การศึกษาคุณสมบัติของดินเลนในบ่อดักตะกอนของเหมืองแม่เมาะ เพื่อใช้ในงานเซรามิก

Study on Properties of Clayed Soil from Sediment Trapping Sump of Mae Moh Mine for Use in Ceramic Works

สุชีวัน อินทุ่ง[1*], พงษ์ชนะ ชุติมา[2] และอนุชา วรรณก้อน[3]
Sucheewan Inthung[1*], Pongchana Chutima[2] and Anucha Wannagon[3]
[1*,2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 202 ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
โทร 08 3206 0531 อีเมล์ sucheewan_nab@cmru.ac.th
[3]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
[1*,2]Faculty of science and Technology Chiang mai Rajabhat University 202 Changhuak Rd, Tambon Chang Phueak, Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai, 50300
[3]National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thaini, 12120

วันที่รับบทความ 12 มกราคม 2565 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 10 มิถุนายน 2565 **วันที่ตอบรับบทความ** 15 มิถุนายน 2565
Received: Jan. 12, 2022 **Revised:** Jun. 10, 2022 **Accepted:** Jun. 15, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของดินเลน จากบ่อดักตะกอนของเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เพื่อใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยเก็บตัวอย่างดินเลนจากบ่อดักตะกอนมาทำความสะอาดและแยกสิ่งเจือปนออก นำดินเลนมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบเชิงเคมีและเชิงแร่ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF) และเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็น ซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ ในรูปของแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ เคโอลิไนต์ และเฮมาไทต์ จากการศึกษาทางกายภาพ พบว่าเนื้อดินเลนมีความละเอียดสูง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคขนาดเล็กกว่า 325 เมช ถึงร้อยละ 67.65 มีความเหนียวสูง เมื่อนำมาทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C พบว่าเนื้อดินเลนสุกตัวดีที่อุณหภูมิ 1100 °C มีค่าการหดตัวร้อยละ 4.54 มีค่าความพรุนร้อยละ 0.27 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.40 และมีสีหลังเผาเป็นสีน้ำตาลแดง มีความแข็งแรงดัดโค้งเท่ากับ 13.38 MPa ผลกการทดลองขึ้นรูปพบว่า ดินเลนสามารถขึ้นรูปด้วยมือ และจิกเกอร์ได้ดี โดยผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เทอราคอตต้า จึงกล่าวได้ว่าดินเลนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ สามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้โดยการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้

คำสำคัญ: เครื่องปั้นดินเผา, ดินเลน, เหมืองแม่เมาะ

Abstract

This research aimed to analyze the properties of clayed soil from the sediment trapping sump of Mae Moh mine, Lampang province for use in ceramics production. The soil was sampled from the sump and cleaned by washing and removing the impurities. The clayed soil was then analyzed for chemical and mineral compositions using X-ray fluorescence and X-ray diffraction instruments. The main compositions were silica, alumina, and iron oxide in the forms of quartz, muscovite, kaolinite, and hematite. The clay soil had high plasticity because it contained more than 67% of fine particles. After firing at temperatures ranging from 1000-1200 °C, it was found that the clay body was sintered well at 1100 °C. The lost weight was 9.70% and the shrinkage value was 4.54%. It had porosity of 0.27%, water absorption of 1.40%, and a reddish-brown color after firing. The strength was measured with a bending strength value of 13.38 MPa. It was found that the clayed soil was suitable for hand molding or jiggering. The resulting ceramics had properties like terracotta. Therefore, it is possible to use the clayed soil, a waste product from the sediment trapping sump in the Mae Moh mine, in the ceramic industry.

Keywords: Pottery, Clay Soil, Mae Moh mine

1. บทนำ

ในกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นั้นมีกระบวนการขุดเจาะดิน และถ่านหินปริมาณมาก ทำให้ดินที่จะถูกกัดเซาะและล้างหน้าดินเกิดเป็นดินตะกอนที่จะถูกพัดพามารวมกัน และตกตะกอนที่ก้นบ่อดักตะกอนปริมาณสะสมมากถึงประมาณปีละ 1 แสนลูกบาศก์เมตร ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะปี 2562 ซึ่งเป็นปัญหาในการจัดการดินตะกอนเหล่านี้ และต้องใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความต้องการจะทดลองนำดินตะกอนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีปริมาณมากในพื้นที่ในการทำเหมืองแร่ถ่านหินลิกไนต์มาผลิตเป็นเซรามิก โดยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทดินโคลนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาใช้ในการผลิตเซรามิก เช่น การนำกากแร่จากการทำเหมืองตะกั่ว และสังกะสีในยุโรปมาผลิตเป็นเซรามิกประเภทวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ อิฐ กระเบื้องหลังคา วัสดุปูพื้นทางเดิน (Veiga Simao et al., 2021) หรือการใช้โคลนแดงที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการไบเออร์ (การผลิตอะลูมินาจากแร่บล็อกไซด์) ในบราซิลมาผสมกับดินเหนียว และเผาที่อุณหภูมิได้ตั้งแต่ 850 °C สำหรับการทำอิฐ และเผาที่อุณหภูมิ 1050 °C สำหรับการทำกระเบื้องมุงหลังคา (Babisk et al., 2020) และการศึกษาผลของการใช้โคลนสีแดงจากกระบวนการไบเออร์ที่มีผลต่อความเหนียว และคุณสมบัติของดินผสมสำหรับการขึ้นรูปเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด พบว่าสามารถใช้โคลนแดงเป็นส่วนผสมได้ถึงร้อยละ 30 (Hamsa et al., 2019) สำหรับในประเทศไทยนั้น นอกจากการศึกษาถึงศักยภาพของแหล่งดินต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ในเชิงเซรามิกแล้ว การนำวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็มีรายงานอยู่บ้างพอสมควร

ได้แก่ การนำดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง มาทำเป็นดินสำเร็จรูปเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผาพบว่า ส่วนผสมดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซด์ร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งสามารถลดปริมาณดินตะกอนของการประปานครหลวงได้ถึง 0.6 ตันต่อเนื้อดินปั้น 1 ตัน ซึ่งถือว่าเกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก (Karawek et al., (2019) จะเห็นได้ว่าวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ จากกระบวนการเหมืองแร่หรือจากกระบวนล้างหรือบำบัดด้วยน้ำ ที่มีลักษณะเป็นโคลนดินเลนนั้นมีความเป็นไปได้สูงในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการใช้งานในเชิงเซรามิก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของดินเลน

2.2 เพื่อทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เซรามิกจากดินเลน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติของดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยผู้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างดินเลน

1) ทำการเก็บตัวอย่างดินเลนจากบ่อดักตะกอนด้านตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นบ่อที่ 2 ในเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีพื้นที่บ่อ 42,890 ตร.ม. และลึก 15 เมตร โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างรอบ 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) นำตัวอย่างดินเลนมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ และเชิงเคมีก่อนเผาด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 advance และเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF) ยี่ห้อ Bruker รุ่น S8 Tiger ตามลำดับ

2) วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อดินเลนผงที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมาแล้วด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5910LV

3) ขึ้นรูปแท่งทดสอบดินเลนโดยนำดินเลนมาผสมน้ำจนกระทั่งขึ้นรูปได้แล้วกดลงบนพิมพ์ขนาด ยาว 10 ซม. กว้าง 2 ซม. หนา 1 ซม. แล้วตากแห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C แล้วจึงทำการทดสอบการหดตัวก่อนเผา คำนวณร้อยละการหดตัวตามสมการที่ 1

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

4) ทดสอบความทนไฟโดยทำการเผาแท่งทดสอบดินเลนที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C เป็นเวลา 30 นาที ในเตาไฟฟ้าแบบออกซิเดชัน

5) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ และเชิงเคมีหลังเผาด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) และเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF)

6) ทดสอบการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C โดยวัดค่าความยาวหลังอบ 110 °C และวัดค่าความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วคำนวณตามสูตรที่ 1

7) ทดสอบหาค่าความพรุนตัวโดยนำแท่งทดสอบดินเลนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ทั้งหมด 3 แท่ง มาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม) บันทึกข้อมูล จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักใต้น้ำ และชั่งน้ำหนักอิ่มน้ำ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความพรุนตัว

$$\text{ร้อยละความพรุน} = \frac{(\text{น้ำหนักดินอิ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักดินแห้})}{(\text{น้ำหนักดินอิ่มน้ำ-น้ำหนักดินใต้น้ำ})} \times 100 \quad (2)$$

8) ทดสอบการดูดซึมน้ำหลังการเผา โดยนำแท่งทดสอบเนื้อดินแต่ละสูตรที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ทั้งหมด 3 แท่ง มาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม) บันทึกข้อมูล จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำแท่งทดสอบมาเช็ดผิวให้แห้งแล้วจึงนำแท่งทดสอบไปชั่งอีกครั้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักดินที่อิ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักดินที่แห้ง})}{(\text{น้ำหนักดินที่แห้ง})} \times 100 \quad (3)$$

9) ทดสอบมอดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture, MOR) โดยนำแท่งทดสบดินเลนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ทั้งหมดจำนวน 3 แท่ง ไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดโค้ง จากสูตรที่ 4

$$MOR = \frac{(3LD)}{(2bd^2)} \quad (4)$$

โดย L = ค่าน้ำหนักแรงกด

D = ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ

b = ความกว้างของแผ่นทดสอบ

d = ความหนาของแผ่นทดสอบ

10) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสีของเนื้อดินหลังเผา

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการขึ้นรูป

1) นำดินเลนผงที่ผ่านการเตรียมดินมาแล้วผสมน้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำ (1:0.25) แล้วนวดเพื่อขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุน และทดสอบการขึ้นรูปดินเลนด้วยจิกเกอร์

2) นำดินเลนผงที่ผ่านการเตรียมดินมาแล้ว มาอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกลงในพิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม.

3) ปล่อยชิ้นงานให้แห้งสนิท แล้วนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C ด้วยเตาไฟฟ้าบรรยากาศแบบออกซิเดชัน จากนั้นวิเคราะห์ตำหนิ และรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้



ก



ข

ภาพที่ 1 (ก) ดินเลนในบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ (ข) ดินแดงที่แทรกตัวอยู่ในบ่อเหมืองถ่านหินแม่เมาะ

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองนำดินเลนไปใช้ในโรงงานเซรามิก

1) การนำเอาดินเลนไปทำเป็นเคลือบเอนโกบ ตกแต่งผิวเซรามิกของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล โดยชิ้นงานแรกจะขึ้นรูปดินดำ ด้วยแป้นหมุนจากนั้นใช้น้ำดินซึ่งมีส่วนผสมของดินเลน 1 ส่วนต่อดินดำ 3 ส่วน มาวาดเป็นลวดลายลงบนภาชนะดินดิบก่อนเผา แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 °C

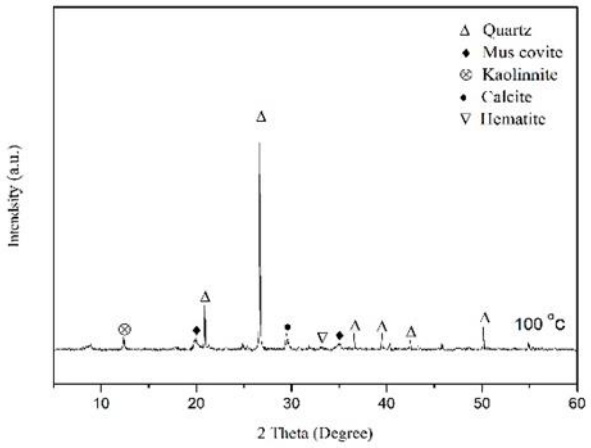
2) อีกชิ้นงานหนึ่งของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล เป็นการนำน้ำดินซึ่งมีส่วนผสมของดินเลน 1 ส่วนต่อดินดำ 3 ส่วน มาตกแต่งลงบนผิวแก้วกาแฟที่ขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์ แล้วแกะสลักลวดลายลงบนผิวดินดิบ แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นทำการเผาบิสกิตที่อุณหภูมิ 800 °C แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปชุบเคลือบศิลาดล จากนั้นจึงนำไปเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1260 °C

3) การนำเอาดินเลนมาผลิตเป็นเคลือบเซรามิกไฟต่ำ โดยนำดินเลนไปผสมในน้ำเคลือบของโรงงานชะเลียงเซรามิก ร้อยละ 70 แล้วชุบเคลือบบนชิ้นงานบิสกิตที่ผ่านการเผา 800 °C จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C

4. ผลการวิจัย

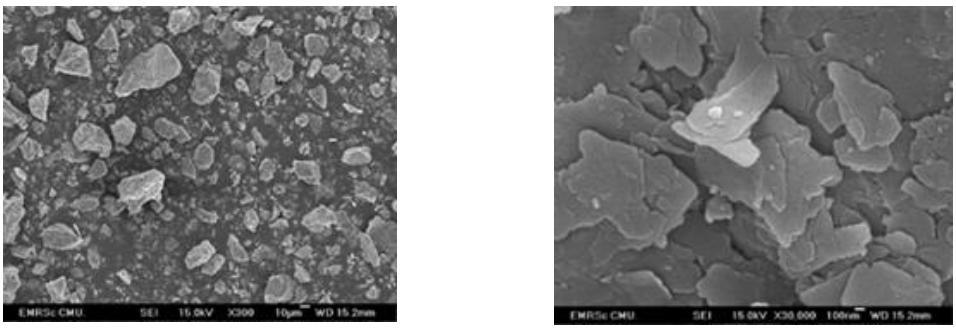
1. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของดินเลน

1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงเคมีดินเลนก่อนเผา ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบฟลูออร์เรสเซน (X-ray fluorescence, XRF) พบว่าดินเลนประกอบไปด้วยร้อยละของออกไซด์ดังต่อไปนี้ 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 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเลนก่อนเผา ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) พบว่า ดินเลนประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ เกาลินไนต์ แคลไซต์ และแร่เฮมาไทต์ ตามภาพที่ 2 จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงเคมีและเชิงแร่จะเห็นได้ว่า ดินเลนมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูงเมื่อเผาแล้วจะทำให้มีสีเข้ม และมีสารแคลเซียม แมกนีเซียม และอัลคาไลน์สูง ซึ่งจะทำให้ดินเลนมีจุดสุกตัวต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติคล้ายดินประเภทเอิร์ทเทินแวร์หรือเทอราคอตต้า



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ดินเลนด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD)

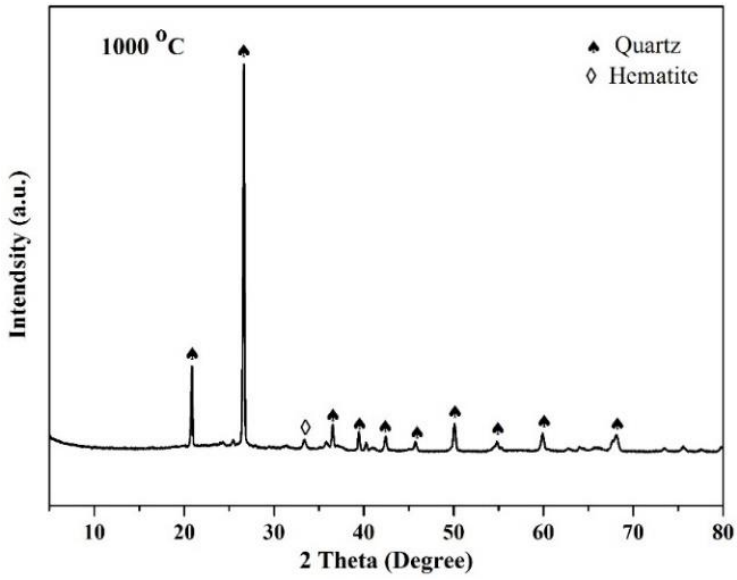
1.2 ผลการคัดขนาดดินเลนด้วยตะแกรงคัดขนาดต่าง ๆ เบอร์ 100 200 และ 325 เมช พบว่า ดินเลนมีเศษหิน และเศษถ่านหิน ร้อยละ 12.47 ที่ค้างตะแกรงขนาด 100 และ 200 เมช เนื้อดินเลนส่วนใหญ่มีขนาดที่ต่ำกว่า 325 เมช ซึ่งพบถึงร้อยละ 67.65 ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดและเกาะตัวกันแน่น และเมื่อวิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของดินเลนด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงในภาพที่ 3 (ก) จะเห็นว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคดิน ขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 30-40 ไมโครเมตร ซึ่งค่อนข้างจะมีขนาดเล็ก และจากภาพที่ 2 (ข) จะเห็นโครงสร้างการเรียงตัวของแผ่นอนุภาคดินที่เรียงซ้อนกันอย่างหนาแน่นมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ดินเลนมีความเหนียวสูง



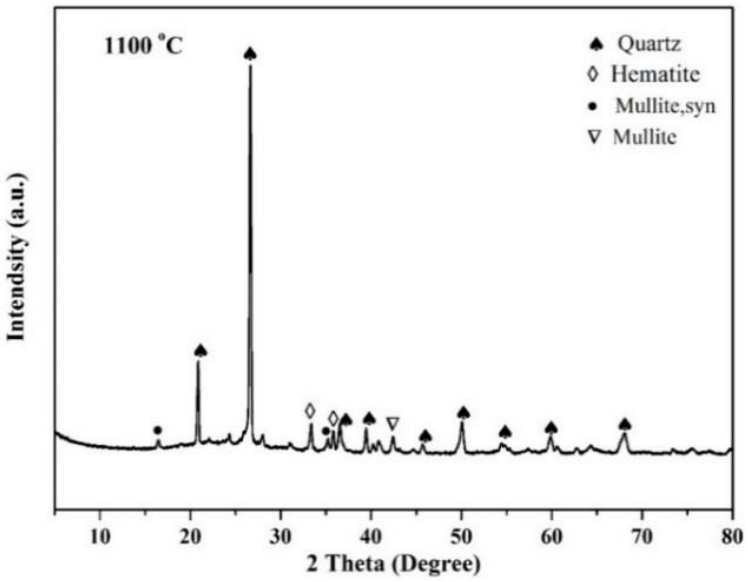
ก ข

ภาพที่ 3 (ก) การกระจายตัวของเนื้อดินเลนที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM ขนาดกำลังขยาย 3000 เท่า (ข) ลักษณะโครงสร้างของเนื้อดินเลนกำลังขยาย 30,000 เท่า ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่น ๆ ซ้อนกัน

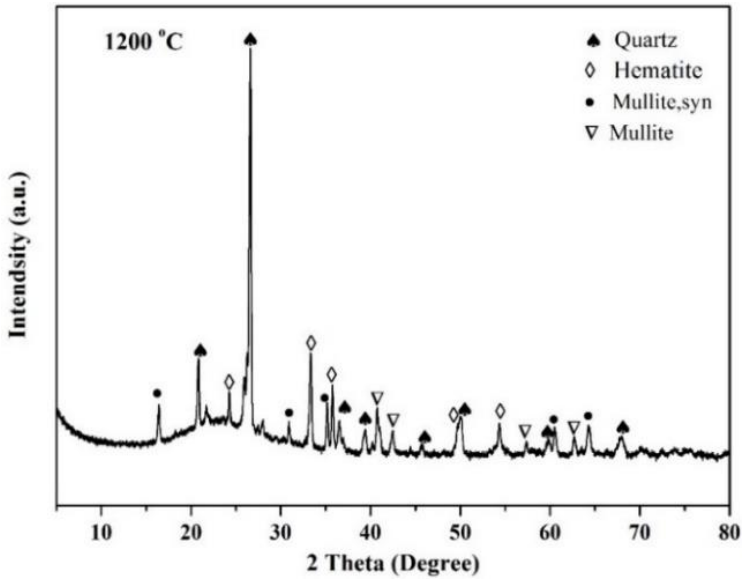
1.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ของตัวอย่างดินเลนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C พบว่าองค์ประกอบเชิงแร่ของดินเลนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C พบ แร่ควอตซ์ และเฮมาไทต์ ในขณะที่ดินเลนเผา 1100 °C และ 1200 °C พบแร่ควอตซ์ เฮมาไทต์ และมัลไลต์ ดังภาพที่ 4 - 6 ซึ่งมัลไลต์เป็นสารประกอบระหว่างซิลิกากับอลูมินา ที่ทำให้โครงสร้างของเซรามิกแข็งแรง จึงทำให้แท่งทดสอบดินเลนที่เผา 1100 °C และ 1200 °C นั้นจะมีเนื้อแน่น และมีความแข็งแรงสูงกว่าแท่งทดสอบที่เผา 1000 °C



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วย เครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ดินเลนเผา 1000 °C



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วย เครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ดินเลนเผา 1100 °C



ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วยเครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์แบบเลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ดินเลนเผา 1200 °C

1.4 ผลการทดสอบค่าร้อยละการหดตัว ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าความแข็งแรงดัดโค้งของตัวอย่างแท่งทดสอบดินเลนหลังเผา พบว่า ยิ่งอุณหภูมิที่เผาสูงขึ้นค่าร้อยละของการหดตัวยิ่งเพิ่มมากขึ้นโดยจะเห็นว่า เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 °C ค่าการหดตัวจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.01 เป็น ร้อยละ 4.54 โดยค่าการหดตัวของเนื้อดินเลนในช่วงแรกจะเกิดจากการสูญเสีย

น้ำในเนื้อดิน และค่าการหดตัวหลังเผาเกิดจากโครงสร้างของเนื้อดินเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การเกิดเฟสมัลไลต์ และยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้การหดตัวยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากน้ำที่อยู่ที่ผิวดินและน้ำในโครงสร้างและสารอินทรีย์ที่ถูกเผาไหม้ จะระเหยออกไปจากโครงสร้างของเนื้อดิน ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเข้ามาใกล้ชิดกันมากยิ่งจึงทำให้เกิดการหดตัวที่สูงขึ้น ซึ่งก็จะส่งผลต่อค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำที่ลดลงจาก 2.30 เป็น 1.40 และค่าร้อยละความพรุนที่ลดลงจาก 0.39 เป็น 0.27 สำหรับรูพรุนในเนื้อของเซรามิกเกิดจากการสลายตัว ของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมในเนื้อดินที่เกิดปฏิกิริยาในขณะที่ทำการเผา

สำหรับค่าความแข็งแรงของโครงสร้างจะสูงขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากค่าความแข็งแรงดัดโค้งของแท่งตัวอย่างดินเลนที่เพิ่มขึ้นจาก 11.50 MPa เป็น 13.98 MPa ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเซรามิกคือ การเกิดเฟสมัลไลต์ และอีกปัจจัยหนึ่งคือขนาดของอนุภาคดินเลนที่เล็กละเอียด ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อดินมีความแข็งแรงมาก (Kowuttiphong, 2017) ในขณะที่แท่งทดสอบที่ผ่านการเผาที่ 1200 °C มีลักษณะรูปทรงที่บิดเบี้ยว ที่เกิดการหลอมตัวของเนื้อดิน มีผิวที่พุพอง ขรุขระซึ่งอาจจะเกิดจากการระเบิดของแก๊สในเนื้อดิน ทำให้ไม่สามารถจะทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบร้อยละการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ ความพรุน และค่าความแข็งแรงดัดโค้ง

อุณหภูมิที่เผา °C	%การหดตัว	%ความพรุน	%การดูดซึมน้ำ	ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (MPa)
1000	4.01	0.39	2.30	11.50
1100	4.54	0.27	1.40	13.98
1200	-	-	-	-

1.5 ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพ และความทนไฟของแท่งทดสอบดินเลนเผาที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 °C พบว่า แท่งทดสอบเนื้อดินเลนที่เผา 1000 °C มีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อโปร่ง น้ำหนักเบา สำหรับแท่งทดสอบที่เผาอุณหภูมิ 1100 °C มีเนื้อแน่น มีสีน้ำตาลแดง และสุกตัวดี รูปทรงดี ไม่มีการบิดเบี้ยว ในขณะที่แท่งทดสอบที่เผา 1200 °C เนื้อดินมีการหลอมตัวและมีสีน้ำตาลดำ และมีผิวพุพอง บิดเบี้ยว เสียรูปทรง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหลังเผา ได้แก่ สีหลังเผา และลักษณะทางกายภาพ

อุณหภูมิ (° C)	แท่งทดสอบเซรามิก	สีหลังเผา
1000		เนื้อดินเป็นสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีเดียวกันทั้งแท่ง
1100		เนื้อดินมีสีน้ำตาลแดง สุกตัวดี
1200		เนื้อดินมีสีน้ำตาลดำ มีลักษณะผิวพุพองเนื่องจากการระเบิด และ ความไม่ทนไฟของเนื้อดิน

2. ผลการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์รูปทรงและตำหนิ

2.1 ผลการทดลองนำดินเลนมาปั้นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ด้วยแป้นหมุนและจิกเกอร์พบว่า ดินเลนสามารถขึ้นรูปได้เป็นอย่างดีทั้งสองวิธี

2.2 ผลการวิเคราะห์รูปทรงและตำหนิของผลิตภัณฑ์เซรามิกจากดินเลน เมื่อนำดินเลนไปปั้นขึ้นรูปเป็นชุดถ้วยกาแฟด้วยแป้นหมุน ดังแสดงในภาพที่ 7 และนำดินเลนไปขึ้นรูปเป็นถ้วยขนาดเล็กด้วยจิกเกอร์ดังแสดงในภาพที่ 8 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C เป็นการเผายืนไฟเวลา 30 นาทีพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดมีผิวเนียน มีสีเนื้อที่สม่ำเสมอ มีรูปทรงที่สมมาตร ไม่มีการบิดเบี้ยว และไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว



ภาพที่ 7 การขึ้นรูปถ้วยชาจากดินเลนด้วยการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เผาที่อุณหภูมิ 1100 °C



ภาพที่ 8 ตัวอย่างชิ้นงานขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1100°C

3. ผลการนำดินเลนไปประยุกต์ใช้ในโรงงานเซรามิก

3.1 ผลการนำเอาดินเลนไปทำเป็นเคลือบเอนโกบตกแต่งบนผิวเซรามิกของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดลพบว่า ผิวของผลิตภัณฑ์บริเวณที่ทาน้ำดินลงไปหลังเผาจะมีสีส้มอิฐ เกิดเป็นลวดลายบนผิวภาชนะที่มีลักษณะด้าน มีสีสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิใด ๆ ดังแสดงในภาพที่ 9

3.2 ผลการนำน้ำดินเลนผสมดินดำมาตกแต่งบนเคลือบศิลาดล ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ศิลาดลที่ได้ มีลวดลายแกะสลัก ที่มีผิวด้านสวยงาม มีสีน้ำตาลเข้มสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิใด ๆ ตามภาพที่ 10 ซึ่งเป็นเทคนิคของโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล

3.3 ผลการนำเอาดินเลนไปผลิตเป็นเคลือบเซรามิกไฟต่ำของโรงงานชะเลียงเซรามิก พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลแดง ผิวด้านสวยงาม และการเคลือบด้วยน้ำเคลือบผสมดินเลนยังทำให้สามารถชุบเคลือบอื่น ๆ ทับลงไปอีกรอบเพื่อตกแต่งได้ ผิวมีความมัน เงางามได้อีกด้วย ตามที่ได้แสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 9 เคลือบเอนโกบดินเลน



ภาพที่ 10 เคลือบดินเลนตกแต่งบนเนื้อเซรามิกศิลาดล



ภาพที่ 11 เคลือบไฟต่ำดินเลนจากโรงงานชะเลียงเซรามิก

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 การสรุปผล

1. ดินเลนประกอบไปด้วยแร่หลักคือ ซิลิการ้อยละ 54.99 และอลูมินาร้อยละ 19.57 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6.46 มีสารอินทรีย์ร้อยละ 9.61 มีอัลคาไลน์ร้อยละ 9.42 มีองค์ประกอบเชิงแร่หลังเผาที่สำคัญ ได้แก่ แร่ควอตซ์ และมัลไลต์ มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดต่ำกว่า 325 เมช และมีความทนไฟที่อุณหภูมิ 1100 °C มีการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C ร้อยละ 4.5 มีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.40 มีค่าความแข็งแรงหลังเผา 13.98 MPa

2. ดินเลนสามารถปั้นขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและจิกเกอร์ได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังเผา 1100 °C พบว่า มีความแข็งแรงดี ไม่มีการบิดเบี้ยวแตกร้าว มีสีหลังเผาสม่ำเสมอ มีผิวที่เรียบเนียน สีน้ำตาลแดง ไม่มีตำหนิที่เป็นจุดหรืออื่น ๆ

5.2 การอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์ และทดสอบพบว่า ผลิตภัณฑ์จากดินเลนมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อดินชนิดเทอราคอตต้าคือ มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1100 °C มีการหดตัวต่ำ เมื่อเคาะแล้วเสียงไม่กังวาล มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีปริมาณเหล็กสูง เนื้อดินมีความละเอียด มีความเหนียวสูง เนื่องจากเนื้อดินละเอียด สามารถขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและจิกเกอร์ได้ดี และเนื่องจากดินเลนมีการหดตัวต่ำจึงทำให้เมื่อขึ้นรูปแล้วไม่เกิดการแตกร้าว และการบิดเบี้ยว เนื้อดินเทอราคอตต้าสามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผาได้ เช่น แจกัน กระถางต้นไม้ หรือแม้แต่ผลิตเป็นอิฐก่อสร้าง และกระเบื้องดินเผาได้โดยการนำไปผสมกับวัตถุดิบที่เหมาะสม (Bordeepong et al., 2019) (Nattratip, 2017) ตัวอย่างเช่น การใช้โคลนสีแดงจากการผลิตอลูมินาจากแร่บล็อกไซด์มาผสมกับดินเหนียว สำหรับการทำอิฐ และกระเบื้องมุงหลังคา (Babisk et al., 2020) หรือการนำเอาโคลนสีแดงร้อยละ 30 ผสมดินสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปเป็นอิฐก่อนสร้างได้ (Hamsa et al., 2019) หรือการนำเอาดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ผสมดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซด์ร้อยละ 20 ผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า การจะพัฒนาดินเลนหรือดินตะกอนเหลือทิ้งเหล่านี้จำเป็นต้องนำไปผสมกับวัตถุอื่น และเลือกเทคนิคการขึ้นรูปที่เหมาะสม จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน เช่นเดียวกับการพัฒนาดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะ ถ้านำไปผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ ก็จะสามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่หลากหลายได้

2. ดังนั้นแนวทางพัฒนาดินเลนต่อไปในอนาคต เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีมูลค่าสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น การนำดินเลนไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ โดยอาจจะนำไปผสมวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ดินขาว เพื่อเพิ่มความทนไฟ (1230 - 1300 °C) และเพิ่มความแข็งแรงให้เนื้อดินเพื่อให้ได้คุณสมบัติของเนื้อดินสโตน์แวร์) (Kowuttiphong, 2017) หรือการพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อน้ำดิน ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตเซรามิกได้ปริมาณมาก เหมาะสำหรับการผลิตในโรงงานเซรามิก เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากดินเลนเป็นดินตะกอนที่ไหลมาทับถมกันจากกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ ซึ่งในแต่ละชั้นของดินเลนจะมีความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพดิน ดังนั้นในการนำดินเลนมาใช้จำเป็นต้องทำการสุ่มตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพก่อนเสมอ จึงจะทำให้ได้ดินที่เหมาะสม และคุณภาพคงที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะ ที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการในการทำงาน และขอขอบคุณโรงงานเชียงใหม่ศิลาดล และโรงงานชะเลียงเซรามิกที่ได้ให้ความร่วมมือทางวิชาการในการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดียิ่ง ซึ่งถือว่าเป็นการต่อยอดงานวิจัยลงสู่ผู้ประกอบการโดยตรง ทำให้งานวิจัยนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

Babisk, M. P., Amaral, L. F., da Silva Ribeiro, L., Vieira, C. M. F., do Prado, U. S., Borlini, M. C., Oliveira, M. S., da Luz, F. S., Monteiro, S. N., & da Costa Garcia Filho, F. (2020). Evaluation and application of sintered red mud and its incorporated clay ceramics as materials for building construction. *Journal of materials Research and Technology*, 9(2), 2186-2195. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.049.

Bordeepong, S., Phansuke, P., & Sukolrat, A. (2019). Study of mineralogy. chemical composition and physical properties of clays from Local pottery areas Rongang community Pattani province. *RMUTK Science and Technology Journal*, 13(1), 17-29. (in Thai).

Hamza, A., Kocserha, I., Geber, R., & Buzimov, A. (2019). Plasticity of Red Mud and Clay Mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 613, 1-7. https://doi.org/10.1088/1757-899X/613/1/012051.

Karawek, S., Khonthon, S., Intarapadung, A., & Thiamtham, T. (2019). Development of ready-mix soil from tap water sediment for pottery. *Research Journal Phranakhon Rajabhat*: *Science and Technology*, 14(1), 117-135. (in Thai).

Kowuttiphong, P. (2017). Development of a clay mixture from Ban Nong Yang soil for stoneware pottery product. *Industrial technology Lampang Rajabhat University Journal*, 10(2), 60-74. (in Thai).

Nattratip, W. (2017). A study of the ratio of Huepai village clay with grog for pottery product forming**.** *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 10(2), 85-94. (in Thai).

Veiga Simao, F., Chambart, H., Vandemeulebroeke, L., Nielsen, P., & Cappuyns, V. (2021). Turning Mine Waste into a Ceramic Resource: Plombieres Tailing Case.*Journal of Sustaionable Metallurgy*, 7. 1469-1482. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7639.