

การศึกษาแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ป้องกันความร้อนหลังคาตาดฟ้าจากโฟมเหลือใช้

วัชรินทร์ จินต์วุฒิ

A study of cement tiles to prevent heat from the roof decks using foam waste

Watcharin Jinwuth

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศิลปะและการออกแบบ, มหาวิทยาลัยนเรศวร

Faculty of Architecture, Art and Design, Naresuan university.

*Corresponding author. E-mail address: watcharinj@nu.ac.th

received: October 30, 2025

revised: March 19, 2026

accepted: April 1, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของกระเบื้องพื้นซีเมนต์ผสมโฟมสำหรับใช้ปูบนพื้นตาดฟ้าคอนกรีตที่มักสะสมและแผ่รังสีความร้อนสู่ห้องด้านล่าง ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากกว่า 2.7 ล้านตันต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งการอุดตันระบบระบายน้ำ อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ตลอดจนการกำจัดที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การนำโฟมเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบวัสดุก่อสร้าง จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการจัดการปัญหาขยะดังกล่าวอย่างยั่งยืน ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการผสมโฟมใช้แล้วกับปูนซีเมนต์และทรายเพื่อผลิตกระเบื้องซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติน้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ และมีความเป็นฉนวนกันความร้อน ผลการทดลองพบว่ากระเบื้องซีเมนต์ผสมโฟมสามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านพื้นคอนกรีตตาดฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องให้อยู่ที่ค่าเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาพอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงสุด 42.6 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับแผ่นกระเบื้อง คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : โฟม เท่ากับ 1 : 1 : 0.05 ซึ่งให้ความแข็งแรงและน้ำหนักเบา นอกจากนี้ผลการวิจัยพบว่าแผ่นกระเบื้องควรมีขารองรับสูง 2.5 เซนติเมตร เพื่อสร้างช่องว่างให้อากาศไหลเวียนใต้แผ่นกระเบื้อง ทำให้ไม่เกิดการไหลผ่านของความร้อนจากแผ่นกระเบื้องไปที่พื้นตาดฟ้า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

คำสำคัญ: ขยะโฟม กระเบื้องซีเมนต์ ฉนวนกันความร้อน พื้นตาดฟ้าคอนกรีต ประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

This research aims to study the heat insulation efficiency of cement floor tiles mixed with recycled foam for installation on concrete rooftops, which typically accumulate and radiate heat into the rooms below. Currently, Thailand generates over 2.7 million tons of plastic and foam waste per year, leading to significant environmental problems such as drainage blockage, harm to living organisms, and greenhouse gas emissions from disposal processes. Recycling waste foam for use as a construction material presents a sustainable approach to addressing this issue. In this study, used foam was mixed with cement and sand to produce lightweight, low-cost cement tiles with thermal insulation properties. Experimental results showed that the foam-cement tiles effectively reduced heat transfer through concrete rooftops, maintaining an average indoor temperature of 32°C under outdoor conditions with a maximum temperature of 42.6°C. The optimal mixing ratio of cement : sand : foam was found to be 1 : 1 : 0.05, providing adequate strength and light weight. Furthermore, the study found that the tiles should be elevated with 2.5 cm supports to allow air circulation beneath the tiles, preventing direct heat transfer to the rooftop surface and thereby enhancing the building's overall thermal insulation performance.

Keywords: foam waste, cement tiles, thermal insulation, concrete roof deck, energy conservation

บทนำ

อาคารพาณิชย์เป็นรูปแบบอาคารประเภทหนึ่งที่พบเห็นได้มากในประเทศไทย โดยส่วนมากถูกออกแบบให้มีพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด มีช่องเปิดที่จำกัดทำให้อากาศถ่ายเทได้น้อยมาก เป็นเหตุให้อุณหภูมิภายในอาคารค่อนข้างสูง โดยเฉพาะพื้นดาดฟ้าที่มักถูกออกแบบให้เป็นพื้นคอนกรีตเพื่อสามารถใช้สอยประโยชน์ได้ (Jayanetra, 1998) อย่างไรก็ตาม "หลังคาแดดฟ้า" หรือหลังคาแบน (Flat Slab) ส่วนใหญ่ก่อสร้างโดยเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเทกับที่ตัวพื้นผิวคอนกรีตจึงต้องเผชิญกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง รวมถึงแดด และฝนโดยตรง นั่นจึงทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องความร้อนบริเวณห้องใต้ดาดฟ้า น้ำรั่ว น้ำซัง และปัญหาการระบายน้ำไม่ทัน โดยบริเวณหลังคามีปริมาณการดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีการดูดซับมากกว่าพื้นที่ในแนวระนาบตั้ง ด้วยคุณสมบัติของคอนกรีตที่เป็นวัสดุสะสมความร้อน และส่งผ่านความร้อนได้ดี ห้องใต้หลังคาแดดฟ้าคอนกรีตจึงร้อนมากในเวลากลางวัน และรวมถึงในช่วงเวลาเย็นและกลางคืน โดยพฤติกรรมคอนกรีตจะสะสมความร้อน ที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ และมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย 10 องศาเซลเซียส และค่อย ๆ ถ่ายเทเข้าสู่ภายในตัวอาคารด้วยหลักการนำความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านในอาคารสูงขึ้นตามลำดับเพื่อแก้ปัญหาอาคารพาณิชย์จึงมักติดตั้งเครื่องปรับอากาศบริเวณห้องใต้หลังคาแดดฟ้า เพื่อปรับอากาศภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับการลดความร้อนภายในอาคารเป็นสัดส่วนที่มากที่สุด ถึง 43% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร วรรณ ศรีษะบุตร (2550) กล่าวว่า การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคารนั้น ส่งผลอย่างมากต่อพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของค่าการถ่ายเทความร้อนสำหรับหลังคา RTTV ต้องไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยวิธีการที่จะช่วยลดความร้อนที่เข้าจากทางดาดฟ้า มีหลายวิธี ได้แก่ 1) การเคลือบหรือพ่นสีกันความร้อน 2) ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน 3) ติดแผ่นฉนวนกันความร้อน เป็นต้น

ปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายที่จะนำวัสดุเหลือใช้หรือขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยวัสดุเหลือใช้หมายถึงวัสดุต่าง ๆ ที่เหลือจากการอุปโภค บริโภคในชีวิตประจำวัน แบ่งตามที่มาได้ดังนี้ 1. วัสดุเหลือใช้ในครัวเรือน 2. วัสดุเหลือใช้จากการทำเกษตรกรรม และ 3. วัสดุเหลือใช้จากร้านค้า หรือสถานประกอบการ และสถานบริการต่าง ๆ นอกจากนั้นยังสามารถแบ่งวัสดุเหลือใช้แยกตามประเภทได้ดังนี้ 1. วัสดุจากธรรมชาติเช่น เศษไม้ เปลือกข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง เปลือกไข่ เป็นต้น 2. พลาสติกเช่น ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำเปล่า กระป๋องแป้ง เส้นพลาสติก ถุงห่อขนม ถังนม ขวดน้ำยาล้างจาน เป็นต้น 3. แก้ว 4. โลหะเช่น เศษเหล็ก เส้นลวด น็อต ตะปู สังกะสีกระป๋องนม เป็นต้น 5. กระดาษ 6. ผ้า 7. ประเภทอื่น ๆ เช่น โฟม กระดุม เศษกระเบื้อง ซีเมนต์ เป็นต้น (วรรณ วงศ์พานิชย์, 2546) โดยขยะพลาสติกและโฟมเกิดขึ้นประมาณ 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ยประมาณ 7,000 ตันต่อวัน ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันตามท่อระบายน้ำ อันตรายต่อระบบย่อยอาหารของสัตว์ และกระบวนการกำจัดพลาสติกและโฟมยังก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (สุรศักดิ์ นุ่นมีศรี., 2551) สำหรับโฟมนั้นเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาภายในเนื้อมียูโฟมอากาศลักษณะคล้ายฟองน้ำธรรมชาติ ในขบวนการผลิตโฟมเป็นที่ทราบกันว่าในโรงงานผู้ผลิตมักใช้ Chlorofluorocarbon (CFC) เป็นสารที่ทำให้เกิดการพองตัวเนื่องจากสาร CFC มีประสิทธิภาพที่ทำให้โฟมมีคุณภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามการใช้สาร CFC จะกระทบต่อบรรยากาศโลกซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้บรรยากาศโลกร้อนขึ้น โฟมที่ใช้แล้วส่วนมากจะทิ้งและไม่นำกลับมาใช้ใหม่ส่งผลให้มีปริมาณขยะมากขึ้นดังนั้นหากสามารถนำโฟมนั้นกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเพิ่มขึ้นก็จะเป็นการกำจัดขยะโฟมที่ดีที่สุด

Chen, X. et al. (2019) กล่าวว่าใช้ระบบพื้นดาดฟ้าสองชั้น (Double-skin) สามารถลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ โดยใช้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตวางซ้อนกับพื้นดาดฟ้า และมีช่องอากาศระหว่างแผ่นกระเบื้องและพื้นดาดฟ้า เพื่อลดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแผ่นและพื้นคอนกรีต ทั้งนี้ระบบพื้นดังกล่าวถูกนำมาใช้ในประเทศไทยมากกว่า 15 ปี โดยแผ่นกระเบื้องคอนกรีต (Solar Slab) ที่ใช้งานในประเทศไทยมีลักษณะเป็นแผ่นกระเบื้องสำเร็จรูป ผลิตจากคอนกรีต ข้างใต้แผ่นมีขาจำนวน 4 ขา เพื่อยึดเกาะพื้นและทำให้มีช่องว่างอากาศในการระบายอากาศและน้ำฝน สามารถลดความร้อนให้กับพื้นดาดฟ้าได้ 3-4 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 10% ในเวลากลางวัน สามารถรับแรงกดทับได้สูงสุด 252 กิโลกรัมต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตามแผ่นกระเบื้องคอนกรีตที่นิยมใช้ในท้องตลาดมีน้ำหนักมากซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของอาคารเดิม การทำความสะอาดพื้นใต้แผ่นได้ยาก และมีราคาต่อแผ่นที่ค่อนข้างสูง โดยแผ่นขนาดเล็กสุด 30 X 30 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัมและราคาประมาณ 198 บาทต่อตารางเมตร

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับซีเมนต์ เพื่อผลิตเป็นกระเบื้องพื้นซีเมนต์ที่มีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติความเป็นฉนวน เพื่อช่วยลดอุณหภูมิการถ่ายเทความร้อนของพื้นดาดฟ้าเข้าสู่ห้องในอาคาร

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของกระเบื้องพื้นซีเมนต์ผสมโพลีโพรพิลีนสำหรับใช้ปูบนดาดฟ้า

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของกระเบื้องพื้นซีเมนต์ผสมโพลีโพรพิลีนที่ใช้สำหรับปูบนพื้นดาดฟ้าคอนกรีตของอาคารพาณิชย์ประเภทหลังคาแบน โดยทดสอบในสภาพแวดล้อมจำลองด้วยกล่องทดสอบขนาด $0.90 \times 0.90 \times 0.90$ เมตร ไม่ครอบคลุมการทดสอบในอาคารจริง การทดสอบแรงอัดตามมาตรฐาน มอก. 826-2531 หรือการประเมินอายุการใช้งานระยะยาว

นิยามศัพท์

กระเบื้องซีเมนต์ผสมโพลีโพรพิลีน หมายถึง แผ่นวัสดุปูพื้นที่เกิดจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หยาละเอียด และเม็ดโพลีโพรพิลีนบดย่อยเป็นส่วนผสม มีคุณสมบัติกันน้ำกันเบาและเป็นฉนวนกันความร้อน / Solar Slab หรือ แผ่นดาดฟ้าสองชั้น หมายถึง ระบบพื้นดาดฟ้าที่ประกอบด้วยแผ่นกระเบื้องปูซ้อนบนพื้นคอนกรีต โดยมีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นและพื้น เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

โดยธรรมชาติการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) จะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ วิธีการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 วิธีการ (ตระการ ก้าวกลีกรรม, 2537) คือ การนำความร้อน (Thermal conduction), การพาความร้อน (Thermal convection) และ การแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ทั้งนี้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของพื้นดาดฟ้าเกิดขึ้นจากกลไกหลัก 3 ประการร่วมกัน ได้แก่ การนำความร้อนผ่านแผ่นพื้นคอนกรีต การแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวที่ได้รับแสงอาทิตย์ และการพาความร้อนจากอากาศที่ไหลผ่านผิวดาดฟ้า และช่องว่างอากาศใต้แผ่นกระเบื้อง (Lucero-Álvarez et al., 2011) โดยการนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกันโดยจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่ร้อนกว่าไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า หรือมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลมากกว่าหรือมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลช้ากว่า โดยจะมีการถ่ายเทความร้อนในทุกทิศทางและจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล โดยที่วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะมีการส่งผ่านความร้อนได้ดี และการถ่ายเทความร้อนจะหยุดก็ต่อเมื่อมีอุณหภูมิที่เท่ากัน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

ในการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มอก.826-2531 ได้กำหนดหลักเกณฑ์เพื่อควบคุมคุณภาพของกระเบื้องซีเมนต์ ดังนี้

1. ความหมาย : กระเบื้องซีเมนต์ หมายถึง กระเบื้องที่ส่วนใหญ่ทำด้วยปูนซีเมนต์ผสมกับมวลผสมละเอียดและน้ำ อัดแน่นเป็นแผ่น มีสีตามธรรมชาติ หรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งแผ่นหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าก็ได้
2. ความหนาของแผ่นกระเบื้อง : $1/25 \times$ ความยาวของกระเบื้อง
3. ขนาดแผ่นกระเบื้องแนะนำ : 200×100 mm. / 200×200 mm. / 300×150 mm. / 300×300 mm. / 400×200 mm.
4. การผลิต : ใช้เครื่องอัดและ/หรือเขย่าส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ปูนซีเมนต์ มวลผสมละเอียด ปูนซีเมนต์ขาว (ถ้ามี) ผงสี (ถ้ามี) สีซีเมนต์ (ถ้ามี) น้ำสะอาด ส่วนผสมอื่น ๆ ที่ไม่ส่งผลเสียต่อการใช้งานของกระเบื้อง (ถ้ามี)
5. ลักษณะทั่วไป : กระเบื้องต้องไม่ร้าว หรือบิ่น มีความได้ฉาก ขอบเรียบ คมและตรง (ยกเว้นการลบมุม) และสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ
6. ความต้านทานแรงดัดขวาง : ในสภาพเปียกต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล / ในสภาพแห้งต้องไม่น้อยกว่า 5 เมกะพาสคัล ตามมาตรฐานทดสอบ มอก.378
7. การดูดซึมน้ำ : ต้องไม่เกินร้อยละ 10 ตามมาตรฐานทดสอบ มอก.378

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระเบื้องปูพื้น

วัสดุเหลือใช้ในการผลิตแผ่นพื้นซีเมนต์

งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ มาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพื้นซีเมนต์ กิตติชาติ เผ่าพงษ์ ใพบูลย์ และคณะ (2562) ศึกษาการสังเคราะห์แผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งโดยใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ในอัตราส่วน 0.4–0.7 ต่อโฟม พบว่าแผ่นที่ได้มีคุณสมบัติทางกลสูงกว่าแผ่นซีเมนต์เพสต์ทางการค้าและมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าผ่านเกณฑ์ตาม มอก.378-2531 ในทำนองเดียวกัน เอกสิทธิ์ เทียนมาศ (2562) ศึกษาการใช้ผงหินอ่อนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมในจังหวัดกำแพงเพชรแทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ 10–30 พบว่าอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 ให้ค่าการดูดซึมน้ำและกำลังต้านทานแรงดัดเป็นไปตามมาตรฐาน งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุเหลือใช้ผสมในแผ่นพื้นซีเมนต์มีศักยภาพทั้งด้านการลดขยะและการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุ อย่างไรก็ตามยังขาดงานวิจัยที่ศึกษาการใช้เม็ดโฟมโดยตรงเป็นส่วนผสมในแผ่นปูพื้นสำหรับตลาดเพื่อวัตถุประสงค์การป้องกันความร้อนโดยเฉพาะ

ประสิทธิภาพนวนความร้อนของวัสดุผสมซีเมนต์

การประเมินคุณสมบัติฉนวนความร้อนของวัสดุผสมซีเมนต์เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจในงานวิจัยด้านวัสดุก่อสร้าง พันธุ์ศักดิ์ ภักดี และ ฐิตินันท์ รัตนพรหม (2561) ทดสอบการถ่ายเทความร้อนของแผ่นวัสดุซีเมนต์ผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 6 ชนิด พบว่าวัสดุทุกชนิดมีพฤติกรรมเก็บสะสมความร้อน และความสามารถในการหน่วงความร้อนสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนของวัสดุผสม โดยคอนกรีตผสมเยื่อหญ้าแฝกมีสมรรถนะดีที่สุด งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเลือกชนิดและสัดส่วนของวัสดุผสมมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะฉนวนความร้อน ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับที่งานวิจัยนี้นำไปใช้กับเม็ดโฟม

ระบบพื้นดาดฟ้าสองชั้น (Solar Slab) และ gap ความรู้

การลดความร้อนของพื้นดาดฟ้าด้วยระบบแผ่นปูสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศมีการศึกษาในหลายบริบท ชัยชาญ โชติถนอม และเจริญพร เลิศสถิตธนกร (2548) ทดลองระบบหลังคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบคอนกรีตในอาคารพาณิชย์ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิห้องได้ประมาณ 2 องศาเซลเซียส และประหยัดพลังงานได้ 191–266 kWh ต่อปี ในระดับนานาชาติ Chen et al. (2019) ยืนยันว่าระบบพื้นดาดฟ้าสองชั้น (Double-skin) ช่วยลดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ Lucero-Alvarez et al. (2011) แสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนบนดาดฟ้าประกอบด้วยทั้งการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนร่วมกัน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาที่รวมคุณสมบัติฉนวนจากวัสดุเหลือใช้ (โฟม) เข้ากับระบบพื้นยกสูงในรูปแบบแผ่นกระเบื้องสำเร็จรูปน้ำหนักเบา เพื่อพัฒนา Solar Slab ที่เหมาะกับบริบทของอาคารพาณิชย์ไทยและผลิตได้ในชุมชน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. ทบทวนวรรณกรรมศึกษาวิธีการต่าง ๆ ในการผลิตแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม รวมทั้งมาตรฐานทดสอบ
2. ศึกษาวิธีการนำโฟมมาผสมร่วมกับปูนซีเมนต์และทราย เพื่อผลิตกระเบื้องซีเมนต์ เพื่อคุณสมบัติความเป็นฉนวน ลดน้ำหนักของแผ่น
3. ออกแบบและเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
4. ทำการทดสอบแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ผสมโฟม
5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

เครื่องมือและวิธีวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ประกอบไปด้วย
2. เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger) ขนาด 20 ช่องสัญญาณ จำนวน 1 เครื่อง
3. สายสัญญาณและหัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermistor) สำหรับใช้ต่อเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิไปยังจุดที่ต้องการวัดค่าอุณหภูมิและส่งสัญญาณเข้าเครื่อง Data Logger ทำการแปลงสัญญาณผ่านโปรแกรม Gen 200 เพื่อประมวลผล
4. กล่องทดสอบทำจากโฟมโพลีสไตรีน ขนาด 0.90 เมตร x 0.90 เมตร x 0.90 เมตร กล่องหนา 0.15 เมตร

วัสดุทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตามมาตรฐานมอก. 15)
2. ทรายละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)
3. โฟมบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 3 (3-5 มิลลิเมตร)
4. น้ำสะอาด

อัตราส่วนผสมที่ทดสอบ

ผู้วิจัยกำหนดอัตราส่วนผสม โดยใช้ปริมาณเม็ดโฟมมากำหนดสัดส่วนผสมของมอร์ต้า โดยเริ่มจากอัตราส่วนที่มีปริมาณเม็ดโฟมน้อยไปจนถึงอัตราส่วนที่มีปริมาณโฟมมากจำนวน 3 อัตราส่วน โดยเริ่มจากใช้เม็ดโฟมร้อยละ 0.05 ร้อยละ 0.075 และร้อยละ 0.1 ตามลำดับ โดยใช้ปูนซีเมนต์ ต่อ ทราย เท่ากับ 1:1 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) เท่ากับ 0.4 เพื่อที่จะนำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมให้เข้ากัน รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตาราง 1 การออกแบบส่วนผสมวัสดุโดยน้ำหนัก

สัญลักษณ์ (ร้อยละ)	ส่วนผสม			
	ปูนซีเมนต์	ทราย	เม็ดโฟม	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)
OPC (1:1)	1	1	0	0.40
S1 (1:0.05)	1	1	0.05	0.40
S2 (1:0.075)	1	1	0.075	0.40
S3 (1:0.1)	1	1	0.1	0.40

หมายเหตุ - OPC : ตัวอย่างควบคุม

การทดสอบมวลรวมละเอียด

1. การบดย่อยโฟมทำได้โดยนำวัสดุโฟมที่เหลือใช้มาเข้าเครื่องบดย่อยเพื่อย่อยขนาดของโฟมให้เล็กลง
2. ขนาดมวลรวมละเอียด (โฟม) ในงานวิจัยนี้จะใช้โฟมขนาดตั้งแต่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3 เป็นต้นไป
3. ขนาดมวลรวมละเอียด (ทราย) ในงานวิจัยนี้จะใช้ทรายตั้งแต่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เป็นต้นไป โดยใช้ตะแกรงตาม

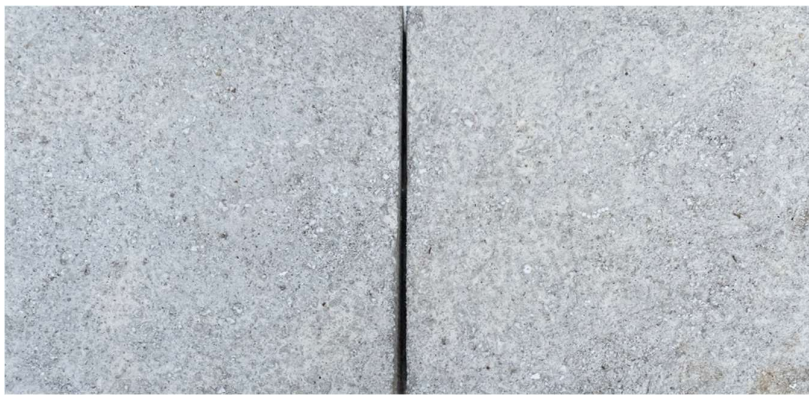
มาตรฐาน ASTM C 33

ผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมสำหรับทำแผ่นกระเบื้อง

ผลการผลิตแผ่นกระเบื้องทั้ง 4 ส่วนผสม คือ OPC, S1, S2 และ S3 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น มีดังนี้ 7.51, 4.79, 4.36 และ 4.01 ตามลำดับ (แต่ละส่วนผสมขึ้นรูปจำนวน 3 แผ่นเพื่อหาค่าเฉลี่ย) โดยแผ่นกระเบื้อง S2 และ S3 (รูปภาพที่ 3) มีสภาพผิวคอนกรีตและโฟมที่หลุดร่อนง่ายเมื่อขนย้ายเป็นผลจากปริมาณโฟมที่ผสมกับซีเมนต์มีปริมาณมาก จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการเป็นตัวอย่างทดสอบ ส่วนแผ่นกระเบื้อง S1 (รูปภาพที่ 2) สภาพของแผ่นอยู่ในสภาพที่ดี มีน้ำหนักที่เบากว่าแผ่น OPC ประมาณ 36% ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แผ่น S1 ในการทดลองวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติการกันความร้อนต่อไป



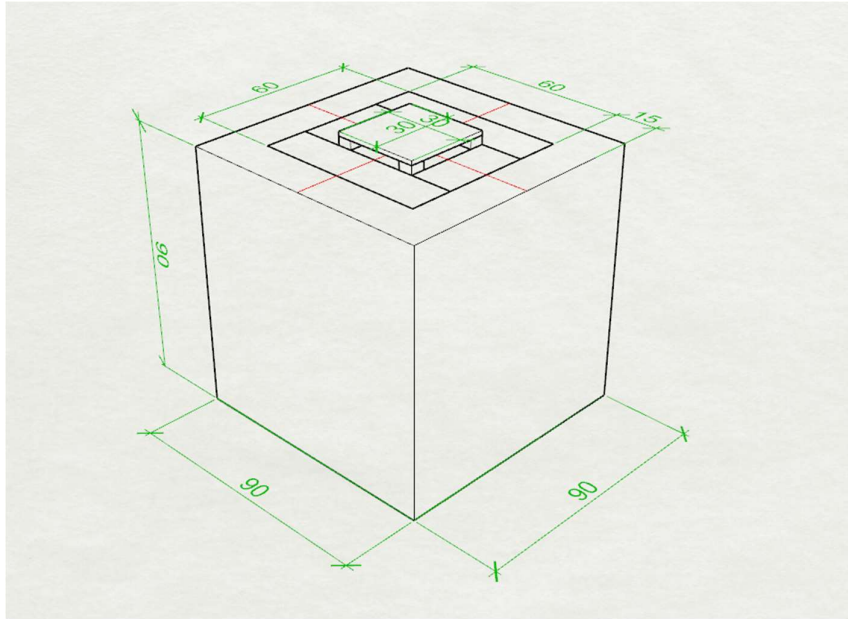
ภาพ 2 เปรียบเทียบแผ่นกระเบื้อง OPC (ด้านซ้าย) และ S1 ด้านขวา



ภาพ 3 เปรียบเทียบแผ่นกระเบื้อง S2 (ด้านซ้าย) และ S3 ด้านขวา

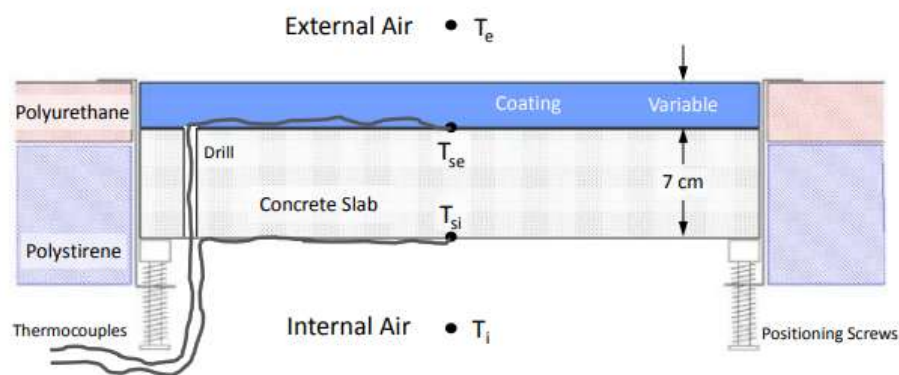
การออกแบบกล่องทดสอบ

การทดลองการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ใช้กล่องทดสอบด้านความร้อนมีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดี เพื่อลดผลกระทบจากปริมาณความร้อนที่เข้าสู่กล่องทดสอบ จึงเลือกใช้กล่องทดลองที่ทำจากโพรพิลีสไตรีนที่มี คุณสมบัติค่าการนำความร้อนต่ำ และป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน และยังทนต่อความชื้นและการซึม ผ่านของน้ำได้เป็นอย่างดี (สินีรัตน์, 2537) โดยกล่องทดลองนั้นมีขนาด 0.90 เมตร x 0.90 เมตร x 0.90 เมตร กล่องหนา 0.15 เมตร โดยมีพื้นที่บริเวณช่องเปิดด้านหน้าสำหรับการติดตั้งวัสดุทดสอบเท่ากับ 0.60 เมตร x 0.60 เมตร x 0.60 เมตร (อุทัย, 2543)



ภาพ 4 แสดงขนาดกล่องทดสอบ

อุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger) ถูกใช้สำหรับการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและการประมวลผลหลังการเก็บข้อมูล โดยมีการติดตั้งการ์ดมัลติเพล็กซ์ 34901A จำนวน 1 ตัว เพื่อเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิลชนิด T ที่มี 20 ช่อง นอกเหนือจากการวัดอุณหภูมิที่พื้นผิวภายนอก (T_{se}) และพื้นผิวภายใน (T_{si}) ของเซนเซอร์ (รูปภาพที่ 5) นอกจากนั้นมีการวัดและจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิของอากาศภายนอก (T_e) และอากาศภายใน (T_i) ของกล่องทดลองในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการเปรียบเทียบ ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิที่ปรากฏในกราฟว่า "Temp. Out Air" ซึ่งมีค่าสูงถึงประมาณ 60 องศาเซลเซียสนั้น มิใช่ อุณหภูมิอากาศโดยทั่วไปในบรรยากาศ แต่เป็นอุณหภูมิที่วัดบนผิวหน้าแผ่นกระเบื้องที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Surface Temperature) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกได้มากเนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับความร้อนของคอนกรีต ค่าดังกล่าวจึง สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ทราบกันดีของพื้นผิวคอนกรีตที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบเฉลี่ย 10 องศาเซลเซียส (อรรถนั เศรษฐบุตร, 2550)



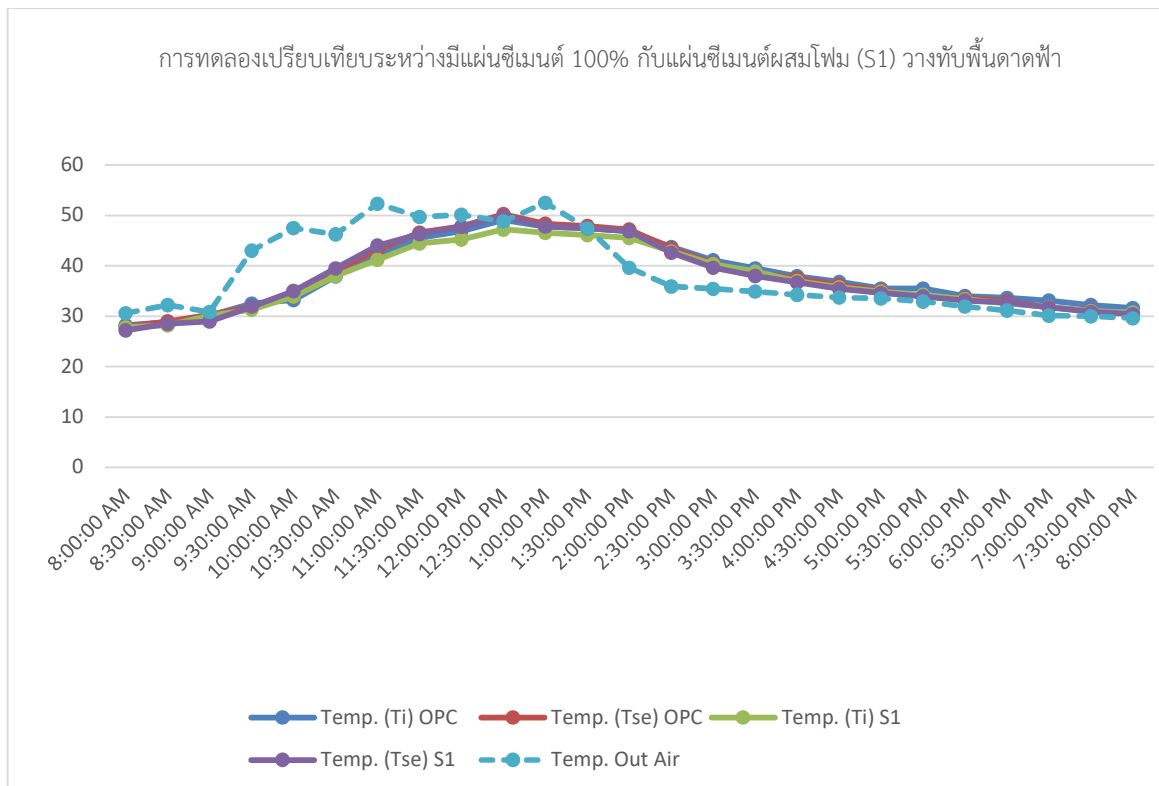
ภาพ 5 แสดงการติดตั้งตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

ผลการทดลอง

การทดลองเปรียบเทียบระหว่างพื้นลาดฟ้าแบบมีแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ 100% (OPC) กับ แผ่นซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ (S1) โดยทำการทดลองในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2567 ทั้งนี้มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ทั้งใต้แผ่นพื้นกระเบื้องคอนกรีต OPC ใต้แผ่นพื้นกระเบื้องซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ S1 ภายในกล่องพื้นกระเบื้องคอนกรีต OPC ภายในกล่องที่มีกระเบื้องซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ S1 วางด้านบน และอุณหภูมิอากาศ ตามรูปภาพที่ 6



ภาพ 6 แสดงการทดลองเปรียบเทียบระหว่างพื้นลาดฟ้าแบบมีแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ 100% (OPC) กับแผ่นซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ (S1)



ภาพ 7 กราฟแสดงการทดลองเปรียบเทียบระหว่างพื้นลาดฟ้าแบบมีแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ 100% (OPC) กับ แผ่นซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ (S1)

จากผลทดสอบตามภาพที่ 7 พบว่าการวางแผ่นกระเบื้องคอนกรีตผสมโฟม S1 มีส่วนช่วยลดอุณหภูมิของห้องได้คืดฟ้า ในช่วงระหว่างเวลา 8.00-14.00 น. ได้คืดฟ้ากระเบื้องคอนกรีต แบบซีเมนต์ 100% เล็กน้อย อย่างไรก็ตามหลังจากเวลา 14.00 น. เป็นต้นไปพบว่าค่าอุณหภูมิภายในห้องทั้งสองแบบไม่แตกต่างกัน รวมทั้งมีอัตราการคลายความร้อนช่วงหลังบ่ายสองที่ไม่แตกต่างกัน

ตาราง 2 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างแผ่น OPC และ S1 (ผลจากภาพที่ 7)

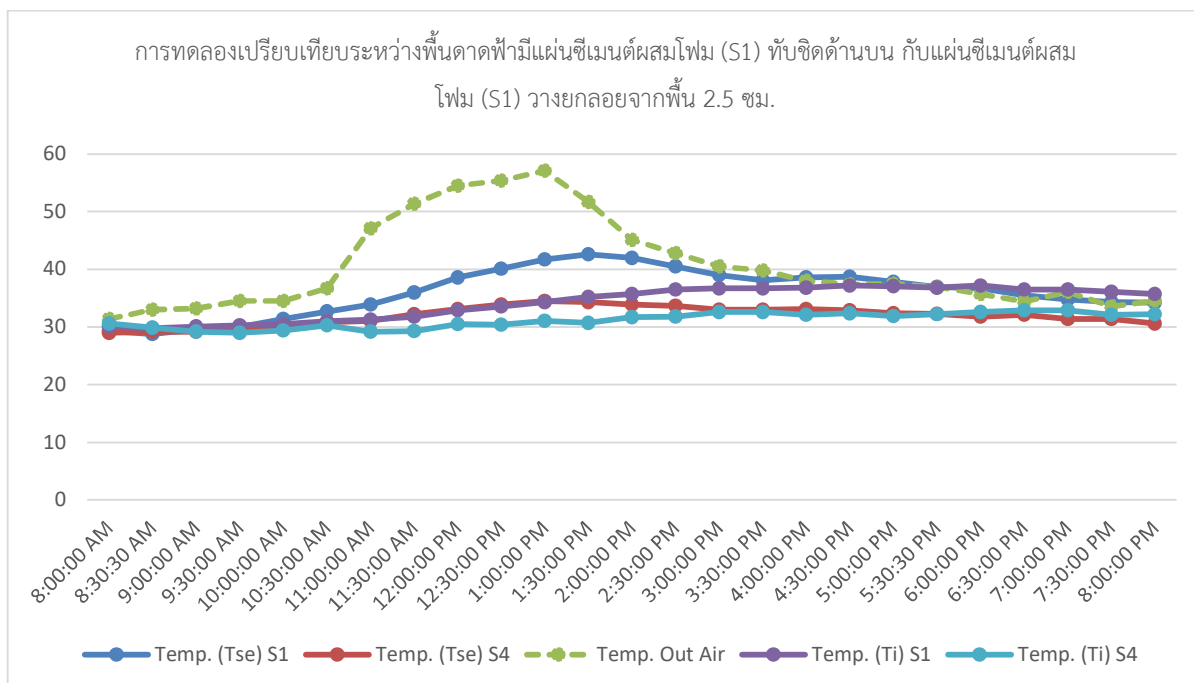
ตัวแปร	OPC (100%)	S1 (ผสมโฟม)	ความแตกต่าง
อุณหภูมิสูงสุดภายในห้อง (°C)	~43	~42	~1 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน 8.00-14.00 น. (°C)	~38-40	~36-39	ลดลงเล็กน้อย
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในหลัง 14.00 น. (°C)	ใกล้เคียงกัน	ใกล้เคียงกัน	ไม่แตกต่าง
น้ำหนักแผ่น (kg/แผ่น)	7.51	4.79	เบากว่า ~36%

การทดสอบแผ่นกระเบื้องแบบมีขายกสูง

การทดลองเปรียบเทียบระหว่างพื้นคืดฟ้าที่มีแผ่นซีเมนต์ผสมโฟม (S1) ทับคืดฟ้าด้านบน กับแผ่นซีเมนต์ผสมโฟม (S1) ซึ่งในกราฟจะใช้รหัส S4 หมายถึงกระเบื้อง S1 ที่คืดฟ้าแบบมีขายกสูงจากพื้น 2.5 ซม.วางยกคืดฟ้าจากพื้น 2.5 ซม. โดยมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิทั้งคืดฟ้าพื้นกระเบื้องคอนกรีตผสมโฟม S1 คืดฟ้าพื้นกระเบื้องซีเมนต์ผสมโฟม S1 แบบยกคืดฟ้า ภายในคืดฟ้าพื้นกระเบื้องคอนกรีตผสมโฟม S1 ภายในคืดฟ้าที่มีกระเบื้องซีเมนต์ผสมโฟม S1 แบบยกคืดฟ้า และอุณหภูมิอากาศ ตามรูปภาพที่ 8



ภาพ 8 แสดงการทดลองเปรียบเทียบระหว่างพื้นคืดฟ้าที่มีแผ่นซีเมนต์ผสมโฟม (S1) ทับคืดฟ้าด้านบน กับแผ่นซีเมนต์ผสมโฟม (S1) วางยกคืดฟ้าจากพื้น 2.5 ซม



ภาพ 9 กราฟแสดงการทดลองเปรียบเทียบระหว่างพื้นดาดฟ้ามีแผ่นซีเมนต์ผสมโฟม (S1) ทับชิดด้านบน กับแผ่นซีเมนต์ผสมโฟม (S1) วางยกลอยจากพื้น 2.5 ซม

จากผลทดสอบตามภาพที่ 9 พบว่าการวางแผ่นกระเบื้องคอนกรีตผสมโฟมแบบยกลอย 2.5 ซม. มีส่วนช่วยลดอุณหภูมิของห้องได้ดาดฟ้าได้ดีกว่ากระเบื้องคอนกรีตแบบซีเมนต์ผสมโฟม แบบวางชิดพื้นดาดฟ้า แบบมีนัยสำคัญ โดยมีอุณหภูมิตลอดทั้งวันภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 32 องศาเซลเซียส ในวันทดลองที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่ 42.6 องศาเซลเซียส สามารถลดอุณหภูมิใต้ห้องดาดฟ้าได้มากถึง 10 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองในวันที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 42.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะสุดขีด ดังนั้นจึงควรพิจารณาว่าผลการทดลองนี้แสดงสมรรถนะของกระเบื้องในสภาวะนั้นเป็นการเฉพาะ การศึกษาเพิ่มเติมที่ครอบคลุมช่วงเวลาหลายวันและสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายจะช่วยยืนยันสมรรถนะโดยรวมของวัสดุได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองในวันที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 42.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะสุดขีด ดังนั้นจึงควรพิจารณาว่าผลการทดลองนี้แสดงสมรรถนะของกระเบื้องในสภาวะนั้นเป็นการเฉพาะ การศึกษาเพิ่มเติมที่ครอบคลุมช่วงเวลาหลายวันและสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายจะช่วยยืนยันสมรรถนะโดยรวมของวัสดุได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตาราง 3 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่าง S1 วางชิดพื้นและ S4 ยกลอย 2.5 ซม. (ผลจากภาพที่ 9)

ตัวแปร	S1 วางชิดพื้น	S4 ยกลอย 2.5 ซม.	ความแตกต่าง
อุณหภูมิสูงสุดภายนอก (°C)	42.6	42.6	—
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตลอดวัน (°C)	~38-40	~32	ลด ~10 °C
อุณหภูมิสูงสุดภายในห้อง (°C)	~43	~35	ลด ~8 °C

สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยพบว่าแผ่นกระเบื้องคอนกรีตผสมโพลิเมอร์มีส่วนช่วยในการป้องกันความร้อนแผ่เข้ามาห้องใต้หลังคาแดดฟ้าที่เป็นพื้นคอนกรีตได้เป็นอย่างดี โดยสามารถรักษาอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาที่ ทั้งแบบวางแนบพื้นแดดฟ้าและยกลอย อย่างไรก็ตาม แผ่นกระเบื้องแบบ S4 (กระเบื้อง S1 แบบมีชายกลอยสูงจากพื้นแดดฟ้า 2.5 เซนติเมตร) สามารถลดอุณหภูมิใต้แดดฟ้าได้ดีกว่าแบบวางแนบพื้นอย่างมีนัยสำคัญ ในวันทดลองที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 42.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบอยู่ที่ 32 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การลดลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นผลรวมจากทั้งคุณสมบัติฉนวนของโพลิเมอร์ในเนื้อกระเบื้องและปัจจัยหลักอย่างช่องว่างอากาศ (air gap) 2.5 ซม. ที่ช่วยระบายความร้อนด้วยการพาความร้อน ซึ่งควรได้รับการศึกษาแยกประเด็นในงานวิจัยต่อไป ทั้งนี้การวิจัยพบว่าแผ่นกระเบื้องคอนกรีตผสมโพลิเมอร์ ควรใช้อัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทราย : โพลิเมอร์ เท่ากับ 1 : 1 : 0.05 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่แข็งแรง ไม่เปราะง่าย และควรเป็นแผ่นกระเบื้องแบบลักษณะมีขา เพื่อมีช่องว่างให้อากาศไหลผ่าน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป คือ การลดขนาดของแผ่นกระเบื้อง ให้มีขนาดที่เล็กลง ส่งผลให้มีน้ำหนักเบา ทำให้ติดตั้งง่ายและสะดวกสำหรับการขนส่ง สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนได้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2532). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น. มอก. 378-2531. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 106 ตอนที่ 18, 1-14.
- กรุงเทพธุรกิจ. (2566). **โลกร้อนทุบสถิติ ดันตลาดเครื่องปรับอากาศปี 66 โตแรง**. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2566 จาก <https://th.tradingview.com/news/bangkokbiznews:c42d1967cfa6a:0/>
- กิตติชาติ เฝ่าพงษ์ไพบูลย์, กรรณก บัญเสริม, และปริญญ์ จินดาประเสริฐ. (2562). อิทธิพลของอัตราส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและค่าการนำความร้อนของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโพลิเมอร์เหลือทิ้ง. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 30 (4), 121-132.
- ชัยชาญ โชติถนอม และเจริญพร เลิศสถิตธนกร. (2548). การลดภาระความเย็นของอาคารพาณิชย์ที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบคอนกรีตเป็นพื้นแดดฟ้าหรือหลังคา. **วิศวกรรมสาร มช.**, 32 (4), 563-576.
- ตระการ ก้าวสิกรรม. (2537). **คู่มือฉนวนความร้อน**. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- ทีมข่าว TCJ. (2561). **คนไทยติดเครื่องปรับอากาศพุ่งใช้ไฟเพิ่มขึ้นเท่ากับโรงไฟฟ้า 2 แห่ง**. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2566 จาก <https://www.tcjthai.com/news/2018/>
- พันธ์ศักดิ์ ภักดี และ จิตินันท์ รัตนพรหม. (2561). การทดสอบการถ่ายเทความร้อนของแผ่นวัสดุที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยมีปูนซีเมนต์เป็นตัวประสาน. **วารสารวิจัยและสถาปัตยกรรม/การผังเมือง**, 15 (1), 135-145.
- วรรณิ วงศ์พานิช. (2546). **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐาน การงานอาชีพและเทคโนโลยี งานประดิษฐ์**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- สุรศักดิ์ นุ่นมีศรี. (2551). **การใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยโดยการแปรสภาพเป็นวัสดุฉนวนในงานเซรามิก**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- อรรัตน์ เศรษฐบุตร. (2550). การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาว์นเฮาส์. **JARS**, 5 (1), 29-51.

เอกสิทธิ์ เทียนมาศ. (2562). การศึกษาสมบัติของแผ่นคอนกรีตปูพื้นทางเท้าผสมผงหินอ่อน. **สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)**, 6 (1), 73-82.

เอสซีจี. (2561). **กระเบื้องปูพื้น เอสซีจี**. สืบค้นเมื่อ 6 เมษายน พ.ศ.2566 จาก <https://www.scgbuildingmaterials.com/th/Download/Catalog/กระเบื้องปูพื้น-เอสซีจี /scg-paving-tile-catalog.aspx>.

Chen, X., Wang, L., Liu, Z., Qin, Y., & Bao, T. (2019). Lowering Emissivity of Concrete Roof Tile's Underside Cuts Down Heat Entry to the Building. **Advances in Materials Science and Engineering**, (1), 1-8.

Jayanetra, K. (1998). **Natural Ventilation in the Thai Shop-house: A Study of the Effect of Building Physical Parameters on the Ventilation of Shop-houses in Bangkok**. (Master of Science Built Environment. Environmental Design and Engineering). London: University of London.

Lucero-Álvarez, J., Martin-Dominguez, I. R., Rubin-Zacarias, F., Ledezma-Gallegos, A., & Alarcón-Herrera, M. T. (2011). Experimental comparison of heat flow through concrete roofing flagstones with different coatings, 30th ISES Biennial Solar World Congress 2011, SWC (592-603). Kassel, Alemania.