

๖๖๖.๙
ส ๒๘๒ ก

บริจาค

การศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก
โดยยึดสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์



ทุนวิจัย

คณะกรรมการศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2549

S 3 53448

14 ก.ย. 2552

การศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก
โดยยึดสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์



คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
กรกฎาคม 2549

สมศักดิ์ ขวาลาวันย์. (2549). การศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก โดยยึดสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์. กรุงเทพฯ : คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ที่ปรึกษาโครงการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ เย็นสบาย.

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกโดยยึดสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13, 0.16, 0.19 และ 0.22 ต่อ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์ที่กำหนด ดังนี้

0.15 KNaO

0.08 CaO

0.11 SrO . $\text{X Al}_2\text{O}_3$. Y SiO_2

0.06 MgO

0.60 ZnO

ได้ 16 สูตรส่วนผสมแล้วนำแต่ละสูตรไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิด ได้แก่ ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับ นิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4, ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับ ทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับ แมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 และไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับ เหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 เพื่อนำไปใช้เคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ ใช้อุณหภูมิในการเผา 1,280 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชันและบรรยากาศรีดักชัน โดยมีตัวอย่างแต่ละบรรยากาศ จำนวน 80 ตัวอย่าง รวม 160 ตัวอย่าง

ผลวิจัยสรุปได้ว่าสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่สามารถมีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดมีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 1.5 และ 0.16 : 1.5 จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาต่อซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกัน เเผาในบรรยากาศเดียวกันระดับการเกิดผลึกต่างกัน จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลึกเดียวกัน บรรยากาศการเผาแตกต่างกันระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกัน ขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชันสีที่เกิดในเคลือบจะแตกต่างกัน

และจำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกันระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกัน สีที่เกิดในเคลือบจะต่างกัน ขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน การเผาเคลือบผลึกควรใช้เตาเผาไฟฟ้าจะเหมาะสมกว่าเตาแก๊ส

ผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่นำมาตกแต่งด้วยเคลือบผลึกนั้นจะต้องมีรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวของเคลือบให้เห็นอย่างเด่นชัดมีรูปทรงที่เรียบง่าย พื้นผิวเรียบเกลี้ยงต่อเนื่องกันไม่มีลายฉลุ ลายเส้นมาเป็นอุปสรรคต่อการแตกตัวของผลึก

**CASE STUDY ; THE EXPERIMENTAL RESEARCH FOR
CRYSTALLINE GLAZES FORMULA WITH THE PROPORTION OF
ALUMINA AND SILICA BY USING THE SEGER'S EMPIRICAL FORMULA.**



FACULTY OF FINE ARTS SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

JULY 2006

Somsak Chawalawan. (2006). *Case Study ; the Experimental Research for Crystalline Glazes Formula with the Proportion of Alumina and Silica by using the Seger's Empirical Formula*. Bangkok : Faculty of Fine Arts, Srinakharinwirot University.
Advisor Project : Asst. Prot. Amnard Yensabye.

The aim of experimental research is to find out the appropriate mixture of Crystal Glaze Formula, by measurement conducts of molecule of Alumina with Silica 0.13, 0.16, 0.19 and 0.22 with 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 which calculate based on Seger Formula :

0.15 ~~K~~NaO

0.08 CaO

0.11 SrO .X Al₂O₃ . Y SiO₂

0.06 MgO

0.60 ZnO

Totally, 16 numbers of formula mixture, and bring each formula mixed with metallic oxide. Each formula will take place 2 types of colour such as Titanium dioxide 2% with Nickel oxide 4% Titanium dioxide 2% with Copper oxide 3% Titanium dioxide 2% with Manganese dioxide 3% and Titanium dioxide 2% with Iron oxide 5% to used it for glazing on Ceramic Sculpture. By firing in the temperature 1,280 centigrade of Oxidation and Reduction atmosphere. There are so examples of each atmosphere, totally 160 examples.

The experimental research revealed that formula mixture of crystal glaze will increasing the glazest in value of molecule of Alumina and Silica 0.13 : 1.5 and 0.16 : 1.5, the value of Alumina and Silica of formula mixture in different crystal glaze, firing in the same atmosphere the value of glaze will take place in different type. The value of Alumina and Silica in the same formula mixture and firing in different atmosphere, the value of glaze will take place in similarly of glaze form with firing in Reduction atmosphere which's colure of glaze will appeared in different type.

And between Alumina and Silica's value within formula mixture of crystal glaze of the same type and mixed with the matter in the same function of colour. The glaze value will appeared in similar way. The colour which's take place in glaze will different type and the form of crystal which's firing in Reduction atmosphere will smaller than firing in Oxidation atmosphere. The Crystal Glaze Firing should be using the Electric Klin will suitable than Gas Klin.

The work of Ceramic Sculpture which decorated with Crystal Glaze should have a form to show the crystal of glaze clearly, also simply form, smooth within texture, without relieve and line to created problem for the crystal for the crystal line.

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ เย็นสบาย เป็นที่ปรึกษาโครงการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณเจ้าของเอกสารหรือตำราที่ข้าพเจ้านำมาอ้างอิงและอาจารย์ถนอม ชากักดี ที่ได้กรุณาตรวจสอบบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย เพราะทำให้การวิจัยครั้งนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือ

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์

กรกฎาคม 2549



สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
	ข้อตกลงเบื้องต้น.....	7
	ความสำคัญของการวิจัย.....	7
	ขอบเขตของการวิจัย.....	7
	ตัวแปรที่ศึกษา.....	8
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	9
	สมมุติฐานการวิจัย.....	10
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
	ความหมายของเซรามิกส์ (Ceramics) และแนวทางการศึกษาเซรามิกส์.....	11
	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคลือบ.....	14
	วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบ.....	22
	การคำนวณเคลือบ.....	32
	การเตรียมเคลือบ.....	36
	วิธีการเคลือบ.....	39
	การเผาเคลือบ.....	40
	บรรยากาศในการเผา.....	41
	เตาเผาไฟฟ้า.....	44
	เตาเผาแก๊สแบบระบายความร้อนลง.....	44
	การวัดอุณหภูมิความร้อน.....	45
	การจัดแบ่งลักษณะของเคลือบตามอัตราส่วนผสมของอลูมินาและซิลิกา.....	47
	ข้อบกพร่องที่เป็นตำหนิบนผิวเคลือบ.....	50
	ประติมากรรม.....	51
	การออกแบบเซรามิกส์.....	53
	การขึ้นรูปประติมากรรมเซรามิกส์.....	55
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาน้ำเคลือบผลึกเพื่อใช้กับประติมากรรมเซรามิกส์...	56

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	57
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	57
ตัวแปร.....	68
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง.....	68
สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	69
การดำเนินการวิจัย.....	69
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	75
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	77
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสม ของเคลือบผลึกต่างกันเผาในบรรยากาศเดียวกัน.....	77
ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของ เคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกันบรรยากาศการเผาแตกต่างกัน..	82
ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์จากการใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 ที่มีสัดส่วน ระหว่างอลูมินาและซิลิกา 0.16 : 1.5 ที่ได้จากการทดลองว่ามีระดับการเกิดผลึก มากที่สุด และเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 ที่มีสัดส่วนระหว่างอลูมินาและ ซิลิกา 0.19 : 1.5 ที่ได้จากการทดลองว่ามีระดับการเกิดผลึกมากผสมกับสาร ให้สีชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 นำมาใช้เคลือบบนผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น โดยเผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า.....	94
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	99
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	99
กลุ่มตัวอย่าง.....	99
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	100
การดำเนินการวิจัย.....	100
สรุปผลการวิจัย.....	101
อภิปรายผล.....	104
ข้อเสนอแนะการนำผลวิจัยไปใช้.....	109

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	110
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก.....	114
ภาคผนวก ข.....	120
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	124



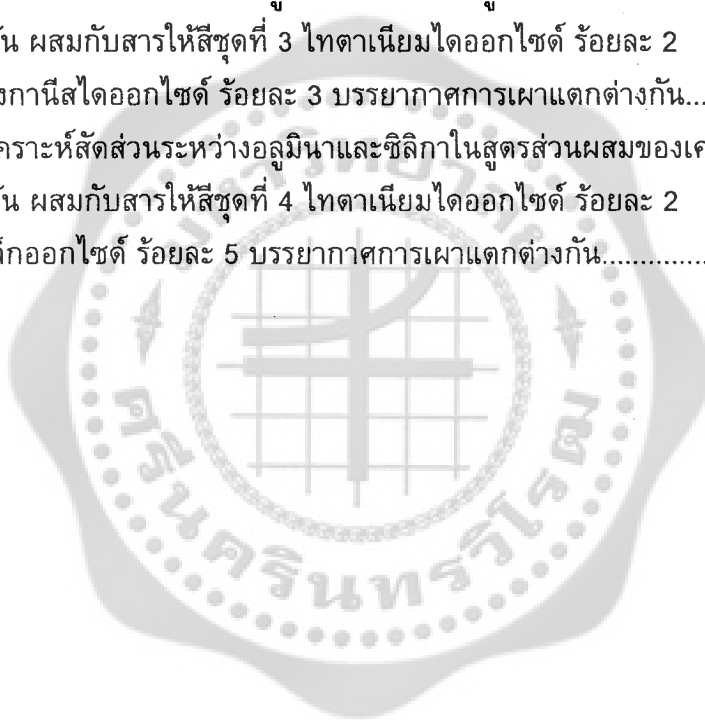
บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ และ $Y(\text{SiO}_2)$ ทั้ง 16 สูตร และเอาแต่ละสูตรนำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิด ตามจำนวนที่กำหนดเป็นร้อยละ.....	5
2	แสดงการแทนค่าออกไซด์แต่ละตัวด้วยวัตถุดิบที่มีสารประกอบ ตามโจทย์ต้องการโดยแทนให้ครบทุกตัว (ขั้นตอนที่ 1).....	34
3	แสดงการคำนวณเคลือบให้อยู่ในรูปค่าร้อยละของวัตถุดิบ (ขั้นตอนที่ 2).....	35
4	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ และ $Y(\text{SiO}_2)$ ทั้ง 16 สูตร และเอาแต่ละ สูตรนำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิด ตามจำนวนที่ กำหนดเป็นร้อยละ.....	59
5	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 1 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.13, ซิลิกา = 1.0.....	60
6	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 2 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.13, ซิลิกา = 1.5.....	60
7	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 3 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.13, ซิลิกา = 2.0.....	61
8	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 4 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.13, ซิลิกา = 2.5.....	61
9	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 5 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.16, ซิลิกา = 1.0.....	62
10	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 6 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.16, ซิลิกา = 1.5.....	62
11	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 7 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.16, ซิลิกา = 2.0.....	63
12	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 8 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.16, ซิลิกา = 2.5.....	63
13	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 9 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.19, ซิลิกา = 1.0.....	64
14	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 10 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.19, ซิลิกา = 1.5....	64
15	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 11 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.19, ซิลิกา = 2.0....	65
16	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 12 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.19, ซิลิกา = 2.5....	65
17	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 13 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.22, ซิลิกา = 1.0....	66
18	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 14 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.22, ซิลิกา = 1.5....	66
19	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 15 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.22, ซิลิกา = 2.0....	67
20	แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบในสูตรที่ 16 เมื่อกำหนดอลูมินา = 0.22, ซิลิกา = 2.5....	67
21	ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของ เคลือบผลิตภัณฑ์ (เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน).....	78
22	ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของ เคลือบผลิตภัณฑ์ (เผาในบรรยากาศรีดักชัน).....	79

ตาราง	หน้า
23 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน เฝ้าในบรรยากาศต่างกัน.....	81
24 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน ผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน.....	83
25 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน ผสมกับสารให้สีชุดที่ 2 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน.....	85
26 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน ผสมกับสารให้สีชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน.....	88
27 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน ผสมกับสารให้สีชุดที่ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน.....	91



ภาพประกอบ

หน้า

1	สูตรส่วนผสมเคลือบผลึกโดยการเปลี่ยนแปลงค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ เมื่อค่า $Y(\text{SiO}_2)$ คงที่ และเปลี่ยนแปลง $Y(\text{SiO}_2)$ เมื่อค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ คงที่ ได้ 16 สูตรส่วนผสม.....	4
2	ผลวิเคราะห์ทางกายภาพหลังการเผา.....	6
3	แสดงอุณหภูมิการเผาเคลือบผลึก.....	22
4	แสดงบริเวณที่เกิดเป็นเคลือบแต่ละชนิด.....	47
5	เคลือบปอร์สเลนที่มีกลุ่มต่างคงที่และเปลี่ยนแปลงค่าอลูมินาและซิลิกาของการเผาที่โคโคน 11.....	49
6	แสดงสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาในแต่ละสูตรส่วนผสมทั้ง 16 สูตร.....	58
7	แสดงแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์.....	71
8	แสดงขั้นตอนทดลองที่ได้จากการกดดินลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์.....	71
9	แสดงภาพที่มาของแนวคิดได้แก่รูปทรงของหม้อไฟดินเผาที่ใช้กัน. ในครัวเรือน – ภัตตาหาร.....	74
10	แสดงภาพการออกแบบสร้างสรรค์จากแนวคิดที่มาจากรูปทรงหม้อไฟดินเผา.....	74
11	ภาพจากขั้นตอนทดลองเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 ที่เผาใน บรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า.....	94
12	ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 31 เซนติเมตร ใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 เผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า.....	95
13	ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาด ความสูง 9 เซนติเมตร.....	95
14	ภาพจากขั้นตอนทดลองเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 ที่เผาใน บรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า.....	96
15	ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง 36 เซนติเมตรใช้เคลือบในสูตรส่วนผสมที่ 10 เผาใน บรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาเผาไฟฟ้า.....	97
16	ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาด ความสูง 9 เซนติเมตร.....	97
17	ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 39 เซนติเมตร ใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาเผาไฟฟ้า ผสมสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4.....	115

ภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
18 ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาด ความสูง 11 เซนติเมตร.....	115
19 ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร ใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาเผาไฟฟ้า ผสมสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิกเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4.....	116
20 ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดความสูง 9 เซนติเมตร	116
21 ภาพจากชั้นทดลองในสูตรส่วนผสมที่ 6 ผสมกับสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3.....	117
22 ภาพจากชั้นทดลองในสูตรส่วนผสมที่ 6 ผสมกับสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3.....	117
23 ภาพจากชั้นทดลองในสูตรส่วนผสมที่ 6 ผสมกับสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5.....	117
24 ภาพจากชั้นทดลองในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผสมกับสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3.....	118
25 ภาพจากชั้นทดลองในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผสมกับสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3.....	118
26 ภาพจากชั้นทดลองในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผสมกับสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 5.....	118
27 ภาพการจัดวางผลงานประติมากรรมเซรามิกส์.....	119
28 ภาพการจัดวางผลงานประติมากรรมเซรามิกส์.....	119
29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเคลือบผลึก บรรยากาศรีดักชัน.....	121
30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเคลือบผลึก บรรยากาศออกซิเดชัน.....	122

ภูมิหลัง

ภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้เปิดการเรียนการสอนหลักสูตรทัศนศิลป์ สาขาวิชาเอกเชรามิกส์ ซึ่งเป็นวิชาชีพเฉพาะด้านที่ผู้เรียนจะต้องเรียนไม่น้อยกว่า 31 หน่วยกิต ซึ่งประกอบไปด้วยรายวิชาต่าง ๆ เช่น ศป.352 วัสดุศาสตร์เทคโนโลยี ศป.457 เตาและการเผา ศป.458 เคลือบ ฯลฯ ซึ่งรายวิชาต่าง ๆ นี้ผู้เรียนจะต้องศึกษาทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติควบคู่กันไป ซึ่งเป็นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงจากการศึกษาแผนเก่าสู่แผนใหม่โดยเห็นว่าการศึกษาคือกระบวนการที่สำคัญในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และเป็นการเสริมสร้างพัฒนาความรู้ใหม่ ๆ โดยเน้นกระบวนการและการสร้างสรรค์ให้เข้ากับสภาพความเป็นอยู่ของสังคมปัจจุบันที่มีความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ดังนั้น การเรียนการสอนสาขาวิชาเอกเชรามิกส์จึงมุ่งเน้นตอบสนองความต้องการของสังคมในการช่วยกันพัฒนาประเทศ เพื่อให้การศึกษาดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพบรรลุจุดหมายตามแนวนโยบายของรัฐในการจัดการศึกษา

โดยรัฐได้เน้นการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 สาขาวิชา คือ สาขาพันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ และสาขาโลหะวัสดุ โดยให้ความสำคัญด้านพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อส่งออกมากขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมเชรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมสาขาย่อยสาขาหนึ่งของการผลิตและพัฒนาวัสดุที่ได้รับความสำคัญสูง สามารถใช้วัตถุดิบ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศเพื่อผลิตสินค้ามีมูลค่าเพิ่มเพื่อการส่งออกได้

ด้วยอุตสาหกรรมเชรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เพราะประเทศไทยสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์เชรามิกส์มีมูลค่าการส่งออกในปี พ.ศ. 2544 เท่ากับ 20,558.2 ล้านบาท อยู่ในลำดับการส่งออกที่ 35 ของการส่งออกทั้งหมดของไทย (สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545 : 1)

ซึ่งผลิตภัณฑ์เชรามิกส์โดยเฉพาะที่เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยทั่วไปจะมีผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบและไม่เคลือบ ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบที่จุดมุ่งหมายของการเคลือบผลิตภัณฑ์ เพื่อประโยชน์ใช้สอยหรือการเคลือบผลงานทางด้านศิลปะ โดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือผลงานแต่ละชนิด เพราะการเคลือบนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งเป็นการเพิ่มประโยชน์การใช้งานเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่สำคัญ เช่น เพื่อช่วยลดความพรุนตัว ซึ่งมีอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หรือผลงานเพิ่มความแข็งแรง เพิ่มความคงทนต่อการขีดข่วน การกัดกร่อนของสารเคมีทำความสะอาดง่าย และที่สำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานมีสีสันทน มีความสวยงาม มีคุณค่า และมูลค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเคลือบแต่ละประเภทที่เลือกใช้มีคุณลักษณะและผลต่างที่เกิดขึ้น เช่น มีผิวเป็นมันวาว ใส ทึบ ด้าน และมีดอก จุด อันจะเป็นผลต่อการดึงดูดความสนใจและนำใช้สอยมากกว่าผลิตภัณฑ์หรือผลงานชนิดไม่เคลือบ

น้ำเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ หรือผลงาน

ประติมากรรมเซรามิกส์นั้น มีหลายประเภทด้วยกัน แล้วแต่ถือเกณฑ์อะไรเป็นหลักและมีการพิจารณารายละเอียดแต่ละประเภทมาน้อยเพียงใดโดยในที่นี้ของแบ่งประเภทของเคลือบตามลักษณะที่ตามองเห็น ได้แก่ เคลือบใส เคลือบทึบ เคลือบด้าน เคลือบมัน เคลือบราน เคลือบมุก และเคลือบผลึก โดยเฉพาะเคลือบผลึกเป็นเคลือบชนิดพิเศษที่แตกต่างจากเคลือบชนิดอื่น ๆ เพราะผิวของเคลือบผลึกจะเป็นดอกดวงที่สวยงามอยู่ในตัวของมันเอง

เคลือบผลึกที่ใช้กับผลงานประติมากรรมเซรามิกส์นั้น ต้องเป็นเคลือบที่สอดคล้องกับสิ่งที่จะต้องการตกแต่งเพื่อเพิ่มความน่าสนใจและสวยงามให้กับผลงานมากยิ่งขึ้น ผลงานที่ใช้เคลือบผลึกนี้จะต้องมีความประณีต พิถีพิถันในการระบุสภาวะขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำเคลือบ ชุบเคลือบ และเผาเคลือบ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดความยากในการทำเคลือบซ้ำ (Stefanov; & Batschwarov. 1988 : 310) นอกจากนี้ มนัส ขำอ่อน (2527 : 1) ยังกล่าวอีกว่า เคลือบผลึกเป็นเคลือบชนิดพิเศษที่แตกต่างจากเคลือบชนิดอื่น ๆ ที่มุ่งไปทางด้านศิลปะและความสวยงามของเคลือบผู้สนใจจะต้องมีความประณีต และต้องคำนึงถึงเทคนิคการเผาอย่างมาก

ส่วนปริดา พิมพ์ขาวขำ (2530 : 49) กล่าวว่า ลักษณะของเคลือบจะเป็นอย่างไรนั้นไม่สามารถทำนายผลได้อย่างถูกต้อง เพราะว่าในเคลือบแต่ละอย่างมีวัตถุดิบหลายชนิดที่ต้องคำนึงถึงและยังมีความซับซ้อนต่าง ๆ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสภาวะการเผา ผลที่ได้จากการเผาเคลือบในบรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Atmosphere) อาจจะแตกต่างอย่างมากจากผลที่ได้จากการเผาเคลือบในบรรยากาศรีดักชัน (Reduction Atmosphere) เวลาการเผาและการปล่อยให้เคลือบที่สุกแล้วเย็นตัวลงก็มีผลต่อลักษณะของเคลือบเช่นกัน นอกจากนี้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่นำมาเคลือบผิวก็มีผล เพราะว่าเคลือบชนิดหนึ่งอาจเหมาะสมกับเนื้อผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งแต่ไม่เหมาะสมกับเนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ

ในการหาอัตราส่วนผสมของเคลือบองค์ประกอบที่สำคัญในเคลือบส่วนหนึ่งคืออลูมินา (Alumina) และซิลิกา (Silica) โดยอัตราส่วนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกาเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1 : 4 ถึง 1 : 20 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดส่วนผสมของเคลือบและจุดสุกตัวของเคลือบ (ปริดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 20) โดยอัตราส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกาจะเป็นตัวบอกถึงลักษณะของเคลือบว่าเป็นเคลือบชนิดใด เช่น เทียบเป็นอัตราส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาในเคลือบมีค่า 1 ต่อ 3 ถึง 6 จะเป็นเคลือบด้าน 1 ต่อ 8.3 จะเป็นเคลือบใสมันวาวและ 1 ต่อ 15 ถึง 20 จะเป็นเคลือบผลึก (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 9) จะเห็นได้ว่าในเคลือบผลึกจะมีส่วนประกอบของอลูมินา และซิลิกาในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและวิธีการเผาให้ได้ตามลักษณะของเคลือบที่ต้องการ ดังนั้น ถ้าได้มีการทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาในเคลือบผลึกที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ตั้งแต่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ถึง 1,350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้เฉพาะการเผาเคลือบไฟสูง (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 114) ของเครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบไฟสูงทั่วไปจะเป็นประโยชน์อย่างมากแก่วงการเซรามิกส์ที่ใช้เคลือบในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว เพราะจะช่วยให้สามารถกำหนดขอบเขตของส่วนผสมเคลือบที่ต้องการได้สะดวกขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องมีการทดลองเปลี่ยนแปลงส่วนผสมจำนวนมากอีกต่อไป

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาในเคลือบผลึกจากการคำนวณสูตรเคลือบตามระบบสูตรเซเกอร์ (Seger Formula) โดยการเปลี่ยนแปลงค่า X และ Y (จำนวนโมเลกุลของอลูมินาและซิลิกา) เพื่อศึกษาลักษณะของเคลือบที่ได้จากการเผาว่ามีลักษณะอย่างไร ซึ่งผลวิจัยที่ได้จะนำไปใช้เคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ให้มีความสวยงามมากขึ้น รวมถึงการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซรามิกส์ประเภทใช้เคลือบผลึกตกแต่งผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความสวยงาม และที่สำคัญสามารถเพิ่มมูลค่าทางด้านราคาให้สูงขึ้นด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกโดยยึดสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์ ได้เป็นสูตรต่าง ๆ แล้วนำแต่ละสูตรไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สี สูตรละ 2 ชนิด ได้แก่ ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ (NiO) ร้อยละ 4, ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ (CuO) ร้อยละ 3, ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ร้อยละ 3 และไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 5 เพื่อนำไปใช้เคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ ใช้อุณหภูมิการเผา 1,280 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Atmosphere) และบรรยากาศรีดักชัน (Reduction Atmosphere)

ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยครั้งนี้ได้ควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อลักษณะของเคลือบผลึกให้อยู่ในสภาวะคงที่ คือ

1. จากสูตรเซเกอร์ คือสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

0.15 KNaO

0.08 CaO

0.11 SrO

X Al_2O_3

Y SiO_2

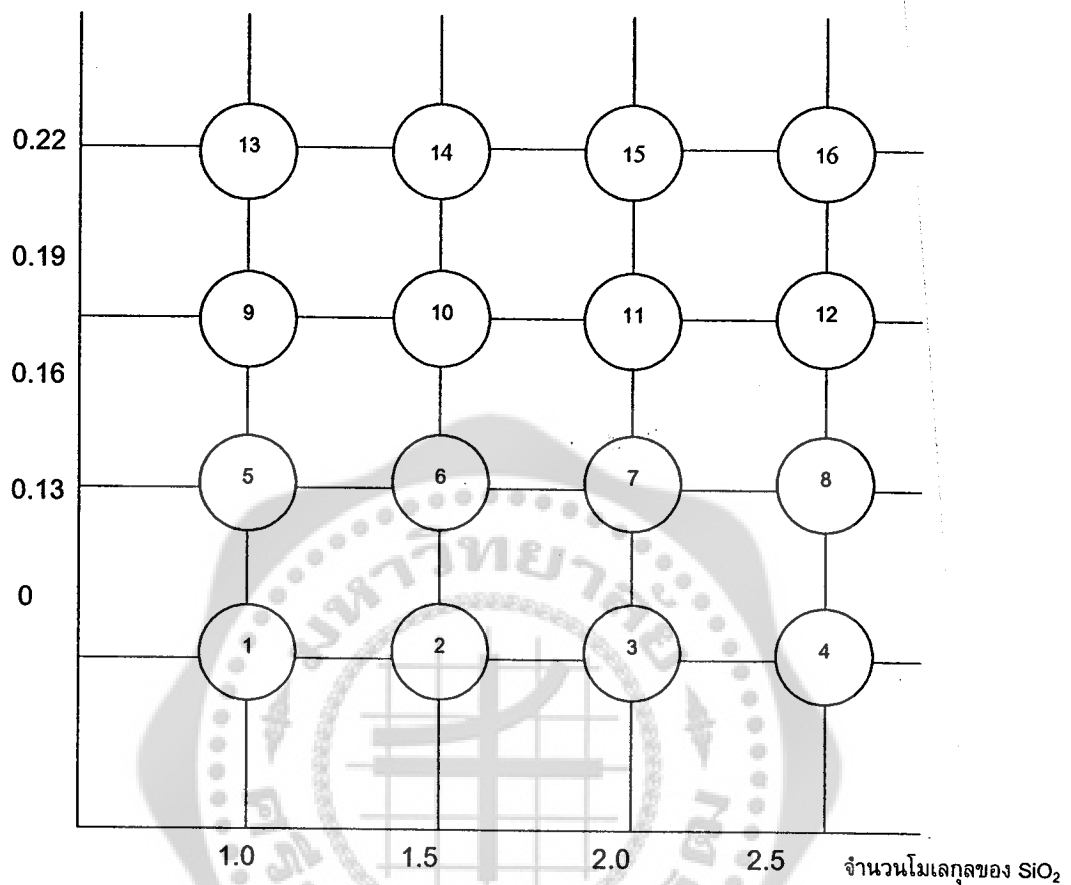
0.06 MgO

0.60 ZnO

X หมายถึง ค่าอลูมินาที่แปรค่าจำนวนโมเลกุลในช่วงที่กำหนด

Y หมายถึง ค่าซิลิกาที่แปรค่าจำนวนโมเลกุลในช่วงที่กำหนด

จำนวนโมเลกุลของ Al_2O_3



ภาพประกอบ 1 สูตรส่วนผสมเคลือบผลึกโดยการเปลี่ยนแปลงค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ เมื่อค่า $Y(\text{SiO}_2)$ คงที่ และเปลี่ยนแปลง $Y(\text{SiO}_2)$ เมื่อค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ คงที่ ได้ 16 สูตรส่วนผสม

ตัวเลขวงกลมคือลำดับของสูตรเคลือบผลึกในแผนการทดลองแต่ละสูตรทั้ง 16 สูตร นำไปผสมกับสินมโลหะที่เป็นสารให้สีตามจำนวนที่กำหนดไว้ทั้ง 16 สูตร ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า X(Al_2O_3) และ Y(SiO_2) ทั้ง 16 สูตร และเอาแต่ละสูตรนำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิด ตามจำนวนที่กำหนดเป็นร้อยละ

สูตรที่	X(Al_2O_3)	Y(SiO_2)	ผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีร้อยละ								
			$\text{TiO}_2 + \text{NiO}$		$\text{TiO}_2 + \text{CuO}$		$\text{TiO}_2 + \text{MnO}_2$		และ	$\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	
1	0.13	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
2	0.13	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
3	0.13	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
4	0.13	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5
5	0.16	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
6	0.16	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
7	0.16	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
8	0.16	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5
9	0.19	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
10	0.19	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
11	0.19	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
12	0.19	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5
13	0.22	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
14	0.22	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
15	0.22	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
16	0.22	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะต้องปราศจากความชื้น ซึ่งได้แก่
- 2.1 วัตถุดิบที่ใช้ทำเคลือบ
- 2.1.1 โปแตสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) จากแหล่งจังหวัดราชบุรี
- 2.1.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_2) จากแหล่งจังหวัดสระบุรี
- 2.1.3 ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จากแหล่งจังหวัดระนอง
- 2.1.4 ควอทซ์ (SiO_2) จากแหล่งจังหวัดจันทบุรี
- 2.1.5 สังกะสีออกไซด์ (ZnO) จากแหล่งทั่วไป (Commercial Grade)
- 2.1.6 สตรอนเทียมคาร์บอเนต (SrCO_3) จากแหล่งทั่วไป
- 2.1.7 โปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) จากแหล่งทั่วไป
- 2.1.8 ทัลค์ ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) จากแหล่งทั่วไป

2.2 วัตถุดิบที่เป็นสารให้สีในเคลือบ

2.2.1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จากแหล่งทั่วไป

2.2.2 นิกเกิลออกไซด์ (NiO) จากแหล่งทั่วไป

2.2.3 ทองแดงออกไซด์ (CuO) จากแหล่งทั่วไป

2.2.4 แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) จากแหล่งทั่วไป

2.2.5 เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) จากแหล่งทั่วไป

3. ในการคำนวณเพื่อกำหนดส่วนผสมของวัตถุดิบในแต่ละสูตรเคลือบนั้น แทนค่าวัตถุดิบที่ใช้ด้วยสูตรเคมีของวัตถุดิบนั้น ๆ

4. เนื้อดินปั้นที่ใช้ทำชิ้นทดลอง และผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ใช้เนื้อดินปอร์สเลน (Porcelain Clay) สำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์ เคลย์ จำกัด โดยมีผลวิเคราะห์ ดังนี้

ผลวิเคราะห์ทางเคมี เนื้อดินปั้นปอร์สเลนสำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์ เคลย์ จำกัด

SiO_2	ร้อยละ	63.70
Al_2O_3	ร้อยละ	22.50
Fe_2O_3	ร้อยละ	1.01
MgO	ร้อยละ	0.25
CaO	ร้อยละ	0.13
Na_2O	ร้อยละ	0.91
K_2O	ร้อยละ	3.61
TiO_2	ร้อยละ	0.17
Loss of ignition	ร้อยละ	7.88

และมีผลวิเคราะห์ทางกายภาพหลังการเผา ดังภาพประกอบ 2

อุณหภูมิ		บรรยากาศในการเผา		% การดูดซึมน้ำ	% การหดตัว
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	Oxidation	Reduction	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
1,280	2,334	ขาวเหลือง	ขาว	0.00 – 0.20	11.00 – 13.00

ภาพประกอบ 2 ผลวิเคราะห์ทางกายภาพหลังการเผา

ที่มา : เอกสารแผ่นพับรายละเอียดประกอบสินค้าบริษัทคอมพาวด์ เคลย์ จำกัด.

30/2 หมู่ 1 ถนนหทัยรัตน์ แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510

5. ชนิดของเตาเผา ใช้เตาเผา 2 ชนิด คือ

5.1 เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln) เตาแบบบรรยากาศออกซิเดชัน

5.2 เตาเผาแก๊ส (Gas Kiln) เตาแบบบรรยากาศรีดักชัน

6. วิธีการเผาเคลือบผลึกในการทดลองครั้งนี้มีวิธีการเผาเริ่มตั้งแต่ ณ อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการเผา 6 ชั่วโมง 30 นาที อัตราเร่งในการเผาเคลือบเฉลี่ย 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ต่อจากอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสถึง 1,280 องศาเซลเซียสใช้เวลา 6 ชั่วโมง อัตราเร่งในการเผาในช่วงอุณหภูมินี้เฉลี่ย 55 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จากอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียสปล่อยให้อุณหภูมิลดต่ำลงเหลือที่ 1,150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาลดอุณหภูมินี้ 30 นาที แล้วเผายืนไฟ (Soaking Time) ในช่วงอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียสนี้ต่อไปอีก 3 ชั่วโมง แล้วปิดเตา รวมระยะเวลาที่ใช้เผาเคลือบผลึก 16 ชั่วโมง

ความสำคัญของการวิจัย

1. เพื่อนำไปใช้เคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ให้มีความสวยงามมากยิ่งขึ้น
2. นำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ในภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
3. จะสามารถใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซรามิกส์ที่ใช้เคลือบผลึกตกแต่ง เพื่อเพิ่มความสวยงาม เป็นการเพิ่มคุณค่าทางด้านราคาของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นด้วย

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาโดยการทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก โดยการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ทั้งในบรรยากาศการเผาเคลือบแบบออกซิเดชันและรีดักชัน
2. ประชากร ในการวิจัยครั้งนี้ประชากรคือสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ได้จากการคำนวณจากสูตรเซเกอร์ โดยกำหนดให้อลูมินาที่มีจำนวนโมเลกุลอยู่ระหว่าง 0.13 โมเลกุล ถึง 0.22 โมเลกุล และซิลิกาที่มีจำนวนโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1.0 โมเลกุล ถึง 2.5 โมเลกุล
3. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดให้
 - 3.1 สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่มีจำนวนโมเลกุลของอลูมินา แบ่งเป็น 4 ช่วง ๆ ละ 0.3 โมเลกุล และมีจำนวนโมเลกุลของซิลิกา แบ่งเป็น 4 ช่วง ๆ ละ 0.5 โมเลกุล ซึ่งจะได้สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก 16 สูตรเคลือบ ในแต่ละสูตรจะมีน้ำหนักรวมกัน 100 กรัม ทำสูตรเคลือบละ 10 ชุด

3.2 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับนิกเกิลออกไซด์ (NiO) ร้อยละ 4 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

3.3 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ (CuO) ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

3.4 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

3.5 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 4 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

3.6 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 5 ในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกทั้ง 16 สูตร เคลือบไม่มีการผสมสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

ชุดแรก จะได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

ชุดที่สอง จะได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผาในบรรยากาศรีดักชัน

ดังนั้นรวมทั้งหมดได้ 160 ตัวอย่าง

4. ตัวแปรที่ศึกษา

4.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

4.1.1 สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก 16 สูตร

4.1.2 จำนวนร้อยละของสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีที่ผสมอยู่ในสูตรเคลือบผลึก 16 สูตร ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับนิกเกิลออกไซด์ (NiO) ร้อยละ 4 ชุดที่ 2 ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ (CuO) ร้อยละ 3 ชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ร้อยละ 3 และชุดที่ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ (FeO_3) ร้อยละ 5 ชุดที่ 5 16 สูตร เคลือบไม่มีการผสมสนิมโลหะที่เป็นสารให้สี

4.1.3 บรรยากาศในการเผาเคลือบผลึก

4.1.3.1 บรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชัน

4.1.3.2 บรรยากาศการเผาแบบรีดักชัน

4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ลักษณะของเคลือบผลึกที่ได้มี ดังนี้

4.2.1 ระดับการเกิดผลึกเปรียบเทียบปริมาณผลึกกันเองภายในตาราง

4.2.2 สีที่เกิดในเคลือบผลึก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เซรามิกส์ (Ceramics) หมายถึง สิ่งที่เกิดจากการนำเอาสารอนินทรีย์ที่เป็นอโลหะ ซึ่งได้แก่ สารจำพวกแร่หิน ดิน ที่เกิดอยู่ตามธรรมชาตินำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก ผ่านกรรมวิธีการผลิตอย่างมีขั้นตอน และสิ่งที่สำคัญจะต้องผ่านกระบวนการความร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่มีความแข็งแรง สามารถนำไปใช้งานได้ติดตามวัตถุประสงค์ที่พึงปรารถนา

2. เคลือบหรือน้ำเคลือบ (Glaze) คือ สารประกอบอย่างหนึ่งซึ่งประกอบด้วย สารประกอบพวกกรด กลาง และด่างผสมกันตามสูตรส่วนผสมตามหลักวิชาการ แล้วนำมาเคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่ทำจากดินแล้วนำไปเผาให้ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ระหว่างพวกกรด กลาง และด่างกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate) ที่มีลักษณะหลอมตัวจนกลายเป็นแก้วฉาบติดอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงาน

3. เคลือบผลึกหรือน้ำเคลือบผลึก (Crystalline Glaze) คือ เคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้นในเคลือบหรือบนผิวเคลือบที่เห็นได้อย่างชัดเจนจะมีทั้งผลึกใหญ่ และผลึกเล็กมีลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น รูปผลึกเป็นดอกกลมโตคล้ายรูปพัด รูปดอกไม้ บางผลึกเป็นรูปเข็มก่ายกันไปมา เป็นดอกเป็นดวงเล็กบ้างใหญ่บ้าง ประกอบกันอย่างสวยงาม การเกิดผลึกของเคลือบนั้นเกิดจากการเติมซิงต์ออกไซด์ (ZnO) จำนวนที่พอเหมาะลงไปในสูตรส่วนผสมของเคลือบผสมผสานกับเทคนิคของการเผาไหม้ (Soaking Time) ในขณะที่เผาทำให้ซิงต์ออกไซด์ (ZnO) ตกผลึกรวมกับซิลิกา (SiO₂)

4. ประติมากรรมเซรามิกส์ (Ceramics Sculpture) เป็นผลงานศิลปะเซรามิกส์ที่มีรูปร่างเป็น 3 มิติ ที่ศิลปินหรือผู้เรียนปั้นขึ้น เป็นศิลปะแห่งความงามที่เกิดจากการขยั้นฝึกฝนอย่างมีความพากเพียรทางด้านสติปัญญาและทักษะของมนุษย์ที่แสดงออกอย่างมีสุนทรียภาพ ก่อให้เกิดสติปัญญาและความสนใจแก่ผู้ชมผลงานศิลปะเซรามิกส์ จะไม่คำนึงถึงความจำเป็น จะต้องมีการประโยชน์ทางด้านใช้สอยเพียงแต่มีความต้องการให้ผลงานที่ตนสร้างสรรค์ขึ้นมีคุณค่าด้านความสวยงามอยู่ในตัวผลงานเท่านั้น และผลงานที่สร้างสรรค์ขึ้นเป็นผลงานที่ผ่านกระบวนการทางเซรามิกส์

5. บรรยากาศแบบออกซิเดชัน (Oxidation Atmosphere) คือ การเผาไหม้ที่หมดจดไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผา เพราะอัตราส่วนผสมที่ทำปฏิกิริยากันระหว่างก๊าซออกซิเจนและเชื้อเพลิงเหมาะสมกัน การเผาเตาในบรรยากาศแบบนี้สามารถทำการเผาได้ดีที่สุด คือ เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln)

6. บรรยากาศแบบรีดักชัน (Reduction Atmosphere) คือ การที่เกิดการเผาไหม้ไม่หมดจดในเตาเผาจะมีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผา เนื่องมาจากก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนที่ไม่พอดีกัน

7. สนิมโลหะ (Metallic Oxide) คือ การรวมตัวทางเคมีของก๊าซออกซิเจนกับแร่โลหะ ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบ โดยเป็นตัวให้สี (Coloring) และเป็นตัวช่วยการหลอมละลาย (Flux)

8. ระดับการเกิดผลึก หมายถึง สูตรที่มีการเกิดผลึกขึ้นและดูปริมาณผลึกที่เกิดโดยเปรียบเทียบปริมาณลึกลงกันเอง แต่ละสูตรส่วนของเคลือบภายในตารางโดยแบ่งเป็นเกิดผลึกน้อย เกิดผลึกปานกลาง เกิดผลึกมาก และเกิดผลึกมากที่สุด

9. สีที่เกิดในเคลือบผลึก หมายถึง ในสูตรส่วนของเคลือบผลึกในแต่ละสูตรที่ได้ผสมสนิมโลหะต่างชนิดกัน ได้แก่ ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับนิกเกิลออกไซด์ (NiO) ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับทองแดงออกไซด์ (CuO) ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) และไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กับเหล็กออกไซด์ (FeO_3) ตามจำนวนที่กำหนดให้ แล้วทำให้เกิดสีต่าง ๆ ในสูตรเคลือบต่าง ๆ

10. คำย่อ

10.1 Temp	คือ	Temperature
10.2 $^{\circ}\text{C}$	คือ	องศาเซลเซียส
10.3 min	คือ	minute (นาที)
10.4 OF	คือ	Oxidation Firing
10.5 RF	คือ	Reduction Firing

สมมุติฐานการวิจัย

1. จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนของเคลือบผลึกแตกต่างกันเผาในบรรยากาศเดียวกันระดับการเกิดผลึกแตกต่างกัน จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนของเคลือบผลึกเดียวกันเผาในบรรยากาศแตกต่างกันระดับการเกิดผลึกแตกต่างกันและให้สีในเคลือบแตกต่างกัน

2. จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกันบรรยากาศการเผาแตกต่างกันระดับการเกิดผลึกแตกต่างกันและให้สีในเคลือบแตกต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ความหมายของเซรามิกส์ (Ceramics) และแนวทางการศึกษาเซรามิกส์
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคลือบ
3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบ
4. การคำนวณเคลือบ
5. การเตรียมเคลือบ
6. วิธีการเคลือบ
7. การเผาเคลือบ
8. บรรยากาศในการเผา
9. เตาเผาไฟฟ้า
10. เตาเผาแก๊สแบบระบายความร้อนลง
11. การวัดอุณหภูมิความร้อน
12. การจัดแบ่งลักษณะของเคลือบตามอัตราส่วนผสมของอลูมินาและซิลิกา
13. ข้อบกพร่องที่เป็นตำหนิบนผิวเคลือบ
14. ประติมากรรม
15. การออกแบบเซรามิกส์
16. การขึ้นรูปประติมากรรมเซรามิกส์
17. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาน้ำเคลือบผลึกเพื่อใช้กับประติมากรรมเซรามิกส์

1. ความหมายของเซรามิกส์ (Ceramics)

เซรามิกส์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์นานาชนิดที่ทำจากดินและหินโดยผ่านกรรมวิธีการเผา (Firing Process) ทำให้มีความแข็งแรง มีความคงทนถาวร หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่ง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอนินทรีย์สารโลหะ (Inorganic Non Metallic Materials) ซึ่งได้แก่ แร่ธาตุดิน หินต่าง ๆ นั้นเอง ในสมัยโบราณกรีกเรียกว่า เครามอส (KERAMOS) แปลว่า สิ่งที่ถูกเผา (Burnt – Stuff) ซึ่งมีความหมายในทำนองเดียวกันและตรงกับภาษาอังกฤษว่า เซรามิกส์ (ceramics) (ทวีพรหมพฤษษ์. 2523 : 1)

คำว่า เซรามิกส์ (Ceramics) เป็นภาษาอังกฤษที่ถูกนำมาใช้เรียกครอบคลุมผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบพวกอนินทรีย์สาร อันได้แก่ ดิน หิน และแร่ธาตุต่าง ๆ โดยการผ่านขบวนการความร้อนในระดับอุณหภูมิหนึ่ง เพื่อให้เป็นเนื้อผลิตภัณฑ์ที่แข็งแกร่ง ทนทาน เหมาะสมในการใช้งานในแต่ละประเภท (ภรดี พันธุภากร. 2534 : 1)

เซรามิกส์ (Ceramics) มาจากรากศัพท์เดิมว่า “เครามอส” (Karamos) ซึ่งเป็นภาษากรีก และภาษาสันสกฤต ซึ่งมีความหมายว่าการนำเอาสารอนินทรีย์ไปทำการเผาในอุณหภูมิสูง ในปัจจุบัน เซรามิกส์ (Ceramics) เป็นวิชาประกอบด้วยศิลปะ (Arts) วิทยาศาสตร์ (Science) และ วิศวกรรมศาสตร์ (Engineer) ทั้ง 3 ประการนี้ ซึ่งสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์ (Ceramics) ได้ดี ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้แก่ วัสดุทนไฟ (Refractories) เครื่องเคลือบดินเผา (Pottery) แก้ว (Glass) ปูนปลาสเตอร์ และซีเมนต์ (Plaster of Paris and Cement) โลหะเคลือบ (Enamels) สิ่งขัดถู (Abrasives) วัสดุก่อสร้างที่เป็นเครื่องปั้นดินเผา (Ceramic Product for Construction) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic and Electrical Ceramics) และผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ชนิดพิเศษ (Special Ceramics) (โกลด์ รัชวงศ์. 2531 : 1)

จากความหมายของคำว่าเซรามิกส์ จะเห็นได้ว่าเซรามิกส์เป็นวิชาที่ครอบคลุมกันกว้างมาก การศึกษาในวิชาเซรามิกส์นับได้ว่ามีความสำคัญและเป็นที่ต้องการนิยมนกันแพร่หลายโดยทั่วไป ซึ่งมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในยุคปัจจุบัน คือ การที่มนุษย์ได้นำเอาผลประโยชน์จากการศึกษาค้นคว้า การวิจัยและผลผลิตทางเซรามิกส์ ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรงเป็นพิเศษ ทนต่อการดัด ต่าง ทนต่อการเสียดสี ทนต่อความร้อนสูง มาใช้ในโครงการต่าง ๆ อย่างกว้างขวางและมีคุณค่าอย่างยิ่ง ซึ่งไม่เคยปรากฏมาก่อน เช่น โครงการอวกาศ โครงการเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือสื่อสาร ดาวเทียม เครื่องมือคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นต้น

แนวทางการศึกษาเซรามิกส์

การศึกษาเป็นการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ ให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในสิ่งที่ดีงามเป็นประโยชน์ต่อเพื่อนมนุษย์ด้วยกันและสรรพสิ่งที่อยู่ร่วมกับมนุษย์ตราบใดมนุษย์เรายังมีการศึกษาค้นคว้าทดลอง ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีย่อมจะมีผลงานใหม่ ๆ เกิดขึ้นเสมอโดยเฉพาะทางการศึกษาด้านเซรามิกส์พอแยกหัวข้อแนวทางการศึกษาไว้ 3 ประการคือ

1. การศึกษาเซรามิกส์ทางด้านวิทยาศาสตร์ (Ceramic Science) เป็นการศึกษาในแนวทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสาขาวัสดุศาสตร์ในเรื่องของการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกส์มีการค้นคว้าทดลองหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เช่น เนื้อผลิตภัณฑ์ เคลือบให้เหมาะสมกับการใช้สอยแต่ละประเภท วิจัยและพัฒนาคุณสมบัติของสารประกอบของแร่ธาตุต่าง ๆ ให้มีคุณสมบัติและประโยชน์พิเศษมากขึ้น เช่น เป็นสารใช้กับไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ความทนไฟ อำนวยแม่เหล็ก ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า ใช้ทำเลเซอร์ใช้ในงานสื่อสาร การขนส่ง การเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์และใช้เป็นเครื่องมือในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นต้น

2. การศึกษาเซรามิกส์ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Ceramic Engineer) เป็นการศึกษา ค้นคว้าออกแบบการสร้างเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะนำไปเป็นเครื่องมือช่วยในกระบวนการผลิตเซรามิกส์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น รวมทั้งเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ทดสอบหาคุณภาพประสิทธิภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ วิจัยและพัฒนาการ

นำเอาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะไปใช้งานเสริมสร้างเทคโนโลยีใหม่ ตลอดจนทดแทนวัสดุเดิมทำให้เครื่องจักรกลต่าง ๆ มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น ตัวแกนความจำในเครื่องคอมพิวเตอร์ (Ferrite Core) ซึ่งใช้ในงานสื่อสารแทนสายทองแดง ตลอดจนเครื่องยนต์เซรามิกส์ซึ่งใช้แทนโลหะและโลหะผสมดินอันทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีกว่า เป็นต้น

3. การศึกษาเซรามิกส์ทางด้านศิลปะ (Ceramic Art) เป็นการศึกษาแนวทางศิลปะที่เน้นคุณค่าสุนทรียภาพอันได้แก่ ความงามทางด้านสีสรรค์ รูปทรง พื้นผิว ขนาด น้ำหนัก ซึ่งเป็นการนำทฤษฎีองค์ประกอบทางศิลปะ ไปถ่ายทอดลงบนสื่อวัสดุที่เป็นเซรามิกส์และผ่านกระบวนการทางเซรามิกส์ ด้วยการศึกษาเซรามิกส์ในทางศิลปะนี้มีการศึกษาอยู่ 3 แนวทางคือ

3.1 การศึกษาเซรามิกส์ทางด้านออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นการศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มุ่งเน้นคุณค่าทางด้านความงามที่สามารถสนองประโยชน์ใช้สอยเป็นสำคัญ โดยคำนึงถึงหน้าที่ใช้สอยความปลอดภัย ความสะดวกสบายในการใช้ ความแข็งแรง ความสวยงามน่าใช้และราคาพอสมควร

3.2 การศึกษาเซรามิกส์ทางด้านศิลปะบริสุทธิ์ เป็นการศึกษาการออกแบบสร้างสรรค์ที่แสดงออกทางด้านความคิด ความเชื่อทางอุดมคติ ทักษะหรือความชัดเจนของผู้สร้างงานเฉพาะแต่ละบุคคลซึ่งผลงานที่ได้จะสนองตอบคุณค่าทางสุนทรียะ ความพึงพอใจ โดยไม่คำนึงถึงทางดานประโยชน์ใช้สอย

3.3 การศึกษาเซรามิกส์ทางด้านอุตสาหกรรมศิลป์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ทั้งทางด้านแหล่งวัตถุดิบที่มีปริมาณ และคุณภาพสูงพอที่จะนำไปใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมได้ วิธีการนำวัตถุดิบมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์รวมทั้งวิธีการใช้และควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรต่าง ๆ ที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่จะช่วยในการผลิต เช่น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทจาน หรือชาม ที่มีรูปแบบเป็นรูปทรงกลม และมีความสูงไม่มากนัก โดยใช้เครื่องออกโทเมทริกคแฟลทแวร์โรลเลอร์ (Automatic Flatware Roller) เป็นต้น วิจัยและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านวัตถุดิบ เนื้อดินปั้นกรรมวิธีการขึ้นรูป เคลือบ สี เตา และการเผาเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิต ใช้ระยะเวลาผลิตน้อยลง แต่ผลผลิตก็ได้จำนวนมากขึ้น

และการศึกษาการควบคุมมาตรฐาน และการตรวจสอบคุณสมบัติของการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซรามิกส์ทางด้านเคมีและฟิสิกส์ รวมทั้งการศึกษาเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับประโยชน์ใช้สอยที่สัมพันธ์กับความสวยงาม (สมศักดิ์ ขวาลาวณ์. 2541 : 5 – 7)

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเคลือบ

ความหมายของเคลือบหรือน้ำเคลือบ เคลือบ (Glaze) คือ สารประกอบอย่างหนึ่งซึ่งประกอบด้วยสารประกอบพวก กรด กลาง และด่างผสมกันตามสูตร ส่วนผสมตามหลักวิชาการแล้วนำมาเคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่ทำจากดิน แล้วนำไปเผาให้ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ระหว่างพวกกรด กลาง และด่างกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิโน ซิลิเกต (Alumino Silicate) ที่มีลักษณะหลอมตัวจนกลายเป็นแก้ว ฉาบติดอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงาน (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 111)

ประวัติความเป็นมาของเคลือบ

พบว่าเคลือบเกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณ 12,000 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ซึ่งชาวอียิปต์ได้พบการเกิดแก้วโดยบังเอิญจากส่วนผสมของทราย หินทรายและเกลือที่ถูกหลอมละลายด้วยไฟ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ. ม.ป.ป. : 5)

เคลือบชนิดแรกที่ค้นพบตามประวัติศาสตร์ คือ เคลือบอุณหภูมิต่ำซึ่งชาวอียิปต์ใช้เคลือบลูกปัดและเครื่องประดับดินเผามีอายุก่อนคริสต์ศักราช 3,500 ปี (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 1)

ประมาณ 1,500 ปีก่อนคริสต์ศักราชเคลือบได้ถูกนำมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เพื่อให้เกิดความมันและกันน้ำได้ สำหรับประเทศไทยอาจกล่าวได้ว่าเซรามิกส์หรือเครื่องปั้นดินเผาสมีลพบุรีนั้นเป็นระยะแรกของการทำเครื่องปั้นดินเผาแบบเคลือบ (ภรดี พันธุมภกร. 2534 : 122)

ในอดีตการทำเคลือบเกิดจากการทดลองทำขึ้นเองโดยการลองผิดลองถูกหรือจากการทดลองผสมได้โดยบังเอิญสูตรเคลือบนี้ก็ถูกเก็บเป็นความลับสุดยอดและถ่ายทอดสืบต่อกันมาเฉพาะผู้รับช่วงต่อโดยไม่นำมาเผยแพร่ให้บุคคลอื่นรับรู้

จึงทำให้มีช่างทำเครื่องเคลือบดินเผาในยุโรปหลายท่านได้พยายามรวบรวมการทำสูตรเคลือบเซรามิกส์และการเผาเตา เช่น ในช่วงประมาณปีคริสต์ศักราช 1,510 – 1,590 นายพาลิสซี (Mr. Bernard Palissy) ชาวฝรั่งเศส ได้เขียนบันทึกเกี่ยวกับการทำเครื่องเคลือบดินเผาในอุณหภูมิต่ำไว้เป็นท่านแรก ซึ่งบันทึกข้อมูลนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับช่างทำเครื่องเคลือบดินเผารุ่นต่อ ๆ มาในปีคริสต์ศักราช 1,730 ถึงคริสต์ศักราช 1,795 นายเวจด์วูด (Mr. Josiah Wedgwood) ชาวอังกฤษได้ทำการทดลองวัตถุดิบ ดินและเคลือบไว้มากมาย พร้อมทั้งจดบันทึกไว้เป็นหลักฐาน ถือได้ว่าเป็นนักเคมีทางเซรามิกส์คนสำคัญเพราะได้พยายามผสมสูตรเคลือบและได้ค้นคิดเทคนิคการตกแต่งดินและเคลือบโดยวิธีการใหม่ ๆ ทำให้อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว และเมื่อร้อยกว่าปีมานี้เองคือปีคริสต์ศักราช 1,839 ถึงปีคริสต์ศักราช 1,894 นายเซเกอร์ (Mr. Hermann A. Seger) ชาวเยอรมัน นับเป็นท่านแรกที่สามารถวางกฎเกณฑ์ในการเขียนสูตรเคลือบตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งเขียนเป็นสูตรส่วนผสมทางเคมีขึ้นสำเร็จ โดยใช้กฎในการแบ่งวัตถุดิบทางเคมีออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งวัตถุดิบในแต่ละกลุ่มนั้นมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. กลุ่มด่าง (Basic Oxide หรือ Alkali) ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายในเคลือบช่วยให้เคลือบสามารถหลอมตัวได้เร็ว

2. กลุ่มตัวกลาง (Amphoteric Oxide) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางช่วยประสานวัตถุดิบในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ช่วยไม่ให้เคลือบไหล

3. กลุ่มกรด (Acidic Oxide) ทำหน้าที่เป็นตัวให้แก้วและตัวทนไฟในเคลือบ

การเขียนสูตรเคลือบโดยใช้กฎโมเลกุลของวัตถุดิบ 3 กลุ่มของนายเซเกอร์ไม่เพียงแต่แสดงอัตราส่วนของวัตถุดิบในเคลือบเท่านั้น ยังสามารถใช้เปรียบเทียบสูตรเคลือบในอุณหภูมิการเผาที่แตกต่างกันและอ่านสูตรเคลือบได้ง่ายย่อเวลาในการศึกษาวัตถุดิบ และสามารถเตรียมเคลือบในอุณหภูมิต่าง ๆ ตามความต้องการได้ (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 4 – 5)

วัตถุประสงค์ของการเคลือบ

การเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่เป็นผลิตภัณฑ์หรือผลงานเครื่องปั้นดินเผาสำหรับเพื่อประโยชน์ใช้สอย และเพื่อคุณค่าทางด้านความงามโดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือผลงานแต่ละชนิด เพราะการเคลือบนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งเป็นการเพิ่มประโยชน์การใช้งานเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่สำคัญดังนี้ คือ

1. เพื่อช่วยลดความพรุนตัว ซึ่งมีอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ทำให้ก๊าซและของเหลวซึมผ่านไม่ได้ เนื่องจากเคลือบมีลักษณะคล้ายแก้ว ไม่มีช่องว่างให้ก๊าซและของเหลวซึมผ่านได้ ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่นำมาเคลือบนั้น จะมีความพรุนตัวอยู่ก็ตาม

2. เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเคลือบมีความแข็งแรงกว่าเนื้อดินที่เผาแล้ว

3. เพื่อเพิ่มความคงทนต่อการขีดข่วนและต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เนื่องจากเคลือบมีความแข็งแรงกว่าเนื้อดินเผา และไม่มี ความพรุนตัว สารเคมีจึงดูดซึมเข้าไปกัดกร่อนได้ยาก ยกเว้นกรดกัดแก้ว (HF)

4. เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดได้ง่าย เพราะเมื่อผลิตภัณฑ์ที่เคลือบแล้วจะมีผิวมันเรียบทำให้สิ่งสกปรกหรือไขมันไม่สามารถซึมผ่านผิวเคลือบเข้าไปเกาะเนื้อผลิตภัณฑ์ข้างในได้ ทำให้สะดวกต่อการล้างเช็ด

5. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม มีสีสัน มีคุณค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเคลือบแต่ละประเภทที่เลือกใช้มีคุณลักษณะ และผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น มีผิวเป็นมันวาว สีสัน ทึบ ด้าน และมีดอกจุด อันจะเป็นผลต่อการดึงดูดความสนใจ และนำใช้สอยมากกว่าแบบไม่เคลือบ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 111 – 112)

การจำแนกชนิดของเคลือบ

ผลิตภัณฑ์หรือผลงานเซรามิกส์มีอยู่หลายชนิด ซึ่งใช้เคลือบแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วชนิดของเคลือบจำแนกได้หลายลักษณะซึ่งมีอยู่หลายเกณฑ์แล้วแต่จะยึดถือเกณฑ์อะไรเป็นหลัก และมีการพิจารณารายละเอียดแต่ละชนิดมาน้อยเพียงใด โดยในที่นี้ขอแบ่งชนิดของเคลือบไว้พอสังเขปดังนี้ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 112 – 116)

1. เคลือบตามวัตถุดิบที่ใช้

1.1 เคลือบตะกั่ว (Lead Glaze) คือเคลือบที่มีสูตรส่วนผสมที่ใช้ตะกั่วเป็นหลัก โดยที่ตะกั่วจะทำให้เคลือบไหลตัวได้ดี มีความมันแวววาว ถ้าเป็นเคลือบที่มีสีจะมีสีที่สดใส ซึ่งเคลือบตะกั่วนี้จะเป็นเคลือบไฟต่ำ นิยมนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์เช่นกระเบื้องมุงหลังคา และอิฐโชว์ต่าง ๆ ที่มีราคาไม่แพง แต่เนื่องจากสารตะกั่วนี้มีพิษต่อมนุษย์และสัตว์จึงควรใช้ในรูปแบบของฟริต (Frit) แทน

1.2 เคลือบหินฟันม้า (Feldspathic Glaze) คือเคลือบที่มีสูตรส่วนผสมที่ใช้หินฟันม้าเป็นหลักซึ่งหินฟันม้านี้เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายในเคลือบ ช่วยให้เกิดความมันแวววาว มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทนต่อการขีดข่วน สามารถทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ โดยเฉพาะในการเผาไฟสูงตั้งแต่ 1,250 – 1,350 องศาเซลเซียส

1.3 เคลือบขี้เถ้า (Ash Glaze) คือเคลือบที่ใช้ขี้เถ้าพืชต่าง ๆ เช่น ขี้เถ้ากลบ ขี้เถ้าฟางข้าว ขี้เถ้าไม้สน ฯลฯ หรือได้จากขี้เถ้ามูลสัตว์ เช่น ขี้เถ้ามูลหมู ขี้เถ้ามูลไก่ ขี้เถ้ามูลเป็ด เป็นส่วนประกอบหลักในสูตรส่วนผสมของเคลือบ ขี้เถ้าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นตัวทำให้เคลือบเกิดการหลอมละลายเกิดความมันแวววาวในเคลือบ และในขณะเดียวกัน สารประกอบบางตัวที่ได้จากขี้เถ้าก็ช่วยให้เกิดสีด้วย ได้แก่ เหล็กออกไซด์ โดยผลวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าพืชและไม้จะประกอบไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ ดังนี้ คือ CaO , K_2O , Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , และมี P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO เพียงเล็กน้อย ซึ่งสารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้คือสารประกอบที่ใช้ในการทำเคลือบ

1.4 เคลือบเกลือ (Salt Glaze) คือเคลือบที่ใช้เกลือแกง (Sodium Chloride) หรือเกลือที่ใช้ปรุงอาหารนั่นเอง ที่เป็นตัวทำให้เกิดความมันแวววาว เนื้อดินปั้นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เคลือบเกลือจะต้องเป็นเนื้อดินที่มีความทนไฟสูงและมีส่วนผสมของซิลิกาสูง

วิธีการเคลือบ คือ การเผาผลิตภัณฑ์ในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ และเป็น การเผาครั้งเดียวจนดินสุกตัว โดยการเริ่มเผาจากดินดิบจนถึงระยะอุณหภูมิที่ดินสุกตัวจึงسادเกลือ (ขว้าง) เข้าไปในช่องของเตาเผา (Fire Boxes) เกลือที่ใช้จะเป็นเม็ดหรือป่นก็ได้ แต่ถ้าป่นจะทำปฏิกิริยากับความร้อนในเตาเผาได้ดีกว่าชนิดเม็ด เมื่อเม็ดเกลือสัมผัสกับความร้อนภายในเตาเผา เกลือจะเกิดปฏิกิริยาระเหยเป็นไอของโซเดียมไปเกาะบนผิวผลิตภัณฑ์ที่มีซิลิกาอยู่สูงจนกลายเป็น แก้วมันเคลือบอยู่ เตาที่ใช้เผาเคลือบเกลือส่วนมากนิยมใช้เตาฟันชนิดทางลมร้อนลง (Down Draft Kiln)

1.5 เคลือบน้ำดิน (Slip Glaze) เป็นเคลือบที่ในสมัยโบราณค้นพบจากแหล่งที่เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เกิดอยู่ในรูปที่มีลักษณะเป็นน้ำดิน (Slip) ที่มีส่วนผสมของตัวช่วยหลอมละลาย (Flux) อย่างเพียงพอที่จะเป็นเคลือบได้โดยเคลือบน้ำดินนี้จะมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงคือประมาณ 1,225 – 1,285 องศาเซลเซียส

แต่ในปัจจุบันเคลือบน้ำดินได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ด้วยวิธีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในเคลือบน้ำดินนี้เพื่อปรับปรุงสี หรืออุณหภูมิให้ได้ตามความต้องการ

2. เคลือบตามอุณหภูมิที่เผา

2.1 เคลือบไฟสูง คือ เคลือบที่ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูงคือ ประมาณ 1,280 องศาเซลเซียส ขึ้นไป หรือ Cone 9 ขึ้นไป

2.2 เคลือบไฟกลาง คือ เคลือบที่ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาให้ถึงจะหลอมตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 1,150 – 1,280 องศาเซลเซียส

2.3 เคลือบไฟต่ำ คือ เคลือบที่ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาให้ถึงจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,150 องศาเซลเซียส

3. แบ่งตามรูปแบบของสารในเคลือบ

3.1 เคลือบดิบ (Raw Glaze) คือ เคลือบที่ผสมจากวัตถุดิบจำพวกอนินทรีย์สารที่เกิดและมีอยู่ในธรรมชาติ เช่น สารต่าง ๆ ได้แก่ หินฟันม้า หินเขียวหนุมาน หินปูน ดินขาว เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบเหล่านี้มาผสมทำน้ำเคลือบ

3.2 เคลือบฟริต คือ เคลือบที่มีส่วนผสมของสารตัวที่ทำหน้าที่ช่วยในการหลอมละลายของเคลือบ เช่น ตะกั่ว บอร์แรก (Borax) และโซดาแอช (Soda Ash) ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารพิษที่มีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้น การทำเคลือบชนิดนี้จะต้องนำสารเหล่านี้ไปหลอมให้อยู่ในรูปของแก้วซึ่งเรียกว่าการหลอมฟริต (Frit) แล้วจึงนำฟริตนี้มาใช้ผสมลงไปในสูตรส่วนผสมของเคลือบ

4. เคลือบตามลักษณะที่มองเห็น

4.1 เคลือบใส (Clear Glaze) คือ ชนิดของเคลือบที่เผาถึงจุดสุกตัวจะเกิดความมันแวววาวและยังมองเห็นสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนมากจะนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ได้เขียนสีได้เคลือบ (Under Glaze Colours) หรือใช้เคลือบทับผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งด้วยวิธีเอนโกม (Engobe) เมื่อเผาเคลือบแล้วจะเห็นสีและลวดลาย ที่ตกแต่งออกมาอย่างชัดเจน

4.2 เคลือบทึบ (Opaque Glaze) คือ เคลือบที่เผาถึงจุดตัวแล้วไม่สามารถมองเห็นสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ได้สูตรส่วนผสมของเคลือบชนิดนี้จะมีสารพวกดีบุกออกไซด์ (Sn_2O) หรือเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ผสมอยู่ด้วย ซึ่งเหมาะกับการปิดบังสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการด้วย

4.3 เคลือบด้าน (Mat Glaze) คือ เคลือบที่เผาจนถึงจุดสุกตัวแล้วไม่มีความมันแวววาว สะท้อนแสงบนผิวเคลือบได้น้อยมาก เกิดจากการเพิ่มสารบางตัวลงไปในสูตรส่วนผสมของเคลือบได้แก่ อลูมินา (Al_2O_3) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_2) และลดปริมาณของสารที่มีคุณสมบัติเป็น ฟลักซ์ (Flux) ลงโดยเคลือบด้าน มีผู้นิยมเรียกชื่อตามวัตถุดิบที่ผสมลงไป เช่น อลูมินาแมต (Alumina Mat) และแบเรียมแมต (Barium Mat) เป็นต้น

4.4 เคลือบราน (Crackle Glaze) คือ เคลือบที่เกิดจากการหดตัวของน้ำเคลือบมากกว่าเนื้อดินปั้น จึงทำให้เคลือบเกิดการรานขึ้น การรานมีลักษณะเป็นร่างแหแบบละเอียดหรือแบบหยาบ เคลือบรานนี้สามารถทำได้ทั้งเคลือบ ทึบ และเคลือบใส โดยชาวจีนเป็นคนคิดทำขึ้นเพื่อนำไปใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้มีความสวยงามขึ้น

4.5 เคลือบมุก (Luster Glaze) คือ พื้นผิวเคลือบที่มีเหลือบประกายที่มีความมันแวววาวมาก คล้ายกับด้านในของกาบหอยมุกซึ่งเคลือบชนิดนี้มีส่วนผสมของตะกั่วอยู่ในสูตรส่วนผสมจึงไม่เหมาะกับการนำเคลือบชนิดนี้ไปเคลือบในผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นภาชนะใส่อาหาร

4.6 เคลือบผลึก (Crystal Glaze) คือ เคลือบที่มีผลึกเกิดอยู่ภายใต้ผิวของเคลือบอาจเป็นผลึกรูปพัด รูปเข็ม หรือเป็นดอกดวงเล็กและใหญ่ การเกิดผลึกของเคลือบนี้ทำได้โดยการเติมลิเทียมคาร์บอเนต (LiCO_3) หรือสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ลงไปในสูตรส่วนผสมของเคลือบผสมผสานกับเทคนิคของการเผาในไฟ (Soaking Time) ทำให้สังกะสีออกไซด์ตกผลึกรวมตัวกับซิลิกากลายเป็นผลึกของซิงค์ซิลิเกต ($2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$)

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 57) กล่าวว่า เคลือบผลึกเป็นเคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้นในเคลือบหรือบนผิวเคลือบ ซึ่งอาจมีทั้งผลึกใหญ่และผลึกเล็ก ซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับตัวที่ทำให้เกิดผลึก ช่วงเวลาในการตกผลึกและช่วงเวลาในการเย็นตัวของเคลือบ เคลือบผลึกส่วนใหญ่จะเป็นเคลือบที่มีการไหลตัวดีเพื่อที่จะได้รูปผลึกที่สวยงามและดอกใหญ่ เคลือบจะไหลได้ดีที่สุดในช่วงที่เผาในไฟ (Soaking) หรือช่วงที่เกิดผลึก ซึ่งเป็นช่วงที่ต้องระมัดระวังมากในการเผา เนื่องจากเคลือบผลึกนี้มีการไหลตัวมาก จึงมักจะทำให้กันผลิตภัณฑ์และพื้นเตาเสียโดยควรจะใช้แผ่นรองผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นแล้วจึงไปวางบนแผ่นรองเตาที่ทาอลูมินาผสมดินขาวให้หนากว่าปกติ ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ (2537 : 117) กล่าวว่า ในสูตรเคลือบผลึกมักมีส่วนประกอบของอลูมินาหรือดินขาวน้อยที่สุดเพื่อให้ผลึกแตกตัวได้เต็มที่ขณะที่เคลือบไหลตัว ดังนั้นเมื่อถึงจุดสุกตัวเคลือบนี้จึงไหลมากเนื่องจากดินขาวที่ทำหน้าที่เป็นตัวหนืดในน้ำยาเคลือบมีปริมาณไม่เพียงพอวัตถุดิบที่เป็นต่างหรือตัวหลอมละลายในเคลือบมีถึง 3 ชนิด คือ โซดาเฟลด์สปาร์ หินปูน และซิงค์ออกไซด์ โซดาเฟลด์สปาร์ช่วยให้การหลอมละลายของเคลือบดีกว่าโพแทสเซิลด์สปาร์ และเกิดผลึกใหญ่กว่าสวยงามกว่า สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 58) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่า หลักการของการทำเคลือบผลึก ก็ด้วยวิธีการทำให้เกิดดอกดวงบนผิวเคลือบแทนที่จะเป็นเคลือบที่มีผิวมันวาวธรรมดา (ซึ่งอาจจะทำให้มีผิวด้านกึ่งด้านกึ่งมันหรือมันวาวก็ได้) ภายในผิวเคลือบนั้นจะมีดอกดวงของผลึกแฝงอยู่ด้วยทำให้เคลือบชนิดนี้ดูสวยงาม ส่วนที่จะทำให้ผิวเคลือบมันหรือด้านนั้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมของอลูมินาต่อซิลิกา คือ ถ้าใช้อลูมินามากก็จะมีผิวด้าน แต่ถ้าใช้ซิลิกามากผิวก็จะมันวาวในเคลือบผลึกโดยทั่ว ๆ ไป จะใช้อลูมินาไม่เกิน 0.50 โมเลกุล และซิลิกาไม่เกิน 3.50 โมเลกุล และถ้าต้องการให้เกิดสีต่าง ๆ เราก็ใส่สารสีลงไปเช่นโคบอลต์ออกไซด์ (CoO), ทองแดงออกไซด์ (CuO), นิกเกิลออกไซด์ (NiO) ฯลฯ ส่วนจะทำให้เกิดผลึกรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวที่ทำให้เกิดผลึก เช่น ถ้าใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จะได้ผลึกรูปพัด (Fan Like) ถ้าใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จะได้ผลึกรูปเข็ม เป็นต้น ส่วนสเตฟานอฟและบาตส์ชวาร์อฟ (Stefanv; & Batschwarov. 1988 : 312 – 313) กล่าวโดยสรุปว่า เคลือบผลึกเกิดจากการเติมสารพวกซิงค์ออกไซด์, ไททาเนียมไดออกไซด์, เหล็กออกไซด์ และลิเทียม ซึ่งสารทั้งหมดนี้มีส่วนช่วยให้เกิดรูปร่างผลึก โดยสารทั้งหมดนี้ดีต่อความสามารถในการก่อตัวของนิวเคลียสและอัตราการโตของผลึกที่สูงอีกด้วย รวมถึงกระบวนการเผาซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับเคลือบผลึกที่ดีที่ความหนืดของเคลือบควรจะต้องต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งผลที่ตามมาก็คือการก่อตัว

ของนิวเคลียสที่เกิดขึ้นจะได้โดเจนเป็นผลึกดีเคลือบผลึกซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จะมีรูปร่างแบบคันเบ็ด และปรากฏในแบบที่ไขว่กันขณะที่เคลือบผลึกรูไทล์ (TiO₂) จะมีรูปร่างกลมและกระจายออกคล้าย กับรังสี ฯลฯ โดยปกติแล้วเคลือบจะมีสีจากสารให้สีคือเหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO₂) แมงกานีสคาร์บอเนต (MnCO₃) โคบอลท์คาร์บอเนต (CoCO₃) นิกเกิลออกไซด์ (NiO) นิกเกิล คาร์บอเนต (NiCO₃) ทองแดงออกไซด์ (CuO) และอื่น ๆ โดยมาจากสารตัวเดียว ๆ หรือหลาย ๆ ตัวผสมกัน ซึ่งออกไซด์บางตัวก็ให้สีกับตัวผลึกมากกว่าเคลือบ และบางครั้งก็ให้สีที่แตกต่างกัน เช่น

สารที่เติม	ร้อยละ	สีของเคลือบ	สีของผลึก
CoO	0.50	สีชมพู	สีเขียวอ่อน
CoO	0.25	สีน้ำตาล	สีน้ำเงิน
Fe ₂ O ₃	0.50	สีน้ำเงิน	สีเขียว
MnO ₂	0.50	สีเหลือง	สีเทา

ส่วนผสมที่มีทองแดงออกไซด์ (CuO) โคบอลท์ออกไซด์ (CoO) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO₂) ไม่เพียงแต่ให้สีเท่านั้นแต่ยังช่วยในกระบวนการเกิดผลึกด้วย การหลอมตัวของเคลือบตั้งแต่ ช่วงที่เคลือบผลึกเริ่มหลอมตัว ผิวก็จะเริ่มเรียบ เคลือบผลึกจะจางใช้กับพื้นผิวที่ตึงฉากจึงจำเป็นที่ จะต้องแก้ไขหรือใช้เคลือบอื่นช่วยเพื่อป้องกันการไหลตัวแน่นอนว่าส่วนที่สำคัญคือองค์ประกอบของ เคลือบที่จะป้องกันไม่ให้เคลือบไหลปริมาณของเฟลด์สปาร์ก็สามารถควบคุมความหนืดได้ เคลือบ ผลึกที่มีซิงค์ออกไซด์จำนวนมากผลึกจะกระจายตัวเป็นรูปคันเบ็ดอย่างสม่ำเสมอ

มนัส ขำอ่อน (2527 : 15) กล่าวโดยสรุปว่าสารประกอบที่ทำให้เกิดผลึกมีเป็นจำนวนมาก แต่พวกที่จัดว่าจะทำให้เกิดผลึกได้ดีนั้นจะเป็นสารประกอบของธาตุต่าง ๆ ที่มีน้ำหนักอะตอม ค่อนข้างสูงเช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), สตรอนเชียมออกไซด์ (SrO) ทังสเตนออกไซด์ (WO₃) และ เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) เป็นต้น ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อถูกเผาพร้อมกับซิลิกา (SiO₂) จะเกิดเป็นสารประกอบพวกซิลิเกต ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกขึ้น เช่น วิลเลไมท์ (Zn₂SiO₄) ผลึกที่เกิดขึ้น นั้นอาจจะเกิดขึ้นภายในสูตรเคลือบสีขาวที่ยังไม่ได้เติมออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ ที่ให้สี หรือเกิดผลึก หลังจากเติมสารให้สีลงไปหรืออาจจะเกิดร่วมกันระหว่างสารในสูตรพื้นฐานและส่วนที่เติมครั้งหลัง โดยเคลือบผลึกจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ (มนัส ขำอ่อน. 2527 : 1 – 2)

1. ออกไซด์ของโลหะที่ให้สีขาว เช่น
 - โซเดียมโปแตสเซียมออกไซด์ (KNaO)
 - แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
 - สตรอนเชียมออกไซด์ (SrO)
 - ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

2. ออกไซด์ของโลหะที่ให้สี เช่น

นิกเกิลออกไซด์ (NiO)

เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)

ทังสเตนออกไซด์ (WO_3)

โคบอลต์ออกไซด์ (CoO)

แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เป็นต้น

เมื่อนำออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เหล่านี้มาบดรวมกันแล้วเคลือบไปบนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เผาที่อุณหภูมิสูงจนถึงจุดหลอมตัวของออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ เมื่อถูกรวมกับพวกซิลิกา (SiO_2) จะเกิดเป็นสารประกอบพวกซิลิเกต (Silicate) เช่น ซิงค์ซิลิเกต (Zinc Silicate) รวมทั้งเมื่อถูกเผาพร้อมกับไททาเนียมไดออกไซด์เป็นไททาเนต (Titanate) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะเกิดผลึกได้ดีขึ้น ณ ที่อุณหภูมิสูง

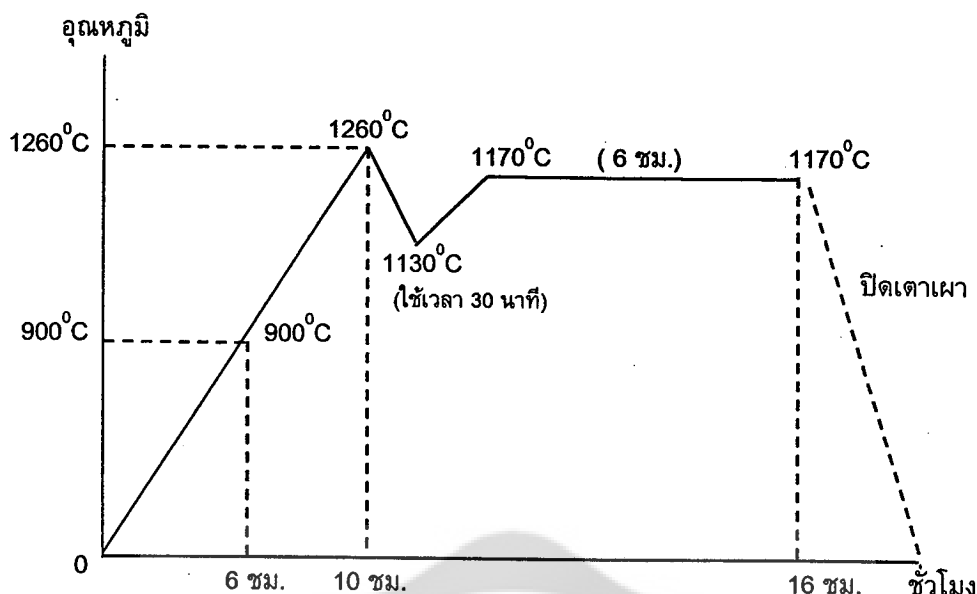
สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 60) ได้กล่าวอีกว่าการเผาเคลือบผลึกการเพิ่มอุณหภูมิในการเผายังใช้อัตราเดียวกับเคลือบธรรมดา คือ 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แต่การเผาเคลือบผลึกนี้ที่สำคัญขึ้นอยู่กับการเย็นตัวของเคลือบซึ่งจะเป็นผลต่อการเกิดผลึกและขนาดของผลึกด้วย

ในการเย็นตัวของเคลือบจะมีช่วงหนึ่งของอุณหภูมิที่เคลือบจะเริ่มตกผลึกในการเผาจะต้องระวังการเย็นตัวของเคลือบ ณ อุณหภูมิจุดนี้ให้ดีและต้องควบคุมให้อยู่ ถ้าหากปล่อยให้เย็นตัวเร็วเกินไปบางที่อาจไม่ได้เคลือบผลึก หรือไม่ก็จะได้เคลือบด้านแทน แต่ถ้าเราสามารถทำให้ช่วงการเย็นตัวของจุดที่เริ่มตกผลึกให้เป็นไปอย่างช้า ๆ ก็จะทำให้ได้ผลึกที่โตและสมบูรณ์ การเผาเร็วเกินไปหรือทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วจะทำให้การรวมตัวของโมเลกุลของซิลิเกตกับสารอื่นเป็นไปได้น้อยลง เพราะการรวมตัวกันหรือการจับตัวเข้าด้วยกันของสารเหล่านี้จะเป็นไปอย่างเชื่องช้าคือมันจะค่อย ๆ หลอมเปลี่ยนไปที่ละน้อย ๆ โดยจะดึงดูดและแยกจากกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการควบคุมอุณหภูมิดังกล่าว และจะมีจุดคงตัวของโมเลกุล การคงตัวนี้จะเป็นไปอย่างซับซ้อนมากคือที่บางอุณหภูมิช่วงการแยกกันจะน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดผลึกและจะต้องมีความสมบูรณ์ในตัวของมันเองด้วยจึงจะเกิดการรวมตัวกับสารอื่นได้ โดยการดึงดูดกันเมื่อสารดึงดูดเกาะกันพอสมควรแล้วก็จะเกิดเป็นรูปผลึกขึ้น ส่วนขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับส่วนผสมหรือตัวที่ทำให้ตกผลึกและช่วงเวลาในการเกิด (Soaking Time) ถ้าช่วงการเกิดนานพอสมควร (ประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่งถึง 2 ชั่วโมง) ก็จะทำให้เกิดผลึกที่สมบูรณ์คือได้ขนาดใหญ่เต็มขนาดตามที่ควรจะเป็นและสุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 61) ยังได้กล่าวอ้างถึงทามาแมน (Tamman) ได้กล่าวไว้ว่าการเกิดผลึกนั้นขึ้นอยู่ กับสิ่งต่อไปนี้

1. จำนวนอะตอมของนิวเคลียสของส่วนผสม
2. ระยะเวลาในการตกผลึก (Soaking Time)
3. ความเข้มข้นในขณะหลอมตัวของเคลือบ

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2539 : 232) กล่าวว่า เคลือบผลึกนี้จะพัฒนาผลึกขนาดใหญ่ขึ้นระหว่างการเผาหรือระหว่างการปล่อยให้เย็นตัว ผลึกที่จะพัฒนาให้ใหญ่ได้จะเป็นพวกรูปเข็มหรือแผ่น คือผลึกต้องมีโครงสร้างแบบ Monoclinic หรือ Hexagonal นั้นเอง ส่วนผลึกรูปลูกบาศก์ขนาดของมันไม่สามารถพัฒนาให้ใหญ่ได้ เพราะความหนาของเคลือบมันบังคับอยู่ นักเซรามิกส์พบว่าการเกิดผลึกเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะเกิดนิวเคลียสขึ้นมาก่อน นั่นคือ เกิดการจัดตัวของอะตอมให้เกิดผลึกเล็ก ๆ ขึ้นมา ขั้นสองเกิดการเจริญของนิวเคลียส โดยการผนึกอะตอมต่าง ๆ หรือกลุ่มอะตอมเข้ากับนิวเคลียสอย่างเป็นระเบียบ นอกจากนี้เขายังพบว่าการเจริญของผลึกยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบหนึ่งคือการเกิดนิวเคลียสและการเจริญของนิวเคลียสเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกัน แบบนี้เรียก Spontaneous Crystallization อีกแบบหนึ่ง คือ การเกิดนิวเคลียสขึ้นที่อุณหภูมิต่างกัน และการเจริญของนิวเคลียสจะเกิดขึ้นที่อีกอุณหภูมิหนึ่ง

ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ (2537 : 119) กล่าวว่า เคลือบผลึกมีวิธีการเผาแตกต่างจากการเผาเคลือบธรรมดา คือ เคลือบธรรมดาเมื่อเผาถึงอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเคลือบหลอมละลายดีแล้ว เช่น เผาที่อุณหภูมิ $1,250^{\circ}\text{C}$ สิ้นสุดการเผาเราก็ปิดไฟเตาเผาได้ แต่เคลือบผลึกทุกชนิดต้องการอุณหภูมิในการเย็นตัวลงที่และช้า ๆ สำหรับเคลือบผลึกซึ่งต้องออกไซด์นี้จะต้องแช่อุณหภูมิในขณะที่เตายังร้อนจัดอยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง $1,100^{\circ} - 1,180^{\circ}\text{C}$ นาน 4 – 6 ชั่วโมง หลังการเผาที่อุณหภูมิสูงสุด $1,250^{\circ}\text{C}$ แล้ว ดังนั้นระหว่างที่อุณหภูมิในเตาเผาเริ่มจะลดลงจะต้องควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาไว้คงที่นานกว่าธรรมดาอีก 6 ชั่วโมง จึงปิดไฟเตาเผาเคลือบผลึกมักใช้ระยะเวลาในการเผาเคลือบนานกว่าธรรมดาเกือบ 6 ชั่วโมง ทำให้เสียค่าเชื้อเพลิงในการเผามากกว่าเคลือบธรรมดา หลายท่านจึงคิดว่าเคลือบผลึกเผายากต้องมีเทคนิคในการเผาผิดกว่าเคลือบธรรมดาถ้าเผาไม่ถูกต้องผลึกก็ไม่เกิด นอกจากนี้ ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ (2537 : 120) ได้แสดงภาพประกอบที่แสดงอุณหภูมิการเผาเคลือบผลึกดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงอุณหภูมิการเผาเคลือบผลึก
ที่มา : ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2537 : 120.

3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบ

จากการที่สามารถจำแนกชนิดของเคลือบได้หลายชนิดย่อมแสดงว่าวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรส่วนผสมของเคลือบมีมากมายหลายชนิดได้แก่ สารประกอบต่าง ๆ ในการนำวัตถุดิบมาใช้นั้นส่วนมากจะมีปัญหาเรื่องความบริสุทธิ์คือมักจะมีสิ่งเจือปนที่นอกเหนือไปจากสารประกอบหลักซึ่งตามปกติในการทำน้ำเคลือบที่มากกว่าหนึ่งครั้งโดยใช้วัตถุดิบอย่างเดียวกัน จำนวนเท่ากัน แต่วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบนั้นได้ซื้อจากแหล่งที่ต่างกัน อาจจะได้เคลือบที่แตกต่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของสารนั้นและกรรมวิธีการผลิตด้วยถึงแม้วัตถุดิบที่ใช้จะมีมากมายหลายชนิดก็ตามสามารถแบ่งกลุ่มตามคุณสมบัติทางเคมีได้ 3 กลุ่มคือ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 5)

1. กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง (Bases Group) วัตถุดิบกลุ่มนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายให้ต่ำลงเรียกว่า ฟลักซ์ (Flux) ได้แก่ สารประกอบออกไซด์ที่เขียนเป็นสูตรทางเคมีโดยใช้สัญลักษณ์ RO และ R₂O วัตถุดิบกลุ่มนี้นำมาใช้ทำน้ำเคลือบของเครื่องปั้นดินเผาจะใช้สารจำพวกต่าง 2 พวก คือ

1.1 พวกอัลคาไล (Alkalies) ต่างพวกนี้ ได้แก่ โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) โพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) และลิเทียมออกไซด์

1.2 พวกอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline Earths) ต่างพวกนี้ ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แบเรียมออกไซด์ (BaO) สตรอนเทียมออกไซด์ (SrO) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) และตะกั่วออกไซด์ (PbO) เป็นต้น

2. กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง (Neutral Group) วัตถุดิบกลุ่มนี้ส่วนมากจะใช้น้ำเคลือบมากกว่าใช้ในการทำแก้ว เพราะสารประกอบของวัตถุดิบเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ เพิ่มความหนืดของเคลือบ ควบคุมการไหลตัวของเคลือบ ทำให้เคลือบด้าน เพิ่มความแข็งแรงและทนทานต่อการขีดข่วนได้แก่สารประกอบออกไซด์ที่เขียนเป็นสูตรทางเคมีได้โดยใช้สัญลักษณ์ R_2O_3 สารประกอบของวัตถุดิบกลุ่มนี้ได้แก่ อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นวัตถุดิบหลักในกลุ่มนี้ ส่วนเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) พลวงออกไซด์ (Sb_2O_3) โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นสารให้สีในเคลือบ

3. กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด (Acids Group) ได้แก่ วัตถุดิบหรือสารประกอบที่ใส่เข้าไปในส่วนผสมของเคลือบจะทำให้เกิดแก้ว เพิ่มจุดหลอมละลายให้สูงขึ้น เพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อการกัดกร่อน ทำให้เคลือบไหลตัวน้อยลงทำให้เคลือบที่บหรือด้านได้เช่นกัน ได้แก่ สารประกอบออกไซด์ที่เขียนเป็นสูตรทางเคมีได้โดยใช้สัญลักษณ์ RO_2 วัตถุดิบกลุ่มนี้ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) เป็นต้น

เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

เฟลด์สปาร์หรือหินฟันม้า เป็นวัตถุดิบหลักในส่วนผสมของเคลือบไฟสูง และเนื้อดินปั้นบางประเภทเฟลด์สปาร์เป็นสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกตของอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ท ที่มีโปแตสเซียม (K) โซเดียม (Na) ลิเทียม (Li) แคลเซียม (Ca) โดยเฉพาะโปแตสเซียมใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์เพราะเป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อดินปั้นหรือเคลือบเป็นสารอัลคาไลน์ที่ไม่ละลายน้ำและที่สำคัญเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ (ม.ป.ป. : 27) กล่าวว่า เฟลด์สปาร์ หรือหินฟันม้าเกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต มีลักษณะเป็นหินที่สีขาวนวล ในบางก้อนมีสีเหลืองชมพูด้วย ส่วนปริดา พิมพ์ขาวขำ (2532 : 62) กล่าวว่า ส่วนประกอบของเฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของโพแทสเซียม เว้นแต่อัตราส่วนของโซเดียมและโปแตสเซียมเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไป เฟลด์สปาร์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมสูงใช้ในการผลิตแก้วและเคลือบ ส่วนเฟลด์สปาร์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของโปแตสเซียมสูงใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นและเคลือบ

โฟร์เนียร์ (Fournier. 1977 : 81) กล่าวว่า เฟลด์สปาร์ เป็นแร่ที่สำคัญและมีประโยชน์อย่างมากเช่น อุตสาหกรรมเซรามิกส์สามารถใช้เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายเบื้องต้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส

โปแตสเซเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar)

โปแตสเซเฟลด์สปาร์ หรือมีชื่อทางสินแร่ว่าออร์โทเคลส (Orthoclase) หรือไมโครไคลน์ (Microcline) สูตรทางเคมีคือ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ (Nelson. 1966 : 305)

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 10) กล่าวว่า โปแตสเซเฟลด์สปาร์มีสารประกอบส่วนใหญ่เป็นโปแตสเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Potassium Aluminium Silicate) อาจมีสารประกอบของโซเดียมหรือแคลเซียมปะปนอยู่ด้วย หินฟันม้าชนิดนี้มีจุดหลอมตัวประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ถึง

1,250 องศาเซลเซียส ใช้ผสมได้ทั้งในเคลือบและเนื้อดินปั้นมีส่วนประกอบทางเคมีเป็นค่าร้อยละ โดยน้ำหนักคือ SiO_2 ร้อยละ 65.7 Al_2O_3 ร้อยละ 18.4 K_2O ร้อยละ 16.9

โกมล รัชวงศ์ (2530 : 36) กล่าวถึง โปแตสเฟลด์สปาร์เพิ่มเติมว่าเป็นเฟลด์สปาร์ที่มีสารประกอบของโปแตสเซียมที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.56 มีความแข็งระดับ 6 จะมีสีแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งที่กำเนิด ได้แก่ สีขาว สีเหลือง สีชมพู เป็นต้น เฟลด์สปาร์ประเภทนี้สามารถใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี

แหล่งโปแตสเฟลด์สปาร์ในประเทศไทย

ทวี พรหมพุกษ์ (2523 : 73 – 75) ได้รวบรวมแหล่งที่พบโปแตสเฟลด์สปาร์ไว้ ดังนี้

1. โปแตสเฟลด์สปาร์กาญจนบุรี พบที่แหล่งตำบลลาดหญ้า อำเภอปอพลอย
2. โปแตสเฟลด์สปาร์ราชบุรี พบที่แหล่งบนยอดเขา ตำบลสวนยิง อำเภอจอมบึง เป็นโปแตสเฟลด์สปาร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง คุณภาพดี
3. โปแตสเฟลด์สปาร์เชียงใหม่ พบที่อำเภอฮอด เกิดปะปนอยู่กับหินแกรนิต หินควอตซ์ และแร่ไมก้า
4. โปแตสเฟลด์สปาร์ชลบุรี เป็นหินพื้นผิวก่เกิดปะปนอยู่กับหินแกรนิต หินควอตซ์ แร่ไมก้าเมื่อนำมาใช้ผสมน้ำเคลือบ เมื่อเผาจะมีตำหนิเป็นจุดดำ ๆ ที่เกิดจากแร่ไมก้าจึงไม่นิยมนำมาใช้

นอกจากนี้ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ (2538 :17) ได้สรุปว่า โปแตสเฟลด์สปาร์เป็นกลุ่มแร่ที่พบอยู่เป็นจำนวนมากบนเปลือกโลก เกิดในขณะที่มีการตกผลึกของหินอัคนีในประเทศไทยพบอยู่ในหินแกรนิต เพกมาไทต์ และแหล่งใหญ่ที่พบอยู่ที่จังหวัดราชบุรี เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน กาญจนบุรี และจังหวัดตาก

อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3)

อลูมินาเป็นสารประกอบที่อยู่ในวัตถุดิบหลายตัวเช่นในดิน และหิน อลูมินามีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือทนไฟสูงการนำมาใช้ในส่วนผสมของเคลือบ ถ้าใช้มากเกินไปจะก่อให้เกิดเคลือบด้านลดความมันแวววาว ด้านทานการตกผลึกของเคลือบอลูมินาจะเพิ่มความแข็งแรงและแก้ปัญหาการรานของเคลือบ สารประกอบของวัตถุดิบที่ให้อลูมินาออกไซด์ ได้แก่ ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) หินฟันม้า ($\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) และหินไฟโรฟิลไลต์ ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. 2541 : 121)

อลูมินาจะมีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 2,050 องศาเซลเซียส อลูมินาเป็นสารทนความร้อน (Refractory) ใช้มากในอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟปกติอลูมินาจะมีความแข็งในระดับ 8 สามารถนำไปใช้ทำวัตถุขัดถู (Abrasive) โดยเฉพาะผลึกที่อยู่ในรูปของคอร์รันดัม ซึ่งในธรรมชาติคอร์รันดัมมีความแข็งมาก การนำอลูมินามาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาจะบดให้เป็นผงสีขาว อลูมินาเป็นสารที่มีความเฉื่อย (Inert) และทนต่อปฏิกิริยาของกรดและด่าง (โกมล รัชวงศ์. 2531 : 30)

รูตส์ (Rhodes. 1972 : 65) กล่าวว่า ในเคลือบมีอลูมินา (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการใช้ทำเคลือบแทบทุกชนิด มีแต่เคลือบผลึกเท่านั้นที่ใช้อลูมินา (Al_2O_3) เพียงเล็กน้อย เพราะวอลูมินา (Al_2O_3) มีคุณสมบัติทำให้เคลือบมีความหนืดสูงเป็นตัวชะลอหรือขัดขวางการเจริญของโครงสร้างผลึกใหญ่ ๆ ความมันแวววาว

อลูมินา (Al_2O_3) จะทำหน้าที่ควบคุมการไหลตัวของเคลือบให้เป็นไปอย่างคงที่และสม่ำเสมอที่อุณหภูมิหลอมตัวของเคลือบ

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 17) กล่าวเพิ่มเติมว่า อลูมินาออกไซด์มีอิทธิพลต่อสีในเคลือบ เช่น สีของโคบอลต์ออกไซด์ (CoO) ซึ่งปกติจะให้สีน้ำเงิน หรือฟ้า แต่ถ้าใช้ในเคลือบที่ไม่มีอลูมินาออกไซด์ อาจจะได้สีชมพู (Rose Pink) เป็นต้น

สารที่ให้อลูมินา (Al_2O_3) เช่น (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 17- 18)

1. อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide) มีสูตรสารประกอบทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ เมื่อผ่านการเผาไล่ไอน้ำ (Calcine) แล้วจะได้อลูมินา (Al_2O_3) สารประกอบนี้จะมีสมบัติสูงแต่นิยมใช้ในรูปแบบของสารประกอบอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มากกว่า เพราะมีคุณสมบัติทำให้เคลือบลอยตัวได้ดี และการเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ก็ดีด้วย แต่อาจทำให้เกิดผิวเคลือบที่บวมหรือเป็นเคลือบด้านได้

2. เฟลด์สปาร์ ($\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) มีรายละเอียดดังกล่าวไว้ข้างต้น

3. ดิน (Clay) มีสูตรสารประกอบทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ดินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำเคลือบ เพราะช่วยทำให้น้ำเคลือบลอยตัว ไม่ตกตะกอนง่าย ช่วยให้น้ำเคลือบเกาะติดกับผิวผลิตภัณฑ์ได้ดี ช่วยควบคุมการหดตัวของน้ำเคลือบบนผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้เผาและเป็นตัวที่ให้อลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) แก่น้ำเคลือบตัวหนึ่ง ดินที่นิยมใช้ได้แก่ ดินขาว (Kaolin)

ดินขาว (Kalin) คำว่า เกาลิน (Kaolin) เชื่อกันว่าได้มาจากภาษาจีน Kao - Ling ซึ่งหมายถึงที่สูง ๆ (High Ridge) (สมศักดิ์ ชวลาวัณย์. 2541: 56) ดินเป็นวัตถุดิบในส่วนผสมของน้ำเคลือบที่สำคัญมาก เนื่องจากดินจะเป็นตัวช่วยให้วัตถุดิบอื่น ๆ ในน้ำเคลือบกระจายลอยตัวได้ดี ช่วยให้เคลือบติดเกาะผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น และเป็นตัวกลางที่ควบคุมการหดตัวของเคลือบดินที่คลุมผิวผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้เผา ดินที่เหมาะสมคือดินขาว (Kaolin) เนื่องจากมีความบริสุทธิ์สูงกว่าดินชนิดอื่น ๆ มีผลต่อสีของเคลือบน้อย แต่ถ้าต้องการให้เกิดการยึดเกาะบนผิวผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้เผามีมากขึ้นบางครั้งเราอาจจำเป็นต้องใช้ดินเหนียวในน้ำเคลือบ ซึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนต่อสีของเคลือบอย่างแน่นอน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 20 - 21)

แหล่งดินขาวในประเทศไทย

ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 66- 68) ได้รวบรวมแหล่งดินขาวที่สำคัญในประเทศไทยที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ พร้อมทั้งรายละเอียดต่าง ๆ ไว้ดังนี้

1. ดินขาวลำปาง จากการสำรวจพบว่าเป็นดินขาวที่เกิดจากการผุพัง สลายตัวของแร่ เฟลด์สปาร์ แต่การสลายตัวยังไม่สมบูรณ์ทำให้มีเศษแร่เฟลด์สปาร์หลงเหลืออยู่ในดินแต่เป็นดินขาวที่สามารถขึ้นรูปทรงได้ โดยไม่ต้องผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เป็นดินที่อำเภोज้างหม จังหวัดลำปาง ซึ่งมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,650 องศาเซลเซียส

2. ดินขาวระนอง พบในบริเวณเหมืองดีบุกเก่า ตำบลหาดส้มแป้น อำเภอมือง จังหวัดระนอง ที่เกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิตมาเป็นดินขาวปะปนอยู่กับเศษหิน ควอทซ์ หินแกรนิต และเศษแร่ดีบุก มีผู้ผลิตดินขาวแหล่งนี้ที่เป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุก ในขณะฉัดน้ำเพื่อแยกแร่ออกจากหินตามภูเขา ดินขาวจะละลายออกมากับดีบุกไหลตามน้ำมาด้วย ดินจะตกอยู่ตามรางที่น้ำไหลผ่าน แล้วแยกดินขาวออกจากหินและทรายที่ติดมา โดยใช้เครื่องมือ ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) ปลอยให้ดินจมตัวอยู่ในบ่อพักแล้วสูบเข้าเครื่องอัดดินเป็นแผ่นใช้งานต่อไป ดินขาวชนิดนี้เป็นดินขาวชนิดดีเท่าที่พบแห่งแรกในประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงและมีปริมาณของเหล็กน้อย เหมาะสำหรับการผสมทำเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,785 องศาเซลเซียส

3. ดินขาวประแสร์ ดินขาวแหล่งนี้พบบริเวณเนินเขา ตำบลบ้านนา อำเภอกาหลง จังหวัดระยอง ดินขาวแหล่งนี้มีปริมาณธาตุเหล็กน้อย มีความเหนียวน้อย การขึ้นรูปทำได้ยากมักจะแตกเสียหายมาก

4. ดินขาวห้วยมุด เกิดในบริเวณเหมืองแร่ดีบุก ตำบลบ้านนา อำเภอนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดินขาวแหล่งนี้มีโรงงานนำมาทำเครื่องปั้นดินเผา มีความเหนียวดี ขึ้นรูปง่ายแตกเสียหายน้อย แต่เนื่องจากมีปริมาณของธาตุเหล็กสูงผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ไม่มีสีขาวเท่าที่ควร จึงหมดความนิยมที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์ ได้มีโรงงานโอบเคลือบจังหวัดราชบุรีใช้ดินขาวจากแหล่งนี้มาตกแต่งลายมังกร และลวดลายต่าง ๆ บนโอบอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเราเรียกว่าวีเอ็นโกบ (Engobe)

ซิลิกา (SiO₂)

ซิลิกา (Silica, Quartz, Flint, Sandstone มีสูตรเคมี SiO₂) ซิลิกาจะอยู่ในรูปของสารอิสระ และเป็นสารประกอบที่อยู่ในวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ดิน (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O) และหินฟันม้า (KNaO·Al₂O₃·6SiO₂) มีคุณสมบัติเพิ่มจุดหลอมละลายของเคลือบให้สูงขึ้น เมื่อหลอมจะเป็นแก้วลดการไหลตัวของน้ำเคลือบเพิ่มความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารละลาย เพิ่มความแข็งแกร่งของเคลือบตลอดจนลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 113)

ซิลิกาจะมีทั้งในน้ำเคลือบและเนื้อดินปั้นและมีมากกว่าร้อยละ 50 ซิลิกาบริสุทธิ์จะมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,710 องศาเซลเซียส โดยทั่ว ๆ ไปเมื่อใช้ผสมในเคลือบให้ผลดังนี้

1. เพิ่มจุดหลอมละลายของเคลือบให้สูงขึ้น
2. ลดการไหล (Fluidity) ของเคลือบที่จุดหลอมละลาย
3. เพิ่มความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารละลาย
4. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

5. เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เคลือบ

6. ทำปฏิกิริยาได้อย่างดีกับพวกต่าง (Bases) แล้วหลอมตัวกลายเป็นแก้ว (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 20)

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2530 : 21) กล่าวว่า ตามปกติซิลิกาจะเป็นวัตถุดิบที่เด่นที่สุดในส่วนผสมของน้ำเคลือบและส่วนผสมของเนื้อดินปั้น เนื่องจากว่าซิลิกาหรือออกไซด์ของซิลิกอนรวมตัวได้อย่างอิสระกับออกไซด์อื่น ๆ โดยเฉพาะออกไซด์ที่เป็นต่างซึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบซิลิเกตที่ซับซ้อนและเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. โดยทั่วไปสารประกอบเหล่านี้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันทุกอุณหภูมิ
2. ที่อุณหภูมิธรรมชาติสารประกอบเหล่านี้สามารถรักษาสภาพการเป็นแก้ว ซึ่งมีคุณสมบัติทางแสงและทางกลศาสตร์เหมาะสมที่จะใช้เป็นเคลือบได้
3. สารประกอบเหล่านี้สามารถที่จะผลิตขึ้นมาให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของแก๊สต่าง ๆ น้ำ สารละลายของด่างและกรดต่าง ๆ
4. การเพิ่มสารประกอบอื่น ๆ ที่เหมาะสมลงไปในสารประกอบซิลิเกตจะยังคงรักษาสภาพการเป็นแก้ว ซึ่งอาจมีคุณสมบัติแตกต่างออกไป เช่น ได้แก้วสีต่าง ๆ หรือได้แก้วทึบแสง เป็นต้น

ควอทซ์ (SiO₂)

แร่ควอทซ์หรือหินเขี้ยวหนุมานหรือหินแก้วเกิดอยู่ในธรรมชาติเป็นรูปของผลึกมีความบริสุทธิ์สูงคือมีปริมาณของซิลิกาถึงร้อยละ 99.8 ส่วนที่เหลือเป็นสารเจือปนอื่น ๆ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 21) โคมล รัชวงศ์ (2530 : 25) เพิ่มเติมว่าควอทซ์เกิดจากการตกผลึกของซิลิกาที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 จุดหลอมละลาย 1,728 องศาเซลเซียส มีความแข็ง 7 โครงสร้างเป็นรูปผลึก 6 เหลี่ยม เป็นร่างแหสามมิติ ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์จะใช้หินควอทซ์ผสมในเนื้อดินปั้นและในเคลือบและยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมวัตถุนไฟได้ดี เนื่องจากควอทซ์เป็นวัตถุดิบที่ทนความร้อนสูง ซึ่งการนำควอทซ์ไปผสมในเนื้อดินปั้นจะทำให้เนื้อดินแข็งแรงเป็นโครงสร้างป้องกันการหดตัวของผลิตภัณฑ์ป้องกันการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ และยังเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วได้ ทำให้เนื้อดินโปร่งแสงได้ดีใช้ผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบเป็นแก้วที่มีความแข็งแรงและความมันแวววาวดีขึ้น

แหล่งควอทซ์ในประเทศไทย

กรมทรัพยากรธรณี (2526 : 231) ได้สำรวจแหล่งควอทซ์ที่พบในประเทศไทย ซึ่งพบอยู่หลายชนิด พวกที่เป็นผลึกค้นพบที่จังหวัดลำปาง น่าน อุดรดิตถ์ นครสวรรค์ ระนอง พังงา ภูเก็ต นครศรีธรรมราช ควอทซ์สีม่วง พบที่ ลำปาง ดาก นครนายก ควอทซ์สีชมพู พบที่ จันทบุรี ราชบุรี ระนอง พังงา ภูเก็ต

ทวี พรหมพฤษ (2523 : 72) กล่าวเพิ่มเติมว่า หินควอทซ์ที่พบในประเทศไทยมีทั้งชนิดใส ชนิดขุ่นทึบ สีขาว สีชมพู แต่ที่พบที่จันทบุรีเป็นชนิดสีขาวและสีชมพู มีคุณภาพดีมีซิลิกาถึงร้อยละ 98.7 ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี

วัตถุดิบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1. **โปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3)** มีคุณสมบัติหลอมเหลวได้ง่าย ละลายน้ำ เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนเป็นรูปโปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายคือผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบเกิดความแวววาว (ปริดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 11)

2. **แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)** แคลเซียมคาร์บอเนตหรือที่เรียกว่าไวติง (Whiting) ไวติงก็คือแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์บดละเอียดมีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายในเคลือบไฟสูง ถ้าผสมในเนื้อดิน (Body) จะช่วยลดความพรุนตัวของเนื้อดินด้วย ถ้าผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็งแกร่งดียิ่งขึ้น (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 12 – 13)

โกมล รัชวงศ์ (2531 : 47) กล่าวว่า แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบที่ใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมเซรามิกส์ โดยเฉพาะใช้เป็นส่วนผสมของน้ำเคลือบจะทำให้เคลือบเพิ่มความแข็งแรงสูงขึ้น แหล่งแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูนในประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี (2526 : 131) สำรวจพบว่า ในประเทศไทยมีหินปูนอยู่ทั่วไปแทบทุกจังหวัด ตั้งแต่เหนือจดใต้ เช่น แม่ฮ่องสอน เพชรบูรณ์ สระบุรี กาญจนบุรี ชุมพร สุราษฎร์ธานี ยะลา เป็นต้น นอกจากนี้ ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 75) กล่าวว่า แคลเซียมคาร์บอเนตมีมากที่สระบุรี และราชบุรี ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

3. **สตรอนเทียมคาร์บอเนต ($SrCO_3$)** สตรอนเทียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายที่ช่วยให้การไหลตัวของเคลือบดีขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวเคลือบเรียบสม่ำเสมอ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 119)

ปริดา พิมพ์ขาวขำ (2530 : 14 – 15) ได้กล่าวว่า มีนักเซรามิกส์ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้สตรอนเทียมในเคลือบและได้รายงานผลการวิจัยไว้หลายประการ ดังนี้

1. การใช้สตรอนเทียมแทนแคลเซียมในปริมาณโมลที่เท่ากันในเคลือบที่ใช้เคลือบถ้วยชาม ปรากฏว่าสตรอนเทียมเป็นตัวลดจุดหลอมตัวของเคลือบที่รุนแรง ทำให้เคลือบเคลื่อนตัวได้ดี และมีสมบัติการขยายตัวสูงกว่าเล็กน้อย

2. การใช้สตรอนเทียมแทนที่แคลเซียมโดยมีน้ำหนักเท่ากันจะช่วยให้เคลือบเคลื่อนตัวได้ดี อุณหภูมิซึ่งเป็นจุดอ่อนตัวลดลง แต่ไม่ทำให้สมบัติการขยายตัวเปลี่ยนแปลงถ้าเป็นเคลือบฟrit การแทนที่แคลเซียมด้วยสตรอนเทียมจะทำให้เคลือบฟritดีขึ้น

3. เมื่อใช้สตรอนเทียมแทนซิงค์ออกไซด์ในเคลือบที่ใช้เคลือบถ้วยชามโดยใช้ปริมาณโมลเท่ากันจะทำให้เคลือบมีการเคลื่อนตัวดีขึ้น การละลายลดลง การขยายตัวด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่จุดอ่อนของตัวเคลือบไม่เปลี่ยนแปลง

4. เมื่อใช้สตรอนเทียมแทนที่ตะกั่วออกไซด์ในเคลือบที่ใช้เคลือบถ้วยชาม โดยใช้ปริมาณโมลเท่ากัน การเคลื่อนตัวของเคลือบลดลง จุดอ่อนตัวของเคลือบสูงขึ้น และอัตราการขยายตัวของเคลือบด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

นอกจากนี้นักเซรามิกส์บางท่านยังเห็นว่า การใช้สตรอนเทียมแทนตัวอื่น ๆ บางส่วน จะช่วยให้เคลือบมีคุณสมบัติดีขึ้น ในเคลือบที่ปราศจากตะกั่วการแทนที่แคลเซียมด้วยสตรอนเทียมจะทำให้สีของเคลือบดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้เคลือบที่มีเซอร์โคเนียมมีการเคลื่อนตัวได้ดี ซึ่งจะช่วยปรับให้ผิวหน้าเคลือบราบเรียบดีขึ้น ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ (2537 : 17) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่า สตรอนเทียมมีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 2,430 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเป็นต่างใช้ในเคลือบ อุณหภูมิปานกลางคืออุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยปกติจะใช้ไม่เกินร้อยละ 30 ในสูตรเคลือบอุณหภูมิการเผาปานกลาง โดยใช้ร่วมกับตัวอื่น ๆ ด้วย เช่น โซดา เฟลด์สปาร์ ซิงค์ออกไซด์ แบเรียมคาร์บอเนต ใช้ร่วมกันหลาย ๆ อย่างเพื่อลดอุณหภูมิในการหลอมละลายได้ดีกว่าใช้เพียงลำพังตัวเดียว

ทัลค์ ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ในธรรมชาติมักจะเกิดปะปนกับหินฟันม้า (Feldspar) และ หินปูน (Limestone) ใช้ในเคลือบน้อยกว่าแคลเซียม (CaO) ถ้าใช้ผสมในเคลือบไฟต่ำแมกนีเซียมจะทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ แต่ถ้าใช้กับเคลือบไฟสูงจะเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายที่ดี (Flux) เพิ่มการไหลในเคลือบให้ดีขึ้น ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนได้ดีที่สุดในจำพวกต่างด้วยกัน เพิ่มความมันวาวในผิวเคลือบ แมกนีเซียมส่วนมากใช้ในการทำเคลือบผลึก (Crystalline Glaze) และเคลือบที่ต้องการให้มีการไหลตัวอื่น ๆ ลักษณะการไหลตัวของแมกนีเซียมนี้จะไหลเร็วในช่วงแรกและไหลช้าลงในช่วงหลัง นอกจากนี้ยังช่วยให้เคลือบเกาะกับเนื้อดินได้ดีขึ้นด้วย (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 14) สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 14) กล่าวเพิ่มเติมอีกว่า ทัลค์ ส่วนมากจะใช้กับเนื้อดินปั้น (Body) ใช้ในเคลือบเพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้ผิวเคลือบเรียบสวยไม่มีฟองอากาศ

สังกะสีออกไซด์ (ZnO) สังกะสีออกไซด์เป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายสูง หลอมละลายได้แก่ที่อุณหภูมิ 1,800 องศาเซลเซียส สังกะสีออกไซด์เป็นต่างที่นิยมใช้ในเคลือบอุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง คืออุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียสถึงอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส โดยใช้ร่วมกับตัวอื่น ๆ เช่น หินปูน โซดาเฟลด์สปาร์ ฯลฯ ถ้าใช้เฉพาะสังกะสีเพียงตัวเดียวเคลือบจะไม่ยอมหลอมละลาย เคลือบสีที่มีสังกะสี ถ้านำมาใช้เขียนสีใต้เคลือบ สีเขียว สีเหลือง สีน้ำตาล จะซีดลง และสีเขียวจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลด้วย แต่เคลือบสังกะสีจะทำให้สีน้ำเงินมีสีสดมากขึ้น (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2537 : 17)

สังกะสีออกไซด์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สำคัญอันหนึ่งของเคลือบหลาย ๆ ชนิด ทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมตัวของเคลือบทำให้เคลือบเป็นมันวาวยิ่งขึ้น และบางครั้งมีส่วนช่วยให้เกิดเคลือบที่บดแสงการใช้มากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมของเคลือบดิบทนไฟมากขึ้น เคลือบชั้นมากขึ้นและทำให้มีความมันลดลงเล็กน้อย แต่ตามปกติแล้วผลแตกต่างที่เกิดขึ้นในเคลือบจะขึ้นกับคุณสมบัติและปริมาณของตัวอื่น ๆ สังกะสีออกไซด์มีผลบางอย่างต่อเคลือบสีคือช่วยส่งเสริมสีบางสีและช่วยดัดแปลงสีบางสีด้วยตัวอย่างเช่น ช่วยทำให้เคลือบซึ่งมีโครเมียมออกไซด์เกิดสีน้ำเงินแทนที่จะเกิดสีเขียว นอกจากนี้สังกะสีออกไซด์ยังทำให้เคลือบสุกใสมากขึ้น และทำให้เคลือบไม่เกิดการร้าว

การใช้สังกะสีออกไซด์มากเกินไปในเคลือบเป็นวิธีการทำให้เกิดผลึกในเนื้อเคลือบ ถ้าต้องการให้เกิดรูปพืดขนาดใหญ่จะต้องเผาเคลือบให้สูงกว่าอุณหภูมิ ซึ่งเป็นช่วงตกผลึกแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงมาที่ช่วงจะมีการตกผลึกอีกครั้งหนึ่งและปล่อยให้ที่อุณหภูมินั้นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นอย่างน้อย ถ้าใช้เวลา 10 ชั่วโมงหรือมากกว่าจะทำให้ผลึกขึ้นมาอยู่ที่ผิวเคลือบจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างขรุขระไม่สวยงาม (ปริดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 16 - 17)

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 16) กล่าวว่า การผสมสังกะสีออกไซด์เล็กน้อยในเคลือบยังมีผลให้การไหลตัวของเคลือบดีขึ้น ซึ่งทำให้ผิวเคลือบเรียบ แต่ถ้าใช้ปริมาณมากและเผาที่อุณหภูมิสูงพอจะเกิดการตกผลึก ซึ่งนิยมใช้ในการทำเคลือบผลึก (Crystalline Glaze) จะได้ผลึกที่สวยงามมีลักษณะคล้ายพัด (Fan Like) ถ้าผสมในเคลือบสีจะทำให้สีสดขึ้น

โกลม รัชวงศ์ (2531 : 76) กล่าวเพิ่มเติมว่า สังกะสีออกไซด์เป็นวัตถุติดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเมื่อใช้ผสมในเคลือบปริมาณมาก ๆ จะทำให้เคลือบตกผลึกได้ ผลึกที่เกิดขึ้นที่ผิวเคลือบจะเป็นลักษณะรูปพัด นอกจากนี้ในการตกผลึกของสังกะสีจะตกในเมื่ออุณหภูมิลดลงหลังจากการเผาให้เคลือบหลอมละลาย ดังนั้น การเผาให้เกิดผลึกจะต้องเผาแบบเย็นไฟ (Soaking Time)

สารที่ให้สีทางเซรามิกส์ สีต่าง ๆ ที่ใช้ในทางเซรามิกส์ไม่ว่าจะเป็นสีใช้ผสมในน้ำเคลือบหรือสีที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นนั้นเกิดขึ้นจากการใช้สารประกอบที่อยู่ในรูปออกไซด์ของโลหะหรือสนิมโลหะหนึ่งชนิดหรือการใช้สนิมโลหะต่าง ๆ นำไปผสมกับสารประกอบตัวอื่นแล้วนำไปเผาในอุณหภูมิที่กำหนดไว้จะได้สารให้สีตัวใหม่ที่อยู่ในรูปของสีสำเร็จรูป (Stain) เพื่อจะได้สีสำเร็จรูปที่มีคุณภาพของสีที่คงที่

ส่วนสีที่เกิดจากสนิมโลหะที่ไม่ได้อยู่ในรูปของสีสำเร็จรูปตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งสนิมโลหะบางตัวนั้นอาจให้สีได้หลายสี เมื่อเผาในอุณหภูมิและบรรยากาศการเผาที่แตกต่างกัน รวมถึงการผสมกับสนิมโลหะชนิดอื่น ๆ ก็สามารถให้สีที่แตกต่างกันได้เช่นกัน สนิมโลหะที่ใช้ให้สีได้แก่ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 125)

1. นิเกิลออกไซด์ (NiO) เป็นสารให้สีในโทนสีเทา เทาแก่และเทาน้ำตาล ที่ใช้กันอยู่มากอยู่ในรูปของออกไซด์ที่มีสีดำ (Nickelic Oxide Ni_2O_3) และออกไซด์ที่มีสีเขียว (Nickel Oxide-NiO) ใช้ในปริมาณร้อยละ 2 ถึง 12 ในเคลือบไฟสูงโดยนิเกิลนี้เป็นสารที่นำไปผสมกับวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบบางตัวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในเคลือบได้ เช่น ถ้าใช้นิเกิลร้อยละ 2 ในเคลือบที่มีส่วนผสมของแบเรียมคาร์บอเนตอยู่ในเปอร์เซ็นต์สูงจะให้สีม่วงแดงโดยใช้ระยะเวลาการเผาที่ยาว แต่ถ้าใช้ระยะเวลาการเผาที่สั้นจะให้สีเทาปนน้ำตาล และถ้าในส่วนผสมของเคลือบที่มีสังกะสีออกไซด์ผสมอยู่มากจะให้สีฟ้าอมน้ำเงิน โดยทั่วไปการใช้นิเกิลออกไซด์จะควบคุมสีเคลือบให้คงที่ลำบากเพราะมันเป็นตัวช่วยให้สีของออกไซด์ตัวอื่นมีสีจางลงหรือเปลี่ยนแปลงไป (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 126 - 127)

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 26) กล่าวว่า นิเกิลออกไซด์ที่ใช้กันมักอยู่ในรูปของออกไซด์ที่มีสีเขียว (Green Nickel Oxide, NiO) และออกไซด์สีดำ (Black Nickel Oxide, Ni₂O₃) และอีกตัวหนึ่งคือนิเกิลคาร์บอเนต (Nickel Carbonate, NiCO₃) ซึ่งนิยมใช้น้อยกว่า 2 ตัวแรก ถ้าใช้ประมาณร้อยละ 2 ถึง 5 ในเคลือบที่มีแมกนีเซียม จะให้สีเขียว กับเคลือบที่มีแบเรียมจะให้สีน้ำตาลใช้กับเคลือบที่มีหินปูนอยู่ (Lime Glaze) จะให้สีน้ำตาลแดง และถ้าใช้กับสังกะสีออกไซด์จะให้สีน้ำเงิน สีเหล่านี้จะไม่ค่อยสดใส โดยทั่วไปใช้นิเกิลออกไซด์เป็นตัวช่วยให้สีของออกไซด์ตัวอื่นมีสีจางลงหรืออ่อนลง หรือเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังใช้นิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 5 ถึง 10 ในเคลือบบางอย่าง เพื่อให้เกิดตกผลึกนิเกิลออกไซด์นี้ไม่นิยมใช้ในเคลือบไฟต่ำ

2. ทองแดงออกไซด์ (CuO) ทองแดงออกไซด์ที่ใช้กันมักเป็นทองแดงออกไซด์สีดำ (Black Copper Oxide or Cupric Oxide, CuO) ทองแดงออกไซด์สีแดง (Red Copper Oxide or Cuprous Oxide Cu₂O) และในรูปทองแดงคาร์บอเนต (Copper Carbonate, CuCO₃) ทองแดงออกไซด์เป็นสารสำคัญตัวหนึ่งที่ทำให้สีเขียวในเคลือบ ถ้าเผาในภาวะมีอากาศมากเกินพอ (Oxidizing) และใช้ในเคลือบตะกั่วร้อยละ 1 ถึง 6 จะได้สีเขียวแอปเปิ้ลหรือเขียวใบหญ้า ถ้าใช้น้ำเคลือบอัลคาไลด์ (Alkaline Glaze) ที่มีโซเดียมออกไซด์สูง ๆ มีลูมินาน้อย ๆ และไม่มีตะกั่วหรือสังกะสีออกไซด์ปนอยู่ เผาในภาวะที่มีควั่นหรืออากาศน้อย ๆ (Reduction) จะได้สีแดง (Copper Red) ซึ่งใช้กันไม่เกินร้อยละ 3 จึงจะได้ผลดีและถ้ามีดีบุกออกไซด์อยู่ด้วยจะดียิ่งขึ้น ทองแดงออกไซด์นี้ถ้าใช้เกินร้อยละ 6 จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลาย (Flux) เล็กน้อย (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 25) สมศักดิ์ ขวาลาวณ์ (2541 : 126) กล่าวเพิ่มว่า ทองแดงออกไซด์มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,148 องศาเซลเซียส

3. แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO₂) ใช้กันในรูปของแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO₂) หรือแมงกานีสคาร์บอเนต (MnCO₃) ใช้ประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 จะให้สีม่วงถึงสีน้ำตาลแต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปจะมีผลทำให้ผิวเคลือบเกิดตำหนิเป็นฟองอากาศถ้าใช้ในเคลือบอัลคาไลด์ (Alkaline Glaze) จะให้สีม่วง ถ้าใช้ร่วมกับทองแดงออกไซด์หรือโคบอลต์ออกไซด์จะได้สีดำ แต่ถ้าใช้ในเคลือบที่มีออกไซด์ของเหล็กสูงจะได้เคลือบที่มันวาวคล้ายโลหะ (Laster) (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 26)

สมศักดิ์ ขวาลาวณ์ (2541 : 126) กล่าวเพิ่มเติมว่า การใช้แมงกานีสไดออกไซด์ถ้าใช้ในเคลือบที่มีเหล็กออกไซด์สูงจะทำให้เคลือบที่มันวาวออกจุดสีน้ำตาลดำ แมงกานีสไดออกไซด์มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,080 องศาเซลเซียส

4. เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) เป็นสารให้สีที่ดีถ้าใช้ในเนื้อดินจะได้สีในโทนแดงเรื่อ ๆ ถ้าใช้ในเคลือบที่มีแคลเซียมออกไซด์อยู่ด้วยจะให้สีเหลืองจนถึงสีเนื้อที่ใช้กันคือออกไซด์เหล็กสีแดง (Iron Oxide Red, Fe₂O₃) และออกไซด์เหล็กสีดำ (Iron Oxide Black, FeO) ซึ่งถ้าใช้ในเคลือบทั่ว ๆ ไปจะให้สีน้ำตาลแดงเลือนจนจนถึงสีแดงน้ำตาล โดยใช้กันประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 ถ้าใช้ในเคลือบตะกั่วร้อยละ 8 จะได้สีแดงดำ (Dark Red) แต่ถ้าใช้มากเกินไปอาจจะได้เคลือบที่มีลักษณะเป็นผลึกเล็ก ๆ เป็นจุดใต้เคลือบเป็นสีทองและได้สีม่วง (Purple-red) กับสีเกล็ดทองเล็ก ๆ (Gold Fleck) แต่

ถ้าเผาในภาวะอากาศน้อย (Reduction) เหล็กออกไซด์จะให้สีเขียวแบบซีลาดอน (Palegreen of Celadon) หรือสีเขียวปนเทา (Grey Green) (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 25) สมศักดิ์ ขวาลาวณีย์ (2541 : 126) กล่าวเพิ่มเติมว่า เหล็กออกไซด์เป็นสารที่ให้สีในโทนสีแดงน้ำตาลอ่อนถึงเข้มจนถึงดำ ความเข้มของสีที่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนร้อยละที่ใช้เหล็กออกไซด์มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,565 องศาเซลเซียส และจัดว่าเป็นสารที่ให้สีรุนแรง

5. ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ไทตาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นกรดในปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิสูงเช่นเดียวกับซิลิกาการใส่ไทตาเนียมไดออกไซด์ลงไปในเคลือบก็เพื่อทำให้มีผลต่อเคลือบสี โดยเป็นตัวทำให้เกิดความทึบแสงและส่งเสริมให้เกิดการตกผลึกละลายน้ำได้บ้างในเคลือบ

การใช้ไทตาเนียมไดออกไซด์ในเคลือบเพื่อทำให้เคลือบมีความทนกรดได้ดีขึ้น ทำให้เกิดสีและเนื้อผลิตภัณฑ์ละเอียด รวมทั้งเคลือบสีอาจมีสีแปลกไป ถ้าเคลือบนั้นมีทั้งไทตาเนียมไดออกไซด์และสารประกอบที่เป็นตัวรีดิวซิงเช่นในเคลือบที่มี Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , และ TiO_2 และมีโลหะ Mg, Al หรือ Zn ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซิง (ปริดา พิมพ์ขาวขา. 2530 : 24 – 25)

สมศักดิ์ ขวาลาวณีย์ (2541 : 124) กล่าวเพิ่มเติมว่า ไทตาเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่ใส่เข้าไปในเคลือบสามารถละลายได้ดีในสารประกอบพวกอัลคาไลน์ (Alkaline) ฉะนั้น ผลอาจมีการเปลี่ยนแปลงคือ การทึบแสงในเคลือบและในขณะเดียวกันจะเกิดสีฟาง (Tan or Brown Colour) ซึ่งถ้าใส่ในปริมาณมากจะทำให้เคลือบเกิดการไหลตัวง่ายขึ้น ซึ่งถ้าใส่ในปริมาณร้อยละ 5 ถึง 10 มีผลทำให้เคลือบมีผลึกได้และมีความมันแวววาว ดังนั้น จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในการทำเคลือบผลึกต่าง ๆ ด้วย

6. ส่วนผสมสี คือ สีของเคลือบนอกจากจะได้จากการเติมออกไซด์ที่ให้สีดังกล่าวมานี้แล้วอาจจะได้จากการใช้ออกไซด์ที่ให้สีตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาผสมกันเพื่อให้ได้สีที่แตกต่างออกไปหลาย ๆ สี ทั้งนี้ สีในเคลือบยังขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเคลือบ อุณหภูมิ ตลอดจนสภาวะในการเผา และจำนวนของสารให้สีอีกด้วย (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 27)

4. การคำนวณเคลือบ

การกำหนดสูตรเคลือบนั้นนิยมกำหนดในรูปของสูตรพื้นฐาน ซึ่งไม่สามารถนำไปเตรียมเคลือบได้ทันที เนื่องจากการบอกส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็น ต่าง กลาง กรด ในลักษณะที่เป็นจำนวนสมมูลย์ของออกไซด์ต่าง ๆ ไว้ จึงเป็นการง่ายที่จะเลือกใช้วัตถุดิบที่สามารถทดแทนกันได้ โดยให้ได้สารประกอบครบตามสูตร แต่การนำไปใช้ปฏิบัติจริง จำเป็นจะต้องมีวิธีการคิดคำนวณเพื่อแปรเปลี่ยนสูตรพื้นฐานให้เป็นสูตรส่วนผสมและเป็นร้อยละ โดยคำนึงถึงวัตถุดิบที่มีอยู่ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับสูตรพื้นฐานและวิธีการคำนวณเป็นอย่างดี

สูตรพื้นฐาน (Empirical Formula) สูตรพื้นฐานนี้จะบอกจำนวนโมเลกุลของออกไซด์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้นำไปใช้สามารถหาวัตถุดิบได้อย่างอิสระ หรือเท่าที่มีอยู่

เพียงแต่ให้มีส่วนประกอบทางเคมีครบก็ใช้ได้ การเขียนสูตรพื้นฐานจะเขียนเป็น 3 กลุ่ม ตามคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้ คือ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 73)

กลุ่มแรก จะเป็นสารพวกที่มีคุณสมบัติเป็นด่างใช้สัญลักษณ์ RO , R_2O จำนวนโมเลกุลของสารในกลุ่มนี้ เมื่อรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับ 1.00 เสมอเพื่อสะดวกในการเทียบอัตราส่วน

กลุ่มกลาง จะเป็นสารพวกที่มีคุณสมบัติเป็นกลางใช้สัญลักษณ์ R_2O_3

กลุ่มหลัง จะเป็นสารพวกที่มีคุณสมบัติเป็นกรดใช้สัญลักษณ์ RO_2

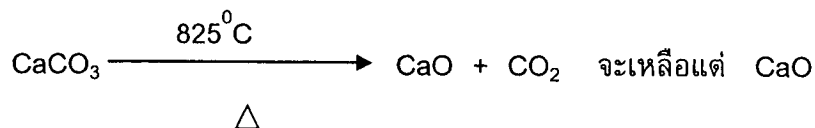
ปริดา พิมพ์ขาวขำ (2530 : 36) ได้แสดงรูปแบบการเขียนสูตรพื้นฐานหรือสูตรเซเกอร์ (Segger for mula) และตัวอย่างไว้ดังนี้

R_2O		
RO	$X R_2O_3$	$Y RO_2$
ตัวอย่างคือ		
0.6 K_2O		
0.1 CaO	0.5 Al_2O_3	4 SiO_2
0.3 PbO		

การคำนวณหาส่วนผสมของเคลือบจากสูตรพื้นฐานเซเกอร์จำเป็นจะต้องรู้สัญลักษณ์ทางเคมีของสารประกอบที่อยู่ในรูปวัตถุดิบต่าง ๆ รวมถึงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบของวัตถุดิบที่จะใช้เพื่อในการคำนวณ มีข้อพิจารณา ดังนี้คือ (สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. 2541 : 130)

1. ถ้าสูตรเคลือบนั้นมีสารโปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) หรือโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ให้ใช้วัตถุดิบที่อยู่ในรูปของโปแตสเซฟเลด์สปาร์ ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) หรือโซดาฟเลด์สปาร์ ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) เพราะเป็นตัวยึดจุดหลอมละลาย (Flux) ในเคลือบไฟสูง ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและยังมีอลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) อยู่ด้วย และที่สำคัญเป็นวัตถุดิบที่ราคาถูก

2. ในกรณีที่มีสาร เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แบเรียมออกไซด์ (BaO) ให้ใช้วัตถุดิบที่อยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอเนตได้เพราะเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส สารประกอบที่อยู่ในรูปของคาร์บอเนตจะแตกตัวเป็นก๊าซคาร์บอนระเหยไปได้ เช่น

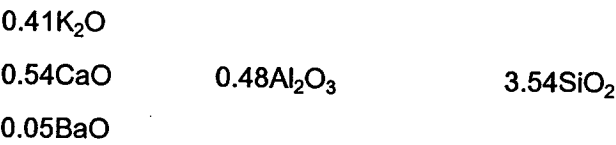


3. ส่วนอลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) ที่อยู่ในสูตรเคลือบให้ใช้วัตถุดิบที่อยู่ในรูปสารประกอบของดิน ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) หลังจากใช้ในรูปของฟเลด์สปาร์แล้วและที่เหลือจึงใช้เป็นรูปของสารอิสระ

4. ส่วนโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในรูปของสารประกอบในวัตถุดิบต่าง ๆ ไม่ต้องนำเข้ามาคำนวณด้วยเพราะเวลาเผาแล้วโมเลกุลของน้ำระเหยไปหมด เช่น ที่อยู่ในรูปของดิน ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

วิธีการคำนวณเคลือบ

สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์ (2541 : 132 – 135) ได้แสดงการคำนวณเคลือบจากตัวอย่างสูตรพื้นฐานเซเกอร์ (Seger Formula) ที่กำหนดไว้ดังนี้ คือ



ตาราง 2 แสดงการแทนค่าออกไซด์แต่ละตัวด้วยวัตถุดิบที่มีสารประกอบตามโจทย์ต้องการโดยแทนให้ครบทุกตัว (ขั้นตอนที่ 1)

วัตถุดิบ Raw materials	Glaze Formular				
	K ₂ O	CaO	BaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
0.41 (K ₂ O. Al ₂ O ₃ .6 SiO ₂)	0.41	0.54	0.05	0.48	3.54
	0.41	-	-	0.41	2.46
0.54 (CaCO ₃)	-	0.54	0.05	0.07	1.08
	-	0.54	-	-	-
0.05 (BaCO ₃)	-	-	0.05	0.07	1.08
	-	-	0.05	-	-
0.07 (Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O)	-	-	-	0.07	1.08
	-	-	-	0.07	0.14
0.94 (SiO ₂)	-	-	-	-	0.94
	-	-	-	-	0.94

ตาราง 3 แสดงการคำนวณเคลือบให้อยู่ในรูปค่าร้อยละของวัตถุดิบ (ขั้นตอนที่ 2)

วัตถุดิบ Raw Materials	สูตรเคลือบคิดเป็นร้อยละ					
	จำนวน สมมูลย์	X	น้ำหนัก โมเลกุล	=	น้ำหนัก ส่วนผสม	ค่าร้อยละ
โปแตสเซิลด์สปาร์	0.41	X	556	=	227.96	62.23
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.54	X	100	=	54.00	14.74
แบเรียมคาร์บอเนต	0.05	X	197	=	9.85	2.71
ดินขาว	0.07	X	258	=	18.06	4.93
ควอทซ์	0.94	X	60	=	56.40	15.39
รวม					366.27	100.00

วิธีทำขั้นตอนที่ 1

นำออกไซด์ตามโจทย์มาเรียงใส่ไว้ในตารางโดยเรียงตามลำดับจากกลุ่มต่างจนครบคือ K_2O , CaO , BaO แล้วตามด้วยกลุ่มกลาง Al_2O_3 ต่อด้วยกลุ่มกรด SiO_2 พร้อมด้วยจำนวนสมมูลย์ของออกไซด์แต่ละตัวลงในบรรทัดล่างให้ตรงกัน จากนั้นพิจารณาถึงวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติของสารประกอบออกไซด์ ตามที่โจทย์ต้องการว่ามีวัตถุดิบตัวใดที่ให้ K_2O ซึ่งในหลักการต้องพยายามใช้รูปของเฟลสปาร์ ในกรณีนี้ต้องมีความรู้เรื่องสูตรทางเคมีของเฟลสปาร์ ว่าประกอบด้วยอะไรบ้างในที่นี้โจทย์ต้องการ K_2O จำนวนสมมูลย์ 0.41 ก็นำมาใส่ในช่องตารางของวัตถุดิบ ตามสูตรทางเคมีของเฟลสปาร์จะมีสารประกอบ Al_2O_3 และ SiO_2 รวมอยู่ด้วย ดังนั้นจำนวนสมมูลย์ของเฟลสปาร์ตามโจทย์นี้ก็คือ $0.41 \times (K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2)$ ซึ่งจะได้ $0.41 K_2O \cdot 0.41 Al_2O_3 \cdot 2.46 SiO_2$ แล้วก็นำจำนวนสมมูลย์ของสารประกอบออกไซด์แต่ละตัวไปใส่ในช่องตาราง หลังจากนั้นหักลบออกจากจำนวนเดิม แล้วจึงมาดูออกไซด์ตัวต่อไปคือ CaO ซึ่งวัตถุดิบที่ให้สารตัวนี้คือสารประกอบ $CaCO_3$ โดยใช้ตามจำนวนที่โจทย์ต้องการคือ 0.54 ออกไซด์ตัวต่อมาคือ BaO ก็ใช้วัตถุดิบคือ $BaCO_3$ ตามจำนวน 0.05 สำหรับ Al_2O_3 และ SiO_2 ให้ใช้รูปของดินให้มากที่สุด โดยเหลือจำนวนสมมูลย์ของ Al_2O_3 ที่ต้องแทนค่าอยู่ 0.07 ให้ใช้ดิน $0.07 \times (Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$ ซึ่งจะได้ $0.07 Al_2O_3 \cdot 0.14 SiO_2$ ดังนั้น SiO_2 จึงเหลือเพียง 0.94 จากเดิมที่ต้องการอยู่ 3.54 ที่เป็นเช่นเพราะได้รับผลจากการใช้วิธีการแทนค่าด้วยวัตถุดิบตัวอื่นคือ เฟลสปาร์ และดินไปบ้างแล้ว ฉะนั้น SiO_2 ส่วนที่เหลือนี้จะใช้ในรูปแบบของสารอิสระโดยวิธีการแทนค่าให้หมด ในปริมาณที่ต้องการคือ 0.94

วิธีทำขั้นตอนที่ 2

หลังจากการแทนค่าของจำนวนสารตามทีโอทย์ต้องการด้วยวัตถุบิตต่าง ๆ ในขั้นตอนที่ 1 ครบเสร็จสมบูรณ์แล้วก็จะได้จำนวนสมมูลย์ของวัตถุบิตทั้งหมด จากนั้นนำจำนวนสมมูลย์ของวัตถุบิตที่ได้มาจัดเรียงเป็นลำดับลงมาในตารางแล้วคูณด้วยน้ำหนักโมเลกุลของวัตถุบิตแต่ละตัวที่ได้จะเป็นน้ำหนักส่วนผสม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้นำไปปฏิบัติการเพื่อผสมเคลือบได้ แต่เพื่อความสะดวกในการที่จะนำไปใช้ปฏิบัติการควรนำไปคิดเป็นร้อยละโดยเทียบบัญญัติไตรยางค์จากผลรวมของน้ำหนักส่วนผสมซึ่งจะได้เปอร์เซ็นต์ของวัตถุบิตที่ใช้แต่ละตัว

5. การเตรียมเคลือบ

เมื่อมีสูตรส่วนผสมของเคลือบที่ต้องการจะนำไปทำเป็นน้ำเคลือบก่อนที่จะมีการผสมน้ำเคลือบนั้น จะต้องมีการตรวจสอบวัตถุบิตต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ว่ามีครบและมีจำนวนเพียงพอที่จะใช้หรือไม่ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงความสะดวกและมีความระมัดระวังในการใช้วัตถุบิตและเครื่องมือต่าง ๆ ให้เหมาะสม เพื่อจะได้เคลื่อนที่ถูกต้องที่สุด และประหยัดเวลาแรงงาน วัสดุต่าง ๆ (ปริดา พิมพ์ขาวขา. 2530 : 56) ซึ่งการเตรียมน้ำเคลือบจะต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ ได้แก่

1. วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำน้ำเคลือบ
2. ขั้นตอนในการเตรียมเคลือบ
3. สภาวะของผลิตภัณฑ์ที่นำไปเคลือบ
4. ความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบ
5. วิธีการเคลือบ

วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำน้ำเคลือบ วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการเตรียมน้ำเคลือบ ได้แก่ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 149 – 150)

วัตถุบิตต่าง ๆ วัตถุบิตที่ใช้ทำน้ำเคลือบที่สำคัญ ๆ ได้แก่ หินฟันม้า หินเขี้ยวหนุมาน หินปูน ฟริต ดิน ชีเก้ และที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ต่าง ๆ รวมถึงวัตถุบิตที่อยู่ในรูปออกไซด์ที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น เป็นตัวทำให้เคลือบทึบ เป็นสารให้สีต่าง ๆ สีสำเร็จรูป (Stain) และกาวยากระทิน เป็นต้น ซึ่งวัตถุบิตส่วนใหญ่จะได้รับการบดย่อยอย่างละเอียดมาแล้ว และเป็นการสะดวกต่อการนำไปใช้

เครื่องชั่ง เป็นเครื่องมือที่ใช้ชั่งน้ำหนักของวัตถุบิตต่าง ๆ ที่ใช้ในสูตรส่วนผสมของน้ำเคลือบซึ่งจะต้องมีทั้งชนิดชั่งได้อย่างละเอียดเป็นมิลลิกรัม หรือกรัม และชนิดที่สามารถชั่งได้ถึง 10 กิโลกรัม เครื่องชั่งจะต้องมีความเที่ยงตรง ก่อนใช้จะต้องมีการตรวจสอบความเที่ยงตรงทุกครั้ง และหลังจากการใช้จะต้องทำความสะอาดให้ดีและเรียบร้อยเสมอ การใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียดไม่ควรให้มีลมพัดโกรกได้ เพราะจะทำให้การชั่งขาดความเที่ยงตรง

เครื่องบด คือเครื่องมือที่ใช้ในการบดย่อยวัตถุบิตต่าง ๆ ให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น และคลุกกันเข้ากันได้ดี โดยมีเครื่องบดหลายขนาดและมีวิธีการให้เครื่องบดที่แตกต่างกันไป เช่น

โกรงบด มีให้เลือกใช้ได้หลายขนาดการใช้เป็นการบดด้วยมือในปริมาณที่ไม่มากนักโดยมีความละเอียดเพิ่มขึ้น แต่ให้วัตถุดิบคลุกเค้าเข้ากันได้ดี

หม้อบดเคลือบ (Pot – Mill) เป็นหม้อบดที่ใช้บดวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสูตรส่วนผสมของเคลือบ หรือใช้บดสูตรส่วนผสมของเนื้อดินนั้นจะทำให้วัตถุดิบต่าง ๆ มีความละเอียดเพิ่มขึ้นได้อย่างดี ตามระยะเวลาที่ใช้ในการบด เพราะเป็นการใช้เครื่องกลเป็นตัวขับเคลื่อนให้หม้อบดทำงานซึ่งปริมาณความจุของหม้อบดเคลือบมีขนาดความจุวัตถุดิบตั้งแต่ 2 กิโลกรัม 4 กิโลกรัม ซึ่งหม้อบดเคลือบลักษณะนี้จะผลิตขึ้นในขนาดความจุของน้ำหนักวัตถุดิบไม่เกินกำลังคนยกโดยตัวหม้อบดจะทำด้วยเนื้อพอร์สเลนอย่างหนา มีที่ล้อคฝาได้อย่างปิดสนิท การใช้หม้อบดเคลือบชนิดนี้จะไม่ใส่วัตถุดิบเข้าในหม้อบดจนเต็มจะต้องเหลือเนื้อที่ว่างภายในหม้อบดสำหรับใส่ลูกบดที่เป็นเนื้อพอร์สเลน เช่นกัน โดยมีขนาดของลูกบดเล็ก ใหญ่ ที่แตกต่างกันหลายขนาดและที่สำคัญจะต้องมีการผสมน้ำเข้าไปด้วย แล้วนำหม้อบดที่เตรียมเสร็จแล้วขึ้นเครื่องบด ซึ่งจะทำให้หม้อบดหมุนรอบตัวเอง ส่วนลูกบดจะเสียดสีวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลง

ตะแกรงร่อน หรือแร่ (Sieve) เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กรองน้ำเคลือบหลังจากที่ผ่านการบดย่อยเสร็จเรียบร้อยแล้ว ตะแกรงที่ใช้กับการกรองน้ำเคลือบส่วนมากจะใช้ตะแกรงเบอร์ 80 เมช (Mesh) ถึง 100 เมช

ขั้นตอนในการเตรียมน้ำเคลือบ การเตรียมน้ำเคลือบสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 101 – 102)

1. การชั่งส่วนผสม จะต้องให้ถูกต้องแน่นอนตรงตามสูตร
2. การบดผสม ถ้าเตรียมเคลือบจำนวนน้อย ๆ เพื่อทำการทดลองใช้โกรงบดผสมก็เพียงพอ แต่ถ้าต้องการเตรียมจำนวนมากและให้ได้สีสม่ำเสมอควรจะใช้หม้อบดมากกว่า ส่วนจะบดนานเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนผสมหรือชนิดของน้ำเคลือบ น้ำเคลือบบางชนิดถ้าบดนานเกินไปอาจจะมีผลให้เคลือบเปลี่ยนแปลงได้ เช่น เคลือบบอร์แรกซ์ แต่เคลือบบางชนิดต้องการเวลาบดที่นานพอสมควร เช่น เคลือบที่ใช้วิธีเคลือบโดยการพ่น การบดน้ำเคลือบโดยทั่วไปจะใช้น้ำผสมร้อยละ 30 ถึง 40 และน้ำที่ใช้ในการผสมน้ำเคลือบจะต้องสะอาดปราศจากตะกอนและมีสภาพเป็นกลาง

3. การกรอง น้ำเคลือบเมื่อผ่านการบดผสมเรียบร้อยแล้วจะต้องผ่านการกรองด้วยตะแกรง (Sieve) เพื่อให้ได้ความละเอียดตามต้องการ

สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์ (2541 : 151) กล่าวว่า

หลังจากเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วก็ดำเนินการชั่งวัตถุดิบต่าง ๆ ตามสูตรส่วนผสมของเคลือบ โดยวัตถุดิบตัวไหนที่ชั่งไปแล้ว ก็สมควรทำเครื่องหมายลงไปในกระดาษที่จดสูตรส่วนผสมของวัตถุดิบตัวนั้น ๆ เพื่อกันความผิดพลาดในการชั่งวัตถุดิบซ้ำกัน ทำให้อายุของสูตรน้ำเคลือบผิดไปเมื่อชั่งสูตรส่วนผสมของวัตถุดิบเสร็จแล้วก็นำมาบด การบดมีทั้งการบดแบบเปียก และแบบแห้ง การบดแบบเปียกคือ มีน้ำผสมอยู่ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 40

ของน้ำหนักระยะเวลาการบดขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของเม็ดวัตถุดิบที่ก่อนจะนำมาบดด้วยแต่ถ้าเป็นวัตถุดิบที่ผ่านการบดละเอียดมาแล้วการบดเคลือบจะใช้ระยะเวลาประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง ถ้ายังบดนานความละเอียดก็ยิ่งมากขึ้น ๆ การหลอมตัวของน้ำเคลือบจะหลอมเร็วขึ้นเช่นกัน

หลังจากที่น้ำเคลือบผ่านการบดละเอียดตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ก็นำเคลือบนั้นมากรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100 เมชแล้วนำเคลือบไปใช้ได้

สภาวะของผลิตภัณฑ์ที่นำไปเคลือบ สภาวะของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปเคลือบมี 2 สภาวะคือ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 102 – 103)

1. ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาวะเป็นดินดิบ (Green ware) การเคลือบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาพดินดิบนี้ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเปราะ บิ่นหักง่าย โดยเฉพาะถ้าใช้วิธีเคลือบแบบจุ่ม ต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ เพราะถ้าจุ่มเคลือบไม่เป็นอาจจะเกิดเหตุให้เนื้อผลิตภัณฑ์ยุบเสียหายได้ ผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้ไม่ควรใช้กับช่างฝึกหัดโดยเฉพาะตามสถานศึกษาต่าง ๆ ส่วนในโรงงานเซรามิกส์ขนาดใหญ่นิยมเคลือบผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้ เพราะทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานมาก แต่โดยมากมักจะเคลือบโดยวิธีพ่นเคลือบ

2. ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาวะเผาดิบ (Biscuit ware) ซึ่งนิยมเผากันในอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ถึง 900 องศาเซลเซียส ซึ่งดินจะมีความแข็งแกร่งขึ้นทำให้การจับต้องเคลื่อนย้ายได้สะดวก เนื้อผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวพอเหมาะที่จะดูดซับน้ำเคลือบได้ดี ถ้าเผาสูงเกินไปจะมีผลให้เคลือบไม่ค่อยติดเพราะเนื้อผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวน้อยเกินไป และถ้าเผาดำเกินไปก็จะมีผลให้เกิดตำหนิที่ผิวเคลือบได้ เนื่องจากความพรุนตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์จะมีมากทำให้ดูดน้ำเคลือบเข้าไปมากเกินไป อาจจะเป็นเหตุทำให้ผิวเคลือบขรุขระหรือผลิตภัณฑ์แตกได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ในสภาวะนี้เหมาะกับการนำไปใช้กับสถานศึกษารวมทั้งโรงงานเซรามิกส์ทั่ว ๆ ไป

สมศักดิ์ ขวาลาวณย์ (2541 : 151) กล่าวว่า

ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปเคลือบควรทำความสะอาดผลิตภัณฑ์เสียก่อน เพราะตัวผลิตภัณฑ์ถ้าทิ้งไว้นานฝุ่นละอองก็จะเกาะจับพื้นผิวผลิตภัณฑ์ ถ้านำผลิตภัณฑ์ไปชุบน้ำเคลือบเลยจะเป็นเหตุให้เคลือบร่อนหลุดจากผิวผลิตภัณฑ์ได้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีตำหนิ การทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ก็โดยวิธีการใช้ลมเป่าเพื่อให้ฝุ่นที่เกาะอยู่ฟุ้งกระจายออกจากตัวผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นก็ใช้ฟองน้ำจุ่มน้ำหมาด ๆ เช็ดพื้นผิวตัวผลิตภัณฑ์อีกครั้งหนึ่ง

ความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบจะเป็นตัวบ่งบอกความหนาแน่นของน้ำเคลือบที่จะนำไปใช้ให้เหมาะกับสภาวะของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปเคลือบ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาวะเป็นดินดิบ หรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านสภาวะการเผาดิบแล้ว ดังนั้นการนำน้ำเคลือบไปใช้จะต้องมีการปรับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบดังนี้ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 152)

น้ำเคลือบที่จะไปใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาพดินดิบความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบคือประมาณ 1.4 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้วใช้น้ำเคลือบที่มีความถ่วงจำเพาะคือประมาณ 1.7 ถึง 1.9

นอกจากนี้ พาร์เมลี (Parmelee. 1951 : 64) ได้สรุปว่า ความถ่วงจำเพาะสามารถวัดได้ด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้วได้แก่

Medium hard biscuit	1.5 – 1.6
Hard biscuit	1.6 – 1.7
Medium Soft biscuit	1.46 – 1.5

6. วิธีการเคลือบ

วิธีการเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นมีหลายลักษณะ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ความชำนาญของผู้เคลือบและผลที่ต้องการโดยมีวิธีการเคลือบดังนี้คือ (ภรดี พันธุภากร. 2534 : 163 – 164)

1. การชุบหรือจุ่ม การเคลือบวิธีนี้เป็นที่นิยมและสะดวก เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใหญ่จนเกินไป ทำได้รวดเร็ว และผิวเรียบสม่ำเสมอหมดจด ขณะเดียวกันระยะเวลาชุบต้องไม่นานเกินไปเพราะจะทำให้เคลือบเกาะหนา
2. การเทราด เป็นการใช้น้ำเคลือบเทราดลงบนภาชนะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ แต่ในขณะเดียวกัน การเทราดจะทำให้เห็นร่องรอยของน้ำเคลือบที่ทับซ้อนกันอยู่
3. การทา เป็นการใช้พู่กันจุ่มน้ำเคลือบและทาลงบนผลิตภัณฑ์ วิธีนี้เหมาะกับการทาในพื้นที่ขนาดเล็ก เพราะพู่กันและน้ำเคลือบจะทำให้เกิดร่องรอยของการทับซ้อนของเคลือบ และผิวผลิตภัณฑ์จะดูน้ำเคลือบเร็วมากจึงทำให้เคลือบไม่เรียบ ซึ่งการทาอาจเหมาะกับบางส่วนเพื่อการตกแต่งเท่านั้น
4. การพ่นด้วยเครื่องพ่น เป็นวิธีการที่ทำให้ได้เคลือบเรียบเสมอกัน แต่น้ำเคลือบที่เหมาะสมกับการพ่นนี้จะต้องมีความใส คือมีปริมาณของน้ำเพิ่มมากขึ้นเพื่อสะดวกต่อการพ่น การพ่นนี้อาจใช้พ่นเฉพาะภายนอก ถ้าผลิตภัณฑ์นั้นมีปากเล็กแคบก็ควรจะชุบเคลือบภายในเสียก่อน และไม่ควรรพ่นใกล้ผลิตภัณฑ์มากเพราะจะทำให้เป็นคลื่น เคลือบกระจายไม่ทั่ว

ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ (2537 : 31) กล่าวว่า การชุบเคลือบต้องควบคุมความหนา บางของเคลือบ เคลือบแต่ละชนิดใช้ขนาดความหนา บางไม่เท่ากัน เคลือบบางชนิดต้องชุบหนาเป็นพิเศษ มีความหนา 2 มิลลิเมตร โดยตลอดแต่โดยปกติแล้วเคลือบก่อนเผามีความหนาประมาณ 1 – 1.5 มิลลิเมตรบนผิวผลิตภัณฑ์เผาดิบ สีของเคลือบเปลี่ยนแปลงได้ง่ายหลังการเผา ถ้าชั้นของเคลือบหนา บางไม่เท่ากัน ทำให้คุณภาพของสีเคลือบและผิวเคลือบเปลี่ยนแปลงไปด้วย ภรดี พันธุภากร (2534 : 164) กล่าวเพิ่มเติมว่า การเคลือบผลิตภัณฑ์นี้จะไม่ให้หนาหรือบางจนเกินไป โดยเฉพาะ

การชุบเคลือบเพราะถ้าแช่ผลิตภัณฑ์ในน้ำเคลือบนาน น้ำเคลือบจะเกาะผิวจนหนา ถ้ามีการเคลือบทั้งภายในและภายนอกควรเคลือบภายในก่อน ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วค่อยเคลือบภายนอก เพราะมีฉะนั้นผลิตภัณฑ์จะไม่ดูดซึมน้ำเคลือบในส่วนของผิวภายนอกเมื่อเคลือบเรียบร้อยแล้วต้องมีการทำความสะอาดส่วนล่างสำหรับวางกับพื้นของตัวผลิตภัณฑ์ เพื่อมิให้น้ำเคลือบในส่วนดังกล่าวไหลเยิ้มลงมาติดพื้นเตาทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย

7. การเผาเคลือบ (Glost Firing)

การเผาเคลือบเป็นการเผาเพื่อให้ น้ำเคลือบที่ติดอยู่บนพื้นผิวผลิตภัณฑ์เกิดการหลอมละลายกลายเป็นเนื้อแก้วอยู่บนพื้นผิวผลิตภัณฑ์โดยติดเป็นเนื้อเดียวกันจะมันแวววาวหรือด้านก็ได้ เคลือบและเนื้อผลิตภัณฑ์จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยเนื้อดินจะสุกตัวเพิ่มขึ้นเช่นกันสามารถทนกรดและด่างได้ ของเหลวหรือน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้หรือซึมผ่านได้น้อย (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 254)

ปริดา พิมพ์ขาวขำ (2539 : 349 - 351) กล่าวถึงการเผาเคลือบจะเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

1. ระยะการรอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ดิบเมื่อชุบเคลือบ ส่วนผสมของเคลือบจะเกาะบนผิวผลิตภัณฑ์เป็นชั้นบาง ๆ ส่วนผสมของเคลือบอาจประกอบด้วยฟrit หินแก้ว แคลเซียมคาร์บอเนต ตะกั่ว คาร์บอเนต หินฟันม้า ดิน และน้ำ บางกรณีจะมีสารอินทรีย์ที่ช่วยทำให้เกิดความเหนียวเมื่อเริ่มเผาความชื้นจะถูกขจัดออกไป ความหนาของชั้นเคลือบจะลดลงพร้อมกับมีการหดตัว ถ้าเคลือบมีการเตรียมที่ดีจะมีการหดตัวน้อยมาก ถ้าชั้นของเคลือบมีคุณสมบัติยึดหยุ่นตัวที่ดี เคลือบจะไม่แตกกระแหงเนื่องจากความเครียด อย่างไรก็ตามถ้าเคลือบมีดินมากเกินไป มีการบดละเอียดมากเกินไป หรือชุบเคลือบหนาไป จะทำให้เกิดการแตกกระแหงหลังการชุบเคลือบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เคลือบเกิดการตั้งตัวและเคลือบติดผลิตภัณฑ์เป็นหย่อม ๆ

2. การออกซิเดชันพวกสารอินทรีย์ ระหว่างอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสถึง 600 องศาเซลเซียส อินทรีย์สารจำนวนหนึ่งจะถูกออกซิไดซ์ จะทำให้ชั้นของเคลือบพรุนตัวมากขึ้นร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 50

3. การขจัดกลุ่มไฮดรอกไซด์ (OH) ออกจากดินที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเช่นกัน กลุ่มไฮดรอกไซด์ในโครงสร้างของดินจะถูกขจัดออกไป ซึ่งจะทำให้ชั้นของเคลือบพรุนตัวมากขึ้น

4. จุดเริ่มต้นการเกิดแก้ว ที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส ในเคลือบที่มีฟritจะเริ่มเยิ้มตัวและละลายส่วนผสมอื่น ๆ ในเคลือบชนิดอื่น ๆ จุดเริ่มต้นของการเกิดแก้วจะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าแต่ในทุกกรณีจะมีแก้วเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

5. การละลายของวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมของเคลือบ เมื่อเริ่มเกิดแก้วขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของเนื้อแก้วจะมีมากขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบอื่น ๆ ละลายลงไปในเนื้อแก้ว มีแต่หินแก้วเท่านั้นคงทนอยู่ได้ และสามารถทนอยู่ได้จนเกือบถึงจุดสุกตัวของเคลือบ การละลายของหินแก้วทำให้มีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เคลือบไหลตัวได้ดีเกินไป

6. การกำจัดพวกฟองอากาศ ชั้นของส่วนผสมของเคลือบขณะชุบเคลือบใหม่ ๆ จะมีรูพรุนร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 50 ซึ่งจะมีอากาศอยู่เต็มขณะส่วนผสมของเคลือบหลอมตัวฟองอากาศบางส่วนจะหนีออกไปได้ แต่ส่วนใหญ่จะถูกกักอยู่ในเนื้อเคลือบ นอกจากนี้ยังมีฟองอากาศที่เกิดจากการสลายตัวของพวกคาร์บอนเตในวัตถุดิบที่ใช้ทำส่วนผสมของเคลือบที่จุดสุกตัวของเคลือบ ความหนืดของเคลือบจะลดลง ฟองอากาศส่วนใหญ่จะลอยตัวขึ้นมาที่ผิวเคลือบและหนีออกไปเหลือหลุมเล็ก ๆ บนผิวเคลือบและจะหายไปในที่สุด

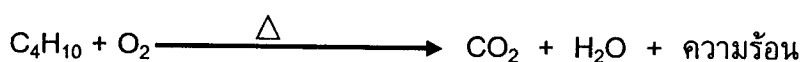
7. ปฏิกริยาระหว่างเนื้อเคลือบกับเนื้อผลิตภัณฑ์ เนื้อเคลือบจะละลายเนื้อผลิตภัณฑ์ตรงบริเวณที่สัมผัสกัน แต่การละลายจะไม่เท่ากันทุกจุด ดังนั้นจะทำให้เกิดผิวขรุขระและทำให้เคลือบติดกับเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ดี นอกจากนี้ พวกเคลือบด้านหรือเคลือบมีลักษณะเหมือนเปลือกไข่ เคลือบแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดผลึกที่ผิวเคลือบ เคลือบที่มีแคลเซียมออกไซด์สูงจะพบผลึกของอะนอร์ไทต์ และวอลแลสโตไนต์ จะพบผลึกของวิลเลมไมต์ในเคลือบที่มีสังกะสี

ทวี พรหมพุกษ์ (2523 : 156) กล่าวว่า เทคนิคการเผาเคลือบการเผาเคลือบที่ดี ควรปรับอัตราเร่งอุณหภูมิให้สัมพันธ์กับระยะเวลาการเผา คือเร่งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสถึง 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่และค่อนข้างหนาควรยืดเวลาในการเผาช้ากว่านี้ การเผาเคลือบไม่ควรเร่งรัดการเผาให้เร็วเกินไป การเผาที่ใช้โคน (Cone) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิประกอบด้วยนั้น ภายหลังจากที่โคนลัมแล้วควรเผายืนไฟ (Soaking Time) ไว้อีกประมาณครึ่งชั่วโมง จะทำให้การเผาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การปิดเตาภายหลังจากการเผาเคลือบได้ที่แล้ว ควรปล่อยให้เตาทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ให้อุณหภูมิในเตาเผาค่อย ๆ เย็นลงอัตราจะความร้อนควรใช้ 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตกเสียหายได้

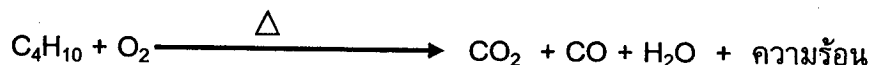
8. บรรยากาศในการเผา (Firing Atmosphere)

การเผาในทางเซรามิกส์หรือเครื่องปั้นดินเผาคือการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์ถึงจุดสุกตัวในส่วนของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบในเตาเผาได้บรรยากาศที่เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยบรรยากาศการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้ (สมศักดิ์ ชาวลาวัณย์, 2541 : 260 – 263)

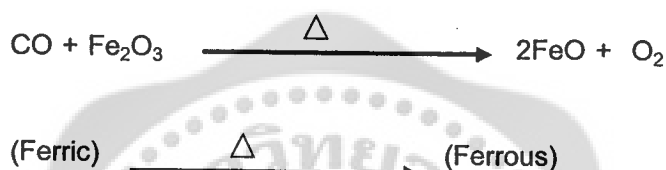
1. เผาแบบออกซิเดชัน (Oxidation Firing) เป็นการเผาที่ปล่อยให้อากาศหรือออกซิเจนเข้าร่วมตัวกับเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เช่น ใช้เชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส



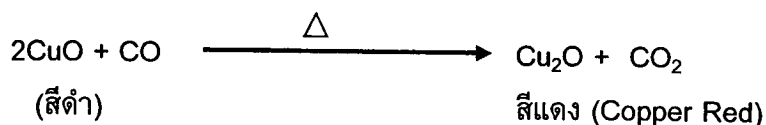
2. เเผาแบบรีดักชัน (Reduction Firing) คือการเผาที่ให้ปริมาณของเชื้อเพลิงสูงภายในเตาจะทำให้อากาศเข้าไปในเตาน้อยกว่าและมีผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่ด้วย



การเผาแบบรีดักชันนี้จะมีผลต่อเนื้อดินปั้น เพราะทำให้เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่มีอยู่ในดินเปลี่ยนจาก Ferric Form เป็น Ferrous Form ทำให้ดินเกิดเป็นสีครามอ่อนขึ้น ทำให้ดูเนื้อดินปั้นขาวขึ้น



เพราะบรรยากาศการเผาแบบรีดักชันจะเป็นการช่วยให้เกิดการฟอกสีของเนื้อดินปั้นให้ขาวขึ้นเนื่องจากเหล็กออกไซด์ในเนื้อดินที่ผ่านการเผาวิธีนี้จะอยู่ในสภาพเฟอร์รัสออกไซด์ (FeO) ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำสุดจะทำให้สีเนื้อดินออกเป็นสีครามอ่อนมากทำให้กลืนสภาพสีของเนื้อดินตามปกติที่มีสีออกขาวเหลืองเล็กน้อย จึงทำให้ดูเนื้อดินปั้นที่เผาในบรรยากาศรีดักชันมีความขาวเพิ่มขึ้น และจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในเคลือบโดยเฉพาะใช้คอปเปอร์ออกไซด์ (Black Copper) เเผาในบรรยากาศรีดักชันจะเกิดเป็นสีแดงได้ แต่ถ้าเผาแบบออกซิเดชันจะได้สีเขียวใช้กาเนื่องจากการเผาแบบรีดักชันบรรยากาศภายในเตาเผาจะมีก๊าซออกซิเจนน้อยจึงทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ขึ้นด้วย ซึ่งบรรยากาศการเผาขณะที่เชื้อเพลิงลุกไหม้แบบที่จะต้องการก๊าซออกซิเจนเพิ่มจึงทำให้ไปแย่งออกซิเจนจากสารประกอบต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ได้แก่ Black Copper (CuO) จึงถูกบรรยากาศในเตาเผาแย่งเอาก๊าซออกซิเจนไปด้วย



จึงทำให้เคลือบสีเขียวจากคอปเปอร์กลายเป็นเคลือบสีแดงที่ได้จากคอปเปอร์ภายใต้บรรยากาศการเผาแบบรีดักชัน และเคลือบที่ใช้เหล็กออกไซด์เป็นสารให้สีถ้าเผาในบรรยากาศรีดักชัน จะเกิดเป็นสีเขียวได้ แต่ถ้าเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้สีน้ำตาล เป็นต้น ดังนั้นบรรยากาศการเผาแบบรีดักชันจึงมีความสำคัญเพราะมีผลต่อเนื้อดินปั้น และสารให้สีในเคลือบ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากการเผาแบบออกซิเดชัน

วิธีการเผาแบบบรรยากาศออกซิเดชันกับเตาแช่เทิล (Shuttle Kiln) ที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง โดยการเผานั้นจะมีหลักการอยู่ว่าจะต้องทำให้บรรยากาศการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นไปอย่างสมบูรณ์โดยมีก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอหรือมากเกินไปซึ่งทำได้โดยการเปิดแอมเปอร์หรือแผ่นควบคุมความร้อนของเตาให้หมด ซึ่งจะต้องทำการปรับหัวพ่นไฟ (Burner) ให้เกิดการเผาไหม้โดยเร็วพอที่จะไล่แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ให้หลุดออกจากเตาไปโดยเร็วที่สุด พร้อมกับการตรวจสอบโดยการวัดความดันแก๊สภายในเตาเผาโดยดูโมโนมิเตอร์ (Monometer) ความดันของแก๊สจะต้องเป็นลบ การตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งก็โดยการดูและสังเกตจากการนำเทียนไขที่จุดไฟไปจ่อตรงช่องดูไฟ ถ้าเปลวไฟของเทียนไข เอนเข้าหาเตาแสดงว่าบรรยากาศในเตาเผาเป็นแบบออกซิเดชัน ส่วนการเผาบรรยากาศแบบรีดักชัน คือการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์เพราะภายในเตาเผามีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดเขม่าควัน และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ขึ้นภายในเตาด้วย ซึ่งการเผาบรรยากาศแบบรีดักชันนี้อุณหภูมิความร้อนจะขึ้นช้ากว่าการเผาแบบออกซิเดชัน จึงทำให้ใช้วิธีการเผาผลิตภัณฑ์เริ่มต้นด้วยบรรยากาศแบบออกซิเดชันไปจนถึงอุณหภูมิความร้อนโดยประมาณ 950 - 1,100 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการปรับเปลี่ยนบรรยากาศการเผาเป็นแบบรีดักชัน โดยการเลื่อนปิดแผ่นควบคุมความร้อนของเตาเผาเข้าไปโดยประมาณครึ่งหนึ่งของแผ่นควบคุมความร้อนที่มีอยู่พร้อมกับการตรวจสอบการวัดความดันแก๊สภายในเตาเผาโดยดูโมโนมิเตอร์ (Monometer) ความดันของแก๊สจะต้องเป็นบวก การตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งก็โดยการดูและสังเกตจากการนำเทียนไขที่จุดไฟไปจ่อตรงช่องดูไฟ ถ้าเปลวไฟของเทียนไขเบนออกห่างจากตัวเตาแสดงว่าบรรยากาศภายในเตาเผาเป็นแบบรีดักชัน แล้วเผาต่อไปจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดอาจจะมีการแช่อุณหภูมิความร้อนให้คงที่สักครู่ก่อนทำการปิดเตาเผา

การตรวจสอบบรรยากาศการเผาควรใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจน เช่น เครื่องวัดออกซิเจน (O_2 Meter) และเครื่องวัดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO Meter) แบบเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการควบคุมบรรยากาศการเผาที่ได้มาตรฐาน

สมศักดิ์ ขวาลาวัญย์ (2541 : 263) กล่าวเพิ่มเติมว่า ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์หรือเครื่องปั้นดินเผาไม่ว่าจะใช้เตาฟืน เตาแก๊ส เตาน้ำมัน หรือเตาไฟฟ้า ควรจะมีการบันทึก หรือจดประเภทของผลิตภัณฑ์ รูปแบบขนาดสัดส่วน วิธีการเรียงผลิตภัณฑ์ในเตาเผา จำนวนปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เผาในแต่ละครั้งอุณหภูมิที่กำหนดของเคลือบอุณหภูมิที่กำหนดในแต่ละช่วงของการเผาบรรยากาศการเผาที่ใช้ การเร่งอุณหภูมิ และที่สำคัญควรจะทำกราฟอุณหภูมิความร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงอุณหภูมิความร้อน การปรับบรรยากาศการเผาจากออกซิเดชันเป็นรีดักชัน ช่วงการเผาเย็นไฟ ช่วงปิดเตาโดยให้มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาของการเผาเตาตามที่กำหนดขึ้นในแต่ละช่วงแต่ละตอนเพื่อที่จะเก็บไว้เป็นข้อมูลสำหรับการเผาผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมือนกันในครั้งต่อไป เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดโดยจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียได้

9. เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln)

เตาเผาไฟฟ้า เป็นเตาที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันเพราะใช้สะดวก ควบคุมง่าย ไม่มีเสียงรบกวน และมีความปลอดภัยสูง เตาเผาไฟฟ้าที่ใช้จะมีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่โดยใช้ขดลวดความร้อนเป็นตัวแผ่รังสีความร้อนอยู่ภายในเตา มีผนังอิฐทนไฟเป็นตัวรองรับอยู่โดยรอบเตา ดังนั้นการให้ความร้อนของเตาไฟฟ้าจึงไม่มีเปลวไฟ เขม่าควัน หรือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เกิดขึ้นจึงทำให้บรรยากาศการเผาของเตาไฟฟ้าเป็นแบบออกซิเดชันโดยสมบูรณ์ เตาเผาไฟฟ้าสามารถเผาได้ทั้งอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงขึ้นอยู่กับการควบคุมการเผาตามอุณหภูมิที่ต้องการ โดยไม่เกินจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้ตามข้อจำกัดประสิทธิภาพของเตาที่มีอยู่ (สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. 2541 : 230) ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 151) ได้สรุปข้อดีของเตาเผาไฟฟ้าไว้ดังนี้

1. ให้อุณหภูมิสม่ำเสมอใช้ได้ผลดีที่สุด
2. การควบคุมการเผา และควบคุมอุณหภูมิได้สะดวก
3. เป็นเตาเผาที่สะอาดที่สุด เพราะไม่มีเปลวไฟไม่มีควันหรือเขม่า
4. สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย
5. บรรยากาศในเตาเผาเป็นแบบออกซิเดชันจึงไม่ทำให้ผิวเคลือบ หรือสีเคลือบเปลี่ยนแปลง เพราะไม่มีปฏิกิริยากับเคลือบ

10. เตาเผาแก๊สแบบระบายความร้อนลง (Gas Down Draft Kiln)

เป็นเตาเผาที่มีการออกแบบแล้วก่อกำขึ้นในลักษณะเป็นเตาชนิดที่มีปล่องติดต่อกับช่องทางเดินความร้อน ซึ่งอยู่ใต้เตา ส่วนปล่องระบายความร้อนและควันจะอยู่นอกเตาโดยความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่ แก๊ส จะเริ่มระบายความร้อนจากส่วนล่างที่อยู่ด้านข้างของเตาตรงส่วนที่ติดตั้งหัวพ่นเชื้อเพลิง (Burner) พุ่งขึ้นสู่หลังคาเตาซึ่งเป็นส่วนโค้งแล้วกลับระบายลงสู่พื้นเตาไปช่องทางเดินความร้อนที่พื้นเตาและออกสู่ปล่องระบายความร้อนหรือควันด้านนอก ซึ่งทำให้สามารถนำความร้อนจากปล่องนี้ไปใช้ต่อเข้ากับเตาเผาอีกเตาหนึ่งได้ เพราะปล่องระบายความร้อนนี้จะร้อนจัดอยู่เสมอจึงนำความร้อนจากปล่องนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ใช้พัดลมดูดความร้อนจากปล่องมาเข้าเตาเผาอีกใบหนึ่ง เพื่ออบภาชนะหรือผลิตภัณฑ์ที่จัดเรียงบรรจุไว้ในเตาเผาเรียบร้อยแล้ว เป็นการไล่ความชื้นให้ผลิตภัณฑ์อีกเตาหนึ่งเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงในการเผา เตาเผาชนิดนี้เป็นเตาที่ให้ความร้อนได้สูงเพราะสามารถเก็บกักความร้อนภายในเตาไว้ได้นานก่อนที่ความร้อนจะไหลออกสู่ปล่องระบายความร้อนหรือควันด้านนอก (สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. 2541 : 232 – 236)

11. การวัดอุณหภูมิความร้อน

ในการเผาไหม้หรือเผาเคลือบมีความจำเป็นจะต้องทราบถึงอุณหภูมิความร้อนภายในเตาเผาที่ถูกต้อง ถ้าไม่ทราบอุณหภูมิภายในเตาเผา จะทำให้การเผาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เกิดการเสียหายได้ เช่น การเผาเคลือบไม่สุก หรืออาจจะเผาเคลือบเลยอุณหภูมิที่กำหนดจะทำให้เคลือบไหลย้อยติดชั้นรองเตาหรือติดพื้นเตา เป็นต้น

ในปัจจุบันการวัดอุณหภูมิความร้อนภายในเตาเผานิตต่าง ๆ ไม่ใช่เรื่องยาก เพราะปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมาก จึงทำให้มีเครื่องวัดอุณหภูมิภายในเตาเผามีหลายชนิดหลายแบบสามารถวัดอุณหภูมิความร้อนได้อย่างละเอียดถี่ถ้วน และวัดได้ในอุณหภูมิที่สูงมาก เพราะการวัดอุณหภูมิความร้อนภายในเตาเผาที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญต่อการเผาผลิตภัณฑ์ให้ดีและสมบูรณ์ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 256)

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการวัดอุณหภูมิโดยการใช้อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิความร้อนภายในเตาเผานิตที่มีประสิทธิภาพสูงวัดอุณหภูมิได้เที่ยงตรงคือ

1. ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer)
2. ไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone)
3. ออปติคัลไพโรมิเตอร์ (Optical Pyrometer)

ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer)

ไพโรมิเตอร์อาศัยหลักเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารหนึ่ง เมื่อสัมผัสกับสารต่างชนิดแล้วจุดสัมผัสนั้นได้รับความร้อนจะเกิดค่าความแตกต่างของศักดาไฟฟ้าขึ้นค่าหนึ่งคือเกิด Difference Electrical Potential ค่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ้าเพิ่มอุณหภูมิหรือลดอุณหภูมิที่จุดสัมผัสนั้น ดังนั้นเมื่อจุดสัมผัสนี้ได้รับความร้อนภายในเตาเผาจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าที่ต่อมายัง ไพโรมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้นอกเตาบอกค่าอุณหภูมิความร้อนภายในเตาเผาเป็นตัวเลขของจำนวนองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮต์ จากหลักการอันนี้ก็สามารถวัดอุณหภูมิความร้อนได้สูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส โดยมีชื่อเรียกเครื่องวัดอุณหภูมิความร้อนแบบนี้ว่า Electrical Thermocouple หรือ Thermocouple Pyrometer ซึ่งเครื่องวัดอุณหภูมิความร้อนชนิดนี้ ปัจจุบันก็ยังนิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 256)

ไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone)

ไพโรเมตริกโคนหรือเรียกชื่อสั้น ๆ ว่า โคน (Cone) โคนเป็นวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้วัดอุณหภูมิความร้อนภายในเตาเผานิยมใช้กับการเผาเคลือบที่กำหนดอุณหภูมิโดยประมาณในช่วงอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แล้วไปเทียบตามหมายเลขและการทนไฟของโคน นั้น

โคนหรือหุ่นทนไฟวัดอุณหภูมิทำขึ้น โดยใช้หลักเกณฑ์การใช้สูตรส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์นำมาผ่านกระบวนการความร้อนจะเกิดการหลอมตัวได้ ณ ที่อุณหภูมิหนึ่ง วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำโคน ก็ได้แก่ ดิน หินฟันม้า หินเขียวหุนมาน และ

สารประกอบตัวอื่นที่ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) วัดอุณหภูมิเหล่านี้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงและเมิดละเอียดแล้วนำไปซึ่งตามสูตรส่วนผสมที่คิดคำนวณขึ้นเป็นสูตรต่าง ๆ นำไปบดให้ส่วนผสมของวัดอุณหภูมิเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันและละเอียดขึ้น โดยใช้หน้าที่ผสมกับกาวที่ทำจากอินทรีย์สารเล็กน้อยแล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแท่งสามเหลี่ยมปลายแหลม ฐานตัดมุมเอียง 82 องศา แล้วนำเข้าเตาเผาทดสอบเทียบอุณหภูมิว่าสูตรส่วนผสมใดที่หลอมตัว ณ ที่อุณหภูมิที่กำหนดนั้น เป็นต้น (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 257)

โคน หรือท่อนทนไฟวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐานมีจำหน่ายและเป็นที่นิยมใช้อยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 257 – 258) เซเกอร์โคน (Seger Cone) ใช้กันในประเทศญี่ปุ่น เยอรมันนี ส่วนออร์ตันโคน (Orton Cone) ใช้กันในประเทศสหรัฐอเมริกา และยุโรป รวมถึงประเทศไทยด้วย โดยออร์ตันโคนจะมีอยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก จะทำเป็นรูปลักษณะที่เป็นแท่งสามเหลี่ยมปลายแหลมฐานตัดทำมุมเอียง 82 องศา โดยมีการทำสัญลักษณ์ที่เป็นหมายเลขอยู่บนลำตัว โคนจะมีตั้งแต่ 022 เทียบอุณหภูมิความร้อนได้เท่ากับ 585 องศาเซลเซียส จนถึง 42 เทียบอุณหภูมิความร้อนได้เท่ากับ 2,015 องศาเซลเซียส การใช้โดยการตรวจสอบเบอร์ โคนและอุณหภูมิที่เทียบได้ จากตารางท่อนทนไฟวัดอุณหภูมิชนิดออร์ตันโคน โคนนี้จะใส่เตาเผาตั้งไว้ในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นได้จากภายนอกเตาตรงกับช่องดูไฟ

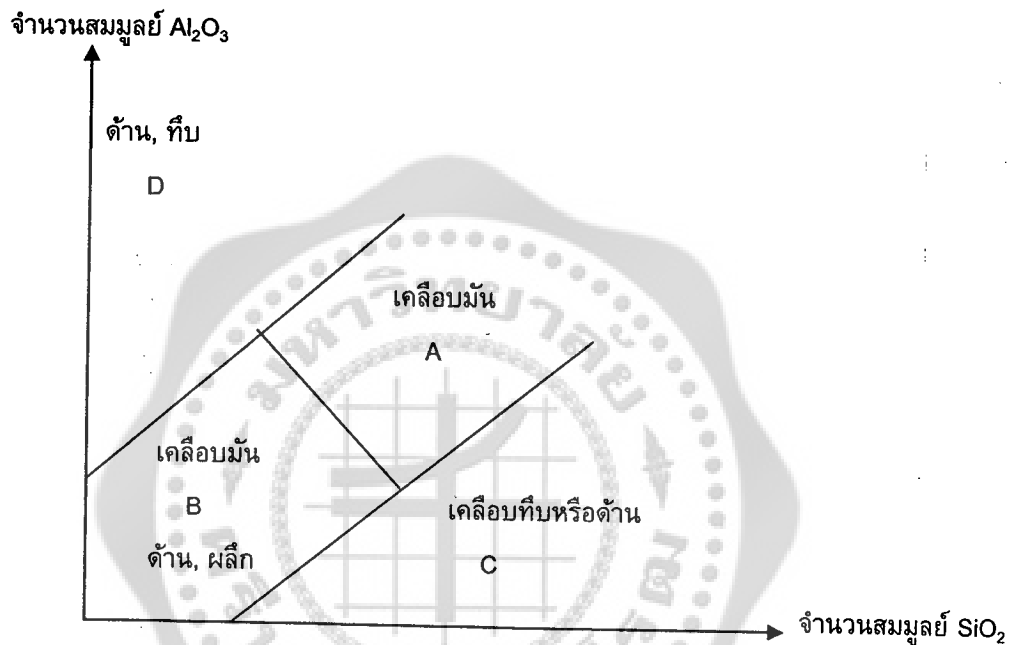
สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์ (2541 : 258) ได้เพิ่มเติมว่า การนำโคนไปใช้วัดอุณหภูมิความร้อนในเตาฟืน เตาแก๊ส หรือเตาน้ำมัน ซึ่งมีบรรยากาศการเผาเป็นแบบรีดักชั่น บรรยากาศการเผานี้มีผลต่อการลัมตัวของโคนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลัมเร็ว ลัมช้าได้ เพราะผลจากเปลวไฟและเขม่าควัน จึงควรใช้ร่วมกับเครื่องวัดอุณหภูมิอื่น ๆ เช่น Thermocouple Pyrometer เพื่อทำการตรวจสอบอุณหภูมิความร้อนภายในเตาให้ถูกต้องมากขึ้น เป็นต้น

ออฟทิกัลไพโรมิเตอร์ (Optical Pyrometer)

ออฟทิกัลไพโรมิเตอร์ คือ อุปกรณ์หรือเครื่องมือการวัดอุณหภูมิด้วยการเทียบสีจากเปลวไฟ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่วัด อุณหภูมิที่ไม่ได้ติดตั้งไว้กับตัวเตาจึงเป็นการสะดวกในการนำไปใช้เพราะสามารถใช้ได้ทุกโอกาสและทุกเวลาที่ต้องการ การวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องออฟทิกัลไพโรมิเตอร์นี้คือการวัดความเข้มของแสงโดยการหักล้างส่องที่ภายในมีเลนส์ทำหน้าที่รวมแสงโดยส่องผ่านช่องดูไฟเข้าไปในที่วางผลิตภัณฑ์ซึ่งจะมีความเข้มของแสงที่แผ่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่เผาอยู่โดยจะมีคลื่นความยาวของแสงที่แสดงออกมาเป็นเส้นแสดงออกมาที่หน้าปัดเครื่องวัด โดยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กระแสไฟจากแบตเตอรี่ (Battery) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับตารางอุณหภูมิสามารถอ่านค่าของอุณหภูมิได้เลย อุปกรณ์ชนิดนี้มักจะนำไปใช้ควบคู่กับอุปกรณ์เครื่องมือที่วัดอุณหภูมิความร้อนชนิดอื่น ๆ ด้วยเพื่อความแม่นยำ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 260)

12. การจัดแบ่งลักษณะของเคลือบตามอัตราส่วนผสมของอลูมินาและซิลิกา

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ (ม.ป.ป. : 22) กล่าวว่า ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำน้ำเคลือบชนิดต่าง ๆ โดยใช้สูตรของเซเกอร์ โดยมีการกำหนดให้จำนวนสมมูลย์ของกลุ่มต่างทั้งหมด (RO , R_2O) นั้นคงที่ แล้วศึกษาผลของเคลือบที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของอลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) จากขอบเขตที่กำหนดขึ้นดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงบริเวณที่เกิดเป็นเคลือบแต่ละชนิด

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ.
ม.ป.ป. : 22.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (ม.ป.ป. : 23 – 24) ได้อธิบายภาพประกอบ 4 โดยสรุปว่า

บริเวณ A จำนวนสมมูลย์ของอลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) จะมีปริมาณมาก อัตราส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาจะมีค่า 1 ต่อ 8 ถึง 1 ต่อ 10 จะเป็นบริเวณที่เคลือบมีลักษณะเป็นเคลือบใส เคลือบชนิดนี้เป็นเคลือบที่มีการไหลตัวน้อย อุณหภูมิที่หลอมละลายหรือจุดสุกตัวของเคลือบค่อนข้างสูงจึงเป็นเคลือบที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่เผาไฟสูงที่ใช้เนื้อดินชนิดปอร์สเลนและเคลือบบริเวณนี้สามารถทำให้เป็นเคลือบทึบได้ง่ายด้วยการเติมสารพวกเซอร์คอน ($ZrSiO_4$) หรือดีบุกออกไซด์ (SnO_2)

บริเวณ B จำนวนสมมูลย์ของอลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) จะมีจำนวนน้อยลักษณะของเคลือบในบริเวณนี้ นอกจากจะมีลักษณะเป็นเคลือบใสแล้วยังมีลักษณะเป็นเคลือบด้านและ

เคลือบผลึก (Crystalline Glaze) อีกด้วย เคลือบสีที่เกิดบริเวณนี้สุกตัวได้ง่ายและค่อนข้างไหลตัวดี ในภาวะที่เคลือบสุกตัวมีความวาวดีมากได้แก่เคลือบสีของเคลือบพวกซีเถ้าไม้ (Wood Ash) จะอยู่ในบริเวณนี้เอง ดังนั้นในบางครั้งเขาก็เรียกเคลือบในบริเวณนี้ว่า “เคลือบซีเถ้า” ส่วนเคลือบด้านที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้นี้ก็เรียกว่า “เคลือบด้านพวกต่าง”

บริเวณ C เป็นบริเวณที่มีจำนวนสมมูลของอลูมินาต่ำและจำนวนสมมูลของซิลิกาอาจมีตั้งแต่ต่ำไปจนถึงมากเคลือบในบริเวณนี้ ส่วนมากจะเป็นเคลือบทึบหรือเคลือบด้าน ถ้าในเคลือบมีสังกะสีออกไซด์ (ZnO) มากในบริเวณนี้ก็จะทำให้เคลือบทึบได้เช่นกัน

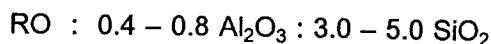
บริเวณ D เป็นบริเวณที่มีจำนวนสมมูลของซิลิกา (SiO_2) ต่ำและมีจำนวนสมมูลของอลูมินา (Al_2O_3) ผันแปรไปตั้งแต่ต่ำไปหามาก บริเวณนี้ส่วนมากแล้วจะเป็นเคลือบด้าน หรือบางทีก็เรียกว่าเป็น “เคลือบด้านดินขาว” แต่มีข้อยกเว้นอยู่เช่นกันคือถ้าในเคลือบในบริเวณนี้มีสังกะสีออกไซด์ (ZnO) อยู่มาก ก็สามารถทำให้เคลือบกลายเป็นมันทึบได้เช่นกัน

สรุปที่ดี โกลิยพันธ์ (2527 : 17) กล่าวว่า เราสามารถบอกได้ว่าเป็นเคลือบชนิดใดได้ โดยดูจากอัตราส่วนผสมระหว่างอลูมินาและซิลิกา คือ

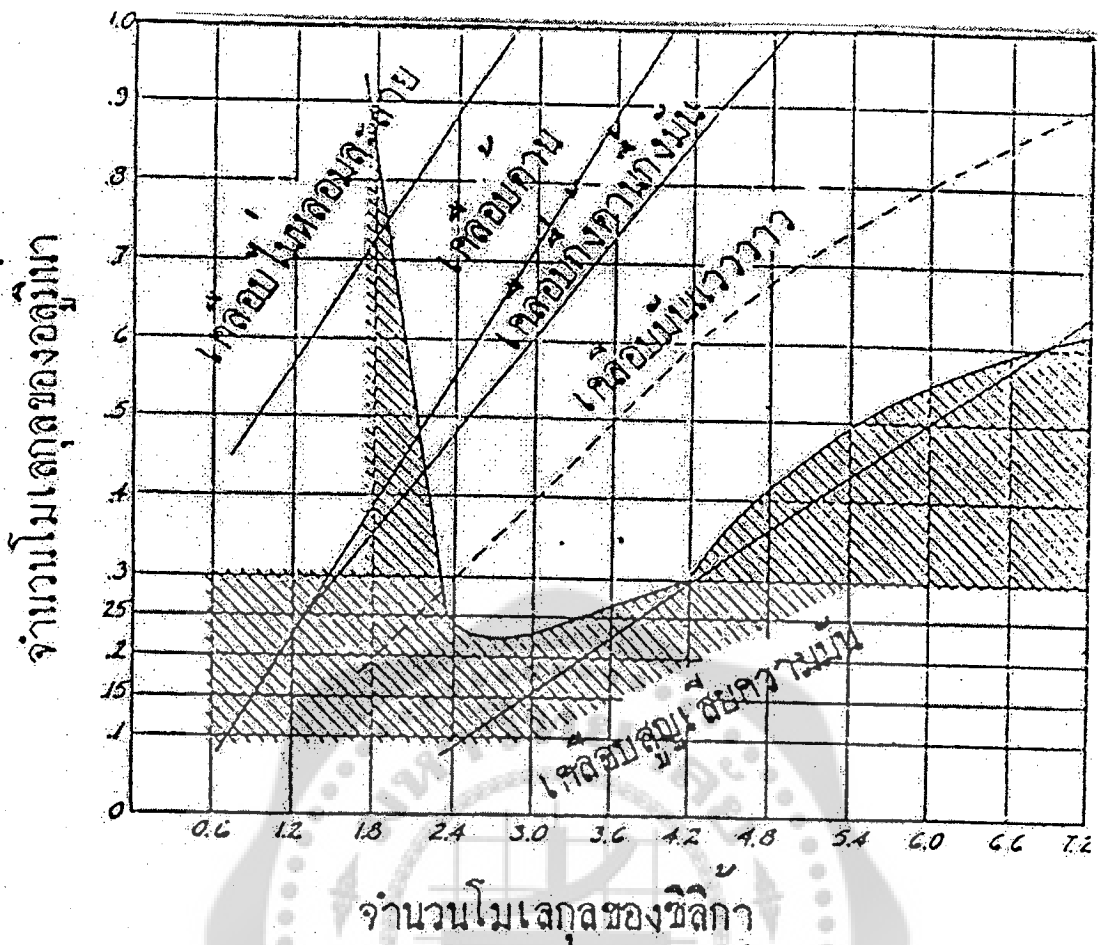
อลูมินา (Al_2O_3) ต่อ ซิลิกา (SiO_2)	ชนิดของเคลือบ
1 : 2.5 – 5	เคลือบด้าน
1 : 7 – 12	เคลือบสี
1 : 15 – 20	เคลือบผลึก

พาร์เมลี (Parmelee. 1975 : 156 – 158) ได้เสนอข้อจำกัดของจำนวนโมเลกุล (Molecular equivalent) ของอลูมินาและซิลิกาในเคลือบซึ่ง โฮแมน เซกเกอร์ (Homan Segger) กล่าวไว้หลายปีมาแล้ว และไม่มีเปลี่ยนแปลงใด ๆ ยกเว้นจะได้ขยายไปในบริเวณที่มีการเผาอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งมีลำดับตามปกติดังนี้

สำหรับ โคน 7 – 11 มีลำดับค่าโดยประมาณของส่วนประกอบเป็น



สัดส่วนที่นิยมของ อลูมินา : ซิลิกา จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมปกติ สำหรับการเผาปอร์สเลน (Porcelains) ธรรมดา มักมีข้อจำกัด 1 : 7 ถึง 1 : 10 ภาพที่ 5 ได้แสดงไว้อย่างน่าพอใจกับความสัมพันธ์สำหรับการเปลี่ยนแปลงของ อลูมินา : ซิลิกา เมื่อกลุ่มต่างเป็นจำนวนคงที่ คือ 0.3 K_2O และ 0.7 CaO เส้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงภายในจำนวนโมเลกุลของ Al_2O_3 สภาพของส่วนประกอบของเคลือบจำนวนมากมาย เพื่อทำให้หลอมเหลวที่อุณหภูมิเดียวกัน มีขอบเขตบรรยายได้ดังนี้ เช่น “ไม่หลอมละลาย” (Unfused) “ด้าน” (Mat) เป็นต้น แกนของส่วนประกอบมีความมั่นคงในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 เคลือบปอร์สเลนที่มีกลุ่มต่างคงที่และเปลี่ยนแปลงค่าออร์มาทิดและซิลิกาของการเผา
ที่โคน 11 (Parmelee, 1975 : 158)

ที่มา : นิวัตร พัฒนะ. 2534 : 46.

จากรูปสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของเคลือบที่มีกลุ่มต่างคงที่และแปรค่าออร์มาทิดและซิลิกา
ของเคลือบปอร์สเลนอุณหภูมิกอน 11 นั้น มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของออร์มาทิดต่อซิลิกา 5 ลักษณะ คือ

1. เคลือบไม่หลอมละลาย (Unfused)
2. เคลือบด้าน (Mat)
3. เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน (Semi - mat)
4. เคลือบมันแวววาว (Bright)
5. เคลือบสูญเสียความมัน (Devitrified) (นิวัตร พัฒนะ. 2534 : 45 - 47 ; อ้างอิงจาก
พาร์เมลี. 1975)

13. ข้อบกพร่องที่เป็นตำหนิบนผิวเคลือบ

ข้อบกพร่องที่เป็นตำหนิบนผิวเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์นั้นเกิดขึ้นด้วยหลายสาเหตุ แต่ละสาเหตุก็มีขั้นตอนการเกิดที่แตกต่างกันไป แต่จะปรากฏผลก็ต่อเมื่อผ่านการเผาเคลือบเสร็จแล้ว ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายอย่างมาก ทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบ เชื้อเพลิง เวลา และทำให้สูญเสียกำลังใจในการปฏิบัติงานที่ผ่านมา ฉะนั้นในการปฏิบัติการผลิตผลิตภัณฑ์หรือสร้างสรรค์ผลงานเซรามิกส์แต่ละขั้นตอนควรมีการจดบันทึกแล้วศึกษาตรวจสอบสาเหตุที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งเพื่อเป็นประโยชน์ในการหาวิธีทางแก้ไขและป้องกันเพื่อมิให้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานเกิดการสูญเสียในครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องที่เป็นตำหนิบนผิวเคลือบผลิตภัณฑ์หรือผลงานเซรามิกส์อาจมีสาเหตุการเกิดมากมาย ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้คือ (สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. 2541 : 156 – 159)

1. ลักษณะรูเข็มที่เกิดบนผิวเคลือบจะเกิดจากสาเหตุหลายประการด้วยกันได้แก่

1.1 เนื้อดินมีความพรุนตัวมาก เพราะการนวดเนื้อดินไม่ดีพอ ทำให้เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ อยู่ในเนื้อดินเมื่อนำไปเผาฟองอากาศเล็ก ๆ เหล่านี้จะขยายตัวและดันออกมาตามผิวเคลือบทำให้ผิวเคลือบมีตำหนิ

1.2 เนื้อดินมีน้ำผสมมากเกินไปทำให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคของเม็ดดินมีรูพรุนได้

1.3 เนื้อดินมีอินทรีย์สาร ได้แก่ ชากพืช ชากสัตว์เจือปนอยู่ เมื่อเผาเนื้อดินนี้สิ่งเจือปนจะเกิดการเผาไหม้กลายเป็นแก๊สดันผิวเคลือบออกมา

1.4 เนื้อดินมีสารซัลเฟตเจือปนอยู่ เช่น เศษเล็ก ๆ ของปูนปลาสเตอร์เมื่อนำเนื้อดินไปเผาสารซัลเฟตเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับความร้อนจะยุ่ยสลายกลายเป็นแก๊สออกมดันให้ผิวเคลือบเป็นรูพรุนมีตำหนิได้

1.5 เกิดจากฝุ่นละอองที่เกาะติดกับผลิตภัณฑ์หรือผลงาน

1.6 ในส่วนผสมของน้ำเคลือบ ถ้ามีพวกสารคาร์บอเนตหรือพวกกาวยาที่มาจากอินทรีย์สาร การเก็บน้ำเคลือบไว้นานจะทำให้เกิดการสลายตัวของสารคาร์บอเนตและการเน่าเปื่อยของอินทรีย์สารทำให้เกิดเป็นแก๊สขึ้นแล้วดันผิวเคลือบให้เกิดเป็นรูเข็ม

1.7 การเผาที่เร่งอุณหภูมิความร้อนเร็วเกินไปและใช้ระยะเวลาเผาสั้นจะทำให้หน้าเคลือบเดือด และเป็นรูเข็ม

1.8 การชุบเคลือบที่หนาเกินไป หรือการทับซ้อนของเคลือบที่ไม่เรียบสนิทเกิดมีฟองอากาศแทรกอยู่เวลาเผาจะเกิดรูเข็มได้เช่นกัน

2. เคลือบราน สาเหตุที่ทำให้เคลือบเกิดการรานคือ สมบัติการขยายตัวและหดตัวของเนื้อดินปั้นและเคลือบไม่เท่ากัน

3. การร่อนของเคลือบ เป็นลักษณะของเคลือบที่ร่อนหลุดออกจากผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงานเป็นแผ่น ๆ หรือการแยกตัวจากเนื้อดินเพราะเกิดจากสาเหตุดังนี้

3.1 เคลือบมีส่วนผสมของดินมากเกินไปเพราะเวลาเผาดินจะมีการหดตัวที่สูง

3.2 ผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงานสกปรกมีไขมัน หรือฝุ่นละอองเกาะอยู่

3.3 ในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นมีปริมาณของซิลิกามากเกินไป น้ำเคลือบไม่เกาะผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงาน

3.4 นำผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่ร้อนอยู่ไปเคลือบ ทำให้เคลือบเกิดการร่อนออกในขณะที่ผลิตภัณฑ์หรือผลงานเย็นตัวลง

3.5 เกิดจากการชุบเคลือบหนาเกินไป

4. เคลือบแยกตัว คือลักษณะของเคลือบที่แยกหนือออกจากกัน ทำให้เกิดช่องว่างไม่มีเคลือบติดอยู่ ซึ่งสาเหตุเกิดจาก

4.1 เคลือบมีส่วนผสมของดินมากเกินไป

4.2 บดน้ำเคลือบละเอียดมากเกินไป

4.3 เคลือบที่ใช้ชั้นมากเกินไปหรือชุบเคลือบหนาผิดปกติ

4.4 ผลิตภัณฑ์หรือผลงานเปียกชื้นอยู่แล้วนำไปเคลือบ

4.5 ผิวผลิตภัณฑ์หรือผลงานสกปรกด้วยไขมัน หรือละอองฝุ่น

5. เคลือบไม่มัน เป็นตำหนิที่ผิดปกติของสูตรส่วนผสมเคลือบมันแต่เมื่อเผาเคลือบแล้วไม่มันตามความเป็นจริง สาเหตุเกิดจาก

5.1 เผาเคลือบไม่ถึงอุณหภูมิที่กำหนด

5.2 ชุบเคลือบบางเกินไป

5.3 หรืออาจเผาเคลือบเลยอุณหภูมิที่กำหนดเพราะสูตรส่วนผสมของเคลือบมีสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น สารบอร์แรกซ์ และสารตะกั่วจะระเหยกลายเป็นไอไปหมด

6. การไหลตัวของเคลือบ เป็นลักษณะอาการของเคลือบที่ไหลตัวมากเกินไปกว่าความเป็นจริงที่กำหนดไว้ ซึ่งมีสาเหตุจาก

6.1 เกิดจากการเผาเคลือบเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้

6.2 ใช้ระยะเวลาการเผายืนไฟ (Soaking) นานเกินไป

6.3 ชุบเคลือบหนาเกินไป

14. ประติมากรรม (Sculpture)

อารี สุทธิพันธุ์ (2535 : 41) กล่าวว่าประติมากรรมเป็นทัศนศิลป์แขนงหนึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างสรรค์รูปทรงที่มองเห็น (Visual Form) มีลักษณะเป็น 3 มิติ คือมีความกว้าง ยาว สูง ประติมากรรมทำด้วยวัสดุที่เปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ (Plasticity) ซึ่งบางทีก็เรียกกันว่า พลาสติกอาร์ต (Plastic Art) อารี สุทธิพันธุ์ (2535 : 41) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่า ประติมากรรมมีวิธีทำได้หลายวิธีเช่น แกะสลัก วิธีปั้น วิธีหล่อ วิธีถอดแบบพิมพ์ และวิธีเชื่อม เป็นต้น การที่ช่างจะสร้างประติมากรรมด้วยวิธีใดนั้น เขามักจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของวัตถุและคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาประกอบเป็นรูปทรงแต่ละชนิด ว่าจะสามารถแสดงความคิดสร้างสรรค์ได้มากน้อยเหมาะกับวิธีนั้น ๆ หรือไม่ เพราะผลที่ได้จากวิธีการกับวัสดุชนิดหนึ่งย่อมแตกต่างกับผลของวัสดุ และวิธีการอีกอย่าง

หนึ่ง เช่น ประติมากรรมที่ทำด้วยเหล็กตามวิธีเชื่อมจะมีรูปทรงต่างกับประติมากรรมที่ทำด้วยหินตามวิธีแกะสลัก นอกจากนี้ อารี สุทธิพันธุ์ (2535 : 44 – 46) ได้สรุปเพิ่มเติมเรื่องความงามของประติมากรรมเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ความงามทางลักษณะสูงต่ำ (Beauty in relief) เราทราบแล้วว่าประติมากรรมมีลักษณะสูงต่ำ กว้างยาว หนาบาง เป็นสามมิติ ประติมากรรมที่ยอมรับกันว่างามจะต้องมีลักษณะงาม มีความสูงต่ำ กว้างยาว หนาบาง พอเหมาะพอดี ซึ่งลักษณะสูงต่ำ กว้างยาว หนาบาง ของประติมากรรมนี้เขาตกลงแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ คือ

1.1 แบบลอยตัว (Round relief) หรือรูปปั้นที่สามารถดูได้รอบด้าน มีความกลมกลืนทุกส่วน

1.2 แบบนูนสูง (High relief) เป็นแบบมีฐานด้านหลังตัวอย่างที่เห็นได้ก็คือรูปปั้นบริเวณตอนล่างของอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย

1.3 แบบนูนต่ำ (Bas relief) เป็นแบบที่ต่ำกว่านูนสูง

1.4 แบบกลางระหว่างนูนสูงและนูนต่ำ (Mezzo relief) เป็นแบบที่ต่ำกว่านูนสูง และสูงกว่านูนต่ำ

1.5 แบบต่ำสุด (Squashed relief) เป็นแบบที่ต่ำกว่าแบบนูนต่ำส่วนมากพบตามเงินเหรียญทั่ว ๆ ไป

2. ความงามทางรูปทรง (Beauty in form) รูปทรงนี้ให้ความรู้สึกทางด้านสัมผัสและการเห็นมากกว่า รูปทรงของประติมากรรมเป็นผลรวมของรูปทรงและฐาน ดังนั้น ความงามทางรูปทรงของประติมากรรมจะพิจารณาแต่รูปอย่างเดียวเท่านั้นไม่พอต้องพิจารณาฐานของประติมากรรมด้วย

2.1 ฐานพื้น (Base) ของประติมากรรมทุกชนิดมีความสำคัญต่อรูปปั้น เพราะช่วยให้ตั้งอยู่ได้ ในการสร้างประติมากรรมที่มีลักษณะลอยตัว ศิลปินมักจะคิดถึง ความสูงต่ำ กว้างยาว ของฐานด้วย เพราะถ้าฐานสูงหรือต่ำเกินไปก็จะทำให้สัดส่วนของประติมากรรมนั้นเสียความงาม

2.2 ทิศทางของฐาน (Direction) มีผลต่อความงามทางรูปทรงมารูปปั้นลอยตัวจะมีฐานตั้งส่วนรูปปั้นนูนสูงนูนต่ำนั้นทิศทางของฐานอยู่ในแนวนอน คือติดกับผนังคล้ายกับบริเวณที่เป็นพื้นของภาพเขียน ปัจจุบันฐานของรูปปั้นห้อยมาจากเพดานหรือแขวนจากที่สูงเพื่อให้เกิดความงามทางรูปทรงที่เคลื่อนไหวได้ด้วย เรียกว่า โมบิล (Mobile) ถือเป็นประติมากรรมแบบหนึ่งที่มีความงามอยู่ที่ความเคลื่อนไหว

2.3 ลักษณะผิว (Texture) ของประติมากรรมก็เป็นส่วนหนึ่งที่เสริมสร้างความงามทางรูปทรงประติมากรรมบางรูปมีลักษณะผิวหยาบตามเนื้อของวัสดุ บางแบบมีลักษณะผิวมันหรือด้านเป็นสนิม ซึ่งศิลปินได้ทำขึ้นด้วยการใช้สารหรือน้ำยาเคมีเพื่อให้ได้ลักษณะผิวแปลก ตามความต้องการและคงทนถาวร เรื่องความงามของประติมากรรมนั้นการติดตั้งประติมากรรมก็มีส่วนเสริมที่สำคัญให้รูปทรงและความงามเด่นชัดมากขึ้นในการติดตั้งศิลปินมักจะคำนึงถึงตำแหน่งของผู้ชมและตำแหน่งของประติมากรรมประกอบกับทิศทางของแสงที่ตกทอดบนประติมากรรมนั้น ๆ ด้วย อย่างไรก็ตามแม้ว่าเกณฑ์ในการพิจารณาความงามจะเปลี่ยนแปลงไปตามยุค ตามความนิยม แต่แนวความงามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นเพียงแนวทางนะให้ผู้สนใจชื่นชมทัศนศิลป์แขนงนี้เท่านั้น

เพราะความงามเป็นเพียงแต่ข้อตกลงของสังคม ทางด้านความรู้สึกร่วมกัน และบางทีก็เป็นความรู้สึกของบุคคลแต่ละคน ดังนั้นเกณฑ์ในการพิจารณาความงามดังกล่าวจึงอาจเหมาะสมในสมัยหนึ่งและไม่เป็นที่ยอมรับในอีกสมัยหนึ่งก็ได้

15. การออกแบบเซรามิกส์ (Ceramics Design)

การออกแบบเซรามิกส์คือ การถ่ายทอดจินตนาการที่อยู่บนพื้นฐานของความเป็นจริงของสิ่งที่ต้องการออกมาเป็นรูปแบบที่พัฒนาสิ่งเก่าสร้างสรรค์สิ่งใหม่ขึ้นให้สอดคล้องกับวัสดุการผลิต และประโยชน์ใช้สอยที่ต้องการ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 30)

ในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์หรือสร้างสรรค์ผลงานเซรามิกส์ศิลปะขั้นตอนการออกแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง เพราะเป็นส่วนที่เพิ่มคุณค่าทางด้านความงาม ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องมีความคิดสร้างสรรค์ หลักการออกแบบ ข้อมูลการออกแบบ ทั้งยังต้องคำนึงถึงกรรมวิธีและขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์หรือสร้างสรรค์ผลงานเซรามิกส์ด้วยให้ได้ตามจุดมุ่งหมายของการออกแบบเซรามิกส์ ดังนั้นการออกแบบเซรามิกส์จึงมีลักษณะที่แตกต่างกันตามจุดมุ่งหมายเฉพาะอย่าง ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้คือ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 30 – 32)

1. จุดมุ่งหมายเพื่อประโยชน์ใช้สอย

เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เพื่อนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่จุดมุ่งหมายเด่นชัดเพื่อจะตอบสนองทางด้านประโยชน์ใช้สอยเป็นสำคัญ ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ ภาชนะชุดอาหาร โคมไฟ สิ่งประกอบสถาปัตยกรรม กระเบื้องมุงหลังคา ลูกกรง กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุฝานั่ง หรือสิ่งประดับตกแต่งของที่ระลึก เป็นต้น

2. จุดมุ่งหมายทางด้านศิลปหัตถกรรมและวัฒนธรรม

เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์หรือผลงานเซรามิกส์ที่มีจุดมุ่งหมายพื้นฐานที่เห็นคุณค่าทางด้านความงาม และประโยชน์ใช้สอยที่มีเอกลักษณ์ของความเป็นไทยในอดีต เช่น ภาชนะดินเผาบ้านเชียง ภาชนะดินเผาสมัยสุโขทัย และเครื่องถ้วยเบญจรงค์ ซึ่งในปัจจุบันก็ยังมีการผลิตภาชนะดินเผาเหล่านี้อยู่ในลักษณะเลียนแบบของเดิม หรือดัดแปลงบางส่วนเพื่อความเหมาะสมซึ่งเป็นการดำรงไว้ในมรดกตกทอดที่ทำสืบเนื่องกันมาของบรรพบุรุษชาวไทยแต่โบราณ

3. จุดมุ่งหมายทางด้านศิลปะบริสุทธิ์

ศิลปะบริสุทธิ์เป็นศิลปะแห่งความงามที่เกิดจากการขยันทักฝึกลงอย่างมีความพากเพียรทางดานทักษะ และสติปัญญาของมนุษย์ที่แสดงออกอย่างมีสุนทรียภาพของศิลปินแต่ละคนก่อให้เกิดสติปัญญาและความสะเทือนใจแก่ผู้ดู ดังนั้นศิลปินหรือผู้ที่ออกแบบผลงานเซรามิกส์ในแนวศิลปะบริสุทธิ์จะไม่คำนึงถึงความจำเป็นจะต้องมีประโยชน์ทางด้านใช้สอย เพียงแต่มีความต้องการให้ผลงานที่ตนเองได้สร้างสรรค์ขึ้นมีคุณค่าทางด้านความงามอยู่ในตัวผลงานเท่านั้น ซึ่งจุดมุ่งหมายทางด้านความงามนี้เกิดจากความคิดสร้างสรรค์และความประทับใจในสิ่งต่าง ๆ ของผู้สร้างงานโดยอยู่บนพื้นฐานของหลักการที่นำมาจากองค์ประกอบของการออกแบบคือ เส้น (Line) รูปร่าง – รูปทรง (Shape – Form) สี (Colour) พื้นผิว (Texture) ขนาด – สัดส่วน (Size – Proportion)

ช่วงจังหวะ (Rhythm) ความประสานกลมกลืน (Harmony) ความเป็นเอกภาพ (Unity) ความขัดแย้ง (Contrast) การซ้ำ (Repetition) และย้ำให้เกิดจุดเด่น (Emphasis)

ดังนั้นศิลปินหรือผู้ที่ออกแบบผลงานเซรามิกส์ในแนวศิลปะบริสุทธิ์จะต้องมีความคิดสร้างสรรค์มีความเข้าใจเรื่องหลักการออกแบบและองค์ประกอบศิลป์เหล่านี้ไปใช้เพื่อสร้างเป็นผลงานผ่านกระบวนการทางด้านเซรามิกส์ เช่นเดียวกับการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เพื่อประโยชน์ใช้สอย แต่มีจุดมุ่งหมายการสร้างสรรคที่แตกต่างกันเท่านั้น

สมศักดิ์ ชวาลาวัฒน์ (2541 : 32 - 41) ได้กล่าวเพิ่มเติมเรื่องแนวคิดของการออกแบบเซรามิกส์โดยสรุปไว้ดังนี้

1. แนวความคิดจากรูปทรงของธรรมชาติ เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือผลงานเซรามิกส์ที่ได้ความคิดหรือความประทับใจจากรูปทรงของธรรมชาติ ได้แก่ รูปทรงของพืช เช่น ลำต้น ทรงสูง เตี้ย เลื้อย ฯลฯ ใบไม้ เช่น ใบเหลื่อม ใบกลม ใบแฉก ฯลฯ ดอกไม้ กิ่งและก้าน เป็นต้น รูปทรงของสัตว์ต่าง ๆ เช่น สัตว์บก สัตว์น้ำ สัตว์ปีก ฯลฯ รูปทรงของมนุษย์ ได้แก่ รูปทรงของเด็ก ผู้ใหญ่ คนแก่ ผู้หญิง และผู้ชาย เป็นต้น แล้วนำรูปทรงเหล่านี้มาสร้างสรรค์ดัดแปลงใหม่ โดยอาจนำมาใช้ในลักษณะเหมือนจริงหรือเลียนแบบก็ได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือผลงานที่มีความสวยงามมีความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบและประโยชน์ใช้สอยที่ดี และที่สำคัญจะต้องมีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หรือผลงานเซรามิกส์ เช่น เนื้อดินปั้นที่ใช้วิธีการขึ้นรูปวิธีการตกแต่งวิธีการเคลือบ และวิธีการเผา เป็นต้น

2. แนวความคิดจากรูปทรงเรขาคณิต คือ สิ่งที่ได้จากแนวคิดหรือความประทับใจจากรูปทรงเรขาคณิต ได้แก่ รูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปวงรี รูปสามเหลี่ยม ฯลฯ โดยสามารถนำมาใช้กับการออกแบบได้ลักษณะ 2 มิติ ซึ่งสามารถตรวจสอบมิติกว้างและยาว, สูง และกว้างหรือยาวและสูงได้ ส่วน 3 มิติเป็นการออกที่แสดงปริมาตรของรูปทรงให้สามารถตรวจสอบมิติความกว้าง ความยาว ความสูง จากรูปทรงมูลฐาน (Basic Forms) ได้แก่ รูปทรงกลม รูปไข่ ลูกบาศก์ ทรงกระบอก พีระมิด และทรงกรวย เป็นต้น รูปทรงเรขาคณิต เป็นรูปทรงที่ให้ความรู้สึกเรียบง่าย สะดวกสบาย และความทันสมัย

3. แนวคิดจากรูปทรงสิ่งที่มีมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เป็นการออกแบบที่ได้แนวคิดหรือความประทับใจจากรูปทรงสิ่งของมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมีชื่อรูปทรง ประโยชน์ใช้สอย และคุณค่าเฉพาะของแต่ละสิ่งที่แตกต่างกันออกไป เช่น เครื่องบิน รถยนต์ อาคาร บ้านเรือน โต๊ะ เก้าอี้ กล้องกระดาด หลีกเส้น ไวโอลิน เสื้อผ้า ถังพลาสติก ฯลฯ

4. แนวคิดที่มาจากการอนุรักษ์ศิลปะและวัฒนธรรมทางเซรามิกส์ของชาติไทยอย่างสร้างสรรค์ เป็นการออกแบบที่คำนึงถึงขนบธรรมเนียมและวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกับ ชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์ ที่มีเอกลักษณ์ ภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยตั้งแต่โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน

5. แนวคิดที่มาจากการสร้างสรรค์รูปทรงแบบอิสระ เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือผลงานเซรามิกส์ที่ผู้ออกแบบเป็นผู้สร้างสรรค์ผลงาน โดยใช้จินตนาการของตนที่คิดไว้แล้วถ่ายทอดลงบนผลงาน ซึ่งผลงานตามแนวความคิดนี้รูปแบบจะไม่เหมือนของจริงรวมทั้งขนาดสัดส่วนต่าง ๆ

อาจมีลักษณะพรมัว ไม่ชัดเจน ดังนั้นลักษณะผลงานที่ได้จากแนวความคิดนี้ผู้ชมจะต้องใช้ความคิดหรือทำให้งนแต่ถ้าผู้ชมมีความคิดจินตนาการคล้ายกับผู้ผลิตหรือผู้สร้างสรรค์ผลงานก็สามารถชื่นชมผลงานในแนวความคิดนี้ได้ รูปแบบของผลงานตามแนวความคิดที่มาจากการสร้างสรรค์รูปทรงแบบอิสระนี้ ส่วนมากจะไม่คำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยเพียงแต่ผู้ออกแบบสร้างสรรค์ผลงานนี้ต้องการถ่ายทอดจินตนาการของตนให้เป็นรูปธรรมขึ้นเท่านั้น

16. การขึ้นรูปประติมากรรมเซรามิกส์

คือการนำสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นชนิดต่าง ๆ มาทำให้เป็นรูปร่าง รูปทรงต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้โดยมีจุดมุ่งหมายทางด้านศิลปะบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องถึงวิธีการขึ้นรูปผลงานให้เหมาะสมต่อเนื้อดินปั้นนั้น ๆ ตลอดจนเทคนิคหรือวิธีการต่าง ๆ อันที่จะช่วยเสริมให้ผลงานประติมากรรมเซรามิกส์นั้นมีความสมบูรณ์มากที่สุด โดยสามารถแบ่งวิธีการขึ้นรูปโดยสังเขปได้ดังนี้ (สมศักดิ์ ขวาลาวันย์. 2541 : 161 – 185)

1. การขึ้นรูปด้วยมือ คือการนำเนื้อดินปั้นมาปั้นขึ้นรูปด้วยมือหรือที่เรียกว่าวิธีการขึ้นรูปแบบอิสระ ซึ่งเป็นวิธีหรือหลักการเบื้องต้นที่เปิดโอกาสให้ผู้ปั้นได้แสดงความสามารถทางด้านทักษะและความคิดสร้างสรรค์ได้อย่างเต็มที่ การขึ้นรูปด้วยมือนี้สิ่งที่สำคัญคือคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ต้องมีความเหนียว ไม่นิ่มมาก และแข็งจนเกินไป แล้วนำมาปั้นตามวิธีการแบบต่าง ๆ คือ

1.1 การจับ บีบ ให้เป็นรูปร่าง รูปทรง โดยการนำดินที่ผ่านการนวดมาเสร็จเรียบร้อยแล้วตามขนาดที่ต้องการแล้วทำเป็นก้อนกลม เหลี่ยม ทรงกระบอก ฯลฯ จากนั้นก็ทำการบีบกดให้มีรูปแบบตามความต้องการโดยมีความหนาของดินที่ใกล้เคียงกัน

1.2 การขด เป็นวิธีการขึ้นรูปที่นิยมใช้กันมากเพราะสามารถนำไปขึ้นรูปผลงานที่มีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ มีวิธีการที่ง่ายและยังช่วยทุ่นแรงในขณะที่ยกขึ้นรูปขนาดใหญ่ วิธีการขึ้นรูปก็คือการนำดินที่เตรียมไว้มาคลึงให้เป็นเส้นกลมโดยมีความยาว ขนาดเล็ก หรือโตขึ้นอยู่กับผลงานที่จะปั้นแล้วนำมาขดลงบนแผ่นฐานที่เตรียมไว้ โดยใช้น้ำดินทาตรงบริเวณที่ดินจะทำการเชื่อมต่อประสานกันแล้วใช้มือบีบกดดินให้เข้ากันแน่นสนิท ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนเกิดเป็นรูปร่าง รูปทรงตามความต้องการ

1.3 การทำดินเป็นแผ่น เป็นวิธีการรีดดินให้เป็นแผ่นโดยมีความหนาหรือบางที่สม่ำเสมอ โดยให้ได้ขนาดความกว้างยาวตามความต้องการแล้วใช้เครื่องมือตัดดินตามรูปแบบที่ต้องการ แล้วนำไปประกอบกันเข้าเป็นรูปทรงตามความต้องการ

การขึ้นรูปแบบแผ่นนี้ก่อนที่จะนำดินที่ตัดไว้ตามรูปแบบเสร็จแล้วไปประกอบกันเข้าเป็นรูปทรงที่ต้องการนั้น ดินจะต้องมีลักษณะหมาด ๆ คือ ดินสามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ยุบหรืออ แล้วถึงนำดินนี้ไปขึ้นรูป ขวางรอยต่อของดินใช้น้ำดินชั้นเป็นตัวประสานเชื่อมรอยต่อให้ติดกันแล้วใช้มือช่วยกดบีบรอยต่อของดินให้ติดกันอย่างแน่นสนิท

1.4 การตีดิน เป็นวิธีการขึ้นรูปผลงานแบบพื้นฐานที่ทำกันมาแต่ในอดีตโดยใช้วิธีการตีดินช่วยในการขึ้นรูปจากขดดินที่มีความหนาและรูปทรงที่ยังไม่ได้ตามแบบที่ต้องการ จึงใช้วิธีเอาไม้ที่มีหน้ากว้างตีดินเพื่อให้ได้รูปแบบและความหนาบางตามความต้องการ

2. การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เป็นวิธีขึ้นรูปที่มีความสำคัญและนิยมกันแพร่หลายโดยทั่วไป วิธีการขึ้นรูปผลงานด้วยแป้นหมุนนี้สามารถขึ้นรูปได้รวดเร็ว แต่ทั้งนี้ต้องมีความชำนาญพอสมควร เพราะเบื้องต้นจะต้องสามารถตีดินให้ได้ตามรูปทรงมีขนาดความกว้างและความสูงได้ตามความต้องการแล้วหลังจากนั้นจะต้องสามารถเปลี่ยนรูปทรงให้ได้ตามความต้องการโดยมีการทุบ บีบกด ดึง ฉีก ตัดต่อ เพิ่มเติม จะขึ้นรูปในครั้งเดียวหรือปล่อยทิ้งไว้ให้ดินหมาด ๆ แล้วถึงทำตกแต่งส่วนต่าง ๆ เพิ่มเติมก็ได้เช่นกัน

3. การขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน การขึ้นรูปผลงานด้วยการหล่อน้ำดินหรือที่เรียกว่าหล่อน้ำสลิป ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปที่จะต้องอาศัยพิมพ์ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์ช่วยในการขึ้นรูป

17. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาน้ำเคลือบผลึกเพื่อใช้กับประติมากรรมเซรามิกส์

สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์ (2535 : 144) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยใช้สนิมโลหะตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาพ”

ผลวิจัยสรุปได้ว่า

อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน อัตราส่วนสนิมโลหะเดียวกันเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน

บรรยากาศการเผาที่ต่างกันมีผลต่อสนิมโลหะโคบอลต์ออกไซด์ และเหล็กออกไซด์สี, ระดับสีแก่ (Low Value) กับการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และการเผาบรรยากาศรีดักชั่นมีผลต่อสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ได้สี, ระดับสีอ่อน (High Value) กับการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกโดยยึดสัดส่วนอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์ได้เป็นสูตรต่าง ๆ แล้วนำแต่ละสูตรไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิดได้แก่ ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 และไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 ทำให้สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่าง ๆ เหล่านี้เกิดสีต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้เคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์โดยใช้อุณหภูมิในการเผา 1,280 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชั่น และบรรยากาศรีดักชั่น ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการดังรายละเอียดเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. ตัวแปร
3. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง
4. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง
5. การดำเนินการวิจัย
6. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ได้จากการคำนวณจากสูตรเซเกอร์คือสูตรพื้นฐานที่ใช้โดยกำหนดให้อลูมินามีจำนวนโมเลกุลอยู่ระหว่าง 0.13 โมเลกุล ถึง 0.22 โมเลกุล และซิลิกามีจำนวนโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1.0 โมเลกุล ถึง 2.5 โมเลกุล

จากสูตรเซเกอร์ที่ใช้ในการวิจัย โดยการกำหนดสูตรพื้นฐานและสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา สามารถแสดงเป็นสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยได้ดังนี้

0.15 KNaO

0.08 CaO

0.11 SrO

0.06 MgO

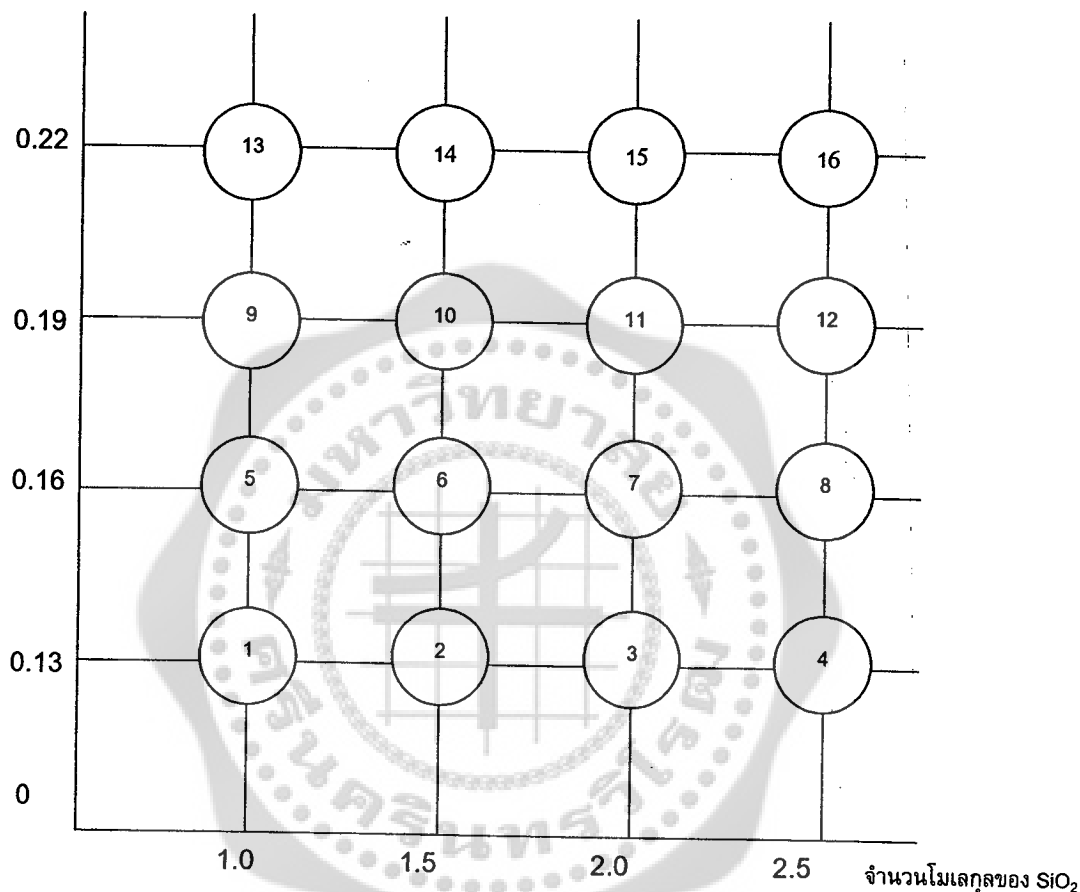
0.60 ZnO

0.13 – 0.22 Al_2O_3 . 1.0 – 2.5 SiO_2

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดให้

1. สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่มีจำนวนโมเลกุลของอลูมินาแบ่งเป็น 4 ช่วง ๆ ละ 0.3 โมเลกุล และมีจำนวนโมเลกุลของซิลิกาแบ่งเป็น 4 ช่วง ๆ ละ 0.5 โมเลกุล ซึ่งจะได้สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก 16 สูตร ดังภาพประกอบ 6

จำนวนโมเลกุลของ Al_2O_3



ภาพประกอบ 6 แสดงสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาในแต่ละสูตรส่วนผสมทั้ง 16 สูตร

โดยในแต่ละสูตรเคลือบจะมีน้ำหนักรวมกัน 100 กรัม ทำสูตรเคลือบละ 10 ชุด

2. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

3. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

4. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)

5. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 4 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด) ดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า $X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ และ $Y(\text{SiO}_2)$ ทั้ง 16 สูตร และเอาแต่ละสูตรนำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิด ตามจำนวนที่กำหนดเป็นร้อยละ

สูตรที่	$X(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$Y(\text{SiO}_2)$	ผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีร้อยละ								
			$\text{TiO}_2 + \text{NiO}$		$\text{TiO}_2 + \text{CuO}$		$\text{TiO}_2 + \text{MnO}_2$		และ	$\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	
1	0.13	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
2	0.13	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
3	0.13	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
4	0.13	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5
5	0.16	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
6	0.16	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
7	0.16	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
8	0.16	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5
9	0.19	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
10	0.19	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
11	0.19	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
12	0.19	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5
13	0.22	1.0	2	4	2	3	2	3		2	5
14	0.22	1.5	2	4	2	3	2	3		2	5
15	0.22	2.0	2	4	2	3	2	3		2	5
16	0.22	2.5	2	4	2	3	2	3		2	5

6. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 5 ในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกทั้ง 16 สูตรเคลือบไม่มีการผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด) ชุดแรกจะได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ชุดที่ 2 จะได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผาในบรรยากาศรีดักชัน ดังนั้นรวมทั้งหมดได้ 160 ตัวอย่าง

ส่วนผสมเคลือบที่เป็นค่าร้อยละของวัตถุดิบ ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ได้จากการคำนวณจากสูตรพื้นฐานของเซเกอร์ โดยกำหนดให้อลูมินา (X) ที่มีจำนวนโมเลกุลอยู่ระหว่าง 0.13 ถึง 0.22 โมเลกุล และซิลิกา (Y) ที่มีจำนวนโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1.0 โมเลกุล ถึง 2.5 โมเลกุล ซึ่งการนำสูตรพื้นฐานของเซเกอร์มาใช้ในการวิจัยจะต้องเปลี่ยนค่าของวัตถุดิบที่ใช้เป็นร้อยละจึงจะสามารถนำมาปฏิบัติการวิจัยได้ ค่าร้อยละนี้ได้มาจากการคำนวณเคลือบ ซึ่งหลังจากการคำนวณแล้วจะได้ค่าของวัตถุดิบเป็นร้อยละ ดังตาราง 5 – ตาราง 20

2. ตัวแปร

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

2.1.1 สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึก 16 สูตร

2.1.2 จำนวนร้อยละของสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีที่ผสมอยู่ในสูตรเคลือบผลึก 16 สูตร ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิกเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ชุดที่ 2 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ชุดที่ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อย 5 ชุดที่ 5 ใน 16 สูตร เคลือบไม่มีการผสมสนิมโลหะที่เป็นสารให้สี

2.1.3 บรรยากาศในการเผาเคลือบผลึก

2.1.3.1 บรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชัน

2.1.3.2 บรรยากาศการเผาแบบรีดักชัน

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ลักษณะของเคลือบผลึกที่ได้มีดังนี้

2.2.1 ระดับการเกิดผลึกเปรียบเทียบปริมาณผลึกกันเองภายในตาราง

2.2.2 สีที่เกิดในเคลือบผลึก

3. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยการทดลองคือ เป็นการทดลองเคลือบผลึกเพื่อใช้กับผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงได้ได้แก่ วัสดุ อุปกรณ์ในการทดลองเคลือบผลึก ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียดระบบดิจิตอล

3.1.2 เครื่องกรอง ได้แก่ ตะแกรงร่อน ขนาด 80 เมช

3.1.3 ถังพลาสติกชนิดเล็ก 180 ใบ และหนังยางรัดถุง 180 เส้น

3.1.4 ปากกาเคมีสีดำ (Per manent marker)

3.1.5 กระบอกตวง (Buret) ขนาด 100 ซีซี และขนาด 200 ซีซี

3.1.6 โกร่งบด ขนาด 6 นิ้ว

3.1.7 หม้อบด (Ball mill) ขนาดความจุ 4 กิโลกรัม

3.1.8 เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ (Hydrometer)

3.1.9 เตาเผาไฟฟ้า (Electric kiln)

3.1.10 เตาแก๊ส (Gas kiln)

3.1.11 สีใต้เคลือบสีดำ และฟู่กันเบอร์ 1

3.2 วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ต้องปราศจากควมชื้นได้แก่

- 3.2.1 โปแตสเฟลด์สปาร์ ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) จากแหล่งจังหวัดราชบุรี
- 3.2.2 แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากแหล่งจังหวัดสระบุรี
- 3.2.3 ดินขาว ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) จากแหล่งจังหวัดระนอง
- 3.2.4 ควอทซ์ (SiO_2) จากแหล่งจังหวัดจันทบุรี
- 3.2.5 สังกะสีออกไซด์ (ZnO) จากแหล่งทั่วไป (Commercial Grade)
- 3.2.6 สตรอนเทียมคาร์บอเนต ($SrCO_3$) จากแหล่งทั่วไป
- 3.2.7 โปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) จากแหล่งทั่วไป
- 3.2.8 ทัลค์ ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) จากแหล่งทั่วไป

3.3 วัตถุดิบที่เป็นสารให้สีในเคลือบที่ปราศจากควมชื้นได้แก่

- 3.3.1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จากแหล่งทั่วไป
- 3.3.2 นิกเกิลออกไซด์ (NiO) จากแหล่งทั่วไป
- 3.3.3 ทองแดงออกไซด์ (CuO) จากแหล่งทั่วไป
- 3.3.4 แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) จากแหล่งทั่วไป
- 3.3.5 เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) จากแหล่งทั่วไป

3.4 เนื้อดินปั้นที่ใช้ทำชิ้นทดลองและผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ใช้เนื้อดินปอร์สเลน (Porcelain Clay) สำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์ เคลย์ จำกัด

4. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้สถานที่ในการทดลองคือ ห้องปฏิบัติการเซรามิกส์ ภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เวลาทดลองตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 เป็นเวลา 1 ปี

5. การดำเนินการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการทดลองออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 2 ทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลิตภัณฑ์ต่างกัน เเผาในบรรยากาศเดียวกันและทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกันเผาในบรรยากาศแตกต่างกัน

ตอนที่ 3 ทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกัน บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน

ตอนที่ 4 ทดสอบโดยการนำสูตรเคลือบที่ได้จากการทดลองว่าเกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุดไปใช้กับผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ได้สร้างสรรค์ขึ้น

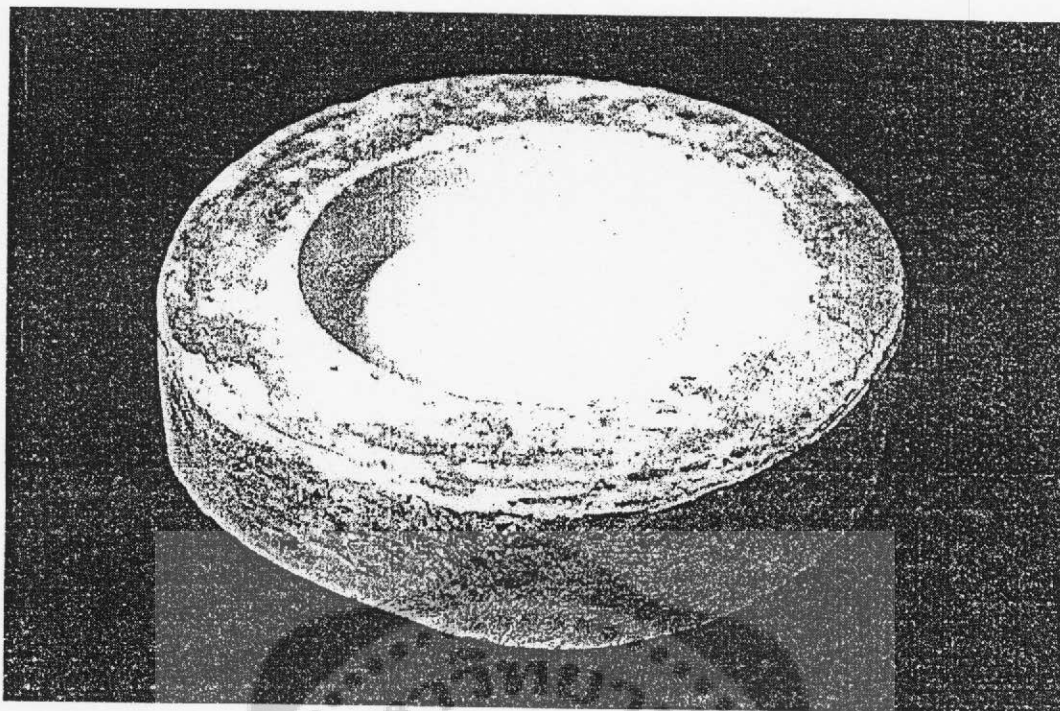
ตอนที่ 1 เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบผลิตภัณฑ์ลำดับขั้นตอนดังนี้

1.1 นำวัตถุดิบทุกชนิดที่จะใช้ในการทดลองมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

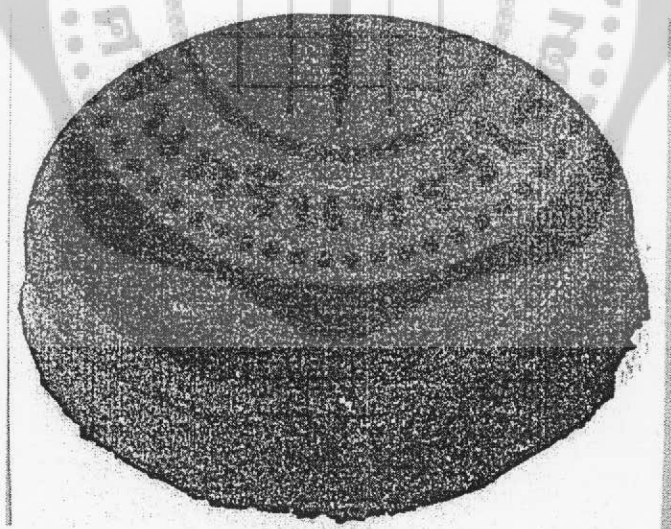
1.2 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบตามสูตรเคลือบผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้ทั้ง 16 สูตร โดยในแต่ละสูตรเคลือบมีน้ำหนักรวมสูตรละ 100 กรัม ชั่งน้ำหนักสูตรละ 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 นำไปผสมกับสารให้สีไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ตัวอย่างที่ 2 นำไปผสมกับสารให้สีไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ตัวอย่างที่ 3 นำไปผสมกับสารให้สีไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ตัวอย่างที่ 4 นำไปผสมกับสารให้สีไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 ตัวอย่างที่ 5 ไม่มีการผสมสารให้สี และในแต่ละสูตรเคลือบทำ 2 ชุด ดังนั้น จะได้เคลือบผลิตภัณฑ์ 1 จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อนำไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ชุดที่ 2 จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อนำไปเผาในบรรยากาศรีดักชัน รวมจะได้จำนวน 160 ตัวอย่าง

1.3 นำแต่ละสูตรเคลือบเติมน้ำสะอาดบดผสมในโถรงบดเพื่อให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเข้ากัน มีความละเอียดมากขึ้นและมีความทั่วถึงเฉพาะ 1.4 ใช้เวลาบดน้ำเคลือบประมาณ 20 นาที แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 80 เมช

1.4 เตรียมชิ้นทดลองที่ทำขึ้นจากเนื้อดินปอร์สเลนสำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์เคลล์ จำกัด ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบพิมพ์กดจากแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร มีความหนา 1 เซนติเมตร ดูภาพประกอบ 7 และภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 7 แสดงแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์



ภาพประกอบ 8 แสดงชั้นทดลองที่ได้จากการกดดินลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์

1.5 นำชิ้นทดลองที่ผ่านการเผาติดแล้วมาแช่ทำความสะอาดด้วยฟองน้ำชุบน้ำแล้วนำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นตัว

1.6 แล้วนำชิ้นทดลองไปชุบเคลือบที่เตรียมไว้โดยวิธีจุ่มใช้เวลาในการจุ่มชิ้นทดลองละ 3 วินาทีให้เคลือบ มีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร

1.7 ทำการแช่เคลือบตรงขอบและฐานชิ้นทดลองให้สะอาดด้วยฟองน้ำชุบน้ำเพื่อไม่ให้เคลือบหลอมไหลติดชิ้นวางเตาเผา

1.8 เขียนรหัสประจำชิ้นทดลองแต่ละชิ้นด้วยสีได้เคลือบสีดำที่บริเวณใต้ชิ้นทดลอง

1.9 นำชิ้นทดลองที่ชุบเคลือบแล้ว 80 ตัวอย่างแรกไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชันโดยใช้เตาเผาไฟฟ้า โดยมีวิธีการเผาดังนี้

วิธีการเผาเริ่มตั้งแต่ ณ อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการเผา 6 ชั่วโมง 30 นาที อัตราเร่งในการเผาเฉลี่ย 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ต่อจากอุณหภูมิที่ 950 องศาเซลเซียสถึง 1,280 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 6 ชั่วโมง อัตราเร่งในการเผาช่วงอุณหภูมินี้เฉลี่ย 55 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จากอุณหภูมิที่ 1,280 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ อุณหภูมิลดต่ำลงเหลือที่ 1,150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาลดอุณหภูมิช่วงนี้ 30 นาที แล้วเผาในไฟ (Soaking Time) ในช่วงอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียสนี้ต่อไปอีก 3 ชั่วโมง แล้วปิดเตารวมระยะเวลาที่ใช้เผาเคลือบผลึก 16 ชั่วโมง

1.10 และนำชิ้นทดลองที่ชุบเคลือบแล้ว 80 ตัวอย่างหลังไปเผาในบรรยากาศรีดักชันโดยใช้เตาเผาแก๊ส โดยมีวิธีการเผาดังนี้

วิธีการเผาเริ่มตั้งแต่ ณ อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ช่วงนี้บรรยากาศในเตาเผาเป็นแบบออกซิเดชัน โดยการเผานั้นจะมีหลักการอยู่ว่าจะต้องทำให้บรรยากาศการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (แก๊ส) เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยมีก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอหรือมากเกินไปซึ่งทำได้โดยการเปิดแอมเปอร์หรือแผ่นควบคุมความร้อนของเตาให้หมด ซึ่งจะต้องทำการปรับหัวฟันทไฟ (Burner) ให้เกิดการเผาไหม้โดยเร็วพอที่จะไล่แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ให้หลุดออกจากเตาโดยเร็วที่สุด พร้อมกับการตรวจสอบโดยการวัดความดันแก๊สภายในเตาเผาโดยดูโมโนมิเตอร์ (Monometer) ความดันของแก๊สจะต้องเป็นลบ การตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งก็โดยการดูและสังเกตจากการนำเทียนไขที่จุดไฟไปจ่อตรงช่องดูไฟ ถ้าเปลวไฟของเทียนไขเอนเข้าหาเตาแสดงว่าบรรยากาศในเตาเผาเป็นแบบออกซิเดชัน ใช้ระยะเวลาการเผา 6 ชั่วโมง 30 นาที เช่นเดียวกับการเผาด้วยเตาไฟฟ้า ต่อจากอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการปรับเปลี่ยนบรรยากาศการเผาเป็นแบบรีดักชัน โดยการเลื่อนปิดแผ่นควบคุมความร้อนของเตาเผาเข้าไปโดยประมาณครึ่งหนึ่งของแผ่นควบคุมความร้อนที่มีอยู่ พร้อมกับการตรวจสอบวัดความดันแก๊สภายในเตาเผาโดยดูโมโนมิเตอร์ (Monometer) ความดันของแก๊สจะต้องเป็นบวกการตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งก็โดยการดูและสังเกตจากการนำเทียนไขที่จุดไฟไปจ่อตรงช่องดูไฟ ถ้าเปลวไฟของเทียนไขเบนออกห่างจากตัวเตาแสดงว่าบรรยากาศภายในเตาเผาเป็นแบบรีดักชัน ช่วงนี้ใช้ระยะเวลาเผา 6 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการเผาเตาไฟฟ้า จากอุณหภูมิที่ 1,280 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ อุณหภูมิลดต่ำลงเหลือที่ 1,150 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 30 นาที เช่นเดียวกับการเผาเตา

ไฟฟ้า โดยการปรับความดันของแก๊สให้ลดลงเล็กน้อยแล้วควบคุมการลดลงของอุณหภูมิในเตาเผาให้เหลือ 1,150 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30 นาที หลังจากนั้นควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส (เผาเย็นไฟ) ต่อไปอีก 3 ชั่วโมงแล้วปิดเตารวมระยะเวลาที่ใช้เผาเคลือบผลึก 16 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการเผาเตาไฟฟ้า

ตอนที่ 2 ทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลึกต่างกัน เผาในบรรยากาศเดียวกันและทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลึกเดียวกันเผาในบรรยากาศแตกต่างกัน

ทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกแตกต่างกัน เผาในบรรยากาศเดียวกัน มีวิธีการทดสอบคือ ดูผลึกที่เกิดขึ้นในแต่ละสูตรส่วนผสมของเคลือบว่า สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมใดเกิดผลึกมากที่สุด เกิดผลึกมาก เกิดผลึกปานกลาง เกิดผลึกน้อย รูปแบบของผลึกที่เกิดได้จากการเผาในบรรยากาศเดียวกัน ส่วนการทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน มีวิธีการทดสอบคือดูสีของเคลือบผลึกที่ได้รับอิทธิพลจากการเผาในบรรยากาศที่ต่างกันว่าจะเข้มขึ้นหรือจางลงจากสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ไม่ได้เติมสารให้สีเพื่อเป็นแนวทางเปรียบเทียบและวิเคราะห์ในระดับต่อไป

ตอนที่ 3 ทดสอบสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกัน บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน

มีวิธีการทดสอบคือ การนำชิ้นทดลองของสูตรส่วนผสมเคลือบผลึกแต่ละสูตรและที่ผสมสารให้สีชุดเดียวกันที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นได้สีอะไร น้ำหนักของสีจะเข้มหรือสีจางอย่างไร และในจุดเดียวกันนี้ชิ้นทดลองที่เผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้สีอะไร น้ำหนักของสีจะเข้มหรือจางอย่างไร โดยนำชิ้นทดลองทั้งสองมาเปรียบเทียบแล้ววิเคราะห์ผล

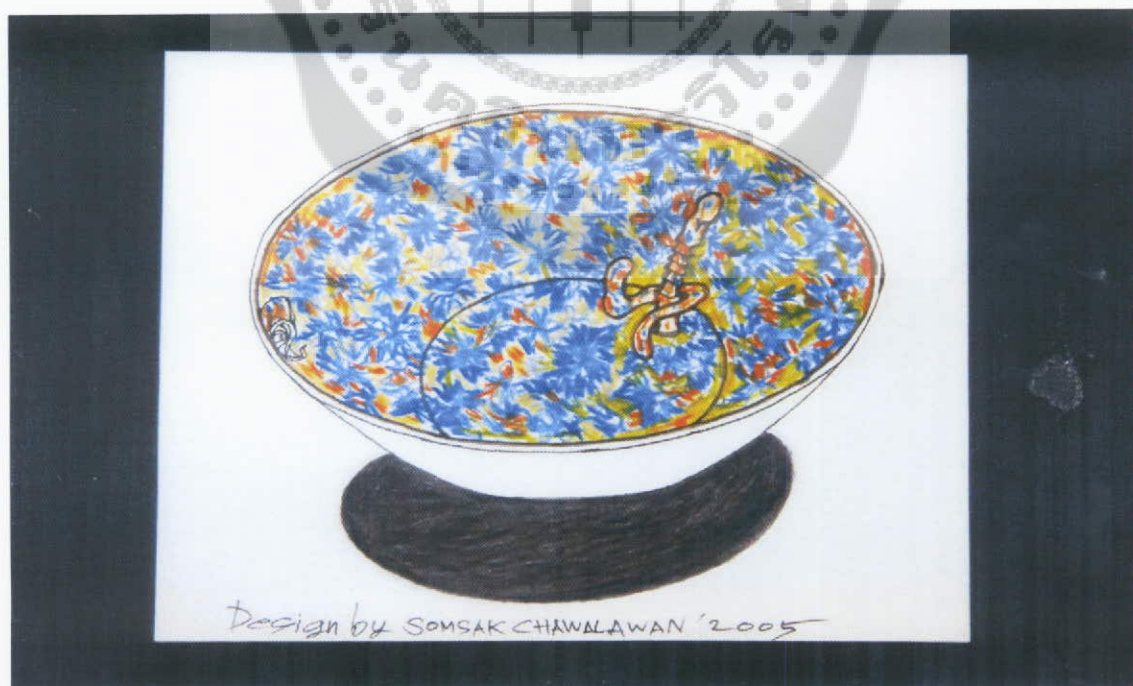
ตอนที่ 4 ทดสอบโดยการนำสูตรเคลือบที่ได้จากการทดลองว่าเกิดผลึกมากที่สุดไปใช้กับผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ได้สร้างสรรค์ขึ้น

มีวิธีการทดสอบคือ หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกโดยยึดสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์แล้วทำการเลือกสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีแล้วมีสีสนสวยงาม และเกิดผลึกมากที่สุดมาใช้ชุบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น แล้วพิจารณาลักษณะรูปทรงผลงานว่า ลักษณะรูปแบบใดที่จะเอื้ออำนวยให้ผลึกปรากฏได้ดีและสวยงาม เช่น ตรงพื้นที่ผิวที่เรียบเกลี้ยงมีพื้นที่ตรงส่วนที่ตุงฉาก, ลาดเอียงมาก, ลาดเอียงน้อย, พื้นระนาบ, มีรอยขีดเป็นร่องลึก และมีพื้นที่ผิวขรุขระ เป็นต้น

ในการสร้างสรรค์ประติมากรรมเซรามิกส์ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ยึดหลักวิชาการด้านการออกแบบเซรามิกส์มาใช้ ดังภาพประกอบ 9 และ 10



ภาพประกอบ 9 แสดงภาพที่มาจากแนวคิดได้แก่รูปทรงของหม้อไฟดินเผาที่ใช้กันในครัวเรือน - ภัตตราคาร



ภาพประกอบ 10 แสดงภาพการออกแบบสร้างสรรค์จากแนวคิดที่มาจากรูปทรงหม้อไฟดินเผา

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลจากการทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอลูมินาและซิลิกาในเคลือบผลึกได้ 16 ส่วนผสมที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชัน โดยในแต่ละสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกจะเกิดผลึกที่แตกต่างกันตามสัดส่วนของอลูมินาและซิลิกา จะทำการวิเคราะห์ผลได้จากทฤษฎีสารประกอบที่ทำให้เกิดผลึก (มนัส ขำอ่อน. 2527 : 15) เคลือบผลึกเกิดจากการเติมสารพวกซิงค์ออกไซด์ ไทตาเนียมไดออกไซด์ ฯลฯ (Stefanov & Batschwarov. 1988 : 312 – 313) สูตรเคลือบผลึก (ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2537 : 117) ในเคลือบมีอลูมินาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำเคลือบ (Rhodes. 1972 : 65) คุณสมบัติของซิลิกา (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 113) และ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 20) ขอบกพร่องของเคลือบ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 156 – 159) ระดับความมันของเคลือบผลึก (นิวัตร พัฒนะ. 2534 : 45 – 47 ; อ้างอิงจากพาร์เมลี. 1975) การเผาเคลือบผลึก (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 60) การเผาแบบรีดักชัน (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 260 – 263)

การวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 มาเป็นแนวทางการวิเคราะห์ผลจากการทดลองตอนที่ 3 โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลจากการทดลองในแต่ละสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ผสมสารให้สีชุดเดียวกันได้จากทฤษฎีคุณสมบัติของสารให้สีทางเซรามิกส์ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 125)

ส่วนผสมสี (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 27) โดยปกติแล้วเคลือบจะมีสีจากสารให้สี (Stefanov & Batschwarov. 1988 : 312 – 313) และ (มนัส ขำอ่อน. 2527 : 15) ส่วนจะให้เกิดผลึกรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวที่ทำให้เกิดผลึก (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 58) (Stefanov & Batschwarov. 1988 : 312 – 313) เคลือบผลึกจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน (มนัส ขำอ่อน. 2527 : 1 – 2) และในตอนที่ 3 ของการวิจัยจะนำผลการศึกษาของสมศักดิ์ ขวาลาวณย์ (2535 : 144) ที่พบว่าอัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน ในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันเนื้อดินต่างชนิดกัน ได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) ระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน

บรรยากาศการเผารีดักชันมีผลต่อสนิมโลหะโคบอลต์ออกไซด์ และเหล็กออกไซด์สี, ระดับสีแก่ (Low Value) กว่าเผาในบรรยากาศออกซิเดชันและการเผาบรรยากาศรีดักชัน มีผลต่อสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์, ระดับสีอ่อน (High Value) กว่าเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน นำมาวิเคราะห์ประกอบการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 4 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ผลจากการทดลองตอนที่ 2 และตอนที่ 3 มาใช้ประกอบในการวิเคราะห์ผลตอนที่ 4

จากผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น โดยมีแนวความคิดมาจากรูปทรงของหม้อไฟดินเผาขึ้นรูปผลงานด้วยแป้นหมุน แล้วมีการปั้นด้วยมือเสริมประกอบในผลงานขึ้นเดียวกัน เพื่อให้ได้รูปทรงของผลงานมีความเรียบง่ายโดยมีพื้นผิวที่เรียบเกลี้ยง มีพื้นที่ตรงส่วนที่ต้งฉาก ลาดเอียงมาก ลาดเอียงน้อย พื้นระนาบมีรอยขีดเป็นร่องลึก และมีพื้นที่ผิวขรุขระเป็นส่วนน้อย



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามกระบวนการแล้วได้ข้อมูลสูตรส่วนผสมของเคลือบ
ผลึก 16 สูตร ส่วนผสมโดยในแต่ละสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สี
ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 ผสมกับสารให้สีไทตานิยมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อย
ละ 4 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด), กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 ผสมกับสารให้สีไทตานิยมไดออกไซด์ ร้อย
ละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด), กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 ผสมกับสาร
ให้สีไทตานิยมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด),
ชุดที่ 4 ผสมกับสารให้สีไทตานิยมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 ได้ 16
ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด) และกลุ่มตัวอย่าง ชุดที่ 5 ในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกทั้ง 16 สูตร เคลือบไม่
มีการผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด) ชุดแรกได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผา
ในบรรยากาศออกซิเดชั่น ชุดที่ 2 จะได้ 80 ตัวอย่างนำไปเผาในบรรยากาศรีดักชั่น ดังนั้น จะได้
ตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ 160 ตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์โดยแบ่งเป็นตอน ๆ
ปรากฏผลการจำแนกวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบ
ผลึกต่างกันเผาในบรรยากาศเดียวกันและผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตร
ส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และบรรยากาศรีดักชั่น) โดยใช้
กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 5 ที่ไม่ได้ผสมกับสารให้สี

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบ
ผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและบรรยากาศรีดักชั่น)

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์จากการทดลองการศึกษาน้ำเคลือบผลึกเพื่อใช้กับ
ประติมากรรมเซรามิกส์ (Study of Crystal Glaze for Ceramics Sculpture)

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกัน
เผาในบรรยากาศเดียวกัน ปรากฏว่ามีผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 21
(เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น) และตาราง 22 (เผาในบรรยากาศรีดักชั่น)

ตาราง 21 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์ต่างกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น)

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลิตภัณฑ์		
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับความมันและความ สมบูรณ์ของเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
2	0.13 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว
3	0.13 : 2.0	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบด้าน
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีขาวเหลือง	เคลือบไม่หลอมละลาย
5	0.16 : 1.0	เกิดผลึกปานกลาง	สีขาวเหลือง	เคลือบด้าน
6	0.16 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว
7	0.16 : 2.0	เกิดผลึกมาก	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว
8	0.16 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบด้าน
9	0.19 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบด้าน
10	0.19 : 1.5	เกิดผลึกมาก	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว
11	0.19 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว
12	0.19 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
13	0.22 : 1.0	ไม่เกิดผลึก	สีขาวเหลือง	เคลือบสูญเสียความมัน
14	0.22 : 1.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
15	0.22 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว
16	0.22 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาวเหลือง	เคลือบมันแวววาว

จากตาราง 21 สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์ต่างกัน 16 สูตรส่วนผสมในแต่ละสูตรส่วนผสมจะมีระดับการเกิดผลึก สีที่เกิดในเคลือบระดับความมันและความสมบูรณ์ของเคลือบพบว่ามีดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 1.5 และ 0.16 : 1.5 ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเป็นเส้นประสานกันเป็นแนว ๆ คล้ายพัดทับซ้อนกันมีทั้งขนาดใหญ่และเล็กผสมกัน

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.16 : 2.0 และ 0.19 : 1.5 ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเหมือนดอกไม้ขนาดใหญ่ทับซ้อนกัน

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.19 : 2.0, 0.22 : 2.0 และ 0.16 : 1.0 ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกคล้ายดอกไม้เล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12, 14 และ 3, 8, 9 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.22 : 2.5, 0.13 : 1.0, 0.19 : 2.5, 0.22 : 1.5 และ 0.13 : 0.2, 0.16 : 2.5, 0.19 : 1.0 ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเป็นแฉกเล็ก ๆ อยู่เป็นจุด ๆ

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 13 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.22 : 1.0 เคลือบไม่เกิดผลึกและสูญเสียความมัน

และในสูตรส่วนผสมที่ 4 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 2.5 เคลือบไม่หลอมละลายมีการร่อนของเคลือบสีที่เกิดในเคลือบผลึกทุกส่วนผสมจะมีสีขาวเหลือง ดังนั้น สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกันเผาในบรรยากาศเดียวกันระดับการเกิดผลึกต่างกัน

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกัน (เผาในบรรยากาศรีดักชัน)

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลึก		
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับความมันและความ สมบูรณ์ของเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
2	0.13 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	สีขาว	เคลือบมันแวววาว
3	0.13 : 2.0	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบด้าน
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีขาว	เคลือบไม่หลอมละลาย
5	0.16 : 1.0	เกิดผลึกปานกลาง	สีขาว	เคลือบด้าน
6	0.16 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	สีขาว	เคลือบมันแวววาว
7	0.16 : 2.0	เกิดผลึกมาก	สีขาว	เคลือบมันแวววาว
8	0.16 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบด้าน
9	0.19 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบด้าน
10	0.19 : 1.5	เกิดผลึกมาก	สีขาว	เคลือบมันแวววาว
11	0.19 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	สีขาว	เคลือบมันแวววาว
12	0.19 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
13	0.22 : 1.0	ไม่เกิดผลึก	สีขาว	เคลือบสูญเสียความมัน
14	0.22 : 1.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
15	0.22 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	สีขาว	เคลือบมันแวววาว
16	0.22 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	สีขาว	เคลือบมันแวววาว

จากตาราง 22 สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกัน ใน 16 สูตรส่วนผสม ในแต่ละสูตรส่วนผสมจะมีระดับการเกิดผลึกที่เกิดขึ้นในเคลือบ ระดับความมัน และความสมบูรณ์ของเคลือบพบว่ามีดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสม ที่ 2 และ 6 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา $0.13 : 1.5$ และ $0.16 : 1.5$ ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเป็นเส้นประสานกันเป็นแนว ๆ คล้ายพัดทับซ้อนกันมีขนาดใกล้เคียงกัน

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา $0.16 : 2.0$ และ $0.19 : 1.5$ ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเป็นเส้นเล็ก ๆ มีความยาวพอสมควรประสานกันเป็นแนว ๆ คล้ายดอกไม้ทับซ้อนกันมีขนาดโตพอสมควร

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา $0.19 : 2.0$, $0.22 : 2.0$ และ $0.16 : 1.0$ ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12, 14 และ 3, 8, 9 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา $0.22 : 2.5$, $0.13 : 1.0$, $0.19 : 2.5$, $0.22 : 1.5$ และ $0.13 : 2.0$, $0.16 : 2.5$, $0.19 : 1.0$ ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ อยู่เป็นที ๆ

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 13 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา $0.22 : 1$ เคลือบไม่เกิดผลึกและสูญเสียความมัน และในสูตรส่วนผสมที่ 4 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลอลูมินาต่อซิลิกา $0.13 : 2.5$ เคลือบไม่หลอมละลายมีการร่อนของเคลือบ สีที่เกิดในเคลือบผลึกทุกสูตรส่วนผสมจะมีสีขาว ดังนั้นสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกัน เฝ้าในบรรยากาศเดียวกันระดับการเกิดผลึกต่างกัน

ตาราง 23 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบฟลักเดียวกัน เเผาในบรรยากาศต่างกัน

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบฟลัก			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เผาในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดฟลัก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดฟลัก	สีที่เกิดในเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว
2	0.13 : 1.5	เกิดฟลักมากที่สุด	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักมากที่สุด	สีขาว
3	0.13 : 2.0	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีขาวเหลือง	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีขาว
5	0.16 : 1.0	เกิดฟลักปานกลาง	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักปานกลาง	สีขาว
6	0.16 : 1.5	เกิดฟลักมากที่สุด	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักมากที่สุด	สีขาว
7	0.16 : 2.0	เกิดฟลักมาก	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักมาก	สีขาว
8	0.16 : 2.5	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว
9	0.19 : 1.0	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว
10	0.19 : 1.5	เกิดฟลักมาก	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักมาก	สีขาว
11	0.19 : 2.0	เกิดฟลักปานกลาง	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักปานกลาง	สีขาว
12	0.19 : 2.5	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว
13	0.22 : 1.0	ไม่เกิดฟลัก	สีขาวเหลือง	ไม่เกิดฟลัก	สีขาว
14	0.22 : 1.5	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว
15	0.22 : 2.0	เกิดฟลักปานกลาง	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักปานกลาง	สีขาว
16	0.22 : 2.5	เกิดฟลักน้อย	สีขาวเหลือง	เกิดฟลักน้อย	สีขาว

จากตาราง 23 สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบฟลักเดียวกัน เเผาในบรรยากาศต่างกันจะมีระดับการเกิดฟลักสีที่เกิดในเคลือบระดับความมันและความสมบูรณ์ของเคลือบแบ่งได้ดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดฟลักมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปฟลักจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปฟลักที่เผาในบรรยากาศ รีดักชั่นจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดฟลักมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปฟลักจะใกล้เคียงกันส่วนขนาดของรูปฟลักที่เผาในบรรยากาศ รีดักชั่นจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตร ส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้าน เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าและเกิดผลึกจำนวนน้อยกว่าการเผาแบบบรรยากาศออกซิเดชัน

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อย และเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12, 14 และ 3, 8, 9 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 13 เคลือบไม่เกิดผลึก เคลือบสูญเสียความมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ และในสูตรส่วนผสมที่ 4 เคลือบไม่ห่อหุ้มละลาย และมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ สีที่เกิดในเคลือบผลึกทุกสูตร ส่วนผสมเมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้สีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้สีขาว

ดังนั้น สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันเผาในบรรยากาศต่างกันระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกัน ขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน สีที่เกิดในเคลือบจะแตกต่างกัน

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกันบรรยากาศการเผาแตกต่างกัน มีผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 24, 25, 26 และ 27

ตาราง 24 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกัน
ผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 โทจาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4
บรรยายภาพการเผาแตกต่างกัน

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา:ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลิตภัณฑ์			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เผาในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดผลิตภัณฑ์	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลิตภัณฑ์	สีที่เกิดในเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก, สีน้ำเงิน พื้นสีน้ำตาลเทา	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำตาล พื้นสีน้ำตาลเข้ม
2	0.13 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์ใหญ่สีน้ำเงิน พื้นสีน้ำตาล	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์ใหญ่สีน้ำตาลอ่อน พื้นสีน้ำตาลเข้ม
3	0.13 : 2.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีฟ้าอ่อน พื้นสีฟ้าเข้ม	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำตาลอ่อน ออกเขียว พื้นสี น้ำตาลเทา
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หลุดลอก	สีฟ้าเข้ม	เคลือบไม่หลุดลอก	สีน้ำตาลออกเทาเข้ม
5	0.16 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงิน พื้นสีเทาเข้ม	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สีเทาเข้ม พื้นสีน้ำตาลเข้ม
6	0.16 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินเข้ม พื้นสีน้ำตาลเข้ม	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์สีเทาเข้ม พื้นสีน้ำตาล
7	0.16 : 2.0	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์สีฟ้าและน้ำเงิน พื้นสีเหลืองอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์สีเทาอ่อน พื้นสีน้ำตาล
8	0.16 : 2.5	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำเงิน พื้นสีฟ้า	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำตาลออก เทา พื้นสีน้ำตาลอ่อน
9	0.19 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีเทาดำ พื้นสีเทาเข้ม	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีดำ พื้นสีเทาดำ
10	0.19 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์ดอกใหญ่ สีน้ำเงิน พื้นสี น้ำตาลและเหลือง	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์ดอกใหญ่สี น้ำตาลแดง พื้นสี น้ำตาลอ่อน
11	0.19 : 2.0	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำเงิน สีฟ้า พื้นสีเหลืองเทา	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำตาล พื้นสีเทาออกน้ำตาล
12	0.19 : 2.5	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีฟ้าเข้ม พื้นสีเหลืองอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีเทาอ่อน พื้นสีเทา
13	0.22 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีเทาดำ พื้นสีน้ำตาลดำ	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีเทาเทา พื้นสีเทาดำ
14	0.22 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินเข้ม พื้นสีน้ำเงิน	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำตาล พื้นสีเทาดำ
15	0.22 : 2.0	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีน้ำเงิน พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีเทา พื้นออกสีน้ำตาลเทา
16	0.22 : 2.5	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีฟ้า พื้นสีน้ำตาล	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ สีเทาอ่อน พื้นสีเทา

จากตาราง 24 สัตว์ส่วนอุณฺมิณาและชิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 ไทตามเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิกเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 บรรยากาศการเผาแตกต่างกันจะมีระดับการเกิดผลึกและสีที่เกิดในเคลือบ พบว่ามีดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศรูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกใหญ่สีน้ำเงิน พื้นสีน้ำตาล และผลึกสีน้ำเงินเข้ม พื้นสีน้ำตาลเข้ม เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกใหญ่สีน้ำตาลอ่อน พื้นสีน้ำตาลเข้ม และผลึกสีเทาเข้มพื้นสีน้ำตาล

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศรูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกสีฟ้า และสีน้ำเงิน พื้นสีเหลืองอ่อน และผลึกดอกใหญ่สีน้ำเงิน พื้นสีน้ำตาล และเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกสีเทาอ่อน พื้นสีน้ำตาล และผลึกดอกใหญ่สีน้ำตาลแดง พื้นสีน้ำตาลอ่อน

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และส่วนสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศแต่ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จากเกิดผลึกน้อย เมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกปานกลางและเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำเงิน, สีฟ้า พื้นสีเหลืองเทา, ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำเงิน พื้นสีเขียวอ่อน และผลึกสีน้ำเงิน พื้นสีเทาเข้ม ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จะได้ผลึกสีน้ำเงินเข้ม พื้นสีน้ำเงิน เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำตาล พื้นสีเทาออกน้ำตาล, ผลึกเล็ก ๆ สีเทา พื้นออกสีน้ำตาลเทา และผลึกสีเทาเข้ม พื้นสีน้ำตาลเข้ม ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จะได้ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำตาล พื้นสีเทาดำ

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12 และ 3, 8, 9 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จากเคลือบไม่เกิดผลึก เมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกน้อยเคลือบสูญเสียความมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศ ออกซิเดชันจะได้ผลึกเล็ก ๆ สีฟ้า พื้นสีน้ำตาล, ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำเงิน พื้นสีน้ำตาลเทา, ผลึกเล็ก ๆ สีฟ้าเข้ม พื้นสีเหลืองอ่อน และผลึกเล็ก ๆ สีฟ้าอ่อน พื้นสีฟ้าเข้ม, ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำเงิน พื้นสีฟ้า, ผลึกเล็ก ๆ สีเทาดำ พื้นสีเทาเข้ม ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเล็ก ๆ สีเทาดำ พื้นสีน้ำตาลดำ เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเล็ก ๆ สีเทาอ่อน พื้นสีเทา ๆ ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำตาล พื้นสีน้ำตาลเข้ม,

ผลึกเล็ก ๆ สีเทาอ่อน พื้นสีเทา และผลึกเล็ก ๆ สีน้ำตาลอ่อนออกเขียว พื้นสีน้ำตาลเทา, ผลึกเล็ก ๆ สีน้ำตาลออกเทา พื้นสีน้ำตาลอ่อน, ผลึกเล็ก ๆ สีดำ พื้นสีเทาดำ ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเล็ก ๆ สีดำเทา พื้นสีเทาดำ

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 4 เคลือบไม่หลอมละลายและมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ เเผในบรรยากาศออกซิเดชั่นจะได้สีฟ้าเข้มเเผในบรรยากาศรีดักชั่นจะได้สีน้ำตาลออกเทาเข้ม

ดังนั้น สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกันเเผในบรรยากาศต่างกัน ระดับการเกิดผลึกใกล้เคียงกัน ขนาดของรูปผลึกต่างกันสีที่เกิดในเคลือบต่างกัน

ตาราง 25 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน ผสมกับสารให้สีชุดที่ 2 ไททานเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 บรรยากาศการเเผแตกต่างกัน

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลึก			
		เเผในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เเผในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเส้นเล็ก ๆ สีเงิน พื้นสีเทาดำ และสีเขียว	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็ก ๆ เส้นสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ
2	0.13 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกใหญ่เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกใหญ่เป็นเส้นสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ
3	0.13 : 2.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีขาว พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียว
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีเขียว	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีเขียวเข้มออกดำ
5	0.16 : 1.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นเล็ก ๆ สีเงิน พื้นสีเทาดำ และเขียว	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเล็ก ๆ เส้นสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ
6	0.16 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกใหญ่เป็นเส้นสีเขียวอ่อน และสีเขียว พื้นสีเขียว	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกใหญ่เป็นเส้นสีเงินและสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ
7	0.16 : 2.0	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นสีขาว พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกมาก	ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวเข้มออกดำ
8	0.16 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็ก ๆ สีเขียวอ่อน พื้นสีเขียว	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็ก ๆ สีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวออกดำ

ตาราง 25 (ต่อ)

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลึก			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เผาในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ
9	0.19 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเส้นเล็กสีเงิน และดำ พื้นสีเขียว	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นสีเส้นสีเงิน ออกดำ พื้นสีเขียว ออกดำ
10	0.19 : 1.5	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นดอกใหญ่ สีเขียวจุดดำ พื้นสีเขียว	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นดอกใหญ่สี เงินออกดำมีจุดดำ พื้นสีเขียวเข้ม
11	0.19 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นจุดสีขาวใสๆ พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเล็กๆ เป็นเส้น สีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวออกดำ
12	0.19 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็กๆ เป็นเส้น สีเขียวใส พื้นสี เขียวอ่อน	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเล็กๆ เป็นสีเงิน พื้นสีเขียวออกดำ
13	0.22 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเส้นสีดำและ สีเงิน พื้นสีเขียวเข้ม	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเส้นสีเงิน พื้นออกสีดำ
14	0.22 : 1.5	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีเขียว เข้ม พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเปิดอกสีดำ พื้นสีเขียวเข้ม
15	0.22 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นจุดสีขาว พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีเขียว พื้นสีเขียวเข้ม
16	0.22 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นจุดสีเขียว พื้นสีเขียวอ่อน	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นจุดเล็กๆ สีดำ พื้นสีเขียวเข้ม

จากตาราง 25 สัดส่วนอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดที่ 2 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 บรรยากาศการเผาแตกต่างกันจะมีระดับการเกิดผลึกและสีที่เกิดในเคลือบพบว่ามีดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศรูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นจะได้ผลึกใหญ่เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวอ่อน และผลึกใหญ่เป็นเส้นสีเขียวอ่อนและสีเขียวพื้นสีเขียว เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะได้ผลึกใหญ่เป็นเส้นสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ และผลึกใหญ่เป็นเส้นสีเงินและสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นเส้นสีขาว พื้นสีเขียวอ่อน และผลึกเป็นดอกใหญ่สีเขียวจุดดำ พื้นสีเขียว เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวเข้มออกดำ และผลึกเป็นดอกใหญ่สีเงินออกดำมีจุดดำ พื้นสีเขียวเข้ม

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จากเกิดผลึกน้อย เมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกปานกลางและเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นจุดสีขาวใส ๆ พื้นสีเขียวอ่อน, ผลึกเป็นจุดสีขาว พื้นสีเขียวอ่อน และผลึกเป็นเส้นเล็ก ๆ สีเงิน พื้นสีเทาดำและเขียว ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จะได้ผลึกเป็นเส้นสีเขียวเข้มพื้นสีเขียวอ่อน เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียวออกดำ, ผลึกเป็นเส้นสีเขียว พื้นสีเขียวเข้ม และผลึกเล็ก ๆ เส้นสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จะได้ผลึกเป็นดอกสีดำพื้นสีเขียวเข้ม

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12 และ 3, 8, 9 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จากเคลือบไม่เกิดผลึก เมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกน้อย เคลือบสูญเสียความมัน เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นจุดสีเขียว พื้นสีเขียวอ่อน, ผลึกเป็นเส้นเล็ก ๆ สีเงิน พื้นสีเทาดำและสีเขียว, ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเขียวใส พื้นสีเขียวอ่อน และผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีขาว พื้นสีเขียวอ่อน, ผลึกเล็ก ๆ สีเขียวอ่อน พื้นสีเขียว, ผลึกเป็นเส้นเล็กสีเงินและดำ พื้นสีเขียว ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเป็นเส้นสีดำและสีเงิน พื้นสีเขียวเข้ม เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเป็นจุดเล็ก ๆ สีดำ พื้นสีเขียวเข้ม, ผลึกเล็ก ๆ เส้นสีดำ พื้นสีเขียวเข้มออกดำ, ผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเงิน พื้นสีเขียวออกดำ และผลึกเล็ก ๆ เป็นเส้นสีเขียวเข้ม พื้นสีเขียว, ผลึกเล็ก ๆ สีเขียวเข้มพื้นสีเขียวออกดำ, ผลึกเป็นเส้นสีเงินออกดำ พื้นสีเขียวออกดำในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเป็นเส้นสีเงิน พื้นออกสีดำ

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 4 เคลือบไม่หลอมละลายและมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้สีเขียว เผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้สีเขียวเข้มออกดำ

ดังนั้น สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกันเผาในบรรยากาศต่างกันระดับการเกิดผลึกใกล้เคียงกัน ขนาดรูปผลึกต่างกัน สีที่เกิดในเคลือบต่างกัน

ตาราง 26 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน
ผสมกับสารให้สีชุดที่ 3 ไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3
บรรยายภาพการเผาแตกต่างกัน

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลึก			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เผาในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาล สั้นๆ ทับซ้อนกันบน พื้นสีน้ำตาลอ่อน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีครีมทับ ซ้อนกันบนพื้นสี เหลืองฟาง
2	0.13 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อน แวววาวทับซ้อนกัน บนพื้นสีครีม	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกเป็นเส้นสีเงินทับ ซ้อนกันบนพื้น สี เหลืองฟางอ่อน
3	0.13 : 2.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สี ครีมบนพื้นสีน้ำตาลอ่อน	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดขาว เล็กๆ กระจายอยู่บน พื้นสีเหลืองฟางอ่อน
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีน้ำตาลอ่อน	เคลือบไม่หลอมละลาย	สีเหลืองฟางอ่อน
5	0.16 : 1.0	เกิดผลึกมาก	ผลึกด้านเป็นเส้นสี น้ำตาลทับซ้อนกัน	เกิดผลึกมาก	ผลึกด้านเป็นเส้น สีครีมทับซ้อนกัน
6	0.16 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อน แวววาวทับซ้อนกัน	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกเป็นเส้นสีขาว ทับซ้อนกันบนพื้น สีเหลืองฟาง
7	0.16 : 2.0	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นเส้นสีเงินทับ ซ้อนกัน	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นเส้นสีขาวใส ทับซ้อนกัน
8	0.16 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สีครีมบนพื้นสีน้ำตาล	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สี เหลืองฟางบนพื้นสี เหลืองฟางอ่อน
9	0.19 : 1.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกด้านเป็นเส้น สีน้ำตาลทับซ้อนกัน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกด้านเป็นเส้น สีครีมทับซ้อนกัน
10	0.19 : 1.5	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาล อ่อนแวววาวทับซ้อนกัน	เกิดผลึกมากที่สุด	ผลึกเป็นเส้นสีครีม อ่อนทับซ้อนกัน
11	0.19 : 2.0	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นดอกสีครีมใส พื้นสีครีม	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นดอกสีครีมใส พื้นสีเหลืองฟางอ่อน
12	0.19 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดสีน้ำตาล อ่อนใส พื้นสีครีม	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดสีขาว พื้นสีเหลืองฟางอ่อน
13	0.22 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกด้านเป็นเส้นสี น้ำตาลอ่อนทับซ้อนกัน	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเส้นสีครีมด้าน ทับซ้อนกัน

ตาราง 26 (ต่อ)

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลึก			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เผาในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ
14	0.22 : 1.5	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาล อ่อนทับซ้อนกัน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีครีมทับ ซ้อนกัน
15	0.22 : 2.0	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นดอกสีครีมใส พื้นสีน้ำตาลอ่อน	เกิดผลึกมาก	ผลึกเป็นดอกสีขาวใส บนพื้นสีเหลืองฟางอ่อน
16	0.22 : 2.5	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นจุดสีครีมบน พื้นสีน้ำตาลอ่อน	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นจุดสีขาวใส บนพื้นสีเหลืองฟางอ่อน

จากตาราง 26 สัดส่วนอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 บรรยากาศการเผาแตกต่างกันจะมีระดับการเกิดผลึกและสีที่เกิดในเคลือบพบว่ามีดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 10 จากเคลือบเกิดผลึกมาก เมื่อผสมสารให้สีชุดนี้ กลายเป็นเคลือบเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ขนาดของผลึกจะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น ๆ ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นจะได้ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อนแวววาวทับซ้อนกันบนพื้นสีครีม และผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อนแวววาวทับซ้อนกัน ในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อนแวววาวทับซ้อนกัน เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะได้ผลึกเป็นเส้นสีเงินทับซ้อนกันบนพื้นสีเหลืองฟางอ่อน และผลึกเป็นเส้นสีขาวทับซ้อนกันบนพื้นสีเหลืองฟาง ในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผลึกเป็นเส้นสีครีมอ่อนทับซ้อนกัน

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ขนาดของผลึกจะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 11, 15 จากเคลือบเกิดผลึกปานกลาง และเคลือบมีความมันแวววาวกลายเป็นเคลือบเกิดผลึกมากเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ และในสูตรส่วนผสมที่ 5 จากเคลือบเกิดผลึกปานกลางและเคลือบด้านกลายเป็นเคลือบเกิดผลึกมากเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นจะได้ผลึกเป็นเส้นสีเงินทับซ้อนกันในสูตรส่วนผสมที่ 11, 15 ผลึกเป็นดอกสีครีมใส พื้นสีครีม, ผลึกเป็นดอกสีครีมใส พื้นสีน้ำตาลอ่อน และในสูตรส่วนผสมที่ 5 ผลึกด้านเป็นเส้นสีน้ำตาลทับซ้อนกัน เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะได้ผลึกเป็นเส้นสีขาวใสทับ

ซ้อนกันในสูตรส่วนผสมที่ 11, 15 ผลึกเป็นดอกสีครีมสีพื้นสีเหลืองฟางอ่อน, ผลึกเป็นดอกสีขาวใสบนพื้นสีเหลืองฟางอ่อน และในสูตรส่วนผสมที่ 5 ผลึกด้านเป็นเส้นสีครีมทับซ้อนกัน

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 14 และ 9 ที่มาจากสูตรส่วนผสมเคลือบที่เกิดผลึกน้อย เมื่อผสมกับสารให้สีชุดนี้กลายเป็นสูตรส่วนผสมเคลือบที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นจุดสีครีมบนพื้นสีน้ำตาลอ่อน, ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลสั้น ๆ ทับซ้อนกันบนพื้นสีน้ำตาลอ่อน, ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อนทับซ้อนกัน และผลึกด้านเป็นเส้นสีน้ำตาลทับซ้อนกัน เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเป็นจุดสีขาวใสบนพื้นสีเหลืองฟางอ่อน, ผลึกเป็นเส้นสีครีมทับซ้อนกันบนพื้นสีเหลืองฟาง, ผลึกเป็นเส้นสีครีมทับซ้อนกัน และผลึกด้านเป็นเส้นสีครีมทับซ้อนกัน

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อย และเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน, เคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 12, 3 และ 8 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จากเคลือบไม่เกิดผลึกเมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกน้อยเคลือบสูญเสียความมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นเกร็ดสีน้ำตาลอ่อนในสีพื้นสีครีม, ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีครีมบนพื้นสีน้ำตาลอ่อน และผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีครีมบนพื้นสีน้ำตาลในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกด้านเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อนทับซ้อนกัน เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกเป็นเกร็ดสีขาวพื้นสีเหลืองฟางอ่อน, ผลึกเป็นเกร็ดขาวเล็ก ๆ กระจายอยู่บนพื้นสีเหลืองฟางอ่อน และผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีเหลืองฟางบนพื้นสีเหลืองฟางอ่อนในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเป็นเส้นสีครีมด้านทับซ้อนกัน

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 4 เคลือบไม่หลอมละลาย และมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้สีน้ำตาลอ่อน เผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้สีเหลืองฟางอ่อน

ดังนั้นสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกันเผาในบรรยากาศต่างกันระดับการเกิดผลึกใกล้เคียงกัน ขนาดรูปผลึกต่างกัน สีที่เกิดในเคลือบต่างกัน

ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกัน
ผสมกับสารให้สีชุดที่ 4 ไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5
บรรยายภาพการเผาแตกต่างกัน

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลิตภัณฑ์			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น		เผาในบรรยากาศรีดักชั่น	
		ระดับการเกิดผลิตภัณฑ์	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลิตภัณฑ์	สีที่เกิดในเคลือบ
1	0.13 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นสี น้ำตาลอ่อนทับ ซ้อนกันเป็นแฉกๆ	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นสี น้ำตาลเข้ม พื้นสี น้ำตาลเข้มออกดำ
2	0.13 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์โตมีเส้นสี น้ำตาลเหลืองสีทอง	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์โตมีเส้นสี น้ำตาลเข้มเหลือง สีทอง
3	0.13 : 2.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นสี น้ำตาลเล็กๆ ทับซ้อนกัน	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นสี น้ำตาลเข้มทับซ้อน กันบนพื้นสีน้ำตาล เข้มออกดำ
4	0.13 : 2.5	เคลือบไม่หกลมละลาย	สีน้ำตาล	เคลือบไม่หกลมละลาย	สีน้ำตาลเข้มออกดำ
5	0.16 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เป็นเกร็ดสี น้ำตาล พื้นสี น้ำตาลอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์ปานกลาง	ผลิตภัณฑ์เป็นเกร็ดสี น้ำตาลเข้มบนพื้นสี น้ำตาลออกดำ
6	0.16 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์ดอกโตสี น้ำตาล พื้นสี น้ำตาลอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด	ผลิตภัณฑ์ดอกโตสี น้ำตาลเข้ม พื้นสี น้ำตาลออกดำ
7	0.16 : 2.0	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นสี น้ำตาลเหลือง สีทอง	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นสี น้ำตาลเข้มเหลือง สีทอง
8	0.16 : 2.5	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นจุดสี น้ำตาลอยู่บน พื้น สีน้ำตาลอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นจุดสี น้ำตาลเข้มออกดำ อยู่บนพื้นสีน้ำตาล เข้ม
9	0.19 : 1.0	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาลอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์น้อย	ผลิตภัณฑ์เป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาลเข้ม
10	0.19 : 1.5	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์โตสีน้ำตาล เหลืองน้ำตาลอ่อน	เกิดผลิตภัณฑ์มาก	ผลิตภัณฑ์โตสีน้ำตาล เข้มเหลืองน้ำตาลดำ เหมือนดอกไม้

ตาราง 27 (ต่อ)

สูตร ส่วน ผสม	สัดส่วนของ จำนวนโมเลกุล อลูมินา : ซิลิกา	ลักษณะของเคลือบผลึก			
		เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน		เผาในบรรยากาศรีดักชัน	
		ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ	ระดับการเกิดผลึก	สีที่เกิดในเคลือบ
11	0.19 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นและเป็นจุดสีน้ำตาลเหลืองทอง	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นและเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มเหลืองดำ
12	0.19 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเม็ดเล็กๆ สีน้ำตาล	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาลดำ
13	0.22 : 1.0	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วไป	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาลเข้มออกดำกระจายอยู่ทั่วไป
14	0.22 : 1.5	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นทับซ้อนกันสีน้ำตาล	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นทับซ้อนกันสีน้ำตาลเข้มออกดำ
15	0.22 : 2.0	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเหลืองสีทอง	เกิดผลึกปานกลาง	ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเข้มเหลืองสีทองเป็นบางจุด
16	0.22 : 2.5	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาล	เกิดผลึกน้อย	ผลึกเป็นเกร็ดเล็กๆ สีน้ำตาลออกดำ

จากตาราง 27 สัดส่วนอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดที่ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 บรรยากาศการเผาแตกต่างกันจะมีระดับการเกิดผลึก และสีที่เกิดในเคลือบ พบว่ามีดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะได้ผลึกโตมีเส้นสีน้ำตาลเหลืองสีทองและผลึกดอกโตสีน้ำตาล พื้นสีน้ำตาลอ่อนเมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะได้ผลึกโตมีเส้นสีน้ำตาลเข้มเหลืองสีทองและผลึกดอกโตสีน้ำตาลเข้ม พื้นสีน้ำตาลออกดำ

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยาภาศ รูปผลึกใกล้เคียงกันส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยาภาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยาภาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยาภาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเหลืองสีทองและผลึกโตเหลืองสีน้ำตาลแดง เมื่อเผาในบรรยาภาศรีดักชันจะได้ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเข้มเหลืองสีทอง และผลึกโตสีน้ำตาลเข้มเหลืองน้ำตาลดำเหมือนดอกไม้

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านเหมือนกันทั้ง 2 บรรยาภาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จากเกิดผลึกน้อย เมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกปานกลางและเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยาภาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยาภาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยาภาศออกซิเดชัน สีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยาภาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นเส้นและเป็นจุดสีน้ำตาลเหลืองแดง, ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเหลืองสีทอง และผลึกเป็นเกร็ดสีน้ำตาล พื้นสีน้ำตาลอ่อน ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จะได้ผลึกเป็นเส้นทับซ้อนกันสีน้ำตาล เมื่อเผาในบรรยาภาศรีดักชันจะได้ผลึกเป็นเส้นและเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มเหลืองดำ, ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเข้มเหลืองสีทอง เป็นบางจุดและผลึกเป็นเกร็ดสีน้ำตาลเข้มบนพื้นสีน้ำตาลออกดำในสูตรส่วนผสมที่ 14 จะได้ผลึกเป็นเส้นทับซ้อนกันสีน้ำตาลเข้มออกดำ

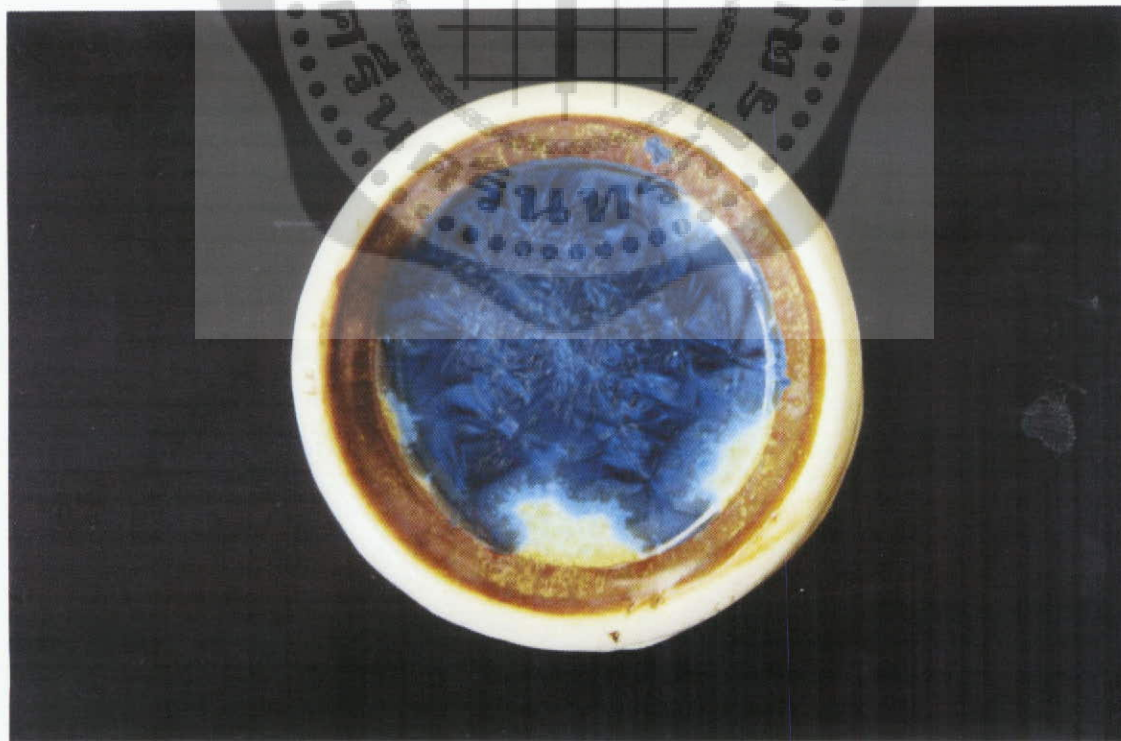
4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมันและเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12 และ 3, 8, 9 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยาภาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จากเคลือบไม่เกิดผลึกเมื่อผสมสารให้สีจะเกิดผลึกน้อยเคลือบสูญเสียความมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยาภาศ รูปผลึกจะใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดรูปผลึกที่เผาในบรรยาภาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยาภาศออกซิเดชัน ส่วนสีที่เกิดในเคลือบผลึกที่เผาในบรรยาภาศออกซิเดชันจะได้ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก, สีน้ำตาล, ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลอ่อนทับซ้อนกันเป็นแฉก ๆ, ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก, สีน้ำตาล และผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเล็ก ๆ ทับซ้อนกัน, ผลึกเป็นจุดสีน้ำตาลอยู่บนพื้นสีน้ำตาลอ่อน, ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลอ่อน ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อเผาในบรรยาภาศรีดักชันจะได้ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลออกดำ, ผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเข้ม พื้นสีน้ำตาลเข้มออกดำ, ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลดำ และผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเข้ม พื้นสีน้ำตาลเข้มออกดำ, ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลดำ และผลึกเป็นเส้นสีน้ำตาลเข้มทับซ้อนกันบนพื้นสีน้ำตาลเข้มออกดำ, ผลึกเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มออกดำอยู่บนพื้นสีน้ำตาลเข้ม, ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลเข้มในสูตรส่วนผสมที่ 13 จะได้ผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาลเข้มออกดำกระจายอยู่ทั่วไป

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 4 เคลือบไม่หลอมละลายและมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยาภาศ เผาในบรรยาภาศออกซิเดชันจะได้สีน้ำตาลเผาในบรรยาภาศรีดักชันจะได้สีน้ำตาลเข้มออกดำ

ดังนั้นสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกันเผาในบรรยากาศต่างกัน ระดับการเกิดผลึกใกล้เคียงกัน ขนาดรูปผลึกต่างกัน สีที่เกิดในเคลือบต่างกัน

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์จากการใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 ที่มีสัดส่วนระหว่าง อลูมินาและซิลิกา 0.16 : 1.5 ที่ได้จากการทดลองว่ามีระดับการเกิดผลึกมากที่สุด และเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 ที่มีสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกา 0.19 : 1.5 ที่ได้จากการทดลองว่ามีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 โทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 นำมาใช้เคลือบบนผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น โดยเผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า ปรากฏว่ามีผลวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามภาพประกอบ 11, 12, 13 และภาพประกอบ 14, 15, 16

ภาพประกอบ 11, 12 และ 13 ผลการวิเคราะห์จากการใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 ที่มีสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกา 0.16 : 1.5 ที่ได้จากการทดลองว่ามีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดผสมกับสารให้สีชุดโทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 นำมาใช้เคลือบบนผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น โดยเผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า



ภาพประกอบ 11 ภาพจากชั้นทดลองเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 ที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า

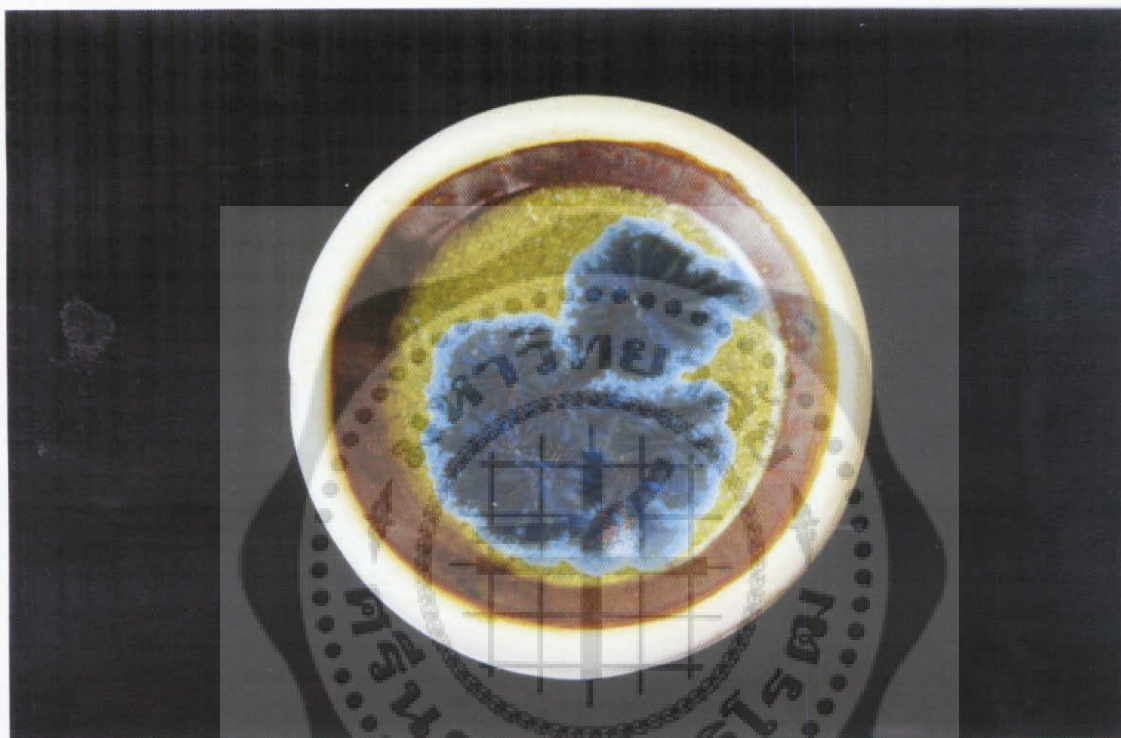


ภาพประกอบ 12 ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 31 เซนติเมตร ใช้เคลือบฟลักในสูตรส่วนผสมที่ 6 เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นด้วยเตาเผาไฟฟ้า



ภาพประกอบ 13 ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดความสูง 9 เซนติเมตร

ภาพประกอบ 14, 15 และ 16 ผลการวิเคราะห์จากการใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 ที่มีสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกา 0.19 : 1.5 ที่ได้จากการทดลองว่ามีระดับการเกิดผลึกมากผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 ไททาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิกเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 นำมาใช้เคลือบบนผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น โดยเผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า



ภาพประกอบ 14 ภาพจากชิ้นทดลองเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 ที่เผาใน บรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า



ภาพประกอบ 15 ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 เซนติเมตรใช้เคลือบในสูตรส่วนผสมที่ 10 เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นด้วยเตาเผาไฟฟ้า



ภาพประกอบ 16 ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดความสูง 9 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 11, 12, 13 14, 15 และ 16 ที่เป็นรูปผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบสร้างสรรค์ขึ้นเป็นรูปทรงที่เรียบง่าย โดยมีพื้นผิวที่เรียบเกลี้ยงมีพื้นที่ตรงส่วนที่ตั้งฉาก, ลาดเอียงมาก, ลาดเอียงน้อย, พื้นระนาบ, มีรอยขีดเป็นร่องลึก และมีพื้นที่ผิวขรุขระเป็นส่วนน้อย

ผลการวิเคราะห์การใช้เคลือบผลึกในผลงานประติมากรรมเซรามิกส์จากภาพประกอบ 11, 12, 13 14, 15 และ 16 พบว่า การออกแบบรูปทรงผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่จะนำมาตกแต่งด้วยเคลือบผลึกนั้นควรเน้นรูปทรงที่มีพื้นที่ที่จะโชว์ผลึกของเคลือบให้เห็นอย่างเด่นชัด มีรูปทรงที่เรียบง่ายไม่สลับซับซ้อนมากเกินไป รูปแบบที่จะเอื้ออำนวยให้ผลึกเกิดได้ดีนั้น พื้นผิวผลงานจะต้องมีพื้นผิวที่เรียบเกลี้ยงถึงแม้ว่าจะมีรูปทรงที่โค้งเว้ามีพื้นที่ที่มีความตั้งฉาก, ลาดเอียงมาก, ลาดเอียงน้อย, พื้นระนาบก็ตาม พื้นผิวของเส้นจะต้องต่อเนื่องกันไม่มีลายฉลุ, มีรอยขีดขีดเป็นร่องลึก, ลายเส้นหรือพื้นที่ผิวขรุขระมาเป็นอุปสรรคต่อการแตกตัวของผลึก และจากการทดลองพบอีกว่าการชุบเคลือบด้านในผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ครั้งนี้เคลือบด้านข้างมีการไหลตัวลงสู่ด้านล่างที่เป็นพื้นระนาบทำให้เคลือบตรงบริเวณนี้หนาขึ้นจึงทำให้การแตกตัวของผลึกมีขนาดรูปผลึกเล็กกว่าด้านข้าง

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผิวโดยยึดสัดส่วนของอลูมินาและซิลิกาโดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์ได้เป็นสูตรต่าง ๆ แล้วนำแต่ละสูตรผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีสูตรละ 2 ชนิด ได้แก่ ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ (NiO) ร้อยละ 4, ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ (CuO) ร้อยละ 3, ไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ร้อยละ 3 และไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 5 ทำให้สูตรส่วนผสมของเคลือบผิวต่าง ๆ เหล่านี้เกิดสีต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้เคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ โดยใช้อุณหภูมิในการเผา 1,280 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Atmosphere) และบรรยากาศรีดักชัน (Reduction Atmosphere)

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดให้

1. สูตรส่วนผสมของเคลือบผิวที่มีจำนวนโมเลกุลของอลูมินาแบ่งเป็น 4 ช่วง ๆ ละ 0.3 โมเลกุล และมีจำนวนโมเลกุลของซิลิกาแบ่งเป็น 4 ช่วง ๆ ละ 0.5 โมเลกุล ซึ่งจะได้สูตรส่วนผสมของเคลือบผิว 16 สูตรเคลือบ ในแต่ละสูตรเคลือบจะมีน้ำหนักรวมกัน 100 กรัม ทำสูตรเคลือบละ 10 ชุด
 2. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 1 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ (NiO) ร้อยละ 4 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)
 3. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 2 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ (CuO) ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)
 4. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 3 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ร้อยละ 3 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)
 5. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 4 นำไปผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 5 ได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)
 6. กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 5 ในสูตรส่วนผสมของเคลือบผิวทั้ง 16 สูตรเคลือบไม่มีการผสมสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีได้ 16 ตัวอย่าง (ทำ 2 ชุด)
- ชุดแรกจะได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ชุดที่ 2 จะได้ 80 ตัวอย่าง นำไปเผาในบรรยากาศรีดักชัน ดังนั้น รวมทั้งหมดได้ 160 ตัวอย่าง

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยการทดลองคือ เป็นการทดลองเคลือบผลึกเพื่อใช้กับผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงได้แก่วัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเคลือบเซรามิกส์ ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด เครื่องกรอง ถูพลาสติก ชนิดเล็ก ปากกามีสีดำ กระบอกตวง โกร่งบด หม้อบด เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ เตาเผาไฟฟ้า เตาแก๊ส สีได้เคลือบสีดำ และฟุ้งกันเบอร์ 1
2. วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบผลึกที่ต้องปราศจากความชื้น ได้แก่ โปแตสเฟลด์สปาร์ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินขาว ควอทซ์ สังกะสีออกไซด์ สตรอนเทียมคาร์บอเนต โปแตสเชียมออกไซด์ และทัลค์
3. วัตถุดิบที่เป็นสารให้สีในเคลือบที่ปราศจากความชื้น ได้แก่ ไทตาเนียมไดออกไซด์ นิเกิลออกไซด์ ทองแดงออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และเหล็กออกไซด์
4. เนื้อดินปั้นที่ใช้ทำขึ้นทดลอง และผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ ใช้เนื้อดินปอร์สเลน สำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์ เคลย์ จำกัด

การดำเนินการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

1. นำวัตถุดิบทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
2. ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบตามสูตรเคลือบผลึกที่เตรียมไว้ทั้ง 16 สูตร โดยในแต่ละสูตรเคลือบมีน้ำหนักรวมสูตรละ 100 กรัม ซึ่งน้ำหนักสูตรละ 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างแรกนำไปผสมกับสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ตัวอย่างที่ 2 นำไปผสมกับสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ตัวอย่างที่ 3 นำไปผสมกับสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ตัวอย่างที่ 4 นำไปผสมกับสารให้สีไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 ตัวอย่างที่ 5 ไม่มีการผสมสารให้สี และในแต่ละสูตรเคลือบทำ 2 ชุด ดังนั้นจะได้เคลือบผลึกชุดแรก จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อนำไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ชุดที่ 2 จำนวน 80 ตัวอย่าง เพื่อนำไปเผาในบรรยากาศรีดักชัน รวมจะได้จำนวน 160 ตัวอย่าง
3. นำแต่ละสูตรเคลือบเติมน้ำสะอาดบดผสมในโกร่งบด เพื่อให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเข้ากัน มีความละเอียดมากขึ้นและมีความถ่วงจำเพาะ 1.4 ใช้เวลาบดน้ำเคลือบประมาณ 20 นาที แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 80 เมช
4. เตรียมขึ้นทดลองที่ทำขึ้นจากเนื้อดินปอร์สเลนสำเร็จรูปของบริษัทคอมพาวด์ เคลย์ จำกัด ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบพิมพ์กดจากแบบพิมพ์ปูนพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร มีความหนา 1 เซนติเมตร
5. นำขึ้นทดลองที่ผ่านการเผาดิบแล้วมาขัดทำความสะอาดด้วยฟองน้ำชุบน้ำแล้วนำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นตัว

6. แล้วนำชิ้นทดลองไปชุบเคลือบที่เตรียมไว้โดยวิธีจุ่มในเวลาในการจุ่มชิ้นทดลองละ 3 วินาที ให้เคลือบมีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร
 7. ทำการขีดเคลือบตรงขอบและฐานชิ้นทดลองให้สะอาดด้วยฟองน้ำชุบน้ำเพื่อไม่ให้เคลือบหลอมไหลติดชิ้นวางเตาเผา
 8. เขียนรหัสประจำชิ้นทดลองแต่ละชิ้นด้วยสีได้เคลือบสีดำบริเวณใต้ชิ้นทดลอง
 9. นำชิ้นทดลองที่ชุบเคลือบแล้ว 80 ตัวอย่างแรกไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน โดยใช้เตาเผาไฟฟ้า
 10. นำชิ้นทดลองที่ชุบเคลือบแล้ว 80 ตัวอย่างหลังไปเผาในบรรยากาศรีดักชัน โดยใช้เตาเผาแก๊ส รวมมีชิ้นทดลอง 160 ชิ้นทดลอง
- จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้ไปตรวจสอบกับสมมุติฐานการวิจัยต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์ต่างเผาในบรรยากาศเดียวกันและสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์ต่างเผาในบรรยากาศต่างกัน จากสูตรเซเกอร์ที่ใช้ในการวิจัย โดยกำหนดสูตรพื้นฐานและสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาสามารถแสดงเป็นสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยได้ดังนี้

0.15 KNaO

0.08 CaO

0.11 SrO

0.06 MgO

0.60 ZnO

0.13 – 0.22 Al_2O_3 . 1.0 – 2.5 SiO_2

จากการคำนวณตามสูตรเซเกอร์ได้ 16 สูตรส่วนผสมปรากฏว่าได้เคลือบผลิตภัณฑ์ที่สามารถแบ่งกลุ่ม ระดับการเกิดผลึกที่เกิดขึ้นในเคลือบระดับความมันและความสมบูรณ์ของเคลือบได้ดังนี้

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 1.5 และ 0.16 : 1.5 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ ในกลุ่มนี้เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะมีรูปผลึกเป็นเส้นประสานกันเป็นแนว ๆ คล้ายพัดทับซ้อนกันมีทั้งขนาดใหญ่ขนาดเล็กผสมกันสีที่เกิดในเคลือบ สีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะมีรูปผลึกเป็นเส้นประสานกันเป็นแนว ๆ คล้ายพัดทับซ้อนกันมีขนาดเล็กเฉียงกัน สีที่เกิดในเคลือบสีขาว ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชัน จะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.16 : 2.0 และ 0.19 : 1.5 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศในกลุ่มนี้เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะมีรูปผลึกเหมือนดอกไม้ขนาดใหญ่ทับซ้อน

กัน สีที่เกิดในเคลือบสีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะมีรูปผลึกเป็นเส้นเล็ก ๆ มีความยาวพอสมควรประสานกันไปมาเป็นแนว ๆ คล้ายดอกไม้ทับซ้อนกันมีขนาดโตพอสมควร สีที่เกิดในเคลือบสีขาว ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.19 : 2.0, 0.22 : 2.0 และ 0.16 : 1.0 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศในกลุ่มนี้ เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะมีรูปผลึกคล้ายดอกไม้เล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปสีที่เกิดในเคลือบสีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะมีรูปผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป สีที่เกิดในเคลือบสีขาวส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อย และเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12, 14 และ 3, 8, 9 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.22 : 2.5, 0.13 : 1.0, 0.19 : 2.5, 0.22 : 1.5 และ 0.13 : 2.0, 0.16 : 2.5, 0.19 : 1.0 เหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ ในกลุ่มนี้เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะมีรูปผลึกเป็นแนวเล็ก ๆ อยู่เป็นจุด ๆ สีในเคลือบสีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะมีรูปผลึกเป็นเกร็ดเล็ก ๆ อยู่เป็นที่ ๆ สีที่เกิดในเคลือบสีขาว ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

ในสูตรส่วนผสมที่ 13 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.22 : 1.0 เคลือบไม่เกิดผลึกและสูญเสียความมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน สีที่เกิดในเคลือบสีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันสีที่เกิดในเคลือบสีขาว และในสูตรส่วนผสมที่ 4 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 2.5 เคลือบไม่หลอมละลายและมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันสีที่เกิดในเคลือบสีขาวเหลือง เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันสีที่เกิดในเคลือบสีขาว

ส่วนนี้สรุปผลการวิจัยได้ว่า จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกัน เผาในบรรยากาศเดียวกันระดับการเกิดผลึกแตกต่างกัน จำนวนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกัน บรรยากาศการเผาแตกต่างกัน ระดับการผลึกจะใกล้เคียงกัน ขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน และสีที่เกิดในเคลือบจะแตกต่างกัน

จากผลดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำแต่ละสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ชุดที่ 2 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ชุดที่ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 และชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 เผาในบรรยากาศแตกต่างกัน ปรากฏว่าได้เคลือบผลึกที่สามารถแบ่งกลุ่มระดับการเกิดผลึก สีที่เกิดในเคลือบระดับความมันและความสมบูรณ์ของเคลือบสามารถสรุปการวิจัยได้ว่า

1. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 ที่ผสมสารให้สี ชุดที่ 1, ชุดที่ 2, ชุดที่ 4 และชุดที่ 3 เหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 10 จากเคลือบเกิดผลึกมากเมื่อผสมสารให้สีชุดที่ 3 กลายเป็นเคลือบอยู่ในกลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวเหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกันทุกชุด ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรายากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรายากาศออกซิเดชันเหมือนกันทุกชุด แต่ขนาดของรูปผลึก ชุดที่ 3 จะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น ๆ และบรรายากาศการเผาต่างกันในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกัน สีในเคลือบจะแตกต่างกัน

2. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 7 และ 10 ที่ผสมสารให้สีชุดที่ 1, ชุดที่ 2, ชุดที่ 4 และชุดที่ 3 ในสูตรส่วนผสมที่ 7 เหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และ 5 เมื่อผสมกับสารให้สีชุดที่ 3 จากเคลือบเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมีความมันแวววาว และจากเคลือบเกิดผลึกปานกลาง และเคลือบด้าน กลายเป็นเคลือบเกิดผลึกมากเหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ ระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกันทุกชุด ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรายากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรายากาศออกซิเดชันเหมือนกันทุกชุด แต่ขนาดของรูปผลึกชุดที่ 3 จะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น ๆ และบรรายากาศการเผาต่างกันในสูตรส่วนผสมของเคลือบเดียวกัน ผสมสารให้สีชุดเดียวกันสีในเคลือบจะแตกต่างกัน

3. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาวได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 11, 15 และสูตรส่วนผสมที่ 5 เคลือบด้านที่ผสมสารให้สีชุดที่ 1, ชุดที่ 2, ชุดที่ 4 เหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 14 จากการเกิดผลึกน้อย เมื่อผสมสารให้สีชุดดังกล่าวข้างต้นจะเกิดผลึกปานกลางและเคลือบกึ่งด้านกึ่งมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ นอกจากนี้เมื่อผสมสารให้สีในชุดที่ 3 กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้าน กึ่งมัน และเคลือบด้าน ได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 4 และ 9 ที่มาจากสูตรส่วนผสมเคลือบที่เกิดผลึกน้อยกลายเป็นสูตรส่วนผสมเคลือบที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางเหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกันทุกชุด ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรายากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรายากาศออกซิเดชันเหมือนกันทุกชุด แต่ขนาดของรูปผลึกชุดที่ 3 จะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น ๆ และบรรายากาศการเผาต่างกันในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเดียวกันผสมสารให้สีชุดเดียวกันสีในเคลือบจะแตกต่างกัน

4. กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมีความมันแวววาว, เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบด้านได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 16, 1, 12 และ 3, 8, 9 ที่ผสมสารให้สีชุดที่ 1, ชุดที่ 2 และชุดที่ 4 ส่วนชุดที่ 3 ได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 12 และ 3, 8 เหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ แต่ในสูตรส่วนผสมที่ 13 จากเคลือบไม่เกิดผลึก เมื่อผสมสารให้สีในทุกชุดจะกลายเป็นเคลือบที่มีระดับการเกิดผลึกน้อย เคลือบสูญเสียความมันเหมือนกันทั้ง 2 บรรายากาศ ระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกันทุกชุด ส่วนขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรายากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรายากาศออกซิเดชันเหมือนกันทุกชุด แต่ขนาดของรูปผลึกชุดที่ 3 จะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น ๆ

ส่วนในสูตรส่วนผสมที่ 4 ที่ผสมสารให้สีชุดที่ 1, ชุดที่ 2, ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 เคลือบไม่หลอมละลาย และมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ ส่วนชุดที่ 5 ที่ไม่มีการผสมสารให้สีเคลือบไม่หลอมละลาย และมีการร่อนของเคลือบเหมือนกันทั้ง 2 บรรยากาศ และบรรยากาศการเผาต่างกัน ในสูตรผสมเคลือบผลึกเดียวกัน ผสมสารให้สีชุดเดียวกันสีในเคลือบจะแตกต่างกัน ขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศรีดักชันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน ดังนั้นการเผาเคลือบผลึกควรใช้เตาเผาไฟฟ้าจะเหมาะสมกว่าเตาแก๊ส และผลจากการใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 ที่อยู่ในกลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 10 ที่อยู่ในกลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากผสมกับสารให้สีชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 นำมาใช้เคลือบบนผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่ผู้วิจัยได้สร้างสรรค์ขึ้น โดยเผาในบรรยากาศออกซิเดชันด้วยเตาเผาไฟฟ้า สรุปผลได้ว่า

ผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่นำมาตกแต่งด้วยเคลือบผลึกนั้นจะต้องมีรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวของเคลือบให้เห็นอย่างเด่นชัด มีรูปทรงเรียบง่าย พื้นผิวเรียบเกลี้ยงต่อเนื่องกันไม่มีลายหล่นลายเส้น มาเป็นอุปสรรคต่อการตกแต่งตัวของผลึก

การเคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ด้านในเคลือบจากด้านข้างมีการไหลตัวลงสู่ด้านล่างที่เป็นพื้นระนาบทำให้เคลือบตรงบริเวณนี้หนาขึ้น จึงทำให้ขนาดรูปผลึกเล็กกว่าด้านข้าง

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองหาสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกโดยยึดสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา โดยการคำนวณตามสูตรเซเกอร์แล้วผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สีชุดที่ 1 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4 ชุดที่ 2 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์ ร้อยละ 3 ชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ชุดที่ 4 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 5 และชุดที่ 5 ทุกสูตรส่วนผสมในเคลือบผลึกไม่มีการผสมสารให้สีเผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ทั้งในบรรยากาศแบบออกซิเดชันและแบบรีดักชันสามารถอภิปรายได้ดังนี้

1. สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกต่างกันเผาในบรรยากาศเดียวกันมีระดับการเกิดผลึกต่างกันจากการทดลองพบว่า ได้กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุด และเคลือบมีความแวววาว จำนวน 2 สูตรส่วนผสม กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมาก และเคลือบมีความมันแวววาว จำนวน 2 สูตรส่วนผสม กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกปานกลางและเคลือบมันแวววาว จำนวน 2 สูตรส่วนผสม เคลือบด้าน จำนวน 1 สูตรส่วนผสม กลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกน้อยและเคลือบมันแวววาว จำนวน 1 สูตรส่วนผสม เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน จำนวน 3 สูตรส่วนผสม เคลือบด้าน จำนวน 3 สูตรส่วนผสม

มีจำนวน 1 สูตรส่วนผสม เคลือบไม่เกิดผลึกและสูญเสียความมันและเคลือบไม่หลอมละลายและมีการร่อนของเคลือบอีกจำนวน 1 สูตรส่วนผสม ซึ่งส่วนผสมดังกล่าวเป็นส่วนผสมเดียวกันทั้งสองบรรยากาศ

ในกลุ่มที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดและเคลือบมีความมันแวววาวได้แก่ สูตร ส่วนผสมที่ 2 และ 6 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 1.5 และ 0.16 : 1.5 ใน สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกใช้วัตถุดิบโปแตสเซิลด์สปาร์ ร้อยละ 28.60 โปแตสเซียมออกไซด์ ร้อย ละ 2.42 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 4.11 สตรอนเทียมคาร์บอเนต ร้อยละ 8.35 ทัลค์ ร้อยละ 3.89 ดินขาว ร้อยละ 3.98 สังกะสีออกไซด์ ร้อยละ 25.12 ควอทซ์ ร้อยละ 23.49 และโปแตสเซิลด์สปาร์ ร้อยละ 42.40 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 4.06 สตรอนเทียมคาร์บอเนต ร้อยละ 8.25 ทัลค์ ร้อยละ 3.85 สังกะสีออกไซด์ ร้อยละ 24.83 ดินขาว ร้อยละ 1.31 ควอทซ์ ร้อยละ 15.27 ในจำนวน 2 สูตร ส่วนผสมนี้ที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดกว่าสูตรส่วนผสมอื่น ๆ เพราะมีความเหมาะสมของ สัดส่วนการเกิดสารประกอบระหว่างซิงค์ออกไซด์ มีปฏิกิริยากับซิลิกา ซึ่งเกิดเป็นซิงค์ซิลิเกต (Zn_2SiO_4) หรือเรียกชื่อสารประกอบนี้ว่าวิลเลไมท์ (Willemite) การเกิดผลึกวิลเลไมท์แขวนลอยอยู่ ในสารละลายของส่วนผสมระหว่างออกไซด์ที่ประกอบด้วยอัลคาไลน์ อลูมินา และซิลิกา ต่าง ๆ เหล่านี้สามารถยอมให้ผลึกของซิงค์ซิลิเกต (Zn_2SiO_4) เจริญเติบโตได้ดี เมื่อสัดส่วนจำนวนโมเลกุล ของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 – 0.16 : 1.5 ส่วนกรณีที่มีระดับการเกิดผลึกมาก, เกิดผลึกปานกลาง และเกิดผลึกน้อยก็คงเนื่องจากสารประกอบซิงค์ซิลิเกตไม่สามารถมาเกาะกลุ่มรวมกันพัฒนาผลึกให้ เกิดขึ้นในสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกาที่แตกต่างออกไปเหล่านั้น ซึ่งไม่เหมาะสมเท่า กรณีของสูตรส่วนผสมที่ 2 และ 6 ซึ่งสอดคล้องกับมโนัส ข้าอ่อน (2527 : 15) ที่ว่าสารประกอบที่ ทำให้เกิดผลึกมีเป็นจำนวนมาก แต่พวกที่จัดจะทำให้เกิดผลึกได้ดีนั้นจะเป็นสารประกอบของธาตุ ต่าง ๆ ที่มีน้ำหนักอะตอมค่อนข้างสูง เช่น ซิงค์ออกไซด์ สตรอนเทียมออกไซด์ ทังสเตนออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ เป็นต้น ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ เมื่อถูกเผารวมตัวกับซิลิกาจะเกิดเป็น สารประกอบพวกซิลิเกต ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกขึ้น เช่น วิลเลไมท์ (Zn_2SiO_4) และสเตฟานอฟและ บาห์สซารอฟ (Stefanov; & Batschwarov. 1988 : 312 – 313) ที่ว่าเคลือบผลึกเกิดจากการเติม สารพวกซิงค์ออกไซด์ โทตานิยมไดออกไซด์ และลิเทียม ซึ่งสารทั้งหมดนี้มีส่วนช่วยให้เกิดรูปร่าง ผลึกดีต่อความสามารถในการก่อตัวของนิวเคลียส และอัตราการโตของผลึกสูงอีกด้วย ในสูตร ส่วนผสมที่ 2 และ 6 จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบดินขาวอยู่ ร้อยละ 3.98 และร้อยละ 1.31 ซึ่งมีอยู่ จำนวนน้อยจึงทำให้การก่อเกิดผลึกเป็นไปได้ง่ายซึ่งสอดคล้องกับไพจิตร อิงศิริวัฒน์ (2537 : 117) ที่ว่าในสูตรเคลือบผลึกมักมีส่วนประกอบของอลูมินาหรือดินขาวน้อยที่สุดเพื่อให้ผลึกแตกตัวได้ เต็มที่ในขณะที่เคลือบไหลตัว ดังนั้น เมื่อถึงจุดสุกตัวเคลือบนี้จึงไหลมากเนื่องจากดินขาวที่ทำ หน้าที่เป็นตัวหนืดในน้ำยาเคลือบมีปริมาณไม่เพียงพอ

ส่วนสูตรส่วนผสมเคลือบไม่เกิดผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 13 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุล ของอลูมินาต่อซิลิกา 0.22 : 1.0 เพราะในสูตรส่วนผสมนี้มีปริมาณของอลูมินาอยู่มากที่สุดและมาก เกินไป โดยเป็นตัวชะลอหรือขัดขวางการก่อเกิดผลึกของซิงค์ซิลิเกตและทำให้เคลือบสูญเสียความ มัน ซึ่งสอดคล้องกับรูตส์ (Rhodes. 1972 : 65) ที่ว่าในเคลือบมีอลูมินาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญใน การทำเคลือบแทบทุกชนิดมีแต่เคลือบผลึกเท่านั้นที่ใช้อลูมินาเพียงเล็กน้อยเพราะอลูมินามี คุณสมบัติทำให้ความมีความหนืดสูงเป็นตัวชะลอหรือขัดขวางการเจริญของโครงสร้างผลึกใหญ่ ๆ ความมันแวววาวอลูมินาจะทำหน้าที่ควบคุมการไหลตัวของเคลือบให้เป็นไปอย่างคงที่ และ สม่่าเสมอที่อุณหภูมิการหลอมตัวของเคลือบ

ส่วนสูตรส่วนผสมของเคลือบไม่หลอมละลายในสูตรส่วนผสมที่ 4 ที่มีสัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอลูมินาต่อซิลิกา 0.13 : 2.5 โดยในสูตรส่วนผสมนี้มีปริมาณของซิลิกาอยู่มากที่สุดและมากเกินไป โดยอยู่ในรูปสารประกอบหินฟันม้า ดินขาว และอยู่ในรูปสารอิสระควอทซ์ อยู่ร้อยละ 41.56 จึงทำให้เคลือบไม่หลอมละลายเพราะซิลิกามีคุณสมบัติเพิ่มจุดหลอมละลายของเคลือบให้สูงขึ้น (สมศักดิ์ ขวาลาวณ์. 2541 : 113) และสอดคล้องกับสูตรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 20) ที่ว่าซิลิกาบริสุทธิ์จะมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,710 องศาเซลเซียส โดยทั่ว ๆ ไปเมื่อใช้ผสมในเคลือบจะให้ผลต่อเคลือบข้อหนึ่งคือเพิ่มจุดหลอมละลายของเคลือบให้สูงขึ้นและในสูตรส่วนผสมนี้

เคลือบจะมีข้อบกพร่องที่เป็นตำหนิ เช่น การร่อนของเคลือบสาเหตุน่าจะเกิดจากในสูตรส่วนผสมของเคลือบมีปริมาณของซิลิกาอยู่มากเกินไปเช่นกัน เพราะวัตถุดิบควอทซ์หรือซิลิกาไม่มีความเหนียวเมื่อเคลือบไม่สุกตัวหรือไม่หลอมละลายย่อมไม่สามารถยึดติดกับพื้นผิวชั้นทดลองได้ (สมศักดิ์ ขวาลาวณ์. 2541 : 156 – 159)

ระดับความมันของเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ปรากฏจากการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าระดับความมันของเคลือบจะแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพาร์เมลี (นิวตร พัฒนา. 2534 : 45 – 47 ; อ้างอิงจาก พาร์เมลี) ที่พบว่า เคลือบที่สัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาแปรค่าต่างกันจะมีลักษณะระดับความมันของเคลือบต่างกัน

ส่วนสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกันเผาในบรรยากาศต่างกัน ระดับการเกิดผลึกจะใกล้เคียงกันขนาดของรูปผลึกที่เผาในบรรยากาศต่างกันจะเล็กกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น สาเหตุน่าจะเกิดจากการเย็นตัวของเคลือบที่เร็วเกินไป โดยเผาเผาแก๊สจะกักเก็บความร้อนได้ดีน้อยกว่าเผาไฟฟ้า จึงทำให้การเย็นตัวของเคลือบเร็วกว่าการเผาด้วยเผาไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับสูตรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 60) ที่ว่าการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์การเพิ่มอุณหภูมิการเผายังใช้อัตราเดียวกับเคลือบธรรมดา คือ 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แต่การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญขึ้นอยู่กับการเย็นตัวของเคลือบ ซึ่งจะเป็นผลต่อการเกิดผลึกและขนาดของผลึกด้วย ในการเย็นตัวของเคลือบจะมีช่วงหนึ่งของอุณหภูมิที่เคลือบจะเริ่มตกผลึกในการเผาจะต้องระวังการเย็นตัวของเคลือบ ณ อุณหภูมิจุดนี้ให้ดีและจะต้องควบคุมให้อยู่ ถ้าปล่อยให้เย็นตัวเร็วเกินไปบางที่อาจไม่ได้เคลือบผลึกหรือไม่ก็จะได้เคลือบด้านแทนแต่ถ้าเราสามารถทำให้ช่วงการเย็นตัวของจุดที่เริ่มตกผลึกให้เป็นไปอย่างช้า ๆ ก็จะได้ผลึกที่โตและสมบูรณ์ การเผาเร็วเกินไปหรือทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วจะทำให้การรวมตัวของโมเลกุลของซิลิกาเกิดกับสารอื่นเป็นไปได้น้อยลงเพราะการรวมตัวกัน หรือการจับตัวเข้าด้วยกันของสารเหล่านี้จะเป็นไปอย่างเชื่องช้า

และสัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกันเผาในบรรยากาศต่างกันที่ที่เกิดในเคลือบต่างกัน สาเหตุมาจากการเผาแบบรีดักชันคือการเผาที่ให้ปริมาณของเชื้อเพลิงสูงภายในเตาจะทำให้อากาศเข้าไปในเตาน้อยกว่าและมีผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่ด้วยการเผาแบบรีดักชันนี้จะมีผลต่อเนื้อดินปั้น เพราะทำให้เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่มีอยู่ในดินเปลี่ยนจาก Ferric Form เป็น Ferrous Form ทำให้ดินเกิดเป็นสีครามอ่อนขึ้นทำให้ดูเนื้อดินปั้นขาวขึ้น เพราะบรรยากาศการเผาแบบรีดักชันจะเป็นการช่วยให้เกิดการฟอกสีของเนื้อดินปั้นให้ขาวขึ้น เนื่องจากเหล็กออกไซด์ในเนื้อดินที่ผ่านการเผาวิธีนี้

จะอยู่ในสภาพเฟอร์รัสออกไซด์ (FeO) ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำสุดจะทำให้สีเนื้อดินออกเป็นสีครามอ่อนมากทำให้กลืนสภาพสีของเนื้อดินตามปกติที่มีสีออกขาวเหลืองเล็กน้อยจึงทำให้เนื้อดินบนที่เผาในบรรยากาศรีดักชันมีความขาวเพิ่มขึ้น และทำให้เคลือบดูเป็นสีขาวด้วยเช่นกัน (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 260 – 263)

2. สัดส่วนระหว่างอลูมินาและซิลิกาในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกันผสมกับสารให้สีชุดเดียวกัน ชุดที่ 1, ชุดที่ 2, ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 เผาในบรรยากาศแตกต่างกัน สีที่ได้จะแตกต่างกัน สาเหตุมาจากคุณสมบัติของสารให้สีทางเซรามิกส์ สีที่เกิดจากสนิมโลหะที่ไม่ได้อยู่ในรูปของสีสำเร็จรูปตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งสนิมโลหะบางตัวอาจให้สีได้หลายสีเมื่อเผาในอุณหภูมิและบรรยากาศการเผาที่แตกต่างกันรวมถึงการผสมกับสนิมโลหะชนิดอื่น ๆ ก็สามารถให้สีที่แตกต่างกันได้ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 125) ดังคุณสมบัติของสารให้สีนิกเกิลออกไซด์ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 126 – 127) และ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 26) ทองแดงออกไซด์ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 25) แมงกานีสไดออกไซด์ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 26) และ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 126) เหล็กออกไซด์ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 25) และ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 126) และสารให้สีไททาเนียมไดออกไซด์ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2530 : 24 – 25) และ (สมศักดิ์ ขวาลาวณย์. 2541 : 124) ซึ่งสอดคล้องกับสุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 27) ที่ว่า ส่วนผสมสี คือ สีของเคลือบนอกจากจะได้จากการเติมออกไซด์ที่ให้สีดังกล่าวมาแล้ว อาจจะได้จากกรวไรซ์ออกไซด์ที่ให้สีตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาผสมกันเพื่อให้ได้สีที่แตกต่างออกไปได้หลาย ๆ สี ทั้งนี้สีในเคลือบยังขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเคลือบอุณหภูมิ ตลอดจนสภาวะในการเผาและจำนวนของสารให้สีที่ใช้ด้วย และสมศักดิ์ ขวาลาวณย์ (2535 : 144) ที่ได้ศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันเนื้อดินบนชนิดเดียวกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน เนื้อดินบนต่างชนิดกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน

บรรยากาศการเผารีดักชันมีผลต่อสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์และเหล็กออกไซด์สี, ระดับสีแก่ (Low Value) กว่าเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน และบรรยากาศการเผารีดักชันมีผลต่อสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ได้สี, ระดับสีอ่อน (High Value) กว่าเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน

ส่วนระดับการเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลิตภัณฑ์เดียวกันในสูตรส่วนผสมที่ 13 จากเคลือบไม่เกิดผลิตภัณฑ์เมื่อผสมสารให้สีในทุกชุดจะกลายเป็นเคลือบที่มีระดับการเกิดผลิตภัณฑ์น้อย สาเหตุน่าจะเกิดจากส่วนผสมของสารให้สีที่มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสเตฟานอฟและบัทสชาร์อฟ (Stefanov; & Batschwarov. 1988 : 312 – 313) ที่ว่าโดยปกติแล้วเคลือบจะมีสีจากสารให้สีคือเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) แมงกานีสคาร์บอเนต (MnCO_3) โคบอลท์คาร์บอเนต (CoCO_3) นิกเกิลออกไซด์ (NiO) นิกเกิลคาร์บอเนต (NiCO_3) ทองแดงออกไซด์ (CuO) และอื่น ๆ โดยมาจากสารตัวเดียว ๆ หรือหลายตัวผสมกัน ซึ่งออกไซด์บางตัวก็ให้สีกับตัวผลิตภัณฑ์มากกว่าเคลือบและบางครั้งก็ให้สีที่แตกต่างกัน เช่น สารที่เติมแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 0.50 สีของเคลือบที่ได้สีเหลือง สีเทา เป็นต้น ส่วนผสมที่มี

ทองแดงออกไซด์ โคบอลต์ออกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ไม่เพียงแต่ให้สีเท่านั้น แต่ยังช่วยให้กระบวนการเกิดผลึกด้วย และมนัส ขำอ่อน (2527 : 15) ที่ว่าผลึกที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะเกิดขึ้นภายในสูตรเคลือบสีขาวที่ยังไม่ได้เติมออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ ที่ให้สี หรือเกิดผลึกหลังจากเติมสารให้สีลงไปหรืออาจจะเกิดร่วมกันระหว่างสารในสูตรพื้นฐานและส่วนที่เติมครั้งหลัง

ส่วนระดับการเกิดผลึกมีการเปลี่ยนแปลงในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกเมื่อผสมสารให้สีชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 3 ในสูตรส่วนผสมที่ 10 จากเคลือบมีระดับการเกิดผลึกมาก กลายเป็นมีระดับการเกิดผลึกมากที่สุด ในสูตรส่วนผสมที่ 5, 11 และ 15 จากเคลือบมีระดับการเกิดผลึกปานกลาง กลายเป็นระดับการเกิดผลึกมาก

ในสูตรส่วนผสมที่ 1, 9, 14 และ 16 จากระดับการเกิดผลึกน้อยกลายเป็นระดับการเกิดผลึกปานกลาง สาเหตุน่าจะเกิดจากคุณสมบัติของสารให้สีชุดที่ 3 ไทตาเนียมไดออกไซด์กับแมงกานีสไดออกไซด์ ที่เป็นสารให้ผลึกได้ เป็นตัวช่วยเพิ่มผลึกให้เกิดจำนวนมากขึ้นในสูตรส่วนผสมต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งสอดคล้องกับสุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 58) ที่ว่า ส่วนจะให้เกิดผลึกรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวที่ทำให้เกิดผลึก เช่น ถ้าให้ซิงค์ออกไซด์จะได้ผลึกรูปพืด ถ้าใช้ไทตาเนียมไดออกไซด์จะได้ผลึกรูปเข็ม เป็นต้น

สเตฟานอฟ และบาทส์ซวาร์อฟ (1988 : 312 – 313) ที่ว่าเคลือบผลึกซิงค์ออกไซด์จะมีรูปร่างแบบคันเบ็ดและปรากฏในแบบที่ไขว้กันขณะที่ผลึกไททาเลียม (TiO₂) จะมีรูปร่างกลม และกระจายออกคล้ายกับรังสี ฯลฯ และ มนัส ขำอ่อน (2527 : 1 – 2) ที่ว่าเคลือบผลึกจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะที่ให้สีขาว เช่น โซเดียม โบรอนไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ สตรอนเชียมออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ และออกไซด์ของโลหะที่ให้สี เช่น นิเกิลออกไซด์ เหล็กออกไซด์ ทังสเตนออกไซด์ โคบอลต์ออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ เมื่อนำออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เหล่านี้มาบดรวมกันแล้วเคลือบไปบนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เผาที่อุณหภูมิสูงจนถึงจุดหลอมตัวออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ เมื่อรวมกับพวกซิลิกาจะเกิดเป็นสารประกอบพวกซิลิเกต เช่น ซิงค์ ซิลิเกต รวมทั้งเมื่อถูกเผาพร้อมกับไทตาเนียมไดออกไซด์เป็นไททาเนต (Titanate) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะเกิดผลึกได้ดี ณ ที่อุณหภูมิสูง

ส่วนขนาดของรูปผลึกชุด 3 นี้ จะเล็กกว่าการผสมสารให้สีชุดอื่น ๆ สาเหตุน่าจะมาจากคุณสมบัติของสารให้สีแมงกานีสไดออกไซด์ เมื่อผสมอยู่ในเคลือบยังทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมละลายของเคลือบ เมื่อผสมกับไทตาเนียมไดออกไซด์ จึงทำให้การเกิดผลึกไทตาเนตง่ายขึ้น รูปผลึกของไทตาเนตจะเล็กกว่ารูปผลึกของวิลเลไมท์ ซึ่งสอดคล้องกับสมศักดิ์ ขวาลาวณย์ (2541 : 126) ที่ว่าแมงกานีสไดออกไซด์มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,080 องศาเซลเซียส

และผลจากการใช้เคลือบผลึกเคลือบผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ด้านในเคลือบจากด้านข้างมีการไหลตัวลงสู่ด้านล่างที่เป็นพื้นระนาบทำให้เคลือบตรงบริเวณนี้หนาขึ้นจึงทำให้ขนาดรูปผลึกเล็กกว่าด้านข้าง ซึ่งแก้ไขได้โดยเพิ่มช่วงเวลาเผาเย็นไฟ (Soaking Time) ขึ้นอีก ประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่งถึง 2 ชั่วโมง ก็จะทำให้เกิดผลึกที่สมบูรณ์ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 60)

ข้อเสนอแนะการนำผลวิจัยไปใช้

1. รูปแบบการทดลอง ตลอดจนการวางแผนการทดลองในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปปรับปรุงเป็นรูปแบบและวิธีสอนในหลักสูตรทัศนศิลป์ สาขาวิชาเอกเชรามิกส์ ในรายวิชา ศป.352 วัสดุศาสตร์เทคโนโลยี ศป.457 เตาและการเผา ศป.458 เคลือบ ฯลฯ ในภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้

2. จากการวิจัยพบว่า ในสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกทุกสูตรส่วนผสมจะมีระดับการเกิดผลึกที่แตกต่างกัน สีที่เกิดในเคลือบขึ้นอยู่กับส่วนผสมกับสนิมโลหะที่เป็นสารให้สี ดังนั้น การนำสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกไปใช้เพื่อตกแต่งผลงานประติมากรรมเชรามิกส์อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้สูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่มีระดับการเกิดผลึกมากที่สุดก็ได้ เพียงแต่เลือกสูตรส่วนผสมของเคลือบผลึกที่มีระดับการเกิดผลึกรองลงมาใช้ก็ได้เช่นกัน โดยการใช้นั้นจะต้องเลือกใช้ให้สอดคล้องเหมาะสมกับรูปแบบผลงานที่ได้ออกแบบและสร้างสรรค์ผลงานแต่ละครั้งไป





บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. (2526). แร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศรีเมืองการพิมพ์.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2538). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซรามิกส์. ลำปาง : ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรม
เครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (ม.ป.ป.). เคลือบเซรามิกส์เบื้องต้น. เชียงใหม่ : ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรม
เครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ.
- โกมล รัชวงศ์. (2530). วัตถุดิบที่ใช้ในเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพฯ :
วิทยาลัยครูพระนคร.
- _____. (2531). งานทำสีสำเร็จรูป. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร.
- ทวี พรหมพุกษ์. (2523). เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- นิวัตร พัฒนะ. (2534). การทดลองสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาที่ทำให้เกิดลักษณะของเคลือบ
เฟลตสปาร์. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศิลป์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- บริษัทคอมพาวด์เคลย์. (2549). รายละเอียดประกอบสินค้า. (แผ่นพับ). กรุงเทพฯ : ม.ป.พ.
ถ่ายเอกสาร.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขา. (2530). เคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- _____. (2532). เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. (2537). รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ภรดี พันธุมภกร. (2534). เซรามิกส์เบื้องต้น. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา.
- มนัส ขำอ่อน. (2527). การศึกษาน้ำเคลือบผลึก. วิทยานิพนธ์ วท.ม. เชียงใหม่ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2545). รายงานการศึกษานโยบายบูรณาการการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาเซรามิกส์และแก้ว). เชียงใหม่ : สถาบันวิจัยสังคม.
- สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. (2535). การพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์
โดยการใช้สัณนิโลหะตามสูตรแผนภาพไตรดวลภาค. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (ศิลปศึกษา).
กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- _____. (2541). เซรามิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2527). น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร.
- อารี สุทธิพันธุ์. (2535). ศิลปนิยม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- Cullen W. Parmelee. (1951). *Ceramic Glazes*. Illinois : University of Illinois.
- _____. (1975). *Ceramic Glaze*. 3rd ed. Boston : Massachuseft CBI Publishing
Company Inc.
- Daniel Rhodes. (1972). *Clay and Glazes for the Potter*. 4th ed. Great Britain :
Pitman Publishing.

Glenn C. Nelson. (1966). *Ceramic*. New York : Holt, Rientort and Winston Inc.

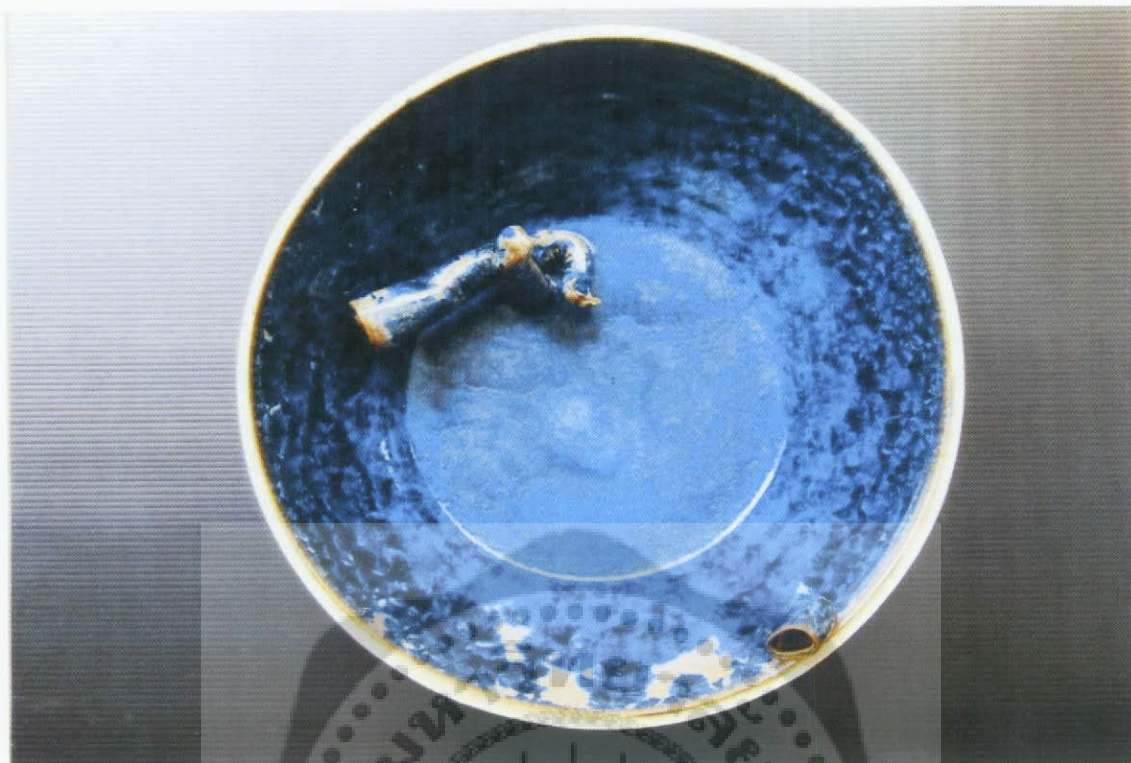
Robert Fournier. (1977). *Illustrated Dictionary of Practical Pottery*. New York : Van
Vostrand Reenhold Company.

Stefan Stefanov & Svetlan Batschwarov. (1988). *Ceramic Glazes*. Berlin : Druck.

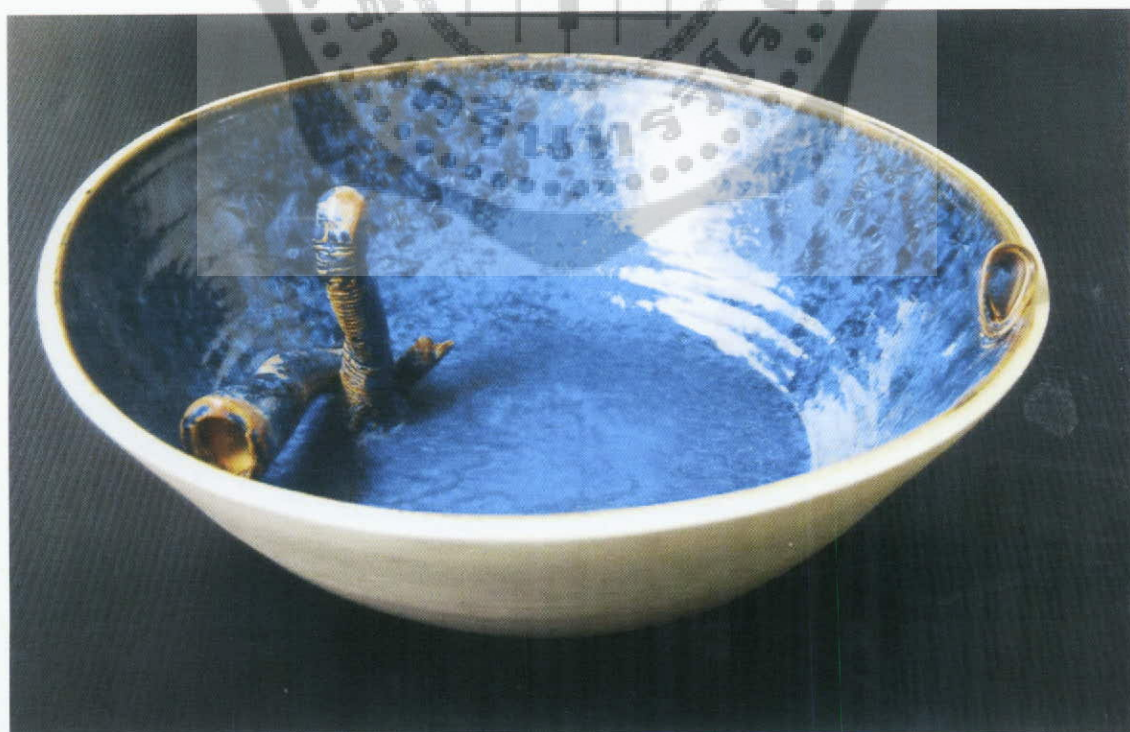








ภาพประกอบ 17 ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 39 เซนติเมตร ใช้เคลือบผลึกในสูตรส่วนผสมที่ 6 เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นด้วยเตาเผาไฟฟ้า ผสมสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4



ภาพประกอบ 18 ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดความสูง 11 เซนติเมตร



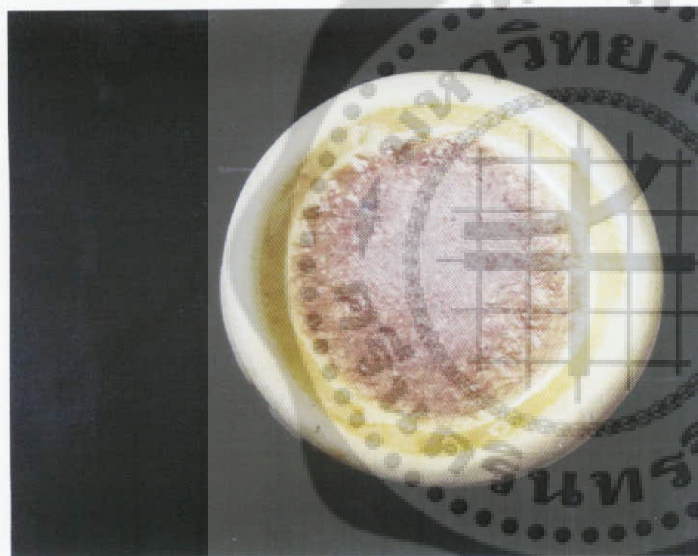
ภาพประกอบ 19 ภาพถ่ายด้านบนของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร ใช้เคลือบฟลักในสูตรส่วนผสมที่ 10 เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นด้วยเตาเผาไฟฟ้า ผสมสารให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 2 กับนิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 4



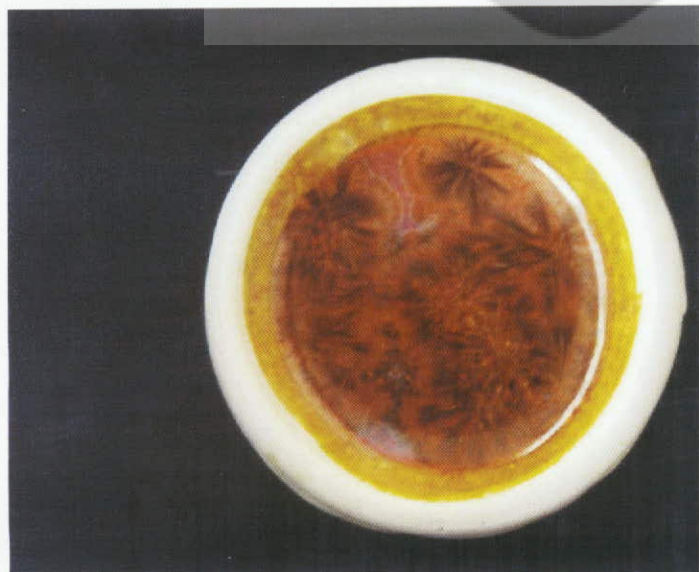
ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายด้านข้างของผลงานประติมากรรมเซรามิกส์ที่มีขนาดความสูง 9 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 21 ภาพจากชั้นทดลอง
ในสูตรส่วนผสมที่ 6 ผสมกับสาร
ให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์
ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์
ร้อยละ 3



ภาพประกอบ 22 ภาพจากชั้นทดลอง
ในสูตรส่วนผสมที่ 6 ผสมกับสาร
ให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์
ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์
ร้อยละ 3



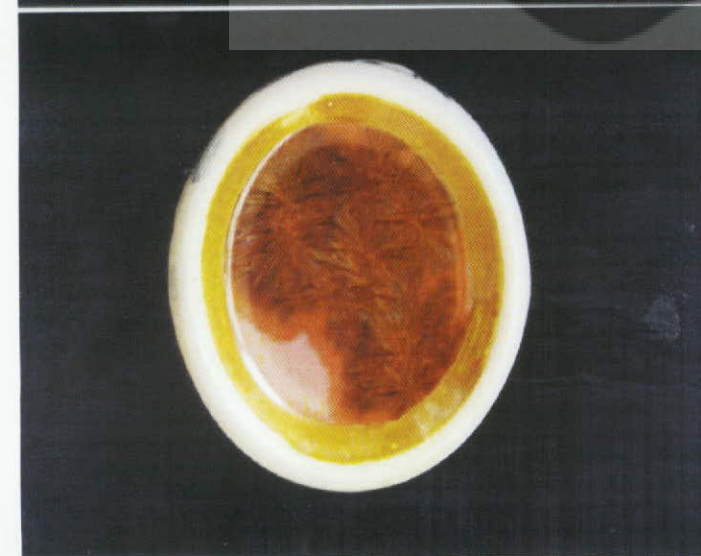
ภาพประกอบ 23 ภาพจากชั้นทดลอง
ในสูตรส่วนผสมที่ 6 ผสมกับสาร
ให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์
ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์
ร้อยละ 5



ภาพประกอบ 24 ภาพจากชั้นทดลอง
ในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผสมกับสาร
ให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์
ร้อยละ 2 กับทองแดงออกไซด์
ร้อยละ 3



ภาพประกอบ 25 ภาพจากชั้นทดลอง
ในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผสมกับสาร
ให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์
ร้อยละ 2 กับแมงกานีสไดออกไซด์
ร้อยละ 3



ภาพประกอบ 26 ภาพจากชั้นทดลอง
ในสูตรส่วนผสมที่ 10 ผสมกับสาร
ให้สีชุดไทตาเนียมไดออกไซด์
ร้อยละ 2 กับเหล็กออกไซด์
ร้อยละ 5

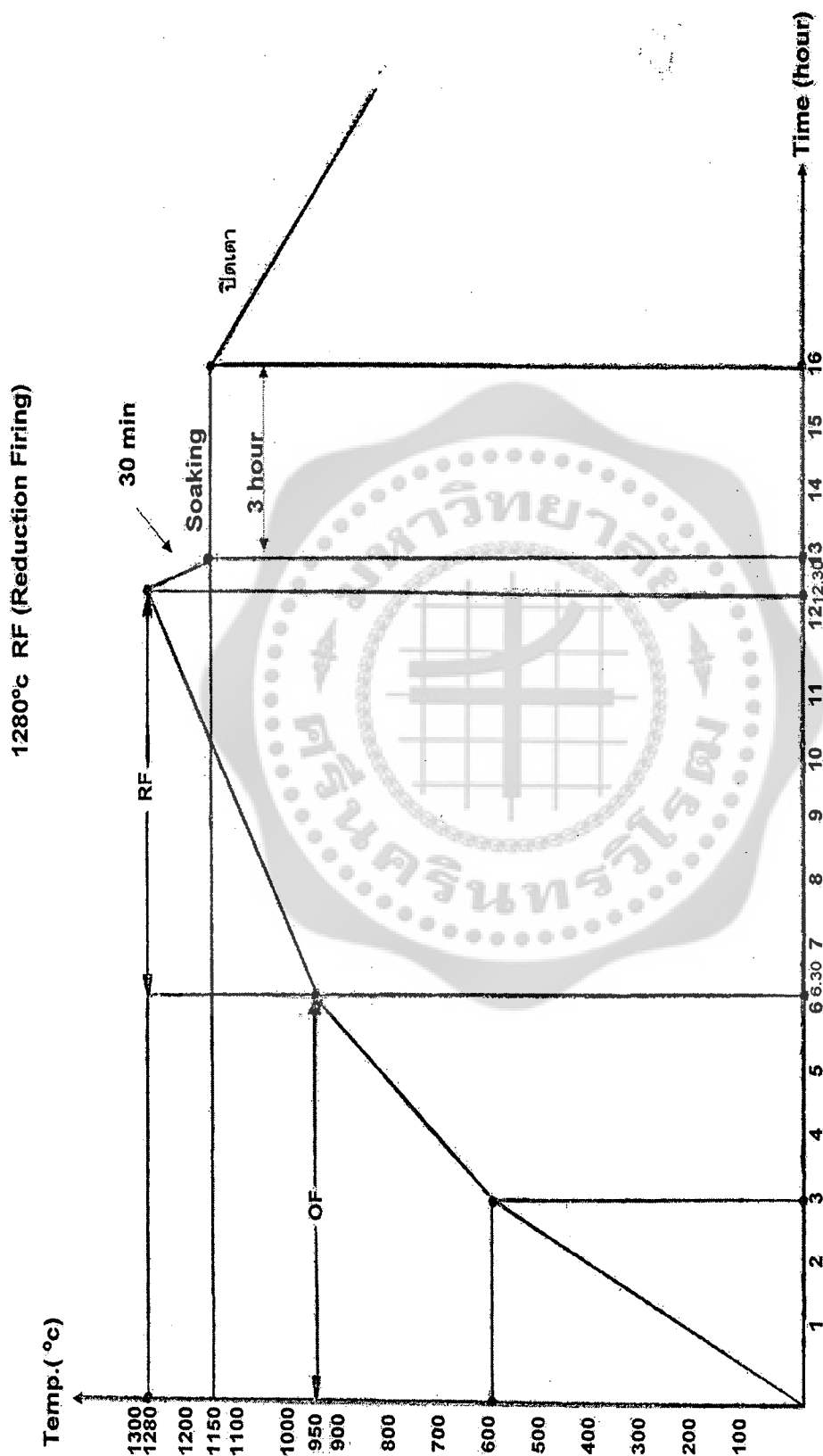


ภาพประกอบ 27 ภาพการจัดวางผลงานประติมากรรมเซรามิกส์



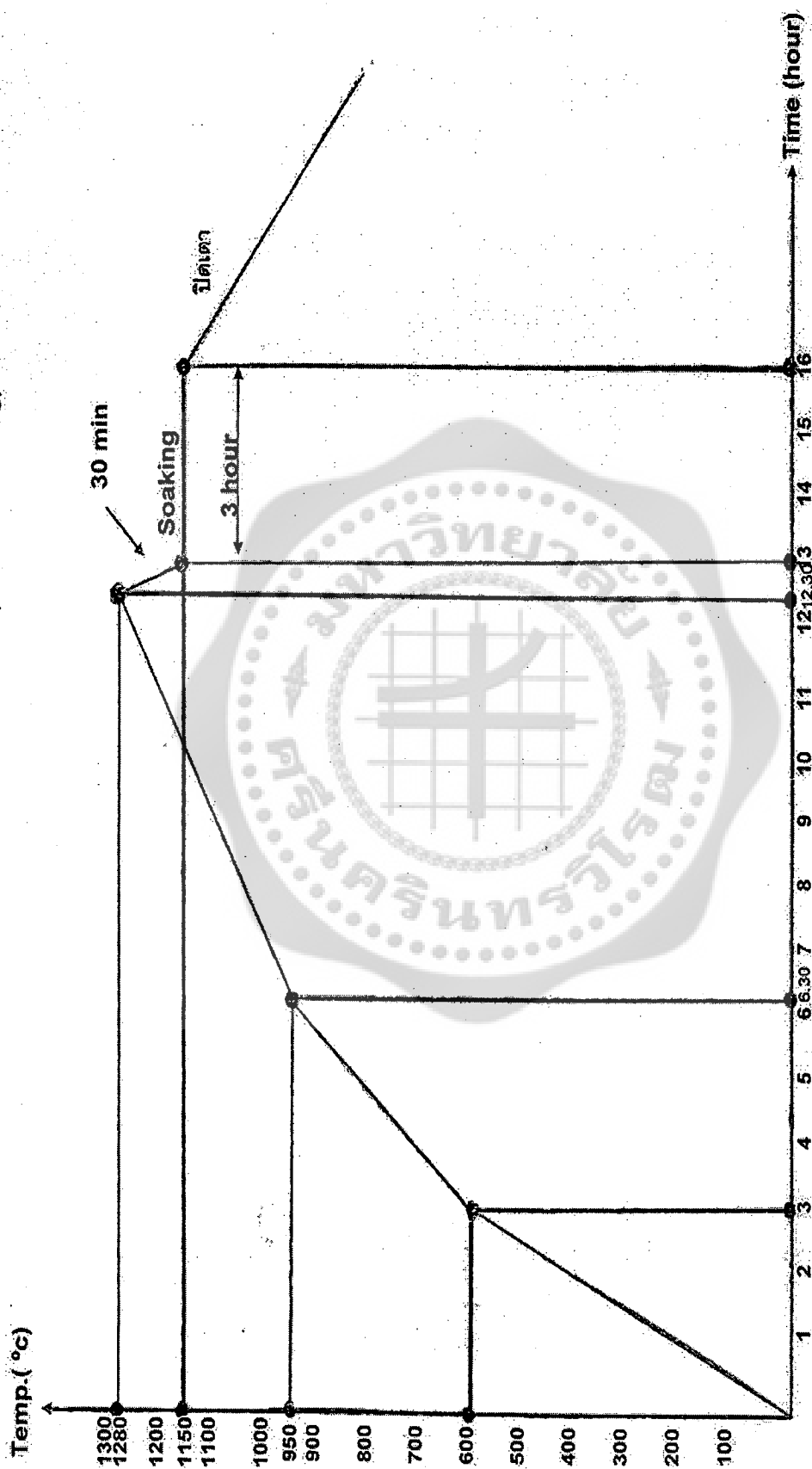
ภาพประกอบ 28 ภาพการจัดวางผลงานประติมากรรมเซรามิกส์





ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์กักกัน

1280°C OF (Oxidation Firing)



ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์จากสโตนแวร์

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์

การศึกษา

พ.ศ. 2535

การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) สาขาวิชาเอกศิลปศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปริญญาโท เรื่อง “การพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยการใช้สื่อนิโม่ตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาพ”

พ.ศ. 2521

ครุศาสตรบัณฑิต (คป.) อุดสาหกรรมศิลปสาขาวิชาเอกเครื่องปั้นดินเผาวิทยาลัยครูพระนคร

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาศิลปะจินตทัศน์ วิชาเซรามิกส์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การทำงานพิเศษ

พ.ศ. 2526

เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ ที่วิทยาลัยครูพระนคร (สถาบันราชภัฏพระนคร)

พ.ศ. 2529

เป็นวิทยากรบรรยายสื่ออินโฟกราฟิกให้กระทรวงอุตสาหกรรม (กรมวิทยาศาสตร์บริการ)

พ.ศ. 2530

เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ ที่คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ ที่มหาวิทยาลัยรังสิต

พ.ศ. 2537-2539

เป็นกรรมการอำนวยการแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผาแห่งชาติ ครั้งที่ 7-8

พ.ศ. 2538-2540-

เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาวิชาเอก อุดสาหกรรมศึกษา (เซรามิกส์)

2543-2545

พ.ศ. 2540

เป็นวิทยากรร่วมบรรยายและสาธิตเชิงปฏิบัติการให้กับสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรีร่วมกับกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม

พ.ศ. 2540

เป็นผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์จากเนื้อดินปั้นโอ่งจังหวัดราชบุรี ให้กับกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นเงิน 40,000 บาท

พ.ศ. 2541

เป็นผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้ดินเหนียวแดงราชบุรี โดยมีการตกแต่งและเคลือบให้กับกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นเงิน 40,000 บาท

พ.ศ. 2544

เป็นคณะกรรมการตัดสินการประกวดหัตถกรรมไทย (ประเภทเซรามิกส์) ประจำปี 2544 ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

พ.ศ. 2545-2546

เป็นอาจารย์พิเศษสอนวิชาเซรามิกส์ วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

- พ.ศ. 2546 เป็นวิทยากรหลักสูตรการเขียนลายเครื่องเคลือบดินเผาด้วยสี
บนเคลือบ ในงานการฝึกอาชีพ การผลิตงานหัตถกรรมในงาน
“สุดยอดหมู่บ้านอุตสาหกรรมและผ้าทอไทย ครั้งที่ 2”
ณ ศูนย์แสดงสินค้านานาชาติ อิมแพ็ค เมืองทองธานี
ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- พ.ศ. 2546 เป็นผู้ตรวจหนังสือเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้ศิลปะ ทัศนศิลป์
ในช่วงชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน
พุทธศักราช 2544 กับสถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.)
- พ.ศ. 2546 เป็นอนุกรรมการเทคนิคการแข่งขันทักษะความสามารถทาง
อาชีพของคนพิการ สาขาช่างเซรามิกส์ ของสำนักพัฒนา
มาตรฐานและทดสอบฝีมือแรงงาน
- พ.ศ. 2547 เป็นอนุกรรมการ การกำหนดมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ
สาขาช่างเซรามิกส์ของสำนักพัฒนามาตรฐานและทดสอบ
ฝีมือแรงงาน
เป็นกรรมการตรวจรับครุภัณฑ์เซรามิกส์ วิทยาลัยราชสุดา
มหาวิทยาลัยมหิดล
เป็นกรรมการควบคุมปริญญาโท ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- พ.ศ. 2548 เป็นประธานอนุกรรมการศึกษาเทคนิคการแข่งขันฝีมือคนพิการ
แห่งชาติ ครั้งที่ 2 สาขาเซรามิกส์และการทำคอนกรีตบล็อกของ
คณะกรรมการส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน

รางวัล

ได้รับรางวัลดีเด่นจากผลงานการแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผา
แห่งชาติ ครั้งที่ 4 ประเภทศิลปกรรม พ.ศ. 2533

งานทางวิชาการ

- พ.ศ. 2524 บทความเรื่อง “การทดสอบทางฟิสิกส์ของดินก่อน
และหลังเผา” จากสูจิบัตรการแสดงนิทรรศการศิลปกรรม
ประสานมิตร 2524
- พ.ศ. 2536 บทความเรื่อง “อุตสาหกรรมเซรามิกส์คืออะไร”
จากนิตยสารวิมาน เล่มที่ 4 ฉบับที่ 33 เดือนมกราคม 2536

พ.ศ. 2541

บทความเรื่อง “การออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์”

จากวารสารศิลปกรรมศาสตร์ ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 (12)

เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2541

เอกสารประกอบการสอนวิชา ศป 356 เซรามิกส์สร้างสรรค์ 3

ภาควิชาทัศนศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (258 หน้า)

ตำรา “เซรามิกส์เบื้องต้น” ภาควิชาทัศนศิลป์

คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (282 หน้า)

พ.ศ. 2542

บทความเรื่อง “บรรยากาศที่ใช้เผาเซรามิกส์และเนื้อดินปั้น

เมื่อผ่านกระบวนการความร้อน” จากวารสารศิลปกรรมศาสตร์

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1(13) เดือนมกราคม-มิถุนายน 2542

บทความเรื่อง “เนื้อดินปั้น-ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ปั้นเป็นหมุนและวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้น” จากหนังสือวิชา

การประกอบนิทรรศการศิลปกรรมระหว่างชาติ ครั้งที่ 2

16 สิงหาคม – 15 กันยายน 2542 ณ หอศิลปกรรมศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2543

บทความเรื่อง “Untitled” จากหนังสือศิลปะวิจัย

คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ