



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการแบบจำลองสารสนเทศเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร
Building Information Model for Assessing Energy Performances

โดย ดร.กวิน ตันติเสวี และคณะ

มิถุนายน 2555

สัญญาเลขที่ MRG5380210

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการแบบจำลองสารสนเทศเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร
Building Information Model for Assessing Energy Performances

	ผู้วิจัย	สังกัด
1	ดร.กวิน ตันติเสวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5380210

ชื่อโครงการ: แบบจำลองสารสนเทศเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

ชื่อนักวิจัย และสถาบัน ดร.กวิน ดันติเสวี

อีเมล: kevint@kmutnb.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 24 เดือน

บทคัดย่อ:

แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้พลังงานในอาคารทำให้เกิดข้อวิตกกังวลในการจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ และปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน และมีการออกมาตรฐานและข้อบังคับเกี่ยวกับอาคารขึ้นมาเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานตามแนวคิดดังกล่าว มาตรฐานและข้อบังคับเหล่านี้มีเป้าหมายเพื่อวางกรอบแนวทาง มาตรการ หลักเกณฑ์ และวิธีการ เพื่อสำหรับให้ผู้สถาปนิกและวิศวกรสามารถประเมินและวางแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารได้ หนึ่งในหลักเกณฑ์ที่ได้รับความนิยม ได้แก่ การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) ของเปลือกอาคาร ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนเฉลี่ยจากภายนอกที่เข้ามาในตัวอาคารผ่านเปลือกอาคารตลอดทั้งปี โดยปกติการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจะใช้เวลานานและต้องพิจารณาปัจจัยการออกแบบต่างๆ เช่น คุณสมบัติวัสดุ พื้นที่ผิว การวางทิศทางของกรอบอาคาร ซึ่งโดยปกติข้อมูลเหล่านี้จะยังไม่ได้ข้อสรุปสุดท้ายจนกว่าจะได้รับการเห็นชอบจากเจ้าของอาคาร ดังนั้นผู้ออกแบบอาคารจึงมักจะคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารหลังจากออกแบบอาคารแล้วเสร็จเท่านั้น และเพื่อนำมาใช้ขออนุญาตปลูกสร้าง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะลดภาระงานในการคำนวณค่า OTTV ของกรอบอาคาร โดยพัฒนาวิธีการคำนวณที่ใช้เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling หรือ BIM) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการคำนวณค่า OTTV ของกรอบอาคาร ผลงานวิจัยพบว่า วิธีการคำนวณที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณค่า OTTV ได้รวดเร็วกว่าการคำนวณด้วยมือในขณะที่ผลการคำนวณมีค่าถูกต้องใกล้เคียงกัน

คำหลัก : แบบจำลองสารสนเทศอาคาร BIM ค่าการถ่ายเทความร้อน เปลือกอาคาร พลังงาน

Abstract

Project Code :	MRG5380210
Project Title :	Building Information Model for Assessing Energy Performances
Investigator :	Kevin Tantisevi, PhD
E-mail Address :	kevint@kmutnb.ac.th
Project Period :	24 Months

Abstract:

A continued growth in the building energy demand has escalated concerns over supply difficulties and environmental impacts, such as global warming and climate changes. To address these concerns, several building standards and regulations have been implemented to promote energy conservation practices. These standards and regulations aim to provide a framework and codes of practice for guiding architects and engineers to evaluate and improve the efficiency of building energy use. One of the evaluation measures having been widely used involves an Overall Thermal Transfer Value (OTTV), which is basically a measure of the averaged external heat gains through the buildings shell over an entire year. Generally, calculation of the OTTV of a building shell is time-consuming and requires various design parameters, such as material properties, surface areas, and orientation of the building shell, that are typically not finalized until the building design gets approved by the owner. Hence, designers calculate the OTTV of a building shell only when the design gets completed and when it is required to gain construction approval of a project. This research focuses on the need to minimize an additional work in calculating the OTTV of a building shell. It develops an approach that leverages a building information modeling technology to enable efficient and effective calculation of the OTTV of a building shell. The findings of this research indicated that the developed approach is more efficient while it could determine as accurate results of the OTTVs of building shells as those calculated manually.

Keywords : Building information modelling, BIM, OTTV, RTTV, Building shell, Energy

บทสรุปผู้บริหาร

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการอนุรักษ์พลังงานในอาคารเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบและใช้งานอาคาร ผู้ออกแบบอาคารนอกจากคำนึงถึงความสวยงาม ประโยชน์ใช้สอย และความแข็งแรงทนทานของอาคารแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของผู้ใช้สอยอาคารด้วย ตัวอย่างเช่น ระบบปรับอากาศภายในอาคารและระบบไฟฟ้าส่องสว่างควรได้รับการออกแบบเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ และในขณะเดียวกันจะต้องมีประสิทธิภาพด้วย วัสดุที่ใช้ในอาคารจะต้องมีความเหมาะสมกับภูมิอากาศ รูปแบบของอาคาร การใช้สอย และสถานที่ตั้ง เพื่อที่จะช่วยให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีและประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการใช้งาน (Operation Costs) ของอาคารลดลง

รัฐบาลได้ออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 และกฎกระทรวงอีกหลายฉบับ โดยวัตถุประสงค์หลักของกฎหมายดังกล่าว คือ เพื่อวางกรอบแนวทางและมาตรการสำหรับผู้ประกอบการเจ้าของอาคารและโรงงานดำเนินการ เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกฎหมายได้ระบุหน่วยงานรับผิดชอบในการดำเนินการต่างๆ มาตรการที่ภาครัฐใช้ในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วยทั้งวิธีการบังคับและการช่วยเหลือเพื่อสร้างแรงจูงใจแก่ผู้ประกอบการให้ปฏิบัติตาม โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการดำเนินโครงการอาคาร

เพื่อใช้เป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบอาคารภายใต้แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน รัฐบาลได้ออกกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยใช้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value หรือ RTTV) ค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับส่องสว่าง และค่าสมรรถนะของระบบปรับอากาศ เป็นแนวทางประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ผู้ออกแบบอาคารจะต้องคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน และค่ากำลังไฟฟ้าเหล่านี้ และเปรียบเทียบกับข้อกำหนดที่ระบุในกฎกระทรวงในการขออนุญาตปลูกสร้างอาคารขนาดใหญ่

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้ง OTTV และ RTTV มีความซับซ้อนเนื่องจากการคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักตามพื้นที่ ซึ่งผู้ออกแบบต้องคำนวณพื้นที่ของผนังแต่ละด้าน พื้นที่ช่องเปิดต่างๆ (ในกรณีของผนัง) และพื้นที่ส่วนโปร่งแสงของหลังคา ดังนั้นจึงมีผู้

พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยคำนวณค่า OTTV และ RTTV เช่น โปรแกรม Building Energy Code (BEC) และโปรแกรม OTTVEE ซึ่งพัฒนาโดยการสนับสนุนของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า โปรแกรมที่ใช้ในปัจจุบันจะรับค่าข้อมูลต่างๆ จากผู้ออกแบบโดยตรง เช่น ขนาดของพื้นที่ผนังส่วนต่างๆ และหลังคา ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีจำนวนมากและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเมื่อมีการแก้ไขแบบอาคาร ทำให้เกิดความผิดพลาดในการใส่ข้อมูลได้ง่าย และมีความยุ่งยากเมื่อนำไปใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนของอาคารสูงซึ่งเป็นอาคารควบคุมและกลุ่มเป้าหมายหลักที่กฎหมายบังคับใช้

เพื่อลดปัญหาในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน แนวทางหนึ่งคือ การพัฒนาให้มีการเชื่อมต่อระหว่างส่วนการคำนวณการถ่ายเทความร้อนและปริมาณการใช้พลังงาน กับ ข้อมูลแบบสถาปัตยกรรมของอาคารเพื่อให้สามารถนำข้อมูลอาคารในแบบมาคำนวณได้โดยตรง โครงการวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาแนวทางในการบูรณาการข้อมูลของอาคารและพัฒนาวิธีประเมินความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารโดยอัตโนมัติ เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดในการคำนวณตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน

โครงการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Model หรือ BIM) ซึ่งเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer-Interpretable Model) สำหรับจัดเก็บข้อมูลต่างๆ สำหรับบริหารจัดการเอกสารและกิจกรรมต่างๆ ของโครงการตลอดทั้งวงจรชีวิต (Life Cycle) เข้าไว้ด้วยกัน โดย BIM ถือเป็นแนวทางใหม่สำหรับออกแบบและเขียนแบบอาคารในลักษณะ 3 มิติ (3-Dimensions, 3D) ซึ่งได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากผู้ประกอบการงานสถาปัตยกรรม/วิศวกรรม/ก่อสร้าง (เรียกโดยย่อว่า A/E/C) และงานบริหารทรัพยากรอาคาร (Facility Management หรือ F/M) ทั้งในและต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้ โครงการวิจัยจะดำเนินการพัฒนาวิธีคำนวณการถ่ายเทความร้อนและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารบนพื้นฐานของ BIM ซึ่งจะทำได้ลดขั้นตอนในการออกแบบและตรวจสอบได้อย่างมาก

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยมีดังนี้

- (1) ศึกษาความเหมาะสมในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์ในปัจจุบันสำหรับคำนวณการถ่ายเทความร้อนและติดตามปริมาณการใช้พลังงานของอาคารเพื่อใช้สนับสนุนการตัดสินใจ
- (2) พัฒนาแนวทางคำนวณการถ่ายเทความร้อนของอาคารและปริมาณการใช้พลังงาน ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 โดยใช้ข้อมูลในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

(3) พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

3.1 จัดทำกรณีศึกษา (Case Study)

โครงการวิจัยนี้จะเริ่มจากการจัดทำกรณีศึกษาตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาและอุปสรรคของวิธีการวิเคราะห์พลังงานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งปัญหาที่พบในกรณีศึกษาจะถูกนำมาวิเคราะห์และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โครงการก่อสร้างที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาได้แก่ โครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้น ผู้วิจัยได้รวบรวมปัญหาและอุปสรรคในการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานพลังงานอาคาร ตามหลักเกณฑ์การออกแบบของประกาศกระทรวงพลังงานและกฎกระทรวงโดยใช้วิธีต่างๆ เช่น การคำนวณด้วยมือ การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารโดยเฉพาะ และการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับออกแบบเขียนแบบด้วยเทคโนโลยี BIM ปัญหาที่พบในกรณีศึกษาถูกนำมาใช้เป็นแนวทางการพัฒนาต่อยอดแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

3.2 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมในอดีตที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งกำหนดขั้นตอนและวิธีศึกษาอย่างละเอียด

ผู้วิจัยจะทำการศึกษางานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศอย่างละเอียดในสาขาที่เกี่ยวข้องกับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้งานด้านวิศวกรรมอาคาร (Building Engineering) และแนวทางการประเมินการใช้พลังงานในด้านต่างๆ ซึ่งรวมถึงการศึกษาพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 และกฎกระทรวง ประกาศกระทรวงต่างๆ ที่ออกโดยอาศัยความตามพระราชบัญญัติ

3.3 ศึกษาความเหมาะสมของการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์ในการวิเคราะห์และประเมินการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร

ในการศึกษากรณีตัวอย่าง จะมีการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมเขียนแบบเชิงสถาปัตยกรรมที่ใช้เทคโนโลยี BIM โดยจะพิจารณาประโยชน์และอุปสรรคปัญหาต่างๆ ที่พบในระหว่างการใช้งานโปรแกรมเหล่านั้นจริง ปัญหาอุปสรรคที่พบในกรณีศึกษาจะนำไปสู่แนวทางการพัฒนาต่อยอดแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

3.4 พัฒนาวิธีการวิเคราะห์และประเมินการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้สอดคล้องกับ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

โครงการวิจัยนี้ได้อ้างอิงวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารตามประกาศกระทรวงพลังงานและกฎกระทรวงว่าด้วยหลักเกณฑ์การออกแบบ โดยที่ค่าประสิทธิภาพสามารถคำนวณได้จากข้อมูลออกแบบของอาคาร เช่น คุณสมบัติวัสดุผนัง ขนาดพื้นที่ห้อง ขนาดพื้นที่ผนังและช่องเปิด และค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงฯ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาว่า ข้อมูลใดคือข้อมูลที่จำเป็นในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ข้อมูลเหล่านั้นหาได้อย่างไรและควรที่จะจัดเก็บในลักษณะใด นอกจากนี้แบบจำลองสารสนเทศอาคารควรมีโครงสร้างแบบใดที่จะเหมาะสม

3.5 ตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผล (Verification and Validation) ของงานวิจัย

กระบวนการตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) และความสมเหตุสมผล (Validation) ของผลงานวิจัยเริ่มจากพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อใช้วิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของอาคาร ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสริม (Add-on) ทำงานร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับงานออกแบบและเขียนแบบด้วยเทคโนโลยี BIM หลังจากนั้นได้นำระบบสารสนเทศต้นแบบไปทดลองใช้เพื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยจริง โดยเริ่มจากนำไปใช้ในโครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้น และโครงการอาคารสูง 12 ชั้นที่แบ่งการใช้สอยพื้นที่ในอาคารเป็นห้างสรรพสินค้าและสำนักงาน การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของงานวิจัยจะพิจารณาถึงความถูกต้องและรวดเร็วในการคำนวณ และแสดงผลต่างๆ สอดคล้องกับกฎหมายและข้อบังคับ

นอกจากนั้น ระบบสารสนเทศต้นแบบยังถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario Analysis) โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของอาคาร เช่น การจัดวางตำแหน่งอาคาร และการวางตำแหน่งกระจกและอุปกรณ์บังแดดของอาคาร เพื่อแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยี BIM สามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้

3.6 สรุปผล และจัดทำรายงานพร้อมทั้งเอกสารประกอบ

หลังจากทำการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผล (Verification and Validation) ของงานวิจัยแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ การจัดทำรายงานสรุปผลของโครงการวิจัย และจัดทำบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (International Journal) นอกจากนี้จะต้องจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินการใช้พลังงานใน

อาคารซึ่งเป็นผลผลิตหนึ่งของงานวิจัย คู่มือการใช้โปรแกรมจะมีลักษณะเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอยู่ในรูปของ PDF (Portable Document File) เพื่อที่จะใช้งานได้ง่าย

4. สรุปผลการศึกษา

ผลจากการศึกษา พบว่าแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ซึ่งถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนการออกแบบอาคาร ประกอบด้วยข้อมูลชิ้นส่วนอาคาร และความสัมพันธ์ระหว่างอาคาร สามารถนำมาใช้ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบสารสนเทศต้นแบบที่ใช้เทคโนโลยี BIM สามารถคำนวณค่า OTTV และ RTTV ได้โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกิน $\pm 1\%$ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณด้วยมือ หรือวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) ในขณะที่ระบบสามารถประหยัดเวลาในการคำนวณขนาดพื้นที่ผิวของผนังภายนอกและหลังคาอาคาร และลดขั้นตอนการป้อนข้อมูลต่างๆ เพื่อคำนวณค่า OTTV และ RTTV อันเป็นการลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณ

นอกจากนี้ งานวิจัยยังแสดงให้เห็น ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการนำมาวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario Analysis) เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการวางตำแหน่งอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร เนื่องจากผนังภายนอกแต่ละด้านของอาคารก่อสร้างอาจมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ประเภทของผนังที่ใช้ สัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังทึบ ส่วนโครงสร้างบังแดด เป็นต้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการวางอาคาร เช่น หันหน้าไปในทิศทางที่เหมาะสม หรือหลีกเลี่ยงการออกแบบให้ตำแหน่งของหน้าต่าง (กระจก) หันไปในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก จะช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารลดลง อันจะส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	v
Abstract	vii
บทสรุปผู้บริหาร	ix
สารบัญ	xv
สารบัญรูป	xvii
สารบัญตาราง	xix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย	5
2.2 มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารยกเว้นอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก ANSI/ASHRAE 90.1-2010	12
2.3 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Models หรือ BIMs)	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน	15
2.5 บทสรุปทฤษฎี ข้อกำหนด และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	19
3.1 จัดทำกรณีศึกษา (Case Study)	19
3.2 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมในอดีตที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ	20
3.3 พัฒนารูปแบบการประเมินความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอาคารตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร	21
3.4 ตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผล (Verification and Validation) ของงานวิจัย	21
3.5 สรุปผล และจัดทำรายงานพร้อมทั้งเอกสารประกอบ	22

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	23
4.1 กรณีศึกษาวิธีการประเมินความสามารถการถ่ายเทความร้อนของอาคาร	23
4.2 ผลการพัฒนาแนวทางการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร	36
4.3 ผลการออกแบบระบบสารสนเทศต้นแบบ	44
4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ เปลือกอาคาร โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร	54
4.5 ผลการนำไปใช้วิเคราะห์การณเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการออกแบบ	62
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการวิจัย	69
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	71
5.3 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	77

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย	6
รูปที่ 4-1 ภาพแสดงโครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นซึ่งนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา	24
รูปที่ 4-2 ภาพแสดงแบบจำลอง 3 มิติของโครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้น ซึ่งนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา	25
รูปที่ 4-3 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC แสดงการกำหนดทิศและขนาดของ ผนังภายนอกของอาคารแต่ละส่วน	26
รูปที่ 4-4 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC แสดงการเลือกประเภทวัสดุที่ใช้เป็น ผนังภายนอก	27
รูปที่ 4-5 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC แสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV	27
รูปที่ 4-6 คลาสไดอะแกรมแสดงตัวอย่างข้อมูลองค์ประกอบอาคารในแบบจำลอง สารสนเทศอาคารของโปรแกรม Graphisoft ArchiCAD	29
รูปที่ 4-7 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้น ก่อนการคำนวณ	31
รูปที่ 4-8 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงการเลือกชิ้นส่วนเปลือก อาคารที่จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของเปลือก อาคาร	32
รูปที่ 4-9 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงผลการดึงข้อมูล จากแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ความร้อน (U-Value) ของเปลือกอาคาร	32
รูปที่ 4-10 ภาพหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value)	33
รูปที่ 4-11 แผนผัง IDEF0 (IEEE Std 1320.1-1998, 1998) แสดงการพัฒนาแบบจำลอง สารสนเทศอาคารในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV	37
รูปที่ 4-12 ทิศทางการวาดผนังและหลังคาอาคาร	37
รูปที่ 4-13 ผังการกำหนดทิศขององค์ประกอบอาคารแต่ละส่วนโดยพิจารณาจากมุม ระหว่าง Normal Vector ของผิวองค์ประกอบอาคารกับทิศเหนือ	38
รูปที่ 4-14 พื้นที่ผิวของผนังภายนอกอาคารและเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิว	40
รูปที่ 4-15 คลาสไดอะแกรมแสดงข้อมูลชิ้นส่วนเปลือกอาคาร วัสดุก่อสร้าง และ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล	42
รูปที่ 4-16 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบสารสนเทศต้นแบบ	45

	หน้า
รูปที่ 4-17 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม Building Envelope Exporter แสดง หน้าต่างข้อมูลโครงการและส่งข้อมูล	46
รูปที่ 4-18 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator ในส่วนของการ จัดการข้อมูลพื้นฐานของโครงการ	48
รูปที่ 4-19 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของ ผนังทึบแสง	49
รูปที่ 4-20 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของ ผนังโปร่งแสง	50
รูปที่ 4-21 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของ หลังคาทึบแสง	51
รูปที่ 4-22 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของ หลังคาโปร่งแสง	52
รูปที่ 4-23 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายงานการ ประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร	53
รูปที่ 4-24 ภาพด้านข้างทางทิศตะวันออกของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบ ที่ 2	56
รูปที่ 4-25 ภาพด้านหน้าของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2	56
รูปที่ 4-26 แบบแปลนอาคารแสดงการใช้สอยพื้นที่อาคารในแต่ละชั้น	57
รูปที่ 4-27 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศเหนือ	63
รูปที่ 4-28 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตก เฉียงเหนือ	63
รูปที่ 4-29 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตก	64
รูปที่ 4-30 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตก เฉียงใต้	64
รูปที่ 4-31 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศใต้	65
รูปที่ 4-32 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออก เฉียงใต้	65
รูปที่ 4-33 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออก	66
รูปที่ 4-34 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออก เฉียงเหนือ	66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีระบบ ปรับอากาศที่ยอมให้ (วัดต่อตารางเมตร)	12
ตารางที่ 2-2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีระบบปรับอากาศ ที่ยอมให้ (วัดต่อตารางเมตร)	12
ตารางที่ 4-1 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของ API_WallType	30
ตารางที่ 4-2 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของ API_RoofType	30
ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการ ถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่างๆ	34
ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือก อาคารด้วยวิธีการคำนวณด้วยมือ และใช้โปรแกรม BEC	35
ตารางที่ 4-5 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (ShellElementGroup)	43
ตารางที่ 4-6 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (ShellElement)	43
ตารางที่ 4-7 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของวัสดุ (Material)	43
ตารางที่ 4-8 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของวัสดุพื้นฐาน (BaseMaterial)	44
ตารางที่ 4-9 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของวัสดุประกอบ (CompositeMaterial)	44
ตารางที่ 4-10 รายการข้อมูลลักษณะโครงการที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถปรับแก้ได้ จากหน้าจอ	48
ตารางที่ 4-11 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการ ถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่างๆ ของกรณีศึกษา เชิงเปรียบเทียบที่ 1	54
ตารางที่ 4-12 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือก อาคาร ด้วยวิธีการต่างๆ ของกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 1	55
ตารางที่ 4-13 รายละเอียดผนังและหลังคาของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบ ที่ 2	58
ตารางที่ 4-14 ข้อกำหนดเฉพาะของวัสดุที่ใช้ทำส่วนเปลือกอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษา เชิงเปรียบเทียบที่ 2	59
ตารางที่ 4-15 พื้นที่รวมของผนังอาคารเฉพาะพื้นที่ใช้สอยที่มีการปรับอากาศแต่ละแบบ (หน่วยเป็นตารางเมตร)	59

	หน้า
ตารางที่ 4-16 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการ ถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่างๆ ของกรณีศึกษา เชิงเปรียบเทียบที่ 2	60
ตารางที่ 4-17 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือก อาคาร ด้วยวิธีการต่างๆ ของกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2	61
ตารางที่ 4-18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือก อาคารเมื่อหันด้านหน้าของอาคารหาทิศต่างๆ	67

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากข้อมูลสถิติของ International Energy Agency [IEA] (2011) ความต้องการใช้พลังงานภายในอาคารได้เพิ่มขึ้นอย่างมากตลอดช่วงระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา และยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในประเทศต่างๆ อันทำให้ความต้องการที่อยู่อาศัยและใช้งานอาคารมีมากขึ้น ด้วยการใช้พลังงานที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนี้ ทำให้มีข้อกังวลเกี่ยวกับการหาแหล่งพลังงานใหม่ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตและใช้งานพลังงาน และก่อให้เกิดแนวคิดที่จะใช้พลังงานอย่างประหยัดและให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือที่เรียกว่า การอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation)

รัฐบาลไทยได้ออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 เพื่อวางกรอบแนวทางและมาตรการเพื่อส่งเสริมให้ผู้ประกอบการเจ้าของอาคารและโรงงานดำเนินการเพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกฎหมายดังกล่าวได้ระบุหน่วยงานผู้รับผิดชอบในการดำเนินการต่างๆ และกำหนดมาตรการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งวิธีการบังคับและการช่วยเหลือเพื่อสร้างแรงจูงใจแก่ผู้ประกอบการให้ปฏิบัติตาม โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการดำเนินงานโครงการอาคาร

ในการออกแบบอาคารตามแนวคิดการอนุรักษ์พลังงานนั้น ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานภายในอาคารด้วย เพิ่มเติมจากความสวยงาม ความทันสมัย ประโยชน์ใช้สอย และความแข็งแรงทนทานแล้ว สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้น มีความจำเป็นต้องใช้ระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในสภาพที่ผู้ใช้งานอาคารรู้สึกสบาย ระบบปรับอากาศนี้มีความต้องการใช้พลังงานเป็นปริมาณมาก ดังนั้นการลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดพลังงานความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยการออกแบบผังอาคารและทิศทางให้เหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้ง ตลอดจนเลือกใช้วัสดุก่อสร้างสำหรับเปลือกอาคาร (Building Shell) ที่เหมาะสม (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542)

กฎกระทรวง การกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กำหนดให้ผู้ประกอบการอาคารต้องนำส่งรายงานการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารให้หน่วยงานรัฐ

พิจารณาก่อนการอนุมัติให้ดำเนินการก่อสร้าง ค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร หมายถึง ปริมาณความร้อน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และตามกฎหมายแล้ว ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารนี้ จะแยกวัดเป็น 2 ค่า คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (Overall Thermal Transfer Value of Exterior Walls ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า RTTV)

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ได้แก่ ขนาดพื้นที่ คุณสมบัติของผนังภายนอกและหลังคาอาคาร ซึ่งมักจะเปลี่ยนแปลงเมื่อแบบอาคารเปลี่ยน ก่อปรกับวิธีการคำนวณมีความซับซ้อน ต้องเลือกใช้ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ต่างๆ จำนวนมาก ทำให้ผู้ออกแบบอาคารส่วนใหญ่มักจะคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังจากออกแบบอาคารแล้วเสร็จเท่านั้น เพื่อนำมาใช้ประกอบการขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร โดยไม่ได้นำมาใช้เป็นปัจจัยประกอบการออกแบบอาคารเพื่อก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานในอาคารควรพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคารช่วงแรกๆ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหางานเพิ่มเติมในการปรับปรุงหรือดัดแปลงอาคารหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่สูงได้ ดังนั้นจึงมีผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับงานออกแบบที่ได้นำเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของอาคาร และเทคโนโลยีหนึ่งในการสร้างแบบอาคารที่มีผู้ประกอบการด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และงานก่อสร้าง (Architecture/Engineering/Construction ซึ่งต่อไปเรียกโดยย่อว่า A/E/C) ให้ความสนใจ และนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร คือ เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling หรือ BIM) (Krygiel and Nies, 2008; Schlueter and Thesseling, 2009)

การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เป็นวิธีการหนึ่งในงานออกแบบและเขียนแบบโดยการกำหนดรายละเอียดข้อมูลแยกตามชิ้นส่วนของอาคาร ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะขององค์ประกอบอาคาร และความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอาคารแต่ละชิ้น (Eastman et al., 2008) ดังนั้นแบบจำลองสารสนเทศอาคารไม่ใช่เพียงแต่แบบจำลองซึ่งแสดงรายละเอียดรูปร่าง ข้อมูลเรขาคณิต (Geometry) และมิติ (Dimensions) ของอาคาร (ซึ่งได้แก่แบบอาคาร 2 มิติ หรือ 3 มิติ) แต่เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยข้อมูลเฉพาะอื่นๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของอาคารในลักษณะต่างๆ ด้วย เช่น การวิเคราะห์คุณสมบัติการรับน้ำหนัก การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เป็นต้น แนวความคิดการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารนี้มาจากความต้องการที่จะบูรณาการข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ

อาคารเข้าด้วยกันโดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง

เนื่องจากความยุ่งยากในการประเมินการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้วิธีการคำนวณแบบ ปัจจุบัน โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาแนวทางการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการ ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารตามกฎหมายกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาด ของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาความเหมาะสมในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์ สำหรับคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเพื่อใช้สนับสนุนการตัดสินใจ
- 1.2.2 พัฒนาแนวทางคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารตามพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 โดยใช้ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร
- 1.2.3 พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนตั้งแต่ ขั้นตอนการออกแบบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาประเภทและลักษณะของอาคารที่เป็นอาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการใน การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552
- 1.3.2 การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารจะพิจารณาค่าการถ่ายเท ความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของ อาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร เท่านั้น

บทที่ 2 ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงกฎหมาย มาตรฐาน ทฤษฎี และผลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน และการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่ผู้วิจัยได้รวบรวมไว้ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย (2) มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัยยกเว้นอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก ASHRAE 90.1 (3) แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Models: BIMs) และ (4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน รายละเอียดของเอกสารต่างๆ แสดงในหัวข้อย่อยถัดไป

2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย

ในประเทศไทย กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมีอยู่หลายฉบับด้วยกัน แต่ที่มีความสำคัญมากที่สุดได้แก่ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมฉบับปี พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติทั้ง 2 ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวางกรอบแนวทางและมาตรการสำหรับผู้ประกอบการเจ้าของอาคารและโรงงานดำเนินการเพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ พระราชบัญญัติทั้ง 2 ฉบับนี้เปรียบเสมือนรากฐานในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของอาคารและโรงงานในประเทศไทย เนื่องจากมีการอาศัยความตามพระราชบัญญัติทั้ง 2 ฉบับ และออกกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงตามมา ดังแสดงในรูปที่ 2-1

การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานนั้น เริ่มแรกในปี พ.ศ. 2535 จะมุ่งเน้นในอาคารที่มีลักษณะเป็น “อาคารควบคุม” และ “โรงงานควบคุม” ซึ่งมีลักษณะตามที่นิยามไว้ในพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538 และพระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ.2540 ตามลำดับ ทั้งนี้อาคารควบคุม และโรงงานควบคุม หมายถึง อาคารและโรงงานที่ใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็นหลังเดียวหรือหลายหลังภายใต้เลขที่บ้านเดียวกัน ที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวหรือหลายชุดรวมกันมีขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ หรือ 1,175 กิโลวัตต์แอมแปร์ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ได้กำหนดให้ อาคารที่จะทำการก่อสร้างหรือดัดแปลงหากมีพื้นที่เดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร จะต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานด้วย



รูปที่ 2-1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย

รายละเอียดหลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1.1 ประเภทและขนาดของอาคารที่ต้องออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

กฎกระทรวง การกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กำหนดให้ การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร ซึ่งหากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และเป็นอาคารที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

- (1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล
- (2) สถานศึกษา
- (3) สำนักงาน
- (4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด
- (5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร
- (6) อาคารโรงมหรสพตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร
- (7) อาคารโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม
- (8) อาคารสถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ
- (9) อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

2.1.2 หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร

ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ได้กำหนดหลักเกณฑ์ให้ผู้ออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะต้องคำนวณค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- (1) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร
- (2) การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- (3) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อต้านความเย็นของระบบปรับอากาศ
- (4) การคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน
- (5) การคำนวณการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร
- (6) การคำนวณค่าประสิทธิผล ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน และค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีของการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นที่การพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตามหลักเกณฑ์ข้อ (1) เท่านั้น ในบทนี้จึงจะอธิบายรายละเอียดวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของระบบผ่านเปลือกอาคาร

2.1.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร หมายถึง ค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร โดยทั่วไปการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านระบบเปลือกอาคารนั้น จะพิจารณาจากความร้อน 3 ส่วนคือ

- (1) ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังที่บดแสงด้านนอกอาคารหรือหลังคาที่บดแสง
- (2) ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (กระจก) ด้านนอกอาคารหรือหลังคาโปร่งแสง
- (3) ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านผนังโปร่งแสง (กระจก) ด้านนอกอาคารหรือหลังคาโปร่งแสง

ตามประกาศกระทรวงพลังงานฯ ผู้ออกแบบจะต้องคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร โดยแยกคำนวณเป็น 2 ค่า ได้แก่ (1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของผนังด้านนอกของอาคาร และ (2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในหัวข้อ 2.1.2.1 และ 2.1.2.2 ตามลำดับ

2.1.3.1 วิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกของอาคาร (OTTV) ตามประกาศกระทรวงพลังงาน

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) รวมกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-1)

$$OTTV_i = \frac{(A_w \times U_w \times TD_{eq}) + (A_f \times U_f \times \Delta T) + (A_f \times SC \times SF \times ESR)}{A_i} \quad (2-1)$$

เมื่อ $OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา
(Overall Thermal Transfer Value) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

- A_w = พื้นที่ของผนังทึบแสงของผนังด้านที่พิจารณา (Opaque Wall Area) มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
- U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (Thermal Transmittance of Opaque Wall) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)
- TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (Equivalent Temperature Difference) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)
- A_f = พื้นที่ของหน้าต่างและผนังโปร่งแสงของผนังด้านที่พิจารณา (Fenestration Area) มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
- U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก (Thermal Transmittance of Fenestration) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)
- T = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (Temperature Difference between Exterior and Interior) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)
- SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient of Fenestration)
- SF = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (Solar Factor / Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC)
- ESR = ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและ/หรือผนังทึบ (Effective Solar Radiation) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

เมื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังแต่ละด้านได้แล้ว สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักได้จากสมการ (2-2)

$$OTTV = \frac{OTTV_1 \times A_{w1} + OTTV_2 \times A_{w2} + \dots + OTTV_i \times A_{wi}}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (2-2)$$

เมื่อ $OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

AW_i = พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (Gross Area of Exterior Wall)
มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

2.1.3.2 วิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value; RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละด้าน ($RTTV_i$) รวมกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-3)

$$RTTV_i = \frac{(A_r \times U_r \times TD_{eq}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_s \times SC \times SF \times ESR)}{A_i} \quad (2-3)$$

เมื่อ $RTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารด้านที่พิจารณา (Roof Thermal Transfer Value) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

A_r = พื้นที่ของหลังคาอาคารทึบแสงของหลังคาอาคารด้านที่พิจารณา (Opaque Roof Area) มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Thermal Transmittance of Opaque Roof Area) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในหลังคาอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาอาคาร (Equivalent Temperature Difference) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

A_s = พื้นที่ของหลังคาอาคารโปร่งแสงของหลังคาอาคารด้านที่พิจารณา (Skylight Area) มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

U_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารโปร่งแสง (Thermal Transmittance of Skylight Area) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)

T = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคาอาคาร (Temperature Difference between Exterior and Interior Design Conditions) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient of Skylight)

- SF = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคา
อาคารโปร่งแสง (Solar Factor / Solar Heat Gain Coefficient
หรือ SHGC)
- ESR = ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคารโปร่ง
แสงและ/หรือหลังคาอาคารทึบ (Effective Solar Radiation)
มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

เมื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาแต่ละด้านได้แล้ว
สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักได้จากสมการ (2-4)

$$RTTV = \frac{RTTV_1 \times A_{w1} + RTTV_2 \times A_{w2} + \dots + RTTV_i \times A_{wi}}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (2-4)$$

- เมื่อ $RTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารด้านที่พิจารณา มี
หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
- AW_i = พื้นที่ของหลังคาอาคารซึ่งรวมพื้นที่หลังคาอาคารทึบและพื้นที่
หลังคาอาคารโปร่งแสง (Gross Area of Roof) มีหน่วยเป็น
ตารางเมตร (m^2)

เมื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก และค่าการ
ถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคารได้แล้ว ผู้ออกแบบจะต้องนำค่าที่คำนวณได้มา
เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมให้ตามประกาศกระทรวงพลังงานฯ ซึ่งมีการระบุแยก
ตามประเภทของอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2-1 และตารางที่ 2-2 ตามลำดับ
หลังจากนั้นจึงนำส่งรายงานผลการคำนวณดังกล่าวนี้ต่อหน่วยงานราชการที่
พิจารณาการให้อนุญาตปลูกสร้างหรือดัดแปลงอาคาร หากการคำนวณค่าการ
ถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารไม่เป็นไปตามเกณฑ์ ให้หน่วยงานราชการ
พิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ซึ่งจะต้อง
คำนึงถึงค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบ
ปรับอากาศต่อพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของเปลือกอาคารแต่ละด้านต่อไป

ตารางที่ 2-1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีระบบปรับอากาศที่ยอมให้ (วัดต่อตารางเมตร)

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารที่ยอมให้ (วัดต่อตารางเมตร)
สถานศึกษา สำนักงาน	50
โรงแรมสห ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

ตารางที่ 2-2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีระบบปรับอากาศที่ยอมให้ (วัดต่อตารางเมตร)

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่ยอมให้ (วัดต่อตารางเมตร)
สถานศึกษา สำนักงาน	15
โรงแรมสห ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	12
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	10

2.2 มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารยกเว้นอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก

ANSI/ASHRAE 90.1-2010

มาตรฐาน ANSI/ASHRAE 90.1 เป็นมาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารยกเว้นอาคารพักอาศัยที่มีความสูงไม่มาก (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings) ซึ่งจัดทำโดยสมาคมวิศวกรทางด้านการให้ความร้อน การทำความเย็น และระบบปรับอากาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers หรือ ASHRAE) มาตรฐานนี้เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในประเทศสหรัฐอเมริกาและบางประเทศในแถบเอเชียรวมทั้งประเทศไทย เพื่อใช้ในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่ไม่ใช่อาคารที่พักอาศัยที่มีขนาดไม่เกิน 3 ชั้น ที่พักอาศัยที่สามารถเคลื่อนที่ได้ อาคารที่ไม่ได้ใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการผลิตในโรงงาน และสถานอาคารที่พิเศษ (ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2010 (SI), 2010)

ASHRAE ได้เริ่มเผยแพร่มาตรฐานการดำเนินการเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975 (ASHRAE 90-1975, 1975) ต่อมาในปี 1980 จึงได้ปรับปรุงเป็นมาตรฐาน ASHRAE 90A-1980 และกำหนดให้ใช้ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร (OTTV)

ซึ่งหมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์และปัจจัยจากสภาพแวดล้อมผ่านเปลือกอาคาร เป็นดัชนีวัดประสิทธิภาพการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารในบริเวณที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

ในเวลาต่อมา ASHRAE ได้ยกเลิกมาตรฐาน ASHRAE 90A-1980 และเปลี่ยนมาใช้มาตรฐาน ASHRAE 90.1-1989 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร (Building Shell) และร้อยละของผนังโปร่งแสงต่อผนังภายนอกด้านที่พิจารณา การพิจารณาโครงสร้างแยกตามพื้นที่บริเวณที่มีการปรับอากาศและบริเวณไม่มีการปรับอากาศ ความต้านทานความร้อนของพื้นอาคารบริเวณติดพื้นดิน ผนังใต้พื้นดินและลักษณะของอุปกรณ์บังแดดแทน

2.3 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Models หรือ BIMs)

Eastman et al. (2008) อธิบายไว้ว่า แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Models หรือ BIMs) เป็นเทคโนโลยีแบบจำลองข้อมูล (Data Model) ที่นำมาใช้กำหนดและจัดเก็บข้อมูลขององค์ประกอบอาคาร เพื่อทำให้เกิดลักษณะเฉพาะตัวขององค์ประกอบนั้นๆ รวมไปถึงการกำหนดความสัมพันธ์และการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยคอมพิวเตอร์สามารถอ่านและเข้าใจรายละเอียดเกี่ยวกับการก่อสร้าง การวางแผนการก่อสร้าง และการดำเนินการจัดการ ภายหลังการก่อสร้างไปแล้วได้

จากการศึกษาวิจัยและผลงานต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบว่ามีงานวิจัยและการดำเนินงานเชิงพาณิชย์ต่างๆ ที่มุ่งเน้นพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อใช้ในงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และงานก่อสร้าง (A/E/C) เช่น การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบและเขียนแบบทางด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการถอดปริมาณวัสดุ ประมาณราคา ตลอดจนการสร้างภาพจำลองสถานการณ์ก่อสร้าง

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารในปัจจุบัน อาจสามารถแบ่งกลุ่มออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานวิจัย (2) แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์ และ (3) แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาตรฐาน รายละเอียดของแบบจำลองสารสนเทศอาคารแต่ละประเภทแสดงในหัวข้อย่อยถัดไป

2.3.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานวิจัย

นักวิจัยหลายคณะในต่างประเทศ (Darwiche et al., 1991; Winstanley et al., 1993; Stumpf et al., 1996; Aalami, 1998) ได้พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อใช้สำหรับ

สร้างแผนงานก่อสร้าง ข้อมูลพื้นฐานในแบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วย คุณสมบัติเชิงเรขาคณิต 3 มิติ (3D Geometry) ตำแหน่งที่ตั้ง (Spatial) วัสดุที่ใช้ (Material) และกิจกรรมก่อสร้าง (Construction Activities) ที่เกี่ยวข้อง โดยแยกตามองค์ประกอบส่วนต่างๆของอาคาร (Building Components) นอกจากข้อมูลคุณสมบัติต่างๆขององค์ประกอบอาคาร ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจะถูกกำหนดและอธิบายไว้อย่างชัดเจนในแบบจำลอง เช่น ความสัมพันธ์ก่อนหลังของกิจกรรมก่อสร้าง (Precedence relationships) ความสัมพันธ์แบบ support และ supported-by ระหว่างองค์ประกอบแต่ละส่วนของอาคาร ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอาคารและกิจกรรมก่อสร้าง เป็นต้น

ในประเทศไทย วราวิทย์ และคณะ (2551) นำเสนอแบบจำลองข้อมูลอาคารเชิงวัตถุ (Object-Oriented Building Information Model) เพื่อใช้แสดงลักษณะ 3 มิติของอาคาร Tantisevi and Akinici (2008; 2009) ได้พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารซึ่งสามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหว ของเครนในระหว่างก่อสร้างทำให้การวางแผนการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกล และวัสดุก่อสร้างในหน้างานทำได้สะดวกขึ้น

จากการศึกษาแบบจำลองสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัย พบว่าแบบจำลองเหล่านี้มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้อธิบายข้อมูลพื้นฐานขององค์ประกอบอาคารซึ่งได้แก่ ลักษณะเชิงเรขาคณิตและคุณสมบัติวัสดุ ของอาคารที่มีความหลากหลายและซับซ้อน แต่แบบจำลองเหล่านี้จะให้ความสำคัญกับรายละเอียดของข้อมูลสารสนเทศของอาคารประเภทอื่นและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสารสนเทศเหล่านั้น เช่น ข้อมูลกิจกรรมก่อสร้าง ข้อมูลทรัพยากรต่างๆที่ใช้ในงานก่อสร้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังนั้นการพัฒนาต่อยอดจากแบบจำลองสารสนเทศเหล่านี้เพื่อนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงทำได้ลำบาก

2.3.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์

บริษัทผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิศวกรรม เช่น Autodesk (2011), Bentley Systems Inc. (2009), Graphisoft (2011) ได้พัฒนา BIM เพื่อใช้ในโปรแกรมเขียนแบบทางสถาปัตย์และวิศวกรรมในลักษณะ 3 มิติ โดยแบบจำลองเหล่านี้สามารถนำไปเชื่อมต่อกับแผนงานก่อสร้างและแสดงภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ (3D Animation) เพื่ออธิบายความก้าวหน้าของงานก่อสร้างอาคารตลอดระยะเวลาก่อสร้างของโครงการโปรแกรมเขียนแบบและออกแบบเพื่อการพาณิชย์มีจุดแข็งที่สามารถใช้ได้ดีสำหรับ อาคารที่มีความซับซ้อน นอกจากนี้ โปรแกรมเหล่านี้ยังมีส่วนต่อประสานโปรแกรม (Application Program Interface, API) สำหรับให้นักพัฒนากลายนอกพัฒนาโปรแกรมเสริม (Add-ons) เพื่อใช้งานร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศในการถอดแบบประมาณราคา (Vico Software Inc., 2009) วิเคราะห์การถ่ายเท

ความร้อน (Schlueter and Thesseling, 2009) และการแพร่กระจายก๊าซเรือนกระจก (Graphisoft, 2009) ได้

ในปัจจุบัน โปรแกรมเสริมที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานส่วนใหญ่ถูกพัฒนาโดยผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ต่างประเทศ ซึ่งใช้หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณที่แตกต่างจากที่ระบุตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นถ้าหากนำโปรแกรมเหล่านี้มาใช้สำหรับงาน A/E/C ในประเทศไทย จะต้องมีการดัดแปลงเพื่อให้เข้ากับมาตรฐานและข้อบังคับของประเทศ

2.3.3 แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาตรฐาน

buildingSMART ซึ่งเดิมเรียกว่า International Alliance for Interoperability [IAI] เป็นหน่วยงานที่ถูกจัดตั้งขึ้นโดยความร่วมมือของบริษัทผู้ผลิตโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สถาบันการศึกษา หน่วยงานวิจัย และผู้ประกอบการสำหรับงาน A/E/C และงาน F/M เพื่อพัฒนาโครงสร้างมาตรฐานของแบบจำลองสารสนเทศอาคารซึ่งเรียกว่า Industry Foundation Class (IFC) (buildingSMART International, 2012) วัตถุประสงค์ของการกำหนดโครงสร้างมาตรฐานนี้ คือ เพื่อสนับสนุนการทำงานร่วมกัน (Interoperability) หรือแลกเปลี่ยนข้อมูลของอาคาร (Information Exchange) ระหว่างหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น สถาปนิก ผู้รับเหมา บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา และเจ้าของโครงการ ซึ่งโดยปกติหน่วยงานเหล่านี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลายและมีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน

เนื่องจาก IFC ถือเป็นแบบจำลองมาตรฐานที่สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมได้ จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาแบบจำลอง IFC เพื่อนำไปใช้ใน บริหารและจัดการโครงการในด้านต่างๆ เช่น การเก็บบันทึกข้อมูลโครงการเพื่อใช้ในการประมาณการอัตราการผลิตที่หน้างาน (Kiziltas, 2008), การประเมินคุณสมบัติรวมของอาคาร (Building Performances) (Fazio et al., 2007) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน โครงสร้างของ IFC มีความซับซ้อนขึ้นอย่างมากเนื่องจาก IFC ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้เป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาตรฐานที่ต้อง สามารถตอบสนองความต้องการใช้ข้อมูลในลักษณะใช้งานต่างๆได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน

สุภัทร (2540) ได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารโดยอาศัยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมจากเปลือกอาคาร (OTTV/RTTV) สำหรับเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับผู้ออกแบบอาคารในช่วงการออกแบบร่าง การศึกษานี้ได้พิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีการป้อนข้อมูลและการแสดงผลของโปรแกรมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จากนั้นได้นำข้อดีของโปรแกรมต่างๆ มาพิจารณาหาแนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

อวิรุทธิ์ (2544) ได้ศึกษาการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 นั้น และพบว่ามีความยุ่งยากและสับสนในการคำนวณ จึงได้รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงาน และจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเขียนด้วยภาษา Visual Basic เพื่อช่วยในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและสามารถแสดงผลลัพธ์ให้รวดเร็วมากขึ้น

วีรศักดิ์ (2546) ได้ศึกษาการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พบว่า การออกแบบผังบังแดดนอกอาคารให้กับช่องเปิดของอาคารถือเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ในการออกแบบผังบังแดด จะต้องมีความรู้พื้นฐานในการอ่านค่าและการใช้สูตรในการคำนวณเป็นอย่างดี และต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน จะเป็นการกรอกข้อมูลที่เป็นตัวเลขรวมถึงการแสดงผลของโปรแกรมที่มีการแสดงผลออกมาในรูปแบบของข้อมูลทางตัวเลขหรือแผนภูมิ ซึ่งไม่เหมาะสม เนื่องจากการออกแบบผังบังแดดต้องคำนึงถึงรูปร่างของผังบังแดดด้วย

พุทธิพันธ์ (2550) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร พบว่า การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารเป็นกระบวนการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงาน และด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยคำนวณการวิเคราะห์ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาโปรแกรมเหล่านี้ในเชิงลึกแล้ว จึงพบว่า เป็นการพัฒนาสำหรับการใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นหลัก ทำให้มีข้อจำกัดในการเชื่อมโยงและปรับเปลี่ยนระบบฐานข้อมูลวัสดุเข้ากับส่วนคำนวณประเมินผลของซอฟต์แวร์ ดังนั้นจึงได้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับทำงานบนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยี JAVA เพื่อให้ผู้ผลิตวัสดุสามารถส่งข้อมูลวัสดุของตนเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ได้

Yik and Wan (2005) ได้ศึกษาการใช้งานเครื่องปรับอากาศของอาคารสำนักงาน และเครื่องปรับอากาศของอาคารที่อยู่อาศัยในฮ่องกง สำหรับในการศึกษครั้งนี้ ใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) เป็นตัวชี้วัดผลกระทบที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ที่ได้รับการยอมรับ และการใช้พลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศสามารถทำได้เฉพาะส่วน

Tah, Zhou and Cheung (2010) ได้ศึกษาเรื่องผลกระทบต่อการใช้พลังงานในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียตลอดวงจรชีวิตของอาคารทั้งหมด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกรอบแนวทางสำหรับการประเมินคาร์บอน และการรวบรวมของเสียโดยการใช้เทคโนโลยี BIM ซึ่งประกอบด้วย การพิจารณาโมดูลการทำงานสำหรับการคำนวณคาร์บอน โมดูลสำหรับการ

ประมาณของเสียที่เป็นฐานความรู้ของวิธีการก่อสร้างและการรื้อถอนอาคาร ที่เก็บของข้อมูลองค์ประกอบและสินค้าคงคลังของวัสดุก่อสร้างที่เป็นพลังงานและคาร์บอน นอกจากนั้นยังมีการแสดงผลแบบ 3D และการสร้างแบบจำลองแบบไดนามิกสนับสนุน จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการประเมินคาร์บอนและของเสียแบบองค์รวมโดยใช้เทคโนโลยี BIM สามารถช่วยปรับปรุงการสนับสนุนการตัดสินใจการออกแบบที่ดี

Schlueter and Thesseling (2009) ได้ศึกษาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) สำหรับใช้ประเมินการใช้พลังงานของอาคารความสามารถของแบบจำลองข้อมูลอาคารเพื่อเก็บข้อมูลหลายทางถูกนำมาใช้ในการเข้าถึงค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพการทำงาน นอกจากนี้ในการคำนวณของยอดใช้พลังงานในแนวคิดของคุณภาพพลังงาน (Exergy) จะใช้ในการประเมินคุณภาพของแหล่งพลังงานที่ทำให้มีความยืดหยุ่นที่สูงขึ้นของมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบอาคาร เครื่องมือการบูรณาการข้อมูลเข้ามาในอาคารซอฟต์แวร์การสร้างแบบจำลอง ที่ช่วยให้อธิบายพลังงานได้ทันทีและการคำนวณ Exergy และการสร้างภาพกราฟิกของดัชนีผลการปฏิบัติงาน

2.5 บทสรุปทฤษฎี ข้อกำหนด และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนกฎหมาย มาตรฐาน ทฤษฎี และผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา พบว่า การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารมีความจำเป็นต้องทำตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบ แต่เนื่องจากความยุ่งยากในการคำนวณ ทำให้มีนักวิจัยและบริษัทพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการพาณิชย์มุ่งพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และลดข้อผิดพลาดในการคำนวณ

เทคโนโลยี BIM เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อสนับสนุนการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเขียนแบบออกแบบด้วยเทคโนโลยี BIM จำนวนมาก และโปรแกรมฯ เหล่านี้มีศักยภาพที่จะนำมาพัฒนาต่อยอดสำหรับใช้ในการประเมินความประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารได้ ดังจะเห็นได้จากผลงานวิจัยหลายโครงการในต่างประเทศ (Tantisevi and Sornsuriya, 2010) อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทย ซึ่งมีการกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่แตกต่างจากประเทศในยุโรป และสหรัฐอเมริกา ยังไม่ได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยเฉพาะการนำเทคโนโลยี BIM มาประยุกต์ใช้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการประเมินความสมารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร และหาแนวทางในการพัฒนา

แบบจำลองสารสนเทศอาคารให้สามารถนำมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของผนังด้านนอกอาคารและค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV) ตามหลักเกณฑ์การออกแบบที่กำหนดโดยกฎกระทรวงพลังงานซึ่งออกโดยอาศัยความตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน อันจะช่วยลดขั้นตอนการทำงานและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร ทำให้การออกแบบอาคารมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากขึ้น

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมและผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา พบว่าได้มีการนำเทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์คุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารบ้างในต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาแนวทางการนำเทคโนโลยีสารสนเทศอาคารมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาแนวทางการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการประเมินความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอาคาร

งานวิจัยนี้มีระเบียบวิธีการศึกษาซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) จัดทำกรณีศึกษา (2) ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ (3) พัฒนาวิธีการประเมินความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอาคารตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (4) ตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผล และ (5) สรุปผล และจัดทำรายงานพร้อมทั้งเอกสารประกอบ รายละเอียดวิธีการดำเนินงานอธิบายในหัวข้อย่อยถัดไป

3.1 จัดทำกรณีศึกษา (Case Study)

โครงการวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาเชิงกรณี เพื่อรวบรวมข้อดี ข้อเสีย ปัญหาและอุปสรรคของวิธีการประเมินคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของอาคารตามประกาศกระทรวงพลังงานฯ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยผู้วิจัยได้เลือกโครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้น สำหรับเป็นกรณีศึกษาตัวอย่าง และนำผลการศึกษาที่ได้นี้มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารต่อไป

การศึกษาเชิงกรณีนี้ประกอบด้วย การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของโครงการอาคารชุดพักอาศัยด้วยมือ และการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป 2 กลุ่ม ซึ่งได้แก่ กลุ่มที่ 1 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนโดยเฉพาะ และกลุ่มที่ 2 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเขียนแบบอาคารโดยใช้เทคโนโลยี BIM สำหรับโปรแกรมสำเร็จรูปในกลุ่มที่ 1 นั้น ผู้ออกแบบจะต้องเขียนแบบอาคารให้เสร็จก่อน แล้วจึงถอดขนาดพื้นที่ผนัง หลังคา และช่องเปิดต่างๆ จากแบบ เพื่อนำมาป้อนค่าใส่โปรแกรมสำเร็จรูปนี้ โดยโปรแกรมในกลุ่มที่ 1 ที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ BEC (Building Energy Code) ซึ่งพัฒนาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำหรับโปรแกรมกลุ่มที่ 2 ผู้ออกแบบจะเขียนแบบอาคาร คำนวณขนาดพื้นที่ของเปลือกอาคาร และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้เลย โดยโปรแกรมจะนำข้อมูลองค์ประกอบอาคาร ทั้งมิติ ขนาด และคุณสมบัติวัสดุ

จากการเขียนแบบอาคาร มาใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้โดยอัตโนมัติ โปรแกรมในกลุ่มที่ 2 ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ โปรแกรม Graphisoft ArchiCAD Version 12

3.2 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมในอดีตที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศอย่างละเอียดในสาขาที่เกี่ยวข้อง 2 สาขา ได้แก่ (1) กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน มาตรฐานการออกแบบ และแนวทางการประเมินประสิทธิภาพด้านการถ่ายเทความร้อนของอาคาร และ (2) แนวทางการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้งานด้านวิศวกรรมอาคาร (Building Engineering)

- 3.2.1 ศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน มาตรฐานการออกแบบอาคาร เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และแนวทางการประเมินประสิทธิภาพด้านการถ่ายเทความร้อนของอาคาร โดยแบ่งหลักๆ ได้ดังนี้
- (1) ศึกษาพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 กฎกระทรวง ประกาศกระทรวง และกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
 - (2) ศึกษามาตรฐาน ASHRAE ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่มีการเผยแพร่ข้อกำหนดในการอนุรักษ์พลังงานและพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ก็ได้อ้างอิงมาตรฐานนี้ในตอนเริ่มต้นการพัฒนา
 - (3) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาวิธีการอนุรักษ์พลังงาน
- 3.2.2 ศึกษาการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling; BIM) โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้
- (1) ศึกษากระบวนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารจากโปรแกรมการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารเชิงพาณิชย์ที่มีอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน โดยในงานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกโปรแกรม Graphisoft ArchiCAD 12 มาใช้เพื่อทราบแนวคิด ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารและประเภทของสารสนเทศที่ถูกจัดเก็บอยู่ภายในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณต่อ
 - (2) ศึกษางานวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เพื่อทราบศักยภาพและผลการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารไปใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมอาคาร และการก่อสร้าง

3.3 พัฒนาศักยภาพการประเมินความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอาคารตาม

พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

หลังจากที่ดำเนินการศึกษาเชิงกรณี และทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแนวทางการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยมุ่งเน้นเฉพาะความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอาคาร สิ่งที่ต้องการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ ได้แก่ ข้อมูลใดคือข้อมูลที่จำเป็นในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ข้อมูลเหล่านั้นหามาได้อย่างไรและควรที่จะจัดเก็บในลักษณะใด นอกจากนี้แบบจำลองสารสนเทศอาคารควรมีโครงสร้างแบบใดที่จะเหมาะสม ผลการศึกษาที่ได้จะนำไปใช้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบ (Prototypical Software System) และนำไปใช้กับโครงการก่อสร้างจริงเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของวิธีการต่อไป

3.4 ตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผล (Verification and Validation) ของงานวิจัย

กระบวนการตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) และสมเหตุสมผล (Validation) ของผลงานวิจัยเริ่มจากพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อใช้วิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานของอาคาร ระบบสารสนเทศต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ต้องทำงานร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเขียนแบบออกแบบด้วยเทคโนโลยี BIM โดยผู้วิจัยได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้นแบบนี้ไปทดลองใช้เพื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยจริง 2 โครงการ ได้แก่ โครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้น (ซึ่งเป็นโครงการเดียวกับการศึกษาเชิงกรณีในหัวข้อ 3.1) และโครงการก่อสร้างอาคารที่ใช้ประโยชน์พื้นที่เป็นทั้งห้างสรรพสินค้า (Shopping Mall) และสำนักงาน (Office) โครงการก่อสร้างที่ 2 นี้เป็นกรณีศึกษาตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม Building Energy Code (BEC) ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

การตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของผลการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการด้านความถูกต้องและความรวดเร็วในการคำนวณ และ (2) การนำไปใช้วิเคราะห์สถานการณ์เพื่อประกอบการตัดสินใจด้านการออกแบบ

3.4.1 การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการด้านความถูกต้องและความรวดเร็วในการคำนวณ

การตรวจสอบความถูกต้องของระบบจะพิจารณาจากความสอดคล้องของผลการคำนวณกับหลักเกณฑ์ มาตรการ และวิธีการคำนวณตามที่ระบุในกฎหมาย ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบโปรแกรมในลักษณะ Unit Testing เพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมสามารถคำนวณค่าต่างๆได้

ถูกต้องตามที่ผู้วิจัยคาดหวังในแต่ละส่วนของโปรแกรม และโปรแกรมจะต้องไม่มีข้อผิดพลาด (Error) อื่นๆ ในระหว่างคำนวณ ตลอดจนผลการคำนวณสุดท้ายของระบบจะต้องมีความถูกต้อง ในขณะที่การประเมินความเร็วของระบบ ผู้วิจัยได้บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการป้อนค่า ในการคำนวณ และในการแสดงผลการคำนวณ พร้อมกับเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของโปรแกรมอื่นที่ได้รับการยอมรับ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งหมดนี้จะทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกัน คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook Intel Core 2 Duo P9600 2.66GHz หน่วยความจำ 8 GB DDR3 SDRam เพื่อไม่ให้เกิดข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบ

3.4.2 การนำไปใช้วิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario Analysis) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการออกแบบ

หลังจากตรวจสอบความสมเหตุสมผลของโปรแกรมต้นแบบแล้ว ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมมาใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์ โดยปรับเปลี่ยนทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร และคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการสร้างเปลือกอาคาร เพื่อศึกษาผลกระทบของเปลี่ยนแปลงวัสดุและทิศทางการวางตำแหน่งอาคาร (Orientation) ที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของเปลือกอาคารที่คำนวณได้ การวิเคราะห์สถานการณ์โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นี้ ถือว่ามีประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

3.5 สรุปผล และจัดทำรายงานพร้อมทั้งเอกสารประกอบ

หลังจากทำการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผล (Verification and Validation) ของงานวิจัยแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ การจัดทำรายงานสรุปผลของโครงการวิจัย และจัดทำบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (International Journal) นอกจากนี้ จะต้องจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินการใช้พลังงานใน อาคารซึ่งเป็นผลผลิตหนึ่งของงานวิจัย คู่มือการใช้โปรแกรมฯจะมีลักษณะเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอยู่ในรูปของ PDF (Portable Document File) เพื่อที่จะใช้งานได้ง่าย

บทที่ 4 ผลการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงผลของการวิจัยเรื่องแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคาร ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์หนึ่งในการพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 เนื้อหาของบทนี้ประกอบด้วย ผลการศึกษาเชิงกรณีซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมข้อดี ข้อเสีย และปัญหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยวิธีที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากนั้นจึงอธิบายวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารที่พัฒนาขึ้นใหม่โดยการนำเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) มาประยุกต์ใช้ และการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของวิธีการที่พัฒนาขึ้น ตามลำดับ สุดท้ายของบทนี้จะกล่าวถึง การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่พัฒนาขึ้นไปใช้เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์สำหรับช่วยในการตัดสินใจด้านการออกแบบ

4.1 กรณีศึกษาวิธีการประเมินความสามารถการถ่ายเทความร้อนของอาคาร

กรณีศึกษาที่จัดทำขึ้นนี้เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ในมิติทางด้านความรวดเร็ว และด้านความถูกต้องของผลการคำนวณ ผู้วิจัยได้เลือกโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย 1 แห่ง ซึ่งตามกฎหมายแล้ว ผู้ประกอบการอาคารจะต้องนำส่งรายการคำนวณทางด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารต่อหน่วยงานที่รับผิดชอบให้ใบอนุญาตปลูกสร้าง/ดัดแปลง ซึ่งหนึ่งในมิติด้านประสิทธิภาพที่ต้องพิจารณาคือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร

4.1.1 ลักษณะของโครงการก่อสร้างที่ใช้ในกรณีศึกษา

โครงการก่อสร้างที่ใช้เป็นกรณีศึกษา มีลักษณะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอย 6,000 ตารางเมตร ผนังภายนอกของอาคารเป็นแบบผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 เซนติเมตร ทาสีผิวผนังภายนอกด้วยสีขาว กระจกหน้าต่างและประตูภายนอกทั้งหมดใช้กระจกสีฟ้าอ่อนชั้นเดียว รูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2 แสดงรูปด้าน และมุมมอง 3 มิติของแบบจำลองอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ตามลำดับ

4.1.2 วิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อน

ในการศึกษาเชิงกรณีนี้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร 3 วิธี ได้แก่ (1) การคำนวณด้วยมือ (2) การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งสนับสนุนโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ

อนุรักษ์พลังงาน และ (3) การคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเขียนแบบและออกแบบ โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอาคาร (BIM) ดังนี้

4.1.2.1 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนด้วยมือ

วิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารด้วยมือ เป็นการนำแบบก่อสร้างของโครงการอาคารชุดพักอาศัยที่ได้จัดทำเสร็จแล้ว มาถอดปริมาณวัสดุและคำนวณขนาดพื้นที่ผิวของผนังภายนอกอาคาร หลังคา ช่องเปิด และส่วนโปร่งแสงแต่ละด้านจากแบบอาคาร เฉพาะในส่วนที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ หลังจากนั้น นำมาหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักต่อพื้นที่ และหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV) ตามสมการ (2-1) ถึง (2-4)



รูปที่ 4-1 ภาพแสดงโครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นซึ่งนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา



รูปที่ 4-2 ภาพแสดงแบบจำลอง 3 มิติของโครงการอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นซึ่งนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา

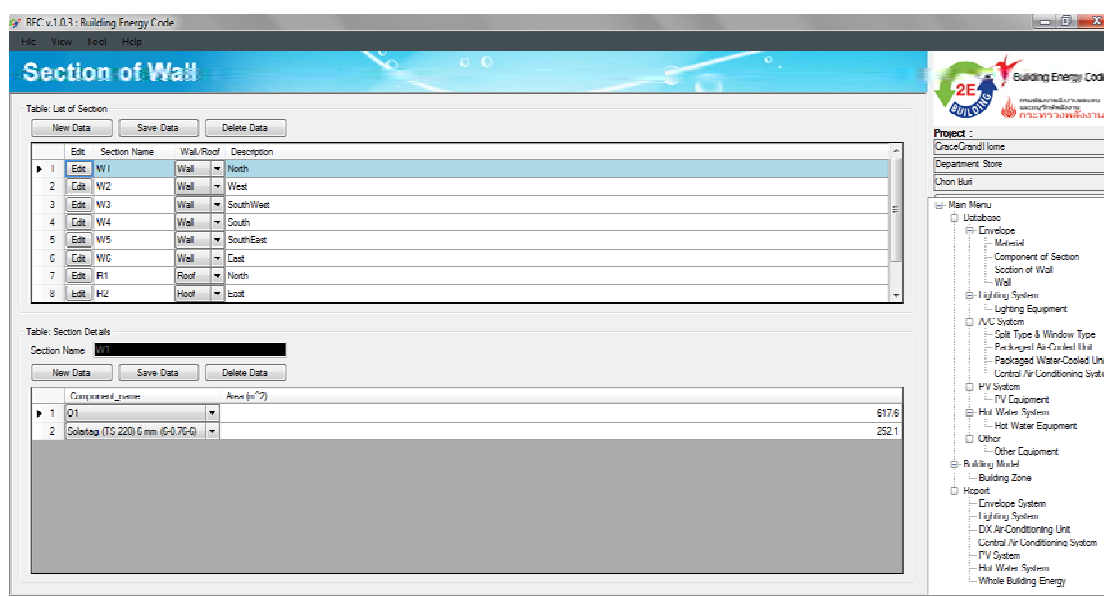
หลังจากที่คำนวณแล้วเสร็จ จึงนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมให้ตามประกาศกระทรวงพลังงาน แยกตามประเภทของอาคาร ตัวอย่างเช่น ในกรณีของอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นหลังนี้ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังอาคารจะต้องมีค่าไม่เกิน 30 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 10 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ตามตารางที่ 2-1 และตารางที่ 2-2)

4.1.2.2 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร

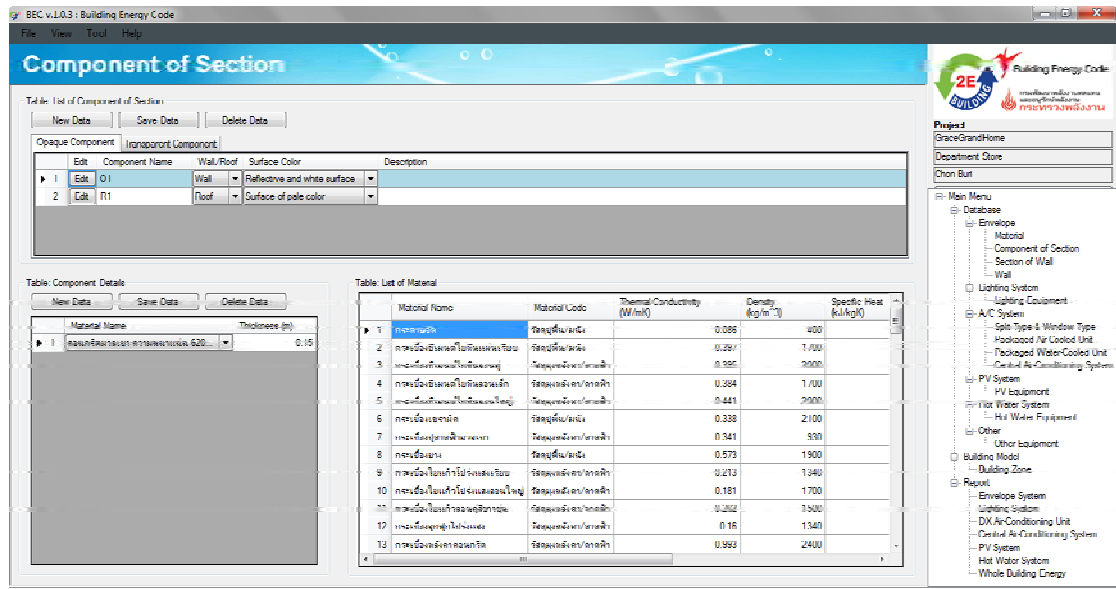
เนื่องจากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารตามประกาศกระทรวงพลังงานฯ โดยใช้สูตร (2-1) และ (2-2) มีเงื่อนไขในการตรวจสอบและคำนวณค่อนข้างมาก การคำนวณด้วยมือสำหรับโครงการขนาดใหญ่จึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดข้อผิดพลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-Value) สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด เป็นต้น ดังนั้นจึงมีผู้วิจัยหลายท่านได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับช่วยคำนวณ โดยผู้ใช้งานจะต้องคำนวณขนาดพื้นที่ของช่องเปิด ส่วนผนังทึบ ส่วนหลังคาแต่ละด้านของอาคารจากแบบก่อสร้าง เช่นเดียวกับวิธีการคำนวณด้วยมือ แล้วจึงนำค่าต่างๆ มาป้อนใส่โปรแกรมฯ เพื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนอีกครั้ง

ตัวอย่างของโปรแกรมจำพวกนี้ เช่น โปรแกรม Building Energy Code (BEC) ซึ่งพัฒนาโดยได้รับการสนับสนุนจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.] (2553) และโปรแกรม OTTVEE ซึ่งพัฒนาโดยสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม BEC เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เผยแพร่และได้รับการสนับสนุนโดยตรงจากส่วนราชการที่รับผิดชอบในการออกหลักเกณฑ์ มาตรการ และวิธีการคำนวณ

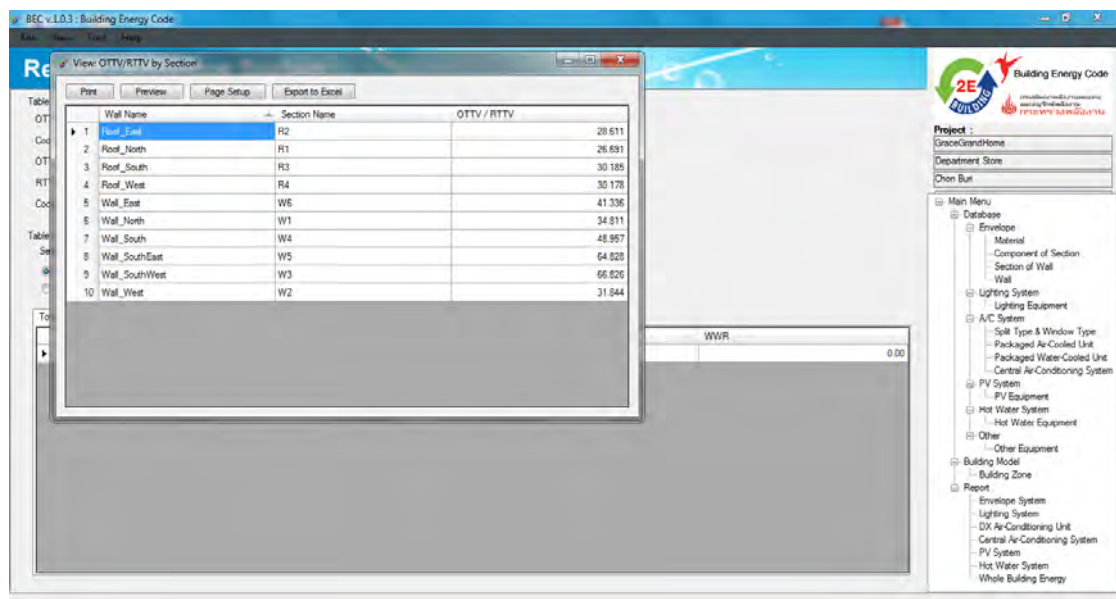
รูปที่ 4-3 ถึงรูปที่ 4-5 แสดงภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC ในการกำหนดคุณสมบัติของผนังภายนอกของอาคารแต่ละส่วน และการแสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร (ทั้งค่า OTTV และ RTTV)



รูปที่ 4-3 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC แสดงการกำหนดทิศและขนาดของผนังภายนอกของอาคารแต่ละส่วน



รูปที่ 4-4 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC แสดงการเลือกประเภทวัสดุที่ใช้เป็นผนังภายนอก



รูปที่ 4-5 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม BEC แสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

4.1.2.3 การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เขียนแบบและออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM)

การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารนั้น (Building Information Modeling) เป็นการสร้างแบบจำลองข้อมูลขององค์ประกอบอาคารแต่ละส่วนขึ้นมาและนำมาประกอบกันเพื่อให้เป็นลักษณะอาคารที่ต้องการออกแบบ โดยแบบจำลอง

นี้จะประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เช่น มิติ ขนาด รูปทรง คุณสมบัติของวัสดุ ตลอดจนความสัมพันธ์ขององค์ประกอบอาคารแต่ละส่วน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารจึงมีลักษณะที่แตกต่างจากการเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเดิม ที่จะเป็นลักษณะการวาดเส้นเพื่อบอกรูปร่างขององค์ประกอบอาคารเท่านั้น

รูปที่ 4-6 แสดงตัวอย่างข้อมูลองค์ประกอบอาคารที่อยู่ในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร จะเห็นได้ว่า แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ประกอบด้วยสารสนเทศที่มากกว่ารูปทรงเรขาคณิตที่แสดงในแบบจำลอง 3 มิติของอาคาร โดยยังมีข้อมูลอื่นๆ ที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณและใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยไม่จำเป็นต้องวัดค่าจากแบบด้วยมือ เช่น สามารถนำไปถอดปริมาณวัสดุประมาณราคา หรือวิเคราะห์โครงสร้าง ข้อมูลอื่นๆ เหล่านี้จะถูกจัดเก็บโดยแยกตามประเภทขององค์ประกอบอาคาร เช่น ผนัง หลังคา พื้น คาน เป็นต้น ตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2 แสดงตัวอย่างรายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลที่จำเป็นสำหรับองค์ประกอบอาคารประเภทผนัง และหลังคา

สำหรับกรณีศึกษาที่จัดทำขึ้นนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Graphisoft ArchiCAD สำหรับสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้เทคโนโลยี BIM ที่ได้รับความนิยมสำหรับการออกแบบ กอปรกับมีโปรแกรมเสริม (Add-on) ที่ช่วยในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งได้แก่โปรแกรม EcoDesigner และในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมดังกล่าวนี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของ API_WallType

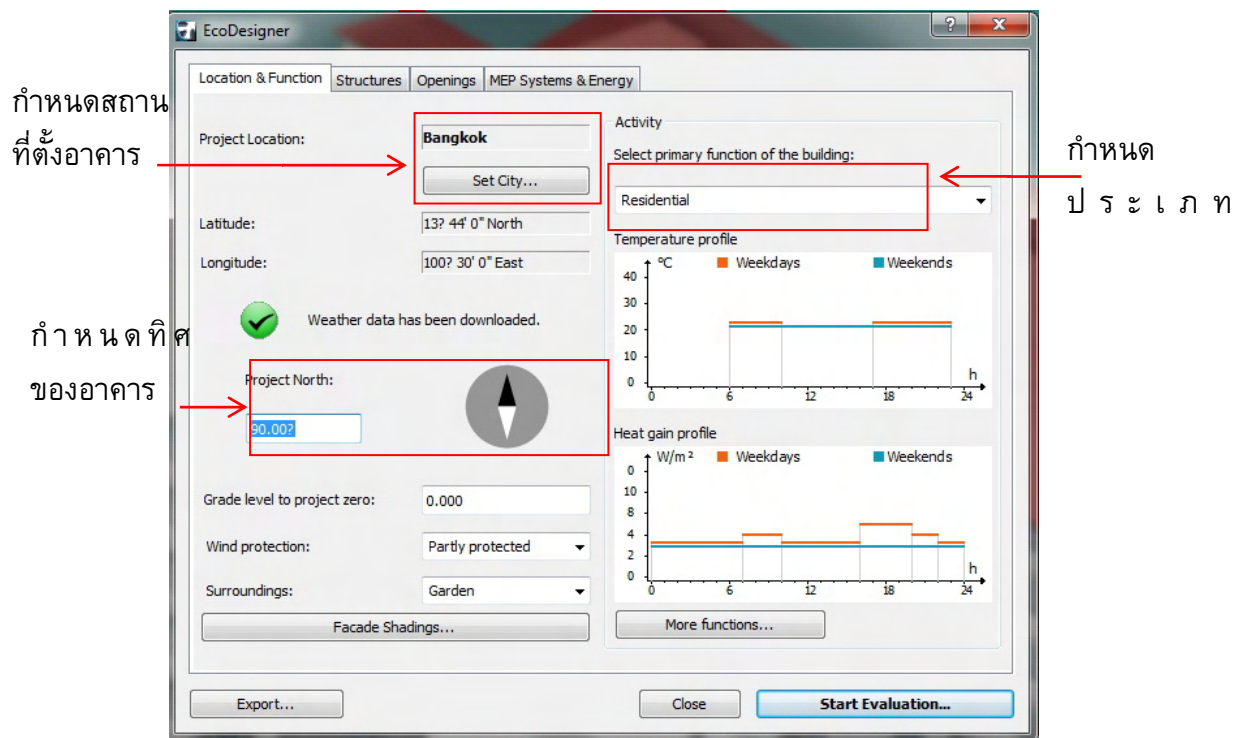
ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
Head	UInt32	ดัชนีองค์ประกอบอาคารชนิดผนัง
fillInd	short	ดัชนีวัสดุของผนังที่พิจารณา
refMat	short	ดัชนีสีของผนังด้านเดียวกับเส้นอ้างอิงของผนังที่พิจารณา
oppMat	short	ดัชนีสีของผนังด้านตรงข้ามเส้นอ้างอิงของผนังที่พิจารณา
sidMat	short	ดัชนีสีของผนังด้านข้างเส้นอ้างอิงของผนังที่พิจารณา
thickness	double	ความหนาของผนังที่จุดเริ่มต้นของผนังที่พิจารณา
thickness1	double	ความหนาของผนังที่จุดสุดท้ายของผนังที่พิจารณา
begC	double	พิกัดจุดเริ่มต้นของผนังที่พิจารณา
endC	double	พิกัดจุดสุดท้ายของผนังที่พิจารณา
angle	double	มุมของผนังกับแนวระนาบ
surface1	double	พื้นที่ของผนังด้านเดียวกับเส้นอ้างอิงของผนังที่พิจารณา
windowsSurf	double	พื้นที่ของกระจกในผนังที่พิจารณา
doorsSurf	double	พื้นที่ของประตูในผนังที่พิจารณา

ตารางที่ 4-2 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของ API_RoofType

ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
head	UInt32	ดัชนีองค์ประกอบอาคารชนิดหลังคา
sectFill	short	ดัชนีวัสดุของหลังคาที่พิจารณา
topMat	short	ดัชนีสีของหลังคาด้านบนของหลังคาที่พิจารณา
sideMat	short	ดัชนีสีของหลังคาด้านข้างของหลังคาที่พิจารณา
botMat	short	ดัชนีสีของหลังคาด้านล่างของหลังคาที่พิจารณา
thickness	double	ความหนาของหลังคาที่พิจารณา
angle	double	มุมระหว่างหลังคา กับแนวระนาบ
topSurface	double	พื้นที่ของหลังคา

โปรแกรม EcoDesigner เป็นโปรแกรมเสริม (Add-on) ของโปรแกรมเขียนแบบด้วยเทคโนโลยี BIM ที่ชื่อ Graphisoft ArchiCAD ซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient หรือ U-Value) ของเปลือกอาคารของแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยี BIM ได้ วิธีการใช้งานโปรแกรม EcoDesigner ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- (1) กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมและโครงการอาคารที่จะคำนวณ เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง ทิศทางของอาคาร ประเภทของอาคาร ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-7
- (2) ตรวจสอบแบบจำลองและเลือกชิ้นส่วนผนังของแบบจำลองที่เป็นเปลือกอาคาร (ผนังภายนอก หรือหลังคา) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-8

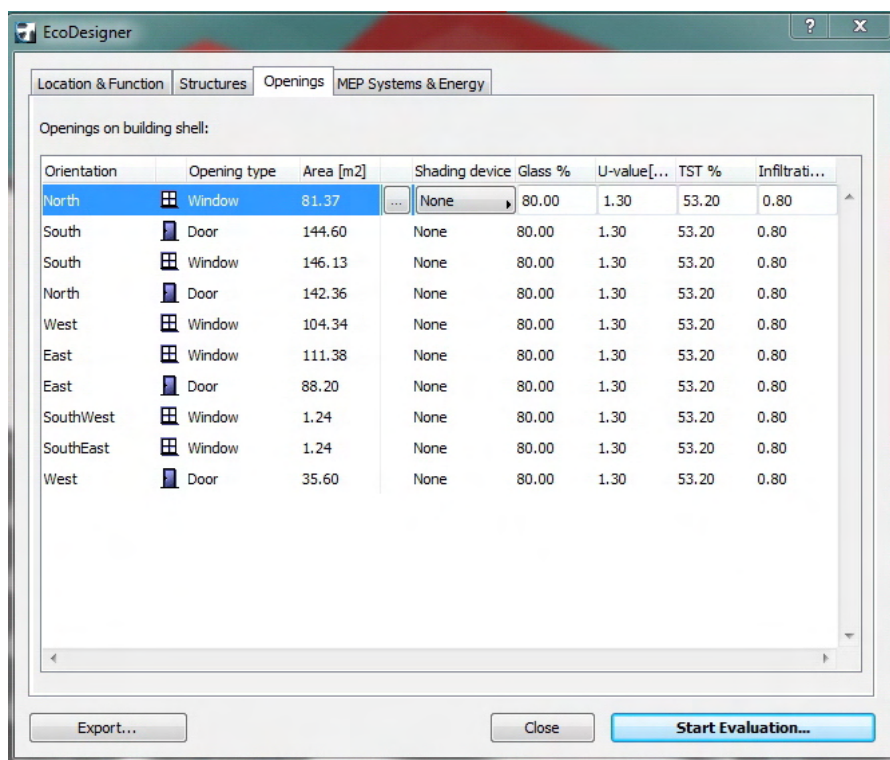


รูปที่ 4-7 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนการคำนวณ



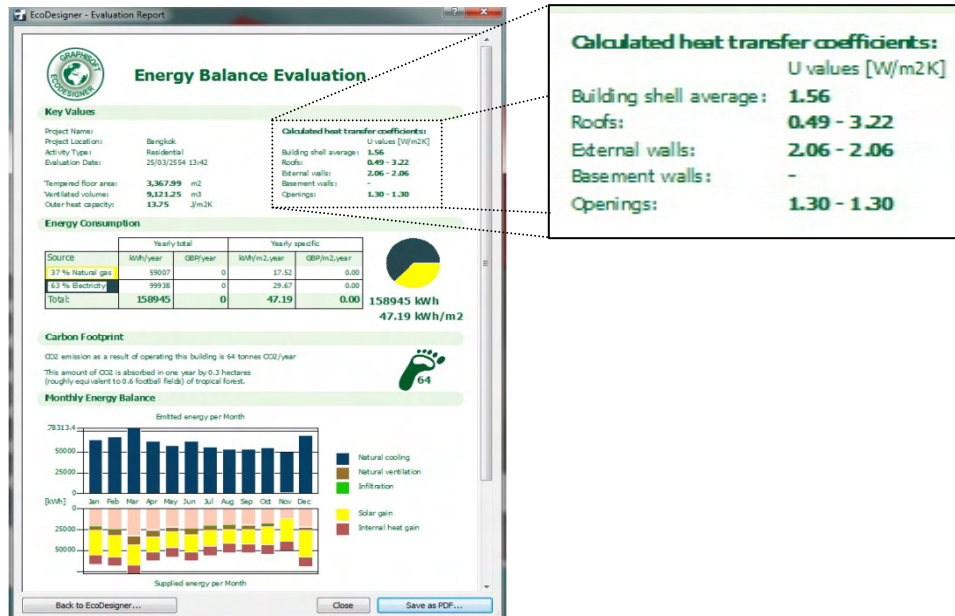
รูปที่ 4-8 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงการเลือกชั้นส่วนเปลือกอาคารที่จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของเปลือกอาคาร

- (3) ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุของชั้นส่วนเปลือกอาคารว่ามีความถูกต้องหรือไม่ เช่น ผนังอาคารเป็นผนังก่ออิฐ ฉาบปูน 2 ด้าน หรือผนังม่านกระจก (Curtain Wall) ซึ่งโปรแกรมดึงข้อมูลเหล่านี้ออกมาจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงผลการดึงข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของเปลือกอาคาร

(4) โปรแกรมคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารให้
 ดังแสดงในรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 ภาพหน้าจอของโปรแกรม EcoDesigner แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การ
 ถ่ายเทความร้อน (U-Value)

จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร
 โดยใช้โปรแกรม ArchiCAD และ EcoDesigner พบว่า มีความสะดวกรวดเร็ว
 ช่วยให้ผู้ออกแบบทราบมิติของอาคาร ขนาดพื้นที่ต่างๆ และสามารถตัดสินใจ
 ด้านการวางแผนแปลนและการเลือกใช้วัสดุได้ อย่างไรก็ตามโปรแกรม
 EcoDesigner ยังไม่สามารถใช้คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง
 อาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV) ตาม
 ประกาศกระทรวงพลังงานได้ เนื่องจากผลการคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์การ
 ถ่ายเทความร้อน (U-Value) ซึ่งไม่ใช่ค่า OTTV และ RTTV ดังนั้นถ้าหากต้องการ
 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ผู้ออกแบบจะต้องขนาดพื้นที่ของผนัง
 ภายนอก ช่องเปิด และหลังคามาคำนวณต่อด้วยมือเอง

4.1.3 ผลการเปรียบเทียบด้านระยะเวลาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารด้วย
 การคำนวณด้วยมือ โปรแกรม BEC และ โปรแกรม EcoDesigner

ในการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 วิธี ผู้วิจัยได้
 ทดลองจับเวลาที่ใช้ในการคำนวณ โดยแบ่งการจับเวลาออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ (1)
 ขั้นตอนการเขียนแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (2) การคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกอาคาร (3)

การคำนวณพื้นที่หลังคาอาคาร (4) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) และ (5) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV) ผลการจับเวลาที่ได้ในการคำนวณแต่ละวิธีแสดงดังในตารางที่ 4-3

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ในการคำนวณด้วยมือ และการใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารก่อน ผู้ออกแบบสามารถถอดขนาดพื้นที่ผนังภายนอก ช่องเปิด และหลังคาของอาคารได้จากแบบก่อสร้างปกติที่ได้จัดทำไว้แล้ว เนื่องจากกรณีศึกษาที่จัดทำขึ้นนี้เป็นการนำเอาแบบก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นที่ได้จัดทำขึ้นแล้วมาใช้ จึงไม่มีข้อมูลว่าแบบก่อสร้างดังกล่าวใช้เวลาเขียนแบบนานเท่าใด ในทางตรงกันข้าม ผู้ออกแบบอาคารโดยการใช้โปรแกรม EcoDesigner จะต้องสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารขึ้นมาก่อน แล้วจึงนำแบบจำลองดังกล่าวมาคำนวณ ผู้วิจัยได้บันทึกเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารของอาคารชุดพักอาศัยที่มีรายละเอียดเพียงพอต่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร ไว้ว่าใช้เวลา 240 นาที (4 ชั่วโมง)

ในส่วนของการคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกและหลังคาอาคาร (ขั้นตอนที่ 2 และ 3 ในตารางที่ 4-3) จะเห็นว่า การคำนวณด้วยมือ และการใช้โปรแกรม BEC ใช้เวลาเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าทั้ง 2 วิธี ต้องคำนวณขนาดพื้นที่ต่างๆ ด้วยมือเหมือนกัน ในขณะที่การใช้โปรแกรม EcoDesigner ใช้เวลาคำนวณพื้นที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ออกมาจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้เลย โดยอาจใช้เวลาบางส่วนในการตรวจสอบและเลือกองค์ประกอบอาคารที่ต้องการนำข้อมูลออกมา

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่าง ๆ

ขั้นตอน	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)*		
	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรม BEC	คำนวณด้วยโปรแกรม EcoDesigner
1. การออกแบบโมเดลเปลือกอาคาร**			240
2. การคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกอาคาร	49	49	26
3. การคำนวณพื้นที่หลังคาอาคาร	15	15	
4. การคำนวณค่า OTTV**	10	30 - 45	
5. การคำนวณค่า RTTV**	5		

หมายเหตุ * วัดระยะเวลาที่ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook Intel Core 2 Duo P9600 2.66GHz

หน่วยความจำ 8GB DDR3 SDRam

**ช่องที่แรเงาสีดำ หมายถึง ไม่ต้องทำขั้นตอนนี้ หรือไม่สมารถทำได้

เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการคำนวณค่า OTTV และ RTTV พบว่า การคำนวณด้วยมือใช้เวลารวมทั้งสิ้นประมาณ 15 นาที ในขณะที่การคำนวณด้วยโปรแกรม BEC ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับคำนวณค่า OTTV และ RTTV โดยเฉพาะ ใช้เวลารวมอยู่ในช่วงประมาณ 30 – 45 นาที เนื่องจากในตอนแรกผู้ทดสอบยังไม่มีประสบการณ์คำนวณ OTTV และ RTTV ด้วยโปรแกรม BEC เท่าใด จึงเสียเวลาค่อนข้างมากในการทำความเข้าใจวิธีการป้อนข้อมูล อย่างไรก็ตามจากการใช้โปรแกรม BEC หลายครั้งจนเกิดความชำนาญ จะช่วยให้เวลาในการป้อนข้อมูลสั้นลง ในขณะที่โปรแกรม EcoDesigner ในปัจจุบันยังไม่สามารถคำนวณค่า OTTV และ RTTV ได้ (ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะเป็นค่า U-Values ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อย่อยที่ 4.1.4 ซึ่งไม่ใช่ค่าที่ต้องการคำนวณ) ดังนั้นหากต้องการคำนวณค่า OTTV และ RTTV จะต้องนำข้อมูลขนาดพื้นที่ต่างๆ ที่คำนวณได้มาคำนวณต่อด้วยมือหรือใช้โปรแกรม BEC

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบด้านความถูกต้องของผลคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารด้วยการคำนวณด้วยมือ โปรแกรม BEC และ โปรแกรม EcoDesigner

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารโดยวิธีการคำนวณด้วยมือ และการใช้โปรแกรม BEC ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีค่าเท่ากัน โดยได้ค่า OTTV และค่า RTTV เท่ากับ 38.8 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 27.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณทั้ง 2 วิธี ผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าขนาดพื้นที่ช่องเปิด ผนังภายนอกอาคาร และหลังคาอาคาร พร้อมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการคำนวณที่เหมือนกัน

จากผลการคำนวณที่ได้ในตารางที่ 4-4 พบว่า ค่า OTTV และ RTTV ของเปลือกอาคารมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดของกฎกระทรวง คือ 30 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 10 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะต้องปรับแก้แบบก่อสร้างอาคาร โดยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนขนาดของช่องเปิดและประเภทกระจก หรืออาจติดตั้งอุปกรณ์บังแดด เพื่อให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด หากผู้ออกแบบยืนยันที่จะใช้แบบก่อสร้างอาคารนี้ต่อ จำเป็นจะต้องเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งอาจส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามมา

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการคำนวณด้วยมือ และใช้โปรแกรม BEC

ค่าการถ่ายเทความร้อน	ค่าที่คำนวณได้ (วัตต์ต่อตารางเมตร)		เกณฑ์ที่ยอมให้ตามกฎหมาย
	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรม BEC	
ค่า OTTV	38.8	38.8	30
ค่า RTTV	27.6	27.6	10

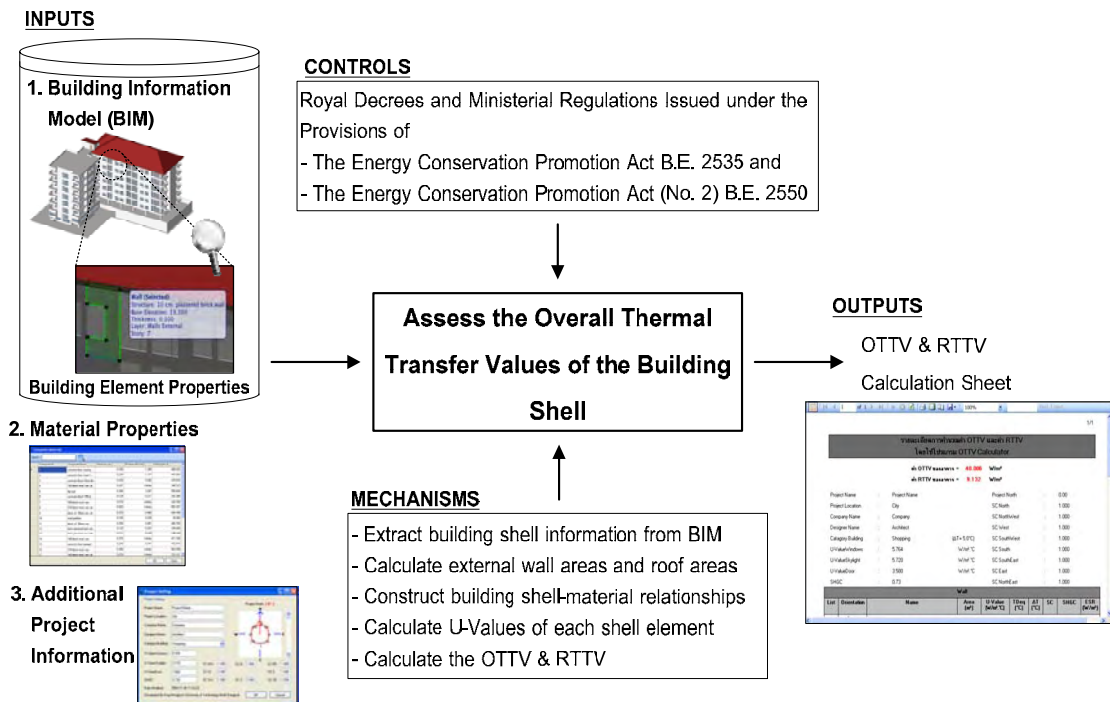
4.1.5 บทสรุปของกรณีศึกษา

จากการศึกษากระบวนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร พบว่า กระบวนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารมีความสะดวกในการคำนวณพื้นที่เปลือกอาคารและแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ทำให้สามารถออกแบบการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากสามารถสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารให้สามารถประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคารและแสดงผลรายงานการถ่ายเทความร้อนของอาคารจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ก็จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบก็สามารถทำการคำนวณได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานในอาคาร อีกทั้งยังสามารถควบคุมให้การใช้พลังงานอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของกฎกระทรวงและสามารถประเมินติดตามการใช้พลังงานโดยการจัดทำการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการอนุรักษ์พลังงานซึ่งเจ้าของอาคารต้องดำเนินการให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยประกาศใช้กฎกระทรวงว่าด้วยกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงาน ในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552

4.2 ผลการพัฒนาแนวทางการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

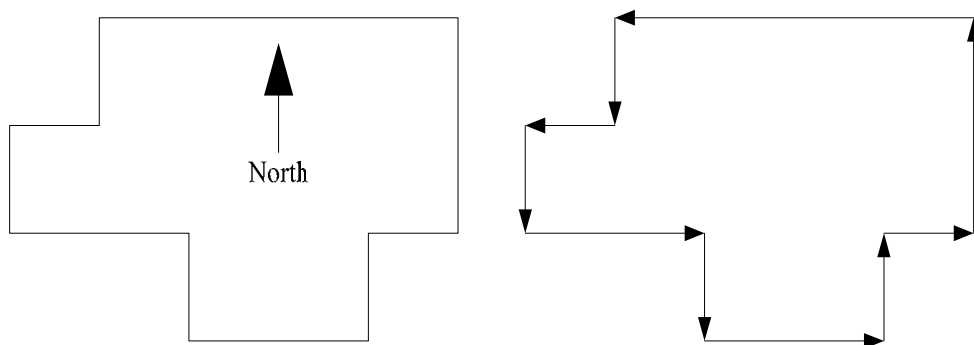
จากผลการศึกษาเชิงกรณีในหัวข้อ 4.1 ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคาร และนำไปสู่แนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศซึ่งสามารถอธิบายในรูปของแผนผัง IDEF0 (IEEE Std 1320.1-1998, 1998) ดังในรูปที่ 4-11

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีเป้าหมายเพื่อหาค่า OTTV และ RTTV และสามารถจัดพิมพ์รายการคำนวณสำหรับใช้ประกอบการขออนุญาตก่อสร้าง/ดัดแปลงอาคาร เพื่อให้สามารถประมวลผลได้ตามเป้าหมายดังกล่าว ระบบได้นำเข้าข้อมูล 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ (1) แบบจำลองสารสนเทศอาคารที่สร้างจากโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ (2) คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในส่วนเปลือกอาคารทั้งวัสดุพื้นฐาน (Basic Materials) และวัสดุประกอบ (Composite Materials) และ (3) ข้อมูลอื่นๆ ของโครงการที่ไม่ได้จัดเก็บในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร แต่ต้องใช้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน เช่น ทิศเหนือของโครงการ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของประตูหน้าต่าง ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด เป็นต้น



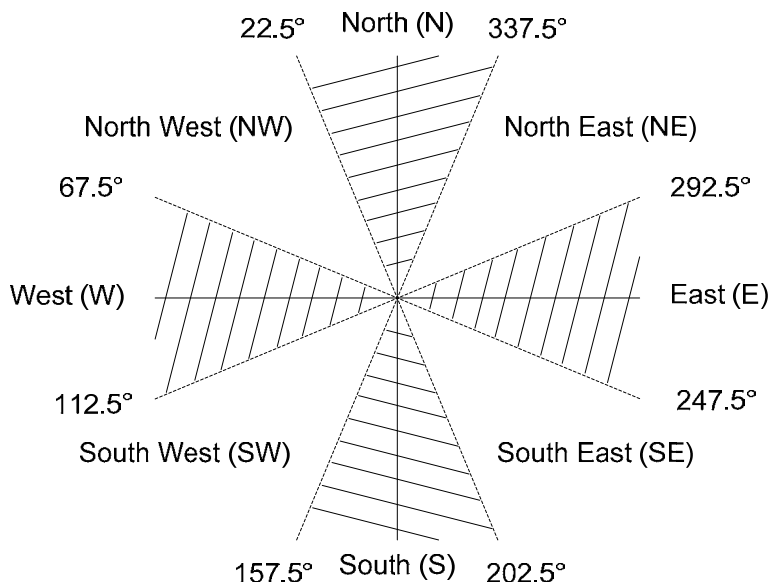
รูปที่ 4-11 แผนผัง IDEF0 (IEEE Std 1320.1-1998, 1998) แสดงการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

- 4.2.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการพัฒนาแนวทางการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร มีดังนี้
- (1) การวาดแบบผนังและหลังคาของอาคารในแบบจำลองสารสนเทศอาคารในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาแสดงดังรูปที่ 4-12



รูปที่ 4-12 ทิศทางการวาดผนังและหลังคาอาคาร

- (2) ทิศทางของผนังด้านนอกอาคารแบ่งออกเป็น 8 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ (N) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ทิศตะวันตก (W) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศใต้ (S) ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ตามหลักเกณฑ์การกำหนดพารามิเตอร์ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารโดยประกาศกระทรวงพลังงาน ดังนั้นเพื่อเป็นการจำแนกว่าผนังภายนอกอาคารหันหน้าหาอยู่ที่ทิศใดในทิศทั้ง 8 ทิศ โปรแกรมจะพิจารณาจาก Normal Vector (เวกเตอร์ที่ตั้งฉากและมุ่งหน้าออกแนวมุม) ว่าทำมุมกับทิศเหนือเท่าไร ดังแสดงในรูปที่ 4-13
- (3) ประเภทของผนังโปร่งแสงหรือหน้าต่างภายนอกอาคารเป็นชนิดเดียวกันทั้งอาคาร ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของผนังโปร่งแสงหรือหน้าต่างทั้งอาคารมีค่าเท่ากัน
- (4) ประเภทของประตูภายนอกอาคารเป็นชนิดเดียวกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของประตูทั้งอาคารมีค่าเท่ากัน
- (5) ประเภทของหลังคาโปร่งแสงของอาคารเป็นชนิดเดียวกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของหลังคาทั้งอาคารมีค่าเท่ากัน
- (6) ประเภทของผนังโปร่งแสงหรือหน้าต่างภายนอกอาคารเป็นชนิดเดียวกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (SF หรือ SHGC) มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 4-13 ผังการกำหนดทิศขององค์ประกอบอาคารแต่ละส่วนโดยพิจารณาจากมุมระหว่าง Normal Vector ของผิวองค์ประกอบอาคารกับทิศเหนือ

- (7) ประเภทของอุปกรณ์บังแดดของอาคารในทิศทางเดียวกันมีขนาดเท่ากัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ในแต่ละทิศทางมีค่าเท่ากัน

4.2.2 กระบวนการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร (Mechanisms for Assessing the Overall Thermal Transfer Values of the Building Shell)

ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV นั้น ผู้วิจัยแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การนำข้อมูลเปลือกอาคารออกจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (2) การคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกและหลังคาอาคาร (3) การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนเปลือกอาคารและประเภทวัสดุที่ใช้ (4) การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นส่วนเปลือกอาคาร และ (5) การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณด้านการอนุรักษ์พลังงาน ตามกฎกระทรวงพลังงาน และพระราชกฤษฎีกาที่ออกโดยอาศัยความตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550

4.2.2.1 การนำข้อมูลเปลือกอาคารออกจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Extraction of Building Shell Information)

เนื่องจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ประกอบด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชั้นส่วนอาคารทั้งหมด แต่การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็นเปลือกอาคาร ดังนั้นขั้นตอนแรกของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นการเลือกองค์ประกอบอาคารเฉพาะส่วนเปลือกอาคาร ซึ่งได้แก่ ผนังภายนอก (External Walls) หลังคา (Roof) และช่องเปิด (หน้าต่างและประตู) เท่านั้น และนำข้อมูลคุณสมบัติขององค์ประกอบเหล่านี้มาใช้ในการคำนวณ ในการศึกษาองค์ประกอบอาคารที่เป็นส่วนเปลือกอาคาร จะเรียกว่า ชั้นส่วนเปลือกอาคาร (Shell Element)

4.2.2.2 การคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกและหลังคาอาคารโดยใช้ข้อมูลเปลือกอาคาร (Calculation of Exterior Wall Surface Areas and Roof Areas)

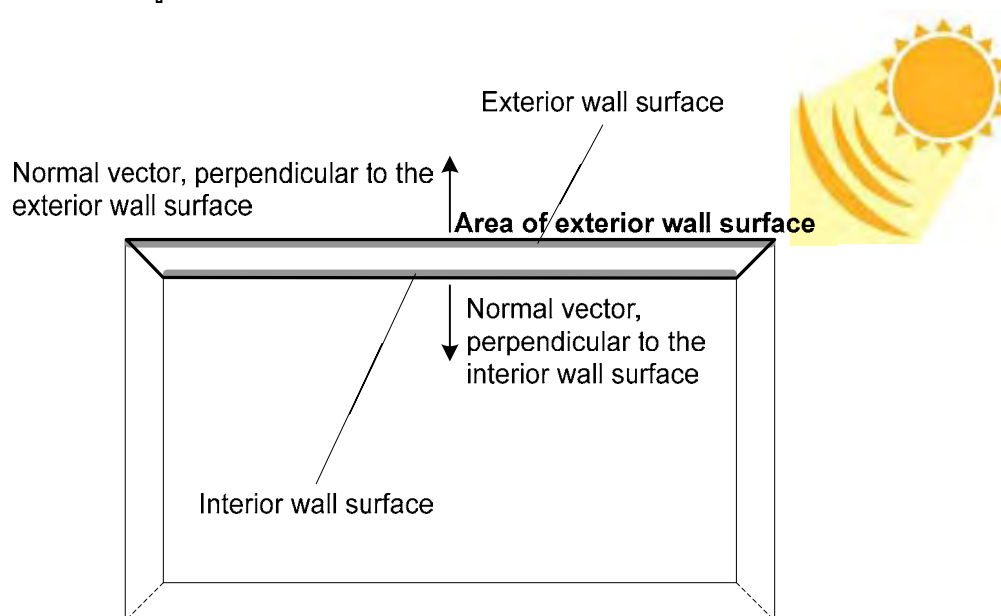
คุณสมบัติหนึ่งของชั้นส่วนเปลือกอาคารที่จัดเก็บในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร คือ พื้นที่ผิว (Surface Area) ของชั้นส่วนนั้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะมี 2 ด้าน คือ ผิวสัมผัสด้านนอกอาคาร (Exterior Surface Area) และผิวสัมผัสด้านในอาคาร (Interior Surface Area) ดังแสดงในรูปที่ 4-14 ข้อมูลที่ต้องการสำหรับคำนวณค่า OTTV และ RTTV ได้แก่ พื้นที่ผิวด้านนอก ซึ่งเป็นด้านที่รับ

แสงอาทิตย์ ดังนั้นในการคำนวณหาพื้นที่ผิวภายนอกของส่วนเปลือกอาคารได้ จะต้องพิจารณาก่อนว่า พื้นผิวด้านใดของชั้นส่วนคือผิวด้านนอก และด้านใดเป็นผิวด้านใน แนวทางหนึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ได้แก่ การพิจารณาจากทิศทางของเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวชั้นส่วน (Normal Vector) ที่มีทิศทางพุ่งออกภายนอกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4-14

4.2.2.3 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนเปลือกอาคารและประเภทวัสดุที่ใช้ (Construction of Building Shell-Material Relationships)

หลังจากที่ได้ข้อมูลชั้นส่วนเปลือกอาคาร พร้อมกับคำนวณพื้นที่ผิวภายนอกของชั้นส่วนเปลือกอาคารแล้ว ขั้นตอนต่อมาได้แก่ การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนเปลือกอาคาร ประเภทวัสดุที่ใช้ทำเปลือกอาคาร และคุณสมบัติของวัสดุนั้น เพื่อที่จะได้นำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นส่วนเปลือกอาคารในขั้นตอนต่อไป

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชั้นส่วนเปลือกอาคาร และประเภทวัสดุ สามารถทำได้โดยการนำข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ที่มีการระบุประเภทของวัสดุสำหรับใช้นำเสนอภาพของแบบจำลองในลักษณะเสมือนจริง 3 มิติ มาใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่มีอยู่ในแบบจำลองสารสนเทศอาคารยังไม่เพียงพอ จำเป็นต้องเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ทำเปลือกอาคารเข้าไปด้วย โครงสร้างข้อมูลที่เพิ่มเติมจากที่มีอยู่แล้วในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร จะอธิบายในหัวข้อที่ 4.2.3



รูปที่ 4-14 พื้นที่ผิวของผนังภายนอกอาคารและเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิว

4.2.2.4 การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (Calculation of U-Values of Each Shell Element)

ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (Building Shell Element) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของวัสดุ และความหนาของวัสดุ ผ่านทางความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนและวัสดุที่เชื่อมโยงกัน เนื่องจากชิ้นส่วนเปลือกอาคาร ที่ทำจากวัสดุและความหนาเดียวกัน จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเหมือนกัน จึงควรจัดทำกลุ่มของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (Building Shell Element Group) ที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

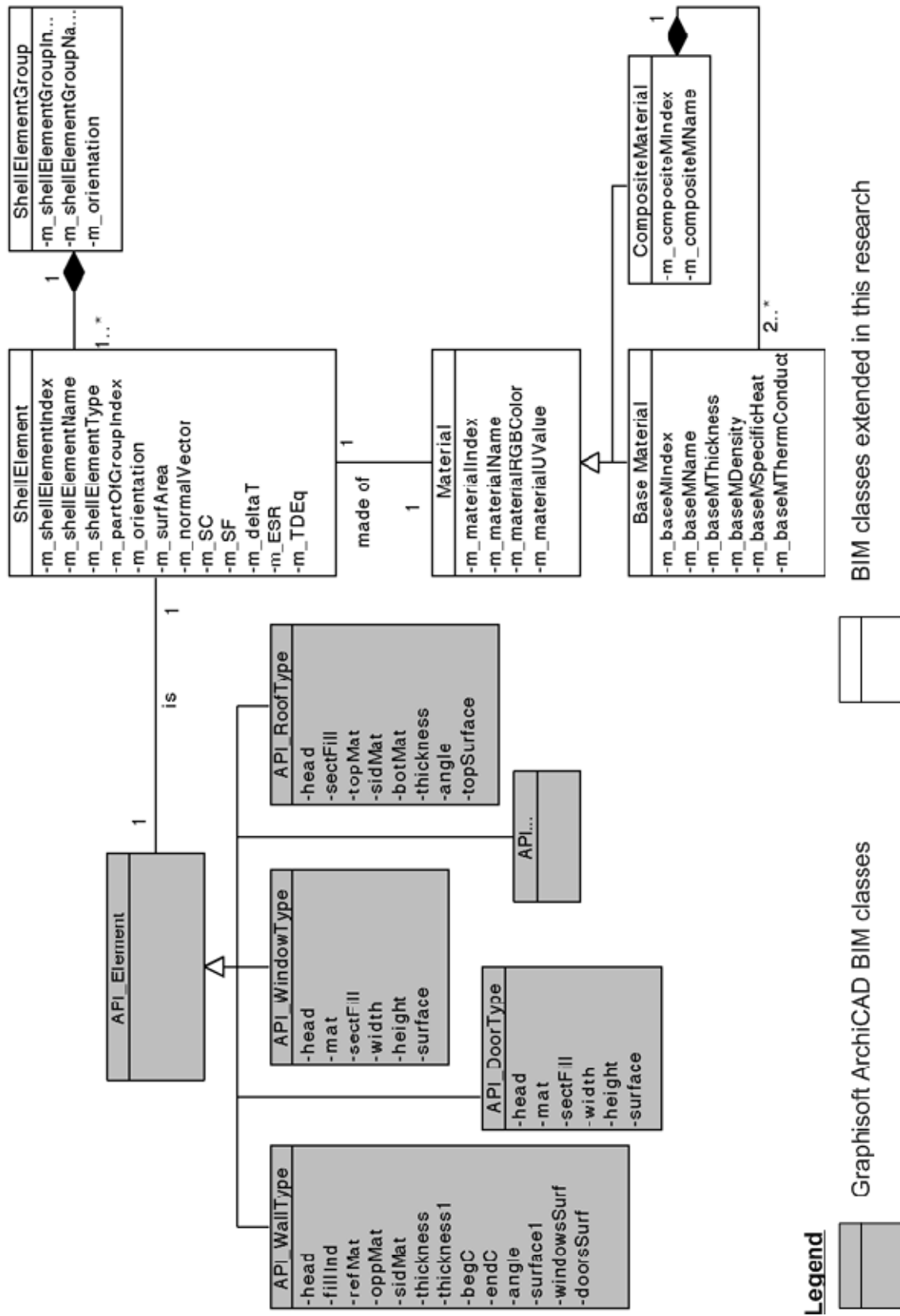
4.2.2.5 การคำนวณค่า OTTV และ RTTV

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พื้นที่ผิวเปลือกอาคาร พื้นที่ช่องเปิดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ซึ่งจำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ระบุไว้ในภาคผนวกแนบท้ายกฎกระทรวงมาประกอบการคำนวณด้วย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร เป็นต้น หลังจากหาค่าแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่า OTTV และ RTTV ที่ยอมรับได้ต่อไป

4.2.3 โครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารนอกจากจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เช่น ประเภทของชิ้นส่วนอาคาร พื้นที่ผิว แล้ว ยังต้องใช้ข้อมูลอื่นๆ เช่น คุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ลักษณะของโครงการ ดังนั้นในการคำนวณ จะต้องมีการออกแบบโครงสร้างของข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลที่อยู่ในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร กับข้อมูลอื่นๆ

รูปที่ 4-15 แสดงคลาสไดอะแกรม (Class Diagram) ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแต่ละประเภทที่จำเป็นในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร จากรูป จะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (แรเงาเป็นสีเข้ม) จะถูกนำออกมาและเชื่อมโยงกับข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ และมีการจัดกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคารตามประเภทและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเปลือกอาคาร รายละเอียดและคำอธิบายประเภทข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังในตารางที่ 4-5 ถึงตารางที่ 4-9



รูปที่ 4-15 คลาสไดอะแกรมแสดงข้อมูลพื้นฐานเพื่ออาคาร วัสดุก่อสร้าง และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

ตารางที่ 4-5 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (ShellElementGroup)

ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
m_shellElementGroupIndex	int	ดัชนีของกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคาร
m_shellElementGroupName	string	ชื่อของกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคาร
m_orientation	int	ทิศของกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคาร เช่น North, South เป็นต้น

ตารางที่ 4-6 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร (ShellElement)

ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
m_shellElementIndex	int	ดัชนีของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร
m_shellElementName	string	ชื่อของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร
m_shellElementType	Int	ประเภทของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร
m_partOfGroupIndex	int	ดัชนีของกลุ่มชิ้นส่วนเปลือกอาคารที่เป็นสมาชิก
m_orientation	int	ทิศของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร เช่น North, South เป็นต้น
m_surfArea	double	ขนาดพื้นที่ผิวภายนอกของชิ้นส่วนเปลือกอาคาร
m_normalVector	Vector3D	Normal Vector ที่ทำมุมตั้งฉากกับผิวสัมผัสด้านนอกอาคาร
m_SC	double	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด
m_SF	double	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก
m_deltaT	double	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร
m_ESR	double	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ
m_TDEq	double	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

ตารางที่ 4-7 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของวัสดุ (Material)

ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
m_materialIndex	int	ดัชนีของวัสดุ
m_materialName	String	ชื่อของวัสดุ
m_materialRGBColor	RGBColor	สีของพื้นผิววัสดุ
m_materialUValue	double	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ตารางที่ 4-8 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของวัสดุพื้นฐาน (BaseMaterial)

ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
m_baseMIndex	int	ดัชนีของวัสดุพื้นฐาน
m_baseMName	string	ชื่อของวัสดุพื้นฐาน
m_baseMThickness	double	ความหนาของวัสดุพื้นฐาน
m_baseMDensity	double	ความหนาแน่นของวัสดุของวัสดุพื้นฐาน
m_baseMSpecificHeat	double	ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุพื้นฐาน
m_baseMThermConduct	double	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุของวัสดุพื้นฐาน

ตารางที่ 4-9 รายละเอียดและคำอธิบายข้อมูลของวัสดุประกอบ (CompositeMaterial)

ชื่อ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
m_compositeMIndex	int	ดัชนีของวัสดุประกอบ
m_compositeMName	string	ชื่อของวัสดุประกอบ

งานวิจัยชุดนี้ ได้แบ่งวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเปลือกอาคารออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วัสดุพื้นฐาน (Base Materials) และวัสดุประกอบ (Composite Materials) โดยวัสดุประกอบเป็นการนำวัสดุพื้นฐานที่มีความหนามาเป็นชั้นๆ ดังตัวอย่างเช่น ผนังก่ออิฐมวลเบา ฉาบผนังปูน 2 ด้าน มีลักษณะเป็นวัสดุประกอบ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุ 3 ชั้น คือ ปูนฉาบผนัง อิฐมวลเบา และปูนฉาบผนังอีกด้าน ถึงแม้ว่าวัสดุประกอบทำจากวัสดุพื้นฐานประเภทเดียวกัน แต่ความหนาของชั้นวัสดุพื้นฐานแต่ละชั้นไม่เท่ากัน ก็ไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็นวัสดุประกอบชนิดเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการที่ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นไม่เท่ากัน จะส่งผลให้คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุประกอบไม่เท่ากันด้วย

4.3 ผลการออกแบบระบบสารสนเทศต้นแบบ

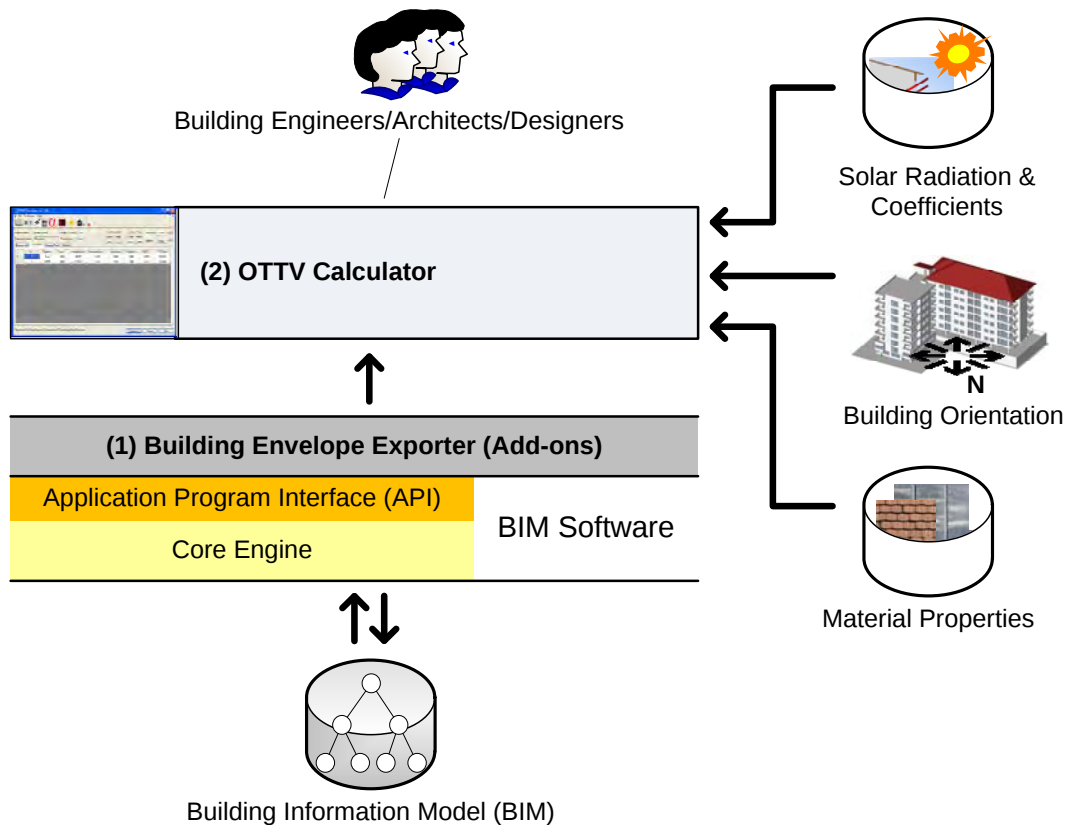
หลังจากที่ได้ออกแบบแนวทางการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร และโครงสร้างของข้อมูลที่เป็นแล้ว ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบสารสนเทศต้นแบบสำหรับใช้ประเมินความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของแนวทางที่ได้ออกแบบไว้ โดยรายละเอียดคุณสมบัติของระบบสารสนเทศต้นแบบอธิบายในหัวข้อย่อยถัดไป

4.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบสารสนเทศต้นแบบ

ระบบสารสนเทศต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ (1) Building Envelope Exporter และ (2) OTTV Calculator ดังแสดงในรูปที่ 4-16

4.3.1.1 โปรแกรม Building Envelope Exporter

เป็นโปรแกรมเสริม (Add-ons) ของโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับเขียนแบบและออกแบบด้วยเทคโนโลยี BIM ที่ทำหน้าที่อ่านและนำข้อมูลชิ้นส่วนเปลือกอาคารออกมาแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่ได้จัดทำไว้แล้วเพื่อมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน ในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Building Envelope Exporter สำหรับใช้งานบนโปรแกรม Graphisoft ArchiCAD เท่านั้น แต่ในอนาคต อาจจะพัฒนาโปรแกรมเสริมสำหรับใช้งานบนโปรแกรมเขียนแบบและออกแบบด้วยเทคโนโลยี BIM อื่นๆ



รูปที่ 4-16 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบสารสนเทศต้นแบบ

โปรแกรม Building Envelope Exporter นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ C++ ร่วมกับ Library ของ ArchiCAD 12 Development Kit เพื่อควบคุมและสั่งการการทำงานของโปรแกรม ArchiCAD ผ่านทาง Application Program Interface (API) ของโปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ให้ โดยทำหน้าที่เรียกชุดคำสั่งเพื่อดูข้อมูลเฉพาะของโครงการ เช่น ชื่อโครงการ (Project Name) สถานที่โครงการ (Project Location) ชื่อบริษัท (Company Name) ชื่อผู้ออกแบบ (Designer Name) และสืบค้นข้อมูลชิ้นส่วนอาคารที่ถูกระบุประเภทเป็นผนัง (API_WallType) หลังคา (API_RoofType) หน้าต่าง (API_WindowType) และ ประตู (API_DoorType) ในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ข้อมูลเฉพาะของโครงการ และข้อมูลชิ้นส่วนเปลือกอาคารที่อ่านได้ จะถูกนำมาเรียบเรียงใหม่ พร้อมกับคำนวณหา Normal Vector ซึ่งตั้งฉากกับส่วนผิวด้านนอกของเปลือกอาคาร ทิศทางการหันหน้าของเปลือกอาคาร และพื้นที่ผิวเปลือกอาคารจะคำนวณโดยพื้นที่ผิวของผนังภายนอก หลังจากนั้นจึงส่งออกไปยังโปรแกรม OTTV Calculator สำหรับคำนวณค่า OTTV และ RTTV ต่อไป รูปที่ 4-17 แสดงตัวอย่างภาพหน้าจอของโปรแกรม Building Envelope Exporter ในระหว่างนำส่งข้อมูลไปยังโปรแกรม OTTV Calculator



รูปที่ 4-17 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม Building Envelope Exporter แสดงหน้าต่างข้อมูลโครงการและส่งข้อมูล

4.3.1.2 โปรแกรม OTTV Calculator

เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ Stand Alone Application ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ส่งมาจากโปรแกรม Building Envelope Exporter มาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร (ทั้งค่า OTTV และ RTTV) และเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับเกณฑ์ที่กำหนดโดยกฎกระทรวงพลังงาน โปรแกรม OTTV Calculator ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Visual Basic ร่วมกับการใช้งานฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) SQLite เพื่อเก็บข้อมูลพื้นที่เปลือกอาคารแยกตามทิศทาง ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ และข้อมูลค่ารังสีแสงอาทิตย์ และค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ ที่จำเป็นในการคำนวณ

นอกจากการพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบแล้ว ผู้วิจัยได้จัดทำเอกสารคู่มือสำหรับใช้งานระบบดังกล่าว สำหรับให้วิศวกรอาคาร สถาปนิก ผู้ออกแบบที่สนใจ สามารถใช้อ้างอิงได้ รายละเอียดของคู่มือระบบอยู่ในภาคผนวกของรายงานวิจัยฉบับนี้

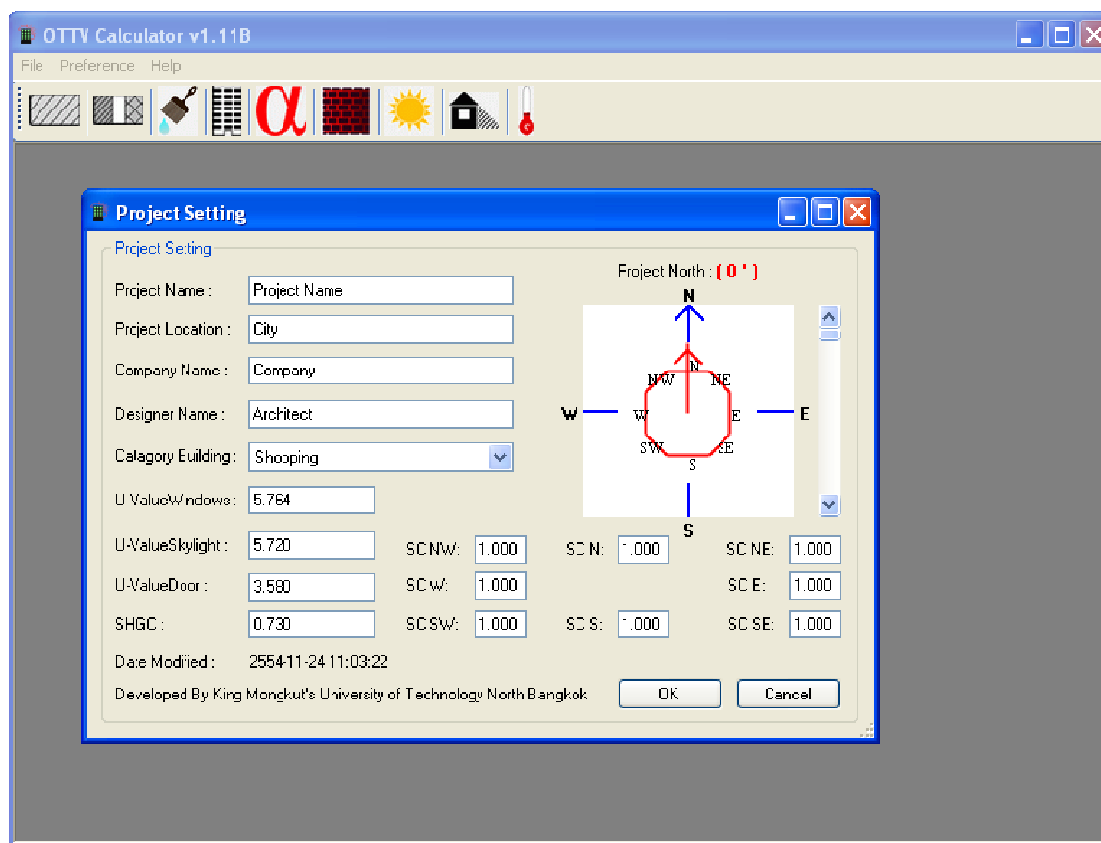
4.3.2 การออกแบบส่วนประสานงานผู้ใช้แบบกราฟฟิก (Graphical User Interface)

ของระบบสารสนเทศต้นแบบ

ระบบสารสนเทศต้นแบบนี้ถูกออกแบบให้ผู้ใช้งานซึ่งได้แก่ วิศวกรอาคาร สถาปนิก และผู้ออกแบบ คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารได้อย่างสะดวก โดยระบบจะรับข้อมูลต่างๆ ที่ป้อนเข้าโดยผู้ใช้งาน และแสดงผลการคำนวณผ่านทางหน้าจอกราฟฟิกของโปรแกรม OTTV Calculator ในขณะที่โปรแกรม Building Envelope Exporter มีเพียง 1 หน้าจอ ที่แจ้งให้ผู้ใช้งานทราบว่าระบบกำลังทำงานอ่านและนำข้อมูลออกเท่านั้น (ดังแสดงในรูปที่ 4-17) ดังนั้นในหัวข้อย่อยนี้ จึงจะกล่าวถึงส่วนประสานงานผู้ใช้แบบกราฟฟิกของโปรแกรม OTTV Calculator เท่านั้น

4.3.2.1 ส่วนการปรับตั้งค่าคุณสมบัติพื้นฐานของโครงการ

เป็นส่วนแรกๆ ที่ผู้ใช้งานเห็นเมื่อเปิดโปรแกรม และเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขข้อมูลต่างๆ ของโครงการ พร้อมกับระบุค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นเพื่อใช้ในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4-18 รายละเอียดและคำอธิบายของข้อมูลที่ผู้ใช้งานระบุในส่วนนี้แสดงในตารางที่ 4-10



รูปที่ 4-18 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator ในส่วนของการจัดการข้อมูลพื้นฐานของโครงการ

ตารางที่ 4-10 รายการข้อมูลลักษณะโครงการที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถปรับแก้ได้จากหน้าจอ

ข้อมูล	คำอธิบาย
Project Name	ชื่อโครงการ
Project Location	ที่ตั้งโครงการ
Company Name	บริษัทออกแบบโครงการ
Designer Name	ผู้ออกแบบโครงการ
Type of Building	ประเภทของอาคาร
Project North	มุมระหว่างทิศเหนือตามแบบจำลองกับทิศเหนือจริง
U-ValueWindows	ค่า U-Value ของผนังโปร่งแสงหรือกระจก
U-ValueDoor	ค่า U-Value ของประตู
U-ValueSkylight	ค่า U-Value ของหลังคาโปร่งแสง
SC N, SC NW, SC W, SC SW, SC S, SC SE, SC E, SC NE	ค่า SC ของอุปกรณ์บังแดดภายนอกแยกตามทิศทางทั้ง 8 ทิศ (เหนือ ตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันตก ตะวันตกเฉียงใต้ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันออก และตะวันออกเฉียงเหนือ)
SHGC	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง

4.3.2.2 ส่วนการแสดงผลละเอียดคุณสมบัติของผนังทึบแสง

เป็นหน้าจอสำหรับแสดงคุณสมบัติของผนังภายนอกเฉพาะส่วนทึบแสงของอาคาร ได้แก่ ทิศ ความลาดเอียง (Slope) ประเภทวัสดุ ความหนา พื้นที่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่า TD_{eq} ของผนัง ดังแสดงในรูปที่ 4-19

The screenshot shows the OTTV Calculator v1.11B software interface. It includes a menu bar (File, Preference, Help), a toolbar with various icons, and a main workspace. The workspace contains input fields for Project Name, Project Location, Category Building, and Project North. It also has tabs for Opaque Wall, Fenestration, Opaque Roof, and Skylight. A table displays the properties of four wall elements, including their orientation, slope, material, thickness, area, U-value, and TDec. The results for OTTV and RTTV are shown on the right side of the interface.

List	Orientation	Slope	FillName	MatName	Thickness	Area	U-Value	TDec
1	South	90.0	TOTTVC_LightWeightConcrete_1280	Paint-10	0.120	532.00	0.300	0.00
2	East	90.0	TOTTVC_LightWeightConcrete_1280	Paint-10	0.120	424.00	0.300	0.00
3	North	90.0	TOTTVC_LightWeightConcrete_1280	Paint-10	0.120	448.00	0.300	0.00
4	West	90.0	TOTTVC_LightWeightConcrete_1280	Paint-10	0.120	448.00	0.300	0.00

รูปที่ 4-19 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของผนังทึบแสง

4.3.2.3 ส่วนการแสดงผลละเอียดคุณสมบัติของผนังโปร่งแสง (หน้าต่างและประตู)

เป็นหน้าจอสำหรับแสดงคุณสมบัติของผนังโปร่งแสงของอาคาร ได้แก่ ทิศ ความลาดเอียง (Slope) พื้นที่ส่วนหน้าต่าง พื้นที่ส่วนประตู ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่า SF และค่า ESR ของผนัง ดังแสดงในรูปที่ 4-20

The screenshot shows the OTTV Calculator v1.11B software interface. It includes a menu bar (File, Preference, Help), a toolbar with various icons, and a main workspace. The workspace contains input fields for Project Name, Project Location, Project North, and Category Building. It also has tabs for Opaque Wall, Fenestration, Opaque Roof, and Skylight. A table displays properties for two fenestration elements, and summary values for OTTV and RTTV are shown on the right.

	Lis	Orientation	Slope	AreaWindow	U-ValueWindow	AreaDoor	U-ValueDoor	SHGC	ESRValue
▶	2	East	90.0	80.00	5.76	0.00	3.58	0.73	162.04
	3	North	90.0	140.00	5.70	0.00	3.50	0.73	100.52

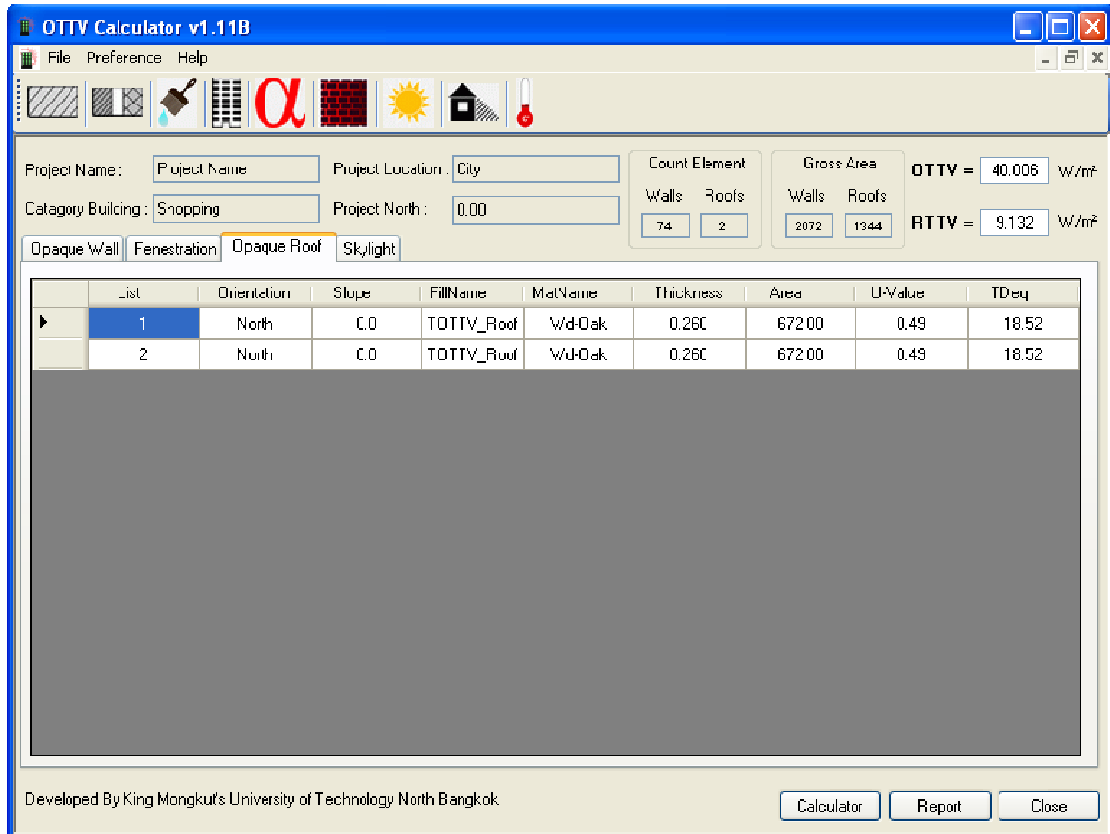
Summary values on the right:

- OTTV = 40.006 W/m²
- RTTV = 9.132 W/m²

รูปที่ 4-20 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของผนังโปร่งแสง

4.3.2.4 ส่วนการแสดงผลละเอียดคุณสมบัติของหลังคาที่บแสง

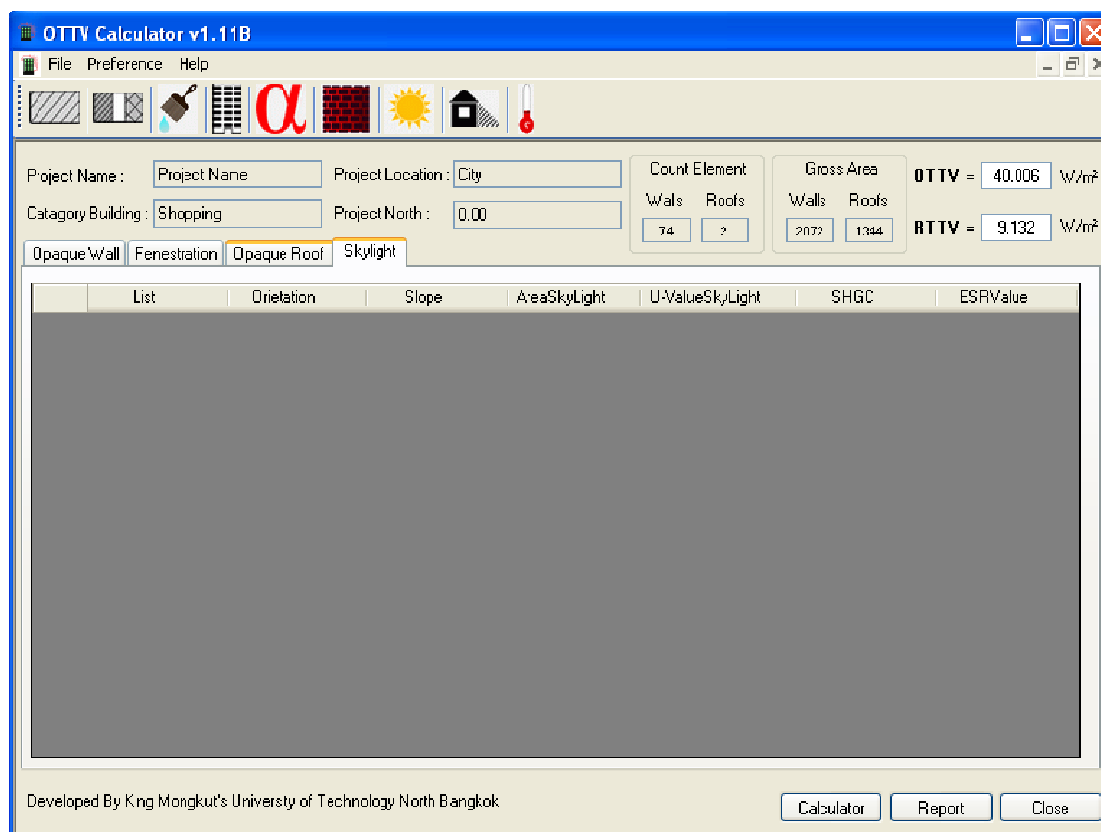
เป็นหน้าจอสำหรับแสดงคุณสมบัติของหลังคาเฉพาะส่วนที่บแสงของอาคาร ได้แก่ ทิศ ความลาดเอียง (Slope) ประเภทวัสดุ ความหนา พื้นที่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่า TDeq ของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-21 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของหลังคาที่บแสง

4.3.2.5 ส่วนการแสดงผลละเอียดรายการคุณสมบัติของหลังคาโปร่งแสง

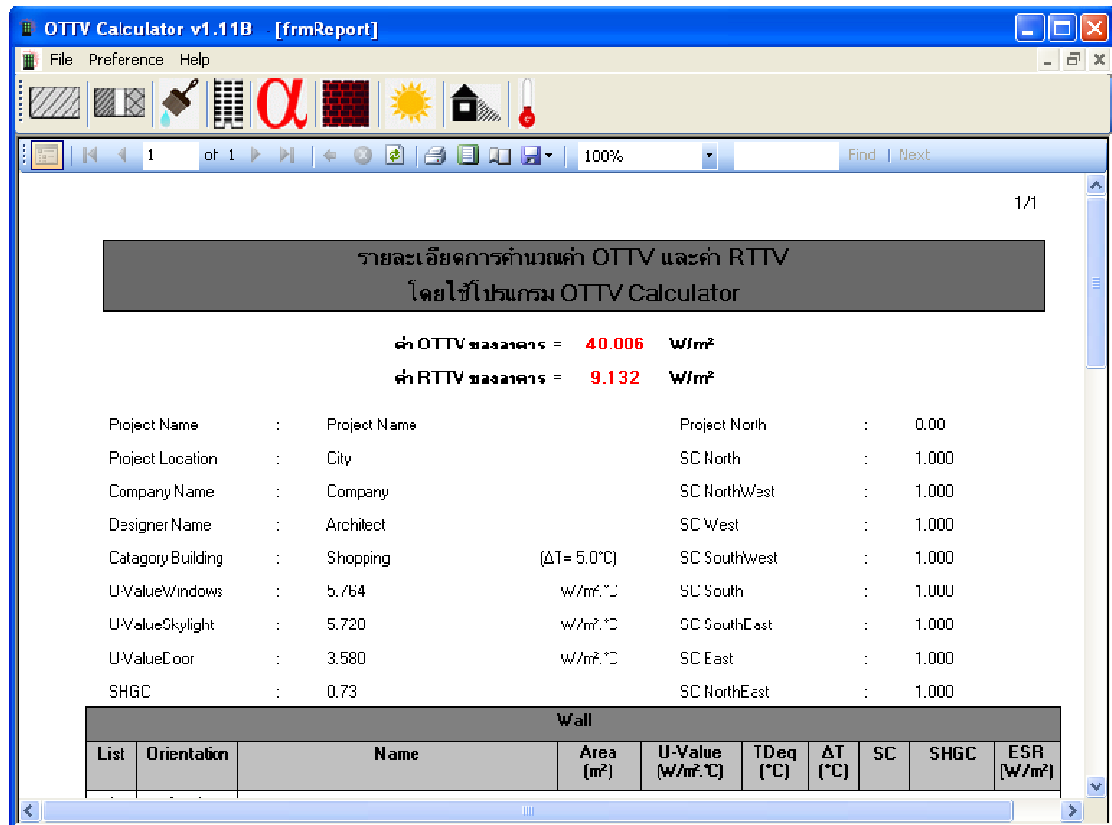
เป็นหน้าจอสำหรับแสดงคุณสมบัติของหลังคาโปร่งแสงของอาคาร ได้แก่ ทิศ ความลาดเอียง (Slope) พื้นที่ส่วนหน้าต่าง พื้นที่ส่วนประตู ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่า SHGC และค่า ESR ของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงคุณสมบัติของหลังคาโปร่งแสง

4.3.2.6 ส่วนการแสดงผลรายงานการประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร

เป็นส่วนแสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ดังแสดงในรูปที่ 4-23 ผู้ออกแบบสามารถพิมพ์รายงานนี้ออกมาได้



รูปที่ 4-23 ภาพตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายงานการประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร

4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

หลังจากที่พัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบแล้วเสร็จ ผู้วิจัยได้นำมาใช้คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารโดยเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากโปรแกรมอื่น จำนวน 2 กรณีศึกษา รายละเอียดของกรณีศึกษาที่ใช้เปรียบเทียบและผลการเปรียบเทียบแสดงในหัวข้อย่อยถัดไป

4.4.1 กรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 1

ผู้วิจัยได้ใช้กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อย่อย 4.1 มาเปรียบเทียบผลการคำนวณ เนื่องจากในกรณีศึกษาดังกล่าวนี้นักวิจัยได้เปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยมือ และการคำนวณด้วยโปรแกรม BEC มาแล้ว ผู้วิจัยจึงนำผลการใช้งานระบบสารสนเทศต้นแบบเข้ามาเปรียบเทียบเพิ่มเติม โดยมีติในการเปรียบเทียบยังคงเดิม คือมิติด้านความเร็ว ซึ่งวัดจากระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละขั้นตอน และมิติด้านความถูกต้องซึ่งวัดจากค่าความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณได้แต่ละวิธี ตารางที่ 4-11 และตารางที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอน และผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของระบบสารสนเทศต้นแบบ ตามลำดับ

ตารางที่ 4-11 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่าง ๆ ของกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 1

ขั้นตอน	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)*			
	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรม BEC	คำนวณด้วยโปรแกรม EcoDesigner	คำนวณด้วยระบบสารสนเทศต้นแบบ
1. การออกแบบโมเดลเปลือกอาคาร**			240	240
2. การคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกอาคาร	49	49	26	20 – 38
3. การคำนวณพื้นที่หลังคาอาคาร	15	15		
4. การคำนวณค่า OTTV**	10	30 – 45		2
5. การคำนวณค่า RTTV**	5			

หมายเหตุ * วัดระยะเวลาที่ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook Intel Core 2 Duo P9600 2.66GHz

หน่วยความจำ 8GB DDR3 SDRam

**ช่องที่แรเงาสีดำ หมายถึง ไม่ต้องทำขั้นตอนนี้ หรือไม่สามารถทำได้

ตารางที่ 4-12 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่าง ๆ ของกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 1

ค่าการถ่ายเทความร้อน	ค่าที่คำนวณได้ (วัตต์ต่อตารางเมตร)			เกณฑ์ที่ยอมให้ตามกฎหมาย
	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรม BEC	คำนวณด้วยระบบสารสนเทศต้นแบบ	
ค่า OTTV	38.8	38.8	38.8	30
ค่า RTTV	27.6	27.6	27.6	10

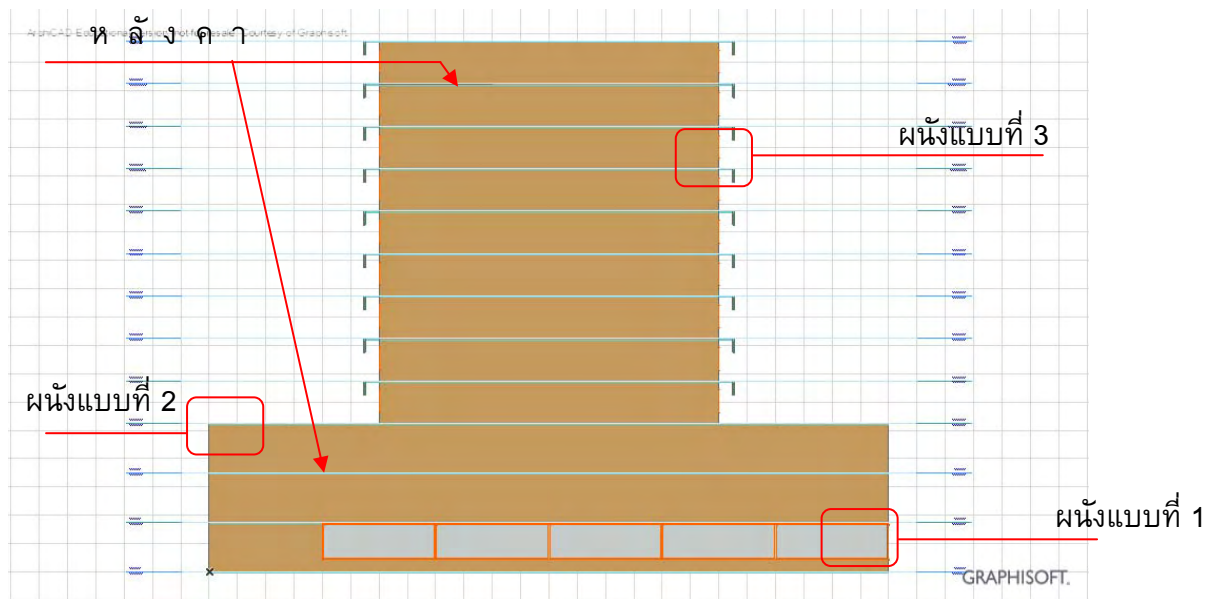
จากตารางที่ 4-11 พบว่า การใช้ระบบสารสนเทศต้นแบบในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารมีลักษณะเหมือนกับการใช้โปรแกรม EcoDesigner คือต้องสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารขึ้นมาก่อน จึงจะสามารถใช้ระบบสารสนเทศต้นแบบมาดึงข้อมูลขึ้นส่วนเปลือกอาคารออกจากแบบจำลอง และคำนวณพื้นที่ผิวด้านนอกของเปลือกอาคารได้ สำหรับกรณีศึกษาอาคารชุดพักอาศัยสูง 8 ชั้นนี้ ใช้ระยะเวลาในการสร้างแบบจำลองประมาณ 240 นาที และระยะเวลาคำนวณพื้นที่ผนังและหลังคาอยู่ในช่วงประมาณ 20 – 38 นาที ใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรม EcoDesigner โดยขึ้นอยู่กับว่าเมื่อตอนสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มีการเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมกับการคำนวณพื้นที่ผิวเปลือกอาคารหรือไม่ เช่น จัดวางชั้นส่วนเปลือกอาคารให้อยู่ใน Layer เดียวกันตามประเภทของเปลือกอาคาร (แยกเป็นผนังภายนอก และหลังคา) และเขียนแบบชั้นส่วนเปลือกอาคารถูกต้อง เป็นต้น หากเตรียมความพร้อมในส่วนนี้ ตั้งแต่การออกแบบ ระบบสารสนเทศต้นแบบจะสามารถดึงข้อมูลเปลือกอาคารออกมาจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้อย่างอัตโนมัติและมีความถูกต้อง ถ้าหากยังไม่ได้เตรียมข้อมูลในส่วนนี้ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเสียเวลาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และปรับแก้ไขข้อมูล

จากตารางที่ 4-12 พบว่า ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ทั้ง 3 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV อ้างอิงจากกฎกระทรวงเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม การคำนวณด้วยมือมีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอาจมีการปัดตัวเลขในระหว่างการคำนวณ ดังนั้นในการเปรียบเทียบครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมสเปรดชีต ซึ่งได้แก่ Microsoft Excel มาช่วยคำนวณแทนที่จะเป็นเครื่องคิดเลข ซึ่งจะสามารถลดปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการปัดตัวเลขไปได้

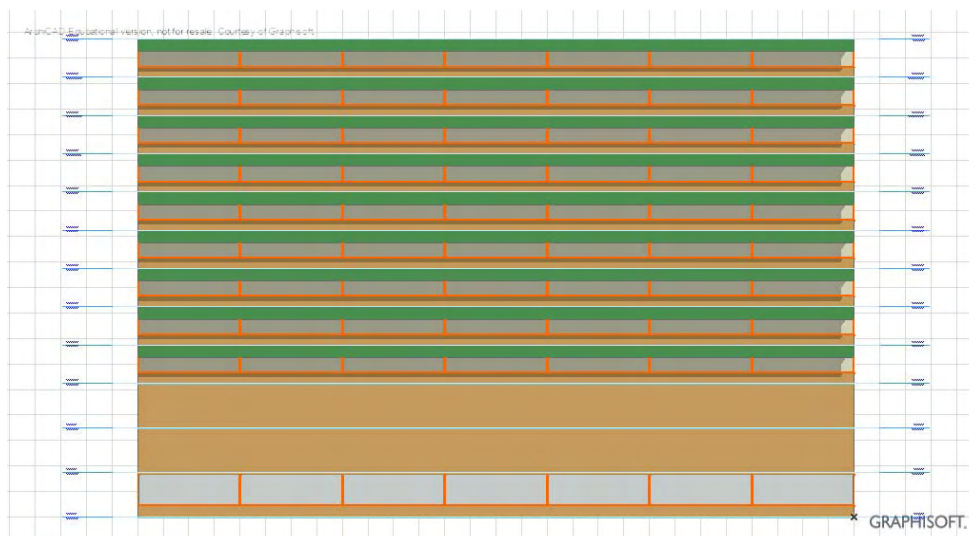
4.4.2 กรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2

ผู้วิจัยได้ใช้โครงการก่อสร้างอาคารสูง 12 ชั้น จากกรณีศึกษาการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนโดยโปรแกรม BEC ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553) เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบ ลักษณะอาคารเป็นอาคารสูง 12 ชั้น แสดงดังในรูปที่ 4-24 และรูปที่ 4-25 การใช้พื้นที่ของอาคารแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ พื้นที่ห้างสรรพสินค้า (Shopping

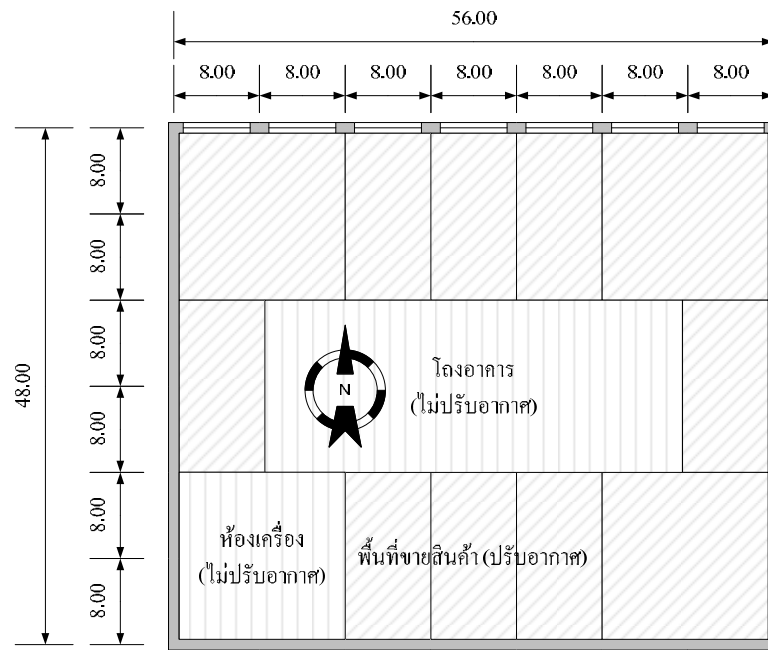
Mall) และพื้นที่สำนักงาน (Office) พื้นที่ห้างสรรพสินค้าตั้งอยู่บนชั้นที่ 1-3 ของอาคาร แต่ละชั้นมีความกว้าง 48.0 เมตร ความยาว 56.0 เมตร และความสูง 3.5 เมตร ส่วนพื้นที่สำนักงานตั้งอยู่ระหว่างชั้นที่ 4-12 แต่ละชั้นมีความกว้าง 24 เมตร ความยาว 56.0 เมตร และความสูง 3.0 เมตร ตามลำดับ แบบแปลนอาคารแต่ละชั้น แสดงดังในรูปที่ 4-26



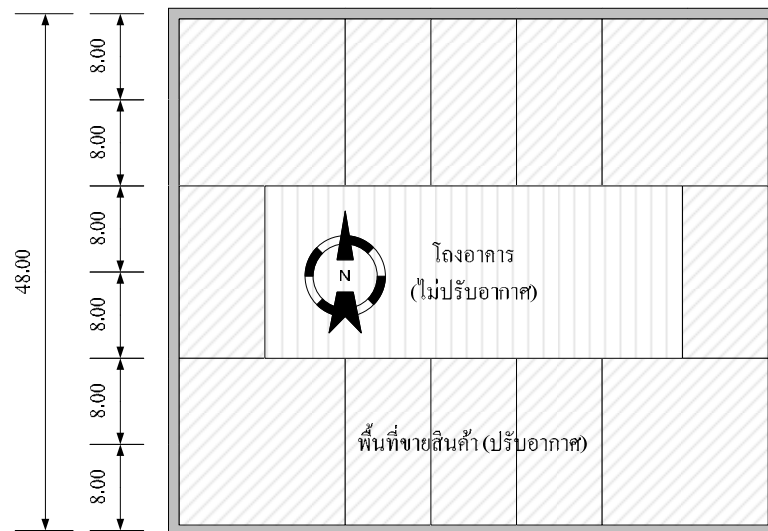
รูปที่ 4-24 ภาพด้านข้างทางทิศตะวันออกของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2



รูปที่ 4-25 ภาพด้านหน้าของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2



(ก) การใช้พื้นที่อาคารชั้นที่ 1



(ข) การใช้พื้นที่อาคารชั้นที่ 2-3



(ค) การใช้พื้นที่อาคารชั้นที่ 4-12

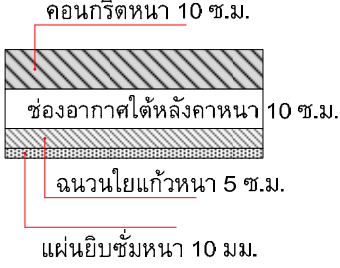
รูปที่ 4-26 แบบแปลนอาคารแสดงการใช้สอยพื้นที่อาคารในแต่ละชั้น

อาคารสูง 12 ชั้น มีรายละเอียดส่วนเปลือกอาคารแสดงในตารางที่ 4-13 และข้อกำหนดเฉพาะของวัสดุที่ใช้ (Material Specifications) แสดงในตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-13 รายละเอียดผนังและหลังคาของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2

ประเภทโครงสร้าง	แบบ	ลักษณะ	ชั้นที่ติดตั้ง	ภาพขยายประกอบ
ผนัง	1	ผนังทึบและกระຈก	ชั้นที่ 1 – 3	
	2	ผนังทึบ	ชั้นที่ 1 – 3 ชั้นที่ 4 – 12	
	3	ผนังทึบ กระຈก และมีอุปกรณ์บังแดดภายนอก	ชั้นที่ 4 – 12	

ตารางที่ 4-13 (ต่อ) รายละเอียดผนังและหลังคาของอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2

ประเภท โครงสร้าง	แบบ	ลักษณะ	ชั้นที่ติดตั้ง	ภาพขยายประกอบ
หลังคา	1			 คอนกรีตหนา 10 ซม. ช่องอากาศใต้หลังคาหนา 10 ซม. ฉนวนใยแก้วหนา 5 ซม. แผ่นยิปซัมหนา 10 มม.

ตารางที่ 4-14 ข้อกำหนดเฉพาะของวัสดุที่ใช้ทำส่วนเปลือกอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2

ลักษณะอาคาร	รายละเอียด
ผนังทึบ	ผนังคอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่น 1280 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หนา 0.10 เมตร ฉาบปูนหนา 0.01 เมตร ทั้ง 2 ด้านและผนังภายนอกทาสีอ่อน
กระจก	กระจกใสความหนา 10 มม. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (SHGC) เท่ากับ 0.73 ไม่มีอุปกรณ์บังแดด (ชั้น 1) กระจกใสความหนา 6 มม. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (SHGC) เท่ากับ 0.54 มีอุปกรณ์บังแดด (ชั้น 4-12)
หลังคา	คอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีช่องว่างอากาศ 0.10 เมตร ระหว่างชั้นคอนกรีตและฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยแก้วมีความหนา 0.05 เมตร ติดตั้งบนแผ่นยิปซัมหนา 0.01 เมตร (โครงหลังคาอาคารชั้น 3 และ 12 เหมือนกัน)

จากข้อมูลแบบอาคารที่รวบรวมได้ เมื่อนำมาคำนวณพื้นที่ผนังภายนอกของอาคารที่ล้อมพื้นที่ใช้สอยที่ใช้ระบบปรับอากาศ แยกตามด้านของอาคารและลักษณะแบบแปลนอาคารได้ดังในตารางที่ 4-15

สำหรับกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2 นี้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการใช้ระบบสารสนเทศต้นแบบสำหรับคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร กับระยะเวลาที่ใช้คำนวณด้วยมือ และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรม BEC และเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าถ่ายเทความร้อนรวมทั้ง 3 วิธี เช่นเดียวกับที่ดำเนินการในกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 1 ตารางที่ 4-16 และตารางที่ 4-17 แสดงผลการเปรียบเทียบด้านระยะเวลาในแต่ละขั้นตอน และด้านความถูกต้องของผลการคำนวณ ตามลำดับ

ตารางที่ 4-15 พื้นที่รวมของผนังอาคารเฉพาะพื้นที่ใช้สอยที่มีการปรับอากาศแต่ละแบบ (หน่วยเป็น ตารางเมตร)

รายละเอียด	ประเภทผนัง	ด้านหน้า	ด้านข้าง (ตะวันออก)	ด้านหลัง	ด้านข้าง (ตะวันตก)
ชั้นที่ 1-3 (ห้างสรรพสินค้า)	แบบที่ 1	196.0	112.0	0.0	0.0
	แบบที่ 2	392.0	392.0	532.0	448.0
	แบบที่ 3	0.0	0.0	0.0	0.0
ชั้นที่ 4-12 (สำนักงาน)	แบบที่ 1	0.0	0.0	0.0	0.0
	แบบที่ 2	0.0	648.0	0.0	648.0
	แบบที่ 3	1512.0	0.0	1512.0	0.0

ตารางที่ 4-16 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่าง ๆ ของกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2

ขั้นตอน	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)*		
	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรม BEC	คำนวณด้วยระบบสารสนเทศต้นแบบ
1. การออกแบบโมเดลเปลือกอาคาร**			120
2. การคำนวณพื้นที่ผนังภายนอก	10	10	2
3. การคำนวณพื้นที่หลังคา	5	5	
4. การคำนวณค่า OTTV	120	90	2
5. การคำนวณค่า RTTV	30		

หมายเหตุ * วัดระยะเวลาที่ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook Intel Core 2 Duo P9600 2.66GHz

หน่วยความจำ 8GB DDR3 SDRam

**ช่องที่แรเงาสีดำ หมายถึง ไม่ต้องทำขั้นตอนนี้ หรือไม่สามารถทำได้

จากตารางที่ 4-16 พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารโดยใช้ระบบสารสนเทศต้นแบบ มีลักษณะเหมือนกับผลที่ได้ในกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 1 กล่าวคือ ระบบสารสนเทศต้นแบบจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งถ้าหากยังไม่มีสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารไว้ก่อนแล้วดังเช่นในกรณีศึกษานี้ จะต้องเสียเวลาประมาณ 120 นาทีในการสร้างแบบจำลองเฉพาะส่วนเปลือกอาคารขึ้นมาก่อน

ตารางที่ 4-17 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ด้วยวิธีการต่าง ๆ ของกรณีศึกษาเชิงเปรียบเทียบที่ 2

ค่าการถ่ายเทความร้อน	ประเภทอาคาร	ค่าที่คำนวณได้ (วัดต่อตารางเมตร)			เกณฑ์ที่ยอมให้ตามกฎหมาย
		คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรม BEC	คำนวณด้วยระบบสารสนเทศต้นแบบ	
ค่า OTTV	ห้างสรรพสินค้า (ชั้น 1-3)	40.0	40.1	40.0	40
	สำนักงาน (ชั้น 4-12)	44.8	44.6	44.8	50
ค่า RTTV	ห้างสรรพสินค้า (ชั้น 1-3)	9.1	9.2	9.1	12
	สำนักงาน (ชั้น 4-12)	9.1	9.0	9.1	15

ในกรณีที่มีการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารขึ้นมาแล้ว ระยะเวลาในการคำนวณพื้นที่เปลือกอาคาร ทั้งในส่วนของผนังภายนอก และหลังคา ตลอดจนการคำนวณค่า OTTV และ RTTV จะใช้เวลาอย่างมาก เมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือ และด้วยโปรแกรม BEC ทั้งนี้เนื่องจาก ผู้ใช้งานจะต้องใช้เวลาค่อนข้างมากในการกรอกข้อมูลเพื่อใช้โปรแกรม BEC ดังจะเห็นได้จากระยะเวลาที่ใช้ในการป้อนค่าและคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของโปรแกรม BEC มากถึง 90 นาที และระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ OTTV และ RTTV ด้วยมือ เท่ากับ 150 นาที

ถึงแม้ว่าผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 4-16 แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ด้วยโปรแกรม BEC น้อยกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยมืออย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่า ระยะเวลาในการคำนวณด้วยมือนั้น สามารถลดลงกว่านี้ได้อีกโดยการเตรียมสูตรคำนวณต่างๆ ไว้ก่อน เช่น การโปรแกรมสูตรคำนวณต่างๆ ไว้ให้พร้อมในโปรแกรมสเปรดชีต เช่น Microsoft Excel และใช้โปรแกรมดังกล่าวคำนวณแทนเครื่องคิดเลข อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาเชิงเปรียบเทียบครั้งนี้ ผู้วิจัยเพียงใช้โปรแกรมสเปรดชีตในการคำนวณเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการปัดตัวเลข แต่ไม่ได้จัดเตรียมสูตรคำนวณไว้ก่อน จึงทำให้เสียเวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก

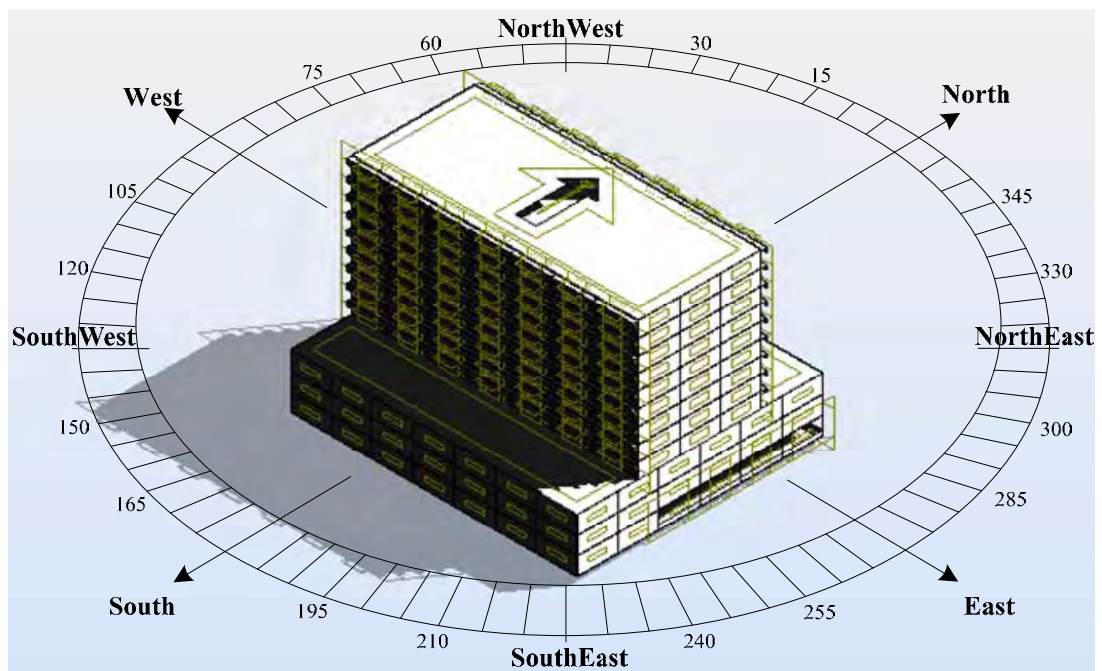
ตารางที่ 4-17 แสดงผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ด้วยวิธีการต่างๆ จากตาราง พบว่า ค่า OTTV และ RTTV ของอาคารทั้งในส่วนห้างสรรพสินค้า และสำนักงานอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามกฎหมาย โดยการคำนวณด้วยมือและด้วยระบบสารสนเทศต้นแบบจะให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากการพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบ และการตรวจสอบความถูกต้องของระบบทั้งแบบเฉพาะส่วน (Unit Testing) และทั้งระบบ (System Testing) ได้อ้างอิงจากวิธีการคำนวณด้วยมือ ในขณะที่เมื่อพิจารณาผลการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรม

BEC และด้วยระบบสารสนเทศต้นแบบ พบว่า มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณอยู่ในช่วง $\pm 0.1\%$ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ที่แตกต่างกัน ในกรณีที่ไม่ได้มีการระบุค่าไว้ในตารางแนบท้ายกฎกระทรวง กล่าวคือ ระบบสารสนเทศต้นแบบใช้วิธีการ Linear Interpolation ในการเลือกค่าจากตาราง ในขณะที่โปรแกรม BEC ใช้วิธีการคำนวณจากสูตรที่แตกต่างออกไป แต่กระนั้น ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นยังมีค่าไม่เกิน $\pm 0.1\%$

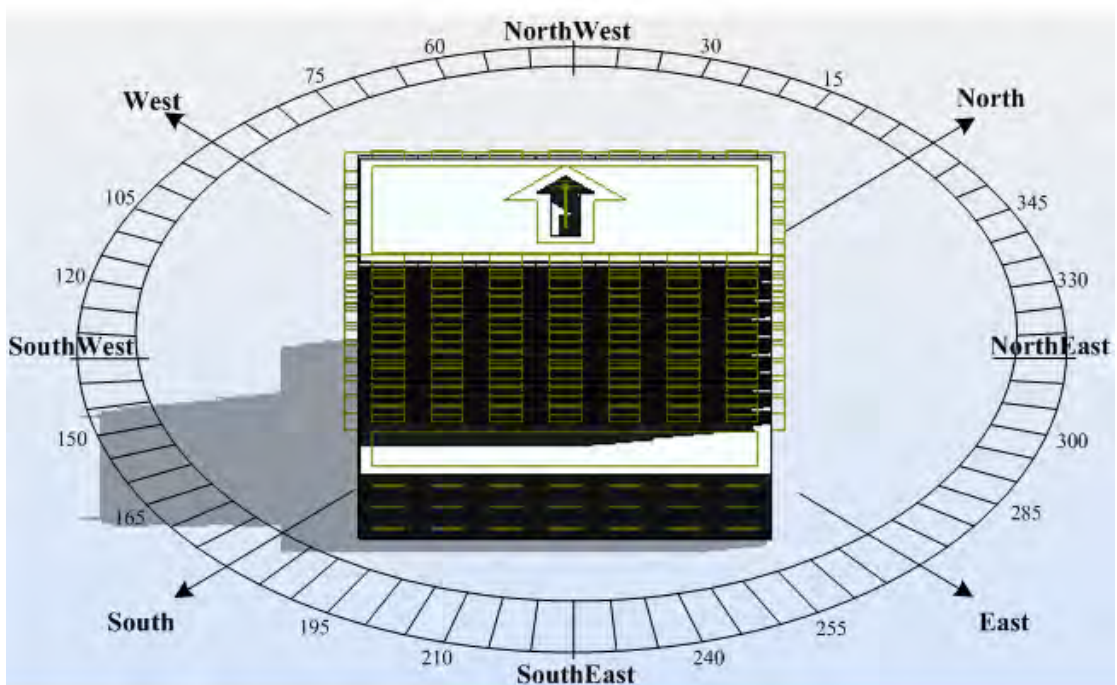
4.5 ผลการนำไปใช้วิเคราะห์การณเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการออกแบบ

หลังจากตรวจสอบความถูกต้องแล้ว ผู้วิจัยได้นำระบบสารสนเทศต้นแบบมาใช้วิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario Analysis) โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การออกแบบ (Design Parameters) และศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองปรับเปลี่ยนทิศทางการหันหน้าอาคาร (Orientation) ของอาคารสูง 12 ชั้นในกรณีศึกษาที่ 2 ทั้งหมด 8 ตำแหน่ง และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร การปรับเปลี่ยนทิศทางการวางตำแหน่งอาคารนี้จะส่งผลให้ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารในแต่ละด้านเปลี่ยนไป ดังจะเห็นได้จากในรูปที่ 4-27 ถึงรูปที่ 4-34 เงาของอาคารจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงอาทิตย์เข้าอาคารทางด้านต่างๆ

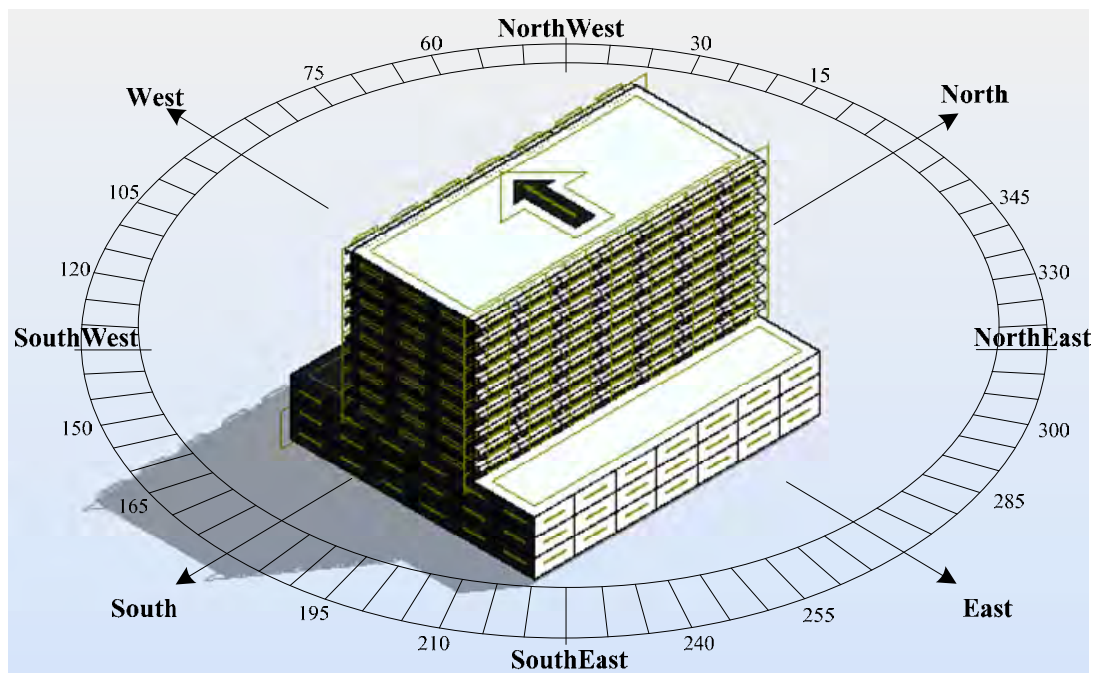
ตารางที่ 4-18 แสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้อาคารหันหน้าไปในทิศต่างๆ ทั้ง 8 ทิศ จากผลการคำนวณพบว่า ในส่วนของห้วงสรรพสินค้าชั้น 1 – 3 ของอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) จะเปลี่ยนแปลงในช่วงที่แคบระหว่าง 40.0 – 43.2 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยจะมีค่ามากที่สุด เมื่ออาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ สาเหตุที่ค่า OTTV ของผนังภายนอกเปลี่ยนแปลงในช่วงที่แคบ เนื่องจากขนาดของพื้นที่ผนังในแต่ละด้านของชั้น 1 – 3 มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก (ดังแสดงในตารางที่ 4-15) กอปรกับผนังมีลักษณะเป็นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก เป็นผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนหนา 0.01 เมตร ทั้ง 2 ด้าน และภายนอกทาสีอ่อน



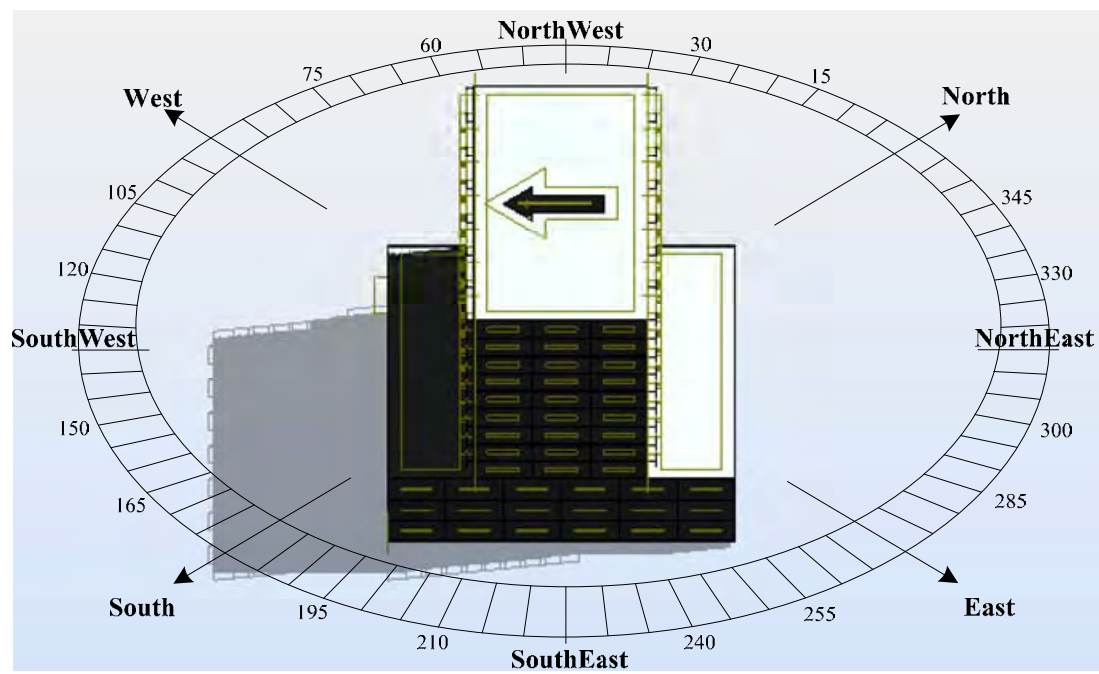
รูปที่ 4-27 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศเหนือ



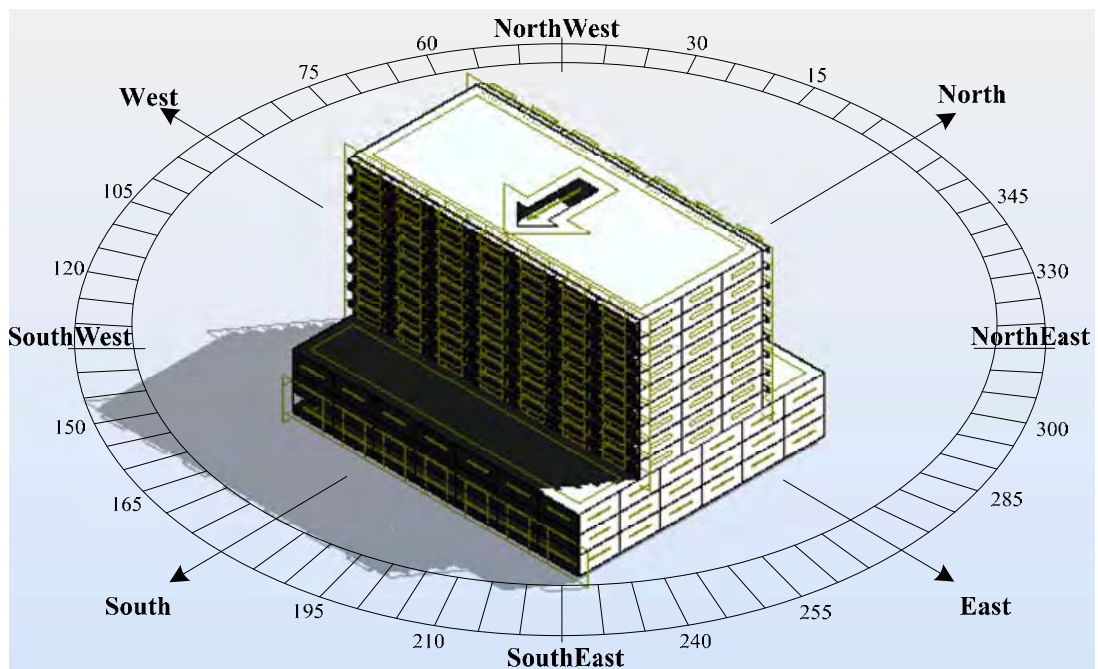
รูปที่ 4-28 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



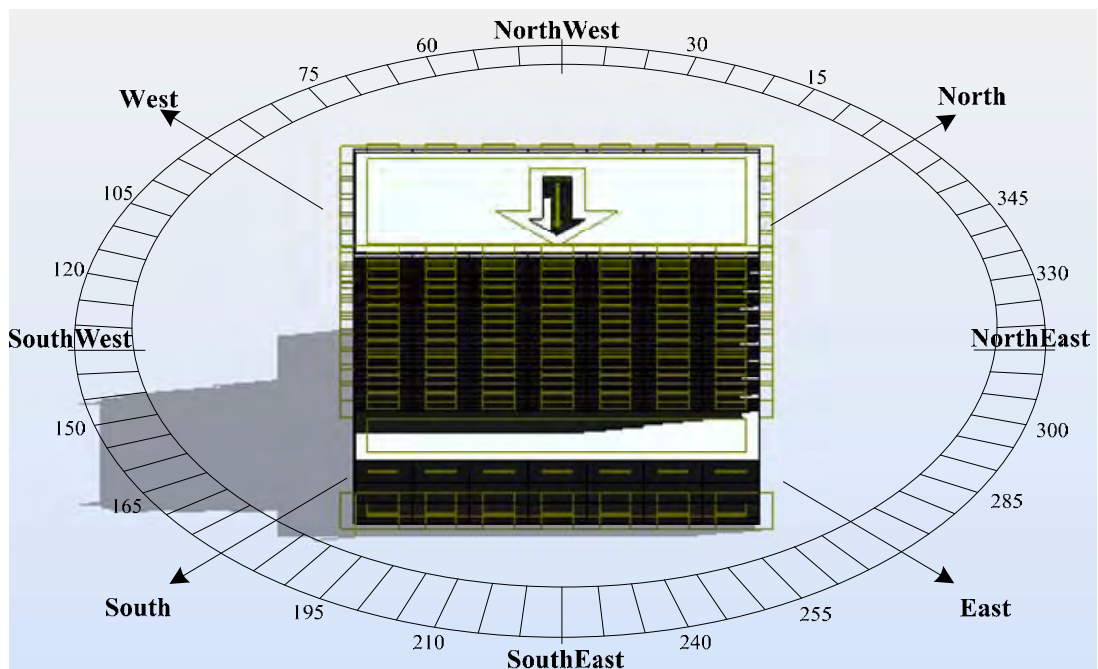
รูปที่ 4-29 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตก



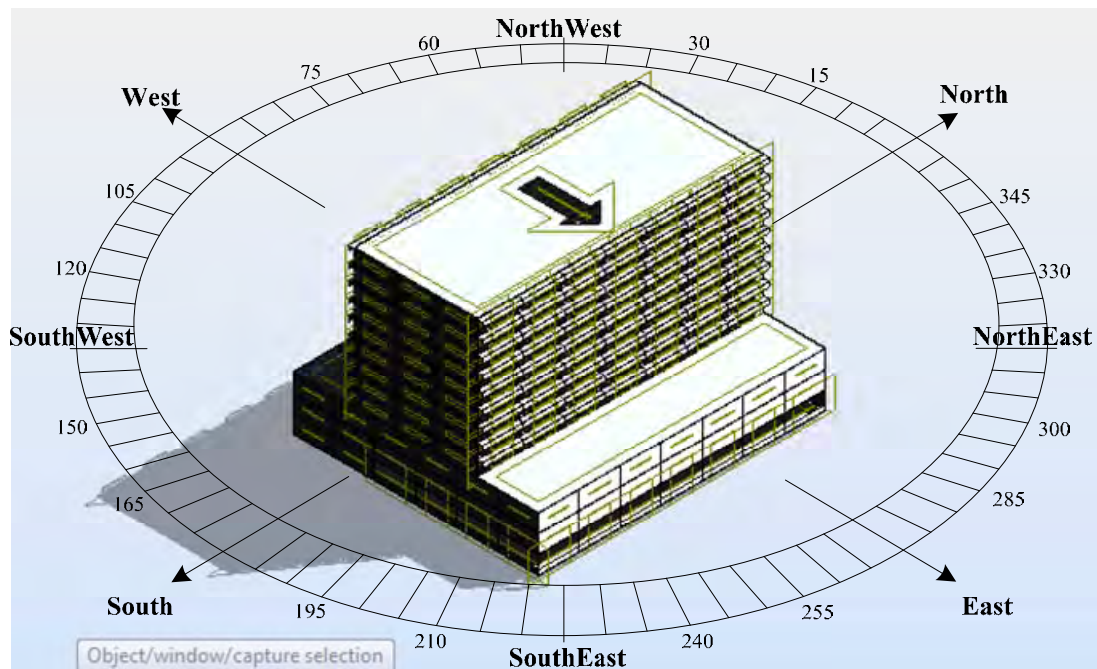
รูปที่ 4-30 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



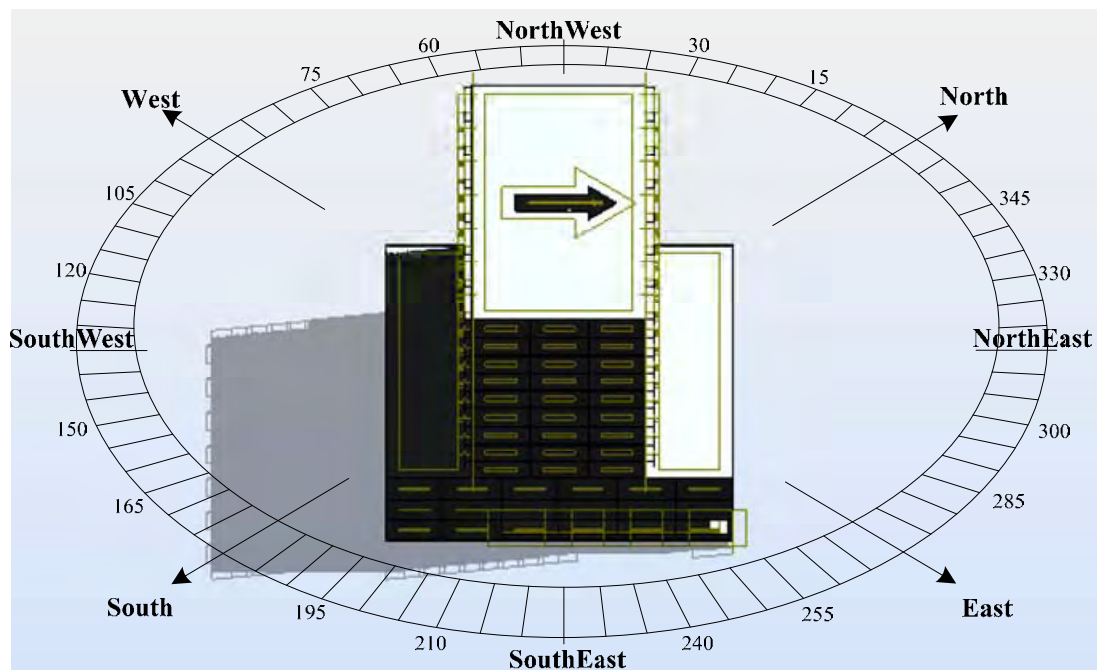
รูปที่ 4-31 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศใต้



รูปที่ 4-32 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ 4-33 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออก



รูปที่ 4-34 ลักษณะอาคารเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 4-18 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารเมื่อหัน
ด้านหน้าของอาคารหาทิศต่าง ๆ

ค่าการ ถ่ายเทความร้อน	ประเภทของ ของอาคาร	ผลการคำนวณเมื่อวางตำแหน่งให้ด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทาง ทิศต่าง ๆ (วัดต่อตารางเมตร)							
		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
ค่า OTTV	ห้างสรรพสินค้า	40.0	40.8	41.2	42.6	42.8	43.2	42.1	41.3
	สำนักงาน	44.8	78.6	79.2	78.8	44.8	78.6	79.2	78.8
ค่า RTTV	ห้างสรรพสินค้า	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
	สำนักงาน	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1

เมื่อพิจารณาผลการคำนวณค่า OTTV ของผนังภายนอกอาคารในส่วนของสำนักงาน ชั้น 4 – 12 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 44.8 – 79.2 วัดต่อตารางเมตร โดยที่มีค่าที่มากที่สุด เมื่ออาคารหันด้านหน้าไปทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก และมีย่าน้อยที่สุด เมื่ออาคารหันด้านหน้าไปทางทิศเหนือและทิศใต้ สาเหตุมาจากการที่ ด้านหน้าและด้านหลังของอาคารตั้งแต่ชั้นที่ 4 ขึ้นไป มีผนังแบบที่ 3 ซึ่งมีสวนบังแดดอยู่ (ดังแสดงในตารางที่ 4-13) ทำให้ผลการคำนวณค่า OTTV ของผนังภายนอกอาคารเมื่อวางตำแหน่งอาคารให้หันด้านหน้าไปทางทิศเหนือหรือทิศใต้ มีค่าลดลง

ตารางที่ 4-18 ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปลี่ยนทิศทางการหันหน้าของอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ของอาคารดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลง คือมีค่าประมาณ 9.1 วัดต่อตารางเมตร ทั้งในส่วนของห้างสรรพสินค้า และสำนักงาน ทั้งนี้เนื่องจากหลังคาอาคารทั้งหมดมีความชัน (Slope) เท่ากับ 0 องศา ทำให้ค่า RTTV เท่ากันไม่ว่าจะหมุนอาคารในลักษณะใด

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคารตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2552 โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Models หรือ BIMs) ซึ่งเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่จัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลชิ้นส่วนอาคาร (Building Elements) และความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนอาคาร จากการรวบรวมทฤษฎีและผลงานวิจัยในอดีตทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนการศึกษาเชิงกรณีเพื่อเปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารพบว่าวิธีการคำนวณที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีปัญหาค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลหลายประเภทจากหลายแหล่ง ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ พื้นที่เปลือกอาคารจากเอกสารแบบก่อสร้างและข้อกำหนดงานก่อสร้าง และค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อนที่ระบุในตารางแนบท้ายกฎกระทรวง ทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดข้อผิดพลาด ในขณะที่แบบจำลองสารสนเทศอาคารมีศักยภาพในการช่วยให้วิศวกรอาคารและสถาปนิกสามารถคำนวณพื้นที่เปลือกอาคารและคำนวณคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้อย่างรวดเร็ว และตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาต่อยอดเพื่อนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ประโยชน์ทางด้านการอนุรักษ์พลังงาน

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ (1) การศึกษาความเหมาะสมในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์สำหรับคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน (2) การพัฒนาแนวทางคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร และ (3)

5.1.1 การศึกษาความเหมาะสมในการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการพาณิชย์สำหรับคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน

เป็นการศึกษาเชิงกรณีเพื่อให้ทราบถึงวิธีการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และประเมินข้อดี-ข้อเสียของการนำแบบจำลองสารสนเทศไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณ จากการศึกษา พบว่า แบบจำลองสารสนเทศอาคารสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณพื้นที่เปลือกอาคารได้ เนื่องจากพื้นที่ผิวเปลือกอาคารเป็นคุณสมบัติหนึ่งของชิ้นส่วนอาคาร ซึ่งถูกคำนวณไว้แล้วเมื่อตอนสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร นอกจากนี้ข้อมูลวัสดุที่จัดเก็บในแบบจำลองสารสนเทศอาคารสามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Values) ได้

5.1.2 การพัฒนาแนวทางคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

เป็นการศึกษาหลังจากศึกษาความเหมาะสมในการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารที่พัฒนาขึ้นเพื่อการพาณิชย์มาใช้ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างข้อมูลที่จำเป็นต่อการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลชิ้นส่วนเปลือกอาคาร ข้อมูลวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเปลือกอาคาร คุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ผ่านผนัง และค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ ผลการศึกษาที่ได้นำไปเป็นแนวทางพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบต่อไป

5.1.3 พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

หลังจากได้พัฒนาแนวทางการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารแล้ว จึงได้พัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) โปรแกรม Building Envelope Exporter ทำหน้าที่ดึงข้อมูลชิ้นส่วนเปลือกอาคารในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และ (2) โปรแกรม OTTV Calculator ซึ่งรับข้อมูลจาก Building Envelope Exporter แล้วนำมาคำนวณค่า OTTV และ RTTV ระบบสารสนเทศต้นแบบนี้นำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของงานวิจัยตลอดจนนำไปทดลองใช้วิเคราะห์สถานการณ์เพื่อช่วยตัดสินใจด้านการออกแบบ

ผลจากการวิจัย พบว่าแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ประกอบด้วยข้อมูลชิ้นส่วนอาคาร และความสัมพันธ์ระหว่างอาคารที่จัดเก็บในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังจะเห็นได้จากระบบสารสนเทศต้นแบบที่ใช้เทคโนโลยี BIM สามารถคำนวณค่า OTTV และ RTTV ได้โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกิน ± 1 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณด้วยมือหรือวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารโดยเฉพาะ (เช่น โปรแกรม Building Energy Code (BEC) ซึ่งพัฒนาโดยการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) ในขณะที่ระบบสามารถประหยัดเวลาในการคำนวณขนาดพื้นที่ผิวของผนังภายนอกและหลังคาอาคาร และลดขั้นตอนการป้อนข้อมูลต่างๆ เพื่อคำนวณค่า OTTV และ RTTV อันเป็นการลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณ

นอกจากนี้ งานวิจัยยังแสดงให้เห็น ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการนำมาวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario Analysis) เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการ

วางตำแหน่งอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร เนื่องจากผนังภายนอกแต่ละด้านของอาคารก่อสร้างอาจมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ประเภทของผนังที่ใช้ สัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังที่บ้ ส่วนโครงสร้างบังแดด เป็นต้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการวางอาคาร เช่น หันหน้าไปในทิศทางที่เหมาะสม หรือหลีกเลี่ยงการออกแบบให้ตำแหน่งของหน้าต่าง (กระจก) หันไปในทิศตะวันออก (East) และทิศตะวันตก (West) จะช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารลดลง อันจะส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศได้

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

- (1) ทำให้ทราบศักยภาพของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
- (2) ทำให้ทราบกระบวนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคาร
- (3) พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารต้นแบบ ให้สามารถนำมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารได้
- (4) สามารถประเมินความสามารถถ่ายเทความร้อนของอาคารตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคาร และช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านการออกแบบของสถาปนิก เพื่อปรับปรุงคุณภาพการออกแบบการใช้พลังงานอาคาร อย่างไรก็ตาม การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้อาจยังมีข้อจำกัดอยู่ และที่สำคัญที่สุด คือ การออกแบบและเขียนแบบด้วยเทคโนโลยี BIM ในประเทศไทยยังไม่ได้มีการนิยมนอย่างแพร่หลาย ด้วยสาเหตุหลายประการ เช่น บุคลากร A/E/C ในประเทศไทยยังมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี BIM อย่างจำกัด ชิ้นส่วนอาคาร ประตู และหน้าต่างที่ใช้ในประเทศไทยมีมาตรฐานและขนาดที่แตกต่างจากต่างประเทศบ้าง ทำให้วิศวกรอาคาร และ/หรือสถาปนิกอาจต้องสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารของโครงการขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารโดยเฉพาะ และหากไม่มีการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ต่อ ผู้ออกแบบจะรู้สึกว่าจะไม่คุ้มที่จะต้องเสียเวลาสร้างแบบจำลอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประชาสัมพันธ์ และพัฒนาการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารเป็นเพียงส่วนหนึ่งของหลักเกณฑ์การออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งนอกเหนือจากการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังมีการคำนวณค่าการส่องสว่างและภาระการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศด้วย ดังนั้น เพื่อให้มีความสมบูรณ์ จึงควรที่จะพัฒนาต่อยอดการนำเทคโนโลยี BIM มาใช้คำนวณค่าการส่องสว่างและภาระการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศด้วยในอนาคต ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างสูงต่อวิศวกรอาคาร สถาปนิก ตลอดจนผู้ประกอบการอาคาร ในด้านการออกแบบการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

ภาษาอังกฤษ

- AALAMI, F. B. 1998. Using Method Models to Generate 4D Production Models. Ph.D. dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA.
- ANSI/ASHRAE STANDARD 90.1-2010 (SI). 2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE].
- ASHRAE 90-1975. 1975. Energy Conservation in New Building Design. Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE].
- AUTODESK. 2011. *Building Information Modeling*, Available online: <http://usa.autodesk.com/building-information-modeling/about-bim/>, Last accessed: March 25th, 2011.
- BENTLEY SYSTEMS INC. 2009. *Building Information Modeling - Bentley Architecture*, Available online: <http://www.bentley.com/en-US/Products/Bentley+Architecture/>, Last accessed: July 20th, 2009.
- BUILDINGSMART INTERNATIONAL. 2012. *Industry Foundation Classes IFC2x Edition 3 Technical Corrigendum 1*, Available online: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>, Last accessed: June 1st, 2012.
- DARWICHE, A., LEVITT, R. E. & HAYES-ROTH, B. 1991. OARPLAN: Generating project plans in a blackboard system by reasoning about objects, actions, and resources. *Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing*, 2(3), pp. 169-181.
- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. & LISTON, K. 2008. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Inc.
- FAZIO, P., HE, H. S., HAMMAD, A. & HORVAT, M. 2007. IFC-based framework for evaluating total performance of building envelopes. *Journal of Architectural Engineering*, 13(1), pp. 44-53.

- GRAPHISOFT. 2009. *Graphisoft EcoDesigner*, Available online:
<http://www.graphisoft.com/products/archicad-solutions/ecodesigner/>, Last
accessed: June 1st, 2009.
- GRAPHISOFT. 2011. *Experience BIM*, Available online:
http://www.graphisoft.com/education/training_guides/#BIM, Last accessed: March
25th, 2011.
- IEEE STD 1320.1-1998. 1998. IEEE Standard for Functional Modeling Language -
Syntax and Semantics for IDEF0. New York, NY, USA: The Institute of Electrical
and Electronics Engineers, Inc. [IEEE].
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA]. 2011. Key World Energy Statistics 2011.
Available online: <http://www.iea.org/stats/index.asp>, Last accessed: May 2012.
- KIZILTAS, S. 2008. An Automated Approach for Developing Integrated Model-Based
Construction Project Histories to Support Estimation of Activity Production
Rates. PhD dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering,
Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.
- KRYGIEL, E. & NIES, B. 2008. *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building
Information Modeling*, Sybex.
- SCHLUETER, A. & THESELING, F. 2009. Building information model based
energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in
Construction*, 18(2), pp. 153-163.
- STUMPF, A. L., GANESHAN, R., CHIN, S. & LIU, L. Y. 1996. Object-oriented model for
integrating construction product and process information. *Journal of Computing
in Civil Engineering*, 10(3), pp. 204-212.
- TAH, J., ZHOU, W. & CHEUNG, F. 2010. Towards a holistic modeling framework for
embodied carbon and waste in the building lifecycle. In: *The International
Conference on Computing in Civil and Building Engineering - 2010*, June 30th -
July 2nd, Nottingham, UK.
- TANTISEVI, K. & AKINCI, B. 2008. Simulation-based identification of possible locations
for mobile cranes on construction sites. *Journal of Computing in Civil
Engineering*, 22(1), pp. 21-30.
- TANTISEVI, K. & AKINCI, B. 2009. Transformation of a product and process model to
generate motion of mobile cranes. *Automation in Construction*, 18(4), pp. 458-
468.

- TANTISEVI, K. & SORNSURIYA, K. 2010. Building Information Model for Evaluating the Building Energy Performance: A Case Study. In: *The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering - 2010*, Nottingham, UK.
- VICO SOFTWARE INC. 2009. *VICO Software Estimator 2009: A Virtual Construction Solution*, Available online: <http://www.vicosoftware.com>, Last accessed: July 30th, 2009.
- WINSTANLEY, G., CHACON, M. A. & LEVITT, R. E. 1993. Model-based planning: Scaled-up construction application. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 7(2), pp. 199-217.
- YIK, F. W. H. & WAN, K. S. Y. 2005. An evaluation of the appropriateness of using overall thermal transfer value (OTTV) to regulate envelope energy performance of air-conditioned buildings. *Energy*, 30(1), pp. 41-71.

ภาษาไทย

- "กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552" (2552, 20 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126 ตอนที่ 12 ก. หน้า 9-15.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2553. คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงาน สำหรับอาคารที่จะสร้างและดัดแปลง, กรุงเทพฯ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.].
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2542. อัจฉริยะโปรแกรม ช่วยอนุรักษ์พลังงาน. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 42, ออนไลน์: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS42.html>, สืบค้นครั้งสุดท้าย: 1 มิถุนายน 2555.
- "ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552" (2552, 28 สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126 ตอนที่ พิเศษ 122 ง. หน้า 21-39.
- "พระราชกฤษฎีกา กำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540" (2540, 19 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 114 ตอนที่ 6 ก. หน้า 6-9.
- "พระราชกฤษฎีกา กำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538" (2538, 14 สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 112 ตอนที่ 33 ก. หน้า 8-11.
- "พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550" (2550, 4 ธันวาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 124 ตอนที่ 87 ก. หน้า 1-10.

- "พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535" (2535, 2 เมษายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 109 ตอนที่ 33. หน้า 1-20.
- พุทธินันท์ สวัสดิ์รัตนาร. 2550. การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์ประเมินการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม วิทยาลัยนิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- วรวิทย์ แสงแก้ว, ศุภวุฒิ มัลลย์กฤษณะชลี & หรรษา วัฒนานุกิจ. 2551. แบบจำลองภาษาจาวาเชิงวัตถุ 3 มิติสำหรับการจำลองข้อมูลอาคาร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11, 14-16 พฤษภาคม 2551, พัทยา จังหวัดชลบุรี.
- วีรศักดิ์ เชื้อวเชิงชล. 2546. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์รูปทรงอาคาร วัสดุเปลือกอาคาร และการออกแบบแผงบังแดดเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม วิทยาลัยนิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- สุภัทร สราญเลิศ. 2540. แนวทางการพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารจากข้อมูลที่ใช้ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมจากกรอบอาคาร. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม วิทยาลัยนิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- อวิรุฑ ศรีสุธาพรรณ. 2544. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์รูปทรงและวัสดุเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม วิทยาลัยนิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก
คู่มือการใช้โปรแกรม OTTV Calculator

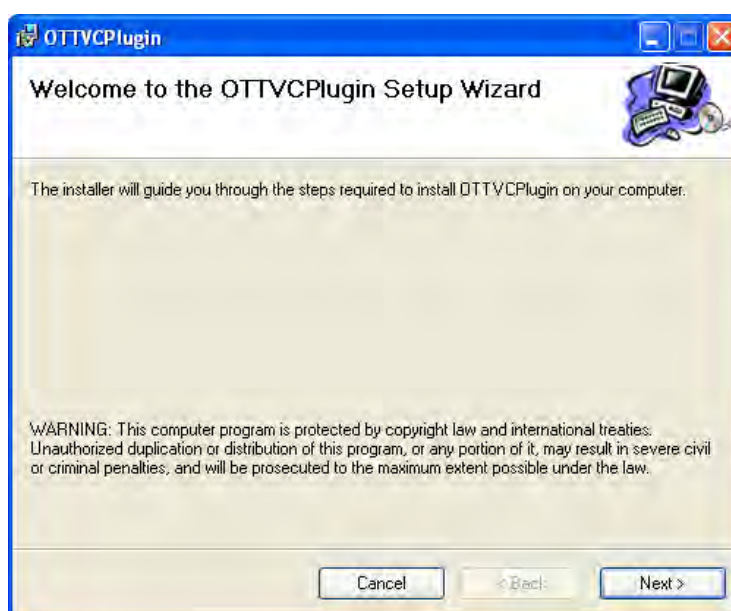
คู่มือการใช้โปรแกรม OTTV Calculator

1. สเปกคอมพิวเตอร์พื้นฐานในการใช้งานโปรแกรม OTTV Calculator

Operating System :	Windows® XP Professional 32 BIT Windows® Vista Ultimate, Business, Enterprise Edition 32 BIT
CPU :	Intel® Pentium 4, or compatible processors with equal or Higher.
RAM :	1 GB of RAM is required.
Hard Drive Space :	Minimum of 1 GB free hard disk space is required.
Display :	1024x768 resolution is required.
Video Card :	Open GL and DirectX 9 compatible graphics card with 256 MB or more on-board video memory is recommended to fully exploit hardware acceleration capabilities.

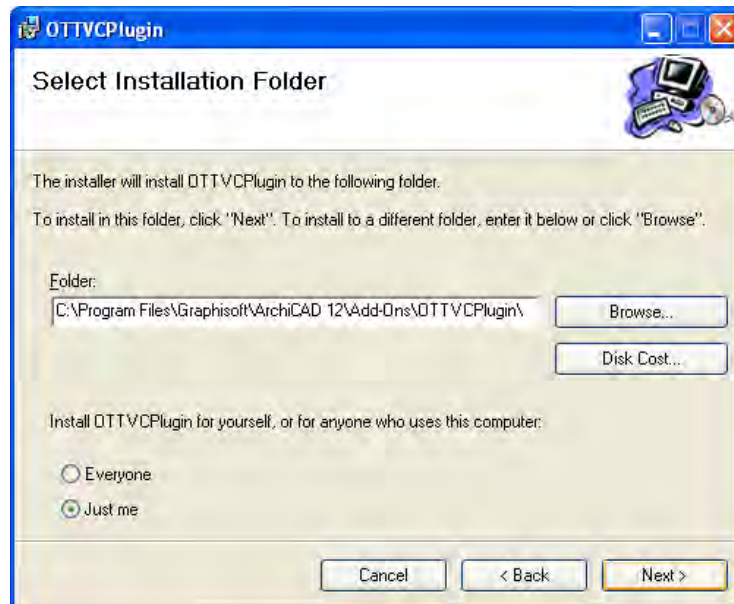
2. ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม OTTV Calculator มีขั้นตอน 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แสดงในรูปที่ ก-1 แสดงขั้นตอนติดตั้งโปรแกรมในขั้นตอนแรก โดยกดปุ่ม Next



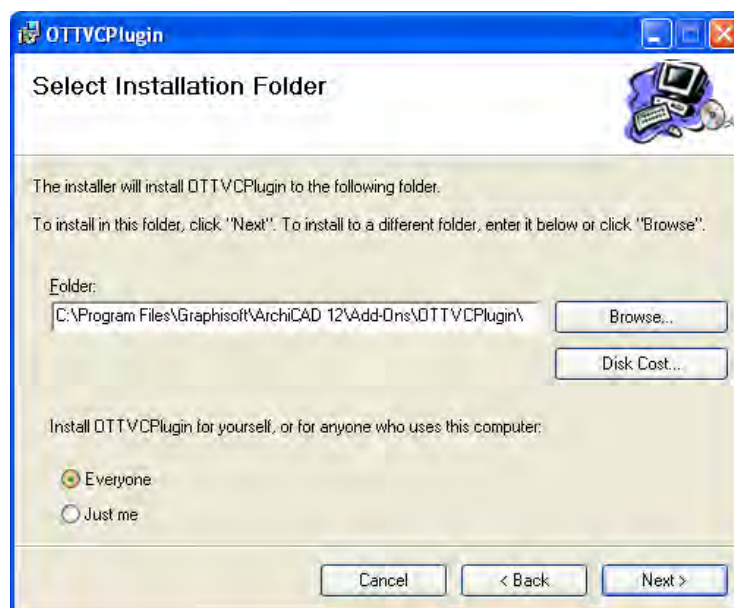
รูปที่ ก-1 ขั้นตอนที่ 1 ของการติดตั้งโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 2 แสดงในรูปที่ ก-2 แสดงขั้นตอนติดตั้งโปรแกรมในขั้นตอนสอง แสดงตำแหน่งในการติดตั้งโปรแกรม



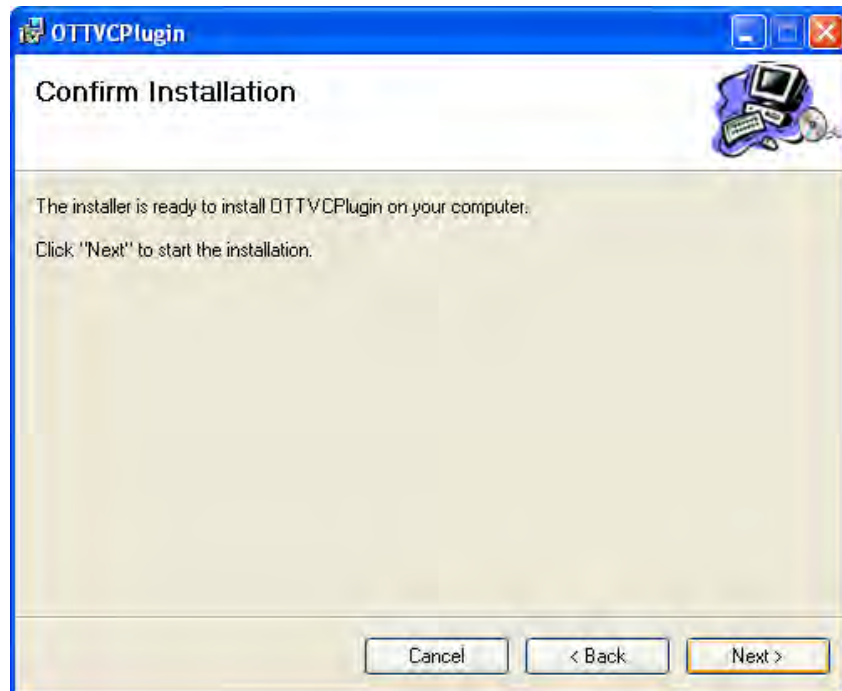
รูปที่ ก-2 ขั้นตอนที่ 2 ของการติดตั้งโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 3 แสดงในรูปที่ ก-3 แสดงขั้นตอนติดตั้งโปรแกรมในขั้นตอนสาม โดยเลือก ตัวเลือก Everyone แล้วกดปุ่ม Next

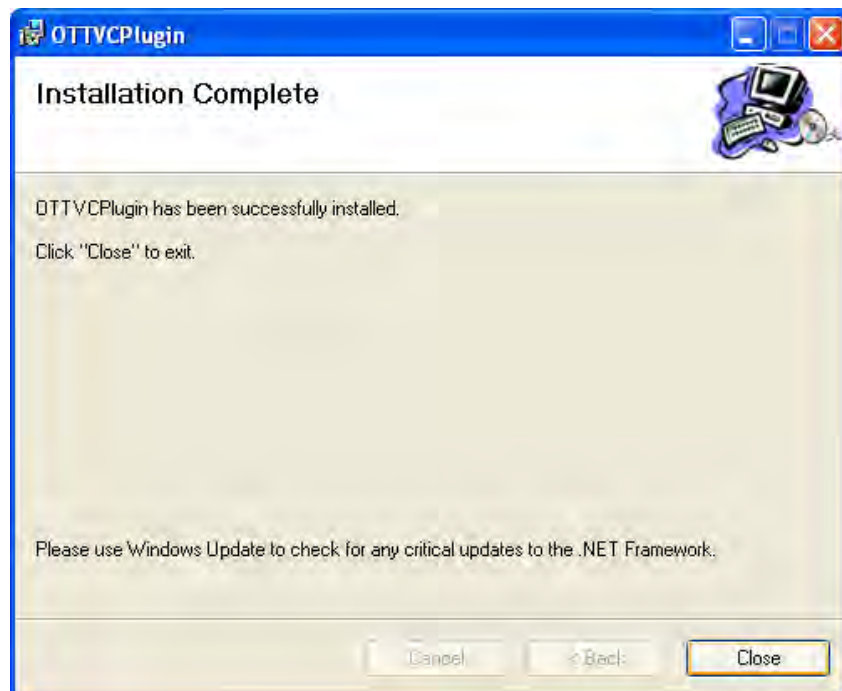


รูปที่ ก-3 ขั้นตอนที่ 3 ของการติดตั้งโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 แสดงในรูปที่ ก-4 และรูปที่ ก-5 ตามลำดับ แสดงขั้นตอนติดตั้งโปรแกรมในขั้นตอนสุดท้ายโดยกดปุ่ม Next และปุ่ม Close เพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม



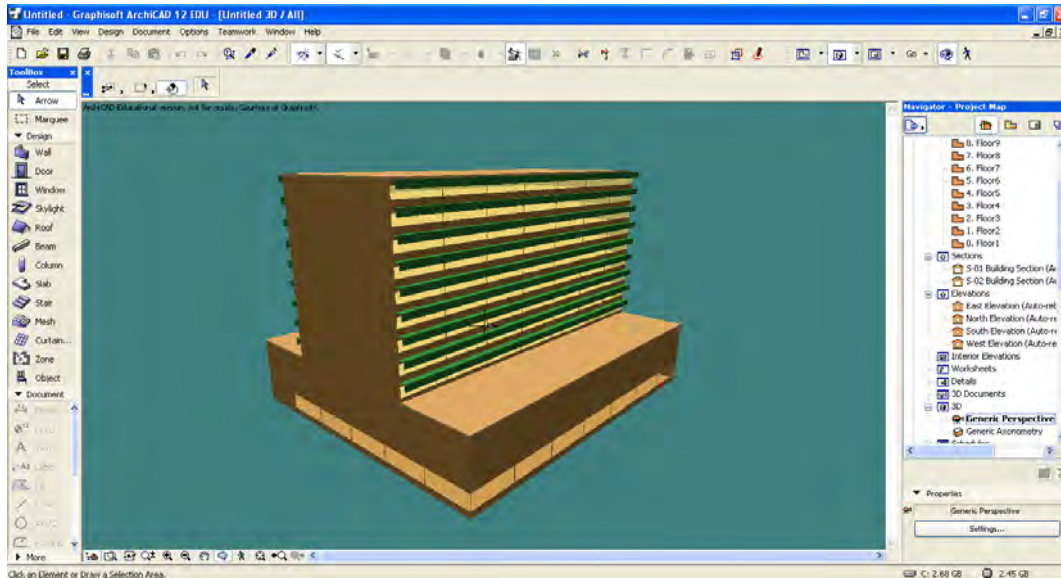
รูปที่ ก-4 ขั้นตอนที่ 4 ของการติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ก-5 ขั้นตอนที่ 5 ของการติดตั้งโปรแกรม

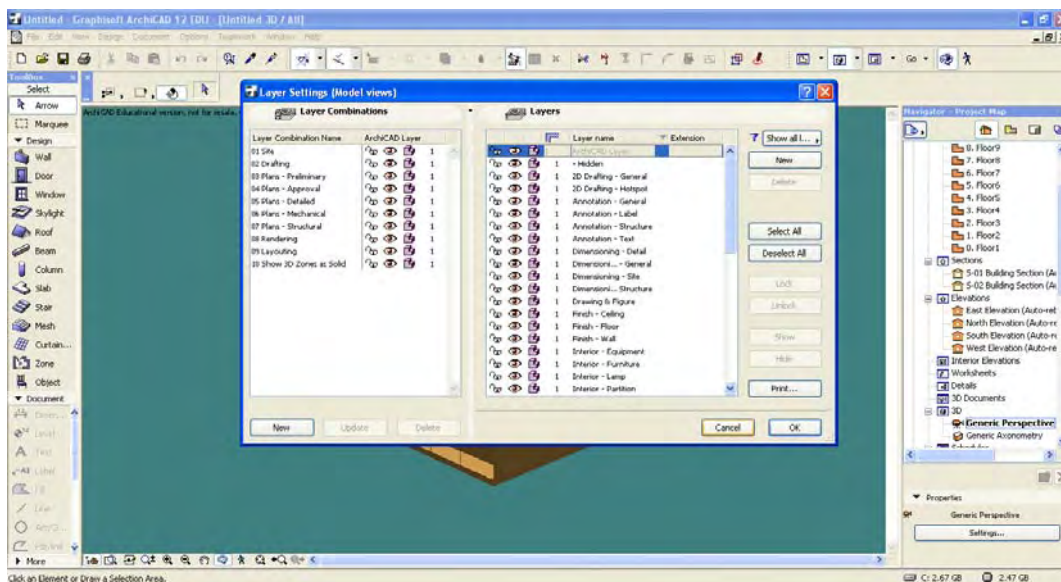
3. ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม OTTV Calculator เพื่อการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

3.1 ออกแบบโมเดลกรอบอาคารแสดงในรูปที่ ก-6



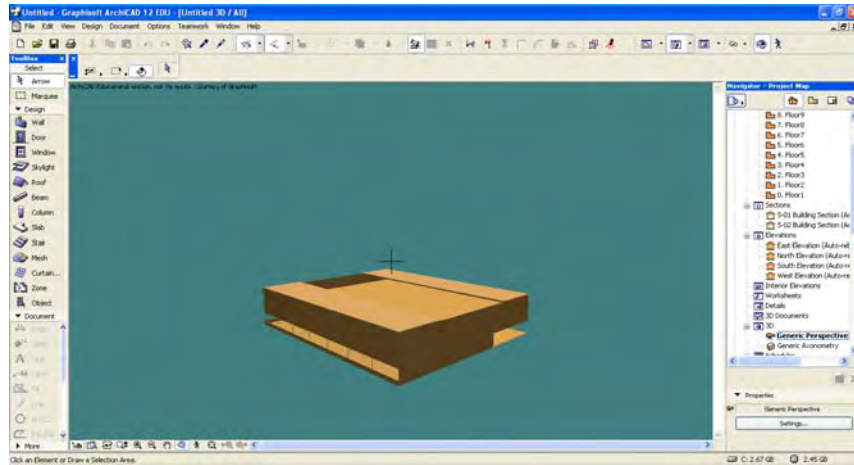
รูปที่ ก-6 ภาพหน้าจอของโปรแกรม ArchiCAD 12 แสดงการออกแบบโมเดลอาคาร

3.2 เลือกแสดงเลเยอร์ในส่วนของกรอบอาคารเฉพาะผนังภายนอกอาคารและหลังคาอาคารแสดงในรูปที่ ก-7



รูปที่ ก-7 ภาพหน้าจอของโปรแกรม ArchiCAD 12 แสดงการกำหนดประเภทของผนังและหลังคาอาคาร

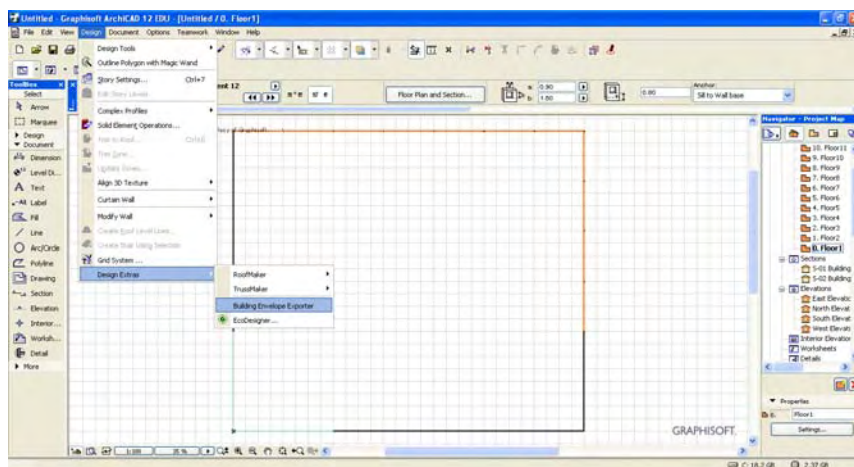
3.3 ตรวจสอบผนังภายนอกและหลังคาอาคารในลักษณะ 3 มิติ ก่อนทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารแสดงดังรูปที่ ก-8



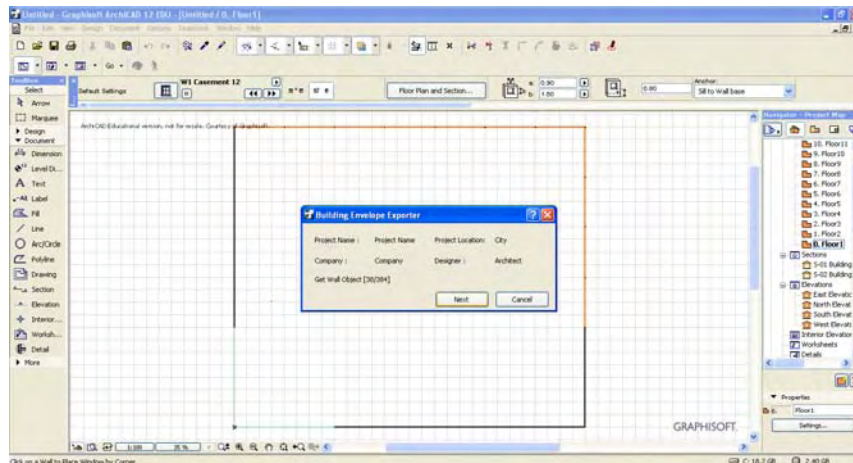
รูปที่ ก-8 ภาพหน้าจอของโปรแกรม ArchiCAD 12 แสดงผนังภายนอกและหลังคาอาคารบริเวณพื้นที่ใช้สอยที่มีการปรับอากาศ

3.4 ทำการเลือกคำสั่งการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารแสดงดังรูปที่ ก-9 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เลือกคำสั่ง Design บริเวณ Toolbar ด้านบนของโปรแกรม Graphisoft ArchiCAD
- เลือกคำสั่ง Design Extras
- เลือกคำสั่ง Building Envelope Exporter เพื่อแสดงโปรแกรม Building Envelope Exporter ดังรูปที่ ก-10

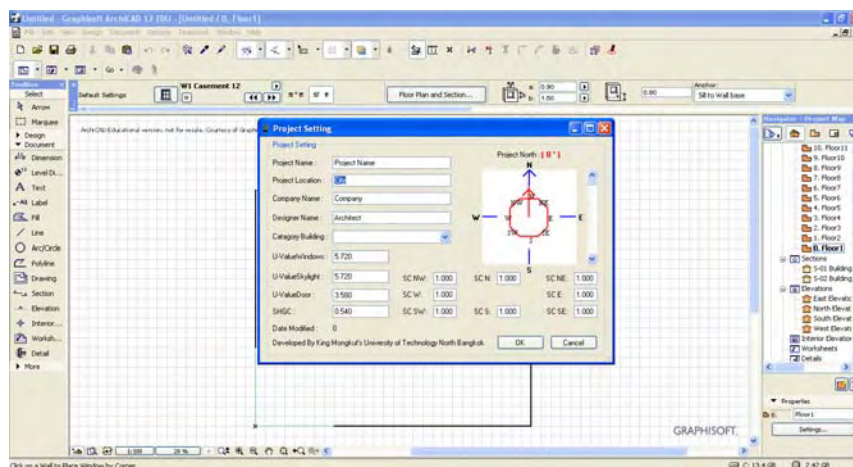


รูปที่ ก-9 ภาพหน้าจอของโปรแกรม ArchiCAD 12 แสดงตำแหน่งเพื่อเลือกใช้งานโปรแกรม Building Envelope Exporter



รูปที่ ก-10 ภาพหน้าจอของโปรแกรม Building Envelope Exporter แสดงส่วนของ Add-Ons ทำหน้าที่แสดงรายละเอียดโครงการเบื้องต้น

- เลือกปุ่ม Next ในโปรแกรม Building Envelope Exporter เพื่อแสดงโปรแกรม OTTV Calculator ดังรูปที่ ก-11 โดยมีขั้นตอนย่อยดังนี้



รูปที่ ก-11 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลโครงการและค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

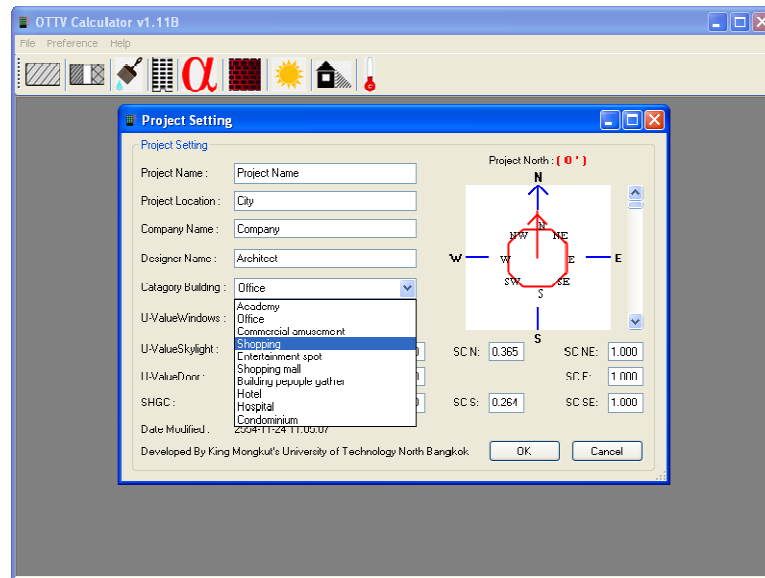
- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดรายละเอียดโครงการในหน้าต่าง Project Setting ของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงในรูปที่ ก-12 ดังนี้

เลือกประเภทของอาคารที่ช่อง Catagory Building

ค่า SC แต่ละทิศทาง ทั้ง 8 ทิศทาง

ค่าองศาระหว่าง Normal Vector กับทิศเหนือ

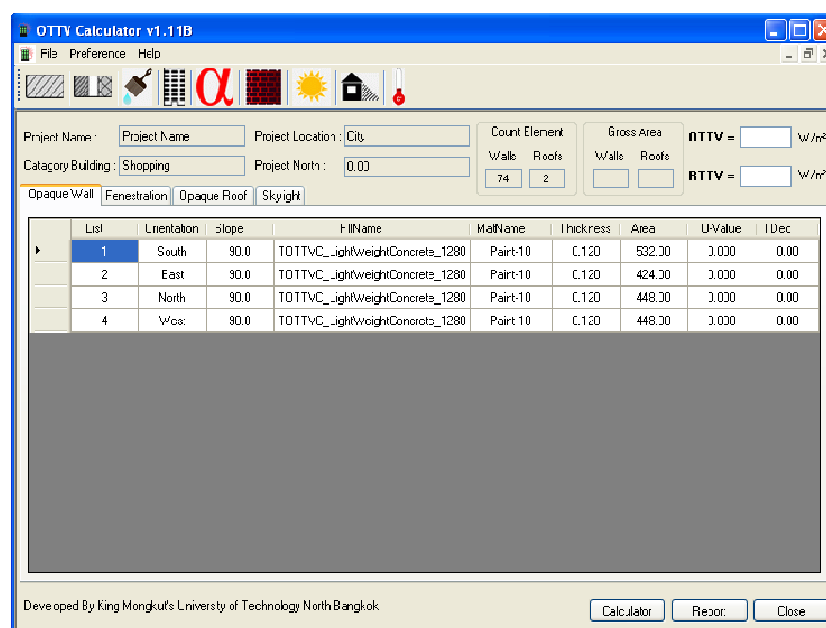
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังและหลังโปรงแสงและค่า SHGC



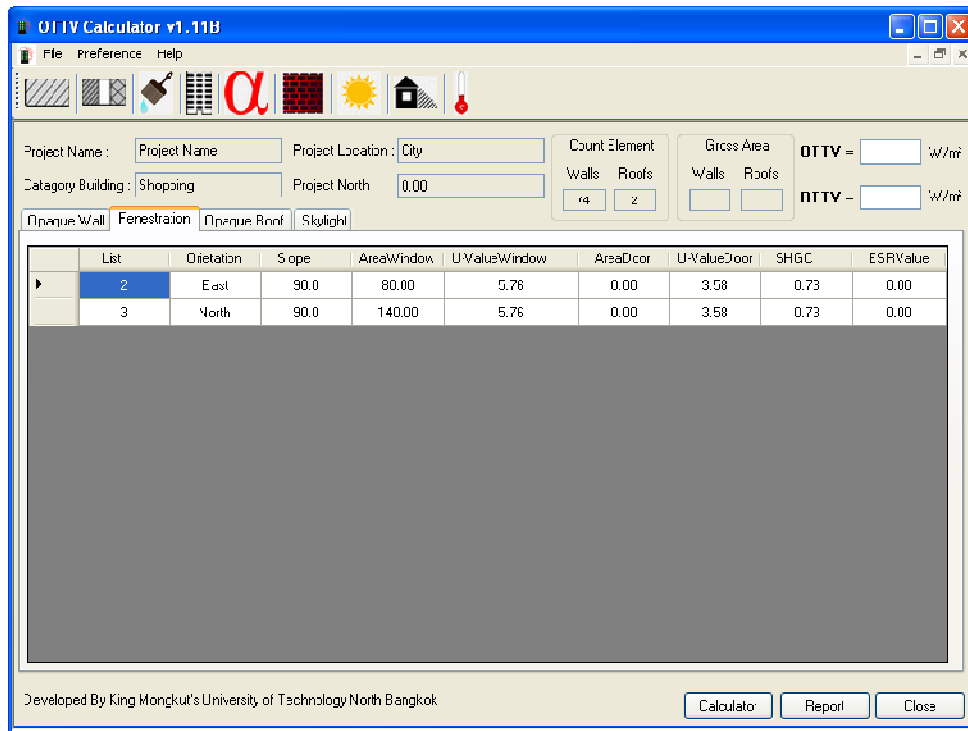
รูปที่ ก-12 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงหน้าต่าง Project Setting ในโปรแกรม OTTV Calculator

- ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบรายละเอียดองค์ประกอบอาคาร โดยการเลือกแท็บบนหน้าจอ ดังนี้

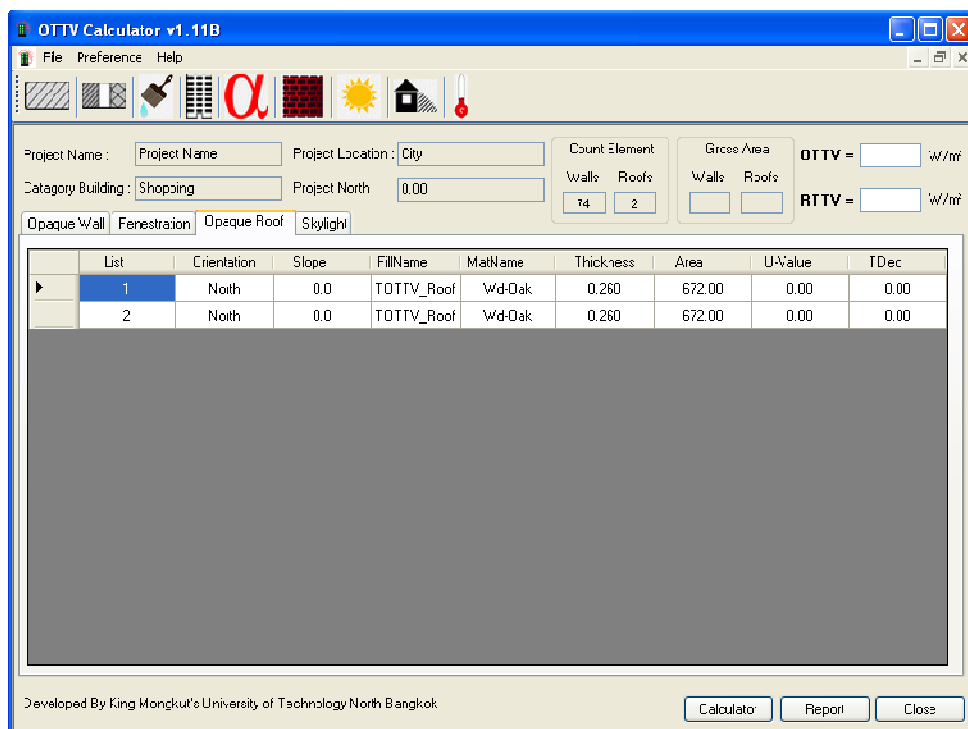
แท็บ Opaque Wall	แสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนของผนังทึบแสง	(ดังรูปที่ ก-13)
แท็บ Fenestration	แสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนของผนังโปร่งแสง	(ดังรูปที่ ก-14)
แท็บ Opaque Roof	แสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนของหลังคาทึบแสง	(ดังรูปที่ ก-15)
แท็บ Skylight	แสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนของหลังคาโปร่งแสง	(ดังรูปที่ ก-16)



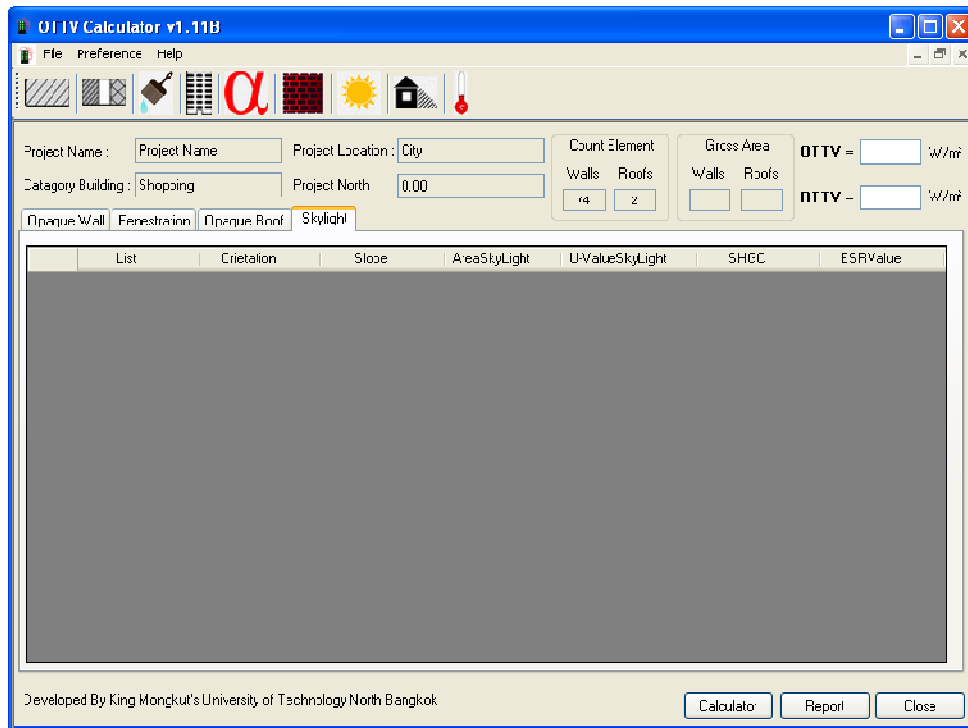
รูปที่ ก-13 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลของผนังทึบแสง



รูปที่ ก-14 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลของผนังโปร่งแสง

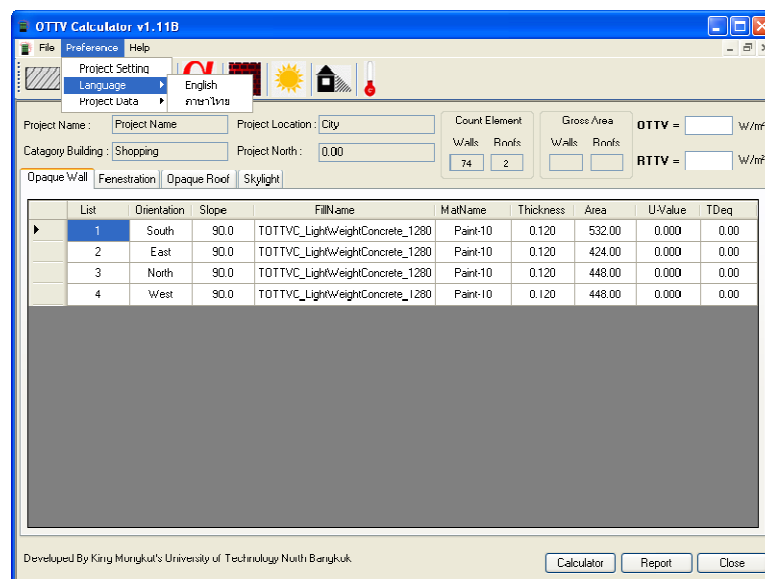


รูปที่ ก-15 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลของหลังคาทึบแสง



รูปที่ ก-16 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลของหลังคาโปร่งแสง

- ขั้นตอนที่ 3 การเลือกคำสั่งการแสดงผลการเปลี่ยนภาษาของโปรแกรม OTTV Calculator ดังรูปที่ ก-17
 - เลือกคำสั่ง Preference
 - เลือกคำสั่ง Language
 - เลือกคำสั่ง English หรือ ภาษาไทย



รูปที่ ก-17 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงการเปลี่ยนภาษาในเมนู

- ขั้นตอนที่ 4 การเลือกคำสั่งแสดงข้อมูลอ้างอิงของโปรแกรมในการคำนวณตามประกาศของโปรแกรม OTTV Calculator ดังรูปที่ ก-18

เลือกคำสั่ง Preference

เลือกคำสั่ง Project Data โดยมีคำสั่งย่อยดังนี้

คำสั่ง Base Materials แสดงรูปที่ ก-19

คำสั่ง Composite Materials แสดงรูปที่ ก-20

คำสั่ง Base Materials แสดงรูปที่ ก-21

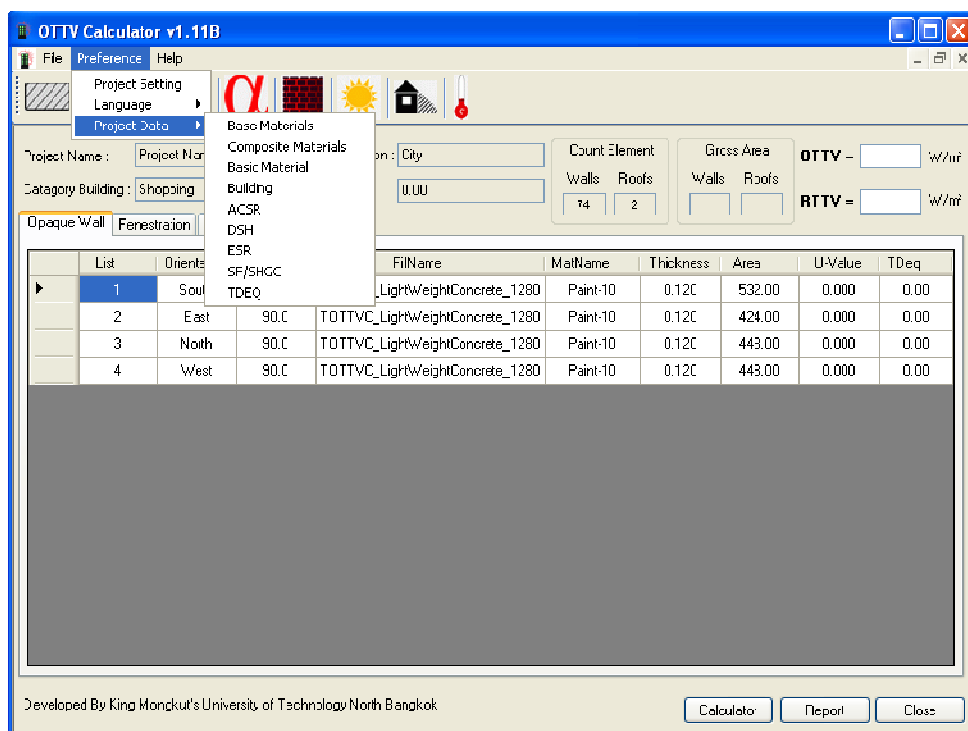
คำสั่ง Building แสดงรูปที่ ก-22

คำสั่ง ALFA แสดงรูปที่ ก-23

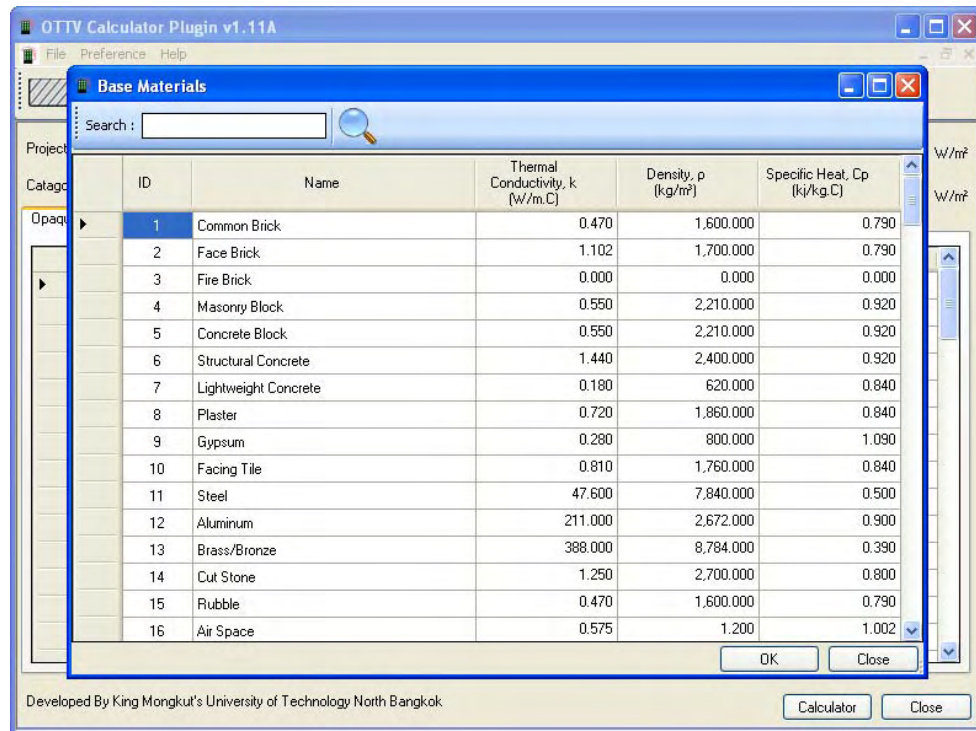
คำสั่ง DSH แสดงรูปที่ ก-24

คำสั่ง ESR แสดงรูปที่ ก-25

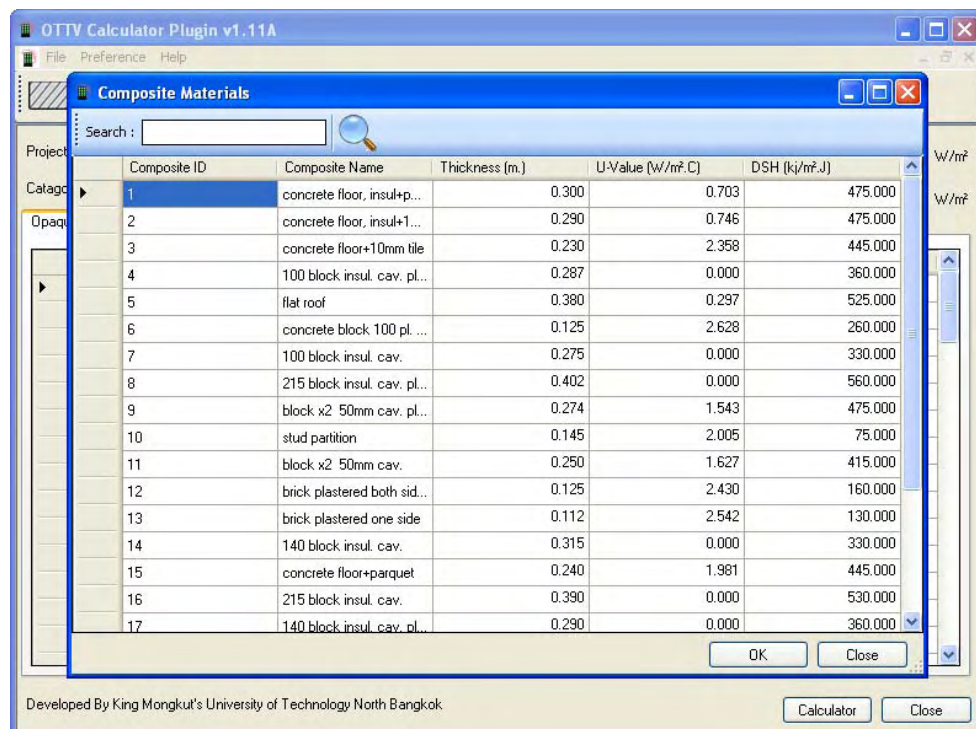
คำสั่ง TD_{eq} แสดงรูปที่ ก-26



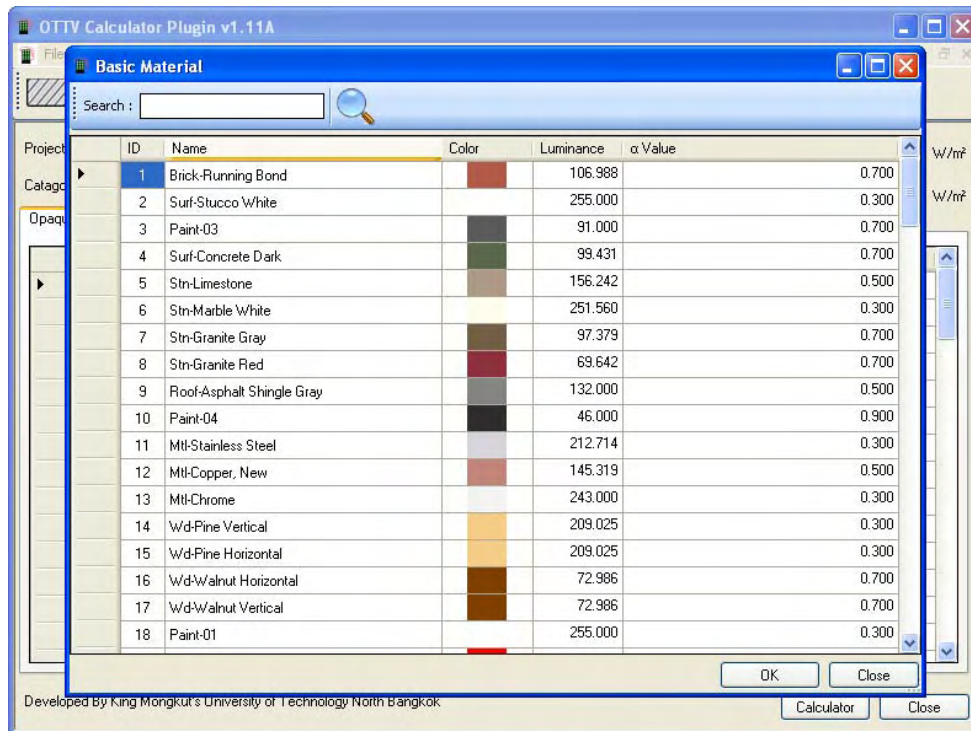
รูปที่ ก-18 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงข้อมูลอ้างอิงของโปรแกรมในการคำนวณตามประกาศ



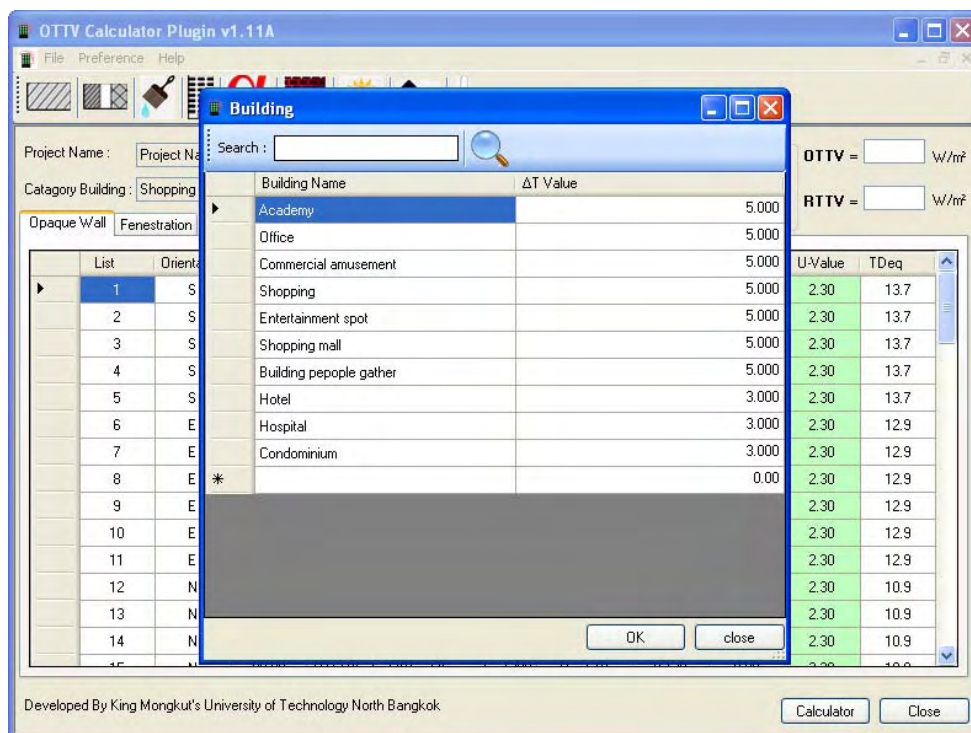
รูปที่ ก-19 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงค่าคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ



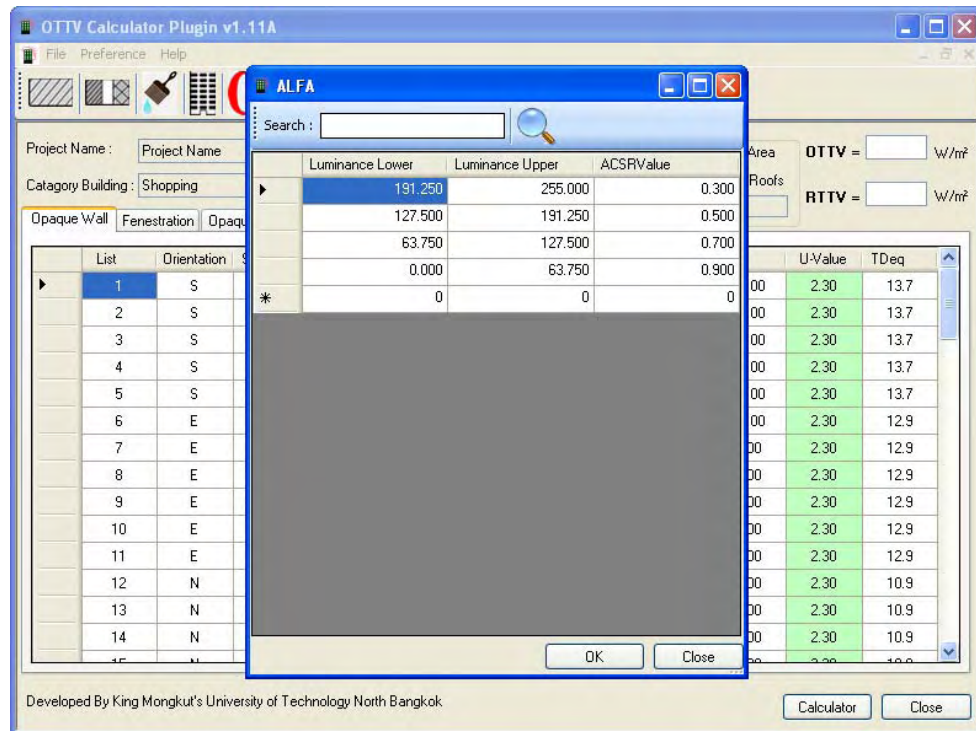
รูปที่ ก-20 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุประกอบ



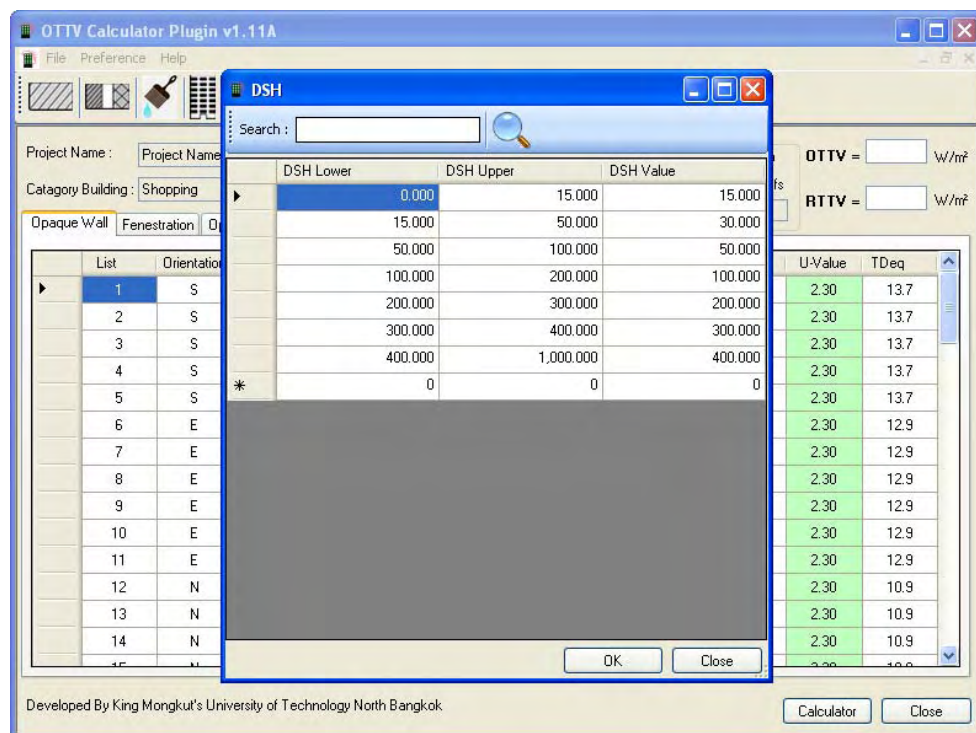
รูปที่ ก-21 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงค่าแอลฟา (α) ของสีพื้นผิวองค์ประกอบอาคาร



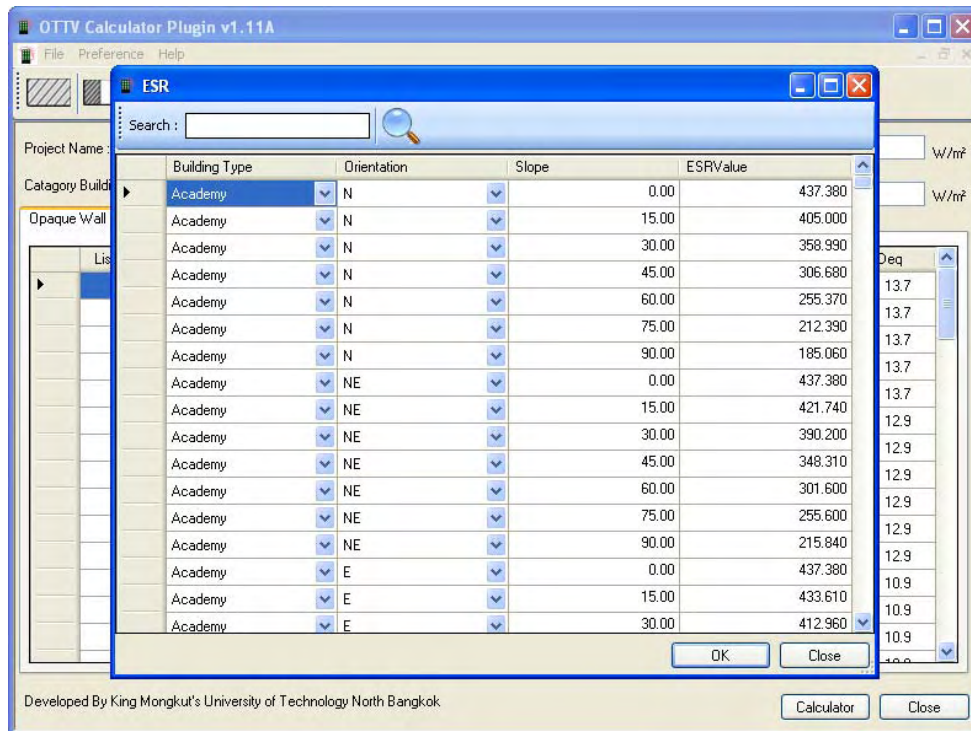
รูปที่ ก-22 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงค่า ΔT ของแต่ละประเภทอาคาร



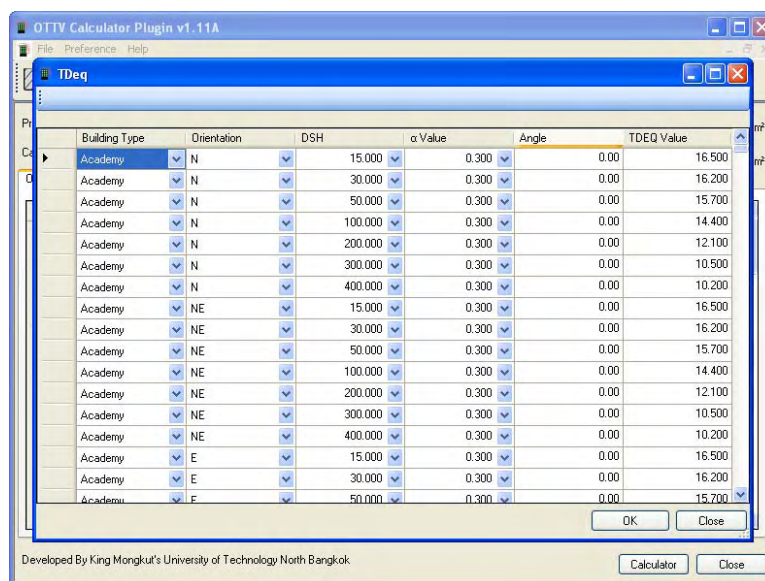
รูปที่ ก-23 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงช่วงค่าแอลฟา(α) เทียบกับค่าความเข้มของแสงสว่าง



รูปที่ ก-24 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงช่วงค่า DSH ในการอ้างอิงค่า TD_{eq}

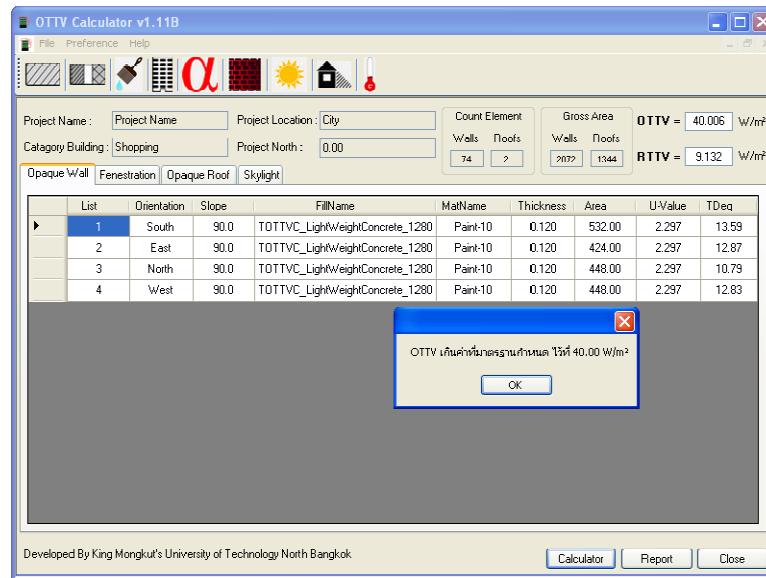


รูปที่ ก-25 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลในการหาค่า ESR

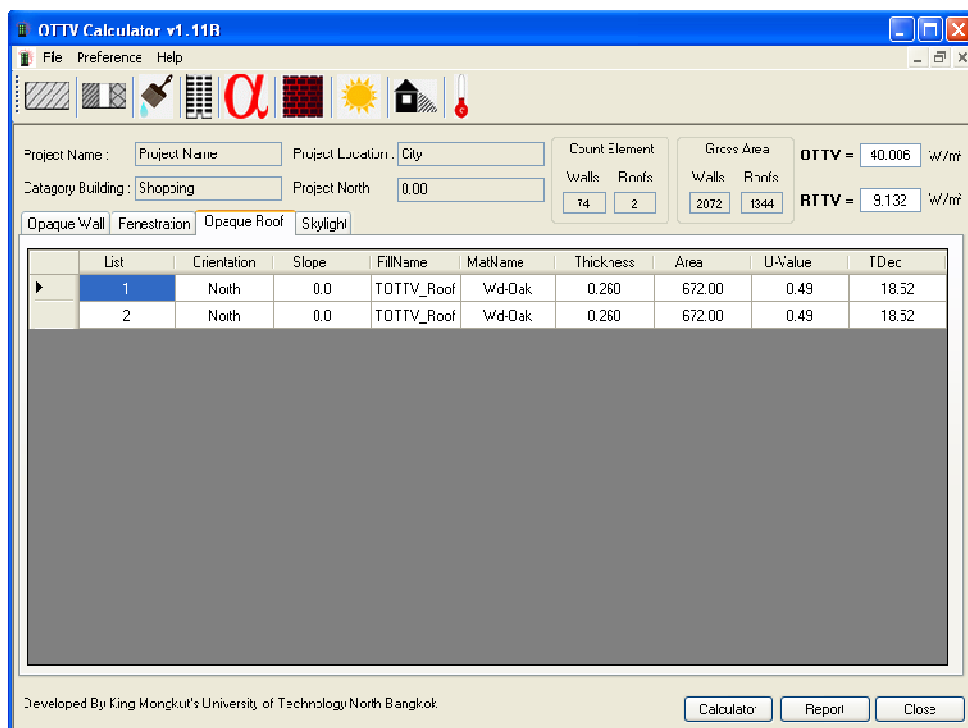


รูปที่ ก-26 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลในการหาค่า TD_{eq}

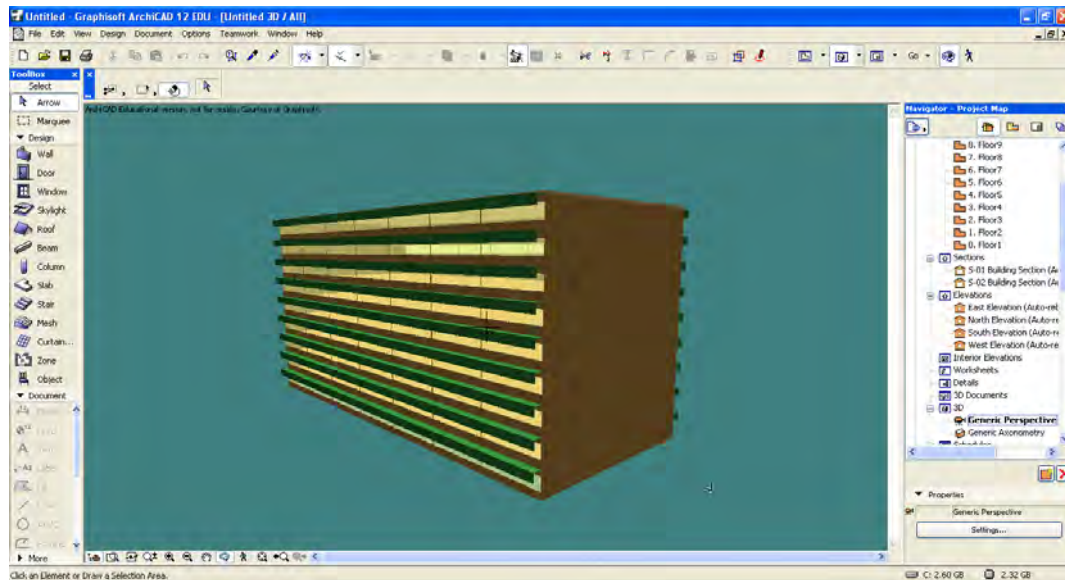
- ขั้นตอนที่ 5 เลือกคำสั่ง Calculator เพื่อแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของผนังภายนอกอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV) ค่า U-Value และค่า TD_{eq} โดยหากค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดก็จะแสดงหน้าต่างเตือนแสดงดังรูปที่ ก-27 และรูปที่ ก-28



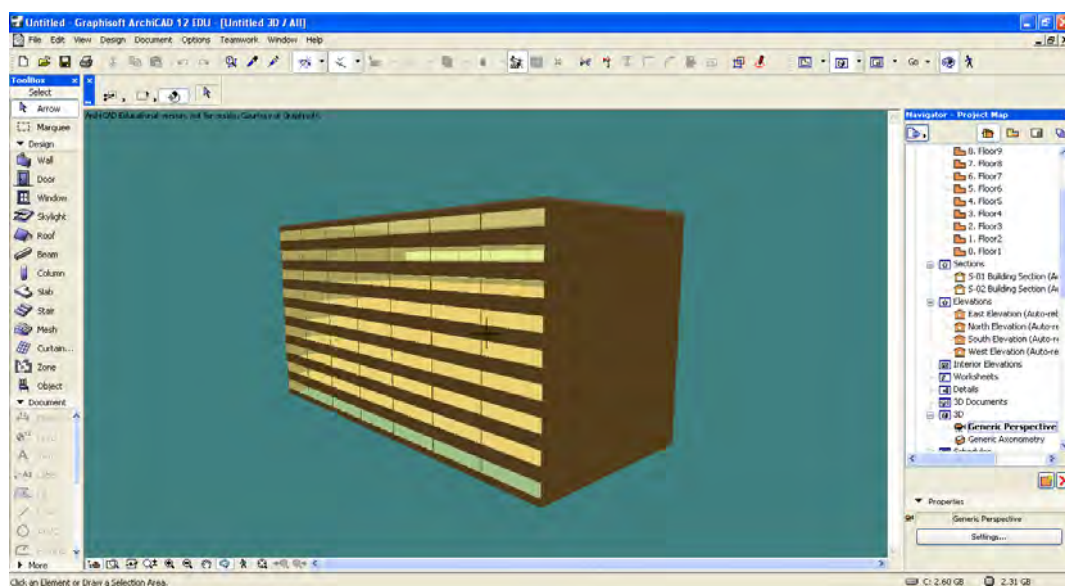
รูปที่ ก-27 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนของผนังที่บ่งแสงเพิ่มเติมค่า U-Value และค่า T_{Deq} ของผนังที่บ่งแสง และแสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคาร



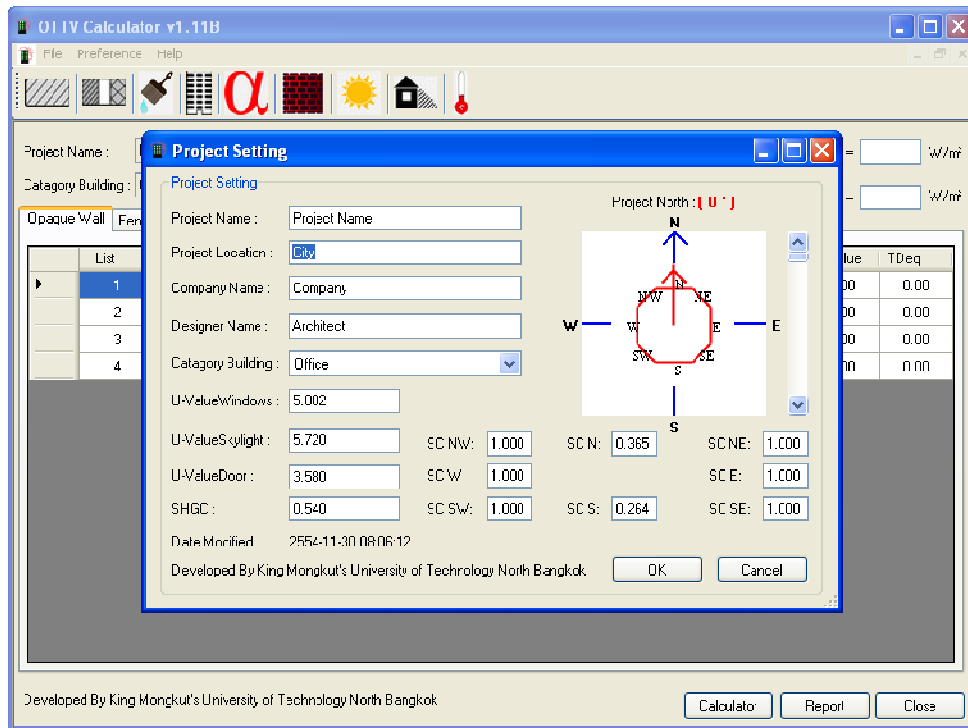
รูปที่ ก-28 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลส่วนของหลังคาที่บ่งแสงเพิ่มเติมค่า U-Value และค่า T_{Deq} ของผนังที่บ่งแสง และแสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคาร



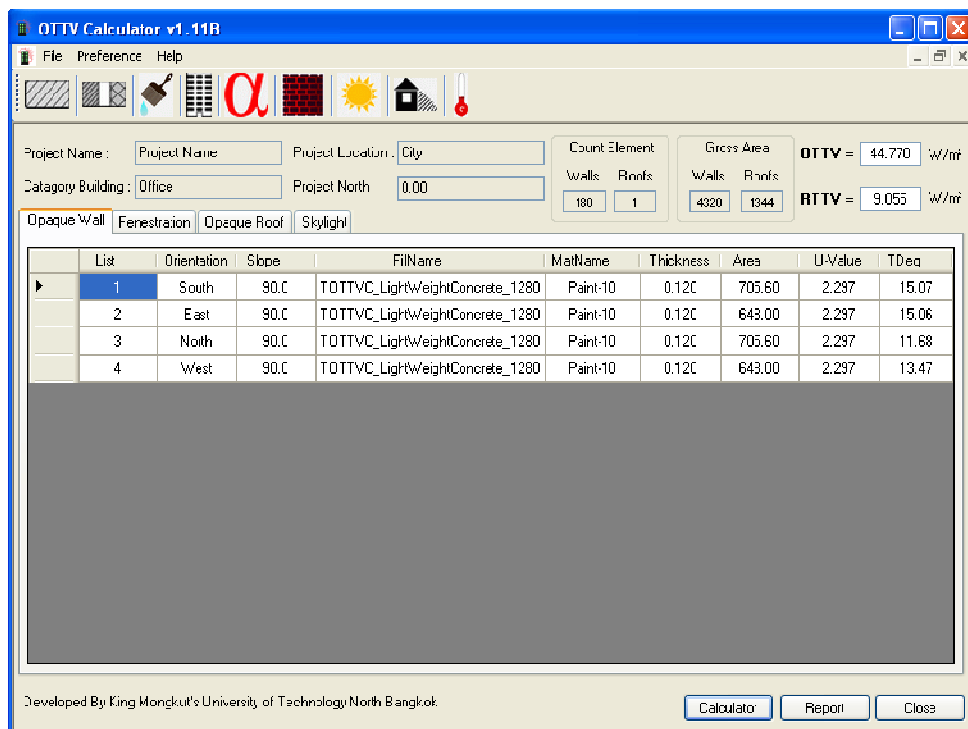
รูปที่ ก-29 ภาพหน้าจอของโปรแกรม ArchiCAD 12 แสดงโมเดลของอาคารมราอุปกรณ์บังแดด
ภายนอกอาคาร



รูปที่ ก-30 ภาพหน้าจอของโปรแกรม ArchiCAD 12 แสดงการปิดการมองเห็นอุปกรณ์บังแดด
ภายนอกก่อนทำการคำนวณค่า OTTV และ RTTV



รูปที่ ก-31 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดข้อมูลโครงการและสามารถกำหนดค่า SC ของอุปกรณ์บังแดดในแต่ละทิศทางได้บริเวณนี้



รูปที่ ก-32 ภาพหน้าจอของโปรแกรม OTTV Calculator แสดงรายละเอียดในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV เมื่ออาคารมีอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารได้