

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐมอญสำหรับงานก่อสร้างโดยใช้ ดินดานเกวียนที่มีวัสดุชีวมวลเป็นส่วนผสม

รับเมื่อ: 28 ธันวาคม 2567
แก้ไขเมื่อ: 31 ธันวาคม 2567
ตอบรับเมื่อ: 31 ธันวาคม 2567

ธงชัย โพธิ์ทอง¹, วีรวัฒน์ สมพฤษ¹, ภัทรพงศ์ ผ่องแผ้ว¹, ณัฐพล แซ่เฮ้ง¹ และ ประภัสสร ประเทืองไทย²*

¹ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

² สาขาวิชาสาขาออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: prapatsorn.p@archd.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตอิฐมอญจากการผลิตด้วยดินดานเกวียนที่มีส่วนผสมของเศษวัสดุชีวมวล ได้แก่ กากกาแฟ และชานอ้อย จากแนวความคิดการช่วยลดขยะจากภาคการเกษตร อันเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย โดยใช้ทฤษฎีไลน์เบลนด์ (Line Blend) การออกแบบอัตราส่วนผสมแบ่งเป็น 3 บัจจัย (บัจจัยที่ 1 ประกอบด้วยกากกาแฟ และดินดานเกวียน บัจจัยที่ 2 ประกอบด้วยชานอ้อย และดินดานเกวียน บัจจัยที่ 3 ประกอบด้วยกากกาแฟ ชานอ้อย และดินดานเกวียนแต่ละบัจจัยมีทั้งหมด 93 สูตร) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแห้งดินตัวอย่าง คือ 900 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส แห้งดินจะถูกทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพด้วยการหาร้อยละการหดตัวหลังเผา (firing shrinkage) ร้อยละการดูดซึมน้ำ (water absorption) และค่าต้านทานแรงอัด (compressive strength) ผลการทดลองพบว่า ในอัตราส่วนผสมของกากกาแฟที่ร้อยละ 2 กับดินดานเกวียนที่ร้อยละ 98 เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตอิฐมอญมากที่สุด เนื่องจากให้พบการหดตัวหลังเผาที่ร้อยละ 10 มีค่าความหนาแน่น 1481.29 ลูกบาศก์เมตร มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 16 และมีค่าต้านทานแรงอัด 4.30 เมกะพาสคัล ซึ่งสามารถนำไปเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตอิฐได้ตามมาตรฐาน มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) 601/2547 อิฐมอญ ผลงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตอิฐมอญส่วนใหญ่ของประเทศ และเพื่อความยั่งยืนของการผลิตวัสดุก่อสร้าง อีกทั้ง เป็นประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมจากการใช้เศษวัสดุที่มีอยู่จำนวนมากโดยนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะส่งผลคุ้มค่าในเชิงผลตอบแทนและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

คำสำคัญ: อิฐ, กากกาแฟ, ชานอ้อย, วัสดุชีวมวล, วัสดุก่อสร้าง

A Feasibility Study of Bricks Producing for Construction Based on Dan Kwian Soil Mixed Biomass Materials

Received: 28 December 2024

Revised: 31 December 2024

Accepted: 31 December 2024

Thongchai Phothong¹, Theeravat Somprouks¹, Pattarapong Pongpaew¹, Nattapon Saehang¹ and Prapatsorn Prathungthai^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Thailand

² Innovative Ceramic Product Design Program, Department of Industrial Art Technology, Faculty of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

E-mail: prapatsorn.p@archd.kmutnb.ac.th*

Abstract

This research aims to develop a process for producing clay bricks from Dan Kwian clay with a mixture of biomass waste including coffee and bagasse from the starting point of agricultural and food waste, which are the main industries of the country by the Line Blend theory. The mixing ratio design is divided into 3 factors (Factor 1: coffee grounds and Dan Kwian soil; Factor 2: tea, bagasse and Dan Kwian soil; Factor 3: coffee grounds, bagasse and high-performance Dan Kwian soil. There are 93 more formulas). The temperatures used to burn the clay samples were 900, 1,000, and 1,100 degrees Celsius. The clay bars are tested for mechanical and physical properties by determining the percentage of firing shrinkage, percentage of water absorption and compressive strength. The experimental results revealed that a mixture ratio of 2% coffee grounds and 98% Dan Kwian clay, fired at a temperature of 1,000 degrees Celsius is most suitable for brick production. This is due to its optimal properties, including a shrinkage rate after firing of 10%, a density of 1,481.29 kg/m³, a water absorption rate of 16%, and a compressive strength of 4.30 MPa. This mixture can be utilized in the brick production process in compliance with TIS 153-2565 standards for non-load-bearing hollow bricks and Community Product Standards (CPS) 601/2547 for clay bricks. The research findings can be applied to most clay brick production processes in the country, promoting sustainable construction material production. Additionally, it benefits the environment by recycling a large volume of waste materials, yielding cost-effective returns and efficient resource utilization.

Keywords: Bricks, Coffee grounds, Bagasse, biomass, construction materials

1. บทนำ

อิฐมอญจัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในงานก่อสร้างเป็นอย่างมาก สามารถผลิตได้ง่ายในทุกภูมิภาคของประเทศ ไทย แต่อิฐมอญที่ผลิตจากชุมชนต่าง ๆ อาจไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อการผลิต ทั้งในด้านการเผาไม่ถึงอุณหภูมิของเนื้อดิน หรือหลังการเผาพบการพูนตัวที่มากเกินไป เป็นการนำสูตรเนื้อดินที่ใช้สืบทอดกันมาในวงศ์ตระกูล ทำให้ไม่มีการพัฒนาเนื้อดิน ปัจจุบันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือในการลดต้นทุนในการผลิตอิฐประเภทต่าง ๆ มีการนำเอาเศษวัสดุชีวมวลจากภาคการเกษตรมาใช้เป็นตัวเติม เช่น แกลบข้าว (rice husk) ชานอ้อย (sugarcane bagasse) เป็นต้น

ปัญญา พลมีเดช [1] ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินเหนียวโดยใช้สารเติมแต่ง คือ แกลบข้าว ชีล้อย กากกาแฟ ชานอ้อยและเศษหญ้าแห้งมาเติมในส่วนผสมของการทำอิฐ สารเติมแต่งมีอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 องศาเซลเซียส พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารเติมแต่งทำให้อิฐมีรูพรุนเปิดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็งแรงลดลง อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียวที่เหมาะสมสำหรับอิฐมอญผสมแกลบข้าว อิฐมอญผสมชีล้อย และอิฐมอญผสมกากกาแฟ คือ อัตราส่วนผสม 5% และ 10% ส่วนอัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียวที่เหมาะสมสำหรับชานอ้อยและเศษหญ้าคือ อัตราส่วนผสม 5% โดยทั้งหมดให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำระหว่าง 17.25 – 23.56% ค่าการรับกำลังอัดระหว่าง 45.26 – 141.92 กิโลกรัม/ซม² ซึ่งตามมาตรฐานมอก.77 - 2545 ให้ค่าการดูดซึมน้ำได้สูงสุด 25% และค่าความแข็งแรงเพียง 35 กิโลกรัม/ซม² สุทัศน์ จันบัวลา และทีม [2] พบว่าชิ้นงานอิฐมอญมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการเติมแกลบลงไปร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ทำให้อิฐมีความสามารถในการรับน้ำหนัก 10.46 เมกะปาสกาล ความหนาแน่น 1.73 กรัม/ซม³ และดูดซึมน้ำร้อยละ 8.83 นอกจากนี้ สุทัศน์ จันบัวลา และทีม [3] ได้นำ

เก้าชานอ้อยมาปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา โดยการเติมเก้าชานอ้อยร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักลงในดิน และเผาที่อุณหภูมิ 700, 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การเติมเก้าชานอ้อยส่งผลให้ความพรุนตัว การดูดกลืนน้ำ ของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การหดตัวและการนำความร้อนลดลง โดยความพรุนตัวมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมเก้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เมื่อเติมเก้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การดูดกลืนน้ำ ที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา มอก. 2601 – 2556 โดยมีความหนาแน่น 1.2 กรัม/ซม³ ความต้านทานแรงอัด 9.42 เมกะปาสคัล การนำความร้อน 0.45 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และ การดูดกลืนน้ำร้อยละ 21.19 วัณพวงค์ จันทรพิเชษฐ์ [4] ได้พัฒนาคุณภาพอิฐมอญแบบไม่ต้องเผาด้วยฟางข้าว โดยผสมน้ำยางร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ดินลูกรังร้อยละ 6 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ น้ำร้อยละ 11.43 โดยน้ำหนัก และสารลดแรงตึงผิวร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ พบว่ากำลังอัดก้อนเดียวเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 17 เมกะปาสคัล ตามมาตรฐาน มอก.77-2545 ผ่านชั้นคุณภาพ ข, ก กำลังอัดปริซึมเฉลี่ยเท่ากับ 6.13 เมกะปาสคัล อัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 7.55 ตามมาตรฐานมอก.77-2545 ผ่านชั้นคุณภาพ ก, ข, ค ความหนาแน่นเฉลี่ยที่อายุ 28 วันเท่ากับ 1,866 กิโลกรัม/ม³ ค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.323 W/m².K และค่าต้านทานความร้อน เท่ากับ 0.127 m².K/W อติศักดิ์ ภาชา และคณะ [5] ได้ศึกษาการเติมเก้าชานอ้อย ชีล้อย และแกลบข้าวต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และค่าการนำความร้อนของอิฐ โดยนำส่วนผสมมาผสมกับดินเหนียวในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างของอิฐทั้งหมดเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าค่าการหดตัวหลังการเผาอยู่ระหว่าง 4 – 7 % ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 11 – 24 %

ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 20 - 40 % ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.3 - 1.9 กรัม/ซม³ ค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 2.8 - 24 เมกะพาสคัล วรณัฐ ตีละมัน และคณะ [6] ทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของอิฐบล็อกมวลเบาผสมเส้นใยกล้วย พบว่า การใช้เส้นใยกล้วยเป็นวัสดุผสมทดแทนปูนซีเมนต์และทราย ในอัตราส่วนร้อยละระหว่างทราย : ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ยิปซัม : ผงอลูมิเนียม : เส้นใยกล้วย เป็น 50 : 27.5 : 9 : 9 : 2 : 2.5 และป่นน้ำในเวลา 28 วัน ให้ค่าการต้านทานแรงอัดสูงสุด 1,376 กิโลกรัม/ม² ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐาน มอก.1505-2541 เอก ซ่อประดับ [7] ศึกษาผลของเกลบต่อคุณสมบัติของอิฐมอญ โดยมีอัตราส่วนของเกลบต่อดินเหนียวโดยน้ำหนักแห้งที่ร้อยละ 0, 3.4, 4.9 และ 7.8 เผาที่อุณหภูมิสูงสุด 800, 1000 และ 1200 องศาเซลเซียส พบว่า เกลบมีผลทำให้อิฐมีกำลังรับแรงอัดลดลงและลดลงในอัตราที่รวดเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของความพรุน ซึ่งทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนอิฐที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างมากที่สุดในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและการประหยัดเวลาและพลังงานในการผลิต คือ อิฐที่ผสมเกลบร้อยละ 2.2 เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าการรับแรงอัด 35 กิโลกรัม/ซม² และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 24 ซึ่งผ่านเกณฑ์ มอก. 153-2565 ก้องรัฐ นกแก้ว และคณะ [8] ทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญที่ผลิตจากโรงงาน 4 โรงในจังหวัด นครพนม มุกดาหาร และสกลนคร นำมาทดสอบคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 153-2540 และ มพช. 601/2547 เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิฐมอญ พบว่าค่าการหดตัวด้านความสูงของชิ้นงานไม่มีแหล่งใดผ่านเกณฑ์ ค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน 20% ผ่านเกณฑ์ทุกโรง และค่าการต้านทานแรงอัดไม่ผ่านเกณฑ์ 2 โรงงาน

สำหรับในประเทศไทยมีการปลูกอ้อยจำนวนมาก ในหนึ่งปีจะมีชานอ้อยที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลประมาณ 20 ล้านตัน ชานอ้อยประมาณร้อยละ 80 ถูกนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ผลิตเอ็กกระดาซ ใช้เป็นแผ่นอัดสำหรับวัสดุก่อสร้าง แต่ยังมีประมาณ

ร้อยละ 20 ที่ยังไม่ถูกนำไปใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐมอญสำหรับงานก่อสร้างโดยใช้ดินดานเกวียนที่มีวัสดุชีวมวลเป็นส่วนผสม โดยอ้างอิงมาตรฐานมอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อแผงไม่รับน้ำหนัก [9] และมาตรฐาน มพช. 601/2547 อิฐมอญ [10] จึงเป็นแนวทางในการช่วยลดขยะจากภาคเกษตรและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ กับกระบวนการผลิตอิฐมอญส่วนใหญ่ของประเทศ ทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมจากการใช้เศษวัสดุที่มีอยู่จำนวนมาก ซึ่งจะให้ผลคุ้มค่าในเชิงผลตอบแทนและการใช้ทรัพยากร

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

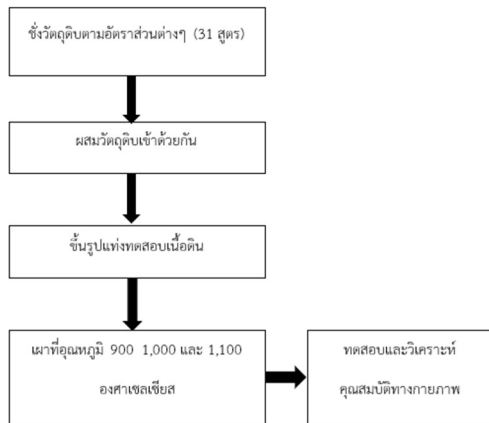
1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการผลิตอิฐมอญที่ประกอบด้วยเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร
2. เพื่อศึกษาผลจากการใช้กากกาแฟและชานอ้อยต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของเนื้อดินที่ใช้ผลิตอิฐมอญ
3. เพื่อลดต้นทุนดินที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญ

3. ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเนื้อดินการใช้กากกาแฟ และชานอ้อย ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญโดยใช้แหล่งดินเหนียวจากชุมชนการผลิตอิฐมอญบ้านด่านเกวียน
2. กากกาแฟใช้สายพันธุ์อาราบิก้าที่ปลูกในจังหวัดเชียงราย และชานอ้อยจากอ้อยที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ต่อดินเหนียวที่ผลิตอิฐมอญบ้านด่านเกวียน

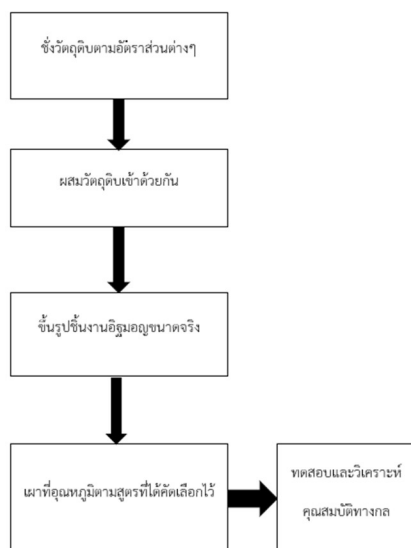
4. ขั้นตอนการศึกษาและการเตรียมชิ้นงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติของดินดานเกวียนในการทำอิฐมอญ
2. ทดลองหาอัตราส่วนผสมของการใช้กากกาแฟและชานอ้อยในปริมาณ 1-10% ต่อเนื้อดินดานเกวียนที่มีความสามารถในการขึ้นรูปอิฐมอญ



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยการทดสอบเนื้อดิน
ตัวอย่าง

- ทดสอบคุณสมบัติของอิฐมอญ ตามมาตรฐาน มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก และมาตรฐาน มผช. 601/2547 อิฐมอญ ได้แก่ ขนาดความคลาดเคลื่อนของขนาด ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นเชิงปริมาตร
- วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัยเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต และเปรียบเทียบผลการทดสอบ



รูปที่ 2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยการทดสอบชิ้นงานอิฐ
มอญขนาดจริง

ตารางที่ 1 ได้เลือกใช้ฐานอ้อยผสมกับดินดาน เกวียนในปริมาณ 1-10% และในตารางที่ 2 ได้เลือกใช้กากกาแฟผสมกับ ดินดานเกวียนในปริมาณ 1-10% เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ยังพอทำให้อิฐมอญสามารถรับกำลังอัดได้ตามค่าที่กำหนดของ มอก. 153-2565 และ มผช. 601/2547 ส่วนในตารางที่ 3 ได้ทำการเลือกใช้ฐานอ้อยและกากกาแฟ มาผสมรวมกันในปริมาณที่รวมกันแล้วไม่เกิน 10% เนื่องจากต้องการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมร่วมกัน ระหว่างฐานอ้อยและกากกาแฟในการทำอิฐมอญ ซึ่งจะพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพก่อน โดยการทำสอปกับแท่งดินตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางครึ่งนิ้ว และยาว 13 เซนติเมตร โดยใช้แท่งดินตัวอย่างจาก 31 สูตร โดยทำสูตรละ 3 แท่ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 93 แท่ง ซึ่งแท่งดินตัวอย่างจะทำการขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส ด้วยเตาไฟฟ้าจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดแล้วปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปหาคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การหดตัวและการดูดกลืนน้ำ โดยมีขั้นตอนในรูปที่ 1 แล้วทำการคัดเลือกผลลัพธ์ของส่วนผสมจากตัวอย่างแท่งดินที่ผ่านเกณฑ์ มอก. 153-2565 และ มผช. 601/2547 ไปใช้ในการขึ้นรูปอิฐมอญขนาด 60 x 60 x 60 มิลลิเมตร เพื่อนำไปเผาเพื่อเป็นชิ้นอิฐตัวอย่างในการทดสอบหาการหดตัว การดูดกลืนน้ำ ความหนาแน่น เชิงปริมาตรและการต้านแรงอัดต่อไป โดยอิฐมอญตัวอย่างจะใช้วิธีผลิตแบบชาวบ้านเป็นการอัดดินลงในแบบหลังการขึ้นรูปฝังให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างของอิฐไปเผาด้วยเตาแบบปิดตามอุณหภูมิของสูตรที่ได้คัดเลือกไว้ โดยเริ่มเผาที่อุณหภูมิห้องและทำการค่อยๆ ปรับอุณหภูมิขึ้น จนถึงอุณหภูมิตามสูตรแล้วทำการคงอุณหภูมิไว้ 15 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องตามลำดับ และนำไปทำการทดสอบ โดยแผนการดำเนินการเตรียมชิ้นตัวอย่างแสดงตามรูปที่ 3

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสม และจำนวนตัวอย่างอิฐผสมเศษวัสดุขาน้อยที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก)

ตัวอย่างที่	วัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ผลรวม
	ดินดานเกวียน	เศษวัสดุขาน้อย	
1	100	0	100
2	99	1	100
3	98	2	100
4	97	3	100
5	96	4	100
6	95	5	100
7	94	6	100
8	93	7	100
9	92	8	100
10	91	9	100
11	90	10	100

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสม และจำนวนตัวอย่างอิฐผสมเศษวัสดุกากกาแฟที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก)

ตัวอย่างที่	วัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ผลรวม
	ดินดานเกวียน	เศษวัสดุกากกาแฟ	
1	100	0	100
2	99	1	100
3	98	2	100
4	97	3	100
5	96	4	100
6	95	5	100
7	94	6	100
8	93	7	100
9	92	8	100
10	91	9	100
11	90	10	100

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสม และจำนวนตัวอย่างอิฐผสมเศษวัสดุขาน้อยและกากกาแฟที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก)

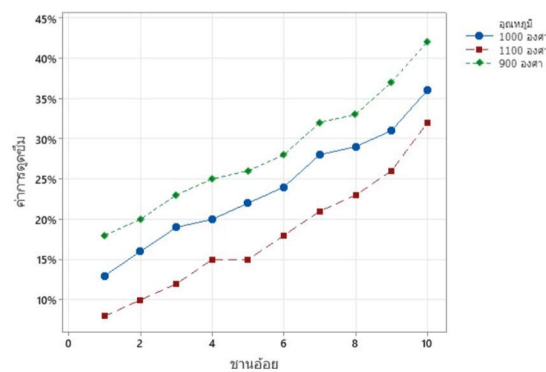
ตัวอย่างที่	วัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ผลรวม
	ดินดานเกวียน	ขาน้อย	กากกาแฟ	
1	90	1	9	100
2	90	2	8	100
3	90	3	7	100
4	90	4	6	100
5	90	5	5	100
6	90	6	4	100
7	90	7	3	100
8	90	8	2	100
9	90	9	1	100

5. ผลการทดลอง

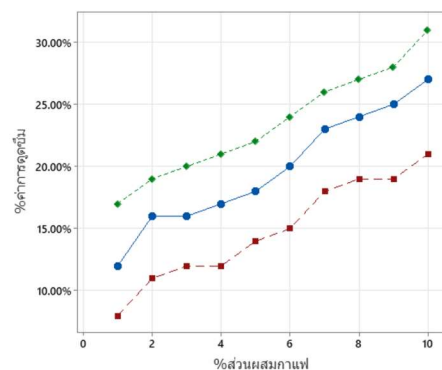
ดินดานเกวียนเป็นดินเหนียวชนิดหนึ่งที่มีชื่อเสียงและคุณภาพดี มาจากตำบลด่านเกวียนอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นแหล่งดินที่สำคัญในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่มีชื่อเสียงของไทย ดินชนิดนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเผาเพื่อความแข็งแรง องค์ประกอบทางเคมีของดินดานเกวียนสามารถแบ่งออกเป็นธาตุหลัก ๆ ที่มีความสำคัญในกระบวนการเผาและการขึ้นรูป โดยพบว่าเป็นวัสดุที่มี ซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักสูงถึง 64.28% ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของดินเมื่อเผา รองลงมาเป็นส่วนประกอบของ อะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งช่วยเพิ่มความเหนียวและความสามารถในการขึ้นรูปของดิน และยังช่วยลดการหดตัวระหว่างการเผา ในงานวิจัยนี้มีการผสมเศษวัสดุขาน้อยและกากกาแฟลงในดิน และมีการทดสอบคุณสมบัติหลายด้าน ดังนี้

5.1 การดูดซึมน้ำของชิ้นงาน

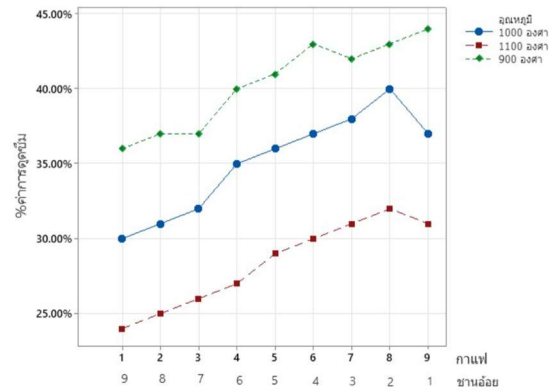
ชิ้นงานอิฐดินเผามีผลแยกตามประเภทดังกราฟในรูปที่ 3-5 จากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณขานอ้อยและกากกาแฟ จะส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่างดินดานเกวียนและขานอ้อยที่ 90:10 มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด เช่นเดียวกับการผสมกากกาแฟ สำหรับอัตราส่วนระหว่างดินดานเกวียน ขานอ้อย และกากกาแฟ เมื่อใส่ปริมาณขานอ้อยที่มากกว่ากากกาแฟจะมีค่าการดูดซึมน้ำที่มากกว่า การเปรียบเทียบอุณหภูมิเผาขึ้นรูป พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ 1,000 และ 900 องศาเซลเซียสตามลำดับ



รูปที่ 3 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐที่มีส่วนประกอบของดินดานเกวียนและขานอ้อย ในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



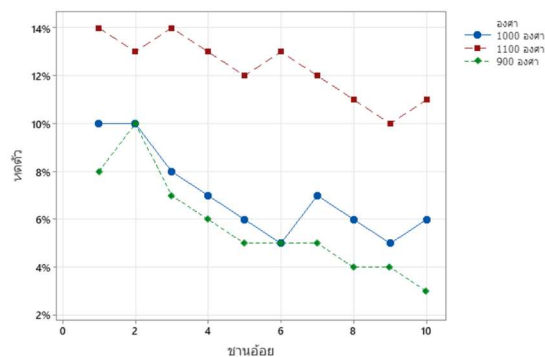
รูปที่ 4 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐที่มีส่วนประกอบของดินดานเกวียนและกากกาแฟ ในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



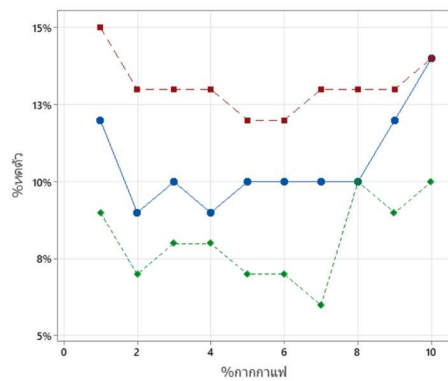
รูปที่ 5 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐที่มีส่วนประกอบของดินดานเกวียน กากกาแฟ และขานอ้อย ในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

5.2 การหดตัวของชิ้นงานหลังการเผา

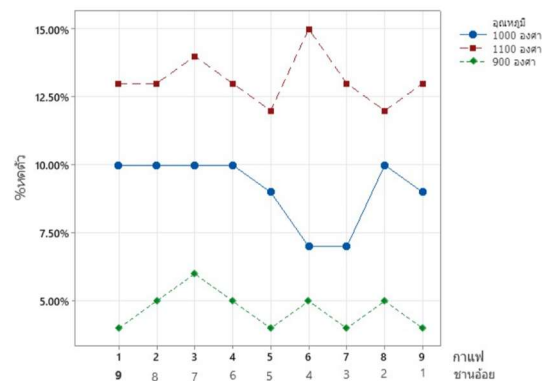
ค่าการหดตัวของชิ้นงานแสดงในกราฟรูปที่ 6-8 โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณขานอ้อย ส่งผลให้ค่าร้อยละการหดตัวลดลง โดยอัตราส่วนระหว่างดินดานเกวียนและขานอ้อยที่ 99:1 มีค่าร้อยละการหดตัวน้อยที่สุด ในขณะที่การเพิ่มกากกาแฟ ส่งผลให้ค่าร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่างดินดานเกวียนและกากกาแฟที่ 90:10 มีค่าร้อยละการหดตัวมากที่สุด สำหรับอัตราส่วนระหว่างดินดานเกวียน ขานอ้อยและกากกาแฟมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนอุณหภูมิที่เผาขึ้นรูป ยิ่งอุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสมีค่าร้อยละการหดตัวมากที่สุด



รูปที่ 6 ค่าการหดตัวของอิฐที่มีส่วนประกอบของดินดานเกวียนและขานอ้อย ในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 7 ค่าการดูดตัวของอิฐที่มีส่วนประกอบของดินดาน
เหนียวและกากกาแฟ ในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 8 ค่าการดูดตัวของอิฐที่มีส่วนประกอบของดินดาน
เหนียว กากกาแฟ และขาน้อย ในการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

5.3 การวัดขนาดความคลาดเคลื่อนและความหนาแน่นเชิงปริมาตรชิ้นงาน

ในงานนี้ใช้ชิ้นงานอิฐขนาด 60 x 60 x 60 มิลลิเมตร ในการทดสอบ โดยเมื่อพิจารณาข้อกำหนดมาตรฐาน มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก และมาตรฐาน มพช. 601/2547 อิฐมอญ จากข้อ 2.4 พบว่า ตามเกณฑ์มาตรฐาน มพช. 601/2547 ระบุไว้ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 25 และมาตรฐาน มอก. 153-2565 การดูดกลืนน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 24 ดังนั้น จึงพิจารณาเลือกตัวอย่างมาวัดขนาดความคลาดเคลื่อน และความหนาแน่นเชิงปริมาตรและสรุปเฉพาะอิฐที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังตารางที่ 4-6 จากการทดลองพบว่า ขนาดมิติของก้อนอิฐนั้นมีมิติด้านความสูงเริ่มตั้งแต่ 58 มม. ไปจนถึง 61 มม. และความคลาดเคลื่อนของขนาด จะเริ่มตั้งแต่ ± 1 ไปจนถึง ± 4 โดยความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ในเกณฑ์ของอิฐมวลทั่วไปทั้งหมด

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนและความหนาแน่นเชิงปริมาตรชิ้นงาน ที่มีส่วนประกอบของดินดานเหนียวและเศษวัสดุ เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง ที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ขนาดที่วัด ได้ กxยxส (มม.)	ความคลาด เคลื่อนของ ขนาด (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความหนาแน่นเชิง ปริมาตร (กก./ลบม.)
	ดินดาน เหนียว	เศษวัสดุ ขาน้อย	เศษวัสดุกาก กาแฟ				
1	99	-	1	59x60x59	± 1	0.284	1,359.76
2	98	-	2	58x59x60	± 2	0.296	1,466.94
3	97	-	3	56x59x58	± 4	0.246	1,283.71
4	99	1	-	57x59x58	± 3	0.288	1,476.51
5	98	2	-	56x58x60	± 4	0.238	1,221.26

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนและความหนาแน่นเชิงปริมาตรชิ้นงาน ที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียนและเศษวัสดุ เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง ที่	อัตราส่วนผสมของวัสดุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ขนาดที่วัด ได้ กxยxส (มม.)	ความคลาด เคลื่อนของ ขนาด (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความหนาแน่นเชิง ปริมาตร (กก./ลบม.)
	ดินด้าน เกวียน	เศษวัสดุ ชานอ้อย	เศษวัสดุกาก กาแฟ				
1	99	-	1	59x58x58	± 2	0.294	1,481.29
2	98	-	2	58x59x58	± 2	0.294	1,481.29
3	97	-	3	58x61x57	± 3	0.25	1,239.67
4	99	1	-	61x58x59	± 2	0.306	1,465.92
5	98	2	-	57x59x59	± 3	0.252	1,270.05

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนและความหนาแน่นเชิงปริมาตรชิ้นงาน ที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียนและเศษวัสดุ เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง ที่	อัตราส่วนผสมของวัสดุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ขนาดที่วัด ได้ กxยxส (มม.)	ความคลาด เคลื่อนของ ขนาด (มม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความหนาแน่นเชิง ปริมาตร (กก./ลบม.)
	ดินด้าน เกวียน	เศษวัสดุ ชานอ้อย	เศษวัสดุกาก กาแฟ				
1	99	-	1	58x59x58	± 2	0.290	1,461.13
2	98	-	2	59x58x59	± 2	0.286	1,441.41
3	97	-	3	58x60x58	± 3	0.260	1,288.15
4	99	1	-	58x58x59	± 2	0.290	1,461.13
5	98	2	-	59x57x59	± 3	0.274	1,380.93

5.4 คุณสมบัติเชิงกล

ข้อกำหนดมาตรฐาน มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อ
ผนังไม่รับน้ำหนัก และมาตรฐาน มพช. 601/2547 อิฐมอญ
จากข้อ 2.4 พบว่า เกณฑ์การทดสอบคุณสมบัติความต้านทาน
แรงอัด อิฐมอญ มพช. 601/2547 ระบุคุณสมบัติการต้านทาน
แรงอัดของอิฐมอญต้องมากกว่า 7 เมกะพาสคัล ส่วนอิฐมอญ
กลวงผนังไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มอก. 153-2565 ต้อง
มีค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.45 เมกะพาสคัล โดยผลการทดสอบ
อิฐขนาด 60 x 60 x 60 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 7-9

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และ
คุณสมบัติเชิงกลชิ้นงาน พบว่า ชิ้นงานที่อิฐที่มีส่วนประกอบ
ของชานอ้อยไม่ผ่านเกณฑ์ เนื่องมาจากมีค่าความหนาแน่น
ของอิฐที่ต่ำกว่าและส่งผลต่อค่าการต้านทานแรงอัดที่ลดลง
ส่วนอิฐที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และชานอ้อย
พบว่าอัตราส่วนผสมของวัสดุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของ
ดินด้านเกวียนกับกากกาแฟ ที่ 99:1 และ 98:2 มีคุณสมบัติ
ทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล เหมาะสมที่สุดที่นำมาใช้
ทำอิฐให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อ

แผ่นไม้รับน้ำหนัก และมาตรฐาน มพข. 601/2547 อิฐมอญ แต่เลือกใช้สูตรที่มีเนื้อดินด้านเกวียนเป็นส่วนผสม 98% และกากกาแฟผสม 2% เพราะเป็นสูตรที่สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุดในการทำเนื้อดินที่ไปผลิตดินด้านเกวียน

ตารางที่ 7 ค่าแรงอัดของชิ้นงานอิฐขนาด ที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และเศษวัสดุ เผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ค่าต้านทาน แรงอัด (MPa)
	ดินด้าน เกวียน	เศษวัสดุ ขาน้อย	เศษวัสดุ กากกาแฟ	
1	99	-	1	3.84
2	98	-	2	3.48
3	97	-	3	2.12
4	99	1	-	2.87
5	98	2	-	3.15

ตารางที่ 8 ค่าแรงอัดของชิ้นงานอิฐขนาด ที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และเศษวัสดุ เผาที่อุณหภูมิ 1,000 °ซ

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ค่าต้านทาน แรงอัด (MPa)
	ดินด้าน เกวียน	เศษวัสดุ ขาน้อย	เศษวัสดุ กากกาแฟ	
1	99	-	1	3.48
2	98	-	2	4.30
3	97	-	3	2.64
4	99	1	-	3.29
5	98	2	-	2.17

ตารางที่ 9 ค่าแรงอัดของชิ้นงานอิฐขนาด ที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และเศษวัสดุ เผาที่อุณหภูมิ 1,100 °ซ

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ค่าต้านทาน แรงอัด (MPa)
	ดินด้าน เกวียน	เศษวัสดุ ขาน้อย	เศษวัสดุ กากกาแฟ	
1	99	-	1	3.82
2	98	-	2	3.75
3	97	-	3	3.36
4	99	1	-	1.80
5	98	2	-	1.69

5.5 ต้นทุนการผลิต

จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่าดินด้านเกวียนที่ผสมกากกาแฟในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 นั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตอิฐมอญในการก่อสร้าง เมื่อนำอิฐมาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียสจะลดการใช้ดินด้านเกวียนลงได้ถึงร้อยละ 2 และหากนำอิฐมาเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะลดการใช้ดินด้านเกวียนลงได้ถึงร้อยละ 1 หากนำไปใช้ผลิตจริงจะทำให้สามารถลดการใช้ดินด้านเกวียนลงได้ร้อยละ 1 – 2 อีกทั้งยังเป็นการนำกากกาแฟซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง

6. อภิปรายผลและสรุป

ผลการศึกษาตามมาตรฐาน มพข. 601/2547 อิฐมอญ ซึ่งกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการไว้ 4 ข้อคือ

- ลักษณะทั่วไป ต้องไม่มีรอยแตกร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย
- มิติ ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร
- ความต้านทานแรงอัด ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัล (MPa)
- การดูดกลืนน้ำ ค่าเฉลี่ยต้องไม่เกินร้อยละ 25

ส่วนมาตรฐาน มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก ได้กำหนดชั้นคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยแยกขนาดชั้นงาน ดังตารางที่ 10 ต้องมีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.45 เมกะพาสคัล ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 24

ตารางที่ 10 การจำแนกผลิตภัณฑ์ตาม มอก. 153-2565

ประเภท	ชั้นคุณภาพ	ขนาด (หนา x สูง x ยาว) (มิลลิเมตร)
1	ก	65 x 40 x 75
		65 x 40 x 160
		65 x 90 x 190
2	ข	65 x 110 x 120
	ค	65 x 110 x 250
		80 x 70 x 90
		80 x 70 x 190
		80 x 120 x 120
		80 x 120 x 250

จากค่ามาตรฐานทั้งสองมาตรฐานดังกล่าว พบว่า

1. ค่าการดูดซึมน้ำ ชั้นงานอิฐที่ผ่านเกณฑ์เป็นไปตามมาตรฐาน จะมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน ร้อยละ 97-99 และกากกาแฟ ร้อยละ 1-3 และดินด้านเกวียน ร้อยละ 98-99 และขานอ้อย ร้อยละ 1-2 โดยอัตราส่วนระหว่างดินด้านเกวียนต่อขานอ้อย ร้อยละ 2 และอัตราส่วนระหว่างดินด้านเกวียนต่อกากกาแฟ ร้อยละ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด คือ ร้อยละ 20 (ผ่านทั้ง 2 เกณฑ์)

2. ค่าการหดตัวของชั้นงาน พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการเติมปริมาณขานอ้อยและกากกาแฟเข้าไป ถึงแม้ว่าขานอ้อยและกากกาแฟจะช่วยลดความเหนียวของดิน ซึ่งจะทำให้การหดตัวของชั้นงานลดลง แต่ขานอ้อย และกากกาแฟ ก็มีความหนาแน่นที่น้อยกว่าดิน ทำให้เพิ่มความพรุน

3. การวัดขนาดความคลาดเคลื่อนของขนาด และความหนาแน่นเชิงปริมาตรชั้นงานอิฐที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และกากกาแฟ ร้อยละ 1-3 และ ชั้นงานอิฐที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และขานอ้อย ร้อยละ 1-2 มีมิติความคลาดเคลื่อนสูงสุด ± 4 มิลลิเมตรผ่านมิติเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน มผช. 601/2547 อิฐมอญทั้งหมด และเมื่อพิจารณาตาม มอก. 153-2565 อิฐกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก อิฐที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และกากกาแฟ ร้อยละ 1-2 ผ่านมิติเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนประเภท 1 โดยความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีค่ามากกว่า 1,000 กก./ลบม. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์อิฐมอญทั่วไป

4. ความต้านทานแรงอัด (MPa) พบว่า อิฐทั้งหมดไม่ผ่านเกณฑ์ มผช. 601/2547 แต่ส่วนที่ผ่านเกณฑ์ มอก. 153-2565 คืออิฐที่มีส่วนประกอบของดินด้านเกวียน และกากกาแฟ ร้อยละ 1-2 เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1,100 องศาเซลเซียส โดยอัตราส่วนที่ผสมกากกาแฟ ร้อยละ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงอัดมากที่สุด คือ 4.30 เมกะพาสคัล และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณขานอ้อยหรือกากกาแฟมากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของชั้นงานอิฐลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของขานอ้อยและกากกาแฟ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา ยิ่งมีปริมาณมากก็ยิ่งมีการสลายตัวมากขึ้น ส่งผลให้ชั้นงานอิฐมีรูพรุนและเกิดการพรุนตัวมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลง

5. การทดลองใช้อิฐขนาด 60 x 60 x 60 มิลลิเมตร และเมื่อทราบค่าการหดตัวของชั้นงาน ก็สามารถทำชั้นงานให้อยู่ในมาตรฐาน มอก. 153-2565 ได้

6. ดินด้านเกวียนที่ผสมกากกาแฟในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 ที่เผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส นั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตอิฐมอญในการก่อสร้าง และช่วยลดต้นทุนดินได้ร้อยละ 1-2 และยังสามารถนำกากกาแฟ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งด้วย

7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาขนาดอนุภาคของวัสดุซีเมนต์ที่ส่งผลต่อขนาดรูพรุนของอิฐดินเผาเพิ่มเติม
2. ควรทดสอบคุณสมบัติด้านการกันความร้อนของอิฐดินเผาผสมกากกาแฟ และชานอ้อย เพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปัญญา พลมีเดช. (2559). การนำเศษวัสดุซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่สำหรับผลิตอิฐก่อสร้าง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม].
<https://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2559/118363/PDF/Panya%20Pholmeedech.pdf>
- [2] สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. (2556). รายงานวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อิฐมอญในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน.
<https://ebooks.dusit.ac.th/detail.php?recid=1296>
- [3] สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. (2560). การพัฒนาอิฐดินเผาผสมเถ้าโดยใช้กากชานอ้อยเป็นส่วนผสม. วารสารวิชาการบัณฑิตวิทยาลัยสวนดุสิต, 10 (1), 13-30. สืบค้นจาก
<https://www.thaiscience.info/journals/Article/SDUJ/10986808.pdf>
- [4] ณัฐพงศ์ จันทรพิเชฐ. (2562). รายงานการวิจัย เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพอิฐมอญแบบไม่ต้องเผาด้วยเส้นใยฟางข้าวเหลือทิ้งในพื้นที่ภาคกลางเพื่อเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน.
<https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2561/research.rmutsb-2561-2019112910224057.pdf>
- [5] อติศักดิ์ ภาชา และคณะ. (2560). รายงานวิจัย เรื่อง อิทธิพลของโครงสร้างรูพรุนต่อสมบัติทางความร้อนของอิฐเซรามิกร่วมกับการเติมเศษวัสดุการเกษตร.
<https://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2560/M126140/Luecha%20Adisak.pdf>
- [6] วรณัฐ ดีละมัน และคณะ. (2559). รายงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ.
https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/2316/SCT_60_05.pdf
- [7] เอก ช่อประดับ. (2547). คุณสมบัติเชิงกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่].
<https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/151614>
- [8] ก้องรัฐ นกแก้ว และคณะ. (2565). การประเมินคุณภาพของอิฐมอญ. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27. (น. MAT04-1 – 7). โรงแรมเดอะ เซอร์เทจ เชียงราย.
- [9] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2565). อิฐกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก, มอก. 153-2565.
- [10] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547). อิฐมอญ, มผช. 601/2547.