

การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำดินหล่อจากดินเลนในบ่อดักตะกอน ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

The preparation and property study of clay slip from sedimentation pond muddy clay of Mae Moh mine for ceramic production

สุชีวัน อินทุง^{1*}, พงษ์ชนะ ชุตินา², ชุมพล บุศบก³ และสุทธิเทพ รอมยเวศม์⁴

Sucheewan Inthung^{1*}, Pongchana chutima², Chumphol Busabok³ and Suttitthep Rommayawes⁴

^{1,2}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 202 ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

โทร 0832060531 E-mail Sucheewan_nab@cmru.ac.th

³สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 เทคโนโลยีธานี ถนนเลียบคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

^{1,2*}Faculty of science and Technology Chiang Mai Rajabhat University

202 Chang Puak road., Tambon Chang Puak , Maung, Chiangmai 50300

³Thailand Institute of Scientific and Technological Research

35 Technopolis, Tambon Khlong Ha, Amphoe Khlong Luang, Pathum Thani 12120

⁴Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 239 Huay Kaew Road, Suthep, Mueang, Chiang Mai 50200, Thailand.

วันที่รับบทความ 11 พฤศจิกายน 2568

Received: Nov. 11, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2568

Revised: Dec. 20, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 22 ธันวาคม 2568

Accepted: Dec. 22, 2025

บทคัดย่อ

การพัฒนาบน้ำดินหล่อเพื่อทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้ดินเลนจากบ่อดักตะกอน
ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ผสมกับดินขาวลำปางในอัตราส่วนดินเลนร้อยละ 30 และดินขาว
ลำปางร้อยละ 70 และใช้สารโซเดียมซิลิเกตเป็นสารช่วยกระจายตัวปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก
จากผลการวิเคราะห์ดินเลนด้วย XRD พบว่า ดินเลนประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ และกาเลสินต์
และมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_5 และ SO_3
หลังจากเตรียมน้ำดินแล้ว จึงทำการทดสอบน้ำสลัดดินพบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.67
มีอัตราการไหลตัว 15 วินาทีต่อปริมาตร 300 มิลลิเมตร จากนั้นทำการหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแท่งทดสอบ
แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C เพื่อทดสอบความทนไฟ พบว่า ชิ้นงานสามารถทนไฟ
ได้ถึง 1250 °C มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 23.53 MPa มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.47 และหดตัวหลัง
เผาร้อยละ 10 จากนั้นทำการทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถ้วยขนาดเล็กที่มีลวดลายที่ผิวภายนอก
โดยหลังการขึ้นรูปแล้วทำการเผาปิ้งที่อุณหภูมิ 750 °C จากนั้นทำการเคลือบใส แล้วนำไปเผาที่
อุณหภูมิ 1250 °C พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อเนียน มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ รูปทรงมาตรฐาน
ไม่มีการบิดเบี้ยว

คำสำคัญ: ดินเลน, น้ำสลัดดิน, ผลิตภัณฑ์เซรามิก

Abstract

The aim of this study was to analyze the development of clay slip for trial ceramic production using mud from the settling pond at the Mae Moh mine in Lampang Province mixed with Lampang white clay in a ratio of 30% muddy clay and 70% Lampang white clay, using sodium silicate as the dispersing agent (0.2% by weight). The result of XRD analysis showed the muddy clay was composed of quartz, muscovite, and kaolinite and had a chemical composition of SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_5 and SO_3 . After preparing the clay slip, slip tests were performed. The clay slip was found to have a specific gravity of 1.67 m/s^3 , with a flow rate of 15 seconds per volume of 300 milliliters. Next it was molded into test pieces and fired at temperatures of 1100, 1200 and 1250 °C to test for fire resistance. It was found that the pieces showed fire resistance up to 1250 °C and had strength of 23.53 MPa. The pieces had a water absorption of 2.47% and shrinkage after burning of 10%. Then experiments were carried out to form a small cup product with patterns on the outside surface. After shaping, the biscuits were fired at 750 °C, followed by a clear glaze and fired again at 1250°C. The resulting product was found to have a smooth texture, light brown color, even surface, standard shape, and no distortions.

Keywords: Muddy Clay, Clay Slip, Ceramic Production

1. บทนำ

จากปัญหาปริมาณดินเลนในบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่ จังหวัดลำปาง ที่เป็นผลจากกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ที่มีปริมาณสะสมมากถึงประมาณปีละ 1 แสนลูกบาศก์เมตร ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะปี 2562 ส่งผลให้เกิดปัญหาในการจัดการดินตะกอนเหล่านี้ ทั้งงบประมาณที่ค่อนข้างสูง และต้องใช้เวลาอันจะทำให้การตัดสินใจออกทั้งบ่อ จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำดินเลนมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกพบว่า ดินเลนสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดเอร์ทเทินแวร์หรือเทอราคอตต้าได้ โดยใช้การขึ้นรูปแบบจิกเกอร์ และแป้นหมุนเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C (Inthung et al., 2022) แต่เนื่องจากการนำเอาดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะขึ้นมานั้นต้องใช้ต้นทุนในการใช้เครื่องจักรใหญ่ในการขุดเจาะ ซึ่งจะเหมือนกับการทำเหมืองดิน ดังนั้นการจะนำเอาดินเลนมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกอาจจะต้องผลิตในปริมาณมากในระดับโรงงานอุตสาหกรรมจึงจะมีโอกาสที่จะคุ้มทุน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทดลองนำดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะมาผลิตเป็นน้ำดินหล่อ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกได้ปริมาณมากและรวดเร็ว โดยได้นำดินเลนจากบ่อดักตะกอนในบ่อดักตะกอนที่มีความลึกประมาณ 15 เมตร มีพื้นที่ของบ่อเท่ากับ 42,890 ตร.ม. ข้อมูลล่าสุดปี 2563 ของ กฟผ.

กระบวนการในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้วิธีการเตรียมน้ำสลัดดินทำได้โดยการเตรียมวัตถุดิบผงเซรามิก สารตัวเติมต่าง ๆ ในกรณีนี้คือ ดินขาวลำปาง และสารช่วยการกระจายตัว

แล้วเติมน้ำในปริมาณที่เหมาะสม แล้วนำมาปั่นรวมกันให้เป็นน้ำดิน จากนั้นจึงนำน้ำดินเทลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ (Goswami et al., 2022) (Ajiboye. et al., 2023) ร่องจนน้ำถูกดูดเข้าไปในปูนปลาสเตอร์ด้วยระบบกลไกของ capillary action จนเหลือแต่ชั้นของดินที่อาจจะแยกตามขนาดของอนุภาคได้ เช่น กรณีของการวิจัยการเตรียมน้ำดินจากเถ้าลอย (fly ash) ที่พบว่า อนุภาคขนาดใหญ่จะอยู่ชั้นล่างสุด และอนุภาคขนาดเล็กละเอียดจะอยู่ชั้นบน จากนั้นปล่อยให้ดินแห้งจึงทำการแกะดินที่เกาะอยู่ที่โมลออกมาเป็นรูปร่างของโมลนั้น ๆ (Goswami et al., 2022) ปกติดินที่นำมาทำเป็นน้ำสลিপจะมีส่วนผสมดินขาว และดินเหนียวผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ เช่น การวิจัยการเตรียมน้ำดินหล่อจากดินเผาด่านเกวียน ใช้ดินเหนียวร้อยละ 40 ดินขาวและดินทรายร้อยละ 60 (Duangkhachon et al., 2021)

เนื่องจากดินเหนียวมีอนุภาคที่เล็กละเอียดตกตะกอนได้ยากซึ่งส่งผลต่อค่าความหนืดและอัตราการไหลตัวของน้ำดิน ดังนั้นจึงมักจะเติมดินขาวหรือดินทรายที่มีเม็ดอนุภาคขนาดใหญ่กว่าลงไปเพื่อปรับคุณสมบัติของน้ำดินหล่อให้เหมาะสม (Ajiboye et al., 2023) อีกทั้งดินขาวยังมีส่วนช่วยให้เนื้อดินมีจุดสุกตัวสูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง และสามารถเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงได้เพื่อความสวยงาม ใช้งานง่าย และที่สำคัญปลอดภัยต่อผู้บริโภค

แม้แต่การเตรียมเนื้อดินปั้นก็มักจะเติมดินขาวหรือดินทรายเข้าไปในดินเหนียวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล เชิงความร้อนของเนื้อดิน และเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ตัวอย่างเช่น การเตรียมเนื้อดินปั้นของชุมชนบ้านมะยิง ได้นำดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม ผสมกับดินทราย และขี้เถ้าแกลบในอัตราส่วน 70 : 20 : 10 เพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก (Mahmeen and Kaewdee., 2023)

หรือการเตรียมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินเหนียวหรือดินพื้นบ้านก็มักจะใช้ดินขาวและทรายเป็นตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความทนไฟ ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การใช้ดินขาวร้อยละ 10 ดินบ้านทุ่งหลวงร้อยละ 60 และทรายร้อยละ 30 ได้ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.7 ค่าความแข็งแรง 25.5 MPa มีการหดตัวร้อยละ 9.5 (Phongsaksri and Krutson., 2025)

หรือการศึกษาการใช้ดินขาวร้อยละ 30 และหินเขียวหุนมานร้อยละ 40 ผสมกับดินบัวระเหวร้อยละ 30 พบว่า สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1200 °C เนื้อดินมีความแข็งแรงถึง 42.74 MPa มีการหดตัวร้อยละ 11 และไม่มี การดูดซึมน้ำเลย จากเดิมดินหนองระเหวสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิแค่ 900 °C มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 12.16 มีค่าความแข็งแรง 28.03 MPa มีค่าการหดตัวที่ร้อยละ 9 โดยได้ศึกษาการขึ้นรูปทั้ง 3 รูปแบบ คือ การกด การใช้แป้นหมุน และการหล่อหน้าดิน (Pinthong, 2022) หรือการใช้ดินด่านเกวียนร้อยละ 40 ดินขาวลำปางร้อยละ 20 ทรายด่านเกวียนร้อยละ 40 ในการหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก สามารถเผาที่อุณหภูมิสูง 1200 °C (Duangkhachon, 2021)

กระบวนการเตรียมน้ำดินหล่อจากดินเลนถ้าทำได้ก็จะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานเซรามิก เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งวัตถุดิบที่อยู่ในพื้นที่ โดยเฉพาะจังหวัดลำปาง และเชียงใหม่ที่มีจำนวนโรงงานเซรามิกจำนวนมาก และเพื่อช่วยนำดินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการทำเหมือนลิกไนต์ปริมาณมากเหล่านี้ได้กลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) มีทางเลือกที่จะนำดินมาลงทุน แทนที่จะต้องเสียงบประมาณจำนวนมากเพื่อกำจัดดินตะกอนที่เต็มบ่อดักตะกอนเหล่านี้ออกไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ต้องการพัฒนาเนื้อดินเลนจากเนื้อดินเอร์ทเทินแวร์เป็นเนื้อดินสโตนแวร์ โดยการขึ้นรูปแบบน้ำดินหล่อ

2.2 เพื่อพัฒนาต่อยอดให้ดินเลนที่เหลือทิ้งจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะจังหวัดลำปางสามารถผลิตได้ในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างดินเลน

1) ทำการเก็บตัวอย่างดินเลนจากบ่อดักตะกอนด้านตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นบ่อที่ 2 ในเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีพื้นที่บ่อ 42,890 ตร.ม. และลึก 15 เมตร โดยทำการสูบน้ำตัวอย่างรอบ ๆ บ่อทั้งหมด 10 จุด โดยเปิดหน้าดินลงไป 1 เมตร เพื่อเก็บตัวอย่างดินเลน

2) เตรียมดินตัวอย่างโดยนำตัวอย่างดินเลนแช่น้ำไว้ 1 - 2 วัน แล้วนำไปปั่นในถังปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100, 200 และ 325 เมช จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเก็บดินไว้ เพื่อวิเคราะห์และทดสอบต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์และทดสอบดินเลน

1) นำตัวอย่างดินเลนมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่และเชิงเคมีก่อนเผาด้วยเครื่องรังสีเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน (XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 advance และเครื่องรังสีเอกซเรย์แบบฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ยี่ห้อ Bruker รุ่น S8 Tiger ตามลำดับ

2) การเตรียมน้ำดินหล่อดินเลนโดยจะใช้ดินเลนอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ผสมดินขาวร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก และสารช่วยกระจายตัวได้แก่ โซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วน้ำดินที่ตี ควรมีปริมาณน้ำน้อยที่สุดพอที่จะทำให้การไหลตัวของน้ำดินเหมาะสมต่อการหล่อแบบ โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (Thiamsorn, 2012) จากนั้นผสมให้เข้ากันในถังปั่น

3) ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

4) ทดสอบอัตราการไหลตัวโดยใช้ถ้วยฟอร์ดปริมาตร 300 มิลลิตร แล้วจับเวลาการไหลตัวของน้ำดินจนหมดถ้วยได้ 15 วินาที

5) จากนั้นทำการเทน้ำสลิปดินลงในโมลต์ทดสอบขนาด ยาว 10 ซม. กว้าง 2 ซม. หนา 1 ซม. แล้วตากแห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C แล้วจึงทำการทดสอบการหดตัวก่อนเผา คำนวณร้อยละการหดตัวตามสมการที่ 1 (Thiamsorn, 2012)

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{(\text{ความยาวเริ่มต้น} - \text{ความยาวหลังอบหรือหลังเผา})}{(\text{ความยาวเริ่มต้น})} \times 100 \quad (1)$$

6) ทดสอบความทนไฟโดยทำการเผาแท่งทดสอบดินเลนที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C เป็นเวลา 30 นาที ในเตาไฟฟ้าแบบออกซิเดชัน

7) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่และเชิงเคมีหลังเผา

8) การทดสอบการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C เนื่องจากดินเลนที่ไม่มีวัตถุบดอื่นผสมสามารถทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 1100 °C (Inthung et al., 2022) แต่ในการทดลองนี้ได้เติมดินขาวลำปางลงไป เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเป็นน้ำดินหล่อ และดินขาวลำปางยังช่วยเรื่องของความความแข็งแรง และความทนไฟ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทดลองเผาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ 1200 และ 1250 °C จากนั้นวัดค่าความยาวหลังอบ 110 °C และวัดค่าความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วคำนวณตามสูตรที่ 1

9) ทดสอบการดูดซึมน้ำ หลังการเผา โดยนำแท่งทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C ทั้งหมด 3 แท่ง มาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม) บันทึกข้อมูล จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำแท่งทดสอบที่อมน้ำไปชั่งอีกครั้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของการดูดซึมน้ำ (The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, 2019)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักที่อมน้ำ} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{(\text{น้ำหนักแห้ง})} \times 100 \quad (2)$$

10) ทดสอบมอดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture, MOR) ด้วยเครื่องวัด MOR รุ่น (Instron 2400) ตามมาตรฐาน (JSA-JISR1632) โดยนำแท่งทดสอบดินเลนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C ทั้งหมดจำนวน 3 แท่ง ไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดโค้ง ตามสูตรที่ 3

$$\text{MOR} = \frac{3LD}{2bd^2} \quad (3)$$

โดย L = ค่าน้ำหนักแรงกด

D = ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ

b = ความกว้างของแผ่นทดสอบ

d = ความหนาของแผ่นทดสอบ

11) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสีของเนื้อดินหลังเผา

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการขึ้นรูปน้ำดินหล่อ

1) นำน้ำดินหล่อที่เตรียมได้จากข้อ 2 ขั้นตอนที่ 2 มาทำการหล่อน้ำดินลงในโม่หลนพลาสติก รูปถ้วย

2) ทิ้งไว้จนกระทั่งได้ความหนาของแผ่นสลิตดิน 1 ซม. จากนั้นเทน้ำดินที่เหลือออก แล้วทิ้งไว้ 30 นาที จึงแกะดินออกจากโม่

3) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อน้ำดินทิ้งไว้ให้แห้ง 3 วัน จากนั้นนำไปเผาปิสกิตที่อุณหภูมิ 750 °C ในเตาไฟฟ้าแบบออกซิเดชั่น

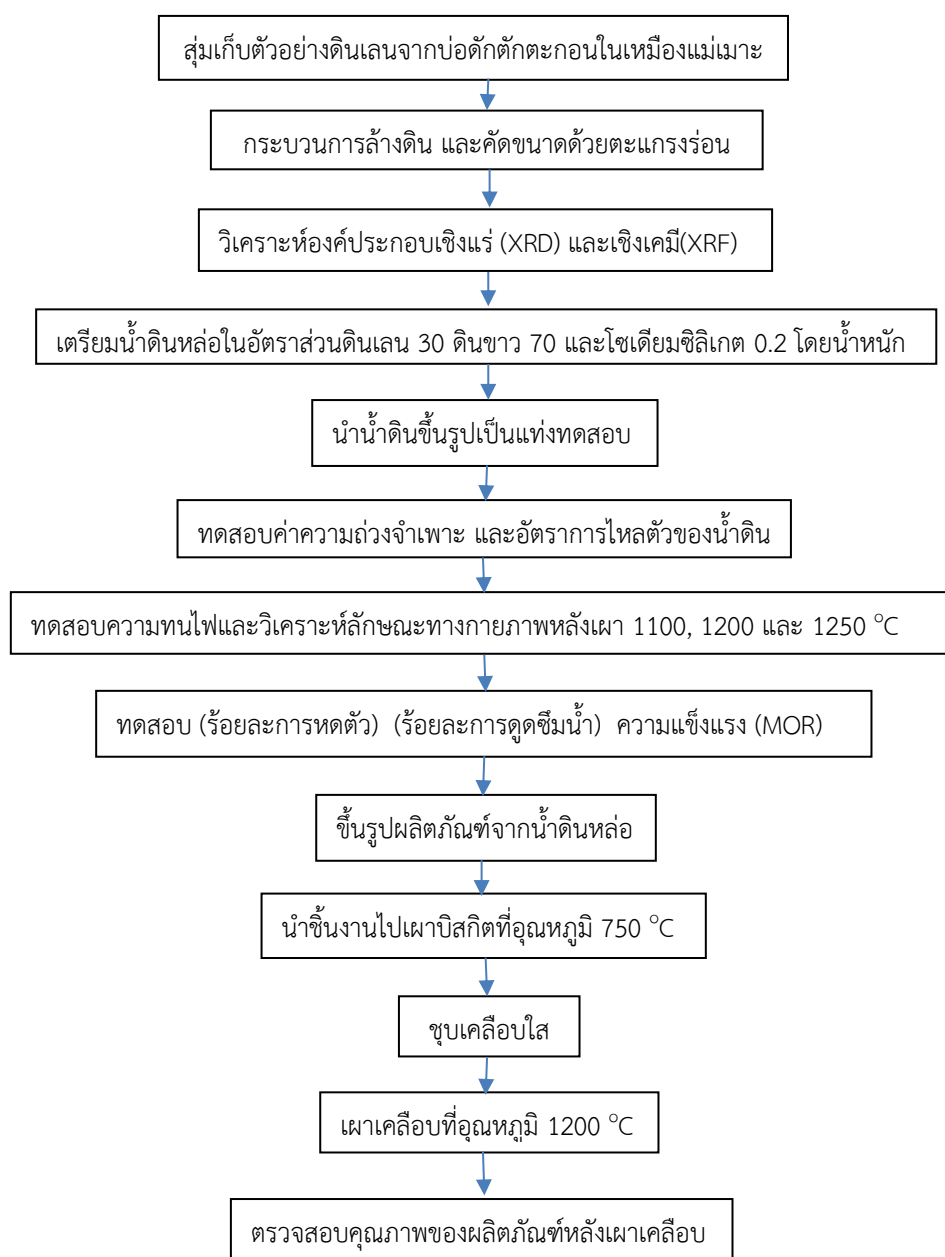
4) วิเคราะห์ชิ้นงานหลังเผาปิสกิต เช่น รูปทรง ตำหนิ รอยร้าว ลักษณะของผิวความเรียบเนียน จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเผาปิสกิตไปชุบเคลือบสีแบบเคลือบสำเร็จ

5) แล้วนำไปเผาเคลือบสีอีกครั้งที่อุณหภูมิ 1200 °C การเลือกเคลือบสีเพื่อต้องการดูลักษณะของเคลือบ ดูการรานตัวของเนื้อเซรามิก การหลอมละลายของเคลือบ และการเลือกที่

อุณหภูมิ 1200 °C เนื่องจากเป็นเคลือบสำเร็จที่ใช้เผาที่อุณหภูมิ 1200 °C และจากการทดสอบเนื้อดินเลนแล้วสามารถทนความร้อนได้ถึง 1250 °C การเลือกเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงอีกทางหนึ่งเพื่อความปลอดภัยกับผู้บริโภค และเพื่อป้องกันการการหลอมละลายของเคลือบและการปนเปื้อนจากการใช้งาน

6) จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังเผาเคลือบ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ รอยร้าว และลวดลายที่ผิวของผลิตภัณฑ์หลังเผา

7) สรุปขั้นตอนการทดลองทั้งหมดในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการทดลอง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินเลนพบว่า ดินเลนประกอบด้วย SiO_2 ร้อยละ 54.99 Al_2O_3 ร้อยละ 19.57 CaO ร้อยละ 16.54 Fe_2O_3 ร้อยละ 6.46 K_2O ร้อยละ 2.46 MgO ร้อยละ 1.47 Na_2O ร้อยละ 0.42 P_2O_5 ร้อยละ 0.13 SO_3 ร้อยละ 0.7 และ CO_2 ร้อยละ 9.61 และไม่พบโลหะหนักที่เกินมาตรฐานเช่น แคดเมียม (Cd) และ ตะกั่ว (Pb) (Pollution Control Department, 2021)

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเลนพบว่า ดินเลนประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ เกลินไนต์ แคลไซต์ และแร่เฮมาไทต์

4.3 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสลิดดินเลนมีค่าเท่ากับ 1.67 และมีค่าการไหลตัว 15 วินาทีต่อ 300 มิลลิตร

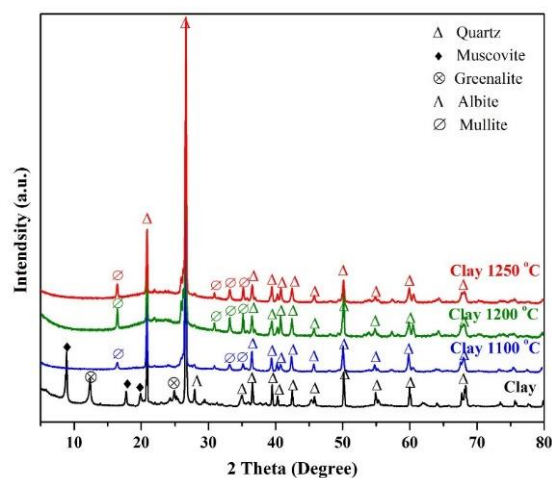
4.4 ผลการทดสอบการหดตัวก่อนและหลังเผาของขึ้นทดสอบ

ตารางที่ 1 ค่าการหดตัวของขึ้นงาน

ตัวอย่าง	ร้อยละการหดตัวหลังเผา	SD
1. ก่อนเผา	5.61	0.56
2. เผา 1100 (°C)	7.37	0.83
3. เผา 1200 (°C)	8.84	1.02
4. เผา 1250 (°C)	10.00	0.35

จากผลการทดสอบการหดตัวหลังเผาพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการหดตัวจะมากขึ้นจากการเผา 1100 1200 และ 1250 °C พบค่าการหดตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 5 - 10 โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่าการกระจายข้อมูลอยู่ในช่วง 0.35 - 1.02 ซึ่งถือว่า เป็นค่าที่ต่ำ โดยเฉพาะร้อยละของการหดตัวที่อุณหภูมิ 1250 °C มีค่าอยู่ที่ 0.35 แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จากการทดลองขึ้นงานทั้งหมด 3 แห่ง มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากและจำนวนแห่งในการทดสอบก็เป็นไปตามมาตรฐาน

และจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของแท่งทดสอบก่อนและหลังเผาด้วย XRD จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการหดตัวของเนื้อในช่วงแรกเกิดจากการสูญเสียน้ำในเนื้อดิน และค่าการหดตัวหลังเผาเกิดจากโครงสร้างของเนื้อดินเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่น การเกิดเฟสซิลิเกต (Inthung et al., 2022) ดังแสดงในภาพที่ 2 และยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้การหดตัวยิ่งสูงขึ้นเนื่องจากน้ำที่อยู่ผิวดินและน้ำในโครงสร้าง และสารอินทรีย์ที่ถูกเผาไหม้จะระเหยออกไปจากโครงสร้างของเนื้อดิน ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเข้ามาใกล้ชิดกันมากยิ่งขึ้นจึงทำให้เกิดการหดตัวที่สูงขึ้น ประโยชน์ของการทดสอบค่าการหดตัวเพื่อให้สามารถคาดเดาขนาดของผลิตภัณฑ์หลังเผาได้อย่างแม่นยำ และรูปทรงที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเปลี่ยนแปลงหลังเผา โดยปกติค่าของการหดตัวของเนื้อดินที่ขึ้นรูปแบบหล่อ เช่น สุขภัณฑ์จะมีการหดตัวแบบแห้งอยู่ที่ร้อยละ 10 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหดตัว ได้แก่ ชนิดของดิน ขนาดและความละเอียด และสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Inthung et al., 2022)



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วย XRD ก่อนและหลังเผา

4.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้ง

สำหรับการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้งนั้นในกระบวนการผลิตเซรามิกในโรงงาน จะทำการทดสอบ 2 ครั้ง คือ การทดสอบก่อนเผา และทดสอบหลังเผา การทดสอบความแข็งแรงก่อนเผาก็เพื่อให้ทราบถึงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เมื่อถูกหีบจับ เพื่อนำไปเข้าเตาเผาหรือต้องผ่านกระบวนการตกแต่งแล้วจะไม่เกิดความเสียหายในเบื้องต้น สำหรับค่าความแข็งแรงหลังเผานั้นเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของอนุภาคของดินและความเหนียว ซึ่งเมื่อแห้งจะยึดเกาะกันแน่นทำให้เพิ่มความแข็งแรง และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ กระบวนการซินเตอร์ริง (sintering) ซึ่งเป็นกระบวนการในการหลอมเม็ดอนุภาคเข้าหากันในกระบวนการเผา ซึ่งเมื่อมาดูโครงสร้างทางจุลภาคหลังเผาของดินเลนพบว่า จากผล XRD พบเฟสมัลไลต์หลังเผาตั้งแต่อุณหภูมิ 1100 °C และยิ่งเผาอุณหภูมิสูงขึ้นเฟสมัลไลต์ยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 1250 °C มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุดอยู่ที่ 23.53 MPa และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งถือว่าเป็นค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่สูง และจำนวนในการทดสอบแบ่งตัวอย่าง 3 แห่ง เป็นไปตามมาตรฐานของการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีค่าความแข็งแรงอยู่ในช่วง 19 - 28 MPa (Phongsaksri and Krutson, 2025)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งแรงดัดโค้ง

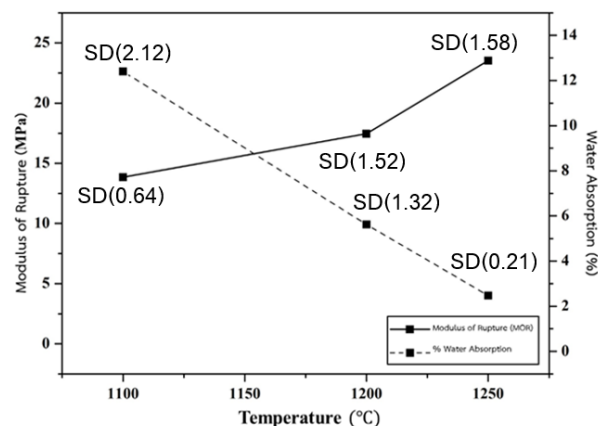
ตัวอย่าง	ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (MPa)	SD
1. ก่อนเผา	1.04	0.22
2. เผา 1100 (°C)	13.85	0.64
3. เผา 1200 (°C)	17.45	1.52
4. เผา 1250 (°C)	23.53	1.58

4.6 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

ตัวอย่าง (°C)	ร้อยละ การดูดซึมน้ำ	SD
1. เเผา 1100	12.40	2.12
2. เเผา 1200	5.62	1.32
3. เเผา 1250	2.47	0.21

การดูดซึมน้ำสำหรับชิ้นงานเซรามิกจะขึ้นอยู่กับปริมาณรูพรุนในเนื้อเซรามิก โดยรูพรุนในเนื้อของเซรามิกเกิดจากหลายกระบวนการ เช่น การสลายตัวของสารอินทรีย์และน้ำในเนื้อดิน หรือ กระบวนการซินเตอร์ริง (sintering) หรือเกิดจากการสลายตัวของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมในเนื้อดิน ที่เกิดปฏิกิริยาในขณะที่ทำการเผาได้ จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นปริมาณของการดูดซึมน้ำจะเริ่มลดลง เนื่องจากรูพรุนเริ่มลดลง และยังเผาจนถึงจุดสุดท้ายก็ยิ่งทำให้รูพรุนเล็กลงทำให้การดูดซึมน้ำลดลง (Inthung et al., 2022) และปริมาณของการดูดซึมน้ำหรือความชื้นในเนื้อเซรามิกดินเลนเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C มีค่าร้อยละ 2.47 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.21 ซึ่งถือว่าเป็นค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแท่งทดสอบที่นำมาทดสอบมีค่าการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน และตามมาตรฐานการทดสอบการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์โตนแวร์ใช้แท่งทดสอบ 3 แท่ง (มอก.เอส) และค่าที่ได้ต่ำกว่าร้อยละ 3 ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติของเนื้อเซรามิกสโตนแวร์ (Phongsaksri and Krutson, 2025; The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 2019) ซึ่งต่ำกว่าค่าการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิอื่น ๆ จึงส่งผลต่อค่าของความแข็งแรงของเนื้อเซรามิกหลังเผาที่สูงกว่าเนื้อดินเลนที่เผาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ดังแสดงในภาพที่ 3 จะเห็นว่ายิ่งเผาที่อุณหภูมิสูงมากขึ้น รูพรุนก็เริ่มลดลง แต่ค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่า MOR และร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างชิ้นงานเผา 1100, 1200 และ 1250 °C

4.7 ผลการทดสอบความทนไฟและลักษณะทางกายภาพหลังการเผา

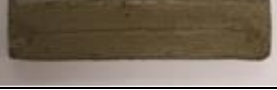
ผลค่าความทนไฟของชิ้นงานเซรามิกจะสามารถบ่งบอกถึงจุดสุกตัวของเนื้อดิน และสภาพการคงตัวของผลิตภัณฑ์ ที่จะไม่มีการบิดเบี้ยวจากการหลอมละลาย หรือการผิดรูปใด ๆ หลังเผา โดยสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้ค่าการสุกตัวของเนื้อดินต่ำคือ เนื้อดินมีสารช่วยหลอมในปริมาณสูง ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หรือสารออกไซด์จำพวก แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูง เนื้อดินที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่มากจะทำให้ค่าการสุกตัวของเนื้อดินต่ำกว่าดินบริสุทธิ์ เช่น ดินตะกอนหรือดินขาวบ้านมักจะมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ และสารช่วยหลอมสูงจึงทำให้ค่าความทนไฟต่ำ จากผลการทดสอบค่าความทนไฟดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ดินเลนผสมดินขาว ในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีความทนไฟที่อุณหภูมิ 1250 °C จากเดิมดินเลนร้อยละ 70 สามารถทนไฟได้แค่ 1100 °C (Inthung et al., 2022) จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า แท่งทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 - 1250 °C มีรูปทรงที่ดี ไม่มีการหลอมละลาย แสดงให้เห็นว่าดินขาวเป็นตัวช่วยให้ดินเลนมีการสุกตัวที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพหลังเผา

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพหลังเผา
1. ก่อนเผา	สีน้ำตาลอ่อน
2. เผา 1100 °C	สีน้ำตาล ผิวเรียบ ไม่บิดเบี้ยว
3. เผา 1200 °C	สีเทา ผิวขรุขระเล็กน้อย รูปทรงไม่บิดเบี้ยว
4. เผา 1250 °C	สีเทาเข้ม ผิวเรียบ รูปทรงไม่บิดเบี้ยวไม่แอ่น

จากตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพหลังเผาของแท่งทดสอบแสดงให้เห็นถึง ปริมาณสารเจือปนในเนื้อดินที่ทำให้ดินเกิดสี เช่น ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีสารเจือปนจำพวก เหล็กออกไซด์ค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 6.46 ซึ่งเมื่อเผาแล้วก็จะทำให้ได้แท่งทดสอบที่มีสีน้ำตาล ยิ่งเมื่อเผาที่อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นสีจะยิ่งเข้มขึ้นจนเป็นสีน้ำตาลเข้ม หรือสีดำ คล้ำได้ เนื้อดินตัวอย่างเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 - 1250 °C จะให้สีออกเทาถึงเทาดำดังแสดงในตารางที่ 4 และมีผิวค่อนข้างเรียบ รูปทรงไม่บิดเบี้ยวตามรายละเอียดในตารางที่ 5 (Inthung et al., 2022)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการทนไฟ

ตัวอย่าง	แท่งทดสอบ
1. ก่อนเผา	
2. เผา 1100	
3. เผา 1200	
4. เผา 1250	

4.8 ผลการทดลองการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยน้ำดินหล่อหรือน้ำสลิปดิน

ผลการทดลองการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยน้ำสลิปดินเลนพบว่า ดินเลนร้อยละ 67 (Inthung et al., 2022) ทำให้เมื่อทำเป็นน้ำดินหล่อแล้ว จะเกิดการอุดตันในโมลปูนพลาสติก ทำให้ปูนพลาสติกไม่สามารถจะดูดซึมน้ำได้ แต่เมื่อนำดินเลน มาผสมกับดินขาวที่มีอนุภาคขนาดใหญ่แล้วนำมาเตรียมเป็นน้ำดินหล่อพบว่า น้ำดินหล่อดินเลน สามารถนำมาหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ ดังแสดงในภาพที่ 4 และเมื่อแกะเอาโมลออกจะได้ ผลิตภัณฑ์เซรามิกตามที่แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้มีความแข็งแรง มีผิวเรียบ และสามารถเห็นลวดลายด้านข้างคมชัด รูปทรงไม่มีการบิดเบี้ยว ถอดแบบง่าย แสดงให้เห็นว่า น้ำดินที่เตรียมได้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกดินเลนได้ดี และผลการ ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยน้ำสลิปดินจากดินเลนในภาพที่ 5 หลังจากทีปล่อยให้แห้งแล้วนำผลิตภัณฑ์ไปเผาปิสกิตที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 30 นาที ก็พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีสีน้ำตาลอ่อน แข็งแรงดี ผิวเนื้อค่อนข้างเรียบเนียน เห็นลวดลายคมชัด ไม่มีรอยแตกร้าวใด ๆ ตามภาพที่ 6 จากนั้นนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาปิสกิตไปชุบน้ำเคลือบขาวใสแล้วนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 1250 °C พบว่า เคลือบที่ได้มีความมันวาว สีขาวใส ไม่มีตำหนิ ในภาพที่ 7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) การเติมน้ำดินหล่อในโมลปูนพลาสติก และ (ข) การเทน้ำดินหล่อออกจากโมลปูนพลาสติก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 (ก) การแกะพิมพ์ปูนพลาสติกออกจากโมล และ (ข) ชิ้นงานที่แกะออกจากพิมพ์ปูนพลาสติก



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์หลังเผาปัสกิต ที่อุณหภูมิ 750 °C ที่มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ มีลวดลายคมชัด และมีความแข็งแรง รูปทรงสมมาตรและไม่มีการบิดเบี้ยว



ภาพที่ 7 การทดลองเผาเคลือบขาวใส่ให้กับผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกทั้งขนาดเล็ก

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 จากการทดลองเตรียมน้ำสลัดจากดินเลนที่มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่เล็กกว่า 352 เมช จะเตรียมโดยใช้การผสมดินเลนกับดินขาวลำปางในอัตราส่วนดินเลนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ดินขาวลำปางร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งโดยทั่วไปในการเตรียมน้ำดินหล่อจากดินที่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียด เช่น ดินบอลเคลย์ หรือดินตะกอนมักจะเติมแร่จำพวกควอตซ์ ซิลิกา ดินขาว หรือดินเกลินที่มีอนุภาคใหญ่เข้าไป หรือเพิ่มการไหลตัวของน้ำดินวัตถุดิบนั้นเป็นตัวช่วยให้ความเหนียว และความแข็งแรงของน้ำดินหล่อ เฟลด์สปาร์เป็นตัวช่วยหลอมและควบคุมความหนืดในกระบวนการขึ้นเตอริง และควอตซ์เป็นตัวช่วยควบคุมการหดตัว และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดและรูปร่างของวัสดุ (Bernasconi et al., 2023) และการเติมสารโซเดียมซิลิเกตเพื่อช่วยกระจายตัวส่วนใหญ่ จะใช้ในปริมาณร้อยละ 0.1 - 0.5 โดยน้ำหนัก (Duangkhachon et al., 2021) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม และผลิตภัณฑ์ที่จะขึ้นรูป เช่น ผลิตภัณฑ์เซรามิก หรือสุขภัณฑ์ สำหรับการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 0.2 โซเดียมซิลิเกต ในการเตรียมน้ำดินหล่อ

5.2 นำน้ำสลัดดินเลนมาทดลองขึ้นรูปแท่งทดสอบคุณสมบัติพบว่า แท่งทดสอบดินเลนมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 3 สามารถทนไฟได้ถึง 1250 °C ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติของเนื้อดินสโตนแวร์ (The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, 2019) หรือสำหรับการเผาเนื้อดินพอร์ซเลนสโตนแวร์ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเผาช่วงอุณหภูมิ 1180 - 1220 °C โดยใช้เวลาในการเผาแช่ที่อุณหภูมิสูงสุด 40 - 70 นาที และเวลาในการเผาแช่จะส่งผลต่อการเกิดของเฟสซิลิกา ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเซรามิก (Conte et al., 2025) หรือการศึกษาการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือทิ้งจากเหมืองหินปูนมาเป็นตัวช่วยหลอมในการผลิตกระเบื้องพอร์ซเลนสโตนแวร์ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้อุณหภูมิในการเผา 1150 - 1230 °C พบว่า

การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 4 - 8 ส่งผลต่อเวลาในกระบวนการขึ้นเตาจริงที่ช้าลง และ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นลดลง (Fantini et al., 2026) มีค่าความแข็งแรงดัดโค้ง 23.53 MPa และสามารถจะนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียบเนียน มีความแข็งแรงดี เมื่อนำมาทดลองเผาปิสกิตแล้วเคลือบชนิดเคลือบใสที่อุณหภูมิ 1200 °C เพื่อดูการร้าว และการหลอมตัวของเคลือบ พบว่า ไม่พบการร้าว และการหลอมของเคลือบ และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยดินเลนที่ผ่านมา โดยใช้วัตถุดิบดินเลนเพียงชนิดเดียวในการขึ้นรูปแบบแป้นหมุนพบว่า ดินเลนสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ แต่เนื้อดินมีคุณสมบัติเป็นเอิร์ทเทินแวร์คือ สามารถทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1100 °C มีการหดตัวร้อยละ 4.54 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.4 และมีค่าความแข็งแรง 13.38 MPa (Inthung et al., 2022) ดังนั้นงานวิจัยนี้ถือเป็นการพัฒนาเนื้อดินเลนจากเนื้อดินเอิร์ทเทินแวร์เป็นเนื้อดินสโตนแวร์ได้ โดยการเติมดินขาวล่าปาง และขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน จึงมีโอกาที่จะพัฒนาต่อระดับโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกในอนาคต

สำหรับข้อเสียของการนำเอาดินเลนที่เหลือทิ้งจากบ่อตกตะกอนไปใช้คือ ความไม่เสถียรของคุณภาพของดิน เนื่องจากดินเลนหรือดินตะกอนที่เกิดจากกระบวนการทำเหมืองลิกไนต์หลังจากเปิดหน้าดินเพื่อนำแร่ลิกไนต์ออกมาจะเหลือดินจำนวนมาก เมื่อฝนตกก็จะเกิดการชะล้างเอาดินเหล่านี้จากทุกส่วนพื้นที่ และทุกความลึกของบ่อเหมืองลงมาสะสมอยู่ในบ่อตกตะกอน และด้วยพื้นที่ของบ่อเหมืองแม่เมาะมีพื้นที่เป็นบริเวณที่กว้าง 25 ตารางกิโลเมตร มีแหล่งดินทั้งหมด 6 แหล่ง ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเหมืองแม่เมาะ ปี 2568 ดังนั้นการสะสมของชั้นดินตะกอนหรือดินเลนแต่ละชั้นจึงมีความไม่แน่นอนว่า ดินตะกอนเหล่านั้นมาจากการเปิดหน้าเหมืองในบริเวณใด และความลึกเท่าไร หรือมาจากดินแหล่งใด ดังนั้นจึงส่งผลต่อความเสถียรของคุณภาพดินตะกอนเหล่านี้ อย่างแน่นอน ดังนั้นเมื่อจะมีการใช้งานควรจะมีการวิเคราะห์ และทดสอบดินก่อนการใช้งานทุกครั้ง เพื่อให้ได้ดินที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งในอนาคตอาจจะใช้ดินจากแหล่งดินที่เหลือทิ้งในเหมืองแม่เมาะแทนดินเลนจากบ่อตกตะกอน เพื่อให้เกิดความเสถียรของคุณภาพของดินเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากดินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการทำเหมืองลิกไนต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5.3 ในส่วนของการคิดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ที่ทำจากวัตถุดิบดินเลนเปรียบเทียบกับการผลิตผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ด้วยดินชนิดอื่น ๆ พบว่า จากงานวิจัยที่ผ่านมาการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ส่วนใหญ่จะใช้ดินเหนียวหรือดินพื้นบ้านร้อยละ 30 - 60 ผสมดินขาวร้อยละ 10 - 50 และทรายร้อยละ 20 - 30 โดยน้ำหนัก (Phongsaksri, J., & Krutson, W., 2025; Duangkhaichon et al., 2021; Pinthong, 2022) ในขณะที่การผลิตสโตนแวร์ด้วยดินเลนใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ ดินเลนร้อยละ 30 และดินขาวร้อยละ 70 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการใช้ดินและวัตถุดิบอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าแรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต และค่าใช้จ่ายในการผลิต เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าการดูแลบำรุงรักษาเครื่องจักรต่าง ๆ (Upradit et al., 2021) ดินเลนต้องใช้เครื่องจักรในการขุดเปิดหน้าดินเช่นเดียวกับการทำเหมืองดินทั่วไป หรือแม้แต่การซื้อดินสำเร็จมาใช้อีกจะถูกคิดรวมส่วนนี้เข้าไปอยู่แล้ว ดังนั้นค่าของการลงทุนจึงไม่แตกต่างกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Ajiboye, T.O., Sawunyama, L., Ravele, M. P., Rasheed-Adeleke, A.A., Seheri N. H., Onwudiwe, D.C., & Mhlanga, S.D. (2023). *Synthesis approaches to ceramic membranes, their composites, and application in the removal of tetracycline from water*. Environmental Advances. 12. 1-17.
- Bernasconi, A., Pellegrino, L., Vergani, F., Campanale, F., Marian, M. N., Galimberti, L., Perotti, M., Viti, C., & Capitani, G., (2023). *Recycle detoxified cement asbestos slates in the production of ceramic sanitary wares*. Ceramics International. 49. (2). 1836-1845.
- Conte. S., Molinari, C., Ardit, M., Giodano, D., Dondi, M., & Zanelli, C., (2025). *Vitrification paths in porcelain stoneware: Dependence on bulk chemical composition and effect on sintering behaviour*. Ceramics International. 51. (36777-36789)
- Duangkhachon, K., Kamonin, O., Tathaisong, D., Yeenang, C., & Luangnam, C. (2021). Value Adding for Dan Kwian Village Pottery Products Innovation to Souvenir from identity of Nakhonratchasima Tourist Attraction (Khorat Geopark). *Journal of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University*. 14(1). 1-12. (in thai).
- Fantini, R., Conte. S., Molinari, C., Zanelli, C., Dondi, M., Bernini, M., Gualtieri, F. A., & Arletti, R. (2026). *Volorizing carbonate-rich mine wast in porcelain stoneware production*. Ceramics International. 52. 735-747.
- Goswami, K. P., Pakshirajan, K., & Pugazhenth, G. Process intensification through waste fly ash conversion and application as ceramic membranes: A review. (2022). Science of the Total Environment. 808. 1-8.
- Inthung, S., chutima, P. & wannagon, A. (2022). Study on Properties of Clayed Soil from Sediment Trapping Sump of Mae Moh Mine for Use in Ceramic Works, *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 15 (1), 50-62. (in thai).
- Mahmeen, S., & Kaewdee, C. (2023). The Design and Development of Terra Cotta for the Pottery Community: A case Study of Ban Ma Ying Community. *Academic Journal of Industrial Technology Innovation*. 1(3). 11-24. (in thai).

- Phongsaksri, J., & Krutson, W. (2025). Development of Stoneware Products Component from Ban Thung Luang Clay, Sukhothai. *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*. 7(2). 131-149. (in thai).
- Pinthong, N., (2022). Development of suitable ceramic clay for pottery making from Nong Bua Rawe colored clay minerals. *Journal of Fine and Applied Arts, Khon Kaen University*. 14 (1), 1–20. (in thai).
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2021). *Announcement of the National Environment Board on Soil Quality Standards 2021*. [on line]. Available: <https://pcd.go.th/law/>. access on November 13, 2015. (in thai).
- The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. (2019). *Industrial Standard S: Stoneware*. <https://tisi.go.th>. Retrieved December 18, 2025. (in thai).
- Thiamsorn, W. (2012). *Ceramics for Construction and Ceramics for Technical Applications*. Odeon Store Publishing. (in thai).
- Upadit, A., Heprakon, A., Charupathphokin, P., & Wichinak, C. (2021). Cost and Return of Ceramic Pots of Ban Pa Ya Group, Tombon Bohaeo, Amphoe Maueng, Lampang Province. *Journal of Legal Entity Management and Local Innovation*. 7(7). 29-40. (in thai).