

เอกสารประกอบการสอนวิชาน้ำเคลือบ (ศป. 458)
(VA 458 Ceramic Glaze)

15 ส.ค. 2549



สาขาวิชาศิลปะจินตทัศน์ คณะศิลปกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2547

h 293/25

สารบัญ

หน้า

บทนำ

สังเขปรายวิชา

แผนการสอน

บทที่ 1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเกลือ	1
	การจำแนกชนิดของเกลือ	1
	การจำแนกตามลักษณะที่มองเห็น	2
	การจำแนกตามวัตถุดิบที่ใช้ หรือ การจำแนกตามรูปแบบของสารในเกลือ	3
	การจำแนกตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเกลือ	4
บทที่ 2	วัตถุดิบที่ใช้ทำเกลือ	6
	วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง	6
	โซเดียมคาร์บอเนต	6
	บอแรกซ์	7
	โซดาเฟลด์สปาร์	7
	สารประกอบของโปตัสเซียม	7
	สารประกอบของลิเทียม	8
	สารประกอบของแคลเซียม	9
	สารประกอบของเบเรียม	10
	สารประกอบของตะกั่วออกไซด์	11
	สารประกอบของสังกะสี	11
	วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง	12
	อลูมินา	12
	สารประกอบของบอโรน	13
	วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกรด	13
	สารประกอบของซิลิกา	13
	ดีบุกออกไซด์	14
	ไทเทเนียมออกไซด์	14
	โครมออกไซด์	14
	วัตถุดิบที่เป็นสารสำคัญที่ให้สีทางเซรามิกส์	14

	หน้า
บทที่ 3 การคำนวณน้ำเกลือ	17
สูตรเกลือแบบพื้นบ้าน	17
สูตรที่บอกส่วนผสมเป็นร้อยละ	18
สูตรที่บอกเป็นจำนวนโมเลกุลของออกไซด์	19
การหาสูตรเกลือโดยการสุมตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสี่เหลี่ยม ด้านเท่า	24
การคำนวณเกลือฟริต	28
การคำนวณเกลือจากสูตรเอ็มไพริกัล หรือสูตรเซเกอร์เป็นส่วนผสมวัตถุดิบ	33
การคำนวณเกลือจากสูตรส่วนผสมเป็นสูตรเอ็มไพริกัลหรือสูตรเซเกอร์	38
การคำนวณเกลือโดยการแปรค่าอุณหภูมิ และ ซิลิกา	40
บทที่ 4 การเตรียมเกลือ	45
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเตรียมเกลือ	45
วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเกลือ	45
การบดผสมน้ำเกลือ	45
การหาปริมาณน้ำในการบดผสมเกลือ	49
การทดสอบเกลือก่อนนำไปใช้งาน	49
บทที่ 5 การเกลือและการเผาเกลือ	53
การเกลือผลิตภัณฑ์	53
การเผาเกลือผลิตภัณฑ์	56
บรรยากาศการเผาไหม้ภายในเตา	59
คำหีบหนผิวเกลือ	61
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	65
ประวัติ	75

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดง สารประกอบทางเคมีของสังกะสี _____	11
ตารางที่ 2 แสดงตารางแสดงคุณสมบัติของอูมิเนียมในรูป β และ γ _____	12
ตารางที่ 3 แสดงตารางแสดงคุณสมบัติซิลิกา _____	14
ตารางที่ 4 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A B และ C จากตารางสามเหลี่ยม 36 จุด	21
ตารางที่ 5 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A B C และ D จากตารางสี่เหลี่ยม _____	25
ตารางที่ 5 แสดงการแทนค่าและการจัดกลุ่มวัตถุดิบ _____	39
ตารางที่ 5 แสดงอัตราความถ่วงจำเพาะที่ใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์ _____	51



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงการสุมตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสามเหลี่ยมไตรคูลยภาพ	20
ภาพที่ 2 แสดงทิศทางการอ่านค่าบนตารางสามเหลี่ยม	22
ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบเคลือบซีเมนต์	23
ภาพที่ 4 แสดงการนำตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าทดสอบดิน	23
ภาพที่ 5 แสดงการหาสูตรเคลือบ โดยการสุมตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบน ตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า	24
ภาพที่ 6 แสดงวิธีการอ่านค่าการสุมตัวอย่าง	24
ภาพที่ 7 แสดงถ้วยชาเคลือบดิน โย	34
ภาพที่ 8 แสดงการกำหนดจุดแปรขั้วและอุณหภูมิบนแกน x และแกน y	40
ภาพที่ 9 แสดงผลิตภัณฑ์เคลือบซีเมนต์ไม่เคลือบด้วยเตาเผา	
ที่อุณหภูมิ 1280 องศาเซลเซียส	43
ภาพที่ 10 แสดงภาชนะเคลือบคอปเปอร์เรด	43
ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างการทดสอบเคลือบจากการแปรค่าขั้วและอุณหภูมิ	44
ภาพที่ 12 แสดงภาชนะเคลือบเหล็กแดง	44
ภาพที่ 13 แสดงโถงบดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า	46
ภาพที่ 14 แสดงลักษณะของหม้ออบ	46
ภาพที่ 15 แสดงหม้ออบขนาดเล็ก	47
ภาพที่ 16 แสดงเครื่องมือทดสอบอัตราการไหลตัวของน้ำเคลือบ	52
ภาพที่ 17 แสดงวิธีการจุ่มเคลือบ	54
ภาพที่ 18 แสดงการเคลือบด้วยวิธีการทา	54
ภาพที่ 19 แสดงวิธีการพ่นเคลือบ	55
ภาพที่ 20 แสดงการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ 1	57
ภาพที่ 21 แสดงการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ 2	58
ภาพที่ 22 แสดงการเผาด้วยบรรยากาศแบบรีดักชัน	59
ภาพที่ 23 แสดงวิธีการเรียงผลิตภัณฑ์และการเผาเคลือบ	60
ภาพที่ 24 แสดงลักษณะของเคลือบแยกตัวออกจากกัน	62
ภาพที่ 25 แสดงลักษณะของเคลือบไหลตัว	63

บทนำ

เครื่องปั้นดินเผา (Ceramics) ได้ถูกประดิษฐ์คิดค้นและสืบทอดมาเป็นระยะเวลานาน ในการทำเครื่องปั้นดินเผานั้น จำเป็นต้องศึกษา 3 ด้าน อันได้แก่ ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านศิลปะ และด้านเทคนิค ที่ผสมผสานกันอย่างกลมกลืน ดังนั้นการศึกษานี้จะถือเป็นกระบวนการที่มีการผสมผสานศาสตร์ทั้ง 3 ด้าน เข้าด้วยกันอย่างละเอียดอ่อนที่จะทำให้ผลงานมีความงาม มีคุณค่าตามวัตถุประสงค์

เอกสารประกอบการสอนเรื่องเคลือบเป็นเนื้อหาในเรื่อง การจำแนกเคลือบ ประโยชน์ของการเคลือบ วัตถุดิบ การคำนวณเคลือบ การผสม และการใช้งานอันจะนำประโยชน์ในการทดลองและปฏิบัติ ฟังศิลป์ และการผลิตระบบอุตสาหกรรม

พนมศักดิ์ สุวิสุทธิ์

30 มิถุนายน 2547



เอกสารประกอบการสอน

สังเขปรายวิชา (Course Syllabus)

รหัสวิชา (En) VA 458 วิชา (En) Ceramic Glaze

รหัสวิชา (Th) ศป. 458 เคลือบ

หน่วยกิต 3/4 ชั่วโมง บรรยาย 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 2 ชั่วโมง นูรพวิชา

ภาควิชาทัศนศิลป์

หมวดวิชา (/) วิชาเอก () วิชาพื้นฐานวิชาเอก () วิชาเอกสัมพันธ์ () วิชาเอกเลือก () อื่นๆ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับนิยามของเคลือบ ประโยชน์ของเคลือบ การจำแนกชนิดของเคลือบ การคำนวณเคลือบวัตถุดิบที่ใช้ทำเคลือบ การบดและผสมเคลือบ วิธีการเคลือบ และการเผาเคลือบตามอุณหภูมิที่กำหนด

วัตถุประสงค์

เพื่อให้บัณฑิตหรือผู้เรียนมีความรู้ความสามารถ

1. เข้าใจความหมายคำว่า Glaze ประโยชน์และชนิดของเคลือบต่างๆ ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
2. เข้าใจวิธีการคำนวณเคลือบแบบวิธีต่างๆอย่างถูกต้อง
3. เข้าใจเกี่ยวกับวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ทำเคลือบ ขั้นตอนและวิธีการบด การผสม การเคลือบ และการเผาเคลือบตามอุณหภูมิจุดหลอมตัวของเคลือบแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง

เนื้อหารายวิชา

ภาคทฤษฎี

1. ความหมายของคำว่า Glaze วัตถุประสงค์ของการเคลือบผลิตภัณฑ์
2. เคลือบตามลักษณะที่มองเห็น เคลือบตามวัตถุดิบที่ใช้ เคลือบตามอุณหภูมิที่เผา และตามรูปแบบของสารในเคลือบ
3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำน้ำเคลือบ
 - 3.1 กลุ่มต่าง (Bases Glaze)
 - 3.2 กลุ่มกลาง (Neutral Glaze)
 - 3.3 กลุ่มกรด (Acid Glaze)

4. วัตถุดิบที่เป็นสารสำคัญที่ให้สีทางเซรามิกส์
5. วิธีการคำนวณเคลือบตามสูตร
 - 5.1 สูตรแบบพื้นบ้าน (Folk Fomular)
 - 5.2 สูตรที่บอกส่วนผสมเป็นร้อยละ (Pecentage Fomular)
 - 5.3 สูตรที่บอกเป็นจำนวนน้ำหนักส่วนผสม (Batch Fomular)
 - 5.4 สูตรที่บอกเป็นจำนวนโมเลกุลของออกไซด์ (Empirical Fomular)
6. การคำนวณน้ำเคลือบโดยการใช้สูตรแผนไตรดุลยภาพ (Triaxial Diagram)
7. การคำนวณเคลือบฟritte (Fritted glaze Calculation)
8. วิธีการบดและการผสมเคลือบ
9. วิธีการบดเคลือบ
10. การเผาและบรรยากาศในการเผาเคลือบ

ภาคปฏิบัติ

ทำการทดลองสูตรของส่วนผสมเคลือบที่ได้จากการคำนวณแบบต่างๆ แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองที่อยู่ในรูปของชิ้นทดลอง (Test Piece) นำไปติดบนแผนภูมิ (Chart) ที่ทำจากแผ่นพลาสติกไม้อัด กระดาษอย่างหนา ฯลฯ แล้วทำการตรวจสอบผลที่ได้จากการทดลอง

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

- อธิบายเนื้อหาในแต่ละบทให้ผู้เรียนเข้าใจด้วยวิธีบรรยาย การฉายสไลด์ รวมถึงการแสดงวิธีการคำนวณตามสูตรชนิดต่างๆ
- การสาธิตวิธีการขั้นตอนการทำเคลือบพร้อมกับการชี้แนะปัญหาต่างๆและวิธีแก้ปัญหานั้นๆ
- ให้ผู้เรียนปฏิบัติงานตามหัวข้อที่กำหนด

สื่อการสอน

- สไลด์ ตัวอย่างเคลือบที่ทำสำเร็จแล้ว ตัวอย่างวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ทำเคลือบ
- วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการเตรียมน้ำเคลือบในห้องปฏิบัติการ

การวัดผลประเมินผล

- จากการสอบภาคทฤษฎี
- จากการซักถามปัญหาในขณะที่อยู่ในชั้นเรียนและในขณะที่ปฏิบัติ
- จากการนำเสนอผลงานชิ้นทดลอง
- ความรับผิดชอบและความตั้งใจในขณะที่มีการเรียนการสอน

ตำราและหนังสืออ่านประกอบ

4.1 ตำรา

ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. (2530).เคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์

ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. (2537). รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

สุรศักดิ์ โกสียพันธ์ (2527). น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ :

คณะอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร บางเขน

4.2 หนังสืออ่านประกอบ

สมศักดิ์ ขวาลาวัลย์.(2541). เซรามิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หนังสืออ้างอิง

Rohdes,Daniel.(1973).Clay and Glaze for the Potter. London : Pitman Publishing



แผนการสอน

สัปดาห์	หัวข้อเนื้อหาที่สอน	กิจกรรมการเรียนการสอน
1-2	1. บทนำ 2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเคลือบ 2.1 นิยาม และประโยชน์ของน้ำเคลือบ 2.2 การจำแนกชนิดของเคลือบ 2.2.1 การจำแนกตามลักษณะที่มองเห็น 2.2.2 การจำแนกตามรูปแบบของสารที่ใช้ในเคลือบและวัตถุดิบที่ใช้ 2.2.3 การจำแนกตามอุณหภูมิที่เผาเคลือบ	บรรยาย ประกอบแผ่นโปรงใส สื่อการสอนใช้ผลิต ภัณฑ์ของจริง เช่น ผลิต ภัณฑ์เคลือบหินพื้นไม้ เคลือบजूड़ा เคลือบมัน เคลือบกึ่งมัน เคลือบ ด้าน
3-5	3. วัตถุดิบที่ใช้ทำเคลือบ 3.1 วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นต่าง 3.1.1 กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมี เป็นต่าง อัลคาลิ 3.1.2 กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมี เป็นต่าง อัลคาลิเอิร์ท 3.2 วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง 3.3 วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกรด 3.4 วัตถุดิบอื่น	บรรยาย ประกอบสื่อของจริง เช่น หินพื้นไม้ ภาชนะ และวัตถุดิบอื่น ๆ
6-8	4. การคำนวณน้ำเคลือบ 4.1 การคำนวณน้ำเคลือบโดยใช้สูตร แผนไตรดุลยภาพ (Triaxial Diagram) 4.2 การคำนวณน้ำเคลือบด้วยตารางสี่เหลี่ยม ด้านเท่า	1. บรรยาย ประกอบเอกสารตาราง สามเหลี่ยมและเอกสาร สี่เหลี่ยม
10-12	4.3 การคำนวณเคลือบฟริต(Fritted glaze Calulation) 4.4 การคำนวณน้ำเคลือบจากสูตรเอมไพริ กัล (Empirical) เป็นอัตราส่วนผสม 4.5 การคำนวณน้ำเคลือบจากสูตรอัตราส่วน ผสมเป็นสูตร เอ็มไพริกัล	บรรยาย ประกอบตารางแสดงค่า น้ำหนักโมเลกุล

ลำดับ	หัวข้อเนื้อหาที่สอน	กิจกรรมการเรียนรู้การสอน
13	5 การคำนวณน้ำหนักเคลือบ โดยการแปรค่า	บรรยาย ประกอบตัวอย่างการทดลอง
14	6 การเตรียมเคลือบ 6.4 การขัง 6.5 การบดผสม 6.6 การทดสอบเคลือบ	บรรยาย ประกอบอุปกรณ์ของจริง เช่น เครื่องขัง , หม้อบด , ไฮโดรมิเตอร์ ปฏิบัติการเตรียมเคลือบ
15	7 วิธีการเคลือบ 7.4 การจุ่มเคลือบ 7.5 การทาเคลือบ 7.6 การพ่นเคลือบ	บรรยาย ประกอบการสาธิตวิธีการต่าง ๆ ปฏิบัติการเคลือบ
16	8 การเผาเคลือบ 8.4 การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ โดยไม่มีการเผา ดิบก่อนเคลือบ 8.5 การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ โดยการเผาดิบ ก่อนเผาเคลือบ 8.6 การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ 8.7 บรรยายทฤษฎีการเผา 8.8 ตำแหน่งของเคลือบหลังการเผา	บรรยาย ประกอบการสาธิตการนำของเข้าเตา การปฏิบัติการเผาเตา

บทที่ 1

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเคลือบ

น้ำเคลือบ (glaze) หมายถึง สารประกอบของอลูมินา (Alumina) และซิลิกา (Silica) ซึ่งมีออกไซด์ (Oxide) เป็นสารให้สีที่ฉาบอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ น้ำเคลือบจะต้องผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ และบดตามอัตราส่วนผสมตามสัดส่วน และผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง มีลักษณะคล้ายแก้ว ทำให้ผลิตภัณฑ์สวยงาม และทนถาวร

หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมือนแก้วฉาบอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เป็นสารประกอบของซิลิเกต (Silicate) ที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิสูงหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (โกลด์ รัชวงศ์. 2538: 7)

ทวี พรหมฤกษ์ กล่าวว่า น้ำเคลือบ คือ สารประกอบซิลิเกต (Silicate) ที่ถูกความร้อนหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ฉาบบนผิวของผลิตภัณฑ์มีลักษณะโปร่งใส แข็งแกร่ง (hard) สามารถทนต่อกรดและด่าง (Strong acid or bases) ได้เป็นอย่างดี (ทวี พรหมฤกษ์ . 2523 : 94)

ปรีดา พิมพ์ขาวจำ กล่าวว่า เคลือบ หมายถึง ชั้นของแก้วหรือชั้นของแก้วที่มีผลึกปนอยู่ ฉาบอยู่บนผลิตภัณฑ์น้ำเคลือบ หมายถึง ของผสมซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบต่าง ๆ อันเป็นส่วนผสมที่จะทำให้เกิดเคลือบหลังจากการเผากระจายตัวอยู่ในน้ำ (ปรีดา พิมพ์ขาวจำ 2539 : 225)

เครื่องปั้นดินเผาในอดีตยุคก่อนประวัติศาสตร์ เป็นเครื่องปั้นดินเผาที่เผาอุณหภูมิต่ำไม่มีการเคลือบ แต่ต่อมาได้มีการคิดค้นและพัฒนาการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำเคลือบที่มีคุณสมบัติที่ดีและมีสีสรรที่สวยงาม

การเคลือบผลิตภัณฑ์มีประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ทำให้เกิดสรรสวยงาม มีคุณค่าทางศิลปะ
2. ทนต่อการกัดกร่อนจากกรดและด่าง
3. ทนต่อการเสียดสี และขีดข่วน
4. ป้องกันไม่ให้ก๊าซ และของเหลวซึมผ่าน
5. ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบง่ายต่อการทำความสะอาด
6. มีความมันวาว จึงทำให้การสะท้อนแสงและการหักเหของแสงสูง

ลักษณะของน้ำเคลือบจะมีความแตกต่างกันในด้านวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมลักษณะผิว และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ดังนั้นน้ำเคลือบสามารถจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. การจำแนกตามลักษณะมองเห็น

1.1 เคลือบทึบ (Opaque glaze) เคลือบทึบเป็นเคลือบที่เคลือบบนผลิตภัณฑ์ แล้วจะปิดบังไม่สามารถมองเห็นเนื้อดินได้ ในการเตรียมเคลือบโดยจะเติมออกไซด์ที่ทำให้สีขาวทำให้ทึบเช่น เซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium Oxide) ดีบุกออกไซด์ (Tin Oxide) หรือ ไททาเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide)

1.2 เคลือบใส (Clear glaze) เคลือบใสมีลักษณะเป็นแก้วใสเคลือบอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปใช้งานเคลือบบนผลิตภัณฑ์จะสามารถมองเห็นเนื้อดิน ลักษณะของเคลือบใส ส่วนมากจะมีลักษณะผิวมัน เคลือบใสนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ประเภทปอร์สเลน หรือ ผลิตภัณฑ์โบนไชนา ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินละเอียดและมีความขาวสูง อีกทั้งนำไปเคลือบทับผลิตภัณฑ์ประเภทเขียนสีได้เคลือบ หรือลายคราม

1.3 เคลือบด้าน (Mat glaze) เป็นลักษณะเคลือบที่มีผิวด้านสาก ลักษณะของเคลือบด้านเกิดจากการเผาที่ไม่ถึงจุดสุกตัวของเคลือบ (Under fire) หรือเกิดจากอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ถ้าอัตราส่วนผสมที่มีสารประกอบของอลูมินาสูง ก็จะทำให้เคลือบมีลักษณะผิวด้านมาก หรือถ้ามีส่วนประกอบของอลูมินาน้อยก็จะทำให้เคลือบมีความด้านน้อย อาจจะเรียกได้ว่า เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน (Semimat glaze) เคลือบด้านจะมีการหักเหของแสงต่ำผิวหยาบ ไม่นิยมนำมาทำภาชนะบนโต๊ะอาหาร (Table ware) เพราะจะทำให้ความสะอาดได้ยาก

1.4 เคลือบมัน (Glossy glaze) เป็นลักษณะเคลือบที่มีผิวมัน ลื่น จะมีการหักเหของแสงสูง มีความแวววาว และง่ายในการทำความสะอาด เคลือบมัน นิยมนำมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร สุขภัณฑ์ หรือภาชนะที่ใช้ทดลองทางวิทยาศาสตร์

1.5 เคลือบผลึก (Crystalline glaze) เป็นเคลือบที่เกิดจากการรวมตัวของโลหะระหว่างการเผาเป็นลักษณะรูปพัด หรือรูปเข็ม ลักษณะของเคลือบผลึกจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide) ผสมอยู่ในวัตถุดิบที่มีอัตราสูง เคลือบผลึกขณะเผาจะมีอัตราการไหลตัวสูง และปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดผลึกคือ วิธีการเผา (Firing) ซึ่งจะทำให้เกิดผลึก และผลึกมีขนาดโตสวยงามจะต้องเผาคัวยวิธีขึ้นไฟ (Soaking time)

1.6 เคลือบราน (Crackle glaze) ลักษณะเคลือบรานจะพบมากกับน้ำเคลือบที่เผาอุณหภูมิต่ำ มีลักษณะเป็นรอยแตกคล้ายร่างแห จะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของเคลือบ ลักษณะเคลือบรานเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น

1.6.1 เกิดจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวหรือการหดตัวของดินต่างกัน เช่น ดินที่ใช้ในการขึ้นรูปมีอัตราการหดตัวต่ำ และเคลือบที่ใช้มีอัตราการหดตัวสูง ก็จะทำให้เคลือบรานเป็นต้น

1.6.2 เกิดจากการเย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่เร็วเกินไป จะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์รานได้

1.7 เคลือบสี (Colored glaze) เคลือบสีเป็นลักษณะเคลือบที่เกิดจากการนำเอาเคลือบใส เคลือบทึบ เคลือบมัน หรือเคลือบด้าน เติมสารให้สีพวก ออกไซด์ของโลหะ (Oxide) หรือเคมีสำเร็จรูป (Color Stan) เมื่อเผาแล้วจะมีสีสรรค์ที่สวยงาม

1.8 เคลือบอเวนทูริน (Aventurine glaze) เป็นเคลือบที่เกิดจากการจับตัวของโลหะเป็นผลึกจุดเล็ก ๆ สีทองภายในเนื้อของเคลือบ ส่วนใหญ่จะเป็นสารจำพวกเหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide) ทองแดงออกไซด์ (Copper Oxide)

1.9 เคลือบมุก (Laster glaze) เป็นลักษณะเคลือบที่มีความมันวาวสูง และการหักเหของแสงได้ดี สีสรรค์คล้ายเปลือกหอยมุก ลักษณะเคลือบมุกในอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบจะต้องมีส่วนผสมของตะกั่ว (Lead Oxide) ซึ่งจะทำให้มีความมันวาวสูง และส่วนผสมของโลหะออกไซด์ (Metal Oxide) เผาที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก

2. จำแนกตามรูปแบบของสารในเคลือบและวัตถุดิบที่ใช้

2.1 เคลือบขี้เถ้าพืช (Wood ash glaze) เป็นน้ำเคลือบที่ได้จากการนำขี้เถ้า จากส่วนต่าง ๆ ของพืชมาผ่านกระบวนการเผาอยู่ในสภาพขี้เถ้า แล้วนำมาเป็นส่วนผสมหลัก และประกอบด้วย ดิน และหินฟันม้า ตามสัดส่วน โดยการเผาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งนิยมนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ ผลิตภัณฑ์เซลาดิล

2.2 เคลือบตะกั่ว (Lead glaze) เป็นน้ำเคลือบที่เผาในอุณหภูมิประมาณ 1000 ถึง 1150 องศาเซลเซียส ลักษณะของสารประกอบของตะกั่วเป็นตัวหลอมละลายที่รุนแรงที่ใช้ได้แก่ ตะกั่วแดง (Red lead : Pb_3O_4) ตะกั่วขาว (White Lead : $(PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2)$) และตะกั่วลิทาร์จ (Litherge : PbO) ตะกั่วกาไลนา (Galena : $PbSO_4$) การทำเคลือบที่มีวัตถุดิบที่มีตะกั่วเป็นส่วนผสมจะมีพิษต่อร่างกาย เนื่องจากตะกั่วเป็นสารโลหะหนัก สามารถเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสหรือการสูดดมควันและไอระเหย ดังนั้น การนำเอาวัตถุดิบตะกั่วมาใช้งานที่ปลอดภัย ควรเตรียมให้อยู่ในรูปของ ฟริต (frit) หรือ ตะกั่วซิลิเกต (Lead Silicate) เสียก่อน

2.3 เคลือบบอแรกซ์ (Borax glaze) เป็นน้ำเคลือบที่เผาในอุณหภูมิประมาณ 800 ถึง 1000 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับสารตะกั่ว ลักษณะสารบอแรกซ์ ($Na_2O_3 \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$) มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ดังนั้นในการนำไปใช้งานให้มีอัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบคงที่ จะต้องอยู่ในรูปของ ฟริต หรือ โบโรซิลิเกต (Borosilicate)

2.4 เคลือบเฟลด์สปาร์ (Feldspar glaze) ลักษณะของเคลือบเฟลด์สปาร์ หรือ หินฟันม้า เป็นเคลือบเผาในอุณหภูมิสูงอยู่ระหว่าง 1180 องศาเซลเซียส ถึง 1350 องศาเซลเซียส หินฟันม้าที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมเคลือบ ได้แก่ โพแทสเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar: $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda Feldspar: $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) และ โปแตส โซดา เฟลด์สปาร์

(Potash Soda Feldspar : K_2O , Na_2O , $Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) น้ำเคลือบที่ใช้เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบในการผสม นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์สโตร์แวร์ และปอร์สเลนซ์

2.5 เคลือบเกลือ (Salt glaze) เป็นเคลือบที่เกิดจากการนำเอาเกลือ (NaCl) ใส่เข้าไปภายในเตาขณะที่กำลังเผางาน ซึ่งจะเผาที่อุณหภูมิโดยประมาณ 1300 ถึง 1350 องศาเซลเซียส โดยจะเริ่มใส่เกลือตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 1100 องศาเซลเซียส ในช่องสำหรับใส่เกลือ ซึ่ง โซเดียมที่อยู่ในสารประกอบของเกลือจะระเหยไปจับที่ผิวของผลิตภัณฑ์ร่วมกับอลูมินา และซิลิกาจากเนื้อดิน เป็นลักษณะเคลือบอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ในการเผาเคลือบเกลือ จะต้องสร้างเตาสำหรับเคลือบเกลือโดยเฉพาะ

3. จำแนกตามอุณหภูมิที่ใช้เผาเคลือบ

3.1 เคลือบเผาอุณหภูมิต่ำ (Low fire glaze) ลักษณะของเคลือบชนิดอุณหภูมิต่ำ จะเผาในช่องอุณหภูมิประมาณ 1000 ถึง 1050 องศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะเคลือบส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของบอแรกซ์ ตะกั่ว หรือ ฟริต เมื่อเผาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ดินไม่สุกตัว น้ำเคลือบมักจะฐานตัว และมีการไหลตัวของเคลือบสูง

3.2 เคลือบชนิดอุณหภูมิสูง (High temperature glaze) เป็นเคลือบที่เผาอุณหภูมิตั้งแต่ 1200 องศาเซลเซียสขึ้นไป ได้แก่ เคลือบที่มีส่วนผสมของเฟลด์สปาร์ เคลือบขี้เถ้า เคลือบผลิตภัณฑ์ชนิดสโตร์แวร์ และ ปอร์สเลน เคลือบชนิดนี้สามารถควบคุมการไหลตัวการรานตัวได้ และมีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำ

1. การจำแนกตามกรรมวิธีการผลิตเคลือบ

ในการแบ่งเคลือบตามกรรมวิธีการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

1.1 เคลือบดิบ (Raw Glazes) ลักษณะของเคลือบประเภทนี้จะนำวัตถุดิบที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการเผามาก่อน โดยจะนำเอาวัตถุดิบที่มีความละเอียดเป็นลักษณะผงแห้ง มาชั่งตามสัดส่วนและบดผสมอีกครั้งดังตัวอย่าง

ตัวอย่างเคลือบหินฟันม้า (เคลือบใส)

หินฟันม้า

หินปูน

หินเขียวหनुมาณ

ดินขาว

สังกะสีออกไซด์

1.2 เคลือบฟริต (Frit glaze) ลักษณะฟริต หมายถึงการนำเอาวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวลดอุณหภูมิ (Strong flux) เช่นตะกั่วออกไซด์ บอแรกซ์ ซึ่งเป็นสารที่มีพิษต่อร่างกาย หรือเป็นสารที่ละลายน้ำผสมกับซิลิกาและอลูมินาแล้วนำไปเผาในหม้อหลอมเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างกลายเป็นแก้วที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและลดความเป็นพิษลง

วิธีทำฟริด

การทำฟริดมีการผลิตเป็นระบบอุตสาหกรรม โดยการนำส่วนที่เป็นวัตถุดิบอันได้แก่ ตะกั่ว บอร์เร็กซ์ โซเดียมคาร์บอเนต ซิลิกาและอลูมินา ในอัตราส่วนผสมสูตรต่าง ๆ นำมาหลอมในเบ้าหลอม (Crucible) โดยใช้เตาหลอมแบบรังผึ้ง ที่มีฝาเตาด้านบนสามารถเปิดได้ ใช้น้ำมันหรือแก๊สเป็นเชื้อเพลิงสามารถเผาได้อุณหภูมิสูงถึง 1600 องศาเซลเซียส ด้วยขนาดของวัตถุดิบ 680 กิโลกรัม ถึง 900 กิโลกรัม การผลิตฟริดนั้นจะต้องทำการผสมวัตถุดิบให้ได้ตามสูตรที่ต้องการแล้วนำลงไปใส่ในเบ้าหลอม ก่อนที่จะนำไปใส่ลงในช่องเปิดด้านบนของเตาเผาที่เป็นฝาปิดเปิดสำหรับสังเกตการณ์อยู่ด้านบนด้วย การหลอมโดยการใช้ความร้อนโดยการจุดเตาเผาจนได้อุณหภูมิที่ต้องการก่อนที่จะลำเลียงวัตถุดิบใส่เข้าไปก่อนที่จะทำการหลอมในช่วงอุณหภูมิ 1150 – 1480 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับฟริดที่ทำการผลิต เมื่อฟริดหลอมดีแล้วก็จะปล่อยออกมาตามทางลาดเอียงสู่ตะแกรงลวดในถังเก็บน้ำขนาดใหญ่ การทำให้เย็นตัวนี้เรียกว่า “ การดับ(Quenching)” ซึ่งมีผลต่อการทำให้ฟริดแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ง่ายต่อการบดย่อย จะใช้ระยะเวลาประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง (สมศักดิ์ ขวลาวัณย์. 2541: 144)



บทที่ 2

วัตถุดิบที่ใช้ทำเคลือบ

น้ำเคลือบที่ใช้ในงานเคลือบพื้นดินเผาอิฐราส่วนผสมที่ต่างกัน และวัตถุดิบที่ใช้ในการทำหลายชนิด วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition) แต่ละแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติในแต่ละวัตถุดิบแตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องเลือกวัตถุดิบให้เหมาะสมกับการใช้งาน

วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบนักเซรามิกส์ได้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติทางเคมีออกเป็น 3 กลุ่ม คือ วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง และ วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกรด โดยจะใช้สัญลักษณ์ ดังนี้

Basic	Intermediate (amphoteric)	Acid
R_2O RO	R_2O_3	RO_2

1. วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง (Base group) วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง จะมีคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลาย หรือตัวลดจุดหลอมละลายของวัตถุดิบอื่นให้ต่ำลง (Flux) โดยใช้สัญลักษณ์ R_2O และ RO ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำเคลือบ วัตถุดิบในกลุ่มนี้มี 2 ประเภทได้แก่

1.1 วัตถุดิบกลุ่มด่างที่เป็นอัลคาไล (Alkalies) วัตถุดิบกลุ่มด่างที่เป็นอัลคาไล ส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ จะมีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ที่รุนแรง (Strong flux) และช่วยให้น้ำเคลือบไหลตัวได้ดี (Fluidity) และเป็นสารที่ทำให้เกิดสี วัตถุดิบของสารกลุ่มนี้ได้แก่

1.1.1 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate: Na_2CO_3) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ เป็นตัวช่วยหลอมที่รุนแรง ซึ่งมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า โซดาแอส (Soda ash) จากคุณสมบัติของโซเดียมคาร์บอเนตที่ละลายน้ำได้ดีดังนั้น ในการนำไปใช้งานทำน้ำเคลือบ จึงนิยมใช้ที่อยู่ในรูปฟริต และ โซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเติมลงในน้ำดิน (Slip) ยังทำหน้าที่ เช่น ช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัวได้ดีในน้ำ (Defloculant) อีกด้วย

1.1.2 บอแรกซ์ (Borax : $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) บอแรกซ์มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมรุนแรง (Strong Flux) และละลายน้ำได้ดี มีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมเทอราโบเรต (Sodium tetraborate) ประกอบด้วย

Na_2O	อัตราร้อยละ	16.3
B_2O_3	อัตราร้อยละ	36.5
H_2O	อัตราร้อยละ	47.2

ในการนำบอแรกซ์ไปใช้ทำน้ำเคลือบจะต้องระมัดระวัง เนื่องจากคุณสมบัติของสารบอแรกซ์สามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้นขณะใช้งานจะทำให้อัตราส่วนผสมใช้น้ำเคลือบมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงนิยมใช้ในลักษณะของฟริต หรือ ฟริตโบโรซิลิเกต (Boro Silicate) ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ซึ่งจะทำให้อัตราส่วนผสมคงที่

สูตรน้ำเคลือบบอแรกซ์	อุณหภูมิ 800 – 850 องศาเซลเซียส (Cone 016 – 013)	
Borax	อัตราส่วนร้อยละ	75 - 80
Quartz	อัตราส่วนร้อยละ	10 - 15
Kaolin	อัตราส่วนร้อยละ	10 - 12
(โกลด์ รักษ์วงศ์ . 2538 : 30)		

1.1.3 โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) โซดาเฟลด์สปาร์ หรือ หินฟันม้า เป็นสารประกอบของโซเดียม อลูมินา ซิลิกา (Sodium Alumina Silicate) มีชื่อทางธรณีวิทยาว่า อัลไบต์ (Albite) พบมากทางภาคกลางของประเทศ จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี และอุทัยธานี มีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ ที่มีจุดหลอมละลาย (Melting points) ประมาณ 1300 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักโมเลกุล 524 มีสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

Sodium	อัตราร้อยละ	11.8
Alumina	อัตราร้อยละ	19.8
Silica	อัตราร้อยละ	68.8

1.1.4 สารประกอบของโปตัสเซียม (Potassium) สารประกอบในกลุ่มของโปตัสเซียม มีคุณสมบัติเป็นตัวลดอุณหภูมิช่วยหลอมละลาย ซึ่งมีทั้งละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ ลักษณะใกล้เคียงกับสารกลุ่มโซเดียม ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและนิยมใช้ในการทำน้ำเคลือบอย่างแพร่หลาย

1.1.4.1 โพแทสเซียมคาร์บอเนต Potassium Carbonate: K_2CO_3) โพแทสเซียมคาร์บอเนตจะมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 138 ในการใช้งานควรให้อยู่ในรูปของฟรืด

1.1.4.2 โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate: KNO_3) โพแทสเซียมไนเตรต มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เกลือไนเตอร์ (Salt niter) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 101 สามารถละลายน้ำได้ และมักนิยมใช้งานเป็นตัวออกซิไดซิง (Oxidizing agent)

1.1.4.3 โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar: $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์มักจะอยู่ในรูปของผลึกซึ่งประกอบด้วย โพแทส อลูมินา และซิลิกา ซึ่งทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ในน้ำเคลือบที่อุณหภูมิสูง ไม่ละลายน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 557 มักนิยมนำไปทำน้ำเคลือบที่อุณหภูมิระหว่าง 1200 ถึง 1300 องศาเซลเซียส โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้

Potassium Oxide	อัตราร้อยละ	6.6
Alumina	อัตราร้อยละ	18.4
Silica	อัตราร้อยละ	65.7

1.1.5 สารประกอบของลิเทียม (Lithium) สารลิเทียมเป็นวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำน้ำเคลือบที่มีคุณสมบัติที่เป็นฟลักซ์ที่รุนแรง และเป็นตัวที่ทำให้เคลือบแข็งเกิดความคงทน และเป็นตัวช่วยลดสัมประสิทธิ์การหดตัว การขยายตัวของเคลือบ คุณสมบัติของทางเคมีคล้ายกับโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) สามารถใช้แทนกันได้ในอัตราส่วน 6.49 Li : 23 Na : 39 K คือประมาณ 1 : 3 : 5 (Li : Na : K) (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ . 2531 : 6) สารประกอบของลิเทียมมีดังนี้

1.1.5.1 เลพิโดไลต์ (Li. AlF. PO_4 $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$) มีชื่อเรียกทั่วไปว่า ลิเทียมไมก้า จะมีปริมาณลิเทียมที่อัตราร้อยละ 6 ปัจจุบันเลพิโดไลต์ที่ขายอยู่ในท้องตลาดจะมีลิเทียมไม่ต่ำกว่าอัตราร้อยละ 3

1.1.5.2 ลิเทียมเฟลด์สปาร์ (Lithium Feldspar: $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$) ลิเทียมเฟลด์สปาร์ หรือเรียกว่า สปอดูมิน (Spodumene) วัตถุดิบที่ขายกันโดยทั่วไปจะมีลิเทียม อยู่ประมาณอัตราร้อยละ 6 และจะมีโซเดียมและโพแทสเซียมผสมอยู่ มีคุณสมบัติเป็นสารทนไฟเพราะมีอลูมินาผสมอยู่ในอัตราส่วนสูง

1.1.5.3 แอมบลิโกไนต์ (Amblygonite: Li. AlF. PO_4) แอมบลิโกไนต์ เป็นวัตถุดิบที่มีลิเทียมผสมอยู่ในอัตราร้อยละ 8 มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมที่ดี ช่วยให้เคลือบมีความมันวาวสูง เหมาะในการทำเคลือบที่บ

1.1.5.4 ลิเทียมคาร์บอเนต (Lithium Carbonate : Li_2CO_3) เป็นสารที่ละลายน้ำได้ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ ในน้ำเคลือบช่วยให้เกิดการหลอมได้ดีกว่าโซเดียม และโปตัสเซียม

1.2 วัตถุดิบกลุ่มต่าง ที่เป็นอัลคาไลเอิร์ท วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบกลุ่มต่างที่เป็นอัลคาไลเอิร์ท มีดังนี้

1.2.1 สารประกอบของแคลเซียม (Calcium) เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในการทำเคลือบซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการขีดขีดและการขัดสีได้ดี เป็นฟลักซ์ในอุณหภูมิสูง สารประกอบของแคลเซียมมีหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้

1.2.1.1 แคลเซียมคาร์บอเนต (Lime Stone: CaCO_3) แคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน เมื่อนำไปผสมในน้ำเคลือบมีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ในอุณหภูมิสูง เป็นตัวทำให้เคลือบมีความแข็งแรงสูง แคลเซียมคาร์บอเนตมีความจำเพาะประมาณ 2.7 มีน้ำหนักโมเลกุลที่ 100.1 ลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสก็จะมีสภาพเป็นแคลเซียมออกไซด์ ดังสมการ



1.2.1.2 โดโลไมต์ (Dolomite: $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) โดโลไมต์เป็นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีสารประกอบของ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมคาร์บอเนตมีความแข็งแรง 3.5 - 4.0 มีความถ่วงจำเพาะ 2.8 โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตอัตราร้อยละ 56 และแมกนีเซียมคาร์บอเนตอัตราร้อยละ 44 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 184 (Sonja S.Singer.1960: 116)

1.2.1.3 แคลเซียมฟอสเฟต (Calcium Phosphate) แคลเซียมฟอสเฟสที่อยู่ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ได้จากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ขี้เถ้ากระดูก (Bone ash) ซึ่งมีสูตรทางเคมี $4\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ ได้จากการนำกระดูกวัวหรือควายเนื่องจากมีปริมาณเหล็กออกไซด์ต่ำ ผ่านการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1200 - 1250 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดให้ละเอียด จึงนำไปใช้งานแคลเซียมฟอสเฟสที่ได้จากธรรมชาติ หรือเรียกว่า อะพาไทต์ (Apatite) ซึ่งมีสูตรทางเคมี $\text{Ca}(\text{CaF})(\text{PO}_4)_3$ หรือ $\text{Ca}_4(\text{CaCl})(\text{PO}_4)_3$

1.2.1.4 ฟลูออสปาร์ (Fluorspar, Fluorite: CaF_2) เป็นวัตถุดิบที่ใช้ผสมเคลือบคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ น้ำหนักโมเลกุล 78.08 ความถ่วงจำเพาะ 3.2 ความแข็ง 4 ฟลูออสปาร์ถ้าใส่ในน้ำเคลือบเป็นปริมาณมากจะทำให้เกิดตำหนิในเคลือบโดยทำให้เคลือบเป็นรูเข็มได้

1.2.2 สารประกอบของแมกนีเซียม (Magnesium) วัตถุดิบในกลุ่มสารประกอบของแมกนีเซียมเมื่อผสมในเคลือบมีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ ทำให้เคลือบไหลตัวได้ดี และเป็นตัวลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบ

1.2.2.1 แมกนีไซต์ (Magnesite , Magnesium Carbonate : $MgCO_3$) แมกนีเซียมคาร์บอเนตเมื่อผสมในเคลือบทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิได้ดี และยังเป็นตัวช่วยลดสัมประสิทธิ์การหดตัวและการขยายตัวของเคลือบได้ดี มีความถ่วงจำเพาะ 3.65 โดยมี MgO อัตราร้อยละ 47.80 และ CO_2 อัตราร้อยละ 52.20

1.2.2.2 โดโลไมต์ (Dolomite: $Ca,Mg.CO_3$) เป็นวัตถุดิบที่ใช้ผสมในเคลือบและเนื้อดิน โดโลไมต์บริสุทธิ์ประกอบด้วย $CaCO_3$ อัตราร้อยละ 56 และ $MgCO_3$ อัตราร้อยละ 44

1.2.2.3 ทาล็ค (Tale) เป็นสารประกอบของไฮเดรตแมกนีเซียมซิลิเกต (Hydrated Magnesium Silicate) มีน้ำหนักโมเลกุล 379 และยังมีสารประกอบอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงคือ แร่สเทียสไทต์ (Steatite) มีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

Tale			Steatite		
$3MgO$	$4SiO_2$	H_2O	$4MgO$	$5SiO_2$	H_2O
31.8%	63.5%	4.7%	33.5%	62.7%	3.8%

(Sonja S.Singer.1960: 89)

1.2.3 สารประกอบของแบเรียม (Barium) สารประกอบของแบเรียมเมื่อใช้ผสมในเคลือบคุณสมบัติ เป็นตัวลดอุณหภูมิที่รุนแรง และช่วยให้เคลือบเกิดความมันวาวและมีดัชนีหักเหแสงสูงขึ้น สารประกอบของแบเรียมมีดังนี้

1.2.3.1 แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate: $BaCO_3$) แบเรียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่เรียกว่า วิเทอไรต์ (ปริดา พิมพ์ขาวจำ. 2530:16) เมื่อผสมในน้ำเคลือบมีคุณสมบัติ ทนความร้อนสูง และทำให้เกิดเคลือบด้าน แบเรียมคาร์บอเนตน้ำหนักโมเลกุล 197.37 ประกอบด้วย BaO อัตราร้อยละ 77.70 และ CO_2 อัตราร้อยละ 22.3 (Sonja S.Singer. 1960: 129)

1.2.4 สารประกอบของตะกั่วออกไซด์ เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมที่ดีในการเผาอุณหภูมิต่ำ เมื่อผสมในเคลือบให้ความมันวาวสูง สารประกอบของตะกั่วออกไซด์มีดังนี้

1.2.4.1 ลิทาร์จ (Litharge: PbO) มีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ ลักษณะสีเหลือง น้ำหนักโมเลกุล 223.21 ความถ่วงจำเพาะ 9.53 และจุดหลอม 888 องศาเซลเซียส (1630 องศาฟาเรนไฮต์)

1.2.4.2 ตะกั่วแดง (Red Lead: Pb_3O_4) มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมที่ดีในการทำเคลือบ มีน้ำหนักโมเลกุล 685.63 ความถ่วงจำเพาะ 9.1 การแตกตัวระหว่างตะกั่วกับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีลักษณะประกอบของ PbO อัตราส่วนร้อยละ 97.67 และ O_2 อัตราส่วนร้อยละ 2.33

1.2.4.3 ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead Carbonate: $2 PbCO_3 \cdot Pb COH_2$) ตะกั่วคาร์บอเนตมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ตะกั่วขาว (White Lead) น้ำหนักโมเลกุล 775.67 ความถ่วงจำเพาะ 4 จะเปลี่ยนสภาพที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส (600 – 750 องศาเซลเซียส)

1.2.4.4 เลดซิลิเกต (Lead Silicate: $PbSiO_3$) เป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยตะกั่วออกไซด์กับซิลิกา มีสารประกอบด้วย PbO อัตราร้อยละ 61.2 Al_2O_3 อัตราร้อยละ 7.1 SiO_2 อัตราร้อยละ 31.7 จุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส (1200 องศาฟาเรนไฮต์) นอกจากนี้ยังมีอยู่ในรูปของ Lead bisilicate ประกอบด้วย PbO อัตราร้อยละ 65 SiO_2 อัตราร้อยละ 34 Al_2O_3 อัตราร้อยละ 1 จุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 815 องศาเซลเซียส (1499 องศาฟาเรนไฮต์) (Sonja S.Singer. 1960: 133 - 134)

1.2.5 สารประกอบสังกะสี เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบ มีความละเอียดที่นำมาใช้งานที่ 0.21 ถึง 0.26 ไมคอน และ 0.12 ถึง 0.18 ไมคอน ก่อนนำมาใช้งานจะต้องทำให้เป็นสังกะสีบริสุทธิ์ โดยการเผาที่อุณหภูมิโคน 4 – 5 (1165 องศาเซลเซียส 2129 องศาฟาเรนไฮต์) สังกะสี มีน้ำหนักโมเลกุล 81.38 ความถ่วงจำเพาะ 5.5 จุดหลอมละลายที่ 1975 องศาเซลเซียส (3263 องศาฟาเรนไฮต์)

ตารางแสดงสารประกอบทางเคมีของสังกะสี

	สูตรทางเคมี	สังกะสีอัตราส่วนร้อยละ	จุดหลอมละลาย (องศาเซลเซียส)
Zine Borates	$ZnO \cdot B_2O_3$	53.89	1000
	$3ZnO \cdot 2B_2O_3$	63.67	980
	$5ZnO \cdot 2B_2O_3$	74.50	1080
Zine Orthophosphate	$3ZnO \cdot P_2O_5$	63.23	900

คุณสมบัติของสังกะสี เมื่อผสมน้ำเคลือบมีดังนี้ คือ

1. มีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ ในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูง ที่ให้ความมันวาวสูง และหลอมตัวดี ให้เคลือบที่ใช้ Feldspar
2. เป็นวัตถุดิบที่เกิดผลึกได้ดี ในลักษณะผลึกรูปพัด
3. เป็นวัตถุดิบที่ทำปฏิกิริยากับโครมออกไซด์จากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล

1. วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง (Intermediates group) วัตถุดิบในกลุ่มนี้จะอยู่ในรูปสัณฐานลักษณะของ R_2O_3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวทนไฟ และลดอัตราการไหลตัวของเคลือบ มีดังนี้

1.1 อลูมินา (Alumina : Al_2O_3) ในการทำเคลือบมักใช้อลูมินาอยู่ในรูปสารประกอบหลายชนิด เช่น หินฟันม้า ดิน ซิลิมาไนต์ เป็นต้น

อลูมินาในธรรมชาติอยู่ในรูปของแร่ออร์รันดัม (Corundum) มีความแข็งเป็นแร่ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยปกติการนำอลูมินามาใช้ในงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์จะทำการเผาและบดให้เป็นผงสีขาว เป็นวัตถุดิบที่มีความเฉื่อย (Inert) และทนต่อปฏิกิริยากรดและด่าง สารที่ทำปฏิกิริยากับอลูมินาได้ดีก็คือ บอแรกซ์ ตะกั่วออกไซด์ และโซเดียมเปอร์ออกไซด์ (โกลด์รักซ์วงส์.2538 : 66) อลูมินาจะมี 2 รูป คือ form และ r form ซึ่งมีข้อแตกต่างดังนี้

ตารางแสดงคุณสมบัติของอลูมินาในรูป β และ γ

	อลูมินาในรูปของ γ	อลูมินาในรูปของ β
ความถ่วงจำเพาะ	3.5 – 3.9	4.00
รูปทรงของผลึก	hexagonal	trigonal
น้ำหนักโมเลกุล	101.94	101.94
จุดหลอมละลาย	2050 C°	2050 C°

(Sonja S.Singer. 1960: 115)

เมื่อนำอลูมินาผสมในเคลือบจะเกิดผลดังนี้

1. เพิ่มความแข็งให้เคลือบทำให้ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี
2. ลดการรานตัวของเคลือบ
3. เป็นตัวลดอัตราการไหลตัวของเคลือบมีความหนืดสูงระหว่างเผา
4. ทำให้เคลือบมีความทนไฟสูง เคลือบด้าน

1.2 สารประกอบของบอรอน วัตถุดิบในกลุ่มของสารประกอบบอรอนมีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอม หรือทำให้เคลือบหลอมละลายได้ง่าย และเพิ่มความมันวาว (Glossy) ของผิวเคลือบสูง และขัดขวางการตกผลึกของสารในน้ำเคลือบอีกด้วย วัตถุดิบของกลุ่มนี้ได้แก่

1.2.1 บอริกออกไซด์ (Boric Oxide : B_2O_3) สารบอริกออกไซด์ เป็นวัตถุดิบที่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นในการใช้งานควรอยู่ในรูปของฟritซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุล 69.64 ความถ่วงจำเพาะ 1.8 จุดหลอมละลาย 294 องศาเซลเซียส (561 องศาฟาเรนไฮต์)

1.2.2 กรดบอริก (Boric acid : H_3BO_3) กรดบอริกมีน้ำหนักโมเลกุล 61.84 มี B_2O_3 อัตราร้อยละ 56.3 ความถ่วงจำเพาะ 1.4 จุดหลอมละลาย 185 องศาเซลเซียส (365 องศาฟาเรนไฮต์)

1.2.3 โครมออกไซด์ (Chrom Oxide : Br_2O_3) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ให้สีเขียว มีความทนไฟ สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1700 ถึง 2100 องศาเซลเซียส

2. วัตถุดิบกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (Acids group) วัตถุดิบกลุ่มนี้จะอยู่ในรูปของสัญลักษณ์ RO_2 ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสารประกอบของซิลิกา เช่น ควอตซ์ ซิลิกาไนท์ มีคุณสมบัติเป็นแก้วในเคลือบ และยังมีสารประกอบอื่น ๆ เช่น ไตตาเนียมออกไซด์ ดีบุกออกไซด์ และเซอร์โคเนียมออกไซด์ ที่มีคุณสมบัติในการให้สีและเคลือบที่

2.1 สารประกอบของซิลิกา วัตถุดิบที่มีซิลิกาเป็นสารประกอบในอัตราสูง มีดังนี้

2.1.1 หินเขี้ยวหนูมาน (Quartz : SiO_2) เป็นวัตถุดิบที่มีซิลิกาสูงถึงอัตราร้อยละ 99 ซึ่งเกิดจากการตกผลึกของซิลิกา มีคุณสมบัติเป็นแก้วในเคลือบ ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์จะใช้หินเขี้ยวหนูมานผสมในเนื้อดินปั้นและเคลือบ

2.1.2 ฟรินต์ (Flint : SiO_2) เป็นวัตถุดิบที่ได้จากการนำทราย (Sand) หรือ หินทราย (Sand Stone) ผ่านขบวนการบดที่มีความละเอียด 200 ถึง 325 เมท ปัจจุบันทรายที่ใช้ได้แก่ ทรายจากจังหวัดระยอง

ตารางแสดงคุณสมบัติของซิลิกา

วัตถุดิบ	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็ง	จุดหลอมละลาย (องศาเซลเซียส)
Quartz	2.65 (2.5 – 2.8)	7	มากกว่า 1470 (2678 °F)
Trdymite	(2.27 – 2.35) 2.32	6.5-7	1670 (3038 °F)
Cristobalite	2.32 – 2.33	6 – 7	1710 (3110 °F)
Quartz Sand	2.62 – 2.67		
Sandstone Flint	2.4 2.62	6 – 7	

นอกจากนั้นในการทำเคลือบยังใช้ซิลิกา ที่มีอยู่ในสารประกอบของดิน ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และยังใช้แก้วที่มีอยู่ในสารประกอบของหินฟีนมา ($\text{K}_2\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) อีกด้วย

2.1.3 ดีบุกออกไซด์ (Tin Oxide : SnO_2) เป็นสารที่มีลักษณะสีขาว มีคุณสมบัติเป็นกรด เมื่อผสมในเคลือบเป็นตัวทำให้ทึบแสงในเคลือบ (Opacifier) ให้สีขาว มีน้ำหนักโมเลกุล 150.7 ความถ่วงจำเพาะ 6.6 – 6.9

2.1.4 ไทเทเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide : TiO_2) มีลักษณะสีขาว ทำให้เคลือบทึบ และให้สีขาวในเคลือบ มีน้ำหนักโมเลกุล 79.9 ความถ่วงจำเพาะ 4.26 จุดหลอมละลาย 1,640 องศาเซลเซียส

2.1.5 โครมออกไซด์ (Chrom Oxide : Cr_2O_3) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ให้สีเขียว สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1700 ถึง 2100 องศาเซลเซียส

3. สารที่ให้สีทางเคมี (Coloring agents) วัตถุดิบที่ให้สีในการผสมเคลือบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกไซด์ (Oxide) เมื่อผสมในเคลือบจะทำให้เกิดสีต่างๆ ดังนี้

3.1 พลวงออกไซด์ (Antimony Oxide : Sb_2O_3) พลวงออกไซด์เป็นวัตถุดิบที่ให้สีเหลือง หรือสีส้ม โดยใช้ผสมในเคลือบประมาณอัตราส่วนร้อยละ 3 – 5

3.1.1 โครมออกไซด์ (Chrome Oxide : Cr_2O_3) จะให้สีเขียวทึบแสง แต่โครมออกไซด์เมื่อผสมกับออกไซด์อื่น ๆ จะให้ที่ดังนี้

1. เมื่อผสมในเคลือบที่มีสังกะสีออกไซด์ จะให้สีน้ำตาล
2. เมื่อนำโครมออกไซด์ผสมกับดีบุกออกไซด์จะให้สีชมพู
3. เมื่อนำโครมออกไซด์ผสมกับตะกั่วออกไซด์จะให้สีส้ม หรือสีเขียว

3.1.2 โคบอลต์ออกไซด์ (Cobalt Oxide : CoO) เป็นสารที่ให้สีน้ำเงินที่รุนแรง (Strong Coloring agent) จะใช้ผสมในเคลือบอัตราส่วนร้อยละ 0.5 ถึง 1 แต่ไม่เกินอัตราร้อยละ 3 โคบอลต์ออกไซด์เมื่อผสมกับเหล็กออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ จะให้สีดำ

3.1.3 ทองแดงออกไซด์ (Copper Oxide : CuO) เป็นสารที่ให้สีเขียวใส โดยทองแดงออกไซด์ที่ใช้ในเคลือบมีหลายลักษณะ คือ

3.1.4 ทองแดงออกไซด์สีดำ (Black Copper Oxide Or Cupric Oxide : CuO)
ทองแดงออกไซด์สีแดง (Red Copper Oxide Or Cuprous Oxide : Cu_2O)

3.1.5 ทองแดงคาร์บอเนต (Copper Carbonate : $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
ทองแดงออกไซด์จะให้สีเขียวในบรรยากาศสมบูร์น (Oxidation Firing) แต่ถ้านำทองแดงออกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละ 1 ผสมกับดีบุกออกไซด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 เเผาในบรรยากาศที่ไม่สมบูร์น (Reduction Firing) จะให้สีแดง

3.1.6 เหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide: Fe_2O_3) เป็นสารให้สีที่ใช้ผสมในเคลือบอัตราส่วนร้อยละ 5 – 10 สีที่ได้สีน้ำตาลในบรรยากาศการเผาที่สมบูร์น แต่เมื่อเผาในบรรยากาศไม่สมบูร์นจะให้สีเขียว (Celadon) เมื่อผสมกับแมงกานีสออกไซด์ โคบอลต์ออกไซด์จะได้สีดำ เหล็กออกไซด์ที่ใช้ในการผสมเคลือบมีหลายลักษณะ คือ 1. เฟอริกออกไซด์ (Ferric Oxide : Fe_2O_3)

4. เฟอรัสออกไซด์ (Ferrous Oxide: FeO) 3. เฟอร์โรโซ - เฟอริก (Ferroso Feric : Fe_3O_4)

4.1 แมงกานีสออกไซด์ (Manganese Oxide : MnO) เป็นสารให้สีน้ำตาลหรือ ดำ ใช้ผสมในเคลือบอัตราส่วนร้อยละ 5 – 10 ซึ่งแมงกานีสที่ใช้จะอยู่ในรูปต่าง ๆ คือ

- 4.1.1 แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide : MnO_2)
- 4.1.2 แมงกานีสคาร์บอเนต (Manganese Carbonate : MnCO_3)

4.2 นิกเกิลออกไซด์ (Nickel Oxide NiO) เป็นสารที่ให้สีเขียวทึบ ในอัตราร้อยละ 2 – 5 นิกเกิลออกไซด์ที่ใช้ผสมในเคลือบมีหลายชนิด คือ

- 4.2.1 นิกเกิลออกไซด์ (Nickel Oxide or Green nickel Oxide : NiO)
- 4.2.2 นิกเกิลออกไซด์ (Nickel Oxide or Black nickel Oxide : Ni_2O_3)

4.2.3 นิเกิลคาร์บอเนต (Nickel Carbonate : NiCO_3)

นิเกิลออกไซด์ เมื่อผสมกับแมกนีเซียม (Magnesia) จะให้สีเขียว เมื่อผสมในเคลือบที่มีแบเรียม (Barium) จะให้สีน้ำตาม สีม่วง ผสมกับสังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide) จะให้สีน้ำเงิน

4.3 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide : TiO_2) เป็นสารที่ให้สีขาว โดยใช้อัตราส่วนร้อยละ 3 – 5 ถ้าใส่ในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดผลึกรูปเข็มในเคลือบ



บทที่ 3

การคำนวณน้ำเคลือบ

น้ำเคลือบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผานั้นจะต้องมีการวิเคราะห์และการหาในสัดส่วนต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการหานั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการหาอัตราส่วนจากการสุ่มตัวอย่าง หรือ วิธีการหาอัตราส่วนจากการคำนวณน้ำหนักของโมเลกุลของวัตถุดิบ ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีขั้นตอนที่แตกต่างกันดังนี้

สูตรเคลือบแบบพื้นบ้าน (Folk Fomular)

น้ำเคลือบแบบพื้นบ้าน ได้มีการทดลองและสืบทอดจากภูมิปัญญาของท้องถิ่นในแต่ละท้องถิ่นจากบรรพบุรุษมาสู่บุตรหลานที่สืบทอดกันมายาวนาน โดยส่วนใหญ่จะทำจากเคลือบจี๊เถ่าพีช เช่น การทำเครื่องปั้นดินเผากลุ่มเตาสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ หรือกลุ่มอื่นๆในทางภาคเหนือจะใช้จี๊เถ่าของไม้รักฟ้า (*Terminalia alata* Heya) และจี๊เถ่าจากต้นมะก๋อตาหมู (*Quercus Velutina*) ผสมกับ

ดินผิวนาดังสูตร

จี๊เถ่าจากต้นมะก๋อตาหมู (ตัวเมีย)	25	ส่วน
จี๊เถ่าของไม้รักฟ้า (ตัวผู้)	25	ส่วน
ดินผิวนา	50	ส่วน

ผสมทำเป็นน้ำเคลือบเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียสขึ้นไปด้วยเตาฟืนจะให้ป็นลักษณะสีเขียวเซลาดล (Celadon glaze)

ในจังหวัดราชบุรีก็ได้มีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาประเภทสโตนแวร์เช่นกันซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะบรรจุน้ำหรือโอ่งที่มีลวดลายมังกรโดยมีสัดส่วนของน้ำเคลือบดังนี้

จี๊เถ่า	3	ส่วน
ดินเลนร่อนฟัก	7	ส่วน

นำมาผสมเป็นน้ำเคลือบเผาด้วยเตาฟืนที่อุณหภูมิ 1100 ถึง 1200 องศาเซลเซียส

(เสริมศักดิ์ นาคบัว : 2536.3)

สูตรที่บอกส่วนผสมเป็นร้อยละ (Percentage Formular)

อัตราส่วนผสมของน้ำเคลือบที่บอกส่วนผสมเป็นอัตราร้อยละซึ่งจะทำให้ง่ายในการเตรียมและการชั่งบดผสม โดยจะให้ผลรวมของน้ำหนักเท่ากับ 100 ดังตัวอย่างเช่น

สูตรเคลือบใส	อุณหภูมิ 1230 – 1250 องศาเซลเซียส	
โปแตสเซิลด์สปาร์	ร้อยละ	54
หินปูน	ร้อยละ	14
หินเขียวหุนมาน	ร้อยละ	17
ดินขาว	ร้อยละ	6
สังกะสี	ร้อยละ	6
โคโลไมต์	ร้อยละ	3

สูตรกึ่งด้านกึ่งมัน	อุณหภูมิ 1230 – 1250 องศาเซลเซียส	
โปแตสเซิลด์สปาร์	ร้อยละ	39.0
หินปูน	ร้อยละ	16.1
หินเขียวหุนมาน	ร้อยละ	14.2
ดินขาว	ร้อยละ	6.7
สังกะสี	ร้อยละ	25.0

สูตรที่บอกเป็นจำนวนน้ำหนักส่วนผสม (Batch Formular)

สูตรของเคลือบที่เป็นจำนวนน้ำหนักส่วนผสมจะทำให้ง่ายในการผลิตเตรียมวัตถุดิบซึ่งการหาเป็นน้ำหนักส่วนผสมก็สามารถเทียบได้จากสูตรที่คิดเป็นอัตราร้อยละเช่นกันดังตัวอย่างเช่น

เคลือบใส	อุณหภูมิ 1200-1250 องศาเซลเซียส	
โปแตสเซิลด์สปาร์	ร้อยละ	53
หินปูน	ร้อยละ	14
หินเขียวหุนมาน	ร้อยละ	16
ดินขาว	ร้อยละ	6
สังกะสี	ร้อยละ	6
แบเรียมคาร์บอเนต	ร้อยละ	5
รวม		100

เมื่อคิดเป็นน้ำหนักวัตถุดิบจำนวน 4 กิโลกรัม (4,000 กรัม)

โปแตสเซิลด์สปาร์	$\frac{53}{100} \times 4000$	=	2120	กรัม
หินปูน	$\frac{14}{100} \times 4000$	=	560	กรัม
หินเขียวหनुมาน	$\frac{16}{100} \times 4000$	=	640	กรัม
ดินขาว	$\frac{6}{100} \times 4000$	=	240	กรัม
สังกะสี	$\frac{6}{100} \times 4000$	=	240	กรัม
แบเรียมคาร์บอเนต	$\frac{5}{100} \times 4000$	=	200	กรัม

สูตรที่บอกเป็นจำนวนโมเลกุลของออกไซด์ (Empirical Fomular)

สูตรเคลือบที่บอกเป็นจำนวนโมเลกุลของออกไซด์หรือ Seger Fomular โดยจะเขียนน้ำหนักโมเลกุล สัญลักษณ์ของธาตุ แยกออกเป็นกลุ่มต่าง กลุ่มกลาง และกลุ่มกรดตั้งตัวอย่าง

เคลือบที่บ

0.286 K_2O

0.074 MgO

0.403 CaO

0.091 BaO

0.146 ZnO

0.446 Al_2O_3

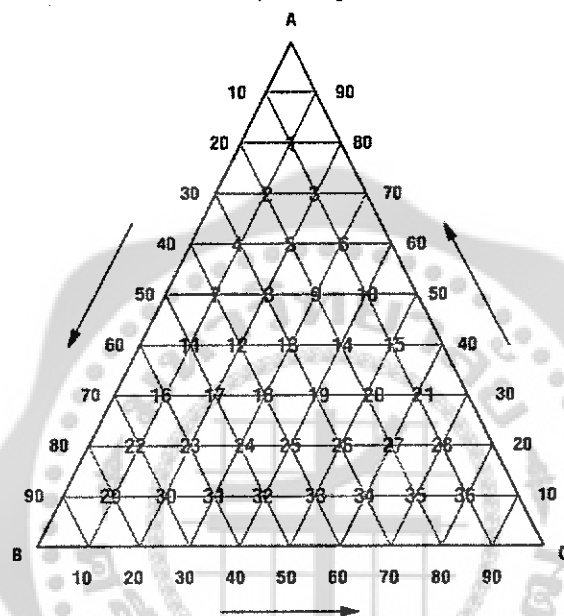
2.331 SiO_2

0.104 SnO_2

การคำนวณน้ำเกลือ

1. การหาสูตรเกลือโดยการสุมตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า

การหาสูตรเกลือโดยการสุมตัวอย่างบนตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าเป็นการสุมตัวอย่างที่ดีสำหรับสูตรเกลือที่มีวัตถุดิบ 3 ชนิด หรืออาจเป็นการทดลอง อย่างกว้าง สุมตัวอย่างเนื้อดินก็ได้ โดยทั่วไปมักจะนิยมทดลอง 36 จุดบนตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าโดยผลรวมของวัตถุดิบจะมีค่าเท่ากับ 100 ซึ่งจะทำให้สะดวกในการหาและทดลองวัตถุดิบดังรูป



ภาพที่ 1 แสดง การสุมตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า

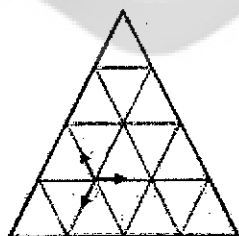
จากรูปแสดงตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่แบ่งออกด้านละ 10 ช่อง ซึ่งกำหนดด้านปลายสุดของสามเหลี่ยมเป็นวัตถุดิบแต่ละชนิด เมื่อจากเส้นจากจุดแต่ละจุดตัดกันก็จะได้จุดตัดของเส้น 36 จุด ซึ่งในแต่ละจุดก็จะกำหนดค่าของวัตถุดิบที่มีสัดส่วนต่างกัันดังตาราง

ตารางแสดงอัตราส่วนผลสมของวัตถุดิบ A, B และ C จากการสุ่มตัวอย่างบนตาราง
สามเหลี่ยมด้านเท่า 36 จุด

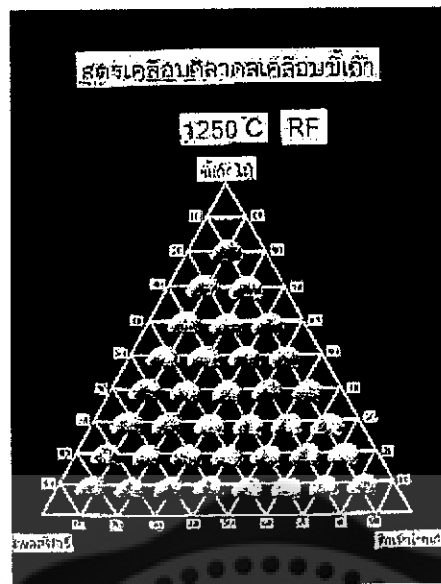
จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C
1	10	10	80
2	20	10	70
3	10	20	70
4	30	10	60
5	20	20	60
6	10	30	60
7	40	10	50
8	30	20	50
9	20	30	50
10	10	40	50
11	50	10	40
12	40	20	40
13	30	30	40
14	20	40	40
15	10	50	40
16	60	10	30
17	50	20	30
18	40	30	30
19	30	40	30
20	20	50	30
21	10	60	30
22	70	10	20

จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C
23	60	20	20
24	50	30	20
25	40	40	20
26	30	50	20
27	20	60	20
28	10	70	20
29	80	10	10
30	70	20	10
31	60	30	10
32	50	40	10
33	40	50	10
34	30	60	10
35	20	70	10
36	10	80	10

จากตารางแสดงผลการอ่านค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างบนตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่แสดงค่าอัตราส่วนผสมอย่างหยาบ ดังนั้นเมื่อทำการทดลองจะต้องทดลองอย่างละเอียดซ้ำอีกครั้งหลังจากการผสมวัตถุดิบและเผาเคลือบการทดลอง ซึ่งเป็นการกำหนดจุดบนตารางสามเหลี่ยมจากจุดที่ต้องการครั้งแรกจะได้ผลที่ดี

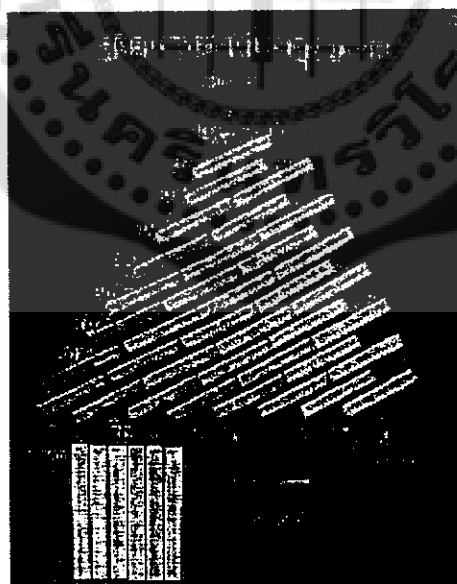


ภาพที่ 2 แสดงทิศทางการอ่านค่าบนตารางสามเหลี่ยม



ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบเคลือบสีผิว

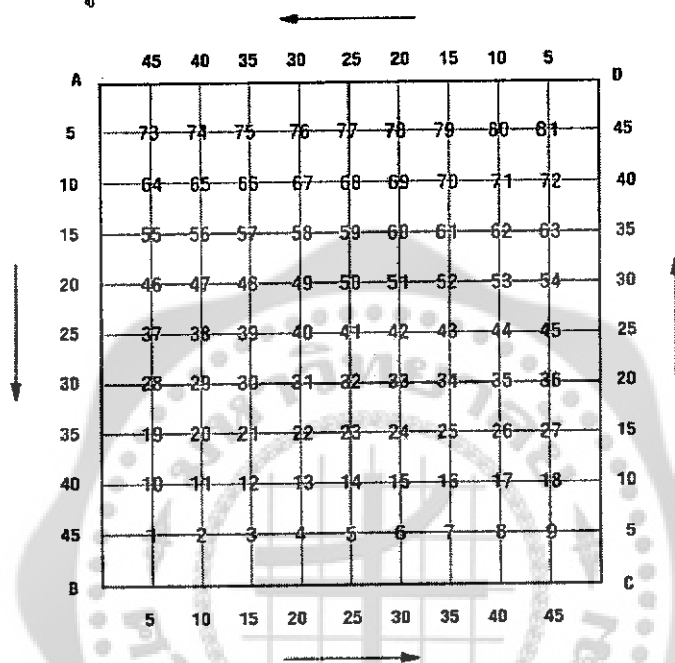
จากรูปแสดงผลการทดลองเคลือบ โดยการหาจากตารางสามเหลี่ยมที่มีอัตราส่วนผสมของสีผิว ไม้ หินพื้นน้ำ และดินเหนียว เมื่อเผาในบรรยากาศ ริดักชันจะได้เคลือบสีผิว



ภาพที่ 4 แสดงการนำตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าทดสอบดิน

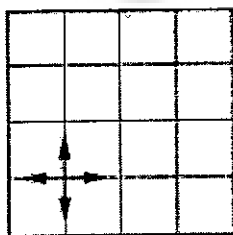
2. การหาสูตรเคลื่อนโดยการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า

วิธีการหาสูตรเคลื่อน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า เป็นการสุ่มตัวอย่างที่มีวัตถุ 4 ชนิด อยู่ด้านมุมของสี่เหลี่ยมด้านเท่าแต่ละด้านลักษณะของการสุ่มตัวอย่าง โดยจะให้ผลรวมของวัตถุทั้ง 4 ชนิดมีค่าเท่ากับ 100 มีลักษณะคล้ายกับการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าดังรูป



ภาพที่ 5 แสดงการหาสูตรเคลื่อนโดยการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงบนตารางสี่เหลี่ยมด้านเท่า

จากรูปแสดงการกำหนดจุดการสุ่มตัวอย่างซึ่งให้ด้านมุมของสี่เหลี่ยมแต่ละด้านเป็นวัตถุ 4 ชนิด โดยสี่เหลี่ยมด้านเท่าแบ่งออกด้านละ 10 ช่อง ซึ่งมีจุดตัดภายในสี่เหลี่ยมด้านเท่าจำนวน 81 จุด เมื่อรวมวัตถุทั้งสี่ชนิดจะมีค่าเท่ากับ 100 มีวิธีการอ่านดังนี้



ภาพที่ 6 แสดงวิธีการอ่านค่าจากการสุ่มตัวอย่าง

ตารางแสดง อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ABC และ D จากการสุ่มตัวอย่างบนตาราง
สี่เหลี่ยมด้านเท่า

จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C	วัตถุดิบ D
1	45	5	5	45
2	45	10	5	40
3	45	15	5	35
4	45	20	5	30
5	45	25	5	25
6	45	30	5	20
7	45	35	5	15
8	45	40	5	10
9	45	45	5	5
10	40	5	10	45
11	40	10	10	40
12	40	15	10	35
13	40	20	10	30
14	40	25	10	25
15	40	30	10	20
16	40	35	10	15
17	40	40	10	10
18	40	45	10	5
19	35	5	15	45
20	35	10	15	40
21	35	15	15	35
22	35	20	15	30
23	35	25	15	25
24	35	30	15	20
25	35	35	15	15

จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C	วัตถุดิบ D
26	35	40	15	10
27	35	45	15	5
28	30	5	20	45
29	30	10	20	40
30	30	15	20	35
31	30	20	20	30
32	30	25	20	25
33	30	30	20	20
34	30	35	20	15
35	30	40	20	10
36	30	45	20	5
37	25	5	25	45
38	25	10	25	40
39	25	15	25	35
40	25	20	25	30
41	25	25	25	25
42	25	30	25	30
43	25	35	25	15
44	25	40	25	10
45	25	45	25	5
46	20	5	30	45
47	20	10	30	40
48	20	15	30	35
49	20	20	30	30
50	20	25	30	25
51	20	30	30	20
52	20	35	30	15
53	20	40	30	10

จุดที่	วัดฤทธิบ A	วัดฤทธิบ B	วัดฤทธิบ C	วัดฤทธิบ D
54	20	45	30	5
55	15	5	35	45
56	15	10	35	40
57	15	15	35	35
58	15	20	35	30
59	15	25	35	25
60	15	30	35	20
61	15	30	35	20
62	15	40	35	10
63	15	45	35	5
64	10	5	40	45
65	10	10	40	40
66	10	15	40	35
67	10	20	40	30
68	10	25	40	25
69	10	30	40	20
70	10	35	40	15
71	10	40	40	10
72	10	45	40	5
73	5	5	45	45
74	5	10	45	40
75	5	15	45	35
76	5	20	45	30
77	5	25	45	25
78	5	30	45	20
79	5	35	45	15
80	5	40	45	10
81	5	45	45	5

จากตารางแสดงผลจากการกำหนดจุดในการหาค่าจากตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสได้จำนวน 81 จุด แต่ในทางปฏิบัติผู้ทดสอบสามารถทดลองเฉพาะจุดคาดหวัง หรืออาจจะทดลองเพื่อดูผลทั้งหมดก็ได้

การคำนวณเคลือบฟริต (Fritted glaze Calculation)

เคลือบฟริตจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นฟริต คือ ส่วนที่ต้องนำไปหลอม
2. ส่วนที่ใช้ผสมตอนบด (Mill addition) คือ ส่วนที่เหลือจากการนำไปหลอม

ให้วงกลมนี้แทนส่วนผสมของสูตรเคลือบ 1 สูตร ซึ่งต้องแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งต้องนำไปหลอม อีกส่วนหนึ่งไม่ต้องหลอม แล้วนำมารวมกันและบดผสมในตอนหลัง

ส่วนที่จะนำไปหลอมเป็นฟริตนั้น จะต้องเลือกให้หลอมได้ในอุณหภูมิต่ำ หรือในอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีกฎการทำฟริตขึ้น (Frit rule) เพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณหาส่วนผสม แต่อย่างไรก็ดีกฎเหล่านี้ก็เป็นเพียงแนวทางเท่านั้น เพราะบางครั้งการเตรียมที่ดีก็ไม่จำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎของฟริตมากนัก ซึ่งกฎของการทำฟริตมีดังนี้

1. อัตราส่วนของจำนวนสมมูลของด่าง (RO, R₂O กรู๊ป) ต่อจำนวนสมมูลของกรด (RO₂ กรู๊ป) ควรจะอยู่ในระหว่าง 1:1 – 1:3

กฎข้อนี้มีจุดประสงค์ที่จะให้แน่ใจว่า ฟริตนั้นจะหลอมละลายได้ง่าย เช่น ถ้าผลรวมของจำนวนสมมูลของด่างที่จะใช้ทำฟริตเท่ากับ 0.60 ฉะนั้นจำนวนสมมูลของกรด (ส่วนมากจะเป็นซิลิกา) จะต้องไม่เกิน 1.80 (0.60 x 3)

2. อัตราส่วนของอัลคาไลน์ (Na₂O, K₂O, Li₂O) ต่อ RO กรู๊ปตัวอื่นๆ ไม่ควรเกิน 1:1
กฎข้อนี้กำหนดขึ้นเพื่อให้มั่นใจว่า ฟริตที่หลอมได้แล้วจะไม่ละลายน้ำอีก เพราะถ้าหากว่าในฟริตมีพวก Alkalies มาก จะมีผลทำให้ฟริตนั้นละลายน้ำได้

3. สารจำพวกกรดที่ใช้เป็นส่วนผสมของฟริต ได้แก่ ซิลิกา ถ้าหากในสูตรมีบอริกออกไซด์ (Boric Oxide) อยู่ด้วย อัตราส่วนของบอริกออกไซด์ (B₂O₃) ต่อซิลิกา ต้องไม่เกิน 1:2

ถ้าทำตามกฎข้อนี้ ฟริตที่ได้จะไม่ละลายน้ำอีก

4. ถ้าในสูตรมีพวกอัลคาไลน์ (K₂O, Na₂O, Li₂O) กับบอริกออกไซด์ (B₂O₃) ให้นำมาหลอมทั้งหมด เพราะสารทุกตัวที่กล่าวละลายน้ำได้ดี

ถ้าทำตามกฎข้อนี้ ฟริตที่ได้จะไม่ละลายน้ำ

5. ในส่วนผสมของฟริตใดๆ จะต้องมอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ไม่เกิน 0.2 สมมูลย์ ถ้าทำตามกฎข้อนี้ฟริตจะหลอมได้ง่าย เพราะถ้าใส่ลูมินาออกไซด์มากจะทำให้ฟริตมีความหนืด และทนไฟสูง ฟริตทั่วๆ ไปจะต้องให้มอลูมินาออกไซด์อย่างน้อยที่สุด 0.05 สมมูลย์ จึงจะได้ฟริตที่ดี

การที่จะทำฟริตได้ดีและใช้กฎของฟริตอย่างได้ผลจะต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษ ซึ่งในบางครั้งการหาส่วนผสมของฟริตที่ตินั้น อาจจะไม่จำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎฟริตทุกประการได้

ตัวอย่าง เกลือบฟริตสูตรหนึ่งมีส่วนผสมดังนี้

0.12	K_2O		
0.23	Na_2O	0.24	Al_2O_3
0.30	CaO	0.49	B_2O_3
		2.50	SiO_2
0.35	BaO		

จงคำนวณหา Fritt Formular, ส่วนผสมของฟริต (Fritt batch recipe) และส่วนผสมของเกลือบ (glaze batch recipe)

วิธีการคำนวณ

ข้อที่ 1 หาส่วนผสมของฟริต (Fritt batch recipe)

ขั้นที่ 1.1 ปรับให้เข้าตามกฎของฟริต ดังนี้

0.12	K_2O		
0.23	Na_2O	0.10	Al_2O_3
0.30	CaO	0.49	B_2O_3
		0.98	SiO_2
0.05	BaO		

ในการทำสูตรฟริตควรคำนึงถึงวัตถุดิบด้วยว่าจะต้องใช้วัตถุดิบตัวใด และการใช้วัตถุดิบตัวนั้นๆ จะมีสารอะไรเพิ่มมาด้วย เช่น ในสูตรฟริตที่ยกตัวอย่างมานี้มี 0.12 K_2O ซึ่งเรามักจะใช้โปแตสเฟลสปาร์ ซึ่งมีสูตรว่า $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ้าใช้โปแตสเฟลสปาร์ 0.12 โมเลกุล จะได้ลูมินา 0.12 โมเลกุล และซิลิกา .60 (0.12×6) โมเลกุลด้วย

ถ้าสังเกตจะเห็นว่า ลูมินามากกว่าลูมินาในสูตรฟริต ซึ่งมีเพียง 0.10 โมเลกุลเท่านั้น ฉะนั้นจึงควรปรับให้เป็น 0.12 โมเลกุลของลูมินา

ส่วน Na_2O นั้น ได้จากบอร์แรกซ์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ถ้าใช้ 0.23 โมเลกุลของบอร์แรกซ์ จะได้ 0.23 Na_2O และ 0.46 B_2O_3 (0.23×2) และในสูตรฟริตมี 0.49 B_2O_3 ฉะนั้นต้องใช้บอร์ริคแอซิดอีก 0.03 โมเลกุล จึงจะได้ 0.49 โมเลกุลของ B_2O_3

เมื่อเราพิจารณาวัตถุดิบที่จะใช้แล้ว สามารถที่จะปรับสูตรฟริตใหม่ได้ ดังนี้

0.12 K₂O
0.23 Na₂O 0.12 Al₂O₃
0.30 CaO 0.49 B₂O₃ 0.98 SiO₂
0.05 BaO
0.70

ต่อไปก็ทำให้เป็นรูปแบบของสูตรที่สมบูรณ์ (Fritt formular) คือ ทำให้กลุ่มค่ามีค่าเท่ากับ 1.00 โดยใช้ 0.70 หารตลอด

0.17 K₂O
0.33 Na₂O 0.17 Al₂O₃
0.43 CaO 0.70 B₂O₃ 1.40 SiO₂
0.70 BaO

ขั้นที่ 1.2 หาจำนวนสมมูลของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของฟริต

วัตถุดิบ (raw materials)	Fritt formular						
	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	BaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂
0.17 Potash feldspar	0.17	0.33	0.43	0.07	0.17	0.70	1.40
	0.17	-	-	-	0.17	-	1.02
0.33 Borax	-	0.33	0.43	0.07	-	0.70	0.38
	-	0.33	-	-	-	0.66	-
0.43 Whiting	-	-	0.43	0.07	-	0.04	0.38
	-	-	0.43	-	-	-	-
0.07 Barium Carbonate				0.07	-	0.04	0.38
				0.07	-	-	-
0.04 Boric acid				-	-	0.04	0.38
						0.04	-
0.38 Flint							0.38
							0.38

ขั้นที่ 1.3 หาส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบโดยน้ำหนัก

วัตถุดิบ (raw materials)	จำนวนสมมูล (equivalent)	น้ำหนักสมมูลของสาร (equivalent weight)	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (recipe)
Potash feldspar	0.17	557	94.69
Borax	0.33	382	126.06
Whiting	0.43	100	43.00
Barium Carbonate	0.07	197	13.79
Boric acid	0.04	124	4.96
Flint	0.38	60	22.80

Fritt batch recipe = 305.30

ส่วนผสมที่คำนวณได้ทั้งหมดนี้เป็นส่วนที่ต้องนำไปหลอมเป็นฟritt

ขั้นที่ 2 หาส่วนผสมของเคลือบ (Glaze batch recipe)

ขั้นที่ 2.1 หาจำนวนสมมูลของฟrittและวัตถุดิบ

ส่วนผสม	Glaze formular						
	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	BaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂
0.70 fritt	0.12	0.23	0.30	0.35	0.24	0.49	2.50
	0.12	0.23	0.30	0.05	0.12	0.49	0.98
0.30 Barium Carbonate	-	-	-	0.30	0.12	-	1.52
	-	-	-	0.30	-	-	-
0.43 Kaolin	-	-	-	-	0.12	-	1.52
	-	-	-	-	0.12	-	0.24
0.07 Flint	-	-	-	-	-	-	1.28
	-	-	-	-	-	-	1.28

“0.07 fritt” มาจากสูตรของฟritt คือ ในสูตรของฟritt

มี K₂O 0.17 จาก 1 โมเลกุลของฟritt

ถ้ามี K₂O 0.12 จาก $\frac{0.12}{0.17} = 0.7$ โมเลกุลของฟritt

0.17

แล้วใช้ 0.7 นี้ คูณกับค่าสมมูลของวัตถุดิบในสูตรฟริตแต่ละตัว ก็จะได้ค่าดังกล่าว เช่น K_2O ในสูตรฟริตเท่ากับ 0.17 เมื่อคูณด้วย 0.7 จะได้เท่ากับ 0.12 เป็นต้น

ขั้นที่ 2.2 หาน้ำหนักสมมูลของฟริต (Frit equivalent weight)

วัตถุดิบ	จำนวนโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล	น้ำหนัก
K_2O	0.17	94.2	16.01
Na_2O	0.33	62.0	20.46
CaO	0.43	56.1	24.12
BaO	0.07	153.4	10.74
Al_2O_3	0.17	101.9	17.32
B_2O_3	0.70	69.1	48.37
SiO_2	1.40	60.1	<u>84.14</u>
น้ำหนักสมมูลของ =			<u>221.16</u>

ขั้นที่ 2.3 หาส่วนผสมของเคลือบฟริต (Frit glaze batch recipe)

วัตถุดิบ (raw materials)	จำนวนสมมูล (equivalent)	น้ำหนักสมมูล (equivalent weight)	น้ำหนักส่วนผสม (recipe)
Fritt	0.70	221.16	154.81
Barium Carbonate	0.30	197.4	59.22
Kaolin	0.12	258.1	30.97
Flint	1.28	60.1	76.93

เพราะฉะนั้น ส่วนผสมของเคลือบฟริตสูตรนี้ มีดังนี้

ฟริต	154.81	หน่วยน้ำหนัก
แบเรียมคาร์บอเนต	59.22	หน่วยน้ำหนัก
ดินขาว	30.97	หน่วยน้ำหนัก
ฟลินท์	76.93	หน่วยน้ำหนัก (สูตรศักดิ์ โกสิยพันธ์.2527:88 – 94)

3. การคำนวณเคลือบ จากสูตรเอมไพริกัล (Empirical formulas) หรือ สูตรเซเกอร์ (Segers formulas) เป็นอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ (Batch composition of raw materials)

ในการคำนวณเคลือบด้วยวิธีนี้เป็นการคำนวณด้วยน้ำหนักของโมเลกุลของวัตถุดิบ ซึ่งจะมีผลรวมของวัตถุดิบกลุ่มต่าง (R_2O , RO) เท่ากับ 1 วิธีคำนวณได้ดังนี้

การคำนวณเคลือบจากสูตรเซเกอร์ ไปเป็นอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น เคลือบทึบ (Opaque glazes) เฟาที่อุณหภูมิ 1240 องศาเซลเซียส เป็นสูตรเซเกอร์มีโมเลกุลลา ดังนี้

(R_2O, RO)	(R_2O_3)	(RO_2)	
0.286 K_2O			
0.074 MgO	0.446 Al_2O_3	2.331 SiO_2	
0.403 CaO		0.104 SnO_2	
0.091 BaO			
0.146 ZnO			

(Felix and Sonja Siager . 587 : 1963)

คำนวณหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบได้ดังนี้

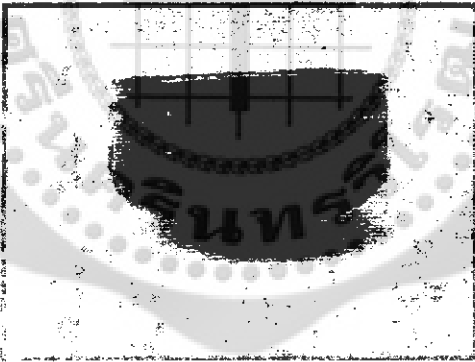
วิธีทำ

1. หาวัตถุดิบที่มีสารประกอบทางเคมีที่นำมาแทนค่าในสูตรเซเกอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วัตถุดิบที่หาง่าย และมีราคาถูก จะใช้วัตถุดิบดังนี้

โปแตสเฟลด์สปาร์	(Potash Feldspar: $K_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$)
หินปูน	(Whiting: $CaCO_3$)
โดโลไมต์	(Dolomite: $MgCa (CO_3)_2$)
แบเรียมคาร์บอเนต	(Barium Carbonate: $BaCO_3$)
สังกะสี ออกไซด์	(Zinc Oxide: ZnO)
ดินขาว	(Kaolin: $Al_2O_3, 2SiO_2, 2H_2O$)
ดีบุกออกไซด์	(Tin oxide: SnO_2)

2. หาคำน้่าน้ำหนักของโมเลกุลของวัตถุดิบแต่ละชนิดมาแทนค่าในสูตรตารางแสดงสูตรทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	สูตรทางเคมี	น้ำหนักโมเลกุล
โปแตสเซิลด์สปาร์	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	557
หินปูน	$CaCO_3$	100
โดโลไมต์	$MgCa (CO_3)_2$	184
แบเรียมคาร์บอเนต	$BaCO_3$	197
สังกะสี ออกไซด์	ZnO	81
ดินขาว	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258
หินเขียวหนุมาน	SiO_2	60
ดีบุกออกไซด์	SnO_2	150



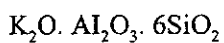
ภาพที่ 7 แสดงถ้วยชาเคลือบดินโย

แทนค่าวัตถุดิบในตาราง

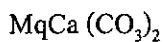
วัตถุดิบ	K ₂ O	MgO	CaO	BaO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SnO ₂
	0.286	0.074	0.403	0.091	0.146	0.446	2.331	0.104
โปแตส เฟลด์สปาร์								
0.286 (K ₂ O, Al ₂ O ₃ , 6SiO ₂) 0.286							0.286	1.716
							0.16	0.615
โดโลไมต์								
0.074 (MgCa (CO ₃) ₂)							0.074	0.074
							-	0.329
หินปูน								
0.329 (CaCO ₃)							0.329	
แบเรียมคาร์บอเนต								
0.091 (BaCO ₃)							0.091	
สังกะสีออกไซด์								
0.146 ZnO							0.146	
ดินขาว								
0.16 (Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O)							0.16	0.32
							-	0.295
หินเขี้ยวหนุมาน								
0.295 (SiO ₂)							0.295	
ดีบุกออกไซด์								
0.104 SnO ₂								0.104
								-

3. นำผลจากการแทนค่าในตารางมาคูณด้วยน้ำหนักของโมเลกุล ซึ่งจะได้อัตราส่วน
ผสมของวัตถุดิบ

$$\text{โปแตสเซิลด์สปาร์} \quad 0.286 \times 557 = 159.302 \text{ ส่วน}$$



$$\text{โคโลไมต์} \quad 0.074 \times 184 = 13.616 \text{ ส่วน}$$



$$\text{หินปูน} \quad 0.329 \times 100 = 32.9 \text{ ส่วน}$$



$$\text{แบเรียมคาร์บอเนต} \quad 0.091 \times 197 = 17.927 \text{ ส่วน}$$



$$\text{สังกะสีออกไซด์} \quad 0.146 \times 81 = 11.826 \text{ ส่วน}$$



$$\text{ดินขาว} \quad 0.16 \times 258 = 41.28 \text{ ส่วน}$$



$$\text{หินเขียวหนุมาน} \quad 0.295 \times 60 = 17.7 \text{ ส่วน}$$



$$\text{ดีบุกออกไซด์} \quad 0.104 \times 150 = 15.6 \text{ ส่วน}$$



$$\text{รวม} \quad 310.161$$

4. คัดอัตราส่วนผสมเป็นอัตราร้อยละ (Percentage composition) โดยการนำเอาค่าที่ได้หารด้วยผลรวมและคูณด้วย 100 ดังแสดงในวิธีทำ

โปแตสเฟลด์สปาร์	$\frac{159.320 \times 100}{310.161}$	=	51.36 %
โคโลไมต์	$\frac{13.616 \times 100}{310.161}$	=	4.39%
หินปูน	$\frac{32.9 \times 100}{310.161}$	=	10.60%
แบเรียมคาร์บอเนต	$\frac{17.927 \times 100}{310.161}$	=	5.78%
สังกะสีออกไซด์	$\frac{11.826 \times 100}{310.161}$	=	3.81%
ดินขาว	$\frac{41.28 \times 100}{310.161}$	=	13.30%
หินเขียวหนุมาน	$\frac{17.7 \times 100}{310.161}$	=	5.70%
ดีบุกออกไซด์	$\frac{15.6 \times 100}{310.161}$	=	5.03%

ดังนั้นสูตรเคลือบใช้วัตถุดิบในอัตราส่วนคิดเป็นอัตราร้อยละดังนี้

โปแตสเฟลด์สปาร์	51.36
โคโลไมต์	4.39
หินปูน	10.60
แบเรียมคาร์บอเนต	5.78
สังกะสีออกไซด์	3.81
ดินขาว	13.30
หินเขียวหนุมาน	5.70
ดีบุกออกไซด์	5.03

4. คำนวณสูตรเคมีจากสูตรอัตราส่วนผสมเป็นสูตรเอมไพริคัลหรือสูตรเซเกอร์
การคิดเคลือบจากสูตรอัตราส่วนผสมเป็นสูตรเซเกอร์มีขั้นตอนและวิธีการคำนวณ

ดังนี้

อัตราส่วนผสมเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน อุณหภูมิ 1200 – 1250 องศาเซลเซียส

โปแตสเฟลด์สปาร์	อัตราร้อยละ	39.0
สังกะสีออกไซด์	อัตราร้อยละ	25.0
หินปูน	อัตราร้อยละ	16.1
หินเขี้ยวหนูมาน	อัตราร้อยละ	14.2
ดินขาว	อัตราร้อยละ	6.7

(โบล รักษ์วงศ์ : 336 : 2538)

ขั้นตอนที่ 1 ให้นำน้ำหนักโมเลกุลของวัตถุดิบไปหารอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ

$$\frac{\text{โปแตสเฟลด์สปาร์}}{(K_2O, Al_2O_3, 6SiO_2)} = \frac{39.0}{557} = 0.07$$

$$\frac{\text{สังกะสีออกไซด์}}{ZnO} = \frac{25.0}{81} = 0.308$$

$$\frac{\text{หินปูน}}{CaCO_3} = \frac{16.1}{100} = 0.161$$

$$\frac{\text{หินเขี้ยวหนูมาน}}{60} = \frac{14.2}{60} = 0.236$$

$$\frac{\text{ดินขาว}}{258} = \frac{6.7}{258} = 0.026$$

ขั้นตอนที่ 2 แทนค่าวัตถุดิบต่าง ๆ ลงในตารางแทนค่าโดยแยกตามกลุ่มของวัตถุดิบ
เช่น กลุ่มต่าง กลาง และ กรดดังแสดงในตาราง

ตารางแสดงการแทนค่าและจัดกลุ่มวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	กลุ่มวัตถุดิบ	RO ₂ , RO	R ₂ O ₃	RO ₂
โปแตสเฟลด์สปาร์ (K ₂ O. Al ₂ O ₃ . 6SiO ₂)	K ₂ O CaO 0.07	ZnO	Al ₂ O ₃ 0.07	SiO ₂ 0.42
หินปูน CaCO ₃	0.161			
สังกะสี ZnO		0.308		
ดินขาว Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O			0.026	0.052
หินเขียวหนุมาน SiO ₂				0.236
รวม	0.07 0.161	0.308	0.096	0.708

ขั้นตอนที่ 3 นำผลจากตารางแทนค่าวัตถุดิบคำนวณค่าต่าง (R₂O และ RO) ให้เท่ากับ
1.00 โดยการนำผลรวมของสารกลุ่มต่างๆหารวัตถุดิบทุกตัว

0.07 K₂O
0.161 CaO 0.096 Al₂O₃ 0.708
SiO₂
0.383 ZnO
หารด้วยผลรวม 0.614
จะได้สูตรเซเกอร์เท่ากับ 0.114 K₂O
0.262 CaO 0.156 Al₂O₃ 1.153 SiO₂
0.623 ZnO
ค่าผลรวมของวัตถุดิบกลุ่มต่างเท่ากับ 1

5. การคำนวณเคลือบโดยการแปรค่าอลูมินา และซิลิกา

ในสูตรเซเกอร์การคำนวณเคลือบโดยการแปรค่าอลูมินา และซิลิกาในสูตรเซเกอร์ เป็นการแปรค่าบนแกน 2 แกน ซึ่งจะทำให้ลักษณะของผิวเคลือบและคุณสมบัติของเคลือบเปลี่ยนไปในการแปรค่าอลูมินาและซิลิกาในสูตรเคลือบ โดยให้กลุ่มต่าง (R_2O , RO) มีผลรวมเท่ากับ 1 เป็นค่าคงที่ แต่จะปรับค่าของอลูมินา และ ซิลิกา ซึ่งในการปรับค่าของสารสองกลุ่มจะได้ลักษณะของเคลือบที่มีผิวแตกต่างกันเช่น เคลือบด้าน เคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน และเคลือบมัน ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างสาร 2 กลุ่มดังนี้

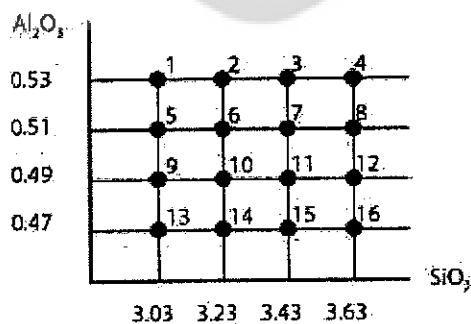
อลูมินา (Al_2O_3)	ต่อ ซิลิกา (SiO_2)
1	: 4 ลงมา เป็นเคลือบด้าน
1	: 5 – 6 เป็นเคลือบกึ่งด้านกึ่งมัน
1	: 7 – 12 เป็นเคลือบมัน
1	: 15 – 20 เป็นเคลือบฟลัก

ซึ่งมีวิธีการหาดังตัวอย่างเช่น

เคลือบขาดชั้นแตกกลางงาน เเผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส มีสูตรเซเกอร์ดังนี้

0.3	K_2O	0.47 – 0.53 Al_2O_3	3.03 – 3.63 SiO_2
0.7	CaO		

ขั้นตอนที่ 1 เขียนกราฟของแกน x และแกน y โดยให้แกน x เป็นอัตราส่วนผสมของอลูมินา และแกน y เป็นอัตราส่วนของซิลิกา แล้วกำหนดค่าบนแกนทั้งสองดังตัวอย่าง



ภาพที่ 8 แสดงการกำหนดจุดแปรซิลิกาและอลูมินาบนแกน x และแกน y

ขั้นตอนที่ 2 อ่านค่าจากกราฟจะได้สูตรเซเกอร์ที่มีค่าอลูมินาและซิลิกาสูตรต่าง ๆ
จำนวน 16 สูตรดังตัวอย่าง

สูตรที่ 1

.3 K₂O 0.53 Al₂O₃ 3.03 SiO₂

.7 CaO

สูตรที่ 2

.3 K₂O 0.53 Al₂O₃ 3.23 SiO₂

.7 CaO

สูตรที่ 3

.3 K₂O

.7 CaO 0.53 Al₂O₃ 3.43 SiO₂

สูตรที่ 4

.3 K₂O 0.53 Al₂O₃ 3.63 SiO₂

.7 CaO

สูตรที่ 5

.3 K₂O 0.51 Al₂O₃ 3.03 SiO₂

.7 CaO

สูตรที่ 6

.3 K₂O 0.51 Al₂O₃ 3.23 SiO₂

.7 CaO

สูตรที่ 7

.3 K₂O 0.51 Al₂O₃ 3.43 SiO₂

.7 CaO

สูตรที่ 8

.3 K₂O .51 Al₂O₃ 3.63 SiO₂

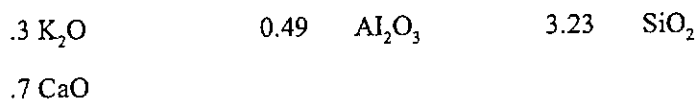
.7 CaO

สูตรที่ 9

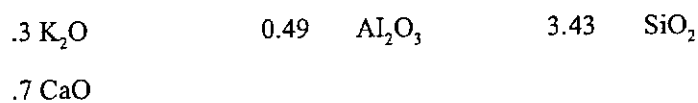
.3 K₂O .49 Al₂O₃ 3.03 SiO₂

.7 CaO

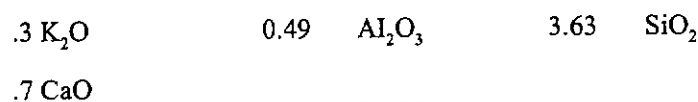
สูตรที่ 10



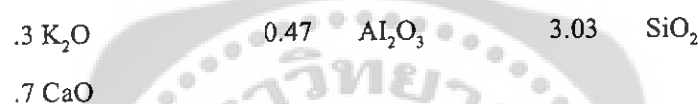
สูตรที่ 11



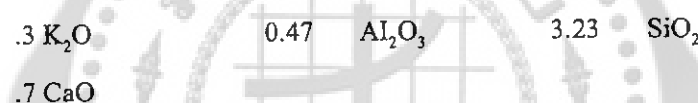
สูตรที่ 12



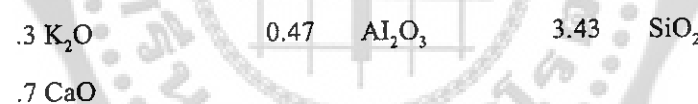
สูตรที่ 13



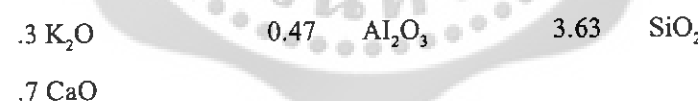
สูตรที่ 14



สูตรที่ 15



สูตรที่ 16



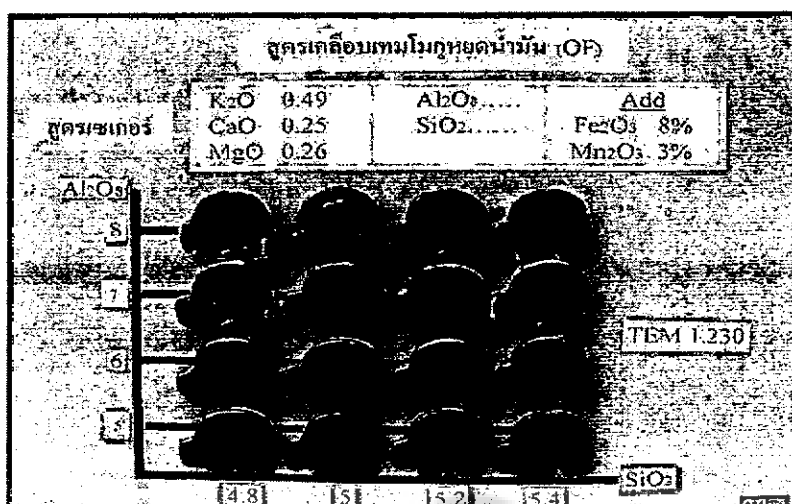
เมื่อได้ค่าจากการแปรผลอลูมินา และซิลิกาแล้วนำมาเขียนเป็นสูตรเซเกอร์จำนวน 16 จุด ซึ่งนำไปคำนวณแทนค่าในตารางให้ได้เป็นค่าอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่คิดเป็นอัตราร้อยละต่อไป



ภาพที่ 9 แสดงผลิตภัณฑ์เคลือบขี้เถ้าไม้เผาด้วยเตาฟืนที่อุณหภูมิ 1280 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 แสดงภาชนะเคลือบ คอปเปอร์เรด



ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างการทดสอบเคลือบจากการแปรค่าซิลิกาและอะลูมินา



ภาพที่ 12 แสดงภาชนะเคลือบเหล็กแดง

บทที่ 4

การเตรียมเคลือบ

การเตรียมเคลือบเป็นการนำเอาวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่เหมาะสมมา ชั่งแล้วบดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะต้องควบคุมความละเอียดและความหนาแน่นของเคลือบในการใช้งาน วัตถุดิบที่นำมาใช้มักจะเป็นวัตถุดิบที่ผ่านการบดย่อยเป็นผงละเอียดแล้ว ซึ่งความละเอียดอยู่ประมาณ 100 ถึง 250 เมช (Mesh) ดังนั้นในการบดผสมจึงสามารถทำได้ง่ายซึ่งมีเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ

1. เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูง
2. หม้อบดเคลือบ (Ball mill) หรือ โกร่งบด (Apothecary's mortar)
3. ตะแกรงกรองเคลือบขนาด 180 ถึง 200 เมช
4. อุปกรณ์สำหรับพ่นเคลือบ
5. ภาชนะบรรจุน้ำเคลือบมีฝาปิด
6. เครื่องมือหาความกว้างจำเพาะของเคลือบ

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผสมเคลือบ

วัตถุดิบในการทำเคลือบควรใช้วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดซึ่งจะทำให้ง่ายในการบดผสมและควรจัดเก็บในภาชนะที่ดีมีฝาปิดและป้องกันไม่ให้มีความชื้นเข้าสัมผัสซึ่งจะทำให้น้ำหนักในการชั่งเปลี่ยนไปจากอัตราส่วนผสม มีข้อบอควัตถุดิบและควรเก็บแยกออกจากออกไซด์หรือสารให้สี อันจะทำให้ไม่เกิดการผิดพลาดจากการเตรียมเคลือบ

3. การบดผสมน้ำเคลือบ

เครื่องมือที่ใช้บดผสมน้ำเคลือบมีหลายชนิดและหลายขนาดขึ้นอยู่กับลักษณะและปริมาณการใช้งานมีต่าง ๆ ดังนี้

3.1 โกร่งบด เป็นเครื่องมือที่ใช้บดผสมในปริมาณไม่มากและไม่ต้องการความละเอียดของเคลือบมาก โกร่งบดจะทำด้วยเนื้อปอร์สเลนมีขนาดต่าง ๆ ภายในไม้เคลือบ นิยมใช้ในการบดวัตถุดิบในการทดลองเคลือบ ซึ่งโกร่งบดจะมีทั้งบดด้วยมือและบดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 13 แสดงโรงแบดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

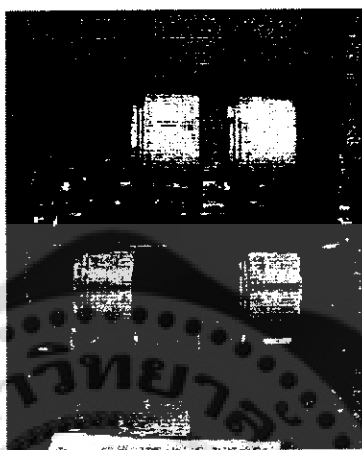
3.2 หม้อบด (Ball mill) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้การบดผสมเคลือบ ที่ทำให้เคลือบละเอียดและเข้ากันได้ดี การบดเคลือบด้วยหม้อบดควรจะเป็นเปียก (Wet grinding) ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการบดได้ดีกว่าการบดแห้ง (Dry grinding) การบรรจุวัตถุดิบและลูกบดลงในหม้อบดควรจะให้พื้นที่ว่างภายในหม้อบดประมาณอัตราร้อยละ 15 ของพื้นที่ที่จะทำให้ลูกบดสามารถเคลื่อนที่ได้ อันทำให้การบดมีประสิทธิภาพสูง การใส่ลูกบดลงในหม้อบดจะใส่ในปริมาณ 1 ใน 4 ของหม้อบด ที่มีขนาดของลูกบดเหมาะสมกับขนาดของหม้อบด ซึ่งถ้าลูกบดมีขนาดใหญ่มากก็จะทำให้ลูกบดกระแทกกับหม้อบดอย่างรุนแรงและเสียหายได้ ในการบดควรใช้ลูกบดที่มีขนาดเล็กและใหญ่ผสมกันซึ่งลูกบดขนาดเล็กจะแทรกกระหว่างช่องว่างของลูกบดขนาดใหญ่ทำให้การบดเคลือบมีประสิทธิภาพและบดได้ละเอียดขึ้น



ภาพที่ 14 แสดงลักษณะของหม้อบด

หม้อบดที่ใช้ในการเตรียมเกลือบมีต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 หม้อบดขนาดเล็ก (Jar mill) เป็นหม้อบดที่มีขนาดความจุต่ำกว่า 5 กิโลกรัม ลักษณะของภาชนะทำจากเนื้อปอร์สเลน โดยมีความเหมาะสมประมาณ 1 ถึง 1½ นิ้ว มีส่วนประกอบของตัวหม้อบดและฝาปิด โดยมียางรองตรงขอบฝาเพื่อป้องกันการรั่วซึมของของเหลว ภายในไม่เคลือบในการใช้งานจะต้องใช้คู่กับรางบดเคลือบ



ภาพที่ 15 แสดงหม้อบดขนาดเล็ก (Jar mill)

3.2.2 หม้อบดขนาดใหญ่ (Ball mill) เป็นหม้อบดขนาดใหญ่มีความจุ ตั้งแต่ 10 กิโลกรัมจนถึงหลายเมตริกตัน เป็นลักษณะทรงกระบอกกลมวางแนวนอน ภายนอกทำด้วยโลหะ ภายในกรุด้วยวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทกและเสียดสีได้ดี โดยใช้วัสดุต่าง ๆ ดังนี้

Rubber Lining เป็นการกรุผนังหม้อบดด้วยยาง ซึ่งจะทำให้ลดความดังของหม้อบดได้ดี แต่มีอัตราการสึกหรอสูง

Silex Lining เป็นการกรุผนังหม้อบดด้วยหินซิลิกาธรรมชาติ ตัดเป็นก้อนกรุภายในหม้อบด โดยเชื่อมต่อด้วยซีเมนต์ ลักษณะผนังของหม้อบดประเภทนี้มีความแข็งแรงไม่มากนัก

Porcelain block Lining เป็นหม้อบดที่มีชั้นกระเบื้องปอร์สเลน กรุผนังภายใน ซึ่งทำให้หม้อบดมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง

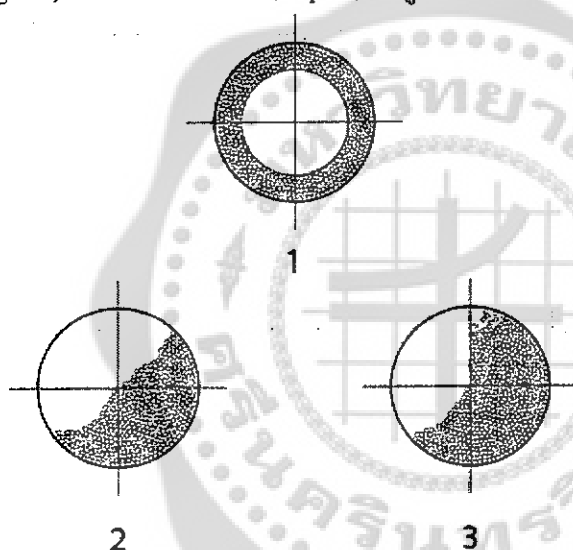
Steatite porcelain Lining เป็นหม้อบดที่กรุด้วยกระเบื้องที่มีความแข็งแรงปานกลาง มีความถ่วงจำเพาะ 3

High density porcelain Lining เป็นการกรุผนังหม้อบดด้วยกระเบื้องปอร์สเลนที่มีความแข็งแรงสูงที่สุด มีความถ่วงจำเพาะ 3 – 3.3

หม้อบดจะหมุนจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้า ในการใช้หม้อบดให้มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ความเร็วรอบของหม้อบด
2. ปริมาณของลูกบด
3. ขนาดของลูกบด
4. ปริมาณของวัตถุดิบ
5. ความสม่ำเสมอของวัตถุดิบสำหรับบดเปียก
6. ขนาดของวัตถุดิบที่นำเข้าบด

ความเร็วรอบของหม้อบด เป็นปัจจัยสำคัญในการบดด้วยหม้อบดที่จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ความเร็วรอบของหม้อบดนี้ถ้าอัตราการหมุนในอัตราที่เหมาะสมจะทำให้ลูกบดเกิดการเสียดสี (grind) และการกระทบ (Impact) ดังรูป



จากรูปแสดงอัตราความเร็วรอบที่ต่างกันดังภาพที่ 1 แสดงอัตราการหมุนที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงลูกบดติดผนังหม้อบดจึงทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนที่ของลูกบด ทำให้ลูกบดไม่เกิดการเสียดสีการบดจึงมีประสิทธิภาพต่ำ

ภาพที่ 2. แสดงอัตราความเร็วรอบที่ต่ำ เมื่อเกิดการหมุนหรือเคลื่อนที่ช้าจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลูกบดเป็นการเสียดสีเพียงอย่างเดียวทำให้การบดมีประสิทธิภาพต่ำ

ภาพที่ 3. แสดงอัตราความเร็วรอบที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลูกบดซึ่งจะเกิดการเสียดสีและ เมื่อลูกบดเคลื่อนที่ขึ้นเมื่ออยู่ในระดับสูงก็จะตกลงกระทบกับลูกบดที่อยู่ด้านล่างทำให้มีประสิทธิภาพการบดที่สูง

ขนาดของลูกบด การนำลูกบดไปใช้งานถ้าลูกบดที่มีขนาดเดียวกันจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างลูกบด ดังนั้นควรให้มีขนาดแตกต่างกันโดยมีขนาด เล็ก กลาง และใหญ่จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างลูกบดน้อยซึ่งจะทำให้การบดมีประสิทธิภาพมากขึ้นดังนั้นในการใช้งานควรมีอัตราส่วนของลูกบดดังนี้คือ

ลูกบดขนาดใหญ่	อัตราร้อยละ	20 – 25
ลูกบดขนาดกลาง	อัตราร้อยละ	50 – 60
ลูกบดขนาดเล็ก	อัตราร้อยละ	20 – 25

ในการบดทุกครั้งควรให้ปริมาณลูกบดเท่ากันทุกครั้งซึ่งจะทำให้สะดวกในการควบคุมความละเอียดของวัตถุดิบและเมื่อใช้งานในระยะเวลาหนึ่ง ลูกบดจะมีขนาดเล็กลงจะต้องมีการคัดขนาดของลูกบดก่อนบรรจุลงหม้อบดในการใช้งาน

การหาปริมาณน้ำในการบดผสมเกลือบ

การบดผสมเกลือบแบบเปียกเป็นการบดผสมที่มีประสิทธิภาพ สามารถลดความร้อนภายในหม้อบด และลดอัตราการสึกหรอของผนังหม้อบด ดังนั้นจะต้องหาปริมาณน้ำในการบดผสมที่เท่ากัน อันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของเกลือบในการบดเท่ากันทุกครั้ง มีวิธีการคำนวณหา ดังนี้

$$\begin{array}{lcl}
 \text{ต้องการน้ำเกลือบมีความถ่วงจำเพาะที่ 1.4} & & \\
 \text{จะต้องใช้วัตถุดิบจำนวน 1.4} & \text{ใช้น้ำ 1.0} & \text{ส่วนโดยน้ำหนัก} \\
 \text{วัตถุดิบ 1.4 กรัม} & \text{ใช้น้ำ} & = 1 \text{ ซีซี (1 กรัม)} \\
 4,000 \text{ กรัม} & \text{ใช้น้ำ} & = \frac{1 \times 4,000}{1.4} \\
 & & = 2,875 \text{ ซีซี}
 \end{array}$$

1. การทดสอบเกลือบก่อนนำไปงาน

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อป้องกันการผิดพลาดอันเกิดจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการเตรียมเกลือบ เช่น การชั่ง การบดผสม ก่อนจะนำไปใช้งานซึ่งมีการทดสอบดังนี้

1.1 ทดสอบค่าความละเอียดของเกลือบ (Radius)

ทดสอบโดยการตวงเกลือบในปริมาณ 100 ซีซี นำไปล้างด้วยน้ำบนตะแกรงที่มีความละเอียด 200 เมช แล้วนำกากที่ค้างบนตะแกรงอบให้แห้ง ชั่งเปรียบเทียบน้ำหนักของกากที่ค้างบนตะแกรงกับเกลือบตัวอย่างเป็นการทดสอบจากสมมุติฐานเมื่อเกลือบมีความละเอียดสูงการหลอมละลายของวัตถุดิบได้ดี ทำให้ลักษณะของผิวเกลือบมีความแตกต่างกัน เป็นการควบคุมการหลอมละลายของเกลือบและลักษณะผิวเกลือบ

1.2 การทดสอบหาความหนาแน่นของน้ำเกลือ (Density)

น้ำเกลือจะประกอบด้วยส่วนผสมของวัตถุดิบ และน้ำซึ่งอยู่ในลักษณะของเหลวมีวิธีการหาได้ 2 วิธีคือ

- 1. การหาความหนาแน่นจากการคำนวณ
- 2. การวัดค่าโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

1.2.1 การหาความหนาแน่นจากการคำนวณ วิธีการคำนวณหาจะต้องทราบความหนาแน่นของอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ และอัตราส่วนผสมของน้ำว่ามีจำนวนเท่าใด แล้วนำไปคำนวณตามสูตรดังต่อไปนี้

ความหนาแน่น = $\frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}}$

ปริมาตร = $\frac{\text{มวล}}{\text{ความหนาแน่น}}$

เมื่อ Mm หมายถึง น้ำหนักของอัตราส่วนผสมแห้ง (กรัม)
Mw หมายถึง น้ำหนักของน้ำ (กรัม)
Vm หมายถึง ปริมาตรของอัตราส่วนผสม = $\frac{Mm}{Dm}$ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Dm หมายถึง ความหนาแน่นของอัตราส่วนผสมแห้ง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
Vw หมายถึง ปริมาตรของน้ำ = $\frac{Mw}{Dw} = Mw$ (เพราะ Dw=1)

ความหนาแน่นของผสม = $\frac{\frac{Mm + Mw}{Dm + Dw}}{\frac{Mm}{Dm} + \frac{Mw}{Dw}} = \frac{Mm + Mw}{\frac{Mm}{Dm} + \frac{Mw}{Dw}}$
(ประจุมฤติ สารสิทธิ์ . 2543 : 40)

หรือในการคำนวณอาจทำได้โดยวิธีการหาความถ่วงจำเพาะของเกลือซึ่งในการหาจะใช้วิธีตวงน้ำเกลือปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรนำไปชั่งหาน้ำหนักของเกลือ แล้วนำมาแทนค่าในสูตรการหาค่าความถ่วงจำเพาะดังนี้

ความถ่วงจำเพาะ (S.G) = $\frac{\text{มวลของวัตถุ}}{\text{มวลของน้ำ}}$

น้ำมีความหนาแน่น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นในการหาความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{เท่ากับ ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำเกลือ}}{100}$$

1.2.2 วัดค่าโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

ไฮโดรมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวของผสม หรือ อยู่ในรูปสารแขวนลอย เช่น น้ำดิน หรือ น้ำเกลือ ไฮโดรมิเตอร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นกระเปาะบรรจุตะกั่วถ่วงน้ำหนักและส่วนที่แสดงค่าความหนาแน่นจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยในการวัดค่าความหนาแน่นของน้ำเกลือจะใช้ไฮโดรมิเตอร์ที่มีค่า 1 – 2

ในการใช้งานจะใช้ไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในภาชนะที่บรรจุน้ำเกลือโดยปล่อยให้ไฮโดรมิเตอร์จมลงในน้ำเกลือจนกระทั่งหยุดนิ่ง จึงอ่านค่าความหนาแน่นจากตัวเลขบนแท่งไฮโดรมิเตอร์ที่ระดับเสมอกับผิวของเกลือ ซึ่งในการวัดทุกครั้งควรระมัดระวังมิให้เกลือตกตะกอนเพื่อป้องกันการวัดที่ผิดพลาด

น้ำเกลือที่นำมาใช้งานจะต้องมีความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ถ้าน้ำเกลือมีความถ่วงจำเพาะสูงเมื่อเกลือจะทำให้เกลือเกาะผิวอย่างรวดเร็ว เกลือหนา และเกิดการรานตัวของเกลือก่อนเข้าเฝ้า แต่ถ้าน้ำเกลือมีความถ่วงจำเพาะต่ำเมื่อเกลือจะทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดเกลือบ้น้อย เกลือจะบาง จึงจำเป็นต้องเตรียมเกลือในอัตราความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมดังตาราง

ตารางแสดงอัตราความถ่วงจำเพาะที่ใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์

ประเภทของผลิตภัณฑ์	อัตราความถ่วงจำเพาะ
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เฝ้าเคิบ	1.50 – 1.60
ผลิตภัณฑ์ที่เฝ้าเคิบต่ำกว่า 900 องศาเซลเซียส	1.43 – 1.47
ผลิตภัณฑ์ที่เฝ้าเคิบอุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส	1.46 – 1.50
ผลิตภัณฑ์ที่เฝ้าเคิบอุณหภูมิ 1000 – 1100 องศาเซลเซียส	1.50 – 1.60
ผลิตภัณฑ์ที่เฝ้าเคิบอุณหภูมิสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส	1.60 – 1.70

1.3 การทดสอบหาการตกตะกอนของเกลือ

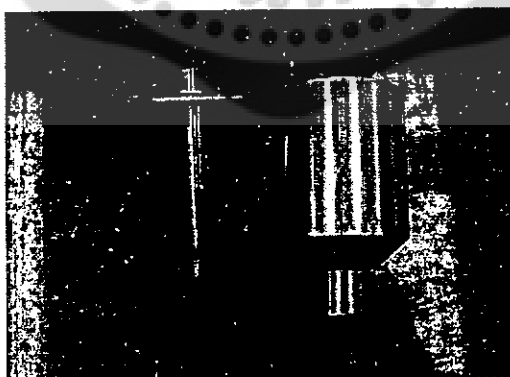
ลักษณะของน้ำเกลือที่มีอนุภาคของวัตถุคิที่มีขนาดใหญ่หรือวัตถุคิที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะทำให้เกิดการตกตะกอนของเกลืออย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้น้ำเกลือที่ใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์มีอัตราส่วนผสมไม่คงที่ ดังนั้น ในการผสมก่อนนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องทดสอบหาการตกตะกอนของเกลือด้วยวิธีการนำเอาเกลือใส่ในกระป๋องดวงแล้วทำการเขย่า จนกระทั่งวัตถุคิผสมเข้ากับน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน จับเวลาระยะการตกตะกอน ซึ่งลักษณะเกลือที่มีการตกตะกอนอย่างรวดเร็วสามารถแก้ไขได้โดยการนำเอาไปบดให้มีความละเอียดยิ่งขึ้น หรือใช้สารที่ช่วยให้เกลือลอยตัวเต็มลงในน้ำเกลือ เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของน้ำเกลือโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) และแมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) ในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 ถึง 1 ผสมในน้ำเกลือซึ่งจะทำให้เกลือตกตะกอนช้าลง

1.4 การทดสอบความเหนียวของเกลือ

ลักษณะของน้ำเกลือที่มีความเหนียวน้อย มักจะเกิดปัญหา การหลุดร่อนของเกลือได้ง่ายเมื่อเกลือไม่ยึดเกาะกับผิวผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการเสียหายได้ ซึ่งสาเหตุที่เกลือมีความเหนียวตั้งเนื่องมาจาก ในอัตราส่วนผสมของเกลือมีส่วนผสมของดินน้อย เช่น กาว C.M.C. ในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 ถึง 1 ซึ่งจะทำให้การยึดเกาะของน้ำเกลือบนผิวผลิตภัณฑ์ได้ดี

1.5 การทดสอบอัตราการไหลตัวของน้ำเกลือ

การทดสอบอัตราการไหลตัวของน้ำเกลือโดยใช้ถ้วยทดสอบอัตราการไหลตัว (Flow cup) และนาฬิกาจับเวลา โดยถ้วยทดสอบจะมีความจุ 100 cc เมื่อปล่อยให้ น้ำเกลือไหล ก็จะจับเวลาจนน้ำเกลือหมดในถ้วยจึงหยุดเวลา ซึ่งน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงจะมีอัตราการไหลตัวช้าและน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นน้อยจะมีอัตราการไหลตัวสูง



ภาพที่ 16 แสดงถ้วยวัดอัตราการไหลตัว

บทที่ 5

การเคลือบและการเผาเคลือบ

การผลิตเครื่องปั้นดินเผานั้นกระบวนการเคลือบเป็นวิธีการตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดความงามและมีประโยชน์ด้านต่างๆ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาเคลือบ มี 2 ประเภทคือ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเผาดิบ (Green Ware) และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบ (Bisquit Ware) มีวิธีดังต่อไปนี้

1. การเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเผาดิบ (Green Ware)

การเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะต้องมีความระมัดระวังเนื่องจากเนื้อดินจะเปราะและแตกง่าย มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ ดังนั้นวิธีการเคลือบจะต้องใช้น้ำเคลือบที่มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำเคลือบที่ใช้งานปกติ โดยเคลือบด้วยวิธีราดเคลือบหรือถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่มักนิยมใช้วิธีการเคลือบด้วยการพ่น (Spraying)

2. การเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบ (Bisquit Ware)

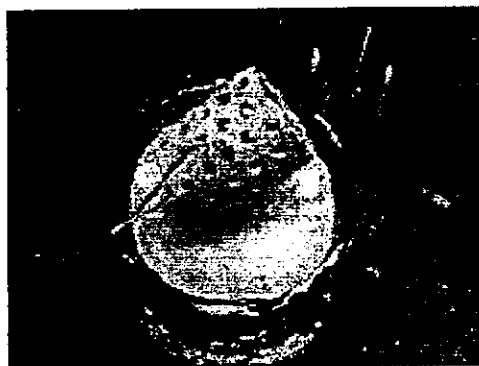
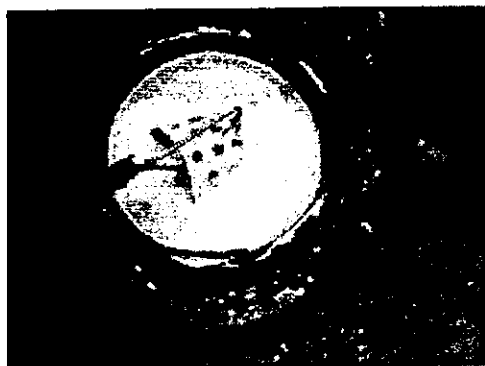
การเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบ โดยการนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 ถึง 800 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงแต่สามารถดูดซึมน้ำได้ สะดวกในการเคลือบและนิยมนำมาใช้ในระบบการผลิตภัณฑ์

การเคลือบผลิตภัณฑ์ (Glazing method)

การเคลือบผลิตภัณฑ์ก่อนทำการเคลือบจะต้องทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ไม่แตกร้าว หรือ บิ่น และขัดฝุ่นที่จับบนผิวของผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ด หรือใช้ลมเป่าเพื่อเอาฝุ่นออกก็ได้

การเคลือบผลิตภัณฑ์มีวิธีเคลือบหลายวิธีขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ ความสะดวกและรวดเร็วในการเคลือบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเคลือบ ซึ่งมีวิธีต่างๆ ดังนี้คือ

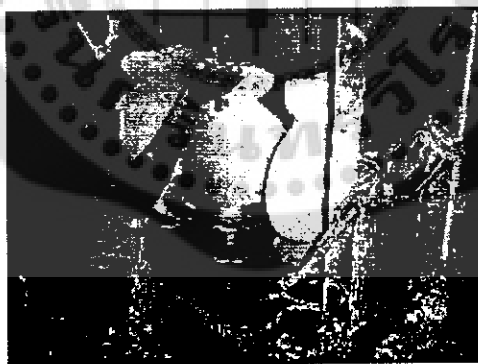
1. การเคลือบด้วยวิธีจุ่ม (Dipping) เป็นการเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กสามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว โดยเอาเครื่องมือที่ผลิตภัณฑ์จุ่มลงในภาชนะที่บรรจุเคลือบ ซึ่งควรให้ระยะเวลาในการจุ่มทุกครั้งเท่ากันจะทำให้เคลือบมีความหนาเท่ากัน ควรมีการตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำเคลือบและกวนน้ำเคลือบซึ่งจะไม่ทำให้เคลือบตกตะกอน



ภาพที่ 17 แสดงวิธีการจุ่มเคลือบ

2. การเคลือบด้วยวิธีการเทราด (Pouring) เป็นวิธีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถจุ่มได้จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิน หรือไม่ผ่านการเผาก็ได้ ในการเคลือบด้วยวิธีเทราดโดยใช้ภาชนะตักน้ำเคลือบแล้วราดบนผลิตภัณฑ์จะทำให้ผิวเคลือบที่ได้ไม่เรียบสีของเคลือบหลังเผาไม่เท่ากัน

3. การเคลือบด้วยวิธีการทา (Painting) เป็นการเคลือบด้วยวิธีใช้แปรงที่จุ่มน้ำเคลือบดี จุ่มในน้ำเคลือบ แล้วทาบบนผลิตภัณฑ์เมื่อเผาแล้วจะทำให้เกิดเป็นลวดลายของการทาน้ำเคลือบบนผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 18 แสดงการเคลือบด้วยวิธีการทา

4. การเคลือบด้วยวิธีการพ่น (Spraying) วิธีการพ่นเป็นวิธีที่มีการสูญเสียของเคลือบสูงแต่เป็นวิธีที่ดีในการเคลือบ ซึ่งสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ และยังสามารถเคลือบบนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเผาไหม้ได้ ในการพ่นเคลือบจะต้องอาศัยความชำนาญในการพ่นที่จะทำให้ความหนาของเคลือบเท่ากันอย่างสม่ำเสมอ

การพ่นเคลือบจะต้องประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้

1. ตู้พ่นเคลือบ (Spray booth) เป็นตู้สำหรับพ่นเคลือบที่ป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นเคลือบ โดยจะมีม่านน้ำและพัดลมดูดอากาศเป็นตัวกำจัดฝุ่น ภายในตู้มีหลอดไฟแสงสว่างและเป็นหมุนวางผลิตภัณฑ์ในการพ่นเคลือบ ซึ่งจะทำให้การพ่นเคลือบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

2. กาพ่นเคลือบ (Spray gun) ลักษณะการพ่นเคลือบที่ใช้ในการเคลือบมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับความละเอียดในการพ่นเคลือบและขนาดของชิ้นงาน ซึ่งการพ่นเคลือบจะประกอบด้วยภาชนะบรรจุน้ำเคลือบและตัวพ่นเคลือบ ซึ่งสามารถปรับแรงดันลม ปริมาณน้ำเคลือบที่พ่นไปยังผลิตภัณฑ์ และขนาดของความกว้างม่านน้ำเคลือบที่พ่นออกไปได้

3. ปั๊มลม (Compressor) เป็นเครื่องอัดอากาศโดยอาศัยแรงจากมอเตอร์ไฟฟ้าในการใช้แรงดันของอากาศจะอยู่ประมาณ 30 ถึง 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในการใช้ปั๊มลมเมื่อใช้งานในระยะเวลาหนึ่งควรมีการถ่ายน้ำออกจากเครื่องซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของเครื่อง ซึ่งจะทำให้เกิดตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ได้



ภาพที่ 19 แสดงวิธีการพ่นเคลือบ

การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์

การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ในขบวนการผลิตเซรามิกส์มีการเผาอยู่ 2 ลักษณะ คือ การเผาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเผาติดก่อนเคลือบ และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาติดแล้วทำการเคลือบ ซึ่งมีปัจจัยและขั้นตอนดังนี้

1. การเผาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเผาติดก่อนทำการเคลือบ การเผาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ต้องมีความระมัดระวังมากและระยะเวลาในการเผาช้าเพราะระหว่างการเผาจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์และทางเคมีของเนื้อดินที่เกิดขึ้นในอุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

การเผาในช่วงแรก (Dehydration) หมายถึงขั้นที่น้ำระเหยตัวออกจากเนื้อดิน ซึ่งมีอยู่ 2 ระยะคือ

ช่วงแรกเรียกว่า Mechanical Water จะเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 20 ถึง 150 องศาเซลเซียส จะเกิดน้ำที่ผสมในดินจะระเหยออกมา บางทีจะสังเกตเห็นเป็นควันลอยขึ้นมา จนกว่าดินจะแห้งสนิทไม่มีน้ำดังกล่าวเหลืออีก ดินจะมีสภาพแข็งกว่าเดิม

ช่วงระยะที่สอง (Chemical Dehydration Period) หมายถึงเริ่มในอุณหภูมิ 150 – 600 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ให้ในช่วงนี้โมเลกุลของดินจะแยกตัว ส่วนที่เป็นน้ำของโมเลกุลจะระเหยออกไปทำให้ดินแข็ง และไม่มี ความเหนียวอีกต่อไป

การเผาในช่วงหลัง (Oxidation Period) เป็นการเผาชั่วที่สำคัญจะเริ่มในอุณหภูมิ 350 ถึง 950 องศาเซลเซียสจะทำให้อินทรีย์สาร เศษไม้ ใบไม้ จะถูกเผาไหม้หมดไป คาร์บอเนตซัลไฟด์ (Carbonate of Sulphate) จะแยกตัวออกคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินจะเปลี่ยนไปทำให้เกิดการแตกได้ง่าย ถ้าไม่ระมัดระวัง (ทวี พรหมพฤกษ์: 2525, 103)

ในกระบวนการเผาอุณหภูมิระหว่าง 100 ถึง 400 องศาเซลเซียสน้ำส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ในเนื้อดินจะระเหยออกดังนั้นถ้าเผาอย่างรวดเร็วจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตก หรือ ไอน้ำจากดินดันให้ผิวเคลือบหลุดล่อนได้ ในการเผาชั่วนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 ถึง 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่คลอไรด์ในเนื้อดินเปลี่ยนสภาพโครงสร้างดังนั้นควรใช้ระยะเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง อุณหภูมิช่วง 600 ถึง 1200 องศาเซลเซียสเป็นช่วงที่เกิดการแตกตัวของแก๊สต่าง ๆ อันจะทำให้เกิดตำหนิเช่น รูเข็มบนผิวเคลือบดังนั้นควรเผาอย่างช้า ๆ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นช่วงการหลอมละลายของเคลือบควรเผาในระยะเวลาการขึ้นของอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง เมื่อเผาอุณหภูมิได้ความต้องการควรรักษาระดับของอุณหภูมิหรือเผาเย็นไฟ (Soaking Time) ประมาณ 15 นาทีถึง 1 ชั่วโมง จะทำให้ระดับของอุณหภูมิแต่ละชั้นภายในเตาใกล้เคียงกัน และเป็นการเพิ่มระยะเวลาการหลอมของเคลือบนานขึ้นทำให้ผิวเคลือบเรียบ

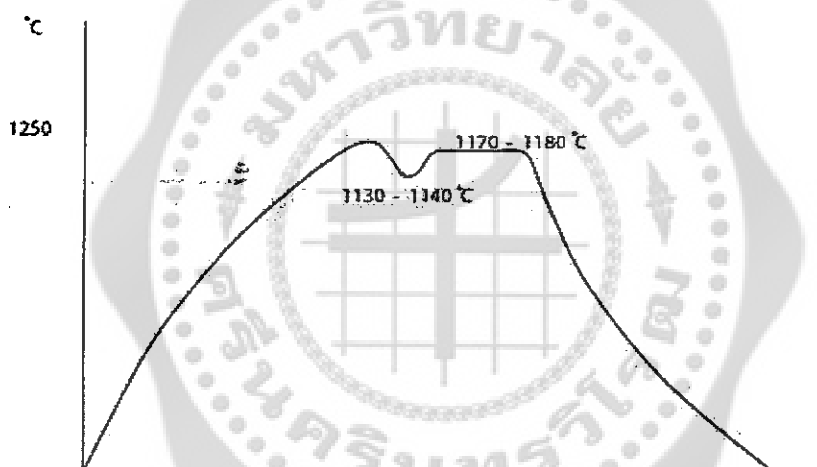
2. การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้ว

ในการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทนี้สามารถลดระยะเวลาการเผาในช่วงแรกลงได้ โดยใช้ระยะเวลาในการเผาประมาณ 8 ถึง 10 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับลักษณะของเคลือบที่จะไม่ทำให้เคลือบหลุดล่อนออกจากเนื้อดิน ซึ่งถ้าเคลือบที่มีความเหนียวน้อยการขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทำให้เคลือบหลุดได้

วิธีการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์

การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์เป็นขบวนการเผาที่มีขั้นตอนและวิธีการที่แตกต่างจากการเผาปกติจะต้องขึ้นไฟเนื้อเพื่อการจับตัวของผลิตภัณฑ์ ในการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์มี 2 วิธีดังนี้คือ

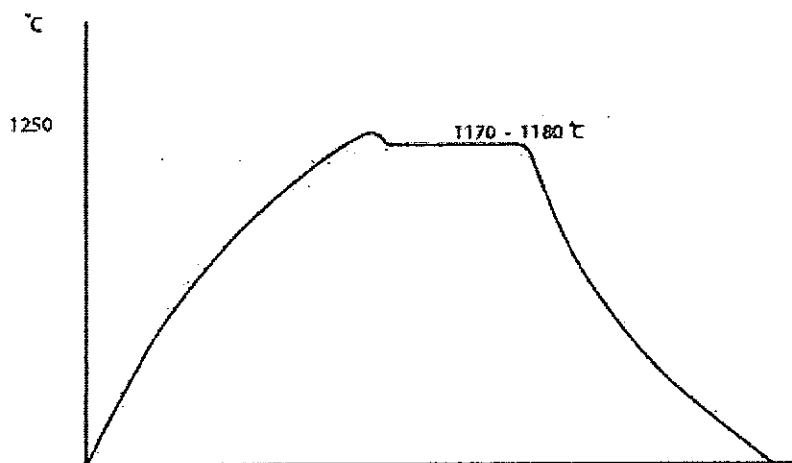
วิธีที่ 1 เผาเคลือบผลิตภัณฑ์โดยการเผาให้มีการขึ้นลงของอุณหภูมิดังแสดงวิธีโดยกราฟการเผา



ภาพที่ 20 แสดงการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์วิธีที่ 1

จากรูปเป็นการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส โดยวิธีให้อุณหภูมิของการเผาขึ้นตามปกติจนถึงระดับที่ต้องการซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิได้ตามต้องการแล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดระดับที่ 1130 – 1140 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิขึ้นไป 1170 ถึง 1180 องศาเซลเซียสขึ้นไฟเป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 ชั่วโมงจึงหยุดทำการเผาปล่อยให้อุณหภูมิลดลง

วิธีที่ 2 เผาเคลือบผลิตภัณฑ์โดยการเผาระดับอุณหภูมิแล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดระดับแล้วขึ้นไฟก่อนที่จะให้อุณหภูมิขึ้นตัวดังแสดงโดยกราฟการเผา



ภาพที่ 21 แสดงกราฟแสดงวิธีการเผาเคลือบผลึกวิธีที่ 2

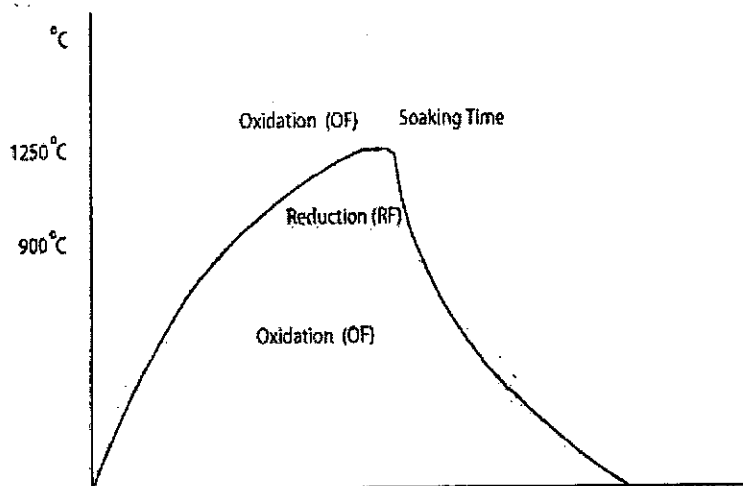
จากรูปแสดงวิธีการเผาเคลือบผลึกโดยจะเผาให้ถึงจุดหลอมละลายของเคลือบหรืออุณหภูมิประมาณ 1250 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงที่ 1130 – 1140 องศาเซลเซียสขึ้นไฟเป็นระยะเวลา 3 – 4 ชั่วโมงเพื่อเป็นการเลี้ยงผลึกแล้วสิ้นสุดการเผาปล่อยให้อุณหภูมิเย็นตัว

ข้อควรระวังในการเผาเคลือบผลึก

เคลือบผลึกเป็นเคลือบที่มีอัตราการไหลตัวสูงดังนั้นควรเคลือบอยู่ด้านในของภาชนะ เช่น จากหรือ ชาม ถ้าเป็นการเคลือบภายนอกให้เว้นบริเวณส่วนฐานประมาณ 1 ถึง 1½ นิ้ว ป้องกันการไหลตัวและควรวางอยู่บนส่วนที่เป็นภาชนะรองรับป้องกันมิให้น้ำเคลือบไหลตัดบนแผ่นรองผลิตภัณฑ์ได้

วิธีการเผาในบรรยากาศรีดักชัน (Reduction firing)

ในการเผาแบบบรรยากาศรีดักชันจะเป็นการเผาเคลือบประเภทสีแดงคอปเปอร์เรด (copper red glaze) หรือ เคลือบสีเขียวสีลาซูลที่เกิดจากเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) มีวิธีการเผาดังแสดงในรูป



ภาพที่ 22 แสดงการเผาบรรยากาศแบบรีดักชัน

จากรูปแสดงกราฟการเผาแบบรีดักชัน ซึ่งสามารถแบ่งการเผาได้ออกเป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 จากอุณหภูมิ 100 ถึง 900 องศาเซลเซียส เป็นการเผาในแบบบรรยากาศสมบูรณ์ (Oxidation) ปกติจะใช้เวลาประมาณ 5 – 7 ชั่วโมง

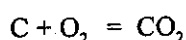
ช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 900 ถึง 1250 องศาเซลเซียสเป็นการปรับในลักษณะบรรยากาศไม่สมบูรณ์ (Reduction) การเผาในช่วงนี้การขึ้นของอุณหภูมิจะช้าใช้เวลาประมาณ 4 ถึง 5 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 การขึ้นไฟที่ระดับอุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียสเป็นการรักษาระดับของอุณหภูมิจะใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที เพื่อให้ระดับของอุณหภูมิในแต่ละชั้นของเตาสม่ำเสมอและให้เคลือบเรียบไม่เกิดรูเข็ม

บรรยากาศการเผาไหม้ภายในการเผา

สภาวะบรรยากาศการเผาไหม้การเผาเซรามิกส์เกิดจากธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน (ไฮโดรคาร์บอน) เป็นองค์ประกอบหลังซึ่งมีอยู่ในเชื้อเพลิงซึ่งปริมาณธาตุไฮโดรคาร์บอนจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงและคุณภาพของเชื้อเพลิง

การเผาไหม้ของคาร์บอนในการเผาผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดบรรยากาศต่าง ๆ ภายในเตาโดยใช้ปริมาณออกซิเจนเป็นตัวกำหนดว่าสภาวะบรรยากาศของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไรสามารถแบ่งได้ดังนี้



ในสถานะที่มีออกซิเจนมากพอต่อการเผาไหม้ของคาร์บอน ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของออกซิเจนและคาร์บอน เรียกว่า ออกซิเดชัน (ปริมาณของออกซิเจนจะเหลือมากหลังจากการเผาไหม้ของคาร์บอน และค่าของออกซิเจนที่จัดได้อยู่ระหว่าง อัตราร้อยละ 2 ถึง 7

การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Reduction) หรือการเผาไหม้ของคาร์บอนที่มีการใช้ออกซิเจนไม่เพียงพอสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

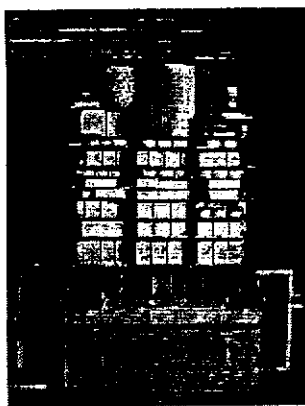
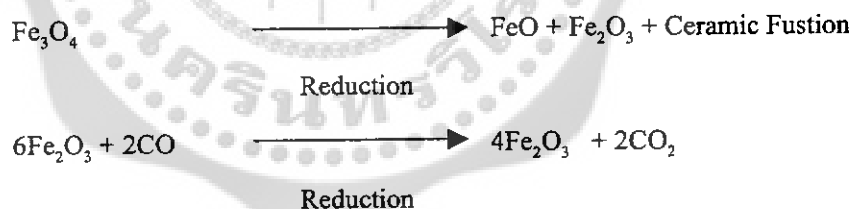


ในสถานะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ของคาร์บอน ซึ่งจะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ขึ้นภายในเตาซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO Meter) โดยจะมีค่าของก๊าซ CO ประมาณอัตราร้อยละ 3 – 5 ซึ่งในการเผาแบบนี้จะมีผลต่อทองแดง อ็อกไซด์ และเหล็กออกไซด์ในเคลือบ

ทองแดงออกไซด์เมื่อผสมในเคลือบเผาในบรรยากาศรีดักชันจะให้สีแดงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



เหล็กออกไซด์ เมื่อผสมในเคลือบเผาในบรรยากาศรีดักชันทำให้เหล็กเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีเขียวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ภาพที่ 23 แสดงวิธีการเรียงผลิตภัณฑ์และเผาเคลือบ

ตำหนิบนผิวเคลือบ (Glaze Defects)

ลักษณะของเคลือบหลังจากการเผา มักจะเกิดตำหนิหรือข้อบกพร่องลักษณะต่าง ๆ จากสาเหตุหลายประการด้วยกัน ซึ่งตำหนิบนเคลือบมีลักษณะดังนี้

1. รูพรุนผิวเคลือบ หรือ รูเข็ม (Glaze Pitting) เป็นลักษณะรูขนาดเล็กเกิดด้านบนของผิวเคลือบหรือเกิดในเนื้อเคลือบมีสาเหตุและวิธีแก้ไขดังนี้

1.1 จากการสลายตัวของอินทรีย์สารในเนื้อดิน เช่น คาร์บอนเนตคอลไรต์ และซัลเฟต ในชั้นดิน

1.2 จากเคลือบที่ไม่สุกตัวดีหรือเคลือบทนไฟมากเกินไป หรือเคลือบมีความหนืดมากระหว่างเผา

แก้ไขโดย บดเคลือบให้มีความละเอียดมากขึ้น และขึ้นไฟเป็นเวลาทานขึ้นหลังจากการเผา ที่อุณหภูมิต้องการ

1.3 เกิดจากการเผาเกินจุดสุกตัวของเคลือบ (เคลือบเดือด) จะเกิดฟองอากาศภายในชั้นเคลือบ

แก้ไขโดย ลดอุณหภูมิในการเผา หรือ เพิ่มวัตถุดิบให้เคลือบมีความทนไฟมากขึ้น

1.4 นำผลิตภัณฑ์เข้าเผาขณะที่มีความชื้นสูง

1.5 เคลือบมีช่วงระยะเวลาการหลอมตัวแคบ

1.6 การขึ้นไฟสั้นเกินไป

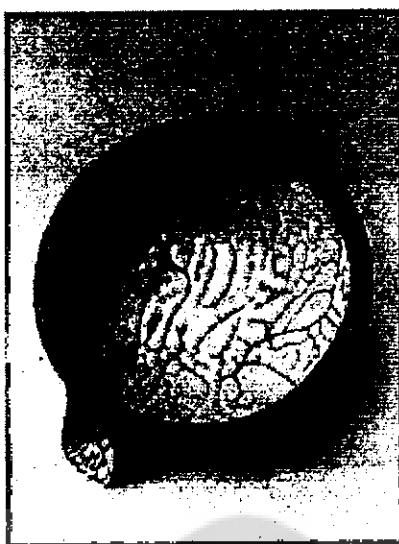
2. เคลือบแยกตัวออกจากกัน (Crawling) ลักษณะเคลือบจะแยกตัวออกจากกัน ซึ่งมีสาเหตุดังนี้

2.1 ใส่น้ำดิบ (Raw clay) ในน้ำเคลือบปริมาณที่สูงทำให้เคลือบมีความเหนียวมากและเกิดการดึงตัวของเคลือบ แก้ไขโดยการใช้ Calcined Clay ผสมในเคลือบเพื่อลดความเหนียวของดิน

2.2 เคลือบมีการหดตัวสูง เกิดรอยร้าวก่อนหลอม จากสาเหตุเคลือบที่มีความละเอียดเกินไปทำให้หดตัวมาก

2.3 ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบหนา ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกระหว่างก่อนที่เคลือบหลอมละลาย

2.4 มีฝุ่น คราบไขมัน น้ำมัน เกาะติดอยู่บนผิวเนื้อดินก่อนทำการเคลือบ ทำให้เคลือบหลุดหล่นง่าย



ภาพที่ 24 แสดงลักษณะของเปลือกแยกตัวออกจากกัน (Crawling)

3. การราน (raging) ลักษณะการรานตัวของเปลือกเป็นลักษณะรอยแตกของผิวเปลือกบนผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 อย่างคือ

1. การรานเป็นเส้นละเอียด เป็นการรานเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของน้ำเปลือกกับเนื้อดินมีความแตกต่างกันมาก
2. การรานเป็นเส้นหยาบ เป็นการรานเนื่องจากสัมประสิทธิ์การหดตัวและขยายตัวของเนื้อดินกับเปลือกต่างกันเพียงเล็กน้อย

การแก้ไขการรานตัวของผิวเปลือก สามารถแก้ไขได้ 2 วิธีคือ

1. การแก้ไขส่วนเนื้อดินปั้น โดยเผาให้เนื้อดินปั้นถึงจุดสุกตัวลดปริมาณ ซิลิกา และอลูมินา หรือการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา
2. การแก้ไขส่วนของน้ำเปลือก เป็นวิธีที่สะดวกกว่าการแก้ไขเนื้อดินปั้น โดยการลดปริมาณฟลักซ์ และ เพิ่มปริมาณซิลิกาในน้ำเปลือก

การรานตัวของเปลือกถ้าเป็นการรานตัวจากส่วนอื่น เช่น การนำเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเร็วเกินไปหรือการเย็นตัวของเตาเร็วเกินไปก็จะทำให้เปลือกรานตัวได้ จะต้องทิ้งให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวนานขึ้นแล้วจึงนำออกจากเตา

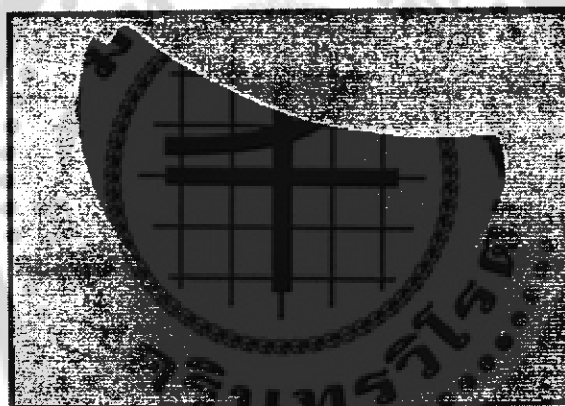
4. เคลือบหลุดร่อนออกจากเนื้อดิน (Reeling)

จะมีลักษณะการหลุดร่อนเป็นแผ่น แยกตัวออกจากเนื้อดินซึ่งมีสาเหตุเกิดจาก

1. การนำผลิตภัณฑ์หลังจากการเคลือบแล้วยังมีความชื้นเข้าเตา
2. การนำผลิตภัณฑ์ที่ยังร้อนอยู่ไปเคลือบ ทำให้เกิดการร่อนออกขณะเผา
3. เคลือบมีปริมาณซิลิกาซ์ที่มากเกินไปหรือไม่มีความเหนียวในการยึดเกาะบนผิวผลิตภัณฑ์

การแก้ไขโดย

1. บดซิลิกาให้มีขนาดละเอียดขึ้น หรือเพิ่มดินหรือกาว CMC ในเคลือบ
2. ให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวก่อนทำการเคลือบ
3. เมื่อเคลือบผลิตภัณฑ์แล้วควรทิ้งไว้ประมาณ 12 ถึง 24 ชั่วโมงให้น้ำบางส่วนมีการระเหยออกไป



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะของเคลือบหลุดตัว

บรรณานุกรม

- | | | |
|---------------------------|-------------------------|--|
| โกมล | รักษ์วงศ์ | เอกสารคำสอนน้ำเคลือบ 2 กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา
คณะอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร, 2538 |
| สุรศักดิ์ | โกสีย์พันธ์ | น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช
จำกัด, 2531 |
| ปรีดา
ประจักษ์ | พิมพ์ขาวจำ
สารสิทธิ์ | เคลือบเซรามิกส์ กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ อักษรเจริญทัศน์, 2530
การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์, นครศรีธรรมราช :
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช, 2543 |
| ไพจิตร | อิวศิริวัฒน์ | รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์ กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,
2537 |
| ทวี | พรหมพฤษย์ | เตาและการเผา กรุงเทพฯ : เอกสารการนิเทศการศึกษานับที่ 245
ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมฝึกหัด
ครู, 2525 |
| ทวี | พรหมพฤษย์ | เครื่องปั้นดินเผาเบื้องต้น .กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2523 |
| Singer, Felix and S.Sonja | | Industrial ceramics. London: chapmen and Hall Ltd., 1963 |
| Sudhir Sen | | Creamic Whitewares London : Oxford & IBN Puplicshing CO.
PVT.Ltd., 1992 |

ภาคผนวก

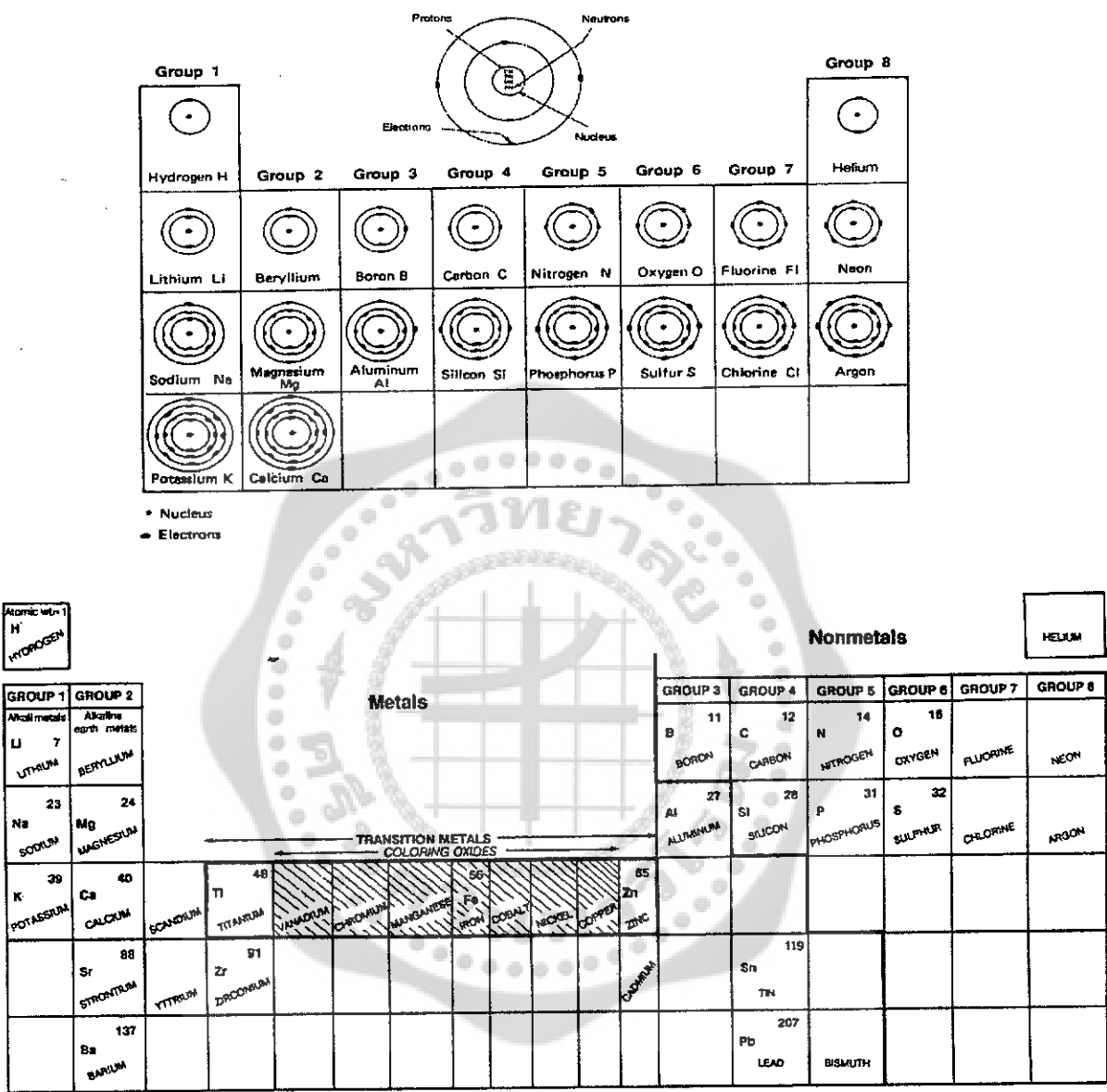


Figure A.2. A simplified version of part of the periodic table of the elements, showing the elements important in ceramics. When the elements are arranged in this way, those with the same number of electrons in the outer shell fall in the same column, or *group*.

	<i>Formula</i>	<i>Molar weight in grams</i>
Aluminum oxide, alumina	Al_2O_3	102
Barium oxide, baria	BaO	153
Boric oxide	B_2O_3	70
Calcium oxide, calcia	CaO	56
Carbon dioxide	CO_2	44
Ferrous oxide (black iron)	FeO	72
Ferric oxide (red iron)	Fe_2O_3	160
Lead monoxide, litharge	PbO	223
Lead oxide, red lead	Pb_3O_4	686
Lithium oxide, lithia	Li_2O	30
Magnesium oxide, magnesia	MgO	40
Manganese dioxide	MnO_2	87
Phosphorus pentoxide	P_2O_5	142
Potassium oxide, potassa	K_2O	94
Silicon dioxide, silica	SiO_2	60
Sodium oxide, soda	Na_2O	62
Strontium oxide, strontia	SrO	104
Tin (stannic) oxide	SnO_2	151
Titanium dioxide, titania	TiO_2	80
Vanadium pentoxide	V_2O_5	182
Zinc oxide	ZnO	81
Zirconium oxide, zirconia	ZrO_2	123

Figure A.3. Formulas and molar weights of oxides commonly used in ceramics, to the nearest whole number.

	Formula	Molar weight in grams
Alumina hydrate (aluminum hydroxide)	$\text{Al}_2(\text{OH})_6$	156
Barium carbonate, witherite	BaCO_3	197.3
Bone ash (calcium phosphate)	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	310.2 (variable)
Calcite (calcium carbonate)	CaCO_3	100
Calcium borate	$\text{Ca}(\text{BO}_2)_2$	125.7
Calcite, calcium carbonate	CaCO_3	100
Calcium phosphate/bone ash	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	310.3
China clay (see kaolin)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	258.2
Colemanite	$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	411 (variable)
Cornwall/Cornish stone	$0.3\text{CaO} \cdot 1.2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	674 (variable)
	$0.34\text{Na}_2\text{O}$	
	$0.36\text{K}_2\text{O}$	
Dolomite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	184.4
Feldspar, calcium (anorthite)	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	278.3
Feldspar, potassium, orthoclase	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	556.8
Feldspar, sodium (albite)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	524.6
Hematite	Fe_2O_3	159.6
Kaolin (china clay)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	258.2 (variable)
Lead bisilicate frit	$\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	343.4
Lead sesquisilicate frit	$\text{PbO} \cdot 1.5\text{SiO}_2$	313.4
Lead sulfide (galena)	PbS	240
Lepidolite	$\text{Li}_2\text{F}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	334 (variable)
Lithium carbonate	Li_2CO_3	74
Magnesite, magnesium carbonate	MgCO_3	84.3
Magnesium carbonate light	$3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	365.2
Nepheline syenite	$0.75\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	
	$0.25\text{K}_2\text{O}$	292
Petalite	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	612.6
Potassium carbonate	K_2CO_3	138.2
Potassium feldspar (see feldspar)	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	556.8
Quartz (flint)	SiO_2	60.1
Sodium, feldspar (see feldspar)		
Spodumene	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	372.2
Strontium carbonate	SrCO_3	147.6
Talc (steatite/soapstone)	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	379.3
Whiting (see calcite)		
Witherite (see barium carbonate)		
Wollastonite	CaSiO_3	116.2
Zirconium silicate (zircon)	ZrSiO_4	183.3

When correcting to whole numbers, some authors correct potassium feldspar to 557 g, others use 556 g. Kaolin is marked as variable, but suppliers, in most cases, adjust each consignment so that the formula remains very close to the one stated above.

Figure A.4. Theoretical formulas and molar weights of minerals and other materials. Nepheline syenite and Cornwall stone, although rocks, are included and assigned generalized formulas, but it must be remembered that the compositions of these rocks are variable.

Standard Pyrometric Cones

Figures A.5 and A.6 provide temperature equivalents for Orton and Seger cones. To convert temperatures not listed, use the following formulas:

To convert
degrees Celsius
to Fahrenheit

$$^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5} + 32 = ^{\circ}\text{F}$$

To convert
degrees Fahrenheit
to Celsius

$$(^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9} = ^{\circ}\text{C}$$

Low-temperature range			Middle-temperature range			High-temperature range		
Cone no.	Heating rate		Cone no.	Heating rate		Cone no.	Heating rate	
	150°C/hr	270°F/hr		150°C/hr	270°F/hr		150°C/hr	270°F/hr
C.010	894°C	1641°F	C.4	1186°C	2167°F	C.8	1263°C	2305°F
C.09	923°C	1693°F	C.5	1196°C	2185°F	C.9	1280°C	2336°F
C.08	955°C	1751°F	C.6	1222°C	2232°F	C.10	1305°C	2381°F
C.07	984°C	1803°F	C.7	1240°C	2264°F	C.11	1315°C	2399°F
C.06	999°C	1830°F				C.12	1326°C	2419°F
C.05	1046°C	1915°F				C.13	1346°C	2455°F
C.04	1060°C	1940°F				C.14	1366°C	2491°F
C.03	1101°C	2014°F				C.15	1431°C	2608°F
C.02	1120°C	2048°F						
C.01	1137°C	2079°F						
C.1	1154°C	2109°F						
C.2	1162°C	2124°F						
C.3	1168°C	2134°F						

1. The temperature equivalents in this table apply only to Orton pyrometric cones, heated at the rate indicated in air atmosphere.
2. The rates shown were maintained during the last several hundred degrees of temperature rise.
3. Temperature equivalents are not necessarily those at which cones will deform under firing conditions different from those of calibration determinations.
4. For reproducible results, care should be taken to ensure that the cones are set in a plaque with the bending face at the correct angle of 8° from the vertical with the cone tips at a consistent height above the plaque. Self-supporting cones are made with the correct mounting height and angle.
5. For other heating rates or if using small cones or self-supporting cones, specific tables of temperature equivalents should be obtained from your supplier.

Figure A.5. Temperature equivalents for Orton standard large cones. Source: American Ceramic Society.

<i>Low-temperature range</i>		<i>Middle-temperature range</i>		<i>High-temperature range</i>	
<i>Cone no.</i>		<i>Cone no.</i>		<i>Cone no.</i>	
022	595°C	2a	1150°C	7	1260°C
021	640°C	3a	1170°C	8	1280°C
020	660°C	4a	1195°C	9	1300°C
019	685°C	5a	1215°C	10	1320°C
018	705°C	6a	1240°C	11	1340°C
017	730°C				
016	755°C			12	1360°C
015a	780°C			13	1380°C
014a	805°C			14	1400°C
013a	835°C			15	1425°C
012a	860°C				
011a	900°C				
010a	920°C				
09a	935°C				
08a	955°C				
07a	970°C				
06a	990°C				
05a	1000°C				
04a	1025°C				
03a	1055°C				
02a	1085°C				
01a	1105°C				
1a	1125°C				

Figure A.6. Temperature equivalents for Seger standard cones. Source: Staatliche Porzellan-Manufaktur, Berlin.

เคลือบใส มัน

อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส

ซูเปอร์สไป	36
เนฟทาไลน์ ไชยาไน	10
ทรายบด	17
โคลิมาไนต์	24
แบเรียมคาร์บอเนต	5
โคโลไมต์	3
ดินขาว	3
ซิงค์ออกไซด์	2

เคลือบใส

อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส

เนฟทาไลน์ ไชยาไนต์	48
ควอตซ์	17
สังกะสีออกไซด์	6
ดินขาว	3
โคลิมาไนต์	20
โคโลไมต์	6

เคลือบขาวทึบ

อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

	โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar)	42
	หินปูน (Whiting)	13
	แบเรียมคาร์บอเนต (Baliium Carbonate)	5
	ทาร์ช (Talc)	3
	ดินขาว	12
	ควอตซ์ (Quartz)	22
add	เซอร์โคเนียมซิลิเกต	12
	ดีบุกออกไซด์	1

เคลือบ Cupper Red

อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศ รีดักชัน(RF)

	โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar)	56
	หินปูน (Whiting)	22
	ควอตซ์ (Quartz)	28
	แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate)	8
	ทัลค์ (Talc)	5
	โบนแอส (Bone ash)	4
add	ดินบุกออกไซด์	3
	ทองแดงออกไซด์	1

เคลือบ สีแดงจากเหล็ก (Iron Red)

อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศ รีดักชัน(RF)

	โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar)	55
	หินปูน (Whiting)	10.23
	ควอตซ์ (Quartz)	13.64
	ทัลค์ (Talc)	12.5
	โบนแอส (Bone ash)	11.36
	ดิน (Ball Clay)	3
	เหล็กออกไซด์	13.64

เคลือบสีดำเทาโมกุ

อุณหภูมิ 1250 - 1280 องศาเซลเซียส บรรยากาศ ออกซิเดชัน (OF)

	โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar)	76
	ดินขาวลำปาง	7
	หินปูน (Whiting)	5
	ควอตซ์ (Quartz)	12
	เหล็กออกไซด์	7

เคลือบสีดำเทา โมกู (หยดน้ำมัน)

อุณหภูมิ 1250 - 1280 องศาเซลเซียส บรรยากาศ ออกซิเดชั่น (OF)

โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar)	72
ดินขาวลำปาง	16
หินปูน (Whiting)	7
ทัลคัม (Talc)	5
เหล็กออกไซด์	8

เคลือบเทา โมกู

อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศ รีดักชัน(RF)

โซดาเฟลด์สปาร์	38
หินปูน	18
หินเขียวหนุมาน	30
ดินขาว	14
เหล็กออกไซด์	10
แมงกานีส ไดออกไซด์	3

เคลือบเซลาดอล

อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศ รีดักชัน(RF)

โซดาเฟลด์สปาร์	32
แคลเซียมคาร์บอเนต	17
ทัลคัม	4
แบเรียมคาร์บอเนต	7
ดินขาว	3
ควอตซ์	22
โบแอช	1
add เหล็กออกไซด์	2

เกลือบคอปเปอร์เรด

อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศรีดักชัน(RF)

โซดาเฟลด์สป่า	29.75
แคลเซียมคาร์บอเนต	18.99
แบเรียมคาร์บอเนต	13.38
คินขาว	8.89
ควอตซ์	26.23
โบแอช	1
ซิงค์ออกไซด์	2.76

add

คอปเปอร์ออกไซด์	0.5
ดีบุกออกไซด์	2

เกลือบคินโย

อุณหภูมิ 1250 – 1260 องศาเซลเซียส บรรยากาศรีดักชัน(RF)

โปแตสเฟลด์สป่า	42
แคลเซียมคาร์บอเนต	25
ทันกัม	5
สังกะสีออกไซด์	3
ควอตซ์	21
โบแอช	4
คอปเปอร์ออกไซด์	0.5
เหล็กออกไซด์	0.2

add

เกลือบโอลิเบอะ

อุณหภูมิ 1250 – 1260 องศาเซลเซียส บรรยากาศ ออกซิเดชัน

โคโมโดเฟลด์สป่า	36.0
แบเรียมคาร์บอเนต	6.5
คินขาว	9
ควอตซ์	24.5
หินปูน	13.5
สังกะสีออกไซด์	4.5
คอปเปอร์ออกไซด์	4.0

เคลือบ Shino

อุณหภูมิ 1250 – 1280 องศาเซลเซียส บรรยากาศ ออกซิเดชัน และรีดักชัน

ชีโนเฟลด์สปา 85

ดินขาว 10

จีเถ้าไม้ 5



ประวัติ

ชื่อ นายพนมศักดิ์ สุวิสุทธิ์
 ตำแหน่ง อาจารย์ ข้าราชการระดับ 6
 สังกัด สาขาศิลปจิตรทัศน์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ
 การศึกษา ระดับปริญญาตรี ช่างอุตสาหกรรมแขนงช่างปั้น คณะอุตสาหกรรม วิทยาลัยครู
 พระนคร บางเขน กรุงเทพฯ
 ระดับปริญญาโท ครุศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเชรามิกส์
 สถาบันราชภัฏพระนคร บางเขน กรุงเทพฯ

ประวัติการสอน

อาจารย์พิเศษ สาขาวิชาเชรามิกส์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
 จังหวัดชลบุรี
 สาขาวิชาเชรามิกส์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
 ราชมนฑลอำเภอยะนบุรี จังหวัดปทุมธานี
 แขนงวิชาศิลปกรรมประยุกต์ด้านเครื่องปั้นดินเผา หลักสูตร
 ศิลปกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาหุนวศึกษา วิทยาลัยราชสุดา
 โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเชรามิกส์ คณะเทคโนโลยี
 อุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร บางเขน กรุงเทพฯ
 สาขาศิลปกรรม วิทยาลัยอาชีวะธนบุรี บางกอกน้อย กรุงเทพฯ

ประวัติการแสดงผลงานและร่วมแสดง

Artistic Image ศูนย์การค้า เดอะสโตนเกตเลอเรีย กรุงเทพฯ 2545
 Art Gallery Nagoya University Nagoya japan . 2002
 Clay – Clay หอศิลปกรรมศรีนครินทรวิโรฒ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 กรุงเทพฯ. 2546
 การแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผาแห่งชาติ ครั้งที่ 12

ผลงานที่ได้รับรางวัล

รางวัลที่ 1 เครื่องปั้นดินเผาประเภทไม่เคลือบ เป็นของประดับหรือตกแต่งบ้าน
 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2544