

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 เตาและพฤติกรรมการเผาไหม้

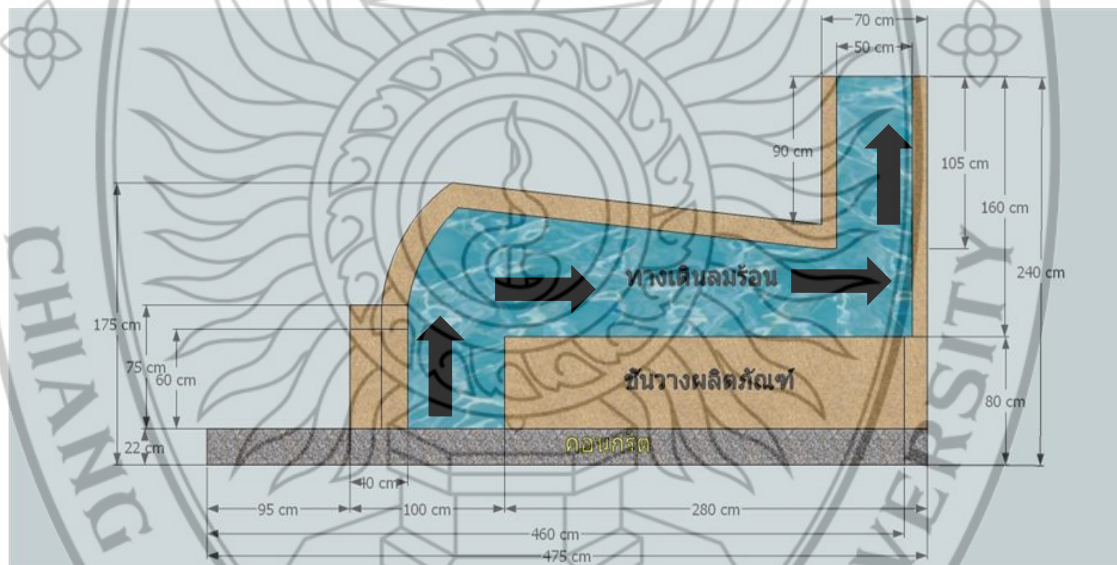
4.1.1 ลักษณะและองค์ประกอบของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

เตาเผาเซรามิกชนิดใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ได้ทำการออกแบบและสร้าง โดยได้แนวคิดมาจากเตาเผา อินทิล ซึ่งค้นพบที่อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเตาที่มีลักษณะทางเดินลมร้อนแนวนอน ดังภาพที่ 4.1 มีลักษณะคล้ายเตาโบราณที่ค้นพบที่อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ รวมถึงเตาเวียงกาหลง จังหวัดเชียงราย และเตาสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะและองค์ประกอบของเตาฟืนโดยมีต้นแบบมาจากเตาอินทิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

ผู้วิจัยจึงทำการสร้างเตาขึ้นมาเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ โดยเตาที่สร้างขึ้นมีความยาวของตัวเตาโดยวัดจากหน้าเตาถึงท้ายเตาเท่ากับ 375 เซนติเมตร ความกว้าง วัดจากส่วนที่กว้างที่สุดเท่ากับ 240 เซนติเมตร และความสูงของหลังคาเตาและปล่องไฟ เท่ากับ 180 เซนติเมตร และ 240 เซนติเมตร ตามลำดับ การสร้างเตาให้มีลักษณะนอนและยาวเพื่อเพิ่มระยะทางเดินลมร้อนมีผลดีต่อการรักษาอุณหภูมิในเตาเผาไม่ให้อุณหภูมิสูญเสียเร็วทางปล่องไฟ ความหนาของผนังเตาประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนภายในเตาออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้รักษาอุณหภูมิจนนำไปสู่การเพิ่มอุณหภูมิได้และประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการเพื่อผลิตถ่านที่เกิดการสุกตัว ซึ่งในการเผาเซรามิกใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง ประมาณ $900-1,350^{\circ}\text{C}$ ภายในตัวเตาบริเวณห้องวางผลิตภัณฑ์มีการยกระดับให้สูงขึ้น เพื่อรับกับลมร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ เป็นการสร้างโอกาสให้ผลิตภัณฑ์ในการได้รับความร้อนจนนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อดินและเกิดการสุกตัวได้ โดยลมร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น และไหลไปตามความยาวของเตาผ่านผลิตภัณฑ์ออกไปยังปล่องไฟ ดังภาพที่ 4.2 โดยมีปล่องไฟที่สร้างให้สูงขึ้นเหนือตัวเตาทำหน้าที่ดูดลมร้อนและระบายไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ในห้องเผา เพื่อให้อากาศหรือออกซิเจนมีโอกาสเต็มเข้ามาในกระบวนการเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพ หากไอเสียระบายออกช้าจะส่งผลให้อุณหภูมิในเตาลดลง เนื่องจากไอเสียสามารถดูดซับความร้อนไว้ได้



ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะภายในเตาเผาและทางเดินลมร้อนภายในเตา

4.1.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

ในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาเผา ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเผาโดยการเผาขณะที่ไม่มีผลิตภัณฑ์และมีการใส่ผลิตภัณฑ์เข้าไป เพื่อเปรียบเทียบอัตราการการขึ้นอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้เผา รวมถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

4.1.2.1 ลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง และอัตราการใส่เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาเผาเป็นไม้ฟืนลำไย คละขนาด มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 3.5-10 เซนติเมตร ค่าพลังงานเฉลี่ย 1.84 เมกะจูล/กิโลกรัม มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 14.49 สำหรับฟืนแห้ง และร้อยละ 33.84 สำหรับฟืนเปียก ดังตารางที่ 4.1 การใส่เชื้อเพลิงทำการอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตรา 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา

ชนิดเชื้อเพลิง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	ค่าพลังงานเฉลี่ย (เมกะจูล/กิโลกรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (ฟืนแห้ง) ร้อยละ	ความชื้น (ฟืนชื้น) ร้อยละ
ไม้ลำไย	3.5	1.80	15.35	40.78
ไม้ลำไย	8	1.86	13.36	29.32
ไม้ลำไย	10	1.85	14.78	31.44
เฉลี่ย		1.84	14.49	33.84

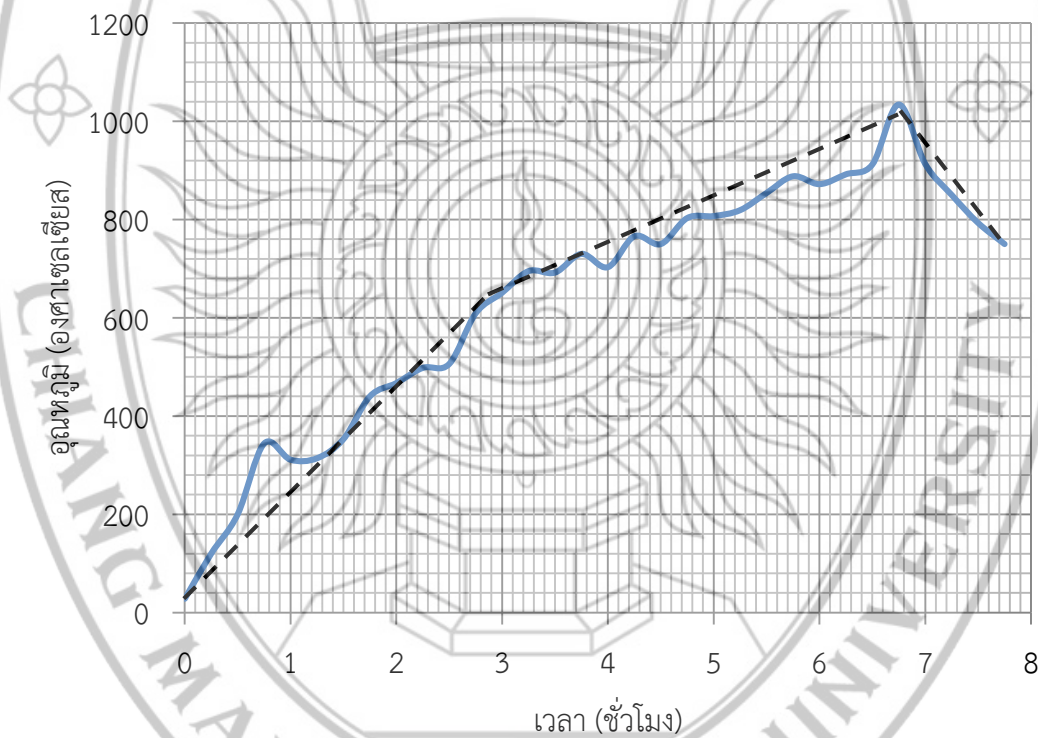
ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเชื้อเพลิง (Kg)	ปริมาณเชื้อเพลิงสะสม (Kg)
0-1	50	50
1-2	50	100
2-4	50	150
4-5	50	200
5-6	50	250
6-7	50	300
7-8	100	400

4.1.2.2 การเผาไหม้ขณะที่ไม่มีการใส่ผลิตภัณฑ์

ในการทดลองเผาขณะที่ไม่มีการใส่ผลิตภัณฑ์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเทียบกับเวลา โดยการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง คละขนาดของเชื้อเพลิง และมีการวัดความชื้น ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.49 ในการใส่แต่ละช่วงได้ทำการชั่ง ครั้งละ 50 กิโลกรัม และใส่ไปในห้องเผาไหม้เพื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งใช้เทอร์โมคัพเปิลในการวัดอุณหภูมิ ดังตารางที่ 4.2

เมื่อทำการเผา พบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมดสำหรับการเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1000°C เท่ากับ 400 กิโลกรัม เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 6 ชั่วโมง 45 นาที อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ $2.40^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิเตาลดลงจาก 1000°C จนถึง 750°C ใช้เวลา 60 นาที หรือมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิเท่ากับ $4.16^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ ซึ่งอัตราการลดลงมากกว่าขึ้น เนื่องจากระหว่างการเผามีการสูญเสียพลังงานอยู่ตลอดเวลาผ่านผนังเตาและปล่องไฟ เชื้อเพลิงที่เติมเข้าไปต้องช่วยให้มีการสะสมของพลังงานจนนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกว่าคือ พลังงานที่ใส่เข้าไปต้องมากกว่าพลังงานที่สูญเสีย เมื่อสังเกตความชันของกราฟในภาพที่ 4.3 จากเส้นแนวโน้ม (เส้นประ) จะเห็นว่ามีความชันสูงในช่วงอุณหภูมิต่ำ และความชันต่ำในช่วงอุณหภูมิสูง หมายถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงในช่วงแรกและลดลงในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีการสูญเสียของพลังงานมากกว่า เช่นเดียวกันในช่วงลดอุณหภูมิ เนื่องจากการสูญเสียพลังงานที่สูงจึงมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อดูจากกราฟการเผาจริง (เส้นทึบ) จะพบว่ามีบางช่วงที่อุณหภูมิลดลงสลับกับการขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงการควบคุมการใส่เชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสม ทำให้พลังงานที่ใส่เข้าไปต่ำกว่าพลังงานที่สูญเสีย จะทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิกลับขึ้นมา

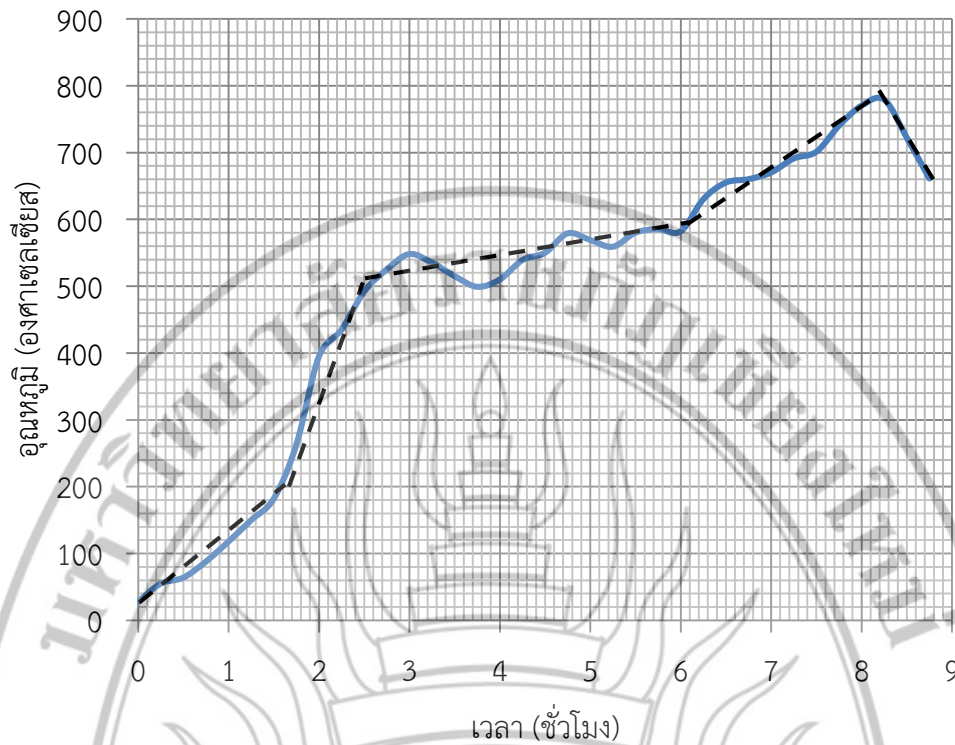


ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาการเผาโดยไม่มีผลิตภัณฑ์โดยใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 14.49

4.1.2.3 การเผาไหม้ขณะที่ไม่มีการใส่ผลิตภัณฑ์ (พื้นมีความชื้นสูง)

ในการทดลองเผาขณะที่ไม่มีการใส่ผลิตภัณฑ์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเทียบกับเวลา โดยการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง ขนาดของเชื้อเพลิง และมีการวัดความชื้น ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 33.84 ในการใส่แต่ละช่วงได้ทำการชั่ง ครั่งละ 50 กิโลกรัม และใส่ไปในห้องเผาไหม้เพื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งใช้เทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิ ดังตารางที่ 4.2

เมื่อทำการเผา พบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมดสำหรับการเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 780°C เท่ากับ 400 กิโลกรัม เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 8 ชั่วโมง 45 นาที อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ $1.43^{\circ}\text{C/นาที่}$ เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิเตาลดลงจาก 780°C จนถึง 660°C ใช้เวลา 50 นาที หรือมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิเท่ากับ $2.40^{\circ}\text{C/นาที่}$ ซึ่งอัตราการลดลงมากกว่าขึ้น ดังภาพที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 14 พบว่ามีพฤติกรรมการขึ้นอุณหภูมิและลงเหมือนกัน กล่าวคือ ขึ้นเร็วในช่วงแรก และลดลงในช่วงอุณหภูมิที่สูง เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิลดลง พบว่ามีอัตราการลดลงที่เร็วกว่าช่วงขึ้นอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามมีความแตกต่างกันในส่วนของอุณหภูมิสูงสุด และเวลาในการเผา พบว่า สามารถเผาได้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า และใช้เวลามากกว่า ด้วยปริมาณเชื้อเพลิงที่เท่ากัน เนื่องจาก เชื้อเพลิงมีความชื้น ทำให้พลังงานที่ใส่เข้าไปต้องใช้เพื่อระเหยความชื้นส่วนหนึ่ง ทำให้พลังงานสำหรับเพิ่มอุณหภูมิน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงที่ให้สูงกว่า และความชื้นที่มีอยู่ในเตาเผายังสามารถดูดซับพลังงานไว้ได้ ส่งผลต่อทั้งอุณหภูมิสูงสุดซึ่งต่ำกว่าเชื้อเพลิงแห้ง และใช้เวลาในการเผาเพื่อให้ได้อุณหภูมิสูงสุดที่มากกว่า ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ควบคุมเตาเผาต้องให้ความสำคัญ กล่าวคือ ต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นที่ต่ำ และควรทราบความชื้นของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาแต่ละครั้ง เพื่อใช้ในการควบคุมเตาเผาจนนำมาซึ่งคุณภาพของการเผา กล่าวคือ การเผาให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ประหยัดเชื้อเพลิงและเวลา



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาการเผาโดยไม่มีผลิตภัณฑ์โดยใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 33.84

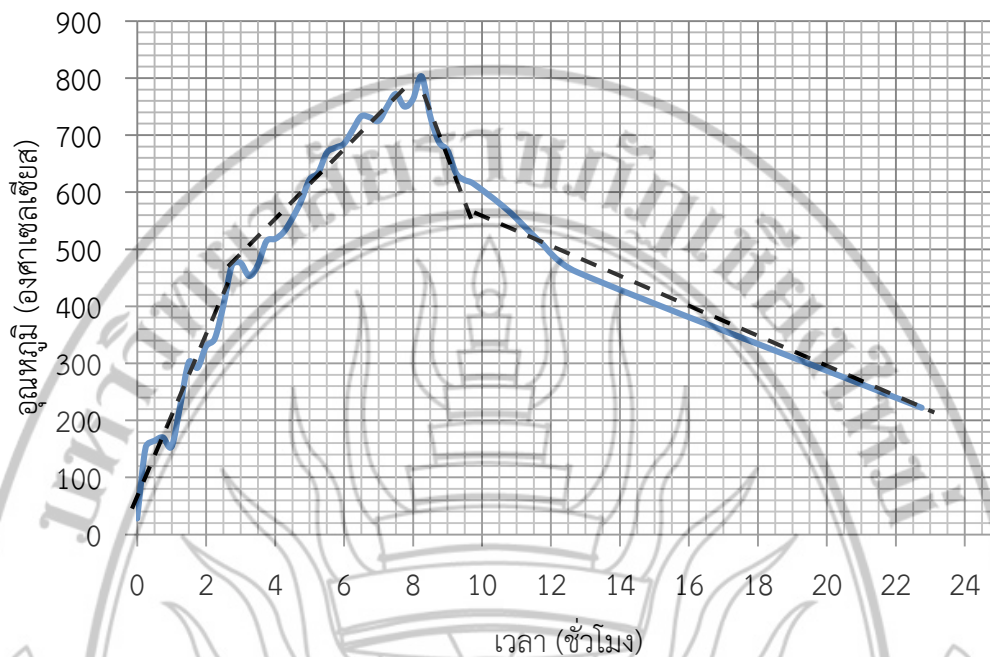
4.1.2.4 การเผาไหม้ขณะที่มีการใส่ผลิตภัณฑ์ความชื้นสูง

ในการเผาโดยการใส่ผลิตภัณฑ์เข้าไป เป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการ เพราะในความเป็นจริง การควบคุมเตาเผาที่มีคุณภาพ ไม่เพียงแต่ การเผาได้อุณหภูมิที่ต้องการ ประหยัดเชื้อเพลิงและเวลา ที่สำคัญที่สุดคือผลิตภัณฑ์ต้องมีคุณภาพ ไม่เสียหายระหว่างการเผา เพราะฉะนั้นผู้ควบคุมเตาเผา นอกจากมีความรู้เรื่องการควบคุมเตาเผาแล้ว ยังต้องเข้าใจธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ที่นำมาเผา เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมี การหดตัว ซึ่งมีผลต่อลักษณะเฉพาะและสมบัติหลังเผารวมถึงความสูญเสียอันเนื่องมาจากการแตกร้าวระหว่างเผา

ในการทดลองเผานี้ ได้ทำการใส่ผลิตภัณฑ์เข้าไปในเตา จำนวน 107 ชิ้น ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 13.10 ใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 14 ปริมาณ 400 กิโลกรัม เมื่อทำการเผา พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถเผาได้มีค่าเท่ากับ 800°C ใช้เวลาในการเผาตั้งแต่เริ่มต้นกระทั่งอุณหภูมิลดลงต่ำสุดที่สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาได้ ประมาณ 200°C ใช้เวลาทั้งสิ้น 22 ชั่วโมง 45 นาที และใช้เวลาจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 8 ชั่วโมง 15 นาที ดังภาพที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาแบบไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ พบว่า เผาได้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า เนื่องจาก การมีผลิตภัณฑ์ในเตาเผาสามารถดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่ง หากต้องการอุณหภูมิที่สูงมากกว่าอุณหภูมิที่ได้รับจะต้องใส่เชื้อเพลิงที่มากกว่า และต้องใช้เวลาที่นาน

เมื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์เสียหายจากการเผา ในลักษณะแตกร้าว จำนวน 18 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 16.82 ซึ่งเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง เมื่อความชื้น

ระเหยมีการหดตัวเกิดขึ้นมาก จึงนำไปสู่การแตกร้าว หากผลิตภัณฑ์มีความหนาบางไม่เท่ากันหรือมีการระเหยของความชื้นที่ไม่สัมพันธ์กัน

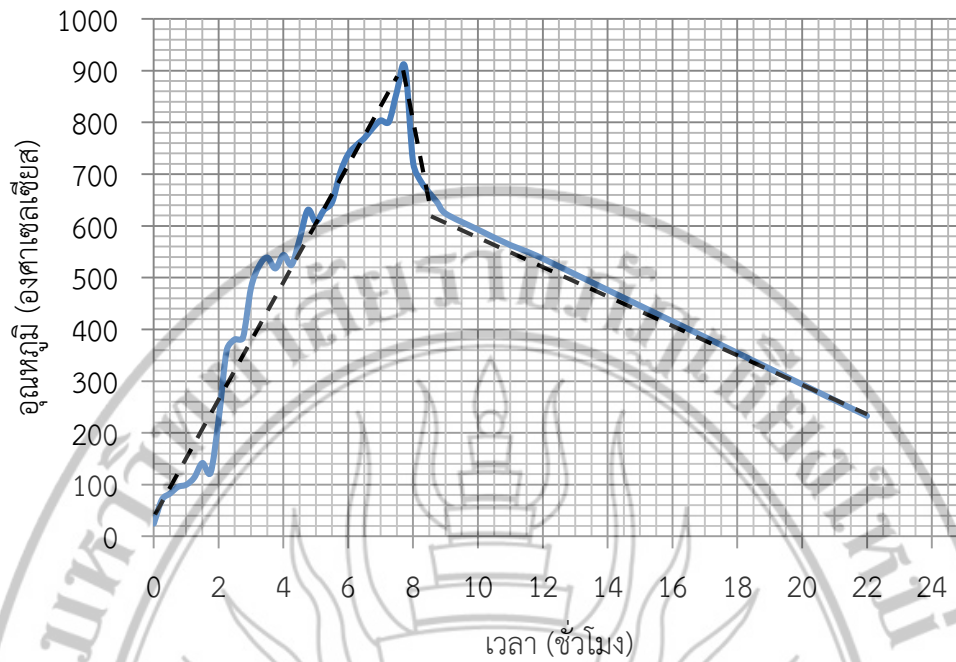


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาการเผาโดยไม่ผลิตก๊าซโดยใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 14.49 และผลิตภัณฑ์ชื้นร้อยละ 13.10

4.1.2.5 การเผาไหม้ขณะที่มีการใส่ผลิตภัณฑ์ความชื้นต่ำ

ในการทดลองเผาได้ทำการใส่ผลิตภัณฑ์เข้าไปในเตา จำนวน 148 ชิ้น ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 3.84 ใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 14.49 ปริมาณ 400 กิโลกรัม เมื่อทำการเผาพบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถเผาได้มีค่าเท่ากับ 900°C ใช้เวลาในการเผาดังแต่เริ่มต้นกระทั่งอุณหภูมิลดลงต่ำสุดที่สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาได้ ประมาณ 200°C ใช้เวลาทั้งสิ้น 22 ชั่วโมง และใช้เวลาจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 7 ชั่วโมง 45 นาที ดังภาพที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นที่สูงกว่า พบว่า เผาได้อุณหภูมิที่สูงกว่า เนื่องจาก การมีผลิตภัณฑ์ในเตาเผา สามารถดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่ง แต่มีความชื้นต่ำกว่าทำให้ใช้พลังงานในการระเหยความชื้นออกไปในปริมาณที่ต่ำกว่า และมีการดูดซับความร้อนหรือพลังงานที่ต่ำกว่า จึงส่งผลให้อุณหภูมิสูงสุดที่ได้รับมีค่าสูงกว่า

เมื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์เสียหายจากการเผา ในลักษณะแตกร้าว จำนวน 3 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.03 ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 9.84



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาการเผาโดยไม่มีผลิตภัณฑ์โดยใช้เชื้อเพลิงที่มี
ความชื้นร้อยละ 14.49 และผลิตภัณฑ์ชื้นร้อยละ 3.84

4.2 ชุดความรู้เกี่ยวกับการควบคุมเตาเผาและการเผาเตาพื้น

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับการเผาเตาเซรามิกที่ใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง ผู้วิจัยจึงนำความรู้ที่เกิดขึ้น
จากการศึกษามาทำเป็นชุดความรู้เพื่อใช้ในการจัดกิจกรรมให้กับนักเรียน โรงเรียนบ้านป่าจิ้งแวงวิทยา
อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีองค์ประกอบของกิจกรรม ดังนี้

4.2.1 การเตรียมความพร้อมก่อนเผา

4.2.1.1 สำรวจความพร้อมของเตา ได้แก่ ความพร้อมของอุปกรณ์ การซ่อมแซมส่วน



ภาพที่ 4.7 แสดงการตรวจสอบเตาก่อนเผา

4.2.1.2 เชื้อเพลิง ได้แก่ ความเพียงพอของเชื้อเพลิง บันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (ชนิดของไม้ ฟืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย น้ำหนักที่ใช้ในแต่ละครั้ง และความชื้น) มีกิจกรรม ดังนี้

- 1) ตัดเชื้อเพลิงให้มีความยาวที่เหมาะสม ประมาณ 50-100 เซนติเมตร
- 2) แจกแจงความถี่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเชื้อเพลิง หาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลาง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างให้ครอบคลุมกลุ่มประชากรเชื้อเพลิง
- 3) แบ่งเชื้อเพลิงออกเป็นสามช่วงขนาด ได้แก่ ใหญ่ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร) กลาง (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11-20 เซนติเมตร) และ เล็ก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร)



ภาพที่ 4.8 แสดงไม้ลำไยใช้สำหรับทำเชื้อเพลิงในการเผา

- 4) ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิการเผา



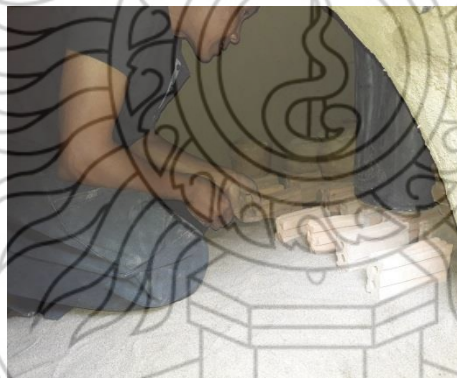
ภาพที่ 4.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิขณะเผา บริเวณช่องสำหรับใส่ผลิตภัณฑ์

5) เตรียมเครื่องชั่งขนาด 60 กิโลกรัม สำหรับชั่งเชื้อเพลิง และเครื่องมือเขี่ยเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.10 เครื่องชั่งและเครื่องมือเขี่ยเชื้อเพลิง

- 6) เตรียมข้อมูลอัตราการขึ้น ลง ของอุณหภูมิการเผา หรือกราฟการเผา
- 7) เตรียมแผ่นบันทึกรายละเอียดการเผา
- 8) วางผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา โดยเว้นระยะห่างของผลิตภัณฑ์ อย่างน้อย 1-2 เซนติเมตร (ดำเนินการก่อนวันเผา) ปิดประตูเตาให้สนิท



ภาพที่ 4.11 แสดงการเรียงผลิตภัณฑ์เข้าเตา และติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

- 9) ใบความรู้และใบกิจกรรม
 - (1) ใบความรู้ “เนื้อดินและการสุกตัวของเนื้อดิน”
 - (2) ใบความรู้ “เตาเผาและพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผา”
 - (3) ใบกิจกรรม “บันทึกการเผา”
 - (4) ใบกิจกรรม “การเตรียมเนื้อดิน”
 - (5) ใบกิจกรรม “สมบัติของเนื้อดินก่อนและหลังเผา”
 - (6) ใบกิจกรรม “การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก”

(7) ใบกิจกรรม “บันทึกข้อมูลเชื้อเพลิง”

(8) ใบกิจกรรม “บันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังเผา”

4.2.2 การดำเนินการเผา

4.2.2.1 ศึกษากราฟการเผา

4.2.2.2 ชั่งเชื้อเพลิง พร้อมบันทึกน้ำหนัก ใส่เชื้อเพลิงตามลำดับขนาด ใหญ่ กลาง และเล็ก

4.2.2.3 จุดไฟไว้บริเวณหน้าห้องเผา



ภาพที่ 4.12 แสดงการจุดไฟเริ่มการเผาบริเวณหน้าเตาเผา

4.2.2.4 เริ่มบันทึกเวลา พร้อมสังเกตอุณหภูมิและบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น

4.2.2.5 บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 15 นาที

4.2.2.6 ควบคุมอุณหภูมิกับเวลาให้สอดคล้องกับกราฟการเผา

4.2.2.7 บันทึกข้อมูลในใบกิจกรรม “บันทึกการเผา”

4.2.3 การดำเนินการการหลังเผา

4.2.3.1 ปิดปล่องเตา และห้องเผา

4.2.3.2 รอจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส จึงเปิดเตา

4.3.3.3 รอจนกว่าอุณหภูมิภายในเตาลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำชิ้นงานออกจาก

เตา

4.3.3.4 สำนวสภาพเตาหลังเผา

4.3.3.5 บันทึกคุณภาพชิ้นงานหลังเผา ได้แก่ การสุกตัว การแตกร้าว

4.3.3.6 ทำความสะอาดเตา ได้แก่ เก็บขี้เถ้าใส่ถุงไว้ นำเศษชิ้นงานที่เสียหายออกจาก

เตา

ใบความรู้ที่ 1
“เนื้อดินสำหรับการผลิตเซรามิก”

เนื้อดิน (Bodies) หมายถึง ดิน (Clay) ที่เกิดจากการนำส่วนผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมมาผสมให้เข้ากัน เพื่อให้มีคุณสมบัติที่สามารถขึ้นภาพได้ ได้แก่ มีความเหนียว (Plasticity) ซึ่งเรียกดินที่มีความเหนียวว่า ดินเหนียว (Plastic clay)

ชนิดของเนื้อดิน

1. เนื้อดินชนิดเอิร์ทเทนแวร์ (Earthen ware)
2. เนื้อดินชนิดสโตนแวร์ (Stone ware)
3. เนื้อดินชนิดปอร์สเลน (Porcelain)
4. เนื้อดินชนิดโบนไชน่า (Bone china)

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะเฉพาะของเนื้อดินชนิดต่าง ๆ

ลักษณะเฉพาะและสมบัติ	เอิร์ทเทนแวร์	สโตนแวร์	ปอร์ซเลน	โบนไชน่า
วัตถุดิบ	ไม่มีการล้าง	มีการล้าง	บริสุทธิ์สูง	บริสุทธิ์สูง
อุณหภูมิการเผา	ต่ำ (1200 °C<)	ปานกลาง (1200-1250 °C)	สูง (1250-1350 °C)	สูง (1250 -1300°C)
สีหลังเผา	แดง น้ำตาล	เทาขาว น้ำตาล	ขาว	ขาว
ความแข็งแรง	ต่ำ	ค่อนข้างสูง	สูง	สูง
การดูดซึมน้ำ	สูง	ต่ำ หรือไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความโปร่งแสง	ทึบแสง	ทึบแสง	โปร่งแสง	โปร่งแสง

การเตรียมเนื้อดิน

โดยมีวิธีการเตรียม 2 แบบ ด้วยกัน ได้แก่ แบบแห้ง (Dry process) และแบบเปียก (Wet process)

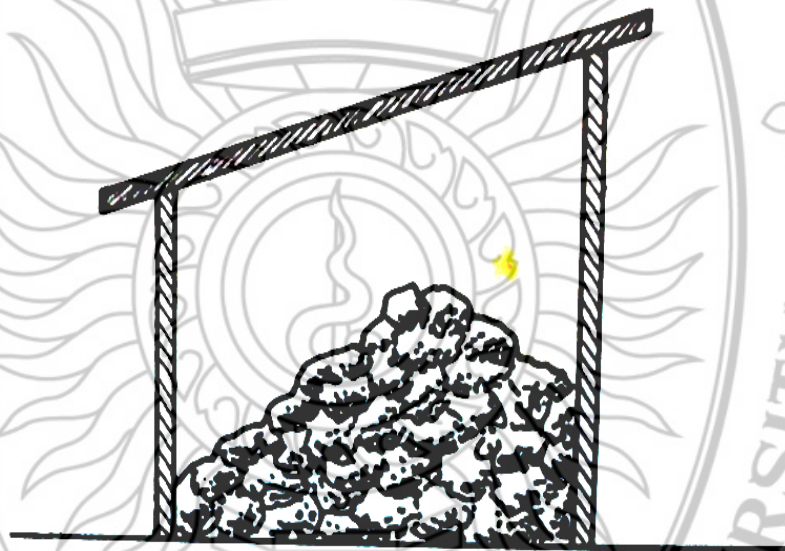
1. การเตรียมแบบแห้ง

ข้อดี

1. ไม่ต้องการดินเนื้อละเอียดมาก ส่วนใหญ่จะเป็นดินแดง
2. มีราคาถูกกว่าการเตรียมแบบเปียก เพราะไม่ต้องมีการล้างดินเหมือนดินขาวซึ่งจะเตรียมแบบเปียก

ข้อเสีย

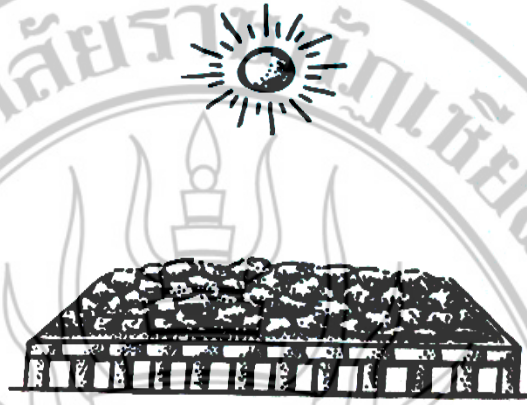
1. ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีฝนตกเป็นประจำ
2. ควรมีห้องหรืออาคารสำหรับเก็บดินแห้ง เพื่อป้องกันฝน



ภาพที่ 4.13 แสดงการเก็บดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1.1. หากดินมีความชื้นสามารถนำไปตากแดด โดยกองไว้บนพื้นดิน หรือกองบนแผ่นพื้นที่ ยกตัวสูง สามารถคลุมด้วยผ้ากันฝนเมื่อเกิดฝนตก



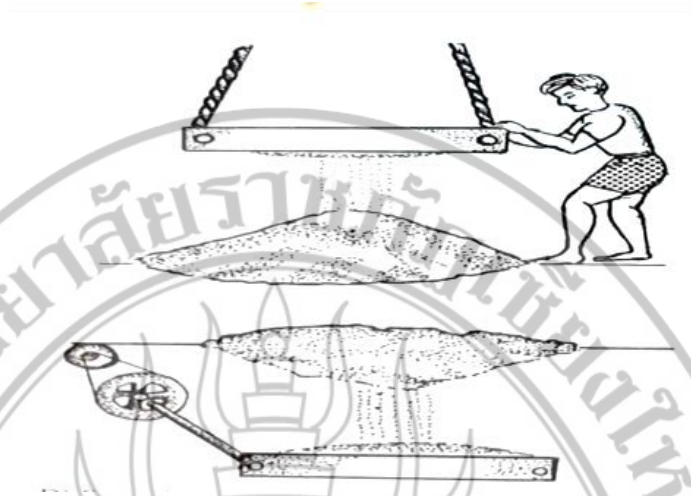
ภาพที่ 4.14 แสดงการตากดิน โดยการวางบนพื้นที่ปูด้วยอิฐ (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.2. นำดินแห้งมาบด ด้วยวิธีการตำหรือใช้เครื่องบด



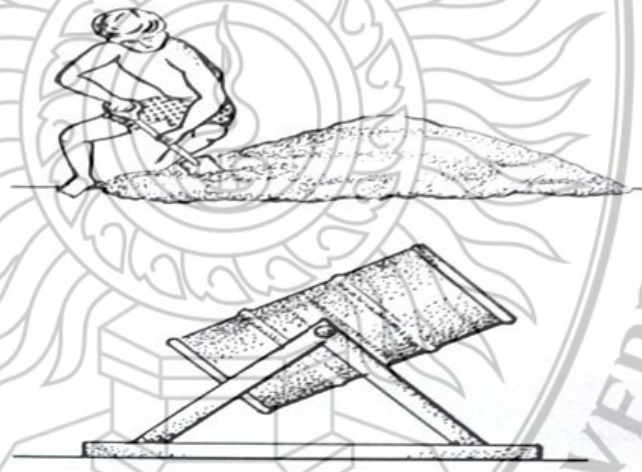
ภาพที่ 4.15 แสดงวิธีการบดดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.3 ทำการร่อนด้วยตะแกรง เพื่อแยกหิน กรวดทรายหยาบ ออก



ภาพที่ 4.16 แสดงการร่อนดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.4 คลุกเคล้าให้เข้ากัน



ภาพที่ 4.17 แสดงการคลุกเคล้าดินให้เข้ากัน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.5 นำดินไปแช่น้ำ เพื่อให้ดูดซึมน้ำ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง



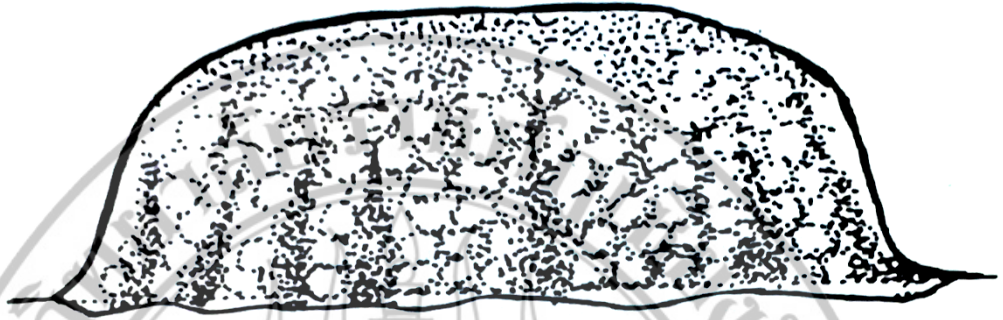
ภาพที่ 4.18 แสดงการแช่ดินในอ่างน้ำ (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.6 ทำการนวดดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เท้าเหยียบหรือย่ำ หรือใช้เครื่องนวดดิน



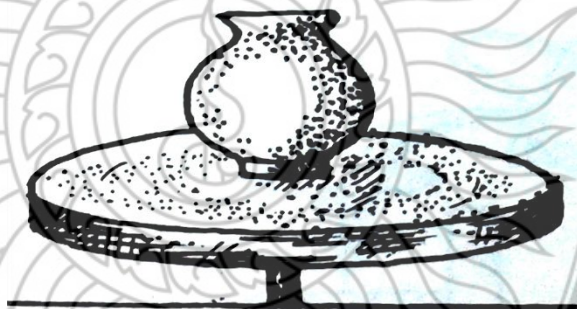
ภาพที่ 4.19 แสดงวิธีการนวดดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.7 หมักดินทิ้งไว้ โดยใช้ผ้าพลาสติกคลุม อย่างน้อย 3 วัน หรือ หลายสัปดาห์ เพื่อเพิ่มความเหนียวหรือเกิดการเข้าเนื้อกัน (Maturing)



ภาพที่ 4.20 แสดงการหมักดินโดยการคลุมด้วยผ้าพลาสติก (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

1.8 ก่อนนำเนื้อดินมาขึ้นรูป ให้ทำการนวดดินอีกครั้ง เพื่อให้ดินมีความเหนียว และมีความชื้นเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 4.21 แสดงการขึ้นรูป โดยใช้แป้นหมุนมือ (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

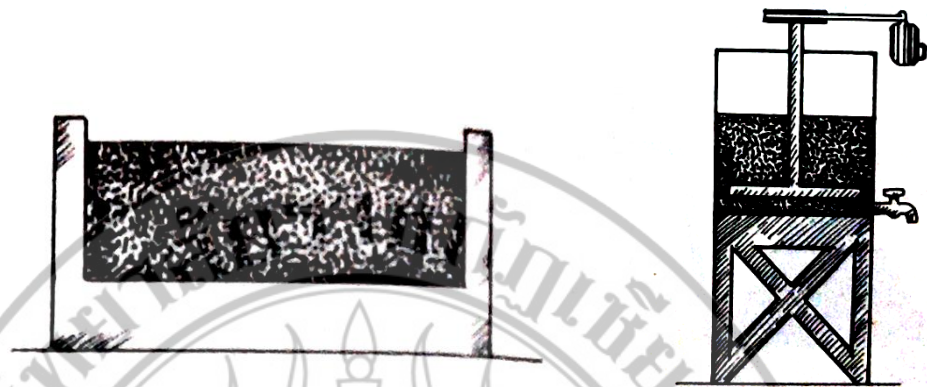
2. การเตรียมแบบเปียก

เหมาะสมสำหรับการเตรียมดินเนื้อละเอียด เนื้อสีขาว โดยจะต้องกำจัดอนุภาคของสารประกอบหลักออก สามารถเตรียมได้ง่าย ๆ ด้วยมือสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แต่จะมีความยุ่งถ้าต้องเตรียมในปริมาณมาก ๆ สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และแพง นอกจากนี้ยังไม่ต้องทำให้ดินแห้งก่อน แต่ต้องรู้ค่าความชื้นของดิน

2.1 ขุดดินมาเก็บไว้ในห้องหรืออาคารเก็บดิน

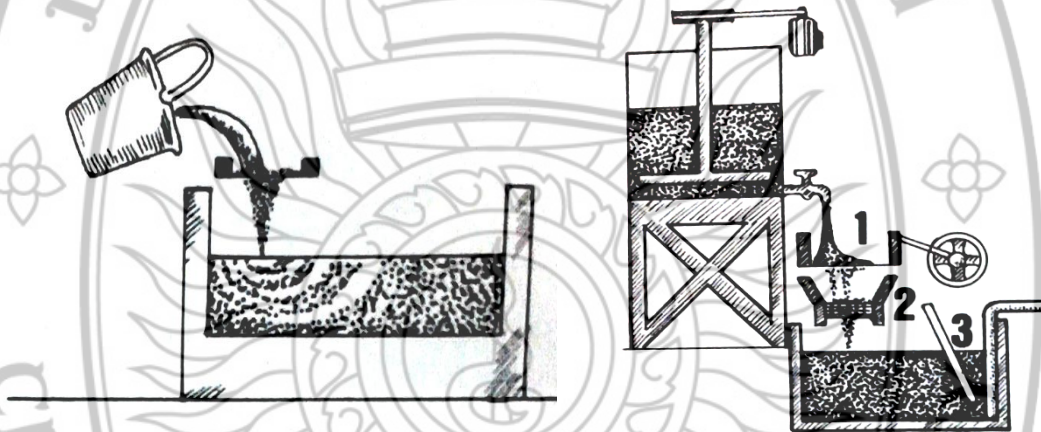
2.2 ผึ่งดินให้แห้ง เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปแช่น้ำ แต่ไม่จำเป็น

2.3 แ่ดินในถ้งน้ำ จนกระทั่งกลายเป็นน้ำดิน โดยไม่ต้องคน จนกว่าดินจะแ่น้ำหรือจมน้ำ
โดยสมบูรณ์



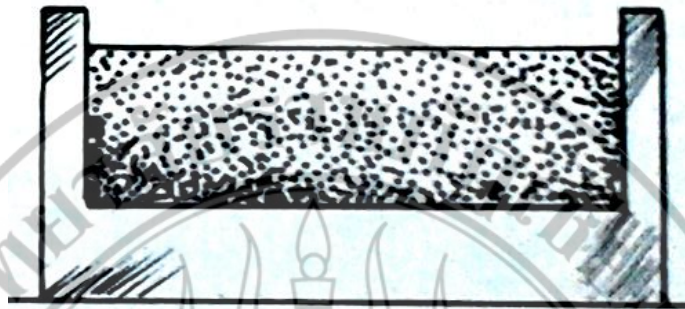
ภาพที่ 4.22 แสดงบ่อแ่ดินและถ้งกวนดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.4 กรองน้ำดินผ่านตะแกรงลงถึงเก็บอีกใบ



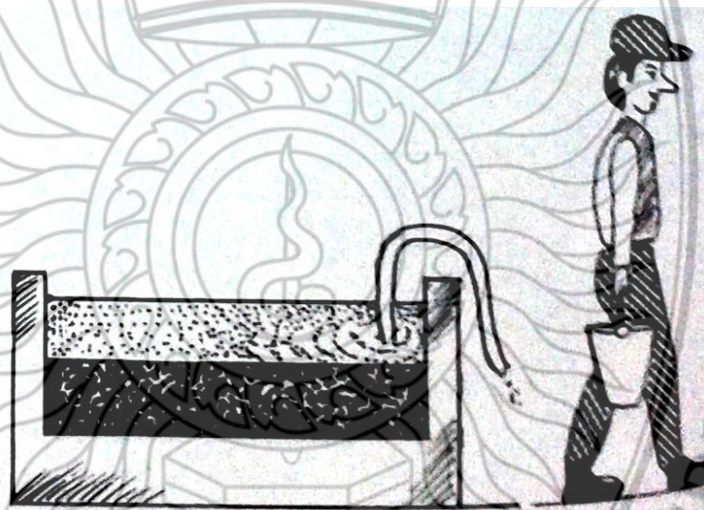
ภาพที่ 4.23 แสดงการกรองน้ำดินผ่านตะแกรง (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.5 ปล่อยให้ดินตกตะกอนในถัง



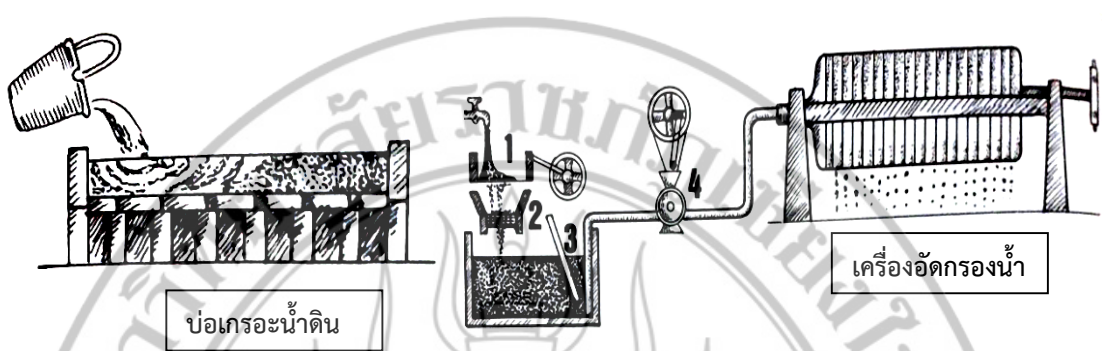
ภาพที่ 4.24 แสดงบ่อตกตะกอน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.6 ดูดน้ำใสที่อยู่ด้านบนออก



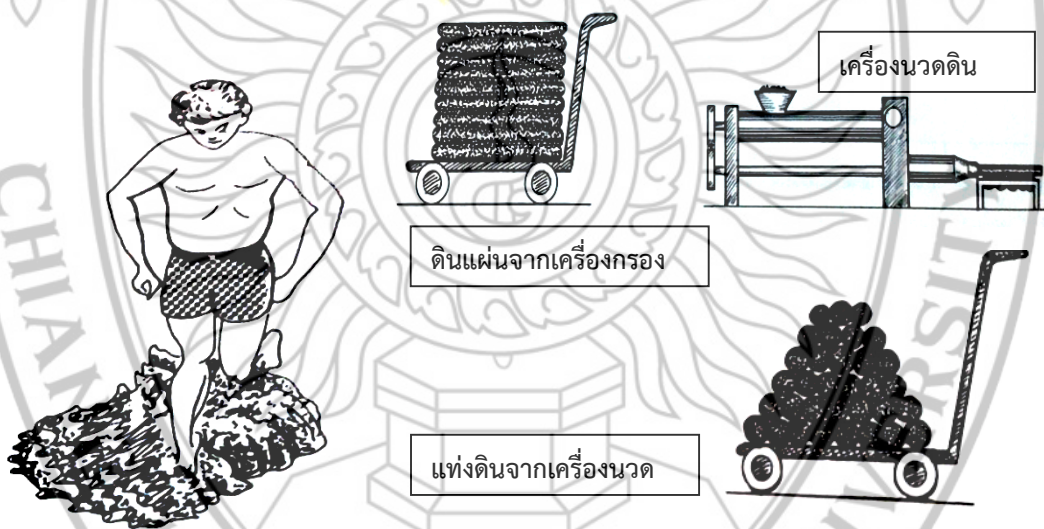
ภาพที่ 4.25 แสดงการดูดน้ำออกจากดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.7 นำน้ำดินไปกรองบนบ่อที่ทำจากอิฐหรือปูนปลาสเตอร์ที่มีผ้ากรอง เพื่อให้ตุน้ำออกจากดิน หรือใช้เครื่องกรองน้ำออกจากดิน (Filter press)



ภาพที่ 4.26 แสดงการกรองน้ำดิน และรีดน้ำออกจากดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.8 ทำการนวดดินโดยใช้เท้าหรือใช้เครื่องนวดดิน



ภาพที่ 4.27 แสดงการนวดดินด้วยเท้าและเครื่องนวดดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.9 หมักดินไว้เพื่อเพิ่มความเหนียว อย่างน้อย 3 วัน โดยใช้ผ้าพลาสติกคลุม

ใบความรู้ที่ 2

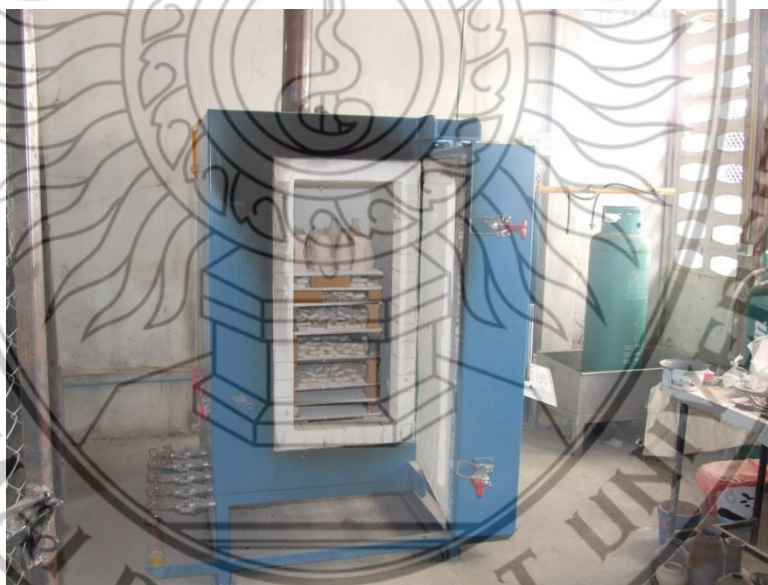
“เตาเผาและพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผา”

เตาเผาเซรามิก (Kiln)

เตาเผาเซรามิก คือ สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเผาเซรามิก โดยมีอุณหภูมิการเผาสูงถึงประมาณ $1,700^{\circ}\text{C}$ ขึ้นอยู่ขนาดและวัสดุทนไฟที่ใช้ในการสร้าง รวมถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง และส่วนประกอบของเตา ปัจจุบัน ประเภทของเตาเผาแบ่งตามลักษณะของเชื้อเพลิง ได้แก่ เตาเผาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม มีอุณหภูมิการเผาสูง ประมาณ $1,250-1,350^{\circ}\text{C}$ เตาเผาชนิดใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ อุณหภูมิการเผาขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของขดลวดความร้อน สามารถเผาได้สูงถึง $1,700^{\circ}\text{C}$ และเตาเผาชนิดใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันพบได้น้อย เนื่องจากการควบคุมเตาค่อนข้างยาก ซึ่งเตาทั้งสามประเภท มีส่วนประกอบของเตาที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. เตาเผาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงหรือเตาแก๊ส (Gas kiln)

เตาแก๊สมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ หัวพ่นแก๊ส ห้องเผา(บุด้วยฉนวนกันความร้อนและทนไฟ) และปล่องเตา การควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการปรับปริมาณแก๊สและอากาศให้เหมาะสม สามารถเผาได้ทั้งบรรยากาศแบบออกซิเดชัน (Oxidation) และรีดักชัน (Reduction) ซึ่งจะมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบ



ภาพที่ 4.28 ลักษณะและองค์ประกอบของเตาแก๊ส

2. เตาเผาชนิดใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิงหรือเตาไฟฟ้า (Electric kiln)

เตาไฟฟ้า เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ ขดลวดความร้อน และห้องเผา (บุด้วยฉนวนกันความร้อนและทนไฟ) ไม่มีปล่อง มีเพียงรูระบายอากาศ เเผาได้เพียงบรรยากาศเดียว คือ บรรยากาศออกซิเดชัน



ภาพที่ 4.29 ลักษณะและองค์ประกอบของเตาไฟฟ้า

3. เตาเผาชนิดใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงหรือเตาฟืน (Firewood kiln)

เตาฟืนมีส่วนประกอบคล้ายเตาแก๊ส คือ ห้องเชื้อเพลิง ห้องเผา (ก่อด้วยอิฐทนไฟ) และปล่องไฟ สามารถเผาได้ทั้งสภาวะออกซิเดชันและรีดักชัน



ภาพที่ 4.30 ลักษณะและองค์ประกอบของเตาฟืน

เทคนิคการเผา

วัตถุประสงค์และเป้าหมายหลักของการเผา คือ เผาผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพดีทั้งเตา และประหยัดเชื้อเพลิง

1. การเผาผลิตภัณฑ์ให้ถึงจุดสุกตัว คือ การเผาให้ถึงอุณหภูมิที่เนื้อดินแต่ละชนิดสามารถสุกตัวได้ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง

2. การเผาไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์เสียหาย เช่น แตก มีตำหนิ คือ การควบคุมอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิให้เหมาะสม อุณหภูมิถึงจุดสุกตัวและสม่ำเสมอ บรรยากาศสม่ำเสมอ โดยมีขั้นตอนการเผาดังตาราง

ตารางที่ 4.4 แสดงการขึ้นอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์ (ทวี พรหมพฤษ, 2525)

ช่วงการขึ้นอุณหภูมิ °C	ระยะเวลาเผา (ชม.)	บรรยากาศการเผา	เหตุผล
อุณหภูมิห้อง - 110	1	OFs	ระเหยน้ำเป็นความชื้น
110-260	1.5	OFs	น้ำระเหยหมด มีการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ที่ 117, 163, 250°C
260-500	1	OFs	สารระเหยในวัตถุดิบเริ่มออกไป
500-600	1	OFw	มีการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ที่ 573°C
600-1,000	1	NF	สารระเหยหลุดออกอย่างสมบูรณ์
1,000-1,150	1	RFw หรือ OFw	เริ่มปฏิกิริยาเนื่องจากบรรยากาศ หินฟิ่นม้าเริ่มหลอม เกิดการแตกตัวของซิลิกาออกจากโครงสร้างผลึก
1,150-1,250	2	RFs หรือ OFs	ปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ เนื้อผลิตภัณฑ์สุกตัว
1,250	15 นาที	RFs หรือ OFs หรือ NF	เพื่อให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์มากที่สุด เนื้อดินและเคลือบสุกตัวสมบูรณ์ที่สุด
ปิดเตา จนกระทั่ง 150°C			ป้องกันความเสียหายจากการแตก

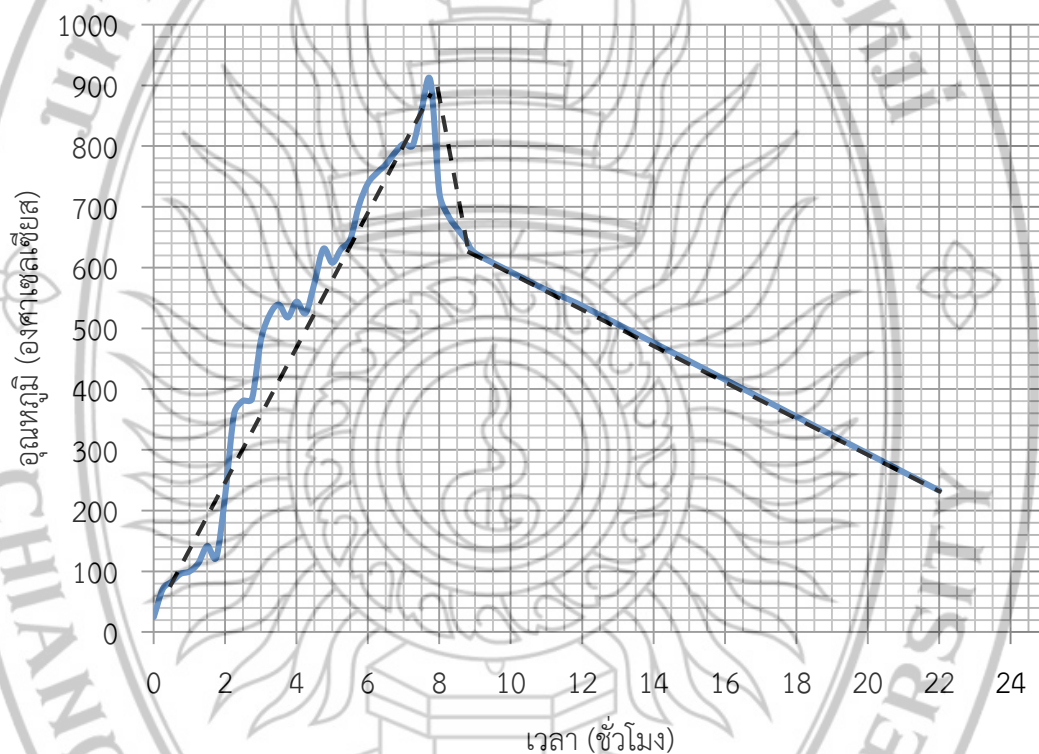
OF = Oxidation firing (ออกซิเดชัน) RF = Reduction firing (รีดักชัน) NF = Neutral Firing (กลาง)

s = Strongly (อย่างแก่) w = weakly (อย่างอ่อน)

ในกรณีผลิตภัณฑ์เป็นชนิดเอริเทเทนแวร์ ผลิตภัณฑ์จะสุกตัวที่ 800-1,000°C จะใช้เวลาการเผาสั้นกว่า และมีข้อระวังเหมือนกัน คือ ช่วงระเหยน้ำต้องให้เป็นไปอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะชิ้นงานที่มี

ความชื้นหลงเหลือสูง และช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 250°C และ 573°C ต้องขึ้นอุณหภูมิอย่างช้าๆ รวมถึงการเปิดเตาหลังเผา ต้องกระทำหลังจากพ้นอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ จะเปิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150°C

3. การเผาให้ประหยัดเชื้อเพลิง คือ การใช้เชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์สุกตัว และไม่เสียหาย มีการจดบันทึกปริมาณเชื้อเพลิงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ เวลา ทุกครั้งที่เผา และทำเป็นกราฟการเผาเพื่อใช้ในการควบคุมการเผาในครั้งต่อไป ดังภาพข้างล่าง ทั้งนี้ผู้เผาก็ต้องมีความสามารถในการควบคุมเตาเผาและการเผา



ภาพที่ 4.31 แสดงการขึ้นลงอุณหภูมิระหว่างการเผา

พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผา

การเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผา เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ควบคุมเตาเผาควรรู้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผามีคุณภาพ และประหยัดเชื้อเพลิง ผลิตภัณฑ์ไม่เสียหายระหว่างเผา โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเนื้อดินสามารถสรุปให้เห็นดังตาราง

ตารางที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผา (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2547)

อุณหภูมิ (°C)	สิ่งที่เกิดขึ้น
20-200	ความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่ระเหย ออกจากผลิตภัณฑ์ และความชื้นควรน้อยกว่าร้อยละ 1 การเผาเร็วและผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นมีความเสี่ยงกับการแตก เตาควรมีการระบายอากาศ
200-573	ผลึกของควอตซ์มีการขยายตัว หากมีการเผาเร็ว อาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกได้หรือร้าวได้
470-700	น้ำในผลึกของแร่ดินสลายตัว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ดินเริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นหิน มีรูพรุนเกิดขึ้น
900-950	คาร์บอนเผาไหม้หมด ดินที่มีคาร์บอนมาก ควรเผาให้ช้า เพื่อป้องกันการบวมของเนื้อดิน ปิดทางระบายอากาศลงบ้าง สารประกอบคาร์บอนเตสลายตัวหมด
980	เนื้อดินหดตัว จากการหลอมเข้าหากันของวัตถุดิบ ความแตกต่างของอุณหภูมิในส่วนต่างของเตาควรลดลง ก่อนที่การหดตัวจากการเผาจะแสดงอย่างชัดเจน
1,050-1,100	เฟลด์สปาร์ในเนื้อดินเริ่มหลอมละลาย เกิดโครงสร้างผลึกภาพเชื่อมประสานกันจากผลึกของซิลิเกตในเนื้อดิน ช่วยให้ดินมีความแข็งแกร่ง และการหดตัวยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง
1,200	ผลึกซิลิเกตเพิ่มจำนวนขึ้น เนื้อดินหลอมละลายปิดรูพรุน ทำให้ความแข็งแกร่งเพิ่มมากขึ้น
1,250	เนื้อดินและเคลือบเกิดการสุกตัว หลอมละลาย มีเนื้อแก้วเกิดขึ้น ประมาณร้อยละ 60 มีซิลิเกต ร้อยละ 21 และควอตซ์ ร้อยละ 19
1,250-250	ปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของควอตซ์ 200-573°C

ใบกิจกรรมที่ 1

“การเตรียมเนื้อดิน”

ให้นักเรียนฝึกเตรียมเนื้อดินเหนียวโดยวิธีแบบเปียกและแบบแห้ง

1. เตรียมดินแบบเปียก

- 1.3. นำดินไปแช่น้ำแล้วคนจนดินแตกตัวในถังน้ำ
- 1.4. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
- 1.5. ตูดน้ำโดยใช้สายยาง
- 1.6. นำดินไปเกรอะบนแผ่นปูนพลาสติก
- 1.7. นำดินเหนียวที่ได้มานวดให้เข้ากัน
- 1.8. คำนวณหาร้อยละของน้ำในดินเหนียว จากสมการ

$$\text{ร้อยละของน้ำในดินเหนียว} = \frac{\text{น้ำหนักดินเหนียว} - \text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินเหนียว}} \times 100$$

2. เตรียมดินแบบแห้ง

- 2.1. นำดินไปตากให้แห้ง
- 2.2. บดดินแล้วร่อนโดยใช้ตะแกรง
- 2.3. น้ำดินผสมกับน้ำ
- 2.4. ปล่อยให้ดินดูดซึมน้ำ
- 2.5. นวดดินให้เข้ากันจนมีความเหนียวที่เหมาะสม
- 2.6. คำนวณหาร้อยละของน้ำในดินเหนียว

ตารางที่ 4.6 แบบบันทึกข้อมูลสำหรับหาร้อยละของน้ำในดินเหนียว

วิธีการเตรียม	น้ำหนักดินเหนียว (กรัม)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ร้อยละของน้ำ
แบบเปียก			
แบบแห้ง			

ใบกิจกรรมที่ 2

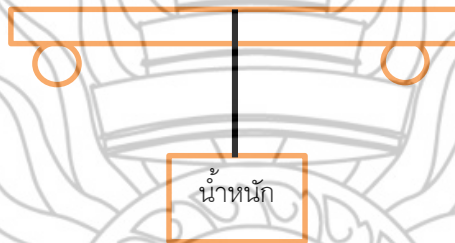
“สมบัติของเนื้อดินก่อนและหลังเผา”

ให้นักเรียนทดสอบการหดตัว ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ และสีของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผา

1. นำดินเหนียวมาขึ้นรูปให้เป็นแท่ง ยาว 10 ซม. กว้าง 2.5 ซม. หนา 1 ซม.
2. นำไปทิ้งไว้ให้แห้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์
3. นำชิ้นงานไปเผา
4. หาค่าร้อยละการหดตัวทั้งก่อนและหลังเผา

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{(\text{ความยาวหลังขึ้นรูป} - \text{ความยาวเมื่อแห้ง})}{\text{ความยาวหลังขึ้นรูป}} \times 100$$

5. หาความแข็งแรงโดยการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักทั้งก่อนและหลังเผา



ภาพที่ 4.32 การทดสอบการรับน้ำหนัก

6. บันทึกสีก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.7 แบบบันทึกสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผา

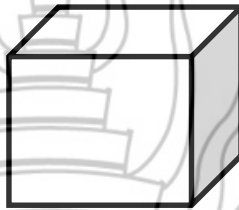
ขั้น ทดสอบ	ก่อนเผา			หลังเผา		
	สี	การรับ น้ำหนัก (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	สี	การรับ น้ำหนัก (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1						
2						
3						

ใบกิจกรรมที่ 3 “การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก”

คำชี้แจง ให้นักเรียนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้ดินเหนียว

1. การขึ้นรูปด้วยการปั้นอิสระ

1.1 การขึ้นรูปโดยใช้ดินแผ่นและดินขด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ ภายใน
กลวง



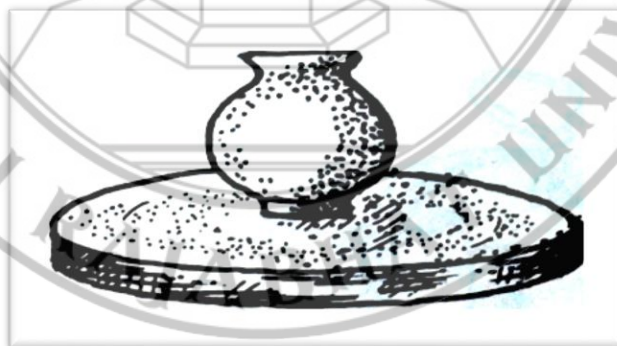
ภาพที่ 4.33 ผลิตภัณฑ์รูปทรงลูกบาศก์

1.2 การขึ้นรูปโดยใช้ดินขด ได้แก่ ทรงกระบอก ภายในกลวง



ภาพที่ 4.34 ผลิตภัณฑ์รูปทรงกระบอก

2. การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนมือ ได้แก่ แจกัน



ภาพที่ 4.35 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แจกันด้วยแป้นหมุนมือ

ใบกิจกรรม
“ข้อมูลเชื้อเพลิง”

คำชี้แจง ให้นักเรียนบันทึกข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการเผา

วันที่บันทึก.....

ผู้บันทึก.....เบอร์โทรติดต่อ.....

ผู้จำหน่ายเชื้อเพลิง.....เบอร์โทรติดต่อ.....

แหล่งที่อยู่เชื้อเพลิง.....

ตารางที่ 4.8 แบบบันทึกข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา

ชนิดเชื้อเพลิง	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	จำนวน (ท่อน)	น้ำหนัก (กก.)
ไม้ลำไย	เล็ก (5-10)				
ไม้ลำไย	กลาง (11-20)				
ไม้ลำไย	ใหญ่ (มากกว่า 20)				

ชื่อเตา.....ผู้ควบคุมเตาเผา.....

วันที่.....เริ่มเผาเวลา.....สิ้นสุดการเผาเวลา.....

อุณหภูมิการเผา.....องศาเซลเซียส บรรยากาศการเผา.....

ปริมาณซื้อเพลิง.....ขนาดซื้อเพลิง ☐ เล็ก ☐ กลาง ☐ ใหญ่

จำนวนชิ้นงาน.....ชิ้น น้ำหนัก.....กิโลกรัม

[illegible]

ใบกิจกรรม “บันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์หลังเผา”

คำชี้แจง ให้นักเรียนบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์

ชื่อเตา.....ผู้ควบคุมเตาเผา.....

วันที่.....เริ่มเผาเวลา.....สิ้นสุดการเผาเวลา.....

อุณหภูมิการเผา.....องศาเซลเซียส บรรยากาศการเผา.....

ปริมาณเชื้อเพลิง.....ขนาดเชื้อเพลิง ☐ เล็ก ☐ กลาง ☐ ใหญ่

จำนวนชิ้นงาน.....ชิ้น น้ำหนัก.....กิโลกรัม

ตารางที่ 4.10 แบบบันทึกความเสียหายของผลิตภัณฑ์หลังเผา

ประเภทผลิตภัณฑ์	จำนวน (ชิ้น)	แตกหรือเสียหาย (ชิ้น)	ร้อยละการเสียหาย
รวม			

ตารางที่ 4.11 การประเมินผลการเรียนรู้ “เนื้อดินสำหรับการผลิตเซรามิก”

เกณฑ์	ระดับคะแนนประเมิน		
	1	2	3
ความรู้			
1. อธิบายวิธีการเตรียมเนื้อดินทั้งแบบเปียกและแบบแห้งได้	อธิบายได้หนึ่งวิธี แต่ไม่ครบทุกขั้นตอน	อธิบายได้หนึ่งวิธี และครบทุกขั้นตอน	อธิบายได้ทั้งสองวิธี
2. อธิบายวิธีการขึ้นรูปแบบแผ่นและกดได้	อธิบายได้หนึ่งวิธี แต่ไม่ครบทุกขั้นตอน	อธิบายได้หนึ่งวิธี และครบทุกขั้นตอน	อธิบายได้ทั้งสองวิธี
3. อธิบายวิธีการคำนวณปริมาณน้ำในดินเหนียวได้	เขียนสูตรได้	เขียนสูตรได้ แต่คำนวณผิด	เขียนสูตรได้ และคำนวณถูกต้อง
4. อธิบายสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผาได้	บอกได้ว่ามีอะไรบ้าง แต่อธิบายไม่ได้	อธิบายสมบัติได้เพียงบางส่วน	อธิบายได้ครบทุกสมบัติที่ศึกษา
ทักษะ			
5. สามารถเตรียมเนื้อดินได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง	เตรียมได้หนึ่งวิธี	เตรียมได้ทั้งสองวิธี แต่ผิดหรือข้ามขั้นตอน	เตรียมได้ทั้งสองวิธี และถูกขั้นตอน
6. การขึ้นรูปด้วยการปั้นอิสระและแป้นหมุนมือ	นวดดินและเชื่อมต่อได้	นวดดิน เชื่อมต่อได้ ขึ้นรูปเป็นรูปทรง แต่ไม่เหมือนต้นแบบ	นวดดิน เชื่อมต่อได้ ขึ้นรูปเป็นรูปทรง และเหมือนต้นแบบ
7. สามารถปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณน้ำในดินเหนียวได้	เตรียมขึ้นทดสอบได้อย่างเดียว	เตรียมขึ้นทดสอบได้ นำไปชั่ง แต่คำนวณไม่ได้	เตรียมขึ้นทดสอบได้ นำไปชั่ง และสามารถคำนวณได้
8. สามารถบันทึกสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผาได้ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ สี และความแข็งแรง	บันทึกได้เพียงอย่างเดียวจากสามอย่าง	บันทึกได้เพียงสองอย่างจากสามอย่าง	บันทึกได้ครบทั้งสามอย่าง

เกณฑ์	ระดับคะแนนประเมิน		
	1	2	3
เจตคติ			
9. ความคิดสร้างสรรค์	สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ได้	สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ได้ และมีแนวคิดสนับสนุน	สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ได้ มีแนวคิดสนับสนุน ผลงานได้รับการยอมรับ
10. ความรับผิดชอบ	ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายได้ ร้อยละ 80	ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายได้ ร้อยละ 90	ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายได้ ร้อยละ 100
11. การมีส่วนร่วมในการกิจ	มีการอาสาเพื่อทำภารกิจ	มีความตั้งใจในการปฏิบัติภารกิจ	มีความตั้งใจปฏิบัติภารกิจสำเร็จด้วยดี
12. ความสามารถในการวิเคราะห์และการสื่อสารข้อมูล	นำเสนอผลงานด้วยความไม่มั่นใจ	นำเสนอผลงานด้วยความมั่นใจแต่ขาดข้อมูลสนับสนุน	นำเสนอผลงานด้วยความมั่นใจ และมีข้อมูลสนับสนุน

ผลการประเมินการเรียนรู้ในแต่ละเกณฑ์ = ผลรวมของคะแนนประเมิน

จำนวนผู้ได้รับการประเมิน

ผลการประเมินการเรียนรู้ของกิจกรรม = $\frac{\sum (\text{ผลการประเมินการเรียนรู้ในแต่ละเกณฑ์})}{\text{จำนวนเกณฑ์ทั้งหมด}}$

คุณภาพการประเมิน

คะแนน 2.50-3.00	ดีมาก
คะแนน 2.00-2.49	ดี
คะแนน 1.50-1.99	พอใช้
ต่ำกว่า 1.50	ควรปรับปรุง

ตารางที่ 4.12 การประเมินผลการเรียนรู้ “เตาเผาและการควบคุมเตาเผา”

เกณฑ์	ระดับคะแนนประเมิน		
	1	2	3
ความรู้			
1. บอกองค์ประกอบของเตาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ ห้องวางผลิตภัณฑ์ ปล่องไฟ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	บอกได้ไม่เกินร้อยละ 50	บอกได้เกินร้อยละ 80	บอกได้ครบทุกองค์ประกอบ
2. อธิบายหลักการทำงานของเตาเผาได้ ได้แก่ ผนวความร้อน ทางเดินลมร้อน ปล่องไฟ	อธิบายได้ 1 เรื่อง	อธิบายได้ 2 เรื่อง	อธิบายได้ครบทุกเรื่อง
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผาได้	อธิบายการหดตัวได้หรือความพูนได้	อธิบายการหดตัวและความพูนได้	อธิบายการหดตัว ความพูน และความแข็งแรงได้
4. อธิบายกราฟการเผาได้	อธิบายแนวโน้มของกราฟได้	อธิบายแนวโน้มของกราฟและความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาได้	อธิบายแนวโน้มของกราฟ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา และอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการเผาได้
ทักษะ			
5. สามารถเตรียมการก่อนเผาได้ ได้แก่ เตรียมเชื้อเพลิง แผ่นบันทึกการเผา จัดเรียงผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา และติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	เรียงได้แต่ไม่ถูกต้อง	เตรียมได้ทั้งสองวิธี แต่ผิดขั้นตอน	เตรียมได้ทั้งสองวิธี และถูกขั้นตอน
6. สามารถใช้กราฟการเผาและเขียนกราฟ	บันทึกอุณหภูมิและเวลา แต่เขียน	บันทึกอุณหภูมิและเวลา และ	บันทึกอุณหภูมิและเวลา

เกณฑ์	ระดับคะแนนประเมิน		
	1	2	3
การเผาได้	กราฟไม่ได้	เขียนกราฟได้ แต่ไม่สอดคล้องกับกราฟต้นแบบ	เขียนกราฟการเผาได้ และสอดคล้องกับกราฟต้นแบบ
7. สามารถบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเผาได้ ได้แก่ จำนวน น้ำหนัก การแตกร้าวหลังเผา	บันทึกเฉพาะก่อนการเผา	บันทึกทั้งก่อนและหลังเผา แต่ไม่ครบ	บันทึกทั้งก่อนและหลังเผา และครบตามที่กำหนด
เจตคติ			
8. ความรับผิดชอบ	ทำงานที่ได้รับมอบหมายได้ ร้อยละ 80	ทำงานที่ได้รับมอบหมาย ได้ร้อยละ 90	ทำงานที่ได้รับมอบหมาย ได้ร้อยละ 100
9. การมีส่วนร่วมในการกิจ	มีการอาสาเพื่อทำภารกิจ	มีความตั้งใจในการปฏิบัติภารกิจ	มีความตั้งใจปฏิบัติภารกิจ สำเร็จด้วยดี
10. ความสามารถในการวิเคราะห์และการสื่อสารข้อมูล	นำเสนอผลงานด้วยความไม่มั่นใจ	นำเสนอผลงานด้วยความมั่นใจแต่ขาดข้อมูลสนับสนุน	นำเสนอผลงานด้วยความมั่นใจ และมีข้อมูลสนับสนุน

ผลการประเมินการเรียนรู้ในแต่ละเกณฑ์ = ผลรวมของคะแนนประเมิน

จำนวนผู้ได้รับการประเมิน

ผลการประเมินการเรียนรู้ของกิจกรรม = $\sum$ (ผลการประเมินการเรียนรู้ในแต่ละเกณฑ์)

จำนวนเกณฑ์ทั้งหมด

คุณภาพการประเมิน

คะแนน 2.50-3.00

ดีมาก

คะแนน 2.00-2.49

ดี

คะแนน 1.50-1.99

พอใช้

ต่ำกว่า 1.50

ควรปรับปรุง

ตารางที่ 4.13 แบบประเมินผลการเรียนรู้กิจกรรม เรื่อง “เนื้อดินสำหรับการผลิตเซรามิก”

วันที่ประเมิน.....

นักเรียนระดับชั้น ☐ ม.1 ☐ ม.2 ☐ ม.3 เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย

เกณฑ์การประเมิน	คะแนน (เต็ม 3)
ความรู้	
1. อธิบายวิธีการเตรียมเนื้อดินทั้งแบบเปียกและแบบแห้งได้	
2. อธิบายวิธีการขึ้นรูปแบบแผ่นและขดได้	
3. อธิบายวิธีการคำนวณปริมาณน้ำในดินเหนียวได้	
4. อธิบายสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผาได้	
ทักษะ	
5. สามารถเตรียมเนื้อดินได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง	
6. สามารถขึ้นรูปด้วยการปั้นอิสระและแป้นหมุนมือ	
7. สามารถปฏิบัติเพื่อหาปริมาณน้ำในดินเหนียวได้	
8. สามารถบันทึกสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผาได้ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ สี และความแข็งแรง	
เจตคติ	
9. การมีความคิดสร้างสรรค์	
10. การมีความรับผิดชอบ	
11. การมีส่วนร่วมในภารกิจ	
12. การมีความสามารถในการวิเคราะห์และการสื่อสารข้อมูล	
ผลการประเมินการเรียนรู้ของกิจกรรม	

ตารางที่ 4.14 แบบประเมินผลการเรียนรู้กิจกรรม เรื่อง “เตาเผาและการควบคุมเตาเผา”

วันที่ประเมิน.....ผู้ประเมิน.....

นักเรียนระดับชั้น ☐ ม.1 ☐ ม.2 ☐ ม.3

เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย

เกณฑ์การประเมิน	คะแนน (เต็ม 3)
ความรู้	
1. บอกองค์ประกอบของเตาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ ห้องวางผลิตภัณฑ์ ปล่องไฟ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	
2. อธิบายหลักการทำงานของเตาเผาได้ ได้แก่ ฉนวนความร้อน ทางเดินลมร้อน ปล่องไฟ	
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผาได้	
4. อธิบายกราฟการเผาได้	
ทักษะ	
5. สามารถเตรียมการก่อนเผาได้ ได้แก่ เตรียมเชื้อเพลิง แผ่นบันทึกการเผา จัดเรียงผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา และติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	
6. สามารถใช้กราฟการเผาและเขียนกราฟการเผาได้	
7. สามารถบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเผาได้ ได้แก่ จำนวน น้ำหนัก การแตกร้าวหลังเผา	
เจตคติ	
8. การมีความรับผิดชอบ	
9. การมีส่วนร่วมในภารกิจ	
10. การมีความสามารถในการวิเคราะห์และการสื่อสารข้อมูล	
ผลการประเมินการเรียนรู้ของกิจกรรม	

4.3 การอบรมเชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับเตาเผาและการเผา

หลังจากสร้างชุดความรู้เกี่ยวกับการควบคุมเตาเผาและการเผา ผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมเพื่อต่อยอดชุดความรู้หรือภูมิปัญญาการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกและการควบคุมเตาเผา ให้กับนักเรียนและครูโรงเรียนบ้านป่าจี่วังแดงวิทยา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีนักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรม เป็นนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 50 คน โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่ครอบคลุมทั้งความรู้ ทักษะ และเจตคติ ซึ่งมีกิจกรรม ได้แก่

4.3.1 ศีลธรรมชาติของเนือดินและการใช้เนือดินเพื่อผลิตเซรามิก

จากการจัดกิจกรรมอบรมเพื่อความรู้แก่นักเรียนเกี่ยวกับเนือดิน ทั้งธรรมชาติของเนือดินและการใช้เนือดินเพื่อผลิตเซรามิกโดยการบรรยาย หลังจากนั้นมีการให้นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติเพื่อสร้างความเข้าใจที่มากขึ้นเกี่ยวกับความรู้เรื่องเนือดินและการใช้เนือดิน โดยให้ทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม ระหว่างทำกิจกรรมได้มีการประเมินผลการเรียนรู้ ดังตารางที่ 4.15 พบว่า นักเรียนได้รับความรู้ มีทักษะ และเจตคติ ที่ประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับดี กล่าวคือ ได้รับคะแนนประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 จากคะแนนเต็ม 3 เมื่อแยกพิจารณาตามเกณฑ์ พบว่า คุณภาพด้านเจตคติมีระดับคะแนนที่สูงที่สุด รองลงมาคือทักษะ และน้อยที่สุดคือความรู้ ซึ่งองค์ประกอบทั้งสามอย่างนี้ เป็นสิ่งที่ใช้ในการขับเคลื่อนกิจกรรม ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งสะท้อนคุณค่าขององค์ประกอบทั้งสาม คือ ความรู้ ทักษะ และเจตคติ



ภาพที่ 4.36 การให้ความรู้เกี่ยวกับการเตรียมเนือดินที่ใช้ในการผลิตเซรามิก



ภาพที่ 4.37 ฝึกการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

ตารางที่ 4.15 ผลการประเมินผลการเรียนรู้กิจกรรมเรื่อง “เนื้อดินสำหรับการผลิตเซรามิก”

เกณฑ์การประเมิน	คะแนน (เต็ม 3)
ความรู้	
1. อธิบายวิธีการเตรียมเนื้อดินทั้งแบบเปียกและแบบแห้งได้	2.53
2. อธิบายวิธีการขึ้นรูปแบบแผ่นและขดได้	2.53
3. อธิบายวิธีการคำนวณปริมาณน้ำในดินเหนียวได้	1.87
4. อธิบายสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผาได้	1.87
เฉลี่ย	2.20
ทักษะ	
5. สามารถเตรียมเนื้อดินได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง	2.67
6. สามารถขึ้นรูปด้วยการปั้นอิสระและแป้นหมุนมือ	2.80
7. สามารถปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณน้ำในดินเหนียวได้	2.00
8. สามารถบันทึกสมบัติของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผาได้ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ สี และความแข็งแรง	1.80
เฉลี่ย	2.32
เจตคติ	
9. การมีความคิดสร้างสรรค์	2.60
10. การมีความรับผิดชอบ	2.33
11. การมีส่วนร่วมในภารกิจ	2.60
12. การมีความสามารถในการวิเคราะห์และการสื่อสารข้อมูล	1.73
เฉลี่ย	2.32
ผลการประเมินการเรียนรู้ของกิจกรรม	2.28 (ดี)

4.3.2 ศึกษาองค์ประกอบของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงและการเผา

จากการทำกิจกรรมการศึกษาองค์ประกอบของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงและการเผาพบว่า ผู้เรียนมีความสนใจมากในกิจกรรมที่ทำร่วมกับปราชญ์ชาวบ้าน ทุกคนอยากมีส่วนร่วมแบบไม่ต้องบังคับ แต่ทำเพราะอยากทำและอยากรู้ ผลลัพธ์คือ ทุกคนได้ทำและเรียนรู้ และมีความสุขกับสิ่งที่ทำ ถึงแม้จะเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ผลสัมฤทธิ์ค่อนข้างดี จากผลการประเมินกิจกรรม พบว่า นักเรียนมีความรู้ ทักษะ และเจตคติ โดยเฉลี่ยอยู่ในระดับดี มีคะแนนประเมินเท่ากับ 2.35 จากคะแนนเต็ม 3 ดังตารางที่ 4.16 คะแนนสูงสุดคือทักษะ มีค่าเท่ากับ 2.47 รองลงมา คือ เจตคติ และความรู้ ตามลำดับ เนื่องจาก กิจกรรมที่นักเรียนมีส่วนร่วมใช้ทักษะไม่สูงมากและเป็นทักษะที่นักเรียนคุ้นเคย ไม่เหมือนกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกซึ่งต้องใช้ทักษะที่สูงกว่าและไม่เคยทำมาก่อน ส่วนความรู้ ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจจากการถอดบทเรียน อย่างไรก็ตามถือว่าอยู่ในระดับดี



ภาพที่ 4.38 เรียนรู้การสร้างเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.39 เรียนรู้องค์ประกอบของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.40 เรียนรู้การนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา



ภาพที่ 4.41 เรียนรู้การเผาและการควบคุมเตาเผา



ภาพที่ 4.42 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ก่อนเผา

ตารางที่ 4.16 การประเมินผลการเรียนรู้กิจกรรมเรื่อง “เตาเผาและการควบคุมเตาเผา”

เกณฑ์การประเมิน	คะแนน (เต็ม 3)
ความรู้	
1. บอกองค์ประกอบของเตาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ ห้องวางผลิตภัณฑ์ ปล่องไฟ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	2.50
2. อธิบายหลักการทำงานของเตาเผาได้ ได้แก่ ฉนวนความร้อน ทางเดินลมร้อน ปล่องไฟ	2.30
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างการเผาได้	2.00
4. อธิบายกราฟการเผาได้	2.10
เฉลี่ย	2.23
ทักษะ	
5. สามารถเตรียมการก่อนเผาได้ ได้แก่ เตรียมเชื้อเพลิง แผ่นบันทึกการเผา จัดเรียงผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา และติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	2.70
6. สามารถใช้กราฟการเผาและเขียนกราฟการเผาได้	2.30
7. สามารถบันทึกข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเผาได้ ได้แก่ จำนวน น้ำหนัก การแตกร้าวหลังเผา	2.40
เฉลี่ย	2.47
เจตคติ	
8. การมีความรับผิดชอบ	2.60
9. การมีส่วนร่วมในภารกิจ	2.80
10. การมีความสามารถในการวิเคราะห์และการสื่อสารข้อมูล	1.70
เฉลี่ย	2.37
ผลการประเมินการเรียนรู้ของกิจกรรม	2.35 (ดี)

ในช่วงเวลาที่จำกัดของการจัดกิจกรรมทั้งสอง คือ การศึกษาธรรมชาติของเนื้อดินและการใช้เนื้อดินเพื่อผลิตเซรามิกและการศึกษาองค์ประกอบของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟันเป็นเชื้อเพลิงและการเผา สิ่งให้เห็นผลเร็วที่สุดคือ เจตคติ ได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ ความรับผิดชอบ การมีส่วนร่วม และการวิเคราะห์และการสื่อสาร ซึ่งเกิดจากการเห็นคุณค่าของสิ่งที่ทำ มีความสุขในการได้ทำกิจกรรมกับเพื่อน ๆ มีการแบ่งหน้าที่ตามความสามารถที่มีอยู่โดยไม่ต้องบังคับเพื่อสร้างผลงานของกลุ่ม มีการใช้ความคิดที่เกิดจากประสบการณ์เพื่อถ่ายทอดไปยังผลงาน ซึ่งสิ่งเหล่านี้คือ พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนให้เกิดองค์ประกอบที่เหลือ คือ ความรู้ และทักษะ ซึ่งผู้ควบคุมกิจกรรมหรือครูต้องคำนึงถึง เพราะเจตคติไม่ได้แปรผันกับเวลา แต่ขึ้นอยู่กับ การเห็นคุณค่า ความสุขที่ได้ทำ หากต้องการผลลัพธ์ที่ดี ความรู้และทักษะคือองค์ประกอบที่จะเกิดขึ้นตามมาในตัวผู้เรียน ซึ่งต้องใช้เวลา อย่างไรก็ตาม ในส่วนของเจตคติด้าน

การวิเคราะห์และการสื่อสาร พบว่า มีคะแนนน้อย ซึ่งเป็นเพราะนักเรียนยังไม่มั่นใจในข้อมูลที่จะสื่อสารว่าถูกต้องหรือไม่ รวมถึงความกล้าแสดงออกหรือกล้าพูด เพื่อนำไปสู่การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ซึ่งผู้ควบคุมกิจกรรมหรือครูต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พูดหรือถ่ายทอดสิ่งที่ทำ และสะท้อนคิดว่าถูกหรือผิด ควรแก้ไขหรือปรับปรุงอะไรบ้าง ลดกำแพงความไม่รู้หรือทำไม่ได้ให้น้อยที่สุด เพื่อให้ผู้เรียนมีความสุขกับสิ่งที่ทำ และขยายไปสู่องค์ประกอบอื่น ๆ ทางความคิด เช่น ความคิดสร้างสรรค์ การวิเคราะห์ สังเคราะห์ การเห็นคุณค่าของกลุ่ม ความรับผิดชอบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทางความคิดที่จะนำไปสู่ความสำเร็จในการทำงาน

