

ผลของผงหินอ่อนผสมคอนกรีตต่อสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อน  
สำหรับใช้เป็นคอนกรีตมุงหลังคา

Effect of Marble Powder Mixed with Concrete on Mechanical Properties  
for Use as Concrete Roof Tiles

นิรัช แซ่ย่าง, นงลักษณ์ จันทร์พิชัย\*

Nirat Saeyang, Nongluk Chanpichai\*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

\*Corresponding author E-mail: nongluk\_j@kpru.ac.th

(Received: February 6, 2024; Revised: June 6, 2024; Accepted: June 11, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อนในอัตราส่วนต่าง ๆ ผลิตได้โดยขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องด้วยคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1: ททราย : น้ำ : น้ำยากันซึม : สารเร่งการก่อตัวแคลเซียมคลอไรด์ โดยมีอัตราส่วนร้อยละเท่ากับ 21.73 : 59.78 : 16.30 : 1.53 : 0.66 และเติมผงหินอ่อนในอัตราส่วนโดยมวลคอนกรีต : ผงหินอ่อน โดยมีอัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 1:0, 0.9:0.1, 0.8:0.2, 0.7:0.3 , 0.6:0.4 และ 0.5:0.5 ขึ้นรูปโดยแบบหล่อขนาด 33 x 42 x 1 เซนติเมตร พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของผงหินอ่อน สำหรับผสมในแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต คืออัตราส่วน 0.9:0.1 มีการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.535-2556 และผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดโดยมีค่าแรงกดตามขวางเท่ากับ 1,117.78 นิวตัน มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 9.68 และค่าสภาพนำความร้อนเท่ากับ 0.02 W/m.K เป็นไปตามมาตรฐานแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุมุงหลังคาได้

**คำสำคัญ:** กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต ผงหินอ่อน มาตรฐานอุตสาหกรรม 535-2556

Abstract

This research aims to study the physical properties of concrete roof tiles mixed with marble powder in various ratios, produced by molding the tiles with concrete containing a mixture of Portland cement type 1, sand, water, waterproofing solution and a substance that accelerates the formation of calcium chloride. with a percentage ratio of 21.73 : 59.78 : 16.30 : 1.53 : 0.66 and marble powder added in the ratio by mass of concrete and marble powder with a ratio by mass of 1:0, 0.9:0.1, 0.8:0.2, 0.7:0.3, 0.6:0.4 and 0.5:0.5 formed by mold size 33 x 42 x 1 centimeter. It was found that the appropriate amount of marble powder For mixing in concrete roof tiles, the ratio is 0.9:0.1. Tests have been carried out according to industrial standards, TIS 535-2013, and the test results following the requirements, with a transverse pressure value of 1,117.78 newtons, with a % of water absorption value was 9.68 each and the thermal conductivity is 0.02 W/m.K, under the standard for concrete roof tiles. The roof tiles from this research can be used as roofing material.

**Keywords:** Concrete Roof Tiles, Marble Powder, TIS.535-2013

## บทนำ

ปัจจุบันกระเบื้องมุงหลังคาบ้านเรือนมีหลายรูปแบบ แบ่งตามลักษณะและเนื้อวัสดุ เช่น กระเบื้องลูกฟูก กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องดินเผา และกระเบื้องสังกะสี เป็นต้น แต่กระเบื้องหลังคาที่นิยมที่สุด คือ กระเบื้องคอนกรีต เนื่องจากกระเบื้องชนิดนี้มีสีสนที่สวยงาม คงทน เก็บเสียงได้ดี และสามารถติดตั้งได้ง่าย โดยกระเบื้องมุงหลังคาแต่ละชนิดแตกต่างกันไปแต่ปัญหาที่พบเจอจากกระเบื้องมุงหลังคาบ้านเรือน คือ ความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ค่อนข้างมากและมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ไม่ดีพอ จึงทำให้กระเบื้องเหล่านี้จำเป็นต้องติดตั้งแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนไปด้วย ดังนั้น การติดตั้งแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นไปอีก และเสียระยะเวลาในการก่อสร้างที่ยาวนานขึ้น [1]

ประกอบกับปัญหาผิงหินอ่อนในจังหวัดกำแพงเพชร เนื่องจากอำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร เป็นแหล่งที่พบหินอ่อนมากและมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์หินอ่อนที่เขาสว่างอารมณ์ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร ทำให้พบกากเหลือทิ้งจำนวนมาก โดยผิงหินอ่อนมีลักษณะเป็นผิงสีขาว มีทั้งแบบเนื้อละเอียดและแบบเกร็ดหินอ่อน [2] เกิดจากการตัดหินอ่อนเป็นแผ่นและขัดหินให้เรียบ ในแต่ละเดือนจะมีผิงหินอ่อนเพิ่มปริมาณมากขึ้น ผิงหินอ่อนสามารถฟุ้งกระจายตัวไปในอากาศได้ ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทั่วบริเวณรอบข้าง ดังนั้นการพัฒนาแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาจากผิงหินอ่อนจะได้แผ่นกระเบื้องมุงหลังคาที่นำความร้อนต่ำ และอาจไม่ต้องติดตั้งแผ่นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากหินอ่อนในจังหวัดกำแพงเพชร ชนิดหินอ่อนสีชมพู และชนิดหินสีเทามีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน  $0.428 \text{ W/m.K}$  และ  $0.418 \text{ W/m.K}$  ตามลำดับ [3] ถือเป็นวัสดุนำความร้อนต่ำ

จากเหตุผลข้างต้นงานวิจัยนี้จะนำผิงหินอ่อนมาผลิตผสมกับปูนซีเมนต์ทำเป็นแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาบ้าน เพื่อศึกษาทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องตามมาตรฐาน มอก. 535-2556 เพื่อนำไปสู่การทำกระเบื้องคอนกรีตผสมผิงหินอ่อนที่สามารถใช้งานได้จริงและประสิทธิภาพตามมาตรฐาน

## วิธีการดำเนินการวิจัย

### ตอนที่ 1 การผลิตแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผิงหินอ่อน

#### 1) การเตรียมส่วนผสม

ผสมส่วนประกอบของคอนกรีตประกอบด้วยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 : ทราย : น้ำ : นํ้ายากันซึม : สารเร่งการก่อตัวแคลเซียมคลอไรด์ อัตราส่วนร้อยละเท่ากับ  $21.73 : 59.78 : 16.30 : 1.53 : 0.66$  เป็นอัตราส่วนคงที่ นำมาขึ้นรูปที่กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผิงหินอ่อน ด้วยมีอัตราส่วนระหว่างคอนกรีต : ผิงหินอ่อน ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนระหว่างคอนกรีต : ผิงหินอ่อน ที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้อง

อัตราส่วนที่	คอนกรีต (kg)	ผิงหินอ่อน (kg)
1	1	0
2	0.9	0.1
3	0.8	0.2
4	0.7	0.3
5	0.6	0.4
6	0.5	0.5

## 2) การผลิตต้นแบบแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

(1) เตรียมแบบหล่อกระเบื้องมุงหลังคาขนาด  $33 \times 42 \times 1$  เซนติเมตร ใช้พลาสติกห่อแบบหล่อเพื่อที่จะทำให้แกะแบบหล่อได้ง่ายขึ้นและไม่ทำให้ส่วนผสมของกระเบื้องคอนกรีตติดแบบ

(2) นำส่วนผสม ทราย : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ผงหินอ่อน : ทราย : มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกับน้ำยากันซึมลงไปในส่วนผสม และเติมสารเร่งการก่อตัวแคลเซียมคลอไรด์ลงไปคลุกให้เข้ากันอีกครั้ง

(3) นำส่วนผสมที่ผสมที่ได้มาเทลงในแบบหล่อกระเบื้องมุงหลังคา ที่เตรียมไว้โดยใช้มืออัดจนส่วนผสมแน่นแล้วใช้ไม้ลอนปาดให้เรียบ

(4) นำตัวอย่างมาบ่มในอุณหภูมิห้องเพื่อให้กระเบื้องคงตัว นำแผ่นกระเบื้องออกจากแบบหล่อบ่มทิ้งไว้แห้งสนิทนาน 3 วัน ดังภาพที่ 1

(5) นำชิ้นงานที่แห้งสนิทแล้วมาทดสอบน้ำพลาสติกอะคริลิคคุณภาพสูงให้ทั่วแผ่นกระเบื้องด้านหน้า



ภาพที่ 1 แสดงการบ่มชิ้นงานตัวอย่างในอุณหภูมิห้อง

## ตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

### 1) การทดสอบสมบัติทางกายภาพของต้นแบบกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

ทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 535-2556 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา ประกอบด้วย [4]

1.1) ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 535-2556 ผิวของกระเบื้องจะเรียบหรือหยาบก็ได้ แต่ต้องไม่แตก ไม่ร้าว ไม่นูนไม่เว้า หรือมีตำหนิอื่น ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งาน

1.2) วัดขนาดมิติและความคลาดเคลื่อนของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 535-2556 กำหนด  $330 \times 420 \times 10$  มิลลิเมตร ต้องไม่เกิน  $\pm 2\%$  โดยวัดความกว้างและความยาวของแผ่นกระเบื้อง

1.3) ทดสอบส่วนเกาะระแนงและความได้ฉาก โดยตัดแผ่นไม้อัดขนาด  $12 \times 42$  cm,  $34 \times 42$  cm และ  $10 \times 32$  cm จำนวน 2, 1, 1 แผ่น ตามลำดับเพื่อประกอบเป็นแท่นทดสอบ [5]

(1) วางแท่นทดสอบบนพื้นที่อยู่ในระดับ

(2) แขนงกระเบื้องตัวอย่างบนแท่นทดสอบให้ส่วนเกาะระแนงแขนงอยู่บนขอบบนของแท่นทดสอบส่วนเกาะระแนง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงส่วนเกาะระแนงของแผ่นกระเบื้อง

(3) วัดระยะห่างตามแนวระดับระหว่างมุมบนกับมุมล่างของกระเบื้องกับด้านข้างของแท่นทดสอบเดียวกันเป็นมิลลิเมตร

1.4) ทดสอบความบิดเบี้ยวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

สร้างแท่นรองรับกระเบื้องโดยส่วนแท่นรองรับต้องทำมุม 45 องศา และมีส่วนระแนงไว้วางแผ่นกระเบื้อง

(1) วางแท่นรองรับในที่ติดตั้งและยึดแผ่นกระเบื้องแถวแรกใช้แผ่นกระเบื้องอ้างอิงจำนวน 4 แผ่น

(2) ยึดแถวที่สองโดยใช้แผ่นกระเบื้องทดสอบ 1 แผ่นวางไว้ตรงกลาง ดังภาพที่ 3 และวางแผ่นกระเบื้องอ้างอิง 2 แผ่นไว้ด้านข้างทั้งสอง จากนั้นยึดแถวที่สามด้วยแผ่นกระเบื้องอ้างอิงจำนวน 4 แผ่น

(3) วัดระยะห่างสูงสุดในแนวตั้งฉากระหว่างผิวแผ่นกระเบื้องที่ใช้ทดสอบกับผิวกระเบื้องอ้างอิงที่ซ้อนกันส่วนบนและส่วนล่าง และระยะห่างสูงสุดในแนวระดับระหว่างขอบกระเบื้องที่ใช้ทดสอบกับแผ่นกระเบื้องอ้างอิงที่ชนกันด้านข้างทั้งสองด้านเป็นมิลลิเมตร

(4) ทำซ้ำ ข้อ 1 - 3 กับแผ่นกระเบื้องทดสอบอีก 6 แผ่น



ภาพที่ 3 แสดงความบิดเบี้ยวของกระเบื้อง

1.5) ทดสอบแรงกดแตกตามขวางของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

(1) นำแผ่นกระเบื้องตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เมื่อครบแล้วนำออกมาทดสอบกระเบื้องในภาวะอิมิตัวทันที

(2) ใช้ไม้ระแนงที่เป็นชิ้นตรงและมีผิวหน้าเรียบ 2 ชิ้นแต่ละชิ้นกว้าง 50 mm หนาไม่น้อยกว่า 25 mm วางหนุนไว้ให้แผ่นกระเบื้องให้ชิดกับส่วนเกาะระแนงของแผ่นกระเบื้องและให้แผ่นกระเบื้องวางอยู่ในลักษณะที่มุงหลังคาในแนวราบ ปลายของแผ่นกระเบื้องจะต้องวางให้อยู่ตรงแนวกึ่งกลางของไม้ระแนงขนาดเดียวกัน แล้วจึงใช้มวลกดเป็นแนวตลอดความกว้างของแผ่นกระเบื้อง โดยมีไม้ระแนงและแท่นกดโค้งตามรูป ลอนความกว้าง 50 mm รองรับแรงกดที่กึ่งกลาง ให้ขนานกับไม้ระแนงที่รองรับแผ่นกระเบื้องตาม ผิวหน้าของไม้ระแนงที่สัมผัสกับแผ่นกระเบื้อง ใช้แรงกดด้วยอัตราสม่ำเสมอไม่เกิน 100 N/s จนกระทั่งแผ่นกระเบื้องแตก ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบแรงกดตามขวาง

1.6) ทดสอบการดูดซึมน้ำ

(1) ใช้ชิ้นทดสอบจากกระเบื้อง 6 แผ่นที่ทดสอบแรงกดตามขวางแผ่นละ 1 ชิ้น โดยตัดให้ขนาดเท่ากัน แล้วนำมาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่ยังอิมิตัวของน้ำแต่ละชิ้น จากนั้นบันทึกไว้เป็นมวลอิมิตัว

(2) นำชิ้นทดสอบมาไว้ในอุณหภูมิห้องรอจนแห้งสนิทแล้ว นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง แล้วบันทึกเป็นมวลแห้ง

(3) คำนวณหาการดูดซึมน้ำ

$$A = \left[ \frac{m_2 - m_1}{m_1} \right] \times 100 \%$$

เมื่อ A คือ การดูดซึมน้ำ (%)

$m_1$  คือ น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)

$m_2$  คือ น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)

1.7) ทดสอบสภาพการซึมผ่านได้ของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

สร้างกรอบจากวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำขนาดเท่ากับกระเบื้อง ความสูงของกรอบตั้งหลุมผิวล่างของขอบกระเบื้องและสูงกว่าส่วนลึกสุดของผิวกระเบื้องด้านบนไม่น้อยกว่า 50 mm หรือสูงกว่าส่วนสูงสุดของตัว

กระเบื้องด้านบนไม่น้อยกว่า 12 mm และมีแท่นรองรับแผ่นกระเบื้อง นำกระเบื้องตัวอย่างแต่ละแผ่นใส่ในกรอบที่ทำจากวัสดุไม่ดูดซึมน้ำ

(1) นำแผ่นกระเบื้องที่ใส่กรอบแล้ว ใส่ น้ำ และควบคุม น้ำ ให้สูงกว่าส่วนลึกของแผ่นกระเบื้องด้านบน รอให้ครบ 2 ชั่วโมง

(2) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง แล้วให้ตรวจดูใต้ผิวกระเบื้องว่ามีร่องรอยการซึมหรือไม่

## 2) การทดสอบการส่งผ่านความร้อนของต้นแบบกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 535-2556 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา ครบทุกบททดสอบแล้วให้พิจารณาอัตราส่วนที่ดีที่สุดมาทดสอบทดสอบการใช้งานจริงและเปรียบเทียบกับวัตถุดิบกับแผ่นกระเบื้องที่ใช้อ้างอิง โดยผลิตแผ่นกระเบื้องที่ได้อัตราส่วนที่ดีที่สุดขึ้นอีก 6 แผ่นแล้วนำมาทดสอบทดสอบการใช้งานจริงและเปรียบเทียบกับวัตถุดิบ โดยวิธีการทดสอบมีดังนี้

(1) ติดตั้งแผ่นกระเบื้องอ้างอิงบนแท่นรองรับ

(2) ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน 1 อันไว้ด้านบนนอกของกระเบื้อง และอีก 1 อันไว้ด้านในของแผ่นกระเบื้องที่ติดตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ดังภาพที่ 5 อ่านค่าที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์ บันทึกผล

(3) นำแผ่นกระเบื้องทดสอบมาทำซ้ำ ข้อ 1-2 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวัตถุดิบ



ภาพที่ 5 แสดงการติดตั้งแผ่นกระเบื้องต้นแบบเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์

## ผลการวิจัย

### 1) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน

(1) ลักษณะทั่วไป ขนาดมิติและความคลาดเคลื่อน

ผลของการทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อนมาตรฐาน มอก. 2535-2556 เมื่อพิจารณาลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน โดยการสังเกต ทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่า ผิวของกระเบื้องทั้ง 6 อัตราส่วน มีผิวเรียบเนื้อสัมผัสมีความหยาบไม่แตก ไม่ร้าว ไม่มีตำหนิอื่น ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งาน เมื่อนำมาวัดขนาดมิติและความคลาดเคลื่อนซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 2535 - 2556 กำหนดขนาดกระเบื้อง 330x420x10 มิลลิเมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % โดยต้นแบบกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมหินอ่อน มีขนาดมิติและความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวัดขนาดมิติและความคลาดเคลื่อนของแผ่นกระเบื้อง

อัตราส่วนที่	ค่าจากการทดสอบขนาดมิติ	ความคลาดเคลื่อน (%)
มอก.2535-2556	กำหนด 330x420x10 mm	ต้องไม่เกิน $\pm 2$ %
1	เฉลี่ย 330x420.43x10.06 mm	$\pm 0.7$ %
2	เฉลี่ย 330x420x10.01 mm	$\pm 0.1$ %
3	เฉลี่ย 330x420.33x9.90 mm	$\pm 1.08$ %
4	เฉลี่ย 330x420.33x10.1 mm	$\pm 1.08$ %
5	เฉลี่ย 330x420.16x9.90 mm	$\pm 1.04$ %
6	เฉลี่ย 330x420x10.08 mm	$\pm 0.80$ %

แสดงผลของการทดสอบจากการกำหนดขนาดการใช้งานของแผ่นกระเบื้องอ้างอิง ตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 เท่ากับ 330x420x10 มิลลิเมตร ผลสรุปพบว่า ทุกอัตราส่วนของแผ่นกระเบื้องทดสอบมีขนาดและความคลาดเคลื่อน ผ่านตามตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา โดยมีการกำหนดขอบเขตดังนี้ ความกว้างและความยาวการใช้งานต้องไม่เกิน 2%

(2) ทดสอบส่วนเกาะระแนงและความได้ฉาก

ผลการทดสอบส่วนเกาะระแนงและความได้ฉาก ของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 พบว่าทุกอัตราส่วนผ่าน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต โดยส่วนเกาะระแนงและความได้ฉากของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน มีความแข็งแรง สามารถแขวนบนแท่นได้เป็นอย่างดี

(3) ทดสอบความบิดเบี้ยว

การทดสอบความบิดเบี้ยวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน มาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 โดยสร้างแท่นรองรับกระเบื้องโดยส่วนแท่นรองรับต้องทำมุม 45 องศา และมีส่วนระแนงไว้วางแผ่นกระเบื้อง โดยรายงานการทดสอบระยะห่างสูงสุดแนวตั้งฉากระหว่างผิวแผ่นกระเบื้องที่ใช้ทดสอบกับกระเบื้องอ้างอิงที่ซ้อนส่วนบนส่วนล่างและระยะห่างสูงสุดในแนวระดับระหว่างแผ่นกระเบื้องที่ใช้ทดสอบกับกระเบื้องอ้างอิงที่ชนกันทั้งสองด้าน สามารถสรุปได้ตารางที่ 3

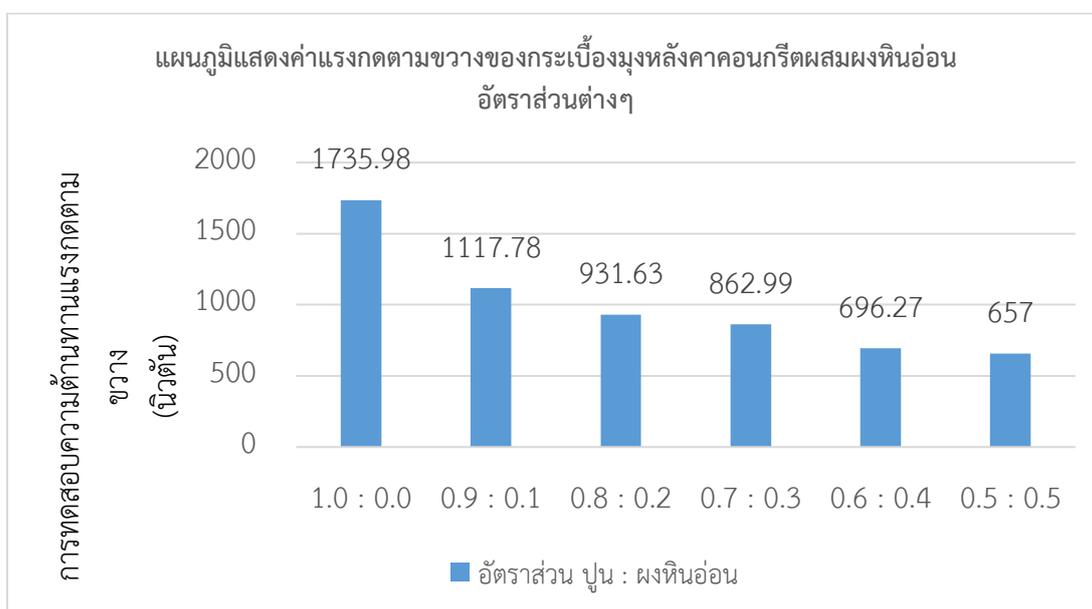
ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบความบิดเบี้ยวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคา

อัตราส่วนที่	ระยะห่าง (มิลลิเมตร)			
	ส่วนบน	ส่วนล่าง	ขอบซ้าย	ขอบขวา
1	1.6	3.0	2.0	3.0
2	2.0	5.0	3.0	3.5
3	1.5	5.0	2.0	3.0
4	2.3	4.6	2.6	3.0
5	3.0	4.0	2.0	3.5
6	2.0	4.3	2.7	3.0

จากตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความบิดเบี้ยวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 พบว่าทุกอัตราส่วนของแผ่นกระเบื้องทดสอบสามารถซ้อนทับแผ่นกับกระเบื้อง โดยยึดกับที่รองรับ มุมเอียง 45° และระยะห่างสูงสุดในแนวตั้งฉากระหว่างผิวแผ่นกระเบื้องที่ใช้ทดสอบกับกระเบื้องอ้างอิงที่ซ้อนส่วนบนส่วนล่าง และระยะห่างสูงสุดในแนวระดับระหว่างแผ่นกระเบื้องที่ใช้ทดสอบกับกระเบื้องอ้างอิงที่ชนกันทั้งสองด้าน พบว่าระยะห่างในแนวตั้งฉากสูงสุดส่วนบน และส่วนล่างเท่ากับ 3.0, 5.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ และระยะห่างขอบสูงสุดขอบของแผ่นกระเบื้อง ด้านซ้ายเท่ากับ และด้านขวาเท่ากับ 3.0, 3.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

(4) ทดสอบแรงกดแตกตามขวาง

การทดสอบแรงกดแตกตามขวางของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 โดยใช้ไม้ระแนงที่เป็นชิ้นตรงและมีผิวหน้าเรียบ 2 ชั้นแต่ละชั้นกว้าง 50 mm หนาไม่น้อยกว่า 25 mm วางหนุนไว้ให้แผ่นกระเบื้องให้ชิดกับส่วนเกาะระแนงของแผ่นกระเบื้องและให้แผ่นกระเบื้องวางอยู่ในลักษณะที่มุงหลังคาในแนวราบ ปลายของแผ่นกระเบื้องจะต้องวางให้อยู่ตรงแนวกึ่งกลางของไม้ระแนงขนาดเดียวกัน แล้วจึงใช้มวลกดเป็นแนวตลอดความกว้างของแผ่นกระเบื้อง โดยมีไม้ระแนงและแท่นกดโค้งตามรูปลดความกว้าง 50 mm รองรับแรงกดที่กึ่งกลาง ให้ขนานกับไม้ระแนงที่รองรับแผ่นกระเบื้องตาม ผิวหน้าของไม้ระแนงที่สัมผัสกับแผ่นกระเบื้อง ใช้แรงกดด้วยอัตราสม่ำเสมอไม่เกิน 100 N / s จนกระทั่งแผ่นกระเบื้องแตก สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 6 ดังนี้

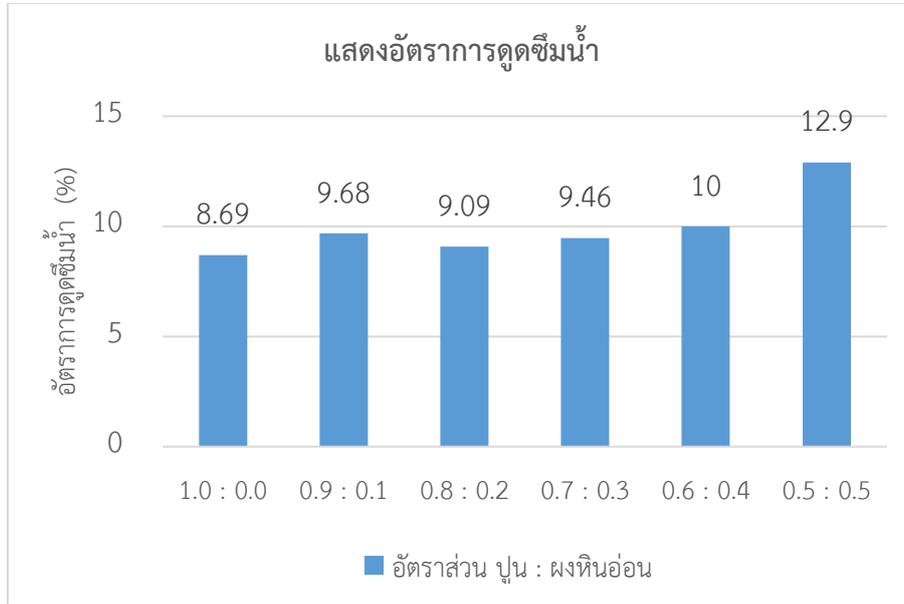


ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงค่าแรงกดตามขวางของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน อัตราส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 6 จากการทดสอบแรงกดแตกตามขวางของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน พบว่า ค่าแรงกดตามขวางของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ลดลงตามส่วนผสมผงหินอ่อน โดยแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อนในอัตราส่วน 1 : 0 มีค่าแรงอัดที่สูงที่สุดและแรงกดตามขวางลดลงในอัตราส่วน 0.9 : 0.1, 0.8 : 0.2, 0.7 : 0.3, 0.6 : 0.4, และ 0.5 : 0.5 ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงกดตามขวางของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาต่ำสุด ตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 คือ 997.5 นิวตัน โดยมีอัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 คือ อัตราส่วน 1:0 และอัตราส่วน 0.9:0.1

(5) ทดสอบการดูดซึมน้ำและสภาพการซึมผ่านได้ของแผ่นกระเบื้อง

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน มาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 โดยมีขนาด 5 x 5 x 1 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเปียกหรืออมน้ำ หาค่าอัตราการดูดซึมน้ำได้แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อนอัตราส่วนต่าง ๆ

ผลการทดสอบสภาพการซึมผ่านได้ของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ตามมาตรฐาน มอก. 2535 – 2556 การทดสอบความไม่รั่วซึมน้ำ โดยกักน้ำไว้เหนือผิวกระเบื้อง สูงไม่น้อยกว่า 50 mm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าไม่ปรากฏหยดน้ำใต้ผิวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาในทุกอัตราส่วน ยกเว้นอัตราส่วนที่ 6 พบว่ามีรอยน้ำรั่วใต้ขอบของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน ทั้งนี้อาจเป็นเนื่องจากการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคภายในแผ่นกระเบื้องที่มีซีเมนต์เป็นตัวประสานมีปริมาณน้อย ทำให้เกิดช่องว่างที่ทำให้น้ำซึมผ่านได้

2) ทดสอบสภาพนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน โดยวิธีการในห้องปฏิบัติการโดยใช้แผ่นกระเบื้องที่ทดสอบแรงกดตามขวางแล้ว นำมาตัดให้มีขนาด ความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร นำกล่องกล่องไม้อัด ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร ติดด้วยแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อนขนาด 10 x 10 x 1 เซนติเมตร โดยติดแผ่นกระเบื้องด้านที่เจาะรูของกล่องที่ใช้ทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อน ติดตั้งหลอดไฟขนาด 9 watt ในการให้ความร้อน ในกล่องทดสอบ เปิดไฟทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าความร้อนที่อยู่ภายในกล่องและภายนอกกล่องด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์ โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง จากนั้นบันทึกผลที่วัดได้ พบว่า การผสมผงหินอ่อนลงในส่วนผสมมีผลต่อค่าสภาพนำความร้อน โดยอัตราส่วนที่มีสภาพนำความร้อนที่ต่างกันเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ไหลเข้าชั้นทดสอบ และอัตราส่วนที่มีค่าสภาพนำความร้อนที่ต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 3

มีค่าเท่ากับ  $11 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$  และค่าสภาพนำความร้อนที่แสดงถึงความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน คือ  $42 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ผลการทดสอบการใช้งานจริงและเปรียบเทียบอุณหภูมิ โดยพิจารณาแผ่นกระเบื้องทดสอบที่ดีที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับแผ่นกระเบื้องอ้างอิง จากผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ที่ผ่านมาพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของผงหินอ่อนสำหรับการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตคือ อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ 0.9 ต่อ ผงหินอ่อน 0.1 โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** แสดงผลการทดสอบการใช้งานจริงและเปรียบเทียบอุณหภูมิ

แผ่นทดสอบ	อุณหภูมิที่วัดได้ ( °C )	
	ด้านบน	ด้านล่าง
แผ่นกระเบื้องอ้างอิง	45	38
แผ่นกระเบื้องทดสอบ	45	40

จากตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบการใช้งานจริงและเปรียบเทียบอุณหภูมิโดยพิจารณาแผ่นกระเบื้องทดสอบที่ดีที่สุดมาทดสอบและเปรียบเทียบกับแผ่นกระเบื้องอ้างอิง ผลที่ได้พบว่า แผ่นกระเบื้องทดสอบมีอุณหภูมิที่สูงกว่าแผ่นกระเบื้องอ้างอิง อยู่  $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ 0.9 ต่อ ผงหินอ่อน 0.1 มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าแผ่นกระเบื้องอ้างอิง อาจเป็นเพราะว่าวิธีการขึ้นรูปของแผ่นกระเบื้องทดสอบโดยการหล่อและอัดด้วยมือ ดังนั้นอาจจะเป็นเหตุผลที่แผ่นกระเบื้องทดสอบ มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าแผ่นกระเบื้องอ้างอิง

### สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์

อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน คือ อัตราส่วนของคอนกรีต : ผงหินอ่อน เท่ากับ 0.9 : 0.1 โดยมวล เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงความร้อนและสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน พบว่า แผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อน มีค่าสภาพนำความร้อน คือ  $22 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$  โดยค่าสภาพนำความร้อนที่แสดงถึงความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน คือ  $42 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$  และลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตผสมผงหินอ่อนมีค่าผ่านตามาตรฐานผิวของกระเบื้องจะเรียบเนื้อสัมผัสหยาบ ไม่แตก ไม่ร้าว ไม่มีตำหนิอื่น ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งาน มีค่าการวัดขนาดมิติและความคลาดเคลื่อนเป็นไปตามข้อกำหนด มีค่า  $330 \times 420 \times 10.01$  มิลลิเมตร มีค่าส่วนเการะแนงและความได้ฉาก คือ 1.87 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าแรงกดแตกตามขวาง เท่ากับ 1117.78 นิวตัน โดยแรงกดต่ำสุดตามมาตรฐาน คือ 997.5 นิวตัน อัตราการดูดซึมน้ำ มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.68 ค่าสภาพการซึมผ่านได้มีเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน คือ ไม่ปรากฏหยดน้ำได้ผิวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคา และเมื่อทดสอบมุงหลังคาเพื่อใช้งานจริง โดยแผ่นกระเบื้องอ้างอิงมีอุณหภูมิ  $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และแผ่นกระเบื้องทดสอบมีอุณหภูมิ  $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นกระเบื้องทดสอบมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าแผ่นกระเบื้องอ้างอิง อาจเนื่องจากแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาที่ได้จากวิจัยนี้ ขึ้นรูปโดย

การหล่อและอัดด้วยมือจึงทำให้แผ่นกระเบื้องมุงหลังจากวิจัยนี้มีความหนาแน่นและความสม่ำเสมอน้อยกว่าแผ่นกระเบื้องอ้างอิง

จากผลการวิจัยของกิตติพันธ์ บุญโตสิทธะกุล [1] ที่มีค่าสภาพการนำความร้อน ค่าแรงกดแตกตามขวาง และค่าการดูดซึมน้ำ คือ  $0.117 \times 10^{-3}$  W/m.K, 1250 N และร้อยละ 9.0 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้มีค่าสภาพการนำความร้อน ค่าแรงกดแตกตามขวาง และค่าการดูดซึมน้ำ คือ  $22 \times 10^{-3}$  W/m.K, 117.78 N และร้อยละ 9.68 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแผ่นกระเบื้องจากงานวิจัยครั้งนี้มีค่าสภาพการนำความร้อนมากกว่ามีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ต่ำกว่ากระเบื้องคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำยาพารา ค่าแรงกดแตกตามขวางน้อยกว่า และค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน เนื่องจากแผ่นกระเบื้องจากผู้วิจัยขึ้นรูปด้วยการหล่อและอัดด้วยมือและมีส่วนผสมของผงหินอ่อนที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าหรือมีความเปราะกว่าน้ำยาพาราทำให้ค่าแรงกดแตกตามขวางของผู้วิจัยมีค่าน้อยกว่าน้อยกว่า และน้ำยาพารามีการนำความร้อนต่ำกว่าผงหินอ่อน

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการสนับสนุนการทำทดสอบสมบัติทางกายภาพ ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และส่งเสริมการตีพิมพ์เผยแพร่ผลการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติพันธ์ บุญโตสิทธะกุล และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2660). การพัฒนาคุณสมบัติด้านฉนวนป้องกันความร้อนของกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตโดยใช้น้ำยาพารา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [2] พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง. (ม.ป.ป). ผงหินอ่อน. พิษณุโลก: สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [3] นงลักษณ์ จันทร์พิชัย. (2561). สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของหินอ่อนเขาสว่างอารมณ์ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร. *สัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 5(2), 55-63.
- [4] กองส่งเสริมและพัฒนาด้านการมาตรฐาน. (ม.ป.ป.). *มอก.535-2556 กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [5] ปราโมทย์ วีรานุกูล. (2557). *ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกแก้วปาล์มน้ำมันผสมน้ำยาธรรมชาติ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.