

การเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของอิฐก่อสร้างสามัญ

COMPARISON OF FIRING TEMPERATURE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONSTRUCTION COMMON BRICKS

วินัย ตะแสง, ธิติมา คุณยศยิ่ง, ธมลวัฒน์ หิรัญชาตือนันต์, ศิวัช ลาวัลย์วดีกุล
และ สรวิศ มูลอินตะ*

Winai Tasang, Thitima Khunyotying, Tamonwat Hirunchata-nan,

Siwat Lawanwadeekul, and Soravich Mulinta*

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการออกแบบเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

Department of Production Innovation and Ceramic Design, Faculty of Industrial Technology,

Lampang Rajabhat University

*corresponding author e-mail: Soravich@lpru.ac.th

(Received: 3 July 2024; Revised: 4 October 2024; Accepted: 17 October 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและสมบัติของวัตถุดิบ
สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตอิฐมอญบ้านสันบุญเรือง
จังหวัดลำปาง วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากท้องถิ่น คือ แห้งดินบ้านศรีก้า (RCB-1) และ
แห้งดินบ้านไร่ (RCB-2) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและสมบัติของวัตถุดิบด้วยเครื่องวัดขนาด
อนุภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนแสงเลเซอร์ องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรส
เซนซ์ (XRF) และองค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) จากนั้นนำตัวอย่าง
ไปเผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส การทดสอบสมบัติของอิฐก่อสร้างสามัญ
ได้แก่ การหดตัวหลังการเผา การดูดซึมน้ำและความทนต่อแรงกดอัด ผลการทดลอง พบว่า
สมบัติของอิฐจากเนื้อดินแห้งดินบ้านไร่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (RCB-2) มีค่าการหดตัว
ร้อยละ 13.30 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 13.40 มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
(มอก. 77-2545) กำหนด คือ ไม่เกินร้อยละ 25 และความทนต่อแรงกดอัดเท่ากับ 34.50
เมกะปาสคาล วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตอิฐมอญบ้านสันบุญเรืองสามารถนำเนื้อดินปั้นแห้งดินบ้านไร่
(RCB-2) ไปใช้ในกระบวนการผลิตและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทำให้อิฐมีสมบัติเป็นไป
ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77-2545)

คำสำคัญ: ดินแดง อิฐ อุณหภูมิการเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง

Abstract

This research aims to study and analyze the characteristics and properties of raw materials used in the production process of common clay bricks from the Small and Micro Enterprise Community clay brick-making groups in San Bun Reung village, Lampang Province. The raw materials used in the study were sourced locally, specifically from the SiKam clay source (RCB-1) and the BunRai clay source (RCB-2). The characteristics and properties of the raw materials were analyzed using laser diffraction particle size measurement, chemical composition by X-ray fluorescence (XRF), and mineral composition by X-ray diffraction (XRD). The samples were then fired at temperatures of 800, 900, and 1000°C. The tested properties of the common clay bricks included shrinkage after firing, water absorption, and compressive strength. The experimental results indicated that the properties of the bricks made from the BunRai clay source fired at 900°C (RCB-2) had a shrinkage rate of 13.30%, a water absorption rate of 13.40%, and conformed to the industrial product standards (TIS 77–2545), which state that it should not exceed 25%. The compressive strength was measured at 34.50 MPa. The Small and Micro Enterprise Community clay brick-making groups in San Bun Reung village can utilize the RCB-2 clay in the production process and firing at 900 degrees Celsius, resulting in bricks that meet the standards of industrial products (TIS 77–2545).

Keywords: Red clay, Brick, Firing temperature, Water absorption, Strength

บทนำ

การผลิตอิฐก่อสร้างหรืออิฐก่อสร้างสามัญในพื้นที่จังหวัดลำปางนั้น ลักษณะของกิจการเป็นอุตสาหกรรมแบบครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งมีพื้นที่ผู้ผลิตในบางพื้นที่ เช่น อำเภอเกาะคา อำเภอเมืองลำปาง และอำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง ซึ่งถือเป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีการผลิตอิฐก่อสร้างเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลผลงานวิจัยของ สิริพรรณ (2562) ได้รายงานจำนวนของผู้ประกอบการผลิตอิฐในจังหวัดลำปาง มีจำนวน 69 ราย โดยผลิตภัณฑ์หลัก คือ อิฐเพื่องานก่อสร้าง โดยอิฐทำจากดินเหนียว ผสมน้ำ และผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม นวดผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน อัดรีดด้วยเครื่องรีดตามขนาดที่ต้องการ ปั่นยิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก อิฐก่อสร้างสามัญเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน นอกจากนี้ทางกลุ่มผู้ผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ ทางผู้ผลิตอิฐได้สะท้อนปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

ผลิต ขาดข้อมูลแหล่งวัตถุดิบและปริมาณสำรอง ดำเนินจากวัตถุดิบเนื่องจากผู้ผลิตรับเข้าวัตถุดิบที่เป็นดินท้องถิ่นจากหลายแหล่ง บางแหล่งมีปริมาณหินปูนมาก ทำให้อิฐที่ผลิตเกิดการระเบิด การแตกร้าวขึ้น ทั้งในขณะการขึ้นรูปและในหลังการเผา ยังพบเนื้ออิฐมีการหลอมละลาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนต่อหน่วยในการผลิต

จากประเด็นเร่งด่วนข้างต้นผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เบื้องต้น จำนวน 2 โรงงาน เพื่อดูสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่า คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้ต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้อิฐหลังการเผาเกิดรอยร้าว และเกิดการบวมพองที่ผิวอิฐ กระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างขาดการควบคุมมาตรฐานในทุกขั้นตอนการผลิต ขาดการควบคุมอุณหภูมิการเผาที่แม่นยำ รวมถึงผลิตภัณฑ์เองขาดการทดสอบเพื่อกำหนดเป็นค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทำให้สามารถผลิตป้อนสู่ตลาดภายในพื้นที่ใกล้เคียง แต่ไม่สามารถขยายไปยังตลาดที่มีคุณภาพและปรับราคาที่สูงขึ้นได้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์อิฐก่อสร้างยังไม่สร้างความน่าเชื่อถือแก่ผู้ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐถือเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของอิฐ โดยผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า วัตถุดิบดินเหนียวที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปอิฐ มีองค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ โดยทั่วไปดินเหนียวจะมีซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) น้ำ (H_2O) และออกไซด์โลหะอื่นๆ (MOx) เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นต้น (Jiashun et al., 2023; Muñoz, et al., 2020) นอกจากนี้ยังค้นพบงานวิจัย (Ahmed et al., 2022; Riccardo, et al., 2024) พบว่า ในเนื้อดินเหนียวแดง (Red clay) มีส่วนประกอบของแร่ควอตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) พลาจิโอเคลส (Plagioclase) โดยมีแคลไซต์ (Calcite) โดโลไมต์ (Dolomite) แอนาเทส (Anatase) รูไทล์ (Rutile) เฮมาไทต์ (Hematite) และเกอไทต์ (Goethite) เป็นส่วนประกอบเล็กน้อย แร่เหล่านี้มีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของเนื้อดินเมื่อได้รับความร้อนจากการเผา อุณหภูมิการเผายังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกับคุณภาพของอิฐให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยการศึกษาอุณหภูมิการเผามีงานวิจัยได้ทำการสำรวจคุณภาพของอิฐจากหลากหลายแหล่งเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. และเผาตั้งแต่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Kongrat et al., 2022) หากนำเนื้อดินเหนียวแดงเผาเกินกว่าอุณหภูมิ 1,160 องศาเซลเซียส จะส่งผลต่อสมบัติของอิฐ ทำให้อิฐหลอมละลายขององค์ประกอบภายใน เช่น เหล็ก พลาจิโอเคลส ทำให้เกิดเนื้อแก้วและความพรุนตัวลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการรับแรงอัดของอิฐได้ (Riccardo et al., 2024)

ปัญหาและการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างสำหรับวิสาหกิจขนาดกลาง ขนาดย่อมและอุตสาหกรรมแบบครัวเรือนในพื้นที่จังหวัดลำปาง นอกจากนี้ยังสนใจการทดสอบสมบัติของอิฐที่เตรียมจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ

หลักในการผลิตอิฐก่อสร้างของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตอิฐมอญบ้านสันบุญเรืองให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77-2545)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างเนื้อดิน

วัตถุดิบเนื้อดินปั้นจากแหล่งบ้านศรีก้า ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง ดังภาพที่ 1(ก) และเนื้อดินปั้นจากแหล่งบ้านไร่ ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง ดังภาพที่ 1(ข) โดยลักษณะทางกายภาพของแหล่งนี้เป็นทุ่งนา และมีการทำการเกษตร การขุดดินปั้นเพื่อนำมาใช้ในการผลิตอิฐผู้ประกอบกิจการได้มีการขุดเปิดหน้าดินมีความลึกจำนวน 10 เมตร เนื่องจากดินชั้นหน้าของแหล่งดินนี้มีการปลูกต้นข้าวมาก่อน และมีทรายปะปนเป็นจำนวนมาก เมื่อทำการเปิดหน้าดินแล้วจึงทำการขุดดินที่มีความลึกมากกว่า 1 เมตร ในการขุดจะใช้รถแบล็คโฮ จำนวน 2 คัน สำหรับขุดและผสมเนื้อดินเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการขนส่งไปยังโรงงานที่ต้องการและใช้ในการขึ้นรูปอิฐต่อไป เมื่อทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพแหล่งดินบ้านไร่แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างของเนื้อดินทั้งสองแหล่งเพื่อเข้าสู่วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อดินปั้นจากแหล่งดินบ้าน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 แหล่งดินที่ใช้ในการทดลอง (ก) แหล่งดินบ้านศรีก้า และ (ข) แหล่งดินบ้านไร่

2. การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง ประกอบด้วย การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนแสงเลเซอร์ มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

- 1) นำเนื้อดินปั้นก่อนทำการหมัก ปริมาณ 50 กรัม ร้อนผ่านตะแกรง 60 เมช เพื่อเอาหิน ทราบที่มีขนาดใหญ่และเศษหญ้าออก
- 2) นำชิ้นส่วนตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- 3) นำผงที่ได้มาทำการอัดลงในที่ใส่ตัวอย่างไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนแสงเลเซอร์ รุ่น Mastersizer S บริษัท Malvern ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ของวัสดุดิบ

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ของวัสดุดิบด้วยเครื่อง X-ray fluorescence; XRF และ X-ray diffraction; XRD มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) นำเนื้อดินปั้นก่อนทำการหมัก ปริมาณ 50 กรัม ร้อนผ่านตะแกรง 60 เมช เพื่อเอาก้อนดินที่มีขนาดใหญ่และเศษหญ้าออก นำชิ้นส่วนตัวอย่างมาบดเป็นผงละเอียด
- 2) นำชิ้นส่วนตัวอย่างมาบดเป็นผงละเอียดด้วยครกบดอะลูมินาและอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการร่อนผงละเอียดผ่านตะแกรงที่ความละเอียดเบอร์ 325 เมช
- 3) นำผงที่ได้มาทำการอัดลงในที่ใส่ตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometry; XRF รุ่น Megix Pro MUA/ USEP T84005 บริษัท Philips ประเทศสหรัฐอเมริกา และวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่อง X-ray diffraction spectrometry; XRD รุ่น D500 บริษัท Siemens ประเทศเยอรมัน

4. การตรวจสอบคุณภาพของอิฐก่อสร้างสามัญ

ทำการตรวจสอบคุณภาพของอิฐก่อสร้างสามัญ โดยทำการตรวจสอบลักษณะของอิฐต้องไม่มีตำหนิบิดเบี้ยว รอยร้าวที่เนื้ออิฐ และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐหลังการเผา เช่น ค่าการหดตัวของอิฐ (Shrinkage) ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐ (Water absorption) และค่าความทนต่อแรงกดอัด (Compressive strength) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.77-2545) และเพื่อให้เกิดการยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์

4.1 การทดสอบค่าการหดตัวของอิฐก่อสร้าง

ทำการทดสอบค่าการหดตัวของอิฐก่อสร้าง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมเนื้อดิน โดยให้มีปริมาณของความชื้นร้อยละ 25 คลุกเคล้าเนื้อดินและน้ำให้เข้ากัน เมื่อเนื้อดินมีความเหนียวที่เหมาะสม ทำการอัดลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์จำนวน 10 ก้อน จากนั้นทำเครื่องหมายเป็นเส้นความยาว 10 เซนติเมตร ที่ผิวของก้อนอิฐทดสอบ โดยทำการบันทึกเป็นค่าความยาวก่อนเผา

2) นำก้อนอิฐทดสอบทำการอบแห้ง คงเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 5 หลังจากการอบแห้ง เผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3) ก้อนอิฐทดสอบหลังจากเผาแล้ว นำไปวัดค่าความยาวของเครื่องหมาย โดยทำการบันทึกเป็นค่าความยาวหลังการเผา จากนั้นนำค่าเฉลี่ยการหดตัวเชิงเส้นที่ได้คำนวณ ดังสมการที่ 1

$$\frac{\text{ความยาวก่อนเผา} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวก่อนเผา}} \times 100 \quad (1)$$

4.2 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ มีดังนี้

ทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้าง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) นำก้อนอิฐทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 5 ก่อน ไปอบแห้งสนิทที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เมื่อก้อนอิฐทดสอบเย็นลง นำไปชั่งน้ำหนักก่อนการนำไปต้มในน้ำเดือดด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 2 ตำแหน่งและ จดบันทึกเป็นค่าน้ำหนักก่อนต้ม

2) นำก้อนอิฐทดสอบวางบนภาตสแตนเลส เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นตัวอย่างสัมผัส กับก้นภาชนะหม้อต้ม โดยแต่ละก้อนห่างกัน 3-5 มิลลิเมตร จากนั้นต้มในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2 ทั้งไว้ให้ก้อนอิฐทดสอบเย็นลง และแช่ไว้ในน้ำนั้นอีก 24 ชั่วโมง เมื่อน้ำเย็นลงให้นำก้อนอิฐทดสอบขึ้นมาจากนั้นทำการซับผิวของก้อนอิฐทดสอบด้วยผ้าหมาดๆ ให้ทั่ว

3) นำก้อนอิฐทดสอบไปชั่งน้ำหนักหลังการต้มในน้ำเดือดจดบันทึกเป็นค่าน้ำหนักหลังต้ม เมื่อได้ค่าการทดสอบแล้ว จึงนำมาคำนวณตามสูตร ทั้ง 5 ก้อนอิฐทดสอบแล้วหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 2 (ไพจิตร, 2541)

$$\frac{\text{น้ำหนักหลังต้ม} - \text{น้ำหนักก่อนต้ม}}{\text{น้ำหนักหลังต้ม}} \times 100 \quad (2)$$



ภาพที่ 2 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐทดสอบ

4.3 การทดสอบค่าความทนต่อแรงกดอัดของอิฐก่อสร้าง

ทำการทดสอบค่าความทนต่อแรงกดอัดของอิฐก่อสร้าง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อผสมเนื้อดินปั้นตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้แล้ว นำเนื้อดินปั้นอัดลงในแบบพิมพ์แท่งทดสอบรูปทรงแท่งสี่เหลี่ยม จำนวน 10 ก้อน

2) นำก้อนอิฐทดสอบทำการอบแห้ง คงเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 5 หลังจากการอบแห้งเผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของก้อนอิฐทดสอบ โดยทำการบันทึกเป็นค่าพื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของตัวอย่าง

3) วางตัวอย่างก้อนอิฐทดสอบบนแท่นกด จากนั้นหาค่าแรงกดที่ทำให้ก้อนอิฐทดสอบหัก ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงกดอัด ดังภาพที่ 3 ทำการบันทึกเป็นค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่ตัวอย่างรับได้ และคำนวณหาค่าความทนต่อแรงกดอัด ดังสมการที่ 3

$$\frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุดที่ขึ้นตัวอย่างรับได้}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของชิ้นตัวอย่าง}} \quad (3)$$



ภาพที่ 3 การทดสอบค่าความทนต่อแรงกดอัดของก้อนอิฐทดสอบ

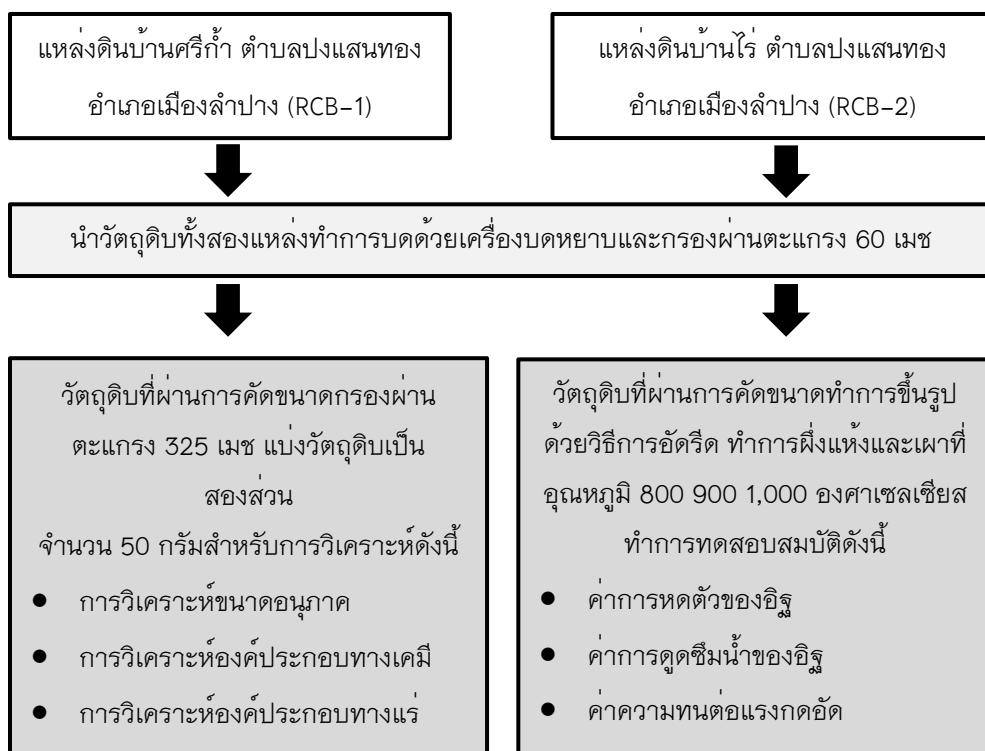
4) ทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐก่อสร้างสามัญกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77-2545) ตามนิยามที่ระบุไว้ว่า อิฐก่อสร้างสามัญมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผิวไม่สัเรียบทำด้วยมือหรือเครื่องจักร วัสดุที่ใช้ทำ ได้แก่ ดินเหนียวหรือดินโคลนผสมกับวัสดุอื่นๆ เช่น แกลบ หินขี้เถ้า เถ้าปูนซีเมนต์ หินปูนดิบ โดยต้องมีค่าการดูดกลืนน้ำและความต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานฯ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การดูดกลืนน้ำและความต้านทานแรงอัดตามมาตรฐาน

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรง (เมกะปาสคาล)		ร้อยละการดูดกลืนน้ำ	
	เฉลี่ย 5 กอน	แต่ละกอน	เฉลี่ย 5 กอน	แต่ละกอน
ก	21	17	17	20
ข	17	15	22	25
ค	10	9	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2546)

5) ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐก่อสร้าง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและทดสอบของวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานผลิตอิฐก่อสร้าง ดังภาพที่ 4

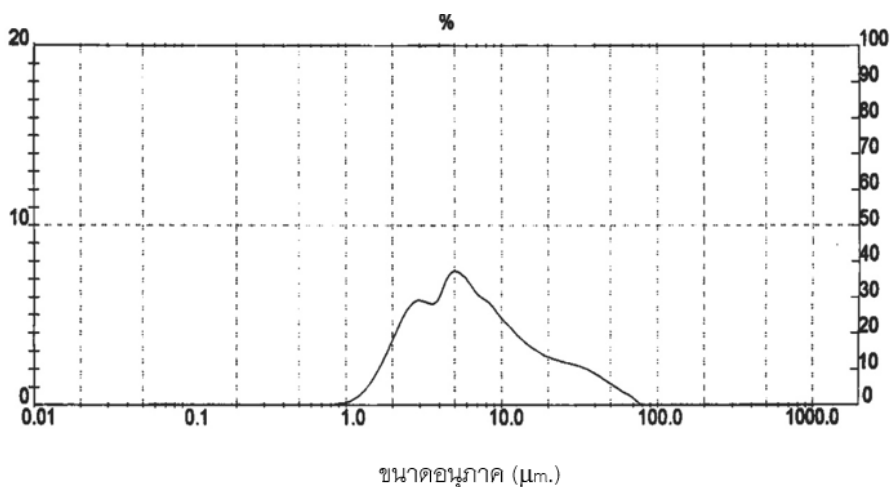


ภาพที่ 4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและทดสอบของอิฐก่อสร้าง

ผลการวิจัย

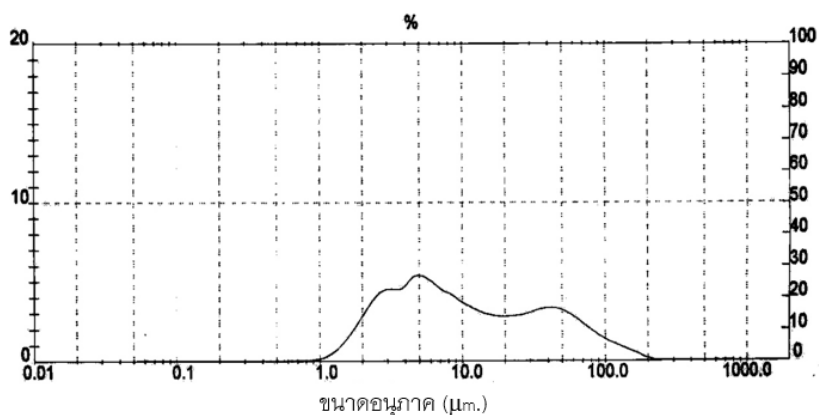
1. ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของเนื้อดินปั้น

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของเนื้อดินปั้น แหล่งดินบ้านศรีก้าด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนแสงเลเซอร์ พบว่า เนื้อดินแหล่งบ้านศรีก้ามีการกระจายขนาดอนุภาคขนาด 2.27 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคร้อยละ 10 (D_{10}) ส่วนขนาดอนุภาค 6.05 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคร้อยละ 50 (D_{50}) และขนาดอนุภาค 26.26 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคร้อยละ 90 (D_{90}) ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของเนื้อดินปั้นแหล่งดินบ้านไร่มีขนาดเฉลี่ย $D_{[4,3]}$ คือ 10.59 ไมโครเมตร การกระจายขนาดอนุภาคจะเกิด 2 พีกหลัก คือ พีกที่มีขนาดอนุภาค 2.27 ไมโครเมตร และพีกที่ 2 มีขนาดอนุภาค 6.05 ไมโครเมตร ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของเนื้อดินบ้านศรีก้า

ผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแหล่งดินบ้านไร่ด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนแสงเลเซอร์ พบว่า เนื้อดินมีการกระจายขนาดอนุภาคร้อยละ (D_{10}) เท่ากับ 2.44 ไมโครเมตร ส่วนขนาดอนุภาค 8.83 ไมโครเมตรมีการกระจายขนาดอนุภาคร้อยละ 50 (D_{50}) และขนาดอนุภาค 61 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคร้อยละ 90 (D_{90}) ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของเนื้อดินปั้นแหล่งดินบ้านไร่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{4,3}$) คือ 22.41 ไมโครเมตร จากการวิเคราะห์ผลโดยกราฟ พบว่า การกระจายขนาดอนุภาคจะเกิด 3 พีกหลัก คือ พีกที่มีขนาดอนุภาค 2.44 ไมโครเมตร พีกที่ 2 มีขนาดอนุภาค 8.83 ไมโครเมตร และพีกที่ 3 มีขนาดอนุภาค 61 ไมโครเมตร ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของเนื้อดินบ้านไร่

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ของเนื้อดินบ้านไร่

2.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินบ้านไร่

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินแหล่งดินบ้านศรีก้า มีผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 67.05 และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 11.32 เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 12.01 แหล่งดินบ้านไร่ ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 59.61 และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 13.82 เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 16.31 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

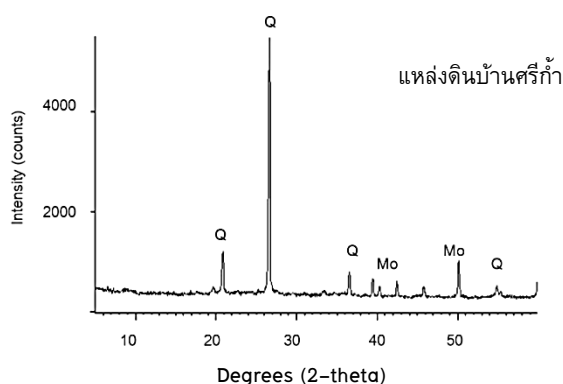
สารประกอบ	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (ร้อยละ)	
	แหล่งดินบ้านศรีก้า	แหล่งดินบ้านไร่
	ต่ำลงปนแสงทอง	ต่ำลงปนแสงทอง
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	67.05	59.61
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	11.32	13.82
เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	12.01	16.31
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	3.95	3.53
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.79	1.55
แบเรียมออกไซด์ (BaO)	<0.01	0.22

ตารางที่ 2 (ต่อ)

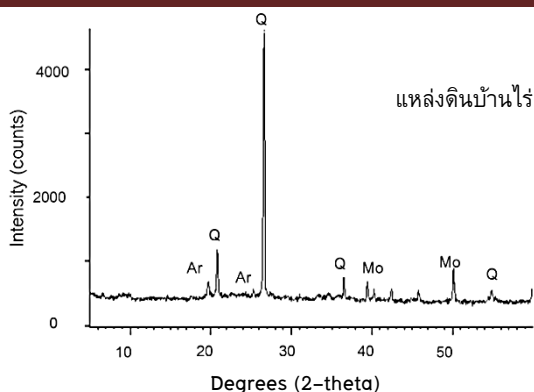
สารประกอบ	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (ร้อยละ)	
	แหล่งดินบ้านศรีก้า	แหล่งดินบ้านไร่
	ค่าบลึงแสนทอง	ค่าบลึงแสนทอง
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.20	0.19
แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.26	0.28
สตรอนเชียมออกไซด์ (SrO)	0.85	0.53
รูบิเดียมออกไซด์ (Rb ₂ O)	0.053	0.06
ฟอสฟอรัสเพนตรออกไซด์ (P ₂ O ₅)	0.97	0.86
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	1.73	1.86
เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO ₂)	0.14	0.10
ยิทเทรียมออกไซด์ (Y ₂ O ₃)	<0.01	0.03
น้ำหนักสูญหายหลังการเผา (LOI)	0.61	1.05

2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเนื้อดินปั้น

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเนื้อดิน แหล่งดินบ้านศรีก้า มีผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ พบว่า แร่ควอตซ์ (Quartz; SiO₂) และแร่มอนมอลิโรไนท์ (Montmorillonite; (Na,Ca)0.33(Al,Mg)₂(Si₄O₁₀)) ดังภาพที่ 7(ก) และแหล่งดินบ้านไร่ มีผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ พบว่า แร่ควอตซ์ (Quartz; SiO₂) และแร่มอนมอลิโรไนท์ (Montmorillonite; (Na,Ca)0.33(Al,Mg)₂(Si₄O₁₀)) และแร่อะราโกไนต์ (Aragonite; CaCO₃) ดังภาพที่ 7(ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัสดุดิบ (ก) แหล่งดินบ้านศรีก้า และ (ข) แหล่งดินบ้านไร่

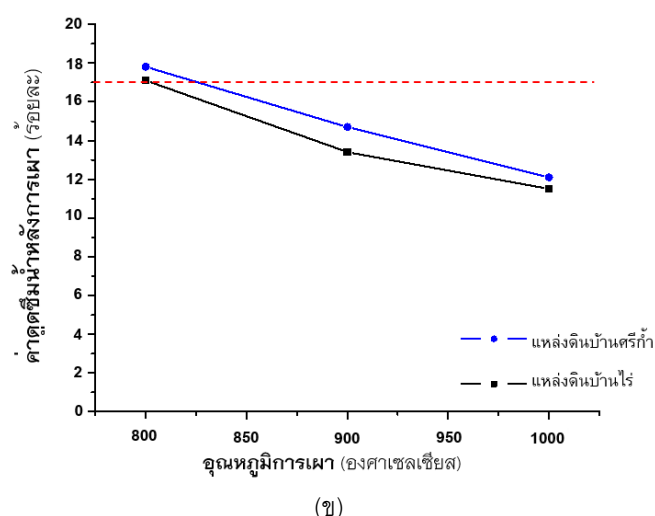
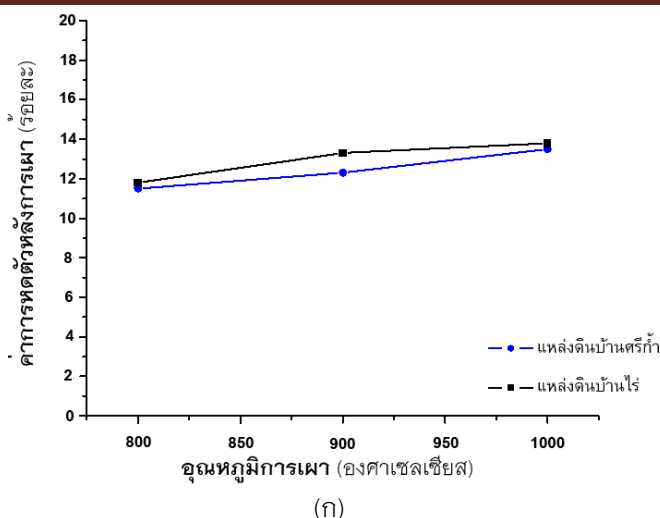
3. ผลการตรวจสอบคุณภาพของอิฐก่อสร้างสามัญ

3.1 ผลการทดสอบค่าการหดตัวของอิฐก่อสร้างสามัญ

การหดตัวของอิฐก่อสร้างสามัญเผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส จากการศึกษาค้นคว้าทดสอบค่าการหดตัวหลังการเผา พบว่า แหล่งดินบ้านไร่มีการหดตัวมากที่ร้อยละ 11.80 13.30 และ 13.80 ตามลำดับ และแหล่งดินบ้านศรีก้า มีการหดตัวหลังการเผา รองลงมา มีค่าร้อยละ 11.50 12.30 และ 13.50 ตามลำดับ ดังภาพที่ 8(ก)

3.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้างสามัญ

การดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้างสามัญเผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส จากผลการคำนวณค่าที่ได้จากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้างสามัญหลังการเผา พบว่า แหล่งดินบ้านศรีก้ามีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 17.80 14.70 และ 12.10 ตามลำดับ และรองลงมาคือแหล่งดินบ้านไร่ มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดร้อยละ 17.10 13.40 และ 11.50 ตามลำดับ ดังภาพที่ 8(ข) อิฐก่อสร้างสามัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) มีสมบัติผ่านเกณฑ์เฉพาะเนื้อดินที่เผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส

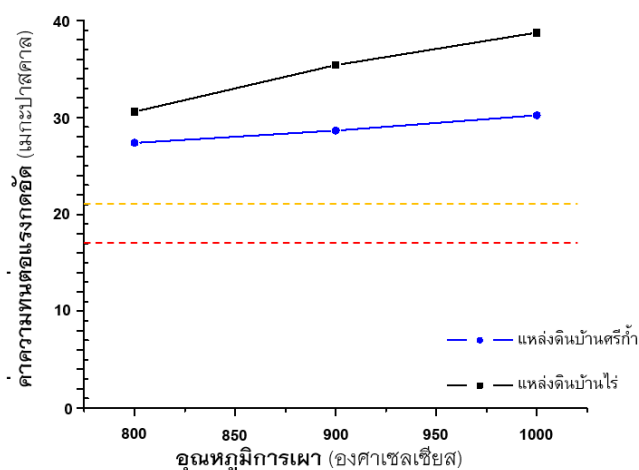


ภาพที่ 8 สมบัติทางกายภาพหลังการเจาะของอิฐก่อสร้างสามัญ (ก) ค่าการหดตัว และ (ข) ค่าการดูดซึมน้ำ

3.3 ผลการทดสอบค่าความทนต่อแรงกดอัดของอิฐก่อสร้างสามัญ

ความทนต่อแรงกดอัดของอิฐก่อสร้างสามัญ นำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยในมาตรฐาน ระบุไว้ว่า อิฐก่อสร้างมีความทนต่อแรงกดอัดสูงกว่า 21 เมกะปาสคาลในระดับคุณภาพ ก (เส้นประสีแดง) และในระดับคุณภาพ ข ต้องมีค่าความทนต่อแรงกดอัดสูงกว่า 17 เมกะปาสคาล (เส้นประสีเหลือง) โดยพบว่า อิฐก่อสร้างที่มีค่าความทนต่อแรงกดอัดสูงกว่า 175 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 9 จากการทดสอบความทนต่อแรงกดอัดของอิฐ โดยแหล่งดินที่มีความทนต่อแรงกดอัดสูงสุด คือ แหล่งดินบ้านไร่เท่ากับ 30.59

35.40 และ 38.74 เมกะปาสคาล และแหล่งดินบ้านศรีก่ำที่มีความทนต่อแรงกดอัดน้อยที่สุด คือ 27.36 28.64 และ 30.20 เมกะปาสคาล ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความทนต่อแรงกดอัดของอิฐก่อสร้างสามัญ

อภิปรายผล

ผลการทดลองและวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและสมบัติวัตถุที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอิฐ สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐก่อสร้างสามัญได้ดังนี้ วัตถุทั้งสองแหล่งมีความเหมาะสมในการผลิตอิฐคือ เนื้อดินบ้านแหล่งดินบ้านไร่ จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะ พบว่า วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 59.61 และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 13.82 สอดคล้องกับ วรพงษ์ (2555) กล่าวว่า เนื้อดินสำหรับการผลิตอิฐ ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 64 และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 22.10 จากผลวิเคราะห์ของเนื้อดินยังพบปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ถึงร้อยละ 16.31 ทำให้สีของเนื้อดินมีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลอ่อนสอดคล้องกับ ทวี (2523) และไพจิตร (2541) ได้กล่าวว่า เนื้อดินที่มีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กค่อนข้างสูง เผาในอุณหภูมิ 950–1,100 องศาเซลเซียส เมื่อเป็นวัตถุดิบมีสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเหลือง สีสนิมวูล สีแดง สีแดงเข้มและเทาแก่ เมื่อนำวัตถุดิบนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเนื้อดินพบแร่ควอตซ์ มอนต์มอริลโลไนต์ และแร่อะราโกไนต์ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Muñoz et al. (2020); Ahmed et al. (2022) ผลวิเคราะห์ทางแร่ มักพบแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลัก ในส่วนของผลวิเคราะห์เนื้อดินบ้านแหล่งดินบ้านไร่ จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะ พบว่าวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบซิลิกาหรือซิลิกอน

ไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 59.61 และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 13.82 เพอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 16.31 สอดคล้องกับ วรพงษ์ (2555) กล่าวว่า เนื้อดินสำหรับการผลิตอิฐประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 64 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 22.10 เมื่อนำวัตถุดิบนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเนื้อดินพบแร่ควอตซ์ มอนต์มอริลโลไนต์ และแร่อะราโกไนต์ จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบสองแหล่งยังพบว่า มีปริมาณของโพแทสเซียมออกไซด์ เฉลี่ยร้อยละ 3.74 ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงในเนื้อดินประเภท เอิร์ทเทนแวร์ สอดคล้องกับ Reig et al., (2013) ได้กล่าวในผลงานวิจัยว่า ปริมาณของโพแทสเซียมออกไซด์ ผลต่อการเกิดแร่มอนต์มอริลโลไนต์และอิลไลต์ในเนื้อดิน และยังมีผลต่อการสร้างผลึกที่เชื่อมโยงกันในระหว่างการเผาที่อุณหภูมิ 800–1,000 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาสสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินทั้งสองแหล่ง เพื่อนำมาเปรียบเทียบ อุณหภูมิการเผาที่ 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เนื้อดินทั้งสองแหล่งมีค่าการหดตัวเฉลี่ยร้อยละ 11.65 และมีค่าการดูดซึมน้ำเกินกว่าที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เนื่องจากอิฐมีค่าการดูดซึมน้ำสูงส่งผลทำให้เนื้อดินมีค่าความพรุนตัว (Porosity) ของเนื้อดิน มีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 5–15 โดยค่าการดูดซึมน้ำนี้จะทำให้เนื้อดินมีความทนต่อแรงกดอัดต่ำ (สมศักดิ์, 2549) อีกทั้งเนื้อดินมีออกไซด์ของเหล็กผสมอยู่ ผิวของเนื้อดินนั้นแม้ว่าเผาไฟแล้วก็ไม่สามารถเก็บน้ำได้เนื่องจากมีความพรุนตัวมาก สุขุมาล (2548) ในส่วนของเนื้อดินที่เผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบ พบว่า มีค่าการดูดซึมน้ำและความทนต่อแรงกดอัดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานฯ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการขยายผลการทดลองด้วยการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ทดสอบของเนื้อดินจากแหล่งดินบ้านไร่ เข้าสู่กระบวนการผลิตอิฐและทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่า สมบัติของอิฐมีค่าการหดตัวร้อยละ 13.30 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 13.40 มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77–2545) กำหนดคือไม่เกินร้อยละ 25 และความทนต่อแรงกดอัดเท่ากับ 35.40 เมกะปาสคาล สูงกว่าผลการศึกษาของ สุทัศน์ (2012) อิฐดินเผาที่มีความสามารถในการรับแรงอัด 6.20 เมกะปาสคาล นอกจากนี้ Jiasun et al. (2023); Reig et al., (2013) ได้ทำการศึกษาค่าความทนต่อแรงกดอัดของอิฐดินเผาในประเทศจีน พบว่า อิฐที่มีคุณภาพดีจำเป็นต้องมีค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงกดอัดไม่น้อยกว่า 10 เมกะปาสคาล ซึ่งอิฐจากแหล่งดินบ้านไร่มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77–2545) กำหนด คือ ไม่น้อยกว่า 17–22 เมกะปาสคาล อิฐหลังการเผาที่เตรียมได้จากเนื้อดินปั้นแหล่งดินบ้านไร่เผาอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77–2545)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐก่อสร้างสามัญ เพื่อเป็นแนวทางการนำกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เข้าปรับปรุงวัตถุดิบชั้นตอนและสภาวะของการทำงานที่เหมาะสม ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิการเผาที่ส่งผลต่อคุณภาพของอิฐก่อสร้างที่จัดจำหน่ายในท้องตลาด พบว่า อิฐหลังการเผาที่เตรียมได้จากเนื้อดินปั้นแหล่งดินบ้านไร่เผาอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีสมบัติทางกายภาพและทางกลอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77-2545) จากผลการวิจัยนี้สามารถช่วยผู้ประกอบการใช้เป็นหลักฐานยืนยันด้วยหลักพื้นฐานขององค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้ประกอบการสามารถทำนายคุณภาพของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตในอนาคตต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้งบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และนักศึกษสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการออกแบบเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ช่วยสนับสนุนเครื่องมือและช่วยการทดลอง ซึ่งทำให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2546). มอก.77-2545 อิฐก่อสร้างสามัญ. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- ทวี พรหมพฤกษ์. (2523). เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วรพงษ์ เทียมสอน. (2555). เซรามิกเพื่อการก่อสร้างและเซรามิกเพื่องานเทคนิค. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- สมศักดิ์ ขวาลวัลย์. (2549). เซรามิก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- สิริพรรณ นิลโพธิ์. (2562). การสำรวจสถานภาพและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอิฐก่อสร้างสำหรับ
 วิศวกิจขนาดกลาง ขนาดย่อมและอุตสาหกรรมครัวเรือน (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- สุขุมล เล็กสวัสดิ์. (2548). เครื่องปั้นดินเผา: พื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุทัศน์ จันบัวลา. (2012). การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอ่างทอง. วารสารวิจัย มสท. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(1), 13-21.

- Ahmed, M.S.H., Ahmed, A., Ayman, S.M., & Bahaa, E. (2022). Thermal performance analysis of clay brick mixed with sludge and agriculture waste. **Journal of Construction and Building Materials**, **344**, 128267.
- Jiashun, S., Qing, C., Zhendong, M., Shihu, F., Cheng, L., Zhiyong, L., Dafu, W., & Yunsheng, Z. (2023). Comparative study on material properties of ancient fired clay bricks of China. **Journal of Case Studies in Construction Materials**, **19**, e02463. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02463>
- Kongrat, N., Paikaw, P., Harnchai, K., Meetham, M. & Suksin, N. (2022). Quality Evaluation of Mon Brick Produced in Sanuk Group Province. In **Proceeding of the 27th National Convention on Civil Engineering** (MAT04 1–7). Thailand: Chiang Rai.
- Muñoz, P., Letelier, V., Bustamante, M.A., Marcos–Ortega, J., & Sepúlveda, J.G. (2020). Assessment of mechanical, thermal, mineral and physical properties of fired clay brick made by mixing kaolinitic red clay and paper pulp residues. **Journal of Applied Clay Science**, **198**, 105847.
- Reig, L., Tashima, M.M., Borrachero, M.V., Monzó, J., Cheeseman, C.R., & Payá, J. (2013). Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste. **Journal of Construction and Building Materials**, **43**, 98–106.
- Riccardo, F., Sonia, C., Alessandro, F.G., Michele, D., Francesco, C., Mattia, S., Chiara, M., Chiara, Z., & Rossella, A. (2024). Reappraisal of red clays in porcelain stoneware production: Compositional and technological characterization. **Journal of Applied Clay Science**, **250**, 107291.