การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 3
The 3rd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 29 มีนาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า

การศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนและเสียงของกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่
Comparison Study on Thermal and Sound Insulation of fiber cement double wave roof-tiles

เสนีย์ อยู่ประเสริฐ ชิน เลียบใจดี ชานนท์ มูลวรรณ และ ประยูร สุรินทร์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

Sanee Yuprasert , Chin Leabjaidee , Chanon Moonwan and Prayoon Surin
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasembundit University
E-mail: chanagunt@yahoo.com[1], chinleabjai@gmail.com [2]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและเสียงของหลังคากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ 6 สี ได้แก่ สีเขียว สีธรรมชาติ(ไม่เคลือบสี) สีน้ำตาล สีแดง สีส้มอิฐ และ สีฟ้า แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกทดสอบสมบัติการถ่ายเทความร้อนของกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ทั้งหมด 6 สี โดยสร้างกล่องสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 2.1 เมตร ยาว 2.1 เมตร สูง 1 เมตร ทั้งหมด 6 กล่อง ด้านนอกติดแผ่นเรียบยิบซั่ม และภายในด้านข้างและด้านล่างฉีดด้วย PU โฟมเพื่อป้องกันความร้อนและเสียงรบกวนจากภายนอก ด้านบนปิดด้วยหลังคาแต่ละสี ติดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งหมด 2 จุด ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ จากผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อเทียบอุณหภูมิภายในกล่องกับอุณหภูมิใต้หลังคาในกล่องทดลอง พบว่าหลังคากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมต์ลอนคู่ สีส้มอิฐ สามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าสีอื่น เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าต่ำกว่าสีอื่น และผลการทดสอบการป้องกันเสียงภายใต้หลังคาที่เกิดขึ้นโดยการนำเครื่องวัดระดับความดังของเสียงไปติดที่ใต้หลังคาทั้ง 6 สีในช่วงเวลาฝนตก ปรากฏว่าเสียงที่เกิดขึ้นกับหลังคาแต่ล่ะสีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน
คำสำคัญ: ไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เครื่องวัดระดับความดังของเสียง

Abstract

The purpose of this research is to study the heat protection and noise protection efficiency of the fiber cement double-wave roof-tiles six (6) colors; green color, natural color (no coating), brown color, red color, orange brick color, and blue color. This research separates into two (2) sessions. In the first session, the heat transfer property of all fiber cement double-wave roof-tiles six (6) colors has been tested. Six (6) boxes of dimension 2.1 meters length x 2.1 meters width x 1-meter height were erected with gypsum board. The floor and walls are insulated with Polyurethane foam in order to prevent heat and noise from the outside. The ceiling was closed with fiber cement double-wave roof-tiles one color each box. Two (2) temperature sensors were installed inside the box and under the roof and connected to the temperature data logger. The result showed the orange brick double fiber cement tiles can protect heat than the other colors due to the lowest heat transfer coefficient. In the second session, noise protection has been tested. Noise has been measured by sound Level meter under the roofs during raining. Result did not show significant noise protection among all roof-tile colors.
Keywords: fiber cement double-wave roof-tiles, temperature data logger, Sound Level Meter

1.บทนำ

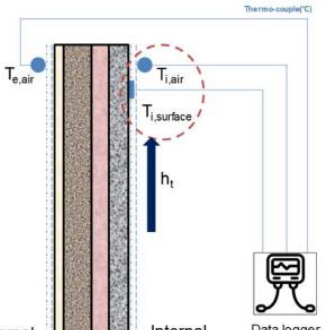
จากกระแสตื่นตัวภาวะโลกร้อนและการออกกฎกระทรวงเกี่ยวกับข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่ เพื่อควบคุมค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทำให้วัสดุประหยัดพลังงานมีแนวโน้มสูงต่อความต้องการในตลาดวัสดุก่อสร้างและภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นปัญหาใหญ่ของโลกเราในปัจจุบัน ความร้อนที่ดวงอาทิตย์ส่องลงมายังผิวโลกนั้นได้แผ่รังสีเข้ามาสู่ภายในบ้านของเราส่วนหนึ่งก็คือจากหลังคาบ้าน ในปัจจุบันนี้บ้านที่เย็นสบายจึงเป็นสิ่งที่ทุกคนปรารถนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเย็นสบายที่ไม่ต้องมีเครื่องปรับอากาศเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า นอกจากการป้องกันความร้อนแล้วกระเบื้องหลังคายังทำหน้าที่ในการป้องกันเสียงเช่นในเวลาฝนตก ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาหลังคาหลากหลายรูปแบบเพื่อให้สะดวกในการเลือกใช้งาน อีกทั้งในแต่ละชนิดของหลังคายังมีหลายสีให้ผู้ใช้ได้เลือก จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนและเสียงของหลังคาในแต่ละสี [1]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา

แหล่งที่มาของความร้อนภายในอาคาร ส่วนหนึ่งเกิดจากความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกรอบอาคาร ได้แก่ หลังคา ผนัง พื้น และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ซึ่งล้วนส่งผลต่อพลังงานในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในปริมาณที่แตกต่างกัน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานการปรับอากาศของอาคารพักอาศัย ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงเฉพาะความร้อนที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนสู่อาคารทางหลังคา โดยทั่วไปการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ทางอาคารทางหลังคา เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร ทำให้เกิดการนำ การพาและการแผ่รังสีของความร้อนซึ่งพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่พื้นที่หลังคาจะแปรผันตามคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุมุงหลังคา วัสดุฝ้า สี และความหนาแน่นของมวลหลังคา ในช่วงกลางวันพื้นที่หลังคา เป็นส่วนที่สามารถรับแสงและรับรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุมุงหลังคาสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกความร้อนที่สะสมในวัสดุมุงหลังคาจึงถูกถ่ายเทสู่ช่องว่างอากาศใต้หลังคา พื้นที่ฝ้าเพดาน และพื้นที่อาคารพักอาศัยภายในตามลำดับ ส่งผลให้พื้นที่ภายในมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย [1]

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในสมการในรูปที่ 1 ค่า U จะคำนวณโดยใช้ความร้อนรวมของผนังด้านใน, สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน , ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศด้านในเทียบกับด้านนอก และความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวด้านใน รูปที่ 1



$$U = h_{i,t}\left[\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(T_{i,air_j} - T_{i,surface_j}\right)}{\sum_{j=1}^{n}\left(T_{i,air_j} - T_{e,air_j}\right)}\right]$$

รูปที่ 1 แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) โดยใช้มาตรฐาน ASTR Method (ISO 6946) [2]

2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนและเสียงที่เกิดขึ้นในช่วงฝนตกของหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์กับหลังคาเหล็กรีด

พิทักษ์ พนาวัน , ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน ได้ทำการวิจัยในปี2555 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์กับหลังคาแผ่นโลหะที่ขึ้นรูปโดยการใช้แผ่นเหล็กบาง โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกทดสอบสมบัติของหลังคาพอลิไวนิลคลอไรด์ ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องทดสอบความเป็นฉนวน และทดสอบอายุการใช้งานโดยใช้เครื่องเร่งสภาวะการทดสอบเป็นเวลา 300 ชั่วโมง เมื่อเทียบอุณหภูมิภายในกล่องกับ

อุณหภูมิภายนอก พบว่าหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ สามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่า นอกจากนั้นผลการทดสอบเสียงภายใต้หลังคาที่เกิดขึ้น โดยการนำอุปกรณ์วัดความดังของเสียงไปติดที่ใต้หลังคาทั้งสองชนิดในช่วงเวลาฝนตก ปรากฏว่าเสียงที่เกิดขึ้นกับหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์มีค่าความดังของเสียงที่ต่ำกว่าเมื่อนำหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ ด้วยหลอดซีนอล พบว่าหลังจากผ่านการทดสอบเร่งสภาวะ 300 ชั่วโมงหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์มีการเปลี่ยนสีจากเดิมเป็นสีขาวเริ่มจะเป็นสีเหลืองอ่อนๆ โดยสมบัติด้านความแข็งแรงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

- **การเปรียบเทียบสีกระเบื้องหลังคาบ้านที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในบ้าน**

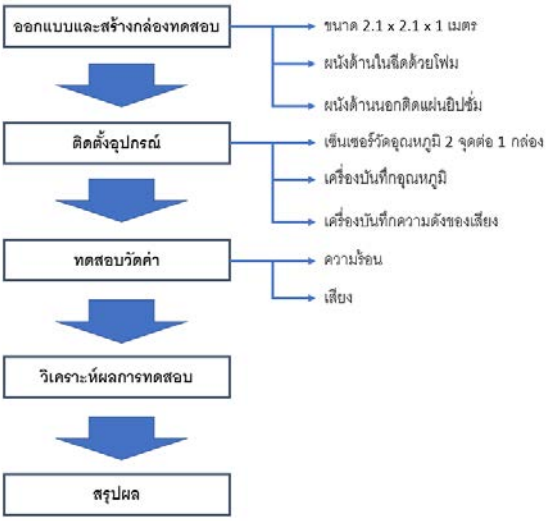
กลยุทธ ทะกอง, ไฟซอล ยีโกบ และ สุภาภรณ์ เสาร์สิงห์ ได้ทำการวิจัยศึกษาสีของกระเบื้องหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบความแตกต่างการถ่ายเทความร้อนของกระเบื้องแต่ละสี เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างการถ่ายเทความร้อนของกระเบื้องแต่ละสี พบว่า กระเบื้องที่มีสีเข้ม (น้ำตาล) จะมีการถ่ายเทความร้อนที่สูง ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกระเบื้องที่มีสีอ่อนกว่า (สีเทา) และเมื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนระหว่างบ้านจำลองทึบ กับบ้านจำลองช่องเปิด 10 % ของพื้นที่ผนังแต่ละด้าน จะพบว่า บ้านจำลองช่องเปิด10 % จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

- **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพืชแห้งและเส้นใยแก้ว**

นายบุรฉัตร วิริยะ ได้ทำการวิจัยในปี2544 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพืชแห้งและเส้นใยแก้วจะให้องค์ความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุพืชแห้งผสมเส้นซีเมนต์และแผ่นวัสดุเส้นใยแก้วผสมซีเมนต์ หลังจากนำ มาผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียงขนาด 1 ตารางเมตร โดยตัวแปรหลักในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย วัสดุพืชแห้งได้แก่ ชานอ้อยและกาบมะพร้าว, อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C ratio) 0.5, 0.6, 0.7 และ0.8 ที่ความหนาแผ่นวัสดุ 5, 7.5, และ 10 เซนติเมตร โดยแสดงผลการทดลองในรูปของ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α), ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) โดยใช้แผ่นวัสดุทั้งสิ้น 36 แผ่น

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

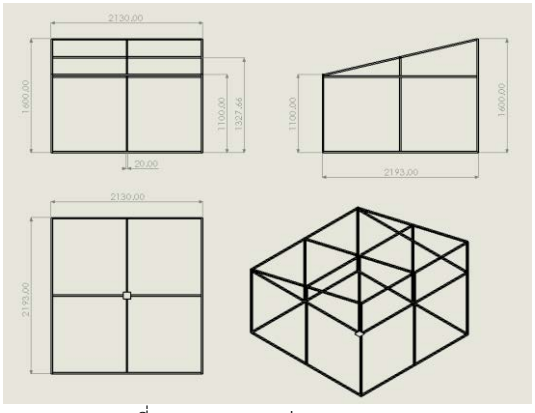
การศึกษาเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีความร้อนและเสียงที่เกิดขึ้นในช่วงฝนตกของหลังคากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ สีฟ้า สีแดง สีเขียว สีส้มอิฐ สีน้ำตาล และ สีธรรมชาติ(ไม่เคลือบสี) มีแผนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 2 แสดงแผนผังการดำเนินการในการศึกษาวิจัย

1) การออกแบบและสร้างกล่องทดลอง

ในการออกแบบกล่องเพื่อใช้ในการทดสอบจะต้องเป็นกล่องระบบปิด บรรยากาศภายในจะต้องไม่มีการเคลื่อนที่ได้และความร้อนจากภายนอกจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในกล่องได้



รูปที่ 3 แสดงขนาดกล่องทดลอง

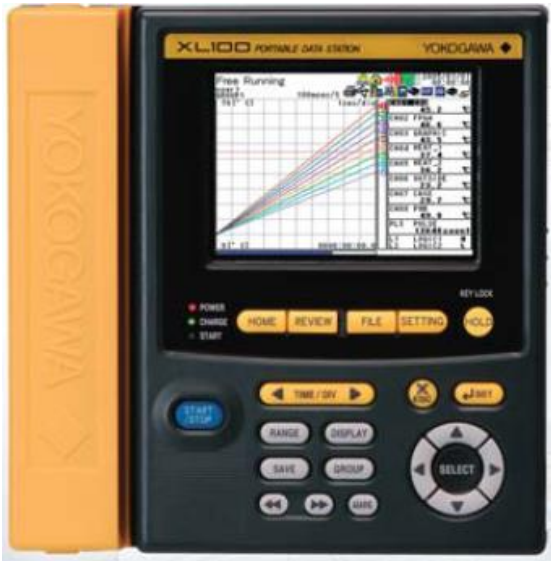
จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นขนาดและรูปแบบของกล่องที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดสอบวัดค่าความร้อนในจุดต่างๆ โดยการออกแบบนั้นและสร้างนั้นจะสร้างกล่อง จำนวน 6 ใบที่มีขนาดเท่ากัน กว้าง 2.1 เมตร ยาว 2.1 เมตร และสูง 1 เมตร ใช้เหล็กกล่อง 1 นิ้วสร้างเป็นโครงด้านข้างภายนอกทั้งหมดยึดด้วยแผ่นยิบซั่มหนา 4 มิลลิเมตร ภายในด้านข้างและด้านล่างของกล่องติดแผ่นโฟมหนา 5 มิลลิเมตรและฉีดด้วย PU โฟม

รูปที่ 4 กล่องทดสอบที่ดำเนินการสร้างสำเร็จแล้ว

2) ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมี 2 วิธีคือ

- การทดสอบวัดค่าความร้อน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องบันทึกอุณหภูมิ DATA Logger Datum-Y Model : XL-100 ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ

รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

การทดสอบวัดค่าความดังของเสียงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ เครื่องวัดระดับความดังของเสียง Sound Level Meter (Order Code SLM-BTA) และโปรแกรมแสดงค่าเสียงที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 7

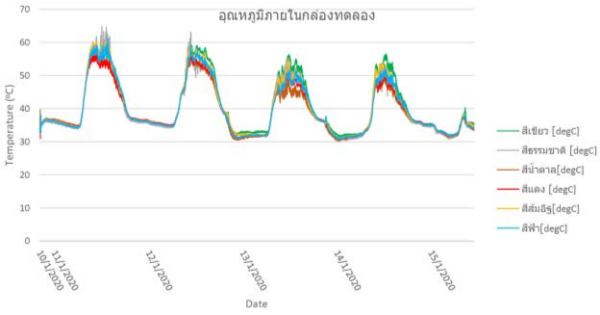
รูปที่ 7 เครื่องวัดระดับความดังของเสียง

3) การทดสอบวัดค่า ในการทดสอบวัดค่ามีการทดสอบด้วยกัน 2 วิธี คือ การวัดค่าความร้อน หลังจากดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเรียบร้อยแล้ว ก็ดำเนินการบันทึกอุณหภูมิเป็นเวลา 4 วันแล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้ในการ วัดค่าอุณหภูมิจะวัดด้วยกันทั้งหมด 2 จุด (จากรูปที่ 6) S1 คือ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิติดใต้หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ , S2 คือเซนเซอร์วัดอุณหภูมิติดตั้งภายในกล่องทดลอง และ การวัดค่าระดับของเสียงระหว่างฝนที่ตกลงมากับหลังคาที่ทดสอบ โดยจะใช้กล่องทดสอบกล่องเดิมแล้วติดตั้งเครื่องมือวัดระดับความดังของเสียง (Sound Level Meter) ให้ห่างจากหลังคาที่ใช้ในการทดสอบ 10 เซนติเมตร วัดค่านาน 180 วินาที หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกไปเข้าโปรแกรม

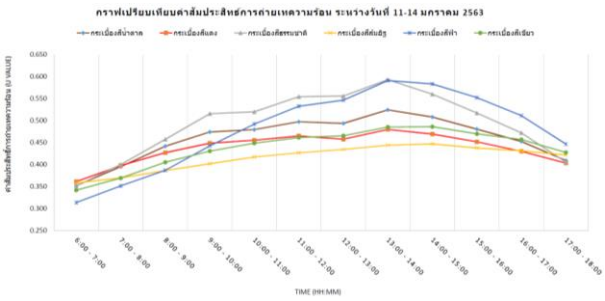
4. ผลการทดสอบ

1) ผลการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิ

รูปที่ 8 ผลการทดสอบอุณหภูมิใต้หลังคา



รูปที่ 9 ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในกล่อง



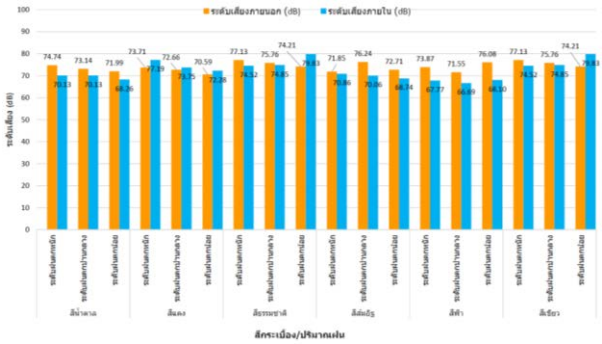
รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) โดยใช้มาตรฐาน ASTR Method (ISO 6946)

ผลการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิทั้งหมดจากกล่องทดสอบของหลังคา แสดงเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ โดยวัดค่าอุณหภูมิตลอดเวลาต่อเนื่อง (จากรูปที่ 8,9)

จากผลการทดลอง เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) โดยใช้มาตรฐาน ASTR Method (ISO 6946) พบว่า กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่สีส้มอิฐมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด และสีธรรมชาติ(ไม่เคลือบสี) มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด (ภาพที่ 10) เมื่อเปรียบเทียบกันทุกช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

และหากพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) ของแต่ละสี พบว่าสีส้มอิฐมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ต่ำที่สุด สรุปได้ว่า กระเบื้องสีส้มอิฐสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าสีอื่น

2) ผลการทดสอบวัดค่าระดับความดังของเสียง



รูปที่ 11 กราฟแสดงผลทดสอบของเสียง

ผลจากการทดสอบวัดค่าความดังของเสียงในช่วงเวลาฝนตกของหลังคา เป็นเวลา 180 วินาที ค่าที่ได้ในการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยความดังของเสียงภายนอกอยู่ที่ 74.07 เดซิเบล และค่าเฉลี่ยความดังของเสียงภายในอยู่ที่ 72.35 เดซิเบล (จากรูปที่ 11)

ผลการทดสอบวัดค่าความดังของเสียงในช่วงเวลาฝนตกของหลังคากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ เป็นเวลา 180 วินาที ค่าที่ได้ในการทดสอบของกระเบื้องแต่ละสีนั้น ไม่มีความต่างอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่า สีของกระเบื้องไม่มีผลต่อการป้องกันของเสียงอย่างชัดเจน(จากรูปที่ 11)

5. สรุป

1) การวัดค่าความร้อน

จากผลการทดสอบที่ได้เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value) โดยใช้มาตรฐาน ASTR Method (ISO 6946) ในแต่ละช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่าสีของหลังคาที่มีสีส้มอิฐ สามารถป้องกันการแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าสีอื่น และ สีธรรมชาติ(ไม่เคลือบสี) สามารถป้องกันการแผ่รังสีความร้อนได้น้อยกว่าสีอื่น เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U value) ของหลังคาทั้ง 6 สี เนื่องจาก สีอ่อนมีสมบัติในการสะท้อนความร้อนได้ดีกว่าสีเข้ม สอด คล้องกับผลจากการทดลอง ที่แสดงให้เห็นว่ากระเบื้องสีส้มอิฐสามารถป้องกันการแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าสีอื่น

2) การวัดค่าระดับความดังของเสียง

จากการทดสอบวัดค่าความดังของเสียงในช่วงที่ฝนตก ค่าเฉลี่ยความดังของเสียงที่ได้จากการทดสอบหลังคากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ สีของกระเบื้องไม่มีผลต่อการป้องกันของเสียงอย่างชัดเจน

3) ข้อเสนอแนะ

- ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลังคากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ลอนคู่ นี้ควรดูหลายๆ ด้าน เช่นการใช้งาน การติดตั้ง ราคา ความแข็งแรง อายุการใช้งาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนำ มาใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้ให้เหมาะสม
- ควรศึกษาเปรียบเทียบกระเบื้องจากบริษัทต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อน

เอกสารอ้างอิง

[1] พิทักษ์ พนาวัน , ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน 2555 การศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนและเสียงที่เกิดขึ้นในช่วงฝนตกของหลังคาที่ผลิตจากพลาสติกพอ ลิไวนิลคลอไรด์กับหลังคาเหล็กรีด

[2] Seo-Hoon Kim, Jong-Hun Kim 2, Hak-Geun Jeong and Kyoo-Dong Song Reliability Field Test of the Air–Surface Temperature 2018

[3] กลยุทธ ทะกอง, ไฟซอล ยีโกบ และ สุภาภรณ์ เสาร์สิงห์

การเปรียบเทียบสีกระเบื้องหลังคาบ้านที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในบ้าน

[3] สุทธิ์ศรีบูรพา, เออร์กอนอมิคส์, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น , 2540

[4] นายบุรฉัตร วิริยะ 2544 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพืชแห้งและเส้นใยแก้ว

[5] ยุทธ ไกยวรรณ์ 2548 สถิติวิจัยทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมกรุงเทพ