

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง "การทดลองสีในเคลือบเซรามิกสำหรับเครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ซีเมนต์
ถ่านหินลิกไนต์ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปางผสมกับวัตถุดิบต่าง ๆ และสารออกไซด์
ให้สี" เพื่อให้การทำวิจัยดำเนินการตามวัตถุประสงค์และสำเร็จได้นั้นผู้วิจัยได้ลำดับขั้นตอน
ของการวิจัย ดังรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อลักษณะเคลือบหลังเผาจากการใช้
ซีเมนต์ถ่านหินลิกไนต์ผสมกับอะลูมินาออกไซด์, หยาแม่น้ำ และดินแดง ด้วยการหาอัตราส่วนผสม
จากการใช้ตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตอนที่ 2 นำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมาทดลองผสมสีโดยการเพิ่มออกไซด์ให้สีอื่น ๆ เช่น
โครมิกออกไซด์, โคบอลออกไซด์ และเฟอร์ริกออกไซด์

ตอนที่ 3 คัดเลือกสีสำเร็จรูปที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 มาทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์
เครื่องปั้นดินเผา

ลำดับขั้นตอนการทดลอง มีดังนี้



ภาพ 5 แสดงลำดับขั้นตอนในการทดลองสีสำเร็จรูป

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนเหมาะสมที่ส่งผลต่อลักษณะเคลือบหลังเผาจากการใช้ซีเมนต์ผ่านหินลิกไนต์ผสมกับอะลูมินาออกไซด์, ทรายแมน้ำ และดินแดง ด้วยการหาอัตราส่วนผสมจากการใช้ ตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผู้วิจัยดำเนินการตามรายละเอียด ดังนี้

- 1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 2 ลำดับขั้นการทดลอง
- 3 วิธีการทดลอง
- 4 รายละเอียดในการทดลอง
- 5 เครื่องมือและอุปกรณ์
- 6 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 7 สถานที่ใช้ในการทดลอง

1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

- 1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ คือ วัตถุดิบที่ใช้ในการทำสำเร็จรูปซึ่งได้แก่ ซีเมนต์ผ่านหินลิกไนต์ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ, อะลูมินาออกไซด์, ทรายแมน้ำ และดินแดง
- 1.2 กลุ่มตัวอย่างที่เลือกใช้ในการวิจัย ได้แก่
 - 1.2.1 ซีเมนต์ผ่านหินลิกไนต์ ชนิด Lignite Fly Ash (ซีเมนต์ลอย) ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งได้มาจากเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตของเตาเผาถ่านหินหมายเลข 4 ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547
 - 1.2.2 อะลูมินาออกไซด์ จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547
 - 1.2.3 ทรายแมน้ำวัง บริเวณเลียบฝั่งที่ทำการอำเภอเกาะคา ตำบลศาลา อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง เก็บวัตถุดิบในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547
 - 1.2.4 ดินแดงบ้านม่อน ของกลุ่มแม่บ้านพัฒนา ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เก็บวัตถุดิบในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2547

2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง
ลำดับขั้นตอนการทดลอง มีดังนี้



ภาพ 6 แสดงลำดับขั้นตอนในการทดลองหาอัตราส่วนเหมาะสมที่ส่งผลต่อ
ลักษณะเคลือบหลังเผาจากการใช้ซีเมนต์ผ่านหินลิกไนต์

3 วิธีการทดลองมีลำดับขั้นการทดลอง ได้แก่

3.1 หาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบโดยใช้ตารางสี่เหลี่ยม จำนวน 16 สูตร

3.2 ชั่งและบดผสมวัตถุดิบที่ได้

3.3 นำส่วนผสมที่ได้ไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส

3.4 ทำการล้างสีด้วยน้ำร้อน

3.5 ทำการบดส่วนผสม เมื่ออบเสร็จแล้วก็จะได้เป็นสีสำเร็จรูปที่จะนำไปทดสอบใน

ขั้นตอนต่อไป

3.6 นำสีที่ได้ไปทดสอบ โดยผสมสีลงไปบดผสมลงในเคลือบใส

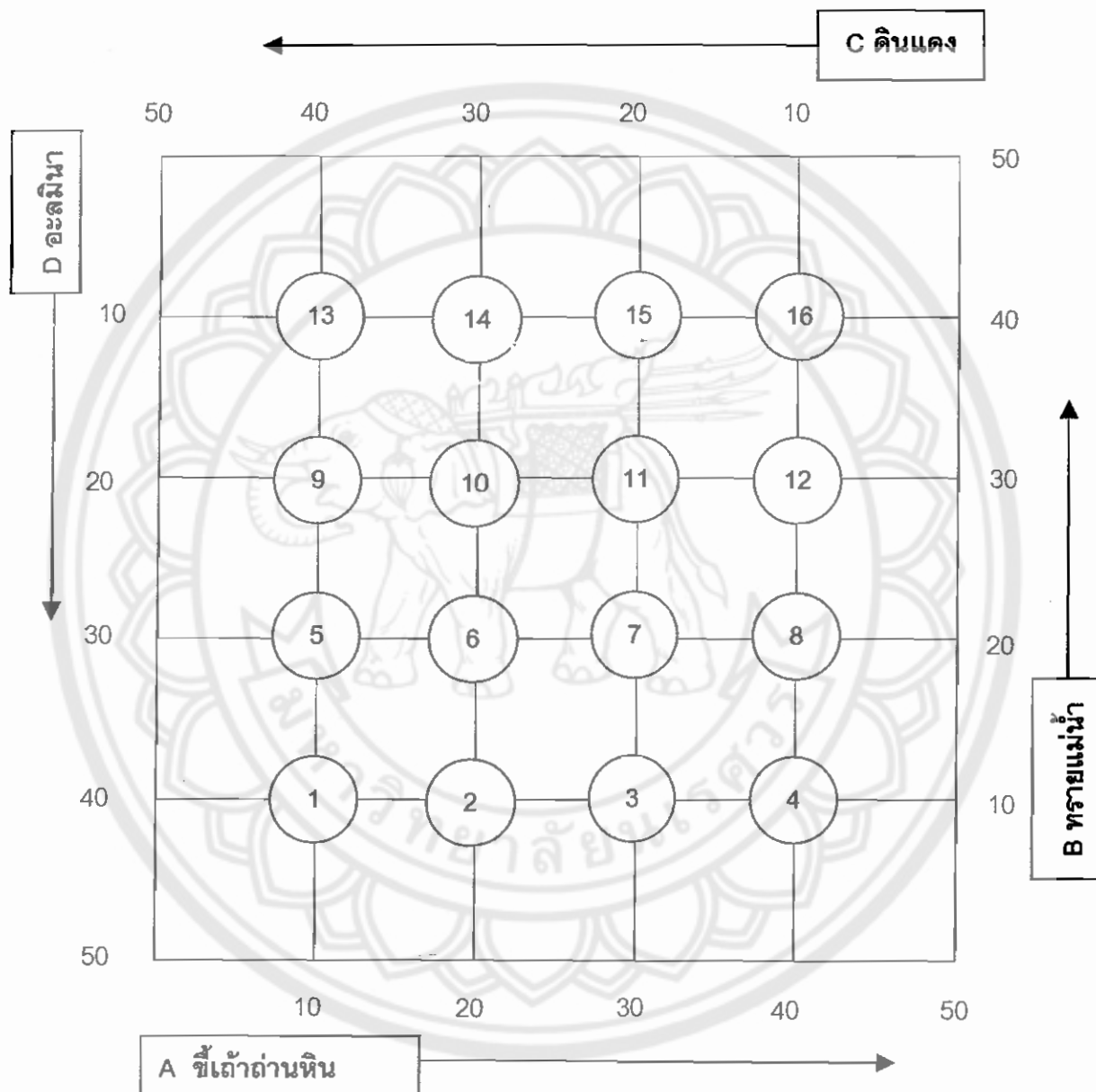
3.7 ทำการชุบเคลือบและเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

3.8 ทำการวิเคราะห์เจดสี และความคงทนของสีที่ได้หลังเผา



4 รายละเอียดในการทดลอง มีดังนี้

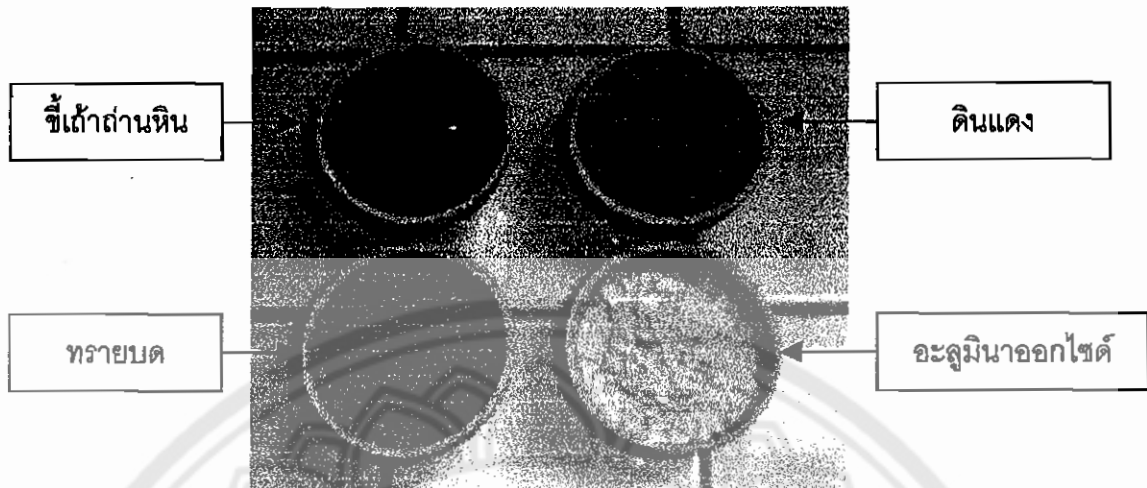
4.1 หาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบโดยใช้ตารางสี่เหลี่ยม จำนวน 16 จุด ได้สูตร ส่วนผสมจำนวน 16 สูตร ดังนี้



ภาพ 7 การคำนวณสูตรส่วนผสมของสีสำเร็จรูปด้วยตารางสี่เหลี่ยม

ตาราง 4 แสดงสูตรส่วนผสมของสีสำเร็จรูปจากการคำนวณด้วยตารางสี่เหลี่ยม

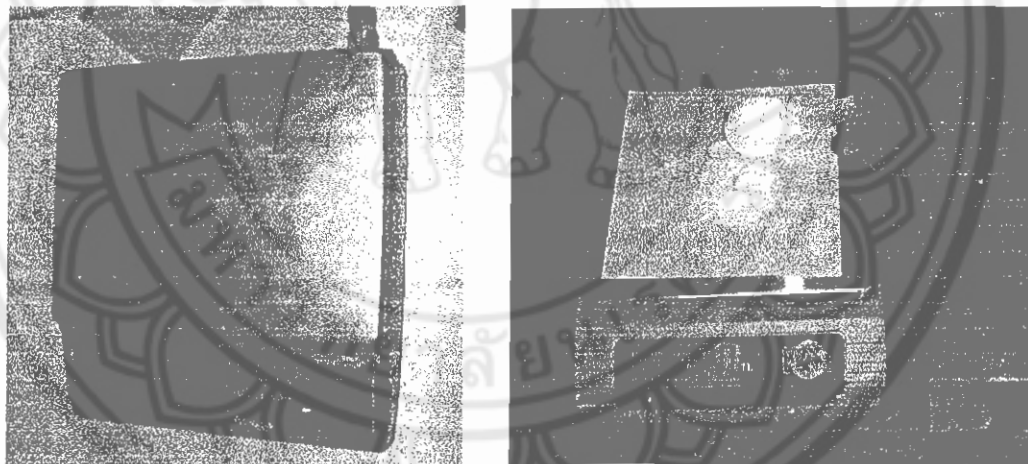
สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมคิดเป็นร้อยละ			
	ซีเมนต์	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินาออกไซด์
1	10	10	40	40
2	20	10	30	40
3	30	10	20	40
4	10	10	10	40
5	10	20	40	30
6	20	20	30	30
7	30	20	20	30
8	40	20	10	30
9	10	30	40	20
10	20	30	30	20
11	30	30	20	20
12	40	30	10	20
13	10	40	40	10
14	20	40	30	10
15	30	40	20	10
16	40	40	10	10



ภาพ 8 แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการทำสำเร็จรูป

4.2 ชั่งส่วนผสมวัตถุดิบ สูตรละ 100 กรัม ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม

2 ตำแหน่ง



1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2. ทำการชั่งวัตถุดิบ

ภาพ 9 เครื่องชั่ง และการชั่งส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำสำเร็จรูป

4.3 นำส่วนผสมที่ซึ่งได้ไปบดด้วยโม่บดไฟฟ้า ใช้เวลาบดสูตรละ 20 นาที แล้วหยุดพักโม่ 10 นาที จากนั้นบดต่ออีก 20 นาที บดจนส่วนผสมละเอียดเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน



3. บดด้วยโม่บดไฟฟ้า



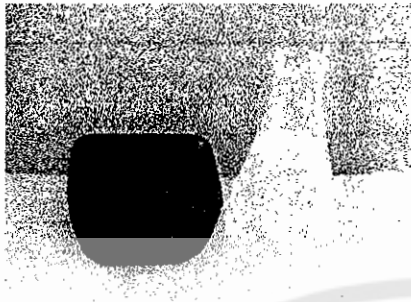
4. บดด้วยโม่บด

ภาพ 10 แสดงการบดส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำสำเร็จรูป

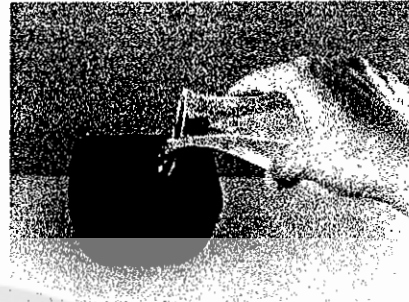
4.4 นำส่วนผสมที่ได้ใส่ในภาชนะดินเผาที่มีฝาปิด ภาชนะที่ใช้มีขนาดจุณภูมิ 800 หรือ 900 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส

4.5 นำส่วนผสมที่ทำการเผาแคลไซน์แล้วออกมาจากภาชนะจากนั้นทำการบดส่วนผสมด้วยวิธีบดแห้งโดยใช้ โม่บดไฟฟ้าและโม่บดมือ

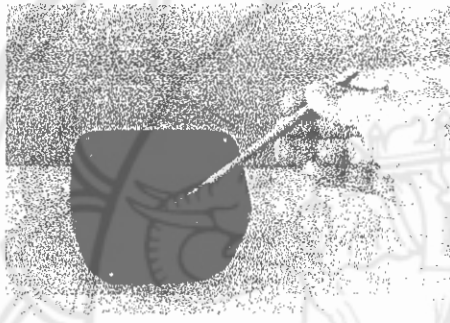
4.6 ทำการล้างสีด้วยน้ำร้อน โดยนำสีเทลงภาชนะจากนั้นเทน้ำร้อนใส่ลงไปให้ท่วมเนื้อสี คนให้สีแตกคนประมาณ 10 รอบ แล้วทิ้งไว้ให้สีตกตะกอน พอสีตกตะกอนเป็นชั้นให้เทน้ำออก ทำแบบนี้ 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบแล้วบดด้วย โม่บด



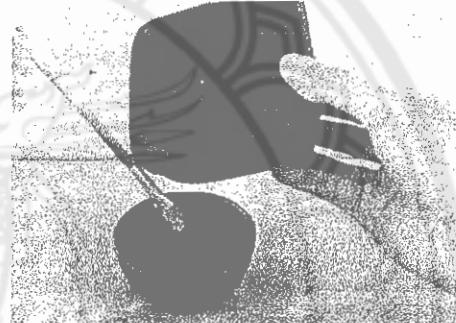
1. เนื้อสีและน้ำร้อน



2. เทน้ำร้อนจนท่วมเนื้อสี



3. คนให้เนื้อสีแตกตัว



4. เทน้ำออกเมื่อสีตกตะกอน

ภาพ 11 แสดงลำดับขั้นตอนในการล้างสี

4.7 นำสีที่ได้ไปทดสอบ โดยผสมสีลงไปในเคลือบใส โดยชั่งน้ำหนักเคลือบ 25 กรัม จากนั้นผสมสีที่ได้ลงไปในเคลือบ 5, 10 และ 20% (เคลือบใสที่ใช้เป็นเคลือบใสสำเร็จรูป หมายเลข 0120-Z ของบริษัทคอมพาวด์ จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547 แสดงในภาคผนวก ข)

เคลือบใส No. 0102-Z ($1,200^{\circ}\text{C}$) มีผลการวิเคราะห์ทางเคมี ดังนี้

K ₂ O	6.0%
CaO/BaO	15.0%
Al ₂ O ₃	11.0%
SiO ₂	60.0%

Add : Stain → 5, 10 และ 20 %

อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ตัวอย่าง)

โปแตสเฟลสปาร์ Potash-Soda Feldspar ($\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)	32.47
หินปูน Whiting (CaCO_3)	7.30
แบเรียมคาร์บอเนต Barium Carbamate (BaCO_3)	14.35
ดินขาวลำปาง Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	10.90
ทรายบด Milled Sand (SiO_2)	34.98

ตาราง 5 แสดงปริมาณของสี 5% ที่ใช้ผสมในเคลือบ

สูตรที่	น้ำหนักของเคลือบใส (กรัม)	เติมสีสำเร็จรูป (กรัม)
1	25	1.25
2	25	1.25
3	25	1.25
4	25	1.25
5	25	1.25
6	25	1.25
7	25	1.25
8	25	1.25
9	25	1.25
10	25	1.25
11	25	1.25
12	25	1.25
13	25	1.25
14	25	1.25
15	25	1.25
16	25	1.25

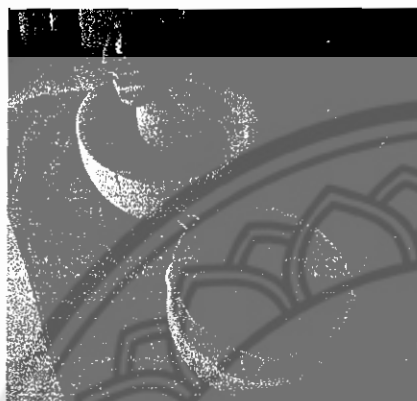
ตาราง 6 แสดงปริมาณของดี 10% ที่ใช้ผสมในเคลือบ

สูตรที่	น้ำหนักของเคลือบใส (กรัม)	เติมสีสำเร็จรูป (กรัม)
1	25	2.50
2	25	2.50
3	25	2.50
4	25	2.50
5	25	2.50
6	25	2.50
7	25	2.50
8	25	2.50
9	25	2.50
10	25	2.50
11	25	2.50
12	25	2.50
13	25	2.50
14	25	2.50
15	25	2.50
16	25	2.50

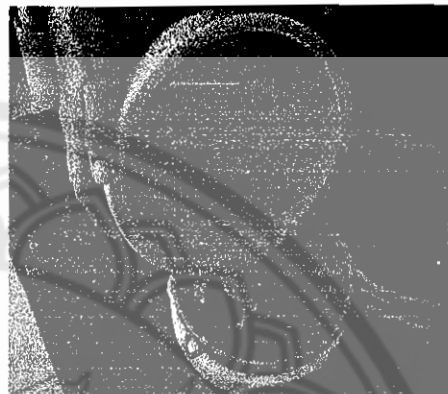
ตาราง 7 แสดงปริมาณของสี 20% ที่ใช้ผสมในเคลือบ

สูตรที่	น้ำหนักของเคลือบใส (กรัม)	เติมสีสำเร็จรูป (กรัม)
1	25	5
2	25	5
3	25	5
4	25	5
5	25	5
6	25	5
7	25	5
8	25	5
9	25	5
10	25	5
11	25	5
12	25	5
13	25	5
14	25	5
15	25	5
16	25	5

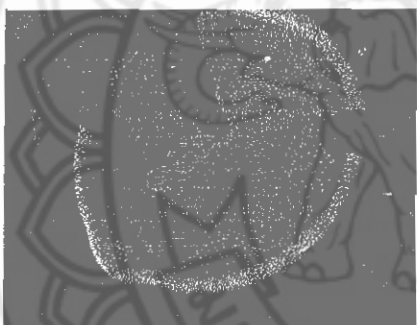
4.8 ทำการทดสอบเคลือบด้วยแผ่นทดลอง โดยทำการชุบเคลือบแผ่นทดลอง เมื่อชุบเคลือบเสร็จแล้วเขียนรหัสไว้ข้างใต้ด้วยสีเขียนได้เคลือบ (แผ่นทดลองที่ใช้เป็นแผ่นกลมมูน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เมาดบที่ 800 องศาเซลเซียส)



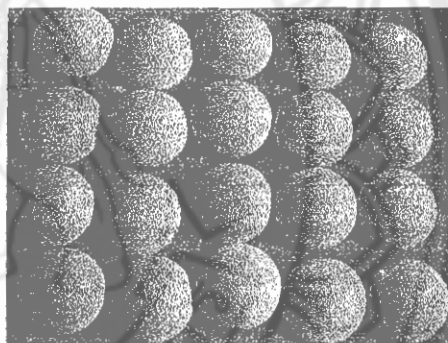
1. บดส่วนผสม



2. กรองน้ำเคลือบ



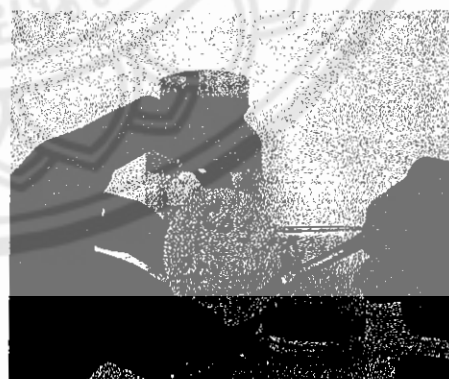
3. จุ่มเคลือบ



4. ตัวทดสอบเคลือบ



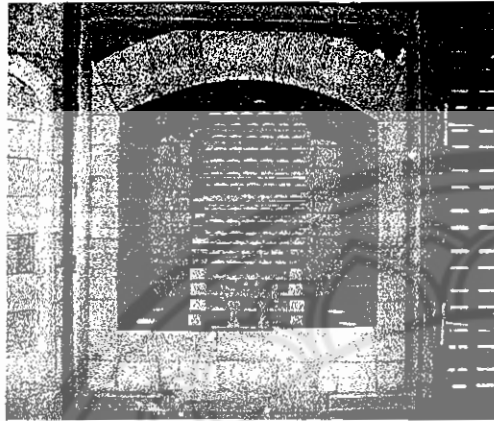
5. สีเขียนหมายเลขตัวทดสอบ



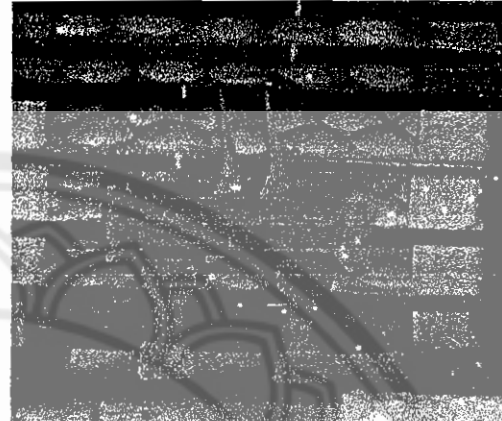
6. เขียนหมายเลขตัวทดสอบ

ภาพ 12 แสดงลำดับขั้นตอนในการชุบเคลือบแผ่นทดสอบเคลือบ

4.9 เผาเคลือบแผ่นทดลอง ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เตาแก๊ส
 เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน (ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา แสดงในภาคผนวก ค)



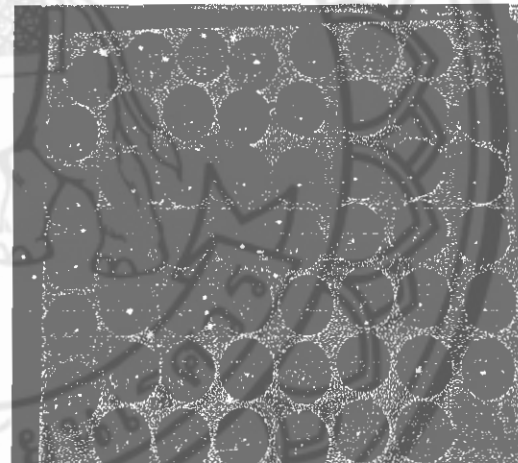
1. เกรียงตัวทดสอบเข้าเตา



2. ใส่ท่อนวัดไฟในเตา



3. เผาตัวทดลองที่ 1,200°C



4. ตัวทดลองหลังเผา

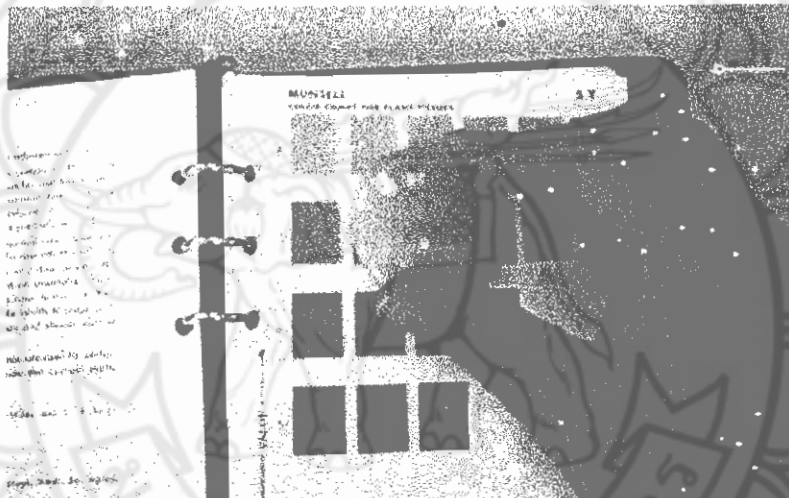
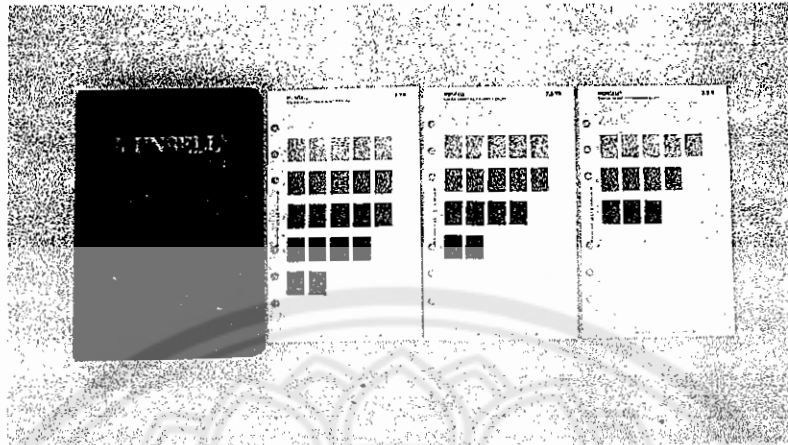
ภาพ 13 แสดงลำดับขั้นตอนการเผาเคลือบแผ่นทดสอบเคลือบ

4.10 ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.10.1 เจดสี ทำการเปรียบเทียบค่าสีที่ได้โดยใช้ตารางเทียบสีของมัลเชล

4.10.2 ความคงทนของสี ทำการทดสอบความคงทนของสีโดยใช้วิธี

ทำการเผาซ้ำครั้งที่สอง ในอุณหภูมิเดิมที่ 1,200 องศาเซลเซียส เตาแก๊ส เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน



ภาพ 14 แสดงแผ่นเทียบสีของมัลเชดและการวิเคราะห์เจดสีจากแผ่นเทียบสีของมัลเชด

5 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.1 เตาแก๊สแบบทางเดินลมร้อนลง พร้อมอุปกรณ์

5.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone) และไพโรเมตริกเทอร์

โมคอปเปิล (Pyrometric Thermocouple)

5.3 เครื่องตั้ง

5.4 หม้ออบ

5.5 ตะแกรง

6.6 กระจบอทดวง

6 การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 เคนส์ ใช้ตารางเทียบสีของมัลเซลล์

6.2 ความคงทนของสี ใช้การเผาซ้ำครั้งที่สองที่อุณหภูมิเดิมที่ 1,200 องศาเซลเซียส

เตาแก๊ส เเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

7 สถานที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการดินและเคลือบที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรม
เครื่องเคลือบดินเผา ภาคเหนือ อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง

ตอนที่ 2 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมทดลองผสมสีโดยการเพิ่มออกไซด์ให้สี
อื่น ๆ ได้แก่ โครมิกออกไซด์, โคบอลออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์

ผู้วิจัยดำเนินการตามรายละเอียดดังนี้

1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3 ลำดับขั้นการทดลอง

4 วิธีการทดลอง

5 รายละเอียดในการทดลอง

6 เครื่องมือและอุปกรณ์

7 การวิเคราะห์ข้อมูล

8 สถานที่ใช้ในการทดลอง

1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทำสำเร็จรูปซึ่งได้แก่ ซีเมนต์หินลิกไนต์ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ, อะลูมินาออกไซด์, ทรายแมงน้ำ และดินแดง ผสมกับ ออกไซด์ให้สี ซึ่งได้แก่ โครมมิกออกไซด์, โคบอลต์ออกไซด์ และเฟอร์ริกออกไซด์

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1.2.1 ซีเมนต์หินลิกไนต์ ชนิด Lignite Fly Ash (ซีเมนต์ลอย) ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งได้มาจากเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตของเตาเผาถ่านหินหมายเลข 4 ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

1.2.2 อะลูมินาออกไซด์ จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

1.2.3 ทรายแมงน้ำวัง บริเวณเลียบฝั่งที่ทำการอำเภอเกาะคา ตำบลศาลา อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง เก็บวัตถุดิบในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

1.2.4 ดินแดงบ้านม่อน ของกลุ่มแม่บ้านพัฒนา ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เก็บวัตถุดิบในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

1.2.5 โครมมิกออกไซด์ เยอร์มัน จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

1.2.6 โคบอลต์ออกไซด์ แคนนาดา จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

1.2.7 เฟอร์ริกออกไซด์ อินเดีย จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547

2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ลำดับขั้นตอนการทดลอง มีดังนี้



ภาพ 15 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองผสมสีโดยการเพิ่มออกไซด์ให้สีอื่น ๆ

3 วิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนการทดลอง ได้แก่

3.1 ผสมสารออกไซด์ให้สีลงไปในส่วนผสมของสีสำเร็จรูปที่ได้จากตอนที่ 1 โดยใช้ โคบอลต์ออกไซด์ และโครมิกออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 1, 3, 5 และเฟอร์ริกออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 3, 6, 9

3.2 ทำการชั่งส่วนผสมด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.3 นำส่วนผสมที่ได้ไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส

3.4 ทำการล้างสีด้วยน้ำร้อน แล้วทำการอบสีให้แห้ง บดสีด้วยโม่ร่งบด

3.5 ทำการบดส่วนผสม เมื่ออบเสร็จแล้วก็จะได้เป็นสีสำเร็จรูปที่จะนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

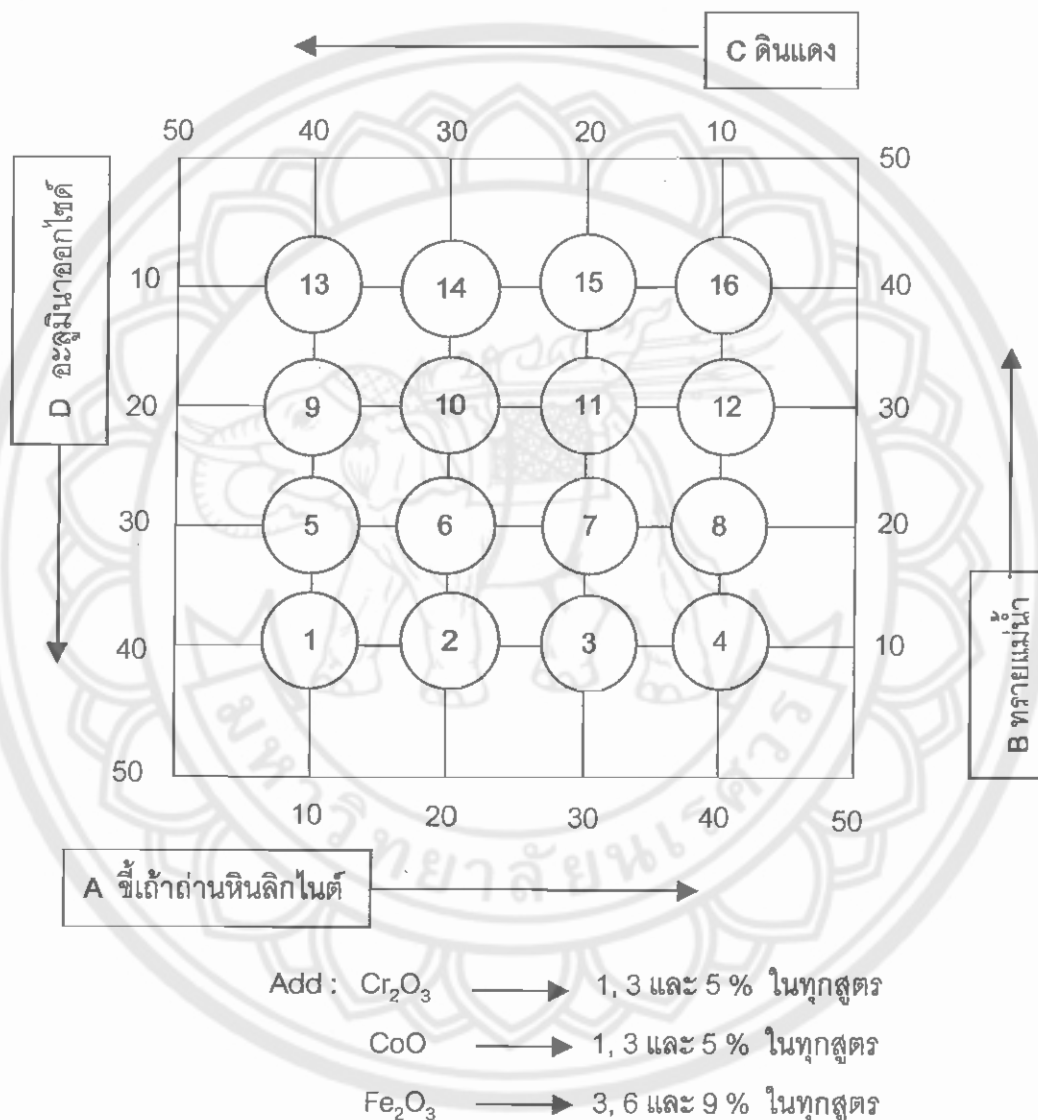
3.6 นำสีที่ได้ไปทดสอบ โดยผสมสีลงไปบดผสมลงในเคลือบสีปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 20

3.7 ทำการชุบเคลือบและเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

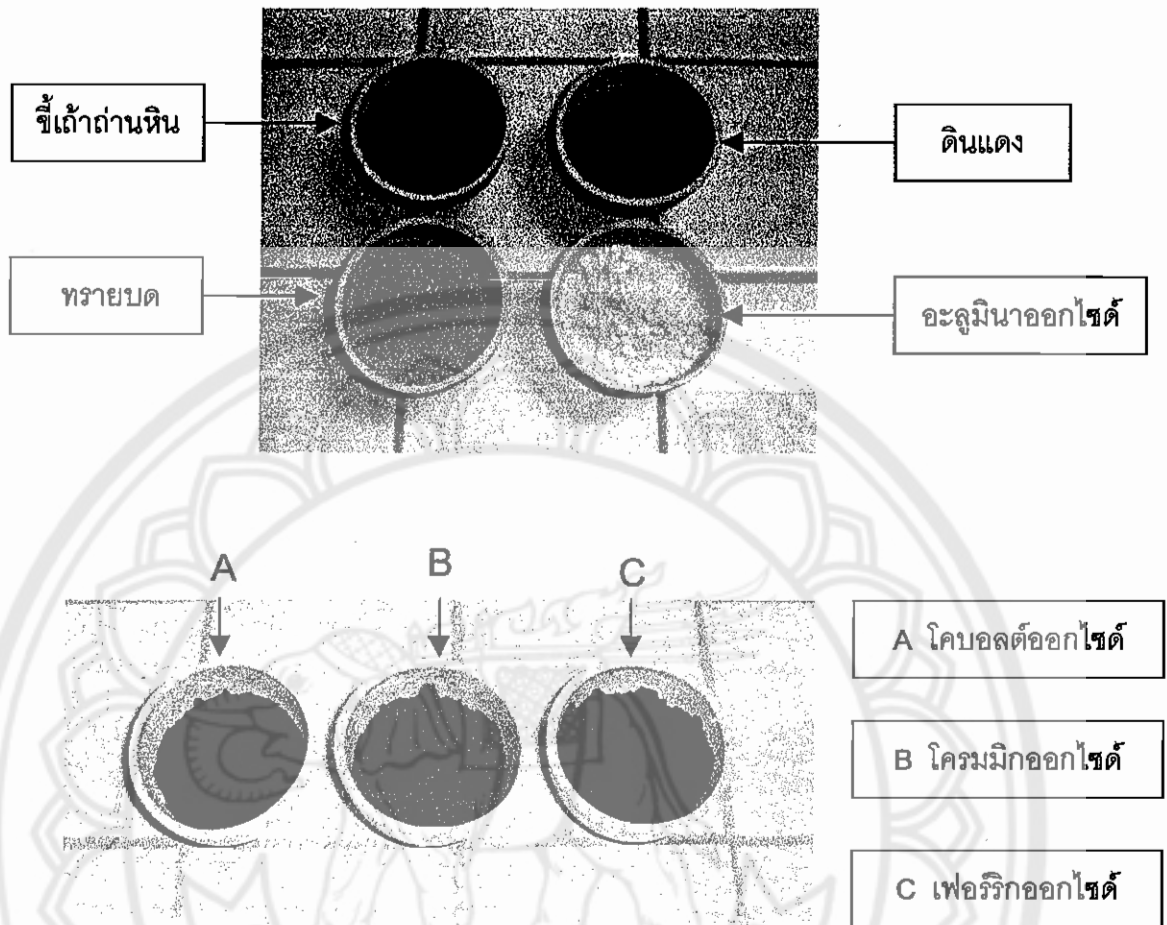
3.8 ทำการวิเคราะห์เจดสี และความคงทนของสีที่ได้หลังเผา

4 รายละเอียดในการทดลอง มีดังนี้

4.1 ผสมสารออกไซด์ให้สีลงไปในส่วนผสมของสีสำเร็จรูปที่ได้จากตอนที่ 1 โดยชั่งน้ำหนักส่วนผสม 300 กรัม จากนั้นผสมเฟอร์ริกออกไซด์ ในปริมาณ 3, 6 และ 9 โคโรมิก ออกไซด์, โคบอลออกไซด์ ผสมลงไปร้อยละ 1, 3 และ 5 ในแต่ละสูตรส่วนผสม ดังนี้



ภาพ 16 แสดงการคำนวณสูตรส่วนผสมของสีสำเร็จรูปด้วยตารางสี่เหลี่ยม



ภาพ 17 แสดงวัตถุดิบในการทดลองสีสำเร็จรูปและออกไซด์ให้สีในการทดลองสีสำเร็จรูป

4.2 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมวัตถุดิบสูตรละ 100 กรัม และชั่งน้ำหนักของออกไซด์ให้สีตามปริมาณร้อยละที่จะทดลอง ได้แก่ โคบอลต์ออกไซด์ ในปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม โครมิกออกไซด์ 1, 3 และ 5 กรัม เฟอร์ริกออกไซด์ 3, 6 และ 9 กรัม ผสมทุกสูตรส่วนผสมของสีสำเร็จรูป

ตาราง 8 แสดงอัตราส่วนผสมที่ทดลองผสมสี โดยการเพิ่มออกไซด์ให้สี ได้แก่
โคบอลต์ออกไซด์

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณโคบอลต์ ออกไซด์ (กรัม)
	ซีเทาท่านหิน	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	1
2	20	10	30	40	1
3	30	10	20	40	1
4	10	10	10	40	1
5	10	20	40	30	1
6	20	20	30	30	1
7	30	20	20	30	1
8	40	20	10	30	1
9	10	30	40	20	1
10	20	30	30	20	1
11	30	30	20	20	1
12	40	30	10	20	1
13	10	40	40	10	1
14	20	40	30	10	1
15	30	40	20	10	1
16	40	40	10	10	1

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณโคบอลต์ ออกไซด์ (กรัม)
	ซีเมนต์ก่อกันหิน	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	3
2	20	10	30	40	3
3	30	10	20	40	3
4	10	10	10	40	3
5	10	20	40	30	3
6	20	20	30	30	3
7	30	20	20	30	3
8	40	20	10	30	3
9	10	30	40	20	3
10	20	30	30	20	3
11	30	30	20	20	3
12	40	30	10	20	3
13	10	40	40	10	3
14	20	40	30	10	3
15	30	40	20	10	3
16	40	40	10	10	3

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณโคบอลต์ ออกไซด์ (กรัม)
	ซีเอนด์	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	5
2	20	10	30	40	5
3	30	10	20	40	5
4	10	10	10	40	5
5	10	20	40	30	5
6	20	20	30	30	5
7	30	20	20	30	5
8	40	20	10	30	5
9	10	30	40	20	5
10	20	30	30	20	5
11	30	30	20	20	5
12	40	30	10	20	5
13	10	40	40	10	5
14	20	40	30	10	5
15	30	40	20	10	5
16	40	40	10	10	5

ตาราง 9 แสดงอัตราส่วนผสมที่ทดลองผสมสีโดยการเพิ่มออกไซด์ให้สี ได้แก่
โครมิกออกไซด์

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณโครมิก ออกไซด์ (กรัม)
	ซีเทาก่อนหิน	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	1
2	20	10	30	40	1
3	30	10	20	40	1
4	10	10	10	40	1
5	10	20	40	30	1
6	20	20	30	30	1
7	30	20	20	30	1
8	40	20	10	30	1
9	10	30	40	20	1
10	20	30	30	20	1
11	30	30	20	20	1
12	40	30	10	20	1
13	10	40	40	10	1
14	20	40	30	10	1
15	30	40	20	10	1
16	40	40	10	10	1

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณโครมิก ออกไซด์ (กรัม)
	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	3
2	20	10	30	40	3
3	30	10	20	40	3
4	10	10	10	40	3
5	10	20	40	30	3
6	20	20	30	30	3
7	30	20	20	30	3
8	40	20	10	30	3
9	10	30	40	20	3
10	20	30	30	20	3
11	30	30	20	20	3
12	40	30	10	20	3
13	10	40	40	10	3
14	20	40	30	10	3
15	30	40	20	10	3
16	40	40	10	10	3

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณโครมมิก ออกไซด์ (กรัม)
	ซีเอนาถ่านหิน	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	5
2	20	10	30	40	5
3	30	10	20	40	5
4	10	10	10	40	5
5	10	20	40	30	5
6	20	20	30	30	5
7	30	20	20	30	5
8	40	20	10	30	5
9	10	30	40	20	5
10	20	30	30	20	5
11	30	30	20	20	5
12	40	30	10	20	5
13	10	40	40	10	5
14	20	40	30	10	5
15	30	40	20	10	5
16	40	40	10	10	5

ตาราง 10 แสดงอัตราส่วนผสมที่ทดลองผสมสีโดยการเพิ่มออกไซด์ให้สี ได้แก่
เฟอริกออกไซด์

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณ เฟอริกออกไซด์ (กรัม)
	ซีเมนต์กันหิน	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	3
2	20	10	30	40	3
3	30	10	20	40	3
4	10	10	10	40	3
5	10	20	40	30	3
6	20	20	30	30	3
7	30	20	20	30	3
8	40	20	10	30	3
9	10	30	40	20	3
10	20	30	30	20	3
11	30	30	20	20	3
12	40	30	10	20	3
13	10	40	40	10	3
14	20	40	30	10	3
15	30	40	20	10	3
16	40	40	10	10	3

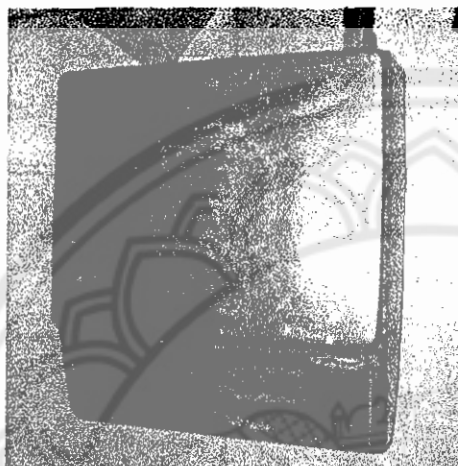
ตาราง 10 (ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณ เฟอร์ริกออกไซด์ (กรัม)
	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	6
2	20	10	30	40	6
3	30	10	20	40	6
4	10	10	10	40	6
5	10	20	40	30	6
6	20	20	30	30	6
7	30	20	20	30	6
8	40	20	10	30	6
9	10	30	40	20	6
10	20	30	30	20	6
11	30	30	20	20	6
12	40	30	10	20	6
13	10	40	40	10	6
14	20	40	30	10	6
15	30	40	20	10	6
16	40	40	10	10	6

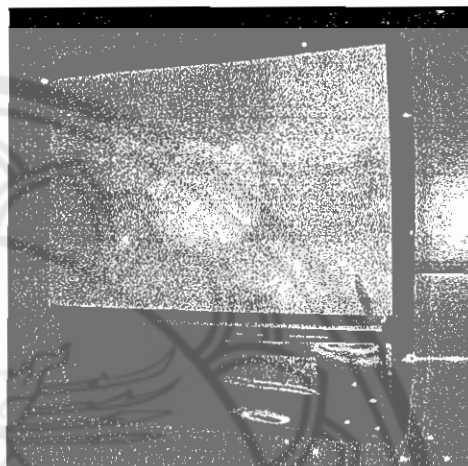
ตาราง 10 (ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (กรัม)				ปริมาณ เฟอร์ริกออกไซด์ (กรัม)
	ซีเมนต์านหิน	ทรายแม่น้ำ	ดินแดง	อะลูมินา ออกไซด์	
1	10	10	40	40	9
2	20	10	30	40	9
3	30	10	20	40	9
4	10	10	10	40	9
5	10	20	40	30	9
6	20	20	30	30	9
7	30	20	20	30	9
8	40	20	10	30	9
9	10	30	40	20	9
10	20	30	30	20	9
11	30	30	20	20	9
12	40	30	10	20	9
13	10	40	40	10	9
14	20	40	30	10	9
15	30	40	20	10	9
16	40	40	10	10	9

4.3 นำส่วนผสมที่ซังได้ไปบดด้วยโม่บด ใช้ระยะเวลาในการบด 20 นาที จากนั้นหยุดพัก 10 นาที แล้วทำการบดต่ออีก 20 นาที บดให้ส่วนผสมละเอียดเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน



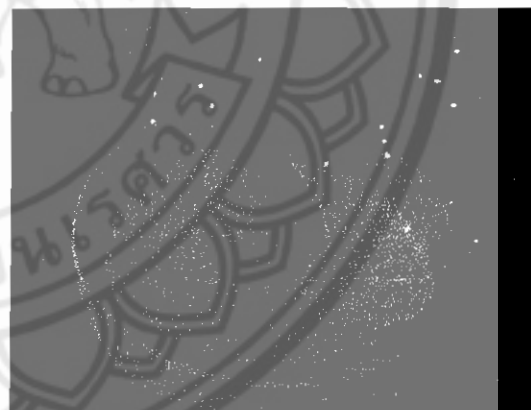
1. เครื่องซังทศนิยม 2 ตำแหน่ง



2. ทำการซังวัตถุดิบ



3. บดด้วยโม่บดไฟฟ้า



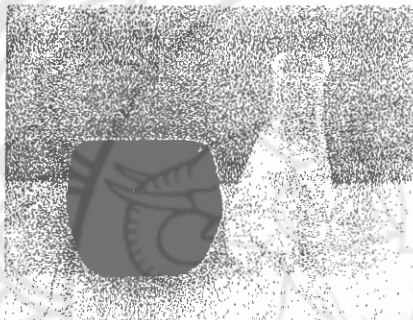
4. บดด้วยโม่บด

ภาพ 18 แสดงการบดส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำสีสำเร็จรูป

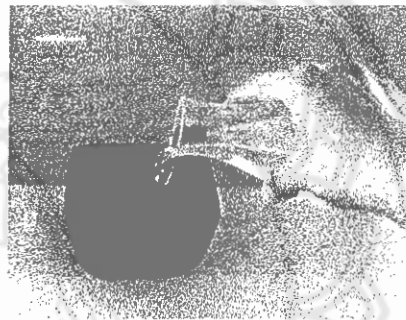
4.4 นำส่วนผสมที่ได้ใส่ในภาชนะดินเผาที่มีฝาปิด ภาชนะที่ใช้มีขนาดปริมาตร 800 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส

4.5 นำส่วนผสมที่ทำการเผาเคลือบแล้วออกมาจากภาชนะจากนั้นทำการ บดส่วนผสมด้วยวิธีบดแห้งโดยใช้ โกร่งบดไฟฟ้า ใช้ระยะเวลาในการบด 20 นาที และบดด้วย โกร่งบดมืออีก 10 นาที บดจนเนื้อละเอียดเข้ากัน

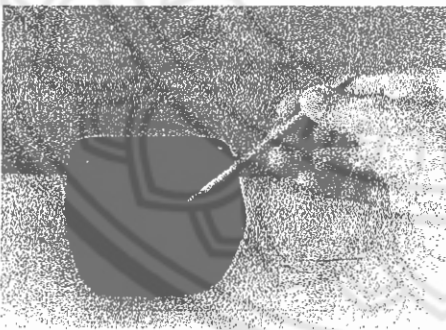
4.6 ทำการล้างสีด้วยน้ำร้อน โดยนำสีเทลงภาชนะจากนั้นเทน้ำร้อนใส่ลงไป ให้ท่วมเนื้อสี คนให้เนื้อสีแตกตัว คนประมาณ 10 รอบ แล้วทิ้งไว้ให้สีตกตะกอน พอสีตกตะกอนเป็นชั้นให้เทน้ำออก ทำแบบนี้ 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบแล้วบดด้วยโกร่งบด



1. เนื้อสีและน้ำร้อน



2. เทน้ำร้อนจนท่วมเนื้อสี



3. คนให้เนื้อสีแตกตัว



4. เทน้ำออกเมื่อสีตกตะกอน

ภาพ 19 แสดงลำดับขั้นตอนในการล้างสี

4.7 นำสีที่ได้ไปทดสอบกับแผ่นทดลองแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร โดยผสมสีลงไปในเคลือบใส ชั่งน้ำหนักเคลือบ 25 กรัม จากนั้นผสมสีที่ได้ลงไป ในเคลือบ 5, 10 และ 20%

(เคลือบใสที่ใช้เป็นเคลือบใสสำเร็จรูป หมายเลข 0120-Z ของบริษัทคอมพาวด์ จากร้าน NA YONG HENG Ltd.,Part จังหวัดลำปาง ในช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547)

เคลือบใส No. 0102-Z

K ₂ O	6.0%
CaO/BaO	15.0%
Al ₂ O ₃	11.0%
SiO ₂	60.0%

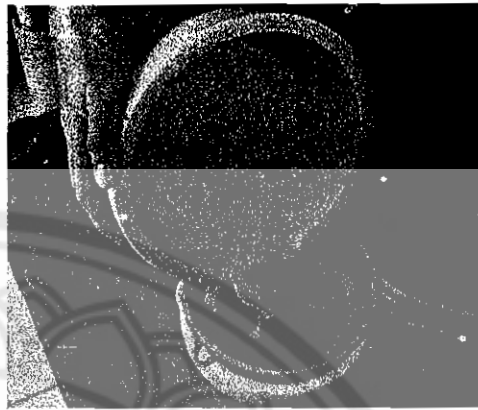
Add : Stain → 5, 10 และ 20%

อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ (ตัวอย่าง)

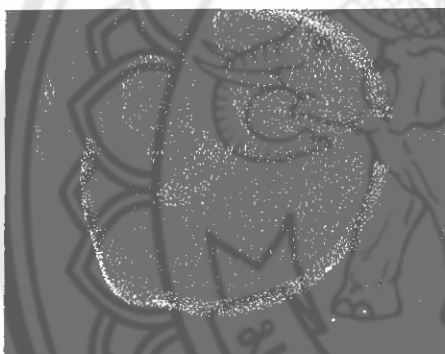
โปแตสเฟลด์สปาร์ Potash-Soda Feldspar (KNaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂)	32.47
หินปูน Whiting (CaCO ₃)	7.30
แบเรียมคาร์บอเนต Barium Carbamate (BaCO ₃)	14.35
ดินขาวลำปาง Kaolin (Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O)	10.90
ทรายบด Milled Sand (SiO ₂)	34.98



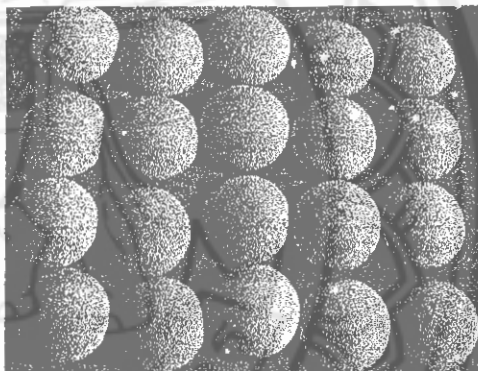
1. บดส่วนผสม



2. กรองน้ำเคลือบ



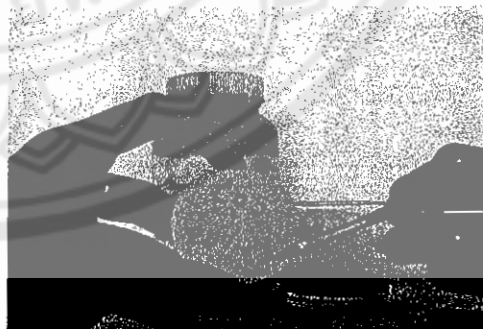
3. จุ่มเคลือบ



4. ตัวทดสอบเคลือบ



5. สีเขียนหมายเลขตัวทดสอบ



6. เขียนหมายเลขตัวทดสอบ

ภาพ 20 แสดงลำดับขั้นตอนในการชุบเคลือบแผ่นทดสอบเคลือบ

ตาราง 11 แสดงปริมาณร้อยละ 5 ของดีสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบ

สูตรที่	น้ำหนักของเคลือบใส (กรัม)	เติมดีสำเร็จรูป (กรัม)
1	25	1.25
2	25	1.25
3	25	1.25
4	25	1.25
5	25	1.25
6	25	1.25
7	25	1.25
8	25	1.25
9	25	1.25
10	25	1.25
11	25	1.25
12	25	1.25
13	25	1.25
14	25	1.25
15	25	1.25
16	25	1.25

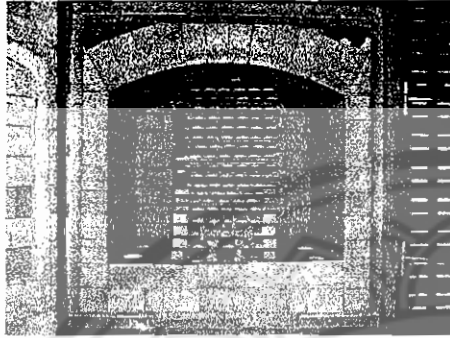
ตาราง 12 แสดงปริมาณร้อยละ 10 ของสีสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบ

สูตรที่	น้ำหนักของเคลือบใส (กรัม)	เติมสีสำเร็จรูป (กรัม)
1	25	2.50
2	25	2.50
3	25	2.50
4	25	2.50
5	25	2.50
6	25	2.50
7	25	2.50
8	25	2.50
9	25	2.50
10	25	2.50
11	25	2.50
12	25	2.50
13	25	2.50
14	25	2.50
15	25	2.50
16	25	2.50

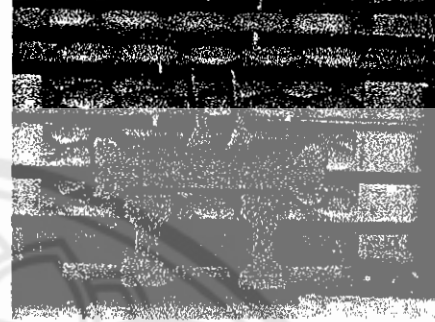
ตาราง 13 แสดงปริมาณร้อยละ 20 ของสีสำเร็จรูปที่ใช้ผสมในเคลือบ

สูตรที่	น้ำหนักของเคลือบใส (กรัม)	เติมสีสำเร็จรูป (กรัม)
1	25	5
2	25	5
3	25	5
4	25	5
5	25	5
6	25	5
7	25	5
8	25	5
9	25	5
10	25	5
11	25	5
12	25	5
13	25	5
14	25	5
15	25	5
16	25	5

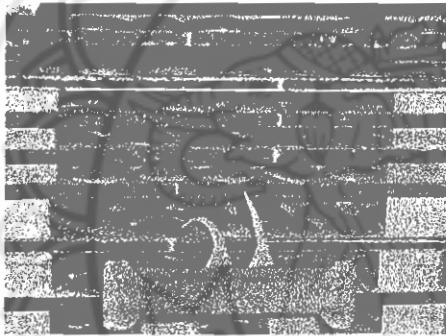
4.8 เเผาเคลือบแผ่นทดลอง ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เตาแก๊ส
เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน



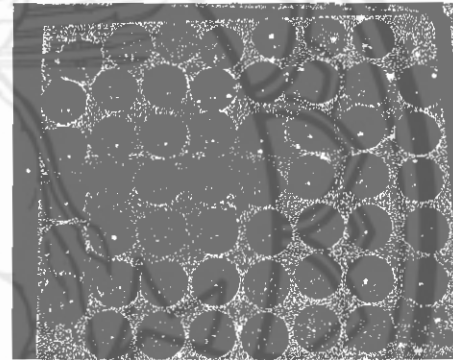
1. เรียงตัวทดสอบเข้าเตา



2. ใส่ท่อนิวไฟในเตา



3. เเผาตัวทดลองที่ 1,200°C



4. ตัวทดลองหลังเผา

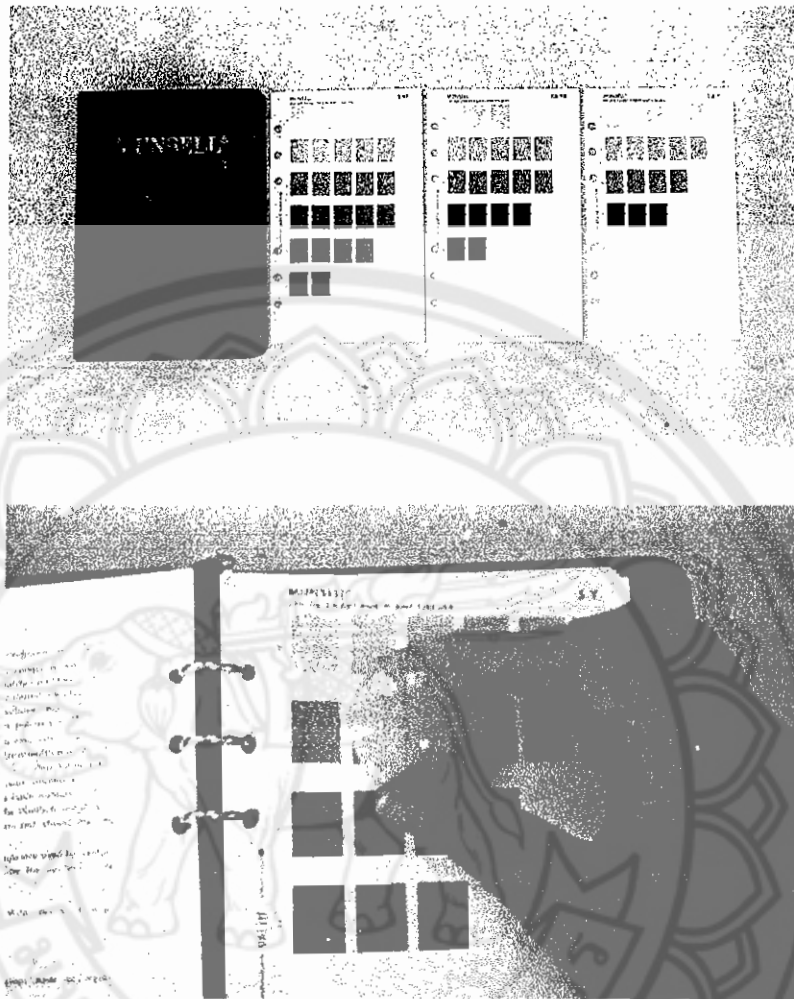
ภาพ 21 แสดงลำดับขั้นตอนการเผาเคลือบแผ่นทดสอบเคลือบ

4.9 ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.9.1 เคนดี ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้โดยใช้ตารางเทียบสีของมัลเซล

4.9.2 ความคงทนของสี ทำการทดสอบความคงทนของสีโดยใช้วิธี

ทำการเผาซ้ำครั้งที่สอง ในอุณหภูมิเดิมที่ 1,200 องศาเซลเซียส เตาแก๊ส เเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน



ภาพ 22 แสดงแผ่นเทียบสีของมัลเชลและการวิเคราะห์เจดสีจากแผ่นเทียบสีของมัลเชล

5 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1 เตาแก๊สแบบทางเดินลมร้อนลง พร้อมอุปกรณ์

5.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone) และไพโรเมตริกเทอร์โมคอปเปิล (Pyrometric Thermocouple)

5.3 เครื่องชั่ง

5.4 หม้ออบ

5.5 ตะแกรง

5.6 กระบอกตวง

6 การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 เชดสี ใช้ตารางเทียบสีของมัลเซล

6.2 ความคงทนของสี ใช้การเผาซ้ำครั้งที่สองที่อุณหภูมิเดิมที่ 1,200 องศาเซลเซียส เตาแก๊ส เเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

7 สถานที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการดินและเคลือบที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา ภาคเหนือ อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง

ตอนที่ 3 คัดเลือกสีสำเร็จรูปที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 มาทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2 ลำดับขั้นการทดลอง

3 วิธีการทดลอง

4 รายละเอียดในการทดลอง

5 เครื่องมือและอุปกรณ์

6 สถานที่ใช้ในการทดลอง

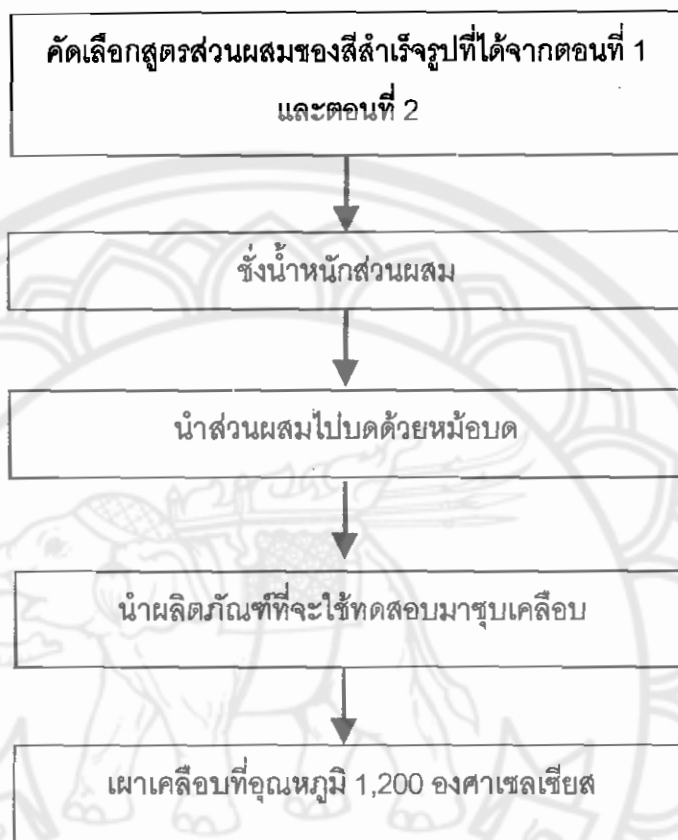
1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ สีสำเร็จรูปที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 ซึ่งได้แก่การนำวัตถุดิบต่าง ๆ มาผสมกัน และการผสมสารออกไซด์ให้สีลงไปในวัตถุดิบทำสีสำเร็จรูปแล้วทำการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ สีสำเร็จรูปที่ดีที่สุด ซึ่งคัดเลือกมาจากข้อ 1 และข้อ 2 คือ มีสีและความคงทนของสีในเคลือบหลังเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

2. ลำดับขั้นการทดลอง

ลำดับขั้นการทดลอง มีดังนี้



ภาพ 23 แสดงลำดับขั้นการทดลองใช้สีสำเร็จรูปกับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

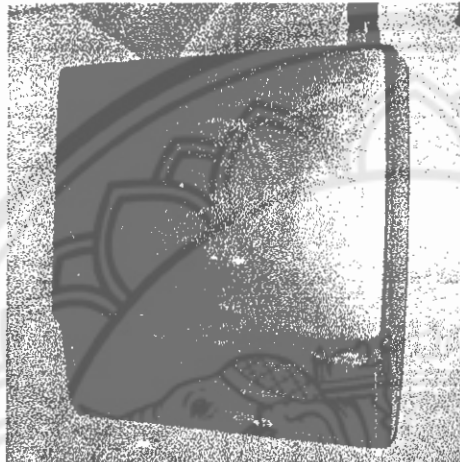
3. วิธีการทดลองมีลำดับขั้นการทดลอง ดังนี้

- 3.1 นำสีที่คัดเลือกไว้ไปทดสอบกับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยผสมสีลงไปบดผสมลงในเคลื่อนใส
- 3.2 ทำการชูปเคลื่อนและเผาเคลื่อนผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส
- 3.3 ทำการวิเคราะห์เจดสีที่ได้หลังเผา

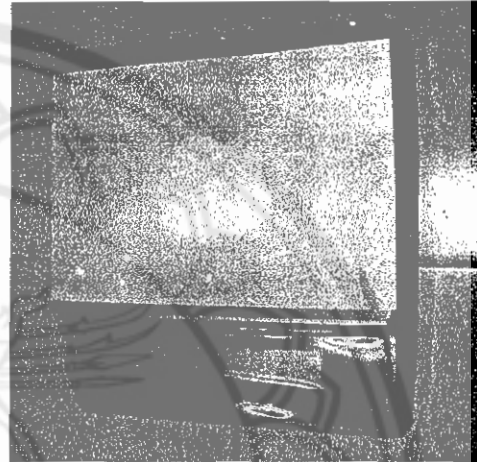
4 รายละเอียดในการทดลอง มีดังนี้

4.1 ทำการคัดเลือกหาส่วนผสมของสีที่ได้หลังจากตอนที่ 1 และตอนที่ 2 มาทำการทดสอบกับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

4.2 ชั่งส่วนผสมของสีและเคลือบ ที่จะใช้ทดสอบ ในปริมาณสูตรละ 100 กรัม



1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

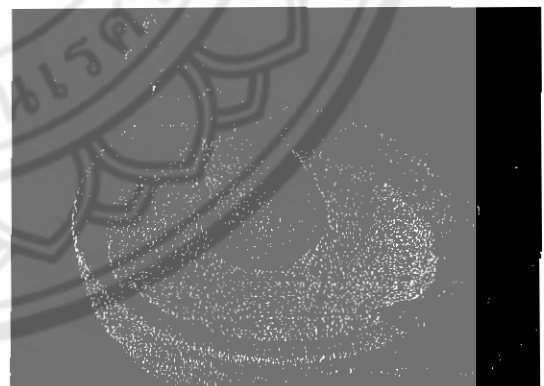


2. ทำการชั่งวัตถุดิบ

ภาพ 24 เครื่องชั่ง และการชั่งส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำสีสำเร็จรูป



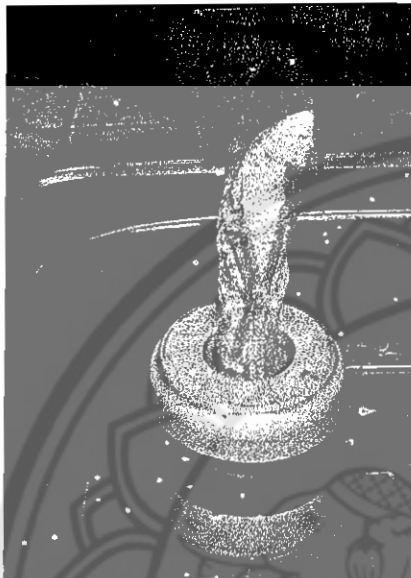
3. บดด้วยโกร่งบดไฟฟ้า



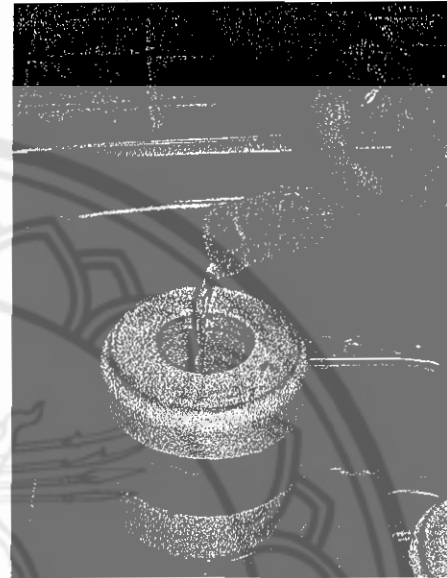
4. บดด้วยโกร่งบด

ภาพ 25 แสดงการบดส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำสีสำเร็จรูป

4.3 นำส่วนผสมที่ซังได้ไปบดด้วยหม้อบด ใช้ระยะเวลาในการบด 2 ชั่วโมงต่อ 1 สูตรส่วนผสม



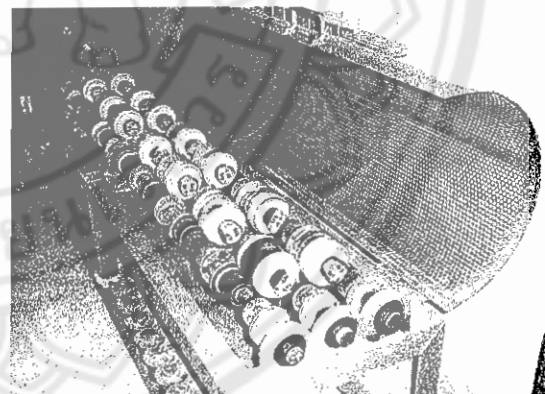
1. นำส่วนผสมใส่หม้อบด



2. เติมน้ำลงในหม้อบด



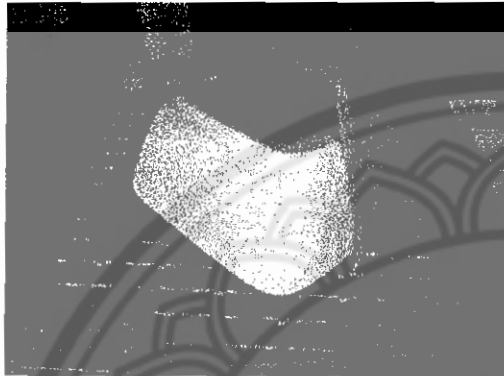
3. ใส่รหัสหม้อบด



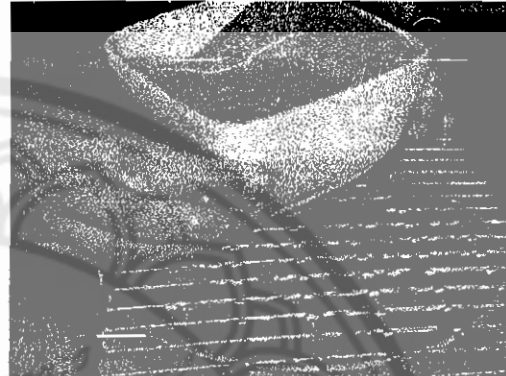
4. บดเคลือบ 2 ชั่วโมง

ภาพ 26 แสดงลำดับขั้นตอนในการบดผสมเคลือบด้วยหม้อบด

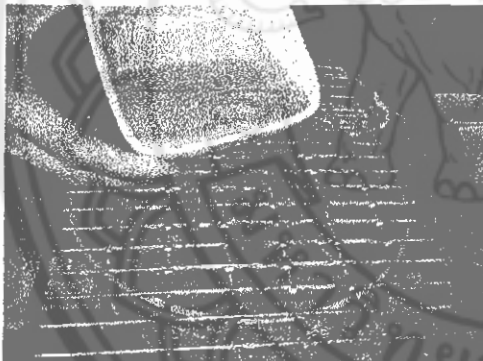
4.4 ทำการชุบเคลือบผลิตภัณฑ์ วิธีการชุบเคลือบใช้วิธีการเทราดน้ำเคลือบ ลงบนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบเคลือบ โดยเทราดจากมิดด้านนอกก่อน จากนั้นเทราดลงภายใน ของภาชนะให้น้ำเคลือบเกาะมิดภายในจนทั่ว แล้วเทน้ำเคลือบออกจากภาชนะ



1. เคลือบมิดด้านนอก



2. เคลือบด้านใน



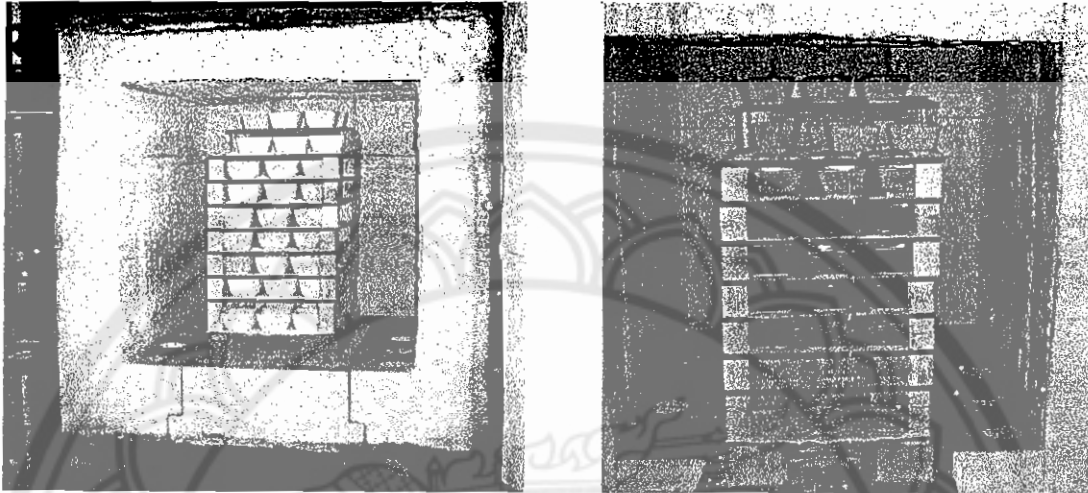
3. เทน้ำเคลือบออกจากภาชนะ



4. ภาชนะทดสอบเคลือบ

ภาพ 27 แสดงลำดับขั้นตอนในการชุบเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเทราด

4.5 ทำการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ $1,200^{\circ}\text{C}$ เเผาในบรรยากาศแบบ ออกซิเดชัน เเผาด้วยเตาแก๊ส ใช้เวลาในการเผา 10 ชั่วโมง



1. เรียงภาชนะเข้าเตาเผาเผา

2. ภาชนะหลังเผา

ภาพ 28 แสดงการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยพระนคร

5 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1 เต้าแก๊สแบบทางเดินลมร้อนลง พร้อมอุปกรณ์

5.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone) และไพโรเมตริก เทอร์

โมคอปเปิล (Pyrometric Thermocouple)

5.3 เครื่องชั่ง

5.4 หม้ออบ

5.5 ตะแกรง

5.6 กระบอกตวง

6 สถานที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการดินและเคลือบที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรม

เครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง

