

การออกแบบบ้านพักอาศัย 1 ชั้นต้นทุนต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

A Low-Cost One-storey House Design for Energy Saving

รับบทความ	09/05/2565
แก้ไขบทความ	12/07/2565
ยอมรับบทความ	12/07/2565

ณัฐนันท์ ทองบพิตร วรสันต์ บูรณากาญจน์

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Natanon Thongbophit, Vorasun Buranakarn

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

t.natanon.kla@gmail.com, vorasun1@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบบ้านพักอาศัย 1 ชั้นต้นทุนต่ำ ที่เน้นให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ในสภาวะน่าสบาย (comfort zone) ตลอดเวลา มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ประหยัดต้นทุนการก่อสร้าง สำหรับผู้ที่มีรายได้ไม่มาก โดยใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานเข้ามาเป็นองค์ประกอบหลักในการออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ส่งผลทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย

จากการที่ได้พบทวนวรรณกรรมพบว่าที่ผ่านมาได้มีการศึกษา วิจัย และพัฒนาบ้านพักอาศัยประหยัดพลังงาน หากแต่ยังไม่เคยมีการศึกษาและออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อคนรายได้ต่ำในต่างจังหวัด ที่เหมาะสำหรับวัยเริ่มทำงานหรือสร้างครอบครัวใหม่ โดยผู้อยู่อาศัยประกอบด้วย พ่อ แม่ และลูก จำนวนทั้งหมด 3 คน พื้นที่ใช้สอยรวม 66 ตารางเมตร ประกอบด้วย 2 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ 1 ห้องรับแขก 1 ห้องครัว พื้นที่ซักล้าง และพื้นที่จอดรถ

ผลการวิจัยพบว่า การเปรียบเทียบตัวแปรของค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร (ค่า Q) โดยบ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบด้วยผนังสมารถสองด้านพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายใน (ผนังเบา) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทผ่านวัสดุ (U) = 0.0874 BTU/hr.ft².°F ส่งผลให้ค่า Q = 5,397.5 Btu/h และบ้านที่ก่อด้วยผนังอิฐ ฉาบเรียบสองด้าน โดยมีค่า U = 0.6907 BTU/hr.ft².°F ส่งผลให้ค่า Q = 14,777.70 Btu/h ส่งผลให้ค่าปริมาณความร้อนของบ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบน้อยกว่าบ้านที่ทั่วไปถึง 2.738 เท่า หลังคาแผ่นเมทัลชีท PE โฟมพร้อมฝ้ายิบซัมบอร์ด โดยมีค่า U = 0.0487 BTU/hr.ft².°F ส่งผลให้ค่า Q = 1,337.129 Btu/h และหลังคากระเบื้องลอนคู่พร้อมฝ้ายิบซัมบอร์ด โดยมีค่า U = 0.121 BTU/hr.ft².°F ส่งผลให้ค่า Q = 1,906.806 Btu/h ส่งผลให้ค่าปริมาณความร้อนของบ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบน้อยกว่าบ้านทั่วไปถึง 1.426 เท่า และช่องแสงกระจกเขียวตัดแสงโดยมีค่า U = 0.121 BTU/hr.ft².°F ส่งผลให้ค่า Q = 1,906.806 Btu/h ที่มีค่า Peak Load ของตัวแปรที่ทำการศึกษาค้น เวลาเดียวกัน (เวลา 20.00 น.) ที่มีอุณหภูมิภายในห้อง 77°F (25°C) ของวันที่ 15 เมษายน 2565 ผลของการศึกษาการลดพลังงานไฟฟ้าที่มีตัวแปรโดยที่ผลรวมของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร (ค่า $\sum U A$) แตกต่างกัน ของทั้งสองอาคารที่มีการเปรียบเทียบ ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านไปถึง 5.975 เท่า ระหว่างบ้านที่ก่อสร้างด้วยอิฐกับบ้านที่ทำการออกแบบ โดยบ้านต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อผลการทำความเย็น (cooling load) ได้ตามสูตรที่คำนวณ และงบประมาณในการก่อสร้างทั้งหมด ราคาของวัสดุก่อสร้างและค่าแรงในก่อสร้างบ้านรวมทั้งสิ้น 517,196.74 บาท ราคานี้ยังไม่รวมค่าดำเนินการ คิดเป็นราคาเหมาต่อตารางเมตรพื้นที่ใช้สอย ตกตารางเมตรละ 7,836 บาท และระยะเวลาในการก่อสร้างทั้งหมด 48 วัน และ คนงานทั้งหมด 7 คน (เฉลี่ยค่าแรง 395 บาทต่อวัน)

คำสำคัญ: สภาวะน่าสบาย บ้านประหยัดพลังงาน การอนุรักษ์พลังงาน บ้านพักอาศัย ต้นทุนต่ำ

Abstract

This is a low-cost house design study. It stresses occupants living in a comfortable zone all the time, having a better quality of life while reducing construction costs for those with low incomes through the use of energy conservation methods. into the major factors in house design to tackle environmental concerns and achieve a comfortable state

According to a survey of the literature, there have been research and development projects on energy-efficient homes. However, I have yet to research and design a home for low-income folks in the countryside. Ideal for starting a new job or establishing a family. There are two parents and one child among the residents. 2 bedrooms, 1 bathroom, 1 living room, 1 kitchen, a washing area, and a parking space make up the total useable area of 66 square meters.

The results showed that a house designed with smart board walls on two sides with insulation installed inside (light walls) with a coefficient of heat dissipation compared the variables of the amount of heat transferred into the building (Q value) by a house designed with smart board walls on two sides with insulation installed inside (light walls). $Q = 5,397.5$ Btu/h and brick-walled dwellings due to heat transmission through the material ($U = 0.0874$ BTU/hr.ft².°F). A house with brick walls Smooth plaster on both sides with a value of $U = 0.6907$ BTU/hr.ft².°F, resulting in a value of $Q = 14,777.70$ Btu/h, As a result, the house design office generated up to 2.738 times more heat than the average dwelling, PE foam metal sheet roof with cotton gypsum board with $U = 0.0487$ (BTU/hr.ft².°F), resulting in $Q = 1,337.129$ Btu. /h and double corrugated roof with cotton gypsum board with $U = 0.121$ BTU/hr.ft².°F, resulting in $Q = 1906.806$ Btu/h. The youngest is worth 1.426 times as much as the rest of the house, on April 15, 2022, with an indoor room temperature of 77°F (25°C) and a green glass cutoff light with a value of $U = 0.121$ BTU/hr.ft².°F, resulting in a value of $Q = 1,906.806$ Btu/h with a Peak Load value. of variables studied at the same time (8 p.m.) with an indoor room temperature of 77°F (25°C). The sum of the heat transfer coefficients of the building envelopes ($\sum U A$ values) differed from the two buildings being studied in a variable electric power reduction study. Between a brick-built house and a planned house, this resulted in a reduction of 5.975 times the electricity use. Air conditioning is required in the dwelling. accordance to the determined formula for the cooling load (Cooling Load) and the total building budget A total of 517,196.74 baht is spent on building materials and labor for the construction of a house. As a contract price per square meter of usable space, 7,836 baht less per square meter. Operating costs are not included in this price. with a total construction time of 48 days and a workforce of 9 people. (Day pay of 395 baht on average.)

Keywords: Comfort zone, Energy efficient home, energy saving, house, low-cost

บทนำ

รายงานข่าวจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ (สสช.) แจ้งว่า ผลการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือนในปี พ.ศ. 2560 พบว่า ครัวเรือนไทยมีรายได้เฉลี่ย 26,946 บาท/เดือน ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 21,437 บาท/เดือน ขณะที่ครัวเรือนร้อยละ 50.7 มีหนี้สิน เฉลี่ย 178,994 บาท/ครัวเรือน ในขณะที่หนี้สินจากครัวเรือนทั่วประเทศประมาณ 21 ล้านครัวเรือน พบว่า 10.8 ล้านครัวเรือน หรือร้อยละ 50.7 เป็นครัวเรือนที่มีหนี้สิน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 178,994 บาท ต่อครัวเรือน ร้อยละ 76.9 เป็นการก่อหนี้เพื่อใช้ในการบริโภคบริโภคร้อยละ 39.0 ใช้ในการซื้อบ้าน/ที่ดิน ร้อยละ 36.3 และใช้ในการศึกษาร้อยละ 1.6 อีกร้อยละ 23.1 เป็นหนี้เพื่อใช้ในการลงทุน และอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหนี้เพื่อใช้ทำการเกษตร ร้อยละ 14.0 รองลงมาคือ การใช้ทำธุรกิจ ร้อยละ 8.5 และหนี้อื่น ๆ อีกร้อยละ 0.6

ดังนั้นหนี้ที่เกิดขึ้นจากการใช้ในการซื้อบ้านและที่ดิน ร้อยละ 36.3 ถือว่าเป็นจำนวนมาก ถ้าสร้างบ้านที่มีต้นทุนต่ำและประหยัดพลังงาน ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ลงไม่มากนักน้อยทำให้เกิดการศึกษาวัดดูที่เหมาะสมที่นำมาใช้ร่วมในการก่อสร้างและวัสดุทางเลือกที่ประหยัดพลังงาน เป็นการพึ่งพาธรรมชาติให้อยู่อาศัยได้ในสภาวะน่าสบายโดยไม่ใช้เครื่องปรับอากาศเนื่องจากปัจจุบัน สภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลง ทำให้โลกร้อนขึ้น หนึ่งในนั้นคือ การใช้เครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมาก ถ้าหากสามารถลดการใช้ของเครื่องปรับอากาศลงได้ เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ทำให้ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้

ภาวะโลกร้อน (global warming) เกิดจากการที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศบนโลกสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอากาศใกล้ผิวโลก หรือน้ำในมหาสมุทร อันเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ (climate change) ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น จนก่อให้เกิดเป็นภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) สาเหตุสำคัญของวิกฤติการณ์โลกร้อนที่กำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556)

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ความร้อนที่แผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายในบ้านพักอาศัย โดยเฉพาะบ้านพักอาศัยรูปแบบเดิม ๆ เช่น บ้านไม้ ได้รับความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านในปริมาณมาก ดังนั้นการติดตั้งเครื่องปรับอากาศจึงเป็นทางเลือกที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหา แต่ความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารนั้นทำให้ต้องใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ จึงเป็นเหตุผลที่ต้องมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านใน เพื่อเป็นอีกทางเลือกที่ดีสำหรับการปรับปรุงบ้านที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ (ธงชัย หมั่นเพียรกิจ , 2557)

เรือนไทยพื้นถิ่นเป็นอาคารพักอาศัยที่ชาวบ้านสร้างขึ้นในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีลักษณะที่แปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมของภูมิอากาศและวัฒนธรรมของท้องถิ่นนั้น ๆ รูปแบบของเรือนแสดงให้เห็นถึงภูมิปัญญาในการแก้ไขปัญหาเรื่องที่อยู่อาศัย ที่มีความเข้าใจต่อธรรมชาติและสภาพแวดล้อมเป็นอย่างดี อีกทั้งยังแสดงถึงความรู้ความเข้าใจและทักษะเชิงช่างในการเลือกใช้ออกสร้างและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม (ปณิศา วงศ์มหาดเล็ก และคณะ, 2547)

ปัจจุบันได้นำรูปแบบของเรือนไทยมาขยายขอบเขตการใช้งานจากเดิมที่เป็นเพียงบ้านพักอาศัย มาเป็นศูนย์ส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม พิพิธภัณฑ์ สมาคม ศาสนสถาน และสถานศึกษา ทำให้เรือนไทยมีลักษณะที่หลากหลายมากขึ้น (คำรน สุทธิ, 2554) ดังนั้นสมควรถ้านำรูปแบบของเรือนไทยมาประยุกต์ให้เข้ากับบ้านพักในปัจจุบัน เพื่อตอบโจทย์ในเรื่องการเป็นอยู่ การใช้พื้นที่ทำกิจกรรมต่าง ๆ ของคนในต่างจังหวัด เช่น การทำเกษตร เลี้ยงสัตว์ หรือพื้นที่เก็บของ เป็นต้น

จากการที่ได้ทบทวนวรรณกรรมพบว่าที่ผ่านมาการศึกษา วิจัย และพัฒนาบ้านพักอาศัยประหยัดพลังงาน อาทิเช่น การออกแบบบ้านพักอาศัยประหยัดพลังงานที่สร้างด้วยแรงคน (ลักขณา เล็กแหลมหลัก, 2554) การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป : การออกแบบบ้านเดี่ยว (ชนิกา รักษากุล, 2560) สภาวะน่าสบายของเรือนล้านนาร่วมสมัย : กรณีศึกษาเรือนพักอาศัย อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา (รชฎ ประทีป ณ ถลาง, 2552) บ้านพอเพียง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงาน (วรสันต์ บุรณกาญจน์, 2552) การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น (พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า, 2545) ลักษณะเฉพาะของมูมหลังคาเอียงที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย (รชฎ สุมานนท์, 2545) ประสิทธิภาพทางความร้อนของผนังไม้ไผ่ในบ้านเขตร้อนชื้น (ธงชัย หมั่นเพียรกิจ, 2557)

ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย (คำรน สุทธิ, 2554) การศึกษารูปแบบของเรือนไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาวะในปัจจุบัน (กิตติศักดิ์ อนันต์พูนผล, 2546) การเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ (กษิดา ชำนาญดี, 2554) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป (อภิษฐา อธิคมบัณฑิตกุล, 2555) รูปแบบนำเสนอสื่อเพื่อการประชาสัมพันธ์บ้านพักอาศัย กรณีศึกษาบ้านสู่โลกร้อน (หวนทิพย์ พงษ์ประพันธ์, 2551) อิทธิพลของมวลสารภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น (อัญญา สังขะกุล, 2553) การพัฒนาผนังอาคารด้วยวัสดุธรรมชาติพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายในอาคาร : กรณีศึกษา อาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2544) การใช้ไม้เทียมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม (กิตติวุฒิ เฉลยถ้อย, 2555) การพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างและระบบโครงสร้างบ้านพอเพียง (ปราการ ภูมิผล, 2552) ประสิทธิภาพของร่มเงาต้นไม้ที่มีผลต่อผนังอาคารพักอาศัย (ศุภณัฐ กาญจนวงศ์, 2555) แนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย (อุษณีย์ มิ่งวิมล, 2540)

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคาร ระยะเวลาในการก่อสร้างและงบประมาณการก่อสร้างอาคาร
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบ้านอนุรักษ์พลังงาน
3. เพื่อออกแบบบ้านพักอาศัย 1 ชั้นต้นทุนต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาตัวแปรของระบบโครงสร้างบ้าน เพื่ออนุรักษ์พลังงาน
2. ศึกษาตัวแปรของระยะเวลาในการก่อสร้างและงบประมาณการก่อสร้าง
3. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบ้าน เพื่ออนุรักษ์พลังงาน
4. ศึกษากฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวិเคราะห์ข้อมูลในด้านต่าง ๆ ของการออกแบบบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานทำการกำหนดตัวแปรที่จะศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องของระบบโครงสร้างและส่วนประกอบของบ้านอาศัย เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ 1) โครงสร้างฐานราก 2) โครงสร้างพื้น 3) โครงสร้างผนัง 4) โครงสร้างหลังคา ที่แตกต่างกันตามคุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคา 5) ช่องเปิดของอาคาร 6) ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง และ 7) ระบบสุขาภิบาล
2. ศึกษาสำรวจงบประมาณค่าวัสดุและอุปกรณ์ในการก่อสร้าง ค่าอัตราจ้างตามมาตรฐานฝีมือแรงงาน และระยะเวลาในการก่อสร้าง
3. การออกแบบบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ เพื่ออนุรักษ์พลังงาน โดยขนาดและรูปแบบตามพื้นที่ใช้สอยสำหรับผู้อยู่อาศัย ที่คำนึงปัจจัยของทิศทางแสงแดดของที่ตั้ง และคุณสมบัติทางด้านทานความร้อนของวัสดุประกอบอาคาร

4. วิเคราะห์ กฎกระทรวง หลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Q) และการลดพลังงานไฟฟ้าของอาคาร

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ 1 ชั้น เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

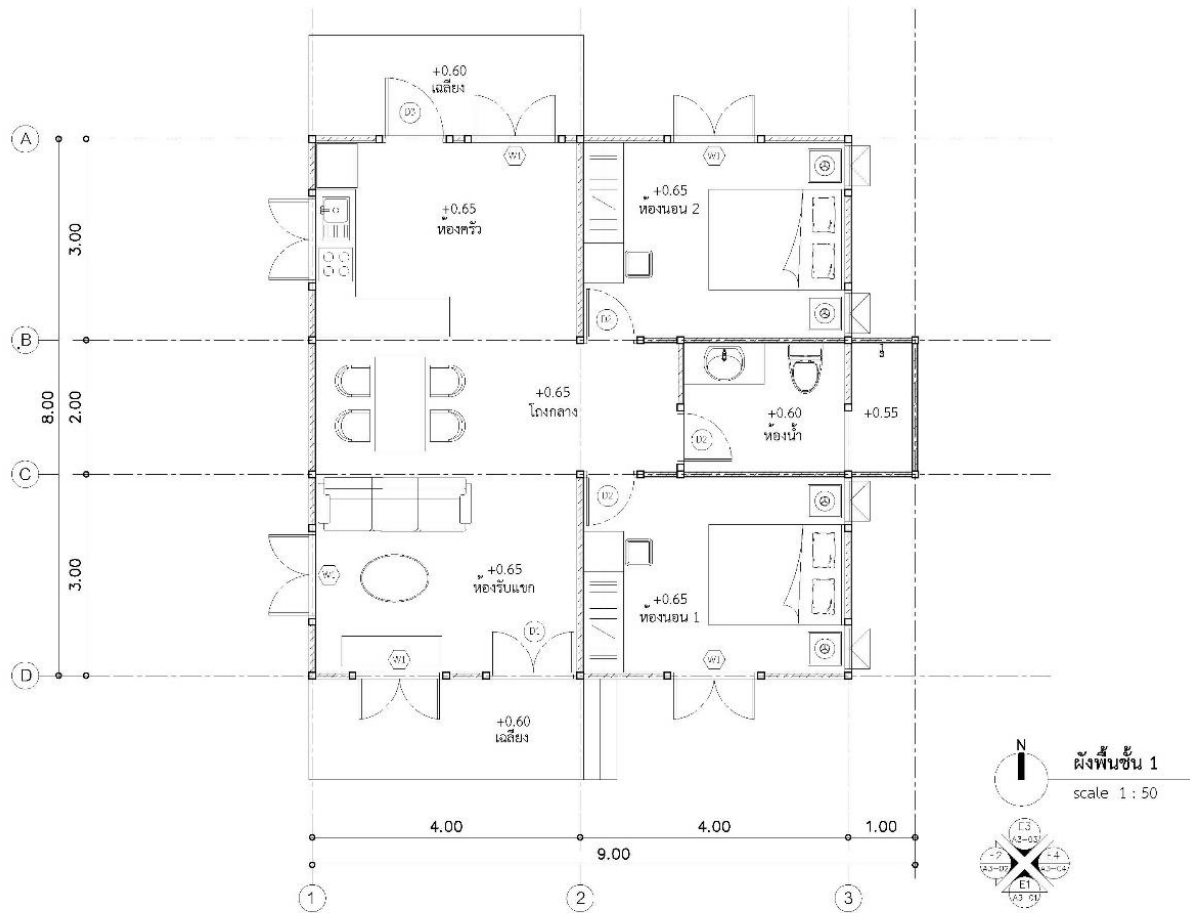
การออกแบบบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ 1 ชั้น เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน เป็นอาคารที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังโครงสร้างผนังเบาพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายในของผนัง ทาสีผนังทั้งภายนอกและภายในเป็นโทนอ่อน หลังคาแผ่นเมทัลชีท พร้อมติดตั้งฉนวน PE โฟม และติดผ้าใยหินบอร์ดภายในอาคาร

1.1 ขนาดของพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 66 ตารางเมตร

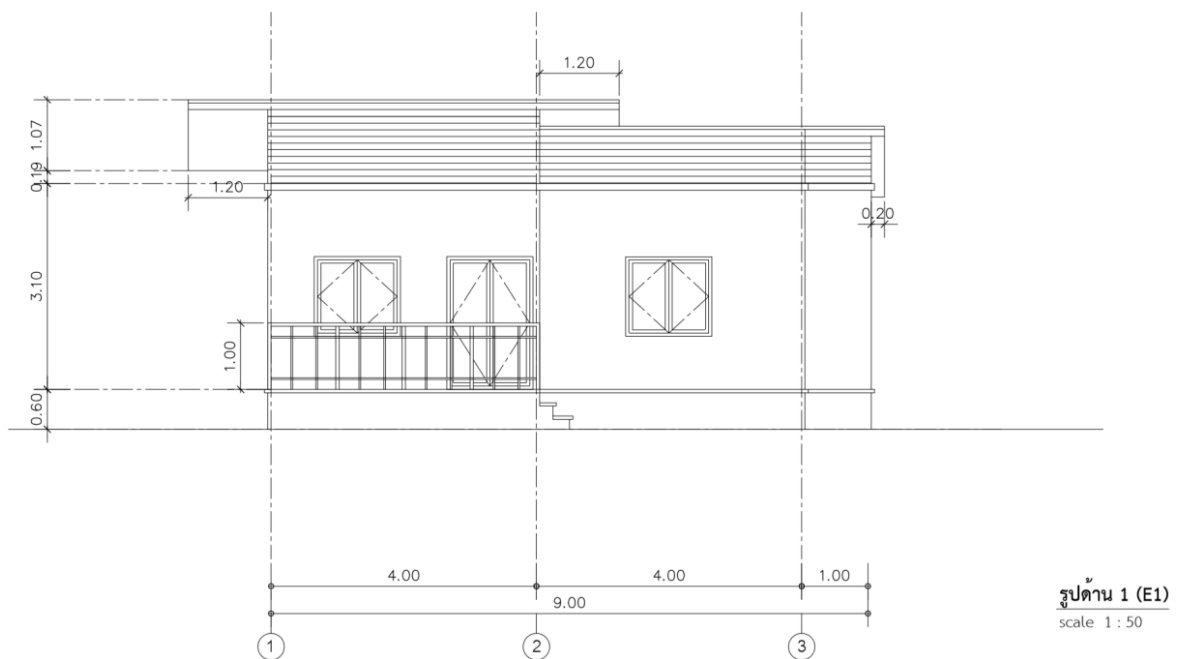
ตาราง 1 แสดงรายชื่อห้อง พร้อมจำนวนห้องและพื้นที่ใช้สอยรวมที่ได้ทำการออกแบบ

ที่	รายชื่อห้อง	จำนวน (ห้อง)	พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)
1.	ห้องนอน 1	1	12
2.	ห้องนอน 2	1	12
3.	ห้องน้ำ	1	7
4.	ห้องรับแขก	1	12
5.	ห้องครัว	1	12
6.	ห้องโถง	1	11
รวม		6	66

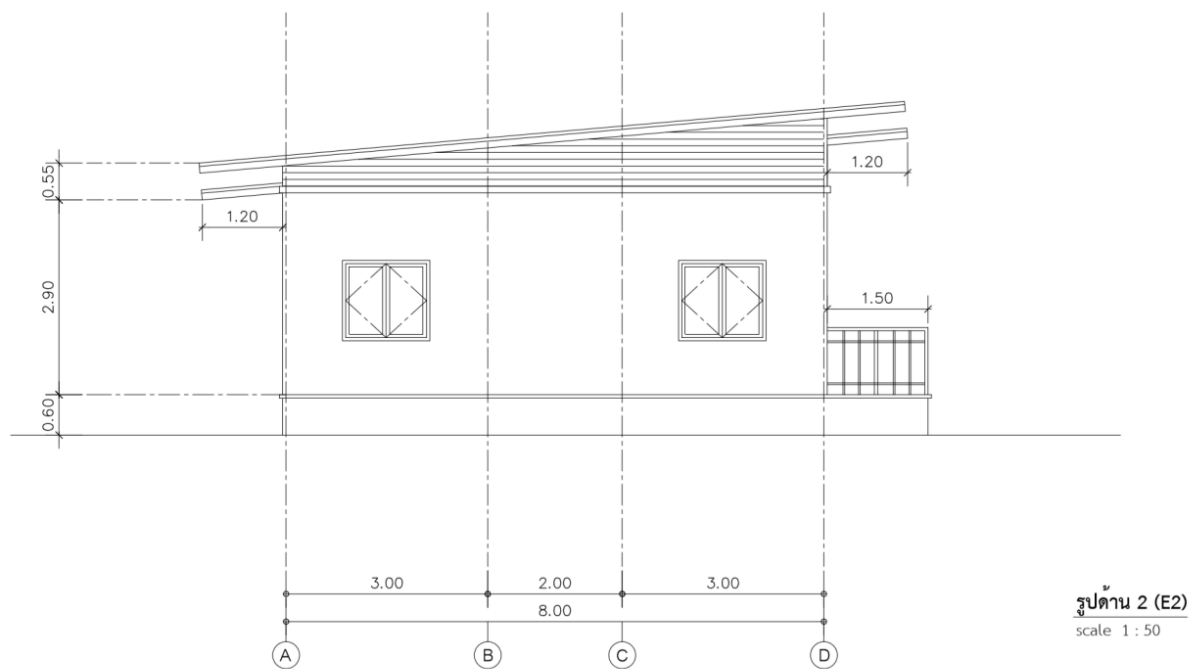
1.2 รูปร่างหน้าตาของอาคาร



ภาพ 1 แสดงการออกแบบผังบริเวณของบ้านพักอาศัยต้นทุ่นต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยที่หันหน้าบ้านไปในทางทิศใต้



ภาพ 2 แสดงการออกแบบรูปด้านหน้าของบ้านพักอาศัยต้นทุ่นต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน



ภาพ 3 แสดงการออกแบบรูปด้านข้างของบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน



ภาพ 4 แสดงภาพทัศนียภาพของของด้านหน้าบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ 1 ชั้น เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2. ระยะเวลาในการก่อสร้าง

ระยะเวลาในการก่อสร้าง ได้ทำการเปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไปที่มีความเร็วในการก่อสร้าง 1.40 ตารางเมตรต่อวัน (นรมิตร ลีวธนมงคล, 2538) พื้นที่ใช้สอยรวม 66 ตารางเมตร ได้แบ่งตามเนื้องานดังต่อไปนี้

- วางผัง วางแบบ ปรับระดับ	2 วัน
- ทำแบบฐานราก ผูกเหล็ก	3 วัน
- ผูกเหล็กเสา ตั้งไม้แบบเสา เทคอนกรีตพื้น	7 วัน
- วางโครงหลังคาเหล็กและมุงหลังคา	4 วัน
- วางพื้นสำเร็จรูป	2 วัน
- หล่อแบบพื้นห้องน้ำ	3 วัน
- ทำโครงผนังพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อน	5 วัน
- เก็บงานผนัง	2 วัน
- งานประตูหน้าต่าง งานปิดผิวพื้นฝ้าเพดาน	7 วัน
- งานประปา สุขาภิบาล และสุขภัณฑ์	3 วัน
- งานเดินสายไฟฟ้า	3 วัน
- งานทาสี พร้อมเก็บรายละเอียด	7 วัน
รวม	48 วัน

3. งบประมาณในการก่อสร้าง

ตาราง 2 แสดงงบประมาณในการก่อสร้าง

ที่	รายการ	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง (บาท)	รวม (บาท)
1.	งานดิน หิน ทราย และคอนกรีตหยาบรองกันฐานราก	3,640.00	1,448.00	5,088.00
2.	งานแบบหล่อคอนกรีต	13,120.00	9,310.00	22,430.00
3.	งานคอนกรีตโครงสร้าง	22,500.00	7,500.00	30,000.00
4.	งานเหล็กเสริมคอนกรีต	11,800.00	3,000.00	14,800.00
5.	งานพื้นสำเร็จรูป	55,300.00	5,250.00	60,550.00
6.	งานเหมาโครงหลังคา	18,000.00	14,000.00	32,000.00
7.	งานฝ้าเพดาน	21,595.00	9,070.00	30,665.00
8.	งานผนัง (งานโครงสร้างผนังเบาพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายในของผนัง)	148,380.00	66,650.00	215,030.00
9.	งานประตูหน้าต่างและช่องแสง	51,354.00	4,200.00	55,554.00
10.	งานหลังคา	38,794.74	12,285.00	51,079.74
รวมยอดเงินทั้งหมด		384,483.74	132,713.00	517,196.74

หมายเหตุ ไม่รวมค่าดำเนินการ

จากตาราง 2 จากการตรวจสอบค่าวัสดุรวมเป็นเงินทั้งหมด 384,483.74 บาท (ตามบัญชีราคาค่าวัสดุ สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์) และค่าแรงก่อสร้างทั้งหมด 122,378.75 บาท (ตามอัตราจ้างตามมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2563 กลุ่มสาขาอาชีพช่างก่อสร้าง (ความรู้ ทักษะฝีมือ และความสามารถ) อัตราจ้างเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 380 บาท) รวมยอดทั้งหมด 517,196.74 บาท คิดเป็นราคาเหมาต่อตารางเมตรพื้นที่ใช้สอย ตกตารางเมตรละ 7,836 บาท เพื่อเปรียบเทียบกับราคากลางของการก่อสร้าง ณ ปัจจุบันของบ้านพักอาศัยชั้นเดียวทั่วไป ตกตารางเมตรละ 13,200 บาท (ศูนย์ข้อมูลวิจัยและประเมินค่าอสังหาริมทรัพย์ไทย ราคาศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ พ.ศ. 2564) และ เปรียบเทียบกับราคาก่อสร้างบ้านพักอาศัยชั้นเดียวของการเคหะแห่งชาติ ตกตารางเมตรละ 10,100 - 12,400 บาท

4. ผลการประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบ

ผลของการศึกษาตัวแปรเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ที่ควรคำนึงคือ ด้านการป้องกันความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคารของบ้านประหยัดพลังงาน

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

ที่มาของสูตร (Mechanical and electrical equipment for building, 1986)

เมื่อ คำนวณหาค่า Q ของด้านที่ไม่โดนแดด

Q = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (BTU/hr.ft².°F)

A = พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด (sqft)

ΔT = ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°F)

$$Q = U (A) (CLTD_{corr})$$

ที่มาของสูตร (Mechanical and electrical equipment for building. Seventh Edition., 1986)

เมื่อ คำนวณหาค่า Q ของด้านที่ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทผ่านวัสดุของผนัง (BTU/hr.ft².°F)

A = พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุของผนัง (sqft)

CLTD_{corr} = ค่าความแตกต่างภาระทำความเย็นเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Diference (°F))

ตาราง 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่าง ๆ

รายการ	ความหนา (mm.)	การนำความร้อน(k) (W/m ² .°C)	ความหนาแน่น (Kg/m ³)
อิฐมวลเบาปูนเรียบสองด้าน	100	1.102	1,700
แผ่นสมาร์ทบอร์ด	6	0.084	1,260
แผ่นฉนวนกันความร้อน	65	0.038	12
แผ่นเมทัลชีท	0.35	47.60	7,840
หลังคากระเบื้องลอนคู่	5.5	0.395	2,000
ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด	9	0.322	745
กระจกเขียวตัดแสง	5	5.770	5

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, (ม.ป.ป.). (<https://bec.energy.in.th/materials/opaque>).

ตาราง 4 แสดงตารางค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) และปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Q) ของบ้านทั่วไป

รายการ		ค่า U (BTU/hr.ft ² .°F)	ค่าผลรวม Q (Btu/h)
ผนังก่ออิฐ 	อิฐมวลฉาบปูนเรียบ สองด้าน (หนา 100 mm.)	0.6907	17,235.482 (Peak load ณ เวลา 20.00 น.) ของวันที่ 15 เมษายน 2565
หลังคา	กระเบื้องหลังคา (หนา 5 mm.)	0.121	
	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด (หนา 9 mm.)		
หน้าต่าง	กระจกเขียวตัดแสง (หนา 6 mm.)	1.011	

จากตาราง 4 จะเห็นได้ว่าผลของการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร ที่สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พื้นที่ภายในห้องที่ปรับอากาศ และค่าความต่างอุณหภูมิเทียบระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ระหว่างบ้านที่ก่อด้วยอิฐมวลเบา และบ้านที่ทำการออกแบบโดยใช้โครงสร้างผนังเบาพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายในของผนัง หลังคา ณ เวลาที่ทำการเปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้องนอน 1 และห้องนอน 2 ที่มีค่า Peak load ของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่ตัวอาคาร ณ เวลา 20.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2565 และหน้าต่างกระจกที่มีค่า Peak load ของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่ตัวอาคาร เนื่องจากได้รับแดดโดยตรงในตอนเช้า ณ เวลา 06.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2565 ที่มีอุณหภูมิภายในห้อง 77°F (25°C)

ตาราง 5 แสดงตารางค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) และปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Q) ของบ้านที่ทำการออกแบบ

รายการ		ค่า U (BTU/hr.ft ² .°F)	ค่าผลรวม Q (Btu/h)
	ผนังเบา แผ่นสมาร์ทบอร์ด (หนา 6 mm.) ปูสองด้าน	0.0874	30,163.924 (Peak load ณ เวลา 20.00 น.) ของวันที่ 15 เมษายน 2565
	แผ่นฉนวนกันความร้อน (หนา 65 mm.) ติดตั้งไว้ภายใน		
หลังคา	แผ่นเมทัลชีท (หนา 0.35 mm.)	0.0487	
	ฉนวน PE FOAM (หนา 10 mm.) ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด (หนา 9 mm.)		
หน้าต่าง	กระจกเขียวตัดแสง (หนา 6 mm.)	1.011	

จากตาราง 5 จะเห็นได้ว่าผลของการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร ที่สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พื้นที่ภายในห้องที่ปรับอากาศ และค่าความต่างอุณหภูมิเทียบระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ระหว่างบ้านที่ก่อด้วยอิฐฉาบปูน และบ้านที่ทำการออกแบบโดยใช้โครงสร้างผนังเบาพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายในของผนัง หลังคา ณ เวลาที่ทำการเปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้องนอน 1 และห้องนอน 2 ที่มีค่า Peak load ของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร ณ เวลา 20.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2565 และหน้าต่างกระจกที่มีค่า Peak load ของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร เนื่องจากได้รับแดดโดยตรงในตอนเช้า ณ เวลา 06.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2565 ที่มีอุณหภูมิภายในห้อง 77°F (25°C)

การเปรียบเทียบตัวแปรที่ประหยัดพลังงานในขณะที่ใช้งานของบ้านที่ก่อผนังด้วยอิฐกับบ้านที่ทำการออกแบบ

$$Q = U \times S/A \times \Delta T \times 1/COP$$

ที่มาของสูตร (วิช วรรณประเสริฐ, 2550)

Q = ปริมาณการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร อาคาร Cooling load หน่วยเป็น บีทียู (Btu) หรือ วัตต์ (W)

U = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุตต่อความแตกต่างอุณหภูมิ

1 องศาฟาเรนไฮต์ (Btu/hr.ft².°F) หรือวัตต์ต่อตารางเมตรต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ (W/m².°C)

S/A = สัดส่วน (ratio) ระหว่างพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (surface) ต่อพื้นที่ใช้สอย (useable area)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและอุณหภูมิภายใน หน่วยเป็นองศา

ฟาเรนไฮต์ (°F) หรือองศาเซลเซียส (°C)

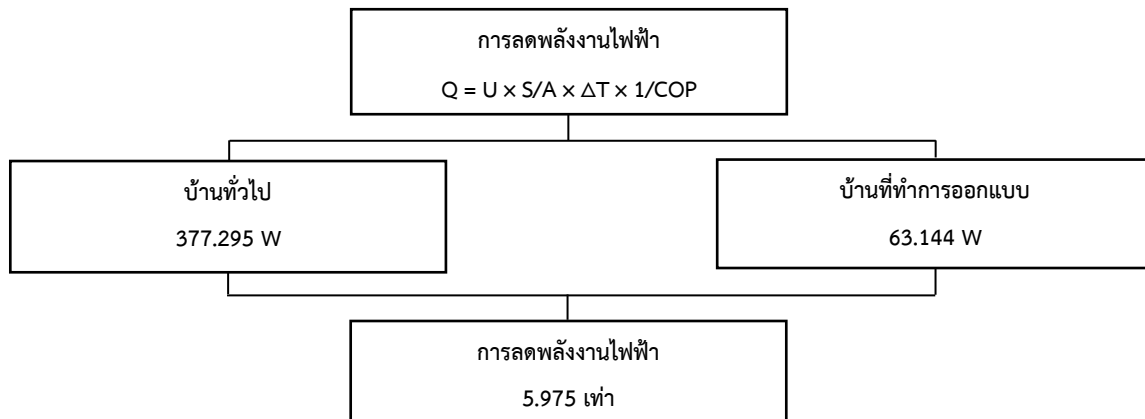
1/COP = ศักยภาพในการจัดการความร้อน ในที่นี้คือ ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ตาราง 6 แสดงตารางเปรียบเทียบตัวแปรที่ประหยัดพลังงานในขณะที่ใช้งานของบ้านที่ก่อผนังด้วยอิฐกับบ้านที่ทำการออกแบบ

บ้านที่ก่อผนังด้วยอิฐ	ตร.ม.	(BTU/hr.ft ² .°F)	บ้านที่ทำการออกแบบ (บ้านประหยัดพลังงาน)	ตร.ม.	(BTU/hr.ft ² .°F)												
พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด	66		พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด	66													
พื้นที่เปลือกอาคารที่ต้องการ ปรับอากาศ	102		พื้นที่เปลือกอาคารที่ต้องการ ปรับอากาศ	102													
พื้นที่ใช้สอยที่ต้องการ ปรับอากาศ	24		พื้นที่ใช้สอยที่ต้องการปรับอากาศ	24													
S/A	1.54 เท่า		S/A	1.54 เท่า													
$\sum U A$ ผนัง		$\sum U A = 129.479$	$\sum U A$ ผนัง		$\sum U A = 21.669$												
<table><tr><td>พท.</td><td>ค่า U</td><td>ผลลัพธ์</td></tr><tr><td>163.05</td><td>0.6907</td><td>112.619</td></tr></table>			พท.	ค่า U		ผลลัพธ์	163.05	0.6907	112.619	<table><tr><td>พท.</td><td>ค่า U</td><td>ผลลัพธ์</td></tr><tr><td>163.05</td><td>0.0874</td><td>14.251</td></tr></table>		พท.	ค่า U	ผลลัพธ์	163.05	0.0874	14.251
พท.	ค่า U		ผลลัพธ์														
163.05	0.6907		112.619														
พท.	ค่า U		ผลลัพธ์														
163.05	0.0874	14.251															
$\sum U A$ หลังคา		$\sum U A$ หลังคา															
<table><tr><td>พท.</td><td>ค่า U</td><td>ผลลัพธ์</td></tr><tr><td>130.59</td><td>0.121</td><td>15.801</td></tr></table>		พท.	ค่า U	ผลลัพธ์	130.59	0.121	15.801	<table><tr><td>พท.</td><td>ค่า U</td><td>ผลลัพธ์</td></tr><tr><td>130.59</td><td>0.0487</td><td>6.359</td></tr></table>		พท.	ค่า U	ผลลัพธ์	130.59	0.0487	6.359		
พท.	ค่า U	ผลลัพธ์															
130.59	0.121	15.801															
พท.	ค่า U	ผลลัพธ์															
130.59	0.0487	6.359															
$\sum U A$ หน้าต่างกระจก		$\sum U A$ หน้าต่างกระจก															
<table><tr><td>พท.</td><td>ค่า U</td><td>ผลลัพธ์</td></tr><tr><td>1.048</td><td>1.011</td><td>1.059</td></tr></table>		พท.	ค่า U	ผลลัพธ์	1.048	1.011	1.059	<table><tr><td>พท.</td><td>ค่า U</td><td>ผลลัพธ์</td></tr><tr><td>1.048</td><td>1.011</td><td>1.059</td></tr></table>		พท.	ค่า U	ผลลัพธ์	1.048	1.011	1.059		
พท.	ค่า U	ผลลัพธ์															
1.048	1.011	1.059															
พท.	ค่า U	ผลลัพธ์															
1.048	1.011	1.059															

จากตาราง 6 เพื่อการเปรียบเทียบของตัวแปรที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน การลดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านจึงกำหนดให้ตัวแปรของอาคารมีค่าเท่ากัน แต่มีผลรวมของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร ($\sum U A$) ที่มีวัสดุเปลือกอาคารแตกต่างกัน เพื่อศึกษาการลดพลังงานไฟฟ้า

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดให้มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในห้องนอน เพื่อเปรียบเทียบการลดพลังงานไฟฟ้า ของบ้านที่ก่อผนังด้วยอิฐ และบ้านที่ทำการออกแบบ ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศขนาดเบอร์ 5 ประสิทธิภาพ (EER) = 11.00-11.50, COP = 3.22-3.37, และ $1/COP = 0.31-0.30$ (วิช วรรณเสริฐ, 2550) เลือกใช้เครื่องปรับอากาศ ที่มีค่า EER = 11.50 เนื่องจาก ค่า EER สูง แสดงว่า เครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดียิ่งขึ้น นำมาคำนวณในการออกแบบ ที่มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (ΔT) 91°F และอุณหภูมิภายใน 77°F (25°C) มีค่า Peak load ของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร ณ เวลา 20.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2565 เมื่อ เปิดเครื่องปรับอากาศ ตั้งแต่เวลา 20.00 น. - 06.00 น.



แผนภาพ 1 แสดงการคำนวณเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับบ้านทั่วไปและบ้านประหยัดพลังงาน หมายถึง ลดภาระทำความเย็นเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไปถึง 5.975 เท่า

อภิปรายผล

ในการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน ผู้วิจัยต้องการหนทางให้บ้านพักอาศัยมีต้นทุนที่ต่ำ สามารถหาวัสดุก่อสร้างได้ง่ายในแต่ละท้องถิ่น และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Heat transfer coefficient ; U-Value)

ตัวแปรที่ส่งผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย 1 ชั้นต้นทุนต่ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มี 4 ปัจจัย คือ

1. ขนาดของพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยต้นทุนต่ำ 1 ชั้น เพื่อการอนุรักษ์พลังงานเหมาะสมสำหรับเริ่มต้นของการทำงานหรือสร้างครอบครัวใหม่ โดยผู้อยู่อาศัยประกอบด้วย พ่อ แม่ และ ลูก จำนวน 3 คน พื้นที่ใช้สอยรวม 66 ตารางเมตร ประกอบด้วย 2 ห้องนอน 1 ห้องน้ำ 1 ห้องรับแขก 1 ห้องครัว พื้นที่ซักล้าง และ พื้นที่จอดรถ
2. ระยะเวลาในการก่อสร้างใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างทั้งหมด 48 วัน และ คนงานทั้งหมด 7 คน เฉลี่ยค่าแรง 395 บาทต่อวัน
3. การประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงาน

ผลของการศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรของค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร (ค่าQ) 1) บ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบด้วยผนังสมาร์ทบอร์ดสองด้านพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายใน (ผนังเบา) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทผ่านวัสดุ (U) = $0.0874 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้ค่า Q = 5,397.5 Btu/h 2) บ้านที่ก่อด้วยผนังอิฐฉาบเรียบสองด้าน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทผ่านวัสดุ (U) = $0.6907 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้ค่า Q = 14,777.70 Btu/h 3) หลังคาแผ่นเมทัลชีท PE โฟมและฝ้ายิปซัมบอร์ด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทผ่านวัสดุ (U) = $0.0487 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้ค่า Q = 1,337.129 Btu/h

4. **หลังคาใช้กระเบื้องและฝ้ายิบซัมบอร์ด** โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทผ่านวัสดุ (U) = $0.121 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ส่งผลให้ค่า $Q = 1,906.806 \text{ Btu/h}$ 5) ช่องแสงกระจกเขียวตัดแสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) = 1.011 Btu/h ส่งผลให้ค่า $Q = 550.974 \text{ Btu/h}$ ที่มีค่า Peak Load ของตัวแปรที่ทำการศึกษาค้นคว้า เวลาดียวกัน (เวลา 20.00 น.) ที่มีอุณหภูมิภายในห้อง 77°F (25°C) ของวันที่ 15 เมษายน 2565

การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร ระหว่างบ้านทั่วไป และบ้านที่ทำการออกแบบ โดยบ้านพักอาศัยที่ทำการออกแบบด้วยผนังสมาร์ทบอร์ดสองด้านพร้อมติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายใน (ผนังเบา) มีค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ผนังอาคาร น้อยกว่าบ้านที่ก่อสร้างด้วยอิฐฉาบปูนสองด้าน ถึง 2.738 เท่า และค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หลังคาน้อยกว่าบ้านที่ก่อสร้างด้วยอิฐฉาบปูนสองด้าน ถึง 1.426 เท่า

ผลของการศึกษาการลดพลังงานไฟฟ้าที่มีตัวแปรโดยที่ผลรวมของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร (ค่า $\sum U A$) แตกต่างกัน ของทั้งสองอาคารที่มีการเปรียบเทียบ ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านไปถึง 5.075 เท่า ระหว่างบ้านที่ก่อสร้างด้วยอิฐกับบ้านที่ทำการออกแบบ โดยบ้านต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อผลการทำความเย็น (Cooling load) ได้ตามสูตรที่คำนวณมา

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). *ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ*. <https://bec.energy.in.th/materials/opaque>
- กระทรวงพลังงาน. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2556). *“ลดโลกร้อน” ด้วยตัวเรา*. <https://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/6220-green-the-earth>
- กษิดา ชำนาญดี. (2554). *การเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกของผนังต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานปรับอากาศ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- การเคหะแห่งชาติ. (2564). *แบบบ้าน บ้านล้อมสวน*. <https://www.nha.co.th/2021/01/24/แบบบ้าน-บ้านล้อมสวน/>
- กิตติศักดิ์ อนันต์พูนผล. (2546). *การศึกษารูปแบบของเรือนไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาวะในปัจจุบัน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติวุฒิ เกลี้ยงน้อย. (2555). *การใช้ไม้เทียมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คำรณ สุทธิ. (2554). *ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนิกา รักชากุล. (2560). *การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป : การออกแบบบ้านเดี่ยว* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2544). *การพัฒนาผนังอาคารด้วยวัสดุธรรมชาติพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายในอาคาร กรณีศึกษาอาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์. (2551). *การพัฒนาระบบโครงสร้างบ้านกึ่งสำเร็จรูปน้ำหนักเบา เพื่อการอนุรักษ์พลังงานแบบยั่งยืน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย หมั่นเพียรกิจ. (2557). *ประสิทธิภาพทางความร้อนของผนังไม้ไผ่ในบ้านเขตร้อนชื้น* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ธอศ. (2564). 6 แบบบ้านชั้นเดียวราคาประหยัดสำหรับคนอยากมีบ้าน. <https://blog.ghbank.co.th/6-affordable-house-designs/>
- นรมิตร ลีวนมมงคล. (2538). คู่มือรวบรวมข้อมูลก่อสร้าง (พิมพ์ครั้งที่ 5). รุ่งแสงการพิมพ์.
- น้ำผึ้ง ปัตตวงษ์. (2554). ผนังภายนอกสำหรับบ้านเดี่ยวที่เหมาะสมกับประเทศเขตร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปณิดา วงศ์มหาดเล็ก, สัทธา ปัญญาแก้ว, และสุพิชชา โตวิชัย. (2547). วัสดุและการก่อสร้างเรือนพื้นถิ่นในการอยู่แบบยั่งยืนของไทย. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน. (2558). ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- ปรภากร ภูมิผล. (2552). การพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างและระบบโครงสร้างบ้านพอเพียง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า. (2545). การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภูวเดช วงศ์โสม. (2557). ปัจจัยด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการออกแบบบ้านสำเร็จรูป. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- รชฏ สุมานนท์. (2545). ลักษณะเฉพาะของมุมหลังคาเอียงที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รชฏ ประทีป ณ ถลาง. (2552). สภาวะน่าสบายของเรือนล้านนาพร้อมสมัย : กรณีศึกษาเรือนพักอาศัย อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิช วรรณประเสริฐ. (2550). การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานของอาคารในภูมิภาคร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลักขณา เล็กแหลมหลัก. (2554). การออกแบบบ้านพักอาศัยพลังงานที่สร้างด้วยแรงคน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรสันต์ บุรณากาญจน์. (2552). บ้านพอเพียงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงาน. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรายุทธ ศรีทิพย์อาสน์. (2565). ราคาวัสดุก่อสร้าง 2565. <https://www.baanlaesuan.com/221417/maintenance/material-cost>
- ศุภณัฐ กาญจนวงศ์. (2555). ประสิทธิภาพของร่มเงาต้นไม้ที่มีผลต่อผนังอาคารพักอาศัย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2545). เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า (พิมพ์ครั้งที่ 2). จีเอ็ม แม็ก มีเดีย.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2547). บ้านชีวาทิพย์ : บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- หวานทิพย์ พงษ์ประพันธ์. (2551). รูปแบบนำเสนอสื่อเพื่อการประชาสัมพันธ์บ้านพักอาศัย กรณีศึกษาบ้านผู้ใจร้อน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิญา อธิคมบัณฑิตกุล. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อมรรัตน์ พงศ์พิศิษฐ์สกุล. (2547). การออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงานด้วยแนวคิดสถาปัตยกรรมยั่งยืน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัษฎนา สังขะกุล. (2553). อิทธิพลของมวลสารภายนอก และทิศทางที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน และสภาวะน่าสบายของอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุษณีย์ มิ่งวิมล. (2540). แนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Mechanical and electrical equipment for building (7th ed.). (1986). John Wiley & Sons.