



ผลของการเผาซ้ำต่อสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของอิฐดินดิบทนไฟที่ใช้ก่อเตาเผาเซรามิกชนิดใช้พื้นทางเดินลมร้อนลง

อภิรัฐ อธิภาวิเศษพงษ์* และ ธนากร วาสนาเพียรพงศ์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สิริพรรณ นิลไพรัช และ นิธิวัชร นวอัครฐานันท์
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2218 5549 อีเมล: apirat.t@chula.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.09.008
รับเมื่อ 30 เมษายน 2562 แก้ไขเมื่อ 28 มิถุนายน 2562 ตอรับเมื่อ 9 กรกฎาคม 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 24 กันยายน 2562
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

เตาเผาแบบทางเดินลมร้อนลงโดยใช้อิฐดินดิบทนไฟเป็นโครงสร้างของเตาที่นิยมใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกพื้นบ้านอย่างแพร่หลาย อิฐดินดิบในโครงสร้างเตาเมื่อได้รับความร้อนครั้งแรกมักเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการพองตัวของอิฐจากการสลายตัวขององค์ประกอบอินทรีย์และน้ำในโครงสร้างดิน นอกจากนี้ยังเกิดจากการได้รับความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการเผาผนึกและการได้รับความร้อนไม่เท่ากันระหว่างเนื้ออิฐด้านในกับด้านนอกเพราะอิฐมีความหนา มากเกินไป องค์ความรู้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคเมื่อได้รับความร้อนจากผิวสู่ภายในเนื้ออิฐ และการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงต่อแรงอัดและลักษณะทางกายภาพของอิฐเมื่อถูกเผาซ้ำในสภาวะใช้งานจริงจะเป็นประโยชน์ ต่อพัฒนาอิฐดินดิบทนไฟเพื่อการยืดอายุเตาเผาต่อไป รวมทั้งสูตรอิฐดินที่สามารถคงความแข็งแรงแก่โครงสร้างเตาเผาต่อไป ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของอิฐดินดิบที่ใช้ก่อเตาสูตรดั้งเดิม ที่มีการใช้งานในปัจจุบันเมื่อผ่านการเผาในสภาวะการใช้งานจริง ตัวอย่างอิฐดินดิบเตรียมจากส่วนผสมดินเหนียวแมริม ทราาย และแคลบ โดยใช้อัตราส่วนเช่นเดียวกับอิฐดินดิบที่ใช้ก่อเตา ทำการเผาอิฐในเตาชนิดใช้พื้น เเผาซ้ำสูงสุด 3 รอบ ในแต่ละรอบ นำตัวอย่างอิฐมาทดสอบสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพ พบว่าที่อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ในเตาพื้น เท่ากับ 620°C ค่า ความแข็งแรงเฉลี่ยของอิฐลดลงร้อยละ 42.47 ในการเผาสองรอบแรก แล้วจึงกลับเพิ่มความแข็งแรงขึ้นในรอบที่ 3 ร้อยละ 27.73 เปรียบเทียบกับการเผาครั้งแรก ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของแกนดำและเฟสไมโครโคลนที่บ่งชี้การเกิดกระบวนการ ออกซิเดชันและการเกิดเนื้อแก้วของส่วนผสมเนื้อดินเกิดเพิ่มขึ้นจากผิวด้านนอกของอิฐสู่ด้านใน

คำสำคัญ: อิฐดินดิบ เตาเผา เครื่องปั้นดินเผา แกนดำ

การอ้างอิงบทความ: อภิรัฐ อธิภาวิเศษพงษ์ ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ สิริพรรณ นิลไพรัช และ นิธิวัชร นวอัครฐานันท์, “ผลของการเผาซ้ำต่อสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของอิฐดินดิบทนไฟที่ใช้ก่อเตาเผาเซรามิกชนิดใช้พื้นทางเดินลมร้อนลง,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, หน้า 71-79, ม.ค.-มี.ค. 2563.



Effect of Repeated Firings on Mechanical and Physical Properties of Unfired Refractory Clay Brick Used as Downdraft Wood Fired Kiln Structure

Apirat Theerapapvisetpong* and Thanakorn Wasanapiarnpong

Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Siriphan Nilpairach and Nithiwach Nawaukkaratharnant

Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 2218 5549, E-mail: apirat.t@chula.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.09.008

Received 30 April 2019; Revised 28 June 2019; Accepted 9 July 2019; Published online: 24 September 2019

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

A downdraft wood fired kiln for local pottery production are usually made of unfired refractory clay bricks found various area. When unfired clay bricks as a kiln structure were heated in the first operation, the broken problem usually be found. The organic matter and structural water in the brick were removed between firing, consequently, gave the fired body with weak porous structure. Furthermore, the maximum firing temperature is not high enough to reach the sintering process and the thickness of the brick gives high temperature gradient inside the brick body. The knowledge of microstructure developed by heat transfer from the surface into the body of the brick, which was subjected to fire under real operation condition from green body, will fulfill the development of unfired refractory clay brick to extend the lifetimes of the kiln. The aim of this work is to study the difference of the compressive strength and physical characterization of the brick after fired under real conditions. The brick samples were prepared from the mixture of Mae Rim pottery clay, sand, and rice husk by using the same formula to the common unfired refractory clay brick. The samples were then fired up to 3 times in a downdraft wood fired kiln with common firing schedule for pottery product. The results found that the maximum measured temperature inside the kiln was 620°C. The average compressive strengths of the brick samples after fired in the first and second time was decreased by 42.47%. In contrast the higher average compressive strength was obtained from the third firing bricks which increased by 27.73% compare to the first firing. This increased strength is correlated with the reduction of the black core area and disappearing of microcline crystalline phase to form vitreous phase inside of the brick body.

Keywords: Unfired Refractory Clay Brick, Kiln, Pottery, Black Core

Please cite this article as: A. Theerapapvisetpong, T. Wasanapiarnpong, S. Nilpairach, and N. Nawaukkaratharnant, "Effect of repeated firings on mechanical and physical properties of unfired refractory clay brick used as downdraft wood fired kiln structure," *The Journal of KMUTNB*, vol. 30, no. 1, pp. 71–79, Jan.–Mar. 2020 (in Thai).

1. บทนำ

การผลิตเครื่องปั้นดินเผาของชุมชนบ้านกวนเป็นวิสาหกิจชุมชนที่เป็นแหล่งรายได้ของสมาชิกชุมชน ผลิตภัณฑ์ OTOP อาทิ กระจ่าง เครื่องปั้นดินเผาตกแต่งสวน ของที่ระลึก ที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของจังหวัดเชียงใหม่ การผลิตในกลุ่มสมาชิกส่วนใหญ่เป็นการถ่ายทอดความรู้และเทคนิคการผลิตในครอบครัวหรือคนในชุมชน กระบวนการผลิตประกอบด้วย การเตรียมเนื้อดินจากแหล่งดินใกล้เคียง มีการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน การตากแห้ง การแต่งผิว และการเผากลางแจ้งที่เรียกว่า “เผาตาด” โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง วิธีการเผาแบบนี้มีข้อจำกัดคือ การควบคุมความร้อนทำได้ยาก มีการสูญเสียความร้อนสูง ผลิตภัณฑ์ได้รับอุณหภูมิต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ คุณภาพไม่มีความสม่ำเสมอ มีการเสียหายหลังเผาสูง มีปัญหาฝุ่นควันระดับต่ำซึ่งรบกวนต่อการดำรงชีวิตของคนในชุมชน อีกทั้งปัจจุบันแกลบขาดแคลนและมีราคาแพงขึ้น ดังนั้นผู้ประกอบการจึงต้องหันมาใช้เตาเผาเพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดเขม่าที่เกิดจากกระบวนการเผา ช่วยลดการสูญเสียความร้อนในขณะเผาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งลดปัญหาขาดแคลนเชื้อเพลิง

การควบคุมความร้อนในเตานอกจากเป็นผลจากการออกแบบเตาที่ดีแล้ว ยังเกิดจากคุณภาพของอิฐทนไฟที่ใช้ก่อเตาที่เนื่องจากความร้อนที่สูญเสีย มาจากการเก็บความร้อนไว้ที่ผนังเตา การลดปัญหาดังกล่าวต้องใช้อิฐทนไฟที่มีความเป็นฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยอุณหภูมิบริเวณผนังเตาภายนอกต้องมีอุณหภูมิต่ำ [1]

สำหรับอิฐทนไฟส่วนใหญ่นิยมใช้ในการก่อเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาแบบใช้ฟืน คือ อิฐดินดิบทนไฟ ซึ่งนิยมทำจากวัตถุดิบในท้องถิ่น ประกอบด้วย ดินเหนียว ทราย และแกลบ นำมาหมักผสมกัน หลังจากนั้นผสมด้วยมือหรือเครื่องกวน แล้วขึ้นรูปอิฐโดยการอัดเนื้อดินผสมลงแบบพิมพ์ไม้รูปทรงสี่เหลี่ยมทำการตากแห้ง จากนั้นนำใช้ก่อเตา อิฐก่อเตาจะสุกตัวไปพร้อมกับการเผาผลิตภัณฑ์ ข้อดีของการใช้อิฐดินดิบคือ ต้นทุนต่ำ และสามารถทำได้ด้วยตนเอง การพัฒนาความรู้และเทคโนโลยีการผลิตอิฐทนไฟด้วยดินเหนียวท้องถิ่นได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยที่ผ่านมา Nithiwach [2]

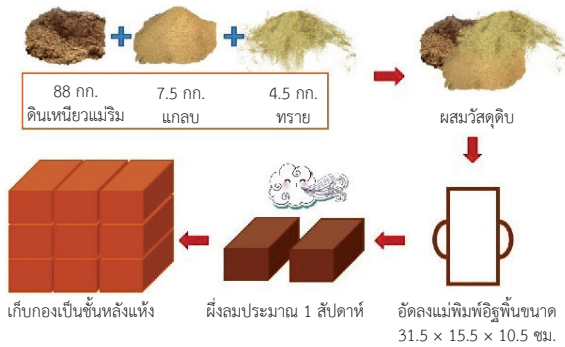
ได้พัฒนาสูตรอิฐทนไฟทนไฟสำหรับใช้ในการก่อสร้างเตามังกร โดยใช้ดินแดงราชบุรีร้อยละ 25 ดินเหลืองปราจีนร้อยละ 35 และวัสดุอื่นๆ เป็นส่วนผสม พบว่า ได้อิฐทนไฟที่มีค่าความแข็งแรง (338 กก./ซม.²) สูงกว่าอิฐทนไฟในทางการค้า และประกอบด้วยเฟสผลึกของมัลไลต์ ควอตซ์ คริสโตบาไลต์ และคอร์รันดัม เมื่อเผาที่ 1400°C Nilpairach และคณะ [3] ได้ใช้ดินแดงราชบุรี แกลบ และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในเตรียมอิฐฉนวนทนไฟ ได้หลังเผาที่ 1400°C ได้ค่าความแข็งแรง 25 เมกะปาสกาล ประกอบด้วยเฟสผลึก มัลไลต์ ควอตซ์ คริสโตบาไลต์ และคอร์รันดัม ในงานของ Sathitpanawong และ Krajangyao [4] ได้นำดินบางปะหัน พระนครศรีอยุธยา มาพัฒนาอิฐทนไฟใช้งานที่อุณหภูมิ พบว่า ได้ค่าความแข็งแรง 61.35 กก./ซม.²

อย่างไรก็ตาม การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอิฐดินดิบที่ใช้ก่อเตาเผาเมื่อถูกใช้งานจริงยังไม่มีการศึกษาทางวิทยาศาสตร์อย่างจริงจัง โดยเฉพาะการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอิฐดินดิบทนไฟหลังการเผาซ้ำใน “เตาเผาเซรามิกทางเดินลมร้อนลง” ซึ่งใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของจำนวนรอบการเผาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรง สมบัติทางกายภาพ และเฟสของเนื้ออิฐดินดิบทนไฟ โดยการนำตัวอย่างอิฐเผาในเตาเผาเซรามิกทางเดินลมร้อนลง ซึ่งใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในสภาวะเดียวกับการใช้งานจริง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการนำไปพัฒนาอิฐดินดิบทนไฟคุณภาพสูงสำหรับเตาเผาเครื่องปั้นดินเผา และใช้ในการก่อเตาเผาชนิดอื่นๆ อาทิ เตาเผาขยะชุมชน ในอนาคตต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักในการทำอิฐ ได้แก่ ดินเหนียวแอมริม ถูกนำมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ (XRF) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น ZSX Primus III+ ศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ยี่ห้อ Philips รุ่น XL30CP นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของดินเหนียวแอมริมและแกลบ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมอิฐดินดิบ

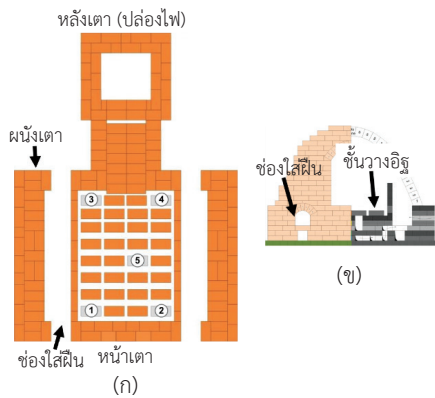
ด้วยเครื่อง STA ยี่ห้อ NETZSCH รุ่น STA 2500 Regulus

2.2 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูปเนื้ออิฐดินดิบทนไฟ

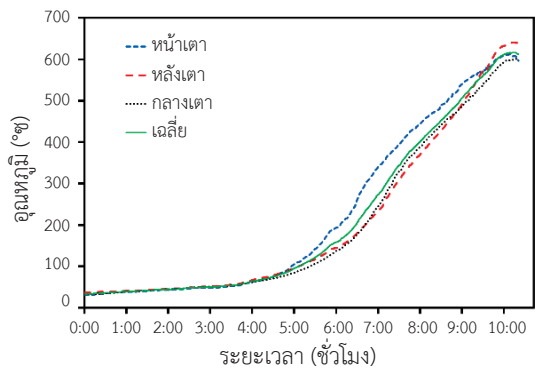
ขั้นตอนการเตรียมอิฐดินดิบแสดงดังรูปที่ 1 โดยมีส่วนผสมคือดินเหนียวแรมรี่ร้อยละ 88 โดยน้ำหนัก โดยเนื้อดินมีปริมาณกากค้างสะสมบนตะแกรงขนาด 149, 74 และ 44 ไมครอน ร้อยละ 4.85, 2.45 และ 2.68 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แกลบแห้ง (แกลบข้าวพื้นเมือง อ.หางดง จ.เชียงใหม่) ร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก และทราย (ทรายแม่น้ำสำหรับงานก่อสร้างผ่านตะแกรงร่อนขนาด 500 ไมครอน) ร้อยละ 4.5 โดยน้ำหนัก นำวัตถุดิบมาควนผสมจนมีเนื้อเข้ากันสม่ำเสมอในถังกวน โดยเติมน้ำปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง หลังจากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ไม้ขนาด 30 x 6 x 10 ซม.³ โดยใช้แรงมืออัดดินลงบนพิมพ์ที่วางบนแผ่นไม้พื้นเรียบเพื่อช่วยลดการโก่งงอของอิฐ นำอิฐออกจากแม่พิมพ์และนำไปวางผึ่งในที่ร่มประมาณ 2-3 วัน หลังจากนั้นนำไปตากแดดจนแห้งโดยใช้เวลาประมาณ 7 วัน

2.3 การเผาอิฐดินดิบในเตา

นำอิฐดินดิบที่ตากแห้งแล้วจำนวนทั้งหมด 15 ก้อน วางภายในเตาดำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) ซ้อนทับกันตำแหน่งละ 3 ก้อน ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล 3 ตำแหน่งในเตา ได้แก่ ตำแหน่งใกล้พื้นเตาบริเวณด้านหน้าตรงกลางเตา และหลังเตา การเผาอิฐดินดิบทนไฟจะเผาทั้งหมด 3 รอบ ตามรอบการเผาผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการ



รูปที่ 2 (ก) ตำแหน่งการวางอิฐดินดิบทนไฟที่ใช้ในการทดสอบระบุด้วยตัวเลข 1-5 ในวงกลม และ (ข) ลักษณะเตามุมมองด้านหน้า



รูปที่ 3 อุณหภูมิในเตาเผาที่วัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลตำแหน่งต่างๆ ในการเผาผลิตภัณฑ์

ใช้เวลาการเผาประมาณรอบละ 9-10 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มใส่พื้นจนหยุดการใส่พื้น ซึ่งลักษณะของการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งวัดอุณหภูมิสูงสุดได้ประมาณ 620°ซ และมีระยะเวลาเย็นไฟประมาณ 30 นาที หลังจากการเผาแต่ละรอบจะชักอิฐออกจากเตาดำแหน่งละ 1 ก้อน เพื่อนำมาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

2.4 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติอิฐหลังเผา

ตัวอย่างอิฐหลังเผาแต่ละรอบจะถูกนำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดด้วยเครื่อง UTM ยี่ห้อ Instron รุ่น 5567 โดยใช้ตัวอย่างอิฐจำนวน 4 ก้อน ต่อบรอบการเผา

อภิรัฐ อธิภาวิเศษพงษ์ และคณะ, “ผลของการเผาซ้ำต่อสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของอิฐดินดิบทนไฟที่ใช้ก่อเตาเผาเซรามิกชนิดใช้พื้นทางเดินรถร้อนลง.”

ตรวจสอบลักษณะภายในภาคตัดขวางของเนื้ออิฐ ซึ่งเตรียมตัวอย่างโดยการตัดด้วยเลื่อย ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ และเลือกเก็บตัวอย่างเนื้ออิฐแต่ละจุดตั้งแต่ผิวนอกจนถึงแกนกลางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่หรือเฟสด้วยเทคนิค XRD และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องมือยี่ห้อ Hitachi รุ่น SU3500

3. ผลการวิจัย

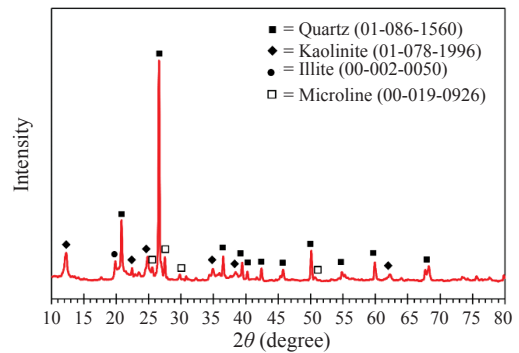
3.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุดิบ

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวแมริมด้วยเทคนิค XRF แสดงดังตารางที่ 1 พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 มากถึงร้อยละ 59.98 โดยน้ำหนัก และ Al_2O_3 ร้อยละ 21.61 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบ Fe_2O_3 ร้อยละ 6.33 โดยน้ำหนัก K_2O , TiO_2 , CaO , Mn_2O_3 และ ZrO_2 ปริมาณรวมกันร้อยละ 4.37 โดยน้ำหนัก และมีค่าการสูญเสียน้ำหนัก (LOI) ร้อยละ 7.71 โดยน้ำหนัก จากสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง Al_2O_3 ต่อ SiO_2 ในเนื้อดินมีค่าประมาณ 0.36 ส่งผลให้เนื้อดินมีอุณหภูมิสุกตัวสูงขึ้น และสามารถใช้งานเป็นวัสดุทนไฟที่อุณหภูมิประมาณ 1150°C ตามผลจากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าดินผสมที่มีอัตราส่วนระหว่าง Al_2O_3 ต่อ SiO_2 เท่ากับ 0.30 มีอุณหภูมิสุกตัวที่ 1150°C [5]

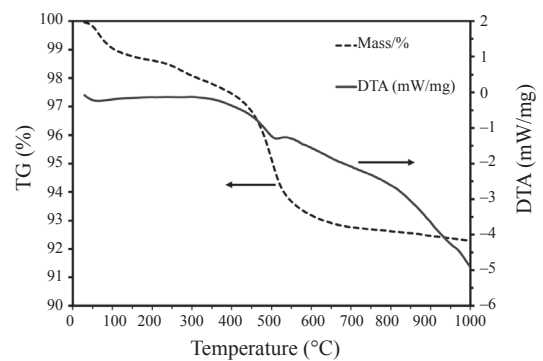
ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวแมริมด้วยเทคนิค XRF

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Al_2O_3	21.61
SiO_2	59.98
K_2O	2.29
CaO	0.33
TiO_2	1.65
Mn_2O_3	0.05
Fe_2O_3	6.33
ZrO_2	0.05
LOI	7.71

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเฟสผลึกด้วยเทคนิค XRD ของดินเหนียวแมริมแสดงดังรูปที่ 4 พบว่ามีองค์ประกอบหลัก



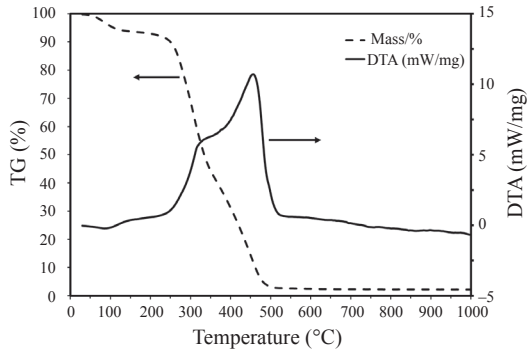
รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของดินเหนียวแมริม



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของดินเหนียวแมริม ด้วยเทคนิค DTA/TG

เป็นควอตซ์ (Quartz) และมีเคโอลิไนต์ (Kaolinite) อิลไลต์ (Illite) และไมโครไคลน์ (Microcline) เป็นองค์ประกอบรอง ซึ่งการมีผลึกแร่ไมโครไคลน์ผสมอยู่ในดินนี้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดเนื้อแก้วระหว่างการเผาเมื่ออุณหภูมิสูงพอช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวของเนื้อดินลง [6]

เมื่อพิจารณาสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (DTA) ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (TG) ด้วยเครื่อง STA ในรูปที่ 5 พบว่าดินเหนียวแมริมเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิประมาณ $50-100^\circ\text{C}$ ปฏิกิริยาการสูญเสียน้ำในโครงสร้างผลึก (Dehydroxylation Reaction) และการสลายตัวของสารประกอบคาร์บอนเนตในเนื้อดินเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน โดยสังเกตได้จากพีค DTA แสดงปฏิกิริยาดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 508°C และสอดคล้องกับ

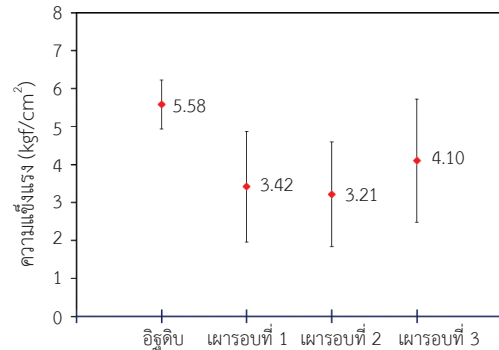


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของ แกลบ ด้วยเทคนิค DTA/TG

กราฟ TG แสดงช่วงที่มีการสูญเสียน้ำหนักสูงถึงร้อยละ 4 ในช่วงช่วงอุณหภูมิ 452–547°ซ ในขณะที่ยังมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนดังจะเห็นได้จากกราฟ DTA มีเส้นโค้งของปฏิกิริยาคายความร้อนช่วงอุณหภูมิ 275–497°ซ ในช่วงดังกล่าวมีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 86.64 (รูปที่ 6)

3.2 สมบัติเชิงกลและกายภาพของอิฐเมื่อผ่านการเผา

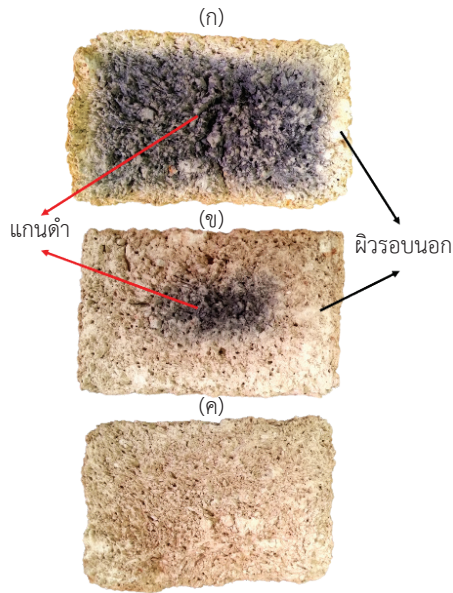
รูปที่ 7 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของตัวอย่างอิฐดินดิบก่อนเผาและหลังผ่านการเผาทั้ง 3 รอบ พบว่าอิฐดินดิบก่อนเผามีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดเฉลี่ย 5.58 กก./ซม.² (sd = 0.64) เมื่อผ่านการเผารอบที่ 1 ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยลดลงเป็น 3.42 กก./ซม.² (sd = 1.46) และเมื่อผ่านการเผารอบที่ 2 มีความแข็งแรงเฉลี่ยต่ำลงอีกเป็น 3.21 กก./ซม.² (sd = 1.38) ซึ่งลดลงจากอิฐดินดิบก่อนเผาร้อยละ 42.47 แต่เมื่ออิฐถูกเผารอบที่ 3 พบว่าค่าความแข็งแรงเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 4.10 กก./ซม.² (sd = 1.62) คิดเป็นร้อยละ 27.73 เมื่อเทียบกับอิฐหลังผ่านการเผารอบที่ 2 แต่ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนัก สังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจากธรรมชาติของอิฐดินดิบที่มีเนื้อไม่สม่ำเสมอ มีส่วนประกอบของแกลบที่มีอนุภาคขนาดค่อนข้างโต ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในช่วงการเผาสองรอบแรกเกิดการเผาไหม้ของแกลบและทิ้งรูลงไว้ภายในเนื้ออิฐ ใน



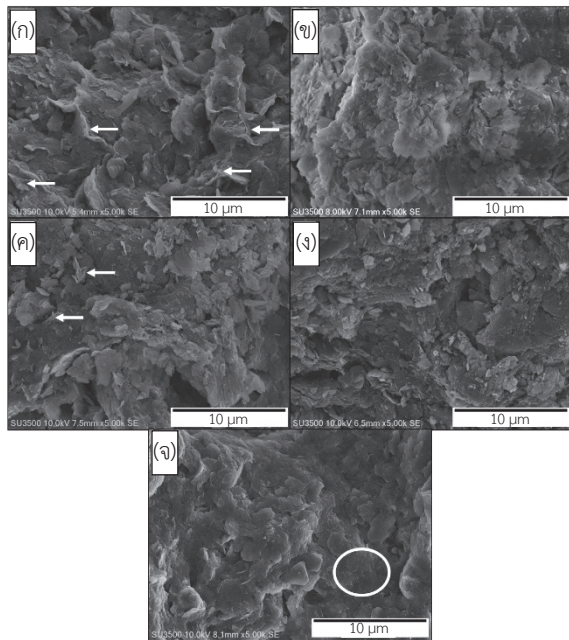
รูปที่ 7 ความแข็งแรงต่อแรงอัดของอิฐก่อนและหลังเผาทั้ง 3 รอบ

ขณะที่การสุกตัวของเนื้ออิฐยังเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งเห็นได้ชัดเจนเมื่อพิจารณาประกอบกับรูปตัดขวางของก้อนอิฐในรูปที่ 8 ที่สองรอบการเผาแรกยังคงเหลือบริเวณที่เป็นแกนดำ (Black Core) แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ของแกลบและสารอินทรีย์ในเนื้ออิฐยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการแพร่กระจายของความร้อนและอุณหภูมิจากภายนอกสู่ด้านในของเนื้ออิฐเพราะอิฐมีความพรุนตัวและมีความเป็นฉนวนความร้อน รวมถึงผลของการแพร่ของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ภายในก้อนอิฐได้น้อย ส่งผลให้การเผาไหม้ของแกลบไม่สมบูรณ์ [7] ส่งผลให้ความแข็งแรงของก้อนอิฐหลังเผารอบที่ 1 และ 2 มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อก้อนอิฐผ่านการเผาในรอบที่ 3 ก้อนอิฐมีความแข็งแรงมากขึ้นเนื่องจากเนื้ออิฐเกิดการเผาไหม้ที่สุกตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จากค่าความแข็งแรงหลังเผาทั้ง 3 รอบ ยังเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่าอิฐก่อนเผาซึ่งเกิดจากอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ไม่สูงพอที่จะทำให้อิฐเกิดการสุกตัว [8] รวมทั้งระยะเวลาการยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุดค่อนข้างสั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเตาเผาชนิดนี้ แต่จากแนวโน้มที่ได้ทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่าความแข็งแรงของอิฐสามารถสูงขึ้นได้เมื่อเผาจำนวนรอบมากขึ้น

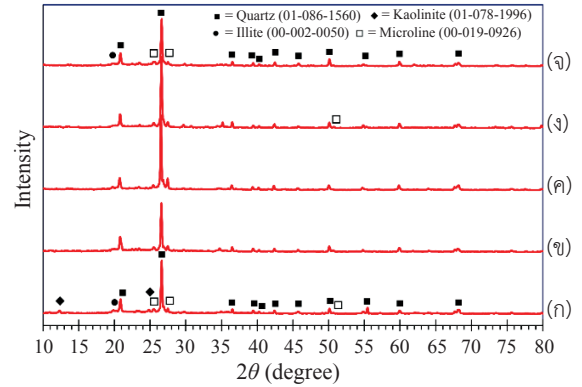
ผลวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของอิฐหลังเผาทั้ง 3 รอบ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงดังรูปที่ 9 โดยรูป (ก) และ (ข) เป็นรูปของอิฐหลังเผารอบที่ 1 บริเวณ Black Core และผิวรอบนอก ตามลำดับ รูป (ค) และ (ง) เป็นรูปของอิฐหลังเผารอบที่ 2 บริเวณ Black Core และผิวรอบนอก ส่วนรูป (จ)



รูปที่ 8 รูปตัดขวางของอิฐหลังเผา (ก) รอบที่ 1 (ข) รอบที่ 2 (ค) รอบที่ 3



รูปที่ 9 โครงสร้างทางจุลภาคของอิฐหลังเผา (ก) รอบที่ 1 บริเวณ Black Core (ข) รอบที่ 1 บริเวณผิวรอบนอก (ค) รอบที่ 2 บริเวณ Black Core (ง) รอบที่ 2 บริเวณผิวรอบนอก (จ) รอบที่ 3 บริเวณผิวรอบนอก



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์เฟสผลึกด้วยเทคนิค XRD ของอิฐหลังเผา (ก) รอบที่ 1 บริเวณ Black Core (ข) รอบที่ 1 บริเวณผิวรอบนอก (ค) รอบที่ 2 บริเวณ Black Core (ง) รอบที่ 2 บริเวณผิวรอบนอก (จ) รอบที่ 3

เป็นรูปของอิฐหลังเผารอบที่ 3 บริเวณผิวรอบนอก จากรูปพบว่าบริเวณ Black Core มีความแตกต่างกับผิวรอบนอกอย่างชัดเจน โดยพบว่ามีส่วนของคาร์บอนซึ่งหลงเหลือจากแกลบที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เห็นได้ในรูป (ก) และ (ค) ดังลูกศร ซึ่งไม่พบในบริเวณผิวรอบนอก รูป (ข) และ (ง) และไม่พบในอิฐหลังเผารอบที่ 3 รูป (จ) นอกจากนั้นยังพบว่าบริเวณผิวรอบนอกยังมีเนื้อที่แน่นกว่าบริเวณ Black Core เนื่องจากการได้รับความร้อนที่มากกว่าจึงส่งผลให้เกิดการสุกตัวของเนื้ออิฐที่มากกว่า และเห็นได้อย่างชัดเจนมากที่สุด ในอิฐหลังเผารอบที่ 3 ซึ่งพบว่าเนื้ออิฐเกิดการยึดเกาะกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับบริเวณผิวรอบนอกของอิฐหลังเผารอบที่ 1 และ 2 แสดงดังบริเวณวงกลมในรูป (จ) ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของอิฐหลังเผาทั้ง 3 รอบ แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบการเผาอิฐส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคได้อย่างมีนัยสำคัญ

ผลวิเคราะห์เฟสผลึกของอิฐหลังเผาทั้ง 3 รอบ แสดงดังรูปที่ 10 โดย (ก) และ (ข) เป็นผลของอิฐหลังเผารอบที่ 1 บริเวณ Black Core และผิวรอบนอก ตามลำดับ (ค) และ (ง) เป็นผลของอิฐหลังเผารอบที่ 2 บริเวณ Black Core และผิวรอบนอก ส่วน (จ) เป็นผลของอิฐหลังเผารอบที่ 3 บริเวณผิวรอบนอก พบว่าเฟสผลึกหลักของอิฐหลังเผายังคงเป็น

ควอตซ์ ส่วนเฟสผลึกรองคือไมโครโคลนและอิลไลต์ แต่เมื่อพิจารณาส่วน Black Core ของอิฐที่ผ่านการเผา 1 รอบ พบว่ายังมีเฟสผลึกเคโอลินต์หลงเหลืออยู่แต่ไม่พบในผลวิเคราะห์ของอิฐอื่นๆ เนื่องจากการเกิดการสูญเสียในโครงสร้างและเปลี่ยนเป็นโครงสร้างอสัญฐานของเคโอลินต์ยังไม่สมบูรณ์ [9] เมื่อเปรียบเทียบเฟสผลึกของอิฐบริเวณผิวรอบนอก จะเห็นได้ชัดเจนว่าการเผารอบที่ 3 ส่งผลให้เฟสไมโครโคลนลดลงเนื่องจากความร้อนในการเผาอิฐรอบที่ 3 สามารถแพร่ผ่าน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างบริเวณผิวรอบนอก และ Black Core ของอิฐหลังเผารอบที่ 1 พบว่าผิวรอบนอกไม่พบเฟสผลึกของเคโอลินต์แต่ยังพบในบริเวณ Black Core จึงสามารถยืนยันได้ว่าอุณหภูมิของทั้ง 2 บริเวณ แตกต่างกันเนื่องจากความร้อนที่แพร่ผ่านจากภายนอกอิฐเข้าสู่ส่วนกลางก้อนอิฐยังไม่มากพอในการเผารอบที่ 1 ถึงแม้ว่าในอิฐหลังเผา รอบที่ 2 ยังคงพบส่วนของ Black Core อยู่ แต่เมื่อพิจารณาเฟสผลึกกลับไม่พบเคโอลินต์ ซึ่งเป็นไปได้ว่าในการเผารอบที่ 2 ความร้อนสามารถแพร่ผ่านจากภายนอกอิฐเข้าสู่ส่วนกลางก้อนอิฐได้มากขึ้น

4. สรุป

ดินเหนียวแมริมเป็นดินเนื้อละเอียด มีกาหยาบปนน้อย ค่อนข้างทนไฟ เมื่อนำมาผลิตอิฐดินดิบสำหรับก่อเตา ด้วยการผลิตผสมกับแกลบ และทราย นำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ไม้ด้วยมือ หลังการนำไปเผาซ้ำ จำนวน 3 รอบ ในเตาเผาเซรามิกทางดิน ลมร้อนลง พบว่า แกนดำที่เกิดจากสภาวะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ในเนื้ออิฐหลังเผา มีขนาดลดลงตามจำนวนรอบการเผา และหายไปหมดเมื่อผ่านการเผาซ้ำในรอบที่ 3 การสุกตัวของเนื้ออิฐ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากผิวนอกสุดเข้าไปในเนื้อด้านใน โดยสังเกตจากเฟสผลึกของไมโครโคลนลดลงอย่างชัดเจน รวมทั้งความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น โดยความแข็งแรงของอิฐลดลงร้อยละ 42.47 ภายหลังจากการเผาสองรอบแรกเมื่อเทียบกับค่าความแข็งแรงของอิฐดิบ และเมื่อเผาซ้ำในรอบที่ 3 ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 27.73 ของค่าความแข็งแรงของการเผารอบที่ 2

ผลการศึกษาสามารถนำไปสู่การปรับปรุงการออกแบบอิฐและการจัดเรียงอิฐ เช่น การลดความหนาของอิฐลง

จะช่วยให้ความร้อนและอากาศแพร่เข้าสู่เนื้ออิฐได้มากขึ้น และทำให้อิฐมีความแข็งแรงสูงสุดได้หลังเผาตามอุณหภูมิใช้งานในการเผาจริงเพียงครั้งเดียว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก “โครงการแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาฯ สร้างเสริมพลังจุฬาฯ ก้าวสู่ศตวรรษที่ 2”

เอกสารอ้างอิง

- [1] O. B. Gol'tsova, V. S. Klekovkin, O. B. Nagovitsin, and S. V. Antonychev, “Heat losses in a tunnel kiln for brick firing,” *Glass and Ceramics*, vol. 63, pp. 127–129, 2006.
- [2] N. Nawaukaratharnant, “Development of refractory brick for the dragon kiln,” *Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University, Ratchaburi Technical College*, 2019 (in Thai).
- [3] S. Nilpairach, A. Watchaikun, K. Panyawatcharakom, T. Wasanapiampong, and N. Jiraborvornpongsa, “Effect of aluminum hydroxide addition on properties of fired refractory clay brick,” *Key Engineering Materials*, vol. 766, pp. 300–304, 2018.
- [4] L. Sathitpanawong and A. Krajangyao, “Development refractory brick 1,300 degrees celsius from local clay,” *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, vol. 4, pp. 112–121, 2012.
- [5] A. Theerapapvisetpong and S. Nilpairach, “Development of low water absorption terracotta roof tile from local pottery clay and soda lime glass cullet,” *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 29, no. 2, pp. 314–320, 2019.
- [6] D. Njoya, F. S. Tadjuidje, E. J. A. Ndzana, A.



- Pountouonchi, N. Tessier-Doyen, and G. Lecomte-Nana, "Effect of flux content and heating rate on the microstructure and technological properties of Mayouom (Western-Cameroon) kaolinite clay based ceramics," *Journal of Asian Ceramic Societies*, vol. 5, no. 4, pp. 422-426, 2017.
- [7] M. Šveda, R. Sokolář, B. Janik, and Z. Štefunková, "Reducing CO₂ emissions in the production of porous fired clay bricks," *Materials Science*, vol. 23, no. 2, pp. 139-143, 2017.
- [8] E. J. Ibanga and A. D. Ahmed, "Influence of particle size and firing temperature on burnt properties of rice/clay mix," *Pacific Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 267-271, 2007.
- [9] R. E. Grim, *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book, 1962.