



หลังคาที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

The Appropriate Roof for Residence in Hot and Humid Climate

ฮานาน ซาเรห์^{1,*}, กุสกาณา กุบาฮา²

Hanan Sareh, Kuskana Kubaha

^{1,2}คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha Utid Rd., Bangmod, Thung Khru, Bangkok, 10140

E-mail : hanansareh@gmail.com, Tel : 0-24708633, Fax : 0-24708635

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบของหลังคาที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัยที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น หลังคาที่นำมาศึกษามี 3 รูปแบบ ได้แก่ หลังคาจั่ว หลังคาปั้นหยา และหลังคาเพิงหมาแหงน ซึ่งทั้งหมดพิจารณาเฉพาะที่มุมเอียง 30 องศาับแนวระดับ โดยทำการศึกษาคำนวณใช้กระเบื้องคอนกรีตและเมทัลชีทเป็นวัสดุผนังหลังคา และทำการเปรียบเทียบที่ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุหลังคาเท่ากับ 0.6, 0.4 และ 0.2 รวมถึงมีการคำนวณบนฝ้าเพดานของหลังคาแต่ละแบบ การศึกษานี้ใช้โปรแกรม TRNSYS 17 ในการประมวลผลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวบ้าน ผลการศึกษาพบว่า หลังคาจั่ว ปั้นหยา และเพิงหมาแหงนที่ใช้เมทัลชีทเป็นวัสดุผนังหลังคาจะมีความร้อนเข้าบ้านสูงกว่ากรณีใช้กระเบื้องคอนกรีต 29.26%, 25.38% และ 35.07% ตามลำดับ การใช้วัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6 จะมีความร้อนผ่านหลังคาสูงกว่ากรณีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.4 และ 0.2 ถึง 25.24% และ 50.48% ตามลำดับ โดยที่หลังคาจั่วผนังด้วยกระเบื้องคอนกรีตที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 0.2 จะมีความร้อนเข้าบ้านผ่านหลังคาน้อยที่สุดเท่ากับ 3614.4 kWh/y การคำนวณบนฝ้าเพดานของหลังคาทั้ง 3 แบบ ทั้งที่ใช้วัสดุกระเบื้องคอนกรีตและเมทัลชีท รวมทั้งมีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6, 0.4 และ 0.2 พบว่า มีปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าลดลงจากกรณีที่ไม่มีการคำนวณ 57.85 – 79.15% เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์แล้ว พบว่าหลังคาที่ดีที่สุด คือ หลังคาจั่วผนังด้วยเมทัลชีทที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุเท่ากับ 0.2 และมีการคำนวณบนฝ้าเพดานมีผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด กล่าวคือใช้เงินลงทุนเพียง 58,216 บาท และมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการปรับอากาศเพียง 1,226.54 บาทต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุน 6.9 ปี

คำสำคัญ : หลังคา, ความร้อนผ่านหลังคา, TRNSYS 17

ABSTRACT

This research aimed to study the appropriate type of roof for residential buildings in hot and humid climate. There were 3 types of roof: Gable roof, Hipped roof and Lean to roof. Only 30° of tilt angle for all roofs were considered. The study also focused on concrete tile and metal sheet roofing materials. Furthermore, a comparison of solar absorption at 0.6, 0.4 and 0.2 and equipped with ceiling insulation were investigated. Heat transfer through roof was calculated using TRNSYS 17 program. The results showed that amount of heat transfer through metal sheet roof performed more than concrete tile by 29.26% for Gable roof, 25.38% for Hipped roof and 35.07% for Lean to roof. In term

of solar absorptivity of materials, in case of solar absorptivity of 0.6, the heat gain into building was more than a case of 0.4 and 0.2 at 25.24% and 50.48%, respectively. The Gable roof with concrete tile of solar absorption of 0.2 performed a very low heat gain at 3,614.4 kWh/y. In addition, an installation of insulation on the ceiling for all cases, both concrete tile and metal sheet roof, as well as the solar absorptivity of 0.6, 0.4 and 0.2. The results showed that the heat gains into the house were similar. About 57.85-79.15% were decreased comparing with no-insulation. Furthermore, in term of economics aspect, the appropriate roof was the metal sheet, Gable roof with solar absorption of 0.2 and insulation installed. The economic rate of return was performed well, investment cost was 58,216 baht, energy for air-conditioning expense was 1,226.54 baht per year and payback time was 6.9 years.

Keywords : Roof, Heat transfer through roof, TRNSYS 17

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุผนังหลังคาสำหรับบ้านพักอาศัยให้มีความคงทนถาวร ไม่ติดไฟ มีอายุการใช้งานยาวนาน แต่มีข้อเสีย คือ มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ไม่ดี หรือบางครั้งอาจเป็นวัสดุที่นำความร้อนเสียเอง การใช้วัสดุผนังหลังคาประเภทนี้จะทำให้บ้านรู้สึกร้อนและไม่สบายเหมือนในอดีต [1] อีกทั้งในส่วนของการออกแบบบ้านพักอาศัยในปัจจุบันนั้นพบว่า มีการออกแบบบ้านพักอาศัยเลียนแบบบ้านสไตล์ยุโรป ซึ่งอยู่ในเขตอากาศหนาว ที่ออกแบบเพื่อต้องการเพิ่มความอบอุ่น จึงไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับสภาพอากาศในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย จึงมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาดังนี้ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา เช่น อนุพงษ์ ชุมิ [2] ได้ศึกษาผลกระทบของรูปแบบช่องว่างใต้หลังคาของหลังคาจั่วและหลังคาคลุมเฉียงด้านเดียวที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยใช้วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล วิศกร นทิงค์ [3] ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของมุมเอียงต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา 2 รูปทรง คือ หลังคาจั่วและปั้นหยา และปฎิวัติ อ่อนพุทธา [4] ได้ทำการออกแบบหลังคาให้มีความเหมาะสม เพื่อช่วยลดปริมาณความร้อนที่เป็นภาระการทำงานของระบบปรับอากาศในอาคาร โดยใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลในการคำนวณแบบจำลองบ้าน 2 มิติ จากการศึกษางานวิจัยยังไม่พบว่ามีการศึกษาถึงรูปแบบของหลังคาที่มีความเหมาะสมสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้น

ศึกษาเพื่อหาหลังคาที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

2. ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาที่จะทำการประเมินสมรรถนะเชิงอุณหภูมิของหลังคาโดยใช้โปรแกรม TRNSYS 17 และแบ่งขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

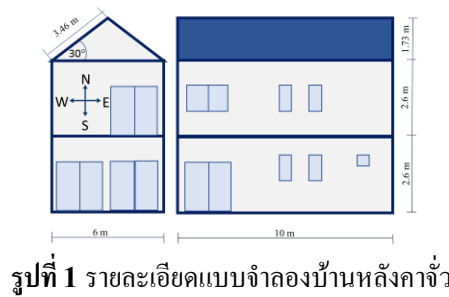
2.1 แบบจำลองบ้าน

แบบจำลองบ้านที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยนี้อ้างอิงจากโครงการบ้านยืมเพื่อประชาชน สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรมย่อย TRNBuild เพื่อกำหนดขนาดของแบบจำลองและสมบัติของวัสดุกรอบอาคาร แบบจำลองเป็นบ้านเดี่ยว 2 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 120 ตร.ม. ขนาดของตัวบ้านแต่ละชั้นมีความกว้าง 6 ม. ยาว 10 ม. และสูง 2.6 ม. ทิศทางการวางตัวบ้านหันด้านหน้าไปทางทิศเหนือ-ทิศใต้ ส่วนด้านกว้างหันไปทางทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก สำหรับรายละเอียดของหลังคาแต่ละแบบมีดังนี้

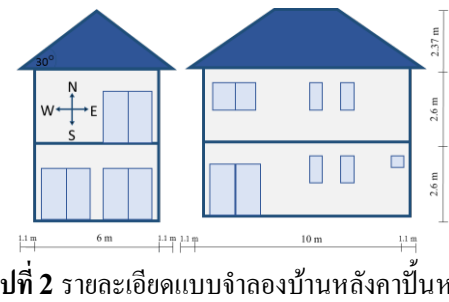
2.1.1 หลังคาจั่ว (Gable roof, G) พื้นที่ของหลังคาเท่ากับ 69.28 ตร.ม. หลังคาวางในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ดังรูปที่ 1

2.1.2 หลังคาปั้นหยา (Hipped roof, H) พื้นที่ของหลังคาเท่ากับ 115.52 ตร.ม. ดังรูปที่ 2

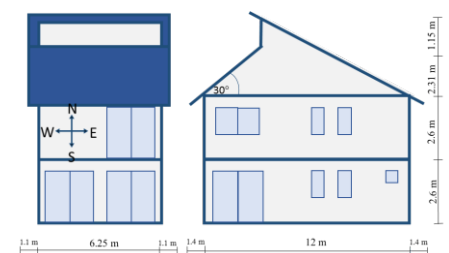
2.1.3 หลังคาเพิงหมาแหงน (Lean to roof, L) พื้นที่ของหลังคาเท่ากับ 98.45 ตร.ม. หลังคาวางในแนวทิศตะวันออก-ทิศใต้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 รายละเอียดแบบจำลองบ้านหลังคาจั่ว



รูปที่ 2 รายละเอียดแบบจำลองบ้านหลังคาปั้นหย้า



รูปที่ 3 รายละเอียดแบบจำลองบ้านหลังคาเพิงหมาแหงน

ในการศึกษานี้กำหนดให้บ้านทั้ง 3 หลังใช้วัสดุกรอบอาคารชนิดเดียวกัน คือ ผนังบ้านและผนังส่วนที่ปิดจั่วของห้องใต้หลังคาทำด้วยคอนกรีตมวลเบาความหนา 10 ซม. ฉนวนปูนด้านละ 1 ซม. ฝ้าเพดานทำด้วยแผ่นยิปซัมหนา 9 มม. ปูพื้นด้วยคอนกรีตหนา 10 ซม. และปูทับด้วยกระเบื้องเซรามิก บนหน้าต่างประกอบด้วยกระจกใสหนา 6 มม. สมบัติวัสดุแสดงดังตารางที่ 1

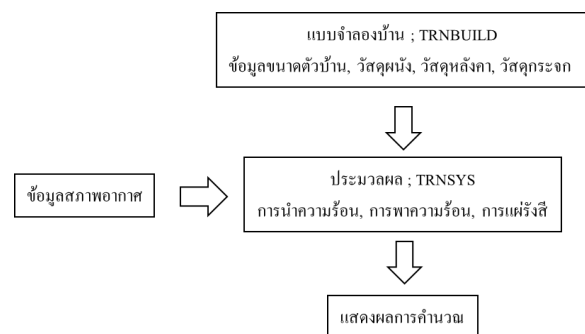
2.2 การศึกษาสมรรถนะเชิงอุณหภูมิกของหลังคา

การประมวลผลการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่บ้านผ่านหลังคานั้นมีขั้นตอนในการประมวลผลด้วยโปรแกรม TRNSYS 17 ดังแสดงในรูปที่ 4 นำแบบจำลองบ้านที่สร้างด้วยโปรแกรมย่อย TRNBuild และข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร (ข้อมูลจากโปรแกรม TRNSYS 17) มาป้อนในโปรแกรม TRNSYS 17 เพื่อ

เป็นข้อมูลตั้งต้น จากนั้นทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานสู่ห้องชั้นที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคาร

วัสดุ	k , (W/m.K)	C_p , (kJ/kg.K)	ρ , (kg/m ³)
ยิปซัมบอร์ด	0.282	1.09	800
คอนกรีตมวลเบา	0.303	0.84	960
ปูนฉาบ	0.326	0.84	1200
คอนกรีต	1.442	0.92	2400
กระเบื้องเซรามิก	0.338	0.8	2100
กระเบื้องคอนกรีต	0.993	790	2400
เมทัลชีท	47.6	-	-
ฉนวนใยแก้ว	0.036	0.8	105



รูปที่ 4 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะเชิงอุณหภูมิกด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป TRNSYS 17

ในการศึกษานี้กำหนดให้มีการปรับอากาศภายในบ้านโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C พิจารณาการเปรียบเทียบ 3 กรณี ดังนี้

- 1) วัสดุผนังหลังคา 2 ชนิด คือ เมทัลชีทและกระเบื้องคอนกรีต คุณสมบัติดังตารางที่ 1
- 2) สีของวัสดุหลังคา โดยให้ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็นตัวแทนของสี คือ 0.6 แทนสีแดงหรือสีเขียว, 0.4 แทนสีเหลืองหรือสีส้มอ่อน และ 0.2 แทนสีขาวหรือสีเทาอ่อน
- 3) ติดตั้งฉนวนใยแก้วความหนา 3 นิ้วบนฝ้าเพดาน

เพื่อความสะดวกในการกำหนดกรณีการศึกษาในที่นี้จะใช้สัญลักษณ์แทนชื่อของกรณีศึกษาต่างๆ ดังนี้

A B X _ INS

โดยที่ A คือรูปแบบของหลังคา เมื่อ G = หลังคาจั่ว, H = หลังคาปั้นหยา และ L = หลังคาเพิงหมาแหงน สำหรับ

B คือ วัสดุผนังหลังคา เมื่อ T = กระเบื้องคอนกรีต และ M = เมทัลชีท ส่วน X คือ ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุ หลังคา เมื่อ 06 = ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6, 04 = ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.4 และ 02 = ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.2 และ INS คือ มีการติดฉนวนบนฝ้าเพดาน

2.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

- 1) การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ กำหนดให้เครื่องปรับอากาศทำงานตลอด 24 ชม. โดยที่ compressor ทำงาน 80%
- 2) ประเมินค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง อ้างอิงราคาวัสดุและค่าแรงจากราคามาตรฐานประจำปี 2553 [5]
- 3) วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ [6] โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย

3. ผลการศึกษาและวิเคราะห์

จากการศึกษาปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้าน พบว่า สัดส่วนความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้านมาจากส่วนต่างๆ ของบ้าน คือ ส่วนของผนังประมาณ 20% ส่วนกระเบื้องประมาณ 44% และส่วนของหลังคาประมาณ 43% รายละเอียดแต่ละประเภทหลังคาแสดงดังรูปที่ 5

3.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงอุณหภาพของหลังคา

ศึกษาปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้านเฉพาะส่วนที่ผ่านหลังคาเท่านั้น โดยมีสมมติฐานว่าความร้อนที่ผ่านหลังคาจะเข้าสู่ตัวบ้านทั้งหมด ตามกรณีศึกษาดังนี้

3.1.1 กรณีหลังคาใช้วัสดุผนังหลังคาต่างกัน

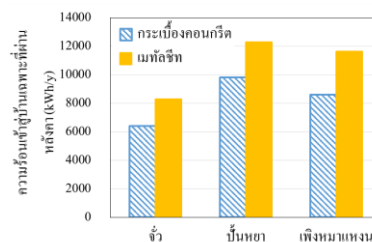
จากผลการศึกษาปริมาณความร้อนที่เข้าบ้านผ่านหลังคา เปรียบเทียบระหว่างกรณีใช้เมทัลชีทกับกรณีใช้กระเบื้องคอนกรีตเป็นวัสดุผนังหลังคา (ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุเท่ากับ 0.6) พบว่า หลังคาจั่วจะมีปริมาณ

ความร้อนเข้าสู่บ้านน้อยที่สุด ทั้งกรณีใช้เมทัลชีทและกระเบื้องคอนกรีต หากพิจารณาเฉพาะเมทัลชีทแล้ว



รูปที่ 5 สัดส่วนความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้าน

พบว่า หลังคาจั่ว ปั้นหยา และเพิงหมาแหงนมีความร้อนเข้าบ้านผ่านหลังคามากกว่าการใช้กระเบื้องคอนกรีตถึง 1,875.52, 2,485.40 และ 3,016.82 kWh/(m²·y) ตามลำดับ ดังรูปที่ 6 และตารางที่ 2

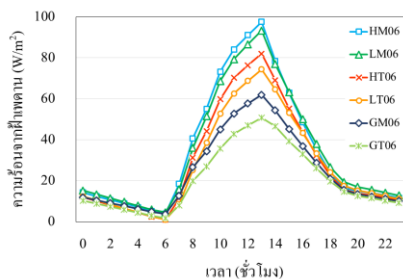


รูปที่ 6 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้านผ่านหลังคาที่ใช้วัสดุกระเบื้องคอนกรีตและเมทัลชีท

จากรูปที่ 7 แสดงการถ่ายเทความร้อนของวันที่ 21 พฤษภาคม เป็นวันที่มีความร้อนเข้าบ้านมากที่สุด พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานสู่ห้องชั้นที่ 2 ของ

หลังคาทั้ง 3 แบบมีค่าสูงสุดเวลา 13.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.80 W/m^2 , 81.98 W/m^2 และ 74.38 W/m^2 สำหรับหลังคาจั่วปั้นหยา และเพิงหมาแหงนที่ใช้กระเบื้องคอนกรีตตามลำดับ ส่วนกรณีที่ใช้เมทัลชีทจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 62.01 W/m^2 , 97.54 W/m^2 และ 93.27 W/m^2 ตามลำดับ

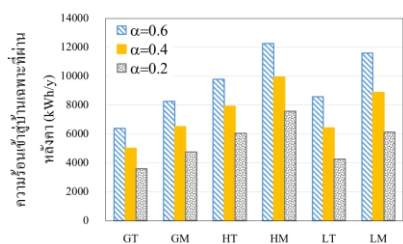
และเมื่อเปรียบเทียบหลังคาทั้ง 3 แบบที่ใช้วัสดุทั้ง 2 ชนิดแล้ว จะเห็นว่า หลังคาจั่วที่มุงด้วยกระเบื้องคอนกรีตมีความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคาน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $6,410.69 \text{ kWh/y}$ ส่วนหลังคาปั้นหยาที่มุงด้วยเมทัลชีทมีความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคามากที่สุดมีค่าเท่ากับ $1,2277.97 \text{ kWh/(m}^2\cdot\text{y)}$



รูปที่ 7 ปริมาณความร้อนจากฝ้าเพดานสู่ห้องชั้นที่ 2 กรณีใช้วัสดุกระเบื้องคอนกรีตและเมทัลชีท วันที่ 21 พฤษภาคม

3.1.2 กรณีหลังคามีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างกัน

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคาที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6, 0.4 และ 0.2 พบว่า หลังคาทุกรูปแบบที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.2 มีความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคาน้อยที่สุด รองลงมาคือ 0.4 และ 0.6 ตามลำดับ ดังรูปที่ 8

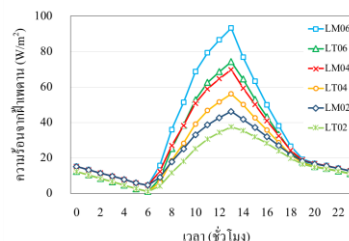
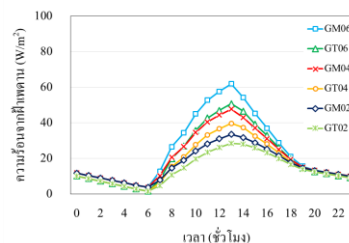
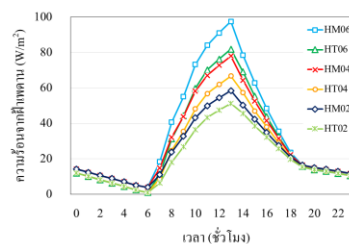


รูปที่ 8 ปริมาณความร้อนเข้าบ้านผ่านหลังคาที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6, 0.4 และ 0.2

เมื่อเปรียบเทียบหลังคาทั้ง 3 แบบพบว่า หลังคาจั่วมุงด้วยกระเบื้องคอนกรีตมีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.2 มีความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคาน้อยที่สุดเท่ากับ $3,614.4 \text{ kWh/(m}^2\cdot\text{y)}$ และหลังคาปั้นหยามุงด้วยเมทัลชีทมีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6 มีความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคามากที่สุดเท่ากับ $1,2278 \text{ kWh/(m}^2\cdot\text{y)}$ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความร้อนเข้าสู่บ้านเฉพาะที่ผ่านหลังคาทั้งหมด ($\text{kWh/(m}^2\cdot\text{y)}$)

หลังคา	วัสดุ	ค่าการดูดกลืนรังสี (α)		
		$\alpha=0.6$	$\alpha=0.4$	$\alpha=0.2$
จั่ว	กระเบื้อง	6410.7	5013.6	3614.4
	เมทัลชีท	8286.2	6521.6	4756.8
ปั้นหยา	กระเบื้อง	9792.6	7925.8	6048.3
	เมทัลชีท	12278.0	9934.1	7587.9
เพิงหมาแหงน	กระเบื้อง	8601.7	6430.5	4259.4
	เมทัลชีท	11618.6	8876.7	6134.3



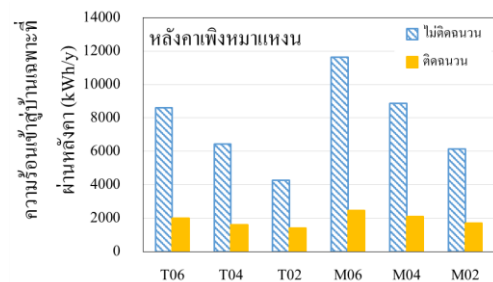
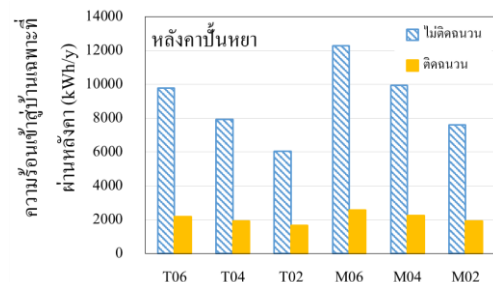
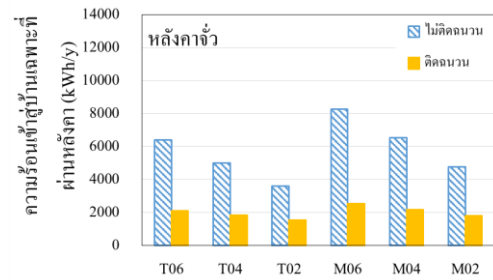
รูปที่ 9 การถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดาน กรณีวัสดุมุงหลังคามีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6, 0.4 และ 0.2 วันที่ 21 พฤษภาคม

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาตลอดทั้งวัน พบว่า เมื่อเปลี่ยนค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุ มุงหลังคา การถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานสู่ห้องชั้นที่ 2 ยังคงมีค่าสูงสุดเวลา 13.00 น. ซึ่งกรณีหลังคาจั่วที่ใช้วัสดุ มุงหลังคาเป็นกระเบื้องคอนกรีตมีค่าการดูดกลืนรังสี อาทิตย์เท่ากับ 0.2 มีค่าเท่ากับ 28.51 W/m² หลังคาปั้นหยามีค่าเท่ากับ 51.39 W/m² และหลังคาเพิงหมาแหงนมีค่า เท่ากับ 37.61 W/m² ดังรูปที่ 9

3.1.3 กรณีมีการติดฉนวนบนฝ้าเพดาน

จากผลของความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคาหลังทำการติดฉนวนบนฝ้าเพดานของหลังคาจั่ว ปั้นหย้า และเพิงหมาแหงน พบว่า ความร้อนที่เข้าสู่บ้านผ่านหลังคาทุกกรณี ที่ทำการติดฉนวนมีค่าใกล้เคียงกัน เฉลี่ยประมาณ 1,981 (kWh/(m²·y)) ดังรูปที่ 10 ปริมาณความร้อนที่ลดลง กรณีของหลังคาจั่วเท่ากับ 69.3% หลังคาปั้นหย้าเท่ากับ 79.2% และหลังคาเพิงหมาแหงนเท่ากับ 78.7% เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีฉนวน ดังตารางที่ 3

การถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานสู่ห้องชั้นที่ 2 หลังทำการติดฉนวนบนฝ้าเพดานตลอดทั้งวัน พบว่า ทุกกรณี ยังคงมีการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเวลา 13.00 น. ดังรูปที่ 11 และพบว่าหลังคาจั่วมีการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานลดลงถึง 45.77 W/m² ส่วนหลังคาปั้นหย้ามีค่าการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานลดลงถึง 80.84 W/m²

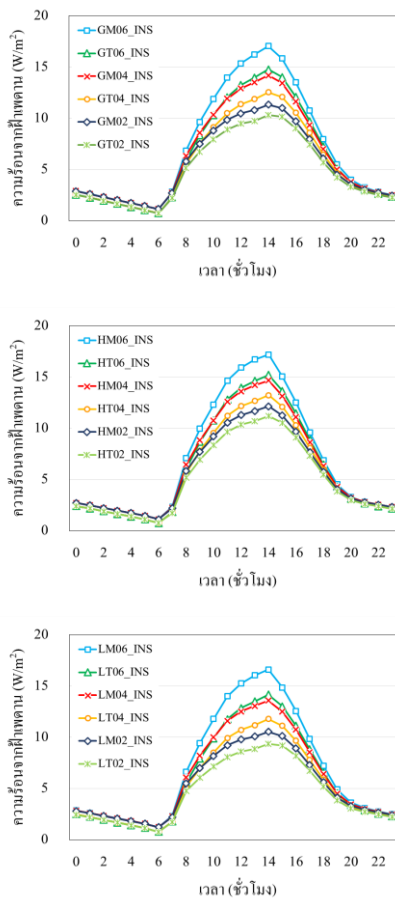


รูปที่ 10 ปริมาณความร้อนเข้าบ้านผ่านหลังคากรณีติดฉนวนและไม่ติดฉนวนบนฝ้าเพดาน

และสำหรับหลังคาเพิงหมาแหงนมีค่าการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดานลดลงถึง 77.23 W/m² เทียบกับกรณีไม่ติดฉนวน

ตารางที่ 3 ความร้อนผ่านหลังคากรณีติดฉนวน (kWh/(m²·y))

หลังคา	วัสดุ	ไม่ติดฉนวน			ติดฉนวน		
		$\alpha = 0.6$	$\alpha = 0.4$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.6$	$\alpha = 0.4$	$\alpha = 0.2$
จั่ว	กระเบื้องคอนกรีต	6410.69	5013.56	3614.36	2122.25	1824.40	1523.56
	เมทัลชีท	8286.21	6521.63	4756.83	2546.35	2169.02	1790.59
ปั้นหย้า	กระเบื้องคอนกรีต	9792.58	7925.80	6048.31	2169.53	1910.53	1649.01
	เมทัลชีท	12277.97	9934.14	7587.92	2560.27	2234.14	1907.10
เพิงหมาแหงน	กระเบื้องคอนกรีต	8601.77	6430.49	4259.35	1998.19	1592.65	1392.23
	เมทัลชีท	11618.58	8876.67	6134.29	2470.95	2089.69	1707.35



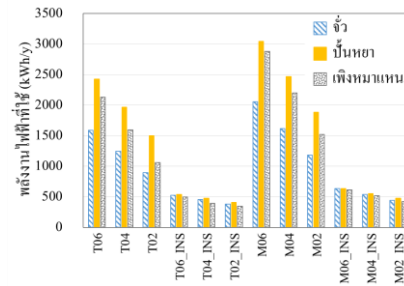
รูปที่ 11 การถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดาน

กรณีมีการติดฉนวนบนฝ้าเพดาน วันที่ 21 พฤษภาคม

3.2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

3.2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้า

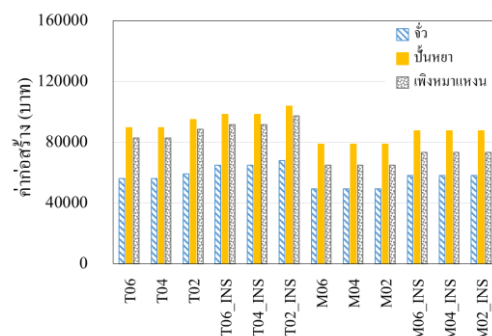
จากผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เปิดตลอด 24 ชม. พิจารณาการกระทำความเย็นเฉพาะส่วนที่มาจากหลังคาเท่านั้น เปรียบเทียบหลังคา 3 แบบพบว่า หลังคาจั่วมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด รองลงมาคือหลังคาเพิงหมาแหงนและปั้นหยาตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบหลังคาทั้งหมดที่ทำการศึกษา พบว่า หลังคาปั้นหยาเมื่อดูด้วยเมทริกซ์ที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.6 ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 3044.13 kWh/y ส่วนหลังคาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดคือหลังคาที่มีการติดฉนวนบนฝ้าเพดาน ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 345.18 – 631.33 kWh/y ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี

3.2.2 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

การประเมินค่าก่อสร้างเฉพาะส่วนของหลังคา พบว่าแบบจำลองหลังคาปั้นหยามีค่าก่อสร้างสูงที่สุด รองลงมาคือหลังคาเพิงหมาแหงนและจั่ว หากใช้กระเบื้องคอนกรีตเป็นวัสดุผนังหลังคาจะมีค่าก่อสร้างสูงกว่าการใช้เมทัลชีทเป็นวัสดุผนังหลังคา เพราะราคาของเมทัลชีทถูกกว่ากระเบื้องคอนกรีต อีกทั้งยังใช้จำนวนแป้น้อยกว่าเนื่องจากระยะห่างของแปสำหรับวัสดุเมทัลชีทจะมีระยะ 1 เมตร แต่ระยะห่างของแปสำหรับวัสดุกระเบื้องคอนกรีตจะมีระยะ 0.3 เมตร ส่วนหลังคาที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุน้อยจะมีค่าก่อสร้างสูงกว่า ยกเว้นเมทัลชีทจะมีค่าก่อสร้างเท่ากัน สำหรับกรณีที่มีการติดฉนวนบนฝ้าเพดานจะมีค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น 8,750 บาท จากกรณีที่ไม่มีมีการติดฉนวน ดังรูปที่ 13 รายละเอียดค่าก่อสร้างของหลังคาจั่ว ปั้นหยาและเพิงหมาแหงนแสดงดังตารางที่ 4-6



รูปที่ 13 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างหลังคา

ตารางที่ 4 รายละเอียดค่าก่อสร้างหลังคาจั่ว

รายการ	หน่วย	ปริมาณ หน่วย	ราคาวัสดุ		ค่าแรง		รวม
			(บาท/หน่วย)	(บาท)	(บาท/หน่วย)	(บาท)	
อกไก่ (A)	ท่อน	2	1,094	2,188	165	330	2,518
อะเส (A)	ท่อน	4	1,094	4,376	165	660	5,036
จันทัน (A, ระยะห่าง 1 ม.)	ท่อน	13	1,094	14,222	165	2,145	16,367
แป (ระยะห่าง 0.3 ม.)	ท่อน	60	140	8,400	20	1,200	9,600
ค่าติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก	ตร.ม.	69.28	-	0	160	11,085	11,085
รวม							44,606

ตารางที่ 5 รายละเอียดค่าก่อสร้างหลังคาปั้นหย

รายการ	หน่วย	ปริมาณ หน่วย	ราคาวัสดุ		ค่าแรง		รวม
			(บาท/หน่วย)	(บาท)	(บาท/หน่วย)	(บาท)	
อกไก่ (A)	ท่อน	1	1,094	1,094	165	165	1,259
อะเส (A)	ท่อน	6	1,094	6,564	165	990	7,554
จันทัน (A, ระยะห่าง 1 ม.)	ท่อน	12	1,094	13,128	165	1,980	15,108
ระยะแป 0.3 ม.	ท่อน	99	140	13,860	20	1,980	15,840
ตะเฆ่สัน		9	1,094	9,846	165	1,485	11,331
ค่าติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก	ตร.ม.	118	-	0	160	18,925	18,925
รวม							70,017

ตารางที่ 6 รายละเอียดค่าก่อสร้างหลังคาเพิงหมาแหงน

รายการ	หน่วย	ปริมาณ หน่วย	ราคาวัสดุ		ค่าแรง		รวม
			(บาท/หน่วย)	(บาท)	(บาท/หน่วย)	(บาท)	
จันทัน (A, ระยะห่าง 1 ม.)	ท่อน	22	1,094	24,068	165	3,630	27,698
ระยะแป 0.3 ม.	ท่อน	113	140	15,820	20	2,260	18,080
ค่าติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก	ตร.ม.	98	-	0	160	15,752	15,752
รวม							61,530

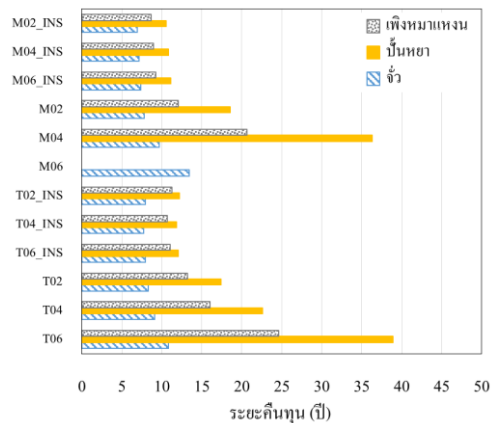
A = ท่อเหล็กกลวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.5 นิ้ว*3 นิ้ว หน้า 2.3 มม. (ท่อนละ 6 เมตร)

B = แปหลังคาสำเร็จรูปหนา 0.7 มม. (ท่อนละ 4 เมตร)

3.2.3 ระยะเวลาคืนทุน

ผลการศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของหลังคาที่ศึกษาทั้งหมด เปรียบเทียบกับหลังคาปั้นหยที่มุงด้วยเมทัลชีทและมีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุเท่ากับ 0.6 เนื่องจากเป็นกรณีที่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 9,621.34 บาทต่อปี ดังตารางที่ 7 ผลการศึกษา

พบว่า หลังคาที่ให้ระยะคืนทุนเร็วที่สุด คือ หลังคาจั่วที่ใช้เมทัลชีทที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุเท่ากับ 0.2 และคิดถวนบนฝ้าเพดาน ซึ่งมีระยะคืนทุนเท่ากับ 6.93 ปี ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ 7 สรุปราคาต้นทุน ค่าไฟฟ้า ผลประหยัด และระยะเวลาคืนทุน

กรณีศึกษา	ต้นทุน (บาท)	ค่าไฟ (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
GT06	56099	4,439.34	5182.00	10.83
GT04	56099	3,434.25	6187.10	9.07
GT02	59151	2,475.81	7145.53	8.28
GT06 INS	64849	1,453.73	8167.62	7.94
GT04 INS	64849	1,249.70	8371.64	7.75
GT02 INS	67901	1,043.62	8577.72	7.92
GM06	49466	5,944.06	3677.28	13.45
GM04	49466	4,519.76	5101.58	9.70
GM02	49466	3,258.39	6362.95	7.77
GM06 INS	58216	1,744.23	7877.11	7.39
GM04 INS	58216	1,485.76	8135.58	7.16
GM02 INS	58216	1,226.54	8394.80	6.93
HT06	49978	7,319.04	2302.30	38.93
HT04	49978	5,658.07	3963.27	22.61
HT02	48142	4,177.27	5444.07	17.42
HT06 INS	58728	1,486.11	8135.23	12.09
HT04 INS	98374	1,308.70	8312.65	11.83
HT02 INS	103582	1,129.56	8491.78	12.20
HM06	78841	9,621.34	-	-
HM04	78841	7,450.18	2171.17	36.31
HM02	78841	5,379.95	4241.39	18.59
HM06 INS	87591	1,753.76	7867.58	11.13
HM04 INS	87591	1,530.37	8090.97	10.83
HM02 INS	87591	1,306.34	8315.00	10.53
LT06	79991	6,259.88	3361.46	34.03
LT04	79991	4,474.54	5146.80	20.14
LT02	76871	2,917.62	6703.72	14.18

ตารางที่ 7 สรุปราคาต้นทุน ค่าไฟฟ้า ผลประหยัด และระยะเวลาคืนทุน (ต่อ)

กรณีศึกษา	ต้นทุน (บาท)	ค่าไฟ (บาท/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)
LT06 INS	88741	1,368.75	8252.60	10.91
LT04 INS	88741	1,090.95	8530.39	10.68
LT02 INS	85621	953.67	8667.68	10.09
LM06	82666	9,010.53	610.81	24.59
LM04	82666	6,491.63	3129.71	16.06
LM02	88586	4,244.48	5376.86	13.21
LM06 INS	91416	1,692.58	7928.76	11.08
LM04 INS	91416	1,431.42	8189.92	10.72
LM06 INS	97336	1,169.52	8451.82	11.23

4. สรุป

จากผลการศึกษา พบว่า หากพิจารณาเฉพาะความร้อนที่ผ่านหลังคาห้องชั้นที่ 2 มีค่าสูงสุดเวลา 13.00 น. โดยหลังคาจั่วมีปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านน้อยที่สุด รองลงมาคือหลังคาเพิงหมาแหงนและปั้นหยาตามลำดับ ซึ่งกระเบื้องคอนกรีตเป็นวัสดุผนังหลังคาที่มีสมรรถนะเชิงอุณหภาพดีกว่าเมทัลชีท นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่ำจะทำให้ความร้อนเข้าสู่บ้านผ่านหลังคาน้อยลง หากทำการตัดสินใจบนพื้นฐานพบว่ามีนัยสำคัญในการลดความร้อนเข้าสู่บ้านได้เป็นอย่างมาก จากกรณีศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่า หลังคาที่น่านจะดีและเหมาะสมที่สุดในแง่ของการลดความร้อนและการลงทุน คือ หลังคาจั่วมุงด้วยเมทัลชีทที่ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.2 และตัดสินใจบนพื้นฐานพบว่ามีระยะคืนทุน 6.93 ปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สัทธา ปัญญาแก้ว. การออกแบบปรับปรุงหลังคาบ้านพักอาศัยด้วยวัสดุราคาถูกลงเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรม, คณะสถาปัตยกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2546.

- [2] อนุพงษ์ ชูมี. ผลกระทบของรูปแบบช่องว่างใต้หลังคาที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- [3] วิศกร นกิร์ก. อิทธิพลของมุมเอียงต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [4] ปฏิวัติ อ่อนพุทธา. การออกแบบหลังคาที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิภายในบ้านโดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [5] ทีมงาน SCG Experience. ราคามาตรฐานวัสดุก่อสร้างและค่าบริการประจำปี 2553. 16 สิงหาคม 2553.
- [6] บัญญัติ พงษ์พิริยะเดชะ. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วลมผ่าน ช่องว่างของหลังคาเหล็กเคลือบโลหะ. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.
- [7] Dr.Mongkol JIRAWACHARADET. โครงหลังคา. เอกสารประกอบวิชา CE Drawing, 67-75.
- [8] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/power/pw-rate-PEA.html>, 2000.