

การประเมินผลมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสถานศึกษาโดยใช้ แบบจำลองพลังงาน: กรณีศึกษาในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

Evaluation of Energy Renovation Measures of the Building Envelope in Educational Building Using Building Energy Modeling: A Case Study in Dhurakij Pundit University

ประยุทธ์ ฤทธิเดช* อานาจ ผดุงศิลป์ และ สุภรัชชัย วรรัตน์

บัณฑิตศึกษาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต 110/1-4 ถนนประชาชื่น ท่งสองห้อง หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

E-mail: prayuth.rit@dpu.ac.th

Prayuth Rittidatch*, Aumnad Phdungsilp and Suparatchai Vorarat

Graduate Program in Engineering Management, College of Innovative Technology and Engineering
Dhurakij Pundit University, 110/1-4 Pracha Chuen Rd, ThungSongHong, Lak Si, Bangkok 10210

E-mail: prayuth.rit@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

การวางแผนการจัดการพลังงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากสำหรับอาคารสถานศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาส่วนใหญ่แล้วเกิดจากการปรับอากาศ ดังนั้นกรอบอาคารมีส่วนสำคัญอย่างมากในการลดภาระระบบปรับอากาศ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการประเมินมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสถานศึกษา โดยใช้อาคาร 7 ของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตเป็นอาคารกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคทางด้านการจำลองพลังงานในอาคาร โดย OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองการใช้พลังงานของ 13 มาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร และยังใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์หาผลตอบแทนการลงทุนและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของ 13 มาตรการ จากการศึกษาพบว่ามาตรการ M2 (ติดตั้งฉนวนที่กรอบอาคาร) มีศักยภาพการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ 67.806 kWh/(m²Year) ตามด้วยมาตรการ M13 (ติดตั้งฉนวนที่กรอบอาคาร ติดฟิล์มและฉนวนที่หลังคา) และมาตรการ M12 (เปลี่ยนฉนวนหลังคา) โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ 69.049 kWh/(m²Year) และ 69.140 kWh/(m²Year) ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเพียง 3 มาตรการที่เป็นไปได้ในการลงทุนและทางเทคนิค โดยทั้ง 3 มาตรการนี้คือมาตรการ M2 M13 และ M12 โดยมีผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 533,889.71 บาท 442,360.34 บาท และ 127,139.53 บาท ตามลำดับ ผลการศึกษาและวิธีวิจัยในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสถานศึกษาอื่นๆ ได้

คำสำคัญ: อาคารสถานศึกษา; ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน; การจำลองพลังงานในอาคาร; การปรับปรุงการใช้พลังงาน; การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิต

Abstract

Energy management planning is extremely important for educational buildings to increase the efficient use of energy. The proportion of energy use in educational buildings is mainly for space cooling. Thus, building envelope plays a crucial role in reducing cooling demand. The objective of this research is to evaluate the energy renovation measures of building envelope in educational building. The building number 7 of Dhurakij Pundit University was used as a case study building. The research employed the building energy modeling technique based on OpenStudio and EnergyPlus to simulate the energy use of 13 energy renovation measures of the building envelope. In addition, the economic analysis was used to analyze the economic feasibility of the 13 measures. The study found that measure M2 (Installed insulation in building envelop) is the highest energy-saving potential with the Energy Use Index of 67.806 kWh/(m²Year) and followed by measure M13 (Installed insulation in building envelop, film and roof insulation) and measure M12 (Replacement of roof insulation) with the Energy Use Index of 69.049 kWh/(m²Year) and 69.140 kWh/(m²Year), respectively. The economic assessment showed that there are three measures having investment returns and technical feasibilities. These measures are M2, M13 and M12 with the investment returns of 533,889.71 Thai Baht, 442,360.34 Thai Baht and 127,139.53 Thai Baht, respectively. The findings and research methods in this research would be applicable for energy retrofitting of building envelope in other educational buildings.

Keywords: Educational buildings; Energy efficiency; Building energy modeling; Energy renovation; Life-cycle cost analysis

1. บทนำ

ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ในปริมาณสูงและมีสัดส่วนการใช้แหล่งพลังงานประเภทเชื้อเพลิงฟอสซิลสูงด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะภาคการผลิตไฟฟ้ายังพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก ส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Emissions) จากการใช้ไฟฟ้าเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องได้รับการปรับปรุงและแก้ไข จากความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นในสาขาอาคาร (Building Sector) ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักทำให้การวิจัยทางด้านการใช้พลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศได้ โดยเฉพาะอาคารสถาบันการศึกษาซึ่งจากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าในอาคารประเภท

สถานศึกษามีสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสูงที่สุดร้อยละ 65 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างร้อยละ 25 และการใช้พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ อีกร้อยละ 10 [1] จากสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่มีค่าสูงนั้นเป็นผลมาจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารและหลังคา

ในปี พ.ศ. 2535 ประเทศไทยได้มีการออกกฎหมายที่เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำกับดูแลและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 และกฎกระทรวงเกี่ยวกับอาคารควบคุม และได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และวิธีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร ประกอบด้วย (1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารประเภทสถานศึกษามีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 และ (2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศมีค่าไม่เกิน 15 W/m^2 นอกจากนั้นแล้วยังมีการบังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร (Building Energy Code: BEC) สำหรับอาคารใหม่อีกด้วย [1-3]

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในเรื่องการจัดการและการวางแผนพลังงานในอาคารประเภทสถาบันการศึกษาทั้งในด้านการลดการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานความร้อนของกรอบอาคาร รวมถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพผนังอาคารแบบปรับตำแหน่งได้ซึ่งสามารถช่วยควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมทางกายภาพรวมถึงความสะดวกสบายของผู้ใช้อาคารและการปรับปรุงกรอบอาคารโดยใช้อุปกรณ์บังแดดสามารถประหยัดพลังงานได้สูงถึงร้อยละ 8 เมื่อใช้อุปกรณ์บังแดดกับอาคารที่หันหน้าไปทิศตะวันตก [4-6] งานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีของกรอบอาคารมีการศึกษาการเลือกใช้เทคโนโลยีด้านผนังอาคารที่มีความแตกต่างกันของวัสดุที่หลากหลายและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผนังอาคาร 4 รูปแบบ คือ (1) Reinforced Concrete (2) Brick (3) Cross-laminated Timber และ (4) Timber-frame Panel Construction ซึ่งพบว่าโครงสร้างไม้มีประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมดีที่สุดที่มีใช้กันในตลาดปัจจุบัน นอกจากการปรับปรุงวัสดุและอุปกรณ์ผนังอาคารแล้ว ยังพบว่าการนำเอาเทคนิคทางด้าน Passive Design เข้ามาใช้ในการออกแบบยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกรอบอาคารได้ [7-9]

แต่เนื่องจากการปรับปรุงกรอบอาคารมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูงมีการวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและแบบจำลองพลังงานเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ โดยมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการการปรับปรุงด้านพลังงานของอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Life Cycle Cost [10] ในส่วนของการใช้แบบจำลองพลังงานเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจพบว่ามีการใช้โปรแกรม ISA's OTTV52 ออกแบบและจำลองการจัดการพลังงานในอาคารเรียนเพื่อหาแนวทางการลดความร้อนเข้าสู่กรอบอาคาร [11] การประเมินการใช้พลังงานกับบ้านพักอาศัยโดยใช้แบบจำลองพลังงาน eQUEST 3.65 [12] การใช้โปรแกรม DOE-2.1E ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่อยู่อาศัย [13] การใช้โปรแกรม BEC Ecotect

และ Visual DOE ในการประเมินการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน [14] และการใช้แบบจำลองพลังงาน EnergyPlus ในการจำลองสมรรถนะการใช้พลังงานและวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการปรับปรุงอาคารของอาคารประเภทห้องสมุด [15]

จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยในอาคารประเภทสถานศึกษามีอยู่น้อย ด้วยเหตุนี้ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่อาคารประเภทสถานศึกษา อีกทั้งยังสามารถนำวิธีการที่ใช้ในการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้กับอาคารในสถานศึกษาอื่นได้อีกด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเลือกใช้วัสดุผนังและหลังคาของอาคารที่มีความหลากหลายและสามารถหาซื้อได้ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเลือกใช้วัสดุรวมถึงการวิเคราะห์การลงทุน ในการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคารได้เลือกใช้แบบจำลองพลังงาน OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งการใช้แบบจำลองพลังงานในอาคารเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ นั้นพบว่าเป็นวิธีการวิจัยที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในและต่างประเทศจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา อีกทั้งในปัจจุบัน OpenStudio และ EnergyPlus ถือว่าเป็นแบบจำลองพลังงานในอาคารที่นิยมใช้และมีค่าความถูกต้องที่ยอมรับได้สูง [16] โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษา (อาคาร 7) ในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตและทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและวิเคราะห์การลงทุนตามหลักการ Life Cycle Cost (LCC) ของการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารจำนวน 13 มาตรการ

2. วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองพลังงานในอาคาร (OpenStudio และ EnergyPlus) ทำการศึกษาการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร รูปที่ 1 แสดงแผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา โดยแต่ละตัวแปรถูกป้อนเข้ามาที่ OpenStudio แล้วถูกส่งไปคำนวณการใช้พลังงานโดย EnergyPlus ในลักษณะของ Physical Model โดยใช้สมการทางด้านการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอาคารกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวอาคาร ซึ่ง EnergyPlus นั้นเป็น Simulation Engine ที่ใช้การคำนวณบนพื้นฐานของการสมดุลความร้อน สำหรับ OpenStudio นั้นเป็นโปรแกรมประเภท API (Application Programming Interface) ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลของแต่ละตัวแปร หลักการทำงานโดยละเอียดของ OpenStudio และ EnergyPlus ได้อธิบายไว้ใน [16] สำหรับข้อมูลทางด้านสภาวะอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และรังสีดวงอาทิตย์ได้ใช้ชุดข้อมูลของเขตหลักสี่ กรุงเทพฯ และสำหรับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ได้จากการเข้าสำรวจโดยการทำ Energy Audit และตรวจวัดจากอุปกรณ์ที่ใช้งาน

สำหรับแบบจำลองพลังงาน EnergyPlus ใช้การคำนวณโดยหลักการสมดุลความร้อน ซึ่งรวมถึงสมดุลความร้อนที่พื้นผิว สมดุลความร้อนในอากาศ และการจำลองระบบอาคาร โดยการคำนวณสมดุลความร้อนได้แสดงไว้ในสมการที่ (1 - 4) [17]

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (1)$$

เมื่อ

q''_{sol} คือ รังสีแสงอาทิตย์ที่ดูดซับโดยตรงและกระจาย (ความยาวคลื่นสั้น) และฟลักความร้อน

q''_{LWR} คือ การแลกเปลี่ยนฟลักการแผ่รังสีความยาวคลื่นสุทธิต (ความร้อน) กับอากาศและสภาพแวดล้อม

q''_{conv} คือ การแลกเปลี่ยนฟลักความร้อนกับอากาศภายนอก

q''_{ko} คือ ค่าการนำความร้อน (q/A) สู่ผนัง

โดยที่ q''_{sol} ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง มุมมองพื้นผิวและความเอียง วัสดุพื้นผิวและสภาพอากาศ และ q''_{LWR} ถูกกำหนดโดยการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้นดิน

$$q''_{\text{LWR}} = \epsilon \sigma F_{\text{gnd}}(T_{\text{gnd}}^4 - T_{\text{surf}}^4) + \epsilon \sigma F_{\text{sky}}(T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{surf}}^4) + \epsilon \sigma F_{\text{air}}(T_{\text{air}}^4 - T_{\text{surf}}^4) \quad (2)$$

เมื่อ

ϵ คือ การปล่อยคลื่นยาวของพื้นผิว

σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann

F_{gnd} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิพื้นผิวพื้นดิน

F_{sky} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิของท้องฟ้า

F_{air} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังต่ออุณหภูมิอากาศ

T_{surf} คือ อุณหภูมิพื้นผิวภายนอก

T_{gnd} คือ อุณหภูมิพื้นผิวดิน

T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า

T_{air} คือ อุณหภูมิของอากาศ

$$q''_{\text{conv}} = h_{\text{c,ext}} A (T_{\text{surf}} - T_{\text{air}}) \quad (3)$$

เมื่อ

q''_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนภายนอก

$h_{\text{c,ext}}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก

A คือ พื้นที่ผิว

T_{surf} คือ อุณหภูมิพื้นผิว

T_{air} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (4)$$

เมื่อ

$q''_{ko}(t)$ คือ ฟลักความร้อนนำไฟฟ้าสำหรับขั้นตอนเวลาปัจจุบัน
 T คือ อุณหภูมิ
 T_o คือ อุณหภูมิขององค์ประกอบภายในของอาคาร
 T_i คือ อุณหภูมิขององค์ประกอบภายนอกของอาคาร
 i คือ องค์ประกอบภายในของอาคาร
 o คือ องค์ประกอบภายนอกของอาคาร
 X, Y คือ ปัจจัยตอบสนอง

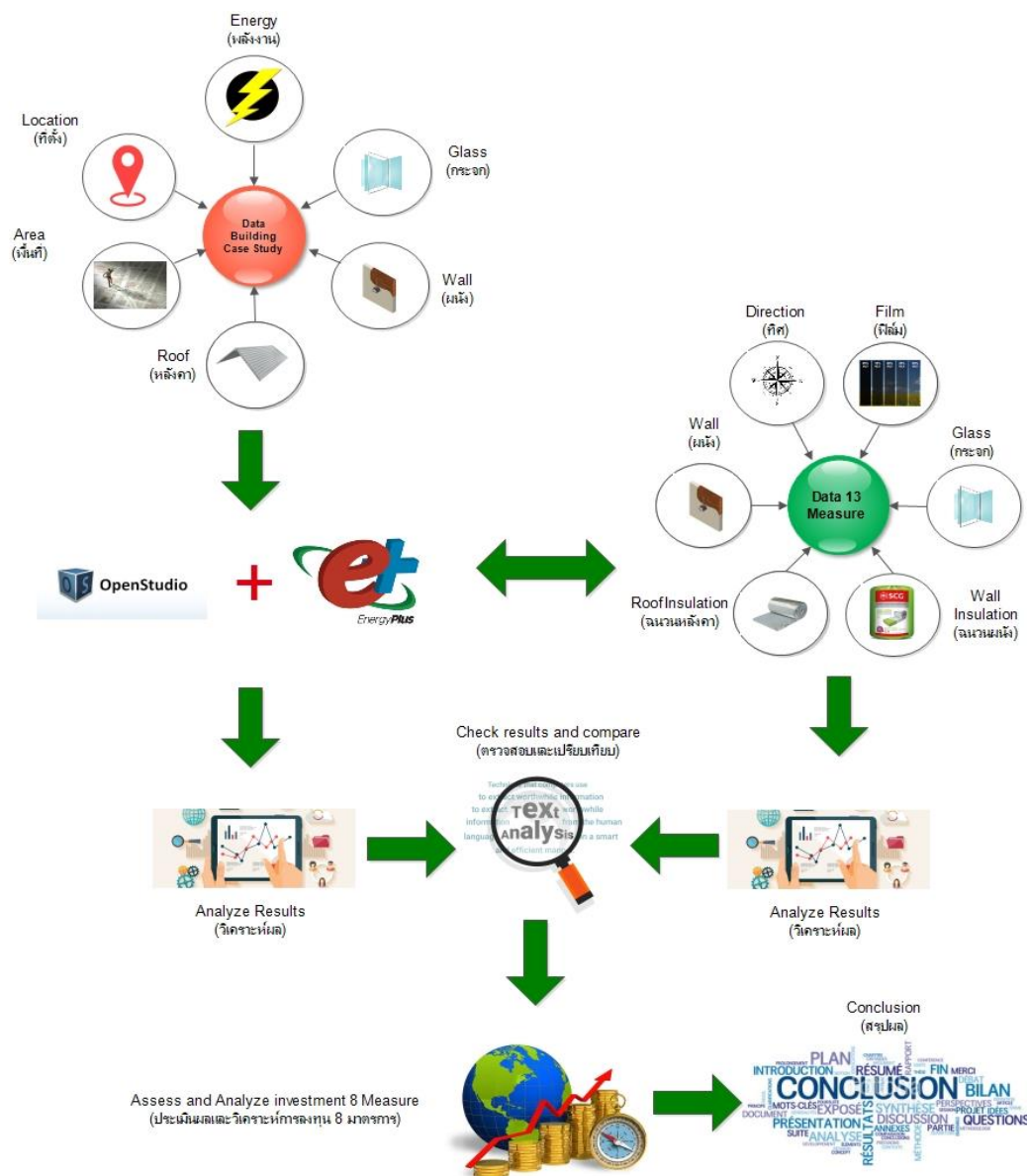
โดยการจำลองการใช้พลังงานได้ใช้ตัวแปรด้านคุณสมบัติของวัสดุและตัวแปรอื่นๆ ของอาคารกรณีศึกษา เพื่อนำข้อมูลมาทำการจำลองหาค่าพลังงานที่อาคารใช้ต่อปี เมื่อได้ค่าที่ผ่านการจำลองการใช้พลังงานแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพื่อวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบจำลองพลังงานที่สร้างขึ้น จากนั้นจึงทำการจำลองมาตรการปรับปรุงกรอบอาคารทั้งในส่วนของผนังและหลังคาอาคารทั้งหมด 13 มาตรการ และทำการจำลองการใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบมาตรการแต่ละมาตรการกับค่าอ้างอิงที่ได้จากแบบจำลอง (Base Case) และเปรียบเทียบหามาตรการที่ดีที่สุดทั้งในด้านการลดภาระความร้อนเข้าสู่อาคาร ลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ HVAC (Heating, Ventilation and Air-conditioning Systems) และนำมามาตรการปรับปรุงกรอบอาคารไปวิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาความเป็นไปได้ในการลงทุนแต่ละมาตรการโดยใช้ผลตอบแทนการลงทุนมาช่วยในการวิเคราะห์โอกาสและความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุดในช่วงเวลา 40 ปี [18] โดยการคำนวณผลตอบแทนการลงทุนได้แสดงไว้ในสมการที่ 5 และสมการที่ 6 [19] เพื่อหาจุดคุ้มทุนที่เหมาะสมของการเลือกใช้มาตรการและความเป็นไปได้ของมาตรการในการปรับปรุงผนังและหลังคาอาคารต่อไป ซึ่งวิธีการปรับปรุงกรอบอาคารจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลงได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้อาคาร 7 (อาคารเฉลิมพระเกียรติ) มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตเป็นอาคารตัวอย่างสำหรับการวิจัยนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \text{เงินลงทุน} \div \text{ผลตอบแทนจากการลงทุน} \quad (5)$$

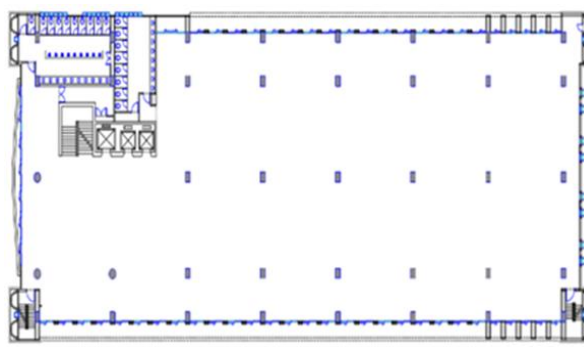
$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งโครงการ}}{\text{ผลประหยัดของพลังงาน} \times \text{ค่าสัมประสิทธิ์ค่าเงินปัจจุบัน}} \quad (6)$$

3. อาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสูง 6 ชั้น (ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก)) มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 10,808.26 m² ผนังอาคารทำด้วยวัสดุต่างๆ คือ (1) Masonry Wall (2) Precast และ (3) Glass Wall ส่วนของหลังคาใช้วัสดุ Metal Sheet หนา 4 mm และแบบแปลนของพื้นที่ภายในอาคาร (ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข)) โดยที่อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีอยู่ที่ 775,500 kWh (อ้างอิงจากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าปี พ.ศ. 2561) ลักษณะการใช้สอยพื้นที่เป็นอาคารประเภทสำนักงานและอาคารเรียน และข้อมูลต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษาได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังงานวิจัยอาคารกรณีศึกษา



ก) ภาพอาคารกรณีศึกษา

ข) แบบแปลนพื้นที่ภายในอาคาร

รูปที่ 2 ภาพและแบบแปลนอาคารตัวอย่างกรณีศึกษาอาคาร 7 (อาคารเฉลิมพระเกียรติ)

ตารางที่ 1 ข้อมูลอาคารตัวอย่างกรณีศึกษา อาคาร 7 (อาคารเฉลิมพระเกียรติ)

ข้อมูลอาคาร	อาคาร 7			
ปีที่เปิดใช้อาคาร	พ.ศ. 2535			
พื้นที่ใช้สอย (m ²)	10,808.26			
พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)	6,858.69			
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (m ²)	3,949.57			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/Year)	775,500			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/(m ² Year))	71.75			
เวลาเปิดใช้อาคาร (ชั่วโมง)	13			
Window-to-Wall Ratio (WWR)	ทิศเหนือ (N)	ทิศใต้ (S)	ทิศตะวันออก (E)	ทิศตะวันตก (W)
	0.234	0.234	0.211	0.211

3.1 สมบัติทางความร้อนของกรอบอาคาร

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอมาตรการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังและหลังคาที่สามารถนำรูปแบบมาตรการมาประยุกต์ใช้ได้จริง โดยใช้เทคนิคการปรับคุณสมบัติของวัสดุและนวัตกรรมของกรอบอาคารมาใช้ในการปรับปรุงผนังและหลังคาของอาคารที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน โดยทำการรวบรวมคุณสมบัติตัวแปรทางความร้อนของกรอบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

เมื่ออาคารได้สร้างขึ้นในรูปแบบ 3 มิติโดยใช้โปรแกรม SketchUp (ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก)) แล้วส่งข้อมูลทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อนของตัวแปรต่างๆ ผ่าน OpenStudio เพื่อนำไปให้ EnergyPlus ทำการคำนวณ (ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข)) ในการสร้างแบบจำลองได้ใช้ข้อมูลค่าอ้างอิงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของตัวแปรทางความร้อนของอาคาร ตามรายการวัสดุแต่ละประเภทที่นำมาใช้ในการปรับปรุงของแต่ละมาตรการโดยตารางที่ 2 ได้แสดงค่า Thermal Conductivity ค่า Density ค่า Specific Heat ค่า Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) และค่า

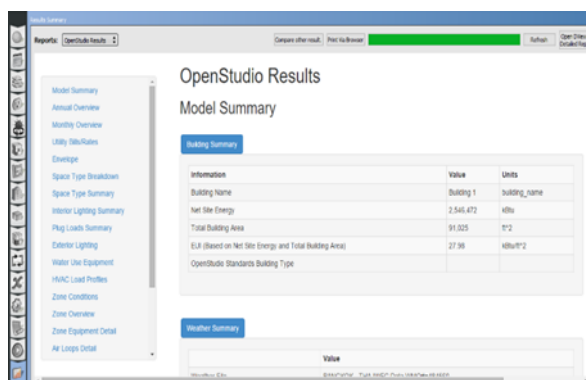
Transmittance ของวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้สำหรับแทนค่าในแบบจำลอง โดยอัตราส่วนของพื้นที่ที่หน้าต่างภายนอก เทียบกับพื้นที่ผนังของอาคาร (WWR) ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1 พบว่าค่า WWR มากที่สุดจะอยู่ที่ทิศเหนือ (N) และ ทิศใต้ (S) มีค่าเท่ากับ 0.234 ทิศตะวันออกและตะวันตกมีอัตราส่วนพื้นที่ที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.211 เนื่องจาก อาคารมีรูปแบบเท่ากัน

ตารางที่ 2 ข้อมูลอ้างอิงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของกับตัวแปรทางความร้อนของอาคารกรณีศึกษา [20-26]

รายการวัสดุ	ค่า Thermal Conductivity (W/m ² .K)	ค่า Density (kg/m ³)	ค่า Specific Heat (kJ/kg°C)	ค่า SHGC	ค่า Transmittance
1. ผนังคอนกรีต (Precast) 75 mm	0.16	2,350	0.84	-	-
2. กระจกใสหนา 6 mm	-	-	-	0.72	0.846
3. ฉนวนกันความร้อน 65 mm	0.035	24	0.96	-	-
4. ผนังไม้ (Wooden wall) 75 mm	0.13	500	1.61	-	-
5. กระจก Low-E หนา 6 mm	-	-	-	0.55	0.846
6. กระจก Double Glazing 6 mm	-	-	-	1.11	0.078
7. กระจก Solar Tag 6 mm	-	-	-	0.41	0.324
8. ฟิล์ม B4100	-	-	-	0.29	0.128
9. ฉนวนหลังคา Stay Cool 150 mm	0.042	12	0.96	-	-



ก) แบบจำลองอาคาร



ข) การจำลองพลังงานผ่าน Open Studio และ EnergyPlus

รูปที่ 3 แบบจำลองอาคารและการจำลองพลังงานในอาคารผ่าน Open Studio และ EnergyPlus

3.2 มาตรการปรับปรุงพลังงานของกรอบของอาคารกรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอรูปแบบมาตรการปรับปรุงเพื่อการประหยัดพลังงานจำนวน 13 มาตรการ โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปร คุณสมบัติด้านความร้อนของกรอบอาคารกรณีศึกษา และความเป็นไปได้ในการจำลองการใช้พลังงานและการปฏิบัติจริงได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 จากนั้นจึงนำมามาตรการที่เลือกไว้ไปทำการจำลองการใช้พลังงานโดยใช้ตัวแปรของแต่ละมาตรการที่เลือกไว้

ตารางที่ 3 รูปแบบมาตรการปรับปรุงเพื่อการประหยัดพลังงาน

	รูปแบบ/มาตรการ (Measures)	ความเป็นไปได้ในการจำลอง	ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ
M1	หมุนอาคารตามทิศจากทิศเหนือไปทิศใต้ตามความยาวของตัวอาคาร	สูง	ต่ำ
M2	ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคารหนา 65 mm	สูง	สูง
M3	เปลี่ยนผนังกระจกทั้งหมดให้เป็นผนังทึบ	สูง	ต่ำ
M4	เปลี่ยนผนังกระจกเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศให้เป็นผนังทึบ	สูง	ต่ำ
M5	เปลี่ยนผนังคอนกรีต (Precast) ทั้งหมดให้เป็นผนังไม้ (Wooden Wall)	สูง	ต่ำ
M6	เปลี่ยนกระจกเป็นกระจก Low-E หนา 6 mm	สูง	สูง
M7	เปลี่ยนกระจกเป็นกระจก Double Glazing	สูง	สูง
M8	เปลี่ยนกระจกเป็นกระจก Solar Tag	สูง	สูง
M9	ติดฟิล์มที่กระจกทั้งอาคาร	สูง	สูง
M10	ตัดพื้นที่ส่วนที่เป็นผนังกระจกออกในส่วนที่เป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศ	สูง	ต่ำ
M11	ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคารหนา 65 mm และติดฟิล์มที่กระจกทั้งอาคาร	สูง	สูง
M12	เปลี่ยนฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาที่ความหนา 75 mm เป็นความหนา 150 mm	สูง	สูง
M13	ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังหนา 65 mm ติดฟิล์ม และเปลี่ยนฉนวนหลังคาหนา 150 mm	สูง	สูง

4. ผลการศึกษา

ผลจากแบบจำลองพลังงานพบว่าค่าการใช้พลังงาน (Energy Use) ของอาคารก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 71.751 kWh/(m²Year) จากการจำลองการใช้พลังงานทั้ง 13 มาตรการได้ผลการศึกษาซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Energy Use ก่อนและหลังการปรับปรุงดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Use ก่อนและหลังการปรับปรุง

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (Energy Use)/ kWh/(m ² Year)	การประหยัดพลังงาน (%)
M1	70.046	2.376
M2	67.806	5.498
M3	69.770	2.761
M4	69.621	2.969
M5	69.612	2.981
M6	69.761	2.773
M7	69.774	2.755
M8	69.890	2.594
M9	69.654	2.923
M10	69.813	2.701
M11	69.830	2.677
M12	69.140	3.639
M13	69.049	3.766

ผลจากการจำลองพลังงานพบว่ามาตรการที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุดคือมาตรการ M2 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 67.806 kWh/(m²Year) รองลงมาคือมาตรการ M13 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 69.049 kWh/(m²Year) และ M12 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 69.140 kWh/(m²Year) ตามลำดับ ในส่วนมาตรการที่ลดการใช้พลังงานได้น้อยที่สุดคือมาตรการ M1 (70.046 kWh/(m²Year)) รองลงมาคือ M8 (69.890 kWh/(m²Year)) และ M11 (69.830 kWh/(m²Year)) ตามลำดับ

การวิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาความเป็นไปได้ในการลงทุนแต่ละมาตรการโดยใช้ผลตอบแทนการลงทุนมาช่วยวิเคราะห์โอกาสและความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุดในระยะเวลา 40 ปี โดยใช้อัตราคิดลดที่ 5% จากข้อมูลการลงทุนปรับเปลี่ยนวัสดุผนังและหลังคา และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร

พบว่ามีเพียง 8 มาตรการเท่านั้น (ดังตารางที่ 5) โดยทั้ง 8 มาตรการเป็นการติดตั้งวัสดุเพิ่มเติมเข้ากับผนังและหลังคาของอาคาร ซึ่งเป็นมาตรการที่สามารถดำเนินการติดตั้งได้จริงในทางปฏิบัติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

จากข้อมูลในตารางที่ 5 พบว่าผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการลงทุนมาตรการทั้ง 8 มาตรการ ผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการที่ M2 M12 และ M13 เมื่อสิ้นสุดโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 533,889.71 บาท 127,139.53 บาท และ 442,360.34 บาท ตามลำดับ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน(PB) ที่ 7.11 ปี 15.57 ปี และ 1.24 ปี ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 มาตรการเป็นมาตรการที่มีค่าผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนในระยะเวลาอายุโครงการ 40 ปี ส่วนมาตรการที่เหลืออีก 5 มาตรการนั้น มีค่าตอบแทนการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนเกินอายุโครงการ 40 ปี จึงเป็นมาตรการที่ไม่น่าลงทุน

ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารนั้นปัญหาทางการเงินและการพิจารณาการลงทุนก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน ดังนั้นการปรับปรุงกรอบอาคารเท่านั้นในการปรับปรุงอาจพิจารณาปรับปรุงได้เพียงบางมาตรการเท่านั้น เพื่อไม่ให้กระทบกับกรอบอาคารเดิม เช่น การเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนัง การเปลี่ยนกระจก การติดฟิล์ม เป็นต้น หากทำการเปลี่ยนผนังอาคารใหม่ทั้งหมดอาจต้องใช้งบประมาณจำนวนมากและต้องทำการยื่นแบบเพื่อขออนุญาตปรับปรุงซึ่งเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก

ตารางที่ 5 แสดงค่าผลตอบแทนการลงทุนของทั้ง 8 มาตรการปรับปรุง

มาตรการ	ผลตอบแทนการลงทุน (บาท)
M2	533,889.71
M6	15,985.26
M7	15,256.11
M8	8,749.83
M9	21,986.74
M11	65,525.94
M12	127,139.53
M13	442,360.34

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลการปรับปรุงสมรรถนะพลังงานโดยมุ่งเน้นที่กรอบอาคารเป็นหลัก เนื่องจากสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารส่งผลให้ลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานของอาคารลดลง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองพลังงาน OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองและคำนวณหาศักยภาพในการประหยัดพลังงานที่เกิดจากมาตรการการปรับปรุง

พลังงานของกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นจำนวน 13 มาตรการ นอกจากนี้แล้วยังทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของแต่ละมาตรการ ผลการศึกษาพบว่ามาตรการที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุดคือ M2 (คิดฉนวนกันความร้อนที่ผนังหนา 65 mm) มีค่า Energy Use อยู่ที่ 67.806 kWh/(m²Year) ตามมาด้วยมาตรการ M13 (คิดฉนวนกันความร้อนที่ผนังหนา 65 mm ติดฟิล์มและเปลี่ยนฉนวนหลังคาหนา 150 mm) มีค่า Energy Use อยู่ที่ 69.049 kWh/(m²Year) และมาตรการ M12 (เปลี่ยนฉนวนกันความร้อนหลังคาเป็น 150 mm) มีค่า Energy Use อยู่ที่ 69.140 kWh/(m²Year) สำหรับมาตรการที่เหลือมีศักยภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานโดยมีค่า Energy Use อยู่ระหว่าง 69.612-70.046 kWh/(m²Year) ในส่วนของการวิเคราะห์การลงทุนนั้นพบว่า มีเพียง 3 มาตรการเท่านั้นที่มีผลตอบแทนและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารคือมาตรการ M2 M13 และ M12 โดยมีค่าผลตอบแทนการลงทุนเมื่อสิ้นสุดโครงการอยู่ที่ 533,889.71 บาท 442,360.34 บาท และ 127,139.53 บาท ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารของสถานศึกษาอื่นได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตศึกษาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมการเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ (CITE) มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ที่สนับสนุนทั้งข้อมูล ความรู้ เทคนิคต่างๆ และขอบขอบคุณทีมงานช่างซ่อมบำรุงที่อำนวยความสะดวกและให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน [Online], Available: <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/guidelinrBEC2017.pdf> [26 พฤศจิกายน 2563].
- [2] Energy Policy and Planning Office, Energy Efficiency Plan 2015-2036 (EEP2015), Bangkok, 2015.
- [3] ธรา จำเนียรดำรงการ, “การพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV),” Veridian E-Journal, ปีที่ 12, ฉบับที่ 6, 2556, หน้า 847-866.
- [4] H.S.M. Shahin, “Adaptive building envelopes of multistory buildings as an example of high-performance building skins,” Alexandria Engineering Journal, Vol. 58, 2019, pp. 345-352.
- [5] L. Sheng, Y.T. Kwok, K.K. Lau, P.W. Chan and E. Ng, “Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque façades: A case study for residential buildings in Hong Kong,” Energy and Buildings, Vol. 193, 2019, pp. 78-91.

- [6] P. Tsikraand and E. Andreou, "Investigation of the energy saving potential in existing school buildings in Greece. The role of shading and daylight strategies in visual comfort and energy saving," *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 38, 2017, pp. 204-211.
- [7] A. Alireza, A. Bakhtiar and M.H. Akbarzadehn, "Energy-efficiency technologies in the building envelope: Life cycle and adaptation assessment," *Journal of Building Engineering*, Vol. 21, 2019, pp. 55-63.
- [8] M. Žigart, R.K. Luckman, M. Premrovand and M.H. Akbarzadehn, "Environmental impact assessment of building envelope components for low-rise buildings," *Energy*, Vol. 163, 2018, pp. 501-512.
- [9] F. Bano and V. Sehgal, "Finding the gaps and methodology of passive features of building envelope optimization and its requirement for office buildings in India," *Thermal Science and Engineering Progress*, Vol. 9, 2019, pp. 66-93.
- [10] J. Ouyang, J. Ge and K. Hokao, "Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation," *Energy Policy*, Vol. 37, 2009, pp. 140-149.
- [11] จิตราวดี รุ่งอินทร์ กันกา และปรีชญา ครูเกษตร, "การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและจำลองสถานการณ์เพื่อสนับสนุนงานบริหารจัดการด้านพลังงานในอาคารเรียน," *วารสารวิชาการ การออกแบบสภาพแวดล้อม*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, 2562, หน้า 145-163.
- [12] สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ, "การศึกษาแบบจำลองค่าพลังงานไฟฟ้าการปรับอากาศและระยะเวลาคืนทุนของการใช้ฉนวนกันความร้อนในกรอบอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว," *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จล.*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2, 2561, หน้า 193-204.
- [13] อรรถนัย เศรษฐบุตร, "การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาว์นเฮาส์," *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, 2550, หน้า 31-51.
- [14] ชนิกันต์ ยิ้มประยูร, "แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารสำหรับประเทศไทย," *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, ฉบับที่ 64, 2558, หน้า 47-62.
- [15] K. Wisawato and A. Phdungsilp, "Analysis of energy performance improvements and economic impacts for Discovery Learning Libraries of Bangkok Metropolitan Administration," 2017 5th International Electrical Engineering Congress, Thailand, 2017.
- [16] L. Brackney, A. Parker, D. Macumber and K. Benne, *Building Energy Modeling with OpenStudio: A Practical Guide for Students and Professionals*, Springer, Switzerland, 2018.
- [17] N. Kampelis, G. I. Papayiannis, D. Kolokotsa, G. N. Galanis, D. Isidori, C. Cristalli and A. N. Yannacopoulos, "An Integrated Energy Simulation Model for Building," *Energies*, Vol. 13, pp. 1-23.

- [18] ตารางการกำหนดอายุการใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวร [Online], Available: <http://www.med.swu.ac.th/supplies/images/V238.pdf> [27 สิงหาคม 2564].
- [19] ไกรวิทย์ เศรษฐวนิช, การจัดการวิศวกรรมซ่อมบำรุงเชิงปฏิบัติการ, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2549.
- [20] A. Zahan, S. Katsarou and A. Julien, “Environmental benefits of using cross-laminated timber with hempcrete insulation in buildings,” Elsharkawy, Heba, Zahiri, Sahar and Clough, Jack (ed.) International Conference for Sustainable Design of the Built Environment (SDBE 2018) , United Kingdom, 2018, pp. 96-107.
- [21] ฟิ ล์ม ดิ ด อ ค า ร เบ อ ร ์ 5 [Online], Available: <https://www.smarttecfilm.com/products/detail/?id=5> [27 สิงหาคม 2564].
- [22] ตารางการกำหนดอายุการใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวร [Online], Available: <http://www.med.swu.ac.th/supplies/images/V238.pdf> [27 สิงหาคม 2564].
- [23] ฉนวนกันความร้อน เอสซีจี รุ่น COOL WALL [Online], Available: <https://bit.ly/3sQUpir> [27 สิงหาคม 2564].
- [24] ฉนวนกันความร้อน เอสซีจี รุ่น STAY COOL [Online], Available: <https://bit.ly/2WlJ6Dr>. [27 สิงหาคม 2564]
- [25] SolarTAG PPlus Type and Specification [Online], Available: <https://www.agc-flatglass.co.th/uploads/product/file/20160527/dow-ekmnot01-1.pdf> [27 สิงหาคม 2564].
- [26] กระดาษสะท้อนแสง โซลาร์เทค ซีเล็คทีฟ เกรย์ [Online], Available: <https://www.agc-flatglass.co.th/uploads/product/file/20160601/dow-ejlpqx35-3.pdf> [27 สิงหาคม 2564].