

การพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV)

ธรา จำเนียรดำรงการ¹

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน กระทรวงพลังงานได้จัดทำโปรแกรม Building Energy Code (BEC) เพื่อใช้ในการประเมินระบบกรอบอาคารโดยพิจารณาจากค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังและหลังคาอาคาร (OTTV-RTTV) ตามกฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 การประเมินระบบกรอบอาคาร (OTTV-RTTV) มีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะทำการก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร จำนวน 9 ประเภท ที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ในการตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ผู้ออกแบบต้องใช้เวลามากในการป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม BEC หากไม่ผ่านเกณฑ์ผู้ออกแบบต้องย้อนกลับไปแก้ไขแบบอาคาร ซึ่งทำให้เป็นการเสียเวลาในการทำงาน งานศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาโปรแกรมเสริม (Plugin) เพื่อประมาณค่า OTTV-RTTV จากแบบร่างจำลองสามมิติของโปรแกรม SketchUp ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สถาปนิกนิยมใช้ในการออกแบบอาคาร เพื่อช่วยให้สถาปนิกสามารถทราบค่า OTTV-RTTV ได้ตั้งแต่ขั้นตอนการทำแบบร่างอาคาร อันจะช่วยให้ประหยัดเวลาและมีเวลาพิจารณาทางเลือกในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานมากขึ้น

การพัฒนาโปรแกรมเสริมใช้พื้นฐานภาษาคอมพิวเตอร์ Ruby ร่วมกับ SketchUp Ruby API (Application Programming Interface) ในการสร้างชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรม SketchUp เพื่อรวบรวมข้อมูลจากแบบจำลองของโปรแกรม SketchUp เพื่อใช้ในการคำนวณค่า OTTV-RTTV ด้วยวิธีการตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552

ผลที่ได้จากการพัฒนาคือ โปรแกรมเสริมที่สามารถประมาณค่า OTTV-RTTV จากแบบจำลองสามมิติของโปรแกรม SketchUp ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนวัสดุ รูปทรง ทิศทางของแบบจำลอง และลักษณะของอุปกรณ์บังแดด และสามารถตรวจสอบค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังและหลังคาของอาคารจากตารางแสดงผลหรือแผนที่แสดงบนพื้นผิวของแบบจำลอง เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจปรับปรุงให้ระบบกรอบอาคารมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ดียิ่งขึ้น

การเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างโปรแกรมเสริมกับโปรแกรม BEC พบว่า การประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังหรือหลังคาที่บังแสงมีความคลาดเคลื่อนประมาณ $\pm 2.0\%$ ส่วนผนังหรือหลังคาโปร่งแสงในส่วนที่มีอุปกรณ์บังแดดจะมีความคลาดเคลื่อนสูงประมาณ -42.0% สาเหตุเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ค่า OTTV-RTTV ที่คำนวณได้จากโปรแกรมเสริมมีแนวโน้มที่สูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม BEC ดังนั้นแบบจำลองซึ่งผ่านเกณฑ์การประเมินของโปรแกรมเสริมจึงมีแนวโน้มที่จะผ่านเกณฑ์การประเมินค่า OTTV-RTTV ของโปรแกรม BEC ด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ : ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกอาคาร / ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร / OTTV / RTTV / โปรแกรม SketchUp / ภาษาโปรแกรม Ruby

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ความเป็นมาและความสำคัญของการพัฒนาโปรแกรม

ในปัจจุบัน กฎกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดให้การออกแบบก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร 9 ประเภท (สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุด อาคารชุมนุมคน อาคาร โรงมหรสพ อาคารโรงแรม อาคารสถานบริการ อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า) ที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบให้อยู่ภายใต้ หลักเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร เพื่อควบคุมการใช้พลังงานของอาคาร

หลักเกณฑ์ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในของอาคารมากที่สุดและเกี่ยวข้องโดยตรงกับสถาปนิก คือ หลักเกณฑ์ระบบรอบอาคาร ซึ่งได้มีการกำหนดเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร หรือ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) และค่าการถ่ายเท ความร้อนรวมของหลังคาอาคาร หรือ Roof Thermal Transfer Value (RTTV) โดยคิดเฉพาะในส่วนที่มีการปรับอากาศ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบรอบอาคาร ในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ตารางที่ 1 เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกและหลังคาอาคาร ในส่วนที่มีการปรับอากาศ ในแต่ละประเภทของอาคาร

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	50	15
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40	12
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30	10

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กำหนดวิธีการตรวจประเมินอาคารให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์การออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร หรือโปรแกรม Building Energy Code Software (BEC) ในการตรวจประเมินอาคาร

ในการตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ด้วยโปรแกรม BEC ผู้ออกแบบจะต้องใช้เวลามากในการคำนวณหาพื้นที่ผิวของอาคารในส่วนที่ปรับอากาศทั้งหมด เพื่อนำไปป้อนค่าลงในโปรแกรม BEC การตรวจสอบดังกล่าวมักจะนิยมทำในขั้นตอนท้ายๆ ของการออกแบบ หากค่าที่ได้จากการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์ ผู้ออกแบบจะต้องย้อนกลับไปทำการแก้ไขแบบใหม่

เมื่อพิจารณาวิธีการออกแบบของสถาปนิกในปัจจุบัน ที่มักนิยมทำแบบร่างในกระดาษ และนำแบบร่างไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อทำการตรวจสอบรูปทรงของอาคาร (ตำแหน่งพื้นที่ใช้สอย ขนาด ระยะสัดส่วน) ทิศทางการวางตัวอาคาร พื้นที่ช่องเปิดของอาคาร รวมไปถึงการกำหนดพื้นที่ผิววัสดุให้กับวัสดุในแบบจำลอง โดยโปรแกรมที่สถาปนิกนิยมใช้งานในการเริ่มต้นพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติ คือ โปรแกรม SketchUp ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมเสริม หรือที่เรียกว่า Plugin ที่ใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง 3 มิติ ใน

SketchUp มาใช้ในการประมาณค่า OTTV-RTTV ของอาคารได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยให้สถาปนิกสามารถปรับเปลี่ยนแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานได้ตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดไว้

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาโปรแกรมเสริมสำหรับโปรแกรม SketchUp เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่า OTTV-RTTV จากแบบจำลองอาคารสามมิติของโปรแกรม SketchUp และแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังและหลังคาของอาคารด้วยเฉดสีผ่าน Surface ของแบบจำลองเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าดังกล่าวและช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถทดลองปรับเปลี่ยนรูปทรงอาคาร ขนาดช่องเปิด ทิศทางการวางตัวอาคาร และออกแบบอุปกรณ์บังแดด เพื่อปรับปรุงให้ระบบกรอบอาคารมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ดียิ่งขึ้น

วิธีการดำเนินการพัฒนาโปรแกรม

1. ศึกษาวิธีการคำนวณค่า OTTV-RTTV

หลักการคำนวณค่า OTTV-RTTV ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ หลักการคำนวณจาก ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 (ออกตามความใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550) โดยการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (OTTV_i) สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ OTTV_i = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (วัตต์/ตร.ม.) (W/m²)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

(วัตต์/ตร.ม.-องศาเซลเซียส) (W/(m². °C))

WWR = อัตราส่วนของพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (ไม่มีหน่วย)

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (องศาเซลเซียส) (°C)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก

(วัตต์/ตร.ม.-องศาเซลเซียส) (W/(m². °C))

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร(องศาเซลเซียส) (°C)

SHGC = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก (ไม่มีหน่วย)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (ไม่มีหน่วย)

ESR = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง (วัตต์/ตร.ม.) (W/m²)

สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทั้งอาคาร (OTTV) สามารถหาได้จากสมการ

$$OTTV = \frac{\sum_{i=0}^n [(A_{wi})(OTTV_i)]}{\sum_{i=0}^n (A_{wi})} \quad \text{สมการที่ 2}$$

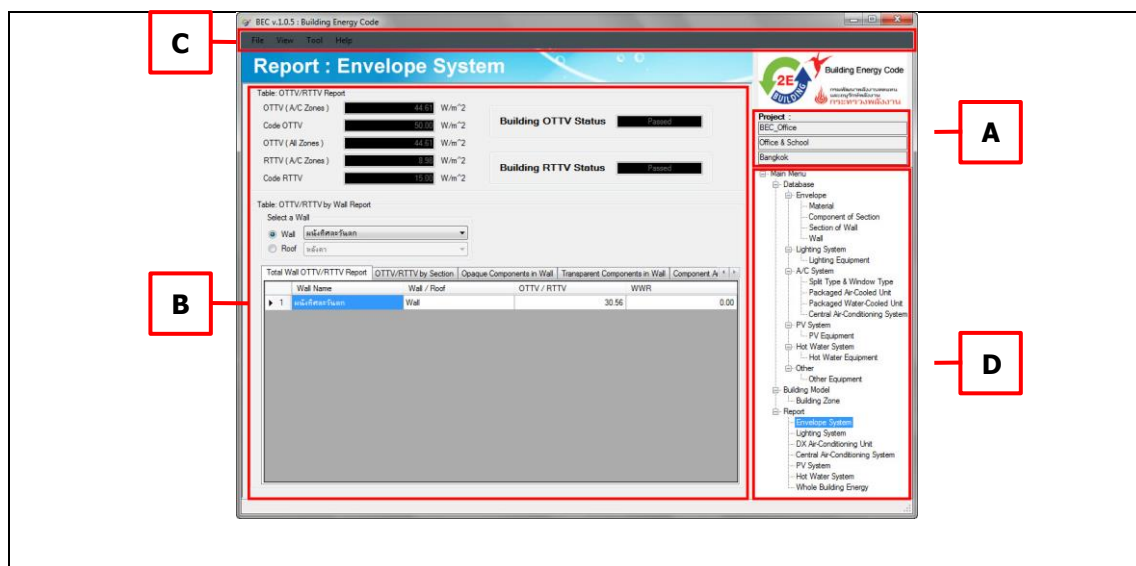
เมื่อ A_{wi} = พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง หรือ ผนังโปร่งแสง (ตร.ม.) (m^2)

สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาด้านที่พิจารณา (RTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทั้งอาคาร (RTTV) มีวิธีการคำนวณคล้ายคลึงกับค่า OTTV_i และ OTTV

จากการศึกษาตัวแปรในสมการที่ 1 พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบแสงของผนังด้านที่พิจารณาสามารถหาได้จากพจน์ที่ 1 และค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งแสงของผนังด้านที่พิจารณาสามารถหาได้จากพจน์ที่ 2 และพจน์ที่ 3 นอกจากนั้นจะสังเกตได้ว่าในทุกๆ พจน์ของสมการจะมีตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถรวบรวมได้จากแบบจำลอง 3 มิติ ของโปรแกรม SketchUp

2. การศึกษาโปรแกรม BEC

กฎหมายได้กำหนดวิธีการตรวจประเมินค่า OTTV-RTTV ของอาคารด้วยการใช้ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม BEC ซึ่งถูกพัฒนาเพื่อใช้สำหรับการตรวจประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร โดยใช้หลักการคำนวณตามสมการที่ 1 และสมการที่ 2 โดยผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดรายละเอียดของโครงการ ชนิดวัสดุ ขนาดพื้นที่ กำหนดโซนพื้นที่ใช้สอย และป้อนค่าลงในโปรแกรม BEC เพื่อทำการประมวลผล ดังตัวอย่างตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของโปรแกรม BEC

ก ส่วนแสดงสถานะ (A)

ข ส่วนแสดงผล (B)

ค เมนูบาร์ (C)

ง เมนูหลัก (D)

Table: OTTV/RTTV Report

OTTV (A/C Zones)	41.59	W/m ²
Code OTTV	40.00	W/m ²
OTTV (All Zones)	41.59	W/m ²
RTTV	9.16	W/m ²
Code RTTV	12.00	W/m ²

Building OTTV Status: Failed

Building RTTV Status: Passed

Table: OTTV/RTTV by Wall Report

Select a Wall:
☒ Wall ผนังทิศ E/N
☐ Roof ผนังทิศ H

Total Wall OTTV/RTTV Report		OTTV/RTTV by Section	Opaque Components in Wall	Transparent Components in Wall
Wall Name	Wall / Roof	OTTV / RTTV		
1 ผนังทิศ E/N	Wall	80.82		

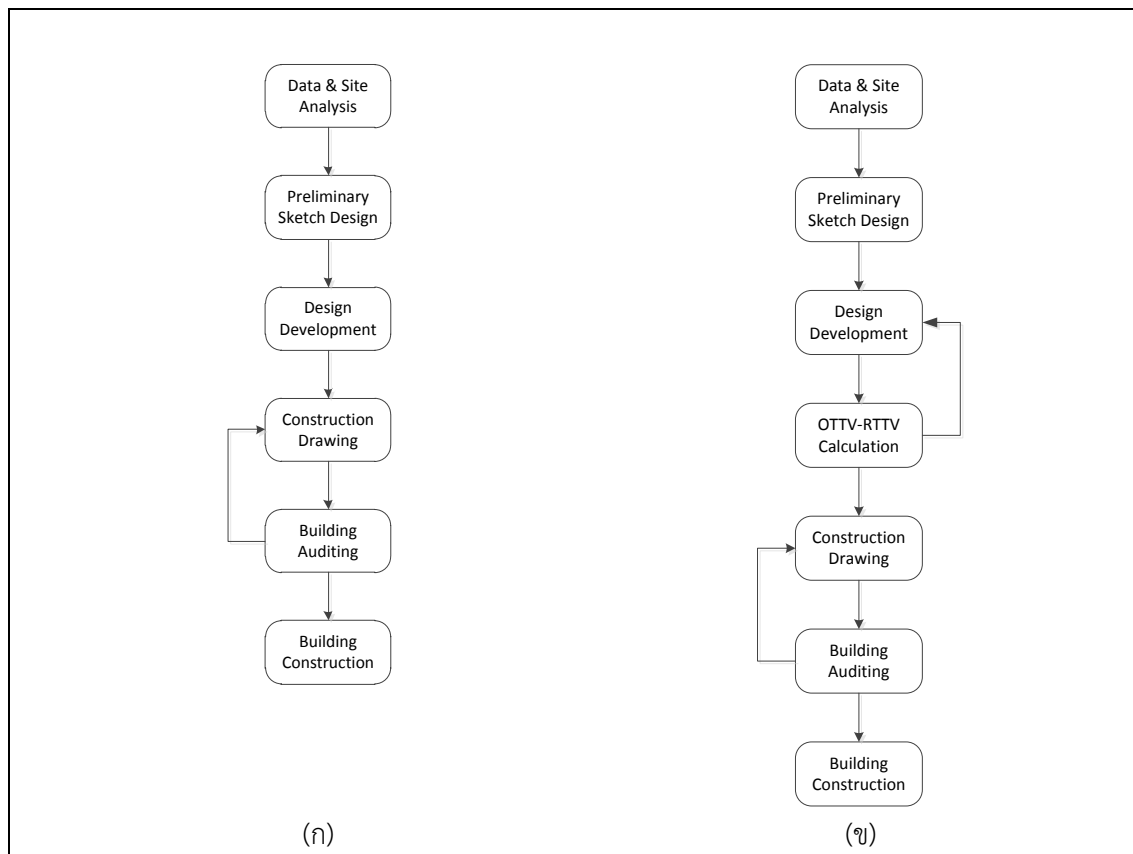
ภาพที่ 2 ส่วนแสดงผลค่า OTTV-RTTV ของโปรแกรม BEC

ในการทดลองใช้งานโปรแกรม BEC พบข้อจำกัด คือ ในแต่ละโครงการที่ผู้ใช้งานสร้างขึ้น สามารถกำหนด Building Type ได้เพียงประเภทเดียวเท่านั้น เพราะฉะนั้นในกรณีที่ใน 1 Project มีอาคารมากกว่า 1 ประเภท หรือเป็นอาคารแบบผสม จะต้องทำการแยก Project เป็น 2 Project หรือตามจำนวน Building Type และในส่วนของการคำนวณค่า SC ของหน้าต่าง 1 ชุด สามารถระบุจำนวนของอุปกรณ์บังแดดได้ไม่เกิน 10 ชิ้นเท่านั้น

3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม BEC เพื่อการออกแบบของสถาปนิก

ในการใช้งานโปรแกรม BEC เพื่อตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ของอาคาร ผู้ออกแบบจะต้องใช้เวลาในการคำนวณหาพื้นที่ผิวของอาคารทั้งหมดเพื่อนำไปป้อนค่าลงในโปรแกรม BEC การตรวจสอบดังกล่าวมักทำในขั้นตอนท้ายๆ ของการออกแบบ เพื่อให้ได้ค่า OTTV-RTTV ที่ใกล้เคียงกับค่า OTTV-RTTV สุดท้ายที่ต้องนำไปใช้ในการตรวจประเมิน หากค่าที่ได้จากการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์ ผู้ออกแบบจะต้องย้อนกลับไปทำการแก้ไขแบบใหม่ ซึ่งพบว่าการใช้งานโปรแกรม BEC เพื่อตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ของแบบอาคาร เป็นการเพิ่มขั้นตอนการทำงานและใช้เวลาในการออกแบบของสถาปนิกมากขึ้น ตามแผนผังใน

ภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังขั้นตอนการออกแบบอาคารของสถาปนิก

ก แผนผังขั้นตอนการออกแบบอาคารของสถาปนิก

ข แผนผังขั้นตอนการออกแบบอาคารเมื่อมีการคำนวณค่า OTTV-RTTV

4. การเลือกเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม

เมื่อศึกษาขั้นตอนการทำ Preliminary Sketch Design และ Design Development ของสถาปนิกในปัจจุบัน พบว่า ในขั้นตอน Preliminary Sketch Design หลังจากสถาปนิกร่างแบบในกระดาษแล้ว มักจะนำแบบร่างนั้นมาทำการขึ้นแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม SketchUp ดังนั้นผู้วิจัยจึงอาศัยแบบร่าง 3 มิติ จากโปรแกรม SketchUp ทำการสร้างเครื่องมือ หรือโปรแกรมเสริม เพื่อช่วยในการรวบรวมข้อมูลพื้นที่ และ ประเมินค่าพลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคารได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

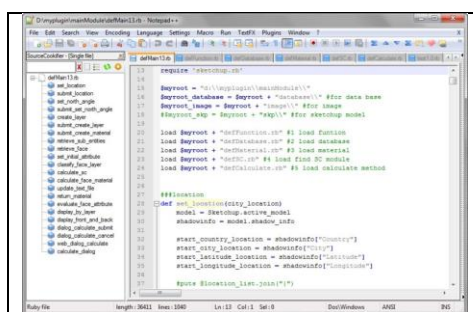


ภาพที่ 4 การสร้างแบบจำลองสามมิติจากแบบร่างขั้นต้นของโปรแกรม SketchUp

การพัฒนาโปรแกรมเสริม หรือ Plugin เพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นที่จากแบบจำลอง 3 มิติ และข้อมูลที่เป็นในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน ผู้วิจัยใช้วิธีเขียนสคริปต์ (ซอร์สโค้ด หรือคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมโปรแกรมในรูปแบบ Text File) เพื่อการควบคุมการทำงานของโปรแกรม SketchUp ผ่าน SketchUp Ruby API (Application Programming Interface) ที่ติดตั้ง (Embedded) อยู่ในโปรแกรม SketchUp โดยใช้พื้นฐานของภาษา Ruby ซึ่งเป็นภาษา Object Oriented Programming ในลักษณะ Interpreter (แปลและแสดงผลทีละบรรทัด)

การเขียนสคริปต์เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม SketchUp ได้ใช้โปรแกรม Notepad++ ซึ่งเป็นโปรแกรม Text Editor ที่มีความสามารถในการสนับสนุนการทำงานที่เอื้ออำนวยต่อการเขียนหรือแก้ไขสคริปต์ซึ่งประกอบด้วยซอร์สโค้ดที่มีความสลับซับซ้อน ยกตัวอย่าง การเน้นคำด้วยเฉดสีในซอร์สโค้ด การย่อหรือซ่อนบรรทัดของซอร์สโค้ด การเปิดและแสดงเอกสารหลายไฟล์พร้อมกัน หรือการค้นหาหรือการแทนที่คำในซอร์สโค้ดเอกสารหลายไฟล์พร้อมกัน เป็นต้น

เพื่อให้โปรแกรมเสริมที่พัฒนาขึ้นมีผลการคำนวณที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากโปรแกรม BEC มากที่สุด ข้อมูลของวัสดุพื้นฐานที่นำมาใช้เป็นฐานข้อมูลวัสดุสำหรับการพัฒนาโปรแกรมเสริม ได้ใช้ข้อมูลที่ได้มาจากโปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.5 รวบรวมสร้างเป็นไฟล์ Spread Sheet เพื่อความสะดวกในการแก้ไขและนำไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมเสริม



ภาพที่ 5 โปรแกรม Text Editor ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมเสริม (Notepad++)

5. ความสามารถของโปรแกรม

ในการพัฒนาโปรแกรมเสริม ผู้วิจัยได้กำหนดความสามารถของโปรแกรมเสริมเพื่อช่วยในกระบวนการออกแบบอาคารดังนี้

1. ผู้ใช้งานสามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม SketchUp และทดลองปรับเปลี่ยนรูปทรงอาคาร ขนาดอุปกรณ์บังแดด ขนาดช่องเปิดของอาคาร และทิศทางของอาคาร โดยโปรแกรมเสริมจะคำนวณค่า OTTV-RTTV ของอาคารให้ได้อย่างรวดเร็ว

2. ผู้ใช้งานที่มีแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างในโปรแกรม SketchUp เดิมอยู่แล้ว สามารถนำไฟล์ดังกล่าวมาคำนวณค่า OTTV-RTTV ได้

3. ผู้ใช้งานสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) จากแบบจำลอง 3 มิติ โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องจำนวนของอุปกรณ์บังแดด พร้อมทั้งสามารถทดลองออกแบบและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บังแดดเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบังแดดที่ดีขึ้น

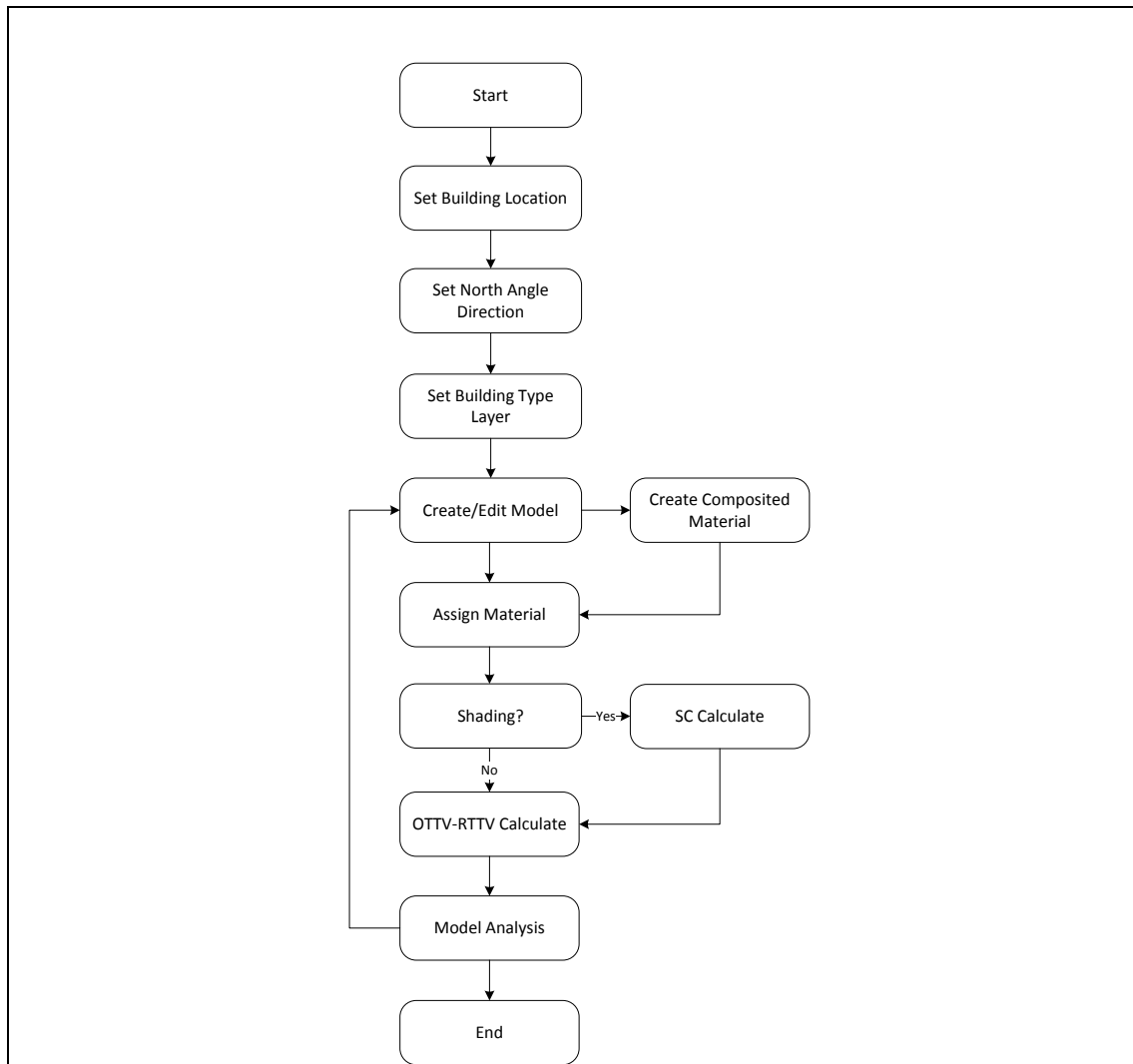
4. ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ในรูปแบบการแสดงผลค่า OTTV-RTTV แบบโดยรวมของอาคารในลักษณะตารางเพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ตามเกณฑ์การประเมินอาคาร พร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณตามเกณฑ์ผ่านแบบจำลองเพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบ แก้ไข ทดลองปรับเปลี่ยนทิศทางหรือวัสดุได้อย่างสะดวก

5. ผู้ใช้งานสามารถทดลองปรับเปลี่ยนชนิดวัสดุของผนังหรือหลังคา (Face) ด้วยข้อมูลวัสดุเดียวกันกับโปรแกรม BEC และสามารถตรวจสอบค่าการถ่ายเทความร้อน จำนวนพื้นที่ และราคาต่อตารางเมตรของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุเพื่อปรับปรุงค่า OTTV-RTTV ของอาคาร

6. กระบวนการพัฒนาโปรแกรม

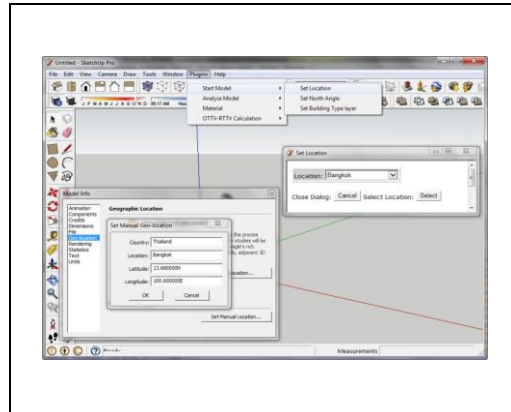
ในการพัฒนาโปรแกรมเสริมได้วางแผนผังการทำงานของโปรแกรมเสริมดังภาพที่ 6 เพื่อกำหนดขั้นตอนและทิศทางการทำงานของโปรแกรมเสริมก่อนการเขียนสคริปต์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดที่ตั้งของแบบจำลอง
2. การกำหนดทิศเหนือของแบบจำลอง
3. การกำหนดเลย์เออร์สำหรับแยกวัตถุตามประเภทการใช้งานของอาคาร
4. การสร้างวัสดุและกำหนดวัสดุให้กับแบบจำลอง
5. การคำนวณค่า SC
6. การคำนวณค่า OTTV-RTTV และการแสดงผลการคำนวณ



ภาพที่ 6 แผนผังการทำงานของโปรแกรมเสริม

6.1 การกำหนดที่ตั้งของแบบจำลอง จะทำโดยใช้ฟังก์ชัน Set Location ผู้ใช้งานสามารถเลือกตำแหน่งที่ตั้งผ่านชื่อจังหวัด และกำหนดค่า TZOffset, Country, Location, Latitude และ Longitude เพื่อเป็นการกำหนดค่า Geographic Location ของโปรแกรม SketchUp ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการสร้างเงาหรือโซลาร์เวกเตอร์เพื่อคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

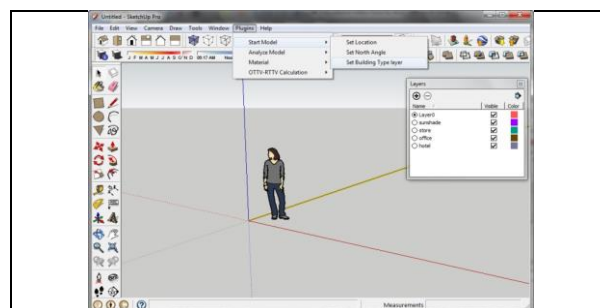


ภาพที่ 7 การกำหนดที่ตั้งของแบบจำลองด้วยฟังก์ชัน Set Location

6.2 การกำหนดทิศเหนือของแบบจำลอง จะกำหนดโดยใช้ฟังก์ชัน Set North Angle เป็นฟังก์ชันที่จะสั่งให้โปรแกรม SketchUp แสดงแกนทิศเหนือโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ทราบทิศทางของการสร้างแบบจำลอง ให้มีทิศทางตรงกับความเป็นจริง เพื่อความถูกต้องในการระบุทิศของผนังหรือหลังคา (Face)

6.3 การกำหนดเลเยอร์สำหรับแยกวัตถุตามประเภทการใช้งานของอาคาร จะกำหนดโดยใช้ฟังก์ชัน Create Building Type Layer จากข้อจำกัดของโปรแกรม BEC ที่จำเป็นต้องแยกไฟล์ของโครงการตามประเภทการใช้งานอาคาร เมื่ออาคารมีประเภทหรือลักษณะการใช้สอยมากกว่า 1 ประเภท ในการพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อให้การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ สามารถเห็นภาพรวมทั้งหมดของโครงการโดยไม่ต้องแยกแบบจำลองออกเป็นหลายไฟล์จะใช้วิธีแยกเลเยอร์ประเภทของการใช้งานอาคารออกเป็น 3 เลเยอร์ ตามเกณฑ์การประเมินที่แยกประเภทการใช้สอยอาคารออกเป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 1 การกำหนดเลเยอร์ให้กับแบบจำลอง 3 มิติ จะช่วยในการจำแนกประเภทของลักษณะการใช้งานอาคาร และกำหนดตัวแปรที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งานของอาคารตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงพลังงาน โดยมีการแบ่งเลเยอร์ดังนี้

1. เลเยอร์ office สำหรับ สำนักงาน สถานศึกษา
2. เลเยอร์ store สำหรับ ห้างสรรพสินค้า สถานบริการ โรงแรม
3. เลเยอร์ hotel สำหรับ โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด

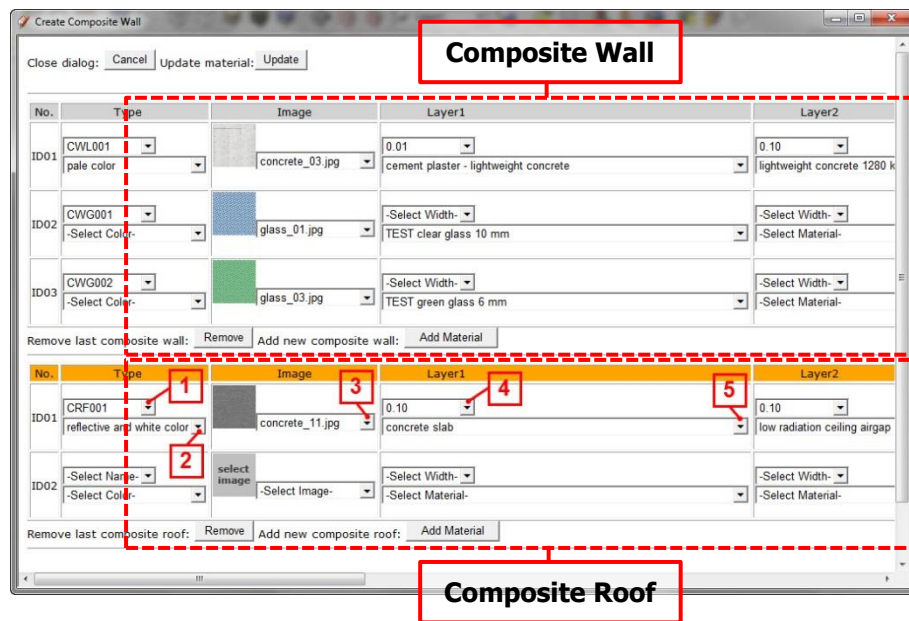


ภาพที่ 8 การกำหนดเลเยอร์สำหรับแยกวัตถุตามประเภทการใช้งานของอาคารด้วย ฟังก์ชัน Set Building Type Layer

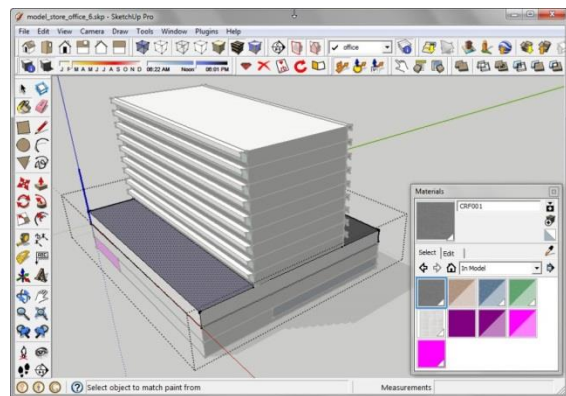
6.4 การสร้างวัสดุและกำหนดวัสดุให้กับแบบจำลอง จะใช้ฟังก์ชัน Create Custom Material การสร้างวัสดุผสม (Composite Materials) ด้วยโปรแกรมเสริมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้เป็น Material แทนวัสดุของผนังหรือหลังคาในโปรแกรม SketchUp ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม BEC ก็คือการสร้างส่วนประกอบของผนังทึบแสงและผนังโปร่งแสง หรือ Component of Section สามารถสร้างได้โดยใช้เมนู Plugins > Material > Custom Material โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วัสดุผสมสำหรับผนัง (Composite Wall) และวัสดุผสมสำหรับหลังคา (Composite Roof) ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มหรือลดจำนวนวัสดุผสมได้ด้วยการคลิกที่ปุ่ม Add Material หรือ Remove (การลบจะเป็นการลบวัสดุผสมที่อยู่ในลำดับล่างสุดของแต่ละชนิด)

การสร้างวัสดุผสม (Composite Materials) สามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกชนิดที่จะนำไปใช้เป็นชื่อของวัสดุในแบบจำลอง
 - 1.1 CWL001 – CWL015 (Composite Wall) แทนวัสดุผสมที่เป็นผนังทึบแสง
 - 1.2 CWG001 – CWG005 (Composite Wall-Glass) แทนวัสดุผนังที่เป็นกระจก
 - 1.3 CRF001 – CRF015 (Composite Roof) แทนวัสดุผสมที่เป็นหลังคาทึบแสง
 - 1.4 CRG001 – CRG005 (Composite Roof-Glass) แทนวัสดุหลังคาที่เป็นกระจก
2. เลือกสีของวัสดุ (กรณีที่เป็นกระจก ไม่จำเป็นต้องเลือก)
3. เลือกภาพที่จะใช้แทนวัสดุในแบบจำลอง
4. เลือกความหนาของวัสดุผสมทีละชั้น (กรณีที่เป็นกระจก ไม่ต้องกำหนดความหนา)
5. เลือกสร้างวัสดุผสมทีละชั้น (Layer 1-5) (กรณีที่เป็นกระจก ให้ผู้ใช้งานเลือกกำหนดวัสดุที่เป็นกระจกในเลเยอร์ที่ 1 เพียงเลเยอร์เดียว เลเยอร์ที่ 2-5 จะไม่มีผลใดๆ เกิดขึ้น)



(ก)

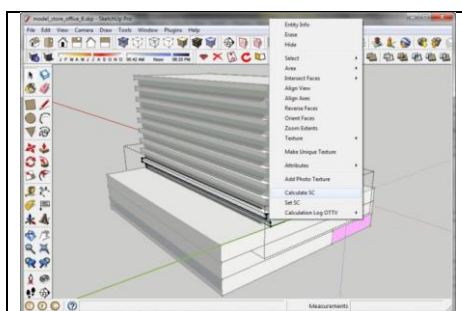


(๗)

ภาพที่ 9 การสร้างวัสดุและกำหนดวัสดุให้กับแบบจำลอง

ก ขั้นตอนการสร้างวัสดุผสม ข กำหนดวัสดุให้กับแบบจำลอง

6.5 การคำนวณค่า SC จะคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน Find SC จากความสลับซับซ้อนของอัลกอริทึมที่ต้องใช้ในการหาค่า SC ผู้วิจัยใช้วิธีการแยกคำนวณค่า SC และเก็บค่าดังกล่าวไว้ใน Attribute ของ Face จากนั้นจึงเรียกใช้ค่าดังกล่าวเมื่อทำการคำนวณค่า OTTV-RTTV โดยใช้วิธีการแยกทำการคำนวณค่า SC ครั้งละ 1 Face โดยให้ผู้ใช้งานเรียกใช้งานฟังก์ชันคำนวณค่า SC ผ่าน Context Menu ซึ่ง Context Menu จะปรากฏขึ้นเมื่อผู้ใช้คลิกขวาบน Face ที่มีการกำหนดวัสดุที่เป็น Composite Wall Glass และ Composite Roof Glass เท่านั้น หลังจากทำการคำนวณค่า SC ของ Face ค่าดังกล่าวจะถูกเก็บค่าไว้ในลักษณะของ Attribute ของ Face



ภาพที่ 10 การคำนวณค่า SC

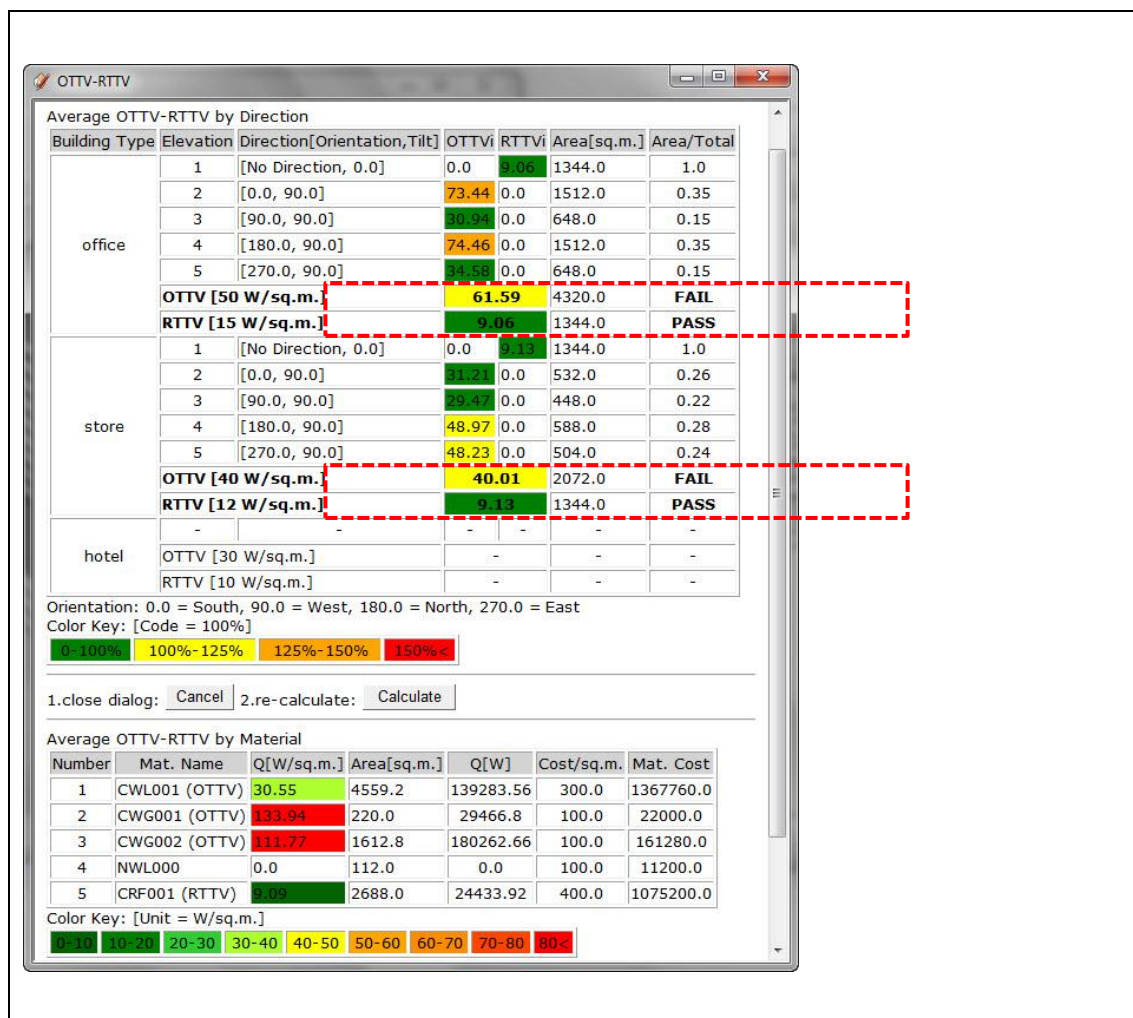
สำหรับกรณีอาคารที่มีประเภทการใช้งานเหมือนกัน มีลักษณะช่องเปิดที่ซ้ำกัน ใช้วัสดุกระจกและอุปกรณ์บังแดดแบบเดียวกัน และหันไปในทิศทางเดียวกัน ค่า SC ที่คำนวณได้นั้นจะมีค่าเท่ากัน เพื่อที่จะลดเวลาในการคำนวณค่า SC ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาฟังก์ชันให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่า Attribute SC ของ Face ที่เป็นกระจกได้โดยตรง ด้วยการให้ผู้ใช้งานป้อนค่า Attribute SC ให้กับ Face โดยการคลิกขวาผ่าน Context Menu

6.6 การคำนวณค่า OTTV-RTTV และการแสดงผลการคำนวณ จะคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน Calculate OTTV-RTTV จะเป็นฟังก์ชันสำหรับการคำนวณค่า OTTV-RTTV เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชันดังกล่าว โปรแกรมเสริมจะแสดง Web Dialog ขึ้นมา เมื่อผู้ใช้งานคลิกที่ปุ่ม Calculate เมื่อทราบผลของการคำนวณแล้ว ผู้ใช้งานสามารถปิด Web Dialog หรือทำการย่อไว้ก็ได้ หลังจากทำการแก้ไขแบบจำลองหรือทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุ ให้ผู้ใช้งานคลิกที่ปุ่ม Calculate อีกครั้ง โปรแกรมเสริมจะทำการคำนวณและแสดงผลใหม่อีกครั้ง

การแสดงผลการคำนวณแบบตาราง โปรแกรมเสริมจะทำการคำนวณค่า OTTV-RTTV และแสดงผล 2 ลักษณะ ดัง

ภาพที่ 11 คือ

1. ค่าการถ่ายเทร้อนของผนังและหลังคาของอาคาร
 - 1.1 ค่า OTTV_i-RTTV_i เฉลี่ยต่อตารางเมตรตามทิศทาง (Orientation) และมุมเอียง (Tilt)
 - 1.2 ค่า OTTV-RTTV รวมของอาคารแยกตามประเภทการใช้สอยอาคาร
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยต่อตารางเมตรของวัสดุประกอบแต่ละชนิด



ภาพที่ 11 หน้าแสดงผลค่า OTTV-RTTV

หมายเหตุ เส้นประสีแดงแสดงผลค่า OTTV-RTTV รวมของแบบจำลองเทียบกับเกณฑ์ประเมินของกฎหมาย, เฉดสีของค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง/หลังคาเฉลี่ยต่อตารางเมตรตามทิศทางจะไม่มีผลต่อการประเมินตามกฎหมาย

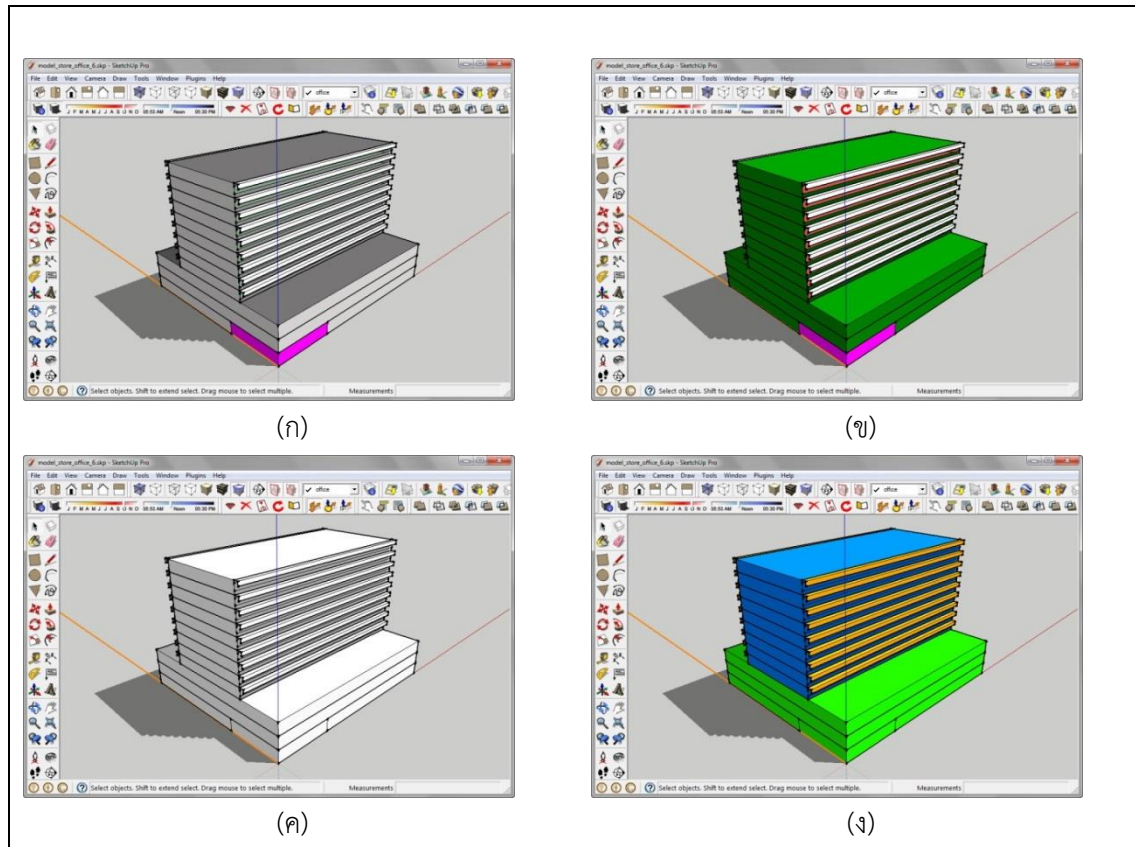
การแสดงผลการคำนวณผ่านแบบจำลอง จะทำโดยใช้ฟังก์ชัน Display OTTV-RTTV in Color เป็นฟังก์ชันเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่า OTTV-RTTV ของวัสดุที่ถูกกำหนดลงบน Face ว่าวัสดุดังกล่าวมีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่าใด โดยแบ่งเป็นเฉดสีแยกตามค่า OTTV-RTTV ดังนี้

- 1.(■) Green หมายถึง ผ่านเกณฑ์การประเมิน
- 2.(■) Yellow หมายถึง ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ ตั้งแต่ 0-25%
- 3.(■) Orange หมายถึง ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ ตั้งแต่ 25-50%
- 4.(■) Red คือ หมายถึง ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป

เมื่อผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชัน Display OTTV-RTTV in Color ฟังก์ชันจะทำการตรวจสอบค่า OTTV หรือ RTTV ของวัสดุบน Face ว่าผ่านเกณฑ์หรือไม่ และทำการแสดงผลด้วยเฉดสี โดยการกำหนด Colors Materials ให้กับด้านหน้าของ Face ตามสีที่กำหนดไว้ โดยใช้วิธีย้ายวัสดุด้านหน้าของ Face ไปพักไว้ที่ด้านหลังของ Face เมื่อผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชันดังกล่าวอีกครั้ง โปรแกรมเสริมจะนำ Material จากด้านหลังของ Face มากำหนดลงบนด้านหน้าเช่นเดิม และทำการเปลี่ยน Material ด้านหลังของ Face ให้กลายเป็น Default Material ดั้งเดิม

การแสดงผล Front/Back Face จะทำโดยใช้ฟังก์ชัน Display Front/Back Face เป็นฟังก์ชันเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบว่าการกำหนด Material ลงบนเฉพาะด้านหน้าของ Face ว่าถูกต้องหรือไม่ เพราะ Material ที่ถูกกำหนดลงบนด้านหลังของ Face จะไม่ถูกนำมาคำนวณ โดยฟังก์ชัน Display Front/Back Face จะทำการสลับโหมดการแสดงผลของวัตถุไป-มาระหว่างโหมดการแสดงผลใดๆ กับโหมดการแสดงผลแบบ Monochrome ซึ่งจะแสดงสีของ Face ทั้งหมดด้วย Default Material เท่านั้น

การแสดงผลเลเยอร์ของวัตถุ จะทำโดยใช้ฟังก์ชัน Display by Layer เป็นฟังก์ชันเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบเลเยอร์ของประเภทการใช้งานอาคาร ว่าวัตถุหรือ Face ของแบบจำลอง 3 มิติ ที่ถูกสร้างขึ้นภายในโปรแกรม SketchUp นั้น อยู่ในเลเยอร์ของประเภทการใช้ตรวจสอบอาคารที่ถูกต้องหรือไม่ โดยเมื่อเลือกฟังก์ชัน Display by Layer ฟังก์ชันจะทำการสลับโหมดการแสดงผลของวัตถุไป-มาระหว่างโหมดใดๆ ก็ตาม กับโหมดการแสดงผลของวัตถุด้วยสีของเลเยอร์



ภาพที่ 12 การตรวจสอบแบบจำลองจากเมนู Analyze Model

ก แบบจำลองปกติ Shaded with Textures

ข Display OTTV-RTTV in Color

ค Display Front/Back Face

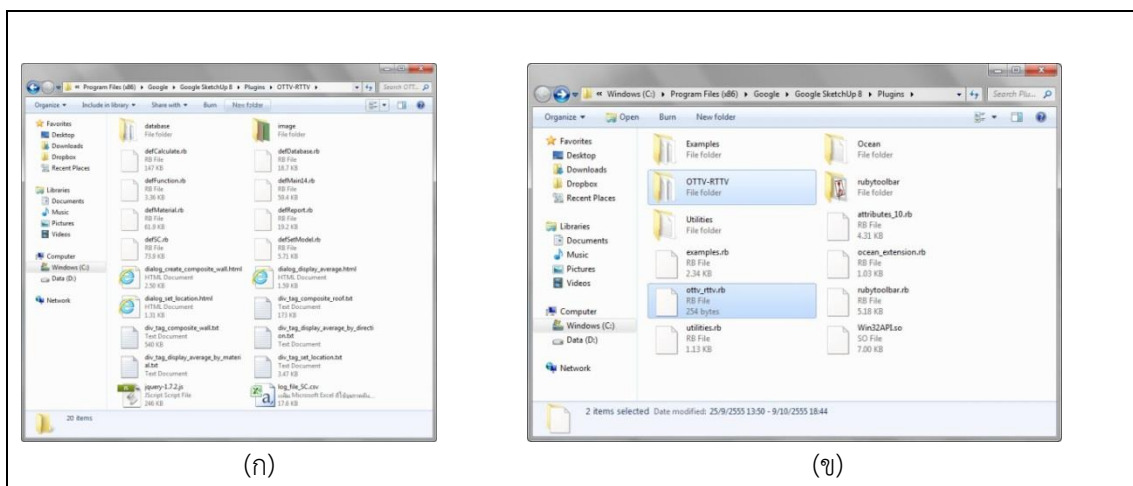
ง Display by Layer

ผลการพัฒนาโปรแกรม

1. การติดตั้งโปรแกรมเสริม

การติดตั้งโปรแกรมเสริมจะต้องทำการติดตั้งลงในโฟลเดอร์ Plugins ของโปรแกรม SketchUp ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการติดตั้งโปรแกรม SketchUp เวอร์ชัน 8 ขึ้นไป โดยสามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://sketchup.google.com/download/>

การติดตั้งให้ทำการคัดลอกไฟล์ ottv-rttv.rb และโฟลเดอร์ OTTV-RTTV ไปวางไว้ที่ C:\Program Files\Google\Google SketchUp\Plugins เมื่อผู้ใช้งานเปิดใช้งานโปรแกรม SketchUp จะมีเมนูหลักที่ชื่อ “Plugin” เพิ่มขึ้นมา ซึ่งการเรียกใช้โปรแกรมเสริม OTTV-RTTV จะอยู่ในเมนูดังกล่าว

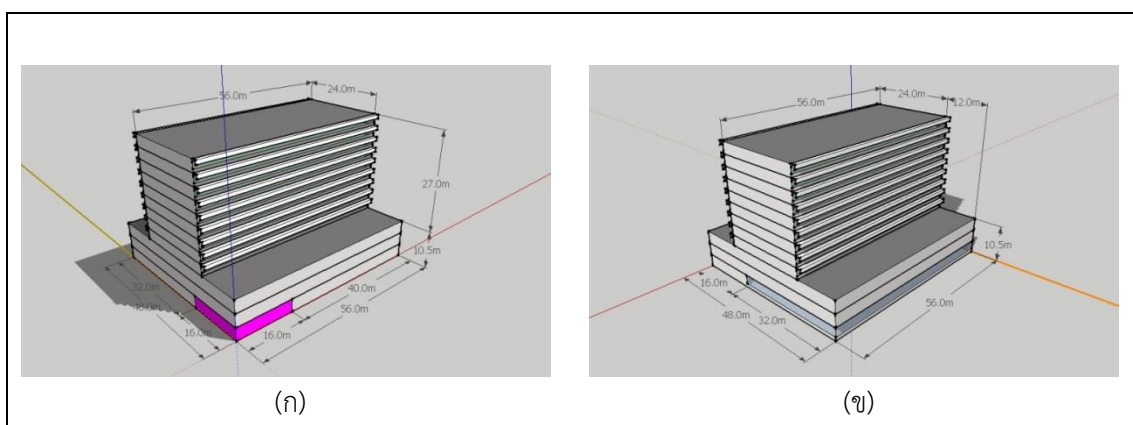


ภาพที่ 13 โครงสร้างไฟล์และการติดตั้งโปรแกรมเสริม

ก โครงสร้างไฟล์ OTTV-RTTV ข การติดตั้งโปรแกรมเสริม

2. การตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณ

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณค่า OTTV-RTTV ของโปรแกรมเสริมที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของอาคารตัวอย่างจากคู่มือเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง 2552 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้โปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.5 โดยอาคารตัวอย่างเป็นอาคารสูง 12 ชั้น ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ห้างสรรพสินค้า (ชั้นที่ 1-3) และพื้นที่สำนักงาน (ชั้นที่ 4-12) มีลักษณะดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แบบจำลองอาคารตัวอย่าง

ก มิติอาคารด้านทิศใต้-ตะวันตก

ข มิติอาคารด้านทิศเหนือ-ตะวันออก

เมื่อนำผลการคำนวณค่า OTTV-RTTV ที่ได้จากโปรแกรมเสริมที่ทำการพัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากโปรแกรม BEC จะมีความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม BEC และโปรแกรมเสริมที่พัฒนา

ค่า	ประเภท	รายละเอียด	South	West	North	East	Avg.
OTTV	ห้างสรรพสินค้า	by BEC	31.32	29.63	48.96	48.40	40.12
		by Plugin	31.21	29.47	48.97	48.23	40.01
		ผลต่าง (W/m^2)	0.11	0.16	-0.01	-0.23	0.11
		ผลต่าง (%)	0.35	0.54	-0.02	-0.47	0.27
	สำนักงาน	SC (by BEC)	0.2635	-	0.3650	-	-
		SC (by Plugin)	0.5402	-	0.8678	-	-
		ผลต่าง	-0.2767	-	-0.5028	-	-
		ผลต่าง (%)	-105.00	-	-137.75	-	-
		by BEC	52.04	30.56	47.56	34.47	44.61
		by Plugin	73.44	30.94	74.46	34.58	61.56
		ผลต่าง (W/m^2)	-21.4	-0.38	-26.9	-0.11	-16.95
		ผลต่าง (%)	-41.12	-1.24	-42.11	-0.32	-37.99
RTTV	ห้างสรรพสินค้า	by BEC	9.16				
		by Plugin	9.13				
		ผลต่าง (W/m^2)	0.03				
		ผลต่าง (%)	0.33				
	สำนักงาน	by BEC	8.96				
		by Plugin	9.06				
		ผลต่าง (W/m^2)	-0.1				
		ผลต่าง (%)	-1.12				

หมายเหตุ ผลต่าง (W/m^2) = (Value by BEC) - (Value by Plugin)

ผลต่าง (%) = (ความแตกต่าง * 100) / (Value by BEC)

ผลต่าง (%) ของค่า OTTV ของอาคารห้างสรรพสินค้า จะมีผลต่างอยู่ประมาณ $\pm 1.0\%$ สาเหตุมาจากขั้นตอนการหาค่า Tdeq จากฐานข้อมูลด้วยการประมาณค่าเชิงเส้นตรง (linear Interpolation) และจำนวนจุดทศนิยมที่ใช้ในการคำนวณ

ผลต่าง (%) ของค่า OTTV ของอาคารสำนักงาน ในส่วนของผนังด้านซึ่งไม่มีช่องเปิด (ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก) จะมีผลต่างอยู่ที่ประมาณ $\pm 2.0\%$ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุเช่นเดียวกันกับผลต่างค่า OTTV ของ

อาคารห้างสรรพสินค้า แต่สำหรับผลต่างของค่า OTTV ของผนังในด้านที่มีช่องเปิดและอุปกรณ์บังแดด จะอยู่ที่ประมาณ -43.0% ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากความคลาดเคลื่อนของค่า SC

สำหรับผลต่าง (%) ของค่า RTTV ทั้งในส่วนอาคารห้างสรรพสินค้าและสำนักงาน จะมีผลต่างอยู่ประมาณ $\pm 2.0\%$ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุเช่นเดียวกันกับผลต่างของค่า OTTV ของผนังด้านที่ไม่มีช่องเปิด ทั้งในอาคารห้างสรรพสินค้าและอาคารสำนักงาน

ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากผลต่างของค่า SC ในส่วนของผนังอาคารที่มีช่องเปิดที่มีอุปกรณ์บังแดดของโปรแกรมเสริมซึ่งส่งผลให้ค่า OTTV-RTTV ของผนังหรือหลังคาที่มีช่องเปิดและการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดมีค่าที่สูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม BEC ดังนั้นแบบจำลองที่ผ่านเกณฑ์การประเมินค่า OTTV-RTTV ของโปรแกรมเสริมจึงมีแนวโน้มที่จะผ่านเกณฑ์การตรวจประเมินโดยใช้โปรแกรม BEC ด้วยเช่นกัน

สรุปผลการพัฒนาโปรแกรมและข้อเสนอแนะ

1. ผลการพัฒนาโปรแกรมเสริม

การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อประมาณค่า OTTV-RTTV จากแบบจำลอง 3 มิติ ของโปรแกรม SketchUp ด้วยการเขียนสคริปต์ เพื่อการควบคุมการทำงานของโปรแกรม SketchUp ผ่าน SketchUp Ruby API ซึ่งติดตั้งอยู่ในโปรแกรม SketchUp โดยใช้พื้นฐานของภาษา Ruby ได้ทำการพัฒนาโดยใช้วิธีการคำนวณตามที่กฎหมายกำหนด โดยอาศัยของข้อมูลพื้นที่ วัสดุ และทิศทางของ Face ในแบบจำลอง 3 มิติ ของโปรแกรม SketchUp มาใช้ในการคำนวณ

ผลที่ได้จากการพัฒนา คือ โปรแกรมเสริมสำหรับโปรแกรม SketchUp ที่ช่วยให้สถาปนิกผู้ออกแบบอาคารสามารถตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของค่า OTTV-RTTV ได้อย่างรวดเร็ว และได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม BEC และยังสามารถทดลองปรับเปลี่ยนตำแหน่ง ทิศทาง และวัสดุที่ใช้ ตามความต้องการได้อย่างรวดเร็ว อันจะช่วยให้นักออกแบบประหยัดเวลา และมีเวลาในการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานมากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาโปรแกรมเสริมเพื่อให้สามารถคำนวณค่า SC ได้รวดเร็วขึ้น และสามารถคำนวณค่า SC ของอุปกรณ์บังแดดได้พร้อมกันหลายชุด

2. เนื่องจากการตรวจประเมินประสิทธิภาพอาคารตามเกณฑ์กฎกระทรวงยังจะต้องยึดตามผลการประเมินของโปรแกรม BEC ซึ่งเป็นโปรแกรมที่กระทรวงฯ ให้การรับรอง ดังนั้นจึงควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถส่งโอนข้อมูลของแบบจำลองในโปรแกรม SketchUp ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเปิดไฟล์ข้อมูลได้ในโปรแกรม BEC เพื่อลดระยะเวลาในการป้อนข้อมูลของอาคารทั้งหมดในโปรแกรม BEC

3. ค่า TDeq บางค่าในประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 ยกตัวอย่างเช่น ค่า TDeq ของอาคารห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ (หน้า 21) ที่มีค่า Solar Absorptance = 0.9 และมีค่า DSH = 50 และ DSH = 200 จะมีค่า TDeq เท่ากับ 25.3 และ 26.0 ตามลำดับ แต่พบว่าที่ค่า DSH = 100 กลับมีค่า TDeq = 100 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่น่าจะถูกต้อง ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรพิจารณาแก้ไขในส่วนนี้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

“พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่ 124, ตอนที่ 84 ก (4 ธันวาคม 2550).

“กฎกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการ ออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่ 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์ 2552).

“ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้ พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552.” **ราชกิจจานุเบกษา** เล่มที่ 126, ตอนพิเศษ 122 ง (28 สิงหาคม 2552).

กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. **คู่มือ – เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพ พลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง.** 2552. (อัสสำเนา)

กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. โครงการส่งเสริมและกำกับอาคารอนุรักษ์ พลังงานในอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจประเมินอาคารที่จะ ก่อสร้างหรือดัดแปลงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย.** 2552. (เอกสารอิเล็กทรอนิกส์)

บริษัท เอเบิล คอนซัลแตนท์ จำกัด. **คู่มือ การใช้งานโปรแกรม BEC (Building Energy Code).** 2552. (เอกสารอิเล็กทรอนิกส์)

จักรสิน น้อยไธวุฒิ. การประยุกต์หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนในชุมชนเมือง. เข้าถึงเมื่อ 14 พฤษภาคม 2556. เข้าถึงได้จาก

<http://www.ejournal.su.ac.th/journalinfo.php?id=40>

พันธุ์ดา พุ่มไพโรจน์. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบา ชั้นเดียวและสองชั้น. เข้าถึงเมื่อ 14 พฤษภาคม 2556. เข้าถึงได้จาก

<http://www.ejournal.su.ac.th/journalinfo.php?id=62>

ภาษาต่างประเทศ

_____. **SketchUp Ruby API** [Online]. Accessed 22 August 2012. Available from <https://developers.google.com/sketchup>

_____. **Help and documentation for the Ruby programming language** [Online]. Accessed 22 August 2012. Available from <http://www.ruby-doc.org>