

## เครื่องปั้นดินเผาอุณหภูมิต่ำจากเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้ว จังหวัดพิษณุโลก

ทนารัช จิตชาญวิชัย<sup>1\*</sup>

Received : April 1, 2019

Revised : June 7, 2019

Accepted : August 1, 2019

### บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ และสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอุณหภูมิต่ำที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้วเป็นส่วนผสม เถ้าลอยเป็นวัสดุที่เป็นกากจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานถ่านหิน กับดินทะเลแก้ว ซึ่งเป็นดินสีแดงที่มีคุณภาพดีสามารถเผาได้อุณหภูมิสูง นำมาใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาอุณหภูมิต่ำที่มีคุณภาพได้ โดยนำเถ้าลอยลิกไนต์และดินเหนียวทะเลแก้วศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ สุ่มตัวอย่างเนื้อดินปั้นแบบเจาะจงบนแกนเส้นตรง จำนวน 10 อัตราส่วนผสม ขึ้นรูปโดยวิธีการอัดแบบ ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา เผาขึ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบเผาไหม้สมบูรณ์ และแบบเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา ปรากฏว่า วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มีความละเอียดเฉลี่ยสูง อยู่ในช่วง  $251\mu\text{m}$ - $2\text{ mm}$  และจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้ว มีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงที่สุดคือร้อยละ 35.50 และ 62.00 รองลงมาคือ อลูมินาออกไซด์ ร้อยละ 18.80 และ 18.20 ตามลำดับ แต่ในเถ้าลอยลิกไนต์ ยังพบปริมาณแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 17.30 เหล็กออกไซด์ร้อยละ 12.90 ด้วย ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมที่ 1 มีปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 5 ในอัตราส่วนผสม เป็นส่วนผสมที่ดีที่สุด จากการเผาทั้งสองบรรยากาศ ในบรรยากาศแบบเผาไหม้สมบูรณ์ มีความแข็งแรงสูงสุด 242.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความหนาแน่นสูงสุด 2.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 12.60 และ ในบรรยากาศแบบเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีความแข็งแรงสูงสุด 244.30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความหนาแน่นสูงสุด 1.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 5.37 และมีสี Light Red 6/8 2.5YR (น้ำตาลแดง) ทั้งสองบรรยากาศ จึงเลือกมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อดินปั้นที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับเนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์

**คำสำคัญ :** เครื่องปั้นดินเผา เถ้าลอยลิกไนต์ เทคโนโลยีวัสดุ วัสดุศาสตร์ ดินเหนียวทะเลแก้ว

<sup>1</sup> สาขาเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

\* ผู้นิพนธ์หลัก e-mail: chittrapap@yahoo.com

## LOW-TEMPERATURE POTTERY MADE FROM LIGNITE FLY ASH AND THALEKAEW CLAY IN PHITSANULOK PROVINCE

Thanarat Jitcharnvichai<sup>1\*</sup>

### Abstract

This research aimed at studying the properties of the raw material and physical properties of clay mixed with lignite fly ash and Thalekaew clay in the production. Lignite fly ash is the remain of coal used in electricity production. Thalekaew clay has a good quality and can be used in the production of low temperature pottery. This research applied the mixing ratio all ingredients by base line diagram to get ten ingredients. Then test pieces were formed by press archetype. The physical characteristics of the clay were examined before burning. After that the sample was burned at a temperature of 1100 °C in both atmosphere (oxidation and reduction). Then, the characteristics of archetype were examined. The results showed that the most average finesse range of both raw materials (lignite fly ash and Thalekaew clay) was 251  $\mu$ -2 mm. The chemical composition analysis of the lignite fly ash and Thalekaew clay indicated that the percentage of silica oxide was 35.50% and 62%, alumina oxide 18.80% and 18.20%. It was found that the percentage of calcium oxide was 17.30% and zinc oxide 12.90% in lignite fly ash. The results also showed that the first ingredient (mixture with 5 % of lignite fly ash) was the best ingredient of all the atmosphere. In the oxidation atmosphere, it was found that the highest strength was 244.79 kg/cm<sup>2</sup>; the highest density was 2.04 g/cm<sup>3</sup>; and water absorption was 12.60 %. In the reduction atmosphere the results showed that the highest strength was 244.03 kg/cm<sup>2</sup>; the highest density was 1.95 g/cm<sup>3</sup>; and water absorption was 5.47 % with light red color of 6/8 2.5YR all of atmosphere. Therefore, the two atmospheres were chosen to manufacture the products because the properties of the ingredients were equivalent to the properties of earthenware.

**Keywords:** Pottery, Lignite Fly Ash, Material Technology, Material Science, Thalekaew Clay

---

<sup>1</sup> Program in Ceramics, Faculty of Industrial Technology Pibulsongkram Rajabhat

\* Corresponding author, e-mail: chittrapap@yahoo.com

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมควบคู่กันไป เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจทั้งสองด้านเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานไฟฟ้าจึงมีส่วนสำคัญอย่างมากส่งผลให้ภาครัฐและเอกชนเร่งคิดค้นและสำรวจแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้น หนึ่งในนั้นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากถ่านหินซึ่งถูกเลือกนำมาใช้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ถึงแม้จะมีผลกระทบมากมายตามมา โดยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพและการดำเนินชีวิตของประชาชนที่เกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผู้ผลิตพลังงานก็ได้ได้เพิกเฉยพยายามหาวิธีป้องกันผลกระทบต่างๆ ที่เกิดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน สิ่งหนึ่งที่ได้จากการดำเนินการป้องกันมลพิษทางอากาศคือ ติดตั้งอุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองที่ทำงานด้วยหลักการไฟฟ้าสถิตเพื่อกดจับฝุ่นละอองไม่ให้หลุดรอดไปสู่บรรยากาศภายนอก ฝุ่นละอองที่ดักจับได้มีจำนวนมหาศาลเรียกว่า เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอย คือ วัตถุพลอยได้จากการเผาถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานกระดาษ เถ้าลอยที่ดีจะได้จากถ่านลิกไนต์ (Lignite) จนถึงแอนทราไซต์ (Anthracite) ซึ่งคุณสมบัติของเถ้าลอยนี้จะดีขึ้นอยู่กับคุณภาพถ่านหิน เถ้าลอยได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1200 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นควันละเอียดลอยสู่บรรยากาศ เถ้าลอยที่ดักจับได้มีขนาดเท่าควันบุรี ปัจจุบันสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ได้กำหนดมาตรฐานเถ้าลอยด้วยเลข มอก. 2135-2545 เป็นมาตรฐานประเทศไทย เถ้าลอยจากแหล่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นเถ้าลอยลิกไนต์ มีคุณภาพสูงเป็นที่ยอมรับและนำมาใช้งานมากที่สุดในประเทศไทย โดยเถ้าลอยแหล่งนี้จะประกอบไปด้วย ซิลิกา อลูมินา เหล็ก และแคลเซียม ในปริมาณค่อนข้างสูง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเซรามิกส์ GM Grand Midas. (2557) รายงานว่า เฉพาะโรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะเพียงแหล่งเดียวสามารถดักจับเถ้าลอยได้ถึงวันละ 6,000 ตัน โดยนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการเป็นวัตถุดิบประกอบการผลิตซีเมนต์ และยิปซัม หากนำไปใช้ไม่หมดจำเป็นต้องฝังกลบตามหลักการควบคุมมลพิษ <http://maemoh.egat.com> (20 กันยายน 2557) ซึ่งน่าเสียดายอย่างยิ่งเพราะเถ้าลอยมีส่วนประกอบของออกไซด์หลายชนิดที่มีความจำเป็นต่ออุตสาหกรรมหลายด้าน รวมถึงด้านเซรามิกส์

ในกระบวนการผลิตเซรามิกจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางเคมีที่มี ซิลิกา อลูมินาและออกไซด์หลายชนิด วัตถุดิบเหล่านี้ได้จากแร่ต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ มีราคาแตกต่างกันตามชนิด ปริมาณ และความต้องการใช้วัตถุดิบ วัตถุดิบบางชนิดหายากผลิตยากย่อมมีราคาแพง ทำให้กระบวนการผลิตมีต้นทุนที่สูง อีกทั้งปัจจุบันผู้ผลิตต้องแบกรับต้นทุนของเชื้อเพลิงในการผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ผู้ประกอบการประสบภาวะขาดทุนและบางรายต้องปิดกิจการ หากสามารถนำวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำและมีส่วนประกอบทางเคมีของออกไซด์ที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตเซรามิกมาใช้ ย่อมส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมเซรามิก ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสมบัติทางกายภาพของเครื่องปั้นดินเผาอุณหภูมิต่ำทำจากเถ้าลอยลิกไนต์และดินเหนียวทะเลแก้ว ซึ่งเป็นดินท้องถิ่น ในจังหวัดพิษณุโลก เป็นดินที่มีความเหนียว หากผลการวิจัยนี้ประสบผลดี ย่อมสามารถได้วัตถุดิบในการผลิตเซรามิกเพิ่มขึ้น ช่วยลดต้นทุนการผลิตเซรามิก ทั้งยังช่วยลดกากอุตสาหกรรมจากโรงไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนได้อีกทาง

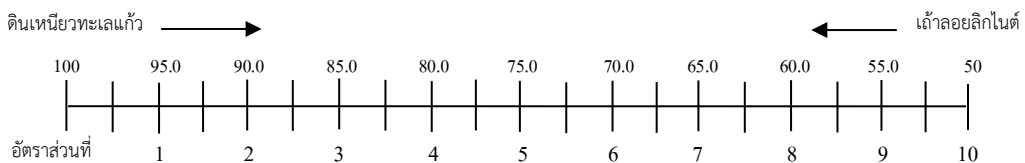
## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติของเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้วที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตเซรามิก
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอุณหภูมิต่ำที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ และดินดินเหนียวทะเลแก้วเป็นส่วนผสม

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผาอุณหภูมิต่ำทำจากเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้ว จังหวัดพิษณุโลก ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีดำเนินการทดลอง นำวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย เถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้ว นำวัตถุดิบ มาล้างทำความสะอาดแยกเศษหิน วัสดุแปลกปลอม และ อบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้วัตถุดิบมีความชื้นใกล้เคียงกัน แบ่งวัตถุดิบไปทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคจากเครื่องหาการกระจายความละเอียด และศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ นำวัตถุดิบที่ใช้วิจัยไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 105 ไมโครเมตร ซึ่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่กำหนดในทุกอัตราส่วนผสม นำวัตถุดิบไปบดเปียกด้วยเครื่องบดความเร็วสูงที่ 300 รอบต่อวินาที นาน 30 นาที นำวัตถุดิบที่บดเปียกแล้วมาลดความชื้นเพื่อนำมาขึ้นรูปโดยวิธีการอัดแบบในแม่พิมพ์โลหะที่เตรียมไว้ โดยการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบที่จะอัดในแต่ละขึ้นให้เท่ากันทุกอัตราส่วนผสม คือ 50 กรัม ซึ่งในการขึ้นรูปนี้ยังเป็นการศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปของแต่ละอัตราส่วนผสมด้วยว่าสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบได้ดีเพียงใด กำหนดกลุ่มตัวอย่างของเนื้อดินปั้น โดยกำหนดอัตราส่วนผสมแบบเจาะจงบนแกนเส้นตรง กำหนดให้ดินเหนียวทะเลแก้วอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 95.0 และเถ้าลอยลิกไนต์ มีปริมาณแปรผกผันไปตามอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซิลิเกต ได้ทั้งสิ้น จำนวน 10 อัตราส่วนผสมดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การผสมวัตถุดิบสองชนิดเข้าหากันบนแกนเส้นตรง แสดงอัตราส่วนผสมแต่ละจุดของเนื้อดินปั้น

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นโดยใช้ขั้นทดสอบในการคำนวณ สมบัติละ 10 ขึ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม มีวิธีการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา และหลังเผา และสูตรในการคำนวณดังนี้

2.1 การหัดตัวก่อนเผา และหลังเผา ทดสอบโดยวัดระยะห่างของรอยขีดบนขึ้นทดสอบ หา ค่าเฉลี่ยของระยะ ห่างนั้นในแต่ละอัตราส่วนผสม นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวณตามสูตร (1) และ (2) (สุจินต์ พรราวพันธ์, 2534 : 20)

$$\text{ร้อยละการหดตัวก่อนเผา} = \frac{\text{ความยาวของชิ้นทดสอบเริ่มต้น} - \text{ความยาวของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง}}{\text{ความยาวของชิ้นทดสอบเริ่มต้น}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ร้อยละการหดตัวหลังเผา} = \frac{\text{ความยาวของชิ้นทดสอบเริ่มต้น} - \text{ความยาวของชิ้นทดสอบหลังเผา}}{\text{ความยาวของชิ้นทดสอบเริ่มต้น}} \times 100 \quad (2)$$

2.2 ความแข็งแรงก่อนเผา และหลังการเผา บันทึกความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบ หาค่าเฉลี่ยในแต่ละอัตราส่วนผสม นำชิ้นทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธีการกด มีระยะห่างระหว่างลิ้มรองรับ 8 เซนติเมตร บันทึกแรงที่ใช้กดเป็นกิโลกรัม คำนวณหาค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture, MOR) ตามสูตร (3) (ปริดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 72)

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

|          |            |                                             |
|----------|------------|---------------------------------------------|
| กำหนดให้ | <b>MOR</b> | = ความแข็งแรงต่อแรงกด (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|          | <b>P</b>   | = แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก (kg)            |
|          | <b>L</b>   | = ระยะระหว่างแท่นรอง (cm)                   |
|          | <b>b</b>   | = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (cm)                |
|          | <b>d</b>   | = ความหนาของชิ้นทดสอบ (cm)                  |

2.3 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น นำชิ้นทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง ชั่งชิ้นทดสอบก่อนดูดซึมน้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย นำชิ้นทดสอบดังกล่าวไปต้มในน้ำเดือดนาน 2 ชั่วโมง ขณะที่ต้มชิ้นทดสอบต้องจมอยู่ในน้ำตลอดเวลาโดยชิ้นทดสอบต้องไม่ติดกับก้นภาชนะที่ต้ม หลังจากนั้นแช่ชิ้นทดสอบไว้ในน้ำนั้นอีก 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำใช้ผ้าหมาดๆ ซับผิวชิ้นทดสอบ นำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักหลังต้มหาค่าเฉลี่ย นำไปคำนวณตามสูตร (4) (Rhodes, 1974 : 200)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังต้ม} - \text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนต้ม}}{\text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนต้ม}} \times 100 \quad (4)$$

2.4 ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น โดยหลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes' Principle) หรือการหาค่าความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนัก วิธีการทำได้โดยการหาค่ามวลของวัตถุในอากาศ และขณะที่จุ่มอยู่ในน้ำ โดยใช้สูตรคำนวณคือ (5) (ปราณี รัตนวลิตโรจน์, 2543 : 131)

$$\rho = \frac{W_a}{W_a - W_{fl}} \times \rho_{fl} \quad (5)$$

กำหนดให้

$\rho$  = ค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบ ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{fl}$  = ค่าความหนาแน่นของของเหลว ( $\text{g/cm}^3$ )

$W_a$  = น้ำหนักแห้งของชั้นทดสอบ (g)

$W_{fl}$  = น้ำหนักของชั้นทดสอบในของเหลว (g)

## 2.5 ศึกษาลักษณะสีหลังเผาโดยใช้ชุดทดสอบเปรียบเทียบกับ Munsell Soil Color Book

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### ผลการวิจัย

1. ลักษณะของวัตถุดิบ ศึกษาการกระจายความละเอียดของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มีขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 251 ไมโครเมตร -2 มิลลิเมตรเมตร โดยถั่วลยอกไนต์มีปริมาณร้อยละ 20.67 และดินเหนียวทะเลแก้วมีปริมาณร้อยละ 59.39 ด้านผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบพบว่า ถั่วลยอกไนต์ มีซิลิกาออกไซด์สูงถึงร้อยละ 35.50 มีลูมินาออกไซด์ร้อยละ 18.80 มีแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 17.30 มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 12.90 โดยมีวานาเดียมไดออกไซด์และโครมไดออกไซด์ ร้อยละ 0.03 และ 0.01 ตามลำดับ และดินเหนียวทะเลแก้ว มีซิลิกาออกไซด์สูงถึงร้อยละ 62.00 มีลูมินาออกไซด์ร้อยละ 18.20 มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 5.48 โดยมีแมงกานีสออกไซด์ วานาเดียมไดออกไซด์ และโครมไดออกไซด์ ร้อยละ 0.03 0.03 และ 0.01 ตามลำดับ

2. สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น แสดงตามตารางที่ 1 2 และ 3

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพของชั้นทดลองก่อนเผา

| อัตราส่วนผสมที่ | สมบัติทางกายภาพของชั้นทดลองก่อนเผา |                   |                                  |
|-----------------|------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
|                 | ความสามารถในการขึ้นรูป             | การหดตัว (ร้อยละ) | ความแข็งแรง ( $\text{kg/cm}^2$ ) |
| ดินทะเลแก้ว     | ขึ้นรูปได้                         | 5.70              | 99.12                            |
| 1               | ขึ้นรูปได้                         | 5.00              | 69.60                            |
| 2               | ขึ้นรูปได้                         | 4.30              | 68.88                            |
| 3               | ขึ้นรูปได้                         | 4.30              | 61.68                            |
| 4               | ขึ้นรูปได้                         | 4.00              | 57.60                            |
| 5               | ขึ้นรูปได้                         | 2.70              | 53.52                            |
| 6               | ขึ้นรูปได้                         | 2.00              | 48.72                            |
| 7               | ขึ้นรูปได้                         | 1.70              | 39.68                            |
| 8               | ขึ้นรูปได้                         | 1.30              | 29.52                            |
| 9               | ขึ้นรูปได้                         | 0.70              | 18.48                            |
| 10              | ขึ้นรูปได้                         | 0.50              | 12.72                            |

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติทางกายภาพของชั้นทดลองหลังเผา ในบรรยากาศการเผาแบบเผาไหม้สมบูรณ์

| อัตรา<br>ส่วนผสมที่ | สี                  | สมบัติทางกายภาพของชั้นทดลองหลังเผา |                                      |                          |                                     |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
|                     |                     | การหดตัว<br>(ร้อยละ)               | ความแข็งแรง<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | การดูดซึมน้ำ<br>(ร้อยละ) | ความหนาแน่น<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
| ดินทะเลแก้ว         | Light Red 6/8 2.5YR | 9.37                               | 295.02                               | 8.22                     | 2.07                                |
| 1                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.33                               | 242.79                               | 12.60                    | 2.04                                |
| 2                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.30                               | 206.09                               | 14.52                    | 1.89                                |
| 3                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.27                               | 148.57                               | 18.38                    | 1.89                                |
| 4                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.23                               | 114.87                               | 18.57                    | 1.85                                |
| 5                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.07                               | 95.26                                | 18.89                    | 1.84                                |
| 6                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.00                               | 90.32                                | 24.94                    | 1.74                                |
| 7                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.90                               | 86.87                                | 25.70                    | 1.70                                |
| 8                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.80                               | 79.33                                | 25.99                    | 1.66                                |
| 9                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.70                               | 66.54                                | 26.42                    | 1.54                                |
| 10                  | Light Red 6/8 2.5YR | 8.30                               | 52.70                                | 29.68                    | 1.52                                |

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติทางกายภาพของชั้นทดลองหลังเผา ในบรรยากาศการเผาแบบเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

| อัตรา<br>ส่วนผสมที่ | สี                  | สมบัติทางกายภาพของชั้นทดลองหลังเผา |                                      |                          |                                     |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
|                     |                     | การหดตัว<br>(ร้อยละ)               | ความแข็งแรง<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | การดูดซึมน้ำ<br>(ร้อยละ) | ความหนาแน่น<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
| ดินทะเลแก้ว         | Light Red 6/8 2.5YR | 9.30                               | 343.41                               | 5.27                     | 2.08                                |
| 1                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.27                               | 244.30                               | 5.37                     | 1.95                                |
| 2                   | Light Red 6/8 2.5YR | 9.05                               | 226.99                               | 9.72                     | 1.90                                |
| 3                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.90                               | 164.45                               | 9.76                     | 1.86                                |
| 4                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.73                               | 151.59                               | 10.20                    | 1.81                                |
| 5                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.73                               | 138.79                               | 13.62                    | 1.81                                |
| 6                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.63                               | 123.18                               | 16.02                    | 1.81                                |
| 7                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.60                               | 98.67                                | 22.47                    | 1.79                                |
| 8                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.30                               | 49.74                                | 27.54                    | 1.73                                |
| 9                   | Light Red 6/8 2.5YR | 8.27                               | 30.67                                | 26.08                    | 1.73                                |
| 10                  | Light Red 6/8 2.5YR | -                                  | -                                    | -                        | -                                   |

### อภิปรายผล

จากการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ และสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น เผา อุณหภูมิเตาที่มีถ่านลอยลิไกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้วเป็นส่วนผสม พบว่า ลักษณะของวัตถุดิบ ประกอบด้วย ความละเอียดของวัตถุดิบ ได้แก่ ถ่านลอยลิไกไนต์ และ ดินเหนียวทะเลแก้ว มีความละเอียดเฉลี่ยสูงสุดที่ขนาด  $251\mu\text{m}$  และปริมาณส่วนใหญ่ที่เหลือมีขนาดเล็กกว่า  $251\mu\text{m}$  แทบทั้งสิ้น ซึ่งจัดว่ามีความละเอียดสูงมาก โดยเฉพาะ ดินเหนียวทะเลแก้ว มีปริมาณมากถึงร้อยละ 59.39 ซึ่งสอดคล้องกับ ประสิทธิ์ แก้วพุ้งรังสี. (2539 : 160 – 161) ที่กล่าวว่า ดินเหนียวทะเลแก้วจึงเป็นดินที่อยู่ในทุ่งทะเลแก้วลักษณะดินเป็นดินเหนียว เนื้อละเอียด และ ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541 : 22) ได้กล่าวว่าวัตถุดิบที่มีความละเอียดเหมาะสมสำหรับนำไปผสมกับเนื้อดินปั้น หรือใช้งานในขั้นตอนการผลิตเซรามิกต้องมีความละเอียดมาก สามารถผ่านตะแกรง 100 เมช (150 ไมครอน) ได้และหากนำไปบดด้วยหม้อบดจะช่วยลดขนาดของวัตถุดิบลงได้อีก ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ ถ่านลอยลิไกไนต์ มีซิลิกาออกไซด์สูงมากถึงร้อยละ 35.50 มีอลูมินาออกไซด์ร้อยละ 18.80 มีแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 17.30 มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 12.90 สอดคล้องกับ GM Grand Midas. (2557) รายงานว่า ถ่านลอยโรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะประกอบไปด้วย ซิลิกา อลูมินา เหล็ก และแคลเซียม และจากผลวิเคราะห์ทางเคมีของ รongรัตน์ ระมิงค์วงศ์ และ กิตติชัย ระมิงค์วงศ์. (2557 : 102) ใกล้เคียงกัน คือ มีปริมาณ ซิลิกา อลูมินาสูง รองลงมาคือ เหล็ก และแคลเซียมเช่นเดียวกัน ดินเหนียวทะเลแก้ว มีซิลิกาออกไซด์สูงมากถึงร้อยละ 62.00 มีอลูมินาออกไซด์ร้อยละ 18.20 มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 5.48 และจากผลวิเคราะห์ทางเคมีของ ประสิทธิ์ แก้วพุ้งรังสี. (2539 : 143) มีความใกล้เคียงกัน คือ มีปริมาณซิลิกาออกไซด์ร้อยละ 61.60 มีอลูมินาออกไซด์ร้อยละ 17.40 มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6.80 ซึ่งถือได้ว่าแหล่งวัตถุดิบยังคงความเสถียร และคุณภาพที่เชื่อถือได้

สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา ได้แก่ ความสามารถในการขึ้นรูป ทุกอัตราส่วนผสม สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบได้ แต่มีความยากง่ายต่างกัน จากสูตรอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนผสมส่วนใหญ่ที่มีปริมาณถ่านลอยลิไกไนต์ผสมอยู่เป็นปริมาณสูงจะขึ้นรูปและการคงรูปของชิ้นทดลองได้ค่อนข้างยากกว่า อัตราส่วนผสมส่วนใหญ่ที่มีปริมาณถ่านลอยลิไกไนต์ผสมอยู่เป็นปริมาณต่ำกว่า การหดตัวก่อนการเผา และความแข็งแรงก่อนเผา อัตราส่วนผสมที่ 10 มีค่าการหดตัวก่อนการเผาและความแข็งแรงก่อนเผาต่ำที่สุด ซึ่งอัตราส่วนนี้มีปริมาณถ่านลอยลิไกไนต์สูงถึงร้อยละ 50 เป็นผลมาจากการทดสอบความละเอียดของวัตถุดิบนี้ มีความหยาบมากกว่าดินเหนียวทะเลแก้ว จึงทำให้ผงวัตถุดิบมีการเรียงตัวชิดกันได้ไม่มากจึงทำให้เกิดการหดตัวน้อยกว่าเนื้อดินที่มีความละเอียดสูงกว่า

สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา ได้แก่ ความทนไฟ ทุกอัตราส่วนผสม ยกเว้นอัตราส่วนผสมที่ 10 ที่ผ่านการเผาในบรรยากาศรีดักชัน สามารถทนอุณหภูมิในการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส ได้โดยไม่เสียรูปทรง บิดเบี้ยว โก่งงอ หรือคดบวม ซึ่งสอดคล้องกับ รongรัตน์ ระมิงค์วงศ์ และ กิตติชัย ระมิงค์วงศ์. (2557 : 99) ที่กล่าวว่า เนื้อดินสามารถเผาได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศการเผาแบบเผาไหม้สมบูรณ์ เนื้อดินยังคงรูปไม่หลอมตัวสีของเนื้อดินที่ได้ มีสีน้ำตาลแดง เนื่องจากในส่วนประกอบทางเคมีของถ่านลอยลิไกไนต์ และ ดินเหนียวทะเลแก้วมีเหล็กออกไซด์ปริมาณที่สูง โดยเฉพาะถ่านลอยลิไกไนต์มีเหล็กออกไซด์ร้อยละ 12.90 ซึ่ง สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2534 : 13) ได้กล่าวว่า เหล็กออกไซด์เป็นสารให้สีน้ำตาลแดง และยังเป็นสารที่ช่วยในการหลอมละลายที่ดี ส่วนมากมักเกิดในลักษณะเป็นสิ่งเจือปนที่เราพยายามกำจัดออก การหดตัวหลังเผา จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่ 10 มีค่าการหดตัวหลังการเผาต่ำที่สุด และอัตราส่วนผสมที่ 1 มีค่าการหดตัวหลังการเผามากที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของถ่านลอยลิไกไนต์ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ आयวัฒน์ สว่างผล (2541 : 19) กล่าวว่า การหดตัวของดินมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นอย่างมาก เพราะถ้าดินหดตัว



มากจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าได้ง่ายหรือทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามความต้องการ ส่วนสาเหตุสำคัญของการหดตัวเนื่อง มาจากน้ำที่ผสมในเนื้อดินระเหยออกไปเนื้อดินจะหดตัวแทนที่การระเหยน้ำเร็ว การหดตัวของดินย่อมมากด้วย จากลักษณะการหดตัวมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าดินหดตัวมาก อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าได้ง่ายหรือเกิดการบิดเบี้ยวได้ง่าย แต่ถ้าดินหดตัวน้อยหรือไม่มีการหดตัวแสดงให้เห็นว่าเนื้อดินนั้นไม่มีความเหนียวทำให้เกิดปัญหาสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เมื่อมีความเหนียวน้อยเกินไปหรือเหนียวมากเกินไปมีผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปอย่างแน่นอน ดังนั้นจึงต้องมีการปรุงแต่งเนื้อดินให้สมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแต่ละชนิด ความแข็งแรงหลังเผา จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่ 10 มีความแข็งแรงหลังเผาต่ำที่สุด และอัตราส่วนผสมที่ 1 มีความแข็งแรงหลังเผามากที่สุด เมื่อนำผลการทดสอบความแข็งแรงมาเปรียบเทียบกับค่าการหดตัว จะเห็นได้ว่าความหดตัวมีผลสอดคล้องต่อความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นด้วย เมื่ออัตราส่วนผสมได้มีการหดตัวมาก ความแข็งแรงของเนื้อดินก็สูง แต่เมื่ออัตราส่วนผสมได้มีการหดตัวต่ำความแข็งแรงก็ลดต่ำลงเช่นกัน เมื่อสังเกตอัตราส่วนผสมแต่ละอัตราส่วนผสมจะพบว่า อัตราส่วนที่มีปริมาณดินเหนียวทะเลแก้วมาก เนื้อดินปั้นจะมีการหดตัวสูง และมีความแข็งแรงสูงเช่นกัน เนื่องจากเป็นดินที่มีความเหนียว เนื้อดินมีความละเอียดเมื่อแห้งยึดเกาะกันแน่นส่งผลให้เนื้อดินปั้นมีความแข็งแรงมาก สอดคล้องกับ โกมล รัชวงศ์ (2531 : 9) กล่าวว่า ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมที่มีผลละเอียดมีความเหนียวที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา นอกจากนี้ ปรีดา พิมพ์ขาวชา (2539 : 53) กล่าวว่า ดินเหนียวมีลักษณะพิเศษคือ มีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอสารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายกลีโคไลนัต์มาก ดินเหนียวเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูงและมีความหดตัวสูงเช่นกัน เมื่อผสมเนื้อดินปั้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย การดูดซึมน้ำ จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่ 1 มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด และอัตราส่วนผสมที่ 10 มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด สอดคล้องกับ คณธิป อิสระกุล. (2557) ที่กล่าวว่า กระเบื้องเซรามิกส์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยกลีโคไลนัต์ผสมอยู่ หากมีการดูดซึมน้ำสูง จะมีค่าโมดูลัสการแตกร้าที่ต่ำลง ซึ่งการดูดซึมน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กับการพองตัว ซึ่งประจักษ์ สรรสิทธิ์ (2541 : 96) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์หลังจากผ่านการเผาแล้ววัตถุดิบจะหลอมตัวกันจนเกิดเป็นโครงสร้างใหม่แต่โครงสร้างของเซรามิกส์ก็มีส่วนที่เป็นฟองอากาศขนาดเล็กปะปนอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งเรียกว่า รูพูน นอกจากนี้ ดนัย อารยะพงษ์ (2538 : 17) กล่าวว่า รูพูนบางชนิดจะอยู่ใกล้กับผิวผลิตภัณฑ์ เรียกว่า รูพูนเปิด (Open Pores) และมีรูพูนบางชนิดจะเหลืออยู่ในเนื้อดินหลังเผา เรียกว่า รูพูนปิด (Closed Pores) ซึ่งรูพูนปิดและรูพูนเปิดที่เกิดขึ้นเหล่านี้เกิดจากการสลายตัวของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่เกิดปฏิกิริยาในขณะที่ทำการเผา และ ปรีดา พิมพ์ขาวชา (2539 : 337) กล่าวไว้เช่นกันว่าความพองตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อยที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 1100 – 1200 องศาเซลเซียส และจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของรูพูน รูพูนนี้เกิดจากก๊าซซึ่งอาจมาจากน้ำ คาร์บอนเต และซัลเฟส หรือเกิดจากการเผาไหม้ของคาร์บอน รูพูนที่กล่าวนี้ซ่อนตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่เชื่อมต่อภายนอก ส่วนรูพูนอีกชนิดหนึ่งจะเชื่อมต่อกับภายนอก รูพูนชนิดนี้เกิดจากพวกฟองอากาศ ที่ถูกกักอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จใหม่ และในระหว่างการเผาก็ไม่สามารถเชื่อมโยงรูพูนเหล่านี้ให้ปิดสนิทได้ อย่างไรก็ดีเราสามารถลดรูพูนชนิดนี้ได้ หรือทำให้หมดไปเลยโดยการควบคุมสภาวะการเผาให้เหมาะสมแต่เราไม่สามารถลดรูพูนที่ซ่อนอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ลงได้หมดด้วยวิธีปกติจากการทดลองเนื้อดินมีการหลอมหรือเผาถึงจุดสุกตัวรูพูนจะเล็กลงทำให้เกิดช่องว่างเล็กลง ปริมาณน้ำที่เข้าไปภายในมีน้อยทำให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยแต่ถ้ามีรูพูนมากและมีช่องว่างที่ใหญ่จะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้นเช่นกัน ความหนาแน่น จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่ มีปริมาณของเถ้าลอยกลีโคไลนัต์ต่ำจะมีความหนาแน่นสูงซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงที่มีค่าสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อดูความสัมพันธ์ของตัวแปร ค่าความแข็งแรง

สูงค่าหนาแน่นก็จะสูงด้วยเช่นกัน (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 174) ดังนั้นเมื่อมองในภาพรวมจากการวิจัยครั้งนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาผสมลงในดินเหนียวทะเลแก้วเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก นั้น มีข้อจำกัดในปริมาณของเถ้าลอยลิกไนต์ หากใช้ในปริมาณสูงจะจับตัวเป็นก้อนมีความเหนียวสูงแต่ยากต่อการขึ้นรูปและเสียรูปทรงง่าย จึงไม่ควรใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณที่มากกว่า ร้อยละ 20 หากสูงกว่านี้เนื้อดินจะขาดสมบัติที่ดีในการทำผลิตภัณฑ์ โดยเนื้อดินที่เหมาะสมนี้มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์ มีการดูดซึมน้ำสูง แต่มีความแข็งแรงมาก หากต้องนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เถ้าลอยลิกไนต์เหมาะสมกับการผสมกับ วัสดุดิบที่ความเหนียวต่ำ

### สรุป

จากศึกษาสมบัติของวัสดุดิบ และสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น เเผาในอุณหภูมิต่ำที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้วเป็นส่วนผสม สรุปว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุดคือ สามารถขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบได้ดี มีความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ประกอบด้วย ดินเหนียวทะเลแก้ว ร้อยละ 95 เถ้าลอยลิกไนต์ ร้อยละ 5 สามารถเผาได้ทั้งบรรยากาศแบบเผาไหม้สมบูรณ์ และเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื้อดินปั้นส่วนผสมดังกล่าวสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก ตามภาพที่ 2 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์เซรามิกจากการวิจัยที่ผลิตเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ และดินเหนียวทะเลแก้ว ทั้งในบรรยากาศแบบเผาไหม้สมบูรณ์ (ก) และเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (ข)

### ข้อเสนอแนะ

#### 1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1.1 การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ การนำผลการทดลองไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการทดลองอัตราส่วนผสมใหม่อีกครั้ง เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละแหล่งมีสมบัติ และส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ แตกต่างกัน

1.2 การนำวัตถุเดิมมาใช้ในการวิจัยแต่ละครั้ง ควรมีการควบคุมความชื้นของวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่สามารถรับได้ในการวิจัย เนื่องจากมีผลต่อการขึ้นรูป และสมบัติทางกายภาพ

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การวิจัยด้านเนื้อดินปั้น ควรมีการปรับปรุงส่วนผสม หรือเพิ่มเติมวัตถุดิบชนิดต่างๆ เข้าไปเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

2.2 ควรมีการศึกษ้อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นในกลุ่มตัวอย่างอื่น และกำหนดอุณหภูมิในการเผาที่สูงขึ้นหรือต่ำลง

2.3 เนื้อดินที่ได้จากการวิจัยนี้มีการแห้งตัวช้า และเสียรูปทรงบิดรูปได้ง่าย ในการทดลองครั้งต่อไปควรควบคุมความชื้น และน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป เพื่อช่วยป้องกันการบิดเบี้ยวเสียรูปทรงของชิ้นงาน

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบคุณสาขาวิชาเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

โกมล รัชวงศ์. (2531). **วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น**. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาช่างปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร.

คณาธิป อิศระกุล. (2557). **การพัฒนากระเบื้องเซรามิกด้วยการผสมของเถ้าแกลบ และเถ้าลอยลิกไนต์**. กรุงเทพมหานคร : วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

दनัย อารยะพงษ์. (2538). **เอกสารการฝึกอบรมเรื่อง การหล่อผลิตภัณฑ์**. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประสิทธิ์ แก้วพุ้งรังษี. (2539). **การทดลองหาประสิทธิภาพเนื้อดินปั้นประเภทสโตนแวร์ของดินเหนียวทะเลแก้ว อำเภอมือง จังหวัดพิษณุโลก**. พิษณุโลก : วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ประจตุติ สารสิทธิ์. (2541). **การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ในงานเซรามิกส์**. นครศรีธรรมราช : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช.

ปราณี รัตนวลิตโรจน์. (2543). **เครื่องเครื่องวัดความหนืด ใน วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชาและสุพจ หารหนองบัว (บก). เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น**. (หน้า 145-156) กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). **เซรามิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). **เนื้อดินเซรามิกส์**. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. **การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์**. 20 กันยายน 2557. <http://maemoh.egat.com>

รองรัตน์ รมะมิ่งวงศ์ และ กิตติชัย รมะมิ่งวงศ์. (2557). **การวิจัยและพัฒนาสมบัติเชิงกลของกระเบื้องปูพื้นดินเผาจากเถ้าลอยลิกไนต์**. กรุงเทพมหานคร : การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2557. 11-13 มิถุนายน 2557.

สุจินต์ พรราวพันธ์. (2543). **เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่องการทดสอบ ผลของความร้อน**

ของเนื้อดิน ความทนไฟ การหดตัว Weight Loss ในการตรวจวิเคราะห์วัตถุโบราณคดีตาม  
มาตรฐานสากล. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.  
สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2534). น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพานิช.  
อายุวัฒน์ สว่างผล. (2541) วัตถุที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์. กำแพงเพชร : สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.  
Rhodes, Deniel. (1972). Clay and Glazer for The Potter. London: Pitman Publishing Company.  
GM Grand Midas. (2014). September 8, 2557, Website : <http://www.g-midas.com>