การประเมินการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงกรอบอาคารของบ้านแถวปรับอากาศ

Evaluation of Energy Savings by Retrofitting of the Building Envelope of Air-conditioned Row House

สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ
Sudaporn Sudprasert

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121
Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand
Email: sudaporn@ap.tu.ac.th

Received 26/10/2018 Revised 5/6/2019 Accepted 24/6/2019

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าพลังงานในการปรับอากาศและการลดพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศสำหรับบ้านแถวหลังมุมและหลังกลาง วิธีการศึกษาได้แก่ การสร้างแบบจำลองทางพลังงานของบ้านกรณีฐานในโปรแกรมจำลองทางพลังงาน eQuest 3.65 ซึ่งจะคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าของบ้านกรณีฐานโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร บ้านกรณีฐานได้มาจากการสำรวจอาคารบ้านแถวในเขตจังหวัดปทุมธานี และจากข้อมูลกฎหมายอาคารประเภทบ้านแถว งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองบ้านกรณีฐานขึ้นมาแล้วนำผลการจำลองทางพลังงานมาเปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าที่เก็บข้อมูลได้จากบ้านจริง ซึ่งได้พบว่า พลังงานไฟฟ้ารวมของบ้านกรณีฐานและบ้านจริงมีความแตกต่างเฉลี่ย 12 เดือน เท่ากับ 10.2% ดังนั้นแบบจำลองบ้านกรณีฐานสามารถเป็นตัวแทนการใช้พลังงานของบ้านแถวทั่วไปได้ จากนั้นได้จำลองมาตรการการลดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งประกอบด้วยการติดตั้งฉนวน แผงบังแดดเหนือหน้าต่าง และการบังแดดผนังทึบลงในแบบจำลองบ้านกรณีฐานซึ่งหันไปทางทิศเหนือ ใต้ ตะวันออกและตะวันตก แล้วคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศจากการใช้มาตรการดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่า บ้านแถวหลังมุมมีภาระการทำความเย็นสูง เนื่องจากการนำความร้อนที่ผนังส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศสูงกว่าบ้านหลังกลาง 611–1,005 หน่วยต่อปี การติดตั้งฉนวนทั้งในผนังและเพดานบ้านหลังมุมสามารถลดพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศลงได้สูงสุด 21 % เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ติดฉนวนโดยสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด 3–5 ปี การปรับปรุงกรอบอาคารโดยใช้อุปกรณ์บังแดดที่หน้าต่างและผนังทึบมีผลในการลดพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศลงเพียงเล็กน้อยและต้องลงทุนสูง จึงแนะนำให้ใช้โครงสร้างของบ้าน เช่น ระเบียงยื่นหรือชายคาในการบังแดด

คำสำคัญ
แบบจำลองทางพลังงานของอาคาร
ภาระการทำความเย็น
การต้านทานความร้อน
ห้องปรับอากาศ

Abstract

This research aims to evaluate the electric energy used and savings in air conditioning in the middle and end-unit row house. Simulation models of the middle and end-unit row houses were constructed in eQuest 3.65, an energy simulation program, to calculate the baseline energy consumption using the Bangkok meteorological data. The base case is derived from the survey of the row house in Pathum Thani Province and from the Building Control Act. This research created base case models and compared the simulated results with the electricity consumption collected from a row house. It was found that the average difference between the simulated results and the collected data was 10.2%. Therefore, the base case model can represent the energy consumption in the row house reasonably. After that, the three energy measures: 75-mm insulation, window overhang, and wall shading, were applied to the models facing to north, south, east and west. The study found that the end-unit row houses required high cooling load due to the heat conduction through wall. The electrical energy consumption for air conditioning in the end-unit house was higher than the middle house by 611-1,005 kWh per year. Installing of insulation with 75 mm. thickness in both walls and ceilings can reduce energy consumption by up to 21% compared to non-insulated ones. The payback period was 3-5 years. Shading of windows and wall moderately reduced the electrical energy for air conditioning while the investment cost was high. It was recommended to use the structure of the house, such as a balcony or eaves for shading instead of additional shading devices.

Keywords

Building energy simulation

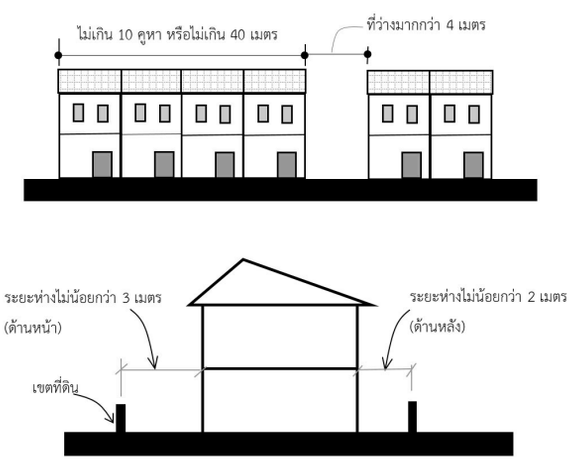
Cooling load

Heat resistance

Air-conditioning room

1. บทนำ

อาคารบ้านแถวหรือทาวน์เฮ้าส์นั้นเป็นที่นิยมของคนรุ่นใหม่หรือผู้ที่กำลังเริ่มต้นสร้างครอบครัวเพราะมีราคาที่ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายกลุ่มใหญ่สามารถซื้อได้ (เผด็จพล พงษ์สวัสดิ์ และกองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์, 2556) ตามกฎหมายอาคารแล้ว (สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2543) ทาวน์เฮ้าส์จัดอยู่ในอาคารประเภทบ้านแถว ซึ่งได้กำหนดไว้ว่า บ้านแถว หรือ ทาวน์เฮ้าส์ เป็นอาคารที่สร้างติดต่อกันเป็นแถวตั้งแต่ 2 คูหาขึ้นไปมีผนังร่วมแบ่งเป็นคูหา ใช้เป็นที่ที่อยู่อาศัยซึ่งมีที่ว่างด้านหน้าและด้านหลังระหว่างรั้วหรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคาร และมีความสูงไม่เกิน 3 ชั้น ซึ่งที่ว่างด้านหน้าจากแนวรั้วไม่น้อยกว่า 3 เมตร ที่ว่างด้านหลังอาคารไม่น้อยกว่า 2 เมตร ความกว้างของอาคารถูกกำหนดว่าต้องไม่น้อยกว่า 4 เมตร โดยวัดระยะตั้งฉากจากแนวศูนย์กลางของเสาต้นหนึ่งไปยังอีกต้นหนึ่ง ความลึกของที่ดิน 4–24 เมตร นอกจากนี้ยังกำหนดไว้อีกว่า บ้านแถวหรือทาวน์เฮ้าส์ที่ยาวรวมกันถึง 40 เมตร หรือ 10 คูหา ต้องมีที่ว่างระหว่างแถวด้านข้างของบ้านแถวนั้นกว้างไม่น้อยกว่า 4 เมตร รูปที่ 1 แสดงข้อกำหนดทางกฎหมายของอาคารบ้านแถวหรือทาวน์เฮ้าส์



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 1 ข้อกำหนดของอาคารบ้านแถวหรือทาน์เฮ้าส์
(The legal requirements of a townhome)

ในปัจจุบันพบว่าผู้ประกอบการนิยมสร้างอาคารบ้านแถวที่มีหน้ากว้าง 5.7 เมตร เนื่องมาจากข้อกำหนดด้านกฎหมายดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีเหตุผลด้านการตลาดและความคุ้มค่าในการลงทุน กล่าวคือเมื่อแบ่งหน้ากว้าง 5.7 เมตรแล้วสามารถสร้างบ้านได้ 7 หลังต่อกันในแถวเดียวโดยเหลือเศษด้านข้างน้อยที่สุดคือ 40 – (5.7x7) เมตร = 0.1 เมตร และสามารถสร้างเป็นอาคาร 2 ชั้นได้โดยที่จัดขนาดห้องนอนได้ตามกฎหมายคือ ห้องนอนมีขนาดด้านแคบที่สุดไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร (ธีรพงศ์ ลิ้มมหากุล, 2559) งานวิจัยนี้ จึงเลือกบ้านแถวที่มีหน้ากว้าง 5.7 เมตร สูง 2 ชั้น ประกอบด้วย 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ และ 1 ห้องนั่งเล่น มาเป็นบ้านกรณีฐาน (base case) ซึ่งเป็นรูปแบบบ้านใกล้เคียงกับบ้านแถวหลังกลางที่ให้ข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าจริงจากใบเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปี 2559

จากรายงานการใช้พลังงานในประเทศไทย พบว่าภาคที่อยู่อาศัยมีสัดส่วนการใช้พลังงาน 24% ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในประเทศในปี 2017 โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 จากปี 2011 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2018) ดังนั้นการลดการใช้พลังงานจึงมีส่วนช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานของประเทศ จากการศึกษางานวิจัยทั่วโลกพบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 18–73% ของการใช้พลังงานรวมในภาคที่อยู่อาศัย (Diana Ürge-Vorsatz, et al., 2015) พบว่าบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้นนั้นใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่า 50% (Boukhanouf and Wilson, 2015) การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในครัวเรือนนั้นเกิดจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนด้วย (Jariya Yomsatiankul et al, 2018) เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศร้อนชื้น การพักอาศัยในบ้านที่ใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติอาจไม่เพียงพอในฤดูร้อน จึงต้องเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเจ้าของบ้านก็จะต้องมีค่าใช้จ่ายทางพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย งานวิจัยนี้จะศึกษาภาระการทำความเย็นของบ้านแถวหลังกลางและหลังหัวมุม ซึ่งมีพื้นที่ผนังแตกต่างกัน ส่งผลให้บ้านแถวแหลังกลางและหลังหัวมุมมีภาระการทำความเย็นที่แตกต่างกัน และศึกษาผลการลดการใช้พลังงานและระยะเวลาคืนทุน จากการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยการติดตั้งฉนวน การใช้อุปกรณ์บังแดดที่หน้าต่าง และการบังแดดที่ผนังทึบ ในอาคารบ้านแถวที่หันหน้าไปทางทิศเหนือ ใต้ ตะวันตก และตะวันออก วิธีการศึกษา ใช้การจำลองอาคารในโปรแกรมจำลองพลังงานอาคาร eQuest 3.65 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คำนวณด้วยอัลกอริทึมของ DOE2.2 ที่มีการใช้แพร่หลายทั่วโลกและได้รับการยอมรับให้ใช้ประเมินอาคารตามมาตรฐานอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา หรือ LEEDS

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ประเมินผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศจากการใช้มาตรการปรับปรุงกรอบอาคาร

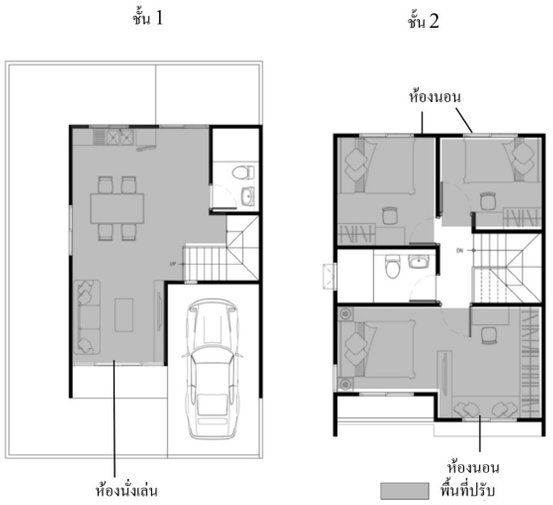
3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาบ้านพักอาศัยประเภทบ้านแถว เพื่อสร้างแบบจำลองกรณีฐาน (base case) ได้แก่ พื้นที่และแปลนอาคาร จำนวนชั้น วัสดุก่อสร้างหลักของผนังภายในและผนังภายนอก วัสดุมุงหลังคา ตารางกิจกรรม และการใช้งานเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น บ้านกรณีฐาน เป็นบ้านกรณีทั่วไป ใช้สำหรับเปรียบเทียบผลการศึกษาตัวแปร การปรับปรุงอาคาร ข้อมูลวัสดุก่อสร้าง พื้นที่ใช้งาน และการใช้งานเครื่องปรับอากาศของบ้านกรณีฐาน แสดงไว้ในตารางที่ 1 ถูกนำมาป้อนเข้าโปรแกรมจำลองพลังงานอาคาร eQuest 3.65 เพื่อให้โปรแกรมคำนวณภาระการทำความเย็น และค่าพลังงานรวมต่อปีภายใต้สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร การจำลองอาคาร รวมถึงทิศของบ้านด้วย คือ บ้านหันไปทางทิศเหนือ ใต้ ตะวันตกและตะวันออก จากนั้นจึงเพิ่มการติดตั้งฉนวนที่ผนังและหลังคา การบังแดดผนังทึบของบ้านแถวหลังมุม และการบังแดดที่กระจกหน้าต่างและประตูกับบ้านแถวกรณีฐาน ฉนวนที่นำมาจำลองการติดตั้งหนา 0.075 เมตร มีค่าการต้านทานความร้อน (R) เท่ากับ 10.0 $h^2 \cdot ft^2/Btu$ หรือเท่ากับ 1.988 ตารางเมตร•เคลวิน/วัตต์ (Siam Cement Group, 2016) ในงานวิจัยนี้ ไม่พิจารณาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า และไม่คิดภาระทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

รูปที่ 2 แสดงพื้นที่ปรับอากาศ (ส่วนที่แรเงา) ในแปลนบ้านแถวหลังมุมในกรณีฐาน ซึ่งประกอบไปด้วยห้องนั่งเล่น ชั้น 1 และ ห้องนอน 3 ห้องในชั้น 2 รวมพื้นที่ปรับอากาศ 57.74 ตารางเมตร รูปที่ 3 แสดงลักษณะอาคารบ้านแถวหลังมุมและหลังกลางที่สร้างในโปรแกรม eQuest ซึ่งมีความแตกต่างกันเฉพาะผนังด้านหนึ่งในบ้านแถวหลังมุมเป็นผนังภายนอกและมีผนังอีกด้านหนึ่งเป็นผนังภายในติดกับบ้านอื่น ในขณะที่บ้านแถวหลังกลางจะมีผนังภายในที่ติดกับบ้านหลังอื่นสองด้าน การสร้างผนังภายในในโปรแกรม eQuest สามารถทำได้ในโหมดการกำหนดรายละเอียด (detailed mode) ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้ผนังภายในไม่มีการถ่ายเทความร้อน (adiabatic) ในส่วนอื่น ๆ นั้นบ้านแถวหลังกลาง จะใช้ข้อมูลเดียวกับบ้านแถวหลังมุม ตารางที่ 2 แสดงรายการวัสดุผนังเรียงจากด้านนอกสุดไปด้านในสุด ผลรวมของการต้านทานความร้อนที่หลังคามากกว่าที่ผนังประมาณ 2 เท่า เนื่องจากหลังคาประกอบด้วยชั้นอากาศใต้หลังคาหนาประมาณ 0.5–1 เมตร ซึ่งมีค่าการต้านทานความร้อนสูง

ตารางที่ 1 ข้อมูลป้อนเข้าโปรแกรม eQuest ในบ้านแถวกรณีฐาน (Input data of the base case for in the eQuest program)

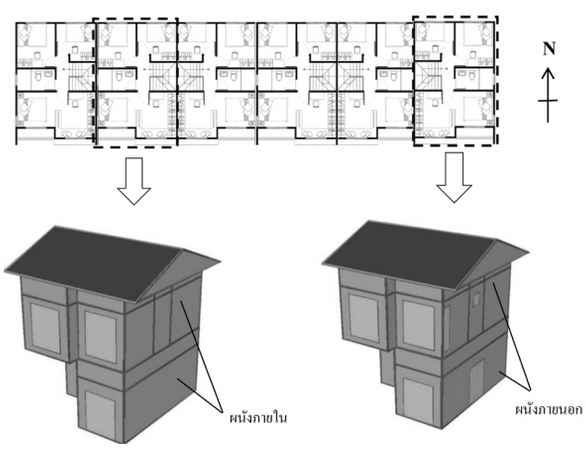
ข้อมูล	ค่าของข้อมูล
พื้นที่ปรับอากาศในอาคาร (ตารางเมตร)	ห้องนั่งเล่น= 26.14 ห้องนอน 1= 16 ห้องนอน 2= 8.6 ห้องนอน 3= 7.1
จำนวนชั้น	2 (ระยะพื้นถึงพื้น 3 เมตร)
วัสดุก่อสร้างหลักของผนังภายนอก	ผนังก่ออิฐมอญหนา 0.1 เมตร ทาสีอ่อน
วัสดุก่อสร้างหลักของผนังภายใน	ผนังก่ออิฐมอญหนา 0.1 เมตร
วัสดุกระจก	กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร
วัสดุมุงหลังคาช่องอากาศและฝ้าเพดาน	กระเบื้องซีเมนต์ไฟเบอร์ และฝ้ายิบซัมบอร์ด
วัสดุพื้น	คอนกรีตหนา 150 มิลลิเมตร ปูกระเบื้องเซรามิก
ร้อยละพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศ S, E, W, N – หลังมุม – หลังกลาง	ชั้น 1 24.94, 9.96, 0.0, 20.2 ชั้น 2 25.7, 5.0, 0.0, 14.42 ชั้น 1 24.94, 0.0, 0.0, 20.2 ชั้น 2 25.7, 0.0, 0.0, 14.42
ทิศทางของอาคาร	S, E, W, N
พื้นที่ใช้งานต่อคน (ตารางเมตร/คน)	12
ตารางการใช้งานอาคาร	8 am-8 pm ห้องนั่งเล่น 8 pm-8 am ห้องนอน
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ (EER)	11.0
การตั้งค่าอุณหภูมิในห้องปรับอากาศ	25°C



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

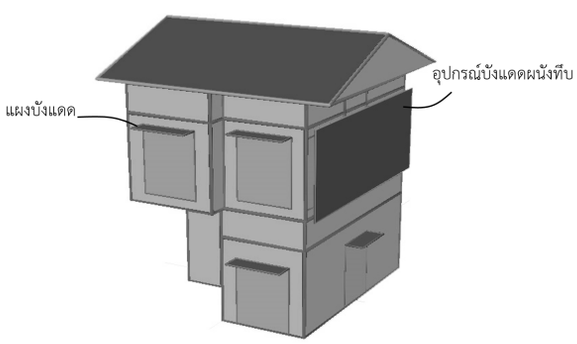
รูปที่ 2 แปลนบ้านแถวและพื้นที่ปรับอากาศในงานวิจัยนี้ (Plans of air conditioned spaces in the row house in this study)

ผลการศึกษาจากบ้านกรณีฐานจะนำมาเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา กรณีศึกษาของบ้านแถวหลังกลางมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 75 มิลลิเมตรที่เพดานชั้นสองของบ้านและการติดอุปกรณ์บังแดดที่มีระยะยื่น 0.6 เมตร กรณีศึกษาของบ้านแถวหลังมุมมี1) การบังแดดผนังทึบแนวตั้งห่างจากผนังออกไปประมาณ 0.3 เมตร 2) การบังแดดกระจกระยะยื่น 0.6 เมตร 3) การติดตั้งฉนวนฉนวนใยแก้วหนา 75 มิลลิเมตรที่เพดานและ 4) การติดตั้งฉนวนฉนวนใยแก้วหนา 75 มิลลิเมตรที่ผนัง ลักษณะของแผงบังแดดและการบังแดดผนังทึบในการศึกษานี้แสดงไว้ในรูปที่ 4 การคำนวณการบังแดดผนังทึบในโปรแกรมใช้การคำนวณการบังแดดจากรังสีอาทิตย์ตรงซึ่งไม่ได้คำนึงถึงการไหลของอากาศที่อยู่ระหว่างผนังบ้านกับอุปกรณ์บังแดด



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 3 อาคารจำลองสร้างในโปรแกรม eQuest 3.65 (Simulated model in the eQuest 3.65 program)



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 4 แผงบังแดดและการบังแดดผนังทึบด้านข้างในกรณีศึกษาของบ้านแถวหลังมุม (The shading device and the wall shading in the study of the end-unit row house)

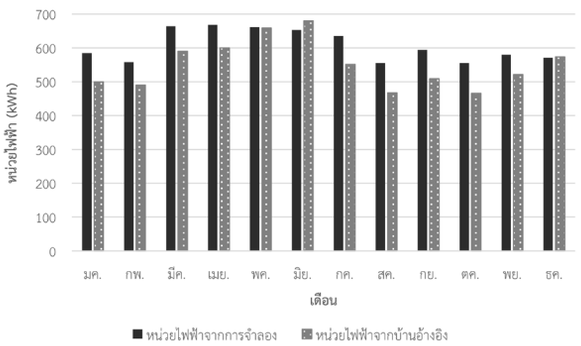
ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R) ของวัสดุก่อสร้างผนังและหลังคาของบ้านแถวกรณีฐาน (Total thermal resistance of the wall and roof in the base case)

ผนังภายนอก	R (h^2•ft^2/Btu)	หลังคา	R (h^2•ft^2/Btu)
ซีเมนต์ฉาบหนา 0.01 เมตร	0.043	กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 0.003 เมตร	0.085
อิฐมอญหนา 0.1 เมตร	0.80	ช่องอากาศเหนือฝ้า	2
ซีเมนต์ฉาบหนา 0.01 เมตร	0.043	แผ่นยิบซัมหนา 0.012 เมตร	0.45
ฟิล์มอากาศภายใน	0.68	ฟิล์มอากาศภายใน	0.62
รวม	1.57	รวม	3.16

ที่มา: James J. Hirsch & Associates (2009)

4. การเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจริง

ความแม่นยำของผลการคำนวณแบบจำลอง จะทดสอบด้วยการจำลองบ้านอ้างอิง ที่ให้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม ข้อมูลค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้าของบ้านอ้างอิงนั้น ได้มาจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของบ้านอ้างอิง ซึ่งรวมค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้านแล้ว ดังนั้นจึงทำการจำลองบ้านอ้างอิงในโปรแกรม eQuest โดยป้อนข้อมูลกรอบอาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ รวมถึงตารางการใช้งานให้ตรงตามบ้านอ้างอิง บ้านอ้างอิงเป็นบ้านแถวสองชั้นหลังกลางที่มีหน้ากว้าง 5.7 เมตร หน้าบ้านหันไปทางทิศเหนือ มีแผงบังแดดที่หน้าต่าง การจัดพื้นที่ภายในและวัสดุก่อสร้างอาคารเหมือนบ้านกรณีฐาน แต่มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง 10 วัตต์/ตารางเมตร และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ประมาณ 0.01 วัตต์/ตารางเมตร ด้วย ตารางการใช้งานเครื่องปรับอากาศเฉพาะคือมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ 4 ชั่วโมงในเวลากลางวันในห้องนั่งเล่น (12 am.-4 pm.) และ 10 ชั่วโมงในห้องนอน (8 pm.-6 am.)



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 5 ผลการจำลองหน่วยพลังงานไฟฟ้าของบ้านอ้างอิงเทียบกับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากบ้านอ้างอิง (Simulated results of electrical energy consumption in the base case compared with the collected data)

ตารางที่ 3 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของบ้านหลังกลางที่หันหน้าบ้านในทิศต่าง ๆ (The peak cooling load of the middle-unit row house with different orientations)

ที่มาของภาระการทำความเย็น	ทิศ							
	ใต้		ตะวันตก		เหนือ		ตะวันออก	
	kW	%	kW	%	kW	%	kW	%
การนำความร้อนผ่านผนัง	1.51	17.7	1.94	21.2	1.55	17.6	1.95	21.1
การนำความร้อนผ่านหลังคา	2.1	24.6	1.85	20.2	2.10	24.0	1.85	20.0
การนำความร้อนผ่านกระจกและกรอบ	0.81	9.5	1.25	13.6	0.82	9.3	1.25	13.5
รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก	2.82	33.0	3.26	35.6	3.02	34.4	3.33	36.1
การนำความร้อนผ่านพื้นชั้นล่าง	0.23	2.6	0.20	2.2	0.23	2.6	0.20	2.2
ผู้ใช้งาน (ความร้อนสัมผัส+แฝง)	0.12	1.4	0.12	1.3	0.12	1.3	0.12	1.3
การรั่วซึม (ความร้อนสัมผัส+แฝง)	0.93	11.1	0.54	5.9	0.93	10.8	0.54	5.8
รวม	**8.53**	**100**	**9.16**	**100**	**8.77**	**100**	**9.24**	**100**
วันเวลาที่เกิดภาระสูงสุด	2 ธค. 14.00 น.		30 เมย. 17.00 น.		3 ธค. 14.00 น.		30 เมย. 17.00 น.	

ตารางที่ 4 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของบ้านหลังมุมที่หันหน้าบ้านในทิศต่าง ๆ (The peak cooling load of the end-unit row house with different orientations)

ที่มาของภาระการทำความเย็น	ทิศ							
	ใต้		ตะวันตก		เหนือ		ตะวันออก	
	kW	%	kW	%	kW	%	kW	%
การนำความร้อนผ่านผนัง	2.83	29.01	3.16	30.2	2.63	27.6	3.09	30.4
การนำความร้อนผ่านหลังคา	2.03	20.83	2.02	19.3	1.85	19.5	1.78	17.5
การนำความร้อนผ่านกระจกและกรอบ	0.86	8.78	0.98	9.3	0.87	9.2	1.32	13.0
รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก	2.77	28.44	3.21	30.7	3.00	31.6	3.16	31.0
การนำความร้อนผ่านพื้นชั้นล่าง	0.21	2.16	0.18	1.8	0.21	2.2	0.19	1.9
ผู้ใช้งาน (ความร้อนสัมผัส+แฝง)	0.12	1.26	0.12	1.2	0.12	1.3	0.12	1.2
การรั่วซึม (ความร้อนสัมผัส+แฝง)	0.93	9.52	0.79	7.6	0.82	8.7	0.52	5.1
รวม	**9.74**	**100**	**10.47**	**100**	**9.51**	**100**	**10.18**	**100**
วันเวลาที่เกิดภาระสูงสุด	3 ธค. 14.00 น.		17 มีค. 17.00 น.		3 ธค. 15.00 น.		30 เมย. 17.00 น	

ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของแบบจำลองบ้านอ้างอิงกับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจริงแสดงตามรูปที่ 5 พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าจากการจำลองส่วนใหญ่จะสูงกว่าข้อมูลจากบ้านอ้างอิง ความแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 16% ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่างกันน้อยที่สุดในเดือนพฤษภาคมคิดเป็น 1.9% ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างค่าไฟฟ้าการจำลองบ้านอ้างอิงกับข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 10.2 % ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากการไม่สามารถตั้งค่าการใช้งานให้ตรงความเป็นจริงทุกชั่วโมงใน 1 ปีได้ ดังนั้นถือได้ว่าโปรแกรมสามารถจำลองค่าพลังงานได้โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย –10% เทียบกับข้อมูลจริง

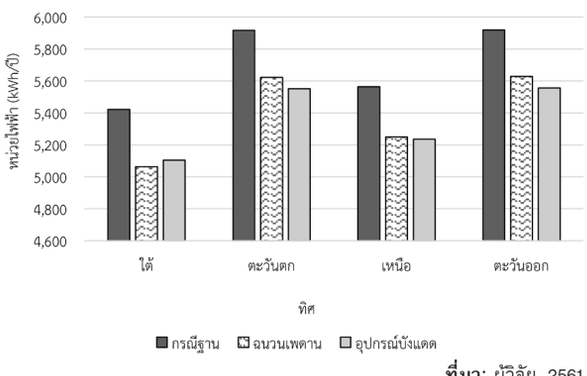
5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการจำลองภาระความเย็นสูงสุดในบ้านแถวกรณีฐาน

จากตารางที่ 3 แสดงผลการจำลองภาระการทำความเย็นสูงสุดของบ้านหลังกลางที่หันไปในทิศต่าง ๆ ภาระการทำความเย็นแบ่งออกเป็นความร้อนที่ผ่านผนัง หลังคา กระจก รังสีอาทิตย์ พื้นชั้นล่าง คนใช้งานและอากาศรั่วซึม จะเห็นได้ว่า ภาระความร้อนจากคนนั้น กำหนดให้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศ ภาระความร้อนจากอากาศรั่วซึมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามทิศเกิดจากความเร็วลมภายนอก ภาระความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกหน้าต่างและประตูมีค่าสูงสุดในทุกทิศ โดยคิดเป็น 33.0–36.1% ของภาระการทำความเย็นรวม เนื่องมาจากบ้านแถวในงานวิจัยนี้ มีหน้าต่างบานใหญ่ ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของบ้าน ภาระการทำความเย็น รองลงมาคือ ความร้อนที่ผ่านหลังคาและผนังทึบตามลำดับ ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของบ้านที่หันไปในทิศตะวันออกและตะวันตกมีค่าใกล้เคียงกัน เกิดขึ้นในฤดูร้อนและมีค่าสูงกว่าในทิศเหนือและทิศใต้ ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านมาทางหน้าต่างในทิศตะวันออกและตะวันตกประกอบกับอุณหภูมิอากาศสูงในช่วงฤดูร้อน ตารางที่ 4 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของบ้านหลังมุมที่หันหน้าบ้านไปในทิศต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของบ้านหลังมุมมาจากการนำความร้อนผ่านผนังใกล้เคียงกับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านกระจก โดยมีค่าประมาณ 27–31.6% ของค่าภาระการทำความเย็นรวม บ้านหลังมุมมีค่าภาระการทำความเย็นรวมสูงกว่าบ้านหลังกลางประมาณ 0.74–1.31 kW หรือประมาณ 8.4–14.2% การศึกษาภาระความร้อนรวมสูงสุด เป็นสิ่งสำคัญการออกแบบขนาดระบบปรับอากาศที่เหมาะกับบ้าน นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบถึงแหล่งที่มาของความร้อน ซึ่งจะสามารถนำไปกำหนดมาตรการการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสม

5.3 ผลของมาตรการปรับปรุงบ้านแถวหลังกลาง

การปรับปรุงบ้านแถวหลังกลางในงานวิจัยนี้ มีสองวิธี คือ การติดตั้งฉนวนที่เพดานชั้นสองของบ้าน และการติดอุปกรณ์บังแดดที่มีระยะยื่น 0.6 เมตร ผลการจำลองทางพลังงานของบ้านแถวหลังกลางแสดงไว้ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีลดลง จากมาตรการทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับบ้านในทุกทิศทาง โดยลดลงจากกรณีฐานคิดเป็น 5.0 – 6.9%



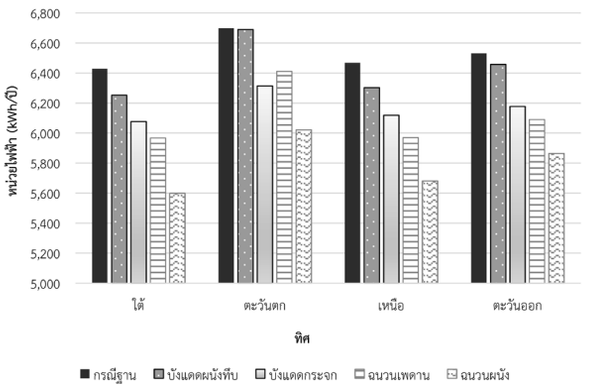
ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 6 ผลการจำลองการปรับปรุงกรอบอาคารบ้านแถวหลังกลาง (The results of row house's envelope retrofitting in the middle-unit)

5.4 ผลของมาตรการปรับปรุงบ้านแถวหลังมุม

การปรับปรุงบ้านแถวหลังมุมในงานวิจัยนี้มี 4 วิธี คือ การบังแดดผนังทึบ การบังแดดกระจกระยะยื่น 0.6 เมตร การติดตั้งฉนวนที่เพดานและการติดฉนวนที่ผนัง ผลการจำลองทางพลังงานของบ้านแถวหลังมุมแสดงไว้ดังรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า มาตรการปรับปรุงอาคารที่ให้ผลการลดพลังงานไฟฟ้าทุกมาตรการ เรียงจากลดลงน้อยที่สุดไปมากที่สุด คือ การบังแดดผนังทึบ การบังแดดกระจก การติดฉนวนที่เพดาน และการติดฉนวนที่ผนัง ตามลำดับ การบังแดดผนังทึบนั้น ได้แก่ การติดตั้งแผงบังแดดทึบแนวตั้งห่างจากผนังออกไปประมาณ 0.3 เมตร การบังแดดนั้นลดรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ได้ แต่ยังคงมีการแผ่รังสีความร้อนจากแผงบังแดดและการพาความร้อนจากช่องอากาศเข้ามาสู่ผนัง การบังแดดที่ผนังทึบของบ้านหลังมุมที่หันไปทางทิศตะวันตก การบังแดดในบ้านหลังมุมที่หันหน้าไปทางทิศตะวันตกนั้น ไม่ให้ผลในการลดลงของ

พลังงาน เนื่องจากผนังด้านที่มีการบังแดดนั้นหันไปในทางทิศใต้ ซึ่งมีรังสีอาทิตย์สูงตลอดปีสำหรับประเทศไทย ส่วนในทิศอื่น ๆ การบังแดดที่ผนังนั้นลดพลังงานไฟฟ้าลงประมาณ 2–3% การบังแดดที่กระจกลดพลังงานไฟฟ้าลง 5.4–5.7% การติดฉนวนที่เพดานลดพลังงานไฟฟ้าลง 4.3–7.7% การติดฉนวนที่ผนังลดพลังงานไฟฟ้าลง 10.1–12.9%

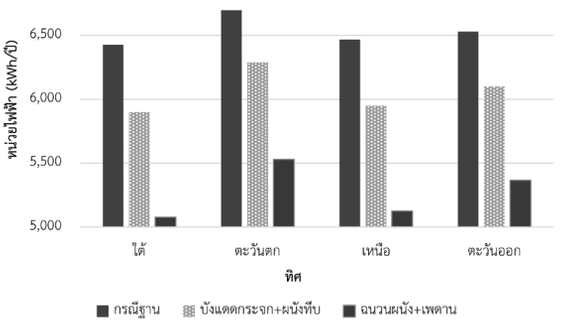


ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 7 ผลการจำลองการปรับปรุงกรอบอาคารบ้านแถวหลังมุม (The results of row house's envelope retrofitting in the end-unit)

5.5 ผลจากการใช้สองมาตรการพร้อมกันในบ้านแถวหลังมุม

การบังแดดทั้งที่กระจกและผนังทึบ และการใช้ฉนวนทั้งที่ผนังและเพดาน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้เพียงมาตรการเดียว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 การบังแดดทั้งที่กระจกและผนังทึบให้ผลการลดลงของพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับกรณีฐาน 6.1–8.2% ในขณะที่การติดตั้งฉนวนทั้งที่ผนังและเพดานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 17.5–21% เมื่อเทียบกับกรณีฐาน อย่างไรก็ตาม การติดตั้งฉนวนนั้นมีราคาสูง โดยเฉพาะการติดตั้งที่ผนังจะต้องลงทุนค่าโครงและวัสดุปิดผิวนอกเหนือไปจากค่าวัสดุฉนวน ซึ่งจะได้ศึกษาระยะเวลาคุ้มทุนของมาตรการต่าง ๆ ในหัวข้อถัดไป



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

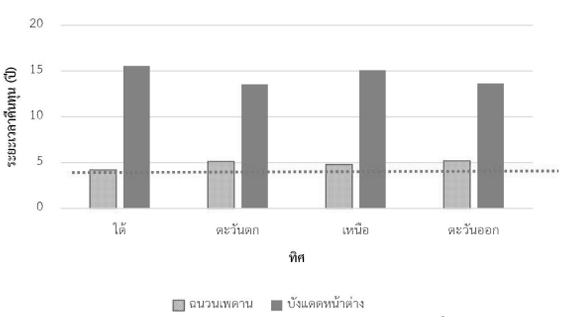
รูปที่ 8 ผลการจำลองค่าพลังงานไฟฟ้าเมื่อปรับปรุงสองมาตรการพร้อมกันในบ้านแถวหลังมุม (The results of energy consumption in the end-unit row house using two energy measures)

5.6 การวิเคราะห์ความคุ้มทุน

ความคุ้มทุนของการติดตั้งฉนวนพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน (payback period) ระยะเวลาคืนทุนคำนวณจาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเฉพาะค่าวัสดุ (บาท)}}{\text{ผลประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อปี)}}$$

ราคาต่อตารางเมตรของวัสดุฉนวน โครงคร่าว วัสดุปิดผิว กันสาดสำเร็จรูป ที่จะนำมาวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายแสดงไว้ในตารางที่ 5 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของบ้านที่อยู่อาศัยซึ่งใช้ไฟฟ้าเกิน 400 หน่วยต่อเดือนเท่ากับ 3.936 บาท/kWh ผลการคำนวณเงินลงทุน ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุนแสดงไว้ในรูปที่ 9 และรูปที่ 10



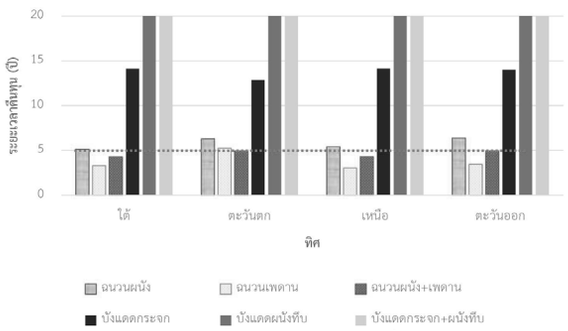
ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 9 ระยะเวลาคืนทุนของมาตรการปรับปรุงบ้านแถวหลังกลาง (The payback period of retrofitting the middle-unit row house)

ตารางที่ 5 ราคาวัสดุและการลงทุน (Material cost and investment cost)

วัสดุ	พื้นที่ติดตั้ง (ตารางเมตร)	ราคา (บาท/ตารางเมตร)	รวมลงทุน ค่าวัสดุ (บาท)
ฉนวนใยแก้วหนา 75 มิลลิเมตร	เพดานห้องนอน = 31.7	[1]187.5	5,944
ฉนวนใยแก้วหนา 75 มิลลิเมตร	ผนังภายนอก = 34.3	[1]187.5	16,723
แผ่นยิบซัมปิดผิวและโครงคร่าวอลูมิเนียม	ผนังภายนอก = 34.3	[2]300	
กันสาดสำเร็จรูปโพลีคาร์บอเนตโครงเหล็ก	เหนือกระจกหน้าต่าง/ประตู = 8	[3]2,500	20,000
ระแนงไม้เทียมโครงเหล็ก	ผนังภายนอกชั้นสอง = 15	[3]2,500	37,500

[1] Siam Cement Group, 2016
[2] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556
[3] บริษัทจำกัด (บุญนำพา) รุ่งเรือง, 2561



ที่มา: ผู้วิจัย, 2561

รูปที่ 10 ระยะเวลาคืนทุนของมาตรการปรับปรุงบ้านแถวหลังมุม (The payback period of retrofitting the end-unit row house)

รูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงผลการศึกษาระยะเวลาคืนทุนของมาตรการปรับปรุงบ้านแถวหลังกลางและบ้านแถวหลังมุมตามลำดับ ฉนวนใยแก้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์มีอายุการใช้งาน 10 ปี โดยอาจจะมีการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและความชื้น เช่น ความหนาลดลง ส่งผลให้สมบัติการต้านทานความร้อนลดลง ดังนั้นระยะเวลาคุ้มทุนของฉนวนจะกำหนดไว้ที่ 5 ปี จากรูปที่ 9 และรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า การติดตั้งฉนวนที่เพดานบนโครงสร้างแผ่นฝ้าเดิม ไม่ต้องลงทุนด้านโครงสร้างเพิ่มเติม จึงมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด 3–5 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการอื่น มาตรการติดตั้งฉนวนที่ผนังนั้น มีการลงทุนเพิ่มขึ้น แต่สามารถคืนทุนได้เร็ว 5–6 ปี สำหรับบ้านหลังมุมที่มีค่าการใช้พลังงานสูง คือ บ้านที่หันไปในทิศตะวันตกและตะวันออก การลงทุนติดตั้งฉนวนทั้งที่ผนัง และที่เพดานของบ้านหลังมุม ก็สามารถคืนทุนได้ภายใน 5 ปี เช่นเดียวกัน มาตรการการบังแดดที่กระจกและที่ผนังทึบนั้น มีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 10 ปี เนื่องจากการลงทุนสูงแต่ประหยัดพลังงานได้น้อย ดังนั้นการบังแดดควรใช้ส่วนของอาคาร เช่น ชายคาหรือระเบียงยื่น เพื่อจะได้ไม่ต้องลงทุนปรับปรุงติดโครงสร้าง หรือวัสดุเพิ่มเติม

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาแหล่งความร้อนและผลต่อภาระทำความเย็นของบ้านแถวหลังกลางและบ้านแถวหลังมุม ซึ่งพบว่า ในวันและเวลาที่เกิดความร้อนสูงสุดนั้น บ้านหลังมุมจะมีความร้อนสูงกว่าบ้านหลังกลางประมาณ 8.4–14.2% เนื่องจากบ้านหลังมุมได้รับความร้อนจากผนังด้านข้างที่ไม่ติดกับบ้านอื่น ส่งผลให้การใช้พลังงานในการปรับอากาศของบ้านหลังมุมสูงกว่าบ้านหลังกลาง 611–1,005 หน่วยต่อปี ขึ้นอยู่กับทิศทางที่อาคารหันหน้าไปโดยบ้านหลังมุมที่หันไปทางทิศตะวันตก มีค่าพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศสูงที่สุด บ้านแถวหลังกลางจะได้รับรังสีอาทิตย์มาก ต่อเมื่อหันไปทางทิศตะวันตกและตะวันออก ซึ่งในขณะนั้นก็มีการกันความร้อนจากดูหาอื่นๆ ที่บังแดดจากทิศใต้ไว้ ซึ่งต่างจากบ้านแถวหลังมุมในการหันทิศทางเดียวกัน และบ้านแถวหลังริมซ้ายและขวา เมื่อหันไปทางทิศใดทิศหนึ่ง ก็จะได้รับความร้อนต่างกัน เช่น เมื่ออาคารทั้งแถวหันหน้าไปทางทิศตะวันตก ผนังของบ้านริมซ้ายจะหันทิศใต้ส่วนผนังของบ้านหลังริมขวาหันไปทิศเหนือทำให้ค่าพลังงานไม่เท่ากัน

มาตรการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ โดยการติดตั้งฉนวนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 5.0–6.9% สำหรับบ้านหลังกลาง และ 4.2–12.9% สำหรับบ้านแถวหลังมุม และการติดฉนวนทั้งเพดานและผนังประหยัดพลังงานได้ 21% การใช้อุปกรณ์บังแดดที่หน้าต่างที่มีระยะยื่น 0.6 เมตร นั้นสามารถลดพลังงานลงได้ 5.4–5.7% และการบังแดดผนังทึบนั้นลดการใช้ไฟฟ้าลงได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับมาตรการอื่น จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนพบว่า การใช้ฉนวนที่ผนังและหรือหลังคาสามารถคืนทุนได้ในเวลา 3–6 ปี ในขณะที่การบังแดดด้วยการติดตั้งกันสาดถาวรนั้น ลงทุนสูงและมีระยะเวลาคืนทุนนาน 15 ปี ขึ้นไป ดังนั้นการออกแบบให้มีการบังแดดด้วยตัวบ้านหรือโครงสร้างที่มีอยู่แล้ว จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมกว่าการปรับปรุงเพิ่มอุปกรณ์บังแดดในภายหลัง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผู้ที่ช่วยเก็บข้อมูลขนาดบ้านแถวและสร้างแบบจำลองทางพลังงานของบ้านแถวกรณีฐาน ดังนี้

นายกิติคุณ เตชะวิเชียร
นางสาวธนัชชา ชลประดิษฐ
นางสาวมัลลิกา ทิพย์ไชย
นางสาวปานวาด วรเสถียร

Reference

Boon Namha Rungrueng. (2018). *Installation price*. Retrieved from https://bprungruang.com/

Boukhanouf, R., Robin Wilson. (2015). Space Cooling in Buildings in Hot and Humid Climates – a Review of the Effect of Humidity on the Applicability of Existing Cooling Techniques. *14th International Conference on Sustainable Energy Technologies – SET 2015* (pp. 1-10). United Kingdom: Nottingham.

Energy Policy and Planning Office. (2018). *Production capacity, maximum power generation, use, import, export and fuel used in electricity generation*. Retrieved from: http://www.eppo.go.th

James J. Hirsch & Associates. (2009). *DOE 2.2 Building energy use and cost analysis program Libraries and Reports March 2009: Volume 4*. California: Lawrence berkeley national laboratory.

Jariya Yomsatiankul, Sanwit Iabchoon and Pariwate Varnakovida. (2018). Study on Bangkok its Urban Heat Island effect and the Relationship with Electricity Consumption using Geoinformatics. *BUILT Volume 12*, 35-46.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (2013). *Report of Price list Area improvement*. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Office of the Council of State. (2000). *Ministry of Law No. 55, BE 2543, issued under the Building Control Act BE 1979*. Bangkok: Office of the Council of State.

Phadetphol Phongsawat and Kongkoon Tochaiwat. (2013). The required physical aspects of the townhouse housing projects on small lands for low income people. *4th BERRAC Academic Conference, 2013* (pp. 383-388). Pathum Thani: Thammasat University.

Siam Cement Group. (2016). *SCG insulation STAY COOL*. Retrieved from http://www. scgbuildingmaterials.com

Teerapoong Limmahakun. (2559). *Characte of townhouses in Bangkok Metropolitian Area*. (Master's thesis) Chulalongkorn University. Faculty of Architecture.

Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Journal of Renewable and Sustainable Energy, 41*, 85-98.