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดของนโยบายกลยุทธ์การส่งเสริมและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน กลยุทธ์การส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม รวมถึงการเผยแพร่คู่มือการออกแบบ และคู่มือแบบประเมินอาคารต่าง ๆ เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยมากขึ้น โดยมีเป้าหมายในการลดปริมาณการใช้พลังงานในส่วนของอาคารที่พักอาศัยลงให้ได้ร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับปัจจุบัน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

จากการพิจารณาอาคารที่อยู่อาศัยในปัจจุบันประเภทต่าง ๆ อ้างอิงจากสถิติสัดส่วนที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จในปี พ.ศ. 2556 แยกตามประเภทที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า บ้านเดี่ยวและบ้านแฝดมีจำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่อยู่อาศัยประเภทอื่น ๆ และจากสถิติความต้องการรูปแบบประเภทที่อยู่อาศัยที่ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ได้รวบรวมไว้ พบว่า มีความต้องการซื้อที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยวมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 42 เมื่อเทียบกับที่อยู่อาศัยประเภทอื่น ๆ (ธนาคารอาคารสงเคราะห์, 2557) จากข้อมูลดังกล่าวจึงอาจสรุปได้ว่า แนวโน้มการใช้พลังงานจากภาคที่อยู่อาศัยนั้นจะมีสัดส่วนที่มาจากที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยวมากที่สุด ดังนั้นถ้าหากสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในสัดส่วนของที่อยู่อาศัยประเภทนี้ลงได้ ก็จะช่วยช่วยให้การใช้พลังงานโดยรวมของประเทศลดลงได้อีกเช่นกัน

แนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารที่พักอาศัยภายในประเทศไทยในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี อย่างไรก็ตาม แนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาจากกรอบอาคาร เนื่องจากสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ และจากการให้คะแนนของเกณฑ์การประเมินในคู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารที่พักอาศัย พบว่ามีการให้คะแนนในส่วนของกรอบอาคารมากที่สุด เนื่องจากเป็นส่วนที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด โดยเน้นไปที่เกณฑ์การให้คะแนนจากวัสดุต่าง ๆ (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) นอกจากนี้จากหลายงานวิจัย พบว่าการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จะเน้นไปที่การเลือกเปลี่ยนวัสดุก่อสร้างกรอบอาคารหรือการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดต่าง ๆ เช่นเดียวกัน แต่ไม่ได้มีการเรียงลำดับเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการปรับปรุงที่แน่ชัด รวมทั้งยังไม่มีการศึกษาผลกระทบจากองค์ประกอบสำหรับการออกแบบอื่น ๆ เลย ไม่ว่าจะเป็น อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ระยะยื่นชายคา หรือการวางทิศทางของอาคารซึ่งมีผลต่อความแตกต่างกันของปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาจากกรอบอาคารในแต่ละด้าน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ล้วนแต่มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเช่นกัน

จากการพิจารณาแนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารที่พักอาศัยในต่างประเทศ พบว่ามีการนำเอาทฤษฎีการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร (sensitivity analysis) ซึ่งถูกใช้กันอย่าง

แพร่หลายเพื่อการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน รวมทั้งการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Hamby, 1994) โดยนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของแต่ละแนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารได้จากผลลัพธ์ค่าดัชนีบ่งบอกลำดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบอาคารต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจได้ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการออกแบบ ไปจนถึงกระบวนการบริหารจัดการอาคาร การประเมินอาคารหรือการปรับปรุงอาคาร (Tian, 2013) วิธีการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาการออกแบบอาคารที่פקอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงานได้

โดยจากประเด็นที่กล่าวข้างต้นนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษารูปแบบบ้านในโครงการจัดสรรที่มีอยู่ในปัจจุบัน และวิเคราะห์ถึงความแตกต่างในการเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบอาคารต่าง ๆ ในการออกแบบที่มีผลต่อระดับปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมที่ต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบอาคารต่าง ๆ สำหรับการออกแบบอาคารที่פקอาศัยประเภทบ้านในโครงการจัดสรรใหม่ หรือตลอดจนการปรับปรุงอาคารที่פקอาศัยประเภทบ้านในโครงการจัดสรรที่มีอยู่แต่เดิมให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 คำถามวิจัย

ตัวแปรใดมีอิทธิพลต่อแนวทางการออกแบบและการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวมากที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบอาคารที่มีต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปี ของเครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวในแต่ละกรณีศึกษาทางการวางอาคาร ดังนั้นเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหัวข้อดังต่อไปนี้

1.3.1 ศึกษาลักษณะการออกแบบขนาด การจัดวางผังพื้นที่ใช้สอยและองค์ประกอบอาคารของบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวที่พบอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน เพื่อกำหนดตัวแทนบ้านกรณีศึกษาและกำหนดขอบเขตของตัวแปรที่จะทำการศึกษา

1.3.2 วิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบอาคารที่มีต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kWh) ต่อปี ในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวแต่ละกรณีศึกษาทางการวางอาคาร เพื่อประเมินผลที่ได้จากสมการถดถอยและเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของอิทธิพลตัวแปร

1.3.3 นำเสนอแนวทางการออกแบบหรือแนวทางการปรับปรุงแก้ไขที่เหมาะสมสำหรับบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวในแต่ละกรณี

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

ลำดับความสำคัญของอิทธิพลตัวแปรด้านองค์ประกอบรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kWh) ต่อปีของบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวมีความแตกต่างกันเมื่อมีทิศทางการวางอาคารแตกต่างกัน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาและจัดลำดับความสำคัญเฉพาะตัวแปรทางด้านทิศทางการวางอาคารและตัวแปรด้านองค์ประกอบรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปี ของเครื่องปรับอากาศในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเท่านั้น

1.5.2 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

ศึกษาเฉพาะบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้นซึ่งเป็นบ้านสร้างเสร็จและยังเปิดขายในโครงการที่ตั้งอยู่ภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการเผยแพร่สาธารณะสามารถเข้าถึงได้ง่าย ความสะดวกต่อการเก็บข้อมูลในปริมาณมาก

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.6.1 ได้ทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐานลักษณะต่าง ๆ ในการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างของบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบของสถาปนิกและเป็นฐานข้อมูลสำหรับนักวิจัยเพื่อนำไปใช้ศึกษาหัวข้ออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในอนาคต

1.6.2 ได้ทราบถึงข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kWh) ต่อปี ในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวรูปแบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และได้ทราบถึงลำดับความสำคัญของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว รวมทั้งสามารถพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกรณีต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกตัดสินใจปรับปรุงแก้ไขสำหรับผู้อยู่อาศัยหรือเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบสำหรับสถาปนิกเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมสำหรับบ้านเดี่ยวในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคารได้

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า คือ ระดับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปี ภายในบ้านกรณีศึกษา

1.7.2 ภาระการทำความเย็น คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณปรับอากาศหรือบริเวณทำความเย็น โดยระบบปรับอากาศต้องทำการกำจัดความร้อนนี้ออกไปจากพื้นที่ปรับอากาศ

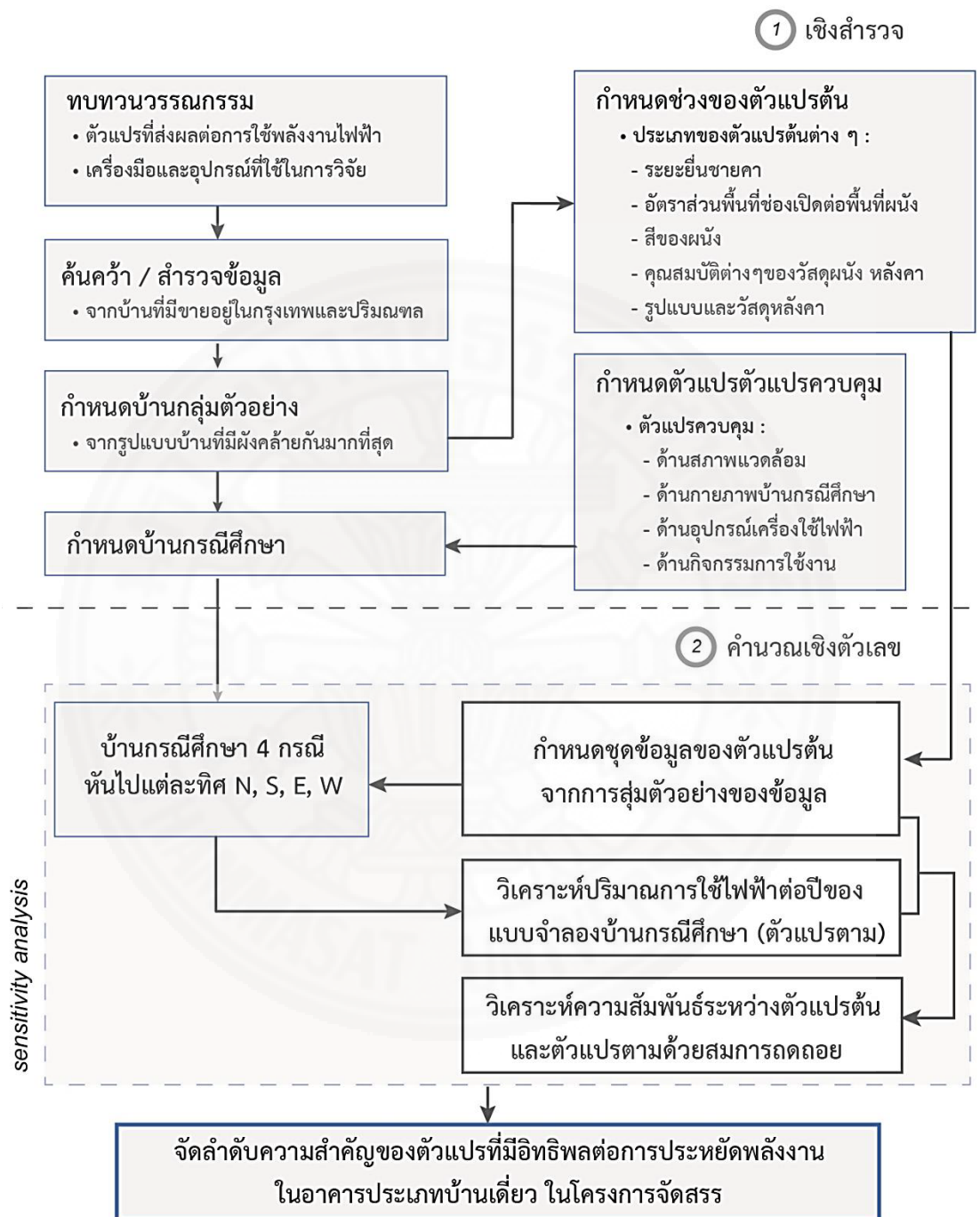
1.7.3 ความไวของตัวแปร คือ ระดับความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ตัวแปรตามที่มีอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต้นต่าง ๆ

1.7.4 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร คือ สัดส่วนขนาดพื้นที่ประตูหรือหน้าต่าง เป็นต้น ที่มีต่อพื้นที่ผนังในแต่ละด้าน แต่ละชั้น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ตัวอักษรย่อ WWR

1.7.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน คือ ค่าที่บ่งบอกคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ เมื่อเกิดความแตกต่างกันของอุณหภูมิภายใน และภายนอกวัสดุ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ตัวอักษรย่อ U-value

1.7.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ คือ ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของความร้อนที่ผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจกเข้าสู่อาคาร ซึ่งประกอบด้วยพลังงาน 2 ส่วน คือ พลังงานจากรังสีอาทิตย์ที่เป็นคลื่นสั้นซึ่งผ่านเข้าสู่อาคารโดยตรง และความร้อนที่ดูดกลืนไว้ที่ตัวกระจกแล้วถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ตัวอักษรย่อ SHGC

1.8 กรอบวิธีการวิจัย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยชิ้นนี้สนใจศึกษาอิทธิพลของตัวแปรด้านองค์ประกอบของกรอบอาคารที่พักอาศัยในโครงการจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้นที่มีอยู่ในปัจจุบันที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยในบทนี้จะนำเสนอข้อมูลและผลสรุปจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามรายละเอียดหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 แหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคาร
- 2.2 วิธีการและประเภทตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
- 2.3 แนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน
- 2.4 วิธีการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร

2.1 แหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคาร

ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยในปัจจุบันนั้น ส่วนใหญ่มีสัดส่วนมาจากพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศเพื่อการกำจัดปริมาณความร้อน หรือการระงับการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในอาคารออกไป โดยปริมาณความร้อนสามารถแบ่งตามประเภทของแหล่งที่มาได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

2.1.1 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมาจากภายนอกอาคาร

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคารส่วนใหญ่มาจากความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้หลายรูปแบบ จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) นั้น การถ่ายเทพลังงานจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแตกต่างกันของอุณหภูมิ โดยอากาศมีลักษณะการเคลื่อนที่จากจุดที่อุณหภูมิสูงไปยังจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ สำหรับกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

2.1.1.1 การนำความร้อน (conduction)

คือ การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุ 2 ชั้นที่สัมผัสกัน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านวัสดุจากวัตถุที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัตถุที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งอยู่ติดกัน โดยการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการนำความร้อนนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งส่วนของกรอบอาคารที่เป็นวัสดุทึบแสง และกรอบอาคารที่เป็นวัสดุโปร่งแสง

2.1.1.2 การพาความร้อน (convection)

คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของมวลของไหล เช่น อากาศ ก๊าซต่าง ๆ หรือน้ำ เป็นตัวกลางโดยมีทิศทางของการถ่ายเทความร้อนจากจุดที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ต่ำกว่า โดยการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการพาความร้อนนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากการที่อากาศพาความร้อนเข้าสู่อาคารตามช่องเปิดของอาคารที่เปิดทิ้งไว้หรือผ่านเข้ามาทางรอยรั่วของกรอบอาคารโดยเฉพาะบริเวณรอบช่องเปิด

2.1.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (radiation)

คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายรังสีจากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทาง โดยการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการแผ่รังสีความร้อนนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีเข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านทางช่องเปิดหรือผนังโปร่งแสง หรือถ่ายเททางอ้อมโดยผ่านวัสดุที่กรอบอาคารสะสมความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุ จนถึงช่วงเวลาหนึ่งวัสดุนั้น ๆ จึงแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร

2.1.2 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมาจากภายในอาคาร

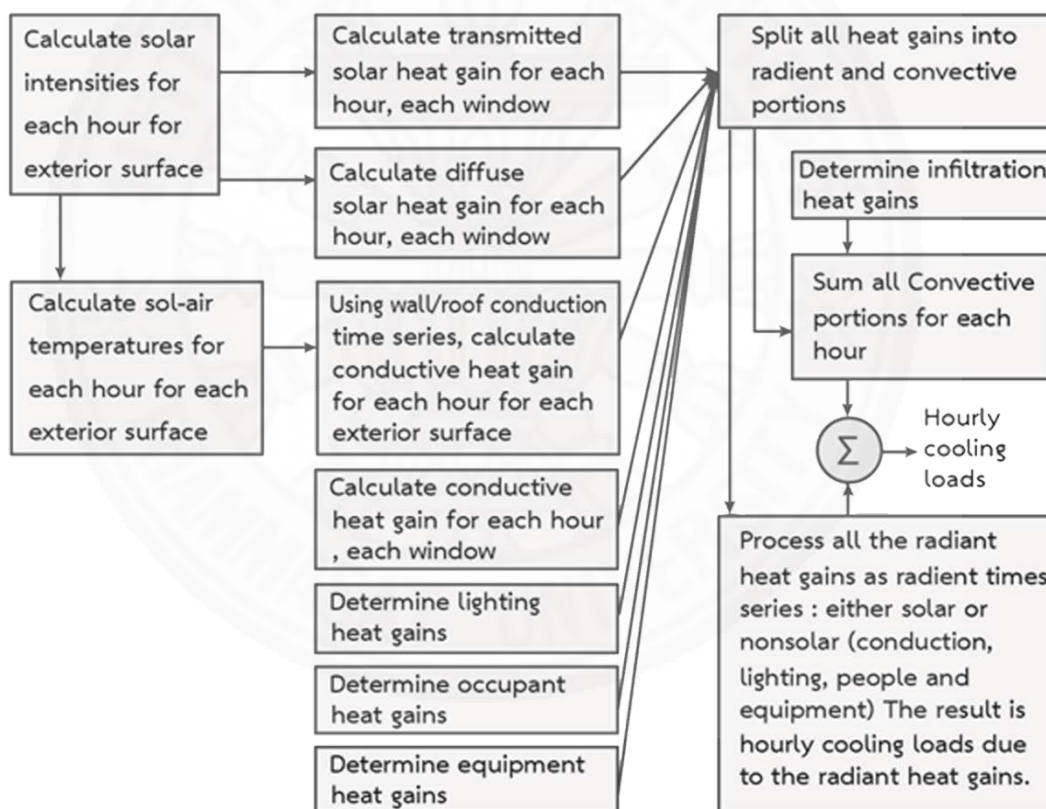
ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคารส่วนใหญ่เกิดโดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในอาคาร ได้แก่ คน อุปกรณ์ส่องสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น

จากการพิจารณาแหล่งที่มาของปริมาณความร้อนของอาคารสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณความร้อนของอาคารส่วนใหญ่มาจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร โดยเฉพาะปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกรอบอาคารซึ่งคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นในระบบทั้งหมด (กระทรวงพลังงาน, 2554) ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงควรมุ่งเน้นไปที่การออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารเป็นหลัก

2.2 วิธีการและประเภทตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

วิธีการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารซึ่งส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ผ่านมานั้นมีแนวทางในการคำนวณหลายวิธี โดยถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เพื่อลดระยะในการคำนวณและเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้ จนกระทั่งมาถึงวิธีการคำนวณแบบอนุกรมเวลา หรือ RTS (radiant time series) (Mui and Wong, 2007) นำเอาพื้นฐานการคำนวณของวิธีการคำนวณแบบ heat balance ซึ่งต่อมามีการนำมาใช้พัฒนาร่วมกับโปรแกรมการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะโปรแกรม eQUEST ที่ผนวกเข้ากับซอฟต์แวร์ DOE-2 ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบ RTS ในการคำนวณภาระการทำความเย็น

ขั้นตอนในการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยใช้วิธีแบบ RTS แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งสามารถแบ่งการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้จากแหล่งกำเนิดออกเป็น 6 ส่วน โดย 4 ส่วนแรกสามารถเปิดค่าอ้างอิงได้จากตารางในคู่มือของ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2013) ได้แก่ ปริมาณความร้อนจากอุปกรณ์ส่องสว่าง ปริมาณความร้อนจากกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร ปริมาณความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และปริมาณความร้อนที่เกิดจากอัตราการรั่วซึมอากาศ ส่วนปริมาณความร้อนที่มาจากแหล่งกำเนิดอีก 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกในแต่ละชั่วโมง และปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางผนังทึบในแต่ละชั่วโมงสามารถคำนวณตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.2.1 และ 2.2.2



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการคำนวณวิธีแบบอนุกรมเวลา. จาก *ASHRAE Handbook Fundamental: Chapter 19 Energy Estimating and Modeling Methods*, โดย American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering [ASHRAE], 2013, Atlanta, GA: Author.

2.2.1. การคำนวณปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกในแต่ละชั่วโมง ปริมาณความร้อนในส่วนนี้สามารถคำนวณจากสมการที่ 2.1 โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกโดยรังสีตรงจากสมการที่ 2.2 ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกโดยรังสีกระจายจากสมการที่ 2.3 และคำนวณปริมาณความร้อนจากการนำความร้อนของวัสดุกระจกจากสมการที่ 2.4 (ASHRAE, 2013)

$$Q = q_b + q_d + q_c \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

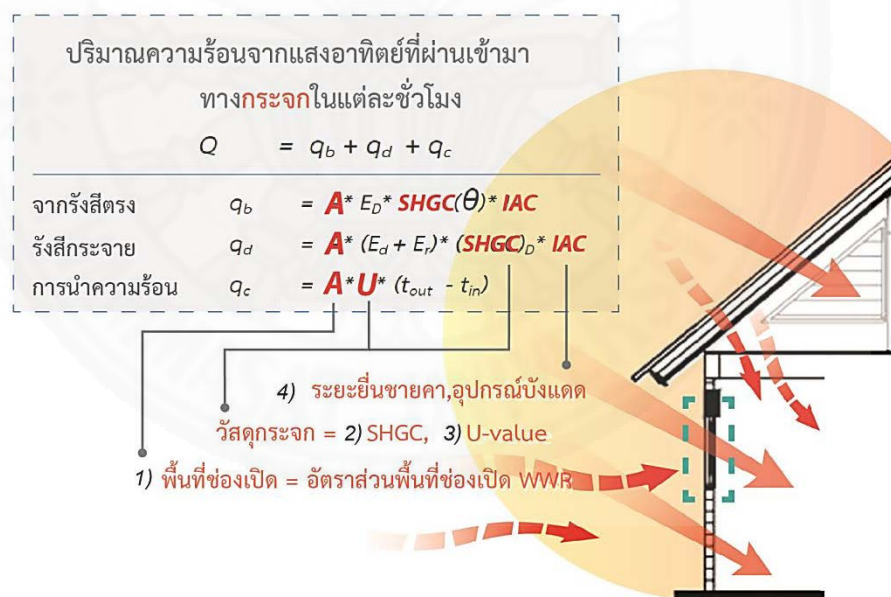
$$q_b = A * E_D * SHGC(\theta) * IAC \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

$$q_d = A * (E_d + E_r) * (SHGC)_D * IAC \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

$$q_c = U * A * (t_{out} - t_{in}) \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

เมื่อ	Q	คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังโปร่งแสงทั้งหมด
	q_b	คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา เนื่องจากรังสีตรง (watt หรือ Btu/ h)
	q_d	คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา เนื่องจากรังสีกระจาย (watt หรือ Btu/ h)
	q_c	คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา จากการนำความร้อน (Watt หรือ Btu/ h)
	A	คือ พื้นที่ของกรอบอาคารในกรณีนี้เป็นพื้นที่ของผนังโปร่งแสง (m^2 หรือ ft^2)
	E_D, E_d, E_r	คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนตรง ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายสะท้อน ผ่านท้องฟ้า ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายสะท้อนผ่านพื้นดิน
	$SHGC(\theta)$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ณ มุมตกกระทบที่ q
	$SHGC_D$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ จากรังสีกระจาย
	U	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (watt/ $m^2 \cdot ^\circ C$ หรือ Btu/h.ft ² .°F)
	t_{in}	คือ อุณหภูมิของอากาศภายใน (°C หรือ °F)
	t_{out}	คือ อุณหภูมิของอากาศภายนอก (°C หรือ °F)
	IAC	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของการบังเงาภายใน ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

จากการพิจารณาสมการคำนวณปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกในแต่ละชั่วโมงในข้างต้น สามารถสรุปตัวแปรด้านการออกแบบองค์ประกอบรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ 4 ตัวแปร (แสดงในภาพที่ 2.2) คือ 1) ตัวแปรขนาดพื้นที่ของผนังโปร่งแสงหรือขนาดพื้นที่ที่กระจก โดยตัวแปรนี้อาจมีค่าอยู่ในรูปแบบของตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่ที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังได้ ซึ่งจากสมการสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรขนาดพื้นที่ของผนังโปร่งแสงหรือขนาดพื้นที่ที่กระจกมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร กล่าวคือเมื่อขนาดพื้นที่ของผนังโปร่งแสงหรือขนาดพื้นที่ที่กระจกมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน 2) ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจก (SHGC) และ 3) ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ซึ่งทั้ง 2 ตัวแปรนี้มีค่าที่แตกต่างกันไปตามชนิดของประเภทกระจก โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารเช่นเดียวกัน และ 4) ตัวแปรอุปกรณ์บังแดด โดยในที่นี้มีผลกับการลดลงของค่าของสัมประสิทธิ์การลดทอนของการบังเงาภายใน ซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร



ภาพที่ 2.2 สรุปตัวแปรในด้านการออกแบบกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านทางช่องเปิดหรือกระจก

2.2.2 การคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านผนังทึบ

ปริมาณความร้อนในส่วนนี้สามารถคำนวณได้ โดยเริ่มจากการคำนวณปริมาณความร้อนในแต่ละชั่วโมงจากสมการที่ 2.5 (ASHRAE, 2013)

$$q_{i, q-n} = U * A * (t_{e, q-n} - t_{rc}) \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

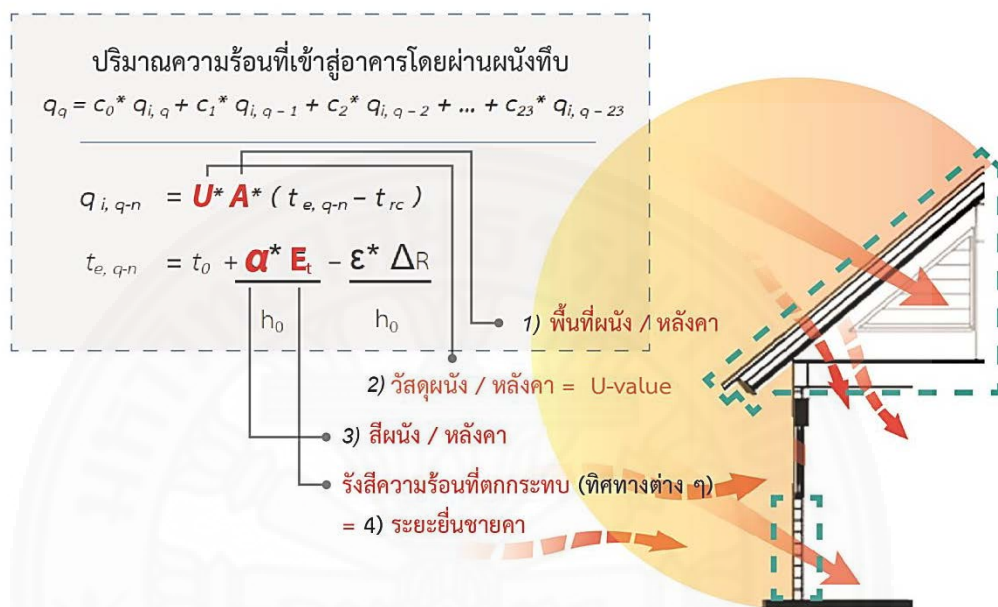
เมื่อ	$q_{i, q-n}$	คือ ปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในผนังจากการนำความร้อนในแต่ละชั่วโมง (watt หรือ Btu/h)
	U	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (watt/ m ² .°C หรือ Btu/h.ft ² .°F)
	A	คือ พื้นที่ของกรอบอาคาร ในกรณีนี้เป็นพื้นที่ของผนังทึบ (m ² หรือ ft ²)
	t_{rc}	คือ ค่าสันนิษฐานอุณหภูมิห้องซึ่งเป็นอุณหภูมิคงที่ (°C หรือ °F)
	$t_{e, q-n}$	คือ อุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของอาคาร (sol-air temperature) (°C หรือ °F) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$t_{e, q-n} = t_0 + \frac{\alpha * E_t}{h_0} - \frac{\epsilon * \Delta R}{h_n} \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

เมื่อ	t_0	คือ อุณหภูมิของอากาศภายนอก (°C หรือ °F)
	α	คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ
	E_t	คือ รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด
	h_0	คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุรวม มีค่าประมาณ 3 Btu/h.ft ² .°C
	ϵ	คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ
	R	คือ อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการพิจารณาสมการคำนวณปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางผนังทึบแต่ละชั่วโมงในข้างต้น สามารถสรุปตัวแปรด้านการออกแบบองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้อีก 4 ตัวแปร (แสดงในภาพที่ 2.3) คือ 1) ตัวแปรขนาดพื้นที่ของผนังทึบหรือขนาดพื้นที่ส่วนหลังคา ซึ่งจากสมการสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรขนาดพื้นที่นี้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร กล่าวคือเมื่อขนาดพื้นที่ของผนังทึบมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน 2) ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ซึ่งทั้ง 2 ตัวแปรนี้มีค่าที่แตกต่างกันไปตามชนิดของประเภทวัสดุก่อสร้างผนังหรือหลังคา โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารเช่นเดียวกัน 3) ตัวแปรระดับสีของผนังทึบหรือหลังคา โดยในที่นี้มีผลโดยตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุซึ่งแตกต่างกันไปตามระดับความอ่อนเข้มของสี โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนมีผลต่อตัวแปรอุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของอาคารซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายใน

อาคารเช่นกัน และ 4) อุปกรณ์บังแดดในส่วนของผนังที่บ่งยังมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกอาคารเช่นกัน ซึ่งโดยในที่นี่อาจอยู่ในรูปแบบของตัวแปรระยะยื่นชายคาที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการออกแบบหลังคาซึ่งช่วยในการป้องกันรังสีความร้อนที่ตกกระทบส่วนประกอบอื่น ๆ ของกรอบอาคารได้



ภาพที่ 2.3 สรุปตัวแปรในด้านการออกแบบกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังทึบ

จากการคำนวณในสมการข้างต้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวภายนอกของอาคารและภายในนั้นไม่คงที่ สภาพแวดล้อมภายนอกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้ความร้อนที่สามารถถ่ายเทเข้ามาในแต่ละชั่วโมงมีค่าไม่คงที่โดยจะต้องนำมาคูณค่า conduction time factors ซึ่งเป็นค่าถ่วงน้ำหนักจากคุณสมบัติในการหน่วงความร้อนของผนังที่ทำให้ความร้อนในแต่ละชั่วโมงไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาได้ในทันที มีความร้อนบางส่วนถูกถ่ายเทในชั่วโมงถัดไป ดังนั้นจึงต้องพิจารณาปริมาณความร้อนจากการนำความร้อนรายชั่วโมงโดยคำนวณจากผลรวมของความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในชั่วโมงปัจจุบันรวมกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากชั่วโมงก่อนหน้า ซึ่งจะสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 2.7 (ASHRAE, 2013) และเมื่อทำการคำนวณหาปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดครบทั้ง 6 ส่วนแล้ว ปริมาณความร้อนที่ได้จะถูกแบ่งตามกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 2 ส่วน คือ การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนซึ่งปริมาณความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนสามารถนำไปใช้เป็นตัวการทำความเย็นได้โดยตรงกับปริมาณความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนซึ่งต้องนำมาคิดในสมการที่ 2.8 อีกครั้งหนึ่ง (ASHRAE, 2013)

$$q_q = c_0 * q_{i,q} + c_1 * q_{i,q-1} + c_2 * q_{i,q-2} + c_3 * q_{i,q-3} + \dots + c_{23} * q_{i,q-23} \quad (\text{สมการที่ 2.7})$$

เมื่อ	q_q	คือ ปริมาณความร้อนจากการนำความร้อนรายชั่วโมง (watt หรือ Btu/ h)
	$q_{i,q}$	คือ ปริมาณความร้อนที่เข้ามา ณ ชั่วโมงปัจจุบัน
	$q_{i,q-n}$	คือ ปริมาณความร้อนที่เข้ามา ณ ชั่วโมงก่อนหน้า
	c_0, c_1, etc	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของการนำความร้อน (อ้างอิงจากรายการในคู่มือของ ASHRAE)

$$q_q = r_0 * q_{i,q} + r_1 * q_{i,q-1} + r_2 * q_{i,q-2} + r_3 * q_{i,q-3} + \dots + r_{23} * q_{i,q-23} \quad (\text{สมการที่ 2.8})$$

เมื่อ	q_q	คือ ปริมาณความร้อนจากการนำความร้อนรายชั่วโมง (watt หรือ Btu/ h)
	$q_{i,q}$	คือ ปริมาณความร้อนที่เข้ามา ณ ชั่วโมงปัจจุบัน
	$q_{i,q-n}$	คือ ปริมาณความร้อนที่เข้ามา ณ ชั่วโมงก่อนหน้า
	r_0, r_1, etc	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของการแผ่รังสีความร้อน (อ้างอิงจากรายการในคู่มือของ ASHRAE)

จากตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารแต่ละประเภทที่ส่งผลต่อการคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการจะถูกนำมาศึกษาในขอบเขตของอาคารที่พักอาศัยในโครงการจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวสำหรับทำการนำเสนอแนวทางการออกแบบและปรับปรุงแก้ไขเพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป

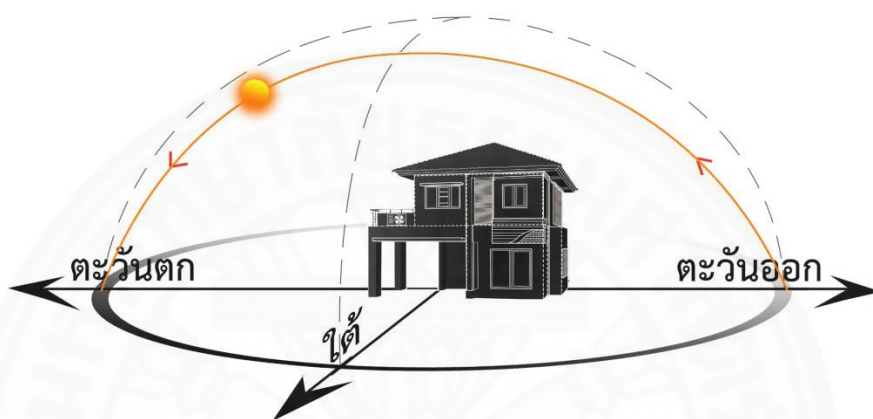
2.3 แนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

ปัจจุบันแนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานสามารถทำได้หลายแนวทาง แต่สำหรับงานวิจัยนี้ สนใจแนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารที่พักอาศัยเพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในส่วนการปรับอากาศ ดังนั้นการศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่แนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยเฉพาะตัวแปรในข้างต้นที่ได้จากการศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณความร้อนหรือภาระการทำความเย็น โดยแบ่งเป็นรายละเอียดตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.3.1 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการจัดทิศทางอาคาร

การจัดวางทิศทางของอาคารเป็นสิ่งสำคัญลำดับแรกที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบอาคาร เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับการตกกระทบของปริมาณแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรง ดังนั้นทิศทางการวางอาคารจึงควรจัดวางให้องค์ประกอบของกรอบอาคารจะเกิดการ

กระทบกับแสงอาทิตย์น้อยที่สุด และการจัดวางทิศทางอาคารนี้จำเป็นที่จะต้องพิจารณาร่วมกับรูปทรงของตัวอาคารด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปทรงอาคารที่ไม่เป็นจตุรัสหรือสมมาตรกัน เนื่องจากจะทำให้เกิดความแตกต่างกันของปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับจากแต่ละทิศทาง ซึ่งหลักการพื้นฐานที่นิยมใช้ในการจัดวางอาคาร คือ การวางรูปทรงอาคารให้อยู่ในรูปแบบตามแนวทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการจัดวางอาคารที่สัมพันธ์กับทิศทางตกกระทบของแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

จากหลักการดังกล่าว เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับการออกแบบบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่ หลักการดังกล่าวไม่สามารถนำมาออกแบบรูปทรงอาคารที่สัมพันธ์กับทิศทางของแสงอาทิตย์ได้เท่าที่ควร เนื่องจากรูปทรงของบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวมักมีสัดส่วนด้านกว้างต่อด้านยาวเป็น รูปทรงจตุรัส ดังนั้นจึงการออกแบบบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวจึงควรมุ่งเน้นไปที่การพิจารณาการออกแบบองค์ประกอบของกรอบอาคารอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับปริมาณการตกกระทบของแสงอาทิตย์ในแต่ละทิศทางแทน

2.3.2 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการออกแบบหลังคา

ชนิดของหลังคา รูปแบบของหลังคาและทิศทางการหันของหลังคามีผลต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยเฉพาะหลังคาที่มีรูปทรงไม่สมมาตรกัน เมื่อจัดวางในทิศทางที่ต่างกันจะยิ่งทำให้เกิดความแตกต่างกันของปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาภายในอาคาร โดยเฉพาะหลังคาจั่ว จะพบว่าการหันหน้าจั่วในทิศตะวันออก-ตะวันตก และทิศ เหนือ-ใต้ จะมีผลกระทบหากมีมุมเอียงของหลังคามากขึ้นเกิน 35 องศา โดยการหันหน้าจั่วในทิศตะวันออก-ตะวันตก จะมีปริมาณความร้อนจากการกระทบของแสงอาทิตย์น้อยกว่าการหันหน้าจั่วในทิศเหนือ-ใต้ (กฤษณ์ อ่อนงาม, 2554)

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันรูปแบบหลังคาที่มักพบได้ทั่วไปในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่เป็นรูปแบบหลังคาปั้นหยา จึงทำให้รูปทรงของหลังคาที่หันไปในทิศทางต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารประเภทนี้ ดังนั้นปัจจัยที่จะมีส่วนในการช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการออกแบบหลังคาสำหรับบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวจึงควรมุ่งเน้นไปที่การออกแบบระยะยื่นชายคา ผสมผสานกับการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันความร้อน

2.3.3 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการออกแบบช่องเปิดหรือผนังโปร่งแสง

การออกแบบช่องเปิดหรือผนังโปร่งแสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบอาคารทุกประเภท เนื่องจากช่วยทำให้เกิดความสวยงามจากทัศนียภาพภายนอกอาคาร ช่วยทำให้เกิดการระบายอากาศ และยังช่วยให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้ แต่เนื่องจากช่องเปิดเป็นปัจจัยสำคัญในการถ่ายเทปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารเช่นเดียวกัน (ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, 2544) การออกแบบช่องเปิดที่ดีจึงควรออกแบบให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้มากที่สุดควบคู่ไปกับการป้องกันความร้อนโดยคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

2.3.3.1 ขนาดและตำแหน่งทิศทางของช่องเปิด

จากขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดนั้น ในแง่ของการระบายอากาศเป็นปัจจัยที่มีผลต่อลมเข้าและลมออก ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมภายในอาคารที่แตกต่าง แต่ในแง่ของการถ่ายเทความร้อน ขนาดและตำแหน่งทิศทางของช่องเปิดก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการออกแบบขนาดของช่องเปิดควรพิจารณาจากตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กันกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรง เช่น ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ซึ่งได้รับแสงอาทิตย์เกือบตลอดทั้งวัน หลักการทั่วไปในการออกแบบส่วนใหญ่จึงแนะนำให้มีความยาวของช่องเปิดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับด้านอื่น ๆ

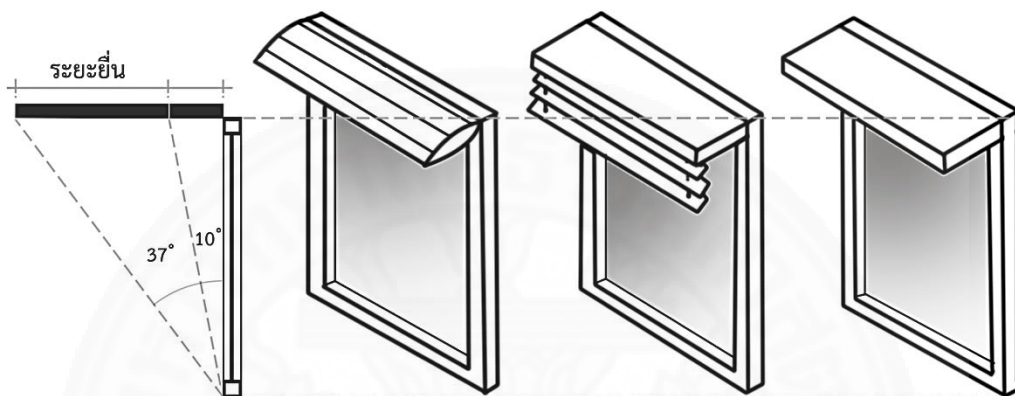
2.3.3.2 การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

เนื่องจากการออกแบบช่องเปิดเป็นสิ่งจำเป็นแต่สำหรับการออกแบบอาคารที่ไม่ได้ตั้งอยู่ในทิศทางที่เอื้อต่อการหลีกเลี่ยงแสงอาทิตย์ที่กระทบเข้ามาโดยตรงนั้น จึงทำให้การจัดวางตำแหน่งของช่องเปิดที่เหมาะสมนั้นทำได้ยาก การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร รูปแบบอุปกรณ์บังแดดสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอน

เป็นอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับการติดตั้งที่ช่องเปิดหรือผนังโปร่งแสงทางด้านทิศเหนือหรือทิศใต้ เนื่องจากสามารถป้องกันแสงอาทิตย์ที่ทำมุมต่ำในช่วงเที่ยง และช่วงบ่ายได้ดี โดยการติดตั้งที่ตำแหน่งช่องเปิดทางทิศเหนือจะให้การคำนวณมุมของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนมิถุนายนเป็นค่าการอ้างอิงการออกแบบกันสาด เนื่องจากเป็นเวลาที่จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

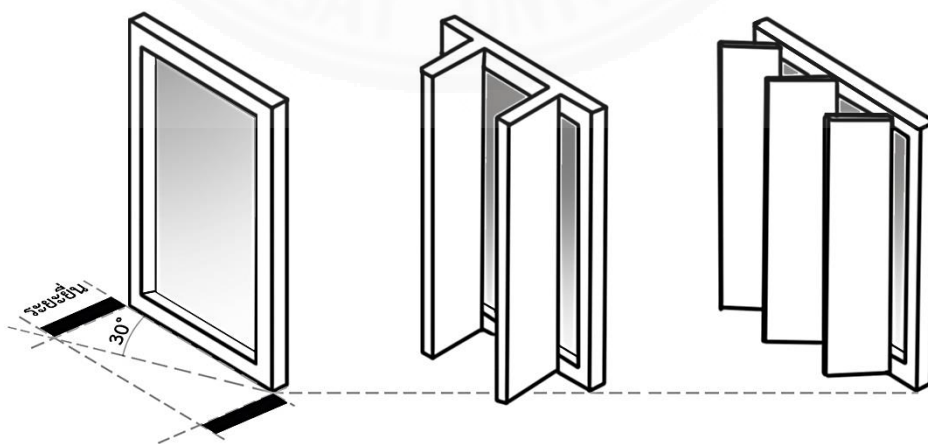
เบี่ยงเบนมาทางทิศเหนือได้มากที่สุด ส่วนการติดตั้งที่ตำแหน่งช่องเปิดทางทิศใต้ จะใช้การคำนวณมุมของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนธันวาคมเป็นค่าการอ้างอิงการออกแบบกันสาด เนื่องจากเป็นเวลาที่จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์เบี่ยงเบนมาทางทิศใต้ได้มากที่สุด และสามารถสรุประยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดในทางทิศเหนือได้โดยต้องมีระยะที่ทำมุมกับขอบล่างของหน้าต่างอย่างน้อย 10 องศา และอย่างน้อย 37 องศาในทิศใต้



ภาพที่ 2.5 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอน

2) อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้ง

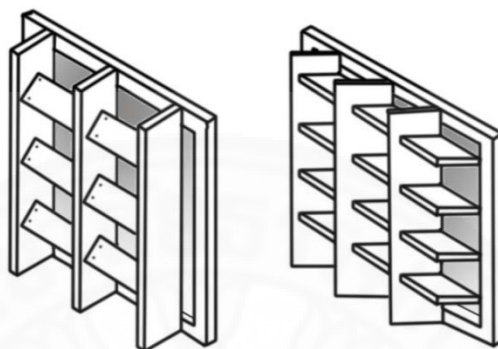
เป็นอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับการติดตั้งที่ช่องเปิดหรือผนังโปร่งแสงทางด้านทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตกเนื่องจากสามารถป้องกันแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าและช่วงเย็นได้ดีโดยมีหลักการง่าย ๆ ในการออกแบบคือต้องกำหนดให้อุปกรณ์บังแดดมีระยะในการทำมุมกับระนาบผนังประมาณ 30 องศา



ภาพที่ 2.6 อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้ง

3) อุปกรณ์บังแดดแบบผสม

เป็นอุปกรณ์บังแดดที่ประยุกต์จากข้อดีของอุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งและแนวนอนเพื่อให้สามารถบังแดดจากการกระทบของแสงอาทิตย์โดยตรงได้ตลอดวัน โดยใช้หลักการออกแบบเช่นเดียวกันกับอุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งและแนวนอน



ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์บังแดดแบบผสม

2.3.3.3 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการเลือกใช้วัสดุ

การลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารโดยวิธีนี้สามารถทำได้หลากหลายแนวทาง เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการก่อสร้างและการผลิตในปัจจุบัน ซึ่งการเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานนั้นสามารถแบ่งตามประเภทตำแหน่งที่ติดตั้งได้ดังนี้

(สำนักพัฒนาบุคคลทางพลังงาน, ไม่ปรากฏปีที่ระบุ)

1) การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานที่หลังคา

การเลือกใช้วัสดุที่หลังคาควรเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารน้อย มีการดูดกลืนและสะสมความร้อนต่ำรวมทั้งควรติดตั้งแผ่นฟิล์มอลูมิเนียม (reflective aluminum film) ที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนได้ดีไว้ที่ด้านล่างของหลังคา รวมทั้งเลือกใช้วัสดุผนังหลังคาสีอ่อนที่ช่วยในการสะท้อนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

2) การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานที่ผนังทึบแสง

การเลือกใช้วัสดุที่ผนังทึบแสงส่วนใหญ่จะเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติในการหน่วงความร้อน (time - lag) จากความต้านทานความร้อนของวัสดุที่ต่างกัน โดยในส่วนผนังทึบแสงในพื้นที่ที่มีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนควรเป็นผนังที่มีมวลสารน้อยเพื่อให้สามารถระบายความร้อนออกไปได้หมดในเวลากลางวัน ส่วนผนังทึบแสงของห้องที่มีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางวันควรเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารมากเพื่อให้สามารถหน่วงความร้อนไว้คายออกในเวลากลางวันและเนื่องจากบางพื้นที่ใช้งานมีช่วงเวลาที่ใช้งานคาบเกี่ยวกันทั้งเวลากลางวันและกลางคืนจึงจำเป็นต้องมีการใช้ผนังมวลสารร่วมกับวัสดุที่มีความ

เมื่อพิจารณาจากตาราง 2.1 นี้ จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีการนำไปศึกษามากที่สุดคือ ตัวแปรในด้านวัสดุของผนังทึบแสงและผนังโปร่งแสง ส่วนตัวแปรในด้านของตำแหน่งและทิศทางขององค์ประกอบรอบอาคารนั้นมีการนำไปศึกษาน้อยที่สุด โดยงานวิจัยที่ศึกษาตัวแปรได้ครอบคลุมที่สุดคือ งานวิจัยของกฤษณ์ อ่อนงาม (2554) ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงคำนวณตัวเลขโดยการสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยกำหนดแบบจำลองอาคารเป็นบ้านเดี่ยวพักอาศัยขนาด 8.0x8.0 ตร.ม. ความสูงอาคารที่ 1 และ 2 ชั้น เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคาร และปริมาณภาระการทำความเย็นจากรูปแบบสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารที่ร้อยละ 16.67 และร้อยละ 33.33 โดยมีรูปแบบการใช้งานอาคารที่ไม่เหมือนกัน ทั้งในกรณีอาคารแบบไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ แต่จากการศึกษามีการสรุปผลการทดลองเปรียบเทียบกันเฉพาะในวัสดุของแต่ละชนิดที่เลือกใช้ในส่วนของกรอบอาคารประเภทนั้น ๆ ไม่มีการเปรียบเทียบผลโดยภาพรวมที่เกิดจากการปรับปรุงองค์ประกอบอาคารแต่ละส่วนเทียบกัน เช่น ไม่มีการเปรียบเทียบกันระหว่างผลของการปรับปรุงหลังคาเมื่อเทียบกับการปรับปรุงผนัง เป็นต้น เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น ๆ ภายในประเทศไทย

จากการพิจารณาผลสรุปงานวิจัยในต่างประเทศที่แสดงในตารางที่ 2.2 มีการเปรียบเทียบผลโดยภาพรวมที่เกิดจากการปรับปรุงองค์ประกอบอาคารแต่ละส่วนเปรียบเทียบกัน โดยงานวิจัยทั้งหมดในตารางข้างต้นนี้มีจุดร่วมกันคือ การใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร (sensitivity analysis) เข้ามาช่วยในการจัดลำดับอิทธิพลของตัวแปร โดยในตารางนี้จะพิจารณาเฉพาะผลการปรับปรุงเปรียบเทียบเฉพาะในด้านของกรอบอาคารเท่านั้น จากตารางสรุปดังกล่าวพบว่าในด้านของการปรับปรุงกรอบอาคาร งานวิจัยของ Pereira และคณะ (2014) พบว่า การติดตั้งแผงบังแดดในแต่ละตำแหน่งที่มีทิศทางการติดตั้งแตกต่างกัน เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อปริมาณการใช้พลังงาน อย่างไรก็ตาม การติดตั้งแผงบังแดดไม่ใช่ตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดสำหรับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งได้อันดับที่ต่างออกไป เช่น ในงานวิจัยของ Malhotra และ Harberl (2006) ที่ศึกษาการปรับปรุงเปลือกอาคารที่พักอาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แผงบังแดดนี้ถูกจัดเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลเป็นอันดับที่ 2 และถูกจัดเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลเป็นอันดับที่ 3 ในงานวิจัยของ Silva และ Ghisi (2006) ที่ศึกษาความคลาดเคลื่อนของตัวแปรในการจำลองผลทางพลังงานของอาคารที่พักอาศัยรวม รวมทั้งถูกจัดเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลเป็นลำดับที่ 4 ในงานวิจัยของ Spitz และคณะ (2012) ที่ศึกษาความคลาดเคลื่อนของตัวแปรในการจำลองผลทางพลังงานของบ้านพักอาศัยเช่นเดียวกัน

จากการจัดอันดับที่แตกต่างกันของตัวแปรประเภทเดียวกันนี้ เมื่อพิจารณาขอบเขตตัวแปรในแต่ละงานวิจัยพบว่า มีขอบเขตของการศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรที่ต่างกัน ทั้งขนาดของพื้นที่ประเภทของอาคาร ทำเลที่ตั้งและภูมิอากาศ เป็นต้น อาจทำให้สามารถสรุปได้ว่า ผลที่ได้จากการจัด

อันดับในแต่ละงานวิจัยนั้นมีความแตกต่างกันไปตามขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ดังนั้นการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาจากขอบเขตเหล่านี้ประกอบด้วย

ตารางที่ 2.2

สรุปงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย (ปีที่วิจัย)	อาคารที่ศึกษา	ปัจจัยด้านกรอบอาคาร				
		Infiltration	หลังคา	ผนังทึบแสง	ผนังโปร่งแสง	แผงบังแดด
Malhotra and Haberl (2006)	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น			อันดับ 2		อันดับ 1
Spitz et al. (2012)	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	อันดับ 3			อันดับ 1	อันดับ 2
Silva and Ghisi (2014)	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น		อันดับ 3	อันดับ 1		อันดับ 2
Pereira et al. (2014)	บ้านเดี่ยว 2 ชั้น			อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1
T L.Hemsath et al. (2015)	อาคารพักอาศัยรวม		อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	

2.4 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร

การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร (sensitivity analysis) หรือการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร คือ กระบวนการหนึ่งซึ่งช่วยในการตัดสินใจ ทำนายความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ และลดความเสี่ยงจากการพิจารณาค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบคราวละ 1 ตัวแปรหรือหลายตัวแปรพร้อมกัน ซึ่งในปัจจุบันการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรมีใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านของเศรษฐศาสตร์การลงทุน ด้านการแพทย์สาธารณสุข ด้านวิศวกรรม และด้านสถาปัตยกรรม โดยมีการนำมาใช้ในแง่ของการวิเคราะห์ร่วมกับการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร ทั้งในขั้นตอนการออกแบบและการปรับปรุง การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรสามารถแบ่งรูปแบบการวิเคราะห์ที่ได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ (Tian, 2013)

2.4.1 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ local หรือ differential sensitivity analysis

คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม โดยการทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นที่ต้องการจะศึกษาในขณะที่กำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดคงที่ เพื่อประมาณค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น (Hampt, 1994) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบ local นี้จะอยู่ในรูปแบบของค่าดัชนีเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรต้นแต่ละตัวแปรที่มีต่อตัวแปรตาม

2.4.2 การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ global sensitivity analysis

คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยการทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นที่ต้องการจะศึกษาทั้งหมดพร้อมกันในรูปแบบของแบบจำลองข้อมูลหลาย ๆ กรณี เพื่อประมาณค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี (Hampy, 1994) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบ global นี้จะอยู่ในรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปร และค่าดัชนีเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรต้นแต่ละตัวแปรที่มีต่อตัวแปรตามเช่นเดียวกับวิธีการแบบ local

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละวิธีการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร พบว่า การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ global มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้มากกว่าการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ local เนื่องจากข้อได้เปรียบในเรื่องเวลาที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เมื่อตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษามีหลายประเภทตัวแปร และผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ global มีความครอบคลุมกว่าการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ local ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการนำเสนอแนวทางการออกแบบและการปรับปรุงเพื่อการประหยัดพลังงานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้ โดยการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรแบบ global นี้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เชิงอนุรักษ์พลังงานในด้านสถาปัตยกรรมสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังภาพที่ 2.6 โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.4.2.1. กำหนดรายละเอียดของแบบจำลองอาคารที่จะศึกษา

รายละเอียดในที่นี้หมายถึง ลักษณะต่าง ๆ ของอาคารที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการศึกษาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานในโปรแกรมซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีผลต่อประเภทของตัวแปรต่าง ๆ ที่จะนำมากำหนดขอบเขตในการศึกษาต่อไป

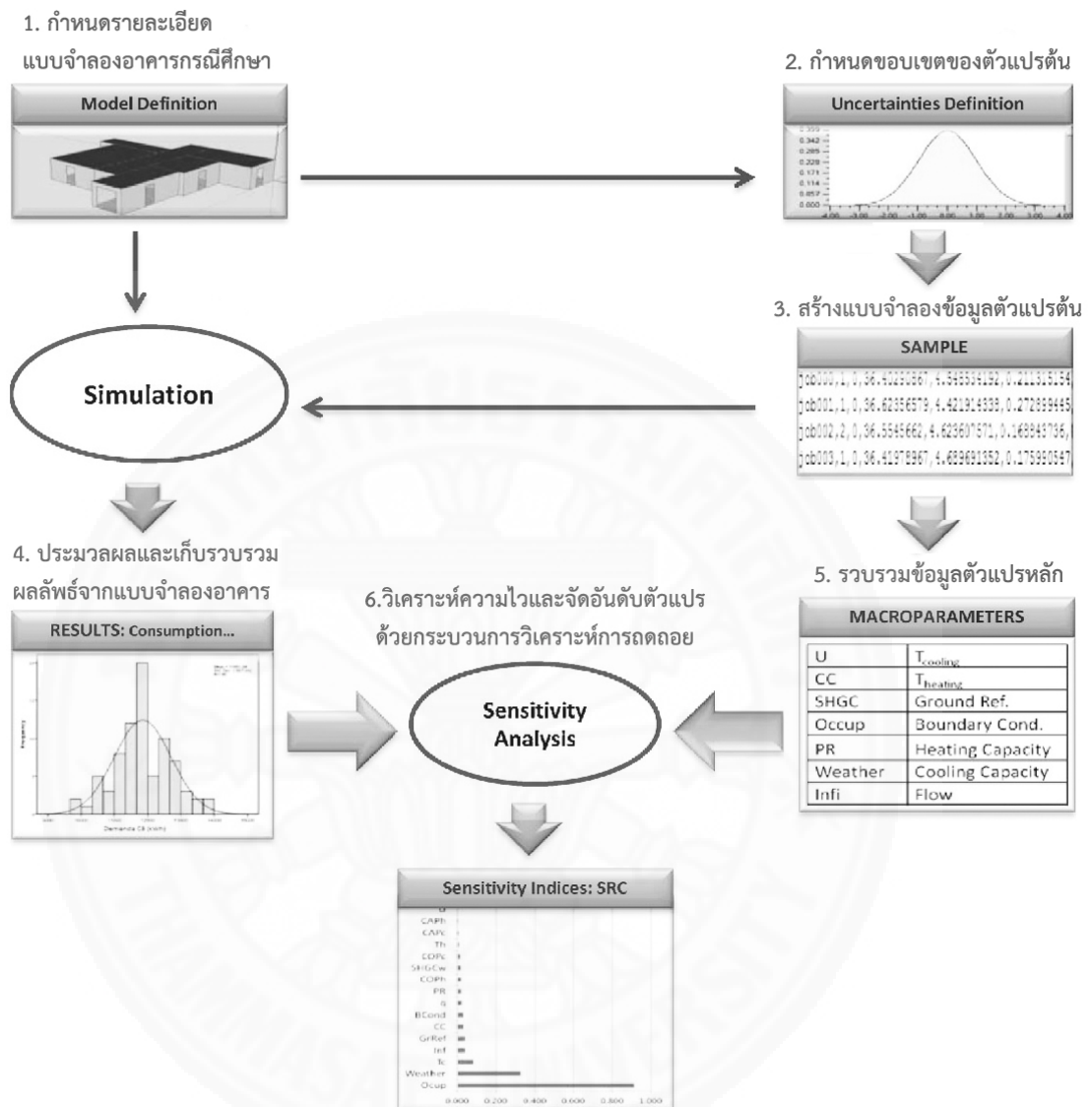
2.4.2.2. กำหนดช่วงขอบเขตการกระจายของตัวแปรต้น (input parameters)

กำหนดช่วงขอบเขตการกระจายของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลลัพธ์ค่าการใช้พลังงาน ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลในตัวแปรแต่ละประเภทแตกต่างกันไปตามจำนวนและค่าต่าง ๆ ของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองอาคาร โดยสามารถจำแนกประเภทของตัวแปรต้นจากลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) ตัวแปรที่มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบต่อเนื่อง

(continuous probability distribution)

โดยในที่นี้จะใช้การกำหนดให้เป็นรูปแบบการกระจายแบบปกติ (normal distribution) ซึ่งตัวแปรที่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลแบบนี้จะสามารถอธิบายภาพรวมของข้อมูลได้ด้วยค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของข้อมูลได้



ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ global sensitivity analysis ในเชิงอนุรักษ์พลังงาน. จาก *Energy and Buildings* ฉบับที่ 67: Uncertainties and Sensitivity Analysis in Building Energy Simulation using Macro Parameters (น. 82), โดย Calleja Rodríguez, G., Carrillo Andrés, A., Domínguez Muñoz, F., Cejudo López, J. M., & Zhang, Y. , 2013.

2) ตัวแปรที่มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบเป็นสัดส่วนกัน

จากการกำหนดข้อมูลออกเป็นช่วงคือ สูง กลาง และต่ำ ซึ่งตัวแปรประเภทนี้จะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของการกระจายตัวของข้อมูลแบบสามเหลี่ยม (triangle distribution) โดยข้อมูลจะมีค่าแตกต่างกันเป็นลำดับสัดส่วนกัน

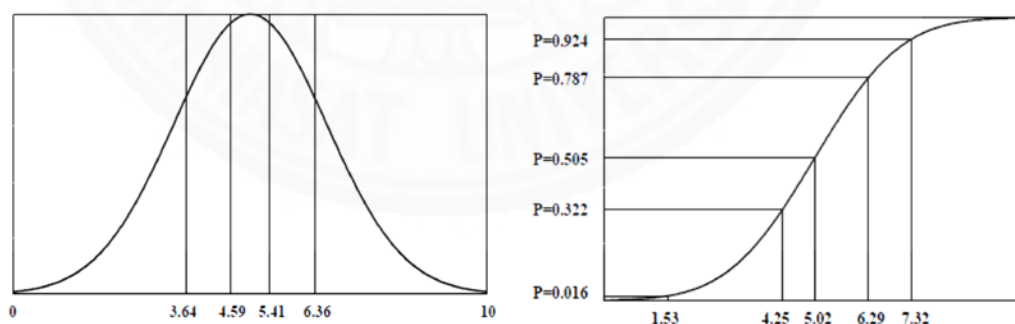
3) ตัวแปรที่มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง

(discrete probability distribution)

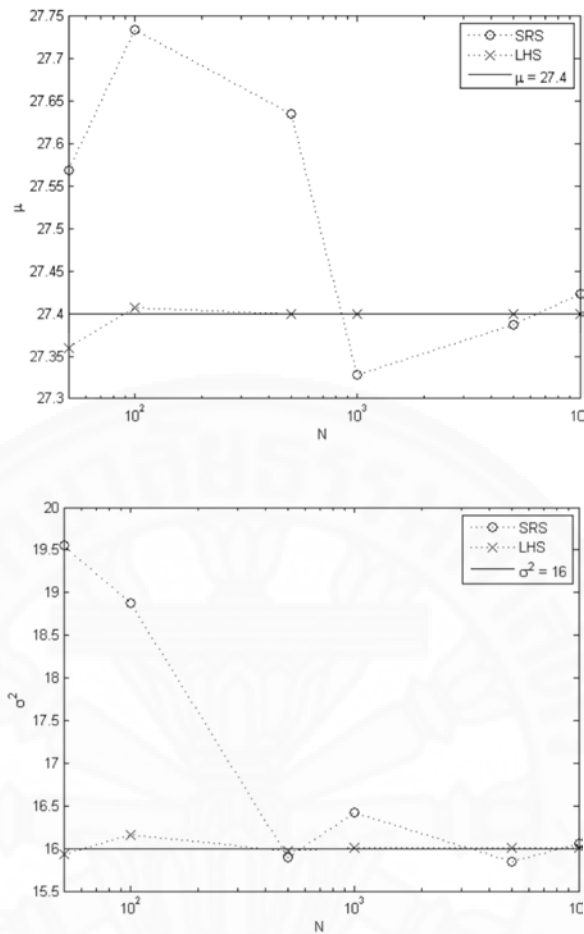
โดยในที่นี้จะใช้การกำหนดให้เป็นรูปแบบการกระจายตัวที่มีรูปแบบค่าที่แน่นอน (discrete uniform distribution) คือ สามารถระบุค่าต่าง ๆ ของตัวแปรได้แน่นอนโดยในตัวแปรประเภทเดียวกันมีหลายค่า แต่ในแต่ละค่าของแต่ละตัวแปรไม่มีความต่อเนื่องกัน

2.4.2.3 สร้างแบบจำลองของข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่าง (sampling)

ในการสร้างแบบจำลองของข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่างนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในที่นี้นำหลักการ LHS (latin-hypercube sampling) มาใช้ ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้กันแพร่หลายสำหรับการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร เนื่องจากการสุ่มค่าของตัวแปรในทุก ๆ อนุภาคชั้นของข้อมูลดังภาพที่ 2.7 ทำให้แบบจำลองของข้อมูลที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวแทนของประชากรข้อมูล คือ มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต (μ) และค่าความแปรปรวน (σ^2) ใกล้เคียงกับค่ากลางที่มาจากประชากรทั้งหมดที่จำนวนการสุ่มใด ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเลือกตัวอย่างแบบการสุ่มอย่างง่าย SRS (simple random sampling) ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งจากหลายงานวิจัยที่นำหลักการ LHS มาใช้ในการสุ่มตัวอย่างข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (kWh) นั้น พบว่าจำนวนของการสุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 200 จำนวนสามารถให้ผลที่ยอมรับได้ (Calleja Rodríguez, G., et al., 2013) โดยในขั้นตอนนี้สามารถสร้างแบบจำลองข้อมูลได้จากโปรแกรม Simlab 2.2 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ความไวโดยเฉพาะ



ภาพที่ 2.9 การสุ่มตัวอย่างแบบ LHS ในแต่ละอนุภาคชั้นของข้อมูล. จาก Latin Hypercube Sampling Theory: A User's Guide to LHS: Sandia's Latin Hypercube Sampling Software (น. 5), โดย Gregory D. Wyss และ Kelly H. Jorgensen, 1998.



ภาพที่ 2.10 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากหลักการ LHS กับ SRS ที่จำนวนการสุ่มตั้งแต่ 100 ครั้ง ถึง 1000 ครั้ง. จาก *Sample Size Requirement for Monte Carlo – simulations using Latin Hypercube Sampling* (น. 13), โดย Anna Matala, 2008.

2.4.2.4 ประมวลผลและเก็บรวบรวมผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง

ในขั้นตอนนี้ จะทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ค่าการใช้พลังงานจากการป้อนข้อมูลค่าของตัวแปรต้นประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างของข้อมูล โดยอาศัยการวิเคราะห์ผลในโปรแกรมจำลองพลังงานที่เน้นความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งสามารถใช้คำสั่งการวิเคราะห์แบบพารามेटริก (parametric tool) ที่ช่วยในการป้อนค่าตัวแปรและจัดเก็บข้อมูลผลลัพธ์แบบอัตโนมัติได้ทุก ๆ ครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

2.4.2.5 รวบรวมข้อมูลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงาน

ตัวแปรในที่นี้คือ macro parameter หรือ ตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพหรือคุณสมบัติทางความร้อนโดยรวมของอาคาร

2.4.2.6 ประมวลผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร

ในขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างและความสัมพันธ์กันของค่าตัวแปรแต่ละประเภทที่ถูกป้อนเข้าไปในแบบจำลองพลังงานกับผลลัพธ์ค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีเพื่อจัดลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม โดยส่วนใหญ่ขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาน้อยกว่าขั้นตอนการประมวลผลแบบจำลองทางพลังงาน ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการประมวลผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร คือ กระบวนการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ซึ่งกระบวนการหนึ่งที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ประเภท แบ่งเป็น ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยมีเป้าหมายเพื่อพยากรณ์ตัวแปรตาม โดยงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลที่มีต่อผลของตัวแปรตาม

วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามสามารถแบ่งตามรูปแบบการนำเข้าตัวแปรต้นลงในสมการได้ 4 วิธี ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถเลือกวิเคราะห์ได้โดยการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ SPSS ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติโดยเฉพาะ (ประยูรศรี บุตรแสนคม, 2555) ดังนี้ 1. การเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปร (forward selection) 2. การเลือกตัวแปรโดยวิธีลดตัวแปร (backward elimination) 3. การเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปรต้นแบบขั้นตอน (stepwise regression) 4. การเลือกตัวแปรโดยวิธีนำตัวแปรต้นเข้าทั้งหมด (enter regression) ซึ่งจากการเปรียบเทียบแต่ละวิธีการวิเคราะห์พบว่า วิธีการวิเคราะห์ที่โดยการนำเข้าตัวแปรด้วยวิธีเพิ่มตัวแปรต้นแบบขั้นตอน (stepwise regression) เป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้คัดเลือกตัวแปรต้นที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยจะทำการทดสอบตัวแปรต้นทีละตัวแปรทุกครั้งที่นำเข้าสมการใหม่ในแต่ละครั้ง ซึ่งหมายความว่าตัวแปรต้นบางตัวที่เข้าไปในสมการก่อนหน้าแล้วยังสามารถถูกขจัดออกจากสมการได้ หากพบว่าตัวแปรต้นประเภทนั้นๆไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า R^2 หรือหรือค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเชิงซ้อน (coefficient of multiple determination) สำหรับสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถของตัวแปรต้นในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน, 2554) และเมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรแล้ว จะนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (unstandardized coefficient) ของแต่ละตัวแปรต้นในแต่ละสมการมานำเสนอความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปแบบของสมการที่ 2.9

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (\text{สมการที่ 2.9})$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม (dependent variable) โดยค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X
 X_i คือ ตัวแปรอิสระ (independent variable) $i = 1, 2, \dots, n$

B_0	คือ	ค่าคงที่ (constant)
B_i	คือ	ค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย หรือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (unstandardized coefficient)

จากสมการข้างต้นนี้ ค่าของสัมประสิทธิ์การถดถอย หรือ B_i สามารถอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

1) $B_i > 0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์แบบผันตรงกัน กล่าวคือถ้า X เพิ่มขึ้น Y จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้า X ลดลง Y จะลดลงด้วย

2) $B_i < 0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน กล่าวคือถ้า X เพิ่มขึ้น Y จะลดลง แต่ถ้า X ลดลง Y จะเพิ่มขึ้น

3) B_i มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าค่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

4) B_i มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้น

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน คือ ค่ามาตรฐานที่ได้จากการปรับหน่วยของแต่ละตัวแปรเป็นหน่วยมาตรฐานเดียวกัน (standard unit) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานจะใช้สำหรับการพิจารณาคัดเลือกหรือเปรียบเทียบตัวแปรต้นหลายตัวแปรในสมการเพื่อให้สามารถบ่งชี้ถึงตัวแปรต้นที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุดได้ (ธีระดา ภิญโญ, 2554)

จากการทบทวนงานทฤษฎีและวิจัยต่างที่เกี่ยวข้องในแต่ละประเด็นข้างต้นนั้น พบว่างานวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่ที่นำเสนอแนวทางการปรับปรุงเพื่อการประหยัดพลังงานนั้นยังไม่ครอบคลุมในกลุ่มอาคารประเภทบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่เลือกที่จะศึกษาการใช้พลังงานจากแบบจำลองบ้านที่กำหนดขึ้นเอง ไม่ได้มาจากเป็นตัวแทนข้อมูลที่มีอยู่จริง นอกจากนี้การศึกษาต่าง ๆ เป็นการศึกษาในเชิงของการออกแบบโดยการเลือกใช้วัสดุเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาในเชิงขององค์ประกอบการออกแบบที่นอกเหนือจากอัตราส่วนช่องเปิด ทำให้ยังไม่สามารถสรุปเปรียบเทียบได้ชัดเจนถึงความแตกต่างของการใช้พลังงานที่มีผลมาจากตัวแปรที่แตกต่างกันที่ครอบคลุมองค์ประกอบอื่น ๆ สำหรับอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวนี้ และจากงานวิจัยในต่างประเทศที่นำเอาทฤษฎีการวิเคราะห์ความไวเข้ามาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งมีความครอบคลุมกว่านั้น จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำเอาทฤษฎีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาในอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวต่อไป

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบกรอบอาคารของอาคารที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้นในโครงการจัดสรรที่มีเปิดขายโครงการอยู่ในปัจจุบันซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานภายในอาคาร แล้วนำตัวแปรที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารจากอิทธิพลของตัวแปรที่แตกต่างกันในแต่ละกรณี โดยงานวิจัยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง คือ 1) ช่วงการศึกษาเชิงสำรวจ และ 2) ช่วงการคำนวณเชิงตัวเลข โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1.1 การศึกษาเชิงสำรวจ ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจากบ้านเดี่ยวสองชั้น ในโครงการจัดสรรที่ยังเปิดขายอยู่ในปัจจุบันเพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบการออกแบบบ้าน การสำรวจบ้านพักอาศัยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1.1.1 ข้อมูลที่เก็บสำหรับกำหนดบ้านกรณีศึกษา

ข้อมูลในส่วนนี้จะทำการเก็บเพื่อกำหนดตัวแทนของแบบจำลองบ้านที่จะใช้ศึกษาในขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลข โดยจะทำการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

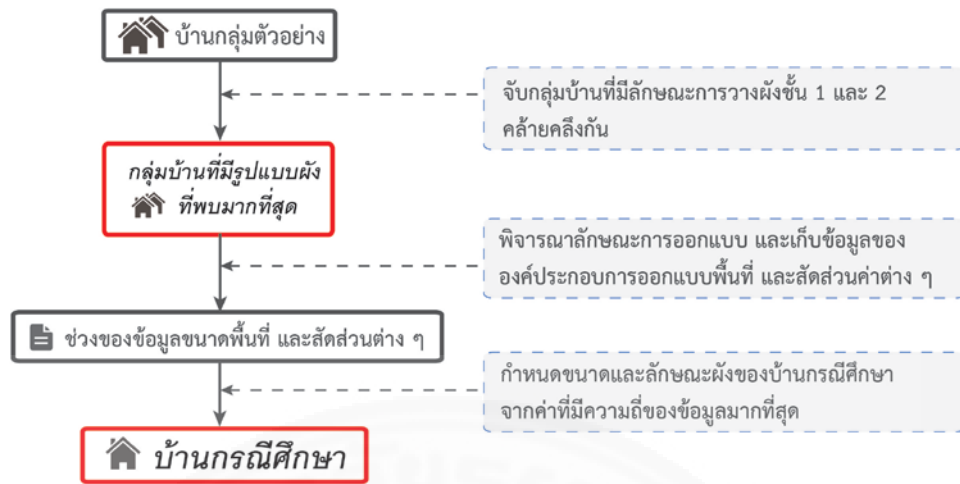
- 1) รูปแบบการวางผังตำแหน่งห้องชั้น 1 และชั้น 2
- 2) ขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ใช้สอยรวม ขนาดของพื้นที่ใช้สอยชั้น 1 ขนาดของพื้นที่ใช้สอยชั้น 2 และขนาดพื้นที่ใช้สอยของห้องต่าง ๆ เป็นต้น
- 3) สัดส่วนขนาดห้องต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดสัดส่วนความกว้าง ความยาวของผนังขนาดสัดส่วนความกว้าง และความยาวของห้องต่าง ๆ ในแต่ละชั้น เป็นต้น

หลังจากที่เก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนนี้ได้แล้ว ข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์จัดกลุ่มข้อมูลผ่านขั้นตอนดังภาพที่ 3.1 เพื่อให้ได้บ้านกรณีศึกษาสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข

3.1.1.2 ข้อมูลที่เก็บสำหรับกำหนดช่วงตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข

จากภาพที่ 3.1 ในส่วนของกลุ่มบ้านที่มีรูปแบบผังที่พบมากที่สุดจะถูกนำมาพิจารณาองค์ประกอบของกรอบอาคารแล้วทำการเก็บข้อมูลตัวแปรประเภทต่าง ๆ ดังนี้

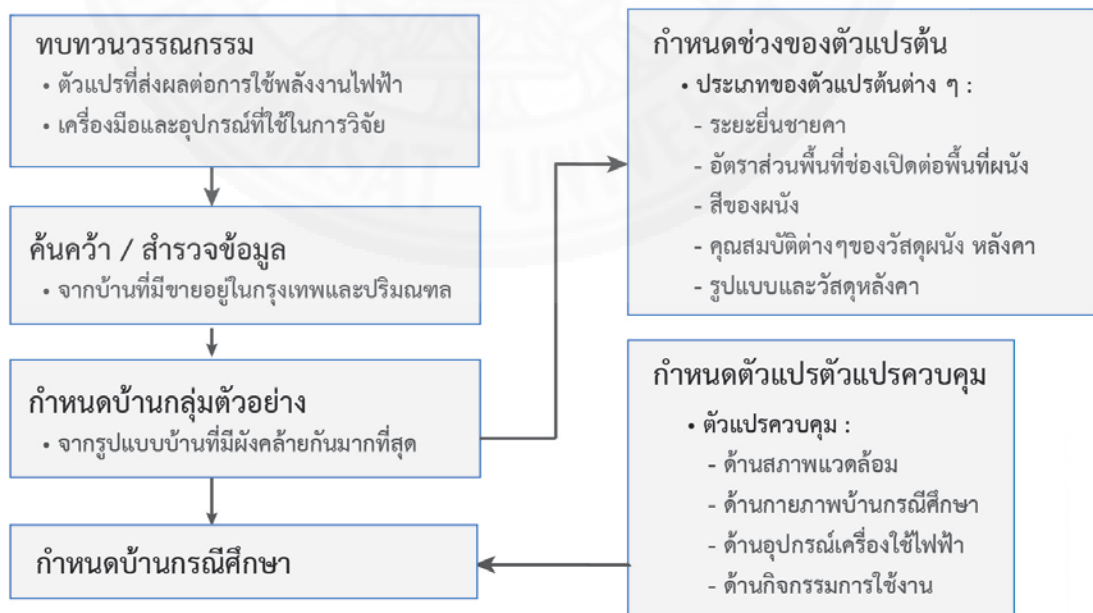
- 1) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านต่าง ๆ ในแต่ละชั้น
- 2) รูปแบบหลังคา ได้แก่ หลังคาปั้นหย่า หรือหลังคาจั่ว เป็นต้น
- 3) ระเบียงยื่นชายคา
- 4) ระดับสีของผนังและหลังคา ได้แก่ อ่อน กลาง หรือเข้ม เป็นต้น



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อกำหนดบ้านกรณีศึกษา

ข้อมูลตัวแปรประเภทต่าง ๆ ที่เก็บในส่วนนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เช่น ค่าต่ำสุด (min) ค่าสูงสุด (max) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean) ฐานนิยม (mode) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เป็นต้น เพื่อทำการกำหนดรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูล แล้วนำไปสร้างแบบจำลองของข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธี LHS (latin-hypercube sampling) เพื่อกำหนดค่าของตัวแปรต้นต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขต่อไป

1 เชิงสำรวจ



ภาพที่ 3.2 สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยช่วงการสำรวจ

3.1.2 การคำนวณเชิงตัวเลข ทำการวิเคราะห์ความไวตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของบ้านกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ global sensitivity analysis ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดให้บ้านกรณีศึกษามีลักษณะทิศทางการวางอาคารแตกต่างกัน 4 กรณี ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยบ้านกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีนี้ใช้ชุดข้อมูลค่าของตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่ได้จากการสุ่มข้อมูลชุดเดียวกัน และกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมด้านต่าง ๆ เหมือนกัน

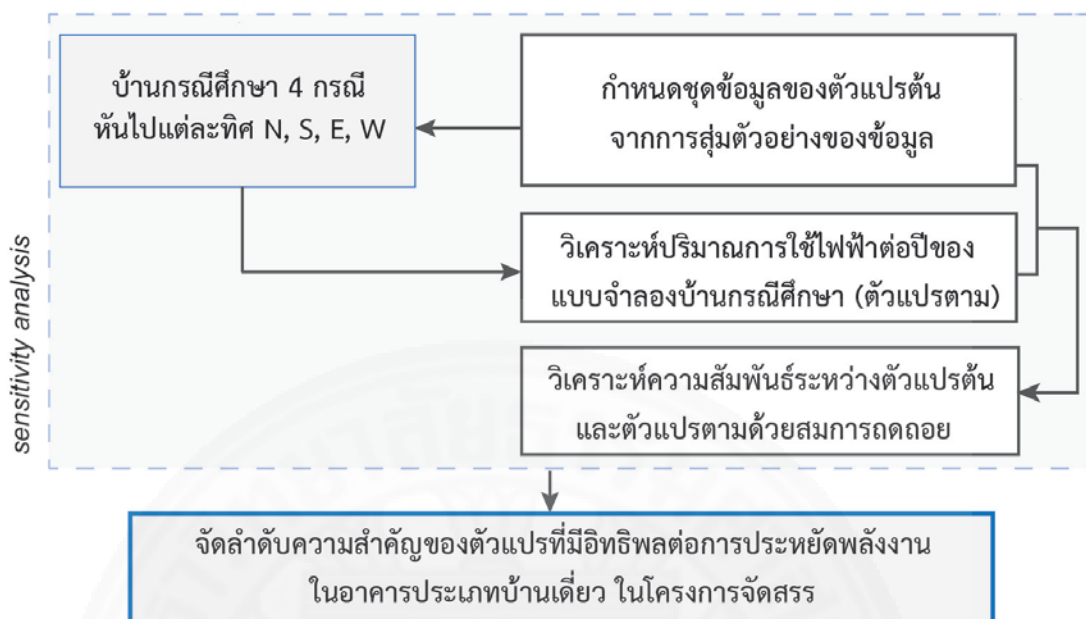
2) กำหนดให้การสร้างแบบจำลองข้อมูลค่าของตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารของบ้านกรณีศึกษาใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาทั้งหมด 200 กรณี ด้วยวิธีการสุ่มแบบ LHS (latin-hypercube sampling)

3) คำนวณและเก็บรวบรวมผลลัพธ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh) ของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการจำลองพลังงานในบ้านกรณีศึกษาทั้ง 4 ทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้นประเภทต่าง ๆ จากชุดข้อมูลค่าของตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่ได้จากการสุ่มข้อมูลทั้งหมด 200 กรณีในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (ค่าของแต่ละตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารทั้ง 200 กรณีที่ใส่เข้าไปในแบบจำลองบ้านกรณีศึกษา) และตัวแปรตาม (ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ของเครื่องปรับอากาศต่อปีของแต่ละบ้านที่มีทิศทางการวางอาคารที่ต่างกัน) ในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ผลของตัวแปรตามโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้น (unstandardized coefficients) จาก model การวิเคราะห์สมการถดถอยและทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (standardized regression coefficient) ที่ได้ เพื่อทำการจัดอันดับอิทธิพลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

5) นำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไข หรือแนวทางในการออกแบบใหม่ที่สอดคล้องกับการอันดับอิทธิพลของตัวแปรต้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมสำหรับทิศทางการวางอาคารที่ต่างกันทั้ง 4 ทิศทาง

② คำนวณเชิงตัวเลข



ภาพที่ 3.3 สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยช่วงการคำนวณเชิงตัวเลข

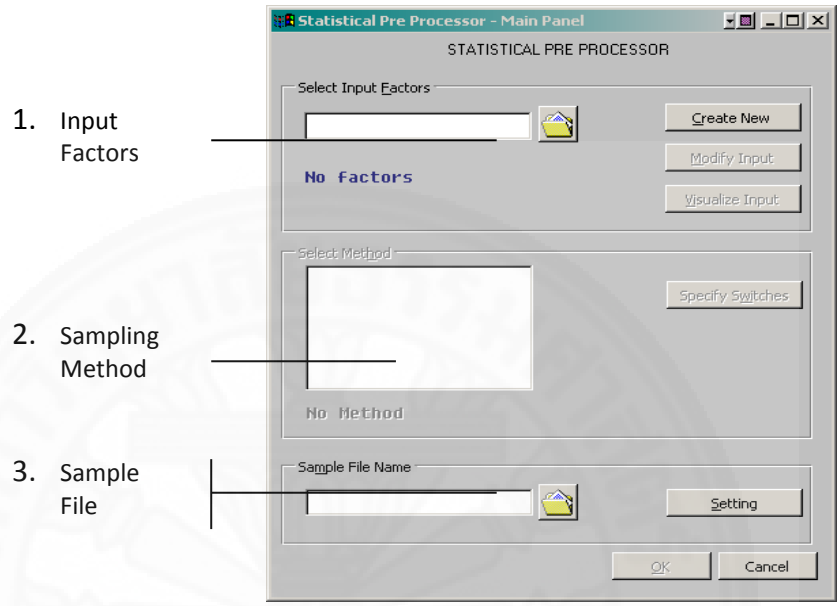
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 โปรแกรม Simlab 2.2 (แสดงในภาพที่ 3.4) ซึ่งพัฒนาโดยศูนย์วิจัยร่วม (JRC) ของสถาบันป้องกันและรักษาความปลอดภัยของพลเมือง (IPSC) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการสร้างแบบจำลองของข้อมูลตามหลักการมอนติคาร์โล (monti carlo) พื้นฐานของการวิเคราะห์ความเสี่ยง และการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร

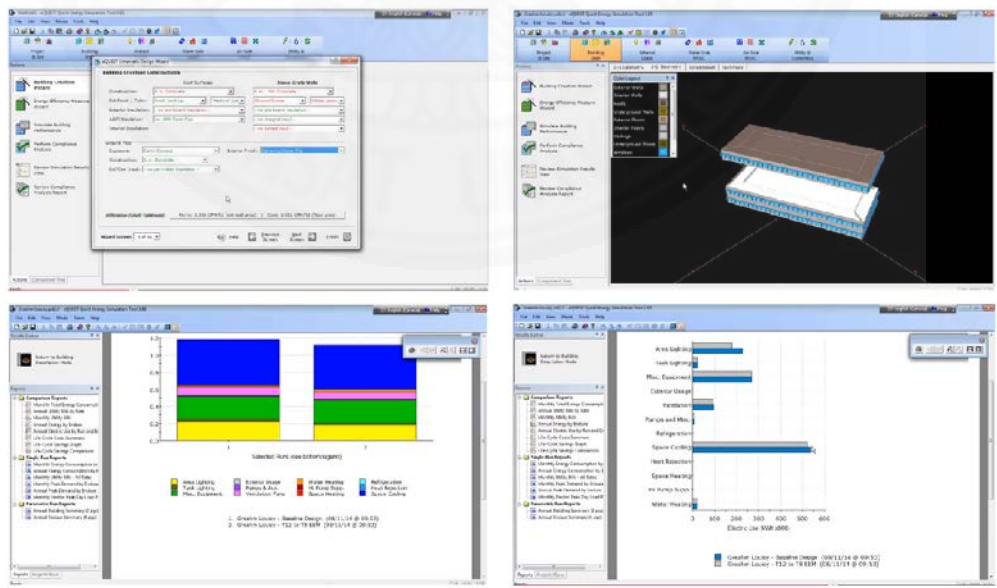
3.2.2 โปรแกรม eQUEST 3.64 (แสดงในภาพที่ 3.5) ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท Pacific Gas and Electric Company บริษัท San Diego Gas & Electric และบริษัท Southern California Edison ภายใต้การสนับสนุนจากคณะกรรมการสาธารณูปโภคแคลิฟอร์เนีย (California Public Utilities Commission) โดยโปรแกรมนี้พัฒนาเอาระบบประมวลผลกราฟฟิกในการใช้สร้างแบบจำลอง ซึ่งทำให้เกิดข้อดีของการสร้างแบบจำลองที่ง่ายขึ้น มาผนวกเข้ากับการคำนวณปริมาณความต้องการในการใช้พลังงานต่อปีตามหลักการคำนวณของซอฟต์แวร์ DOE-2 ซึ่งใช้สมการคำนวณแบบ RTS (radiant time series) คำนวณความต้องการใช้ไฟฟ้าจากภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง ซึ่งได้ผลแม่นยำและใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมจริง โดยใช้เวลาในการคำนวณที่รวดเร็ว

3.2.3 โปรแกรม SPSS (แสดงในภาพที่ 3.6) ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท IBM (International Business Machine) เพื่อรองรับการใช้งานเกี่ยวกับการจัดการข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิง

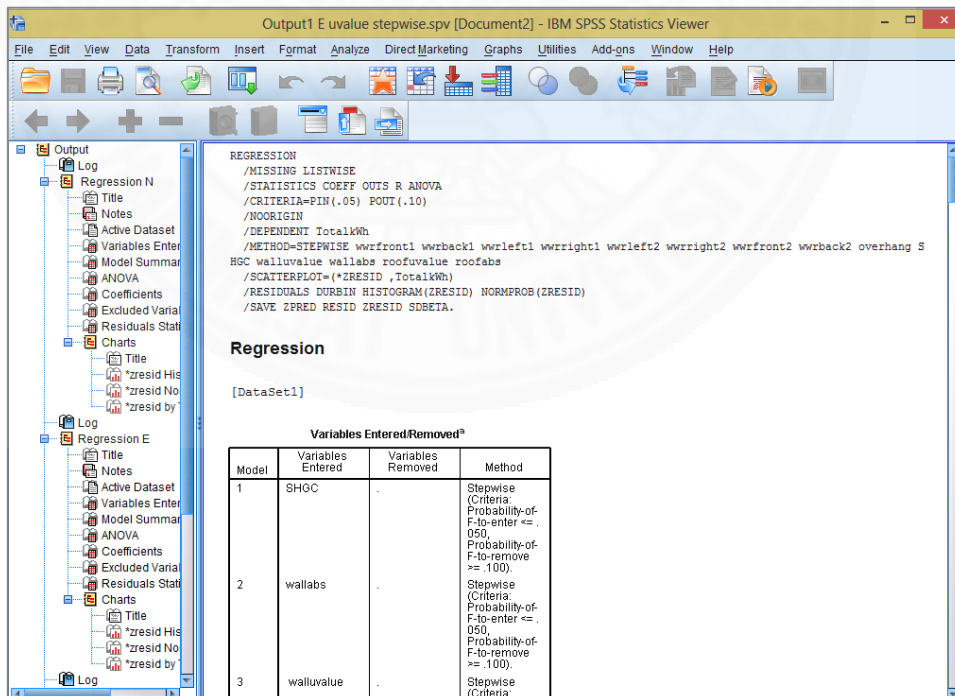
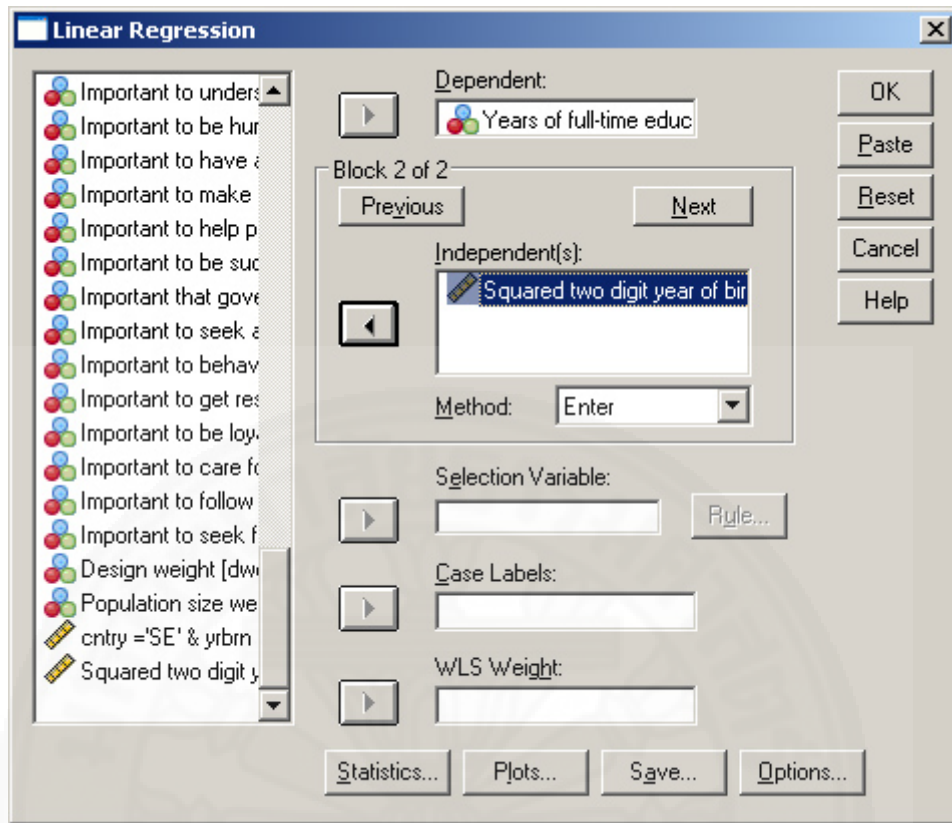
ของสถิติ ซึ่งสามารถวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลได้หลากหลาย โปรแกรมนี้ได้รับความเชื่อถือจึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย โดยในงานวิจัยนี้จึงเลือกนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างโปรแกรม Simlab 2.2



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างโปรแกรม eQUEST 3.64



ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างโปรแกรม SPSS

บทที่ 4

แบบบ้านกรณีศึกษาและตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข

4.1 ผลจากการสำรวจข้อมูล

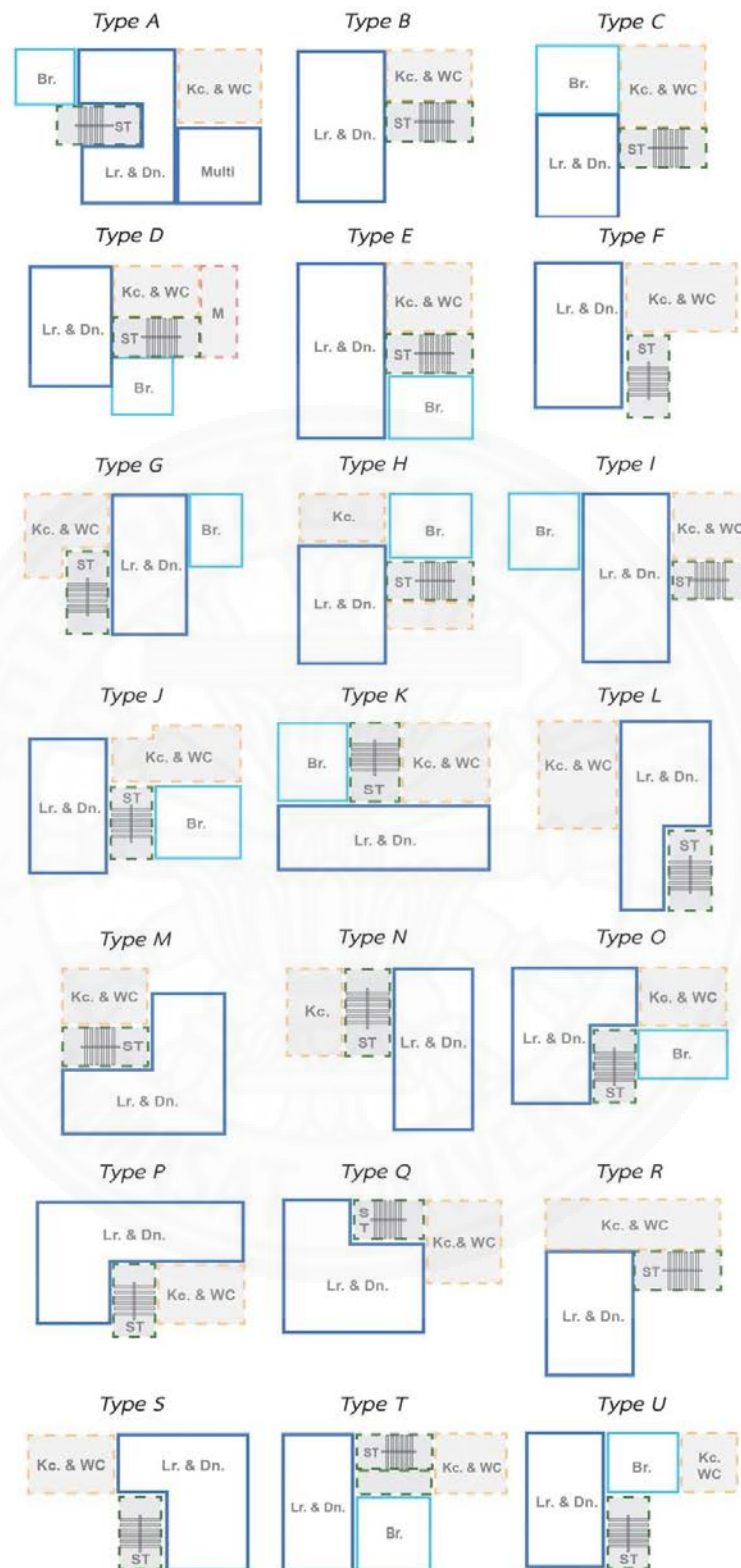
จากการศึกษาเชิงสำรวจซึ่งทำการเก็บข้อมูลจากบ้านเดี่ยวสองชั้นในโครงการจัดสรรที่ยังเปิดขายอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบการออกแบบองค์ประกอบกรอบอาคารของบ้านกรณีศึกษา พบว่า จากบ้านเดี่ยวสองชั้นในโครงการจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทั้งหมดจาก 14 บริษัทอสังหาริมทรัพย์ มีจำนวนโครงการทั้งหมดที่ยังเปิดขายอยู่ 167 โครงการโดยมีรูปแบบบ้านที่ต่างกันอยู่ทั้งหมด 328 แบบ ซึ่งถูกนำไปสร้างซ้ำเป็นแบบบ้านในโครงการต่าง ๆ คิดเป็น 546 แบบ ข้อมูลจากการสำรวจบ้านพักอาศัยถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.1.1 ข้อมูลที่เก็บสำหรับกำหนดบ้านกรณีศึกษา โดยข้อมูลในส่วนนี้จะสรุปผลจากการเก็บข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทของข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

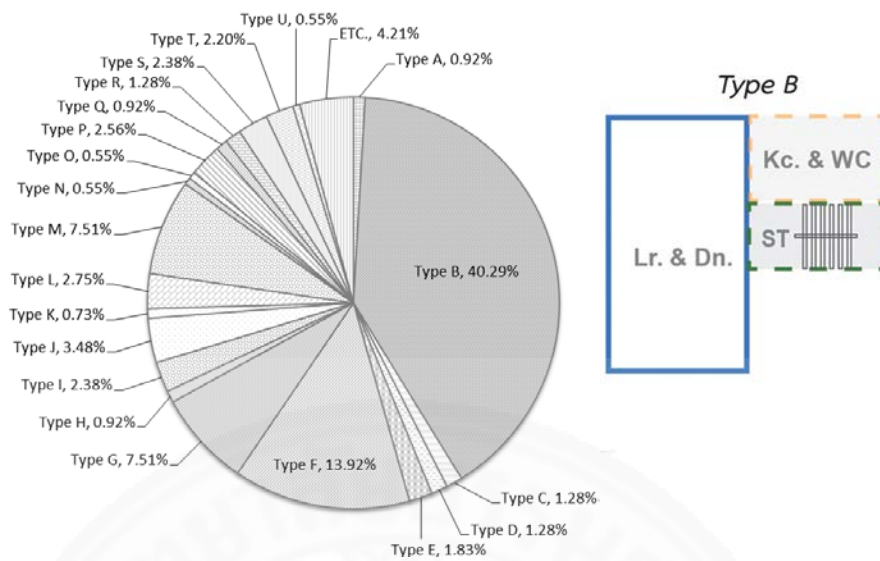
4.1.1.1 รูปแบบการจัดผังพื้นที่ในแต่ละชั้น แบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

1) ผังพื้นที่ชั้น 1

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากแบบบ้านทั้งหมด 546 แบบ โดยจัดกลุ่มตามลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ของพื้นที่ชั้น 1 โดยลักษณะการใช้งานในพื้นที่ชั้น 1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1) ห้องนั่งเล่นรวมพื้นที่รับประทานอาหาร (Lr.&Dn.) 2) ห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1) และ 3) โถงบันได (ST) ซึ่งรูปแบบการจัดวางตำแหน่งห้องสามารถแบ่งได้เป็น 21 แบบ ดังภาพที่ 4.1 และจำนวนในแต่ละแบบสามารถแบ่งเป็นร้อยละได้ดังแผนภูมิที่ 4.1 โดยรูปแบบที่มากที่สุดคือ การจัดแบบ B มีจำนวนการนำไปสร้างทั้งหมด 220 แบบ คิดเป็นร้อยละ 40.29



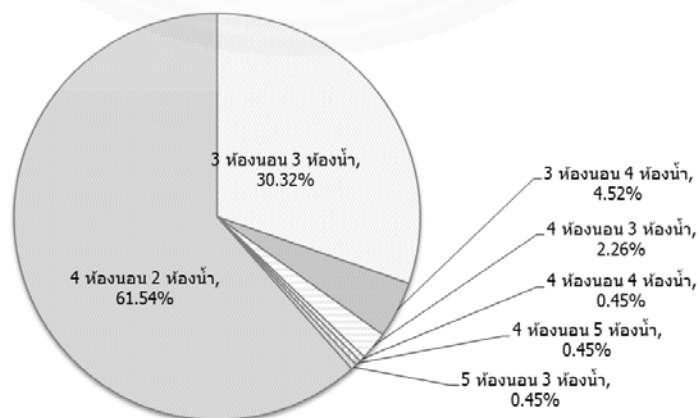
ภาพที่ 4.1 ลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ชั้น 1



แผนภูมิที่ 4.1 จำนวนในแต่ละแบบของลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 1

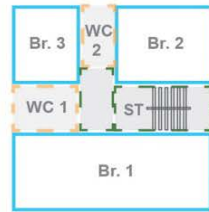
2) ผังพื้นที่ชั้น 2

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากกลุ่มบ้านตัวอย่างที่มีลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ชั้น 1 แบบ B ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด พบว่า เมื่อแบ่งตามจำนวนห้องนอนและห้องน้ำที่อยู่ในพื้นที่ชั้น 2 สามารถได้ออกเป็น 7 แบบโดยมีจำนวนแบ่งเป็นร้อยละดังแผนภูมิที่ 4.2 โดยแบบที่มากที่สุดคือ แบบผังพื้นที่ชั้น 2 ที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ คิดเป็นจำนวนทั้งหมด 131 แบบ หรือคิดเป็นร้อยละ 59.55 และแบบบ้านที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องนอนและห้องน้ำได้ออกเป็นทั้งหมด 12 แบบดังภาพที่ 4.2 และจำนวนในแต่ละแบบสามารถแบ่งเป็นร้อยละได้ดังแผนภูมิที่ 4.3 โดยรูปแบบที่พบมากที่สุด คือ การจัดแบบที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด 29 แบบ คิดเป็นร้อยละ 22

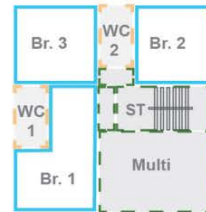


แผนภูมิที่ 4.2 จำนวนห้องนอน และห้องน้ำที่อยู่ในพื้นที่ชั้น 2 ของแบบ B

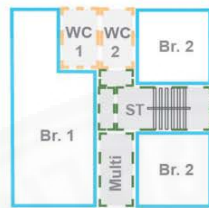
Type (1)



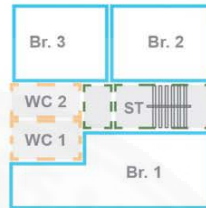
Type (2)



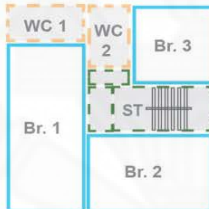
Type (3)



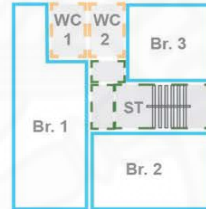
Type (4)



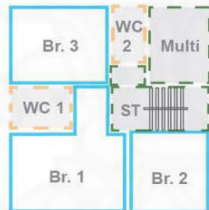
Type (5)



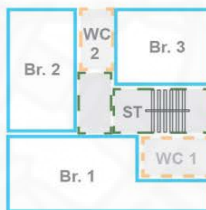
Type (6)



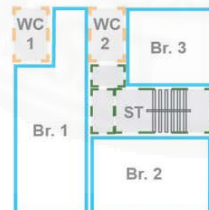
Type (7)



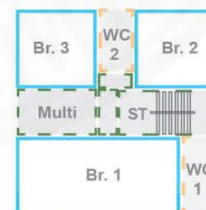
Type (8)



Type (9)



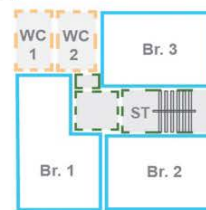
Type (10)



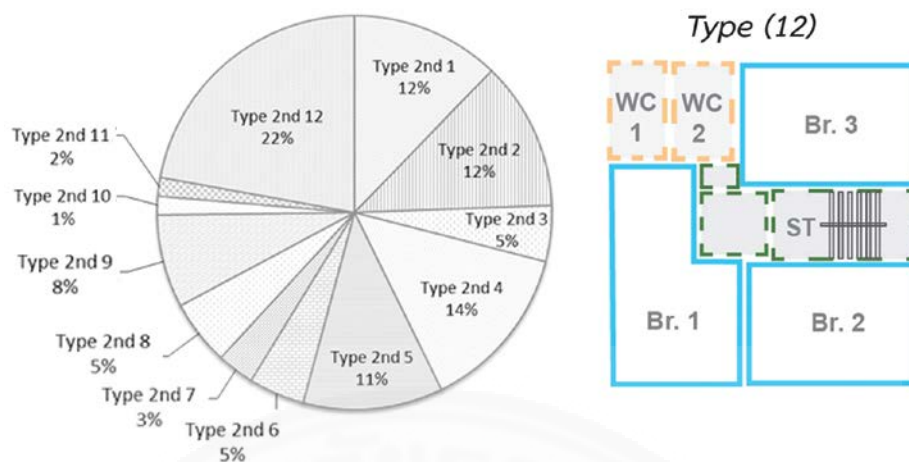
Type (11)



Type (12)



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องนอนและห้องน้ำในพื้นที่ชั้น 2



แผนภูมิที่ 4.3 จำนวนในแต่ละแบบของลักษณะการจัดวางตำแหน่งห้องนอนและห้องน้ำในพื้นที่ชั้น 2

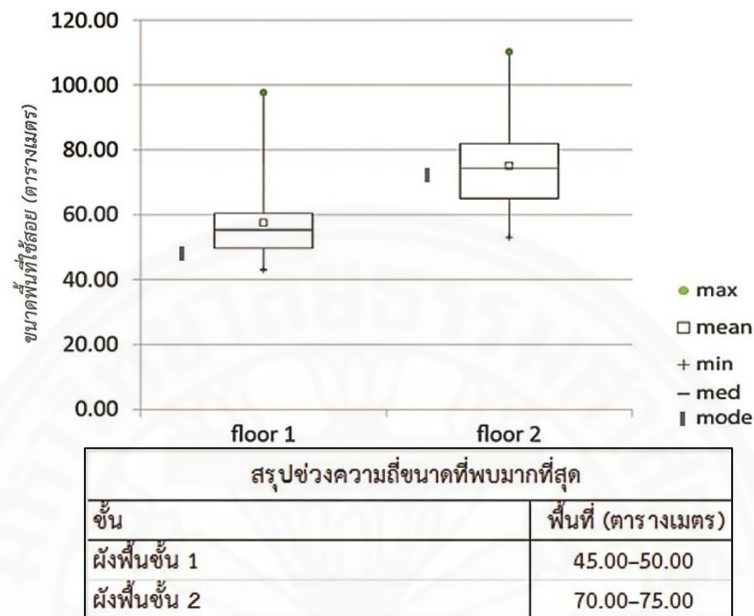
4.1.1.2 ขนาดพื้นที่ใช้สอย

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลตามขนาดพื้นที่ใช้สอยโดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลพื้นที่ใช้สอยรวมของผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 จากบ้านกลุ่มตัวอย่างที่มีรูปแบบการจัดวางตำแหน่งผังห้องต่าง ๆ ในชั้น 1 คล้ายกันเป็นจำนวนมากที่สุด คือ แบบ B เฉพาะบ้านที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ทั้งหมด 131 แบบ (แสดงในแผนภูมิที่ 4.4) พบว่า ช่วงการกระจายตัวของข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมของพื้นที่ชั้น 1 (43 – 97 ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 10.18) มีการกระจายตัวแคบกว่าขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมของพื้นที่ชั้น 2 (53 – 110 ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 12.20) โดยพื้นที่ใช้สอยรวมของชั้น 1 และชั้น 2 มีช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ชั้น 1 และชั้น 2 ที่มีจำนวนที่พบมากที่สุด คือ 45–50 และ 70–75 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปกำหนดขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมของผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา จากนั้นทำการเก็บข้อมูลพื้นที่ใช้สอยของห้องต่าง ๆ โดยการเลือกเก็บข้อมูลจากกลุ่มบ้านตัวอย่างที่แบ่งตามรูปแบบการจัดผังในแต่ละชั้นออกเป็น 2 ชั้น ดังนี้

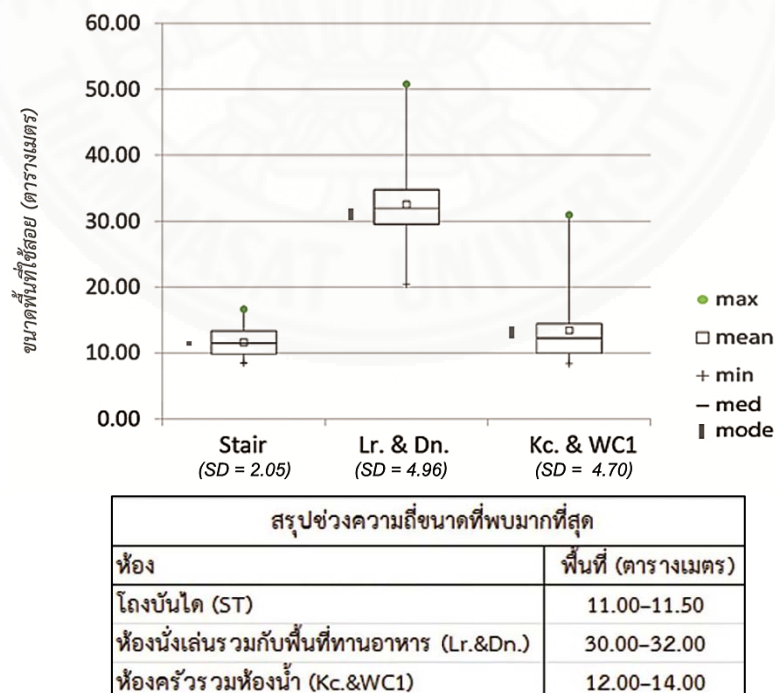
1) ขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มบ้านที่มีการจัดวางตำแหน่งผังห้องต่าง ๆ ในชั้น 1 แบบ B เฉพาะบ้านที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ทั้งหมด 131 แบบ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 1 ที่พบได้ดังแผนภูมิที่ 4.5 โดยพบว่า ช่วงการกระจายตัวของข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยของโถงบันได (ST) มีการกระจายตัวแคบที่สุด (8.50–16.60 ตารางเมตร) รองลงมาคือ พื้นที่ห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1; 8.40 – 30.40 ตารางเมตร) และพื้นที่ห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่รับประทานอาหาร (Lr.&Dn.; 20.40 – 50.70 ตารางเมตร) ตามลำดับ โดยช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของขนาดพื้นที่ใช้สอยของโถงบันได (ST; 11.00 – 11.50 ตารางเมตร) ขนาดพื้นที่

ห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่รับประทานอาหาร (Lr.&Dn.; 30.00 – 32.00 ตารางเมตร) และขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1; 12.00 – 14.00 ตารางเมตร) จะนำไปใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการกำหนดขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 1 ของบ้านกรณีศึกษา



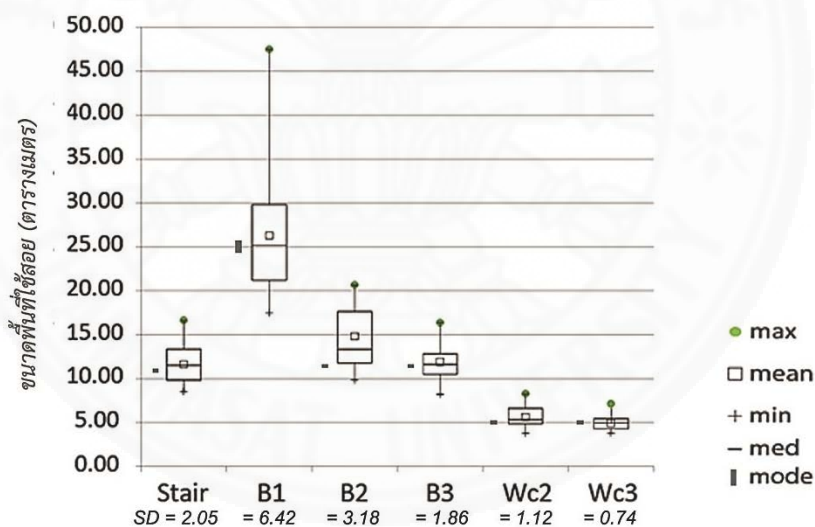
แผนภูมิที่ 4.4 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ใช้สอยรวมในชั้น 1 และ 2



แผนภูมิที่ 4.5 ช่วงการกระจายข้อมูลและช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 1

2) ขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 2

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มบ้านที่มีการจัดวางตำแหน่งผังห้องต่าง ๆ ในชั้น 2 แบบ B เฉพาะบ้านที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ทั้งหมด 131 แบบ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 1 ที่พบได้ดังแผนภูมิที่ 4.6 ซึ่งพบว่า ขนาดพื้นที่ใช้สอยของห้องนอนใหญ่ (B1) มีช่วงมีการกระจายตัวกว้างที่สุด (17.50 – 47.50 ตารางเมตร) รองลงมาคือขนาดพื้นที่ใช้สอยของห้องนอน 2 (B2 ; 9.80 – 20.60 ตารางเมตร) พื้นที่ใช้สอยของห้องนอน 3 (B3; 8.20 – 16.40 ตารางเมตร) พื้นที่ใช้สอยของห้องน้ำ 2 (WC2; 3.80 – 8.30 ตารางเมตร) และพื้นที่ใช้สอยของห้องน้ำ 3 (WC3; 3.80 – 7.10 ตารางเมตร) ตามลำดับ โดยช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องนอนใหญ่ (B1; 24.00 – 26.00 ตารางเมตร) ขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องนอน 2 (B2; 11.50 – 12.00 ตารางเมตร) ขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องนอน 3 (B3; อยู่ในช่วง 11.50 – 12.00 ตารางเมตร) ขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องน้ำ 2 (WC2; 4.90 – 5.10 ตารางเมตร) และขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องน้ำ 3 (WC3; 4.90 – 5.10 ตารางเมตร) จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 2 ของบ้านกรณีศึกษา

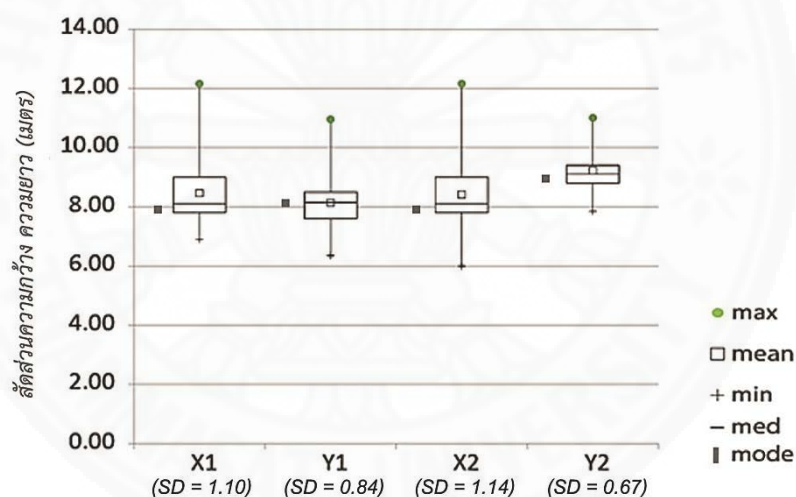


สรุปช่วงความถี่ขนาดที่พบมากที่สุด	
ห้อง	พื้นที่ (ตารางเมตร)
โถงบันได (ST)	11.00-11.50
ห้องนอนใหญ่ (B1)	24.00-26.00
ห้องนอน 2 (B2)	11.50-12.00
ห้องนอน 3 (B3)	11.50-12.00
ห้องน้ำ 2 (WC2)	4.90-5.10
ห้องน้ำ 3 (WC3)	4.90-5.10

แผนภูมิที่ 4.6 ช่วงการกระจายข้อมูลและช่วงความถี่ของขนาดพื้นที่ใช้สอยห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 2

4.1.1.3 สัดส่วนขนาดต่าง ๆ

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนความกว้างและความยาวของผังพื้นชั้น 1 และ 2 จากบ้านกลุ่มตัวอย่างที่มีรูปแบบการจัดวางตำแหน่งผังห้องต่าง ๆ รูปแบบ B เฉพาะบ้านที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ จำนวนทั้งหมด 131 แบบ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลสัดส่วนขนาดต่าง ๆ ที่พบได้ดังแผนภูมิที่ 4.7 ซึ่งพบว่า ข้อมูลสัดส่วนความกว้างของผังพื้นชั้น 2 (X2) มีการกระจายตัวของข้อมูลที่กว้างที่สุด (6.00 – 12.20 เมตร) รองลงมาคือ สัดส่วนความกว้างของผังพื้นชั้น 1 (X1; 6.90 – 12.20 เมตร) สัดส่วนความยาวของผังพื้นชั้น 1 (Y1; 6.40 – 11.00 เมตร) และสัดส่วนความยาวของผังพื้นชั้น 2 (Y2; 7.90 – 11.00 เมตร) ตามลำดับ โดยช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของสัดส่วนความกว้างของผังพื้นชั้น 1 (X1; 7.80 – 8.00 เมตร) สัดส่วนความยาวของผังพื้นชั้น 1 (Y1; 8.00 – 8.20 เมตร) สัดส่วนความกว้างของผังพื้นชั้น 2 (X2; 7.80 – 8.00 เมตร) และสัดส่วนความยาวของผังพื้นชั้น 2 (Y2; 9.00 – 9.20 เมตร) จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดสัดส่วนขนาดความกว้างและความยาวผังพื้นชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา



สรุปช่วงความถี่สัดส่วนที่พบมากที่สุด		
ชั้น	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)
ชั้น 1	7.80-8.00	8.00-8.20
ชั้น 2	7.80-8.00	9.00-9.20

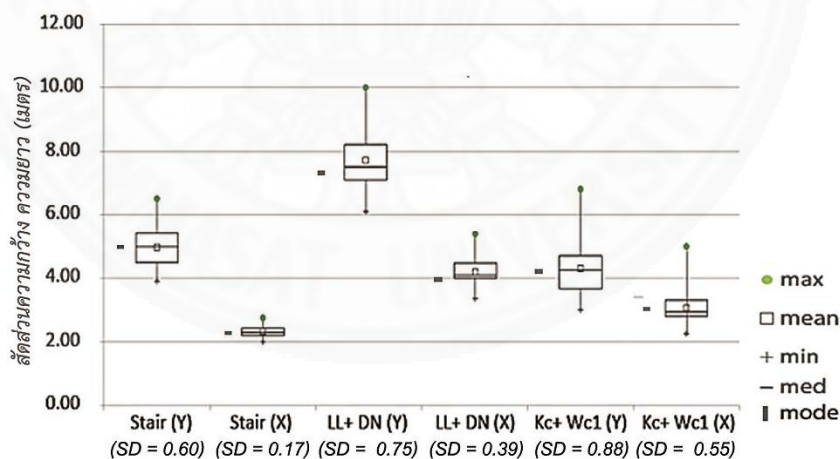
แผนภูมิที่ 4.7 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของความกว้างและความยาวของผังพื้นชั้น 1 และ 2

จากนั้นทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ โดยการเลือกเก็บข้อมูลจากกลุ่มบ้านตัวอย่างที่แบ่งตามรูปแบบการจัดผังในแต่ละชั้น ได้แก่ สัดส่วนความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 1 และ 2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) สัดส่วนความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลในกลุ่มบ้านที่มีการจัดวางตำแหน่งผังห้องต่าง ๆ ในชั้น 1 แบบ B เฉพาะบ้านที่มีจำนวน 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ทั้งหมด 131 แบบ โดยสามารถสรุปข้อมูลสัดส่วนขนาดความกว้าง (X) และความยาว (Y) ของห้องต่าง ๆ ที่พบในชั้น 1 ได้ดังแผนภูมิที่ 4.8 ซึ่งพบว่า ข้อมูลสัดส่วนของห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1) ทั้งความกว้าง (2.30 – 5.00 เมตร) และความยาว (4.20 – 4.40 เมตร) มีช่วงการกระจายตัวของข้อมูลกว้างที่สุด รองลงมาคือห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่รับประทานอาหาร (Lr.&Dn.) ซึ่งมีการกระจายตัวของข้อมูลสัดส่วนความยาว (Lr.&Dn.Y; 6.10 – 10.00 เมตร) กว้างกว่าข้อมูลสัดส่วนความกว้าง (Lr.&Dn.X; 3.40 – 5.40 เมตร) และข้อมูลสัดส่วนของโถงบันได (Stair) ซึ่งมีการกระจายตัวของข้อมูลสัดส่วนความยาว (StairY; 3.90 – 6.50 เมตร) กว้างกว่าข้อมูลสัดส่วนความกว้างของโถงบันได (StairX; 2.00 – 2.70 เมตร)

จากแผนภูมิที่ 4.8 ช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของสัดส่วนความกว้างและยาวของโถงบันได (Stair X; 2.20 – 2.30 เมตร และ Stair Y; 4.80 – 5.00 เมตร) ของพื้นที่ห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่รับประทานอาหาร (Lr.&Dn.X; 3.80 – 4.00 เมตร และ Lr.&Dn.Y; 7.20 – 7.40 เมตร) และของห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1X; 2.80 – 3.00 เมตร และ Kc.&WC1Y; 4.20 – 4.40 เมตร) จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดสัดส่วนขนาดความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในผังพื้นที่ชั้น 1 ของบ้านกรณีศึกษา

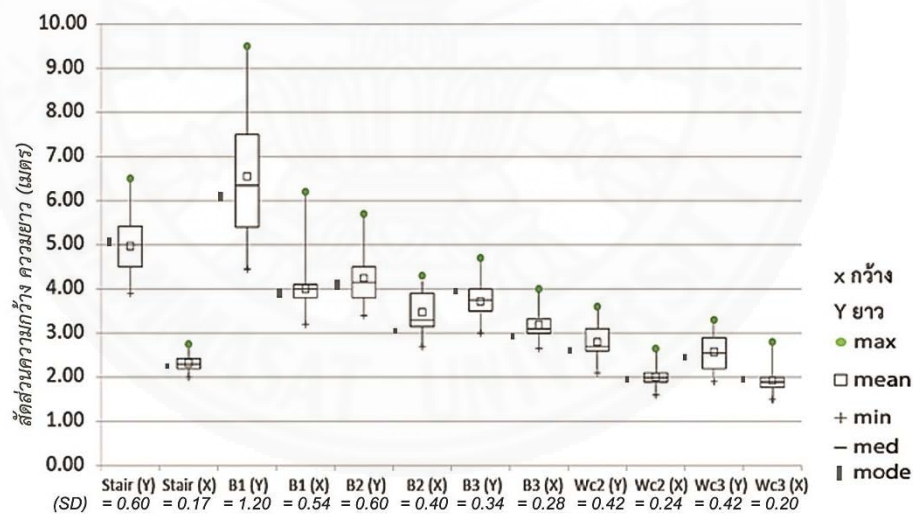


สรุปช่วงความถี่สัดส่วนที่พบมากที่สุด		
ห้อง	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)
โถงบันได (ST)	2.20-2.30	4.80-5.00
ห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่ทานอาหาร (Lr.&Dn.)	3.80-4.00	7.20-7.40
ห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1)	2.80-3.00	4.20-4.40

แผนภูมิที่ 4.8 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 1

2) สัดส่วนความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในชั้นที่ 2

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลในกลุ่มบ้านที่มีการจัดวางตำแหน่งผังห้องต่าง ๆ ในชั้น 1 แบบ B ซึ่งมี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำและมีการจัดวางตำแหน่งห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 2 แบบที่ 12 ทั้งหมด 29 แบบ โดยสามารถสรุปข้อมูลสัดส่วนขนาดความกว้าง (X) และความยาว (Y) ของห้องต่าง ๆ ที่พบในชั้น 2 ได้ดังแผนภูมิที่ 4.9 ซึ่งพบว่า ข้อมูลสัดส่วนที่มีช่วงการกระจายตัวของข้อมูลกว้างที่สุดเป็นลำดับที่ 1 คือ ข้อมูลสัดส่วนของห้องนอนใหญ่ (B1 X; 3.20 – 6.20 เมตร และ B1 Y; 4.50 – 9.50 เมตร) รองลงมาลำดับที่ 2 และ 3 คือ ข้อมูลสัดส่วนของห้องนอน2 (B2 X; 2.70 – 4.30 เมตร และ B2 Y; 3.40 – 5.70 เมตร) และห้องนอน3 (B3 X; 2.60 – 4.00 เมตร และ B3 Y; 3.00 – 4.70 เมตร) ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 ห้องนี้มีสัดส่วนทั้งความกว้างและยาวที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับลำดับที่ 4 และ 5 คือ ข้อมูลสัดส่วนของห้องน้ำ2 (WC2 X; 1.60 – 2.65 เมตร และ WC2 Y; 2.10 – 3.60 เมตร) และห้องน้ำ3 (WC3 X; 1.50 – 2.80 เมตร และ WC3 Y; 1.90 – 3.30 เมตร) ตามลำดับ และช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของสัดส่วนความกว้างและยาวของห้องนอนใหญ่ (B1) ห้องนอน2 (B2) ห้องนอน3 (B3) ห้องน้ำ2 (Wc2) และห้องน้ำ3 (Wc3) จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดสัดส่วนขนาดความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในผังพื้นที่ชั้น 2 ของบ้านกรณีศึกษา

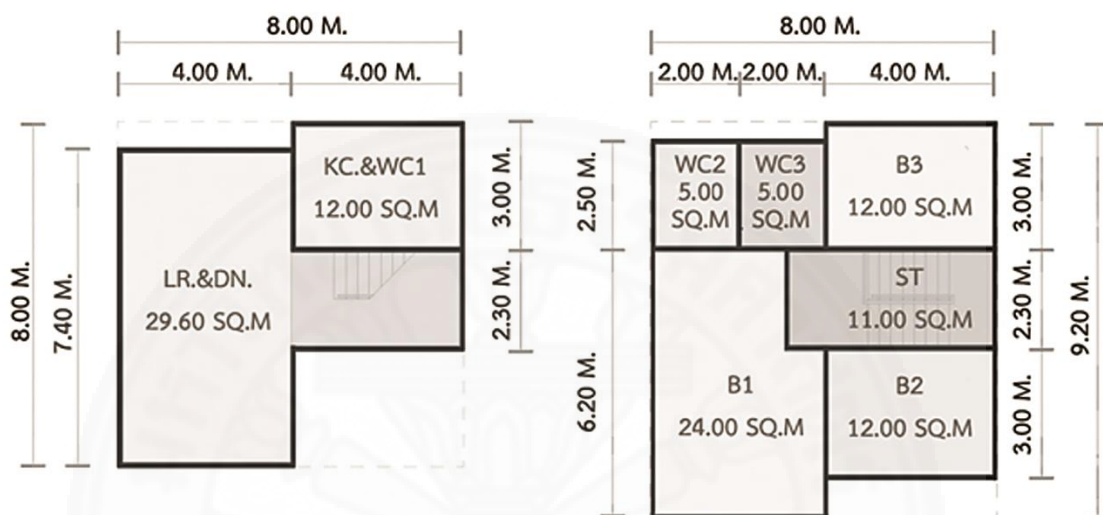


สรุปช่วงความถี่สัดส่วนที่พบมากที่สุด		
ห้อง	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)
โถงบันได (ST)	2.20-2.30	4.80-5.00
ห้องนอนใหญ่ (B1)	3.80-4.00	6.00-6.20
ห้องนอน2 (B2)	3.00-3.10	4.00-4.20
ห้องนอน3 (B3)	2.90-3.00	3.90-4.00
ห้องน้ำ2 (WC2)	1.90-2.00	2.50-2.60
ห้องน้ำ3 (WC3)	1.90-2.00	2.40-2.50

แผนภูมิที่ 4.9 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของความกว้างและความยาวของห้องต่าง ๆ ในพื้นที่ชั้น 2

4.1.2 สรุปรูปแบบบ้านกรณีศึกษาเพื่อใช้ในแบบจำลองพลังงาน

จากข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเก็บในหัวข้อ 4.1.1.1 - 4.1.1.3 ถูกนำมาใช้กำหนดรูปแบบผังพื้นที่ใช้งานและสัดส่วนความกว้างยาวของห้องต่าง ๆ ของบ้านกรณีศึกษา แสดงในภาพที่ 4.3 โดยรายละเอียดขนาดความกว้างยาวของห้องต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.3 ผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.1

สัดส่วนความกว้าง ความยาวของห้องต่าง ๆ ในผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา

ห้อง	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	พื้นที่ (ตารางเมตร)
ห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่ทานอาหาร (Lr.&Dn.)	4.00	7.40	29.60
ห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1)	3.00	4.00	12.00
โถงบันได (ST)	2.30	4.80	11.00
ห้องนอนใหญ่ (B1)	4.00	6.20	24.00
ห้องนอน2 (B2)	3.00	4.00	12.00
ห้องนอน3 (B3)	3.00	4.00	12.00
ห้องน้ำ2 (WC2)	2.00	2.50	5.00
ห้องน้ำ3 (WC3)	2.00	2.50	5.00

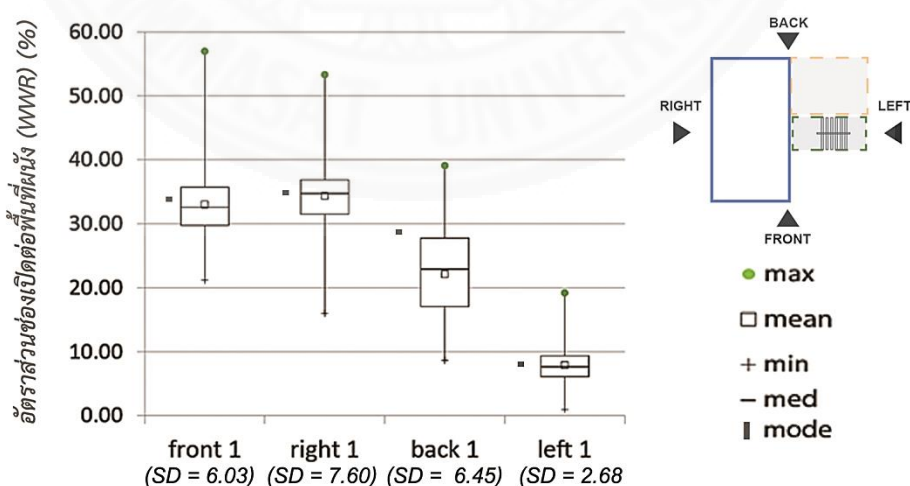
4.1.3 ข้อมูลที่เก็บสำหรับกำหนดช่วงตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข

จากแบบบ้านที่พบมากที่สุดในกลุ่มบ้านตัวอย่างทั้งหมด 167 โครงการ คือ บ้านแบบ B 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำทั้งหมด 131 หลัง ถูกนำมาพิจารณาองค์ประกอบของกรอบอาคาร แล้วทำการเก็บข้อมูลตัวแปรประเภทต่าง ๆ ดังนี้

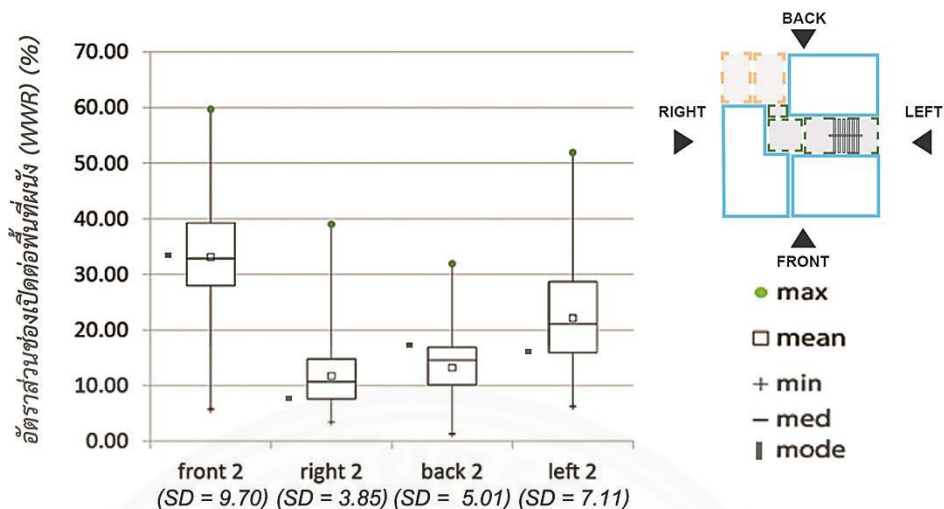
4.1.3.1 อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านต่าง ๆ (WWR)

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจโดยการเก็บข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านต่าง ๆ (WWR) ของบ้านชั้น 1 และชั้น 2 ของทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านขวา ด้านหลัง และด้านซ้ายของบ้าน โดยในชั้นที่ 1 สามารถสรุปได้ดังแผนภูมิที่ 4.10 ซึ่งพบว่า อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านซ้ายมีการกระจายตัวของข้อมูลแคบที่สุด (WWR Left1; 0.98% – 19.20%) ส่วนอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านหน้า (WWR Front1; 21.20% – 57.00%) ด้านขวา (WWR Right1; 16.00% – 53.30% และด้านหลัง (WWR Back1; 8.60% – 39.10%) มีการช่วงการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงกัน ส่วนในชั้นที่ 2 สามารถสรุปได้ดังแผนภูมิที่ 4.11 โดยพบว่า อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านขวามีการกระจายตัวของข้อมูลแคบที่สุด (WWR Right2; 3.50% – 39.00%) รองลงมาคือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านหลัง (WWR Back2; 1.30% – 31.90%) ด้านซ้าย (WWR Left2; 6.30% – 51.90%) และด้านหน้า (WWR Front2; 5.70% – 59.70%) ตามลำดับ

จากข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านต่าง ๆ ในแต่ละชั้นที่ได้ทำการสำรวจมาในข้างต้นนี้ สามารถสรุปค่าที่พบมากที่สุดของอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังด้านต่าง ๆ ในแต่ละชั้นได้ดังตารางที่ 4.2



แผนภูมิที่ 4.10 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังในแต่ละด้านของชั้น 1



แผนภูมิที่ 4.11 ช่วงการกระจายของข้อมูลและช่วงความถี่ของข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังในแต่ละด้านของชั้น 2

ตารางที่ 4.2

สรุปข้อมูลอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่พบมากที่สุดในแต่ละด้าน แต่ละชั้น

ชั้น	WWR Front	WWR Right	WWR Back	WWR Left
ชั้น 1	33%	35%	29%	8%
ชั้น 2	33%	7%	17%	16%

4.1.3.2 รูปแบบหลังคา

จากบ้านกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการสำรวจพบว่า รูปแบบหลังคาที่พบมี 2 ประเภท ได้แก่ หลังคาปั้นหย่า และหลังคาจั่ว ซึ่งหลังคาปั้นหย่าพบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96 ของรูปแบบหลังคาบ้านกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

4.1.3.3 ระเบียงยื่นชายคา

จากบ้านกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการสำรวจพบว่า ประเภทมีระเบียงยื่นชายคาอยู่ 3 ขนาด ได้แก่ 0.80 เมตร 1.00 เมตร และ 1.20 เมตร ซึ่งระเบียงยื่นชายคาที่พบมากที่สุดคือ ระเบียง 0.80 เมตร คิดเป็นร้อยละ 42 ของระเบียงยื่นชายคาบ้านกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด อันดับถัดมาคือ ระเบียง 1.20 เมตร คิดเป็นร้อยละ 37 และระเบียง 1.00 เมตร คิดเป็นร้อยละ 21 ตามลำดับ

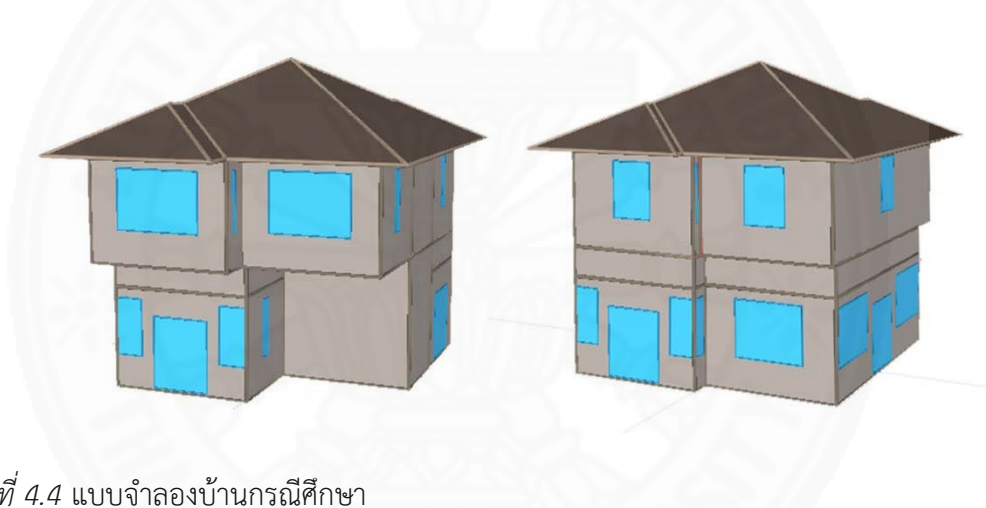
4.1.3.4 สีของผนัง

จากบ้านกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการสำรวจพบว่า สีของผนังสามารถแบ่งตามระดับความเข้มซึ่งสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (ค่า abs.) ได้ 3 ระดับ ได้แก่

- 1) ระดับสีอ่อน (abs. = 0.4)
- 2) ระดับสีเข้มปานกลาง (abs. = 0.6)
- 3) ระดับสีเข้ม (abs. = 0.9)

โดยสามารถแบ่งเป็นสัดส่วนระดับสีที่พบได้ดังแผนภูมิที่ 4.14 ซึ่งระดับสีที่พบมากที่สุด คือ สีอ่อน คิดเป็นร้อยละ 74 ของระดับสีที่พบในบ้านกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด อันดับถัดมาคือ สีเข้มปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 23 และสีเข้ม คิดเป็นร้อยละ 3 ตามลำดับ

จากข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเก็บในส่วนนี้ถูกนำมากำหนดเป็นองค์ประกอบในการออกแบบกรอบอาคารของบ้านกรณีศึกษาสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าที่พบมากที่สุดสำหรับการใส่ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองอาคารในโปรแกรมซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณการพลังงานไฟฟ้า eQUEST 3.64 ของบ้านกรณีศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองบ้านกรณีศึกษา

4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข

ตัวแปรที่ใช้สำหรับการป้อนข้อมูลในขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ตัวแปรต้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตัวแปรต้นที่มาจากการสำรวจ ได้แก่ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ระยะยื่นชายคา ระดับสีของผนัง และตัวแปรต้นที่อ้างอิงมาจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้มีการสำรวจไว้แล้ว เช่น คุณสมบัติทางความร้อนต่าง ๆ ของวัสดุหลังคา ผนังและช่องเปิด เป็นต้น รายละเอียดของตัวแปรต้นแต่ละประเภทนี้ได้แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งตัวแปรต้นทั้ง 2 ส่วนนี้ถูกนำมาพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองข้อมูลตัวแปรต้นที่เปลี่ยนไปสำหรับใช้ในขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขจำนวนทั้งหมด 200 กรณี จากการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธี LHS โดยแสดงตัวอย่างชุดข้อมูลตัวแปรต้นในตารางที่ 4.4

4.2.2 ตัวแปรตาม คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh) ที่มาจากภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (cooling load)

4.2.3 ตัวแปรควบคุม แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) ตัวแปรควบคุมด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ลักษณะภูมิอากาศ และอาคารข้างเคียง เป็นต้น 2) ตัวแปรควบคุมด้านกายภาพของบ้านกรณีศึกษา ได้แก่ สัดส่วนความกว้าง ความยาวของอาคาร ตำแหน่งการจัดวางห้องภายในต่าง ๆ และขนาดพื้นที่ปรับอากาศ เป็นต้น 3) ตัวแปรด้านอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ได้แก่ อุปกรณ์ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์แสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้อื่น ๆ เป็นต้น และ 4) ตัวแปรควบคุมด้านกิจกรรมการใช้งานภายในอาคาร ได้แก่ ตารางเวลาในการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าและการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น โดยสรุปตัวแปรควบคุมทั้งหมดในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.3

สรุปตัวแปรต้นที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่าง

ตัวแปรต้น	ข้อมูลกระจายแบบต่อเนื่อง				ที่มา
	mean		SD		
WWR Front1	33.00		6.03		จากการสำรวจโดยผู้วิจัย
WWR Right1	34.34		7.60		
WWR Back1	22.10		6.45		
WWR Left1	7.90		2.68		
WWR Front2	33.09		9.07		
WWR Right2	11.69		3.85		
WWR Back2	13.21		5.01		
WWR Left2	22.24		7.11		
ตัวแปรต้น	ข้อมูลกระจายแบบไม่ต่อเนื่อง				ที่มา
	level 1	level 2	level 3	level 4	
ระยะยืนชายคา	0.80	1.00	1.20		สำรวจโดยผู้วิจัย
สีผนัง (ค่า abs.)	อ่อน (0.4)	กลาง (0.6)	เข้ม (0.9)		
สีหลังคา (ค่า abs.)	อ่อน (0.4)	กลาง (0.6)	เข้ม (0.9)		กฤษณ์ อ่อนงาม,(2554). กัญญภัค แต่พิพัฒน์พงศ์ , (2553).
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/ft ² hr°F.)	0.459	0.760	0.893		
	อิฐมวลเบา	อิฐมอญ	คอนกรีตสำเร็จรูป		
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก	0.81	0.70	0.62	0.28	
	กระจกใส	กระจกใส 2 ชั้น	กระจกเขียว	low-e 2 ชั้น	
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Btu/ft ² hr°F.)	0.086	0.046	0.028		
	กระเบื้องคอนกรีต	กระเบื้องคอนกรีต	กระเบื้องคอนกรีต		
	Reflective Foil	Reflective Foil	Reflective Foil		
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"		

ตารางที่ 4.4

ตัวอย่างชุดข้อมูลตัวแปรต้นสำหรับขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขที่เปลี่ยนไปในแต่ละกรณี

ตัวแปรต้น	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่	กรณีที่ 200
WWR ด้านหน้า 1	39.65	37.88	35.59	26.22	36.05	....	35.85
WWR ด้านหลัง 1	32.37	30.57	18.79	28.34	19.37	....	16.59
WWR ด้านซ้าย 1	4.93	7.17	6.47	7.85	3.95	....	10.71
WWR ด้านขวา 1	30.76	33.42	40.26	31.65	33.04	....	25.37
WWR ด้านซ้าย 2	31.26	24.37	22.41	33.05	20.15	....	26.72
WWR ด้านขวา 2	13.97	7.64	13.18	10.77	5.24	....	15.99
WWR ด้านหน้า 2	42.41	28.41	33.78	29.16	24.35	....	30.37
WWR ด้านหลัง 2	4.53	13.80	8.02	16.35	11.81	....	18.97
ระยะยื่นชายคา	1.20	1.00	0.80	1.00	1.20	....	1.00
SHGC	0.28	0.62	0.70	0.28	0.70	....	0.81
U-value ผัง	0.89	0.89	0.76	0.89	0.76	....	0.89
สีผนัง (abs.)	0.40	0.90	0.40	0.40	0.40	....	0.90
U-value หลังคา	0.09	0.05	0.05	0.09	0.09	....	0.09
สีหลังคา (abs.)	0.90	0.60	0.40	0.40	0.60	....	0.90

ตารางที่ 4.5

สรุปตัวแปรควบคุมสำหรับขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลข

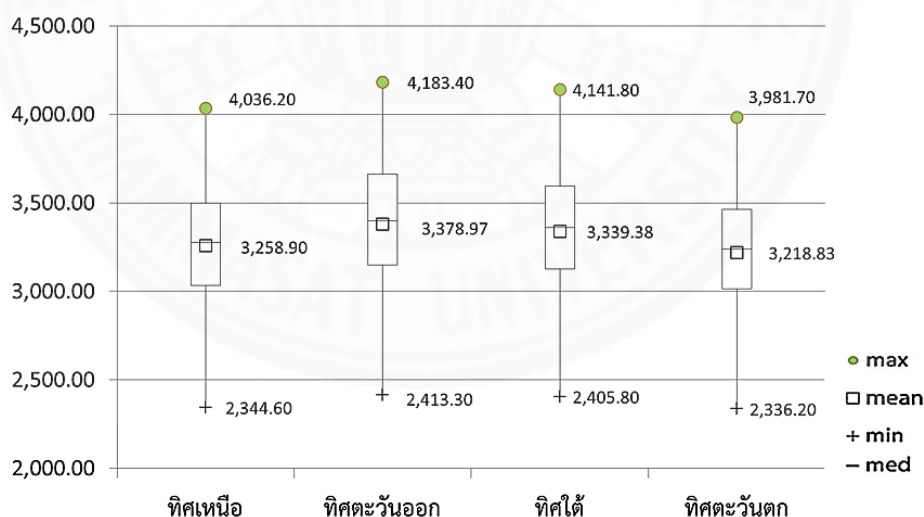
ตัวแปรควบคุม	รายละเอียด	
ด้านสภาพแวดล้อม	1) Weather file	THA_BANGKOK_IWEC
	2) อาคารข้างเคียง	ไม่มี
ด้านกายภาพของบ้านกรณีศึกษา	1) รูปแบบการวางผัง	ภาพที่ 4.3
	2) ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ	
	ห้องนั่งเล่น	29.6 ตร.ม
ด้านอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	1) เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split System Single Zone DX) (EER = 11) อ้างอิงจาก ฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ปี 2549
	2) เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ	ไม่มี
	ด้านกิจกรรมการใช้งานภายในอาคาร	1) เวลาในการใช้งานเครื่องปรับอากาศ
	ห้องนั่งเล่น	
	วัน จ - ศ	18:00 น. - 22:00 น.
	วัน ส - อา, วันหยุด	08:00 น. - 21:00 น.
	ห้องนอนชั้นบน	
	วัน จ - ศ	22:00 น. - 06:00 น.
	วัน ส - อา, วันหยุด	21:00 น. - 07:00 น.

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร

5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานผ่านการจำลองในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ eQUEST 3.64 โดยการป้อนข้อมูลตัวแปรต้นที่ได้จากแบบจำลองข้อมูลขององค์ประกอบอาคารประเภทต่าง ๆ ทั้งหมด 200 กรณี ลงในแบบจำลองอาคารบ้านกรณีศึกษาหลังเดียวกัน แต่เปลี่ยนทิศทางการวางอาคารให้แตกต่างกัน ได้แก่ 1) กรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ 2) กรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก 3) กรณีอาคารหันไปทางทิศใต้ และ 4) กรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก โดยพบว่า ช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในแต่ละกรณีมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคิดเป็นร้อยละ 3.2 – 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก ซึ่งมีช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด (2336.20 – 3981.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) และปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก ซึ่งมีช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากที่สุด (2413.30 – 4183.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) แสดงในแผนภูมิที่ 5.1 ซึ่งมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในบ้านที่มีทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

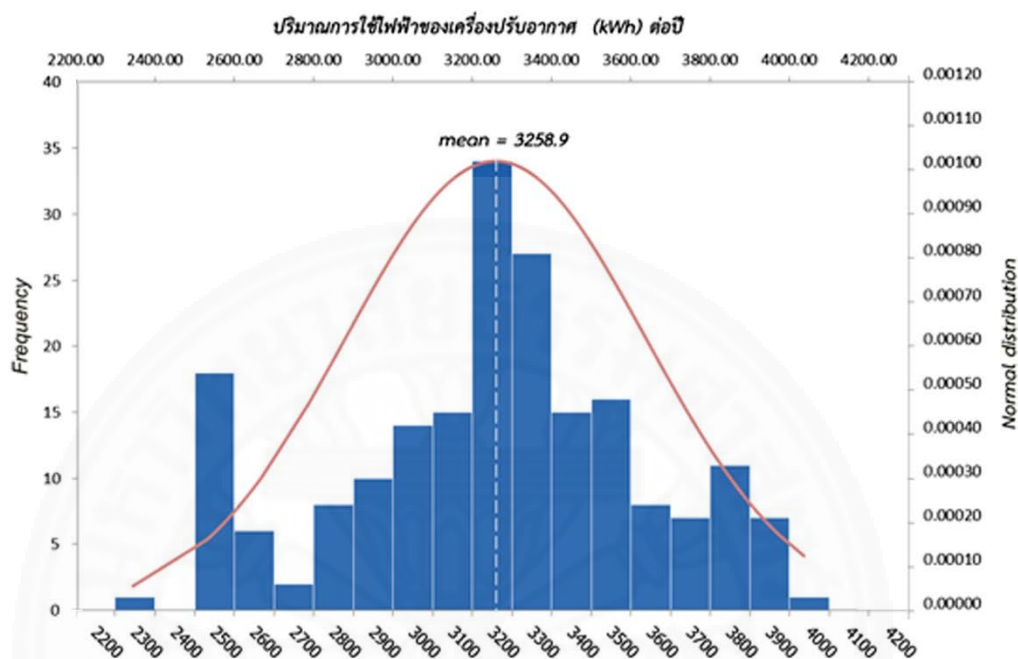


แผนภูมิที่ 5.1 ช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีทั้ง 4 ทิศทางการวางอาคาร

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ

ช่วงการกระจายตัวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในกรณีที่อาคารหันไปทางทิศเหนือมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 2344.60 – 4036.20 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อปี มีค่าเฉลี่ย (mean)

เท่ากับ 3258.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 378.30 และพบช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 3200.00 – 3300.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 34 กรณี แสดงในแผนภูมิที่ 5.2



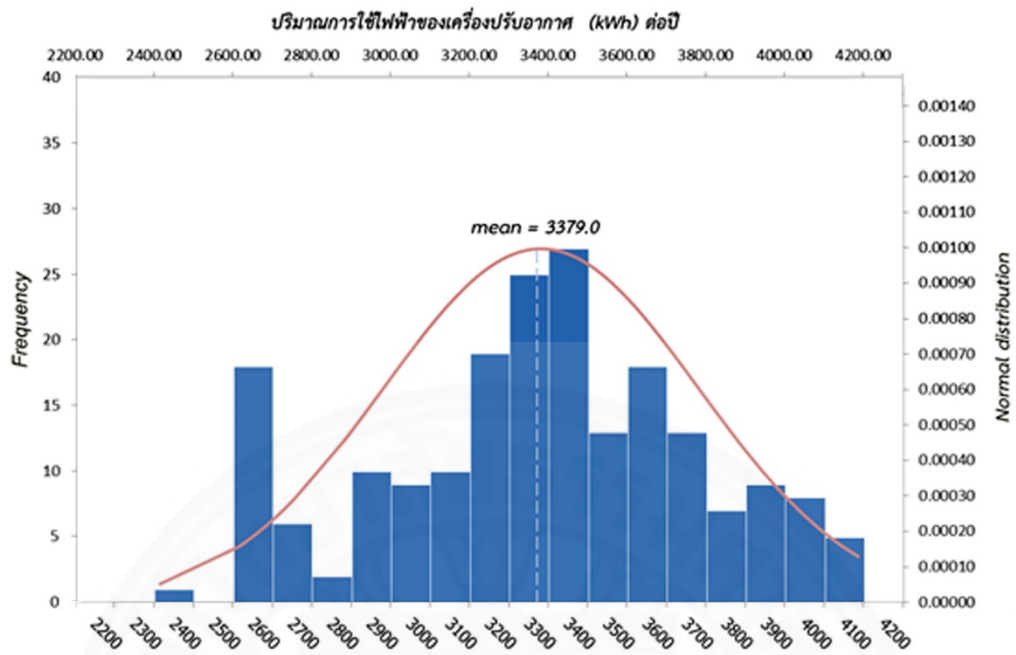
แผนภูมิที่ 5.2 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีกรณีที่อาคารหันไปทางทิศเหนือ

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก

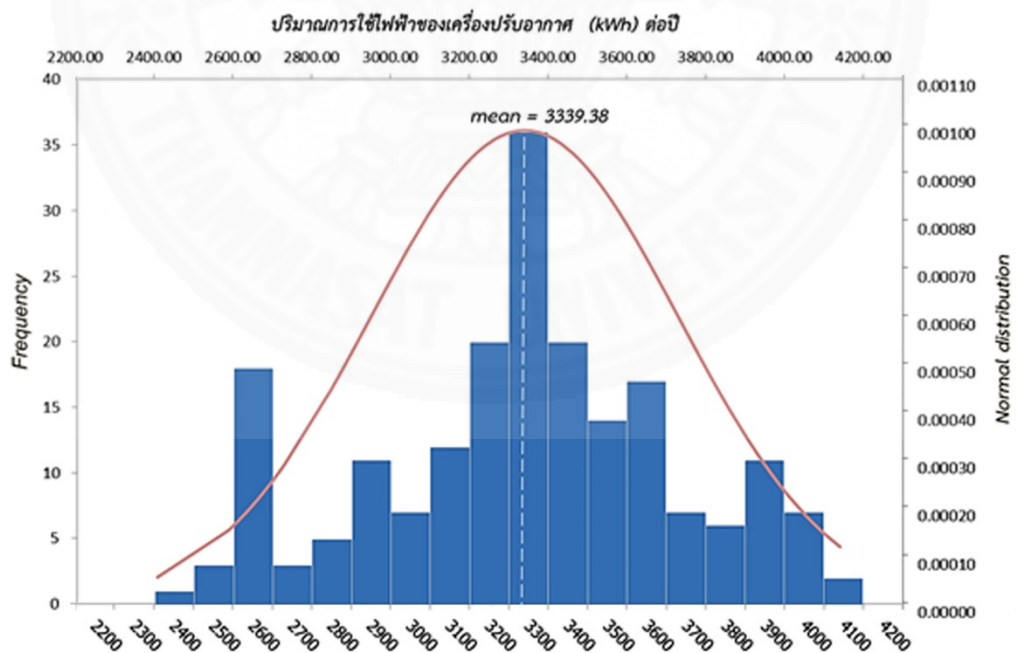
ช่วงการกระจายตัวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในกรณีที่อาคารหันไปทางทิศตะวันออกมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 2413.30 – 4183.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีค่าเฉลี่ย (mean) เท่ากับ 3379.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 399.30 และพบช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 3400.00 – 3500.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 27 กรณี แสดงในแผนภูมิที่ 5.3

5.1.3 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศใต้

ช่วงการกระจายตัวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในกรณีที่อาคารหันไปทางทิศใต้มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 2405.80 – 4141.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีค่าเฉลี่ย (mean) เท่ากับ 3339.38 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 390.95 และพบช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 3300.00 – 3400.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 37 กรณี แสดงในแผนภูมิที่ 5.4



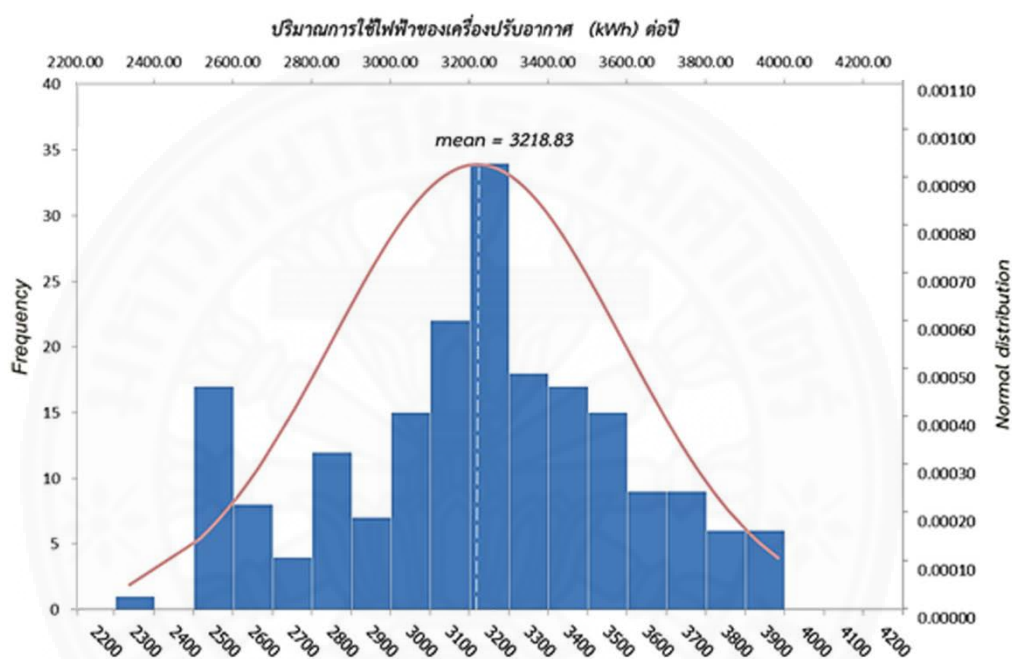
แผนภูมิที่ 5.3 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีที่อาคารหันไปทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 5.4 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีที่อาคารหันไปทางทิศใต้

5.1.4 ผลการวิเคราะห์ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก

ช่วงการกระจายตัวของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในกรณีที่อาคารหันไปทางทิศตะวันตกมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 2336.20 – 3981.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีค่าเฉลี่ย (mean) เท่ากับ 3218.83 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 367.51 และพบช่วงความถี่ที่พบมากที่สุดของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 3200.00 – 3300.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 34 กรณี แสดงในแผนภูมิที่ 5.5



แผนภูมิที่ 5.5 การแจกแจงความถี่และการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก

จากการเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เกิดจากการแจกแจงความถี่ของข้อมูลในแผนภูมิที่ 5.2 5.3 5.4 และ 5.5 พบว่า เส้นโค้งของการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในกรณีที่อาคารหันไปทางทิศตะวันออกมีจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่ต่ำกว่าเส้นโค้งของการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในกรณีที่อาคารหันไปทางทิศอื่น ๆ เนื่องจากเป็นกรณีที่มีค่าการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีสูงที่สุด กล่าวคือ มีจำนวนความถี่ของข้อมูลในแต่ละช่วงที่ใกล้เคียงกันมากกว่ากรณีที่อาคารหันไปทางทิศอื่น ๆ โดยลักษณะของเส้นโค้งทั้ง 4 กรณีเป็นรูปแบบการกระจายปกติ มีการกระจายของข้อมูลในลักษณะที่สมมาตรกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในส่วนของความถี่สะสมของแต่ละช่วงข้อมูล พบว่าทางด้านซ้ายของแผนภูมิที่ 5.2 5.3 5.4 และ 5.5 มีความถี่ของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของ

เครื่องปรับอากาศต่อปีในช่วง 2500 - 2600 และ 2600 - 2700 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาพร้อมกับแบบจำลองข้อมูลตัวแปรต้นของค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีในข้อมูลกลุ่มนี้ พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก (SHGC) อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าข้อมูลในช่วงอื่น ๆ คือ มีค่าเท่ากับ 0.28 ซึ่งเป็นค่าของกระจกชนิด low-e ส่วนช่วงของกลุ่มข้อมูลอื่น ๆ โดยเฉพาะช่วงของข้อมูลที่มีความถี่สะสมสูงสุด พบว่า ประกอบไปด้วยค่าของตัวแปรต้นที่หลากหลาย ไม่สามารถชี้เฉพาะได้ว่ามีอิทธิพลมาจากตัวแปรต้นประเภทใด จึงจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยต่อไป

5.2 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอย

จากแบบจำลองข้อมูลองค์ประกอบรอบอาคารประเภทต่าง ๆ ทั้ง 14 ประเภทและผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากการจำลองในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ eQUEST 3.64 ทั้งหมด 200 กรณี นำมากำหนดเป็นตัวแปรต้น 14 ตัวแปรและตัวแปรตาม 1 ตัวแปรตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 5.1) เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอย (regression) ในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ SPSS โดยขั้นตอนการศึกษานี้เริ่มจากการวิเคราะห์แบบสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เลือกใช้วิธีการนำเข้าตัวแปรแบบ stepwise regression เป็นการวิเคราะห์ที่ให้ผลลัพธ์ในรูปแบบของ model สมการที่เกิดจากการนำเข้าตัวแปรต้นแบบเป็นขั้นตอน มีการคัดเลือกตัวแปรต้นเข้าสู่สมการทีละตัวแปรโดยวิเคราะห์จากอิทธิพลของตัวแปรต้นนั้น ๆ ที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของค่า R^2 หรือค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเชิงซ้อน (coefficient of multiple determination) สำหรับสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่บ่งบอกความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามจากตัวแปรต้นทั้งหมดในแต่ละ model สมการ

จากการศึกษา พบว่า ในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศใต้ ได้ผลลัพธ์จากการนำเข้าตัวแปรต้นทั้งหมด 11 สมการเหมือนกัน โดยสมการที่ 11 ของกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศใต้ที่สามารถพยากรณ์พยากรณ์ผลปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศได้แม่นยำที่สุด (ค่า R^2 เท่ากับ 0.972 0.978 และ 0.977 ตามลำดับ) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต้น 11 ตัวแปร ได้แก่

- 1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
- 2) สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง)
- 3) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)

- 4) ระยะเวลาชยา
- 5) สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง)
- 6) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
- 7) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
- 8) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
- 9) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2
- 10) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)
- 11) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 2

ส่วนตัวแปรต้นที่ถูกตัดออกเนื่องจากไม่มีผลต่อการพยากรณ์ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านกรณีศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้า ด้านซ้าย และด้านหลังอาคาร ชั้น 1 ส่วนในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก ได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เพียง 10 สมการ โดยสมการที่ 10 สามารถพยากรณ์พยากรณ์ผลปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศได้แม่นยำที่สุด (ค่า R^2 เท่ากับ 0.943) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต้น 10 ตัวแปร ได้แก่

- 1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
- 2) สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง)
- 3) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)
- 4) ระยะเวลาชยา
- 5) สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง)
- 6) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
- 7) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
- 8) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
- 9) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2
- 10) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)

โดยตัวแปรต้นที่ถูกตัดออกเนื่องจากไม่มีผลต่อการพยากรณ์ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านกรณีศึกษาที่หันไปทางทิศตะวันตก ได้แก่ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าด้านซ้าย และด้านหลังอาคาร ชั้น 1 และอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 2

ตารางที่ 5.1

สรุป 14 ตัวแปรต้น และ 1 ตัวแปรตามสำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอย

ตัวแปรต้น		ตัวแปรตาม
1	WWR ด้านหน้า (A) อาคาร ชั้น 1	1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของ เครื่องปรับอากาศ(kWh)
2	WWR ด้านหลัง (B) อาคาร ชั้น 1	
3	WWR ด้านซ้าย (C) อาคาร ชั้น 1	
4	WWR ด้านขวา (D) อาคาร ชั้น 1	
5	WWR ด้านหน้า (A) อาคาร ชั้น 2	
6	WWR ด้านหลัง (B) อาคาร ชั้น 2	
7	WWR ด้านซ้าย (C) อาคาร ชั้น 2	
8	WWR ด้านขวา (D) อาคาร ชั้น 2	
9	ระยะยื่นชายคา	
10	ค่า SHGC ของกระจก	
11	ค่า U-value ของผนัง	
12	ค่าสีของผนัง (ค่า abs.)	
13	ค่า U-value ของหลังคา	
14	ค่าสีของหลังคา (ค่า abs.)	

ตารางที่ 5.2

สรุปค่า R^2 และความคลาดเคลื่อน (std. error of the estimate) ทั้ง 4 กรณีทิศทางการวางอาคาร

สมการ	ทิศเหนือ		ทิศตะวันออก		ทิศใต้		ทิศตะวันตก	
	R^2	Std. Error of the Estimate	R^2	Std. Error of the Estimate	R^2	Std. Error of the Estimate	R^2	Std. Error of the Estimate
1	0.572	248.235	0.611	249.631	0.608	245.264	0.622	226.456
2	0.900	120.250	0.904	124.186	0.898	125.397	0.867	134.896
3	0.948	86.565	0.951	88.921	0.951	87.391	0.915	107.968
4	0.954	81.645	0.959	81.419	0.959	80.129	0.922	103.497
5	0.959	78.001	0.965	76.170	0.964	74.961	0.929	99.449
6	0.962	74.785	0.970	70.032	0.968	71.402	0.934	96.138
7	0.966	71.457	0.973	66.593	0.971	68.353	0.937	93.790
8	0.968	69.061	0.976	63.759	0.973	65.638	0.939	92.676
9	0.970	66.690	0.977	62.526	0.974	63.921	0.941	91.439
10	0.971	65.710	0.977	61.568	0.976	62.465	0.943	89.968
11	0.972	65.168	0.978	60.865	0.977	61.610	N/A	N/A

จากสมการทั้งหมดในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคาร สามารถนำผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของตัวแปรต้นแต่ละตัวแปรในสมการมาวิเคราะห์โดยแบ่งประเด็นในการพิจารณาค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบหรือค่าจริง (unstandardized coefficients) และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (standardized regression coefficients) โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

5.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบหรือค่าจริงของตัวแปรต้น (unstandardized coefficients)

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบของตัวแปรต้นใช้สำหรับการสร้างสมการถดถอยพยากรณ์ผลของตัวแปรตามในรูปของสมการ $Y = B + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n$ โดยในที่นี้ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบของแต่ละตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารประเภทต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีทิศทางการวางอาคาร (ตารางที่ 5.3 5.4 5.5 และ 5.6) พบว่า ในการวางอาคารแต่ละทิศทางมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบของตัวแปรต้นสำหรับแต่ละสมการแตกต่างกัน โดยตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบของตัวแปรเป็นบวก ซึ่งหมายถึงตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกันกับค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศ มีทั้งหมด 10 ตัวแปร ได้แก่

- 1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
- 2) สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง)
- 3) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)
- 4) สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง)
- 5) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
- 6) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
- 7) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
- 8) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2
- 9) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)
- 10) อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 2

ส่วนตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบเป็นลบ ซึ่งหมายถึงตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศมี 1 ตัวแปร ได้แก่ ระยะเวลาเย็นชายคา

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบของตัวแปรต้นแต่ละตัวแปรของทิศทางการวางอาคารทั้ง 4 กรณี (แสดงในตารางที่ 5.3 ถึง 5.6) สามารถนำมาสร้างสมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ผลค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีได้ตั้งขั้นตอนในภาพที่ 5.1 และสามารถสรุปผลเป็นสมการถดถอยพยากรณ์ผลค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีของบ้านที่หันไปทางทิศเหนือในสมการที่ 5.1 ถึง 5.11 ทิศตะวันออกในสมการที่ 5.12 ถึง 5.22 ทิศใต้ในสมการที่ 5.23 ถึง 5.33 และทิศตะวันตกในสมการที่ 5.34 ถึง 5.43 โดยมีรายละเอียดตัวแปรต้นและค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละสมการถดถอยในแต่ละทิศทางการวางอาคารดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้น	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6	model 7	model 8	model 9	model 10	model 11
ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$											
B (Constant)	2390.939	1742.768	1373.790	1581.151	1516.761	1462.954	1401.287	1310.689	1230.187	1202.919	1173.035
X ₁ SHGC กระจก	1440.592	1415.464	1449.181	1420.002	1423.245	1423.415	1423.279	1420.680	1431.166	1426.123	1430.936
X ₂ สีของผนัง		1051.206	1092.724	1091.301	1099.502	1081.182	1070.715	1076.842	1087.536	1090.317	1095.934
X ₃ U-value ผนัง			459.648	448.225	443.294	434.750	405.954	406.067	403.582	402.683	404.045
X ₄ ระยะเวลาชายคา				-181.232	-196.199	-192.571	-193.004	-185.407	-184.907	-191.676	-187.356
X ₅ สีของหลังคา					119.902	116.094	109.555	106.245	114.271	117.604	123.065
X ₆ WWR ด้านหลัง 2						5.302	5.883	5.502	5.351	5.404	5.140
X ₇ WWR ด้านหน้า 2							2.581	2.642	2.643	2.629	2.468
X ₈ WWR ด้านขวา 1								2.498	2.703	2.854	2.789
X ₉ WWR ด้านซ้าย 2									2.630	2.698	2.667
X ₁₀ U-value หลังคา										501.549	432.270
X ₁₁ WWR ด้านขวา 2											2.583

$$Y = B + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + \dots + B_N X_N$$

ภาพที่ 5.1 ขั้นตอนการสร้างสมการถดถอยจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้น

5.2.1.1 สมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ

$$Y = 2390.939 + 1440.592X_1 \quad (\text{สมการที่ 5.1})$$

จาก model ที่ 1 ; $R^2 = 0.572$, std. error of the estimate= 248.235

$$Y = 1742.768 + 1415.464X_1 + 1051.206X_2 \quad (\text{สมการที่ 5.2})$$

จาก model ที่ 2 ; $R^2 = 0.900$, std. error of the estimate= 120.250

$$Y = 1373.790 + 1449.181X_1 + 1092.724X_2 + 459.648X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.3})$$

จาก model ที่ 3 ; $R^2 = 0.948$, std. error of the estimate= 86.565

$$Y = 1581.151 + 1420.002X_1 + 1091.301X_2 + 448.225X_3 - 181.232X_4 \quad (\text{สมการที่ 5.4})$$

จาก model ที่ 4 ; $R^2 = 0.954$, std. error of the estimate= 81.645

$$Y = 1516.761 + 1423.245X_1 + 1099.502X_2 + 443.294X_3 - 196.199X_4 + 119.902X_5 \quad (\text{สมการที่ 5.5})$$

จาก model ที่ 5 ; $R^2 = 0.959$, std. error of the estimate= 78.001

$$Y = 1462.954 + 1423.415X_1 + 1081.182X_2 + 434.750X_3 - 192.571X_4 + 116.094X_5 + 5.302X_6 \quad (\text{สมการที่ 5.6})$$

จาก model ที่ 6 ; $R^2 = 0.962$, std. error of the estimate= 74.785

$$Y = 1401.287 + 1423.279X_1 + 1070.715X_2 + 405.954X_3 - 193.004X_4 + 109.555X_5 + 5.883X_6 + 2.581X_7 \quad (\text{สมการที่ 5.7})$$

จาก model ที่ 7 ; $R^2 = 0.966$, std. error of the estimate= 71.457

$$Y = 1310.689 + 1420.680X_1 + 1076.842X_2 + 406.067X_3 - 185.407X_4 + 106.245X_5 + 5.502X_6 + 2.642X_7 + 2.498X_8 \quad (\text{สมการที่ 5.8})$$

จาก model ที่ 8 ; $R^2 = 0.968$, std. error of the estimate= 69.061

$$Y = 1230.187 + 1431.166X_1 + 1087.536X_2 + 403.582X_3 - 184.907X_4 + 114.271X_5 + 5.351X_6 + 2.643X_7 + 2.703X_8 + 2.630X_9 \quad (\text{สมการที่ 5.9})$$

จาก model ที่ 9 ; $R^2 = 0.970$, std. error of the estimate= 66.690

$$Y = 1202.919 + 1426.123X_1 + 1090.317X_2 + 402.683X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.10})$$

$$- 191.676X_4 + 117.604X_5 + 5.404X_6 + 2.629X_7 + 2.854X_8$$

$$+ 2.698X_9 + 501.549X_{10}$$

จาก model ที่ 10 ; $R^2 = 0.971$, std. error of the estimate= 65.710

$$Y = 1173.035 + 1430.936X_1 + 1095.934X_2 + 404.045X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.11})$$

$$- 187.356X_4 + 123.065X_5 + 5.140X_6 + 2.468X_7 + 2.789X_8$$

$$+ 2.667X_9 + 432.270X_{10} + 2.583X_{11}$$

จาก model ที่ 11 ; $R^2 = 0.972$, std. error of the estimate= 65.168

เมื่อ	Y	คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh)
	X_1	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
	X_2	คือ ค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X_3	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)
	X_4	คือ ระยะยื่นชายคา
	X_5	คือ ค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X_6	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
	X_7	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
	X_8	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
	X_9	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2
	X_{10}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)
	X_{11}	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 2

5.2.1.2 สมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อบัณฑิตอาคารหันไปทางทิศตะวันออก

$$Y = 2431.637 + 1572.334X_1 \quad (\text{สมการที่ 5.12})$$

จาก model ที่ 1 ; $R^2 = 0.611$, std. error of the estimate= 249.631

$$Y = 1785.268 + 1547.275X_1 + 1048.283 X_2 \quad (\text{สมการที่ 5.13})$$

จาก model ที่ 2 ; $R^2 = 0.904$, std. error of the estimate= 124.186

$$Y = 1402.055 + 1582.293X_1 + 1091.403X_2 + 477.380X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.14})$$

จาก model ที่ 3 ; $R^2 = 0.951$, std. error of the estimate= 88.921

$$Y = 1657.918 + 1546.289X_1 + 1089.647X_2 + 463.285X_3 - 223.621X_4 \quad (\text{สมการที่ 5.15})$$

จาก model ที่ 4 ; $R^2 = 0.959$, std. error of the estimate= 81.419

$$Y = 1581.806 + 1546.303X_1 + 1079.286X_2 + 427.051X_3 - 225.678X_4 + 3.327X_5 \quad (\text{สมการที่ 5.16})$$

จาก model ที่ 5 ; $R^2 = 0.965$, std. error of the estimate= 76.170

$$Y = 1498.467 + 1546.670X_1 + 1053.941X_2 + 411.328X_3 - 221.687X_4 + 3.701X_5 + 7.098X_6 \quad (\text{สมการที่ 5.17})$$

จาก model ที่ 6 ; $R^2 = 0.970$, std. error of the estimate= 70.032

$$Y = 1446.584 + 1549.558X_1 + 1062.465X_2 + 408.914X_3 - 235.102X_4 + 3.550X_5 + 6.887X_6 + 107.205X_7 \quad (\text{สมการที่ 5.18})$$

จาก model ที่ 7 ; $R^2 = 0.973$, std. error of the estimate= 66.593

$$Y = 1352.410 + 1546.857X_1 + 1068.834X_2 + 409.031X_3 - 227.205X_4 + 3.613X_5 + 6.490X_6 + 103.765X_7 + 2.597X_8 \quad (\text{สมการที่ 5.19})$$

จาก model ที่ 8 ; $R^2 = 0.976$, std. error of the estimate= 63.759

$$Y = 1325.292 + 1541.137X_1 + 1071.530X_2 + 408.132X_3 - 234.506X_4 + 3.597X_5 + 6.551X_6 + 107.130X_7 + 2.754X_8 + 539.916X_9 \quad (\text{สมการที่ 5.20})$$

จาก model ที่ 9 ; $R^2 = 0.977$, std. error of the estimate= 62.526

$$Y = 1273.382 + 1547.580X_1 + 1078.395X_2 + 406.528X_3 - 234.441X_4 + 3.598X_5 + 6.458X_6 + 112.328X_7 + 2.889X_8 + 558.524X_9 + 1.665X_{10} \quad (\text{สมการที่ 5.21})$$

จาก model ที่ 10 ; $R^2 = 0.977$, std. error of the estimate= 61.568

$$Y = 1241.600 + 1552.698X_1 + 1084.369X_2 + 407.976X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.22})$$

$$- 229.847X_4 + 118.136X_5 + 6.177X_6 + 3.427X_7 + 2.819X_8$$

$$+ 1.632X_9 + 484.846X_{10} + 2.747X_{11}$$

จาก model ที่ 11 ; $R^2 = 0.978$, std. error of the estimate= 60.865

เมื่อ	Y	คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh)
	X_1	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
	X_2	คือ ค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X_3	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)
	X_4	คือ ระยะยื่นชายคา
	X_5	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
	X_6	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
	X_7	คือ ค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X_8	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
	X_9	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)
	X_{10}	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2
	X_{11}	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 2

5.2.1.3 สมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีกรณีอาคารหันไปทางทิศใต้

$$Y = 2413.945 + 1535.987X_1 \quad (\text{สมการที่ 5.23})$$

จาก model ที่ 1 ; $R^2 = 0.608$, std. error of the estimate= 245.264

$$Y = 1784.743 + 1511.594X_1 + 1020.441X_2 \quad (\text{สมการที่ 5.24})$$

จาก model ที่ 2 ; $R^2 = 0.898$, std. error of the estimate= 125.397

$$Y = 1387.323 + 1547.910X_1 + 1065.159X_2 + 495.079X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.25})$$

จาก model ที่ 3 ; $R^2 = 0.951$, std. error of the estimate= 87.391

$$Y = 1637.016 + 1512.775X_1 + 1063.445X_2 + 481.323X_3 - 218.229X_4 \quad (\text{สมการที่ 5.26})$$

จาก model ที่ 4 ; $R^2 = 0.959$, std. error of the estimate= 80.129

$$Y = 1562.091 + 1512.789X_1 + 1053.246X_2 + 445.655X_3 - 220.253X_4 + 3.275X_5 \quad (\text{สมการที่ 5.27})$$

จาก model ที่ 5 ; $R^2 = 0.964$, std. error of the estimate= 74.961

$$Y = 1497.916 + 1513.072X_1 + 1033.730X_2 + 433.548X_3 - 217.180X_4 + 3.563X_5 + 5.466X_6 \quad (\text{สมการที่ 5.28})$$

จาก model ที่ 6 ; $R^2 = 0.968$, std. error of the estimate= 71.402

$$Y = 1448.321 + 1515.832X_1 + 1041.878X_2 + 431.240X_3 - 230.004X_4 + 3.418X_5 + 5.264X_6 + 102.477X_7 \quad (\text{สมการที่ 5.29})$$

จาก model ที่ 7 ; $R^2 = 0.971$, std. error of the estimate= 68.353

$$Y = 1354.661 + 1513.146X_1 + 1048.212X_2 + 431.356X_3 - 222.150X_4 + 3.482X_5 + 4.869X_6 + 99.056X_7 + 2.583X_8 \quad (\text{สมการที่ 5.30})$$

จาก model ที่ 8 ; $R^2 = 0.973$, std. error of the estimate= 65.638

$$Y = 1286.991 + 1521.960X_1 + 1057.202X_2 + 429.268X_3 - 221.730X_4 + 3.483X_5 + 4.743X_6 + 105.802X_7 + 2.755X_8 + 2.211X_9 \quad (\text{สมการที่ 5.31})$$

จาก model ที่ 9 ; $R^2 = 0.974$, std. error of the estimate= 63.921

$$Y = 1237.837 + 1527.972X_1 + 1065.969X_2 + 431.076X_3 - 216.786X_4 + 3.245X_5 + 4.367X_6 + 114.451X_7 + 2.690X_8 + 2.179X_9 + 3.774X_{10} \quad (\text{สมการที่ 5.32})$$

จาก model ที่ 10 ; $R^2 = 0.976$, std. error of the estimate= 62.465

$$Y = 1219.529 + 1522.494X_1 + 1067.315X_2 + 429.997X_3 - 223.706X_4 + 3.264X_5 + 4.468X_6 + 116.324X_7 + 2.838X_8 + 2.246X_9 + 3.251X_{10} + 462.033X_{11} \quad (\text{สมการที่ 5.33})$$

จาก model ที่ 11 ; $R^2 = 0.977$, std. error of the estimate= 61.610

เมื่อ	Y	คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh)
	X ₁	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
	X ₂	คือ ค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X ₃	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)
	X ₄	คือ ระยะยื่นชายคา
	X ₅	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
	X ₆	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
	X ₇	คือ ค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X ₈	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
	X ₉	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2
	X ₁₀	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 2
	X ₁₁	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)

5.2.1.4 สมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก

$$Y = 2339.078 + 1460.170X_1 \quad (\text{สมการที่ 5.34})$$

จาก model ที่ 1 ; R² = 0.622, std. error of the estimate= 226.456

$$Y = 1795.847 + 1439.110X_1 + 881.015X_2 \quad (\text{สมการที่ 5.35})$$

จาก model ที่ 2 ; R² = 0.867, std. error of the estimate= 134.896

$$Y = 1437.712 + 1471.836X_1 + 921.313X_2 + 446.139X_3 \quad (\text{สมการที่ 5.36})$$

จาก model ที่ 3 ; R² = 0.915, std. error of the estimate= 107.968

$$Y = 1661.127 + 1440.398X_1 + 919.779X_2 + 433.831X_3 - 195.262X_4 \quad (\text{สมการที่ 5.37})$$

จาก model ที่ 4 ; R² = 0.922, std. error of the estimate= 103.497

$$Y = 1584.327 + 1440.412X_1 + 909.325X_2 + 397.271X_3 - 197.337X_4 + 3.357X_5 \quad (\text{สมการที่ 5.38})$$

จาก model ที่ 5 ; R² = 0.929, std. error of the estimate= 99.449

$$Y = 1511.992 + 1440.731X_1 + 887.326X_2 + 383.623X_3 - 193.874X_4 + 3.681X_5 + 6.161X_6 \quad (\text{สมการที่ 5.39})$$

จาก model ที่ 6 ; $R^2 = 0.934$, std. error of the estimate= 96.138

$$Y = 1460.180 + 1443.615X_1 + 895.839X_2 + 381.212X_3 - 207.270X_4 + 3.531X_5 + 5.950X_6 + 107.057X_7 \quad (\text{สมการที่ 5.40})$$

จาก model ที่ 7 ; $R^2 = 0.937$, std. error of the estimate= 93.790

$$Y = 1434.568 + 1436.970X_1 + 898.602X_2 + 380.129X_3 - 216.573X_4 + 3.507X_5 + 6.052X_6 + 111.331X_7 + 645.698X_8 \quad (\text{สมการที่ 5.41})$$

จาก model ที่ 8 ; $R^2 = 0.939$, std. error of the estimate= 92.676

$$Y = 1353.554 + 1434.094X_1 + 904.177X_2 + 380.125X_3 - 210.850X_4 + 3.558X_5 + 5.730X_6 + 108.859X_7 + 706.063X_8 + 2.168X_9 \quad (\text{สมการที่ 5.42})$$

จาก model ที่ 9 ; $R^2 = 0.941$, std. error of the estimate= 91.439

$$Y = 1276.066 + 1443.711X_1 + 914.424X_2 + 377.731X_3 - 210.753X_4 + 3.558X_5 + 5.591X_6 + 116.617X_7 + 733.840X_8 + 2.369X_9 + 2.486X_{10} \quad (\text{สมการที่ 5.43})$$

จาก model ที่ 10 ; $R^2 = 0.943$, std. error of the estimate= 89.968

เมื่อ	Y	คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh)
	X_1	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC)
	X_2	คือ ค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง)
	X_3	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value)
	X_4	คือ ระยะยื่นชายคา
	X_5	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหน้าอาคาร ชั้น 2
	X_6	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านหลังอาคาร ชั้น 2
	X_7	คือ ค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง ; abs.)
	X_8	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (U-value)
	X_9	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านขวาอาคาร ชั้น 1
	X_{10}	คือ อัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ด้านซ้ายอาคาร ชั้น 2

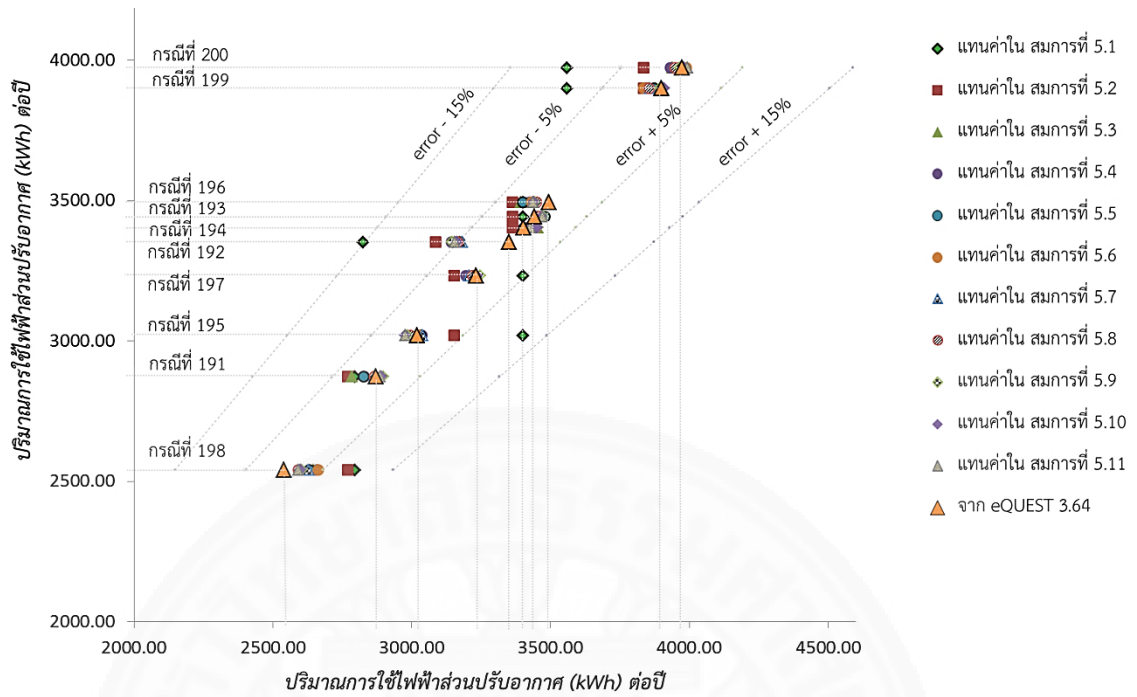
5.2.1.5 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยสมการพยากรณ์กับผลการจำลองพลังงานในบ้านกรณีศึกษา

จากการพิจารณาค่า std. error of the estimate ในแต่ละสมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีทั้งหมดในแต่ละกรณีศึกษาทางการวางอาคาร พบว่า ค่า std. error of the estimate เพียงค่าเดียวไม่สามารถบ่งบอกช่วงขอบเขตปริมาณความคลาดเคลื่อนที่แน่ชัดสำหรับผลลัพธ์ในแต่ละสมการได้ เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการแทนค่าของตัวแปรต้นในชุดข้อมูลแต่ละกรณีลงในสมการให้ผลลัพธ์ที่ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นที่จะต้องทดสอบหาขอบเขตของค่าความคลาดเคลื่อนโดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากการแทนค่าลงในแต่ละสมการถดถอยกับค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม eQUEST 3.64 โดยกำหนดให้ใช้ชุดข้อมูลของตัวแปรต้นชุดเดียวกันในแต่ละกรณีศึกษาทางการวางอาคาร คือ ชุดข้อมูลกรณีที่ 191 ถึงกรณีที่ 200 (แสดงในตารางที่ 5.7) ซึ่งใช้การเลือกแบบสุ่มอย่างง่ายจากชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองข้อมูลทั้งหมด 200 กรณี จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ทั้ง 4 ทิศทางการวางอาคาร (แสดงในแผนภูมิที่ 5.6 ถึง 5.9) พบว่า สามารถแบ่งสมการพยากรณ์จากค่าความคลาดเคลื่อนได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) สมการกลุ่มที่มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 5 และ 2) สมการกลุ่มที่มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 15 โดยมีรายละเอียดในแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้

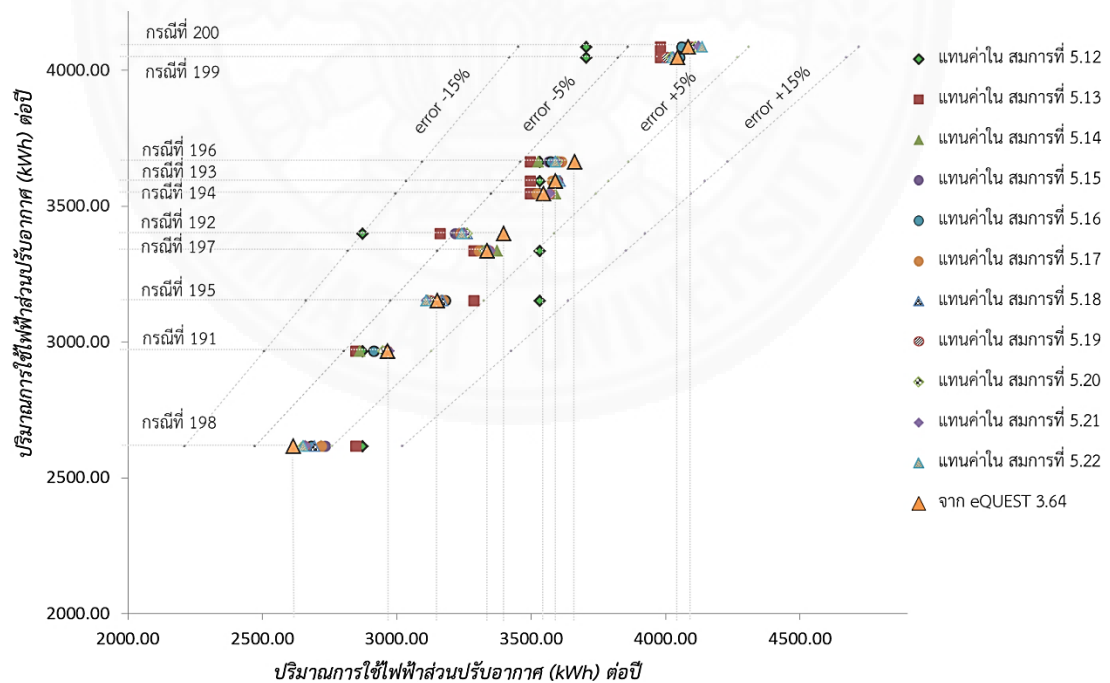
ตารางที่ 5.7

ค่าตัวแปร X_1 ถึง X_{11} ในชุดข้อมูลแต่ละกรณีที่แทนลงในสมการที่ 5.1 ถึง 5.43

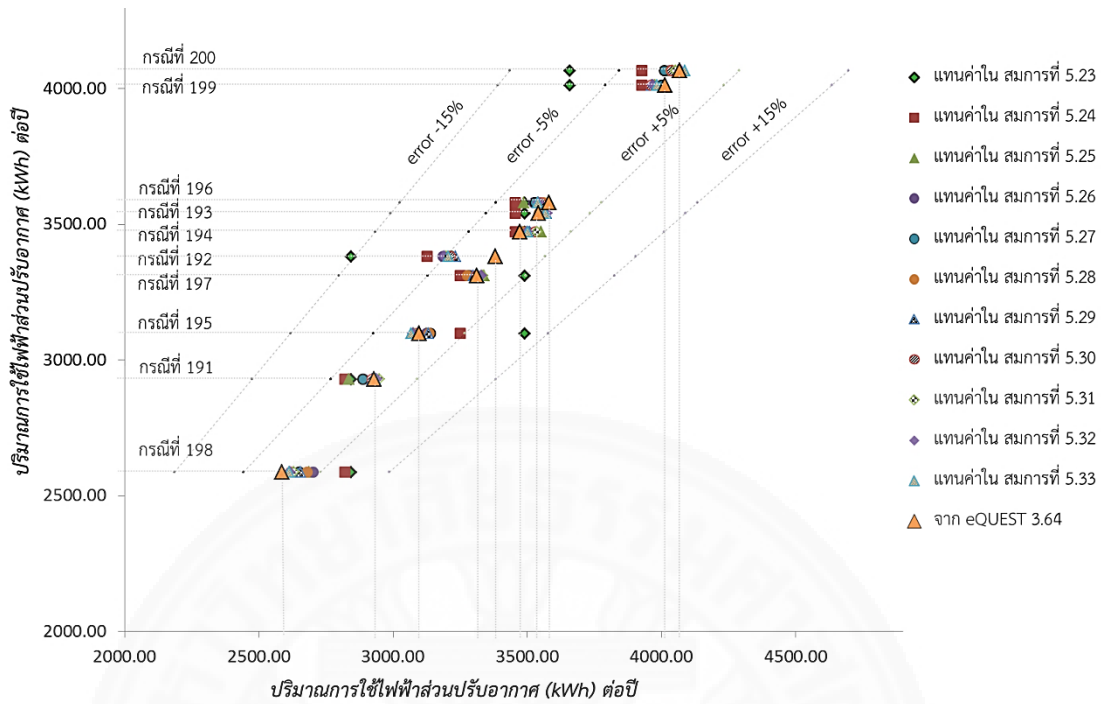
ตัวแปรต้น	กรณีที่	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
WWR ด้านขวา (D) อาคาร ชั้น 1		34.91	25.84	29.95	42.32	17.45	39.61	38.8	20.73	31.61	25.37
WWR ด้านซ้าย (C) อาคาร ชั้น 2		37.05	15.08	26.17	23.83	19.80	19.39	32.56	30.07	35.47	26.72
WWR ด้านขวา (D) อาคาร ชั้น 2		10.94	8.98	11.66	0.70	11.29	12.81	9.42	8.49	9.25	15.99
WWR ด้านหน้า (A) อาคาร ชั้น 2		32.67	45.57	39.22	29.77	34.19	35.09	31.89	14.81	44.88	30.37
WWR ด้านหลัง (B) อาคาร ชั้น 2		20.52	12.21	10.63	13.71	11.03	19.04	12.05	18.77	7.23	18.97
ระยะยื่นชายคา		0.80	1.20	1.00	1.20	1.00	0.80	1.20	1.00	1.00	1.00
ค่า SHGC		0.28	0.28	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.28	0.81	0.81
ค่า U-value ของผนัง		0.76	0.89	0.89	0.89	0.46	0.76	0.89	0.46	0.76	0.89
ค่าสีของผนัง (ค่า abs.)		0.60	0.90	0.60	0.60	0.40	0.60	0.40	0.60	0.90	0.90
ค่า U-value ของหลังคา		0.03	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.09	0.09
ค่าสีของหลังคา (ค่า abs.)		0.60	0.90	0.90	0.90	0.60	0.40	0.90	0.40	0.60	0.90



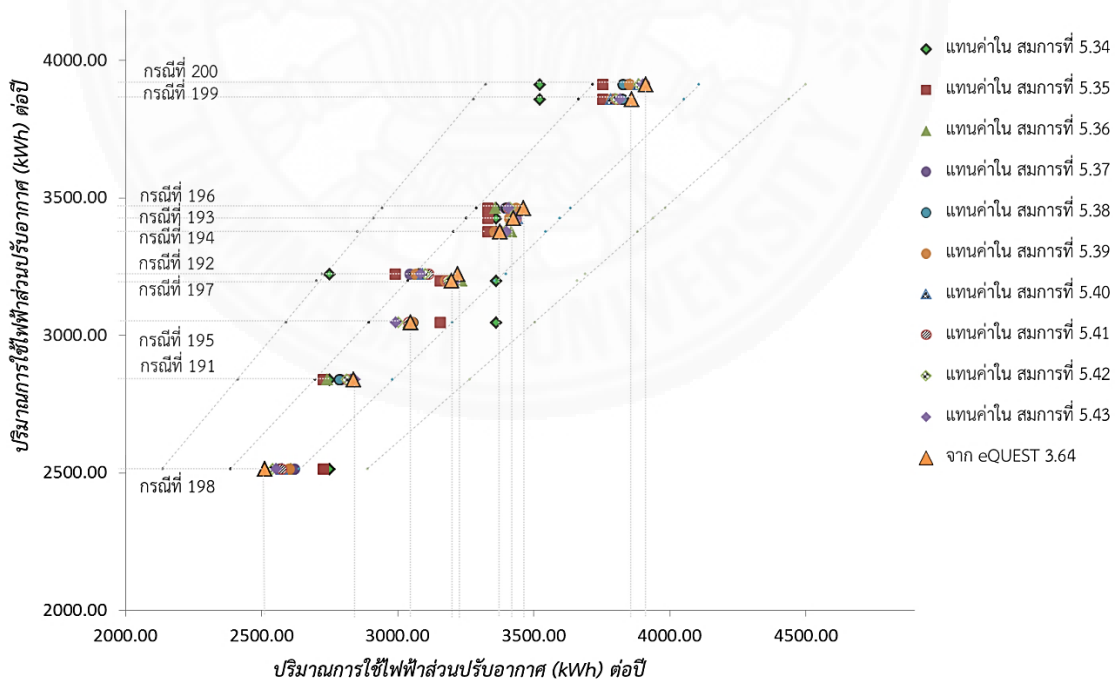
แผนภูมิที่ 5.6 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการกับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 5.7 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการกับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 5.8 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการกับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 5.9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากแต่ละสมการกับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก

1) สมการกลุ่มที่มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 5

คือ สมการที่ให้ผลลัพธ์ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 เมื่อพิจารณาจากแต่ละพิกัดในแผนภูมิที่ 5.6 ถึง 5.9 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของสมการในกลุ่มนี้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรในการคำนวณตั้งแต่ 3 ตัวแปรขึ้นไป ได้แก่ 1) ตัวแปรค่า SHGC ของกระจก 2) ตัวแปรค่าสีของผนัง (ค่า abs.) และ 3) ตัวแปรค่า U-value เป็นต้น โดยการคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่หันไปทางทิศเหนือคำนวณได้จากสมการที่ 5.3 ถึง สมการที่ 5.11 ส่วนกรณีอาคารหันไปทิศตะวันออกคำนวณได้จากสมการที่ 5.14 ถึง สมการที่ 5.22 ส่วนกรณีอาคารหันไปทิศใต้คำนวณได้จากสมการที่ 5.25 ถึง สมการที่ 5.33 และกรณีอาคารหันไปทิศตะวันตกคำนวณได้จากสมการที่ 5.36 ถึง สมการที่ 5.43

2) สมการกลุ่มที่มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 15

คือ สมการที่ให้ผลลัพธ์ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีซึ่งมีพิกัดที่อยู่ห่างออกไปจากพิกัดของค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีที่ได้จากโปรแกรม eQUEST 3.64 ในแผนภูมิที่ 5.6 ถึง 5.9 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของสมการในกลุ่มนี้มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 15 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรในการคำนวณตั้งแต่ 1 ถึง 2 ตัวแปร ได้แก่ 1) ตัวแปรค่า SHGC ของกระจก และ 2) ตัวแปรค่าสีของผนัง (ค่า abs.) เป็นต้น โดยการคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่หันไปทางทิศเหนือคำนวณได้จากสมการที่ 5.1 ถึง สมการที่ 5.2 ส่วนกรณีอาคารหันไปทิศตะวันออกคำนวณได้จากสมการที่ 5.12 ถึง สมการที่ 5.13 ส่วนกรณีอาคารหันไปทิศตะวันตกคำนวณได้จากสมการที่ 5.23 ถึง สมการที่ 5.24 และกรณีอาคารหันไปทิศตะวันตกคำนวณได้จากสมการที่ 5.34 ถึง สมการที่ 5.35

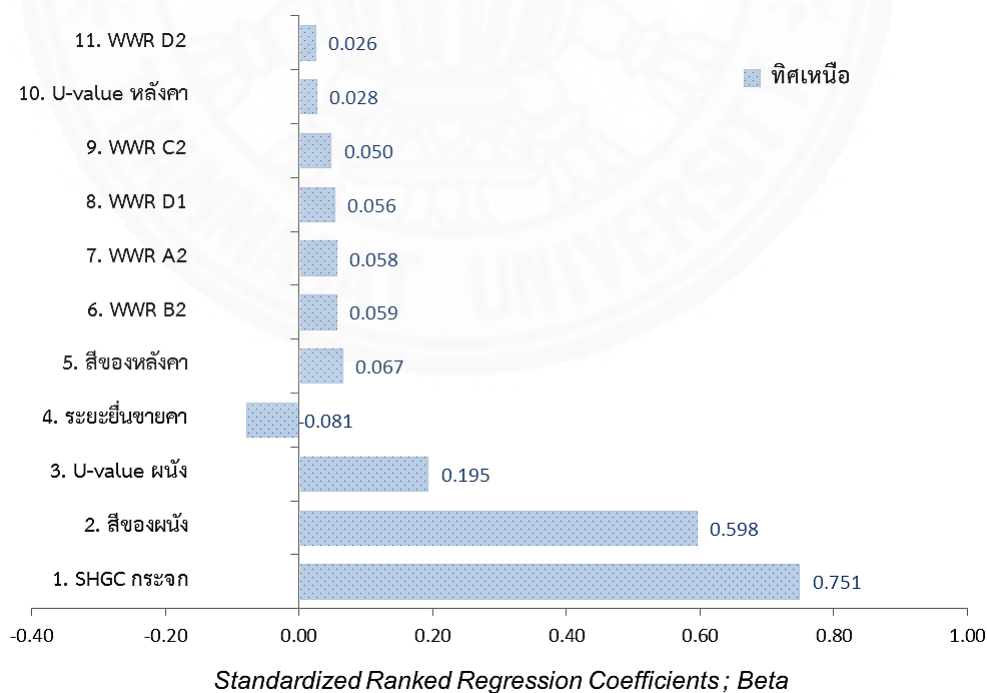
จากการพิจารณาจำนวนตัวแปรต้นในแต่ละสมการจากของทั้ง 2 กลุ่มที่แบ่งได้จากค่าความคลาดเคลื่อนในข้างต้นนี้ พบว่า เมื่อจำนวนของตัวแปรต้นในแต่ละสมการพยากรณ์เพิ่มขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนของผลปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีจะลดลง โดยเฉพาะสมการที่ประกอบไปด้วยจำนวนตัวแปรต้นตั้งแต่ 3 ตัวแปรขึ้นไป พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสอดคล้องกันในทุกกรณีทิศทางการวางอาคาร จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับจำนวนของตัวแปรต้นที่แทนค่าลงในสมการพยากรณ์

5.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (standardized regression coefficient; beta)

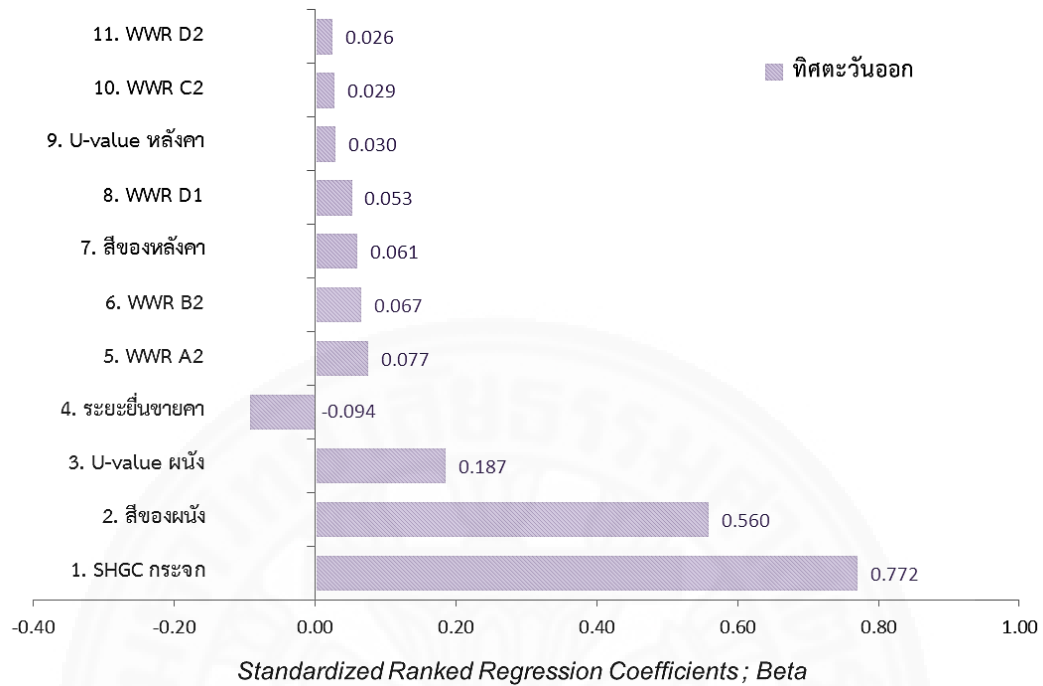
เนื่องจากตัวแปรต้นที่นำมาวิเคราะห์เพื่อทำการจัดลำดับของอิทธิพลตัวแปรประกอบไปด้วยตัวแปรที่มีรูปแบบการกระจายต่างกัน โดยสามารถแบ่งตามรูปแบบการกระจายได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) ตัวแปรต้นที่มีการกระจายแบบไม่ต่อเนื่อง โดยนำค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดมากำหนดขอบเขตช่วง

การศึกษา และ 2) ตัวแปรต้นที่มีการกระจายแบบต่อเนื่อง โดยนำค่าเฉลี่ยและค่าการกระจายมาใช้ในการกำหนดขอบเขตของช่วงการศึกษา (แสดงในช่อง a และ b จากตารางที่ 5.8 ถึง 5.11) ซึ่งค่าการกระจายของตัวแปรต้นบางตัวแปรที่พบจากการสำรวจมีช่วงของข้อมูลที่แคบมาก เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา หรือ U-value หลังคา มีขอบเขตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้แค่ 0.06 หน่วย ซึ่งไม่ถึง 1 หน่วยทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปของคะแนนดิบ (B) เพียงค่าเดียวได้ เนื่องจากค่า B เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งมีผลมาจากค่าของตัวแปรต้นเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย (แสดงในช่อง c จากตารางที่ 5.8 ถึง 5.11)

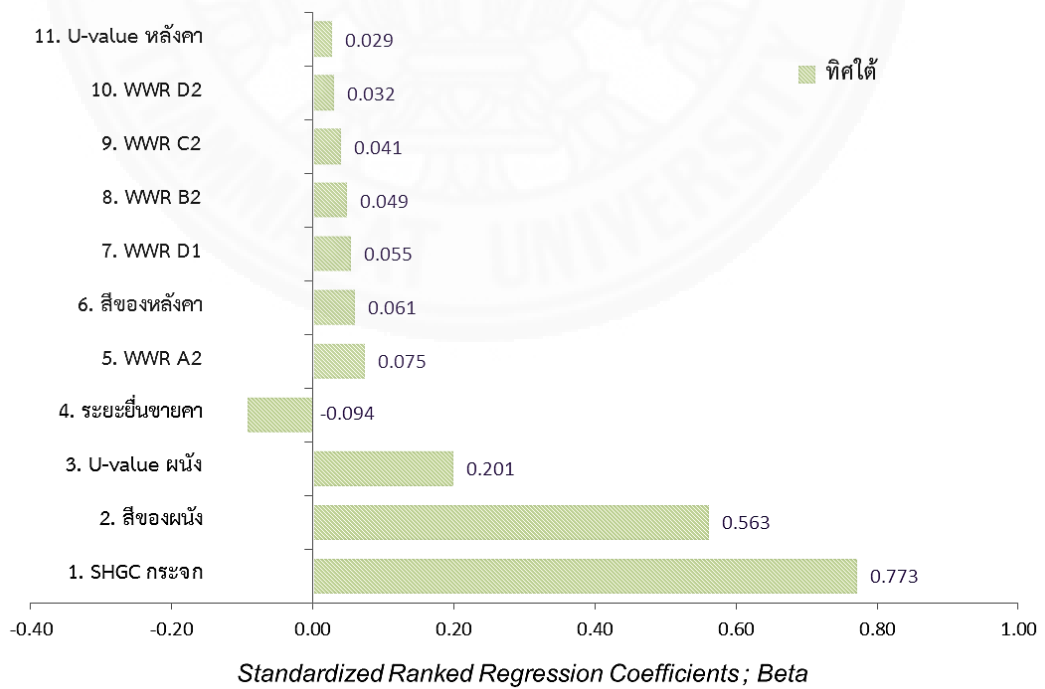
ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว ส่งผลให้การวิเคราะห์ในขั้นตอนการจัดลำดับอิทธิพลของตัวแปรจำเป็นที่จะต้องปรับค่าให้อยู่ในหน่วยเดียวกันในรูปของค่ามาตรฐาน โดยเลือกพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (Beta) ของตัวแปรต้นแต่ละองค์ประกอบรอบอาคารจากสมการพยากรณ์ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรต้นที่มากที่สุดในการวางทิศทางอาคารแต่ละกรณี เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด ซึ่งพบว่า สามารถจัดลำดับอิทธิพลตัวแปรต้นของแต่ละกรณีทิศทางอาคารจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานจากมากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ แสดงในแผนภูมิที่ 5.10 ถึง 5.13



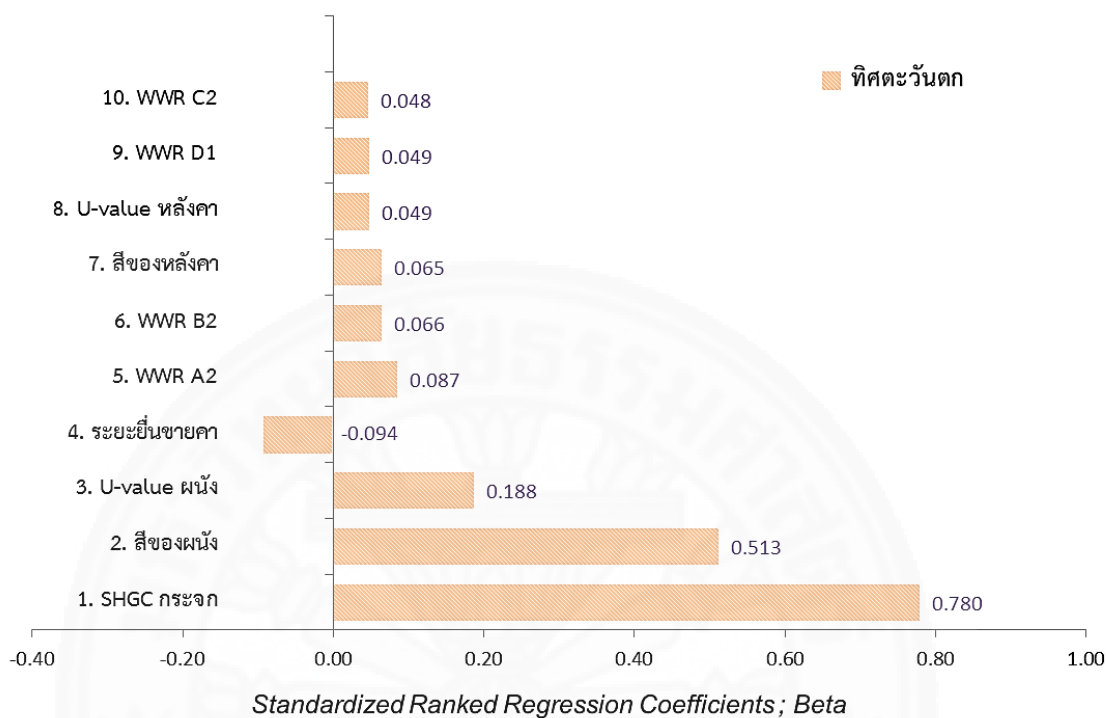
แผนภูมิที่ 5.10 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 5.11 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 5.12 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศใต้



แผนภูมิที่ 5.13 สรุปลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ ในกรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก

5.2.2.1 กรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานในสมการที่ 5.11 สามารถแบ่งเป็นกลุ่มตัวแปรต้นได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานมากกว่า 0.100

ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระฉก (SHGC) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.751 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดโดยตรง ทั้งปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ดังตารางที่ 5.8 พบว่า เมื่อค่า SHGC ลดลงจาก 0.81 เป็น 0.28 ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 758.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งถือเป็นสัดส่วนตัวแปรตามที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทอื่นๆ

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 2 ได้แก่ สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.598 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุผนังที่บซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังที่เข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งเมื่อค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) ลดลงจาก 0.90 เป็น 0.40 จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 547.97 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 3 ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/ft² hr°F.) หรือ U-value ผนัง มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.195 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังที่เข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่งเมื่อค่า U-value ผนังลดลงจาก 0.893 เป็น 0.459 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 175.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ตารางที่ 5.8

เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศเหนือ

ตัวแปรต้น	a				b			c	d	
	กระจายไม่ต่อเนื่อง		กระจายต่อเนื่อง		ช่วงของตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไป			สัมประสิทธิ์	ช่วงของ kWh ที่เปลี่ยนแปลงไปสูงสุด	
	ค่า Max	ค่า Min	ค่า Mean	ค่า SD	Max - Min	(Mean+SD) - (Mean-SD)	การถดถอย (B)	(Max - Min)* B	(Mean+SD) - (Mean-SD)*B	
1. SHGC กระฉก	0.81	0.28		N/A	0.53		N/A	1430.94	758.40	N/A
2. สีของผนัง	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	1095.93	547.97	N/A
3. U-value ผนัง	0.89	0.46		N/A	0.43		N/A	404.05	175.36	N/A
4. ระยะยื่นชายคา	1.20	0.80		N/A	0.40		N/A	-187.36	-74.94	N/A
5. สีของหลังคา	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	123.07	61.53	N/A
6. WWR B2		N/A	13.21	5.01	N/A		10.02	5.14	N/A	51.50
7. WWR A2		N/A	33.09	9.07	N/A		18.14	2.47	N/A	44.77
8. WWR D1		N/A	34.34	7.60	N/A		15.20	2.79	N/A	42.39
9. WWR C2		N/A	22.24	7.11	N/A		14.22	2.67	N/A	37.92
10. U-value	0.09	0.03		N/A	0.06		N/A	432.27	25.07	N/A
11. WWR D2		N/A	11.69	3.85	N/A		7.70	2.58	N/A	19.89

2) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานน้อยกว่า 0.100

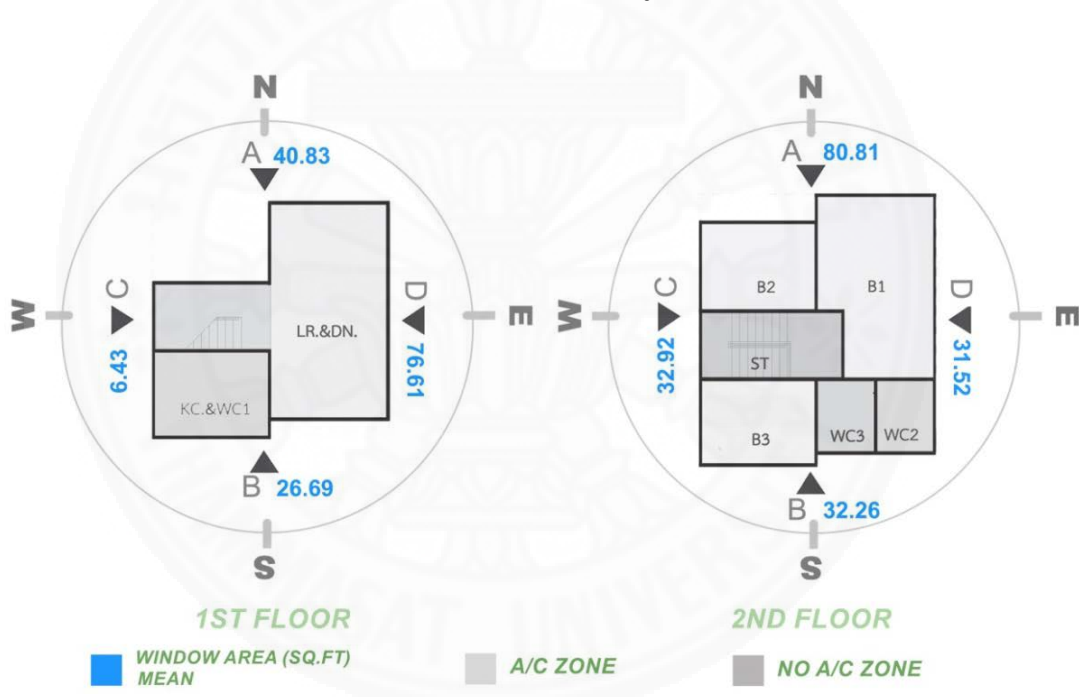
ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 4 คือ ระยะยื่นชายคา มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.081 เป็นค่าที่มีผลต่อรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งผนังที่บและช่องเปิดโดยตรงซึ่งมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร ซึ่งเมื่อค่าระยะยื่นชายคาเพิ่มขึ้นจาก 0.80 เป็น 1.20 ม. จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 74.94 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 5 คือ สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.067 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุหลังคาซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งเมื่อค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) ลดลงจาก 0.90 เป็น 0.40 ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 61.53 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งถือเป็นสัดส่วนตัวแปรตามที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุดในกลุ่มตัวแปรต้นนี้ เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนตัวแปรต้นประเภทอื่น ๆ

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 6 7 8 และ 9 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันในช่วง 0.050 ถึง 0.059 ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 และ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคารโดยตรง แต่มีอิทธิพลแตกต่างกันไปตามทิศทางการวางตำแหน่งและขนาดพื้นที่ผนังในแต่ละด้าน โดยเฉพาะผนังด้านที่ตั้งอยู่ในส่วนที่ปรับอากาศ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 5.2 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศใต้ซึ่งรับแดดในช่วงบ่าย จึงมีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามามากกว่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ที่ตั้งอยู่ในทิศเหนือซึ่งเป็นทิศที่ไม่ค่อยโดนแดด ถึงแม้ว่าผนังด้านหน้าชั้น 2 นี้จะมีค่าเฉลี่ยของช่องเปิดที่สูงกว่า กรณีเดียวกันกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 ซึ่งเป็นผนังที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศของห้องนั่งเล่นที่มีชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศน้อยกว่าชั้นบน จึงทำให้อิทธิพลของตัวแปรต้นประเภทนี้มีค่าน้อยกว่าตัวแปรต้นอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ถึงแม้ว่าผนังด้านขวาชั้น 1 นี้จะมีค่าเฉลี่ยของช่องเปิดที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของขนาดช่องเปิดจากอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ที่ชั้น 2 มีค่าน้อยที่สุดจึงส่งผลให้ตัวแปรต้นประเภทนี้มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับต้นประเภทอื่น ๆ ในสัดส่วนเดียวกัน

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 10 และ 11 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา ($\text{Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$) หรือ U-value หลังคาและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 2 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.026 และ 0.028 ตามลำดับ โดย U-value หลังคาเป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นประเภทนี้เพียงอย่างเดียว แสดงในตารางที่ 5.8 พบว่า มีค่าเท่ากับ 432.27 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 432.27 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของตัวแปรต้นประเภทนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ที่พบในบ้านกรณีศึกษาดังตารางที่ 5.8 พบว่ามีช่วงที่ต่างกันเพียง

เล็กน้อย เนื่องจากอิทธิพลของวัสดุหลังคาที่ใช้ในบ้านกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยแผ่นอะลูมิเนียมสะท้อนความร้อนที่สะท้อนรังสีความร้อนเกือบทั้งหมดที่ตกกระทบกับวัสดุผนังหลังคาออก จึงทำให้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านกรณีศึกษาได้ในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับกลุ่มตัวแปรต้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเพียง 25.07 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่อค่า U-value หลังคาลดลงจาก 0.086 เป็น 0.028 ซึ่งมีขอบเขตปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.026 ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 5.2 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ที่ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศตะวันออกที่โดนแดดในช่วงเช้าของวัน แต่เนื่องจากผนังด้านนี้มีค่าเฉลี่ยของช่องเปิดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับผนังด้านอื่น จึงทำให้มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาสู่อาคารน้อยที่สุด



ภาพที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนังแต่ละด้าน กรณีอาคารหันไปทิศเหนือ

5.2.2.2 กรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานในสมการที่ 5.22 สามารถแบ่งกลุ่มตัวแปรต้นได้ 2 กลุ่มดังนี้

- 1) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานมากกว่า 0.100 ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.772 เป็นค่าที่มีผลต่อ

ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดโดยตรง ทั้งปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากรังสีตรง และรังสีกระจาย ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ดังตารางที่ 5.9 พบว่า เมื่อค่า SHGC เปลี่ยนไป 0.53 หน่วยจะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 822.93 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งถือเป็นสัดส่วนตัวแปรตามที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทอื่น ๆ

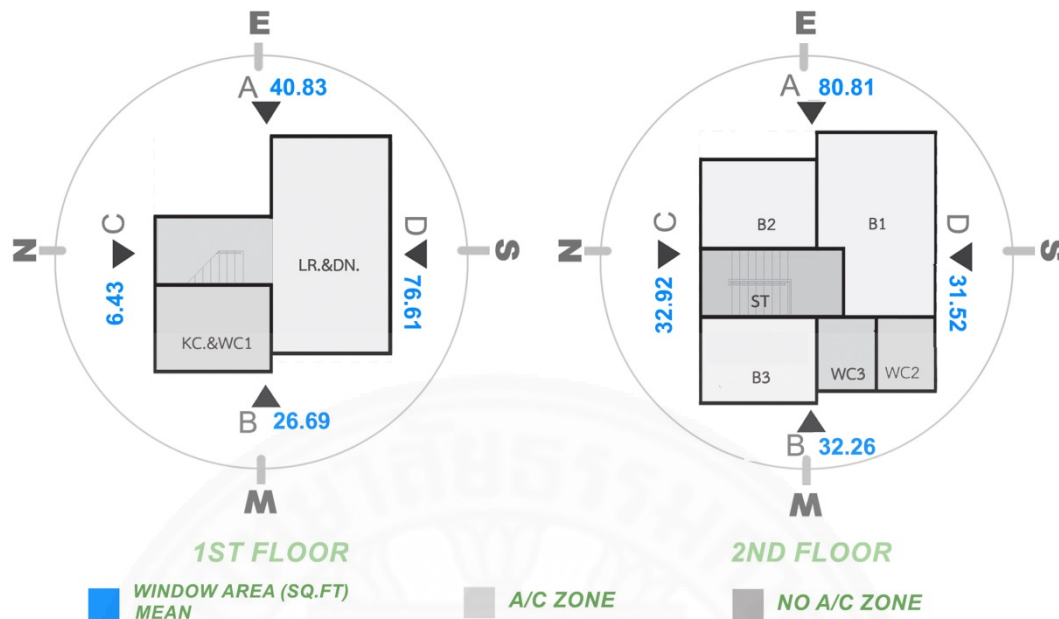
ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 2 คือ สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.560 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุผนังที่บัพซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังที่บัพเข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งเมื่อค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) เปลี่ยนไป 0.60 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 542.16 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/ft² hr°F.) หรือ U-value ผนัง มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.187 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังที่บัพเข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่ง เมื่อค่า U-value ผนังเปลี่ยนไป 0.43 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 177.06 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ตารางที่ 5.9

เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก

ตัวแปรต้น	a				b			c	d	
	กระจายไม่ต่อเนื่อง		กระจายต่อเนื่อง		ช่วงของตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไป			สัมประสิทธิ์	ช่วงของ kWh ที่เปลี่ยนแปลงไปสูงสุด	
	ค่า Max	ค่า Min	ค่า Mean	ค่า SD	Max - Min	(Mean+SD) - (Mean-SD)	การถดถอย (B)	(Max - Min)* B	(Mean+SD) - (Mean-SD)*B	
1. SHGC กระจก	0.81	0.28		N/A	0.53		N/A	1522.49	806.92	N/A
2. สีของผนัง	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	1067.31	533.66	N/A
3. U-value ผนัง	0.89	0.46		N/A	0.43		N/A	430.00	186.62	N/A
4. ระยะยื่นชายคา	1.20	0.80		N/A	0.40		N/A	-223.71	-89.48	N/A
5. WWR A2		N/A	33.09	9.07	N/A		18.14	3.26	N/A	59.22
6. สีของหลังคา	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	116.32	58.16	N/A
7. WWR D1		N/A	34.34	7.60	N/A		15.20	2.97	N/A	45.14
8. WWR B2		N/A	13.21	5.01	N/A		10.02	4.47	N/A	44.77
9. WWR C2		N/A	22.24	7.11	N/A		14.22	2.25	N/A	31.94
10. WWR D2		N/A	11.69	3.85	N/A		7.70	3.55	N/A	27.34
11. U-value	0.09	0.03		N/A	0.06		N/A	462.03	26.80	N/A



ภาพที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนังแต่ละด้าน กรณีอาคารหันไปทิศตะวันออก

2) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานน้อยกว่า 0.100

ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 4 คือ ระยะเวลาขยายคามีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.094 เป็นค่าที่มีผลต่อรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งผนังทึบและช่องเปิดโดยตรงซึ่งมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร ซึ่งเมื่อค่าระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0.80 ม. เป็น 1.20 ม. จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาได้ปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 91.94 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 5 และ 6 คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหน้า (A) ชั้น 2 และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหลัง (B) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.077 และ 0.067 ตามลำดับ ทั้ง 2 ตัวแปรนี้เป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนซึ่งผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคารโดยตรง แต่มีอิทธิพลแตกต่างกันไปตามทิศทางการวางตำแหน่งและช่วงของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดในด้านนั้น ๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับภาพที่ 5.3 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศตะวันออกซึ่งรับแดดในช่วงเช้า ส่วนอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศตะวันตกซึ่งเป็นด้านที่รับแดดเช่นกันในช่วงบ่าย แต่เนื่องจากขนาดพื้นที่เฉลี่ยของช่องเปิดในผนังด้านหน้า (A) ชั้น 2 มีค่าที่สูงกว่าผนังด้านหลัง (B) ชั้น 2 จึงทำให้ตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหน้า (A) ชั้น 2 มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษามากกว่า แม้ว่าตัวแปรอัตราส่วน

ของพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 จะมีสัดส่วนของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงต่อค่าตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 โดยเมื่อค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ลดลงสูงสุด 18.14 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 62.16 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี แต่อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 61.89 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ลดลงจาก 10.2 หน่วย

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 7 คือ สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การก่อดลอยมาตรฐานเท่ากับ 0.061 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุผนังหลังคาซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การก่อดลอยของตัวแปรต้นประเภทนี้เพียงอย่างเดียว แสดงในตารางที่ 5.9 พบว่า มีค่าเท่ากับ 118.17 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 118.17 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของตัวแปรต้นประเภทนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาร่วมช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ดังตารางที่ 5.9 กลับพบว่า ตัวแปรต้นสีของหลังคามีช่วงค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงของค่าตัวแปรในลำดับก่อนหน้า โดยสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเพียง 59.07 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่อค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) ลดลงจาก 0.90 เป็น 0.40

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 8 คือ ตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การก่อดลอยมาตรฐานเท่ากับ 0.053 โดยอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดในผนังด้านนี้ตั้งอยู่ในทิศใต้ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแดดเช่นเดียวกันกับตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดในลำดับก่อนหน้า แต่เนื่องจากผนังด้านนี้เป็นผนังที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศของห้องนั่งเล่นที่มีชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศน้อยกว่าห้องนอนในชั้นบน จึงทำให้อิทธิพลของตัวแปรต้นประเภทอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 มีค่าน้อยกว่าตัวแปรต้นอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) และหลัง (B) ในชั้น 2 ถึงแม้ว่าผนังด้านขวาชั้น 1 นี้จะมีค่าเฉลี่ยของช่องเปิดที่สูงกว่า โดยค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเพียง 42.85 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวาชั้น 1 มีค่าเปลี่ยนแปลงไป 15.2 หน่วย

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 9 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา ($\text{Btu}/\text{ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$) หรือ U-value หลังคา มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.030 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังที่เข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นประเภทนี้เพียงอย่างเดียว พบว่า มีค่าเท่ากับ 484.85 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 484.85 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของตัวแปรต้นประเภทนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ที่พบในบ้านกรณีศึกษาดังตารางที่ 5.9 พบว่ามีช่วงที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอิทธิพลของวัสดุซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นอะลูมิเนียมสะท้อนความร้อนที่สะท้อนรังสีความร้อนเกือบทั้งหมดที่ตกกระทบกับวัสดุผนังหลังคา จึงทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kWh) ต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับกลุ่มตัวแปรต้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเท่ากับ 28.12 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่อค่า U-value หลังคาลดลงจาก 0.086 เป็น 0.028

ลำดับถัดมาคือตัวแปรลำดับที่ 10 และ 11 คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.029 และ 0.026 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 5.3 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศเหนือซึ่งโดนแดดน้อยกว่าด้านขวา (D) ซึ่งตั้งอยู่ในทิศใต้ แต่เนื่องจากผนังด้านซ้ายมีค่าเฉลี่ยของช่องเปิดมากกว่า นอกจากนี้ยังอยู่ในตำแหน่งของผนังห้องนอนซึ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศถึง 2 ห้องจึงทำให้มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาสู่อาคารมากกว่า โดยค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 และค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 2 สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 23.21 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และ 21.16 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีตามลำดับ

5.2.2.3 กรณีอาคารหันไปทางทิศใต้ จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานในสมการที่ 5.33 สามารถกลุ่มตัวแปรต้นได้ 2 กลุ่มดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานมากกว่า 0.100

ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.773 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดโดยตรง ทั้งปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ดังตารางที่ 5.10 พบว่า เมื่อค่า SHGC

เปลี่ยนแปลง 0.53 หน่วยจะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 806.92 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งถือเป็นสัดส่วนตัวแปรตามที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดเมื่อทำการเทียบกับการเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทอื่น ๆ

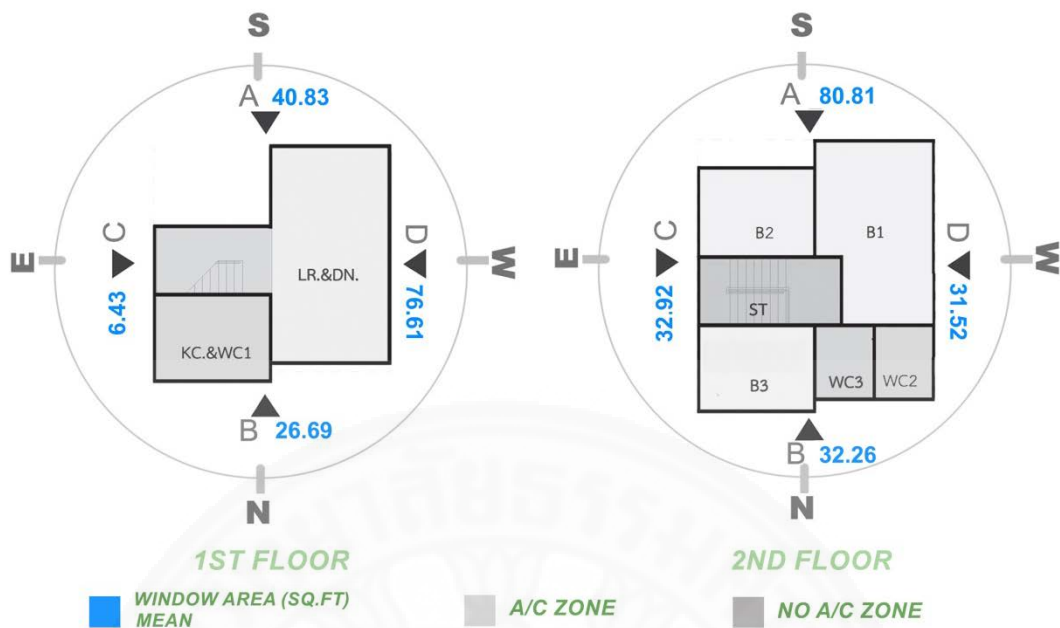
ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 2 คือ สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.563 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุผนังทึบซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งเมื่อค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) เปลี่ยนแปลงไป 0.50 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 533.66 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/ft² hr°F.) หรือ U-value ผนัง มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.201 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่งเมื่อค่า U-value ผนังเปลี่ยนแปลงไป 0.43 หน่วยจะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 186.62 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ตารางที่ 5.10

เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศใต้

ตัวแปรต้น	a				b			c	d	
	กระจายไม่ต่อเนื่อง		กระจายต่อเนื่อง		ช่วงของตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไป			สัมประสิทธิ์การถดถอย (B)	ช่วงของ kWh ที่เปลี่ยนแปลงไปสูงสุด	
	ค่า Max	ค่า Min	ค่า Mean	ค่า SD	Max - Min	(Mean+SD) - (Mean-SD)	(Max - Min)* B		(Mean+SD) - (Mean-SD)*B	
1. SHGC กระฉก	0.81	0.28		N/A	0.53		N/A	1522.49	806.92	N/A
2. สีของผนัง	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	1067.31	533.66	N/A
3. U-value ผนัง	0.89	0.46		N/A	0.43		N/A	430.00	186.62	N/A
4. ระยะยื่นชายคา	1.20	0.80		N/A	0.40		N/A	-223.71	-89.48	N/A
5. WWR A2		N/A	33.09	9.07	N/A		18.14	3.26	N/A	59.22
6. สีของหลังคา	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	116.32	58.16	N/A
7. WWR D1		N/A	34.34	7.60	N/A		15.20	2.97	N/A	45.14
8. WWR B2		N/A	13.21	5.01	N/A		10.02	4.47	N/A	44.77
9. WWR C2		N/A	22.24	7.11	N/A		14.22	2.25	N/A	31.94
10. WWR D2		N/A	11.69	3.85	N/A		7.70	3.55	N/A	27.34
11. U-value	0.09	0.03		N/A	0.06		N/A	462.03	26.80	N/A



ภาพที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนังแต่ละด้าน กรณีอาคารหันไปทิศใต้

2) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานน้อยกว่า 0.100

ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 4 คือ ระยะยื่นชายคา มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.094 เป็นค่าที่มีผลต่อรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งผนังทึบและช่องเปิดโดยตรงซึ่งมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร ซึ่งเมื่อค่าระยะยื่นชายคาเพิ่มขึ้นจาก 0.80 ม. เป็น 1.20 ม. จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 89.48 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 5 คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหน้า (A) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.075 ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 5.4 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศใต้ซึ่งรับแดดเกือบตลอดวันและมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยของช่องเปิดในผนังสูงกว่าขนาดพื้นที่เฉลี่ยของช่องเปิดในผนังด้านอื่น ๆ จึงทำให้มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษามากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้น ดังตารางที่ 5.10 พบว่า เมื่อค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ลดลงสูงสุด 18.14 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 59.22 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 6 คือ สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.061 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุผนังหลังคาซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นประเภทนี้เพียงอย่างเดียว แสดงในตารางที่ 5.10 พบว่า มีค่าเท่ากับ 116.32 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 116.32 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของตัวแปรต้นประเภทนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาร่วมช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ดังตารางที่ 5.10 กลับพบว่า ตัวแปรต้นสีของหลังคามีสช่วงค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงของค่าตัวแปรในลำดับก่อนหน้า โดยสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเพียง 58.16 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่อค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) เปลี่ยนแปลงไป 0.50 หน่วย

ลำดับถัดมาคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 7 8 9 และ 10 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันในช่วง 0.032 ถึง 0.055 ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 2 ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคารโดยตรง แต่มีอิทธิพลแตกต่างกันไปตามทิศทางการวางตำแหน่งและขนาดพื้นที่ผนังในแต่ละด้าน โดยเฉพาะผนังด้านที่ตั้งอยู่ในส่วนที่ปรับอากาศ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 5.4 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 มีขนาดพื้นที่เฉลี่ยของช่องเปิดที่สูงเป็นกว่าผนังด้านอื่น ๆ ในกลุ่มเดียวกันนี้และยังตั้งอยู่ในทิศตะวันตกซึ่งได้รับแดดมากในช่วงบ่ายจึงมีอิทธิพลต่อปริมาณของความร้อนที่ผ่านเข้ามามากกว่า ส่วนอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ซึ่งมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยของช่องเปิดใกล้เคียงกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 2 แต่เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของผนังในแต่ละด้านมีพื้นที่ติดกับส่วนของห้องที่ปรับอากาศแตกต่างกัน จึงทำให้อิทธิพลต่อปริมาณของความร้อนที่ผ่านเข้ามาของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดในผนังแต่ละด้านแตกต่างกันตามลำดับ และเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นในลำดับที่ 7 8 9 และ 10 ดังตารางที่ 5.10 พบว่า ค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 สามารถทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเท่ากับ 45.14 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งเป็นสัดส่วนของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ที่สามารถทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเท่ากับ 44.77 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

รองลงมาคือ อัตราส่วนพื้นที่ของช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 สามารถทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเท่ากับ 31.94 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และอัตราส่วนพื้นที่ของช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 สามารถทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเท่ากับ 27.34 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวแปรต้นประเภทอื่น ๆ ในลำดับก่อนหน้า

และลำดับสุดท้ายคือ ตัวแปรต้นลำดับที่ 11 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา ($\text{Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F.}$) หรือ U-value หลังคา มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.029 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้นประเภทนี้เพียงอย่างเดียว แสดงในตารางที่ 5.10 พบว่า มีค่าเท่ากับ 462.03 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 462.03 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของตัวแปรต้นประเภทนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ที่พบในบ้านกรณีศึกษาดังตารางที่ 5.10 พบว่ามีช่วงที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากอิทธิพลของวัสดุซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นอะลูมิเนียมสะท้อนความร้อนที่สะท้อนรังสีความร้อนเกือบทั้งหมดที่ตกกระทบกับวัสดุผนังหลังคา จึงทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kWh) ต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับตัวแปรต้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงได้สูงที่สุดเพียง 26.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่า U-value หลังคาเปลี่ยนแปลงไป 0.058 หน่วย

5.2.2.4 กรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานในสมการที่ 5.43 สามารถแบ่งกลุ่มตัวแปรต้นได้ 2 กลุ่มดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานมากกว่า 0.100

ได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.780 ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากตารางที่ 5.11 พบว่า เมื่อค่า SHGC เปลี่ยนแปลงไป 0.53 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 765.17 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งถือเป็นสัดส่วนตัวแปรตามที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดเมื่อทำการเทียบกับการเปลี่ยนค่าของตัวแปรต้นประเภทอื่น ๆ

ลำดับถัดมาได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 2 คือ สีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.513 เป็นค่าที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผิวของวัสดุผนังทึบซึ่งกระทบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้ามาภายในอาคารได้โดยตรง ซึ่งเมื่อค่าสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) เปลี่ยนแปลงไป 0.60 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 457.21 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/ft² hr°F.) หรือ U-value ผนัง มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.188 เป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้าสู่อาคารในแต่ละชั่วโมงโดยตรง ซึ่งพบว่าเมื่อค่า U-value ผนังเปลี่ยนแปลงไป 0.43 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 163.94 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ตารางที่ 5.11

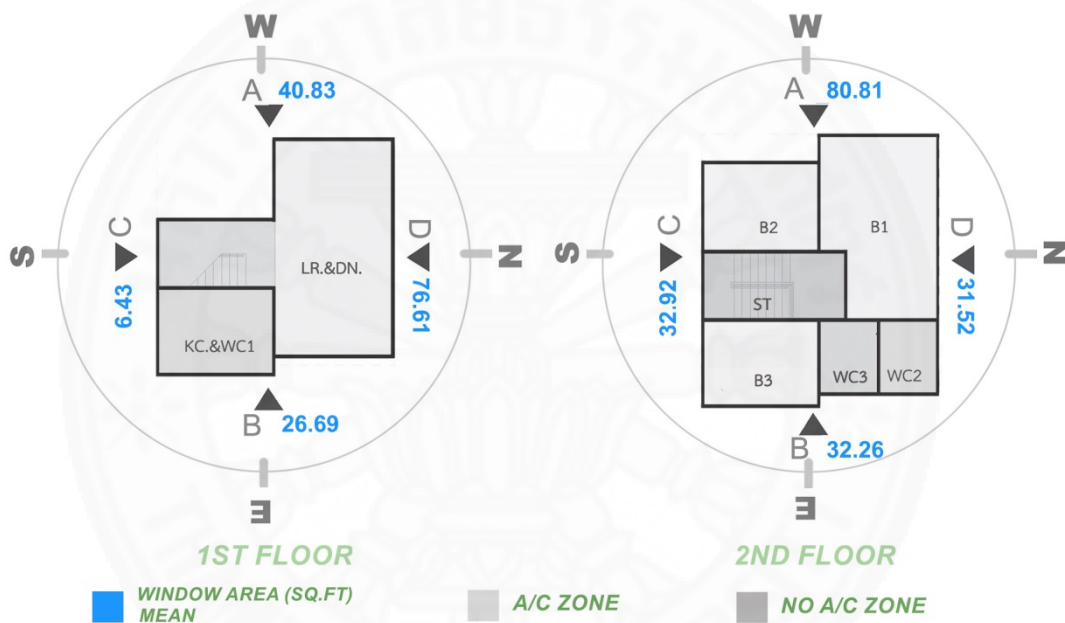
เปรียบเทียบขอบเขตของค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุดจากตัวแปรต้นในแต่ละประเภท กรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก

ตัวแปรต้น	a				b			c	d	
	กระจายไม่ต่อเนื่อง		กระจายต่อเนื่อง		ช่วงของตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไป			สัมประสิทธิ์	ช่วงของ kWh ที่เปลี่ยนแปลงไปสูงสุด	
	ค่า Max	ค่า Min	ค่า Mean	ค่า SD	Max - Min	(Mean+SD) - (Mean-SD)	การถดถอย (B)	(Max - Min)* B	(Mean+SD) - (Mean-SD)*B	
1. SHGC กระฉก	0.81	0.28		N/A	0.53		N/A	1443.71	765.17	N/A
2. สีของผนัง	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	914.42	457.21	N/A
3. U-value ผนัง	0.89	0.46		N/A	0.43		N/A	377.73	163.94	N/A
4. ระยะยื่นชายคา	1.20	0.80		N/A	0.40		N/A	-210.75	-84.30	N/A
5. WWR A2		N/A	33.09	9.07	N/A		18.14	3.56	N/A	64.54
6. WWR B2		N/A	13.21	5.01	N/A		10.02	5.89	N/A	59.02
7. สีของหลังคา	0.90	0.40		N/A	0.50		N/A	116.62	58.31	N/A
8. U-value หลังคา	0.09	0.03		N/A	0.06		N/A	733.84	42.56	N/A
9. WWR D1		N/A	34.34	7.60	N/A		15.20	2.37	N/A	36.01
10. WWR C2		N/A	22.24	7.11	N/A		14.22	2.49	N/A	35.35

2) กลุ่มตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานน้อยกว่า 0.100

ได้แก่ตัวแปรต้นลำดับที่ 4 คือ ระยะยื่นชายคา มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.094 เป็นค่าที่มีผลต่อรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งผนังทึบและช่องเปิดโดยตรงซึ่งมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร ซึ่งเมื่อค่าระยะยื่นชายคาเพิ่มขึ้นจาก 0.80 เป็น 1.20 ม. จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 84.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ลำดับถัดมาได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 5 คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหน้า (A) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.087 ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับภาพที่ 5.5 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ตั้งอยู่ในทิศตะวันตกซึ่งรับแดดมากในช่วงบ่าย นอกจากนี้แล้วยังมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยช่องเปิดในผนังสูงกว่าขนาดพื้นที่เฉลี่ยของช่องเปิดในผนังด้านอื่น ๆ จึงทำให้ตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหน้า (A) ชั้น 2 มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษามากกว่า ซึ่งเมื่อค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหน้า (A) ชั้น 2 ลดลงสูงสุด 18.14 หน่วย จะสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 64.54 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี



ภาพที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดพื้นที่และตำแหน่งทิศทางการติดตั้งของช่องเปิดในผนังแต่ละด้าน กรณีอาคารหันไปทิศตะวันตก

ลำดับถัดมาได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 6 คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังด้านหลัง (B) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.066 โดยตั้งอยู่ในทิศตะวันออกซึ่งเป็นด้านที่รับแดดในช่วงเช้าและเมื่อพิจารณาเทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ดังตารางที่ 5.11 พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเท่ากับ 59.02 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านหลัง (B) ชั้น 2 ลดลง 10.2 หน่วย ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรต้น

ลำดับถัดมาได้แก่ ตัวแปรต้นลำดับที่ 7 และ 8 คือ สีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา ($\text{Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$) หรือ U-value ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรสีของหลังคาเพียงอย่างเดียวจากตารางที่ 5.11 พบว่า มีค่าเท่ากับ 116.62 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่อนข้างสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 116.62 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เมื่อค่าของตัวแปรต้นประเภทนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาช่วงแนวโน้มค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อปีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเลือกเปลี่ยนค่าตัวแปรต้นประเภทนี้ดังตารางที่ 5.11 กลับพบว่า ตัวแปรสีของหลังคามีช่วงค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงของค่าตัวแปรในลำดับก่อนหน้า โดยสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้สูงที่สุดเพียง 58.31 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่อค่าสีของหลังคา (ค่าการดูดกลืนแสง) เปลี่ยนแปลงไป 0.50 หน่วย กรณีเดียวกันกับค่า U-value หลังคา ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยตารางที่ 5.11 เท่ากับ 733.84 ซึ่งมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรต้นในกลุ่มเดียวกันนี้ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงค่าตัวแปรต้นประเภทนี้กลับพบว่า มีช่วงที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kWh) ต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้เพียง 42.56 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเมื่อค่า U-value หลังคาเปลี่ยนแปลงไป 0.058 หน่วย

ลำดับถัดมาได้แก่ ตัวแปรลำดับที่ 9 และ 10 ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานเท่ากับ 0.049 เท่ากัน โดยอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านขวา (D) ชั้น 1 สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาได้เท่ากับ 36.01 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดด้านซ้าย (C) ชั้น 2 ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีของบ้านกรณีศึกษาได้เท่ากับ 35.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

จากการพิจารณาลำดับอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารในบ้านกรณีศึกษาที่มีทิศทางการวางอาคารแตกต่างกันทั้งหมดในข้างต้นนี้ พบว่า บ้านที่หันไปในทิศทางที่แตกต่างกันทั้ง 4 ทิศ มีตัวแปรองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศใน 4 ลำดับแรกเหมือนกัน ได้แก่ ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) ตัวแปรสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง) ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง หรือ U-value ของผนัง และตัวแปรระยะยื่นชายคา ตามลำดับ ส่วนตัวแปรองค์ประกอบอื่น ๆ ของกรอบอาคารมีลำดับแตกต่างกันไปในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคาร

5.3 ผลสรุปเปรียบเทียบกับผลจากงานวิจัยอื่น ๆ

จากการเปรียบเทียบแนวโน้มความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่มีต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านกรณีศึกษา กับผลการสรุปในงานวิจัยอื่น ๆ สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบในแต่ละตัวแปรได้ดังนี้

1) ตัวแปรค่า (SHGC) ของกระจก

การปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรองค์ประกอบของกรอบอาคารในส่วนนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากที่สุด โดยสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้เมื่อค่าของตัวแปรนี้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในการศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย (กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงษ์, 2553) ซึ่งกล่าวว่า กรณีที่อาคารมีการปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืน แนวโน้มการลดค่าการใช้พลังงานจะเป็นไปตามชนิดของกระจกที่มีค่า SHGC ต่างกัน โดยเฉพาะกระจกที่มีค่า SHGC ต่ำซึ่งมีส่วนช่วยในการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการสรุปปริมาณภาระการทำความเย็นที่เป็นสาเหตุของปริมาณการใช้พลังงานในบ้านที่มีการปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืนและไม่มีการเปิดช่องเปิดตลอดวันของการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในเชิงการประหยัดพลังงานและราคา (กฤษณ์ อ่อนงาม, 2554) ซึ่งสรุปผลไว้ว่า ภาระการทำความเย็นมีแนวโน้มเรียงลำดับจากน้อยไปมากเป็นไปตามค่า SHGC ของกระจก

2) ตัวแปรสีของผนัง (ค่า abs หรือ ค่าการดูดกลืนแสง)

การปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรองค์ประกอบของกรอบอาคารในส่วนนี้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้เมื่อค่าของตัวแปรนี้ลดลง กล่าวคือ เมื่อระดับสีของผนังอ่อนลงจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ เนื่องจากมีการดูดกลืนความร้อนที่ต่ำลง สอดคล้องกับผลการวิจัยในการศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย (กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงษ์, 2553) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานงานจากการหาผนังสีอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืนและมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดตั้งแต่ 0 ถึง ร้อยละ 80 โดยสรุปผลการวิจัยไว้ว่า การหาสีผนังสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้สำหรับทุกกรณีอาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดแตกต่างกัน โดยเฉพาะกรณีที่มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดอยู่ในระดับต่ำกว่าร้อยละ 30 ซึ่งตรงกันกับค่าเฉลี่ยรวมของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของบ้านกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่อาคารมีค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป เนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดน้อยจะทำให้มีพื้นที่สำหรับการหาสีมากกว่า

3) ตัวแปรค่า U-value ของผนัง

การปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรองค์ประกอบของกรอบอาคารในส่วนนี้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านกรณีศึกษาลงได้เมื่อค่าของตัวแปรนี้ลดลง กล่าวคือ สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้เมื่อผนังมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยลง มีความเป็นฉนวนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในการศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร (ประวิตร กิตติชาญธีระ, 2553) ซึ่งสรุปผลปริมาณการใช้พลังงานของบ้านที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดอยู่ในระดับต่ำกว่าร้อยละ 30 ไว้ว่า บ้านที่ผนังเป็นฉนวน (ค่า U-value ต่ำ) จะมีปริมาณการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าบ้านที่ผนังไม่ฉนวน (ค่า U-value สูง)

4) ตัวแปรระยะยื่นชายคา

การปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรระยะยื่นหลังคาสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านกรณีศึกษาลงได้เมื่อค่าของตัวแปรนี้เพิ่มขึ้น ซึ่งตัวแปรนี้ยังไม่มีพบในการศึกษาในงานวิจัยอื่น ๆ แต่สามารถเปรียบเทียบผลได้โดยประยุกต์จากการพิจารณาพร้อมกับผลการวิจัยในส่วนของกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดด เนื่องจากมีอิทธิพลในการลดปริมาณความร้อนได้จากการบังเงาเช่นเดียวกัน โดยผลการวิจัยตัวแปรนี้สอดคล้องกับผลการทดลองติดตั้งแผงบังแดดแนวนอนในการศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังของอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย (กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงษ์, 2553) ซึ่งพบว่า แผงบังแดดแนวนอนที่มีระยะยื่นตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไปสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้ผลในทุกกรณีอาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดแตกต่างกัน

จากการพิจารณาตัวแปรองค์ประกอบของกรอบอาคารในลำดับอื่น ๆ ที่เหลืออยู่พบว่า ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรที่ยังไม่พบการศึกษาในงานวิจัยอื่นที่ผ่านมาในอดีต จึงไม่สามารถนำผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบได้ ดังนั้นการนำผลสรุปแนวโน้มความสัมพันธ์ที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานของตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารในกลุ่มนี้จึงต้องอาศัยการพิจารณาร่วมกับขอบเขตและข้อจำกัดของแนวทางการนำไปใช้เป็นรายกรณีไป

บทที่ 6

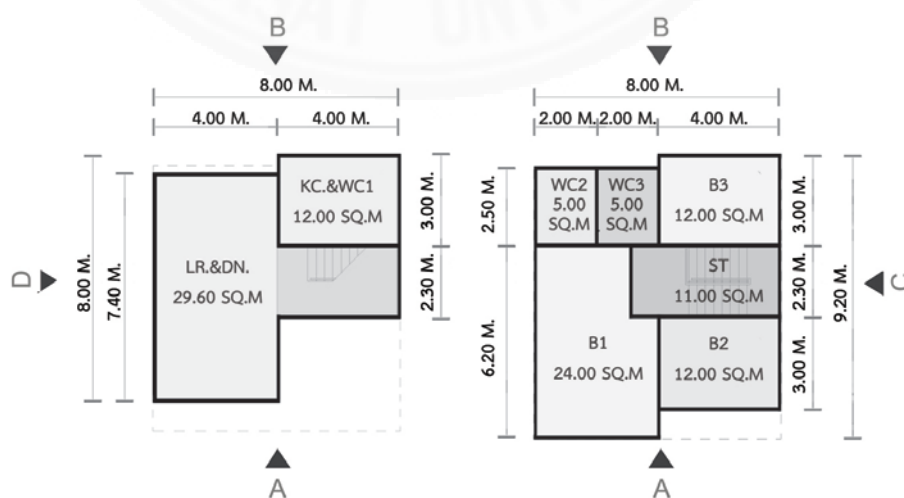
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการจัดลำดับความสำคัญของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารและสร้างสมการถดถอยพยากรณ์ผลของปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวจากการวิเคราะห์ความไวของตัวแปร เพื่อนำเสนอผลสรุปแนวทางการออกแบบหรือแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกรอบอาคารที่เหมาะสมสำหรับบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวที่มีทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกัน โดยในบทนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) ผลการวิจัย 2) แนวทางการประยุกต์ใช้ และ 3) ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

6.1 ผลการวิจัย

6.1.1 ผลการสำรวจ

จากการสำรวจบ้านเดี่ยว 2 ชั้นในโครงการจัดสรรภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จาก 14 บริษัทอสังหาริมทรัพย์ รวม 167 โครงการ พบว่าแบบบ้านทั้งหมดมี 546 แบบ สามารถจัดกลุ่มตามลักษณะการวางผังได้เป็น 21 รูปแบบ ซึ่งรูปแบบการจัดวางผังที่พบมากที่สุดถูกนำมาศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารเพื่อนำมาใช้กำหนดรูปแบบผังพื้นที่ใช้งานและสัดส่วนความกว้างยาวของห้องต่าง ๆ ของบ้านกรณีศึกษา (แสดงในภาพที่ 6.1 และตารางที่ 6.1) รวมถึงใช้กำหนดขอบเขตของตัวแปรองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่จะทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 6.1 ผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา

ตารางที่ 6.1

สัดส่วนความกว้าง ความยาวของห้องต่าง ๆ ในผังพื้นที่ชั้น 1 และ 2 ของบ้านกรณีศึกษา

ห้อง	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	พื้นที่ (ตารางเมตร)
ห้องนั่งเล่นรวมกับพื้นที่ทานอาหาร (Lr.&Dn.)	4.00	7.40	29.60
ห้องครัวรวมห้องน้ำ (Kc.&WC1)	3.00	4.00	12.00
โถงบันได (ST)	2.30	4.80	11.00
ห้องนอนใหญ่ (B1)	4.00	6.20	24.00
ห้องนอน2 (B2)	3.00	4.00	12.00
ห้องนอน3 (B3)	3.00	4.00	12.00
ห้องน้ำ2 (WC2)	2.00	2.50	5.00
ห้องน้ำ3 (WC3)	2.00	2.50	5.00

6.1.2 ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงาน

จากผลการคำนวณเชิงตัวเลขของปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศในบ้านกรณีศึกษา พบว่า ทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกันของบ้านกรณีศึกษาส่งผลต่อช่วงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อปีที่มีค่าแตกต่างกัน คิดเป็นร้อยละ 3.2 - 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก ซึ่งมีช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด (2336.20 - 3981.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) กับปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก ซึ่งมีช่วงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากที่สุด (2413.30 - 4183.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) ซึ่งจากปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกันนี้ ทำให้สมการที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ค่าปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศของทิศทางการวางอาคารในละกรณีมีโครงสร้างของสมการพยากรณ์แตกต่างกันไป และส่งผลโดยตรงต่อการจัดลำดับอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาสามารถสรุปผลสมการพยากรณ์และลำดับของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบรอบอาคารได้ดังนี้

6.1.2.1 สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศ

จากการวิเคราะห์ความถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารต่าง ๆ กับตัวแปรตามค่าปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก พบว่า สามารถสร้างสมการพยากรณ์ผลจากการคัดเลือกตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามได้ทั้งหมด 11 สมการในกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และ 10 สมการในกรณีอาคารหันไปทางทิศ

ตะวันตก ซึ่งสมการพยากรณ์ในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มจากค่าความคลาดเคลื่อน คือ 1) สมการที่มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 1 - 5 ประกอบด้วยตัวแปรต้นอย่างน้อย 3 ตัวแปรในการคำนวณ ได้แก่ 1) ตัวแปรค่า SHGC ของกระจก 2) ตัวแปรค่าสีของผนัง (ค่า abs.) และ 3) ตัวแปรค่า U-value เป็นต้น และ 2) สมการที่มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 1 - 15 ประกอบด้วยตัวแปรต้นอย่างน้อย 1 ตัวแปรในการคำนวณ ได้แก่ 1) ตัวแปรค่า SHGC ของกระจก และ 2) ตัวแปรค่าสีของผนัง (ค่า abs.) เป็นต้น (แสดงในตารางที่ 6.2 - 6.5)

จากการพิจารณาจำนวนของตัวแปรต้นที่ประกอบอยู่ในสมการร่วมกับค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละสมการในทั้ง 4 กรณีทิศทางการวางอาคาร พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับจำนวนของตัวแปรต้นที่แทนค่าลงในสมการพยากรณ์ ซึ่งเมื่อจำนวนของตัวแปรต้นในสมการพยากรณ์เพิ่มขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนของผลปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) ต่อปีจะลดลง โดยเฉพาะสมการที่ประกอบไปด้วยจำนวนตัวแปรต้นตั้งแต่ 3 ตัวแปรขึ้นไป พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าร้อยละ 5 สอดคล้องกันในทุกกรณีทิศทางการวางอาคาร

ตารางที่ 6.2

สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับบ้านที่หันไปทางทิศเหนือ

สมการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงาน กรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ		คลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
5.1	$Y = 2390.939 + 1440.592X_1$	ร้อยละ 1 - 15	Y : ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) X ₁ : ค่า SHGC X ₂ : ค่าสีของผนัง (abs.) X ₃ : ค่า U-value ผนัง X ₄ : ระยะยื่นชายคา X ₅ : ค่าสีหลังคา (abs.) X ₆ : WWR ด้านหลัง (B) ชั้น 2 X ₇ : WWR ด้านหน้า (A) ชั้น 2 X ₈ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 1 X ₉ : WWR ด้านซ้าย (C) ชั้น 2 X ₁₀ : ค่า U-value หลังคา X ₁₁ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 2
5.2	$Y = 1742.768 + 1415.464X_1 + 1051.206X_2$		
5.3	$Y = 1373.790 + 1449.181X_1 + 1092.724X_2 + 459.648X_3$	ร้อยละ 1 - 5	
5.4	$Y = 1581.151 + 1420.002X_1 + 1091.301X_2 + 448.225X_3 - 181.232X_4$		
5.5	$Y = 1516.761 + 1423.245X_1 + 1099.502X_2 + 443.294X_3 - 196.199X_4 + 119.902X_5$		
5.6	$Y = 1462.954 + 1423.415X_1 + 1081.182X_2 + 434.750X_3 - 192.571X_4 + 116.094X_5 + 5.302X_6$		
5.7	$Y = 1401.287 + 1423.279X_1 + 1070.715X_2 + 405.954X_3 - 193.004X_4 + 109.555X_5 + 5.883X_6 + 2.581X_7$		
5.8	$Y = 1310.689 + 1420.680X_1 + 1076.842X_2 + 406.067X_3 - 185.407X_4 + 106.245X_5 + 5.502X_6 + 2.642X_7 + 2.498X_8$		
5.9	$Y = 1230.187 + 1431.166X_1 + 1087.536X_2 + 403.582X_3 - 184.907X_4 + 114.271X_5 + 5.351X_6 + 2.643X_7 + 2.703X_8 + 2.630X_9$		
5.10	$Y = 1202.919 + 1426.123X_1 + 1090.317X_2 + 402.683X_3 - 191.676X_4 + 117.604X_5 + 5.404X_6 + 2.629X_7 + 2.854X_8 + 2.698X_9 + 501.549X_{10}$		
5.11	$Y = 1173.035 + 1430.936X_1 + 1095.934X_2 + 404.045X_3 - 187.356X_4 + 123.065X_5 + 5.140X_6 + 2.468X_7 + 2.789X_8 + 2.667X_9 + 432.270X_{10} + 2.583X_{11}$		

ตารางที่ 6.3

สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับบ้านที่หันไปทางทิศตะวันออก

สมการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงาน กรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก		คลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
5.12	$Y = 2431.637 + 1572.334X_1$	ร้อยละ 1 - 15	Y : ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) X ₁ : ค่า SHGC X ₂ : ค่าสีของผนัง (abs.) X ₃ : ค่า U-value ผนัง X ₄ : ระยะยื่นชายคา X ₅ : WWR ด้านหน้า (A) ชั้น 2 X ₆ : WWR ด้านหลัง (B) ชั้น 2 X ₇ : ค่าสีหลังคา (abs.) X ₈ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 1 X ₉ : ค่า U-value หลังคา X ₁₀ : WWR ด้านซ้าย (C) ชั้น 2 X ₁₁ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 2
5.13	$Y = 1785.268 + 1547.275X_1 + 1048.283 X_2$		
5.14	$Y = 1402.055 + 1582.293X_1 + 1091.403X_2 + 477.380X_3$		
5.15	$Y = 1657.918 + 1546.289X_1 + 1089.647X_2 + 463.285X_3 - 223.621X_4$		
5.16	$Y = 1581.806 + 1546.303X_1 + 1079.286X_2 + 427.051X_3 - 225.678X_4 + 3.327X_5$		
5.17	$Y = 1498.467 + 1546.670X_1 + 1053.941X_2 + 411.328X_3 - 221.687X_4 + 3.701X_5 + 7.098X_6$		
5.18	$Y = 1446.584 + 1549.558X_1 + 1062.465X_2 + 408.914X_3 - 235.102X_4 + 3.550X_5 + 6.887X_6 + 107.205X_7$		
5.19	$Y = 1352.410 + 1546.857X_1 + 1068.834X_2 + 409.031X_3 - 227.205X_4 + 3.613X_5 + 6.490X_6 + 103.765X_7 + 2.597X_8$		
5.20	$Y = 1325.292 + 1541.137X_1 + 1071.530X_2 + 408.132X_3 - 234.506X_4 + 3.597X_5 + 6.551X_6 + 107.130X_7 + 2.754X_8 + 539.916X_9$		
5.21	$Y = 1273.382 + 1547.580X_1 + 1078.395X_2 + 406.528X_3 - 234.441X_4 + 3.598X_5 + 6.458X_6 + 112.328X_7 + 2.889X_8 + 558.524X_9 + 1.665X_{10}$		
5.22	$Y = 1241.600 + 1552.698X_1 + 1084.369X_2 + 407.976X_3 - 229.847X_4 + 118.136X_5 + 6.177X_6 + 3.427X_7 + 2.819X_8 + 1.632X_9 + 484.846X_{10} + 2.747X_{11}$		

ตารางที่ 6.4

สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับบ้านที่หันไปทางทิศใต้

สมการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงาน กรณีอาคารหันไปทางทิศใต้		คลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
5.23	$Y = 2413.945 + 1535.987X_1$	ร้อยละ 1 - 15	Y : ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) X ₁ : ค่า SHGC X ₂ : ค่าสีของผนัง (abs.) X ₃ : ค่า U-value ผนัง X ₄ : ระยะยื่นชายคา X ₅ : WWR ด้านหน้า (A) ชั้น 2 X ₆ : WWR ด้านหลัง (B) ชั้น 2 X ₇ : ค่าสีหลังคา (abs.) X ₈ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 1 X ₉ : WWR ด้านซ้าย (C) ชั้น 2 X ₁₀ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 2 X ₁₁ : ค่า U-value หลังคา
5.24	$Y = 1784.743 + 1511.594X_1 + 1020.441X_2$		
5.25	$Y = 1387.323 + 1547.910X_1 + 1065.159X_2 + 495.079X_3$		
5.26	$Y = 1637.016 + 1512.775X_1 + 1063.445X_2 + 481.323X_3 - 218.229X_4$		
5.27	$Y = 1562.091 + 1512.789X_1 + 1053.246X_2 + 445.655X_3 - 220.253X_4 + 3.275X_5$		
5.28	$Y = 1497.916 + 1513.072X_1 + 1033.730X_2 + 433.548X_3 - 217.180X_4 + 3.563X_5 + 5.466X_6$		
5.29	$Y = 1448.321 + 1515.832X_1 + 1041.878X_2 + 431.240X_3 - 230.004X_4 + 3.418X_5 + 5.264X_6 + 102.477X_7$		
5.30	$Y = 1354.661 + 1513.146X_1 + 1048.212X_2 + 431.356X_3 - 222.150X_4 + 3.482X_5 + 4.869X_6 + 99.056X_7 + 2.583X_8$		
5.31	$Y = 1286.991 + 1521.960X_1 + 1057.202X_2 + 429.268X_3 - 221.730X_4 + 3.483X_5 + 4.743X_6 + 105.802X_7 + 2.755X_8 + 2.211X_9$		
5.32	$Y = 1237.837 + 1527.972X_1 + 1065.969X_2 + 431.076X_3 - 216.786X_4 + 3.245X_5 + 4.367X_6 + 114.451X_7 + 2.690X_8 + 2.179X_9 + 3.774X_{10}$		
5.33	$Y = 1219.529 + 1522.494X_1 + 1067.315X_2 + 429.997X_3 - 223.706X_4 + 3.264X_5 + 4.468X_6 + 116.324X_7 + 2.838X_8 + 2.246X_9 + 3.251X_{10} + 462.033X_{11}$		

ตารางที่ 6.5

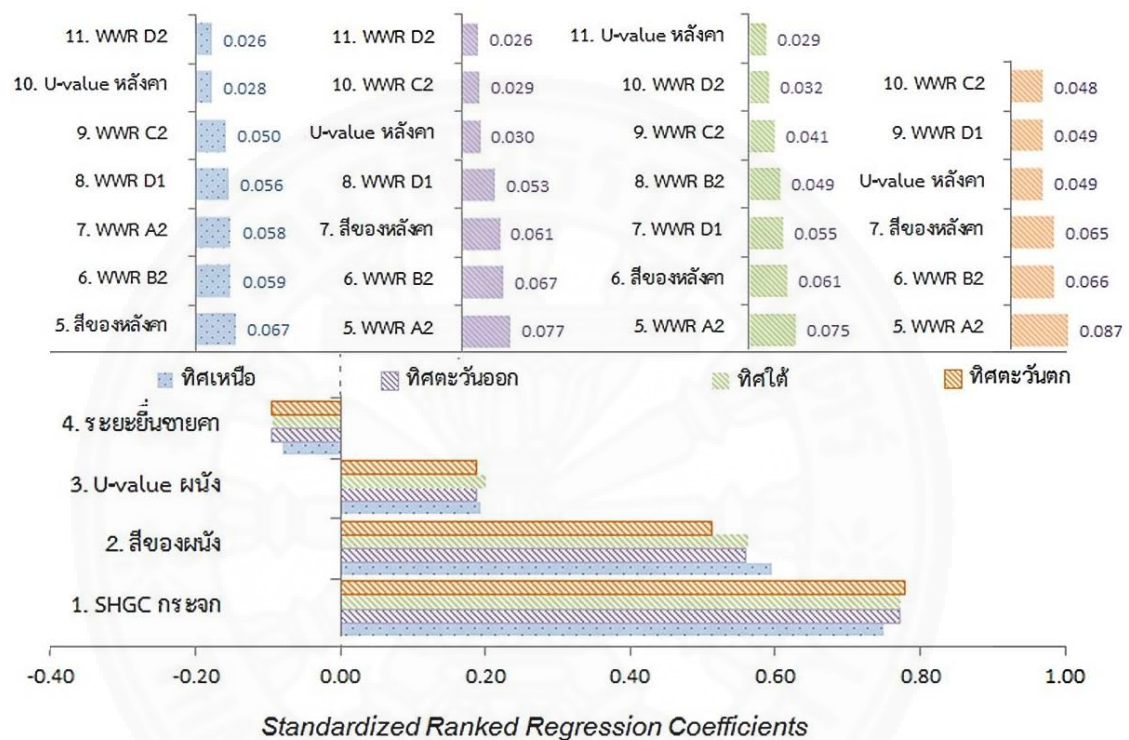
สมการพยากรณ์ผลปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศสำหรับบ้านที่หันไปทางทิศตะวันตก

สมการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงาน กรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก		คลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
5.34	$Y = 2339.078 + 1460.170X_1$	ร้อยละ 1 - 15	Y : ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kwh) X ₁ : ค่า SHGC X ₂ : ค่าสีของผนัง (abs.) X ₃ : ค่า U-value ผนัง X ₄ : ระยะยื่นชายคา X ₅ : WWR ด้านหน้า (A) ชั้น 2 X ₆ : WWR ด้านหลัง (B) ชั้น 2 X ₇ : ค่าสีหลังคา (abs.) X ₈ : ค่า U-value หลังคา X ₉ : WWR ด้านขวา (D) ชั้น 1 X ₁₀ : WWR ด้านซ้าย (C) ชั้น 2
5.35	$Y = 1795.847 + 1439.110X_1 + 881.015X_2$		
5.36	$Y = 1437.712 + 1471.836X_1 + 921.313X_2 + 446.139X_3$	ร้อยละ 1 - 5	
5.37	$Y = 1661.127 + 1440.398X_1 + 919.779X_2 + 433.831X_3 - 195.262X_4$		
5.38	$Y = 1584.327 + 1440.412X_1 + 909.325X_2 + 397.271X_3 - 197.337X_4 + 3.357X_5$		
5.39	$Y = 1511.992 + 1440.731X_1 + 887.326X_2 + 383.623X_3 - 193.874X_4 + 3.681X_5 + 6.161X_6$		
5.40	$Y = 1460.180 + 1443.615X_1 + 895.839X_2 + 381.212X_3 - 207.270X_4 + 3.531X_5 + 5.950X_6 + 107.057X_7$		
5.41	$Y = 1434.568 + 1436.970X_1 + 898.602X_2 + 380.129X_3 - 216.573X_4 + 3.507X_5 + 6.052X_6 + 111.331X_7 + 645.698X_8$		
5.42	$Y = 1353.554 + 1434.094X_1 + 904.177X_2 + 380.125X_3 - 210.850X_4 + 3.558X_5 + 5.730X_6 + 108.859X_7 + 706.063X_8 + 2.168X_9$		
5.43	$Y = 1276.066 + 1443.711X_1 + 914.424X_2 + 377.731X_3 - 210.753X_4 + 3.558X_5 + 5.591X_6 + 116.617X_7 + 733.840X_8 + 2.369X_9 + 2.486X_{10}$		

6.1.2.2 ลำดับของอิทธิพลตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคาร

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (standardize regression coefficients ; Beta) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยของแต่ละตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคารของบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวที่พบมากที่สุดเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล สามารถนำมาจัดลำดับจากอิทธิพลที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศในกรณีที่บ้านมีการวางทิศทางอาคารแตกต่างกันได้ดังแผนภูมิที่ 6.1 โดยพบว่า ในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคารมีลำดับของตัวแปรต้นองค์ประกอบรอบอาคาร 4 ลำดับแรกๆที่เหมือนกัน ได้แก่ ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) ที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุดถึงร้อยละ 18.60 - 19.67 เมื่อค่า SHGC ลดลงจาก 0.81 เป็น 0.28 ลำดับต่อมาคือ ตัวแปรสีของผนัง (ค่าการดูดกลืนแสง หรือค่า abs.) ที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุดถึงร้อยละ 11.48 - 13.58 เมื่อค่าการดูดกลืนแสงของสีทาสีผนังลดลงจาก 0.90 เป็น 0.40 ส่วนลำดับถัดมาคือ ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง หรือ U-value ผนัง ที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุดถึงร้อยละ 4.12 - 4.51

เมื่อค่า U-value ผันงลดลงจาก 0.893 เป็น 0.459 และลำดับที่ 4 คือ ตัวแปรระยะยื่นชายคา สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุดถึงร้อยละ 1.86 - 2.20 เมื่อระยะยื่นชายคาเพิ่มขึ้นจาก 0.80 ม. เป็น 1.20 ม. ส่วนตัวแปรต้นประเภทอื่น ๆ มีลำดับแตกต่างกันไปในแต่ละบ้านกรณีศึกษาที่มีทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือขอบเขตของค่าที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของตัวแปรต้นในแต่ละประเภท



แผนภูมิที่ 6.1 สรุปลำดับของอิทธิพลตัวแปรต้นในแต่ละกรณีทิศทางการวางอาคาร

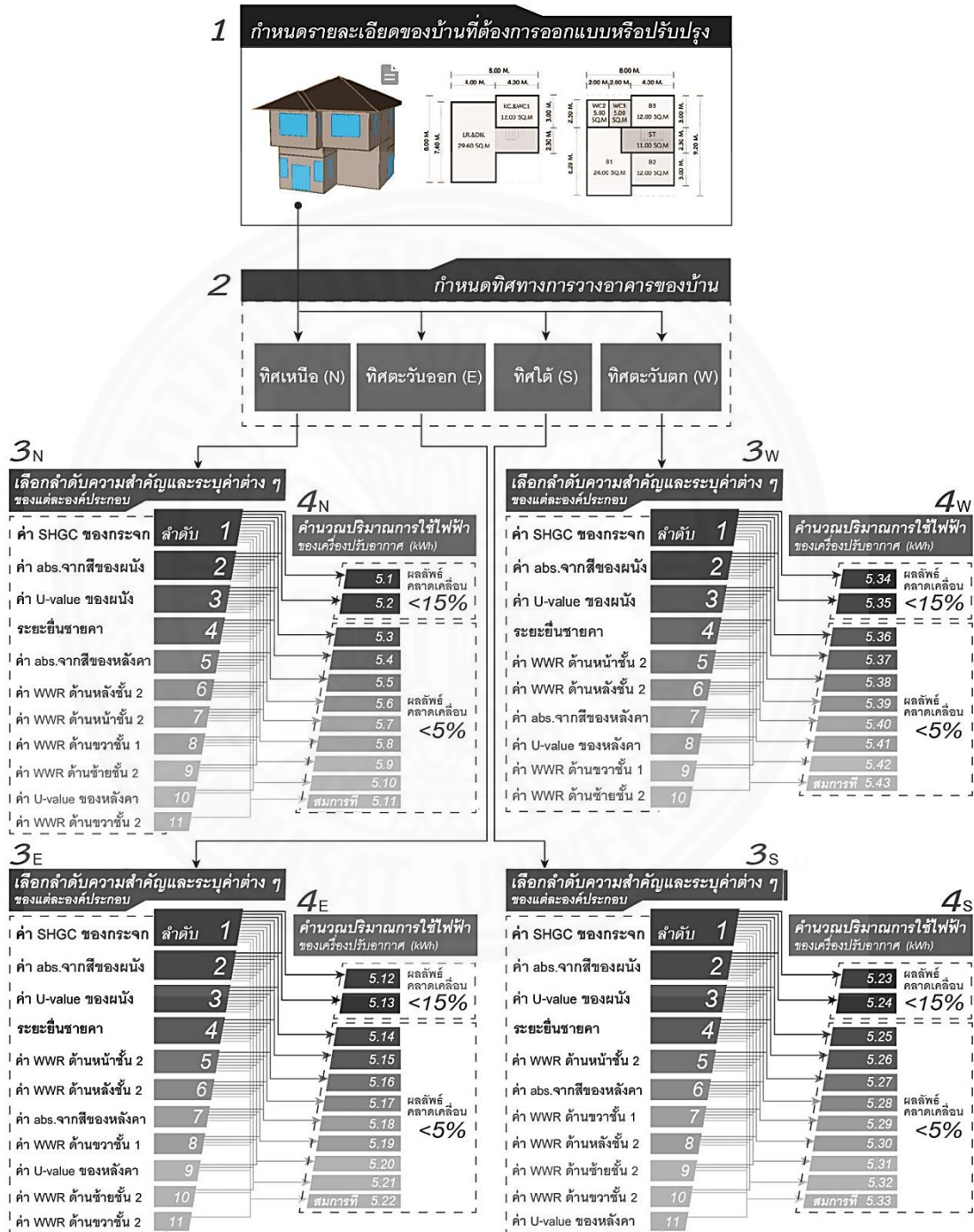
6.2 แนวทางการประยุกต์ใช้

จากการพิจารณาผลการวิจัยสามารถสรุปผลแนวทางการประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบหรือเพื่อการตัดสินใจปรับปรุงแก้ไขกรอบอาคารสำหรับบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวได้โดยมีขั้นตอน (แสดงในภาพที่ 6.2) และรายละเอียดในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

6.2.1 กำหนดรายละเอียดของบ้านที่ต้องการออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไข

แนวทางการประยุกต์ใช้จากผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางการประหยัดพลังงานสำหรับการเลือกออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไขกรอบอาคารของบ้านที่มีรูปแบบการจัดวางผังห้องต่าง ๆ ขนาดพื้นที่ใช้สอย สัดส่วนความกว้างยาวและรูปแบบกิจกรรมการใช้งานใกล้เคียงกันกับตัวแปรควบคุมที่กำหนดไว้

สำหรับบ้านกรณีศึกษา รวมถึงมีรายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารอยู่ในขอบเขตเดียวกันกับตัวแปรต้นที่ทำการศึกษาในบ้านกรณีศึกษา (แสดงในตารางที่ 6.6)



ภาพที่ 6.2 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบหรือเพื่อการตัดสินใจปรับปรุงแก้ไขกรอบอาคารสำหรับบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว

ตารางที่ 6.6

ช่วงขอบเขตข้อมูลองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่พบจากการสำรวจสำหรับบ้านกรณีศึกษา

ตัวแปรต้น	ข้อมูลกระจายแบบต่อเนื่อง				ช่วงที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุด
	mean	SD			(Mean+SD) - (Mean-SD)
WWR ด้านขวา (D) ชั้น 1	34.34	7.60			(34.34+7.60) - (34.34-7.60)
WWR ด้านหน้า (A) ชั้น 2	33.09	9.07			(33.09+9.07) - (33.09-9.07)
WWR ด้านขวา (D) ชั้น 2	11.69	3.85			(11.69+3.85) - (11.69-3.85)
WWR ด้านหลัง (B) ชั้น 2	13.21	5.01			(13.21+5.01) - (13.21-5.01)
WWR ด้านซ้าย (C) ชั้น 2	22.24	7.11			(22.24+7.11) - (22.24-7.11)
ตัวแปรต้น	ข้อมูลกระจายแบบไม่ต่อเนื่อง				ช่วงที่เปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุด
	level 1	level 2	level 3	level 4	Max - Min
ระยะยื่นชายคา	0.80	1.00	1.20		0.80 - 0.40
สีผนัง (ค่า abs.)	อ่อน (0.40)	กลาง (0.60)	เข้ม (0.90)		0.90 - 0.40
สีหลังคา (ค่า abs.)	อ่อน (0.40)	กลาง (0.60)	เข้ม (0.90)		0.90 - 0.41
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu/ft ² hr°F.)	0.459	0.760	0.893		0.893 - 0.459
	อิฐมวลเบา	อิฐมวลฉนวน	คอนกรีตสำเร็จรูป		
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก	0.81	0.70	0.62	0.28	0.81 - 0.28
	กระจกใส	กระจกใส 2 ชั้น	กระจกเขียว	low-e 2 ชั้น	
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Btu/ft ² hr°F.)	0.086	0.046	0.028		0.086 - 0.028
	กระเบื้องคอนกรีต	กระเบื้องคอนกรีต	กระเบื้องคอนกรีต		
	Reflective Foil	Reflective Foil	Reflective Foil		
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"		

6.2.2 กำหนดทิศทางการวางอาคารของบ้าน

แนวทางการประยุกต์ใช้จากผลการวิจัยนี้แบ่งเป็นแนวทางการประหยัดพลังงานสำหรับการเลือกออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไขกรอบอาคารของบ้านที่หันไปในทิศทางที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 ทิศ ได้แก่ 1) ทิศเหนือ 2) ทิศตะวันออก 3) ทิศใต้ และ 4) ทิศตะวันตก

6.2.3 เลือกลำดับความสำคัญและระบุค่าต่าง ๆ ขององค์ประกอบกรอบอาคาร

จากทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกันมีผลทำให้ลำดับอิทธิพลของแต่ละองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh) ของเครื่องปรับอากาศภายในบ้านแตกต่างกัน ในขั้นตอนนี้จึงจำเป็นต้องพิจารณาเลือกให้ความสำคัญในการออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารตามลำดับที่แตกต่างกันไปในแต่ละทิศทางการวางอาคาร โดยค่า

ต่าง ๆ ที่เลือกใช้ในการออกแบบหรือปรับปรุงในแต่ละองค์ประกอบของกรอบอาคารจะอ้างอิงจากตัวแปรต้นที่ทำการศึกษาในบ้านกรณีศึกษา (แสดงในตารางที่ 6.6)

จากการพิจารณาลำดับอิทธิพลของตัวแปรต้นองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีต่อค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านที่มีทิศทางการวางอาคารทั้ง 4 กรณี พบว่า องค์ประกอบของกรอบอาคารที่ควรให้ความสำคัญในการออกแบบหรือเลือกปรับปรุงมากที่สุดใน 4 ลำดับแรกของแต่ละบ้านที่มีทิศทางการวางอาคารแตกต่างกัน ได้แก่ ลำดับที่ 1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) ซึ่งเป็นค่าที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดโดยตรง ทั้งปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากรังสีตรงและรังสีกระจาย โดยสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้ด้วยการเลือกใช้กระจกชนิดที่มีค่า SHGC ต่ำ ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างกันไปตามชนิดและความหนาของกระจก และสามารถคำนวณปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงได้จากการแทนค่า

ลำดับที่ 2 คือ สีของผนัง ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้โดยการเลือกทาผนังด้วยสีอ่อนซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำ เนื่องจากจะช่วยลดการดูดกลืนความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าผนังที่ทาดำด้วยสีเข้ม

ลำดับที่ 3 คือ ค่า U-value ของผนัง ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้โดยการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่มีค่า U-value ต่ำ หรือเพิ่มการติดตั้งฉนวนที่ผนังเพื่อลดค่า U-value รวมของผนังลง ซึ่งจะช่วยให้ลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารผ่านผนังได้ดีขึ้น

และลำดับที่ 4 คือ ระยะยื่นของชายคา ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้โดยการเพิ่มระยะยื่นของชายคาเพื่อเพิ่มพื้นที่การบังเงาให้กับผนังและช่องเปิดต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดปริมาณความร้อนที่มาจากรังสีของดวงอาทิตย์ได้

ส่วนการพิจารณาออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบของกรอบอาคารในลำดับอื่น ๆ ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดในด้านต่าง ๆ สีของหลังคา และค่า U-value ของหลังคาเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น สามารถทำได้โดยการลดอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังลง หรือทำการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์บังแดดสำหรับช่องเปิดในผนังด้านนั้น ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่การบังเงาให้กับช่องเปิด ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคารได้ ส่วนการปรับปรุงสีและค่า U-value ในส่วนของหลังคานั้นสามารถใช้หลักการเดียวกันได้กับส่วนของผนัง

6.2.4 คำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh) ของเครื่องปรับอากาศ

จากการพิจารณาลำดับองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคารที่ควรให้ความสำคัญในการออกแบบหรือเลือกปรับปรุงในข้างต้นนี้ สามารถนำค่าของแต่ละองค์ประกอบกรอบอาคารไปแทนค่าลงในสมการสำหรับพยากรณ์ผลลัพธ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh) ของเครื่องปรับอากาศได้ โดยสมการสำหรับพยากรณ์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) สมการที่ให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 15

และ 2) สมการที่ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยประเภทและจำนวนที่เพิ่มขึ้นของตัวแปร ในแต่ละสมการมีผลอ้างอิงมาจากลำดับอิทธิพลองค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคาร

การประยุกต์ใช้สมการพยากรณ์สามารถนำไปใช้ได้ทั้งกับการคำนวณเพื่อพยากรณ์ผลลัพธ์ ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปี (kWh) ของเครื่องปรับอากาศภายในบ้านหรือใช้คำนวณเพื่อพยากรณ์ ผลลัพธ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งมีผลมาจากการปรับปรุงองค์ประกอบของกรอบอาคารเพียง ส่วนใดส่วนหนึ่ง โดยแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

ผู้วิจัยกำหนดให้บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวหลังหนึ่งมีขนาดสัดส่วนห้องต่าง ๆ การวางผัง ทิศทางการวางอาคารหันไปทางทิศเหนือ ซึ่งมีข้อมูลองค์ประกอบของกรอบอาคารที่ต้องการพิจารณา เพียง 4 ส่วน ได้แก่

- 1) ช่องเปิดติดตั้งกระจกชนิดใส (ค่า SHGC = 0.81)
- 2) ระยะยื่นชายคา 0.80 ม.
- 3) หลังคามุงด้วยกระเบื้องคอนกรีตสีน้ำตาลเข้ม (ค่าabs. = 0.90)
- 4) ผนังทาสีน้ำตาลเข้ม (ค่าabs. = 0.90)

6.2.4.1 วิธีการหาปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปีของเครื่องปรับอากาศ

จากข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถนำมาพยากรณ์ผลลัพธ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปีของ เครื่องปรับอากาศของบ้านหลังนี้ได้โดยการพิจารณาจากสมการพยากรณ์ผลสำหรับบ้านที่หันไปทาง ทิศเหนือ (แสดงในภาพที่ 6.2) ซึ่งพบว่า สามารถเลือกใช้สมการพยากรณ์ได้เพียง 2 สมการ ได้แก่ สมการที่ 5.1 และ 5.2 ที่อาศัยการแทนค่าตัวแปร SHGC และค่าการดูดกลืนแสงของสีทาผนัง โดย เมื่อแทนค่าลงในสมการ (แสดงในภาพที่ 6.3) ผลลัพธ์ที่ได้เท่ากับ 3557.82 และ 3520.01 กิโลวัตต์- ชั่วโมงต่อปี ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์อาจมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 15

สมการที่ 5.1

$$Y = 2390.939 + 1440.592X_1$$

เมื่อ Y : ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) X_1 : ค่า SHGC
แทนค่า $X_1 = 0.81$; $Y = 2390.939 + 1440.592(0.81)$
 $Y = 3557.819 = 3557.82$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

สมการที่ 5.2

$$Y = 1742.768 + 1415.464X_1 + 1051.206X_2$$

เมื่อ Y : ปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนปรับอากาศ (kWh) X_1 : ค่า SHGC X_2 : ค่าสีของผนัง (abs.)
แทนค่า $X_1 = 0.81$ และ $X_2 = 0.60$; $Y = 1742.768 + 1415.464(0.81) + 1051.206(0.60)$
 $Y = 3520.014 = 3520.01$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ภาพที่ 6.3 ตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศจากสมการที่ 5.1 และ 5.2

จากการคำนวณในกรณีนี้ สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 6.2 ซึ่งพบว่า หากมีเพิ่มการแทนค่าตัวแปรด้วยข้อมูลขององค์ประกอบกรอบอาคารส่วนอื่น ๆ โดยเฉพาะค่า U-value ของผนัง จะสามารถใช้สมการที่ 5.3 เพื่อพยากรณ์ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าได้ เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 1 ถึง 5 ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 5.1 และ 5.2

6.2.4.2 วิธีการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปีของเครื่องปรับอากาศที่ลดลง ซึ่งมีผลมาจากการปรับปรุงองค์ประกอบของกรอบอาคารในแต่ละส่วน

จากข้อมูลขององค์ประกอบกรอบอาคารในแต่ละส่วนที่กำหนดให้ สามารถออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบในแต่ละส่วนเพื่อการประหยัดพลังงานได้โดยอ้างอิงจากช่วงขอบเขตของการสำรวจองค์ประกอบกรอบอาคารของบ้านกรณีศึกษาดังนี้

- 1) เปลี่ยนชนิดกระจกใสที่มีค่า SHGC เท่ากับ 0.81 เป็นกระจก low-e ที่ตัดแสงหนา 2 ชั้นที่มีค่า SHGC ลดลงเป็น 0.28
- 2) เพิ่มระยะยื่นชายคาจาก 0.80 ม. เป็น 1.20 ม.
- 3) เปลี่ยนสีของกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคาจากสีน้ำตาลเข้มที่มีค่า abs. เท่ากับ 0.90 เป็นสีเทาอ่อนที่มีค่าการดูดกลืนแสงของสีทามันเท่ากับ 0.40
- 4) เปลี่ยนสีทามันจากสีน้ำตาลเข้มที่มีค่า abs. เท่ากับ 0.90 เป็นสีอ่อนที่มีค่าการดูดกลืนแสงของสีทามันเท่ากับ 0.40

โดยผลจากการออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบของกรอบอาคารในแต่ละส่วนนี้ สามารถเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศที่ลดลงได้โดยการคำนวณจากค่าของตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไป (แสดงในช่อง a และ b ของตารางที่ 6.7) คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B) ที่เลือกจากสมการที่ 5.11 ซึ่งเป็นสมการพยากรณ์ผลที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดสำหรับบ้านที่หันไปทางทิศเหนือ (แสดงในช่อง c ของตารางที่ 6.7) ซึ่งจากการพิจารณาผลลัพธ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมต่อปีของเครื่องปรับอากาศที่ลดลงจากการออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบของกรอบอาคารในแต่ละส่วนของบ้านตัวอย่างนี้ (แสดงในช่อง d ของตารางที่ 6.7) พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงมากที่สุดมีผลมาจากการออกแบบหรือปรับปรุงค่า SHGC ของกระจกที่สุที่สุด รองลงมาคือ สีของผนัง ระยะยื่นชายคาและสีของหลังคา ตามลำดับ ซึ่งลำดับของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงนี้มีความสอดคล้องกับลำดับอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีต่อค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปีของเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีศึกษาที่หันไปทางทิศเหนือ

ตารางที่ 6.7

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงซึ่งมีผลมาจากการออกแบบหรือปรับปรุงองค์ประกอบของกรอบอาคารในแต่ละส่วน โดยอ้างอิงจากช่วงขอบเขตของการสำรวจองค์ประกอบกรอบอาคารของบ้านกรณีศึกษา

ตัวแปรต้น	a		b	c	d
	กระจายไม่ต่อเนื่อง		ช่วงของตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไป	สัมประสิทธิ์	ช่วงของ kWh ที่เปลี่ยนแปลงไป
	ก่อน	หลัง	ค่าก่อน - ค่าหลังออกแบบ / ปรับปรุง	การถดถอย (B)	ช่อง b * ช่อง c
SHGC กระจก	0.81	0.28	0.53	1552.70	822.93
ระยะยื่นชายคา	0.80	1.20	-0.40	-229.85	91.94
สีของหลังคา	0.90	0.40	0.50	118.14	59.07
สีของผนัง	0.90	0.40	0.50	1084.37	542.18

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากการวิจัยนี้ พบว่ายังมีประเด็นอื่น ๆ ที่น่าสนใจซึ่งยังไม่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากข้อจำกัดของระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา โดยสามารถสรุปประเด็นสำหรับแนวทางการศึกษาในอนาคตต่อไปเพื่อให้การวิจัยมีความครอบคลุมยิ่งขึ้นดังนี้

1) ประเด็นในด้านตัวแปรต้นอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจากตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษาซึ่งมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเช่นเดียวกัน ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ อัตราการรั่วซึมของอากาศ พฤติกรรมการใช้งานของผู้อยู่อาศัยหรือการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดต่าง ๆ เป็นต้น

3) ประเด็นในด้านตัวแปรตามอื่น ๆ ที่นำมาใช้พิจารณาเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของอิทธิพลตัวแปรต้นที่นอกเหนือไปจากปริมาณการใช้พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนหรือความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

3) ประเด็นในด้านรูปแบบของบ้านกรณีศึกษา เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการคัดเลือกบ้านกรณีศึกษาจากรูปแบบการวางผังที่พบมากที่สุดเพียงแบบเดียว ซึ่งมาจากการสำรวจที่ทำการเก็บข้อมูลเฉพาะรูปแบบบ้านที่มีขายอยู่ในปัจจุบันเท่านั้น จึงอาจทำให้ผลจากการวิจัยที่ได้ไม่ครอบคลุมสำหรับแนวทางการออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไขบ้านที่มีการจัดวางผังรูปแบบอื่น ๆ ที่พบอยู่ในปัจจุบันรวมถึงรูปแบบบ้านที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตได้

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน. (2554). *การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย*. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering [ASHRAE]. (2009). Chapter 19 Energy Estimating and Modeling Methods. In *ASHRAE Handbook Fundamental* (pp. 19.1–19.37). Atlanta, GA: Author.

บทความวารสาร

ประยูรศรี บุตรแสนคม. (2555). *การคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าในสมการถดถอยพหุคูณ*. วารสาร การวัดผลการศึกษา ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม 2555. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม.

Calleja Rodríguez, G., Carrillo Andrés, A., Domínguez Muñoz, F., Cejudo López, J. M., & Zhang, Y. (2013). Uncertainties and Sensitivity Analysis in Building Energy Simulation using Macro Parameters. *Energy and Buildings*, 67, 79–87. Retrieved June 15, 2015, from <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.009>

Hamby, D. M. (1994). A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32(2), 135–154. Retrieved June 18, 2015, from doi:10.1007/BF00547132

Malhotra, M. & Haberl, J. (2006). An analysis of building envelope upgrade for residential energy efficiency in hot and humid climates. *Second National IBPSA-USA Conference SimBuild 2006*, Cambridge, MA, August 2-4, 2006, 200- 209. Retrieved Jan 21, 2015, from http://www.ibpsa.us/pub/simbuild2006/papers/SB06_200_209.pdf

- Mui, KW., and Wong, LT. 2007. Cooling load calculations in subtropical climate. *Building and environment*, 42. Retrieved Jan 15, 2015, from doi:10.1016/j.buildenv.2006.07.006
- Pereira, W., Bögl, A. & Natschläger, T. (2014). Sensitivity analysis and validation of an Energy Plus Model of a house in upper Austria. *Energy Procedia*, 62, 472–481. Retrieved Aug 5, 2015, from doi:10.1016/j.egypro .2014.12.409
- Shen, L., He, B., Jiao, L., Song, X., & Zhang, X. (n.d.). Research on the development of main policy instruments for improving building energy-efficiency. *Journal of Cleaner Production*. Retrieved June 15, 2015, from <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.108>
- Silva, A. S. & Ghisi, E. (2014). Uncertainty analysis of user behavior and physical parameters in residential building performance simulation. *Energy and Buildings*, 76, 381–391. Retrieved June 19, 2015, from doi:10.1016/j.enbuild.2014.03.001
- Spitz, C., Mora, L., Wurtz, E. & Jay, A. (2012). Practical application of uncertainty analysis and sensitivity analysis on an experimental house. *Energy and Buildings*, 55, 459–470. Retrieved June 19, 2015, from doi:10.1016/j.enbuild.2012.08.013
- Tian, W. (2013). A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 411–419. Retrieved June 19, 2015, from <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.014>

รายงานทางเทคนิค และรายงานการวิจัย

- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2553). *ระบบกรอบอาคาร*. คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553, 1 ธันวาคม 2558. สืบค้นจาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pdf

- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558–2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015), 1 ธันวาคม 2558. สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/encon/EEP2015/Draft-EEP2015.pdf>
- ธนาคารอาคารสงเคราะห์. (2557). สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัย และสินเชื่อที่อยู่อาศัยไทยปี 2556 และแนวโน้มปี 2557, 29 สิงหาคม 2558. สืบค้นจาก www.ghbhomecenter.com/journal/download.php?file%3D1517Dec133TeOYis.036041.pdf
- ธนาคารอาคารสงเคราะห์. (2557). แนวโน้มตลาดที่อยู่อาศัยไทย, 24 สิงหาคม 2558. สืบค้นจาก www.ghbhomecenter.com/journal/download.php?file=1426Mar15LhaEkN.064
- Gregory D. Wyss and Kelly H. Jorgensen. (1998). A User's Guide to LHS: Sandia's Latin Hypercube Sampling Software. *Latin Hypercube Sampling Theory*, 8-9. Risk Assessment and Systems Modeling Department Sandia National Laboratories. Retrieved June 15, 2015, from <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/1998/980210.pdf>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Retrieved Jan 12, 2015, from https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- U.S. Energy Information Administration, 2013. International Energy Outlook 2013. Retrieved Jan 8, 2015, from <http://www.eia.gov/totalenergy>.

วิทยานิพนธ์

กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงศ์. (2553). การศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อ
การลดการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ).

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชา
สถาปัตยกรรม.

กฤษณ์ อ่อนงาม. (2554). การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในเชิงการ
ประหยัดพลังงานและราคา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

เฉลิมชัย ผดุงหัส, ชัชวาล หิรัญญบุตร, อธิศักดิ์ รุ่งแสงจันทร์. (2550). การศึกษาการปรับ
สภาพแวดล้อมบ้านจัดสรร เพื่อการประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศ. (วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยนเรศวร, วิทยาลัยพลังงานทดแทน, สาขาวิชาพลังงาน
ทดแทน.

ประวีตร กิตติชาญธีระ. (2553). ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2
ชั้น: กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

พงษ์กานต์ อานนทวัฒน์นาค. (2549). แนวทางการปรับปรุงการประหยัดพลังงานสำหรับบ้านเดี่ยวใน
โครงการจัดสรร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

พนิดา ศิริบังเกิดผล. (2543). การศึกษาอิทธิพลของภูมิอากาศต่อการออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อการ
ประหยัดพลังงาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะ
พลังงานและวัสดุ, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน.

ศักดิ์ดา เขียวนันทวงศ์. (2547). การออกแบบบ้านแถวเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ.

(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์,
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

- ศิลาชัย ทับทิมทอง. (2553). *การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศสำหรับบ้านพักอาศัย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.
- อติคม วิมลวัตรเวที. (2547). *แนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านเอื้ออาหาร เพื่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- เอกพันธ์ มาลาศรี (2539). *การประหยัดพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศบ้านพักอาศัย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน.
- Matala, A. (2008). Sample Size Requirement for Monte Carlo – simulations using Latin Hypercube Sampling. Helsinki University of Technology, Department of Engineering Physics and Mathematics, Systems Analysis Laboratory Mat-2.4108 Independent Research Projects in Applied Mathematics. Retrieved March 22, 2015, from http://salserver.org.aalto.fi/vanhat_sivut/Opinnot/Mat-2.4108/pdf-files/emat08.pdf

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยกรณีอาคารหันไปทางทิศเหนือ

ตารางที่ ก. 1

ตาราง output model summary จากการวิเคราะห์ stepwise regression

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.756 ^a	0.572	0.569	248.235
2	0.949 ^b	0.900	0.899	120.250
3	0.974 ^c	0.948	0.948	86.565
4	0.977 ^d	0.954	0.953	81.645
5	0.979 ^e	0.959	0.957	78.001
6	0.981 ^f	0.962	0.961	74.785
7	0.983 ^g	0.966	0.964	71.457
8	0.984 ^h	0.968	0.967	69.061
9	0.985 ⁱ	0.970	0.969	66.690
10	0.986 ^j	0.971	0.970	65.710
11	0.986 ^k	0.972	0.970	65.168

a. Predictors: (Constant), SHGC

b. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs

c. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue

d. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang

e. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs

f. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2

g. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2

h. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1

i. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2

j. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2, roofuvalue

k. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2,

roofuvalue, wwrright2

l. Dependent Variable: Total kWh

ตารางที่ ก. 2

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 6

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2390.939	56.213		42.534	.000
	SHGC กระจก	1440.592	88.634	.756	16.253	.000
2	(Constant)	1742.768	37.297		46.726	.000
	SHGC กระจก	1415.464	42.948	.743	32.958	.000
	สีของผนัง	1051.206	41.335	.573	25.432	.000
3	(Constant)	1373.790	38.213		35.951	.000
	SHGC กระจก	1449.181	31.017	.761	46.723	.000
	สีของผนัง	1092.724	29.913	.596	36.530	.000
	U-value ผนัง	459.648	33.872	.222	13.570	.000
4	(Constant)	1581.151	54.739		28.885	.000
	SHGC กระจก	1420.002	29.823	.745	47.615	.000
	สีของผนัง	1091.301	28.214	.595	38.679	.000
	U-value ผนัง	448.225	32.028	.217	13.995	.000
	ระยะยื่นชายคา	-181.232	36.008	-.079	-5.033	.000
5	(Constant)	1516.761	54.275		27.946	.000
	SHGC กระจก	1423.245	28.501	.747	49.937	.000
	สีของผนัง	1099.502	27.018	.600	40.695	.000
	U-value ผนัง	443.294	30.618	.214	14.478	.000
	ระยะยื่นชายคา	-196.199	34.566	-.085	-5.676	.000
	สีของหลังคา	119.902	27.049	.065	4.433	.000
6	(Constant)	1462.954	53.557		27.316	.000
	SHGC กระจก	1423.415	27.326	.747	52.091	.000
	สีของผนัง	1081.182	26.261	.590	41.171	.000
	U-value ผนัง	434.750	29.425	.210	14.775	.000
	ระยะยื่นชายคา	-192.571	33.152	-.084	-5.809	.000
	สีของหลังคา	116.094	25.949	.063	4.474	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.302	1.248	.060	4.248	.000

ตารางที่ ก. 3

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 7 – 9

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
7	(Constant)	1401.287	53.055		26.412	.000
	SHGC กระจก	1423.279	26.110	.747	54.511	.000
	สีของผนัง	1070.715	25.204	.584	42.481	.000
	U-value ผนัง	405.954	28.865	.196	14.064	.000
	ระยะยื่นชายคา	-193.004	31.676	-.084	-6.093	.000
	สีของหลังคา	109.555	24.839	.060	4.411	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.883	1.200	.067	4.904	.000
	WWR ด้านหน้า 2	2.581	.586	.061	4.404	.000
8	(Constant)	1310.689	56.509		23.194	.000
	SHGC กระจก	1420.680	25.244	.746	56.279	.000
	สีของผนัง	1076.842	24.412	.587	44.111	.000
	U-value ผนัง	406.067	27.898	.196	14.556	.000
	ระยะยื่นชายคา	-185.407	30.679	-.080	-6.043	.000
	สีของหลังคา	106.245	24.022	.058	4.423	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.502	1.164	.063	4.727	.000
	WWR ด้านหน้า 2	2.642	.567	.062	4.663	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.498	.655	.050	3.815	.000
9	(Constant)	1230.187	58.439		21.051	.000
	SHGC กระจก	1431.166	24.529	.751	58.346	.000
	สีของผนัง	1087.536	23.737	.593	45.815	.000
	U-value ผนัง	403.582	26.948	.195	14.976	.000
	ระยะยื่นชายคา	-184.907	29.626	-.080	-6.241	.000
	สีของหลังคา	114.271	23.291	.062	4.906	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.351	1.125	.061	4.758	.000
	WWR ด้านหน้า 2	2.643	.547	.062	4.831	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.703	.635	.054	4.259	.000
	WWR ด้านซ้าย 2	2.630	.683	.049	3.850	.000

ตารางที่ ก. 4

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 10 – 11

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
10	(Constant)	1202.919	58.534		20.551	.000
	SHGC กระจก	1426.123	24.246	.748	58.818	.000
	สีของผนัง	1090.317	23.413	.595	46.569	.000
	U-value ผนัง	402.683	26.554	.195	15.165	.000
	ระยะยื่นชายคา	-191.676	29.308	-.083	-6.540	.000
	สีของหลังคา	117.604	22.985	.064	5.117	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.404	1.108	.062	4.876	.000
	WWR ด้านหน้า 2	2.629	.539	.062	4.875	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.854	.628	.057	4.545	.000
	WWR ด้านซ้าย 2	2.698	.674	.050	4.005	.000
	U-value หลังคา	501.549	193.605	.032	2.591	.010
11	(Constant)	1173.035	59.872		19.592	.000
	SHGC กระจก	1430.936	24.162	.751	59.223	.000
	สีของผนัง	1095.934	23.383	.598	46.870	.000
	U-value ผนัง	404.045	26.343	.195	15.338	.000
	ระยะยื่นชายคา	-187.356	29.143	-.081	-6.429	.000
	สีของหลังคา	123.065	22.952	.067	5.362	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.140	1.107	.059	4.644	.000
	WWR ด้านหน้า 2	2.468	.540	.058	4.566	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.789	.624	.056	4.471	.000
	WWR ด้านซ้าย 2	2.667	.668	.050	3.991	.000
	U-value หลังคา	432.270	194.989	.028	2.217	.028
	WWR ด้านขวา 2	2.583	1.267	.026	2.039	.043

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันออก

ตารางที่ ข. 1

ตาราง output model summary จากการศึกษาวิเคราะห์ stepwise regression

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.782 ^a	0.611	0.609	249.631
2	0.951 ^b	0.904	0.903	124.186
3	0.975 ^c	0.951	0.950	88.921
4	0.979 ^d	0.959	0.958	81.419
5	0.982 ^e	0.965	0.964	76.170
6	0.985 ^f	0.970	0.969	70.032
7	0.986 ^g	0.973	0.972	66.593
8	0.988 ^h	0.976	0.975	63.759
9	0.988 ⁱ	0.977	0.975	62.526
10	0.989 ^j	0.977	0.976	61.568
11	0.989 ^k	0.978	0.977	60.865

a. Predictors: (Constant), SHGC

b. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs

c. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue

d. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang

e. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs

f. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2

g. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2

h. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1

i. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2

j. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2, roofuvalue

k. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2, roofuvalue, wwrright2

l. Dependent Variable: Total kWh

ตารางที่ ข. 2

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 6

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2431.637	56.529		43.016	.000
	SHGC กระฉก	1572.334	89.133	.782	17.640	.000
2	(Constant)	1785.268	38.518		46.349	.000
	SHGC กระฉก	1547.275	44.353	.769	34.885	.000
	สีของผนัง	1048.283	42.688	.542	24.557	.000
3	(Constant)	1402.055	39.253		35.719	.000
	SHGC กระฉก	1582.293	31.861	.787	49.663	.000
	สีของผนัง	1091.403	30.727	.564	35.520	.000
	U-value ผนัง	477.380	34.794	.218	13.720	.000
4	(Constant)	1657.918	54.587		30.372	.000
	SHGC กระฉก	1546.289	29.740	.769	51.994	.000
	สีของผนัง	1089.647	28.136	.563	38.728	.000
	U-value ผนัง	463.285	31.939	.212	14.505	.000
	ระยัยนขายคา	-223.621	35.908	-.092	-6.228	.000
5	(Constant)	1581.806	53.001		29.845	.000
	SHGC กระฉก	1546.303	27.823	.769	55.577	.000
	สีของผนัง	1079.286	26.393	.558	40.893	.000
	U-value ผนัง	427.051	30.633	.195	13.941	.000
	ระยัยนขายคา	-225.678	33.595	-.093	-6.718	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.327	.620	.074	5.366	.000
6	(Constant)	1498.467	50.644		29.588	.000
	SHGC กระฉก	1546.670	25.581	.769	60.463	.000
	สีของผนัง	1053.941	24.626	.544	42.798	.000
	U-value ผนัง	411.328	28.284	.188	14.543	.000
	ระยัยนขายคา	-221.687	30.895	-.091	-7.176	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.701	.573	.083	6.455	.000
	WWR ด้านหลัง 2	7.098	1.175	.077	6.042	.000

ตารางที่ ข. 3

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 7 – 9

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
7	(Constant)	1446.584	49.443		29.257	.000
	SHGC กระจก	1549.558	24.332	.770	63.683	.000
	สีของผนัง	1062.465	23.489	.549	45.233	.000
	U-value ผนัง	408.914	26.901	.187	15.201	.000
	ระยะยื่นชายคา	-235.102	29.520	-.097	-7.964	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.550	.546	.079	6.499	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.887	1.118	.074	6.159	.000
	สีของหลังคา	107.205	23.148	.055	4.631	.000
8	(Constant)	1352.410	52.170		25.923	.000
	SHGC กระจก	1546.857	23.305	.769	66.373	.000
	สีของผนัง	1068.834	22.538	.552	47.424	.000
	U-value ผนัง	409.031	25.756	.187	15.881	.000
	ระยะยื่นชายคา	-227.205	28.324	-.093	-8.022	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.613	.523	.081	6.907	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.490	1.075	.070	6.040	.000
	สีของหลังคา	103.765	22.178	.054	4.679	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.597	.605	.049	4.295	.000
9	(Constant)	1325.292	51.991		25.491	.000
	SHGC กระจก	1541.137	22.938	.766	67.187	.000
	สีของผนัง	1071.530	22.121	.554	48.439	.000
	U-value ผนัง	408.132	25.260	.187	16.157	.000
	ระยะยื่นชายคา	-234.506	27.888	-.096	-8.409	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.597	.513	.081	7.012	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.551	1.054	.071	6.216	.000
	สีของหลังคา	107.130	21.779	.055	4.919	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.754	.595	.052	4.626	.000
	U-value หลังคา	539.916	184.085	.033	2.933	.004

ตารางที่ ข. 4

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 10 – 11

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
10	(Constant)	1273.382	54.844		23.218	.000
	SHGC กระจก	1547.580	22.718	.769	68.121	.000
	สีของผนัง	1078.395	21.937	.557	49.158	.000
	U-value ผนัง	406.528	24.880	.186	16.339	.000
	ระยะยื่นชายคา	-234.441	27.460	-.096	-8.538	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.598	.505	.081	7.122	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.458	1.038	.070	6.219	.000
	สีของหลังคา	112.328	21.536	.058	5.216	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.889	.588	.055	4.910	.000
	U-value หลังคา	558.524	181.401	.034	3.079	.002
	WWR ด้านซ้าย 2	1.665	.631	.029	2.638	.009
11	(Constant)	1241.600	55.919		22.204	.000
	SHGC กระจก	1552.698	22.566	.772	68.806	.000
	สีของผนัง	1084.369	21.839	.560	49.654	.000
	U-value ผนัง	407.976	24.604	.187	16.582	.000
	ระยะยื่นชายคา	-229.847	27.218	-.094	-8.445	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.427	.505	.077	6.789	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.177	1.034	.067	5.975	.000
	สีของหลังคา	118.136	21.436	.061	5.511	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.819	.582	.053	4.840	.000
	U-value หลังคา	484.846	182.114	.030	2.662	.008
	WWR ด้านซ้าย 2	1.632	.624	.029	2.616	.010
	WWR ด้านขวา 2	2.747	1.183	.026	2.322	.021

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยกรณีอาคารหันไปทางทิศใต้

ตารางที่ ค. 1

ตาราง output model summary จากการวิเคราะห์ stepwise regression

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.780 ^a	0.608	0.606	245.264
2	0.948 ^b	0.898	0.897	125.397
3	0.975 ^c	0.951	0.950	87.391
4	0.979 ^d	0.959	0.958	80.129
5	0.982 ^e	0.964	0.963	74.961
6	0.984 ^f	0.968	0.967	71.402
7	0.985 ^g	0.971	0.969	68.353
8	0.986 ^h	0.973	0.972	65.638
9	0.987 ⁱ	0.974	0.973	63.921
10	0.988 ^j	0.976	0.974	62.465
11	0.988 ^k	0.977	0.975	61.610

a. Predictors: (Constant), SHGC

b. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs

c. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue

d. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang

e. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs

f. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2

g. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2

h. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1

i. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2

j. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2, roofuvalue

k. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2, roofuvalue, wwrright2

l. Dependent Variable: Total kWh

ตารางที่ ค. 2

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 6

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2413.945	55.540		43.463	.000
	SHGC กระฉาก	1535.987	87.573	.780	17.539	.000
2	(Constant)	1784.743	38.894		45.888	.000
	SHGC กระฉาก	1511.594	44.786	.768	33.752	.000
	สีของผนัง	1020.441	43.104	.538	23.674	.000
3	(Constant)	1387.323	38.577		35.962	.000
	SHGC กระฉาก	1547.910	31.312	.786	49.434	.000
	สีของผนัง	1065.159	30.198	.562	35.272	.000
	U-value ผนัง	495.079	34.195	.231	14.478	.000
4	(Constant)	1637.016	53.722		30.472	.000
	SHGC กระฉาก	1512.775	29.269	.768	51.685	.000
	สีของผนัง	1063.445	27.690	.561	38.405	.000
	U-value ผนัง	481.323	31.433	.225	15.313	.000
	ระยะยื่นชายคา	-218.229	35.339	-.092	-6.175	.000
5	(Constant)	1562.091	52.160		29.948	.000
	SHGC กระฉาก	1512.789	27.381	.768	55.249	.000
	สีของผนัง	1053.246	25.974	.556	40.550	.000
	U-value ผนัง	445.655	30.147	.208	14.783	.000
	ระยะยื่นชายคา	-220.253	33.062	-.092	-6.662	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.275	.610	.075	5.368	.000
6	(Constant)	1497.916	51.636		29.009	.000
	SHGC กระฉาก	1513.072	26.081	.768	58.014	.000
	สีของผนัง	1033.730	25.108	.545	41.172	.000
	U-value ผนัง	433.548	28.838	.203	15.034	.000
	ระยะยื่นชายคา	-217.180	31.500	-.091	-6.895	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.563	.585	.081	6.095	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.466	1.198	.060	4.563	.000

ตารางที่ ค. 3

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 7 – 9

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
7	(Constant)	1448.321	50.751		28.538	.000
	SHGC กระฉาก	1515.832	24.976	.770	60.692	.000
	สีของผนัง	1041.878	24.110	.550	43.214	.000
	U-value ผนัง	431.240	27.612	.202	15.618	.000
	ระยะยื่นชายคา	-230.004	30.301	-.097	-7.591	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.418	.561	.078	6.098	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.264	1.148	.058	4.586	.000
	สีของหลังคา	102.477	23.760	.054	4.313	.000
8	(Constant)	1354.661	53.708		25.223	.000
	SHGC กระฉาก	1513.146	23.992	.768	63.068	.000
	สีของผนัง	1048.212	23.202	.553	45.178	.000
	U-value ผนัง	431.356	26.515	.202	16.269	.000
	ระยะยื่นชายคา	-222.150	29.158	-.093	-7.619	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.482	.539	.080	6.465	.000
	WWR ด้านหลัง 2	4.869	1.106	.054	4.401	.000
	สีของหลังคา	99.056	22.831	.052	4.339	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.583	.622	.050	4.149	.000
9	(Constant)	1286.991	56.012		22.977	.000
	SHGC กระฉาก	1521.960	23.510	.773	64.737	.000
	สีของผนัง	1057.202	22.751	.558	46.467	.000
	U-value ผนัง	429.268	25.829	.201	16.620	.000
	ระยะยื่นชายคา	-221.730	28.396	-.093	-7.809	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.483	.524	.080	6.641	.000
	WWR ด้านหลัง 2	4.743	1.078	.052	4.400	.000
	สีของหลังคา	105.802	22.324	.056	4.739	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.755	.608	.053	4.529	.000
	WWR ด้านซ้าย 2	2.211	.655	.040	3.376	.001

ตารางที่ ค. 4

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 10 – 11

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
10	(Constant)	1237.837	56.909		21.751	.000
	SHGC กระจก	1527.972	23.053	.776	66.280	.000
	สีของผนัง	1065.969	22.406	.562	47.575	.000
	U-value ผนัง	431.076	25.247	.201	17.075	.000
	ระยะยื่นชายคา	-216.786	27.793	-.091	-7.800	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.245	.518	.074	6.265	.000
	WWR ด้านหลัง 2	4.367	1.060	.048	4.119	.000
	สีของหลังคา	114.451	21.987	.060	5.206	.000
	WWR ด้านขวา 1	2.690	.595	.052	4.522	.000
	WWR ด้านซ้าย 2	2.179	.640	.039	3.406	.001
	WWR ด้านขวา 2	3.774	1.196	.037	3.156	.002
	11	(Constant)	1219.529	56.603		21.545	.000
SHGC กระจก		1522.494	22.843	.773	66.651	.000
สีของผนัง		1067.315	22.106	.563	48.282	.000
U-value ผนัง		429.997	24.905	.201	17.266	.000
ระยะยื่นชายคา		-223.706	27.552	-.094	-8.120	.000
WWR ด้านหน้า 2		3.264	.511	.075	6.389	.000
WWR ด้านหลัง 2		4.468	1.046	.049	4.270	.000
สีของหลังคา		116.324	21.698	.061	5.361	.000
WWR ด้านขวา 1		2.968	.590	.055	4.813	.000
WWR ด้านซ้าย 2		2.246	.632	.041	3.556	.000
WWR ด้านขวา 2		3.551	1.198	.032	2.714	.007
U-value หลังคา		462.033	184.342	.029	2.506	.013

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยกรณีอาคารหันไปทางทิศตะวันตก

ตารางที่ ง. 1

ตาราง output model summary จากการศึกษาวิเคราะห์ stepwise regression

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.789 ^a	0.622	0.620	226.456
2	0.931 ^b	0.867	0.865	134.896
3	0.957 ^c	0.915	0.914	107.968
4	0.960 ^d	0.922	0.921	103.497
5	0.964 ^e	0.929	0.927	99.449
6	0.966 ^f	0.934	0.932	96.138
7	0.968 ^g	0.937	0.935	93.790
8	0.969 ^h	0.939	0.936	92.676
9	0.970 ⁱ	0.941	0.938	91.439
10	0.971 ^j	0.943	0.940	89.968

a. Predictors: (Constant), SHGC

b. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs

c. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue

d. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang

e. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs

f. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2

g. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2

h. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1

i. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrlft2

j. Predictors: (Constant), SHGC, wallabs, walluvalue, overhang, roofabs, wwrback2, wwrfront2, wwrright1, wwrleft2, roofuvalue

k. Dependent Variable: Total kWh

ตารางที่ ง. 2

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 1 – 6

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2339.078	51.281		45.613	.000
	SHGC กระฉาก	1460.170	80.858	.789	18.058	.000
2	(Constant)	1795.847	41.840		42.922	.000
	SHGC กระฉาก	1439.110	48.178	.777	29.870	.000
	สีของผนัง	881.015	46.369	.495	19.000	.000
3	(Constant)	1437.712	47.661		30.165	.000
	SHGC กระฉาก	1471.836	38.685	.795	38.046	.000
	สีของผนัง	921.313	37.309	.517	24.694	.000
	U-value ผนัง	446.139	42.247	.222	10.560	.000
4	(Constant)	1661.127	69.390		23.939	.000
	SHGC กระฉาก	1440.398	37.805	.778	38.101	.000
	สีของผนัง	919.779	35.766	.516	25.717	.000
	U-value ผนัง	433.831	40.600	.216	10.686	.000
	ระยะยื่นชายคา	-195.262	45.645	-.087	-4.278	.000
5	(Constant)	1584.327	69.199		22.895	.000
	SHGC กระฉาก	1440.412	36.326	.778	39.653	.000
	สีของผนัง	909.325	34.459	.510	26.389	.000
	U-value ผนัง	397.271	39.995	.198	9.933	.000
	ระยะยื่นชายคา	-197.337	43.862	-.088	-4.499	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.357	.809	.082	4.147	.000
6	(Constant)	1511.992	69.523		21.748	.000
	SHGC กระฉาก	1440.731	35.117	.778	41.027	.000
	สีของผนัง	887.326	33.806	.498	26.248	.000
	U-value ผนัง	383.623	38.828	.191	9.880	.000
	ระยะยื่นชายคา	-193.874	42.412	-.087	-4.571	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.681	.787	.090	4.678	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.161	1.613	.072	3.820	.000

ตารางที่ ง. 3

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 7 – 9

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
7	(Constant)	1460.180	69.637		20.968	.000
	SHGC กระจก	1443.615	34.270	.780	42.124	.000
	สีของผนัง	895.839	33.082	.503	27.079	.000
	U-value ผนัง	381.212	37.887	.190	10.062	.000
	ระยะยื่นชายคา	-207.270	41.577	-.093	-4.985	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.531	.769	.086	4.590	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.950	1.575	.070	3.778	.000
	สีของหลังคา	107.057	32.602	.060	3.284	.001
8	(Constant)	1434.568	69.648		20.597	.000
	SHGC กระจก	1436.970	33.978	.776	42.291	.000
	สีของผนัง	898.602	32.709	.504	27.472	.000
	U-value ผนัง	380.129	37.440	.189	10.153	.000
	ระยะยื่นชายคา	-216.573	41.269	-.097	-5.248	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.507	.760	.085	4.614	.000
	WWR ด้านหลัง 2	6.052	1.557	.071	3.888	.000
	สีของหลังคา	111.331	32.265	.062	3.450	.001
	U-value หลังคา	645.698	271.739	.043	2.376	.018
9	(Constant)	1353.554	76.032		17.802	.000
	SHGC กระจก	1434.094	33.545	.775	42.752	.000
	สีของผนัง	904.177	32.351	.508	27.949	.000
	U-value ผนัง	380.125	36.940	.189	10.290	.000
	ระยะยื่นชายคา	-210.850	40.783	-.094	-5.170	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.558	.750	.087	4.742	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.730	1.541	.067	3.718	.000
	สีของหลังคา	108.859	31.850	.061	3.418	.001
	U-value หลังคา	706.063	269.208	.047	2.623	.009
	WWR ด้านขวา 1	2.168	.871	.045	2.490	.014

ตารางที่ ง. 4

ตาราง output regression coefficient ของตัวแปรต้น model ที่ 10

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
10	(Constant)	1276.066	80.143		15.922	.000
	SHGC กระจก	1443.711	33.197	.780	43.489	.000
	สีของผนัง	914.424	32.056	.513	28.526	.000
	U-value ผนัง	377.731	36.357	.188	10.390	.000
	ระยะยื่นชายคา	-210.753	40.127	-.094	-5.252	.000
	WWR ด้านหน้า 2	3.558	.738	.087	4.820	.000
	WWR ด้านหลัง 2	5.591	1.517	.066	3.685	.000
	สีของหลังคา	116.617	31.470	.065	3.706	.000
	U-value หลังคา	733.840	265.077	.049	2.768	.006
	WWR ด้านขวา 1	2.369	.860	.049	2.756	.006
	WWR ด้านซ้าย 2	2.486	.922	.048	2.695	.008

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม
วันเดือนปีเกิด 28 มีนาคม 2535
วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม)
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ

Jareemit, D. & Inprom, N. (2015). Review Article: Significant Parameters in Building Energy Simulation. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 12(1), 1-14.