

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรม OpenStudio

Development of a computer program for calculating OTTV and RTTV by coupling with "OpenStudio"

ปรีชญา มหัทธนนที นนท์ คุณคำชู ทายากร จารุชัยมนตรี
ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10120 โทร 0-2649-5000 โทรสาร 0-2221-8837 E-mail: prechaya@hotmail.com

Prechaya Mahattanatawe Non Khunkhumchoo Tayagorn Charuchaimontri
Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture, Silpakorn University
Pranakhon, Bangkok 10200 Thailand Tel: 0-2649-5000 Fax: 0-2221-8837 E-mail: prechaya@hotmail.com

บทคัดย่อ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นโปรแกรมเสริม (Plugin) ของ Google SketchUp ที่สามารถนำข้อมูลของอาคารที่สร้างขึ้นในโปรแกรม OpenStudio มาใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ได้โดยอัตโนมัติ วิธีการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของโปรแกรมยึดตามเกณฑ์ของกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ผู้ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถทราบค่า OTTV / RTTV และค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่คำนวณได้จากโปรแกรม OpenStudio ได้พร้อมกัน ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายของผู้ออกแบบในการคำนวณค่าดังกล่าว อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ใช้โปรแกรมเข้าใจได้ถึงผลของค่า OTTV / RTTV ที่เปลี่ยนแปลงไปอันมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารได้สะดวกตั้งแต่นั้นขั้นตอนการออกแบบร่างของอาคาร ทำให้ผู้ออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานให้ดียิ่งขึ้น โดยบทความนี้ได้นำเสนอแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมดังกล่าว ผลการพัฒนาโปรแกรมในเบื้องต้น ตลอดจนแผนการพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต

Abstract

The developed program utilizes data from "OpenStudio" for automatically calculating OTTV and RTTV values and it can be used as a plugin for Google SketchUp. The OTTV and RTTV calculation methods adhere to the law imposed in 2009. The developed program allows users to obtain results of OTTV/RTTV and building energy consumption effectively. Understanding the

impact of OTTV and RTTV on energy consumption at the initial stages of a project, will enable architects to design better building enclosures with improved energy performance in buildings. The paper will present methods used for developing this software, results of current software development stage, and software development plan for more software efficiency.

1. บทนำ

จากเหตุผลในด้านปัญหาสภาพแวดล้อม ทำให้การออกแบบอาคารในปัจจุบันจำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานของอาคาร การออกแบบรูปทรงของอาคารและเปลือกอาคารที่เหมาะสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของอาคาร เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารและเป็นภาระในการทำความเย็นนั้นมีสัดส่วนประมาณ 60% ของภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศของอาคารพาณิชย์ [1]

สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งได้มีการปรับแก้ไขเพิ่มเติม ในปีพ.ศ. 2550 ต่อมาในปีพ.ศ. 2552 ได้มีการออกกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หรือหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยได้กำหนดให้การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร เช่น สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุด อาคารชุมนุมคน โรงแรม อาคารสถานบริการ และอาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า ที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร ขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยอาคารดังกล่าวจะต้องมีการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อน

รื้อรวมของหลังคาของอาคาร (RTTV) ในส่วนที่ปรับอากาศของอาคาร ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามกฎหมาย [2] ทั้งนี้ค่า OTTV และ RTTV ที่กำหนดไว้สำหรับอาคารแต่ละประเภทจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยแบ่งอาคารเป็น 3 ประเภท คือ 1) สำนักงาน สถานศึกษา 2) ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า และ 3) โรงแรม โรงพยาบาล และสถานพักฟื้น เช่น สถานศึกษา และ สำนักงาน จะต้องมียุทธศาสตร์ค่า OTTV และ RTTV ไม่เกิน 50 และ 15 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

การคำนวณค่า OTTV และ RTTV นั้นมีขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาในการหาพื้นที่ของผนัง หลังคา และพื้นที่โปร่งแสง ตลอดจนการกรอกข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น วัสดุของผนัง หลังคา และกระจก ลงในโปรแกรมเฉพาะที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ซึ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูปทรงอาคาร หรือ ขนาดของหน้าต่าง ก็จะต้องคำนวณพื้นที่และกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อทำการคำนวณใหม่ ดังนั้นโดยส่วนใหญ่การคำนวณดังกล่าวมักจะทำเมื่อการออกแบบอาคารใกล้เสร็จแล้ว ซึ่งทำให้การปรับเปลี่ยนแก้ไขอาคารนั้นทำได้ยากขึ้น

โปรแกรม OpenStudio [3] เป็นโปรแกรมเสริม (Plugin) ที่ทำงานบนโปรแกรม Google SketchUp ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สถาปนิกนิยมใช้ในการสร้างภาพสามมิติของอาคารที่ได้ออกแบบ เนื่องจากการขึ้นรูปทรงอาคารและปรับแก้ไขทำได้ง่าย โดยผู้ใช้โปรแกรม OpenStudio สามารถเขียนรูปทรงอาคารที่ต้องการจำลองการใช้พลังงานของอาคารโดยใช้เครื่องมือต่างๆ บน Google SketchUp ตลอดจนการใส่ข้อมูลของวัสดุของเปลือกอาคาร เมื่อใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถรันโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร [4] โดยผ่านเมนูคำสั่งของโปรแกรม OpenStudio โดยตรง เมื่อโปรแกรมประมวลผลเสร็จ จะสามารถทราบค่าการใช้พลังงานของอาคารโดยรวม อุณหภูมิภายในอาคาร และค่าอื่นๆ ตามที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเห็นว่าการศึกษาเพื่อสร้างโปรแกรมเสริม (Plugin) ที่สามารถใส่ข้อมูลของอาคารที่สร้างขึ้นในโปรแกรม OpenStudio มาใช้ในการคำนวณหาค่า OTTV และ RTTV นี้ได้โดยอัตโนมัติ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้โปรแกรม เนื่องจากสามารถทราบค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และ ค่า OTTV/RTTV ได้พร้อมกัน อันเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายของผู้ออกแบบในการคำนวณหา ค่าดังกล่าว และทำให้ผู้ใช้โปรแกรมเข้าใจได้ถึงผลของค่า OTTV/RTTV ที่เปลี่ยนแปลงไปอันมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร หรือ สภาพอุณหภูมิภายในอาคาร นอกจากนี้ด้วยข้อดีของโปรแกรม OpenStudio ที่ทำงานบน Google SketchUp ทำให้ผู้ออกแบบอาคารสามารถปรับเปลี่ยนรูปทรงอาคารเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่จะช่วยลด ค่าการใช้พลังงาน รวมทั้งค่า OTTV/RTTV ได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ผู้ออกแบบสามารถศึกษาค่า OTTV/RTTV ได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบร่างของอาคาร ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถปรับเปลี่ยน กรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้ดียิ่งขึ้น

2. โปรแกรม OpenStudio

โปรแกรม OpenStudio [3] เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยหน่วยงาน National Renewable Energy Laboratory (NREL) โดยจัดทำให้กับ U.S. Department of Energy ในลักษณะของโปรแกรมเสริม (Plugin) สำหรับเพิ่มความสามารถให้กับโปรแกรมหลัก คือ

โปรแกรม Google SketchUp เพื่อให้สามารถใช้ในการสร้างแบบจำลองอาคารในลักษณะสามมิติ ที่จะใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานของอาคารโดยการใช้โปรแกรม EnergyPlus เนื่องจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus นั้น มีข้อจำกัดตรงที่การใส่ข้อมูลของอาคารทำด้วยวิธีการพิมพ์ข้อมูลลงในโปรแกรม ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการใส่ข้อมูลและเกิดข้อผิดพลาดในการใส่ข้อมูลได้ง่าย โดยเฉพาะการใส่ข้อมูลรูปทรงของอาคารที่ต้องระบุเป็นพิกัดของแต่ละจุดที่ประกอบขึ้นเป็นพื้นผิว (Surface)

โปรแกรม OpenStudio สร้างขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้โปรแกรมในการจำลองการใช้พลังงานอาคาร ในระหว่างช่วงกระบวนการออกแบบได้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยผู้สร้างโปรแกรมต้องการให้เป็นโปรแกรมในลักษณะของ Open Source License เพื่อส่งเสริมให้เกิดการความร่วมมือกันในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป โปรแกรม OpenStudio เริ่มเผยแพร่สู่สาธารณะในเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 ปัจจุบันโปรแกรม OpenStudio ได้พัฒนาจนถึง Version 1.0.4 ซึ่งสามารถใช้งานได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows XP/Vista หรือ Mac OS X 10.4+ โปรแกรม OpenStudio เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาโปรแกรม Ruby ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมในแบบเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming Language) [5] ไฟล์ที่เขียนโดยภาษา Ruby จะมีนามสกุล .rb

โปรแกรม OpenStudio สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm> โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย การติดตั้งโปรแกรม OpenStudio จะต้องทำหลังจากที่ได้ติดตั้งโปรแกรม Google SketchUp และ EnergyPlus เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยโปรแกรม OpenStudio จะถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ของโปรแกรม Google SketchUp ในโฟลเดอร์ Plugin\OpenStudio (ตัวอย่างเช่น C:\Program Files\Google\Google SketchUp7\Plugins\OpenStudio) ภายในโฟลเดอร์ OpenStudio จะประกอบด้วยไฟล์เดอร์และไฟล์ต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของโปรแกรม โฟลเดอร์ที่สำคัญคือ lib เนื่องจากเป็นที่รวมของ source code ทั้งหมดของโปรแกรม โดยไฟล์ .rb จะถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ที่แบ่งออกเป็น 7 หมวดหมู่ คือ dialogs, inputfile, interfaces, observers, output, resources, และ tools

ในปัจจุบันได้มีผู้ที่สนใจพัฒนา Plugin ที่ใช้งานร่วมกับ OpenStudio อาทิ เช่น การทำ Plugin เพื่อใช้ในการคำนวณ Photovoltaics (PV) ที่ใช้กับอาคาร [6] ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถจำลองการใช้ PV กับอาคาร เพื่อศึกษาผลการใช้พลังงานของอาคาร เมื่อมีการติดตั้ง PV ได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากช่วยลดขั้นตอนในการใส่ข้อมูลที่ต้องใช้การพิมพ์ข้อมูลลงในโปรแกรม EnergyPlus

3. การพัฒนาโปรแกรม Plugin-OTTV

3.1 แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณค่า OTTV/RTTV ที่ทำงานร่วมกันกับโปรแกรม OpenStudio ซึ่งในที่นี้จะเรียกโปรแกรมดังกล่าวว่า "Plugin-OTTV" มีแนวทางในการพัฒนาโปรแกรม ดังนี้

1. เนื่องจากโปรแกรม Plugin-OTTV นี้ทำงานร่วมกันกับโปรแกรม OpenStudio ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมจึงมีแนวคิดหลักที่จะใช้ความสามารถของโปรแกรม OpenStudio และ EnergyPlus ที่มีในปัจจุบัน นำมาประยุกต์ใช้ให้มากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือใน

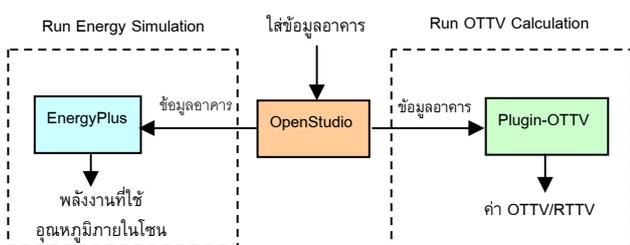
การเขียนรูปทรงอาคารของโปรแกรม และการใช้ข้อมูลต่างๆ ที่สร้างขึ้นในโปรแกรม OpenStudio เช่น ข้อมูลของกรอบอาคาร และวัสดุที่ใช้ ที่จำเป็นจะต้องนำมาใช้ในการคำนวณค่า OTTV/RTTV โดยการพัฒนาโปรแกรม Plugin-OTTV นั้น จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของโปรแกรม OpenStudio

2. การพัฒนาโปรแกรมที่จะช่วยให้ผู้ใช้โปรแกรมได้ทราบค่า OTTV/RTTV ของอาคาร และของกรอบอาคารในแต่ละส่วน ทั้งในลักษณะของค่าตัวเลขที่แสดงในตาราง และการนำเสนอข้อมูลในเชิงกราฟิก เช่น เจดสีบนพื้นผิวของอาคาร เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมเข้าใจได้ง่ายขึ้นว่าส่วนใดของกรอบอาคารที่ควรพัฒนาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีค่า OTTV/RTTV ที่เหมาะสม

3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Plugin-OTTV

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Plugin-OTTV จะเริ่มจากผู้ใช้โปรแกรมใส่ข้อมูลของอาคาร ในโปรแกรม OpenStudio เช่น การแบ่งโซนอาคาร รูปทรงอาคาร วัสดุ และ ทิศทางการวางอาคาร หลังจากใส่ข้อมูลต่างๆ ครบถ้วนแล้ว ผู้ใช้โปรแกรมสามารถที่จะเลือกใช้คำสั่ง Run OTTV Calculation โดยโปรแกรม Plugin-OTTV จะนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้ใส่ไว้ในโปรแกรม OpenStudio ไปใช้ในการคำนวณค่า OTTV/RTTV เมื่อคำนวณเสร็จโปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณค่า OTTV/RTTV

นอกจากนี้ ผู้ใช้โปรแกรมสามารถที่จะเลือกใช้คำสั่ง Run Simulation ในเมนูของโปรแกรม OpenStudio โดยโปรแกรม OpenStudio จะส่งข้อมูลของอาคารไปยังโปรแกรม EnergyPlus เพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิภายในอาคาร หรือ การใช้พลังงานของอาคาร (ในกรณีที่ผู้ใช้โปรแกรมได้ใส่ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศ) ซึ่งการรันทั้งสองโปรแกรมนี้ ผู้ใช้โปรแกรมจะได้ทราบทั้งค่า OTTV/RTTV ของอาคาร และ ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร (รูปที่ 1)



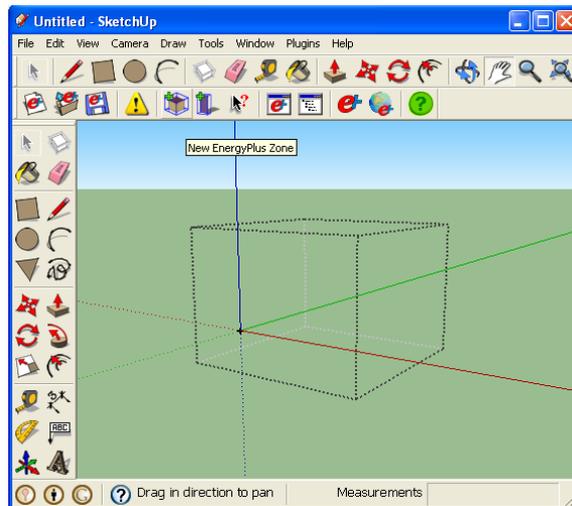
รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Plugin-OTTV

3.3 การใส่ข้อมูลอาคาร

การใส่ข้อมูลรูปทรงอาคารที่จะนำมาคำนวณค่า OTTV/RTTV นั้นทำได้โดยการใช้เครื่องมือการเขียนภาพสามมิติ ที่มีอยู่ในโปรแกรม Google SketchUp และเครื่องมือเพิ่มเติมที่สร้างจากโปรแกรม OpenStudio เมื่อติดตั้งโปรแกรม OpenStudio เสร็จแล้ว จะปรากฏเครื่องมือ (Tool) และ เมนู (Menu) ที่จะใช้ใส่ข้อมูลตัวอาคาร โดยเมนูของโปรแกรม OpenStudio นั้น จะเป็นเมนูย่อยที่อยู่ภายในเมนูหลัก "Plugin" (รูปที่ 2)

การใส่ข้อมูลอาคาร ในขั้นแรกจะต้องสร้างโซนของอาคาร โดยการใช้เครื่องมือ New Zone Tool (รูปที่ 3) คลิกลงไปในจุดที่ต้องการให้เป็นจุดเริ่มต้นของโซน ซึ่งจะปรากฏขอบเขตของโซนที่สร้างขึ้นเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแสดงด้วยเส้นประ (รูปที่ 2) จากนั้นจึงดับเบิลคลิกเข้าไปใน

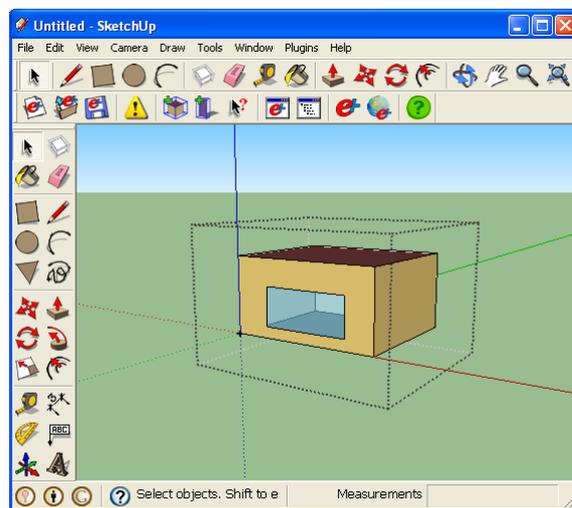
โซน เพื่อสร้างพื้นผิวต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นอาคาร ได้แก่ ผนัง หน้าต่าง พื้น ฝ้าเพดาน และ หลังคา ของแต่ละโซน (รูปที่ 4) โดยการใช้เครื่องมือการสร้างภาพสามมิติของโปรแกรม Google SketchUp



รูปที่ 2 โปรแกรม OpenStudio ที่ใช้ร่วมกับ Google SketchUp กรอบรูปทรงสี่เหลี่ยมที่แสดงด้วยเส้นประ คือ โซน ที่สร้างขึ้น



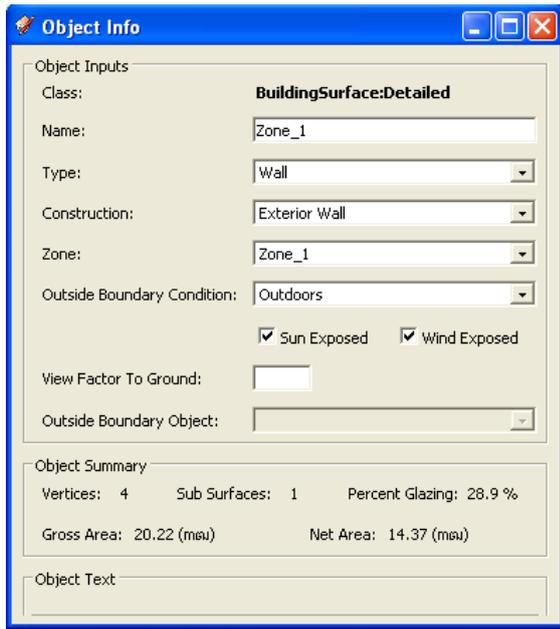
รูปที่ 3 Tool Bar ของ OpenStudio



รูปที่ 4 รูปทรงอาคารที่สร้างขึ้น ภายในขอบเขตของโซน

การระบุวัสดุของผนัง หน้าต่าง พื้น ฝ้าเพดาน และ หลังคา ทำได้โดยการคลิกเลือกพื้นผิวนั้นๆ จากนั้นจึงเลือกเครื่องมือ Object Info Tool (รูปที่ 3) ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง "Object Info" (รูปที่ 5) เพื่อเลือกวัสดุที่ใช้ ตลอดจนสามารถแก้ไขข้อมูลส่วนอื่นๆ เช่น ชื่อของผนัง นอกจากนี้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถทราบข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวที่กำลังถูกเลือกอยู่ เช่น พื้นที่ของผนังทั้งหมด (Gross Area) และ

สัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดเมื่อเทียบกับพื้นที่ผนังทั้งหมด (Percent Glazing) เป็นต้น



รูปที่ 5 หน้าต่าง “Object Info” ที่แสดงข้อมูลของผนังที่ผู้ใช้โปรแกรมได้คลิกเลือก

3.4 ข้อมูลจากโปรแกรม OpenStudio ที่นำไปในการคำนวณค่า OTTV / RTTV

ข้อมูลที่สำคัญจะต้องนำมาใช้ในการคำนวณค่า OTTV สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาจากวัตถุ (Object) ของแต่ละ Class ที่สร้างขึ้นในโปรแกรม OpenStudio โดย Class ที่สำคัญในโปรแกรม OpenStudio คือ “InputObject” ซึ่ง Object ของ Class นี้ จะมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณพลังงานของโปรแกรม EnergyPlus โดยชื่อของ Class ต่าง ๆ ที่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่า OTTV/RTTV แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชื่อของ Class และข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ในการคำนวณค่า OTTV / RTTV

Building
- ชื่อของอาคาร - ทิศเหนือของอาคาร
Zone
- ชื่อของโซน - ประเภทของโซน
BuildingSurface
- ชื่อของพื้นผิวที่ทึบแสง - ชื่อของโครงสร้างวัสดุที่ใช้ - ชื่อโซนที่พื้นผิวนั้นประกอบอยู่ - ประเภทของพื้นผิว (ผนัง / พื้น / หลังคา / ฝ้าเพดาน) - สภาพแวดล้อมที่พื้นผิวสัมผัส (ภายนอกอาคาร / ภายในอาคาร) - ข้อมูลพิกัดแต่ละจุด ที่ประกอบขึ้นเป็นรูปร่างของพื้นผิว

FenestrationSurface
- ชื่อของพื้นผิว ในส่วนที่เป็น หน้าต่าง ช่องแสง หรือ ประตู - ชื่อของโครงสร้างวัสดุที่ใช้ - ชื่อของพื้นผิวที่หน้าต่าง ช่องแสง หรือ ประตู นั้นๆ ติดตั้งอยู่ - ประเภทของพื้นผิว (หน้าต่าง / ประตูกระจก / ประตูที่ทึบแสง) - ข้อมูลพิกัดของแต่ละจุด ที่ประกอบขึ้นเป็นรูปร่างของพื้นผิว
AttachedShadingSurface
- ชื่อของพื้นผิวที่เป็นอุปกรณ์บังแดด - ข้อมูลพิกัดของแต่ละจุด ที่ประกอบขึ้นเป็นรูปร่างของพื้นผิว
Material
- ชื่อของวัสดุทึบแสง - คุณสมบัติของวัสดุ (ความหนา ความหนาแน่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์)
Material:AirGap
- ชื่อของช่องอากาศที่อยู่ระหว่างวัสดุทึบแสง (Material) - คุณสมบัติของช่องอากาศ (ค่าความต้านทานความร้อน)
WindowMaterial:Glazing
- ชื่อของวัสดุกระจก - คุณสมบัติของวัสดุกระจก (ความหนา ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน)
WindowMaterial:Gas
- ชื่อของก๊าซที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจก - คุณสมบัติของก๊าซ (ความหนาของช่องที่บรรจุก๊าซ)
Construction
- ชื่อของโครงสร้างวัสดุ ที่ประกอบขึ้นจากวัสดุแต่ละประเภท - รายการของวัสดุ เรียงลำดับจากภายนอกไปยังภายใน

3.5 ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

ในโปรแกรม OpenStudio มีการสร้างข้อมูลโครงสร้างวัสดุ (Construction) เบื้องต้นมาให้ โดยข้อมูลดังกล่าวจะอยู่ในไฟล์ที่ชื่อ “New File Template” ซึ่งจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ “C:\Program Files\Google\Google SketchUp 7\Plugins\OpenStudio” ประกอบด้วยโครงสร้างวัสดุสำหรับ พื้นภายนอก (Exterior Floor) ผนังภายใน (Interior Floor) ผนังภายนอก (Exterior Wall) ผนังภายใน (Interior Wall) หลังคา (Roof) ฝ้าเพดาน (Ceiling) หน้าต่างภายนอก (Exterior Window) หน้าต่างภายใน (Interior Window) ประตูภายนอก (Exterior Door) และ ประตูภายใน (Interior Door) โดยแต่ละชนิดมีเพียง 1 แบบ

ในส่วนของโปรแกรม EnergyPlus นั้น มีข้อมูลวัสดุกระจก และ ข้อมูลของก๊าซที่ใช้บรรจุระหว่างแผ่นกระจก อยู่ในไฟล์ข้อมูล “WindowGlassMaterials” และ “WindowGasMaterials” ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างของชั้นวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นหน้าต่างกระจก โดยข้อมูลส่วนนี้จะอยู่ในไฟล์ข้อมูลชื่อ “WindowConstructs” ซึ่งมีข้อมูลชนิดของกระจก ให้เลือกใช้ 207 ชนิด ประกอบด้วยกระจกใส กระจกสี กระจกสะท้อนแสง กระจกที่มีการ

เคลือบด้วย low-E โดยมีทั้งกระจกชั้นเดียว และกระจกสองชั้น ช่องว่างของกระจกแต่ละชั้น มีทั้งที่บรรจุด้วยอากาศ หรือ ก๊าซเฉื่อย

ในการทำโปรแกรม Plugin-OTTV นี้ จึงได้นำข้อมูลกระจกทั้งหมดที่มีอยู่ของโปรแกรม EnergyPlus ไปเพิ่มใน “New File Template” เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเลือกใช้วัสดุกระจกได้หลากหลาย การเลือกใช้ข้อมูลกระจกจากโปรแกรม EnergyPlus นั้น เนื่องจากมีข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุกระจกที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม EnergyPlus ที่ครบถ้วน ในขณะที่ข้อมูลกระจกจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร [7] จะมีเพียงข้อมูลคุณสมบัติของกระจกที่จำเป็นต่อการคำนวณค่า OTTV/RTTV แต่จะขาดข้อมูลบางส่วน เช่น ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ในการรันโปรแกรม EnergyPlus ได้

คุณสมบัติของผนังกระจกแต่ละชนิด อันได้แก่ค่า U-value, SHGC, Solar Transmittance และ Visible Transmittance จะทราบค่าได้เมื่อข้อมูลชั้นของกระจกและก๊าซที่บรรจุระหว่างกระจก (กรณีที่เป็นกระจกสองชั้น) ได้ถูกประมวลผลหลังจากการรันโปรแกรม EnergyPlus แล้ว โดยค่า U-value และ ค่า SHGC ของกระจกนั้น จำเป็นต้องนำไปใช้ในการคำนวณค่า OTTV/RTTV

เนื่องจากการคำนวณค่า U-value ของผนังกระจกใน EnergyPlus นั้น จะมีข้อที่แตกต่างจากวิธีการคำนวณที่ระบุไว้ในเอกสาร [7] ซึ่งได้กำหนดค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายนอก 0.044 °Cm²/W และ ภายใน 0.120 °Cm²/W ซึ่งค่าดังกล่าวจะไม่เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม EnergyPlus นอกจากนี้วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจก จะพิจารณาจากขนาดของช่องอากาศและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของวัสดุกระจกด้านที่ติดช่องว่างอากาศ ในขณะที่โปรแกรม EnergyPlus จะคำนึงถึงชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ในช่องว่างด้วย จึงทำให้ค่า U-value ที่คำนวณได้ของทั้งสองวิธีนั้นแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการคำนวณที่ระบุไว้ใน [7] จึงได้นำข้อมูลของกระจกแต่ละชั้น (ความหนากระจก และ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน) และ ช่องว่างอากาศระหว่างกระจก (ความกว้างของช่องอากาศ และ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของวัสดุกระจกด้านที่ติดกับช่องอากาศ) มาคำนวณค่า U-value ตามวิธีที่ระบุไว้ในเอกสาร [7]

ในส่วนของค่า SHGC นั้น จะใช้ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม EnergyPlus โดยได้ทำการรันไฟล์ต้นแบบ ซึ่งมีข้อมูลของกระจกทั้งหมด 207 ชนิด เพื่อคำนวณค่า SHGC ของผนังกระจกแต่ละชนิด จากนั้นจึงนำข้อมูลชื่อของผนังกระจก ค่า U-value ที่คำนวณตามวิธีการที่ระบุใน [7] และ SHGC ที่คำนวณได้จากโปรแกรม EnergyPlus ใส่ไว้ในไฟล์ข้อมูลที่ชื่อว่า “glazing.txt” โดยโปรแกรม Plugin-OTTV ที่พัฒนาขึ้นนี้ จะนำค่าจากไฟล์ข้อมูลดังกล่าวเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

สำหรับข้อมูลวัสดุของผนังที่บั้น ได้ใส่ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่มีอยู่ในเอกสาร [7] ซึ่งมีทั้งหมด 42 รายการ เช่น อิฐ ไม้ แผ่นยิปซัม ปูนผสมทราย ฉนวนใยแก้ว ฯลฯ ใน “New File Template” วัสดุแต่ละชนิดจะมีข้อมูลของ ความหนา ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าความหนาแน่น (Density) และ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

นอกจากนี้ได้สร้างข้อมูลของผนังที่มีการใช้งานทั่วไปในประเทศไทย เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนัง

คอนกรีต และ ผนังคอนกรีตมวลเบาเบาฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซัม ไว้ใน “New File Template” เพื่อใช้ในการทดสอบโปรแกรมเบื้องต้น

การเพิ่มข้อมูลวัสดุและชนิดของผนังที่บั้นในโปรแกรม Plugin-OTTV ในปัจจุบันนี้จึงยังไม่สะดวกนัก จำเป็นจะต้องมีการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลวัสดุใหม่ ๆ เพิ่มเติมในโปรแกรม Plugin-OTTV ได้โดยตรง

4. ผลการพัฒนาโปรแกรมในเบื้องต้น

4.1 งานพัฒนาโปรแกรมที่ได้ดำเนินการแล้ว

โปรแกรม Plugin-OTTV ที่พัฒนาจนถึงปัจจุบันนี้ สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม OpenStudio โดยการนำข้อมูลขนาดพื้นที่ของผนังภายนอกและหลังคา ทั้งส่วนที่ทึบแสง และส่วนที่โปร่งแสง วัสดุที่ใช้ ของแต่ละพื้นผิว ที่ได้จากโปรแกรม OpenStudio มาใช้ในการคำนวณค่า OTTV ของผนังแต่ละด้าน (สมการที่ 1) และค่า OTTV รวมของผนังด้านนอกอาคาร ที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าเฉลี่ยโดยการถ่วงน้ำหนักตามขนาดของพื้นที่ผนังแต่ละด้าน (สมการที่ 2) ตามวิธีการคำนวณที่แสดงไว้ในเอกสาร [7] แต่การพัฒนาโปรแกรมในขั้นตอนนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงการคำนวณค่า RTTV และ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่า OTTV/RTTV

เมื่อผู้ใช้โปรแกรมใส่ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการคำนวณค่า OTTV/RTTV ในโปรแกรม OpenStudio เสร็จแล้ว สามารถรันโปรแกรม Plugin-OTTV โดยการคลิกเลือกเมนูคำสั่ง OTTV ซึ่งอยู่ในเมนูหลัก “Plugin” และเลือกคำสั่ง “OTTV Calculation” เมื่อโปรแกรมคำนวณเสร็จ จะบันทึกผลการคำนวณในรูปแบบของ text file ที่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถดูผลการคำนวณค่า OTTV ของผนังแต่ละด้าน ค่า OTTV ของแต่ละโซน และ ค่า OTTV ของอาคาร

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

OTTV _i	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา [W/m ²]
U _w	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง [W/(m ² ·°C)]
WWR	=	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
TD _{eq}	=	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังที่บั้น [°C]
U _g	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก [W/(m ² ·°C)]
ΔT	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร [°C]
SHGC	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก
SC	=	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด
ESR	=	ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และหรือ ผนังทึบแสง [W/m ²]

$$OTTV = (A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wn})(OTTV_n) \quad (2)$$

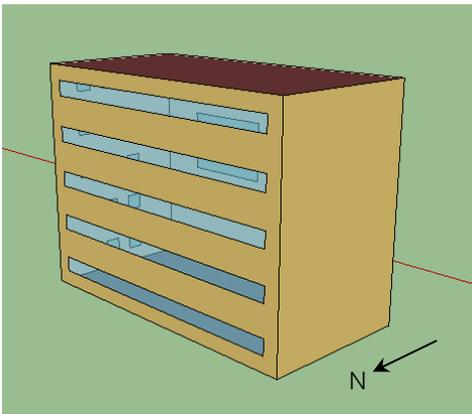
A _{wi}	=	พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและผนังโปร่งแสง [m ²]
OTTV _i	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา [W/m ²]
OTTV	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร [W/m ²]

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม

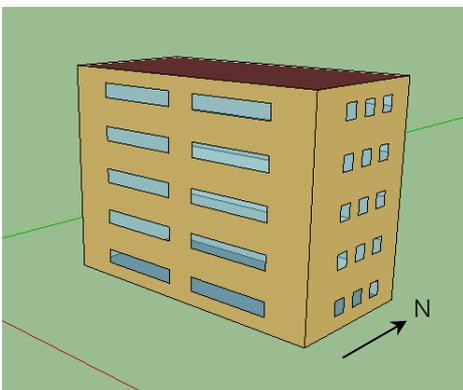
การศึกษานี้ได้สร้างสูตรคำนวณค่า OTTV ใน MS Excel เพื่อนำผลที่คำนวณได้จากโปรแกรมใน MS Excel มาเปรียบเทียบกับผลที่

คำนวณได้จากโปรแกรม Plugin-OTTV นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลการคำนวณเปรียบเทียบกับตัวอย่างการคำนวณ ที่มีในเอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร [7] โดยมีกรณีศึกษา 2 อาคาร ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1 กำหนดให้เป็นอาคารสำนักงาน มีจำนวนโซนเพียง 1 โซน รูปทรงอาคารเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (รูปที่ 6-7) กว้าง 10 เมตร ยาว 20 เมตร สูง 15 เมตร วางด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ-ใต้ กำหนดให้ผนังแต่ละด้านของอาคาร มีความแตกต่างกันของปัจจัยที่จะมีผลต่อค่า OTTV ของผนัง ได้แก่ วัสดุที่ใช้ในส่วนของผนังทึบ วัสดุกระจก พื้นที่กระจก และ สีของผนัง (ตารางที่ 2) เพื่อให้สามารถทดสอบปัจจัยต่างๆ ได้ครอบคลุม



รูปที่ 6 อาคารกรณีศึกษา 1 ทางด้านทิศเหนือ และทิศตะวันตก



รูปที่ 7 อาคารกรณีศึกษา 1 ทางด้านทิศใต้ และทิศตะวันออก

ตารางที่ 2 ข้อมูลของอาคารกรณีศึกษาที่ 1

ทิศของผนัง	พื้นที่ กระจก %	วัสดุผนังทึบ	วัสดุกระจก
ทิศเหนือ	30	ปูนฉาบ 0.01 ม. อิฐก่อ 0.10 ม. ปูนฉาบ 0.01 ม. (ผนังภายนอกทาสีขาว)	กระจกใส 6 มม
ทิศตะวันออก	10	ปูนฉาบ 0.01 ม. คอนกรีตมวลเบา 0.10 ม. ปูนฉาบ 0.01 ม. (ผนังภายนอกทาสีอ่อน)	กระจกสีเขียว 6 มม.

ทิศของผนัง	พื้นที่ กระจก %	วัสดุผนังทึบ	วัสดุกระจก
ทิศใต้	20	ปูนฉาบ 0.01 ม. คอนกรีตมวลเบา 0.10 ม. ฉนวนใยแก้ว 0.05 ม. แผ่นยิปซัม 0.01 ม. (ผนังภายนอกทาสี ค่อนข้างเข้ม)	กระจก Low-e 6 มม. ช่องอากาศ 6 มม. กระจกใส 6 มม.
ทิศตะวันตก	-	ปูนฉาบ 0.01 ม. คอนกรีต 0.10 ม. ปูนฉาบ 0.01 ม. ผนังภายนอกทาสีเข้ม	-

หมายเหตุ: ค่า Solar Absorptance ของผนังผิวสีขาว = 0.3, ผนังผิวสีอ่อน = 0.5, ผนังผิวสีเข้ม = 0.7, ผนังผิวสีเข้ม = 0.9 โดยใช้ค่าตามที่ระบุไว้ใน [7]

ผลการเปรียบเทียบ พบว่าค่าที่ได้จากโปรแกรม Plugin-OTTV มีค่าที่เท่ากับที่คำนวณได้จากโปรแกรม Excel (ตารางที่ 3) สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 นี้ ไม่สามารถเทียบค่า OTTV กับตัวอย่างในเอกสาร [7] ได้ เนื่องจากอาคารมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน

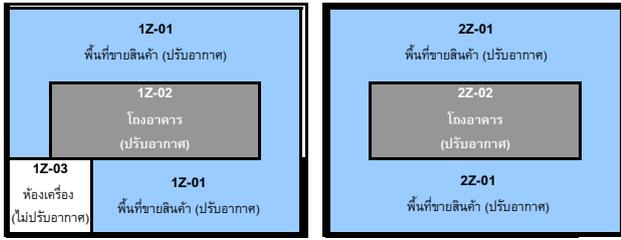
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่า OTTV ที่คำนวณได้ของอาคารกรณีศึกษา 1

ทิศของผนัง	ค่าที่คำนวณได้จาก Plugin-OTTV	ค่าที่คำนวณได้จาก MS Excel
ทิศเหนือ	72.22	72.22
ทิศตะวันออก	50.98	50.98
ทิศใต้	41.02	41.02
ทิศตะวันตก	67.85	67.85
ค่า OTTV รวม	57.55	57.55

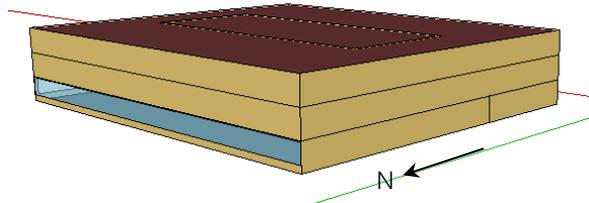
2. กรณีศึกษาที่ 2 อาคารที่ทำการจำลองในโปรแกรม นำมาจากตัวอย่างอาคารในเอกสาร [7] เป็นอาคารห้างสรรพสินค้า จำนวน 3 ชั้น รูปทรงอาคารเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 48 เมตร ยาว 56 เมตร ความสูง ชั้นละ 3.50 เมตร รวมความสูงอาคารทุกชั้น 10.50 เมตร วางด้านยาวของอาคารทางทิศเหนือ-ใต้ มีจำนวนโซนทั้งหมด 7 โซน ชั้นที่ 1 มีจำนวน 3 โซน ส่วนชั้นที่ 2 และ 3 มีลักษณะการแบ่งโซนที่เหมือนกัน โดยมีชั้นละ 2 โซน โซนที่มีการปรับอากาศและอยู่ติดกับภายนอกอาคารมีเพียงสามโซน เรียงตามลำดับชั้น ดังนี้ คือ โซน 1Z-01 2Z-01 และ 3Z-01 ในส่วนของชั้นที่ 1 มีโซนที่ไม่ปรับอากาศที่มีผนังอยู่ติดกับภายนอกอาคารหนึ่งโซน (1Z-03) ซึ่งเป็นโซนที่ไม่ต้องนำมาคิดค่า OTTV (รูปที่ 8)

ผนังทึบของอาคารเป็นคอนกรีตมวลเบาหนา 10 เซนติเมตร ฉาบปูนหนา 1 เซนติเมตร ทั้งสองด้าน สีของผนังภายนอกใช้สีผิวอ่อน (ค่า Solar Absorptance = 0.5) ส่วนหน้าต่างเป็นกระจกใส หนา 10 มิลลิเมตร หน้าต่างจะมีเฉพาะผนังชั้นที่ 1 ทางด้านทิศเหนือทั้งหมด และผนังทางด้านทิศตะวันออกบางส่วน หน้าต่างอยู่สูงจากพื้น 1 เมตร และมีขนาดความสูง 2.5 เมตร (รูปที่ 9-10)

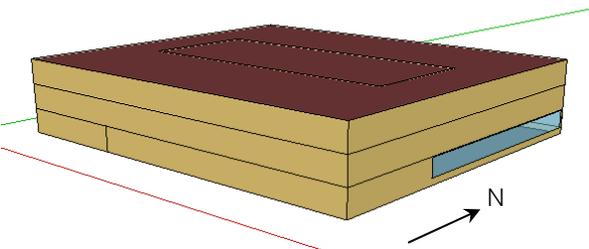
การคำนวณค่า OTTV จะแบ่งแยกตามค่า OTTV ที่คำนวณได้ของแต่ละโซน ดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 8 อาคารกรณีศึกษา 2 (ซ้าย) การแบ่งโซนอาคารที่อยู่ชั้นที่ 1 (ขวา) การแบ่งโซนอาคารที่อยู่ชั้นที่ 2 และ 3



รูปที่ 9 อาคารกรณีศึกษา 2 ทางด้านทิศเหนือ และทิศตะวันตก



รูปที่ 10 อาคารกรณีศึกษา 2 ทางด้านทิศใต้ และทิศตะวันออก

ผลการเปรียบเทียบ พบว่าค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Plugin-OTTV มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากกับค่าที่คำนวณได้จากตัวอย่างในเอกสาร [7] โดยมีค่าความแตกต่างในระดับทศนิยมตำแหน่งที่สอง ค่า OTTV ที่คำนวณได้ของแต่ละโซนมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วงระหว่าง -0.03 ถึง 0.06 % และ มีค่า OTTV รวมของอาคารที่คำนวณได้ต่างกันเพียง 0.01 % (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่า OTTV ที่คำนวณได้ของอาคารกรณีศึกษา 2

ชื่อโซน	ค่าที่คำนวณได้จาก Plugin-OTTV	ค่าที่คำนวณได้จากเอกสาร [7]	ค่าความแตกต่าง %
1Z-01	67.8584	67.84	-0.03
2Z-01	30.4018	30.42	0.06
3Z-01	30.4018	30.42	0.06
ค่า OTTV รวม	41.5375	41.54	0.01

หมายเหตุ: ค่า OTTV ที่แสดงในเอกสาร [7] แสดงค่าทศนิยมสองตำแหน่ง

5. แผนการพัฒนาโปรแกรม

แผนการพัฒนาโปรแกรมในขั้นต่อไป ประกอบด้วย

1. การคำนวณหาค่า RTTV ของอาคารประเภทต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในกฎหมาย
2. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient)
3. การพัฒนา Graphic User Interface ให้สามารถใช้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณได้สะดวกเพิ่มขึ้น เช่น ข้อมูลวัสดุของผนังทึบและผนังกระจก
4. การแสดงผลการคำนวณค่า OTTV/RTTV ของผนังแต่ละด้านและของอาคาร ในรูปของตารางข้อมูลที่ใช้โปรแกรมสามารถเรียกเปิดตารางแสดงผลดังกล่าวได้โดยตรงจากโปรแกรม
5. การแสดงผลการวิเคราะห์ค่า OTTV/RTTV ที่แสดงด้วยแถบสีบนพื้นผิวอาคารแต่ละด้าน และการแสดงค่า OTTV/RTTV เมื่อผู้ใช้โปรแกรมเลื่อนเมาส์ผ่านผนังหรือหลังคาแต่ละส่วน
6. การทดลองการใช้โปรแกรมโดยผู้ใช้โปรแกรม เช่น สถาปนิกวิศวกร และ นักศึกษาที่เรียนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาโปรแกรมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม OpenStudio การพัฒนาโปรแกรมในเบื้องต้นสามารถนำมาใช้คำนวณค่า OTTV ของอาคารสำนักงาน และ อาคารห้างสรรพสินค้า ได้ โดยมีผลการคำนวณที่สอดคล้องกับการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MS Excel และตัวอย่างการคำนวณในเอกสารที่เกี่ยวข้อง แผนการพัฒนาในขั้นต่อไปจะเพิ่มความสามารถในการทำงานของโปรแกรมให้ครอบคลุมถึงการคำนวณค่า RTTV ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด และการแสดงผลที่เป็นกราฟิกเพิ่มเติม เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษานี้ และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์ตา พุฒิไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ วิจิตต์พัฒนา ประทานทรัพย์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chirattananon, S., Rakwamsuk, P., Hien, V. D., Taweekun, J., Mettanant, V., "Development of a Building Energy Code for New Buildings in Thailand," The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE), Hua Hin, Thailand, pp. 859-867, 2004.
- [2] กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒.
- [3] Ellis, P. G., Torcellini, P. A., Crawley, D. B., "Energy Design Plugin: An EnergyPlus Plugin for SketchUp," Third National

Conference of IBPSA-USA, Berkeley, California, pp. 238-245, 2008.

- [4] Strand, R., Winkelmann, F., Buhl, F., Huang, J., Liesen, R., Pedersen, C., Fisher, D., Taylor, R., Crawley, D., Lawrie, L., "Enhancing and Extending the Capabilities of the Building Heat Balance Simulation Technique for Use in EnergyPlus," Building Simulation '99, Kyoto, Japan, Vol. 2, pp. 653-660, 2000.
- [5] "About Ruby" [online], access 10 December 2009, Available from <http://www.ruby-lang.org/en/about/>.
- [6] Wittkopf, S. K., Kambadkone, A., Quanhui, H., Khai, N. P., "Development of a Solar Radiation and BIPV Design Tool as EnergyPlus Plugin for Google Sketchup," Proceedings of the Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, pp. 1989-1996, 2009.
- [7] กองฝึกรอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "เอกสารประกอบการอบรม หลักสูตรมาตรฐาน การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร," 2550.