แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานกรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร

นายภานุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

GUIDELINES FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF LARGE GOVERNMENT OFFICE BUILDINGS BY IMPROVING BUILDING ENVELOPE MATERIALS : A CASE STUDY OF DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND TOWN & COUNTRY PLANNING OFFICE , RAMA 6 , BANGKOK

Mr. Panupong Yanwaidsakun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานกรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร
โดย	นายภานุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

ภานุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล : แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานกรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร (GUIDELINES FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF LARGE GOVERNMENT OFFICE BUILDINGS BY IMPROVING BUILDING ENVELOPE MATERIALS : A CASE STUDY OF DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND TOWN & COUNTRY PLANNING OFFICE , RAMA 6 , BANGKOK)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร , 105 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลอง (Simulation research)มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกณฑ์การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารในส่วนของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยใช้อาคารที่ทำการกรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 เป็นอาคารกรณีศึกษา โดยการศึกษาวิจัยจะประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือ 1) การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษาและอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษเพื่อสร้างรูปแบบอาคารอ้างอิง 2) การสร้างอาคารอ้างอิงด้วยการจำลองในโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยปรับปรุงอาคารสำนักงานอ้างอิงให้มีความสอดคล้องกับอาคารสำนักงานราชการในเรื่องการวางพื้นที่ใช้สอย และในเรื่ององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม 3)การใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริก (Parameterization) สัมประสิทธิ์ในสมการการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารตามกฎกระทรวงกระทรวงพลังงานพ.ศ.2552 4) หาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 10% จากฐานการใช้พลังงานเฉลี่ยของอาคารราชการ

จากการศึกษาพบว่าอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีการก่อสร้างในปัจจุบันมีรูปแบบการใช้งาน และลักษณะทางกายภาพของอาคารที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานเอกชนโดยทั่วไปซึ่งใช้เป็นอาคารสำนักงานอ้างอิงในการออกกฎกระทรวง ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารสำนักงานราชการมีความแตกต่างจากฐานข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของกระทรวงพลังงาน จึงควรทบทวนค่าการใช้พลังงานรวมและการกำหนดค่า OTTV ในอาคารสำนักงานอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับอาคารสำนักงานราชการใหม่

ผลการวิจัยเสนอสมการการคำนวณค่า OTTV ของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิงเรียกว่า OTTV ราชการ แบ่งเป็น 2 สมการตามทิศทางของอาคาร ค่า OTTV ราชการ อาคารในทิศทาง A (หันด้านยาวของอาคารสู่ทิศเหนือ-ใต้) เท่ากับ 32.525 W/m^2 และ ค่า OTTV ราชการ อาคารในทิศทาง B C และ D (หันด้านยาวของอาคารสู่ทิศอื่น) เท่ากับ 22.469 W/m^2 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการทิศทาง A ได้แก่ TDeq, ΔT และ ESR เท่ากับ 6.054, 3.375, 55.25 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการทิศทาง B C และ Dได้แก่ TDeq, ΔT และESR เท่ากับ 6.337, 3.496 และ 87.11 ตามลำดับ อาคารอ้างอิงใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 112.94 kWh/m^2-year

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2555

5374287725 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD : GUIDELINES / ENERGY EFFICIENCY / OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE / BUILDING ENERGY SIMULATION / LARGE GOVERNMENT OFFICE BUILDINGS / REFERENCE BUILDING / COOLING ENERGY REQUIREMENT

PANUPONG YANWAIDSAKUL : GUIDELINES FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF LARGE GOVERNMENT OFFICE BUILDINGS BY IMPROVING BUILDING ENVELOPE MATERIALS : A CASE STUDY OF DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND TOWN & COUNTRY PLANNING OFFICE , RAMA 6 , BANGKOK.

PRINCIPAL ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR ATCH SRESHTHAPUT, Ph.D., 105 pp.

This is a simulation research with an aim to improve the criteria for evaluating overall heat transfer via the building envelope in large government office buildings in order to increase energy efficiency. The building of the Department of Public Works and Town & Country Planning Office, Rama 6 Road, was used as a case study. The research study comprised four major parts: 1) the survey and the collection of the data about the building under study in order to create a reference building model, 2) the creation of the reference building model using the Visual DOE 4.1 program, adjusting the reference building to be line with government office buildings in terms of the layout of functional area and the architectural elements, 3) the use of statistical parameterization to find the average heat transfer co-efficients via the building envelope according to the Ministerial Regulation of the Ministry of Energy B.E. 2552, and 4) the establishment of guidelines to increase the efficiency of energy use of large government office buildings by improving the building envelope materials so that they can reduce energy use by 10% from the basis of average energy use by government office buildings.

The study results reveal that existing large government office buildings feature different use patterns and different physical characteristics from private office buildings in general, which were used as reference buildings in issuing the ministerial regulations. The overall energy use value of government office buildings is different from the Ministry of Energy's database of energy use for government office buildings. It is therefore suggested that the overall energy use value should be reviewed and the appropriate OTTV be re-determined.

The research results suggest equations for OTTV calculations for large government office buildings, referred to as official governmental OTTV. The equations are grouped into two types according to the building direction. The official governmental OTTV for buildings in A direction is 32.525 W/m^2 while that in B, C, D directions is 22.469 W/m^2. The average coefficients in the equation in the A direction are TDeq, ΔT and ESR of 6.054, 3.375 and 55.25 respectively. Meanwhile, those in the equation in the B, C, and D directions are TDeq, ΔT and ESR of 6.337, 3.496 and 87.11 respectively. The reference building uses a total of 112.94 kWh/m^2 per year of electrical power energy.

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

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

Academic Year: 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี ด้วยความรู้ที่ได้จากคณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่าน และนักวิจัยที่เผยแพร่ความรู้ผ่านบทความวิจัยในสื่อต่างๆ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ผู้ให้ความรู้ และสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ , รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ ดร. ณรงค์วิทย์ อารีมิตร ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กรมโยธาธิการและผังเมืองทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อมูล และข้อคิดเห็น

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ส่งเสริม และสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

สารบัญแผนภูมิ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร..... 6

2.2 การใช้พลังงานในอาคารที่มี รูปทรง ทิศทาง และผนังอาคารแตกต่างกัน..... 8

2.3 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร..... 12

2.4 วิธีการกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร..... 14

2.5 การใช้พลังงานโดยรวมในอาคาร (Whole Building Energy)..... 15

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหารศึกษาวิจัยในครั้งนี้..... 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 27

3.1 ขั้นตอนในการศึกษาวิจัย..... 27

3.2 โปรแกรม และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย..... 30

3.2.1 โปรแกรม Visual DOE 4.1..... 30

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 33

4.1 การสำรวจข้อมูลของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ..... 33

4.2 การสำรวจอาคารกรณีศึกษา และสร้างอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง..... 34

4.3 การจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง..... 36

4.4 การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV..... 39

4.5 การพิจารณาการแยกสูตรการคำนวณ OTTVราชการ ตามทิศทางอาคาร..... 43

หน้า

4.6 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTVราชการ และ CE เพื่อหาค่า Baseline..... 47
4.7 การพิจารณาทางเลือกการใช้วัสดุเปลือกอาคารโดยใช้ ค่า OTTVราชการ 52
4.8 การพิจารณาใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ (CE) โดยใช้ค่า OTTVราชการ 57

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 60
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 60
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 64

รายการอ้างอิง..... 65
ภาคผนวก..... 67
ภาคผนวก ก. รายละเอียดการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies)..... 67
ภาคผนวก ข. การสำรวจอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อกำหนดอาคารอ้างอิง..... 82
ภาคผนวก ค. ตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ในสูตร OTTV 94
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการตั้งค่าอาคารอ้างอิงในโปรแกรม Visual DOE 4.1..... 98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 105

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน 2
ตารางที่ 2.1 ปริมาณรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ผิวอาคารและต่อปริมาตรของอาคารรูปทรงต่างๆ..... 9
ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนพื้นที่ผนังอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยต่อชั้นของอาคารรูปทรงต่าง..... 9
ตารางที่ 2.3 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังด้านทิศใต้ของอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และอาคารโรงแรมและโรงพยาบาล ที่มีช่วงเวลาใช้งานแตกต่างกัน ค่าในตารางแปรผันตามค่ามวลอุณหภาพและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนัง 11
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดอาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร OTTV และสมการพลังงานโดยการจำลองอาคารเพื่อหาค่าพลังงานในโปรแกรม DOE-2 17
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดอาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร ETTV$_{sg}$ และสมการการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศ (Ec) โดยการจำลองอาคารโปรแกรม DOE-2..... 20
ตารางที่ 2.6 ค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่ได้จากฐานข้อมูล ของ พพ. 22
ตารางที่ 2.7 ค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่ได้จากฐานข้อมูล ของ พพ. ที่นำมาจำลองเป็นอาคารอ้างอิง..... 23
ตารางที่ 2.8 ดัชนีประสิทธิภาพของงานระบบในอาคารประเภทต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพต่างกัน 5 ระดับ..... 24
ตารางที่ 2.9 แสดงประสิทธิภาพของระบบในอาคารและตัวแปรอื่นๆ ของอาคารสำนักงาน..... 24
ตารางที่ 2.10 ประสิทธิภาพด้านต่างๆของแบบมาตรฐานศาลากลางและแนวทางการปรับปรุงเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานระดับสูง และมาตรฐานที่คุ้มค่าแก่การลงทุน..... 25
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของพื้นที่ใช้สอยอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง..... 35
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง..... 38
ตารางที่ 4.3 แสดงชนิดและคุณสมบัติของผนังทึบที่ใช้ศึกษาการแปรเปลี่ยน พารามิเตอร์..... 40
ตารางที่ 4.4 แสดงชนิดและคุณสมบัติของกระจกที่ใช้ศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์..... 40
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของอาคารที่วางทิศทางต่างกัน..... 41
ตารางที่ 4.6 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ..... 41
ตารางที่ 4.7 สถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ..... 41
ตารางที่ 4.8-4.9 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง A 44
ตารางที่ 4.10-4.11 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง B 44
ตารางที่ 4.12-4.13 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง C 44
ตารางที่ 4.14-4.15 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง D 45

หน้า

ตารางที่ 4.16-4.17สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง B C D 46
ตารางที่ 4.18 ค่า baseline ของ OTTV ราชการ และสมการความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2_floor-year) 48
ตารางที่ 4.19 ค่า Baseline (อาคารอ้างอิง WWR 32.29) ของ OTTV ราชการ และค่า OTTV ราชการ เมื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ (Cooling Energy) ลง 10 % จาก Baseline..... 49
ตารางที่ 4.20 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง A กับ ค่า U_w , U_f และSHGC..... 50
ตารางที่ 4.21 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง B, C และD กับค่า U_w, U_f และSHGC.... 51
ตารางที่ 4.22 เกณฑ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเพื่อประหยัดพลังงาน และการเลือก U_w , U_f และ SHGC..... 52
ตารางที่ 4.23 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง A กับ ค่า U_w , U_f และSHGC 53
ตารางที่ 4.24 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง B, C และD กับค่า Uw, Uf และSHGC... 55
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่า TDeq , Δ T, ESR ที่ประกาศในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 กับงานวิจัย.....61
ตารางที่ 5.2 เกณฑ์การเลือก U_w , U_f และSHGC ของวัสดุกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน.....62
ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบสมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารในงานวิจัยอื่น 63
ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารในงานวิจัยอื่น.....63

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารที่มีการปรับอากาศ..... 6
ภาพที่ 2.2 ความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ส่งความร้อนผ่านกรอบอาคาร และความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง การระบายอากาศ การรั่วซึมของอากาศ ที่รวมเป็นภาระการปรับอากาศ..... 8
ภาพที่ 2.3 อาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร OTTV และสมการพลังงาน.....18
ภาพที่ 2.4 อาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร ETTVsg และสมการการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศ (Ec) 21
ภาพที่ 4.1-4.3 อาคารสำนักงานตำรวจแห่งชาติ , อาคารที่ทำการศาลอาญาถนนรัชดาภิเษก และอาคารที่ทำการกรมทางหลวงชนบท..... 33
ภาพที่ 4.4-4.5 กลุ่มอาคารที่ทำการกระทรวงพาณิชย์ ถนนสนามบินน้ำ จังหวัดนนทบุรี 34
ภาพที่ 4.6-4.8 อาคารที่ทำการกรมโยธาธิการและผังเมือง 20 ชั้น กระทรวงมหาดไทย ถนนพระราม 6 เขตพญาไท กรุงเทพฯ (อาคารกรณีศึกษา)..... 35
ภาพที่ 4.9-4.10 แสดงลักษณะอาคารกรณีศึกษา และผังพื้นอาคารสำนักงานราชการอ้างอิง..... 36
ภาพที่ 4.11-4.12 แสดงอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิงในโปรแกรม Visual DOE4.1..... 39
ภาพที่ 4.13 แสดงทิศทางการวางอาคารสำนักงานราชการอ้างอิงที่ใช้ศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์..... 39

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย..... 32
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง..... 37
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสัดส่วนภาระการปรับอากาศของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง..... 38
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ ในแต่ละทิศ 4 ทิศทางการวางอาคารที่ต่างกัน กับ CR..... 42
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (สัมประสิทธิ์ในสมการเฉลี่ย 4 ทิศ) กับ CR 43
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (สัมประสิทธิ์ในสมการแยกเป็น 4 ทิศทางการวางอาคารที่ต่างกัน) กับ CR..... 45
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (สัมประสิทธิ์ในสมการแยกเป็น 2 ทิศ) กับ CR.... 47
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ 2 ทิศ) กับ Cooling Energy..... 48
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ กับ Cooling Energy.....57
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ 4 ทิศ) กับ Cooling Energy (kWh/y)..... 58
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (เฉลี่ย 4 ทิศ)กับ Cooling Energy (kWh/y)..... 59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลังงานในอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษเพิ่มขึ้นมากในปัจจุบัน นับตั้งแต่ประเทศไทยเริ่มแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับแรกเป็นต้นมา เศรษฐกิจของประเทศไทยได้เจริญเติบโตเป็นลำดับ ความเจริญทางเศรษฐกิจก่อให้เกิดการขยายตัวของเมือง และการเพิ่มขึ้นของก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ อาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษในเมืองเป็นจำนวนมาก ทำให้การใช้ไฟฟ้าในอาคารภาคราชการและภาคการพาณิชย์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจำนวนอาคารและการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารดังกล่าวที่เพิ่มมากขึ้น

ปัจจุบันมีการกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร นับตั้งแต่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 กฎกระทรวง พ.ศ.2538 และ กฎกระทรวง พ.ศ. 2552 กำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร เพื่อให้ผู้ออกแบบใช้อ้างอิงในการออกแบบก่อสร้างและดัดแปลงอาคารให้เป็นไปตามกฎหมายได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพในอาคารควบคุม กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารควบคุมที่เป็นอาคารใหม่และอาคารเก่าซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ มาตรฐานการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในอาคารไม่รวมพื้นที่จอดรถยนต์ และมาตรฐานการปรับอากาศในอาคาร ดังนั้นการออกแบบและปรับปรุงอาคารที่เข้าข่ายอาคารควบคุมตามกฎหมายผู้ออกแบบต้องทำความเข้าใจและออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบกรอบอาคาร ให้เป็นไปตามกฎหมายเหล่านี้

งานวิจัยของ Chiraratananon (2553) เรื่อง “ Zero Energy Buildings in the Context of Thailand ” ในงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งระดับของประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร[1] (Energy Performance Level) ออกเป็น 5 ระดับ คือ Reference (REF) ระดับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน , Building Energy Code (BEC) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารตามกฎกระทรวงและมาตรฐานการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน , Higher Energy Performance Standard (HEPS) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารในระดับสูง , Economic (ECON) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารที่มีความคุ้มค่าในการลงทุน อาคารในระดับนี้มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ร่วมในอาคารมากขึ้น ซึ่งจะพบว่างานวิศวกรรมในบางระบบของอาคารมีค่า LCC อาจสูงกว่าอาคารในระดับ HEPS และ Zero Energy Building (ZEB) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานระดับสูงสุดในปัจจุบัน มีการใช้เทคโนโลยีการประหยัดพลังงานระดับสูง ประสิทธิภาพของงานระบบวิศวกรรม จะสูงกว่าอาคารในระดับ ECON และสามารถที่จะสร้างพลังงานขึ้นมาเองได้ ซึ่งในหลายประเทศได้มีการสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพในระดับนี้ขึ้นแล้ว (ตารางที่ 1.1)

---

[1] Chiraratananon, S., “ Zero Energy Buildings in the Context of Thailand”. เอกสารในงานสัมมนาแถลงผลโครงการส่งเสริมการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. ณ ห้องมัฆวานรังสรรค์ สโมสรทหารบก (วิภาวดีรังสิต) กรุงเทพฯ 21 กันยายน 2553.

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน (Chiraratananon, 2553)

System or Equipment	Reference	BEC	HEPS	ECON	ZEB
Building Envelope					
OTTV	61.4	50	30	20	15
RTTV	29.1	15	15	12	10
LCC of wall ($B.m^{-2}$ wall.Y^{-1})	288	274	252	230	?
Air-conditioning					
System COP ($kW.RFT^{-1}$)	2.21 (1.59)	3.13 (1.12)	3.64 (0.97)	4.42 (0.8)	6.30 (0.56)
LCC ($B.m^{-2}$ floor.Y^{-1})	321	304	291	296	?
Lighting					
LPD in air-conditioned area (Wm^{-2})	20	14	9	6	1
LCC ($B.m^{-2}$ floor.Y^{-1})	160	140	80	58	?
LPD in un-condtioned space (Wm^{-2})	10	8	6	4	1
Equipment					
EQD in air-conditioned area (Wm^{-2})	45	45	45	25	20
EQD in un-condtioned space (Wm^{-2})	10	10	10	5	4
Occupancy					
Load from occupant (Wm^{-2})	10	10	10	10	10
Ventilation ($l.m^{-2}.s^{-1}$)	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5
Night and off hours security					
Light (Wm^{-2})	2	2	2	1	1
Equipment (Wm^{-2})	1	1	1	0.8	0.8
Number of normal office hours	2340	2340	2340	2340	2340
Number of outside hours	6425	6425	6425	6425	6425
Building energy consumption ($kWh.m^{-2}.Y^{-1}$)	219	175	141	82	55
LCC of 3 systems	769	718	623	584	?

จากการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลางด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร (ศาณิส ยี่โถขาว, 2553) อาคารกรณีศึกษาซึ่งเป็นอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษมีค่า OTTV ประมาณ 28.68 W/m^2 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้มาก (ในกรณีอาคารใหม่ต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 50 W/m^2) และค่า RTTV ของอาคารกรณีศึกษามีค่าประมาณ 8.91 W/m^2 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนดเช่นกัน (RTTV ไม่เกิน 15 W/m^2) และ การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานระดับสูง (ตารางที่ 1.2) พบว่า แนวทางที่ 98 (อิฐมวลเบาครึ่งแผ่น+ช่องว่างอากาศ+อิฐมวลเบาครึ่งแผ่น+ฉาบเรียบทาสี+ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว+แผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 12 ม.ม. 2 ชั้น+กระจกเขียวตัดแสง, W42(Gr.)) มีค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร (OTTV) 16.60 W/m^2 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร 74.829 $kWh/ m^2.Y$ จากงานวิจัยนี้พบว่าการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ตามสูตรการคำนวณในกฎกระทรวง พ.ศ.2552 อาคารสำนักงานราชการที่มีลักษณะคล้ายกับอาคารกรณีศึกษาจะผ่านเกณฑ์ที่กำหนดตามกฎกระทรวง และไม่ต้องทำการปรับปรุงเปลือกอาคารและการใช้พลังงานรวมในอาคารแต่อย่างใด

งานวิจัยของ Chirarattananon และ Taveekun (2004) เรื่อง “ An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand“ รายงานอาคารสำนักงานต้นแบบ และรายละเอียดของอาคารที่จำลองสภาพพลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม DOE-2 เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และสมการพลังงานโดยอาศัยการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) ในแต่ละรอบการเปลี่ยนพารามิเตอร์จะได้ค่าภาระการทำความเย็นของ Cooling coil จาก DOE-2 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การคำนวณหาค่า TDeq ในสูตรการคำนวณ (1)

$$OTTV = (1-WWR)(TDeq)(Uw) +(WWR)(SF)(SC)+ (WWR)(\Delta T)(Uf) \quad (1)$$

เมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) จะสามารถหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริก (Parameterization) ได้แก่ TDeq, ΔT และ SF ในสมการ OTTV ของอาคาร 3 ประเภทโดยตารางเวลาการใช้งานของอาคารที่แตกต่างกัน ได้แก่ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรมและโรงพยาบาล สูตรการคำนวณค่า OTTV , RTTV ตามกฎกระทรวง ปี 2552 จะให้ผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังทิศต่างๆได้ และสามารถเชื่อมโยงกับพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศทำให้สามารถนำไปใช้คำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในสมการพลังงานรวมในอาคารได้ สูตรการคำนวณ OTTV ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ ค่า TDeq ให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของทิศทาง มวลของผนัง และประเภทอาคาร

เมื่อพิจารณาอาคารต้นแบบและรายละเอียดอาคารที่ใช้ในการออกกฎกระทรวงจากงานวิจัยของ Chirarattananon และ Taveekun (2004) ซึ่งมีผังพื้นอาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแบ่งโซนอาคารเป็น 4 โซนเหมือนกันทุกประการ จะเห็นว่ารูปแบบอาคารต้นแบบมีลักษณะเหมือนอาคารสำนักงานเอกชนขนาดใหญ่พิเศษที่สร้างกันโดยทั่วไป ซึ่งมีความแตกต่างกับลักษณะทางกายภาพของอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษส่วนใหญ่ซึ่งมีข้อจำกัดด้านงบประมาณการก่อสร้าง กรอบอาคารมักเป็นวัสดุที่มีราคาไม่สูง มักมีการยื่นกันสาดหรือระเบียงเพื่อติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและความสะดวกในการบำรุงรักษาอาคาร ลักษณะการออกแบบผังพื้นอาคารราชการมักมีพื้นที่ต่อชั้นขนาดใหญ่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อรองรับคนจำนวนมากตามลักษณะการแบ่งองค์กรภายใน และมีตารางเวลาการปิดเปิดระบบปรับอากาศที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานเอกชน ทำให้ค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารราชการแตกต่างจากการคำนวณตามกฎกระทรวงกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552

จากการคำนวณค่า OTTV, RTTV และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของศาลากลางจังหวัดซึ่งเป็นอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ พบว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงกำหนดมาก (ศาณิส ยี่โถขาว, 2553) จะเห็นว่าการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ตามสูตรการคำนวณที่กำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ.2552 ในอาคารสำนักงานราชการที่มีลักษณะคล้ายกับอาคารศาลากลางจังหวัดซึ่งแตกต่างจากอาคารสำนักงานเอกชน อาคารสำนักงานราชการจะผ่านเกณฑ์ที่กำหนดตามกฎกระทรวง และไม่ต้องทำการปรับปรุงเปลือกอาคาร ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า และการใช้พลังงานรวมในอาคารราชการในปัจจุบันแต่อย่างใด งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีขึ้นเพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ในสูตรการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) สำหรับอาคารราชการ ซึ่งเป็นการพัฒนาเกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบ และปรับปรุงอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าของอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาลักษณะการออกแบบอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการได้แก่ ทิศทางการวางอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร

1.2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ ทั้งปัจจัยภายนอก ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร (OTTV) ทิศทางการวางอาคาร และปัจจัยภายในอาคาร การใช้พลังงานไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า ความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร การระบายอากาศ การรั่วซึมของอากาศ และสมรรถนะของระบบปรับอากาศ

1.2.4 เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV) สำหรับอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษ และแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารเพื่อให้อาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ตามนโยบายภาครัฐ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ พื้นที่เกิน 10,000 ตารางเมตร สูงเกิน 23 เมตร ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้สมการการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ตามกฎกระทรวงกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552

1.3.2 สำรวจและประเมินข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่เกิดจากปัจจัยหลัก คือระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

1.3.3 ศึกษาระบบเปลือกอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร และนำเสนอแนวทางการปรับปรุงเฉพาะ วัสดุกรอบอาคาร ในส่วนของผนังทึบและช่องเปิด (หน้าต่าง) ของพื้นที่ที่มีระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษเท่านั้น

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงการจำลอง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษและอาคารกรณีศึกษา เพื่อสร้างอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง (Reference building) แล้วจำลองการใช้พลังงานของอาคารตัวแทนด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 และใช้การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และหาแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารราชการเพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป แบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กฎหมาย ระเบียบราชการ หลักเกณฑ์ในการออกแบบ และราคาค่าก่อสร้างของอาคารราชการ ที่มีผลต่อรูปแบบและการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.4.2 สำรวจอาคารกรณีศึกษา รวบรวมข้อมูลในเชิงกายภาพ การแบ่งพื้นที่ใช้สอย การใช้งานอาคาร แบบสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมงานระบบ รวบรวมปริมาณของหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่จำลองจาก Visual DOE 4.1

1.4.3 สร้างอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง จำลองการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงโดย Visual DOE 4.1 และใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา ใช้เป็นอาคารตัวแทนเพื่อพัฒนาสูตร OTTV

1.4.4 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) แล้วทำการจำลองอาคารต้นแบบด้วยการเปลี่ยนตัวแปรที่กำหนด เพื่อหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริกด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) , ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) และปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบ (ESR) เพื่อสร้างสมการ OTTV สำหรับอาคารราชการ

1.4.5 การวิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง สร้างทางเลือกการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ช่วยให้อาคารสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็น อันเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

1.4.6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ แนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารที่สร้างใหม่ หรือการปรับปรุงอาคารที่สร้างแล้ว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 แนวทางการออกแบบ ปรับปรุง อาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกับอาคารกรณีศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร

1.5.2 เสนอตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารราชการในปัจจุบัน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาวิจัย และการออกแบบอาคารสำนักงานราชการในอนาคต

1.5.3 กำหนดอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง เพื่อเป็นมาตรฐานในการกำหนดระดับประสิทธิภาพของอาคาร และพัฒนาเกณฑ์การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (OTTV) ของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

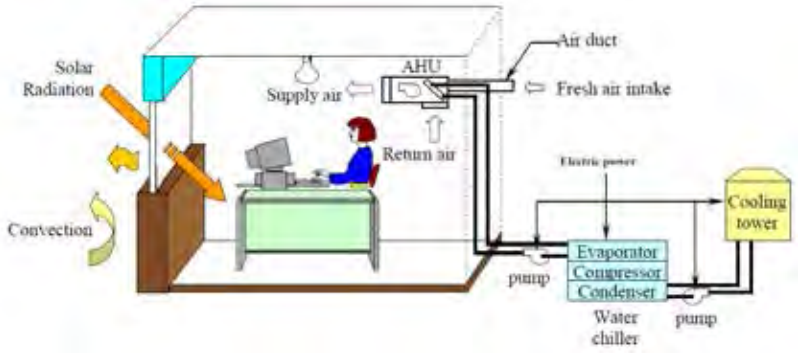
ในการศึกษาวิจัยเรื่องแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร คุณลักษณะของอาคาร สภาพภูมิอากาศของที่ตั้ง และข้อกำหนดสภาพแวดล้อมในอาคารที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร[1]

2.1.1 บริเวณที่มีการปรับอากาศ

การปรับอากาศในอาคารมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภาพแก่ผู้ใช้อาคาร กลไกการปรับอากาศประกอบด้วยการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ การกำหนดภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภาพแต่ไม่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานมากเกินความจำเป็นเป็นสิ่งสำคัญ

บริเวณที่ปรับอากาศในอาคารสำนักงาน ภาพที่ 2.1 จะเกิดภาระการปรับอากาศจากผู้ใช้งานทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงโดยการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน การระเหยของเหงื่อและการหายใจของผู้ใช้อาคาร ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และอุปกรณ์สำนักงานที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน พลังงานไฟฟ้านั้นในที่สุดจะกลายเป็นความร้อนแล้วทำให้อุณหภูมิอุปกรณ์สูงขึ้น สุดท้ายจะประกอบเป็นส่วนหนึ่งของภาระระบบปรับอากาศ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงยังสามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่างได้เพียง 25 %พลังงานส่วนใหญ่ถูกแปลงเป็นความร้อนและกลายเป็นภาระระบบปรับอากาศทั้งสิ้น



ภาพที่ 2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารที่มีการปรับอากาศ

(คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง, 2553: 12)

ภาระปรับอากาศจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารจะพบว่าเกิดจากรังสีอาทิตย์ และอากาศภายนอกที่ร้อนและชื้นยิ่งกว่าอากาศภายในอาคาร นอกจากรังสีอาทิตย์ส่งผ่านกระจกเข้าสู่อาคาร

---

[1] เรียบเรียงจาก คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง. พิมพ์ครั้งที่ 2 , 2553, หน้า 12-21.

โดยตรงซึ่งมีค่าประมาณ 250 วัตต์/ตารางเมตร ส่วนหนึ่งของรังสีจะถูกดูดกลืนโดยกระจกทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการพาและแผ่รังสีความร้อนจากผิวกระจกด้านในอาคาร รังสีอาทิตย์เมื่อผ่านกระจกเข้าอาคารแล้วกระทบกับผิววัตถุในอาคารจะถูกดูดกลืนโดยผิวของวัตถุนั้น ถึงแม้ว่าผิวของอาคารในส่วนนี้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและแผ่รังสีความร้อนได้แต่ความร้อนนี้จะแผ่ที่ช่วงคลื่นยาวและจะผ่านกระจกออกสู่ภายนอกไม่ได้ บริเวณที่ปรับอากาศและจำเป็นต้องใช้กระจกในส่วนหน้าต่างหรือประตูกันไม่ให้ลมเย็นรั่วออกหรือลมร้อนไหลเข้าจึงมีสภาพเป็นเรือนกระจก การใช้อุปกรณ์บังแดดสามารถบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ให้ตกกระทบผนังกระจกน้อยลง แต่มักจะบังรังสีกระจายจากท้องฟ้าไม่ได้มาก

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบ ส่วนหนึ่งจะสะท้อนออก พลังงานจากรังสีอาทิตย์ส่วนที่เหลือจะถูกดูดกลืนที่ผิวผนังด้านนอกกลายเป็นความร้อนและทำให้ผิวอาคารด้านนอกสูงขึ้น อุณหภูมิที่สูงด้านนอกจะเกิดการนำความร้อนสู่ผิวผนังด้านในอาคาร ความร้อนนี้จะถูกถ่ายเทโดยการพาและการแผ่รังสีสู่ภายในบริเวณปรับอากาศแล้วกลายเป็นภาระปรับอากาศในที่สุด รังสีอาทิตย์ที่ส่องกระทบผิวผนังทึบจะเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพิ่มขึ้นประมาณสามเท่าของผนังที่ไม่ได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรง ความร้อนที่ถูกถ่ายเทผ่านผนังโปร่งใสและผนังทึบสู่ภายในจะส่งผลเป็นภาระแก่คอยล์เย็นของระบบปรับอากาศ ภาระสะสมที่คอยล์เย็นได้รับในช่วงเวลาหนึ่งๆ เช่น 1 ปี แยกออกได้ดังนี้

ภาระสะสมของคอยล์เย็น = ภาระสะสมจากภายนอกอาคาร + ภาระสะสมจากภายในอาคาร (1)

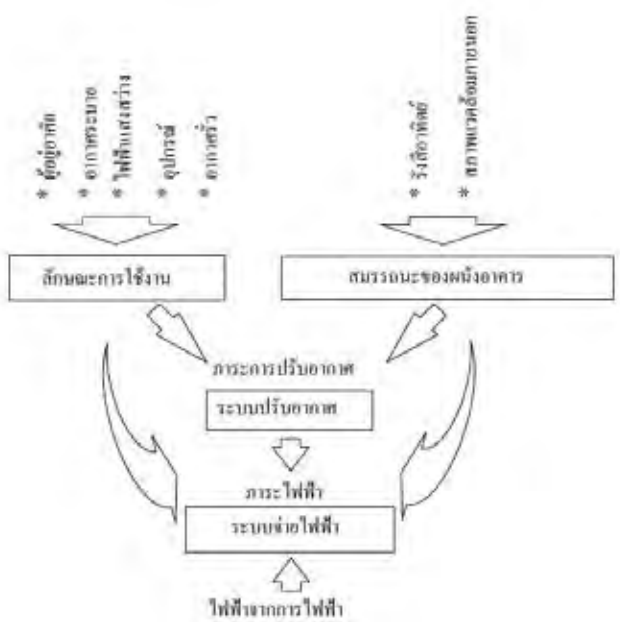
ค่าเฉลี่ยของภาระสะสมของคอยล์เย็นหาได้จากสมการ (2)

ภาระเฉลี่ยของคอยล์เย็น = ภาระเฉลี่ยจากภายนอกอาคาร + ภาระเฉลี่ยจากภายในอาคาร (2)

ภาระของคอยล์เย็นจะสะท้อนถึงการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในอาคารบริเวณที่มีการปรับอากาศ ภาพที่ 2.2 แสดงความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก และภายในอาคารที่รวมเป็นภาระปรับอากาศของอาคาร

2.1.2 บริเวณอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ

ในบริเวณอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า จากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และจากผู้ใช้อาคารในบริเวณนั้นจะระบายออกโดยธรรมชาติ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณที่ไม่ปรับอากาศประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยตรงจากอุปกรณ์ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยตรงเท่านั้น



ภาพที่ 2.2 ความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ส่งความร้อนผ่านกรอบอาคาร และความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง การระบายอากาศ การรั่วซึมของอากาศ ที่รวมเป็นภาระการปรับอากาศ

(คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง, 2553: 14)

2.2 การใช้พลังงานในอาคารที่มี รูปทรง ทิศทาง และผนังอาคารแตกต่างกัน [2]

2.2.1 รูปทรงอาคาร

อาคารที่มีรูปทรงสูงจะได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ผิวและต่อปริมาตรอาคารต่ำ ตารางที่ 2.1 เมื่อใช้อาคารทรงลูกเต๋า (กว้าง=ยาว=สูง)เป็นอาคารอ้างอิง อาคารทรงสูงได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์น้อยที่สุดโดยผิวอาคารได้รับรังสีอาทิตย์น้อยกว่าอาคารทรงลูกเต๋า 18 % เนื่องจากแนวโคจรของดวงอาทิตย์ทำให้พื้นที่ในแนวระนาบได้รับรังสีมากกว่าแนวอื่นตาม ตารางที่ 2.1 อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่วางด้านยาวหันไปทิศเหนือ-ใต้จะได้รับรังสีอาทิตย์สูงกว่าอาคารลูกเต๋า 9 % และอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่วางด้านยาวหันไปทางตะวันออก-ตะวันตกจะได้รับรังสีอาทิตย์สูงกว่าอาคารลูกเต๋า 13 % อุปกรณ์บังแดดแนวนอนมักไม่สามารถบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ให้ผนังที่หันไปทิศตะวันออก และตะวันตกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2 พื้นที่ผนังต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร

อาคารที่มีสัดส่วนของพื้นที่ผนังอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำ เช่น อาคารที่แปลนพื้นเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความกว้างและความยาวมากและมีที่พื้นที่ใช้สอยต่อชั้นมาก อาคารลักษณะนี้จะมีภาระการปรับอากาศอันเนื่องจากองค์ประกอบภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยอาคารต่ำ และได้รับผลการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกต่อพื้นที่อาคารน้อยกว่าอาคารรูปทรงอื่นที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน แต่อาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่ผนังอาคาร

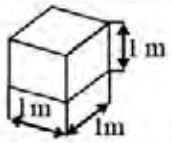
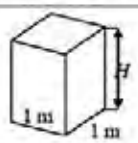
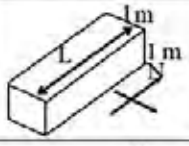
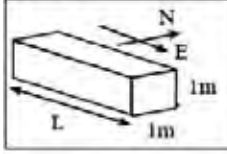
---

[2] เรื่องเดียวกัน, หน้า 14-16.

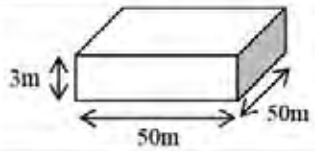
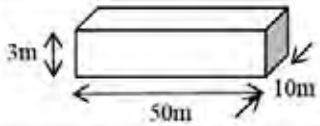
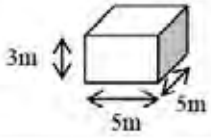
ต่อพื้นที่ใช้ต่ำมีข้อเสียในเรื่องการระบายความร้อนจากภายในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติได้ยาก และการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้น้อย

อาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่ผนังอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยสูงหรือรูปทรงแคบยาวหรือพื้นที่ใช้สอยต่อชั้นน้อยจะมีสัดส่วนการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยสูงด้วย ตามตาราง 2.2 แต่อาคารลักษณะนี้มีข้อดีเรื่องการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ผิวอาคารและต่อปริมาตรของอาคารรูปทรงต่างๆ
(คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง, 2553: 15)

รูปทรงอาคาร	ลักษณะ	มิติที่สำคัญ	ปริมาณรังสีอาทิตย์	
			ต่อพื้นที่ผิว วัตต์/ตร.ม. (Wm^{-2})	ต่อปริมาตร วัตต์/ลบ.ม. (Wm^{-3})
	ลูกเต๋า		242	1211
	สูง	ความสูง, H 5 10	 199 193	 836 789
	ยาว เหนือ-ใต้	ความยาว, L 5 10	 273 279	 927 891
	ยาว ออก-ตก	ความยาว, L 5 10	 265 269	 900 861

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนพื้นที่ผนังอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยต่อชั้นของอาคารรูปทรงต่างๆ
(คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง, 2553: 16)

รูปอาคาร	ลักษณะ	อัตราส่วนพื้นที่ผนังต่อพื้นที่ใช้สอย
	กว้างและยาว	0.24
	แคบและยาว	0.72
	แคบและสั้น	2.4

2.2.3 ผนังทึบ

สมรรถนะเชิงอุณหภาพของผนังทึบ คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (coefficient of heat transfer , U-value) ผนังที่มีค่า U ต่ำการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารน้อย ผนังที่มีค่า U สูงการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมาก เมื่อรังสีอาทิตย์ตกบนผนังทึบส่วนหนึ่งถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนไว้และสะสมในผนัง แหล่งความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบได้แก่ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

ศักยภาพในการหน่วงความร้อนของผนังแปรผันกับค่ามวลอุณหภาพของผนัง (thermal mass ,kJ/m^2-K) ซึ่งเป็นผลคูณของความหนาผนัง(thickness ,m.)ความหนาแน่น (density , kg./m^3) และความจุความร้อนของวัสดุ (specific heat , kJ/kg-K) ผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงจะคายความร้อนสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบในเวลากลางคืนและมีความเย็นสะสมในผนัง ซึ่งผนังดังกล่าวจะสามารถหน่วงการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเวลาเช้าของอาคารที่มีการปรับอากาศที่เปิดใช้งานในช่วงเช้าและสามารถทำให้ภาระการปรับอากาศลดลงได้ แต่ในช่วงบ่ายบริเวณอาคารนั้นจะได้รับความร้อนจากผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงดูดซับ และสะสมความร้อนตั้งแต่เช้า

สีของผนังทึบภายนอกอาคารมีผลต่อการดูดกลืนรังสีอาทิตย์และการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ผนังสีอ่อนดูดกลืนรังสีอาทิตย์น้อยกว่าผนังสีเข้ม ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ใช้กันมีค่าระหว่าง 0.3 ถึง0.8

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ที่ใช้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) ในกฎกระทวงกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552 ตามตารางที่ 2.4 สามารถเปรียบเทียบศักยภาพของ OTTV ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนัง และค่ามวลอุณหภาพที่แตกต่างกันได้

ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังทึบ เป็นผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านผนังทึบ (U-value) และค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังนั้น การเลือกผนังที่มีค่า U-value ต่ำจะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ไม่ว่าผนังทึบนั้นๆจะกันสู่ทิศทางและมีช่วงเวลาการใช้งานใด

ฉนวนเป็นวัสดุที่มีค่า U-value ต่ำ การใช้ฉนวนกับเปลือกอาคารจะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลง ผนังหรือหลังคาที่ติดตั้งฉนวนอาจมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเหลือ 0.3 -1 W/m^2-K ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาฉนวนที่ใช้ อาคารปรับอากาศในไทยซึ่งมีอุณหภูมิอากาศและปริมาณรังสีอาทิตย์สูง การใช้ฉนวนกับหลังคาของอาคารที่ปรับอากาศมีความคุ้มทุนสูง

ตารางที่ 2.3 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังด้านทิศใต้ ของอาคารสำนักงาน อาคารสรรพสินค้า และ อาคารโรงแรมและโรงพยาบาล ที่มีช่วงเวลาใช้งานแตกต่างกัน ค่าในตารางแปรผันตามค่ามวลอุณหภาพและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนัง

(คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง, 2553: 19)

ค่ามวลอุณหภาพ, กิโลจูลต่อตร.ม.-เคลวิน ($kJ.m^{-2}.K$)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์				
	0.3	0.5	0.7	0.9	
อาคารสำนักงาน					
15	13.0	18.0	22.9	27.8	↓
30	12.7	17.5	22.3	27.1	
50	12.2	16.9	21.6	26.3	
100	11.1	15.6	20.1	24.6	
200	9.7	13.7	17.8	21.9	
300	8.9	12.7	16.5	20.3	
400	8.6	12.2	15.9	19.5	
อาคารสรรพสินค้า					
15	9.8	13.1	16.4	19.7	↑↓
30	9.9	13.3	16.6	20.0	
50	10.0	13.4	16.9	20.3	
100	10.1	13.7	17.2	20.8	
200	9.8	13.3	16.9	20.4	
300	9.1	12.5	15.9	19.3	
400	8.5	11.8	15.0	18.3	
อาคารโรงแรมและอาคารโรงพยาบาล					
15	5.6	7.7	9.7	11.8	↑
30	5.6	7.7	9.8	11.8	
50	5.7	7.7	8.9	11.9	
100	5.7	7.8	9.9	12.0	
200	5.8	8.0	10.1	12.3	
300	5.9	8.1	10.3	12.5	
400	5.9	8.2	10.4	12.6	

2.2.4 กระจก

หน้าต่างกระจกทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้มาก โดยทั่วไปความร้อนซึ่งรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ถ่ายเทผ่านกระจก(ผนังโปร่งแสง)เข้าสู่อาคารต่อหน่วยพื้นที่มีปริมาณประมาณ 5 เท่าของผนังทึบทั่วไป กระจกช่วยให้อาคารได้ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ และผู้อยู่ในอาคารได้รับทัศนียภาพภายนอกอาคาร ไม่รู้สึกอึดอัด กระจกใสให้แสงผ่านได้สูงประมาณ 88%และทำให้ความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารมากควรใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด กระจกสีหรือกระจกดูดกลืนความร้อน (heat absorbing glass)ส่วนใหญ่ยกเว้นสีเขียวจะลดทอนรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านทุกช่วงความยาวคลื่น กระจกสีเขียวมีคุณสมบัติการส่งผ่าน (transmit) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible electromagnetic radiation) ได้มากกว่าช่วงรังสีแสด(infrared radiation) ที่ประกอบอยู่ในรังสีอาทิตย์ กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-e glass)เป็นกระจกที่เคลือบโลหะเงินเพื่อให้ได้ผิวที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ กระจกชนิดนี้มีค่าแสงส่งผ่านมาก ค่าการสะท้อนแสงน้อย และมีค่าการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำ กระจกฉนวนกันความร้อน (insulated glass) เป็นกระจก 2 ชั้น มีค่าการแผ่รังสีความร้อนต่ำและป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายนอกและภายในอาคารได้ดี

ดัชนีสมรรถนะเชิงอุณหภาพ (thermal performance) ของกระจกที่สำคัญ มีดังนี้

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกระจกโดยการนำความร้อนเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวนอกของกระจก

- สัมประสิทธิ์การรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient ,SHGC) แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกระจกเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบ ค่า SHGC เป็นผลรวมของค่าการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ (solar transmittance) และค่าความร้อนจากกระจกดูดกลืนรังสีอาทิตย์แล้วส่งผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร

- ค่าสัดส่วนสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงต่อสัมประสิทธิ์การรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (ratio of visible transmittance to solar heat gain coefficient , Tv/SHGC) สัดส่วนของแสงสว่างในรังสีอาทิตย์ที่กระจกส่งผ่านต่อค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่กระจกส่งผ่าน ถ้ากระจกมีค่า Tv/SHGC มากกว่า 1 แสดงว่าแสงสว่างผ่านได้มากกว่าความร้อนและเหมาะสมกับการใช้งานแสงธรรมชาติเพื่อส่องสว่างในอาคาร กระจกสีเขียวหรือสีน้ำเงิน (บางชนิด) และกระจกที่ฉาบสารลดการแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าสัดส่วนนี้สูง เหมาะที่จะใช้ในบริเวณอาคารที่ต้องการใช้แสงธรรมชาติส่องสว่าง

2.2.5 อุปกรณ์บังแดด

แบ่งเป็น 2 ประเภทตามตำแหน่งของอุปกรณ์ ได้แก่อุปกรณ์บังแดดภายในอาคาร และอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารซึ่งป้องกันรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่า อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน (horizontal shading device) ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใช้กับผนังอาคารด้านทิศเหนือและทิศใต้ อุปกรณ์บังแดดในแนวตั้ง (vertical shading device) ให้ผลดีเมื่อใช้กับผนังอาคารด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

2.2.6 การรั่วซึมของอากาศ

อากาศที่รั่วซึมเข้า-ออกจากห้องที่มีการปรับอากาศมีผลต่อภาระการปรับอากาศ ไม่แตกต่างจากภาระการปรับอากาศที่เกิดจากอากาศที่ระบาย (ventilation air) ในบริเวณปรับอากาศ

2.3 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร [3]

ประเทศต่างๆส่วนใหญ่บังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานกับอาคารใหม่ อาคารและระบบในอาคารต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานฯจึงได้รับอนุญาตให้ก่อสร้าง ในหลายประเทศ (เช่น สิงคโปร์ ฮ่องกง) ดัชนีมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานไม่สัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพลังงานรวมที่อาคารใช้ สำหรับสหรัฐอเมริกาและประเทศไทยดัชนีของมาตรฐานฯสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพลังงานที่อาคารใช้ จึงมีเกณฑ์ของ Whole building compliance

ประเทศส่วนใหญ่ไม่บังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานฯกับอาคารที่มีอยู่แล้วหรือใช้งานแล้ว แต่จะใช้วิธีติดฉลากอาคารแทน เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคารที่มีใช้ในประเทศต่างๆมักมีส่วนประกอบของเกณฑ์หรือข้อกำหนดคล้ายคลึงกัน ข้อกำหนดเกี่ยวกับอาคารในเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของ

---

[3] เรื่องเดียวกัน, หน้า 30.

อาคาร มักประกอบด้วยข้อกำหนดเกี่ยวกับ กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องจักรในอาคาร และระบบปรับอากาศ

2.3.1 กรอบอาคาร

ประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เช่น สิงคโปร์ ฮ่องกง และประเทศไทย กรอบอาคารควรมีความสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากรังสีตรงดวงอาทิตย์ และควรมีอุปกรณ์บังแดดบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งจะช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากแสงกระจายในท้องฟ้าส่องสว่างภายในอาคารด้วย ดัชนีที่วัดสมรรถนะอุณหภาพ (thermal performance) ของกรอบอาคารในประเทศไทย และฮ่องกง ใช้ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) ในประเทศสิงคโปร์ใช้ Effective Thermal Transfer Value (ETTV) ซึ่งดัชนีทั้งสองมีความคล้ายกัน ส่วนดัชนีที่ใช้บ่งชี้ประสิทธิภาพในการบังแดดคือสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

2.3.2 ระบบปรับอากาศ

เป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุดของอาคาร ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศมีผลสำคัญต่อการใช้พลังงานรวมของอาคาร ระบบปรับอากาศประกอบด้วยระบบทำความเย็นให้อากาศ ระบบทำความร้อนอากาศ ระบบควบคุมความชื้นอากาศ ระบบระบายอากาศ ระบบจ่ายน้ำร้อนหรือน้ำเย็น และระบบจ่ายอากาศร้อนหรือเย็น ระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุดคือระบบทำความเย็นหรือระบบทำความร้อน

ระบบทำความเย็นในอาคารมีสองระบบหลัก อาคารขนาดใหญ่มักใช้ระบบผลิตน้ำเย็นและจ่ายน้ำเย็น มีการกำหนดค่าขั้นต่ำของสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็น (Coefficient of Performance-COP) และมักกำหนดประสิทธิภาพส่วนประกอบอื่นในระบบด้วย อาคารขนาดเล็กมักใช้ระบบที่จ่ายน้ำยาทำความเย็น (Refrigerant) โดยตรงไปสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอากาศ ระบบนี้เรียกโดยรวมว่าระบบขยายตัวโดยตรง (Direct Expansion-DX system) มักมีการกำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของทั้งระบบ

2.3.3 ระบบแสงสว่าง

ประสิทธิภาพระบบแสงสว่างมักใช้วิธีกำหนดค่าขั้นสูงของกำลังไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในแต่ละประเภทของพื้นที่ใช้สอย หรือของทั้งอาคารโดยรวม ในบางแห่งมีการกำหนดค่าขั้นต่ำของประสิทธิภาพการให้แสงของหลอดไฟที่ที่ให้ใช้ได้ ดัชนีประสิทธิภาพการให้แสงของหลอดไฟคือ efficiency ซึ่งมีหน่วยเป็น ปริมาณฟลักซ์ของแสงต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ (lumen/Watt หรือ lm/W)

2.3.4 อุปกรณ์ เครื่องจักร และระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอาคาร

หลายประเทศมีข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องจักรเช่น ลิฟต์ และบันไดเลื่อน ในบางประเทศมีข้อกำหนดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร คอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ ข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้มอเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง และการออกแบบระบบไฟฟ้าที่จำกัดค่าแรงดันตกที่ชุดจ่ายไฟฟ้าแก่อุปกรณ์

2.4 วิธีการกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร [4]

2.4.1 Prescriptive

Prescriptive เป็นวิธีกำหนดรายละเอียดมาตรฐานของแต่ละองค์ประกอบของอาคารและระบบอย่างชัดเจน เช่น การกำหนดให้ใช้ฉนวนใยแก้ว ความหนาไม่น้อยกว่า 8 นิ้วที่หลังคาอาคาร หรือการกำหนดในงานระบบปรับอากาศว่าเครื่องทำความเย็นต้องใช้คอมเพรสเซอร์แบบหอยโข่งใน และมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นไม่ต่ำกว่า 5 เป็นต้น วิธีการกำหนดสามารถเข้าใจและปฏิบัติตามมาตรฐานได้ง่าย ใช้ในการกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพยุคแรกๆ แต่การกำหนดมาตรฐานแบบ Prescriptive ขาดความยืดหยุ่นและความหลากหลายในการใช้งาน เมื่อมีการผลิตวัสดุฉนวนใหม่ๆขึ้นข้อกำหนดจะต้องผ่อนผันให้ใช้วัสดุฉนวนอื่นๆที่มีคุณสมบัติและความหนาที่แตกต่างไป ในปัจจุบันมักจะกำหนดค่าขั้นสูงของ U-value ของกรอบอาคารให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นแต่ยังนับว่าเป็นการกำหนดค่าตายตัวแบบ Prescriptive

2.4.2 Trade-off

การกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพวิธีนี้อนุญาตให้มีการชดเชยข้ามระบบกัน และมักใช้ร่วมกับวิธี Prescription เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นมากขึ้น เช่น การกำหนดค่า U-value ของผนังทึบต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 W/m^2-K เมื่อค่า WWR ไม่เกิน 0.3 แต่ถ้าค่า WWR มีค่า 0.2 ค่า U-value ของผนังทึบสามารถเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 W/m^2-K ได้

2.4.3 System Performance

วิธีนี้เป็นการกำหนดสมรรถนะของระบบต่างๆ ให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ส่วนประกอบของระบบได้เอง เช่น ในมาตรฐานประสิทธิภาพตามกฎหมายของไทยที่กำหนดค่า OTTV ของอาคารสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ชนิดและความหนาของผนังทึบ ชนิดของกระจก สัดส่วน WWR ได้เอง แต่ผลการถ่ายเทความร้อนรวมที่คำนวณตามวิธีที่กำหนดในกฎหมายต้องมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนด

2.4.4 Whole Building Performance

หลักการของวิธีนี้คือการกำหนดสมรรถนะประสิทธิภาพพลังงานของทั้งอาคาร แต่ในทางปฏิบัติมีการใช้งานที่แตกต่างกันไปในแต่ละมาตรฐาน ตามกฎหมายประเทศไทยมีการกำหนดประสิทธิภาพพลังงานของแต่ละระบบ ถ้าระบบใดของอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของระบบนั้นๆ ผู้ออกแบบสามารถสามารถกำหนดอาคารอ้างอิงที่มีลักษณะเหมือนกับอาคารที่ขออนุญาตก่อสร้าง แต่ทุกระบบของอาคารอ้างอิงต้องมีสมรรถนะตามที่กฎหมายกำหนด ถ้าผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารอ้างอิงสูงกว่าค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ขออนุญาตก่อสร้างจะถือว่าอาคารที่ขออนุญาตผ่านเกณฑ์ด้านการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดตามกฎหมาย

---

[4] เรื่องเดียวกัน, หน้า 32.

2.5 การใช้พลังงานโดยรวมในอาคาร (Whole Building Energy) [5]

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมของอาคารแบ่งออกได้เป็น

2.5.1 ปัจจัยจากองค์ประกอบภายนอกอาคาร (external factors)

เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งมีรังสีอาทิตย์เป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนความร้อนผ่านกรอบอาคารที่มีผลต่อภาระเฉลี่ยของคอยล์เย็น (cooling coil load) การถ่ายเทความผ่านกรอบอาคาร (ผนังและหลังคาของอาคาร) แบ่งออกเป็น การนำความร้อนผ่านผนังทึบภายนอกอาคาร การนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง การนำความร้อนผ่านหลังคาทึบ การนำและการแผ่รังสีความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง

(ก) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) คำนวณได้จากสมการ

$$OTTV_i = (Uw)(1\text{-}WWR)(TDeq)+(Uf)(WWR)(\Delta T)+(WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3)$$

เมื่อ $OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

Uw คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2.^oC$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (^oC)

Uf คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ($W/m^2.^oC$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (^oC)

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (W/m^2)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกัน สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \ldots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \ldots\ldots\ldots + A_{wi}} \quad (4)$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง(m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา (W/m^2) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3)

(ข) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คำนวณได้จากสมการ (5) และ (6) ซึ่งมีลักษณะการคำนวณเช่นเดียวกับค่า OTTV

$$RTTV_i = (Uw)(1\text{-}SSR)(TDeq)+(Uf)(SSR)(\Delta T)+(SSR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (5)$$

---

[5] เรียบเรียงจาก สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT), รายงานฉบับสุดท้ายโครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรกฎาคม 2547, หน้า 65-80.

$$RTTV = \frac{(A_{w1})(RTTV_1) + (A_{w2})(RTTV_2) + \ldots + (A_{wi})(RTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \ldots\ldots\ldots + A_{wi}} \quad (6)$$

2.5.2 ปัจจัยจากองค์ประกอบภายในอาคาร (internal factors)

เกิดจากภาระความร้อนที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง (lighting) อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า(equipment) ผู้อยู่อาศัย (occupancy) การระบายอากาศ (ventilation) และอากาศที่รั่วซึม (infiltration) ที่มีผลต่อภาระเฉลี่ยของคอยล์เย็น(cooling coil load)

2.5.3 ปัจจัยจากการใช้ไฟฟ้าโดยตรง

ได้แก่การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า และการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ เช่น เครื่องทำน้ำเย็น ระบบระบายความร้อน ระบบจ่ายน้ำเย็น และระบบส่งลมเย็น ซึ่งมีการกำหนดสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ระบบปรับอากาศในกฎกระทรวงกระทรวงพลังงาน 2552

จากปัจจัยข้างต้น สมการการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎกระทรวงกระทรวงพลังงาน 2552 คือ

$$E_{pa} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] n_h + \sum_{i=1}^{n} A_i(LPD_i + EQD_i) n_h$$

- PVE (7)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

งานวิจัยเรื่อง “An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand” รายงานถึงอาคารสำนักงานต้นแบบ (Chirarattananon และ Taveekun, 2004) ซึ่งมีผังพื้นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 40x40 เมตร สูง 12 ชั้น รูปด้านอาคารภายนอกทุกด้านเหมือนกัน ปรับอากาศในโซนที่ติดภายนอกอาคาร โซนภายในอาคาร(core)ไม่ปรับอากาศ ไม่มีไฟฟ้าส่องสว่างและการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เน้นการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารที่มีผลกับค่า OTTV การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาถูกลดผลกระทบโดยกำหนดค่า absorptance =0.005 และค่า U-value=0.676 (ภาพที่ 2.3) และรายละเอียดของอาคารที่จำลองสภาพพลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม DOE-2 (ตารางที่ 2.4) มีการกำหนดตารางการใช้อาคารที่แตกต่างกัน 3 ตาราง ของอาคารสำนักงาน (8.00-17.00, 5วันต่อสัปดาห์) โรงแรมและโรงพยาบาล (24 ชั่วโมงใช้งานทุกวัน) และห้างสรรพสินค้า (10.00-21.00 ใช้งานทุกวัน) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และสมการพลังงาน ของอาคารที่มีตารางการใช้งานต่างกัน 3 ประเภท โดยอาศัยการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) ในแต่ละรอบการเปลี่ยนพารามิเตอร์จะได้ค่าภาระการทำความเย็นของ Cooling coil จาก DOE-2

เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริกของ TDeq , ΔT และ ESR ในสมการOTTV (สมการ 8) หรือการคำนวณหาค่า TDeq ในสูตรการคำนวณ

$$OTTV = (Uw)(1-WWR)(TDeq)+(Uf)(WWR)(\Delta T)+(WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (8)$$

ในกรณีนี้จะให้ค่า Uw เป็นพารามิเตอร์ที่จะแปรเปลี่ยน ในขณะที่พารามิเตอร์อื่นจะให้มีค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างคู่ลำดับของค่า OTTV ซึ่งเป็นค่า Cooling coil load และค่า Uw ซึ่งเมื่อไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) จะสามารถหาค่า TDeq ได้ตามต้องการ สูตรการคำนวณค่า OTTV , RTTV ในสมการพลังงานตามกฎกระทรวง ปี 2552 จะให้ผลการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังทิศต่างๆได้ และสามารถเชื่อมโยงกับพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ และให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติวัสดุ ทิศทาง และมุมเอียงของผนัง และหลังคาของอาคาร ค่า OTTV ตามสูตรที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ ค่า TDeq ให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของทิศทาง มวลของผนัง และประเภทอาคารที่มีตารางการใช้งานช่วงเวลาแตกต่างกัน 3 ช่วงเวลาได้

ตารางที่ 2.4 : รายละเอียดอาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร OTTV และสมการพลังงาน โดยการจำลองอาคารเพื่อหาค่าพลังงานในโปรแกรม DOE-2

(Chirarattananon และ Taveekun, 2004)

Details of the generic building model

Item	Values
Number of stories	12
Total area of opaque walls (m^2)	4.053
Total area of glazings (m^2)	3.184
Total area of roof (m^2)	1.421
Total area of floors (m^2)	14.172
Ratio of wall area to floor area	0.51
Ratio of window area to wall area, WWR	0.44
Shading coefficient of glazing, SC	0.64
Overall coefficient of heat transfer for wall, U_w ($Wm^{-2}K^{-1}$)	2.957
Overall coefficient of heat transfer for roof, U_r ($Wm^{-2}K^{-1}$)	0.676
Solar absorptance of wall surface, α_w	0.5
Solar absorptance of roof surface, α_r	0.005
Annual average OTTV (Wm^{-2})	80.41
Air handling system	CAV[a]
Lighting power density,(Wm^{-2})	13.18
Equipment power density (Wm^{-2})	12.88
Interior temperature, T_i (°C)	25
Number of occupants[b] per 100 m^2	7
Number of zones in DOE-2 simulation	2
Zone 1	Floor 1–12
Zone 2	Core
Schedules	
(1) Office 5 days per week (h)	8.00–17.00
(2) Hotel and hospital 7 days per week (h)	0.00–24.00
(3) Department store 7 days a week (h)	10.00–21.00

[a] CAV stands for constant air volume system.
[b] Sensible and latent heat gains per occupant used are 73 and 59 W, respectively.

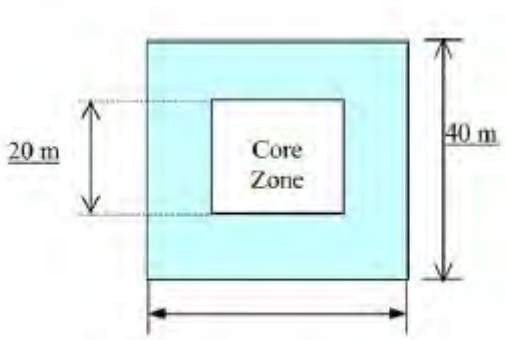


Fig. 4. A generic building model.

ภาพที่ 2.3 อาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร OTTV และสมการพลังงาน (Chirarattananon และ Taveekun, 2004)

สมการใช้ในการพัฒนาหาสมการการพลังงานรวมในอาคาร ได้แก่

Cooling coil load over a period or cooling requirement (CR)

= external factors of heat gain through building envelope

+ thermal storage load of envelope

+ internal factors (lighting, equipment, occupants, ventilation and air leakage or infiltration)

+ thermal storage of finite masses of wall , floor and furniture(internal mass) (9)

จากสมการ (9) ทำให้สามารถคำนวณพลังงานที่ใช้รายปี (Annual energy use) สมการ (10)

Energy use during a period

$$= \frac{\text{Cooling requirement (CR) during the period}}{\text{COP}}$$

+ direct energy use lighting and equipment (10)

เนื่องจากค่า OTTV ในสูตรใหม่ถูกพัฒนาเพื่อใช้เป็นตัวเลขแสดงค่าภาระความร้อนที่ประเมินที่คอยล์เย็นของระบบปรับอากาศ (Cooling coil load) ซึ่งค่าOTTV เป็นส่วนหนึ่งของ Cooling requirement (CR) ในสมการที่ (11)

$$CR = (OTTV) + C_1(LPD) + C_1(LPD) + C_2(EPD) + C_3(VENT) + C_4(OCCU) + Storage \quad (11)$$

แทนค่า CR ในสมการ (11) และแทนค่าพลังงานที่ใช้รายปีโดยตรงจาก lighting และ equipment โดยหาได้จากพื้นที่ใช้งาน และชั่วโมงที่ใช้งาน ดังนั้น สมการการใช้พลังงานที่รายปีในสมการ (12) คือ

$$Energy\ consumption = \left(\frac{(OTTV)(Aw/Af) + C1(LPD) + C2(EPD) + C3(VENT) + C4(OCCU) + Storage}{COP} + LPD + EPD \right) \times area\ of\ floor \times working\ hour \quad (12)$$

เมื่อ Energy consumption คือ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้รายปี (kW /year)

CR คือ ความต้องการความเย็นต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (W/m^2-wall)

Aw/Af คือ สัดส่วนพื้นที่ผนังอาคาร (m^2-wall) ต่อพื้นที่ปรับอากาศ (m^2-floor)

COP คือ สมรรถนะของระบบปรับอากาศ

LPD คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

EPD คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

VENT คือ ปริมาณอากาศที่ระบายและอากาศรั่วซึม (l/s)

OCCU คือ จำนวนผู้อยู่อาศัยเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ (คนต่อตารางเมตร)

Storage คือ ภาระปรับอากาศเนื่องจากความร้อนสะสม (W/m^2)

C_1, C_2, C_3, C_4 คือ สัมประสิทธิ์ภาระความร้อนจาก ไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้ใช้อาคาร และปริมาณอากาศระบาย ตามลำดับ

working hour คือ จำนวนชั่วโมงใช้งานเครื่องปรับอากาศ (ชั่วโมง)

ประเทศสิงคโปร์มีการกำหนดค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value) ของกรอบอาคารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 กำหนดค่า OTTV ต้องไม่เกิน 45 W/m^2 สำหรับอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัยและมีการปรับอากาศ ต่อมาได้ปรับปรุงแก้ไขสูตรการคำนวณค่า OTTV ใหม่ในปี ค.ศ.2000 ในงานวิจัยของ Chua และ Chou (2010) ได้พัฒนาความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการการถ่ายเทความร้อนรวม ETTV และสมการพลังงานรวม (E_C) ซึ่งมีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่า เรียกชื่อใหม่ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของสิงคโปร์ $ETTV_{sg}$ (Envelope Thermal Transfer Value) ซึ่งใช้กับอาคารพาณิชย์ซึ่งปรับอากาศและใช้งานในเวลากลางวัน โดยใช้วิธีจำลองด้วยโปรแกรม DOE-2.1 อาคารต้นแบบ ภาพที่ 2.4 เป็นอาคารสำนักงานมีผังพื้นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สูง 12 ชั้น ขนาด 50 x 50 เมตร WWR = 0.40 อาคารในแต่ละชั้นมี 5 โซนที่ปรับอากาศ และ core อาคารขนาด 20 x 20 เมตรไม่ปรับอากาศ ค่า COP=4.5 ตั้งอุณหภูมิภายใน 25 °C รูปด้านของอาคารหันไปทางทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก รายละเอียดของอาคารตามตารางที่ 2.5 เพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการเดิม และพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศ (E_C) ผลจากการวิจัยพบว่าค่าพลังงานรวมที่ใช้กับระบบปรับอากาศที่ได้จากการจำลองอาคาร (simulated Ec) ด้วยข้อมูลอากาศเฉพาะวัน (design-day weather file) กับค่าที่ได้จากใช้สมการ (estimated Ec) มีความคลาดเคลื่อน ± 7.2% ค่าสมการคำนวณค่า $ETTV_{sg}$ ประกอบด้วย 3 เทอมดังนี้ ค่าการนำความร้อนผ่านผนังทึบ (Heat conduction through opaque walls) ค่าการนำความร้อนผ่านกระจก (Heat conduction through glass windows) และค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar radiation through glass windows) ข้อกำหนดของสิงคโปร์กำหนดให้ค่า $ETTV_{sg}$ ต้องไม่เกิน 50 W/m^2 โดยคำนวณได้จากสมการ

$$ETTV_{sg} = 11.88(1\text{-}WWR)U_w + 3.39\,(WWR)U_f + 210.92(WWR)(CF)(SC) \quad (13)$$

โดย CF คือ ค่าการปรับแก้เนื่องจากความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก (solar correction factor)

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

ดัชนีตามสมการ (13) ประกอบด้วย 3 เทอม แต่ละเทอมแทนค่าของผลของกลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารดังนี้

- ค่าการนำความร้อนผ่านผนังทึบ (Heat conduction through opaque walls)

$$\mathrm{TD_{eq}}(1-\mathrm{WWR})(U_w)=\frac{\sum_{1\,\mathrm{year}}Q_{\mathrm{wall,cond}}}{\text{total no. of operating hours}\times A} \tag{14}$$

- ค่าการนำความร้อนผ่านกระจก (Heat conduction through glass windows)

$$\Delta T(\mathrm{WWR})(U_f)=\frac{\sum_{1\,\mathrm{year}}Q_{\mathrm{win,cond}}}{\text{total no. of operating hours}\times A} \tag{15}$$

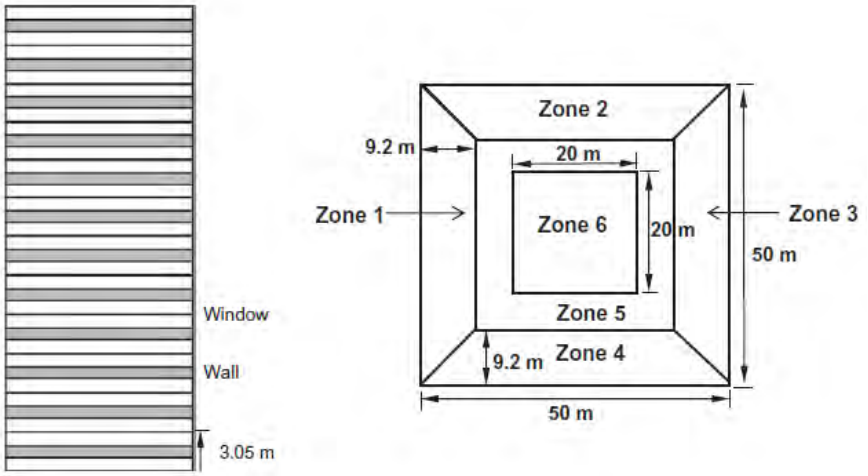
- ค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar radiation through glass windows)

$$\mathrm{SF(WWR)(SC)}=\frac{\sum_{1\,\mathrm{year}}Q_{\mathrm{win,rad}}}{\text{total no. of operating hours}\times A} \tag{16}$$

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดอาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร ETTVsg และสมการการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศ (Ec) โดยการจำลองอาคารโปรแกรม DOE-2 (Chua และ Chou, 2010)

Description of reference office building.

	Office block
Material	Walls External: 50 cm concrete, 2.0 cm air layers, 0.8 cm Spandrel glass on exterior, U = 1.49 W/m^2 K Interior: 1.59 cm gypsum board, 10 cm air layer, 1.59 cm gypsum board, Total R = 0.458 m^{2}K/W Roof 1.25 cm roof gravel, 0.95 cm built up roofing, R5 Polystyrene insulation, 15.2 cm concrete, 10.2 cm Air layer, 1.3 cm acoustic tile, R_{opaque} = 1.585 m^2 K/W, $R_{skylight}$ = 1 m^2 K/W Floors 15.2 cm concrete floors, Total R = 0.236 m^2 K/W
Solar Walls: 0.45	absorptivity
	Roof: 0.30
Windows	Window-to-wall ratio = 0.61 Shading coefficient = 0.4 Glass conductance = 0.59 W/m^2 K (double glazing) Infiltration = 0.6 air changes per hour when fans Are off
	Heat of light-to-space ratio = 0.8
Systems	Outside air = 7.5 cfm/person Cooling setpoint = 25 °C Night setback = 37 °C Economizer = none Chiller COP = 4.5 Occupant load = 117.23 W/person Maximum number of people = 2520
Power density	Lighting power = 20.44 W/m^2 in occupied space Receptacle power density = 5 W/m^2



ภาพที่ 2.4 : อาคารสำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร $ETTV_{sg}$ และสมการการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศ (E_c) (Chua และ Chou, 2010)

Roof Thermal Transfer Value (RTTV)

ดัชนีนี้ประกอบด้วย 3 เทอม แต่ละเทอมแทนค่าของผลของกลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาดังนี้

- ค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาทึบ (Heat conduction through opaque roofs)
- ค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง (Heat conduction through skylight)
- ค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านหลังคาโปร่งแสง (Solar radiation through skylight)

ข้อกำหนดของสิงคโปร์กำหนดให้ค่า RTTV ต้องไม่เกิน 50 W/m^2 โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$RTTV = 12.5(1-SKR)U_r + 4.8\,(SKR)U_s + 485(SKR)(CF)(SC) \quad (17)$$

โดย SKR คือ ค่าอัตราส่วนของพื้นที่หลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่หลังคาทั้งหมด

Ur คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของหลังคาทึบ (W/m^2 K)

Us คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของหลังคาโปร่งแสง (W/m^2 K)

CF คือ ค่าการปรับแก้เนื่องจากความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

ในงานวิจัยของ Chua และ .Chou (2010) ได้พัฒนาดัชนีประสิทธิภาพของผนังอาคารพักอาศัยโดยอาศัยหลักการของ ETTV เนื่องจากค่า ETTV ที่บังคับใช้ในประเทศสิงค์โปรเป็นค่าดัชนีที่ใช้กับอาคารพาณิชย์ที่มีการปรับอากาศ และใช้งานในเวลากลางวัน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำค่า ETTV มาบังคับใช้กับอาคารที่พักอาศัย (residential buildings) ซึ่งการออกแบบในสมัยก่อนเน้นให้ระบายอากาศโดยธรรมชาติ แต่ปรากฏว่าอาคารที่พักอาศัยที่มีการใช้งานในเวลากลางคืนมีการติดตั้งระบบปรับอากาศมากขึ้น ในการพัฒนาสมการ $ETTV_{res}$ ใช้การจำลองอาคารพักอาศัย 2 รูปแบบ point block building และ slab block building จำลองด้วยโปรแกรม eQuest ใช้เครื่องปรับอากาศชนิด split unit ตั้งอุณหภูมิ 24 องศา ตารางใช้งานเครื่องปรับอากาศ

จันทร์ถึงศุกร์เปิด 22.00-07.00 น. วันเสาร์และอาทิตย์เปิด 22.00-8.00 น. ได้สมการการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารพักอาศัย ($ETTV_{res}$) ซึ่งมีสูตรการคำนวณและค่ามาตรฐานแตกต่างกับค่า ETTV ตามสมการ (18)

$$ETTV_{res} = 3.4(1\text{-}WWR)U_w + 1.3(WWR)U_f + 58.6(WWR)C(CF)(SC) \quad (18)$$

โดย C คือ Load factor

CF คือ ค่าปรับแก้เนื่องจากความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar correction factor)

งานวิจัยเกี่ยวกับศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ 8 ประเภทในอนาคตอันเนื่องมาจากการออกกฎกระทรวง พ.ศ.2552 วิจัยโดย Chirarattananon และ คนอื่นๆ (2010) โดยพิจารณาจากพลังงานที่ใช้ของแบบจำลองอ้างอิงอาคารพาณิชย์แต่ละประเภทเพื่อเป็นตัวแทนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารขนาดใหญ่แต่ละประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า โรงเรียน ร้านสรรพสินค้าขายปลีก คอนโดมิเนียม และอาคารอื่นๆ โดยให้มีค่าดัชนีพลังงานเท่ากับค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากฐานข้อมูลของ พพ. กระทรวงพลังงานที่ได้รวบรวมตั้งแต่ ค.ศ.1996 เป็นต้นมา แล้วประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานโดยแปรค่าดัชนีประสิทธิภาพของกรอบอาคาร กำลังไฟฟ้าส่องสว่าง และระบบปรับอากาศ ตารางที่ 2.6 ค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่ได้จากฐานข้อมูล ของ พพ.ที่นำมาจำลองเป็นอาคารอ้างอิงกรณีมาตรฐาน (base)คือ 146.4 kWh/m^2 –y ค่า OTTV = 62.9 W/m^2 RTTV = 28.4 W/m^2 ตารางที่ 2.7แสดงค่าดัชนีพลังงานที่ได้จากฐานข้อมูลของ พพ.กระทรวงพลังงาน สำนักงานขนาดใหญ่และขนาดกลางใช้พลังงาน 147.5 kWh/m^2 –y ค่าOTTV = 61.4 W/m^2 RTTV = 29.1 W/m^2

ตารางที่ 2.6 : ค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่ได้จากฐานข้อมูล ของ พพ. (Chirarattananon และ คนอื่นๆ, 2010)

Values of energy consumption indices from building models.

Building type	Very large buildings, kWh m^{-2}			Large buildings, kWh m^{-2}		
	Base	Code	Econ	Base	Code	Econ
Office	146.4	98.7	82.3	147.5	115.0	99.3
Hotel	173.2	117.0	101.7	209.3	165.7	145.1
Hospital	148.8	123.9	112.0	158.8	139.9	122.7
Dep store	381.6	273.7	228.5	270.9	230.2	169.7
School	94.0	79.3	67.2	65.2	54.9	43.7
Hyper	394.7	300.9	248.7	391.0	315.1	240.6
Condo	118.4	105.3	92.7	146.6	126.6	115.4
Misc	139.7	117.2	100.0	117.6	85.9	67.5

ตารางที่ 2.7 : ค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่ได้จากฐานข้อมูล ของ พพ.ที่นำมาจำลองเป็นอาคารอ้างอิง (Chirarattananon และ คนอื่นๆ, 2010)

Summary information related to energy indices of each type of very large DBs.

Item	Office	Hotel	Hospital	Dept store	School
AC energy/AC area, kWh m^{-2} Y^{-1}	131.7	172.0	155.4	361.9	122.1
Light energy/used area, kWh m^{-2} Y^{-1}	27.1	34.7	30.0	129.4	19.3
Total energy/used area, kWh m^{-2} Y^{-1}	146.4	173.3	148.8	556.0	93.9
AC area/total area, %	65.7	66.9	54.5	85.9	26.6
AC energy/total energy, %	59.1	66.4	56.9	55.9	34.6
Light energy/total energy, %	18.5	20.0	20.2	23.3	20.5
OTTV, $W.m^{-2}$	62.9	55.7	52.7	45.3	53.4
RTTV, $W.m^{-2}$	28.4	23.4	30.6	20.9	33.8
AC performance, kW/RFT					
-split type	1.51	1.64	1.59	1.48	1.51
-window type	1.83	1.76	na	na	2.03
-package type	1.38	na	1.30	1.06	na
-chillers	1.02	1.09	0.75	0.71	1.07

งานวิจัยของ Pantong , Chirarattananon และ Chaiwiwatworakul (2011) แบ่งระดับของประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร (Energy Performance Level) ออกเป็น 5 ระดับ คือ

- Base level (BASE) ระดับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 219 kWh/m^2–y
- Building energy code level (CODE) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารตามกฎกระทรวง มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 175 kWh/m^2–y
- Higher energy performance standard level (HEPS) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารในระดับสูง Life cycle cost ต่ำกว่าระดับ BASE มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 141 kWh/m^2–y
- Economic level (ECON) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารที่มีความคุ้มค่าในการลงทุน อาคารในระดับนี้มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ร่วมในอาคารมากขึ้น ซึ่งจะพบว่างานวิศวกรรมในบางระบบของอาคารมีค่า LCC อาจสูงกว่าอาคารในระดับ HEPS มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 82 kWh/m^2–y
- Net zero energy Building (NZEB) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานระดับสูงสุดในปัจจุบัน มีการใช้เทคโนโลยีการประหยัดพลังงานระดับสูงประสิทธิภาพของงานระบบวิศวกรรม จะสูงกว่าอาคารในระดับ ECON และสามารถที่จะสร้างพลังงานขึ้นมาเองได้ หลายประเทศมีการสร้างอาคารทีมีประสิทธิภาพในระดับนี้ขึ้นแล้ว การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 55 kWh/m^2–y แต่ถ้ารวมพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้เอง จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสุทธิ 27 kWh/m^2–y

ในงานวิจัยแสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานในแต่ละระดับ ตารางที่ 2.9 อาคารสำนักงานในระดับ BASE มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 219.2 kWh/m^2–y (เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม E_C ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552) , ค่า OTTV = 61.4 W/m^2 , ค่า RTTV = 29.1 W/m^2 , LPD = 20 W/m^2 , EQD = 45 W/m^2 จากการศึกษาผลงานวิจัยชิ้นนี้พบว่า ข้อมูลอาคารสำนักงานที่รวบรวมแล้วแบ่งระดับ

ประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร 5 ระดับ เป็นอาคารสำนักงานภาคเอกชน สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา ทำให้เกิดแนวคิดในการแบ่งระดับประสิทธิภาพด้านพลังงานอาคารสำนักงานภาครัฐ

ตารางที่ 2.8 ดัชนีประสิทธิภาพของงานระบบในอาคารประเภทต่างๆที่มีประสิทธิภาพต่างกัน 5 ระดับ (Pantong , Chirarattananon และ Chaiwiwatworakul , 2011)

Items	BASE	CODE	HEPS	ECON	NZEB
OTTV (Wm^{-2})					
Office	61.4	50	30	20	15
Hotel	33	30	15	10	7.5
Hospital	35.5	30	15	10	7.5
Department store	43.6	40	25	15	10
School	61.1	50	30	20	15
Condominium	33	30	15	10	7.5
Hypermarket	43.6	40	25	15	10
Misc	57.4	40	25	15	10
Lighting system (Wm^{-2})					
Office	22.7	14	9	6	1
Hotel	16.2	12	8	5	4
Hospital	13.7	12	8	5	4
Department store	19.6	18	12	8	6
School	14.6	14	9	6	2
Condominium	16.2	12	8	5	4
Hypermarket	19.6	18	12	8	6
Misc	19.6	18	12	8	6
Equipment power density (Wm^{-2})					
Office	45	45	45	25	20
Hotel	35	35	35	30	25
Hospital	12	12	12	10	8
Department store	26.2	26.2	26.2	20	15
School	25	25	25	20	15
Condominium	40	40	40	30	25
Hypermarket	45	45	45	25	20
Misc	20	20	20	15	12
Air Conditioners, COP ($kW.RFT^{-1}$)					
All building types	2.21(1.59)	3.13(1.12)	3.64(0.97)	4.42(0.80)	6.00(0.59)

ตารางที่ 2.9 แสดงประสิทธิภาพของระบบในอาคารและตัวแปรอื่นๆ ของอาคารสำนักงาน (Pantong , Chirarattananon และ Chaiwiwatworakul , 2011)

System or Equipment	BASE	CODE	HEPS	ECON	NZEB
Building Envelope					
OTTV	61.4	50	30	20	15
RTTV	29.1	15	15	12	10
LCC of wall ($B.m^{-2}$ wall.Y^{-1})	288	274	252	230	?
Air-conditioning					
System COP ($kW.RFT^{-1}$)	2.21 (1.59)	3.13 (1.12)	3.64 (0.97)	4.42 (0.8)	5.98 (0.59)
LCC ($B.m^{-2}$ floor.Y^{-1})	321	304	291	296	?
Lighting					
LPD in air-conditioned area (Wm^{-2})	20	14	9	6	1
LCC ($B.m^{-2}$ floor.Y^{-1})	160	140	80	58	?
LPD in un-condtioned space (Wm^{-2})	10	8	6	4	1
Equipment					
EQD in air-conditioned area (Wm^{-2})	45	45	45	25	20
EQD in un-condtioned space (Wm^{-2})	10	10	10	5	4
Occupancy					
Load from occupant (Wm^{-2})	10	10	10	10	10
Ventilation ($l.m^{-2}.s^{-1}$)	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5
Night and off hours security					
Light (Wm^{-2})	2	2	2	1	1
Equipment (Wm^{-2})	1	1	1	0.8	0.8
Number of normal office hours	2340	2340	2340	2340	2340
Number of outside hours	6425	6425	6425	6425	6425
Building energy consumption ($kWh.m^{-2}.Y^{-1}$)	219	175	141	82	55
LCC of 3 systems	769	718	623	584	?

จากการวิจัยของศาณิส ยี่โถขาว (2553) เรื่องแนวทางแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลางด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร อาคารกรณีศึกษาในงานวิจัย (base case)ใช้ศาลากลางจังหวัดสุพรรณบุรี สูง 4 ชั้น และมีพื้นที่ใช้สอยรวม 15,985 ม.^{2} มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่จำลองรวม 79.39 kWh/m^2–y (พื้นที่อาคารทั้งหมด) , ค่า OTTV = 28.68 W/m^2 , ค่า RTTV = 8.91 W/m^2 , LPD = 15.93 W/m^2 (บริเวณปรับอากาศ) , EQD = 20.52 W/m^2 (บริเวณปรับอากาศ) และ การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานระดับสูง (ตารางที่ 2.10) พบว่าแนวทางที่มีค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดคือแนวทางที่ 98 (อิฐมวลเบา+ช่องว่างอากาศ+อิฐมวลเบา+ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว+ยิปซัมบอร์ดหนา 12 ม.ม. 2 ชั้น+กระจกเขียวตัดแสง) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร (OTTV) อยู่ที่ 16.60 W/m^2 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร มีค่าอยู่ที่ 74.829 kWh/ m^2-y สามารถประหยัดพลังงานได้สูงขึ้น 3.81% แต่เมื่อคำนวณหาค่าต้นทุนตลอดอายุวัฏจักร (LCC) พบว่าอัตราการคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 30 ปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

แนวทางที่มีค่า LCC ต่ำที่สุดคือแนวทางการปรับปรุงที่ 59 (อิฐมอญ+ช่องว่างอากาศ+อิฐมอญ+ฉาบเรียบทาสี+กระจกเขียวตัดแสง) มีค่าอยู่ที่ 61,529,913 บาท ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) อยู่ที่ 21.96 W/m^2 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร มีค่าอยู่ที่ 75.047 kWh/m^2.Y สามารถประหยัดพลังงานได้สูงขึ้น 3.53% ใช้งบประมาณในการก่อสร้างทั้งหมด 2,600,607 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากงบประมาณที่ใช้ก่อสร้างอาคารอ้างอิงทั้งหมด 739,472 บาท สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 130,251 บาท มีอัตราการคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 6 ปี

ตารางที่ 2.10 ประสิทธิภาพด้านต่างๆของแบบมาตรฐานศาลากลางและแนวทางการปรับปรุงเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานระดับสูง และมาตรฐานที่คุ้มค่าแก่การลงทุน (ศาณิส ยี่โถขาว, 2553)

รายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ	**มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน**		**ประสิทธิภาพพลังงานขั้นสูง**		**ประสิทธิภาพพลังงานคุ้มค่าแก่การลงทุน**	
	BEC	**อาคารอ้างอิง**	HEPS	**แนวทางที่ 98**	ECON	**แนวทางที่ 59**
01) ประสิทธิภาพกรอบอาคาร						
1.1 OTTV (W/m^2)	50.00	**28.68**	30.00	**16.60**	20.00	**21.96**
1.2 RTTV (W/m^2)	15.00	**8.91**	15.00	**8.91**	12.00	**8.91**
02) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานระบบปรับ						
2.1 EER	11.00	**10.30**	12.42	**10.30**	15.08	**10.30**
03) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ส่องสว่างต่อหน่วยพื้นที่						
3.1 LPD in air-conditioned area (W/m^2)	14.00	**15.93**	9.00	**15.93**	6.00	**15.93**
3.2 LPD in un-conditioned area (W/m^2)	8.00	**5.64**	6.00	**5.64**	4.00	**5.64**
04) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่						
4.1 EQD in air-conditioned area (W/m^2)	45.00	**20.52**	45.00	**20.52**	25.00	**20.52**
4.2 EQD in un-conditioned area (W/m^2)	10.00	**10.00**	10.00	**10.00**	5.00	**10.00**
05) จำนวนชั่วโมงของการทำงาน	2,340	**2,080**	2,340	**2,080**	2,340	**2,080**
06) ค่าการใช้พลังงานรวมของอาคาร (kWh.m^2.Y)	175.00	**79.39**	141.00	**74.83**	82.00	**75.05**
07) สามารถประหยัดพลังงานได้สูงขึ้น (%)	-	**0%**	-	**3.81%**	-	**3.58%**
08) สามารถประหยัดพลังงานได้สูงขึ้น (บาท)	-	**0**	-	**140,615**	-	**130,251**
09) ส่วนต่างของงบประมาณในการลงทุน (บาท)	-	**0**	-	**4,285,706**	-	**739,472**
10) ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)	-	**0**	-	**30**	-	**6**
11) ค่าต้นทุนตลอดอายุวัฏจักร (ปี)	-	**62,811,469**	-	**64,776,643**	-	**61,401,441**

จากงานวิจัยชิ้นนี้จะพบว่าประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการที่เป็น base case (ศาลากลางจังหวัดสุพรรณบุรี) มีค่า OTTV 28.68 W/m^2 และ RTTV 8.91 W/m^2 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้มาก (OTTV 50 W/m^2 และ RTTV 15 W/m^2) ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารศาลากลางมีค่า 79.393 kWh/m^2-y ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าในงานวิจัยของ Pantong, Chirarattananon และ Chaiwiwatworakul (2011) ซึ่งกำหนดระดับพลังงานสุทธิของอาคารอ้างอิงในระดับ Building energy code level (CODE) อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารตามกฎกระทรวงมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 175 kWh/m^2–y กำหนดโดยการแทนค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสมการการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารตามกฎกระทรวง

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดในบทที่ 2 พบว่าระเบียบวิธีวิจัยในงานวิจัยของ Chirarattananon และ Taveekun (2004) สามารถใช้ในการพัฒนาการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (OTTV) ของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษได้ โดยการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) เพื่อหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริก (Parameterization) ได้แก่ TDeq, ΔT และ ESR ในสมการ OTTV ของอาคารราชการได้ โดยใช้สมการ (8) และการกำหนดรายละเอียดอาคารที่จำลองในโปรแกรมที่ปรากฏในงานวิจัย

$$OTTV = (Uw)(1\text{-}WWR)(TDeq)+(Uf)(WWR)(\Delta T)+(WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (8)$$

งานวิจัยของ Chua และ Chou (2010) ได้พัฒนาสมการการถ่ายเทความร้อนรวม ETTV ซึ่งมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นเรียกชื่อใหม่ว่า ETTV$_{sg}$ ในสมการประกอบด้วย 3 เทอม แต่ละเทอม (14) (15) และ (16) แทนค่าผลของกลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งสามารถนำมาใช้กับงานวิจัยครั้งนี้ได้

- ค่าการนำความร้อนผ่านผนังทึบ (Heat conduction through opaque walls)

$$\mathrm{TD_{eq}}(1-\mathrm{WWR})(U_\mathrm{w}) = \frac{\sum_{1\,\mathrm{year}} Q_{\mathrm{wall,cond}}}{\text{total no. of operating hours} \times A} \quad (14)$$

- ค่าการนำความร้อนผ่านกระจก (Heat conduction through glass windows)

$$\Delta T(\mathrm{WWR})(U_\mathrm{f}) = \frac{\sum_{1\,\mathrm{year}} Q_{\mathrm{win,cond}}}{\text{total no. of operating hours} \times A} \quad (15)$$

- ค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar radiation through glass windows)

$$\mathrm{SF}(\mathrm{WWR})(\mathrm{SC}) = \frac{\sum_{1\,\mathrm{year}} Q_{\mathrm{win,rad}}}{\text{total no. of operating hours} \times A} \quad (16)$$

การกำหนดระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารราชการอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้สามารถเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการใช้พลังงานในงานวิจัยของ Chirarattananon และ คนอื่นๆ (2010) ซึ่งรายงานค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่ได้จากฐานข้อมูล ของ พพ.ที่นำมาจำลองเป็นอาคารอ้างอิงรายละเอียดตามตารางที่ 2.6 และ 2.7และงานวิจัยของ Pantong, Chirarattananon และ Chaiwiwatworakul (2011) ซึ่งแสดงค่าดัชนีประสิทธิภาพของงานระบบในอาคารประเภทต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพต่างกัน 5 ระดับรายละเอียดตามตารางที่ 2.8

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงการจำลอง (Simulation Research) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ ลักษณะการวางผังพื้นอาคาร วัสดุเปลือกอาคาร และงานระบบวิศวกรรมของอาคาร เพื่อสร้างอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง (Reference building) แล้วจำลองสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร และการใช้พลังงานของอาคารตัวแทนด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 แล้วใช้การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV และหาแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อการประหยัดพลังงานในการก่อสร้างใหม่ และการปรับปรุงอาคารราชการที่สร้างแล้ว

3.1 ขั้นตอนในการศึกษาวิจัย

แบ่งขั้นตอนในการศึกษาออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามบทที่ 2 กฎหมาย ระเบียบราชการ หลักเกณฑ์ในการออกแบบ และราคาค่าก่อสร้างของอาคารราชการ ที่มีผลต่อรูปแบบและการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีอยู่ในปัจจุบัน สำรวจอาคารราชการที่สร้างแล้วในปัจจุบัน เพื่อศึกษาลักษณะรูปแบบการวางผังการใช้สอยพื้นที่อาคาร การใช้วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร งานระบบอาคาร ลักษณะการใช้สอยพื้นที่ช่วงเวลาที่ใช้งานอาคาร สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (window to wall ratio: WWR) เป็นต้น เพื่อนำมาสร้างอาคารอ้างอิง

3.1.2 สำรวจอาคารกรณีศึกษา

เพื่อรวบรวมข้อมูลในเชิงกายภาพต่างๆ การแบ่งพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานอาคารในแต่ละช่วงเวลา แบบสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมงานระบบต่าง ๆ สภาพแวดล้อมของอาคารทั้งภายในและภายนอก รวบรวมปริมาณของหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในปัจจุบันและอดีตจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับอาคารที่จำลองจาก Visual DOE 4.1 ในขั้นตอนต่อไป

3.1.3 การสร้างอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จำลองสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร และการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิง โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.1 และใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา แล้วเปรียบเทียบอาคารที่จำลองขึ้นมาด้วยบิลค่าพลังงานไฟฟ้า และใช้เป็นอาคารตัวแทนเพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV

3.1.4 การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV

กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) แล้วทำการจำลองอาคารต้นแบบด้วยการเปลี่ยนตัวแปรที่กำหนด หาค่าภาระการทำความเย็นของ Cooling coil ในแต่ละรอบของการเปลี่ยนพารามิเตอร์จาก Visual DOE 4.1 เพื่อหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริกด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (TDeq) , ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระกว่างภายในและภายนอกอาคาร (ΔT) และปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก (ESR) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ OTTV สมการที่ใช้ในวิเคราะห์จะใช้สมการตามประกาศในกฎกระทรวง พ.ศ.2552 ส่วนสมการ OTTV สำหรับอาคารราชการที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะแทนด้วย OTTV ราชการ ตามสมการ (19)

$$OTTV_{ราชการ} = (TDeq)(Uw)(1\text{-}WWR) + (\Delta T)(Uf)(WWR) + (ESR)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (19)$$

เมื่อ $OTTV_{ราชการ}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

Uw คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2.^oC$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (^oC)

Uf คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ($W/m^2.^oC$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (^oC)

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (W/m^2)

สมการ (19) ประกอบด้วย 3 เทอม แต่ละเทอมแทนค่าของผลของกลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารดังนี้

- ค่าการนำความร้อนผ่านผนังทึบ (Heat conduction through opaque walls)

$$TD_{eq}(1 - WWR)(U_w) = \frac{\sum_{1\ year} Q_{wall.cond}}{\text{annual operating hours} \times A} \quad (20)$$

- ค่าการนำความร้อนผ่านกระจก (Heat conduction through glass windows)

$$\Delta T(WWR)(U_f) = \frac{\sum_{1\ year} Q_{win.cond}}{\text{annual operating hours} \times A} \quad (21)$$

- ค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar radiation through glass windows)

$$(ESR)(WWR)(SHGC)(SC) = \frac{\sum_{1\ year} Q_{win.rad}}{\text{annual operating hours} \times A} \quad (22)$$

การกำหนดตัวแปร ที่ใช้ในจำลองหาค่า TDeq, ΔT และ (ESR) ในสมการที่ (19)

- **ตัวแปรต้น** ประกอบด้วย

- ทิศทางการวางอาคาร 4 ทิศ
- WWR ตั้งแต่ 0.2-0.8
- ผนังทึบ 5 ชนิด
- กระจก 5 ชนิด
- ค่า OTTV ได้จากการจำลองอาคารใน Visual DOE4.1 (ค่าภาระการทำความเย็นของ Cooling coil / ชั่วโมงทำงาน และพื้นที่ผนัง)

- **ตัวแปรตาม** ประกอบด้วย

- TDeq ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (^{o}C)
- ΔT ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (^{o}C)
- ESR ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก (W/m^{2})

- **ตัวแปรควบคุม** ประกอบด้วย

- LPD กำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^{2})
- EPD กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^{2})
- VENT ปริมาณอากาศที่ระบายและอากาศรั่วซึม (l/s)
- OCCU จำนวนผู้อยู่อาศัยเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ (คนต่อตารางเมตร)
- ลักษณะทางกายภาพของอาคารต้นแบบ
- อุณหภูมิปรับอากาศ 25 ^{o}C
- อัตราการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration rate) กำหนดค่า 0.2 ACH
- ระบบปรับอากาศแบบ CAV
- ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคากำหนดให้อาคารได้รับน้อยที่สุด (Ur=0.676 ,Solar absorptance =0.005) เนื่องจากต้องการความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร และค่า OTTV เท่านั้น

3.1.5 การวิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมในอาคาร และประเมินผลการทดลองโดยใช้สมการการใช้พลังงานรวมโดยใช้สมการตามงานวิจัยของ Chairarattananon และ Taveekun (2004) ค่า OTTV ในสูตรใหม่ถูกพัฒนาเพื่อใช้เป็นตัวเลขแสดงค่าภาระความร้อนที่ประเมินที่คอยล์เย็นของระบบปรับอากาศ (Cooling coil load) ซึ่งค่าOTTV เป็นส่วนหนึ่งของ Cooling requirement (CR) ในสมการที่ (23)

$$CR = (OTTV) + C_1(LPD) + C_1(LPD) + C_2(EPD) + C_3(VENT) + C_4(OCCU) + Storage \quad (23)$$

แทนค่า CR ในสมการ (24) และแทนค่าพลังงานที่ใช้รายปีโดยตรงจาก lighting และ equipment โดยหาได้จากพื้นที่ใช้งาน และชั่วโมงที่ใช้งาน เนื่องจากค่า Storage ในสมการ (23) เป็นค่าความร้อนสะสม (storage load) ตามงานวิจัยของ Chairarattananon และ Taveekun (2004) มีนัยยะสำคัญน้อยสามารถตัดออกได้ ดังนั้น สมการการใช้พลังงานที่รายปีในสมการ (24) คือ

$$Energy\ consumption = \left(\frac{(\mathrm{OTTV})(Aw/Af)+\mathrm{C1(LPD)}+\mathrm{C2(EPD)}+\mathrm{C3(VENT)}+\mathrm{C4(OCCU)}}{COP} + LPD + EPD\right) \times area\ of\ floor \times working\ hour \quad (24)$$

เมื่อ Energy consumption คือ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้รายปี (kW /year)

CR คือ ความต้องการความเย็นต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (W/m^2-wall)

Aw/Af คือ สัดส่วนพื้นที่ผนังอาคาร (m^2-wall) ต่อพื้นที่ปรับอากาศ (m^2-floor)

COP คือ สมรรถนะของระบบปรับอากาศ

LPD คือ กำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

EPD คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

VENT คือ ปริมาณอากาศที่ระบายและอากาศรั่วซึม (l/s)

OCCU คือ จำนวนผู้อยู่อาศัยเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ (คนต่อตารางเมตร)

Storage คือ ภาระปรับอากาศเนื่องจากความร้อนสะสม (W/m^2)

C_1, C_2, C_3, C_4 คือ สัมประสิทธิ์ภาระความร้อนจาก ไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้ใช้อาคาร และปริมาณอากาศระบาย ตามลำดับ

working hour คือ จำนวนชั่วโมงใช้งานเครื่องปรับอากาศ (ชั่วโมง)

3.1.6 สรุปผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถแบ่งการสรุปผลการศึกษาออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) การสำรวจ ประเมินและวิเคราะห์อาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษ (อาคารกรณีศึกษา)

2.) หาแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อการประหยัดพลังงานในการก่อสร้างใหม่ และการปรับปรุงอาคารราชการที่สร้างแล้ว

3.2 โปรแกรม และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.2.1 โปรแกรม Visual DOE 4.1

โปรแกรม Visual DOE 4.1 นั้นเป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองสภาพการใช้งานของอาคาร เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา Visual DOE 4.1เป็นโปรแกรมที่ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนามาตรการและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการใช้พลังงานในหลายประเทศทั่วโลก องค์ประกอบหลักของโปรแกรมจะมี 4 ส่วน ได้แก่ LOAD,

SYSTEM, PLANT และ ECONOMIC ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) จนถึงการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่างๆของอาคาร ทั้งในส่วนพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า

Visual DOE 4.1 จะคำนวณภาระการทำความเย็นจากปัจจัยภายนอกอาคาร ได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านช่องหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศภายนอก นำมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคาร ซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อนำภาระการทำความเย็นจากภายนอกมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคารแล้ว Visual DOE 4.1 จะสามารถคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศ และปริมาณการใช้พลังงานได้ การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารจะแปรผันตามวัสดุประกอบอาคาร ระยะเวลาในการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้งานภายในอาคาร รวมถึงภูมิอากาศของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะแบ่งขั้นตอนการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

1.) รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับอาคารอ้างอิง

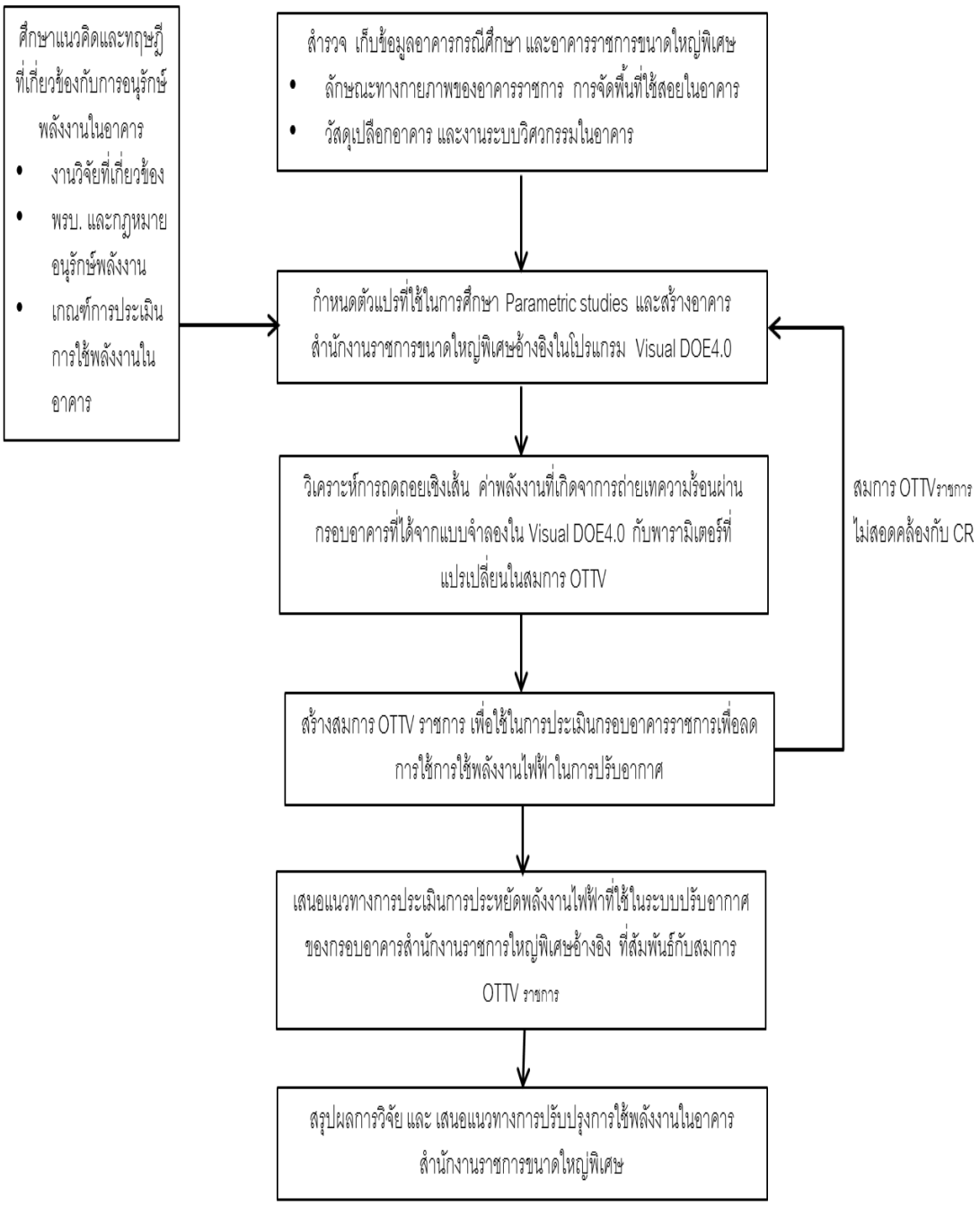
- ขนาดของพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆของอาคาร
- ชนิดของวัสดุประกอบอาคารในส่วนต่างๆ
- สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างในแต่ละพื้นที่
- สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในพื้นที่
- ชนิด และขนาดของระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร
- ตารางเวลาการใช้งานของอาคาร ในแต่ละพื้นที่ช่วงเวลาตลอดทั้งปี
- ฯลฯ

2.) สร้างอาคารอ้างอิงจากข้อมูลต่างๆที่รวบรวมได้ในขั้นต้น สำหรับจำลองสภาพการใช้งานเพื่อให้ทราบถึงปริมาณของพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งอาคาร แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้นำไปกำหนดเป็นข้อมูลพื้นฐานของอาคารอ้างอิง เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในขั้นตอนต่อไป

3.) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารที่ได้จากการจำลองนำไปเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารจริง (ใบเสร็จค่าไฟฟ้า) เพื่อใช้แก้ไขปรับปรุงอาคารที่จำลองให้มีความเที่ยงตรง และลดข้อผิดพลาดในการสร้างอาคารอ้างอิงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพในขั้นต่อไป

4.) นำอาคารอ้างอิงที่ผ่านการปรับแก้ให้มีความเที่ยงตรง มาสร้างแนวทางในการปรับปรุงโดยใช้ข้อมูลต่างๆ

5.) เมื่อทำการสร้างแนวทางการปรับปรุงในรูปแบบต่างๆ ได้ครบตามที่ออกแบบไว้ในขั้นต้นแล้ว จึงทำการ Run Simulation ของอาคารอ้างอิงในทุกรูปแบบของแนวทางการปรับปรุงต่างๆ แล้วจึงนำค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรมไปวิเคราะห์ร่วมกับผลการคำนวณอื่นๆ ซึ่งรายละเอียดจะแสดงไว้ในขั้นตอนต่อไป



แผนภูมิ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การสำรวจข้อมูลของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ

การศึกษาอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ขนาดอาคาร ลักษณะพื้นที่ใช้สอย ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร และลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารโดยทั่วไป

อาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษที่เป็นอาคารสูงในกรุงเทพมหานครมักเป็นอาคารที่ทำการหน่วยงานระดับกรม กระทรวง ส่วนใหญ่รูปแบบทางสถาปัตยกรรมจะไม่ซับซ้อน โครงสร้างเรียบง่าย เพื่อประสิทธิภาพในการก่อสร้าง และการควบคุมต้นทุนค่าก่อสร้างให้อยู่ในงบประมาณที่ได้รับมาจากสำนักงบประมาณ ซึ่งราคาค่าก่อสร้างของอาคารราชการสูงและขนาดใหญ่โดยทั่วไปราคาประมาณ 15,000 บาทต่อตารางเมตร ทำให้มีความจำกัดในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง และเพื่อให้ควบคุมราคาค่าก่อสร้างให้เป็นไปตามงบประมาณที่กำหนดไว้ ลักษณะเปลือกอาคารโดยส่วนใหญ่จะใช้อิฐมวลเบาหรือก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบทาสี และกระจกตัดแสงสีชา หรือกระจกสะท้อนแสงในบางอาคาร

โดยส่วนใหญ่อาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษมักจะมีการยื่นกันสาด หรือระเบียงเพื่อการบังแดด หรือเป็นส่วนวางคอมเพรสเซอร์แอร์ ในกรณีที่เป็นแอร์ระบบแยกส่วน (ภาพที่ 4.1-4.3) เปลือกอาคารราชการเกือบทั้งหมดจะไม่เป็นผนังระบบ Curtain Wall และกรุผนังด้วยแผ่น Aluminium Composite เหมือนอาคารสำนักงานเอกชนโดยทั่วไป เนื่องจากอาคารสำนักงานราชการส่วนใหญ่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณซึ่งได้รับจัดสรรมา หากมีการตัดลดวงเงินค่าก่อสร้างของโครงการก่อสร้างอาคารราชการโดยทั่วไปที่ได้รับการพิจารณาจากสำนักงบประมาณ ผู้ออกแบบ และหน่วยงานเจ้าของโครงการรับภาระในการแก้ไขแบบแปลนทั้งในส่วนของงานสถาปัตยกรรม และงานวิศวกรรมระบบต่างๆ เพื่อตัดลดวงเงินให้สอดคล้องกับงบประมาณที่ได้รับการประดับตกแต่ง หรือใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีราคาสูงมักจะถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบในขั้นตอนการตัดลดวงเงินค่าก่อสร้าง

ภาพที่ 4.1- 4.3 อาคารสำนักงานตำรวจแห่งชาติ สูง 21 ชั้น , อาคารที่ทำการศาลอาญาถนนรัชดาภิเษก สูง 12 ชั้น และอาคารที่ทำการกรมทางหลวงชนบท อาคารด้านหน้าสูง 8 ชั้น อาคารด้านหลังสูง 13 ชั้น

อาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีผังพื้นเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะมีการวางตำแน่ง core lift และบันไดหนีไฟในระยะห่างตามทางสัญจรไม่เกิน 60 เมตร เนื่องจากกฎหมายควบคุมอาคารสูงและขนาดใหญ่พิเศษ (กฎกระทรวงกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33) จากกลุ่มตัวอย่างอาคารที่ได้สำรวจมาพบว่ามีการวางส่วนสัญจรแนวตั้งไว้ที่ปลายอาคารทั้งสองด้านของอาคารหากอาคารมีความยาวประมาณ 60 เมตร และมีการวางตำแหน่งพื้นที่สัญจรภายในระยะ 60 เมตรเป็นจังหวะ (ภาพที่ 4.4-4.5) เพื่อให้การออกแบบรูปด้านอาคารให้มีความสมมาตรหากตัวอาคารมีความยาวมากกว่า 60 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารสำนักงานราชการโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 30%-40%

ภาพที่ 4.4-4.5 กลุ่มอาคารที่ทำการกระทรวงพาณิชย์ ถนนสนามบินน้ำ จังหวัดนนทบุรี อาคารหน้าสูง 15 และอาคารด้านหลังสูง 17 ชั้น

4.2 การสำรวจอาคารกรณีศึกษา และสร้างอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

อาคารกรณีศึกษา (ภาพที่ 4.6-4.8) ที่ใช้เป็นอาคารอ้างอิงในการจำลองเพื่อการศึกษานี้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้างประมาณ 16 เมตรและยาวประมาณ 60 เมตร

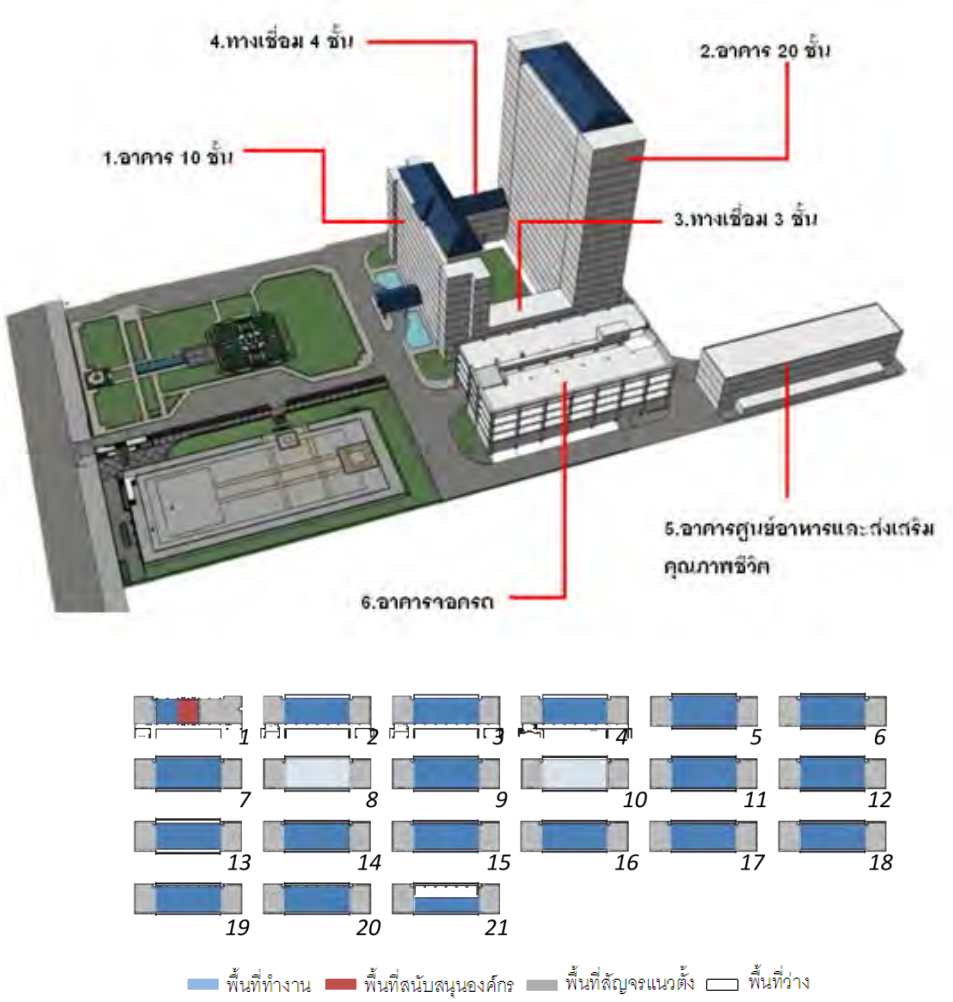
- มีพื้นที่สัญจรแนวตั้งที่ปลายอาคารทั้งสองข้าง
- สัดส่วน WWR = 19.60 % (คิดทั้งอาคาร) สัดส่วน WWR = 33.48 % (คิดเฉพาะผนังในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ) พื้นที่ใช้สอยภายในรวมทั้งอาคาร 19,776 ตารางเมตร
- เป็นพื้นที่ปรับอากาศ 11,472 ตารางเมตร พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 8,294 ตารางเมตร (ตารางที่ 4.1)
- เปลือกอาคารเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป นำชิ้นส่วนผนังมาติดตั้งที่สถานที่ก่อสร้าง และหน้าต่างอลูมิเนียมกระจกตัดแสงสีชา ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบบริเวณผนังภายในอาคารในส่วนห้องน้ำและส่วนบริการของอาคาร
- มีส่วนยื่นบังแดดของอาคารยาวประมาณ 1.50-2.40 เมตร (ภาพที่ 4.9-4.10)
- หลังคาอาคารที่ชั้น 21เป็น metal sheet ภายในหลังคาพ่นฉนวนโฟมโพลียูริเทนหนาประมาณ 2 นิ้ว และที่ดาดฟ้าบริเวณชั้น 21 เป็นที่วางเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศของระบบปรับอากาศของอาคารทั้งหลัง

- พื้นภายในสำนักงานเป็นกระเบื้องยางหนา 2 ม.ม.ส่วนพื้นบริเวณโถงลิฟต์ และบริเวณทางสัญจรทั่วไปเป็นพื้นหินขัดสำเร็จรูป
- ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด หนา 12 ม.ม.
- เครื่องปรับอากาศระบบ CAV ระบายความร้อนด้วยอากาศ เวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศ 9.00 – 16.00 น. ตารางการทำงานของพนักงานตั้งแต่ 8.30 – 16.30 น. ตั้งอุณหภูมิปรับอากาศ 25 °C

ภาพที่ 4.6-4.8 อาคารที่ทำการกรมโยธาธิการและผังเมือง 20 ชั้น กระทรวงมหาดไทย ถนนพระราม 6 เขตพญาไท กรุงเทพฯ (อาคารกรณีศึกษา)

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของพื้นที่ใช้สอยอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

พื้นที่อาคารรวม(20 ชั้น)	19,776.00	ตร.ม.	พื้นที่ใช้สอยรวม 4 อาคาร	44,940.42	ตร.ม.
พื้นที่ปรับอากาศ	11,472.00	ตร.ม.	พื้นที่ใช้งานไม่รวมที่จอดรถ	36,260.42	ตร.ม.
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	8,294.00	ตร.ม.	พื้นที่จอดรถในอาคาร	8,680.00	ตร.ม.
			พื้นที่ปรับอากาศ (4 อาคาร)	20,042.60	ตร.ม.
			พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (4 อาคาร)	16,217.82	ตร.ม.



ภาพที่ 4.9-4.10 แสดงลักษณะอาคารกรณีศึกษา และผังพื้นอาคารสำนักงานราชการอ้างอิง

4.3 การจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง และการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์

งานวิจัยนี้ทำการจำลองการใช้พลังงานรายชั่วโมงตลอดระยะเวลา 1 ปี ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงนี้ จะนำไปใช้เพื่อศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) ต่อไป

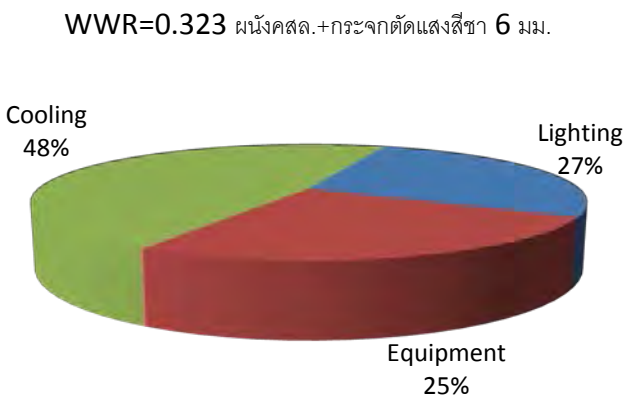
การสร้างแบบจำลองอาคารอ้างอิงจะสมมุติสภาพทั่วไปของอาคารดังต่อไปนี้

- เป็นอาคารสร้างขึ้นเดี่ยว ๆ ไม่มีการบังแดดจากอาคารข้างเคียงหรือต้นไม้
- ไม่มีการใช้ม่านบังแดดภายในประตูหน้าต่าง
- เปลือกอาคารมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient : SC) และค่าคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่ได้สำรวจ

- โครงสร้างอาคารเป็นระบบเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นอาคารเป็นแผ่นพื้นสำเร็จรูป ความหนารวมคอนกรีตเททับหน้า 0.20 เมตร พื้นภายในสำนักงานปูผิวกระเบื้องยาง หนา 2 ม.ม.
- งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled-Water Chiller) ขนาด 230 ตันความเย็น จำนวน 5 เครื่อง ค่ากำลังไฟฟ้าต่อขนาดการทำความเย็นที่ใช้จริง เฉลี่ยเท่ากับ 1.30 kW/TR
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์แบบขดลวดชนิด Low Watt Loss โคมส่วนใหญ่เป็นโคมชนิดฝังฝ้าเพดานมีแผ่นสะท้อนแสง ดัชนีกำลังไฟฟ้าส่องสว่างติดตั้งต่อพื้นที่ใช้สอยเฉลี่ย 11.41 W/m^2 (LPD เฉลี่ยในพื้นที่ปรับอากาศ 16.41 W/m^2)
- รายละเอียดของอาคารอ้างอิง (reference building) ที่ใช้จำลองในโปรแกรม มีรายละเอียดดังตาราง 4.2

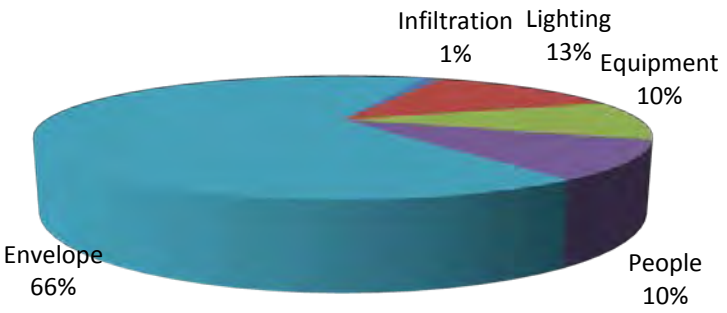
ผลจากจำลองพบว่าอาคารอ้างอิงซึ่งใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled-Water Chiller) มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 112.94 kWh/m^2-y (พลังงานไฟฟ้ารวม / พื้นที่ปรับอากาศ) สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิง (แผนภูมิที่ 4.1) สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 48 % (54.21 kWh/m^2-y) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 27 % (30.49 kWh/m^2-y) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า 25 % (27.11 kWh/m^2-y)

สัดส่วนของภาระการปรับอากาศ (แผนภูมิที่ 4.2) ประกอบด้วย ภาระปรับอากาศจากกรอบอาคาร (ผนังทึบ และหน้าต่างไม่รวมหลังคา) 66 % ภาระปรับอากาศจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 13 % ภาระปรับอากาศจากอุปกรณ์ไฟฟ้า 10 % ภาระปรับอากาศจากผู้ใช้งานในอาคาร 10 % และภาระปรับอากาศจากการรั่วซึมอากาศ 1 %



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

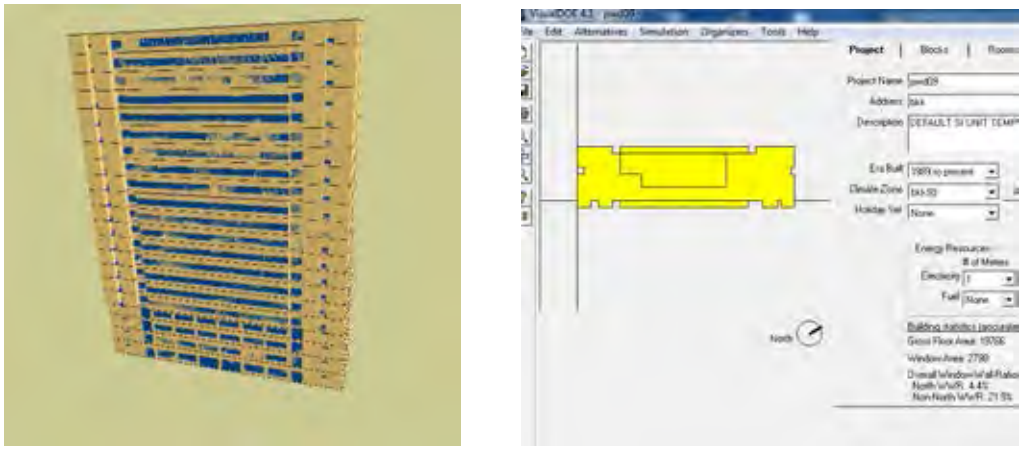
WWR=0.323 ผนังคสล.+กระจกตัดแสงสีชา 6 มม.



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสัดส่วนภาระการปรับอากาศของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

รายการ	วัสดุ	U-Value $W/m^2.C$
ผนังทึบ	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป	4.16
หน้าต่าง	กระจกตัดแสงสีชา (SHGC=0.61)	6.172
พื้นที่ผนังทึบทั้งอาคาร (m^2)	11795	
พื้นที่ช่องเปิดทั้งอาคาร (m^2)	2502	
WWR ทั้งอาคาร(ทั้งปรับและไม่ปรับอากาศ)	0.175	
WWR พื้นที่ส่วนปรับอากาศที่ติดภายนอกอาคาร	0.323	
พื้น	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.23 ม.ปูกระเบื้องยาง	2.71
หลังคาคลุมชั้น 21 (กำหนด Absorptance=0.05)	หลังคาเหล็ก+โฟมPU. 2 นิ้ว+ ยิปซั่ม12 มม.	0.27
หลังคาส่วนดาดฟ้า ระเบียง (กำหนด Absorptance=0.05)	คสล.ปูกระเบื้องหินขัด+ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว+ยิปซั่ม 12 มม.	0.22
พื้นที่อาคารทั้งหมด (m^2)	19776	
พื้นที่อาคารส่วนที่ปรับอากาศ (m^2)	11412	
พื้นที่ผนังทั้งหมดต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด	0.741	
พื้นที่ผนังส่วนที่ปรับอากาศต่อพื้นที่อาคารส่วนที่ปรับอากาศ	0.514	
จำนวนชั้น	21	
ตารางการเปิดเครื่องปรับอากาศ (5 วันต่อสัปดาห์)	9.00-16.00 น.	
LPD เฉลี่ย (W/m^2) ในพื้นที่ปรับอากาศ	16.41	
EPD (W/m^2) ในพื้นที่ปรับอากาศ	12.88	
เวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศต่อปี(ชั่วโมง)	1825	
ความหนาแน่นผู้ใช้งาน(OCCU)	0.083 person/m^2	
อัตราการรั่วซึมอากาศ (Infiltration)	0.2 ACH	
ระบบปรับอากาศ	CAV	
อุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ	25 $^{\circ}C$	

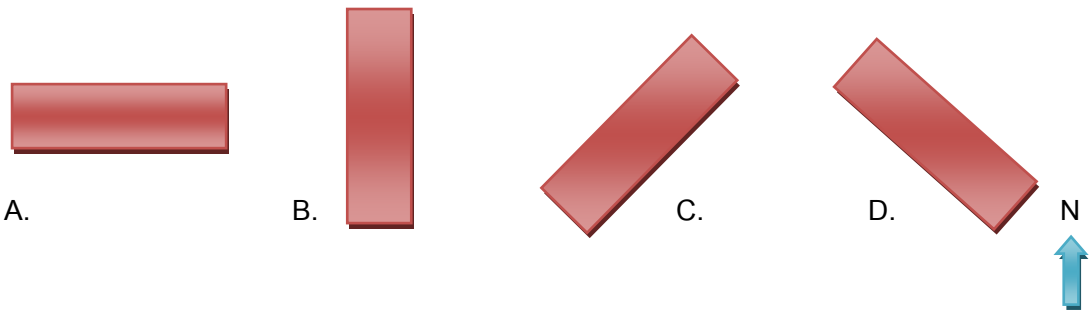


ภาพที่ 4.11-4.12 แสดงอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิงในโปรแกรม Visual DOE 4.1

4.4 การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV

การกำหนดตัวแปรที่ใช้ใน Parametric studies ในงานวิจัยนี้ทำให้ได้ผลจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง ที่มีลักษณะแบบจำลองแตกต่างกัน จำนวน 400 แบบ พารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยนได้แก่

- ทิศทางการวางอาคาร 4 ทิศทาง รายละเอียดตามภาพที่ 4.13
- ค่า U_w ของผนัง 5 ชนิด รายละเอียดตามตารางที่ 4.3
- ค่า U_f ของกระจก 5 ชนิด รายละเอียดตามตารางที่ 4.4
- ค่า SHGC ของกระจก 5 ชนิด รายละเอียดตามตารางที่ 4.4
- ค่า WWR 4 ค่า ได้แก่ 0.2, 0.4, 0.6, และ 0.8
- ค่า OTTV ราชการ ซึ่งได้จากการจำลองการใช้พลังงานด้วย Visual DOE4.0



ภาพที่ 4.13 แสดงทิศทางการวางอาคารสำนักงานราชการอ้างอิงที่ใช้ศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.3 แสดงชนิดและคุณสมบัติของผนังทึบที่ใช้ศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์
(ค่า U_w ในตารางเป็นค่าที่คำนวณตามกฎกระทรวง พ.ศ.2552 กำหนด)

ลำดับที่	ชนิดของผนังทึบ	U_w ($W/m^2.°C$)
1	**ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปหนา 10 ซม.**	4.285
2	**ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนสองด้าน ความหนารวม 10 ซม.**	3.473
3	**ผนังก่อคอนกรีตบล็อค 80 มม.ฉาบปูนสองด้าน ความหนารวม 10 ซม.**	2.956
4	**ผนังก่อคอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม.ฉาบปูนสองด้าน**	1.681
5	**ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนภายนอก + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว+ยิบซั่มบอร์ด 12 มม.**	0.568

ตารางที่ 4.4 แสดงชนิดและคุณสมบัติของกระจกที่ใช้ศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์

ลำดับที่	ชนิดของกระจก	U_f ($W/m^2.°C$)	SHGC	Tvis
1	**กระจกใส** (Single Clear) **หนา 6 มม.**	6.172	0.815	0.881
2	**กระจกใสสองชั้น** (Duuble Clear) 6/12/6 **มม.**	2.742	0.698	0.781
3	**กระจกสีเทา** (Single Grey) **หนา 6 มม.**	6.172	0.591	0.431
4	**กระจกใสเคลือบไทเทเนียม** 40 % (Single Clear Ti40) **หนา 6 มม.**	5.502	0.389	0.300
5	**กระจกสองชั้นเคลือบผิวแผ่รังสีต่ำ** (Double Tint Low-e4) 6/12/6 **มม.**	1.658	0.285	0.407

สมการที่ใช้ในการในการหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการ OTTV ราชการ คือสมการ (19) ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการ (19) เพื่อศึกษาผลของทิศทางการวางอาคารที่มีต่อค่า OTTVราชการ จึงวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ในแต่ละทิศทางการวางอาคาร แบ่งเป็น ทิศทาง A , ทิศทาง B , ทิศทาง C และทิศทาง D

ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น ตามตาราง 4 .5 แสดงให้เห็นว่าทิศทางการวางอาคารมีผลต่อค่า OTTVราชการ การวางอาคารทิศทาง B (หันด้านยาวของอาคารออกสู่ทิศตะวันออกและตะวันตก)มีผลทำให้ค่า OTTVราชการ สูงสุด รองลงมาคือการวางอาคารทิศทาง D (หันด้านยาวของอาคารให้ทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้) , การวางอาคารทิศทาง C (หันด้านยาวของอาคารให้ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้) และการวางอาคารทิศทาง A (หันด้านยาวของอาคารให้ทิศเหนือและใต้) มีผลทำให้ค่า OTTVราชการ ต่ำสุด

ผลจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของข้อมูล 400 ชุด ซึ่งประกอบอาคารที่มีพารามิเตอร์เหมือนกัน 100 ชุดในทิศทางอาคาร 4 ทิศ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์จากการวิเคราะห์ถดถอย (ตารางที่ 4.5) คือ TDeq เท่ากับ 6.266 ΔT เท่ากับ 3.466 และ ESR เท่ากับ 57.439 โดยมี Regession Statistics ตามตารางที่ 4.6 และค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ที่ได้จากการ Regression ตารางที่ 4.7 ดังนั้นสมการ OTTV (เฉลี่ยทุกทิศ)สำหรับอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ คือ

$$OTTV_{ราชการ} = (6.266)(Uw)(1\text{-}WWR) + (\mathbf{3.466})(Uf)(WWR) + (57.439)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (25)$$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของอาคารที่วางทิศทางต่างกัน

ทิศทางอาคาร	TDeq	Δ T	ESR
A	6.053	3.375	44.199
B	6.482	3.540	69.767
C	6.227	3.474	56.124
D	6.302	3.474	59.665
เฉลี่ย	6.266	3.466	57.439

ตารางที่ 4.6 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ

Regression Statistics	
Multiple R	0.99265
R Square	0.98535
Adjusted R Square	0.98276
Standard Error	4.15059
Observations	400

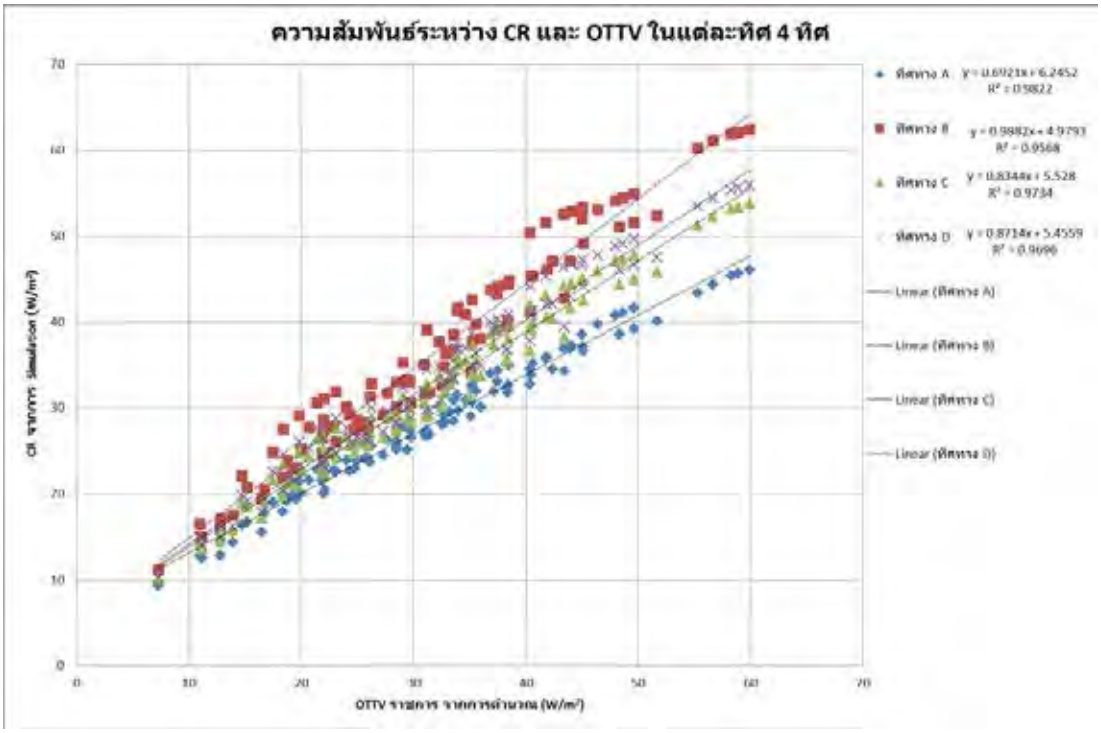
ตารางที่ 4.7 สถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
$(U_w)(1\text{-}WWR)$	6.26644	0.15790	39.68679	0.00000
$(U_f)(WWR)$	3.46606	0.21175	16.36874	0.00000
(WWR)(SHGC)	57.43929	1.75664	32.69848	0.00000

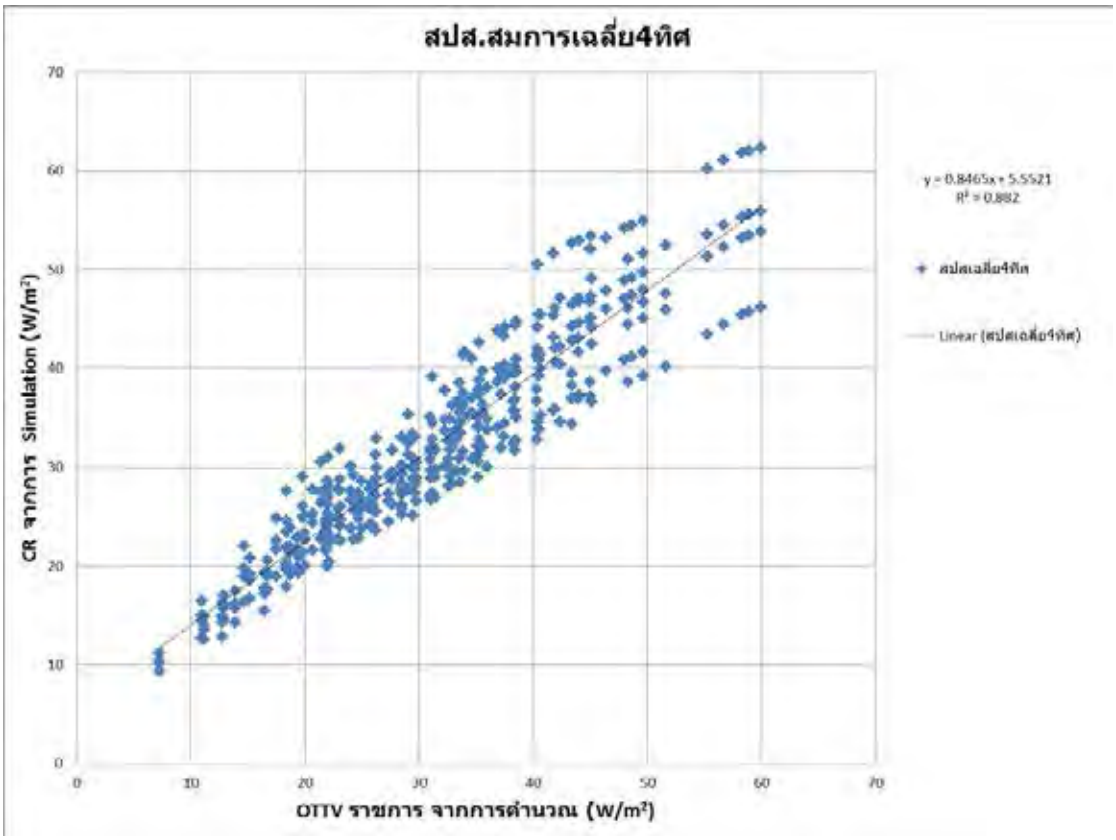
จากแผนภูมิที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ เฉลี่ยทุกทิศ (W/m^2_wall) ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (25) และค่า CR (W/m^2_wall) ซึ่งได้มาจากแบบจำลองอาคารใน Visual DOE4.1 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.882 แต่จากการเปรียบเทียบสมการ $OTTV_{ราชการ}$ ในแต่ละทิศทางการวางอาคาร (A , B , C และ D) กับค่า Cooling Requirement ที่ได้จาก Visual DOE 4.1 ปรากฏว่า ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ในทิศทางการวางอาคาร (A , B , C และ D) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ CR โดยมีค่า R^2 ในทิศทาง A เท่ากับ 0.9822, ในทิศทาง B เท่ากับ 0.9568 , ในทิศทาง C เท่ากับ 0.9734 และในทิศทาง D เท่ากับ 0.9696 (แผนภูมิที่ 4.3) จากแผนภูมิจะพบว่าความแตกต่างของ CR ที่เกิดจากการวางทิศทางที่แตกต่างกันจะมีค่าความแตกต่างมากขึ้น เมื่อค่า $OTTV_{ราชการ}$ มีค่าสูงขึ้น ทำให้พบว่ามีความจำเป็นที่ต้องมีการคำนวณ $OTTV_{ราชการ}$ แบบแยกทิศทาง

การใช้สมการที่ 25 คำนวณค่า OTTVราชการ ของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง รายละเอียดของอาคารอ้างอิงตามตารางที่ 4.2 ในบทนี้ ค่า OTTVราชการ มีค่าเท่ากับ 35.521 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวางอาคารในทิศทางต่างๆกัน 4 ทิศ

จากการวิจัยพบว่า TDeq, ΔT และ ESR ในสมการ OTTVราชการ เฉลี่ยทุกทิศ ซึ่งได้จากการ Regression มีค่าลดลงจากกฎกระทรวงพ.ศ. 2552 เนื่องมาจากผังพื้นอาคารอาคารที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และลักษณะการวางแกนสัญจรทางตั้งที่ปลายทั้งสองข้างของอาคารอ้างอิงทำให้พื้นที่ปรับอากาศได้รับรังสีอาทิตย์เพียง 2 ด้าน, การมีอุปกรณ์บังแดดให้ช่องเปิดของอาคารในส่วนที่ปรับอากาศ และช่วงเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศ 9.00-16.00 น. (ทำให้กรอบอาคารได้รับรังสีอาทิตย์ในมุมต่ำน้อยกว่าอาคารที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศนานกว่า) ทำให้ลดผลกระทบจากรังสีอาทิตย์ได้มาก ค่าสัมประสิทธิ์จึงลดลงจากกฎกระทรวง ซึ่งใช้อาคารอ้างอิงในการพัฒนาสูตรเป็นอาคารผังพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส, มีพื้นที่ปรับอาคารล้อมรอบแกนสัญจรทางตั้งที่อยู่กลางอาคาร (ลักษณะเหมือนอาคารสำนักงานเอกชน) พื้นที่ปรับอากาศได้รับรังสีอาทิตย์ทั้ง 4 ด้าน, ไม่มีอุปกรณ์บังแดดให้ช่องเปิดของอาคาร และมีช่วงเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศ 8.00-17.00 น.



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ ในแต่ละทิศ
4 ทิศทางการวางอาคารที่ต่างกัน กับ CR



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (สัมประสิทธิ์ในสมการเฉลี่ย 4 ทิศ) กับ CR

4.5 การพิจารณาการแยกสูตรการคำนวณ OTTVราชการ ตามทิศทางอาคาร

จากการเปรียบเทียบสมการ OTTVราชการ ในแต่ละทิศทางการวางอาคาร (A , B , C และ D) กับค่า Cooling Requirement ที่ได้จาก Visual DOE4.0 ตามแผนภูมิที่ 4.3 พบว่าพบว่าความแตกต่างของค่า CR (W/m^2_wall) ที่เกิดจากการวางอาคารทิศทางที่แตกต่างกัน จะมีค่าความแตกต่างมากขึ้น เมื่อค่า OTTVราชการ (W/m^2_wall) มีค่าสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการคำนวณ OTTVราชการ แบบแยกทิศทาง

ผลจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของข้อมูลระหว่างค่า CR และ OTTV 100 ชุดในทิศทางอาคารแต่ละทิศ ค่าสัมประสิทธิ์จากการวิเคราะห์ถดถอย (ตารางที่ 4.5) ในแต่ละทิศทางอาคาร (A B C และ D) มี Regression Statistics และค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ที่ได้จากการ Regression (ตารางที่ 4.8-4.15) ดังนั้นสมการ OTTVราชการ (แยกตามทิศ 4 ทิศ) สำหรับอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ คือ

ทิศทาง A

$$OTTV_{ราชการ} = (6.053)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.375)(Uf)(WWR) + (44.2)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (26)$$

ทิศทาง B

$$OTTV_{ราชการ} = (6.482)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.54)(Uf)(WWR) + (69.767)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (27)$$

ทิศทาง C

$$OTTV_{ราชการ} = (6.227)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.474)(Uf)(WWR) + (56.124)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (28)$$

ทิศทาง D

$$OTTV_{ราชการ} = (6.302)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.474)(Uf)(WWR) + (59.665)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (29)$$

ตารางที่ 4.8 -4.9 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ

และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง A

Regression Statistics	
Multiple R	0.997126568
R Square	0.994261393
Adjusted R Square	0.983833792
Standard Error	2.26320395
Observations	100

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
$(U_w)(1\text{-}WWR)$	6.05359	0.17219	35.15562	0.00000
$(U_f)(WWR)$	3.37527	0.23092	14.61652	0.00000
(WWR)(SHGC)	44.19998	1.91569	23.07261	0.00000

ตารางที่ 4.10 -4.11 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ

และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง B

Regression Statistics	
Multiple R	0.997150249
R Square	0.994308618
Adjusted R Square	0.983881992
Standard Error	2.933699416
Observations	100

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
$(U_w)(1\text{-}WWR)$	6.48248	0.22321	29.04231	0.00000
$(U_f)(WWR)$	3.54018	0.29933	11.82686	0.00000
(WWR)(SHGC)	69.76788	2.48323	28.09560	0.00000

ตารางที่ 4.12-4.13 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ

และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง C

Regression Statistics	
Multiple R	0.997180401
R Square	0.994368753
Adjusted R Square	0.983943367
Standard Error	2.557981573
Observations	100

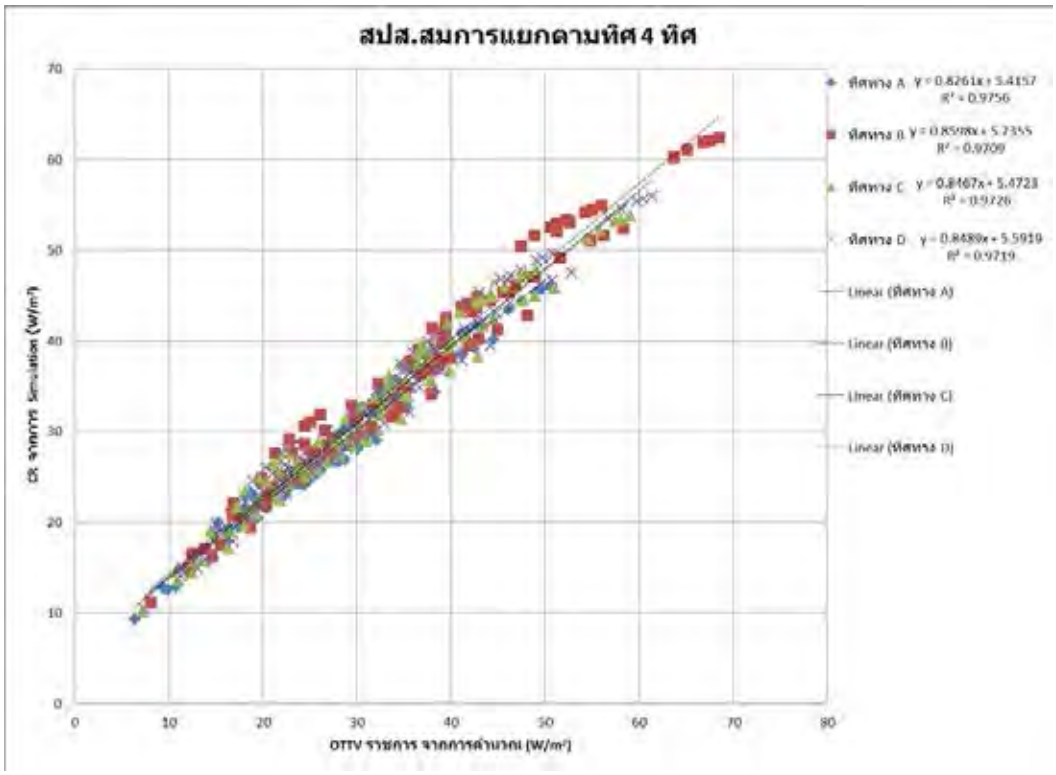
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
$(U_w)(1\text{-WWR})$	6.22765	0.19462	31.99867	0.00000
$(U_f)(WWR)$	3.47422	0.26100	13.31127	0.00000
(WWR)(SHGC)	56.12422	2.16521	25.92097	0.00000

ตารางที่ 4.14 -4.15 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ

และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง D

Regression Statistics	
Multiple R	0.997141798
R Square	0.994291765
Adjusted R Square	0.983864791
Standard Error	2.666963223
Observations	100

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
$(U_w)(1\text{-WWR})$	6.30202	0.20291	31.05760	0.00000
$(U_f)(WWR)$	3.47456	0.27212	12.76857	0.00000
(WWR)(SHGC)	59.66508	2.25745	26.43027	0.00000



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (สัมประสิทธิ์ในสมการแยกเป็น 4 ทิศทาง การวางอาคารที่ต่างกัน) กับ CR

จากการแยกสูตรการคำนวณค่า OTTV ราชการ ตามทิศทางอาคาร ทั้ง 4 ทิศ (แผนภูมิที่ 4.5) พบค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร OTTV ราชการ ในทิศทาง A มีค่าสูงสุด ที่ 50.671 และค่าต่ำสุดที่ 6.389 และค่า ESR เท่ากับ 44.2 ส่วนค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร OTTV ราชการ ในทิศทาง B ,C และ D มีค่าสูงสุดที่ 68.523 และค่าต่ำสุดที่ 7.181และค่า ESR ในทิศทาง B, C และ D เท่ากับ 69.767 , 56.124 และ 59.665 ตามลำดับ ค่า TDeq ในสูตรการคำนวณ OTTV ราชการ ในทิศทาง A ,B ,C และ D มีค่า 6.054 , 6.482 , 6.227 และ 6.302 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน และค่า Δ T ในทิศทาง A ,B, C, และ D มีค่า 3.375 , 3.540 , 3.474 และ 3.474 ตามลำดับ จึงได้พิจารณาแยกสมการเพื่อการคำนวณเป็น 2 สมการ ดังนี้

ทิศทาง A

$$OTTV_{ราชการ} = (6.054)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.375)(Uf)(WWR) + (44.2)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (30)$$

ทิศทาง B ,C และ D

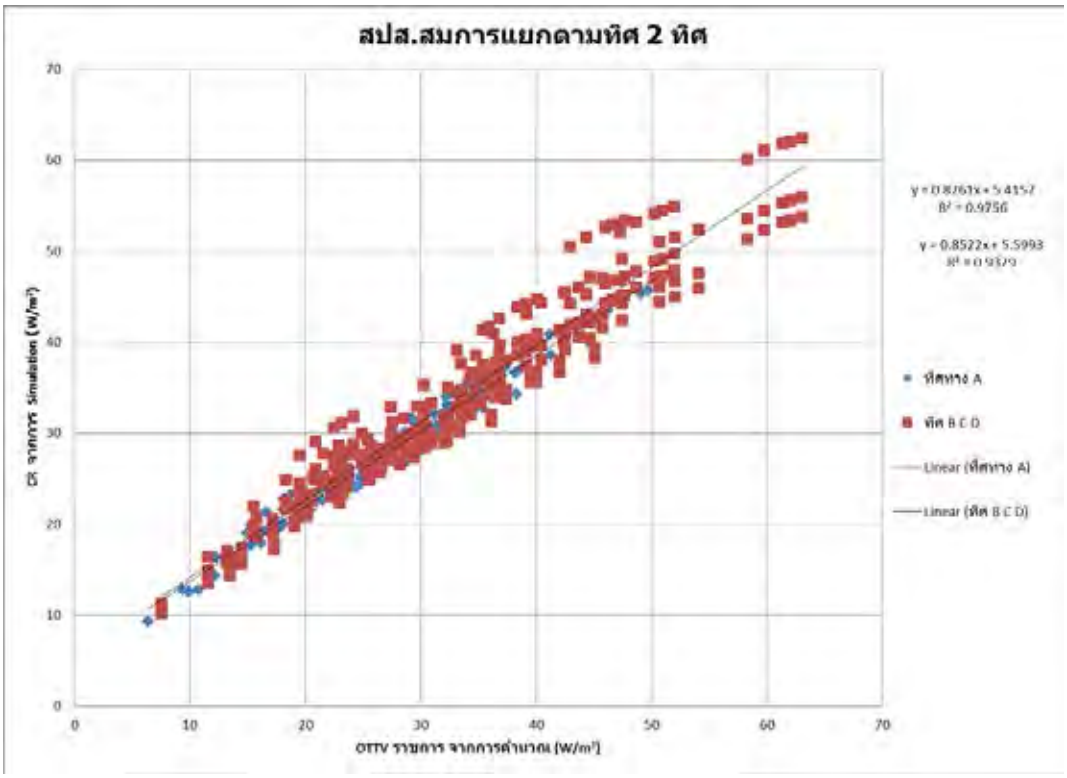
$$OTTV_{ราชการ} = (6.337)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.496)(Uf)(WWR) + (61.852)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (31)$$

ค่า R^2 ของสมการ $OTTV_{ราชการ}$ ในทิศทาง A เท่ากับ 0.9756 และค่า R^2 ของสมการ OTTV ราชการ ในทิศทาง B C D เท่ากับ 0.9379 ความสัมพันธ์ของ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณและค่า CR ที่ได้จากการจำลองอาคาร ตามแผนภูมิที่ 4.6 มีค่า Regression Statistics และค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ที่ได้จากการ Regression (ตารางที่ 4.6-4.17)

ตารางที่ 4.16 -4.17 สถิติของ Regression ในสมการ OTTV ราชการ และสถิติของค่าพารามิเตอร์ในสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง B C D

Regression Statistics	
Multiple R	0.995510561
R Square	0.991041277
Adjusted R Square	0.987613946
Standard Error	3.386768624
Observations	300

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
$(U_w)(1\text{-}WWR)$	6.33738	0.14877	42.59812	0.00000
$(U_f)(WWR)$	3.49632	0.19951	17.52451	0.00000
(WWR)(SHGC)	61.85239	1.65511	37.37059	0.00000



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (สัมประสิทธิ์ในสมการแยกเป็น 2 ทิศ)กับ CR

4.6 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTVราชการ และ Cooling Energy (CE) เพื่อหา Baseline ของ OTTV ราชการ ในแต่ละทิศทาง

การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานที่แตกต่างกันจะเป็นพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศเท่านั้น เนื่องจากการในการจำลองอาคารอ้างอิงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารไม่มีการเปลี่ยนแปลง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศแปรผันโดยตรงกับสัดส่วนขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) การเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและการกำหนด WWR มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารอย่างมาก

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศที่ได้การจำลองอาคารอ้างอิงในโปรแกรม Cooling Energy, CE (kWh/m^2_floor-year) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารที่คำนวณจากสมการ OTTV ราชการ (W/m^2_wall) มาวิเคราะห์สมการเชิงเส้น 2 ตัวแปร เพื่อหาbaseline ของ OTTV ราชการ ในแต่ละทิศทาง โดยใช้ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศที่ได้การจำลองอาคารอ้างอิงในทิศทาง A, B, C และ D เป็นฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารอ้างอิง ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศอาคารอ้างอิงในทิศทาง A, B, C และ D เท่ากับ 42.062 kWh/m^2_floor-year เมื่อนำมาแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ และ Cooling Energy สมการ (32) และ (33) จะได้ baseline ของ OTTV ราชการ ของอาคารในทิศทาง A เท่ากับ 32.525 W/m^2_wall และ baseline ของ OTTV ราชการ ของอาคารในทิศทาง B C และ D เท่ากับ 22.469 W/m^2_wall รายละเอียดดัง ตารางที่ 4.18

สมการความสัมพันธ์ OTTVราชการ กับ Cooling Energy (kWh/m^2_floor-year) ทิศทาง A

CE (Cooling Energy) =0.804 (OTTVราชการ) + 15.889 เมื่อค่า OTTVราชการ > 5 (32)

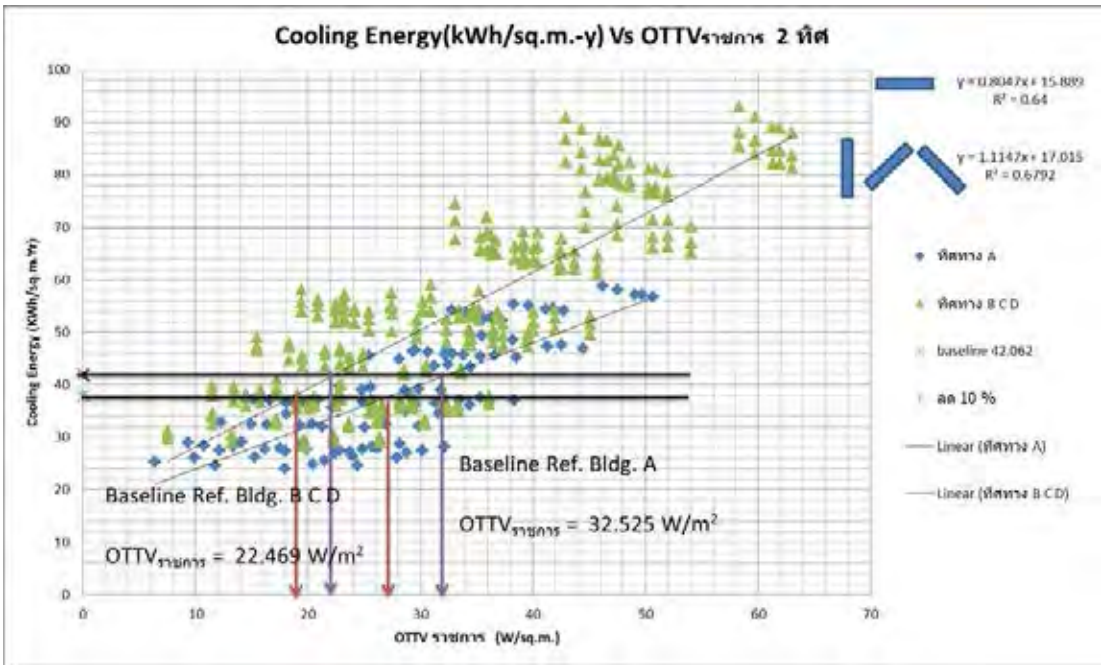
สมการความสัมพันธ์ OTTVราชการ กับ Cooling Energy (kWh/m^2_floor-year) ทิศทาง B C D

CE (Cooling Energy) = 1.114(OTTVราชการ) + 17.015 เมื่อค่า OTTVราชการ > 5 (33)

การกำหนดค่า baseline ของ OTTVราชการ กำหนดโดยการแทนค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ (Cooling Energy) ของอาคารอ้างอิงในทิศทาง A, B, C และ D 42.062 kWh/m^2_floor-year เป็นฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารอ้างอิง แทนค่า Cooling Energy ลงในสมการ (32) และ (33) จะได้ค่า baseline ของ OTTVราชการ ในแต่ละทิศทางการวางอาคาร แผนภูมิที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ 2 ทิศ) กับ Cooling Energy และแสดงค่า OTTVราชการ เมื่อปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศลง 10 % (ลดจาก 42.062 kWh/m^2_floor-year)

ตารางที่ 4.18 ค่า baseline ของ OTTV ราชการ (W/m^2_wall) และสมการความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2_floor-year)

ทิศทางอาคาร	TDeq	ΔT	ESR	$OTTV_{ราชการ}$ Baseline	สมการ ความสัมพันธ์OTTV กับ Cooling Energy (kWh/m^2-y)	R^2
A	6.053	3.375	44.199	32.525	CR=0.8047OTTV + 15.889	0.6400
B C D	6.337	3.496	61.852	22.469	CR= 1.1147OTTV + 17.015	0.6792
เฉลี่ยทุกทิศ	6.266	3.466	57.439	24.184	CR = 1.0474OTTV + 16.731	0.5361



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ 2 ทิศ) กับ Cooling Energy

ในการปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 10 % ซึ่งเป็นนโยบายโดยทั่วไปของภาครัฐ อาคารกรณีศึกษาวางอาคารในทิศทาง D มีค่า WWR 32.29 ฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษา คือ 42.062 kWh/m^2_floor-year (ค่า baseline OTTV ราชการ อาคารกรณีศึกษา 22.469 W/m^2_wall) ซึ่งเมื่อปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 10 % แล้ว จะมีค่าพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น 37.855 kWh/m^2_floor-year (ค่า baseline OTTV ราชการ อาคารกรณีศึกษา 18.696 W/m^2_wall) ตารางที่ 4.19 การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารกรณีศึกษาให้มีค่าการใช้พลังงานลดลง 10 % โดยพิจารณาจากค่า OTTV ราชการ สามารถพิจารณากำหนดค่า Uw, Uf และ SHGC ของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้เบื้องต้นตามตารางเพื่อให้ได้ค่า OTTV ราชการ ที่ผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานและการเลือกวัสดุให้อาคารกรณีศึกษาลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง10 %

ตารางที่ 4.20 และ 4.21 พิจารณาจากการแปรชนิดวัสดุให้เป็นค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (Uw) , ผนังโปร่งแสง (Uf) และค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) เพื่อให้สะดวกต่อการพิจารณาค่า OTTV ราชการ ที่ต้องการ โดยการกำหนดค่า Uw, Uf, SHGC ของวัสดุในเบื้องต้นที่ให้ค่า OTTV ราชการที่ต้องการ แล้วจึงไปเลือกวัสดุกรอบอาคารที่มีค่า Uw, Uf และ SHGC ใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 4.20 และ 4.21 เมื่อเลือกวัสดุเปลือกอาคารตามตารางในเบื้องต้นแล้ว เราสามารถคำนวณค่า OTTV ราชการ ที่ถูกต้องอีกครั้งหนึ่งโดยใช้สมการ (30) หรือ (31) ตามทิศทางการวางอาคาร

เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีทิศทางการวางอาคารในทิศ D ซึ่งต้องพิจารณาปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม OTTV ราชการ น้อยกว่า 22.469 W/m^2 เมื่อคำนวณจากสมการ (31) โดยการเลือกวัสดุกรอบอาคารที่เมื่อแทนค่าในสูตร OTTV ราชการ ในทิศทาง B, C และ D แล้วมีค่าต่ำกว่า 22.469 W/m^2 เนื่องจากการวางทิศทางอาคารที่ได้รับผลกระทบจากรังสีอาทิตย์มาก ต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นสูง การปรับปรุงจึงต้องพิจารณาวัสดุกรอบอาคารทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสงที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าอาคารที่วางแนวอาคารในทิศทาง A ซึ่งมีเกณฑ์ค่า OTTV ราชการ ในทิศทาง A 32.525 W/m^2 เมื่อคำนวณจากสมการ (30) จะพบว่าการวางอาคารในทิศทาง A สามารถเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่ไม่จำเป็นต้องมีประสิทธิภาพสูงซึ่งราคาแพง สามารถคำนวณค่า OTTV ราชการ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (32.525 W/m^2) โดยง่าย

ตารางที่ 4.19 ค่า Baseline (อาคารอ้างอิง WWR 32.29) ของ OTTV ราชการ และค่า OTTV ราชการ เมื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ (Cooling Energy) ลง 10 % จาก Baseline

สูตรการคำนวณ	**$OTTV_{baseline}$ (W/m^2)**	**ลด 10 % จาก $OTTV_{baseline}$ (W/m^2)**
ทิศทาง A จากสมการ (30) $OTTV_{ราชการ}$ = (6.054)(Uw)(1-WWR) + (3.375)(Uf)(WWR) +(44.2)(WWR)(SHGC)(SC)	ไม่เกิน 32.525 Uw ไม่เกิน 3.5 Uf ไม่เกิน 7 SHGC ไม่เกิน 0.7	ไม่เกิน 27.298 Uw ไม่เกิน 3.3 Uf ไม่เกิน 6 SHGC ไม่เกิน 0.6
ทิศทาง B ,C และ D จากสมการ (31) $OTTV_{ราชการ}$ = (6.337)(Uw)(1-WWR) + (3.496)(Uf)(WWR) +(61.852)(WWR)(SHGC)(SC)	ไม่เกิน 22.469 Uw ไม่เกิน 1.2 Uf ไม่เกิน 3.3 SHGC ไม่เกิน 0.6	ไม่เกิน 18.696 Uw ไม่เกิน 0.3 Uf ไม่เกิน 3.3 SHGC ไม่เกิน 0.6

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง A กับ ค่า U_w , U_f และSHGC

$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2) =(6.054) (Uw)(1-WWR)+(3.375)(Uf)(WWR)+(44.2)(WWR)(SHGC)(SC)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°c$)	Uf ($W/m^2.°c$)	SHGC	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)
1	A	0.3229	0.3	1.6	0.2	5.828
2	A	0.3229	0.3	3.3	0.2	7.680
3	A	0.3229	0.3	1.6	0.4	8.682
4	A	0.3229	1.2	1.6	0.2	9.517
5	A	0.3229	0.3	3.3	0.4	10.535
6	A	0.3229	0.3	6	0.2	10.623
7	A	0.3229	1.2	3.3	0.2	11.370
8	A	0.3229	0.3	1.6	0.6	11.537
9	A	0.3229	1.2	1.6	0.4	12.372
10	A	0.3229	0.3	3.3	0.6	13.389
11	A	0.3229	0.3	6	0.4	13.477
12	A	0.3229	1.2	3.3	0.4	14.224
13	A	0.3229	1.2	6	0.2	14.312
14	A	0.3229	1.2	1.6	0.6	15.226
15	A	0.3229	0.3	6	0.6	16.332
16	A	0.3229	1.2	3.3	0.6	17.079
17	A	0.3229	1.2	6	0.4	17.167
18	A	0.3229	3.3	1.6	0.2	18.125
19	A	0.3229	3.3	3.3	0.2	19.978
20	A	0.3229	1.2	6	0.6	20.021
21	A	0.3229	3.3	1.6	0.4	20.980
22	A	0.3229	3.3	3.3	0.4	22.832
23	A	0.3229	3.3	6	0.2	22.920
24	A	0.3229	3.3	1.6	0.6	23.834
25	A	0.3229	3.3	3.3	0.6	25.687
26	A	0.3229	3.3	6	0.4	25.775
27	A	0.3229	3.3	6	0.6	28.629
28	**A**	**0.3229**	**3.5**	**7**	**0.7**	**31.966**

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง B, C และ D กับ ค่า U_w , U_f และSHGC

$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2) =(6.337) (Uw)(1-WWR)+(3.496)(Uf)(WWR)+(61.852)(WWR)(SHGC)(SC)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°c$)	Uf ($W/m^2.°c$)	SHGC	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)
1	B C และ D	0.3229	0.3	1.6	0.2	7.088
2	B C และ D	0.3229	0.3	3.3	0.2	9.007
3	B C และ D	0.3229	1.2	1.6	0.2	10.950
4	B C และ D	0.3229	0.3	1.6	0.4	11.082
5	B C และ D	0.3229	0.3	6	0.2	12.055
6	B C และ D	0.3229	1.2	3.3	0.2	12.869
7	B C และ D	0.3229	0.3	3.3	0.4	13.001
8	B C และ D	0.3229	1.2	1.6	0.4	14.944
9	B C และ D	0.3229	0.3	1.6	0.6	15.077
10	B C และ D	0.3229	1.2	6	0.2	15.916
11	B C และ D	0.3229	0.3	6	0.4	16.049
12	B C และ D	0.3229	1.2	3.3	0.4	16.863
13	**B C และ D**	**0.3229**	**0.3**	**3.3**	**0.6**	**16.996**
14	B C และ D	0.3229	1.2	1.6	0.6	18.938
15	B C และ D	0.3229	1.2	6	0.4	19.911
16	B C และ D	0.3229	3.3	1.6	0.2	19.960
17	B C และ D	0.3229	0.3	6	0.6	20.044
18	**B C และ D**	**0.3229**	**1.2**	**3.3**	**0.6**	**20.857**
19	B C และ D	0.3229	3.3	3.3	0.2	21.879
20	B C และ D	0.3229	1.2	6	0.6	23.905
21	B C และ D	0.3229	3.3	1.6	0.4	23.955
22	B C และ D	0.3229	3.3	6	0.2	24.927
23	B C และ D	0.3229	3.3	3.3	0.4	25.874
24	B C และ D	0.3229	3.3	1.6	0.6	27.949
25	B C และ D	0.3229	3.3	6	0.4	28.922
26	B C และ D	0.3229	3.3	3.3	0.6	29.868
27	B C และ D	0.3229	3.3	6	0.6	32.916

4.7 การพิจารณาทางเลือกการใช้วัสดุเปลือกอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานโดยใช้ค่า OTTV$_{ราชการ}$

อาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่ที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร 30 % และ 40 % (WWR 30 และ WWR 40) ได้ถูกนำมาพิจารณาเป็นต้นแบบในการศึกษา เนื่องจากสัดส่วนช่องเปิดดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับอาคารสำนักงานราชการส่วนใหญ่ที่สร้าง และ ค่า WWR 40 เป็นค่า WWR ของอาคารขนาดใหญ่ถูกกำหนดใน ASHRAE 90.1 ฐานการใช้พลังงานที่ได้จากอาคารอ้างอิงซึ่งมี WWR 30 คือ 42.062 kWh/m^2_floor-year (OTTV ราชการ ทิศ A เท่ากับ 32.525 W/m^2 และ OTTV ราชการ ทิศ B,C,D เท่ากับ 22.469 W/m^2) ซึ่งเมื่อปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 10 % แล้ว จะมีค่าพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นของอาคารอ้างอิงเท่ากับ 37.855 kWh/m^2_floor-year (OTTV ราชการ ทิศ A เท่ากับ 27.298 W/m^2 และ OTTV ราชการ ทิศ B,C,D เท่ากับ 18.696 W/m^2) ตารางที่ 4.22 แสดงค่าของวัสดุกรอบอาคารที่ให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าตามฐานการใช้พลังงานที่ได้จากอาคารอ้างอิง และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 10 %

การพิจารณากำหนดค่า Uw, Uf และ SHGC เบื้องต้นในอาคารสำนักงานราชการที่มี WWR 30 และ WWR 40 สามารถใช้ตารางที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งแปรชนิดวัสดุให้เป็นค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (Uw), ผนังโปร่งแสง (Uf) และค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) เพื่อให้สะดวกต่อการพิจารณาค่า OTTV ราชการ ที่ต้องการ โดยการกำหนดค่า Uw, Uf, SHGC ของวัสดุในเบื้องต้นที่ให้ค่า OTTV ราชการที่ต้องการ แล้วจึงไปเลือกวัสดุกรอบอาคารที่มีค่า Uw, Uf และ SHGC ใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 4.23 และ 4.24 เมื่อเลือกวัสดุเปลือกอาคารตามตารางในเบื้องต้นแล้ว เราสามารถคำนวณค่า OTTV ราชการ ที่ถูกต้องอีกครั้งหนึ่งโดยใช้สมการ (30) หรือ (31) ตามทิศทางการวางอาคาร

ตารางที่ 4.22 เกณฑ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเพื่อประหยัดพลังงาน และการเลือก U_w , U_f และSHGC

WWR	ทิศทางอาคาร	OTTV$_{ราชการ}$ (W/m^2)	Uw (W/m^2.°c)	Uf (W/m^2.°c)	SHGC
WWR 30	A	32.525 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6.5	ไม่เกิน 0.8
		27.298 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6	ไม่เกิน 0.4
	B C และ D	22.469 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 0.2
		18.696 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 1.2	ไม่เกิน 1.6	ไม่เกิน 0.6
WWR 40	A	32.525 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6.5	ไม่เกิน 0.6
		27.298 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6	ไม่เกิน 0.4
	B C และ D	22.469 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 0.2
		18.696 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 0.3	ไม่เกิน 1.6	ไม่เกิน 0.6

ตารางที่ 4.23 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง A กับ ค่า U_w , U_f และSHGC

$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2) =(6.054) (Uw)(1-WWR)+(3.375)(Uf)(WWR)+(44.2)(WWR)(SHGC)(SC)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°c$)	Uf ($W/m^2.°c$)	SHGC	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)
1	A	0.3	0.3	1.6	0.2	5.543
2	A	0.4	0.3	1.6	0.2	6.786
3	A	0.3	0.3	3.3	0.2	7.265
4	A	0.3	0.3	1.6	0.4	8.195
5	A	0.4	0.3	3.3	0.2	9.081
6	A	0.3	1.2	1.6	0.2	9.357
7	A	0.3	0.3	3.3	0.4	9.917
8	A	0.3	0.3	6	0.2	9.998
9	A	0.4	1.2	1.6	0.2	10.055
10	A	0.4	0.3	1.6	0.4	10.322
11	A	0.3	0.3	1.6	0.6	10.847
12	A	0.3	1.2	3.3	0.2	11.079
13	A	0.3	1.2	1.6	0.4	12.009
14	A	0.4	1.2	3.3	0.2	12.350
15	A	0.3	0.3	3.3	0.6	12.569
16	A	0.4	0.3	3.3	0.4	12.617
17	A	0.3	0.3	6	0.4	12.650
18	A	0.4	0.3	6	0.2	12.726
19	A	0.4	1.2	1.6	0.4	13.591
20	A	0.3	1.2	3.3	0.4	13.731
21	A	0.3	1.2	6	0.2	13.812
22	A	0.4	0.3	1.6	0.6	13.858
23	A	0.3	1.2	1.6	0.6	14.661
24	A	0.3	0.3	6	0.6	15.302
25	A	0.4	1.2	3.3	0.4	15.886
26	A	0.4	1.2	6	0.2	15.995
27	A	0.4	0.3	3.3	0.6	16.153
28	A	0.4	0.3	6	0.4	16.262

ตารางที่ 4.23 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง A กับ ค่า U_w , U_f และSHGC (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°c$)	Uf ($W/m^2.°c$)	SHGC	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)
29	A	0.3	1.2	3.3	0.6	16.383
30	A	0.3	1.2	6	0.4	16.464
31	A	0.4	1.2	1.6	0.6	17.127
32	A	0.4	3.3	1.6	0.2	17.683
33	A	0.3	3.3	1.6	0.2	18.257
34	A	0.3	1.2	6	0.6	19.116
35	A	0.4	1.2	3.3	0.6	19.422
36	A	0.4	1.2	6	0.4	19.531
37	A	0.4	0.3	6	0.6	19.798
38	A	0.4	3.3	3.3	0.2	19.978
39	A	0.3	3.3	3.3	0.2	19.978
40	A	0.3	3.3	1.6	0.4	20.909
41	A	0.4	3.3	1.6	0.4	21.219
42	A	0.3	3.3	3.3	0.4	22.630
43	A	0.3	3.3	6	0.2	22.712
44	A	0.4	1.2	6	0.6	23.067
45	A	0.4	3.3	3.3	0.4	23.514
46	A	0.3	3.3	1.6	0.6	23.561
47	A	0.4	3.3	6	0.2	23.623
48	A	0.4	3.3	1.6	0.6	24.755
49	A	0.3	3.3	3.3	0.6	25.282
50	**A**	**0.3**	**3.3**	**6**	**0.4**	**25.364**
51	A	0.4	3.3	3.3	0.6	27.050
52	A	0.4	3.3	6	0.4	27.159
53	**A**	**0.3**	**3.3**	**6**	**0.6**	**28.016**
54	A	0.4	3.3	6	0.6	30.695
55	A	0.3	3.3	6.5	0.8	31.174
56	A	0.4	3.3	6.5	0.6	31.370

ตารางที่ 4.24 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง B, C และ D กับ ค่า Uw , Uf และSHGC

OTTVราชการ (W/m^2) =(6.337) (Uw)(1-WWR)+(3.496)(Uf)(WWR)+(61.852)(WWR)(SHGC)(SC)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ c$)	Uf ($W/m^2.^\circ c$)	SHGC	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)
1	B C และ D	0.3	0.3	1.6	0.2	6.720
2	B C และ D	0.4	0.3	1.6	0.2	8.326
3	B C และ D	0.3	0.3	3.3	0.2	8.503
4	B C และ D	0.3	0.3	1.6	0.4	10.431
5	B C และ D	0.4	0.3	3.3	0.2	10.704
6	B C และ D	0.3	1.2	1.6	0.2	10.712
7	B C และ D	0.3	0.3	6	0.2	11.335
8	B C และ D	0.4	1.2	1.6	0.2	11.748
9	B C และ D	0.3	0.3	3.3	0.4	12.214
10	B C และ D	0.3	1.2	3.3	0.2	12.495
11	B C และ D	0.4	0.3	1.6	0.4	13.274
12	B C และ D	0.4	1.2	3.3	0.2	14.126
13	B C และ D	0.3	0.3	1.6	0.6	14.142
14	B C และ D	0.3	1.2	1.6	0.4	14.423
15	B C และ D	0.4	0.3	6	0.2	14.479
16	B C และ D	0.3	0.3	6	0.4	15.046
17	B C และ D	0.3	1.2	6	0.2	15.327
18	B C และ D	0.4	0.3	3.3	0.4	15.652
19	B C และ D	0.3	0.3	3.3	0.6	15.925
20	B C และ D	0.3	1.2	3.3	0.4	16.206
21	B C และ D	0.4	1.2	1.6	0.4	16.696
22	B C และ D	0.4	1.2	6	0.2	17.901
23	B C และ D	0.3	1.2	1.6	0.6	18.135
24	B C และ D	0.4	0.3	1.6	0.6	18.223
25	B C และ D	0.3	0.3	6	0.6	18.757
26	B C และ D	0.3	1.2	6	0.4	19.038
27	B C และ D	0.4	1.2	3.3	0.4	19.074

ตารางที่ 4.24 แสดงค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการทิศทาง B, C และ D กับ ค่า Uw , Uf และSHGC (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°c$)	Uf ($W/m^2.°c$)	SHGC	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)
28	B C และ D	0.4	0.3	6	0.4	19.427
29	B C และ D	0.4	3.3	1.6	0.2	19.733
30	B C และ D	0.3	1.2	3.3	0.6	19.917
31	B C และ D	0.3	3.3	1.6	0.2	20.028
32	B C และ D	0.4	0.3	3.3	0.6	20.600
33	B C และ D	0.4	1.2	1.6	0.6	21.645
34	B C และ D	0.3	3.3	3.3	0.2	21.811
35	B C และ D	0.4	3.3	3.3	0.2	22.110
36	B C และ D	0.3	1.2	6	0.6	22.749
37	B C และ D	0.4	1.2	6	0.4	22.849
38	B C และ D	0.3	3.3	1.6	0.4	23.739
39	B C และ D	0.4	1.2	3.3	0.6	24.022
40	B C และ D	0.4	0.3	6	0.6	24.376
41	B C และ D	0.3	3.3	6	0.2	24.642
42	B C และ D	0.4	3.3	1.6	0.4	24.681
43	B C และ D	0.3	3.3	3.3	0.4	25.522
44	B C และ D	0.4	3.3	6	0.2	25.886
45	B C และ D	0.4	3.3	3.3	0.4	27.058
46	B C และ D	0.3	3.3	1.6	0.6	27.450
47	B C และ D	0.4	1.2	6	0.6	27.798
48	B C และ D	0.3	3.3	6	0.4	28.354
49	B C และ D	0.3	3.3	3.3	0.6	29.233
50	B C และ D	0.4	3.3	1.6	0.6	29.629
51	B C และ D	0.4	3.3	6	0.4	30.834
52	B C และ D	0.4	3.3	3.3	0.6	32.006
53	B C และ D	0.3	3.3	6	0.6	32.065
54	B C และ D	0.4	3.3	6	0.6	35.782

4.8 การพิจารณาใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ (Cooling Energy- CE) โดยใช้ค่า OTTVราชการ

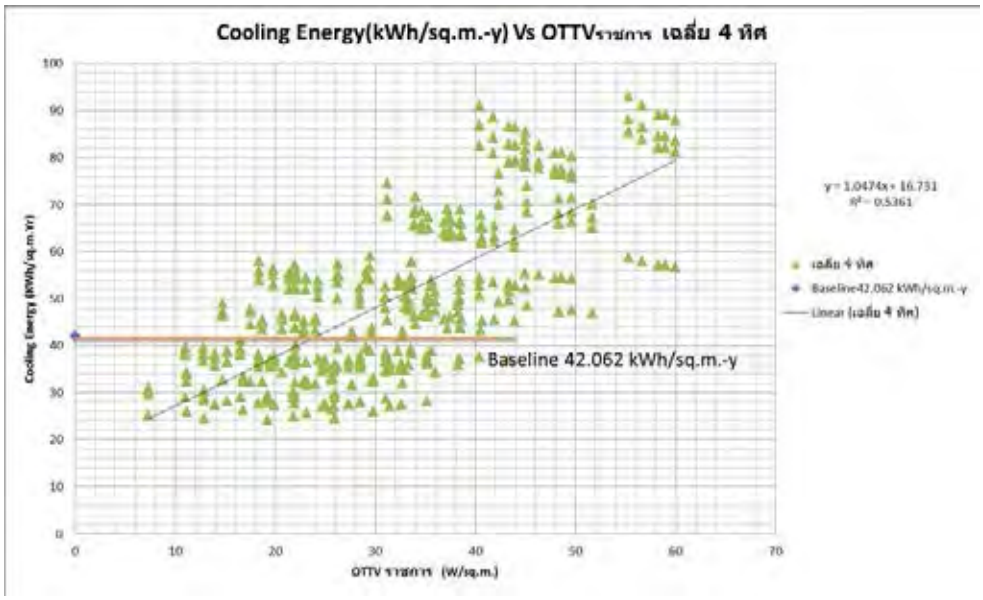
การพิจาณาเลือกกรอบอาคารเพื่อออกแบบอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ หรือพิจารณาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถใช้สมการ OTTV ราชการ ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้หาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมจากกรอบอาคารแล้วเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ (kWh/m^2_floor-year) เช่น การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารลง 10 % จาก baseline 42.062 kWh/m^2_floor-year การคำนวณหาเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ (target annual electricity use) หากทำการปรับลดเฉพาะ พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศลง 10 % จะได้ค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไม่เกิน 37.855 kWh/m^2-y เมื่อนำค่า Cooling Energy นี้ไปแทนในสมการ (32) หรือ (33) ตามทิศทางการวางอาคาร จะได้ค่า OTTV ราชการ ที่ปรับลดลงเนื่องจากการลดค่าพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศของอาคาร จะสามารถพิจารณาวัสดุกรอบอาคารที่ต้องใช้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยคำนวณจากสมการ OTTV ราชการ เลือกวัสดุกรอบอาคารที่ได้ค่า OTTV ราชการ ที่ลดลง เป็นต้น

ตามแผนภูมิ ที่ 4.7 หากต้องการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่เกิดจากภาระการทำความเย็นของกรอบอาคาร สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (32) ซึ่งมีค่า R^2 = 0.64 สำหรับอาคารที่วางในทิศทาง A และสมการที่ (33) ซึ่งมีค่า R^2 = 0.6792 สำหรับอาคารที่วางในทิศทาง B, C, และD

ทิศทาง A Cooling Energy = (0.804)(OTTVราชการ) +15.889 เมื่อค่า OTTVราชการ > 5 (32)

ทิศทาง B, C, D Cooling Energy = (1.114)(OTTVราชการ) +17.015 เมื่อค่า OTTVราชการ > 5 (33)

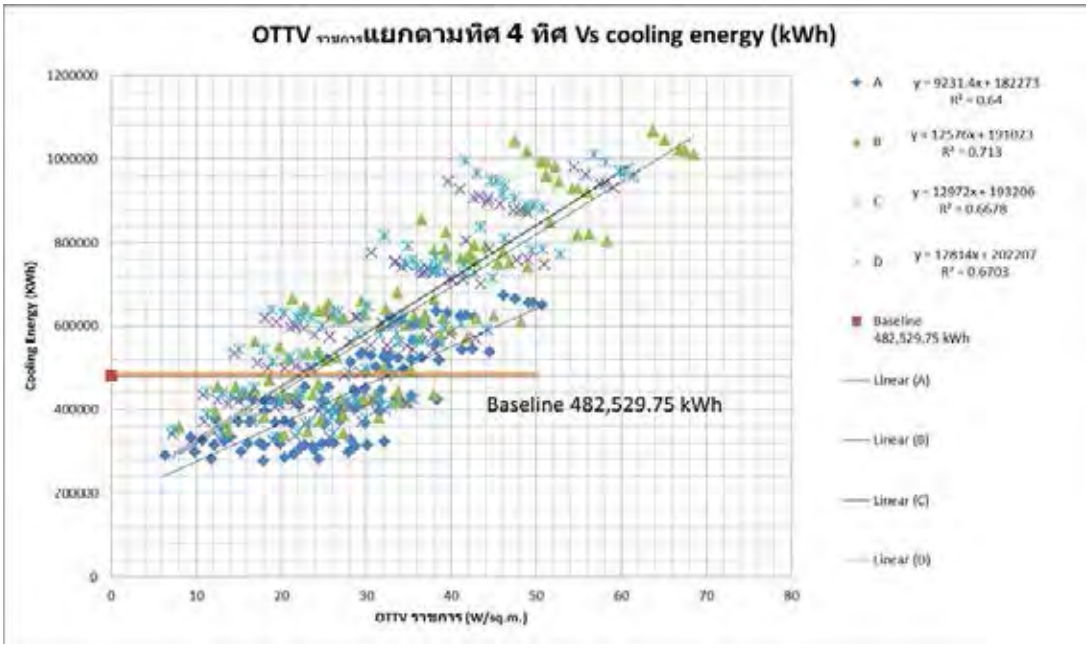
ตามแผนภูมิที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการที่ใช้ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ 4 ทิศ กับ การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ (kWh/m^2_floor-year) ค่า R^2 เท่ากับ 0.5361น้อยกว่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ) กับ Cooling Energy มาก



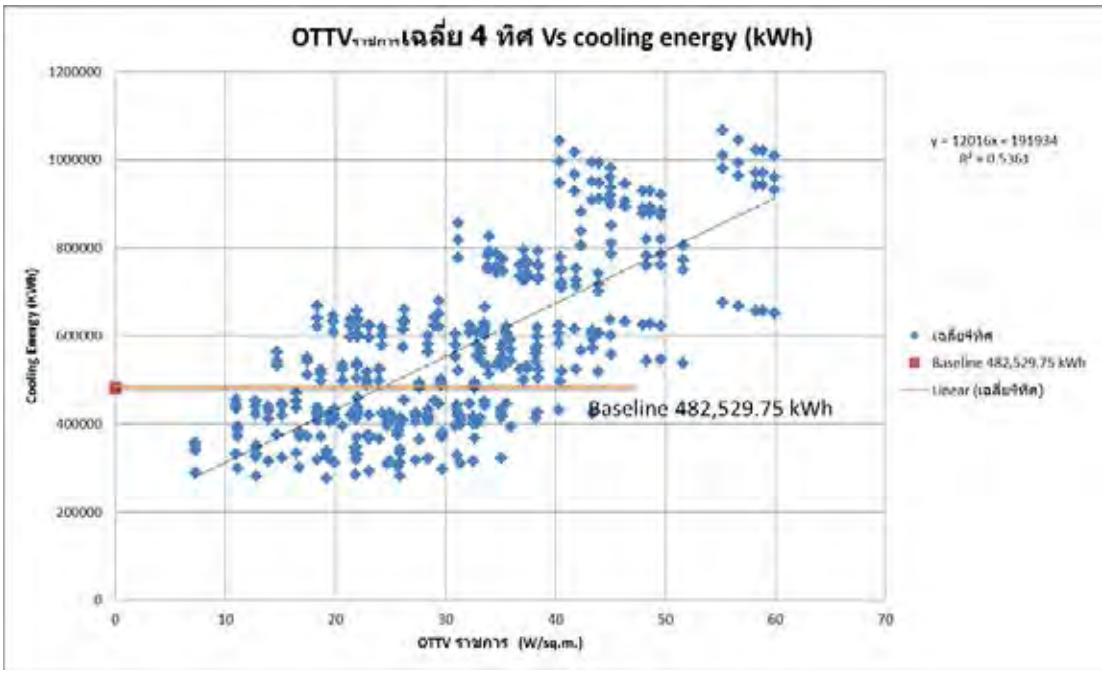
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (เฉลี่ย 4 ทิศ) กับ Cooling Energy

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV ราชการ กับ การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศทั้งปีของอาคาร (kWh/y) ตามแผนภูมิที่ 4.9 จะพบว่าการคำนวณค่า OTTV ราชการ จากสมการที่แยกทิศทางอาคารเป็น 4 สมการมีความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ) กับ Cooling Energy (kWh/y) ค่า R^2 ของ OTTV ราชการ สมการทิศทาง A เท่ากับ 0.64 ,R^2 ของ OTTV ราชการ สมการทิศทาง B เท่ากับ 0.713 , R^2 ของ OTTV ราชการ สมการทิศทาง C เท่ากับ 0.6678 และ R^2 ของOTTV ราชการ สมการทิศทาง D เท่ากับ 0.6703 มากกว่า OTTV ราชการ จากสมการที่ใช้ค่าเฉลี่ยของ TDeq , ΔT , ESR (เฉลี่ย 4 ทิศ)

แผนภูมิที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV ราชการ ที่คำนวณจากสมการที่ใช้ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ 4 ทิศ กับ การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศทั้งปีของอาคาร (kWh/y) ค่า R^2 เท่ากับ 0.5361 น้อยกว่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ) กับ Cooling Energy มาก ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีความจำเป็นที่ต้องแยกสูตรการคำนวณ OTTV ราชการ ตามทิศทางของอาคาร



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (แยกตามทิศ 4 ทิศ)กับ Cooling Energy (kWh/y)



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ (เฉลี่ย 4 ทิศ)กับ Cooling Energy (kWh/y)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น การสำรวจ ประเมินและวิเคราะห์รูปแบบอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีในปัจจุบัน ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ และการจำลองสภาพการใช้งานอาคารอ้างอิง ในพารามิเตอร์ต่างๆกัน การศึกษาในบทที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและประเมินรูปแบบอาคารสำนักงานราชขนาดใหญ่พิเศษที่มีการก่อสร้างในปัจจุบันพบว่ามีรูปแบบการใช้งาน และลักษณะทางกายภาพของอาคารที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานเอกชนโดยทั่วไปรายละเอียดตามบทที่ 4 ซึ่งแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดกับอาคารสำนักงานอ้างอิงที่ใช้ในการออกกฎกระทรวง 2552 (Chirarattananon และ Taveekun, 2004) จากนโยบายการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานราชการทำให้ช่วงเวลาการเปิด-ปิดระบบปรับอากาศลดน้อยลง (9.00-16.00 น.) ทำให้ลดภาระการทำความเย็นที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ในมุมต่ำในเวลาหลัง 16.00 น. ซึ่งแผงกันแดดไม่สามารถกันแดดในมุมต่ำได้ แตกต่างจากอาคารอ้างอิงตามกฎกระทรวงซึ่งมีลักษณะเป็นสำนักงานเอกชน (ใช้งาน 2,340 ชั่วโมงต่อปี เวลาทำงานของพนักงานและระบบปรับอากาศ 8.00-17.00 น.) การมีอุปกรณ์กันแดดให้ช่องเปิดของอาคารราชการและลักษณะการวางแปลนอาคารราชการที่มักมีขนาดใหญ่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งในบางอาคารมีแกนสัญจรทางตั้งที่ปลายอาคารทั้งสองด้าน ทำให้ผนังอาคารส่วนปรับอากาศติดภายนอกเพียง 2 ด้าน ทำให้ลดผลกระทบจากรังสีอาทิตย์ได้มากถ้ามีการวางทิศทางอาคารที่ถูกต้อง ค่า OTTV ของอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเรียกว่า $OTTV_{ราชการ}$ จึงมีค่าน้อยกว่าการคำนวณที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง 2552 เนื่องมาจากสมการคำนวณ $OTTV_{ราชการ}$มีค่าสัมประสิทธิ์ในสูตรน้อยกว่าที่กำหนดในกฎกระทรวง ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่า TDeq , Δ T และ ESR ที่ประกาศในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 กับงานวิจัย

ที่มา	TDeq	Δ T	ESR
กฎกระทรวงกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552	7.1-27.8	5	185.06-267.41
ภานุพงษ์ (2555)	(6.05และ6.34)	(3.375 และ 3.496)	(55.25 และ 87.11)

การคำนวณค่า $OTTV_{ราชการ}$ แบ่งเป็น 2 สมการตามทิศทางอาคาร ของการวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น สมการ $OTTV_{ราชการ}$ อาคารที่วางในทิศทาง A (30) และสมการ $OTTV_{ราชการ}$ อาคารที่วางในทิศทาง B ,C,D (31) ค่า baseline ของ $OTTV_{ราชการ}$ ของอาคารในทิศทาง A เท่ากับ 32.525 W/m^2 และ baseline ของ $OTTV_{ราชการ}$ ของอาคารในทิศทาง B C และ D เท่ากับ 22.469 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่เสนอให้ใช้เป็น

มาตรฐานสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษในเบื้องต้น การคำนวณ OTTV ราชการ ใช้ 2 สมการตามทิศทางการวางอาคาร ดังนี้

อาคารทิศทาง A

$$OTTV_{ราชการ} = (6.054)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.375)(Uf)(WWR) + (44.2)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (30)$$

อาคารทิศทาง B ,C และ D

$$OTTV_{ราชการ} = (6.337)(Uw)(1\text{-}WWR) + (3.496)(Uf)(WWR) + (61.852)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (31)$$

เงื่อนไขในการนำสมการ $OTTV_{ราชการ}$ ไปใช้

- เป็นอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่ไม่ปรับอากาศบริเวณปลายอาคาร 2 ด้าน ส่วนปรับอากาศมีผนังอาคารติดภายนอก 2 ด้าน
- เป็นอาคารที่มีอุปกรณ์บังแดด
- ชั่วโมงการเปิดระบบปรับอากาศ 9.00-16.00 น. ทำให้ได้รับผลกระทบจากแสงแดดน้อย

ค่า ESR ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ เป็นค่าที่รวมค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) แล้วเนื่องจากการจำลองสำนักงานราชการอ้างอิงใน Visual DOE 4.1 อาคารมีอุปกรณ์บังแดดแนวนอนยื่นจากผนังอาคารประมาณ 1.5 เมตรเหนือหน้าต่างบริเวณปรับอากาศ หากจะกำหนดค่า ESR ให้สอดคล้องกับการคำนวณ OTTV ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ซึ่งค่า SC = 1 เมื่ออาคารไม่มีอุปกรณ์บังแดด สามารถหาค่า ESR ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ ที่ SC = 1 โดยใช้ค่า SC จากตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสำหรับใช้พิจารณาการออกแบบเบื้องต้น จัดทำโดยบริษัทสถาปนิก 49 ดังนี้

ค่า ESR ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ อาคารทิศทาง A = 44.2 / 0.8 = 55.25

ค่า ESR ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ อาคารทิศทาง B ,C และ D = 61.852 / 0.71 = 87.11

การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารโดยการปรับปรุงเปลือกอาคารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่มาจากภาระปรับอากาศของเปลือกอาคาร ในการวิจัยครั้งนี้ การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ (kWh/m^2_floor-year) สามารถเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารที่ได้จากสมการ OTTV ราชการ ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ ตามสมการที่แยกตามทิศทางอาคาร

ทิศทาง A Cooling Energy = (0.804)(OTTV ราชการ) +15.889 เมื่อค่า $OTTV_{ราชการ} > 5$ (32)

ทิศทาง B, C, D Cooling Energy = (1.114)(OTTV ราชการ) +17.015 เมื่อค่า $OTTV_{ราชการ} > 5$ (33)

ตาราง 5.2 แสดงเกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุกรอบอาคารและแนวทางการเลือกเปลือกอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยค่า OTTV ราชการ ที่กำหนดขึ้นมาจะเป็นดัชนีกำหนดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศอันเนื่องมาจากกรอบอาคารไม่เกิน 42.062 kWh/m^2_floor-year (OTTV ราชการ ทิศ A เท่ากับ 32.525 W/m^2 และ OTTV ราชการ ทิศ B,C,D เท่ากับ 22.469 W/m^2) โดยพิจารณาจากวัสดุกรอบอาคารต้องมีค่า OTTV ราชการ ไม่เกินที่กำหนด ไม่ว่าจะออกแบบโดยใช้ WWR

วัสดุกรอบอาคาร การวางทิศทางอาคารอย่างไร การใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจะมีค่าประมาณเท่ากับค่าการใช้พลังงานของ Baseline และค่าการใช้พลังงานของ Baseline ที่ปรับลดแล้ว 10 %

ตารางที่ 5.2 เกณฑ์การเลือก U_w , U_f และSHGC ของวัสดุกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

WWR	ทิศทางอาคาร	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	Uw ($W/m^2.°C$)	Uf ($W/m^2.°C$)	SHGC
อาคารอ้างอิง WWR 32.29	A	32.525 W/m^2	ไม่เกิน 3.5	ไม่เกิน 7	ไม่เกิน 0.7
		27.298 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6	ไม่เกิน 0.6
	B C และ D	22.469 W/m^2	ไม่เกิน 1.2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 0.6
		18.696 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 0.3	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 0.6
WWR 30	A	32.525 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6.5	ไม่เกิน 0.8
		27.298 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6	ไม่เกิน 0.4
	B C และ D	22.469 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 0.2
		18.696 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 1.2	ไม่เกิน 1.6	ไม่เกิน 0.6
WWR 40	A	32.525 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6.5	ไม่เกิน 0.6
		27.298 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 6	ไม่เกิน 0.4
	B C และ D	22.469 W/m^2	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 3.3	ไม่เกิน 0.2
		18.696 W/m^2 (ลด10 %)	ไม่เกิน 0.3	ไม่เกิน 1.6	ไม่เกิน 0.6

สมการคำนวณค่า OTTV ในงานวิจัยอื่น ๆ มีรายละเอียดตามตารางที่ 5.3 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐาน และค่าพลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี (kWh/m^2-y) ของอาคารอ้างอิงที่ใช้ในการวิจัยมีรายละเอียดตามตารางที่ 5.4

การกำหนดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในอาคารอ้างอิง (kWh/m^2-y) ที่ปรากฏในงานวิจัยของ Chirarattanon และ คนอื่นๆ (2010) กำหนดพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในอาคารสำนักงานอ้างอิง 219.2 kWh/m^2-y และค่า OTTV 62.9 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสูตรการใช้พลังงานรวมในอาคารตามกฎกระทรวง 2552 แล้วแบ่งระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็น 5 ระดับ พบว่ามีค่าสูงกว่าอาคารอ้างอิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (112.94 kWh/m^2-y เฉพาะในพื้นที่ปรับอากาศ, 69 kWh/m2-y พื้นที่รวมทั้งอาคาร และ OTTV 22.469 W/m^2) เกือบสองเท่า สาเหตุเกิดจากการใช้อาคารสำนักอ้างอิงที่ไม่สอดคล้องกับอาคารสำนักงานราชการ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการสูง และจากตารางการแบ่งระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เป็น 5 ระดับ จะพบว่าอาคารสำนักงานอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้จะมีระดับประสิทธิภาพ ระหว่าง HEPS (141 kWh/m^2-y และ 30 W/m^2) ECON(82 kWh/m^2-y และ 20 W/m^2) จึงควรทบทวนการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวม และค่า OTTV ในอาคารสำนักงานอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับอาคารสำนักงานราชการใหม่

Chirarattanon และ คนอื่น (2010) กำหนดพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในอาคารสำนักงานอ้างอิง 146.6 kWh/m^2-y และค่า OTTV 61.40 W/m^2 โดยกำหนดจากฐานข้อมูล ของ พพ. และกำหนดค่าดัชนี

พลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่นำมาจำลองเป็นอาคารอ้างอิง 131.7 kWh/m^2-y ซึ่งมีค่าสูงกว่าอาคารสำนักงานราชการอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้มาก (69 kWh/m^2-y พื้นที่รวมทั้งอาคาร และ OTTV 37 W/m^2)

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบสมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารในงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย	สมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร
Chirarattanon และ Taveekun (2004)	OTTV = 13.46(U_w)(1-WWR)+4.47(U_f)(WWR)+172.99(SC)(WWR) (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก)
Chua and Chou (2010)	$ETTV_{res}$ = 3.4(U_w)(1-WWR) +1.3(U_f)(WWR)+58.6)(WWR)C(CF)(SC) (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก)
ดนุสรณ์ (2554)	$OTTV_{condo}$ = 5.43 (U_w)(1-WWR)+0.97(U_f)(WWR)+91.40(SC)(SHGC)(WWR) (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด)
ภานุพงษ์ (2555)	สมการทิศทาง A $OTTV_{ราชการ}$ = 6.054(U_w)(1-WWR)+3.375(U_f)(WWR)+55.25(SC)(SHGC)(WWR) สมการทิศทาง B C และ D $OTTV_{ราชการ}$ = 6.337(U_w)(1-WWR)+3.496(U_f)(WWR)+87.11(SC)(SHGC)(WWR) (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด)

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารในงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh/m^2-year)
Chirarattanon และ คนอื่น (2010)	OTTV = 61.40 W/m^2	146.6
Chirarattanon และ คนอื่น (2011)	OTTV = 62.9 W/m^2	219.2
Chua and Chou (2011)	$ETTV_{res}$ = 25 W/m^2 (ในอนาคต=20 W/m^2)	N/A
ดนุสรณ์ (2554)	$OTTV_{condo}$ = 26.5 W/m^2	126.2
ภานุพงษ์ (2555)	$OTTV_{ราชการ}$ = 32.525 W/m^2 (ทิศ A) $OTTV_{ราชการ}$ = 22.469 W/m^2 (ทิศ B CและD)	112.94

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การรวมสมการการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ OTTV ราชการ เป็นค่าเดียวอาจพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของทิศทางการวางอาคารทั้ง 4 ทิศ เนื่องจากมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ได้แก่ TDeq เท่ากับ 6.266 ΔT เท่ากับ 3.466 ส่วนค่า ESR แยกเป็น 2 ค่าตามทิศทางการวางอาคารเนื่องจากมีค่าต่างกันมากในทิศทาง A และทิศทาง B C D

$$OTTV_{ราชการ} = 6.266(U_w)(1\text{-}WWR)+3.466(U_f)(WWR)+(ESR)(SC)(SHGC)(WWR)$$

เมื่อ $ESR_A = 55.25$ อาคารทิศทาง A

$ESR_{BCD} = 87.11$ อาคารทิศทาง B C และ D

2. ค่า SC ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ คำนวณได้จากตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสำหรับใช้พิจารณาการออกแบบเบื้องต้น จัดทำโดยบริษัทสถาปนิก 49 ซึ่งคำนวณได้จากสัดส่วนของระบบหน้าต่างที่กำหนดเฉพาะตามสมการของกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 เรื่องหลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ ฯ

3. การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา RTTV มีผลต่อการใช้พลังงานรวมในอาคาร ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่อง RTTV

4. การสำรวจข้อมูลอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ ควรสำรวจเพิ่มเติมในเรื่องสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ งานระบบวิศวกรรมของอาคาร สัดส่วนพื้นที่ผนังต่อพื้นที่อาคาร และวัสดุเปลือกอาคาร เป็นต้น

5. งานวิจัยนี้ศึกษาเรื่องการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และการลงทุนอันเนื่องมาจากการเลือกใช้เปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงของทางเลือกต่างๆ ซึ่งควรศึกษาเพิ่มเติม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ดนุสรณ์ บัวขจร. การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

ปริมลาภ วสุวัต. กลยุทธการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ กรณีศึกษาอาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,กรม. คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง. พิมพ์ครั้งที่ 2 , 2553. (ม.ป.ท.)

โยธาธิการและผังเมือง, กรม. กรมโยธาธิการและผังเมือง, [ออนไลน์], 2556. แหล่งที่มา: http://www.dpt.go.th [2556, มกราคม 16]

ศาณิส ยี่โถขาว. แนวทางแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารศาลากลางด้วยการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT), รายงานฉบับสุดท้ายโครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรกฎาคม 2547. (ม.ป.ท.)

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. การพัฒนาการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาวน์เฮ้าส์ . Journal of Architectural/Planning Research and Studies Volume 5(1). 2550.

ภาษาอังกฤษ

Chirarattananon S, Rugkwamsuk P, Hien VD, Taveekun J, Mettanant V. Development of a Building Energy Code for New Buildings in Thailand . The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)”, 1-3 December 2004.

Chirarattananon, S., and Taveekun, J. An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand [Online]. Energy and Buildings. 36 (2004): 680-689. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Chirarattananon, S.; Chaiwiwatworakul, P.; Hien, V.D.; Rakkwamsuk, P.; and Kubaha, K. Assessment of energy savings from the revised building energy code of Thailand [Online]. Energy. 35 (2010): 1741-1753. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Chua, K.J., and Chou, S.K. A performance-based method for energy efficiency improvement of buildings [Online]. Energy Conversion and Management. 52 (2011): 1829-1839. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Chua, K.J., and Chou, S.K. An ETTV-based approach to improving the energy performance of commercial buildings [Online]. Energy and Buildings. 42 (2010): 491-499. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Chua, K.J., and Chou, S.K. Energy performance of residential buildings in Singapore [Online]. Energy. 35 (2010): 667-678. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Lam, Joseph C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates [Online]. Buildings and Environment. 35 (2000): 19-26. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Lam, Joseph C.; Hui, Sam C.M.; and Chan, Apple L.S. Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings [Online]. Energy and Buildings. 26 (1997): 189-197. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

Pantong, K.; Chirarattananon, S.; and Chaiwiwatworakul, P. Development of Energy Conservation Program for Commercial Buildings based on Assessed Energy Saving, [Online]. Buildings Procedia. 9 (2011): 70-83. Available from: http://sciencedirect.com [2012, May 28]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies)
เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{\text{ราชการ}}$ **และการเปรียบเทียบระหว่างค่า** $OTTV_{\text{ราชการ}}$
ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{\text{ราชการ}}$ **ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ**
และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year)

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^oC$)	Uf ($W/m^2.^oC$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
1	A	0.2	4.285	6.172	0.815	1492.805	29.032	32.124	10.65%	322977	28.154
2	A	0.4	4.285	6.172	0.815	1765.311	34.332	38.306	11.58%	424274	36.983
3	A	0.6	4.285	6.172	0.815	2064.565	40.151	44.489	10.80%	538192	46.914
4	A	0.8	4.285	6.172	0.815	2371.980	46.130	50.671	9.84%	650742	56.724
5	A	0.2	4.285	2.742	0.698	1384.090	26.918	28.774	6.90%	310725	27.086
6	A	0.4	4.285	2.742	0.698	1546.328	30.073	31.607	5.10%	394859	34.419
7	A	0.6	4.285	2.742	0.698	1738.789	33.816	34.440	1.85%	496951	43.319
8	A	0.8	4.285	2.742	0.698	1911.535	37.175	37.273	0.26%	600216	52.320
9	A	0.2	4.285	6.172	0.591	1444.935	28.101	30.144	7.27%	315474	27.499
10	A	0.4	4.285	6.172	0.591	1661.672	32.316	34.346	6.28%	413320	36.029
11	A	0.6	4.285	6.172	0.591	1899.765	36.946	38.548	4.34%	518894	45.231
12	A	0.8	4.285	6.172	0.591	2143.224	41.681	42.750	2.57%	621693	54.192
13	A	0.2	4.285	5.502	0.389	1367.713	26.599	27.906	4.91%	298410	26.012
14	A	0.4	4.285	5.502	0.389	1499.173	29.156	29.870	2.45%	368012	32.079
15	A	0.6	4.285	5.502	0.389	1646.915	32.029	31.834	-0.61%	446614	38.931
16	A	0.8	4.285	5.502	0.389	1799.213	34.991	33.799	-3.41%	523695	45.650
17	A	0.2	4.285	1.658	0.285	1236.093	24.039	24.392	1.47%	281282	24.519
18	A	0.4	4.285	1.658	0.285	1225.364	23.831	22.842	-4.15%	315270	27.482
19	A	0.6	4.285	1.658	0.285	1227.186	23.866	21.292	-10.79%	366144	31.916
20	A	0.8	4.285	1.658	0.285	1236.099	24.040	19.742	-17.87%	420167	36.625
21	A	0.2	3.473	6.172	0.815	1375.856	26.758	28.191	5.36%	328622	28.646
22	A	0.4	3.473	6.172	0.815	1686.065	32.790	35.357	7.83%	431885	37.647
23	A	0.6	3.473	6.172	0.815	2017.090	39.228	42.522	8.40%	545633	47.562
24	A	0.8	3.473	6.172	0.815	2349.752	45.698	49.688	8.73%	656410	57.218
25	A	0.2	3.473	2.742	0.698	1260.952	24.523	24.842	1.30%	317178	27.648
26	A	0.4	3.473	2.742	0.698	1457.578	28.347	28.658	1.10%	401385	34.988
27	A	0.6	3.473	2.742	0.698	1681.631	32.704	32.474	-0.70%	503449	43.885
28	A	0.8	3.473	2.742	0.698	1918.187	37.305	36.290	-2.72%	605294	52.763
29	A	0.2	3.473	6.172	0.591	1325.017	25.769	26.211	1.72%	320192	27.911
30	A	0.4	3.473	6.172	0.591	1577.393	30.677	31.396	2.35%	419144	36.536

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°C$)	Uf ($W/m^2.°C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
31	A	0.6	3.473	6.172	0.591	1846.646	35.913	36.582	1.86%	524295	45.702
32	A	0.8	3.473	6.172	0.591	2116.415	41.160	41.767	1.48%	625794	54.550
33	A	0.2	3.473	5.502	0.389	1244.805	24.209	23.973	-0.97%	302330	26.354
34	A	0.4	3.473	5.502	0.389	1410.029	27.422	26.921	-1.83%	372440	32.465
35	A	0.6	3.473	5.502	0.389	1588.592	30.895	29.868	-3.32%	450597	39.278
36	A	0.8	3.473	5.502	0.389	1768.320	34.390	32.816	-4.58%	526561	45.900
37	A	0.2	3.473	1.658	0.285	1106.277	21.515	20.459	-4.91%	285254	24.865
38	A	0.4	3.473	1.658	0.285	1125.546	21.889	19.892	-9.12%	318697	27.780
39	A	0.6	3.473	1.658	0.285	1157.844	22.518	19.326	-14.17%	369362	32.197
40	A	0.8	3.473	1.658	0.285	1197.130	23.282	18.759	-19.42%	422582	36.836
41	A	0.2	2.956	6.172	0.815	1296.696	25.218	25.687	1.86%	321955	28.064
42	A	0.4	2.956	6.172	0.815	1632.750	31.754	33.479	5.43%	426733	37.198
43	A	0.6	2.956	6.172	0.815	1985.274	38.609	41.270	6.89%	543030	47.335
44	A	0.8	2.956	6.172	0.815	2334.786	45.407	49.062	8.05%	655512	57.140
45	A	0.2	2.956	2.742	0.698	1177.863	22.907	22.338	-2.49%	308677	26.907
46	A	0.4	2.956	2.742	0.698	1398.263	27.193	26.780	-1.52%	396235	34.539
47	A	0.6	2.956	2.742	0.698	1643.730	31.967	31.222	-2.33%	501051	43.676
48	A	0.8	2.956	2.742	0.698	1898.839	36.928	35.664	-3.42%	604753	52.716
49	A	0.2	2.956	6.172	0.591	1244.003	24.193	23.707	-2.01%	311592	27.161
50	A	0.4	2.956	6.172	0.591	1520.878	29.578	29.518	-0.20%	413201	36.018
51	A	0.6	2.956	6.172	0.591	1811.267	35.225	35.330	0.30%	520716	45.390
52	A	0.8	2.956	6.172	0.591	2098.577	40.813	41.141	0.80%	624124	54.404
53	A	0.2	2.956	5.502	0.389	1161.906	22.597	21.469	-4.99%	293263	25.563
54	A	0.4	2.956	5.502	0.389	1350.478	26.264	25.043	-4.65%	364706	31.791
55	A	0.6	2.956	5.502	0.389	1549.944	30.143	28.616	-5.07%	446449	38.916
56	A	0.8	2.956	5.502	0.389	1747.946	33.994	32.190	-5.31%	524484	45.719
57	A	0.2	2.956	1.658	0.285	1018.960	19.817	17.955	-9.39%	275879	24.048
58	A	0.4	2.956	1.658	0.285	1032.206	20.074	18.014	-10.26%	313191	27.300
59	A	0.6	2.956	1.658	0.285	1112.343	21.633	18.074	-16.45%	395328	34.460
60	A	0.8	2.956	1.658	0.285	1171.773	22.789	18.133	-20.43%	420825	36.683

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
61	A	0.2	1.681	6.172	0.815	1052.160	20.462	19.512	-4.64%	331098	28.861
62	A	0.4	1.681	6.172	0.815	1465.865	28.508	28.847	1.19%	441181	38.457
63	A	0.6	1.681	6.172	0.815	1883.595	36.632	38.183	4.23%	557305	48.580
64	A	0.8	1.681	6.172	0.815	2285.186	44.442	47.518	6.92%	666524	58.100
65	A	0.2	1.681	2.742	0.698	922.865	17.948	16.163	-9.95%	318584	27.771
66	A	0.4	1.681	2.742	0.698	1215.636	23.642	22.148	-6.32%	408682	35.624
67	A	0.6	1.681	2.742	0.698	1526.278	29.683	28.134	-5.22%	513755	44.783
68	A	0.8	1.681	2.742	0.698	1838.008	35.745	34.120	-4.55%	614814	53.593
69	A	0.2	1.681	6.172	0.591	994.936	19.349	17.532	-9.39%	320071	27.900
70	A	0.4	1.681	6.172	0.591	1346.519	26.187	24.887	-4.96%	421777	36.766
71	A	0.6	1.681	6.172	0.591	1701.317	33.087	32.242	-2.55%	530864	46.275
72	A	0.8	1.681	6.172	0.591	2042.439	39.721	39.598	-0.31%	631807	55.074
73	A	0.2	1.681	5.502	0.389	908.356	17.666	15.294	-13.42%	300304	26.177
74	A	0.4	1.681	5.502	0.389	1168.910	22.733	20.411	-10.21%	372398	32.461
75	A	0.6	1.681	5.502	0.389	1432.363	27.856	25.529	-8.36%	453648	39.544
76	A	0.8	1.681	5.502	0.389	1685.972	32.789	30.646	-6.54%	529888	46.190
77	A	0.2	1.681	1.658	0.285	753.318	14.650	11.780	-19.59%	281377	24.527
78	A	0.4	1.681	1.658	0.285	859.374	16.713	13.383	-19.92%	324112	28.252
79	A	0.6	1.681	1.658	0.285	976.379	18.989	14.986	-21.08%	371365	32.371
80	A	0.8	1.681	1.658	0.285	1096.626	21.327	16.590	-22.21%	425618	37.101
81	A	0.2	0.568	6.172	0.815	798.355	15.526	14.122	-9.05%	334039	29.118
82	A	0.4	0.568	6.172	0.815	1292.961	25.145	24.805	-1.36%	447078	38.971
83	A	0.6	0.568	6.172	0.815	1778.012	34.579	35.488	2.63%	565771	49.318
84	A	0.8	0.568	6.172	0.815	2233.217	43.431	46.171	6.31%	674679	58.811
85	A	0.2	0.568	2.742	0.698	659.419	12.824	10.772	-16.00%	325949	28.413
86	A	0.4	0.568	2.742	0.698	1028.579	20.004	18.106	-9.49%	420238	36.632
87	A	0.6	0.568	2.742	0.698	1406.738	27.358	25.439	-7.01%	522404	45.537
88	A	0.8	0.568	2.742	0.698	1776.189	34.543	32.772	-5.13%	623606	54.359
89	A	0.2	0.568	6.172	0.591	737.170	14.336	12.141	-15.31%	315132	27.470
90	A	0.4	0.568	6.172	0.591	1167.147	22.699	20.844	-8.17%	425197	37.064

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
91	A	0.6	0.568	6.172	0.591	1588.807	30.899	29.547	-4.38%	534658	46.605
92	A	0.8	0.568	6.172	0.591	1984.978	38.604	38.250	-0.92%	636258	55.462
93	A	0.2	0.568	5.502	0.389	646.689	12.577	9.904	-21.26%	298598	26.028
94	A	0.4	0.568	5.502	0.389	983.428	19.126	16.368	-14.42%	370700	32.313
95	A	0.6	0.568	5.502	0.389	1313.468	25.544	22.833	-10.61%	454374	39.607
96	A	0.8	0.568	5.502	0.389	1623.680	31.577	29.298	-7.22%	532014	46.375
97	A	0.2	0.568	1.658	0.285	480.469	9.344	6.389	-31.62%	289233	25.212
98	A	0.4	0.568	1.658	0.285	657.305	12.783	9.340	-26.93%	332559	28.989
99	A	0.6	0.568	1.658	0.285	841.006	16.356	12.291	-24.85%	375944	32.771
100	A	0.8	0.568	1.658	0.285	1022.709	19.890	15.242	-23.37%	427534	37.268
101	B	0.2	4.285	6.172	0.815	1754.640	34.124	36.121	5.85%	435169	37.933
102	B	0.4	4.285	6.172	0.815	2201.673	42.818	45.087	5.30%	610908	53.252
103	B	0.6	4.285	6.172	0.815	2695.856	52.429	54.054	3.10%	805276	70.195
104	B	0.8	4.285	6.172	0.815	3206.757	62.365	63.020	1.05%	1009745	88.018
105	B	0.2	4.285	2.742	0.698	1633.333	31.765	32.275	1.61%	418914	36.516
106	B	0.4	4.285	2.742	0.698	1957.347	38.066	37.396	-1.76%	590986	51.516
107	B	0.6	4.285	2.742	0.698	2336.548	45.441	42.517	-6.43%	778582	67.868
108	B	0.8	4.285	2.742	0.698	2746.778	53.419	47.638	-10.82%	981227	85.532
109	B	0.2	4.285	6.172	0.591	1679.471	32.662	33.350	2.10%	417144	36.362
110	B	0.4	4.285	6.172	0.591	2032.718	39.532	39.545	0.03%	570616	49.740
111	B	0.6	4.285	6.172	0.591	2422.546	47.113	45.741	-2.91%	741599	64.644
112	B	0.8	4.285	6.172	0.591	2824.751	54.935	51.936	-5.46%	921063	80.288
113	B	0.2	4.285	5.502	0.389	1569.621	30.526	30.382	-0.47%	380920	33.204
114	B	0.4	4.285	5.502	0.389	1792.813	34.866	33.611	-3.60%	494377	43.094
115	B	0.6	4.285	5.502	0.389	2042.299	39.718	36.839	-7.25%	619653	54.014
116	B	0.8	4.285	5.502	0.389	2302.245	44.774	40.067	-10.51%	756511	65.944
117	B	0.2	4.285	1.658	0.285	1417.928	27.576	26.408	-4.23%	343477	29.940
118	B	0.4	4.285	1.658	0.285	1471.953	28.626	25.662	-10.36%	424944	37.042
119	B	0.6	4.285	1.658	0.285	1547.479	30.095	24.916	-17.21%	522719	45.565
120	B	0.8	4.285	1.658	0.285	1638.430	31.864	24.170	-24.15%	625165	54.495

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°C$)	Uf ($W/m^2.°C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
121	B	0.2	3.473	6.172	0.815	1627.188	31.645	32.004	1.13%	442793	38.598
122	B	0.4	3.473	6.172	0.815	2121.156	41.252	42.000	1.81%	623856	54.381
123	B	0.6	3.473	6.172	0.815	2653.605	51.607	51.995	0.75%	819570	71.441
124	B	0.8	3.473	6.172	0.815	3191.564	62.069	61.991	-0.13%	1020869	88.988
125	B	0.2	3.473	2.742	0.698	1498.546	29.144	28.158	-3.38%	425727	37.110
126	B	0.4	3.473	2.742	0.698	1865.450	36.279	34.309	-5.43%	607173	52.927
127	B	0.6	3.473	2.742	0.698	2282.765	44.395	40.459	-8.87%	791345	68.981
128	B	0.8	3.473	2.742	0.698	2723.205	52.961	46.609	-11.99%	992038	86.475
129	B	0.2	3.473	6.172	0.591	1547.127	30.088	29.233	-2.84%	422714	36.847
130	B	0.4	3.473	6.172	0.591	1943.601	37.799	36.458	-3.55%	580337	50.587
131	B	0.6	3.473	6.172	0.591	2370.554	46.102	43.682	-5.25%	752084	65.558
132	B	0.8	3.473	6.172	0.591	2801.616	54.486	50.907	-6.57%	929114	80.990
133	B	0.2	3.473	5.502	0.389	1432.582	27.861	26.266	-5.72%	385733	33.624
134	B	0.4	3.473	5.502	0.389	1695.682	32.977	30.523	-7.44%	502391	43.793
135	B	0.6	3.473	5.502	0.389	1981.471	38.535	34.781	-9.74%	627709	54.717
136	B	0.8	3.473	5.502	0.389	2272.145	44.188	39.038	-11.66%	762388	66.456
137	B	0.2	3.473	1.658	0.285	1272.788	24.753	22.292	-9.94%	347603	30.300
138	B	0.4	3.473	1.658	0.285	1362.264	26.493	22.575	-14.79%	435957	38.002
139	B	0.6	3.473	1.658	0.285	1473.750	28.661	22.858	-20.25%	538233	46.917
140	B	0.8	3.473	1.658	0.285	1598.997	31.097	23.141	-25.58%	638406	55.649
141	B	0.2	2.956	6.172	0.815	1541.609	29.981	29.383	-1.99%	434024	37.833
142	B	0.4	2.956	6.172	0.815	2067.220	40.203	40.034	-0.42%	617829	53.855
143	B	0.6	2.956	6.172	0.815	2625.156	51.054	50.685	-0.72%	818979	71.389
144	B	0.8	2.956	6.172	0.815	3180.942	61.863	61.336	-0.85%	1021957	89.083
145	B	0.2	2.956	2.742	0.698	1408.288	27.388	25.537	-6.76%	418060	36.442
146	B	0.4	2.956	2.742	0.698	1804.390	35.092	32.343	-7.83%	603296	52.589
147	B	0.6	2.956	2.742	0.698	2247.132	43.702	39.148	-10.42%	794173	69.227
148	B	0.8	2.956	2.742	0.698	2707.565	52.656	45.953	-12.73%	993807	86.629
149	B	0.2	2.956	6.172	0.591	1458.385	28.363	26.612	-6.17%	413230	36.021
150	B	0.4	2.956	6.172	0.591	1884.209	36.644	34.492	-5.87%	572881	49.937

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
151	B	0.6	2.956	6.172	0.591	2335.984	45.430	42.372	-6.73%	749898	65.368
152	B	0.8	2.956	6.172	0.591	2786.099	54.184	50.252	-7.26%	928978	80.978
153	B	0.2	2.956	5.502	0.389	1340.820	26.076	23.645	-9.32%	374482	32.643
154	B	0.4	2.956	5.502	0.389	1631.245	31.724	28.557	-9.98%	493148	42.987
155	B	0.6	2.956	5.502	0.389	1941.388	37.756	33.470	-11.35%	623621	54.360
156	B	0.8	2.956	5.502	0.389	2252.297	43.802	38.383	-12.37%	761134	66.347
157	B	0.2	2.956	1.658	0.285	1175.950	22.870	19.671	-13.99%	337760	29.442
158	B	0.4	2.956	1.658	0.285	1289.896	25.086	20.609	-17.85%	433436	37.782
159	B	0.6	2.956	1.658	0.285	1425.653	27.726	21.547	-22.28%	534194	46.565
160	B	0.8	2.956	1.658	0.285	1573.453	30.600	22.486	-26.52%	635522	55.398
161	B	0.2	1.681	6.172	0.815	1272.648	24.750	22.919	-7.40%	460154	40.111
162	B	0.4	1.681	6.172	0.815	1892.273	36.801	35.186	-4.39%	664670	57.938
163	B	0.6	1.681	6.172	0.815	2527.266	49.150	47.453	-3.45%	849820	74.078
164	B	0.8	1.681	6.172	0.815	3139.620	61.059	59.720	-2.19%	1045148	91.104
165	B	0.2	1.681	2.742	0.698	1126.815	21.914	19.074	-12.96%	438073	38.186
166	B	0.4	1.681	2.742	0.698	1610.584	31.322	27.495	-12.22%	629920	54.909
167	B	0.6	1.681	2.742	0.698	2140.594	41.630	35.916	-13.73%	825371	71.947
168	B	0.8	1.681	2.742	0.698	2653.232	51.600	44.337	-14.07%	1017432	88.688
169	B	0.2	1.681	6.172	0.591	1181.984	22.987	20.148	-12.35%	425153	37.060
170	B	0.4	1.681	6.172	0.591	1696.363	32.991	29.644	-10.14%	600357	52.332
171	B	0.6	1.681	6.172	0.591	2223.738	43.247	39.140	-9.50%	770530	67.166
172	B	0.8	1.681	6.172	0.591	2733.328	53.157	48.636	-8.51%	945891	82.452
173	B	0.2	1.681	5.502	0.389	1057.194	20.560	17.181	-16.44%	383406	33.421
174	B	0.4	1.681	5.502	0.389	1431.416	27.838	23.710	-14.83%	518928	45.234
175	B	0.6	1.681	5.502	0.389	1816.219	35.322	30.238	-14.39%	640522	55.834
176	B	0.8	1.681	5.502	0.389	2189.589	42.583	36.767	-13.66%	773316	67.409
177	B	0.2	1.681	1.658	0.285	878.231	17.080	13.207	-22.68%	351031	30.599
178	B	0.4	1.681	1.658	0.285	1068.681	20.784	15.761	-24.17%	446508	38.922
179	B	0.6	1.681	1.658	0.285	1279.030	24.874	18.316	-26.37%	549282	47.880
180	B	0.8	1.681	1.658	0.285	1495.551	29.085	20.870	-28.25%	644936	56.218

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
181	B	0.2	0.568	6.172	0.815	995.416	19.359	17.277	-10.75%	470842	41.043
182	B	0.4	0.568	6.172	0.815	1710.963	33.275	30.954	-6.97%	678821	59.172
183	B	0.6	0.568	6.172	0.815	2423.953	47.141	44.632	-5.32%	881504	76.840
184	B	0.8	0.568	6.172	0.815	3094.027	60.172	58.309	-3.10%	1066979	93.007
185	B	0.2	0.568	2.742	0.698	838.265	16.302	13.431	-17.61%	453825	39.559
186	B	0.4	0.568	2.742	0.698	1412.478	27.470	23.263	-15.31%	656221	57.202
187	B	0.6	0.568	2.742	0.698	2010.883	39.107	33.095	-15.37%	855769	74.596
188	B	0.8	0.568	2.742	0.698	2596.238	50.491	42.927	-14.98%	1042631	90.885
189	B	0.2	0.568	6.172	0.591	898.160	17.467	14.506	-16.95%	439644	38.323
190	B	0.4	0.568	6.172	0.591	1503.976	29.249	25.412	-13.12%	618653	53.927
191	B	0.6	0.568	6.172	0.591	2108.312	41.002	36.319	-11.42%	787042	68.605
192	B	0.8	0.568	6.172	0.591	2678.246	52.086	47.225	-9.33%	960763	83.749
193	B	0.2	0.568	5.502	0.389	767.128	14.919	11.539	-22.66%	394217	34.363
194	B	0.4	0.568	5.502	0.389	1228.768	23.897	19.478	-18.49%	522573	45.552
195	B	0.6	0.568	5.502	0.389	1689.927	32.866	27.417	-16.58%	658504	57.401
196	B	0.8	0.568	5.502	0.389	2126.201	41.350	35.356	-14.50%	782216	68.185
197	B	0.2	0.568	1.658	0.285	575.208	11.187	7.564	-32.38%	357414	31.155
198	B	0.4	0.568	1.658	0.285	846.738	16.467	11.529	-29.99%	455914	39.741
199	B	0.6	0.568	1.658	0.285	1133.775	22.050	15.494	-29.73%	562747	49.054
200	B	0.8	0.568	1.658	0.285	1418.957	27.596	19.459	-29.48%	666686	58.114
201	C	0.2	4.285	6.172	0.815	1611.565	31.342	36.121	15.25%	415491	36.218
202	C	0.4	4.285	6.172	0.815	1968.167	38.277	45.087	17.79%	570251	49.708
203	C	0.6	4.285	6.172	0.815	2360.956	45.916	54.054	17.72%	748357	65.233
204	C	0.8	4.285	6.172	0.815	2768.307	53.838	63.020	17.06%	932693	81.302
205	C	0.2	4.285	2.742	0.698	1497.014	29.114	32.275	10.86%	399819	34.852
206	C	0.4	4.285	2.742	0.698	1735.692	33.756	37.396	10.78%	543556	47.381
207	C	0.6	4.285	2.742	0.698	2015.868	39.204	42.517	8.45%	715310	62.353
208	C	0.8	4.285	2.742	0.698	2321.146	45.141	47.638	5.53%	898409	78.313
209	C	0.2	4.285	6.172	0.591	1551.372	30.171	33.350	10.54%	400823	34.939
210	C	0.4	4.285	6.172	0.591	1832.873	35.646	39.545	10.94%	542569	47.295

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°C$)	Uf ($W/m^2.°C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
211	C	0.6	4.285	6.172	0.591	2142.643	41.670	45.741	9.77%	700559	61.067
212	C	0.8	4.285	6.172	0.591	2462.962	47.899	51.936	8.43%	871232	75.944
213	C	0.2	4.285	5.502	0.389	1460.349	28.401	30.382	6.98%	371710	32.401
214	C	0.4	4.285	5.502	0.389	1635.399	31.805	33.611	5.68%	482733	42.079
215	C	0.6	4.285	5.502	0.389	1831.143	35.612	36.839	3.45%	603753	52.628
216	C	0.8	4.285	5.502	0.389	2035.592	39.588	40.067	1.21%	733449	63.934
217	C	0.2	4.285	1.658	0.285	1320.000	25.671	26.408	2.87%	332964	29.024
218	C	0.4	4.285	1.658	0.285	1339.424	26.049	25.662	-1.49%	407720	35.540
219	C	0.6	4.285	1.658	0.285	1375.256	26.746	24.916	-6.84%	498028	43.412
220	C	0.8	4.285	1.658	0.285	1422.982	27.674	24.170	-12.66%	595057	51.870
221	C	0.2	3.473	6.172	0.815	1489.141	28.961	32.004	10.51%	421841	36.771
222	C	0.4	3.473	6.172	0.815	1887.865	36.715	42.000	14.39%	582204	50.750
223	C	0.6	3.473	6.172	0.815	2315.470	45.031	51.995	15.47%	761092	66.343
224	C	0.8	3.473	6.172	0.815	2749.019	53.463	61.991	15.95%	942566	82.162
225	C	0.2	3.473	2.742	0.698	1367.910	26.603	28.158	5.85%	405837	35.376
226	C	0.4	3.473	2.742	0.698	1645.034	31.992	34.309	7.24%	553931	48.285
227	C	0.6	3.473	2.742	0.698	1959.814	38.114	40.459	6.15%	727047	63.376
228	C	0.8	3.473	2.742	0.698	2294.164	44.617	46.609	4.46%	910762	79.390
229	C	0.2	3.473	6.172	0.591	1425.148	27.716	29.233	5.47%	405719	35.366
230	C	0.4	3.473	6.172	0.591	1745.901	33.954	36.458	7.37%	551414	48.066
231	C	0.6	3.473	6.172	0.591	2089.610	40.639	43.682	7.49%	712438	62.102
232	C	0.8	3.473	6.172	0.591	2437.561	47.405	50.907	7.39%	878365	76.566
233	C	0.2	3.473	5.502	0.389	1330.415	25.874	26.266	1.52%	375098	32.697
234	C	0.4	3.473	5.502	0.389	1542.219	29.993	30.523	1.77%	488492	42.581
235	C	0.6	3.473	5.502	0.389	1771.359	34.449	34.781	0.96%	610653	53.230
236	C	0.8	3.473	5.502	0.389	2004.895	38.991	39.038	0.12%	738486	64.373
237	C	0.2	3.473	1.658	0.285	1182.722	23.001	22.292	-3.09%	335784	29.270
238	C	0.4	3.473	1.658	0.285	1234.763	24.014	22.575	-5.99%	412873	35.990
239	C	0.6	3.473	1.658	0.285	1303.659	25.353	22.858	-9.84%	503363	43.878
240	C	0.8	3.473	1.658	0.285	1383.690	26.910	23.141	-14.01%	597270	52.063

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
241	C	0.2	2.956	6.172	0.815	1406.376	27.351	29.383	7.43%	412778	35.981
242	C	0.4	2.956	6.172	0.815	1833.688	35.661	40.034	12.26%	576148	50.222
243	C	0.6	2.956	6.172	0.815	2284.690	44.432	50.685	14.07%	758607	66.127
244	C	0.8	2.956	6.172	0.815	2735.751	53.205	61.336	15.28%	942496	82.156
245	C	0.2	2.956	2.742	0.698	1280.925	24.911	25.537	2.51%	396105	34.528
246	C	0.4	2.956	2.742	0.698	1584.324	30.812	32.343	4.97%	552604	48.170
247	C	0.6	2.956	2.742	0.698	1922.447	37.388	39.148	4.71%	724829	63.182
248	C	0.8	2.956	2.742	0.698	2276.183	44.267	45.953	3.81%	908189	79.166
249	C	0.2	2.956	6.172	0.591	1339.953	26.059	26.612	2.12%	396750	34.584
250	C	0.4	2.956	6.172	0.591	1687.500	32.818	34.492	5.10%	545227	47.527
251	C	0.6	2.956	6.172	0.591	2054.114	39.948	42.372	6.07%	708915	61.795
252	C	0.8	2.956	6.172	0.591	2420.464	47.073	50.252	6.75%	877498	76.490
253	C	0.2	2.956	5.502	0.389	1242.929	24.172	23.645	-2.18%	365677	31.876
254	C	0.4	2.956	5.502	0.389	1479.945	28.782	28.557	-0.78%	481771	41.995
255	C	0.6	2.956	5.502	0.389	1731.692	33.678	33.470	-0.62%	606256	52.847
256	C	0.8	2.956	5.502	0.389	1984.566	38.596	38.383	-0.55%	736772	64.224
257	C	0.2	2.956	1.658	0.285	1090.542	21.209	19.671	-7.25%	325913	28.409
258	C	0.4	2.956	1.658	0.285	1165.218	22.661	20.609	-9.06%	411845	35.900
259	C	0.6	2.956	1.658	0.285	1256.607	24.438	21.547	-11.83%	498443	43.449
260	C	0.8	2.956	1.658	0.285	1358.031	26.411	22.486	-14.86%	596574	52.003
261	C	0.2	1.681	6.172	0.815	1149.612	22.358	22.919	2.51%	425676	37.106
262	C	0.4	1.681	6.172	0.815	1716.306	33.379	35.186	5.42%	599602	52.267
263	C	0.6	1.681	6.172	0.815	2183.999	42.474	47.453	11.72%	785395	68.462
264	C	0.8	1.681	6.172	0.815	2689.457	52.304	59.720	14.18%	962943	83.939
265	C	0.2	1.681	2.742	0.698	1012.779	19.696	19.074	-3.16%	407298	35.504
266	C	0.4	1.681	2.742	0.698	1395.806	27.145	27.495	1.29%	574159	50.049
267	C	0.6	1.681	2.742	0.698	1804.660	35.097	35.916	2.33%	751605	65.516
268	C	0.8	1.681	2.742	0.698	2217.833	43.132	44.337	2.79%	928196	80.910
269	C	0.2	1.681	6.172	0.591	1077.409	20.953	20.148	-3.84%	406431	35.428
270	C	0.4	1.681	6.172	0.591	1506.165	29.292	29.644	1.20%	561997	48.989

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
271	C	0.6	1.681	6.172	0.591	2042.387	39.720	39.140	-1.46%	729058	63.551
272	C	0.8	1.681	6.172	0.591	2365.448	46.003	48.636	5.72%	892852	77.829
273	C	0.2	1.681	5.502	0.389	974.776	18.957	17.181	-9.37%	372088	32.434
274	C	0.4	1.681	5.502	0.389	1289.359	25.075	23.710	-5.45%	492784	42.955
275	C	0.6	1.681	5.502	0.389	1610.080	31.313	30.238	-3.43%	621097	54.140
276	C	0.8	1.681	5.502	0.389	1921.893	37.377	36.767	-1.63%	747576	65.165
277	C	0.2	1.681	1.658	0.285	809.478	15.743	13.207	-16.11%	331446	28.892
278	C	0.4	1.681	1.658	0.285	955.071	18.574	15.761	-15.14%	419936	36.605
279	C	0.6	1.681	1.658	0.285	1115.367	21.692	18.316	-15.56%	512246	44.652
280	C	0.8	1.681	1.658	0.285	1281.409	24.921	20.870	-16.25%	608732	53.062
281	C	0.2	0.568	6.172	0.815	883.515	17.183	17.277	0.55%	435914	37.998
282	C	0.4	0.568	6.172	0.815	1484.266	28.866	30.954	7.24%	620488	54.087
283	C	0.6	0.568	6.172	0.815	2078.400	40.421	44.632	10.42%	804488	70.126
284	C	0.8	0.568	6.172	0.815	2639.753	51.338	58.309	13.58%	980378	85.458
285	C	0.2	0.568	2.742	0.698	736.304	14.320	13.431	-6.20%	422348	36.816
286	C	0.4	0.568	2.742	0.698	1202.369	23.384	23.263	-0.51%	604209	52.668
287	C	0.6	0.568	2.742	0.698	1683.929	32.749	33.095	1.06%	776379	67.676
288	C	0.8	0.568	2.742	0.698	2157.524	41.959	42.927	2.31%	946172	82.477
289	C	0.2	0.568	6.172	0.591	806.275	15.680	14.506	-7.49%	412078	35.920
290	C	0.4	0.568	6.172	0.591	1319.604	25.664	25.412	-0.98%	577992	50.383
291	C	0.6	0.568	6.172	0.591	1827.502	35.541	36.319	2.19%	742693	64.740
292	C	0.8	0.568	6.172	0.591	2308.428	44.894	47.225	5.19%	905262	78.911
293	C	0.2	0.568	5.502	0.389	698.829	13.591	11.539	-15.10%	371366	32.372
294	C	0.4	0.568	5.502	0.389	1094.950	21.294	19.478	-8.53%	499176	43.513
295	C	0.6	0.568	5.502	0.389	1486.898	28.917	27.417	-5.19%	629070	54.835
296	C	0.8	0.568	5.502	0.389	1858.617	36.146	35.356	-2.19%	754855	65.800
297	C	0.2	0.568	1.658	0.285	521.594	10.144	7.564	-25.43%	340398	29.672
298	C	0.4	0.568	1.658	0.285	742.879	14.447	11.529	-20.20%	434907	37.910
299	C	0.6	0.568	1.658	0.285	974.677	18.955	15.494	-18.26%	532709	46.436
300	C	0.8	0.568	1.658	0.285	1205.868	23.452	19.459	-17.02%	619806	54.028

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°C$)	Uf ($W/m^2.°C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
301	D	0.2	4.285	6.172	0.815	1649.883	32.087	36.121	12.57%	424614	37.013
302	D	0.4	4.285	6.172	0.815	2027.313	39.427	45.087	14.36%	591865	51.592
303	D	0.6	4.285	6.172	0.815	2445.167	47.553	54.054	13.67%	771278	67.231
304	D	0.8	4.285	6.172	0.815	2876.564	55.943	63.020	12.65%	959241	83.616
305	D	0.2	4.285	2.742	0.698	1533.562	29.825	32.275	8.22%	409535	35.699
306	D	0.4	4.285	2.742	0.698	1792.855	34.867	37.396	7.25%	566945	49.420
307	D	0.6	4.285	2.742	0.698	2098.953	40.820	42.517	4.16%	748895	65.280
308	D	0.8	4.285	2.742	0.698	2430.628	47.271	47.638	0.78%	937721	81.740
309	D	0.2	4.285	6.172	0.591	1585.866	30.842	33.350	8.13%	410212	35.758
310	D	0.4	4.285	6.172	0.591	1884.557	36.651	39.545	7.90%	558732	48.704
311	D	0.6	4.285	6.172	0.591	2214.734	43.072	45.741	6.20%	716265	62.436
312	D	0.8	4.285	6.172	0.591	2554.548	49.681	51.936	4.54%	883211	76.988
313	D	0.2	4.285	5.502	0.389	1489.965	28.977	30.382	4.85%	377284	32.887
314	D	0.4	4.285	5.502	0.389	1677.229	32.619	33.611	3.04%	489160	42.639
315	D	0.6	4.285	5.502	0.389	1869.248	36.353	36.839	1.34%	606500	52.868
316	D	0.8	4.285	5.502	0.389	2105.501	40.948	40.067	-2.15%	730030	63.636
317	D	0.2	4.285	1.658	0.285	1346.315	26.183	26.408	0.86%	342425	29.849
318	D	0.4	4.285	1.658	0.285	1374.951	26.740	25.662	-4.03%	420625	36.665
319	D	0.6	4.285	1.658	0.285	1421.646	27.648	24.916	-9.88%	526621	45.905
320	D	0.8	4.285	1.658	0.285	1480.824	28.799	24.170	-16.07%	621699	54.193
321	D	0.2	3.473	6.172	0.815	1526.287	29.683	32.004	7.82%	433682	37.804
322	D	0.4	3.473	6.172	0.815	1947.010	37.865	42.000	10.92%	605421	52.774
323	D	0.6	3.473	6.172	0.815	2400.890	46.692	51.995	11.36%	785308	68.454
324	D	0.8	3.473	6.172	0.815	2858.664	55.595	61.991	11.50%	970061	84.559
325	D	0.2	3.473	2.742	0.698	1403.029	27.286	28.158	3.20%	417534	36.396
326	D	0.4	3.473	2.742	0.698	1701.806	33.097	34.309	3.66%	579029	50.473
327	D	0.6	3.473	2.742	0.698	2043.689	39.745	40.459	1.79%	761435	66.373
328	D	0.8	3.473	2.742	0.698	2404.772	46.768	46.609	-0.34%	947676	82.608
329	D	0.2	3.473	6.172	0.591	1458.119	28.357	29.233	3.09%	417489	36.392
330	D	0.4	3.473	6.172	0.591	1797.007	34.948	36.458	4.32%	568923	49.592

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^\circ C$)	Uf ($W/m^2.^\circ C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
331	D	0.6	3.473	6.172	0.591	2162.142	42.049	43.682	3.88%	726939	63.366
332	D	0.8	3.473	6.172	0.591	2529.931	49.202	50.907	3.47%	891182	77.683
333	D	0.2	3.473	5.502	0.389	1358.236	26.415	26.266	-0.56%	382799	33.368
334	D	0.4	3.473	5.502	0.389	1582.961	30.785	30.523	-0.85%	496213	43.254
335	D	0.6	3.473	5.502	0.389	1827.297	35.537	34.781	-2.13%	614238	53.542
336	D	0.8	3.473	5.502	0.389	2075.071	40.356	39.038	-3.27%	735670	64.127
337	D	0.2	3.473	1.658	0.285	1206.941	23.472	22.292	-5.03%	345902	30.152
338	D	0.4	3.473	1.658	0.285	1248.791	24.286	22.575	-7.05%	432558	37.706
339	D	0.6	3.473	1.658	0.285	1349.423	26.243	22.858	-12.90%	532279	46.398
340	D	0.8	3.473	1.658	0.285	1441.464	28.033	23.141	-17.45%	622255	54.241
341	D	0.2	2.956	6.172	0.815	1443.263	28.068	29.383	4.68%	421293	36.724
342	D	0.4	2.956	6.172	0.815	1893.372	36.822	40.034	8.72%	596984	52.038
343	D	0.6	2.956	6.172	0.815	2371.293	46.117	50.685	9.91%	781330	68.108
344	D	0.8	2.956	6.172	0.815	2846.495	55.358	61.336	10.80%	970026	84.556
345	D	0.2	2.956	2.742	0.698	1315.596	25.586	25.537	-0.19%	404848	35.290
346	D	0.4	2.956	2.742	0.698	1641.450	31.923	32.343	1.32%	579230	50.491
347	D	0.6	2.956	2.742	0.698	2007.285	39.037	39.148	0.28%	767131	66.870
348	D	0.8	2.956	2.742	0.698	2387.771	46.437	45.953	-1.04%	949773	82.791
349	D	0.2	2.956	6.172	0.591	1372.418	26.691	26.612	-0.29%	404408	35.252
350	D	0.4	2.956	6.172	0.591	1738.729	33.815	34.492	2.00%	559737	48.792
351	D	0.6	2.956	6.172	0.591	2127.351	41.372	42.372	2.42%	721485	62.891
352	D	0.8	2.956	6.172	0.591	2513.583	48.884	50.252	2.80%	889978	77.578
353	D	0.2	2.956	5.502	0.389	1269.983	24.698	23.645	-4.27%	369301	32.192
354	D	0.4	2.956	5.502	0.389	1520.422	29.569	28.557	-3.42%	486610	42.417
355	D	0.6	2.956	5.502	0.389	1787.833	34.770	33.470	-3.74%	607663	52.969
356	D	0.8	2.956	5.502	0.389	2055.101	39.967	38.383	-3.96%	733662	63.952
357	D	0.2	2.956	1.658	0.285	1113.855	21.662	19.671	-9.19%	333414	29.063
358	D	0.4	2.956	1.658	0.285	1198.760	23.313	20.609	-11.60%	422122	36.796
359	D	0.6	2.956	1.658	0.285	1302.376	25.328	21.547	-14.93%	524635	45.732
360	D	0.8	2.956	1.658	0.285	1416.014	27.538	22.486	-18.35%	620967	54.129

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.°C$)	Uf ($W/m^2.°C$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
361	D	0.2	1.681	6.172	0.815	1183.511	23.017	22.919	-0.42%	438990	38.266
362	D	0.4	1.681	6.172	0.815	1721.188	33.473	35.186	5.12%	624824	54.465
363	D	0.6	1.681	6.172	0.815	2271.974	44.185	47.453	7.40%	809949	70.602
364	D	0.8	1.681	6.172	0.815	2802.094	54.495	59.720	9.59%	992118	86.482
365	D	0.2	1.681	2.742	0.698	1044.048	20.305	19.074	-6.06%	419958	36.607
366	D	0.4	1.681	2.742	0.698	1451.496	28.229	27.495	-2.60%	612938	53.429
367	D	0.6	1.681	2.742	0.698	1890.255	36.761	35.916	-2.30%	791120	68.961
368	D	0.8	1.681	2.742	0.698	2330.878	45.331	44.337	-2.19%	966298	84.231
369	D	0.2	1.681	6.172	0.591	1106.368	21.517	20.148	-6.36%	418178	36.452
370	D	0.4	1.681	6.172	0.591	1555.702	30.255	29.644	-2.02%	580647	50.614
371	D	0.6	1.681	6.172	0.591	2015.910	39.205	39.140	-0.17%	743163	64.781
372	D	0.8	1.681	6.172	0.591	2459.509	47.832	48.636	1.68%	906440	79.013
373	D	0.2	1.681	5.502	0.389	997.868	19.406	17.181	-11.47%	379305	33.064
374	D	0.4	1.681	5.502	0.389	1327.379	25.815	23.710	-8.15%	501019	43.673
375	D	0.6	1.681	5.502	0.389	1665.567	32.392	30.238	-6.65%	623191	54.323
376	D	0.8	1.681	5.502	0.389	1992.644	38.753	36.767	-5.12%	745457	64.981
377	D	0.2	1.681	1.658	0.285	828.344	16.110	13.207	-18.02%	347269	30.271
378	D	0.4	1.681	1.658	0.285	985.380	19.164	15.761	-17.75%	442160	38.543
379	D	0.6	1.681	1.658	0.285	1159.675	22.553	18.316	-18.79%	542606	47.298
380	D	0.8	1.681	1.658	0.285	1339.034	26.041	20.870	-19.86%	631529	55.050
381	D	0.2	0.568	6.172	0.815	915.422	17.803	17.277	-2.96%	452173	39.415
382	D	0.4	0.568	6.172	0.815	1543.164	30.011	30.954	3.14%	649600	56.625
383	D	0.6	0.568	6.172	0.815	2168.032	42.164	44.632	5.85%	837347	72.990
384	D	0.8	0.568	6.172	0.815	2754.230	53.564	58.309	8.86%	1010226	88.060
385	D	0.2	0.568	2.742	0.698	765.200	14.882	13.431	-9.75%	440410	38.390
386	D	0.4	0.568	2.742	0.698	1257.565	24.457	23.263	-4.88%	632862	55.166
387	D	0.6	0.568	2.742	0.698	1770.711	34.437	33.095	-3.90%	817246	71.238
388	D	0.8	0.568	2.742	0.698	2272.100	44.188	42.927	-2.85%	996181	86.836
389	D	0.2	0.568	6.172	0.591	832.663	16.194	14.506	-10.42%	430682	37.542
390	D	0.4	0.568	6.172	0.591	1368.307	26.611	25.412	-4.50%	600264	52.324

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดกรณีที่ใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ $OTTV_{ราชการ}$ และการเปรียบเทียบระหว่างค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการจำลองอาคาร และ ค่า $OTTV_{ราชการ}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ และค่า Cooling Energy (kWh/m^2-year) (ต่อ)

กรณีที่	ทิศทางอาคาร	WWR	Uw ($W/m^2.^oC$)	Uf ($W/m^2.^oC$)	SHGC	การจำลอง		การคำนวณ		การจำลอง	
						Cooling load (MWh)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	$OTTV_{ราชการ}$ (W/m^2)	คลาดเคลื่อนจากการจำลอง	Cooling load (KWh)	Cooling Energy (KWh/m^2_yr)
391	D	0.6	0.568	6.172	0.591	1901.742	36.985	36.319	-1.80%	758029	66.076
392	D	0.8	0.568	6.172	0.591	2403.576	46.744	47.225	1.03%	918445	80.060
393	D	0.2	0.568	5.502	0.389	718.871	13.981	11.539	-17.47%	388443	33.860
394	D	0.4	0.568	5.502	0.389	1131.381	22.003	19.478	-11.48%	515305	44.918
395	D	0.6	0.568	5.502	0.389	1542.278	29.994	27.417	-8.59%	634159	55.279
396	D	0.8	0.568	5.502	0.389	1929.770	37.530	35.356	-5.79%	752672	65.609
397	D	0.2	0.568	1.658	0.285	537.041	10.444	7.564	-27.57%	351131	30.608
398	D	0.4	0.568	1.658	0.285	771.032	14.995	11.529	-23.11%	443007	38.616
399	D	0.6	0.568	1.658	0.285	1018.281	19.803	15.494	-21.76%	543153	47.346
400	D	0.8	0.568	1.658	0.285	1263.463	24.572	19.459	-20.81%	639612	55.754

ภาคผนวก ข

การสำรวจอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษเพื่อประกอบการกำหนดอาคารอ้างอิง

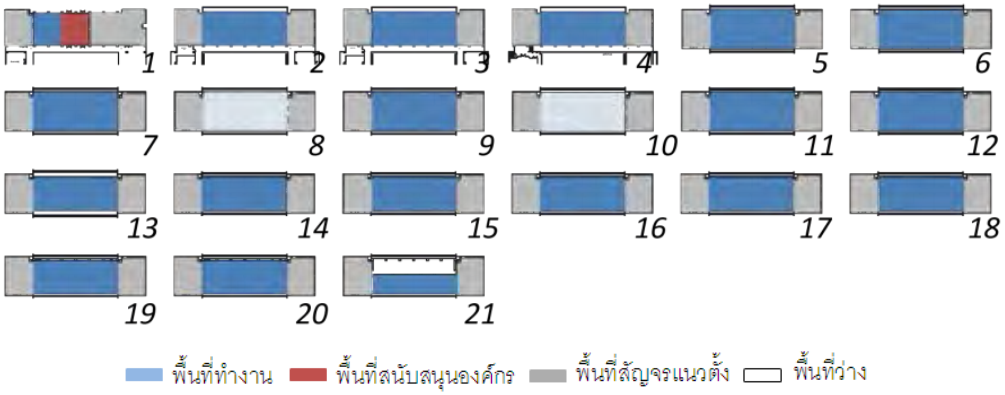
ภาคผนวก ข – ลักษณะทางกายภาพอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษในปัจจุบัน

อาคารกรณีศึกษา

อาคารที่ทำการกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย ถนนพระราม 6 เขตพญาไท กรุงเทพฯ

อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง พระราม 6 ตั้งอยู่เลขที่ 218/1 ถนน พระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400บนที่ดิน 11.25 ไร่กรรมสิทธิ์ที่ดินเป็นที่ดินราชพัสดุมีพื้นที่อาคารทั้งหมด 42,518 ตารางเมตรประกอบด้วยกลุ่มอาคารหลัก 6 อาคาร ดังนี้

- อาคาร 10 ชั้น
- อาคาร 20 ชั้น
- อาคารทางเชื่อม 3 ชั้น
- อาคารทางเชื่อม 4 ชั้น
- อาคารศูนย์อาหารและส่งเสริมคุณภาพชีวิต สูง 4 ชั้น
- อาคารจอดรถ ค.ส.ล. สูง 6 ชั้น



แสดงแบบผังพื้นตามประเภทพื้นที่ อาคาร 20 ชั้น

2. อาคาร 20 ชั้น

ข้อมูลอาคาร ลักษณะอาคารค.ส.ล. สูง 21 ชั้น รูปทรงอาคารสี่เหลี่ยม อายุอาคาร 11 ปี(เริ่มใช้อาคาร พ.ศ. 2542) พื้นที่อาคารรวม 19,571 ตารางเมตร

รายละเอียดการใช้พื้นที่อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง พระราม 6

	อาคาร	อายุอาคาร (ปี)	จำนวนชั้น	พื้นที่(ตร.ม.)						
				ว่าง	ทำงาน	สนับสนุนองค์กร	จอดรถ	สัญจรแนวตั้ง	สันทนาการ	รวม
1	10 ชั้น	15	11	-	3,869	1,402		3,700	-	8,971
2	20 ชั้น	11	21	1,224	9,905	162		8,280	-	19,571
3	ทางเชื่อม 3 ชั้น	11	3	-	19	485		189	-	693
4	ทางเชื่อม 4ชั้น	11	4	-	-	651		273	-	924
5	ศูนย์อาหารฯ	11	4	252	252	-		576	1,824	2,904
6	จอดรถ	11	6	-	263	-	7,515	1,620	-	9,398
รวม				1,476	14,392	2,700	7,515	14,560	1,824	42,518

- อาคารที่มีอายุมากที่สุด คือ อาคาร 10 ชั้น มีอายุ 15 ปี อาคารอื่นๆที่เหลือมีอายุเท่ากัน 11 ปี

- อาคารที่มีความสูงมากที่สุด คือ อาคาร 20 ชั้น มีความสูง 21 ชั้น อาคาร 10 ชั้นสูง 11 ชั้น อาคารจอดรถ สูง 6 ชั้น อาคารศูนย์อาหารและส่งเสริมคุณภาพชีวิต และทางเชื่อม 4 ชั้น สูง 4 ชั้นเท่ากัน และอาคารที่มีความสูงน้อยที่สุด คือ ทางเชื่อม 3 ชั้น สูง 3 ชั้น

- ขนาดพื้นที่ของอาคารที่มากที่สุด คือ อาคาร 20 ชั้น 19,571 ตารางเมตร อาคาร 10 ชั้น 8,971 ตารางเมตร อาคารจอดรถ 9,398 ตารางเมตร อาคารศูนย์อาหารและส่งเสริมคุณภาพชีวิต 2,904 ตารางเมตร อาคารทางเชื่อม 4 ชั้น 924 ตารางเมตร และขนาดพื้นที่ของอาคารที่น้อยที่สุด คือ อาคารทางเชื่อม 3 ชั้น 693 ตารางเมตร

<u>อาคาร 10 ชั้น</u>

1.อาคารสำนักงานใหญ่สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ถนนพระราม1 กรุงเทพมหานคร

ปีที่ก่อสร้าง ตุลาคม 2539 – มิถุนายน 2542

มูลค่าโครงการ 754,800,000 บาท

2. อาคารที่ทำการกรมทางหลงชนบท ถนนพหลโยธิน เขตบางบัว จังหวัดกรุงเทพมหานคร อาคารด้านหน้าสูง 8 ชั้น อาคารด้านหลังสูง 13 ชั้น (พื้นที่ 12,000 ตารางเมตร)

3. อาคารที่ทำการศาลอาญา ถนนรัชดาภิเษก แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ย้ายมาทำการเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2535 อาคารสูง 12 ชั้น

4. อาคารที่ทำการศาลแพ่ง ถนนรัชดาภิเษก แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ย้ายมาทำการเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2535 อาคารสูง 12 ชั้น

5. อาคารที่ทำการกรมการปกครอง ถนนอัษฎางค์ แขวงราชบพิธ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร อาคารสูง 6 ชั้น

6.อาคารที่ทำการกรมการปกครอง ถนนลำลูกกา – นครนายก อำเภอลำลูกกา(คลอง 9) จังหวัดปทุมธานี อาคารสูง 10 ชั้น

7. อาคารที่ทำการกรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถนนพหลโยธิน กรุงเทพ

8. อาคารที่ทำการกระทรวงพาณิชย์ ถนนสนามบินน้ำ จังหวัดนนทบุรี อาคารหน้าสูง 15 และอาคารด้านหลังสูง 17 ชั้น

8. อาคารที่ทำการกระทรวงสาธารณสุข สูง 7 ชั้น ถนนติวานนท์ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

9. อาคารเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบพระชนมพรรษา สูง 20 ชั้น โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า ถนนราชวิถี เขตราชเทวี กรุงเทพ

10. อาคารที่ทำการสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สูง 5 ชั้น ถนนพหลโยธิน เขตบางเขน กรุงเทพ

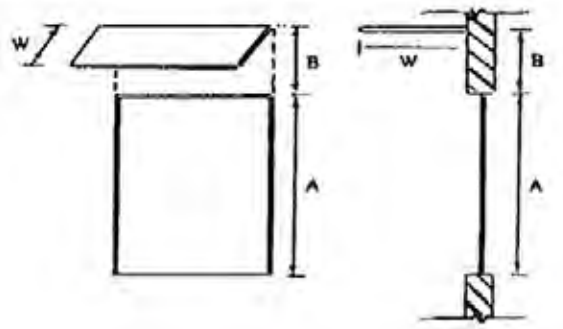
11. อาคารที่ทำการกระทรวงแรงงาน สูง 15 ชั้น ถนนมิตรไมตรี แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพ

12. อาคารที่ทำการสำนักงานประกันสังคม ภายในกระทรวงแรงงาน สูง 12 ชั้น ถนนมิตรไมตรี เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก ค

ตารางค่าสัมประสิทธิการบังแดด (SC) ในสูตร OTTV สำหรับใช้พิจารณาออกแบบเบื้องต้นตามกฎกระทรวง พ.ศ.2552 จัดทำโดยบริษัท สถาปนิก 49 จำกัด

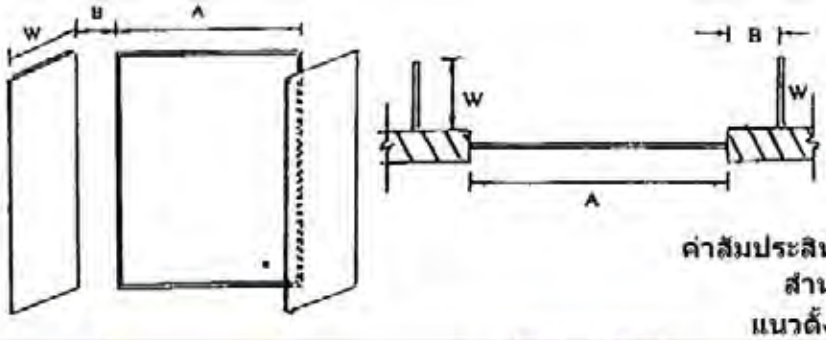
ตารางที่ ค-1 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) สำหรับอุปกรณ์บังแดดแนวราบเหนือระบบหน้าต่าง สำหรับใช้พิจารณาออกแบบเบื้องต้นตามกฎกระทรวง พ.ศ.2552 (จัดทำโดยบริษัท สถาปนิก 49 จำกัด)



ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
สำหรับอุปกรณ์บังแดด
แนวราบเหนือระบบหน้าต่าง

อัตราส่วน W / A	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน B / A														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.93	0.95	0.96	0.87	0.89	0.89	0.89	0.96	0.98	0.77	0.79	0.79	0.84	0.93	0.96
0.4	0.92	0.94	0.95	0.85	0.87	0.88	0.82	0.89	0.94	0.71	0.75	0.77	0.77	0.84	0.90
0.6	0.92	0.94	0.95	0.82	0.85	0.86	0.77	0.85	0.90	0.67	0.71	0.74	0.71	0.79	0.85
0.8	0.92	0.94	0.95	0.81	0.84	0.85	0.75	0.81	0.87	0.64	0.68	0.72	0.68	0.75	0.81
1.0	0.92	0.94	0.95	0.81	0.83	0.85	0.72	0.79	0.84	0.62	0.66	0.69	0.68	0.73	0.78
1.2	0.92	0.94	0.95	0.81	0.83	0.84	0.71	0.77	0.82	0.61	0.65	0.68	0.68	0.73	0.77

ตารางที่ ค-2 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) สำหรับอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งของระบบหน้าต่าง

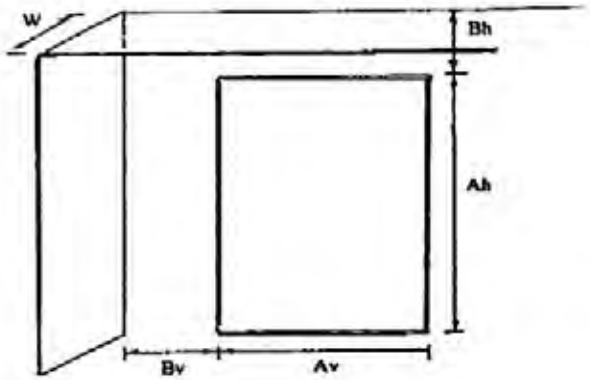


ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
สำหรับอุปกรณ์บังแดด
แนวตั้งของระบบหน้าต่าง

อัตราส่วน W / A	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน B / A														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.96	0.98	0.99	0.88	0.88	0.88	0.96	1.00	1.00	0.78	0.79	0.79	0.91	0.97	0.99
0.4	0.94	0.96	0.98	0.86	0.88	0.88	0.93	0.98	1.00	0.77	0.78	0.79	0.88	0.94	0.97
0.6	0.94	0.96	0.97	0.85	0.87	0.88	0.92	0.97	0.99	0.76	0.78	0.79	0.85	0.91	0.95
0.8	0.94	0.96	0.97	0.84	0.86	0.87	0.90	0.96	0.99	0.75	0.77	0.78	0.84	0.90	0.94
1.0	0.94	0.96	0.97	0.83	0.85	0.87	0.90	0.96	0.98	0.75	0.77	0.78	0.84	0.90	0.93
1.2	0.94	0.96	0.97	0.83	0.85	0.86	0.89	0.95	0.98	0.74	0.77	0.78	0.84	0.90	0.93

<u>หมายเหตุ</u> ค่า SC ตามตารางข้างต้นเป็นค่าที่คำนวณได้จากสัดส่วนของระบบหน้าต่างที่กำหนดขึ้นเฉพาะตามสมการของประกาศกรทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณฯ ลว. 14 ก.ค. 2552

ตารางที่ ค-3 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) สำหรับอุปกรณ์บังแดดชนิดรวมของระบบหน้าต่าง (บริษัท สถาปนิก 49 จำกัด)



ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
สำหรับอุปกรณ์บังแดด
ชนิดรวมของระบบหน้าต่าง

1 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.2, Bh / Ah = 0.0

อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.88	0.89	0.90	0.85	0.86	0.86	0.85	0.88	0.88	0.75	0.76	0.76	0.75	0.79	0.80
0.4	0.86	0.87	0.88	0.82	0.83	0.84	0.82	0.86	0.88	0.71	0.72	0.73	0.71	0.75	0.78
0.6	0.86	0.86	0.86	0.79	0.81	0.82	0.79	0.84	0.86	0.68	0.70	0.71	0.67	0.71	0.75
0.8	0.86	0.86	0.86	0.77	0.79	0.80	0.76	0.82	0.85	0.66	0.68	0.69	0.63	0.67	0.71

2 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.2, Bh / Ah = 0.4

อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.91	0.93	0.94	0.87	0.87	0.88	0.93	0.97	0.97	0.77	0.78	0.78	0.85	0.91	0.92
0.4	0.87	0.88	0.90	0.83	0.85	0.86	0.88	0.94	0.96	0.74	0.76	0.76	0.78	0.85	0.89
0.6	0.87	0.87	0.87	0.81	0.83	0.84	0.85	0.91	0.94	0.71	0.74	0.75	0.72	0.79	0.84
0.8	0.87	0.87	0.87	0.78	0.80	0.82	0.81	0.88	0.92	0.69	0.72	0.73	0.68	0.74	0.79

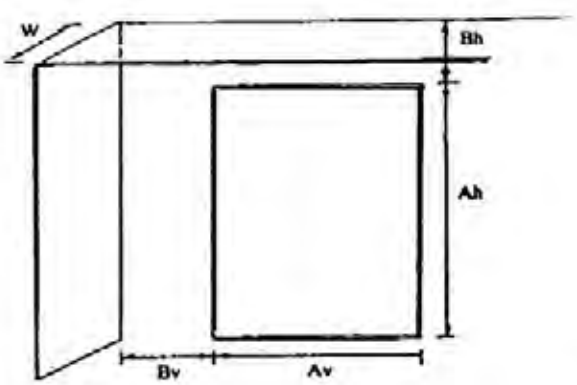
3 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.4, Bh / Ah = 0.0

อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.87	0.88	0.88	0.86	0.86	0.86	0.77	0.79	0.79	0.76	0.76	0.76	0.68	0.70	0.71
0.4	0.86	0.87	0.87	0.81	0.82	0.82	0.75	0.78	0.79	0.69	0.70	0.70	0.64	0.68	0.70
0.6	0.86	0.86	0.86	0.78	0.80	0.80	0.73	0.77	0.78	0.66	0.67	0.67	0.61	0.64	0.67
0.8	0.86	0.86	0.86	0.76	0.78	0.79	0.71	0.75	0.77	0.63	0.65	0.66	0.59	0.62	0.64

4 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.4, Bh / Ah = 0.4

อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.88	0.89	0.90	0.88	0.88	0.88	0.88	0.91	0.91	0.79	0.80	0.80	0.79	0.83	0.84
0.4	0.86	0.87	0.88	0.83	0.85	0.85	0.84	0.89	0.91	0.74	0.75	0.76	0.73	0.79	0.82
0.6	0.86	0.86	0.86	0.80	0.82	0.83	0.80	0.85	0.87	0.70	0.71	0.72	0.66	0.71	0.75
0.8	0.86	0.86	0.86	0.77	0.79	0.80	0.76	0.81	0.83	0.66	0.68	0.70	0.62	0.66	0.69

ตารางที่ ค-3 ตารางค่าสัมประสิทธิการบังแดด (SC) สำหรับอุปกรณ์บังแดดชนิดรวมของระบบหน้าต่าง (บริษัท สถาปนิก 49 จำกัด) (ต่อ)



ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
สำหรับอุปกรณ์บังแดด
ชนิดรวมของระบบหน้าต่าง

5 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.6, Bh / Ah = 0.0

อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.72	0.73	0.73	0.77	0.77	0.77	0.61	0.62	0.63
0.4	0.86	0.87	0.87	0.81	0.81	0.82	0.70	0.72	0.73	0.68	0.68	0.68	0.58	0.60	0.62
0.6	0.86	0.86	0.86	0.78	0.78	0.79	0.69	0.72	0.73	0.63	0.64	0.64	0.56	0.58	0.60
0.8	0.86	0.86	0.86	0.76	0.77	0.77	0.68	0.70	0.72	0.61	0.62	0.63	0.55	0.57	0.58

6 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.6, Bh / Ah = 0.4

อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.83	0.85	0.85	0.81	0.81	0.81	0.72	0.75	0.76
0.4	0.86	0.87	0.87	0.83	0.84	0.85	0.82	0.84	0.85	0.73	0.74	0.75	0.68	0.72	0.74
0.6	0.86	0.86	0.86	0.80	0.81	0.82	0.78	0.82	0.84	0.69	0.71	0.71	0.64	0.68	0.71
0.8	0.86	0.86	0.86	0.77	0.79	0.80	0.75	0.80	0.83	0.66	0.68	0.69	0.61	0.65	0.68

7 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.8, Bh / Ah = 0.0

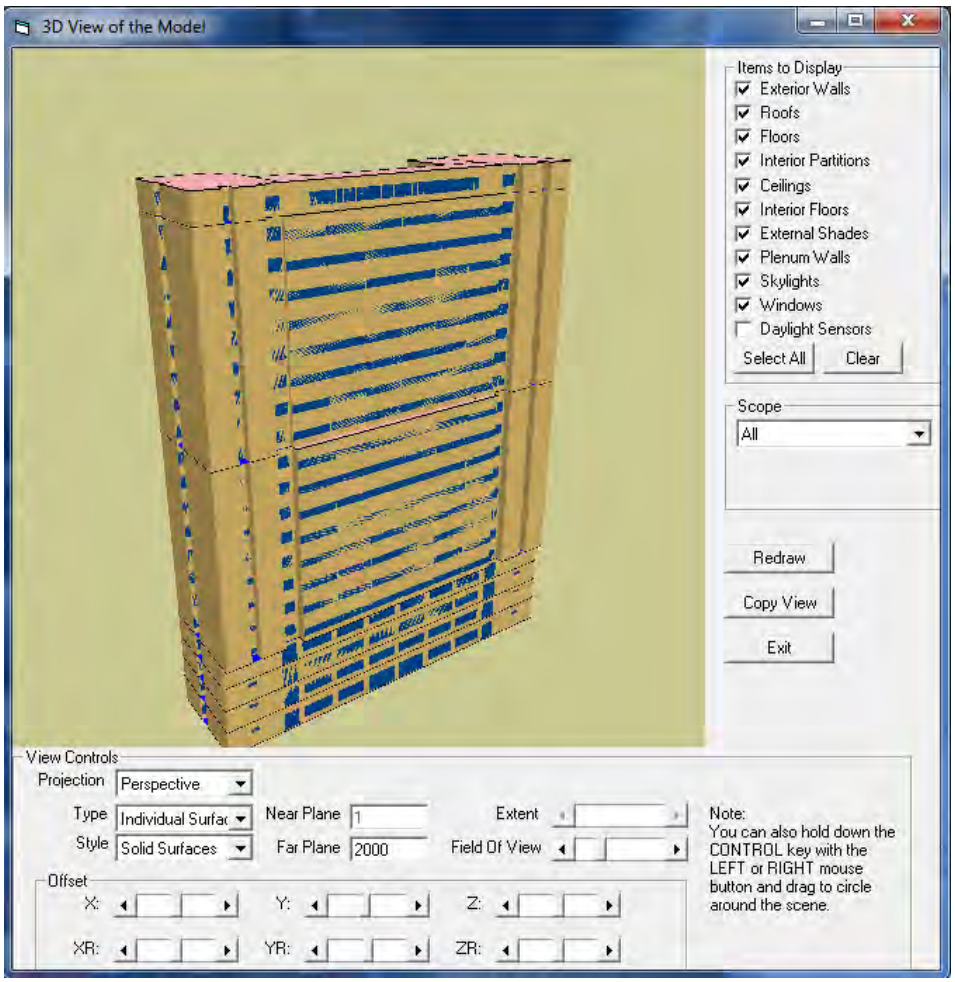
อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.68	0.69	0.69	0.78	0.78	0.78	0.55	0.56	0.56
0.4	0.86	0.87	0.87	0.81	0.81	0.81	0.67	0.68	0.69	0.67	0.67	0.68	0.54	0.54	0.55
0.6	0.86	0.86	0.86	0.77	0.78	0.78	0.66	0.68	0.69	0.62	0.63	0.63	0.53	0.53	0.54
0.8	0.86	0.86	0.86	0.75	0.76	0.77	0.65	0.67	0.68	0.60	0.60	0.61	0.52	0.52	0.53

8 กรณีสัดส่วน W / Ah = 0.8, Bh / Ah = 0.4

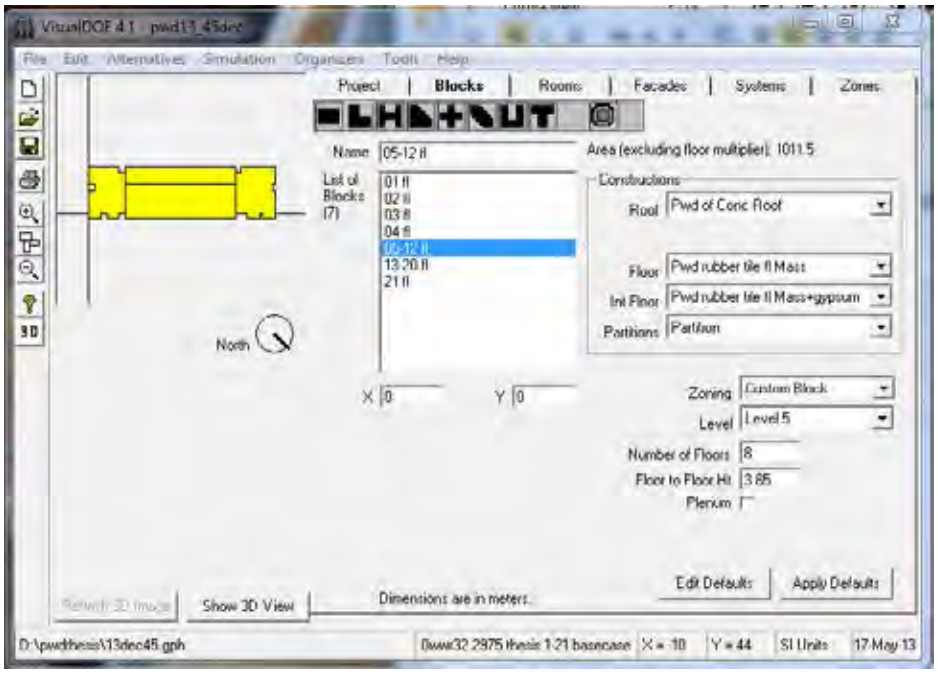
อัตราส่วน W / Av	ทิศหน้าต่างหันสู่														
	N			NE / NW			E / W			SE / SW			S		
	อัตราส่วน Bv / Av														
	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
0.2	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.78	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.66	0.68	0.69
0.4	0.86	0.87	0.87	0.83	0.84	0.84	0.76	0.79	0.80	0.73	0.74	0.74	0.63	0.66	0.68
0.6	0.86	0.86	0.86	0.80	0.81	0.81	0.75	0.78	0.80	0.68	0.69	0.70	0.60	0.62	0.65
0.8	0.86	0.86	0.86	0.77	0.79	0.80	0.72	0.76	0.79	0.65	0.66	0.67	0.58	0.60	0.62

ภาคผนวก ง

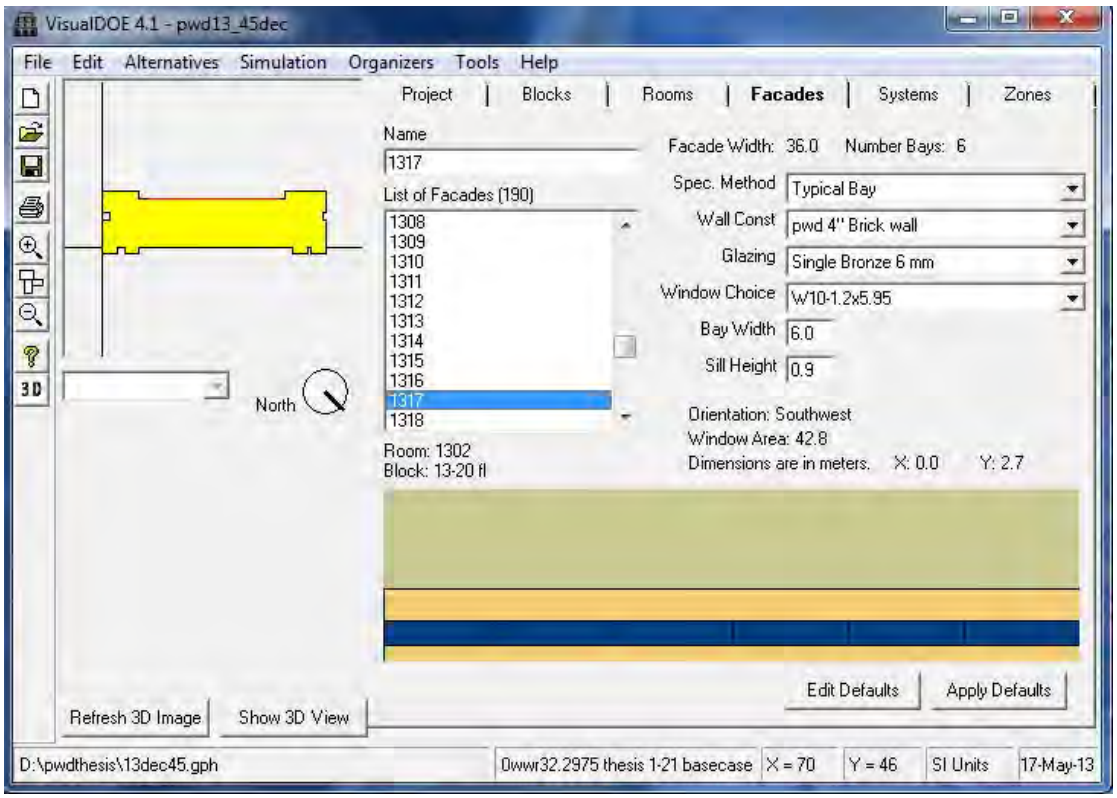
ตัวอย่างการตั้งค่าอาคารอ้างอิงในโปรแกรม Visual DOE 4.1



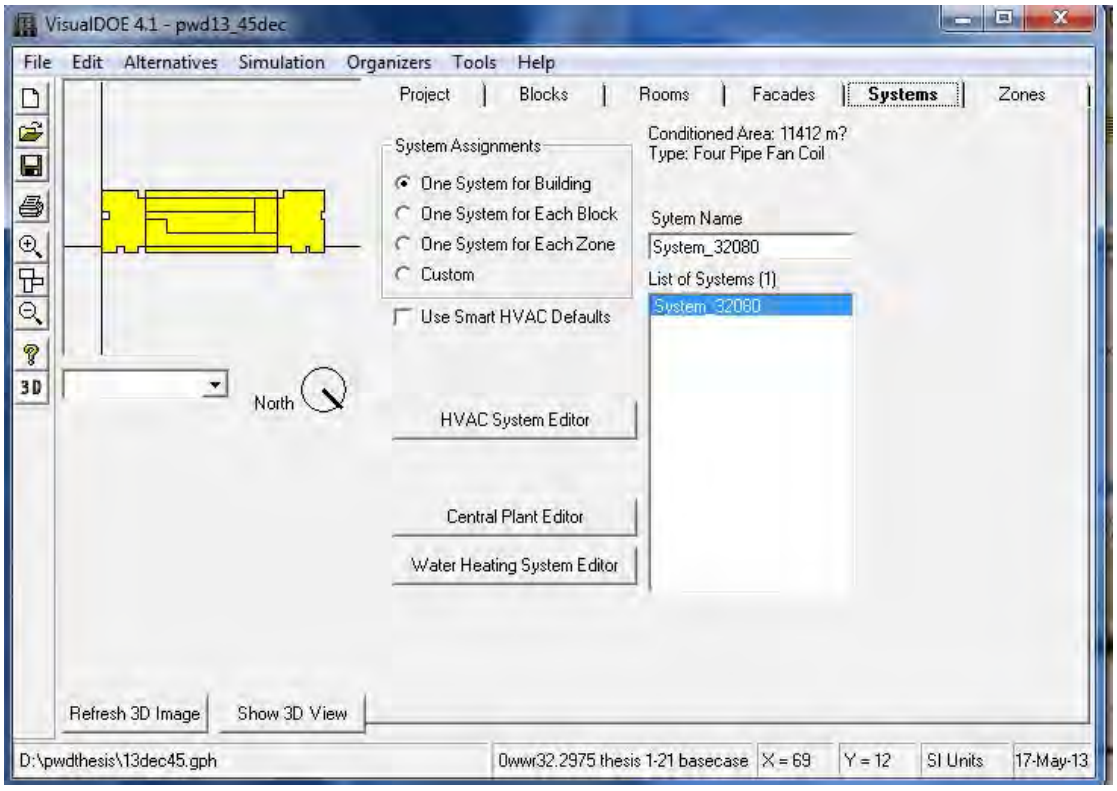
รูปภาพที่ ง-1 ทัศนียภาพอาคารสำนักงานอ้างอิง



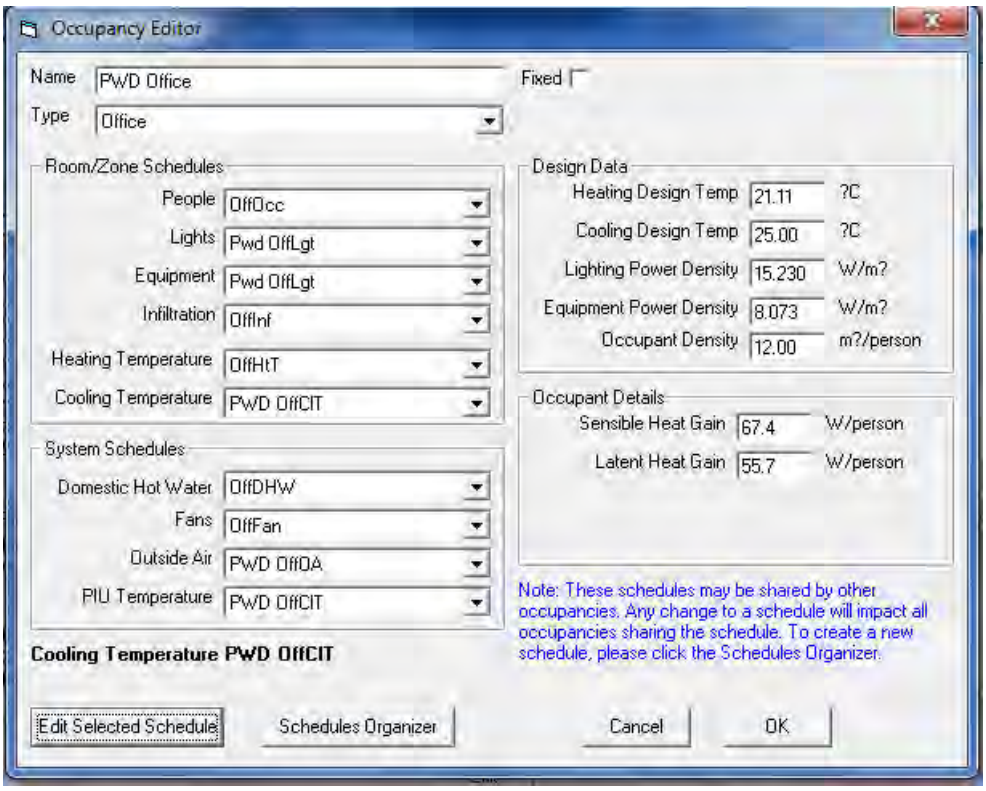
รูปภาพที่ ง-2 ผังพื้นอาคาร



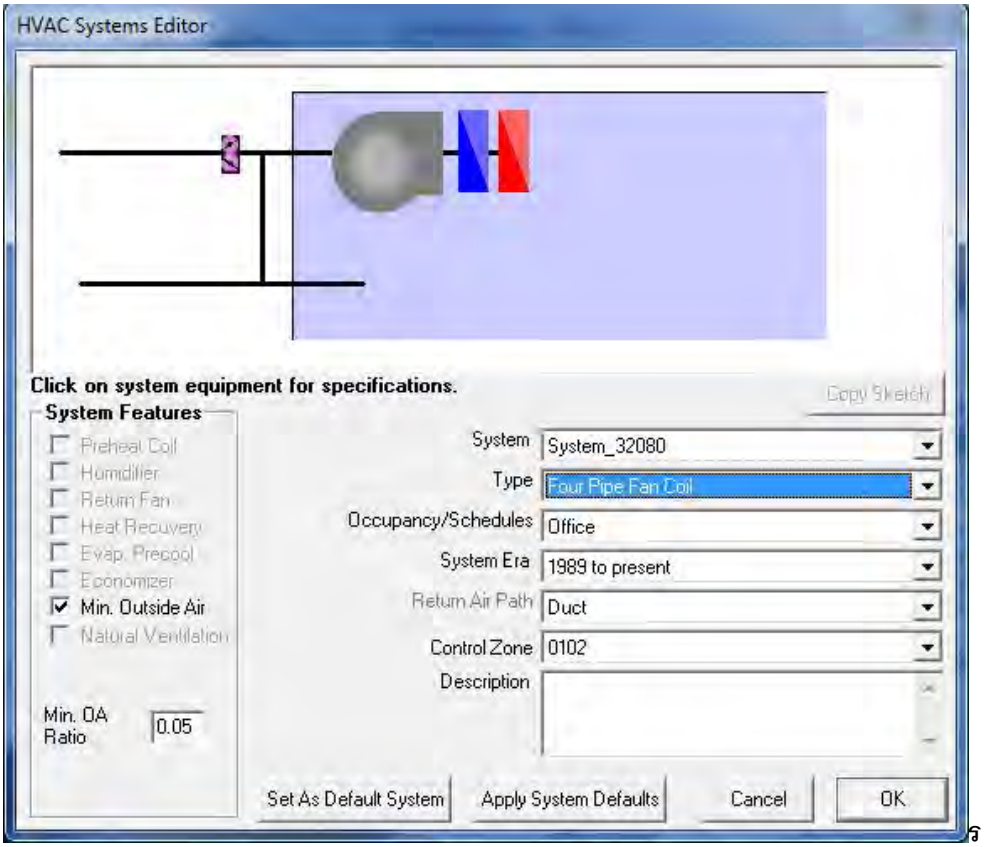
รูปภาพที่ ง-3 การกำหนดวัสดุเปลือกอาคาร



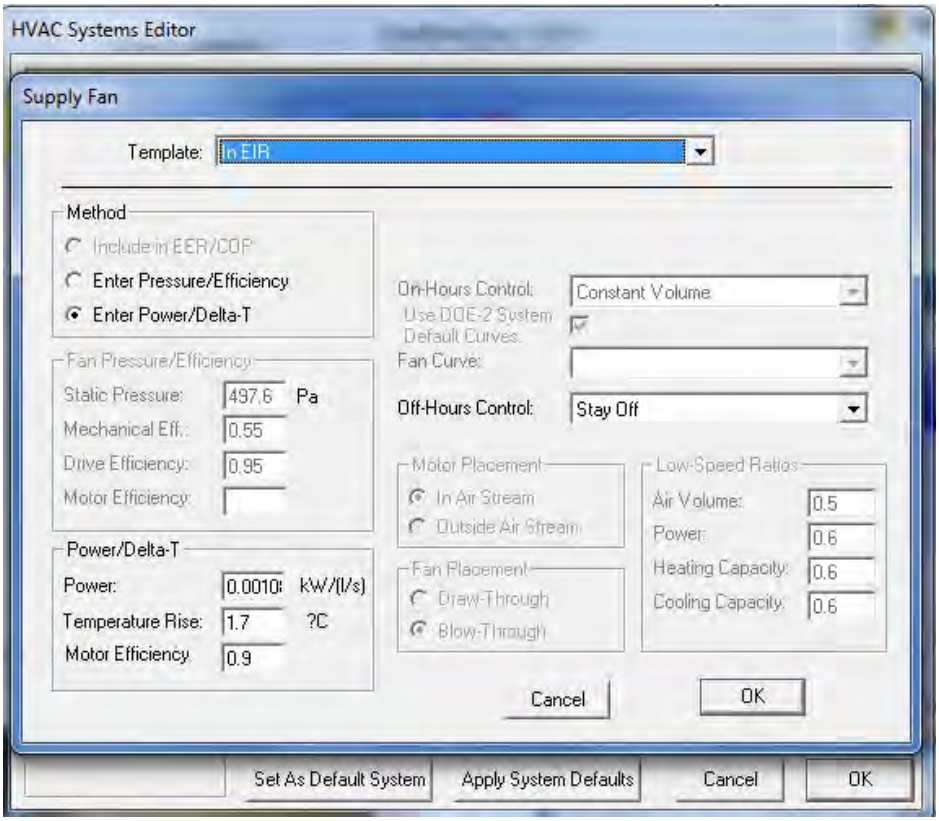
รูปภาพที่ ง-4 การกำหนดระบบ HVAC ของอาคาร



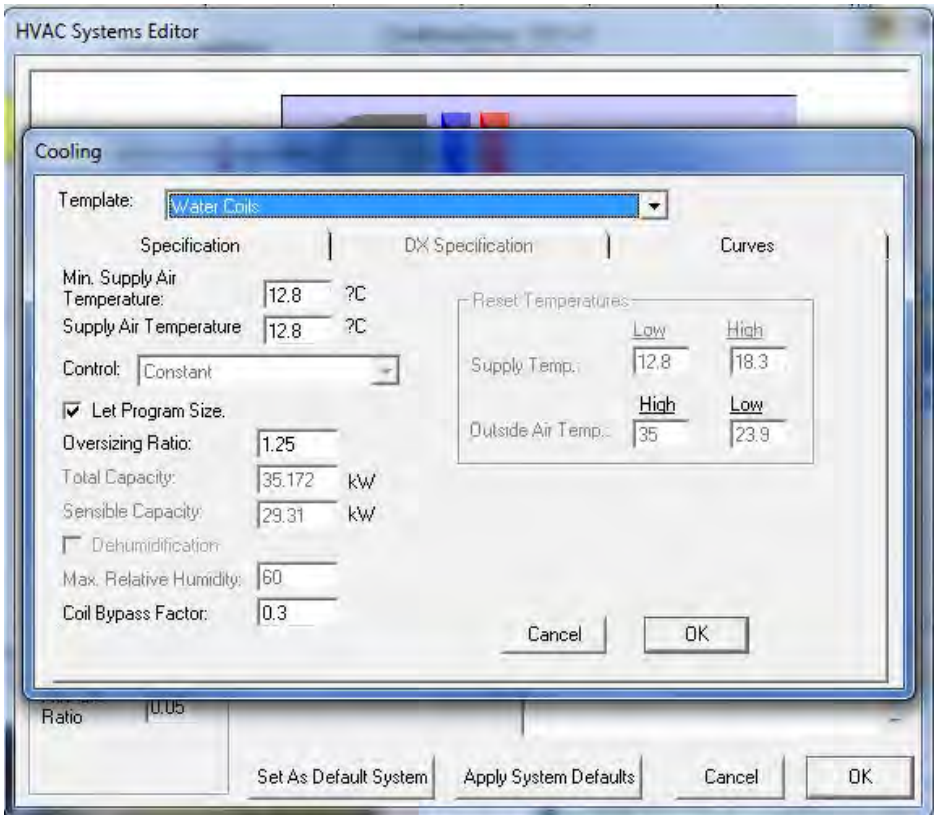
รูปภาพที่ ง-5 การกำหนดตารางการใช้งานของระบบต่างๆ



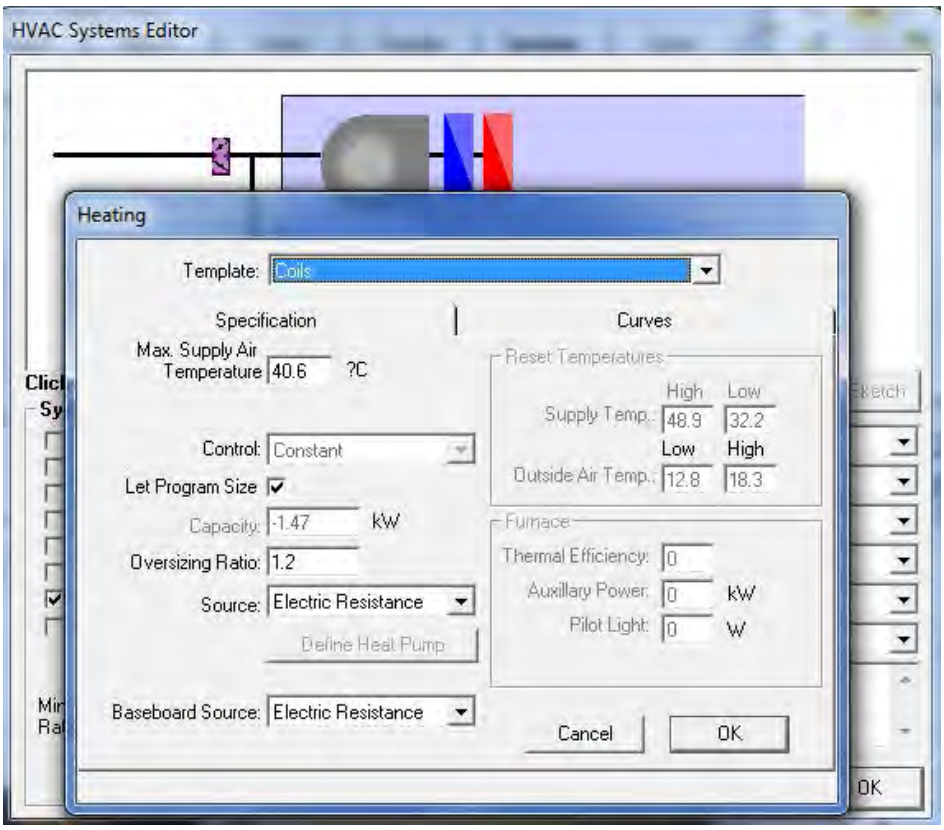
รูปภาพที่ ง-6 การกำหนดระบบ HVAC ของอาคาร



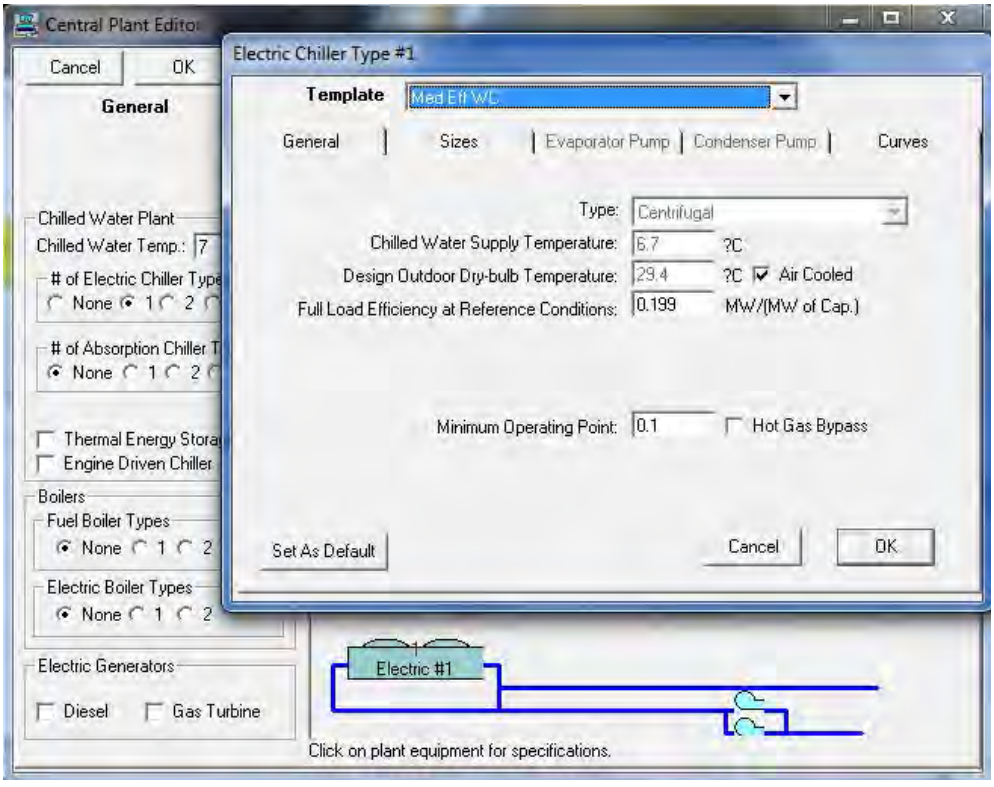
รูปภาพที่ ง-7 การกำหนด Supply Fan ในระบบ HVAC ของอาคาร



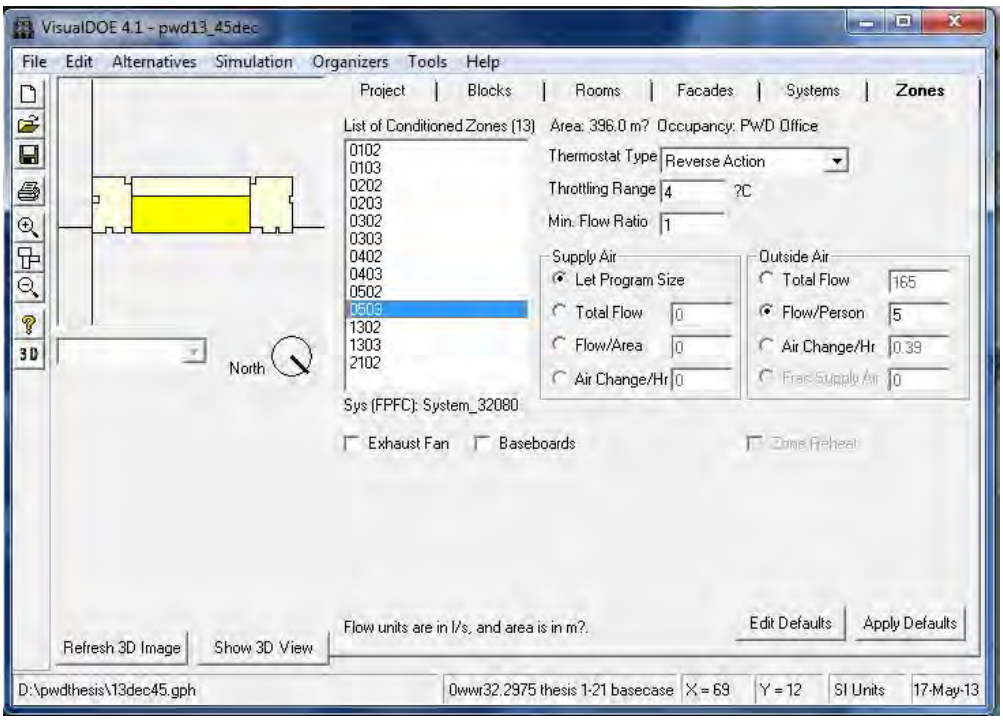
รูปภาพที่ ง-8 การกำหนด Cooling ในระบบ HVAC ของอาคาร



รูปภาพที่ ง-9 การกำหนด Heating ในระบบ HVAC ของอาคาร



รูปภาพที่ ง-10 การกำหนด Plant และ Chiller ในระบบ HVAC ของอาคาร



รูปภาพที่ ง-10 การกำหนดโซนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศในอาคาร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภานุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล เกิดเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย เข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษาที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จบการศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิตปีการศึกษา 2539 แล้วเข้าศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต ที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553