

เคลือบเซรามิก

วรรณดา ต.แสงจันทร์

ลดา พันธุ์สุขุมธนา

ปีที่พิมพ์ พ.ศ. 2545

เคลือบ คืออะไร

เคลือบ คือ ชั้นบาง ๆ ของแก้วที่ฉาบอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิกอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้วเตรียมได้จากการหลอมส่วนผสมของสารประกอบซิลิเกต หรืออาจพูดได้ว่า เคลือบคือสารประกอบซิลิเกตซึ่งเมื่อถูกความร้อนแล้วจะหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันฉาบอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ มีลักษณะโปร่งใส แข็งแกร่ง ทนต่อการกัดและต่างได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปแล้วเคลือบมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีคล้ายแก้ว คือ มีความแข็งแรง ไม่ละลายหรือละลายได้น้อยมากในสารละลายเคมี นอกจากกรดกัดแก้ว(HF) และด่างแก่ (Strong base) และไม่ยอมให้ของเหลวและก๊าซซึมผ่านได้ แต่เคลือบจะมีส่วนประกอบทางเคมีซับซ้อนกว่าแก้ว

เคลือบที่พบเห็นโดยทั่วไปจะมีความมันวาวและสะท้อนแสงได้ สามารถมองเห็นเนื้อดินที่เคลือบเคลือบชนิดนี้เรียกว่า เคลือบใส (Transparent or clear glaze) แต่ถ้าผิวไม่มัน เรียกว่าเคลือบด้าน (Matt glaze) ส่วนเคลือบที่สามารถปิดบังผิวของเนื้อดินได้เรียกเคลือบชนิดนี้ว่า เคลือบทึบ (Opaque glaze) จะมีสีหรือไม่มีสีก็ได้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเคลือบ

วัตถุประสงค์ของการเคลือบ

1. เพื่อความสวยงาม
2. เพื่อปิดบังความไม่เรียบร้อยของผลิตภัณฑ์
3. เพื่อป้องกันของเหลว และก๊าซซึมผ่าน
4. เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาดผิวผลิตภัณฑ์
5. เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และทนต่อการกัดกร่อน
6. เพื่อคุณสมบัติเฉพาะอย่าง เช่น ทางด้านไฟฟ้า แสง และทางเคมี เป็นต้น

การจำแนกชนิดของเคลือบ

1. แบ่งตามส่วนผสมของเคลือบ (Mixture)

- 1.1 เคลือบตะกั่ว (Lead glaze) มีตะกั่วเป็น flux
- 1.2 เคลือบที่ไม่มีตะกั่ว (Leasless glaze) มีสารประเภทด่าง (Alkalies) เป็น flux เช่นบอแรกซ์, โซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3), หินปูนขาว เป็นต้น

2. แบ่งตามอุณหภูมิของเคลือบ (Temperature)

- 2.1 เคลือบไฟต่ำ (Low temperature glaze) สุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 800°C - 1100°C .
- 2.2 เคลือบไฟกลาง (Medium temperature glaze) สุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1150°C - 1200°C .
- 2.3 เคลือบไฟสูง (High temperature glaze) สุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1230°C - 1300°C .

3. แบ่งตามวิธีการเตรียมเคลือบ (Processing)

- 3.1 เคลือบดิน (Raw glaze) เตรียมโดยนำส่วนผสมทุกตัวมาบดผสมในหม้อบดกับน้ำแล้วกรองผ่านตะแกรงร่อน นำไปใช้เคลือบผลิตภัณฑ์
- 3.2 เคลือบฟริต (Fritted glaze) เตรียมโดยนำส่วนผสมบางอย่างที่ละลายน้ำ เช่น บอแรกซ์, โซดาแอช มาหลอมเป็นฟริตก่อน แล้วจึงนำฟริตที่ได้ไปบดผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ อีก

4. แบ่งตามลักษณะของเคลือบ (Characteristic)

- 4.1 เคลือบใส (Transparent or Clear glaze) เป็นเคลือบที่มีลักษณะใสเหมือนแก้ว
- 4.2 เคลือบทึบ (Opaque glaze) เป็นเคลือบที่ใช้ปิดบังผิวของเนื้อดินที่มีสีหรือสีไม่ขาว
- 4.3 เคลือบสี (Colored glaze) เคลือบที่มีสีต่างๆ เตรียมได้จากการผสมสีผงเซรามิก (สีสะเตน) หรือออกไซด์ที่ให้สี (Coloring Oxide) เข้าไปในส่วนผสมของเคลือบ
- 4.4 เคลือบด้าน (Matt glaze) เป็นเคลือบที่มีลักษณะผิวเรียบไม่มัน เนื่องจากการตกผลึกเล็กๆ ของสารบางตัว หรือการที่สารบางตัวไม่ละลายหรือละลายไม่หมด
- 4.5 เคลือบราน (Crackle glaze) เป็นเคลือบที่มีรอยแตกรานทั่วทั้งผิวของเคลือบ มักนิยมใช้หมึกสีดำหรือแดงทำให้แทรกซึมลงไปตามรอยแตก ทำให้สวยงามมากขึ้น แต่ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นภาชนะใส่อาหาร เพราะการทำความสะอาดอาจไม่ทั่วถึง
- 4.6 เคลือบผลึก (Crystalline glaze) เป็นเคลือบที่มีผลึกลอยอยู่ในชั้นของเคลือบ อาจเป็นผลึกรูปเข็ม รูปพัด หรือเป็นดอกดวง ซึ่งจะต้องเผาให้เย็นตัวช้ากว่าปกติผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นดอกคล้ายรูปพัดเกิดจากผลึกของวิลเลมไมต์ (willemite)
- 4.7 เคลือบประกายมุก (Luster glaze) เป็นเคลือบที่มีผิวมัน แวววาวมาก มีประกายคล้ายหอยมุก เมื่อใส่สารให้สี (Coloring oxide) เช่น NiO , Fe_2O_3 จะได้เคลือบสีที่ลักษณะเฉพาะตัวสวยงามมาก เหมาะสำหรับใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์พวกเครื่องประดับตกแต่ง ไม่เหมาะกับการผลิตภาชนะใส่อาหารเพราะมักมีส่วนผสมของตะกั่ว

นอกจากนั้นแล้ว อาจแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียม เช่น

- เคลือบบอแรกซ์ (Borax glaze)
- เคลือบตะกั่ว (Lead glaze)
- เคลือบดีบุก (Tin glaze)
- เคลือบแบเรียม (Barium glaze)
- เคลือบทัลคัม (Talcum glaze)
- เคลือบหินฟันม้า (Feldspar glaze)
- เคลือบขี้เถ้า (Woodash glaze)
- ฯลฯ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบ (Glaze materials)

สูตรของเคลือบ นิยมเขียนอยู่ในรูปของสูตรซีเกอร์ (Seger 's formular) หรือสูตรเอมไพริคัล (Empirical formular) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

กลุ่มต่าง	กลุ่มกลาง	กลุ่มกรด
<u>ตัวอย่าง</u> R_2O, RO 0.2 K_2O 0.4 CaO 0.4 MgO	R_2O_3 0.2 Al_2O_3	RO_2 2.5 SiO_2

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ

1. กลุ่มที่เป็นด่าง (Basic Oxide) แทนด้วย R_2O และ RO ได้แก่ Oxide ของ Alkali (Li_2O , Na_2O , K_2O) และ Alkali earth (CaO , MgO , BaO) นอกจากนี้ยังมีตะกั่วออกไซด์ (PbO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีอื่น ๆ
2. กลุ่มที่เป็นกลาง (Amphoteric Oxide) แทนด้วย R_2O_3 ได้แก่ Al_2O_3 , B_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 เป็นต้น
3. กลุ่มที่เป็นกรด (Acidic Oxide) แทนด้วย RO_2 ได้แก่ SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , SnO_2 , เป็นต้น

กลุ่มที่เป็นด่าง (Basic Oxide)

Alkali : Li, Na, K

1. จัดเป็น strong flux คือเป็น flux ที่รุนแรงมาก
2. เพิ่มการไหลตัวของเคลือบขณะหลอม (increase fluidity)
3. มีอิทธิพลต่อการเกิด shade สีต่างๆ
4. เพิ่มความมันวาว (brilliancy) เนื่องจากทำให้ดัชนีหักเหของแสงเพิ่มขึ้น
5. ถ้าใช้ปริมาณจำกัดจะทำให้เคลือบไม่ละลายน้ำ
6. มีอิทธิพลต่อ thermal expansion (การขยายตัวเนื่องจากความร้อน)

โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ออกไซด์ของโซเดียม ให้สมบัติการขยายตัวสูงที่สุดในกลุ่มต่าง

สารที่ให้ Na_2O ได้แก่

- เกลือแกง (Sodium chloride : $NaCl$)
- โซดาแอช (Sodium carbonate : Na_2CO_3)
- โซเดียมไนเตรท (Sodium nitrate : $NaNO_3$)
- บอแรกซ์ ($Na_2O \cdot 0.2 B_2O_3 \cdot 10 H_2O$, $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$)
- เศษแก้ว ($0.5 Na_2O$, CaO , SiO_2)
- แร่ฟันม้า (Soda feldspar : $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$) ไม่ละลายน้ำ

โปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) สารประกอบของโปแตสเซียมมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับของโซเดียม แต่โปแตสเซียมจะให้เคลือบที่มีความวาวมากกว่า การไหลตัวของเคลือบน้อยกว่าเคลือบมีความแข็งแรงทนต่อการขีดขีดได้มากกว่าเคลือบละลายน้ำได้ยากกว่า และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำกว่า

สารที่ให้ K_2O ได้แก่

- โปแตสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate : K_2CO_3)
- โปตัสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate : KNO_3)
- แร่ฟันน้ำ (Potash feldspar : $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) ไม่ละลายน้ำ

ลิเทียมออกไซด์ (Li_2O) มีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนโซเดียมและโปตัสเซียมเป็นตัวช่วยหลอม(flux) ที่แรงมากเคลือบที่มี Li_2O จะมีการไหลตัวดีกว่า Na_2O และ K_2O

สารที่ให้ Li_2O คือ

ลิเทียมคาร์บอเนต (Lithium carbonate : Li_2CO_3) เป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้น้อยมากมีประโยชน์คือ

1. ใส่ Li_2CO_3 1% ในเคลือบจะเพิ่มความมัน ความแข็งแรงและทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ
2. เพราะความเป็น flux ที่แรงกว่า ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณของ CaO , Al_2O_3 และ SiO_2 ในเคลือบ
3. การเพิ่ม Li_2O เพียงเล็กน้อย 0.5% จะเพิ่มการไหลตัวและลดความตึงผิวของเคลือบทำให้เคลือบมันขึ้นและการเกิดรูเข็มน้อยลง
4. การใช้ Li_2O แทนที่ตะกั่วออกไซด์ (PbO) บางส่วนหรือทั้งหมด จะทำให้การกลายเป็นไอของตะกั่วลดน้อยลงหรือหมดไป

อัลคาไลน์เอิร์ท (Alkali earth : Ca, Mg, Ba)

แคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีคุณสมบัติต่อเคลือบที่สุกตัวแล้ว คือ

1. เพิ่มความแข็งแรงของเคลือบ ทนต่อการขีดขีด
2. เพิ่มความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และทนต่อการถูกละลายด้วยน้ำและกรดอินทรีย์อย่างเจือจาง
3. เพิ่มแรงดึง (Tensile strength) และลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

CaO จะทำหน้าที่เป็น flux ที่ cone 4 ขึ้นไป ถ้าต่ำกว่านี้จะเป็นตัวทนไฟ (refractoriness) ช่วยให้การไหลตัวดีขึ้น แต่ถ้าในส่วนผสมมี CaO มากเกินไปจะทำให้เกิดการตกผลึกเล็กๆ เป็นพวก microcrystalline structure ขึ้นมา ซึ่งจะทำให้ผิวเคลือบด้าน

สารที่ให้ CaO ได้แก่

- แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate : $CaCO_3$) มีหลายรูป เช่น หินปูน (Limestone), Marble, Chalk
- ไรต์ติ้ง (Whiting : $CaCO_3$)

- โดโลไมต์ (Dolomite : $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)
- คัลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate : $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)
- คัลเซียมฟลูออไรด์ (Calcium fluoride : CaF_2)
- คัลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate : CaSiO_3)

แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่อุณหภูมิต่ำจะเป็นตัวทนไฟ แต่ที่อุณหภูมิสูงจะกลายเป็น flux ในเคลือบที่มี MgO จะทำให้

1. การไหลตัวของเคลือบดีขึ้น
2. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบ
3. ถ้าใส่พอเหมาะจะช่วยให้การทึบแสง (Opacity) จึงมีประโยชน์ทำให้เคลือบขาวขึ้น

สารที่ให้ MgO ได้แก่

- แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbonate : MgCO_3)
- โดโลไมต์ (Dolomite : $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)
- ทัลค์ (Talc : $3 \text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

แบเรียมออกไซด์ (BaO) เป็น flux ที่แรง แต่ถ้าใช้มากจะทนไฟ ทำให้เคลือบมีดัชนีหักเหของแสงสูงขึ้น จึงทำให้เคลือบมีความวาวมากกว่า แต่ไม่เท่าเคลือบที่ใช้ PbO

สารที่ให้ BaO คือ

- แบเรียมคาร์บอเนต (Barium carbonate : BaCO_3)

สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ใช้มากในเคลือบ ทำหน้าที่เป็น flux เคลือบที่ใส่ ZnO จะทำให้

1. เคลือบเป็นมันเพิ่มขึ้น
2. ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้เคลือบทนไฟและเคลือบหนืดมากเกินไป
3. ให้ opacity บางครั้งใช้เป็นตัวทึบ

นอกจากนั้นแล้ว ZnO มีผลต่อสีบางสี เช่น ทำให้เคลือบที่มีโครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3) เกิดสีน้ำตาล แทนที่จะเกิดสีเขียว ZnO สามารถใช้เป็นตัวแก้เคลือบรานได้ และนิยมใช้ทำเคลือบผลึก

ตะกั่วออกไซด์ (PbO) เคลือบที่มี PbO เป็นส่วนผสมจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. เพิ่มความวาว เนื่องจากการเพิ่มดัชนีหักเหของแสง
2. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้ว
3. ลดความหนืดของเคลือบขณะหลอม
4. ทำให้ความสามารถในการตกผลึกระหว่างปล่อยให้เคลือบเย็นตัวน้อยลง
5. ช่วยให้ช่วงการสุกตัวของเคลือบกว้างมากขึ้น
6. ช่วยลดความตึงผิวของเคลือบขณะหลอม ทำให้ผิวเคลือบเรียบดี

แต่การใช้สารตะกั่วในเคลือบก็มีข้อเสีย เช่น

1. ความเป็นพิษของตะกั่ว ซึ่งเราสามารถป้องกันได้โดยการหลอมเป็นฟritเสียก่อน
2. เคลือบที่มีปริมาณตะกั่วไม่เหมาะสม จะสามารถละลายได้ง่ายโดยน้ำฝนที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ
3. เคลือบตะกั่วบางชนิด เมื่อทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน ๆ จะเกิดฟิล์มขึ้น ทำให้เคลือบหมอง
4. เคลือบที่ใช้ตะกั่วดิบ (ไม่ได้หลอมฟrit) สามารถถูก reduce ได้ง่ายเวลาเผาทำให้ได้สีเทาหรือสีดำ
5. ความทนทานต่อการขัดถู (abrasive resistance) ของเคลือบจะลดลงเมื่อใช้ปริมาณตะกั่วมากขึ้น
6. ไม่ควรเผาเคลือบตะกั่วเกิน cone 6 หรือ 7 เพราะว่าตะกั่วจะระเหิดกลายเป็นไอ

สารที่ให้ PbO ได้แก่

- ตะกั่วแดง (Red lead : Pb_3O_4)
- ตะกั่วเหลือง (Litharge : PbO)
- ตะกั่วขาว (White lead : $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$)
- ตะกั่วซิลิเกต (Lead silicate : $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$)

เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวช่วยหลอม (flux)

Oxide	Fluxing – ability
CaO	1
BaO	1
ZnO	2
K_2O	2.5
Na_2O	5
PbO	8

กลุ่มที่เป็นกลาง (Amphoteric Oxide) แทนด้วย R_2O_3 ตัวที่สำคัญคือ อะลูมินา (Alumina : Al_2O_3) เป็นตัวทำให้เคลือบมีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งเรานำคุณสมบัตินี้มาใช้

1. ควบคุมการไหลตัวของเคลือบขณะหลอม (Control fluidity)
2. ควบคุมการเกิดผลึกขนาดใหญ่ (Macrocystalline)
3. ใช้ในการทำเคลือบด้าน (Matt glaze)

Al_2O_3 ช่วยทำให้เคลือบแข็งแรงขึ้น (increase hardness) ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและสภาพดินฟ้าอากาศ เราสามารถใช้ Al_2O_3 แก่การรานของเคลือบได้เพราะลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว นอกจากนั้นแล้ว Al_2O_3 ยังมีอิทธิพลต่อการเกิดสีบางสี

ปริมาณของ Al_2O_3 ที่ใช้ในเคลือบ

ปริมาณของ Al_2O_3 มีผลต่อจุดสุกตัวของเคลือบ ดังนั้นเคลือบที่มีจุดสุกตัวต่ำจะใช้ปริมาณ Al_2O_3 ไม่เกิน 0.05 mole equivalent (โมลสมมูล) ส่วนเคลือบที่มีจุดสุกตัวสูง (Cone 14) ใช้ Al_2O_3 ได้มากถึง 0.9 mole equivalent โดยปกติอัตราส่วน mole equivalent ของ $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ อยู่ระหว่าง 1 : 7 ถึง 1 : 20 ขึ้นอยู่กับชนิดของเคลือบ

สารที่ให้ Al_2O_3 ได้แก่

- อะลูมินา (Alumina : Al_2O_3)
 - อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminum hydroxide : $\text{Al}(\text{OH})_3$)
 - แร่ฟันม้า ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$)
 - ดิน ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) ซึ่งเป็นตัวที่จะขาดเสียไม่ได้ในเคลือบ เพราะว่า
1. ช่วยให้อัตราการแห้งตัวในน้ำเคลือบกระจายลดยตัวได้ดี
 2. ช่วยให้น้ำเคลือบเกาะติดกับผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น
 3. เป็นตัวกลางที่ควบคุมการหดตัวของเคลือบขณะยังไม่เผา

ดินที่เหมาะสมสำหรับเคลือบใสและไม่มีสี จะต้องมีความบริสุทธิ์สูง (Fe₂O₃) และไทเทเนียมออกไซด์ (TiO₂) น้อยที่สุด จึงนิยมใช้ดินขาว แต่ถ้าเป็นเคลือบสีเข้มๆ อาจใช้ดินดำหรือดินเหนียว

กลุ่มที่เป็นกรด (Acidic oxide)

ซิลิกา (Silica : SiO_2) มีผลต่อการเคลือบ คือ

1. เพิ่มจุดหลอมตัว ทำให้เคลือบทนไฟยิ่งขึ้น
2. ลดการไหลตัวของเคลือบขณะหลอม
3. ทำให้เคลือบมีความต้านทานต่อการละลายน้ำและการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีขึ้น
4. ช่วยลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
5. ช่วยเพิ่มความแข็ง (Hardness) และความแข็งแรง (Strength) ให้กับเคลือบ

ปริมาณ SiO_2 ที่ใช้ในเคลือบปกติจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 12 โมล

ถ้าใช้ SiO_2 น้อยไป จะทำให้เคลือบไม่คงทน ละลายน้ำได้

ถ้าใช้ SiO_2 มากไป จะทำให้เคลือบทนไฟมากเกินไป จุดสุกตัวสูงเกินไป

สารที่ให้ SiO_2 ได้แก่

- หินทรายแก้ว (Silica sand, SiO_2)
- ควอตซ์ (Quartz : SiO_2)
- ฟลินต์ (Flint : SiO_2)
- ดิน (Clay : $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)
- แร่ฟันม้า (Feldspar : $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$)

โบรอนออกไซด์ (Boron Oxide : B_2O_3) ใช้กันมากในเคลือบ เพราะ

1. ช่วยทำให้เคลือบหลอมง่ายขึ้น
2. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวถ้าใช้น้อยกว่า 12% แต่ถ้าใช้มากกว่านี้จะให้ผลตรงกันข้าม
3. ช่วยให้เคลือบมีความมันวาวและสุกใสดีขึ้น
4. ทำให้เคลือบไหลตัวดีขึ้น ปกคลุมผิวผลิตภัณฑ์ได้ทั่วถึง
5. ไม่ตกผลึกเวลาหลอมเป็นแก้ว เป็นตัวต้านทานการตกผลึก บางคนจึงจัด Boron Oxide ไว้ในกลุ่ม R_2O_3
6. มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถ form เป็น net work คล้าย Silica เป็น Borsilicate glass
7. สามารถลดความตึงผิวของเคลือบ
8. ถ้าใช้ในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้คุณสมบัติทางเคมีของแก้วทนมากขึ้น
9. ในฟritที่มี B_2O_3 มากจะละลายน้ำได้

สารที่ให้ B_2O_3 ได้แก่

- บอแรกซ์ (Borax : $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$, $Na_2O \cdot 2 B_2O_3 \cdot 10 H_2O$)
- บอริกออกไซด์ (Boric oxide : B_2O_3)
- กรดบอริก (Boric acid : H_3BO_3)

ฟrit (Frit)

คือแก้วที่ได้จากการหลอมวัตถุดิบบางชนิดที่ใช้ทำเคลือบในเตาหลอมซึ่งอาจเป็นเตาแก๊ส เตาน้ำมัน หรือเตาไฟฟ้า

เหตุผลที่ต้องทำเป็นฟrit

1. วัตถุดิบบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ เช่น บอแรกซ์ ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้
2. วัตถุดิบบางชนิดเป็นพิษ เช่น ตะกั่วแดง ถ้าทำให้อยู่ในรูปของฟrit จะลดความเป็นพิษได้

ข้อดีของการใช้ฟritในเคลือบ

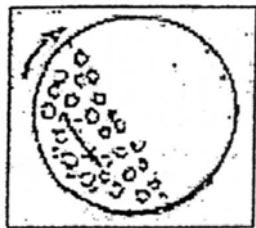
1. สามารถใช้วัตถุดิบที่ละลายน้ำได้ เช่น บอแรกซ์ โดยใช้ในรูปของฟrit
2. สามารถใช้ตะกั่วในรูปของฟrit ทำให้ลดอันตรายจากการสัมผัส
3. เคลือบที่ใช้ฟritจะมีปัญหาเรื่องตำหนิที่ผิว เช่น รูพรุน (pin hole) เคลือบพอง (blister) น้อยลง เนื่องจากฟritผ่านการหลอมมาแล้ว ทำให้เคลือบหลอมง่ายขึ้น

การเตรียมเคลือบ

การเตรียมเคลือบนิยมใช้วิธีบดเปียก โดยการนำส่วนผสมและน้ำใส่ลงในหม้อบดที่มีลูกบดขนาดต่าง ๆ อยู่ น้ำเคลือบต้องการการการบดที่พอเหมาะ เพื่อให้ได้ความละเอียดและความชื้นที่เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นการทดลองจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยต้องคำนึงถึงปริมาณของส่วนผสมความแข็งของวัตถุดิบ ปริมาณและชนิดของดิน ขนาดของหม้อ ความเร็ว/รอบของหม้อบด ขนาดและปริมาณลูกบด ปริมาณน้ำที่ใช้ เนื่องจากสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลของการบด

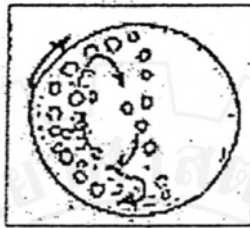
ความเร็ว/รอบของหม้อบด (Speed of the Mill) ทำให้การเคลื่อนตัวของลูกบดแตกต่างกัน ดังนี้

1.1 Slow Speed



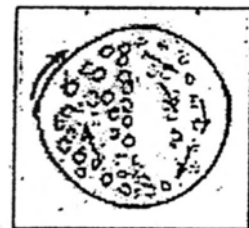
ลูกบดจะถูกเหวี่ยงให้เคลื่อนตัวขึ้นเพียงเล็กน้อย แล้วจะตกลงมา

1.2 Normal Speed



ลูกบดจะถูกเหวี่ยงให้เคลื่อนตัวไปมากขึ้น และจะตกลงมากระทบกัน

1.3 Rapid Speed



ลูกบดจะถูกเหวี่ยงไปรอบ ๆ หม้อบด

การบดจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อพื้นที่ผิวของลูกบดเกิดการกระทบกันมากขณะที่ทำการบด

จากการทดลองพบว่า ความเร็ว/รอบที่พอเหมาะสำหรับหม้อบดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 31 นิ้ว จะเท่ากับ 87% ของความเร็ววิกฤต (Critical speed)

ความเร็ววิกฤต หมายถึง ความเร็วที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้ลูกบดถูกเหวี่ยงไปตามขอบหม้อบด คำนวณได้จาก

$$\text{Critical speed (r.p.m)} = 54.9 / \sqrt{R} ; R : \text{รัศมีของหม้อบด, ฟุต}$$

สำหรับหม้อบดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 39 นิ้ว และ 44 นิ้ว ควรใช้ความเร็วประมาณ 64% ของความเร็ววิกฤต

ขั้นตอนในการบด

เพื่อให้การบดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดเวลาที่ใช้ในการบด ควรบดวัตถุดิบที่มีความแข็งและหยาบก่อน วัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ frit, flint, color oxide เป็นต้น และเพื่อป้องกันการจับตัวกัน ควรเติมดินในส่วนผสมเข้าไปบดในเวลาเดียวกันด้วย ใช้น้ำประมาณ 10 – 30% ของน้ำหนักวัตถุดิบในหม้อบด เมื่อได้ความละเอียดหรือบดครบชั่วโมงตามที่กำหนดไว้ จึงใส่วัตถุดิบส่วนที่เหลือซึ่งมีความแข็งน้อยและค่อนข้างละเอียดลงไป เวลาที่ใช้ในการบดแต่ละครั้งต้องนานพอที่จะทำให้เกิดการบดอย่างสมบูรณ์

ขนาดและจำนวนลูกบด (Size and charge of ball)

จากการใช้ลูกบดขนาด 1½ นิ้ว และ 3 นิ้ว ทำการบด frit ชนิดเดียวกัน พบว่าการใช้ลูกบดขนาด 1½ นิ้ว ใช้เวลาในการบดน้อยกว่าลูกบดขนาด 3 นิ้ว ถึง 67% โดยที่มี frit ที่ยังบดไม่ละเอียดเหลืออยู่เท่า ๆ กัน ประมาณ 1 – 2% ทั้ง 2 ตัวอย่าง

จำนวนลูกบดที่ทำให้การบดมีประสิทธิภาพ จะใช้ประมาณ 55 – 62.5% ของปริมาตรของหม้อบด

ปริมาณน้ำที่ใช้ (Water content)

ไม่สามารถกำหนดปริมาณที่แน่นอนได้ ต้องแปรไปตามวัตถุดิบของส่วนผสม ทั้งนี้ต้องคำนึงว่าจะทำให้การบดมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการบดน้อยที่สุด

เมื่อผ่านขบวนการบดแล้ว น้ำเคลือบจะต้องมีความละเอียดจนสามารถร่อนผ่านแร้งขนาด 200 เมช ได้โดยไม่มีกากค้างบนแร้ง

การควบคุมน้ำเคลือบ

น้ำเคลือบที่ดีควรมีความข้นใสพอเหมาะคือ มีปริมาณของส่วนผสมและน้ำที่ไม่มากหรือน้อยเกินไป ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อควบคุมปริมาณของส่วนผสมและน้ำให้มีค่าตามที่กำหนดไว้ มีหน่วยวัดคือ Baume (โบเม) เคลือบส่วนใหญ่จะกำหนดให้มีความข้นใสประมาณ 40° หรืออาจใช้การวัด flow rate โดยจับเวลาที่น้ำเคลือบจำนวน 100 ml. ไหลผ่านเครื่องมือสำหรับหา flow rate

การนำเคลือบไปใช้ (Application)

1. วิธีทาด้วยแปรงหรือพู่กัน (Painting) เป็นวิธีเก่าแก่ แต่ก็ยังใช้กันอยู่ในหมู่นักศิลปสมัยโบราณ นักแกะสลักและนักศิลปกรรมสมัยใหม่ที่ต้องการลักษณะเฉพาะหรือต้องการเทคนิคพิเศษ แปรงที่ใช้ควรมีขนยาวนุ่ม จะช่วยอมน้ำได้มาก ควรทาไปทางหนึ่งทางใด และไม่ควรทาน้ำเคลือบซ้ำ ๆ กันหลายหน

2. วิธีเทราด (Pouring) วิธีนี้เป็นวิธีเก่าที่ใช้กับพวกกระเบื้องโดยวางกระเบื้องลงในถาดตื้น ๆ และเทน้ำเคลือบราดลงบนแผ่นกระเบื้องแล้วนำมาตักแต่งขอบที่ละเอียด วิธีนี้ช้าและสิ้นเปลืองมาก ปัจจุบันการเคลือบกระเบื้องทำโดยให้แผ่นกระเบื้องอยู่บนสายพานแล้วปล่อยน้ำเคลือบไหลตกลงบนแผ่นกระเบื้อง พร้อมกับมีเครื่องมือตัดขอบกระเบื้องทั้ง 4 โดยอัตโนมัติ วิธีเทราดนี้นิยมใช้เคลือบผิวด้านในของผลิตภัณฑ์ใหญ่ ๆ เช่น โอ่งราชบุรี และเหมาะสำหรับน้ำเคลือบที่มีปริมาณน้อย

3. วิธีการจุ่ม (Dipping) วิธีนี้นิยมกันมาก เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างที่สามารถใช้มือจับถนัด และมีน้ำเคลือบปริมาณมากพอที่จะจุ่มผลิตภัณฑ์ได้ทั้งใบ วิธีนี้ต้องอาศัยความชำนาญในการกะระยะเวลาวัดว่าจะจุ่มนานแค่ไหน น้ำเคลือบขึ้นไปหรือไล่ไป ผลิตภัณฑ์ผ่านการเผาไหม้หรือไม่ ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ความหนาบางของผลิตภัณฑ์

4. วิธีการพ่น (Spraying) วิธีนี้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ หลักการทำงานของวิธีนี้คือ ทำให้น้ำเคลือบแตกกระจายพ่นออกมาเป็นฝอย และปล่อยให้ฝอยเคลือบตกลงบนผลิตภัณฑ์ เครื่องมือที่ใช้

ในการพ่นประกอบด้วย ตัวพ่น (spray gun) กระบอกใส่เคลือบ (a reservoir for glaze slip) ตู้พ่น (spray booth) ที่วางของที่จะพ่น นิยมพ่นในตู้พ่นเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเคลือบ ซึ่งจะมีพัดลมดูดให้ละอองของเคลือบไปรวมกันด้านหลัง

ผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้วิธีพ่น ได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ อ่างล้างหน้า หรือพวกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบแบบพิเศษ

เคลือบชนิดต่างๆ

เคลือบทึบ (Opaque Glaze)

เคลือบทึบ หมายถึง เคลือบที่มีคุณสมบัติยอมให้แสงส่องผ่านเคลือบได้น้อยหรือไม่ได้เลย เราสามารถใช้เคลือบทึบช่วยปิดบังเนื้อผลิตภัณฑ์ในกรณีเนื้อ body ไม่ขาว หรือไม่ต้องการให้เห็นสีของเนื้อ body

เคลือบทึบเกิดจากสารประกอบบางตัวที่ไม่ละลายในน้ำเคลือบ หรืออาจเกิดจากการตกผลึกเล็กๆ ออกจากเคลือบที่หลังในขณะเคลือบเย็นตัว

เราสามารถเตรียมเคลือบทึบได้โดยการใส่สาร Opacifier (ตัวที่ทำให้ทึบ) ลงในเคลือบใส เช่น เซอร์โคเนียมซิลิเกต (Zirconium silicate : $ZrSiO_4$), ทินออกไซด์ (Tin oxide : SnO_2), ทิทาเนียมออกไซด์ (TiO_2), แก้วกระดุก

ปริมาณที่ใช้ ถ้าเป็น	Tin	จะใช้ 5%	เผาได้ทุกอุณหภูมิและทุกบรรยากาศ
	Titanium	จะใช้ 8 – 12%	เผาได้ทุกอุณหภูมิและทุกบรรยากาศ
	Zirconium	จะใช้ 8 – 12%	เผาได้ทุกอุณหภูมิและทุกบรรยากาศ
	แก้วกระดุก	จะใช้ 3 – 5%	เผาได้ทุกอุณหภูมิและทุกบรรยากาศ

เคลือบด้าน (Matt Glaze)

เคลือบด้าน หมายถึง เคลือบที่มีผิวเรียบแต่ไม่มัน ซึ่งเกิดจากการที่ส่วนผสมยังละลายไม่หมดหรืออนุภาคของส่วนผสมบางตัวกระจายลอยอยู่ในเคลือบ เตรียมได้ด้วยการเติม Alumina หรือ Barium carbonate ลงไปในเคลือบ ที่เราเรียกว่า Alumina matt หรือ Barium matt หรือเคลือบด้านอาจเกิดจากการตกผลึกเล็กๆ ของพวกอะนอร์ทาइट (Anorthite : $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$), ทริไคไมต์ (Tridymite : SiO_2), มัลไลต์ (Mullite : $3 Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$), วอลลาสโตไนต์ (wallastonite : $CaO \cdot SiO_2$) หรือพวกตะกั่วซิลิเกตและสารประกอบอื่นๆ เราอาจเตรียมเคลือบด้านโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง $Al_2O_3 : SiO_2$ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 1 : 3 ถึง 1 : 5 แต่เคลือบด้านที่ดีบางทีอาจมีอัตราส่วนนอกเหนือจากนี้ได้

เคลือบผลึก (Crystalline Glaze)

เคลือบผลึก คือ เคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้น อาจเกิดอยู่ใต้เคลือบหรือบนเคลือบก็ได้ ผลึกนี้เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิของเคลือบภายหลังที่หลอมละลายแล้วให้เย็นลงช้าๆ จะทำให้วัตถุดิบหรือเคมีภัณฑ์ที่ผสมในน้ำยาเคลือบซึ่งมีปริมาณมากเกินไปจนจุดที่อึดตัวนั้นแยกตัวส่วนเกินเป็นผลึกเกิดขึ้น ถ้าไม่ควบคุมการเย็นตัว

ของเคลือบ ปล่อยให้อุณหภูมิเย็นลงอย่างรวดเร็วผลึกก็จะไม่เกิดขึ้น หรืออาจเกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นมีหลายอย่าง อาจเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ คล้ายจุดเล็ก ๆ กระจายอยู่เป็นกลุ่ม หรืออาจเกิดเป็นผลึกรูปเข็มหรือผลึกใหญ่ ๆ ที่สวยงามก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่วัตถุดิบหรือเคมีภัณฑ์ที่ใช้

ตัวอย่าง เคลือบผลึกซิงค์ (Zinc Crystal) ใช้ ZnO เป็นวัตถุดิบในการทำให้เกิดผลึก Zinc Silicate หรือ Willemite ($2 \text{ ZnO} \cdot \text{SiO}_2$) (Porcelain Body)

0.01 KNaO

0.05 CaO

0.15 BaO 0.10 – 0.20 Al_2O_3 1.2 – 2.2 SiO_2

0.10 MgO

0.60 ZnO

ส่วนผสมของน้ำยาเคลือบ

Feldspar	อุทัย	34.7%
ดินขาว	ระนอง	17.4%
Dolomite	กาญจนบุรี	4.4%
MgCO_3		2.8%
BaCO_3		15.4%
ZnO		25.3%

เผาที่อุณหภูมิ 1280°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิ 1150°C ยื่นไปที่อุณหภูมินี้ 2 ชั่วโมง แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวลงต่อไปจะได้รูปผลึกที่สวยงามและถ้าเติมออกไซด์ที่ให้สี (Coloring oxide) ลงไปจะทำให้เกิดผลึกเป็นสีที่สวยงามยิ่งขึ้น

ตัวอย่าง เคลือบใส 1200°C

Feldspar	54.2%
ดินขาว	13.0%
Quartz	8.7%
Limestone	12.2%
ZnO	7.5%
Talc	4.4%

ตัวอย่าง	เคลือบด้าน 1200 ⁰ C
Feldspar	50%
Limestone	11%
ZnO	7%
ดินขาว	12%
Talc	4%
Al ₂ O ₃	16%

เคลือบสี (Colored glaze)

สามารถเตรียมได้โดยใช้ผงเซรามิก(สีอะเดเน) หรือใช้ coloring oxide ลงในส่วนผสมของเคลือบ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO), เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃), โครมิกออกไซด์ (Cr₂O₃), โคบอลต์ออกไซด์ (Co₃O₄), แมงกานีสออกไซด์ (MnO₂) และนิเกิลออกไซด์ (NiO) เป็นต้น

คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)

1. เป็นตัวลดอุณหภูมิสุกตัวของเคลือบที่แรง
2. เพิ่มการไหลตัว และความมันแก่เคลือบ
3. ใส่ปริมาณ 1% ได้สีเขียว
3% ได้สีเขียวเข้มขึ้น
มากกว่า 5% ได้สีเขียวโลหะถึงสีดำ
4. ใช้กับเคลือบอัลคาไลน์สูง ได้สีฟ้า (turquoise blue)
5. ใช้กับเคลือบหินฟอสเฟต เคาแบบรีดักชัน ได้สีแดง (ox – blood red)
6. เคาโค่น 8 ขึ้นไป จะกลายเป็นโอหนีออกจากเคลือบ

เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃)

1. เป็นตัวลดอุณหภูมิสุกตัวของเคลือบ
2. ในเคลือบตะกั่ว จะได้สีเหลือง น้ำตาล น้ำตาลแดง ขึ้นกับปริมาณที่ใช้
3. ในเคลือบอัลคาไลน์ จะได้สีเหลืองน้ำตาล
4. ใช้ในปริมาณ 8% จะได้สีน้ำตาลดำถึงสีดำ
5. ถ้าใช้ปริมาณมาก จะมีแนวโน้มทำให้เกิดผลึกขณะเย็นตัว โดยเฉพาะในเคลือบตะกั่ว
6. เคาแบบรีดักชัน จะได้สีเทา – เขียว (เซลาดอน)
7. ในเคลือบอัลคาไลน์ เคารีดักชันที่อุณหภูมิสูง ถ้ามีปริมาณมากกว่า 10% จะมีสีแดงจนถึงสีแดงน้ำตาล(red brown)

โครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3)

สามารถให้สีต่างๆ ดังนี้

1. สีแดง ชมพู น้ำตาล หรือเขียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเคลือบที่ใช้ อุณหภูมิในการเผา และ ออกไซด์ตัวอื่นที่ผสม.
2. สีเขียว ถ้าใช้กับเคลือบตะกั่วที่มีซิงค์ออกไซด์
3. สีส้มและสีแดง ถ้าใช้กับเคลือบไพต์ที่มีอะลูมินาต่ำ
4. สีเหลือง ถ้าใช้กับเคลือบตะกั่วที่มีโซเดียมออกไซด์
5. สีน้ำตาล ถ้าใช้กับเคลือบทั่วไปที่มีซิงค์ออกไซด์
6. สีชมพู ถ้าใช้กับเคลือบที่มีดีบุกออกไซด์
7. สีเขียวน้ำเงิน ถ้าใช้ร่วมกับโคบอลออกไซด์ ถ้าเผาเกิน 6 โครมิกออกไซด์มีแนวโน้มกลายเป็น ใสไปปนกับเคลือบอื่น

โคบอลออกไซด์ (Co_3O_4)

เป็นตัวให้สีที่แรงที่สุด คือใช้เพียง 0.5 – 1% ก็สามารถให้สีน้ำเงินในเคลือบทุกชนิดและสามารถ ดัดแปลงสีเฉดต่าง ๆ โดยเติมเหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ นิเกิลออกไซด์ หรือโครมิกออกไซด์ เวลาใช้ ต้องบดให้ละเอียดเข้าเป็นเนื้อเดียวกับเคลือบ

แมงกานีสออกไซด์

1. ในเคลือบที่มีอัลคาไลน์สูง ให้สีม่วงแก่
2. ในเคลือบที่มีตะกั่ว ให้สีม่วงอ่อนถึงน้ำตาล และมักทำให้เกิดฟองอากาศ
3. เมื่อใช้ร่วมกับโคบอลต์ออกไซด์ให้สีม่วง

นิเกิลออกไซด์

ผสมในเคลือบปริมาณต่างๆ กันจะให้สีที่แตกต่างกัน

1. ประมาณ 1% ให้สีเทา
2. มากกว่า 1% ให้สีน้ำตาล
3. มากกว่า 3% จะทำให้เคลือบทนไฟและดำ

สีสะท้อน

เป็นสีที่ได้ผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผลึกที่มีโครงสร้างแน่นอน เมื่อนำมาใช้เติมในเคลือบทำให้ ได้สีที่สม่ำเสมอและถูกต้อง ทำให้สะดวกในการใช้งานและควบคุมกระบวนการผลิต

สีสะท้อนมีเลือกใช้ได้หลายประเภทต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องตามชนิดของเคลือบ (สีสะท้อนบางสีต้องใช้ กับเคลือบที่ไม่มีซิงค์ออกไซด์ เช่น สีมารูน สีม่วง สีเขียว) อุณหภูมิที่เผาและบรรยากาศในการเผา

แนวทางการเตรียมเคลือบสี

สี	สารให้สี	%	อุณหภูมิ	บรรยากาศ
สีดำ	Cobalt	1 – 2		
	Manganese	2 – 4	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Cobalt	1		
	Iron	8		
	Manganese	3	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
สีฟ้า	Cobalt	½ - 1	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	turquoise copper (alkaline flux)	3 – 5	Low	Oxidising
	ฟ้า – nickel (with Zinc)	1 – 3	Low	Oxidising
สีน้ำตาล	Chromium(with MgO,ZnO)	2 – 5	Low	ทุกบรรยากาศ
	Iron	3 – 7	ทุกอุณหภูมิ	Oxidising
	Manganese	5	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Nickel(with Zinc)	2 – 4	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
สีเขียว	Copper oxide	1 - 5	ทุกอุณหภูมิ	Oxidising
	Gray – green iron	1 – 4	Low	Reducing
	Nickel – magnesia	3 – 5	Low	Oxidising
สีแดง	Pink – chrome and tin (1 to 18)	5	ทุกอุณหภูมิ	Oxidising
	Coral – Chromium (with high PbO)	5	Low	Oxidising
	Purple – manganese (with KNaO)	4 – 6	ทุกอุณหภูมิ	Oxidising
	Copper	1	ทุกอุณหภูมิ	Reducing
	Iron(high SiO ₂ ,KNaO),CaO	2 – 5	Low	Oxidising
สี tan	Iron	2	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Manganese	2	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
สีเหลือง	Antimony yellow stain (with high PbO)	3 – 5	Low	ทุกบรรยากาศ
	Praseodymium yellow stain	4 – 6	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Zirconium vanadium stain	5 – 10	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Tin vanadium stain	4 – 6	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ

ในการเตรียมเคลือบ สิ่งที่เราควรคำนึงถึงคือ

1. เนื้อดินและเคลือบ ควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวใกล้เคียงกัน มิฉะนั้นจะทำให้เคลือบเกิดการเสียหาย ได้ เช่น เกิด crawling, crazing, shivering
2. ต้องทราบจุดสุกตัวของเนื้อดินเสียก่อน เพื่อที่จะเลือกใช้น้ำยาเคลือบในอุณหภูมิที่ถูกต้อง น้ำยาเคลือบที่ใช้จะต้องมีอุณหภูมิไม่สูงกว่าจุดสุกตัวของเนื้อดิน
3. เนื้อดินที่เผาแล้วไม่ขาว ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีสีขาวสามารถใช้เคลือบทึบ (Opaque glaze) ปิดบังสีของเนื้อดินได้
4. เนื้อดินอาจเติม coloring oxide เพื่อให้เป็นเนื้อดินสีแล้วเคลือบด้วยเคลือบใส

ข้อบกพร่องของเคลือบ (Glaze defects)

1. **การร้าว (Crazing)** เคลือบจะมีลักษณะแตกเป็นร้าวแห เมื่อเผาเสร็จแล้ว

สาเหตุ เคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากกว่าเนื้อดินเมื่อเย็นตัวจะหดตัวมากกว่า จึงทำให้เกิดการร้าวขึ้น

วิธีการแก้ไข

1. แก้ที่ส่วนผสมของเคลือบ โดยลดปริมาณ flux เพิ่มปริมาณ Quartz หรือทราบ
2. แก้ด้วยการยี้มไฟระยะหนึ่ง (soak) $\frac{1}{2}$ หรือ 1 ชั่วโมง
3. เพิ่มอุณหภูมิการเผาโดยไม่ต้อง soak แต่ต้องไม่เกินอุณหภูมิสุกตัวของเคลือบ
4. เผาเคลือบเสร็จแล้วควรทิ้งให้เย็นในเตา ไม่ควรเอาของออกจากเตาขณะที่อุณหภูมิเกิน 100°C . หรือเราอาจแก้ไขที่เนื้อดินโดย
 - เพิ่มปริมาณ Quartz ลดปริมาณดิน
 - เผาเนื้อดินให้สูงขึ้น
 - บด Quartz ให้ละเอียดมากขึ้น

2. **การร่อนตามริมหรือตามขอบ (Shivering)** เคลือบที่เผาได้ไม่ติดตามริมหรือตามขอบของผลิตภัณฑ์

สาเหตุ เคลือบมีความหนืดสูง และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อยกว่า body

วิธีแก้ไข

1. ลดปริมาณ SiO_2 หรือ Quartz และเพิ่มปริมาณ flux
2. เพิ่มจุดสุกตัวของเคลือบโดยลดปริมาณ B_2O_3 และเพิ่มปริมาณ SiO_2

3. **เคลือบไม่ติดบนเนื้อ body (Crawling)**

สาเหตุ

1. มีเหงื่อและน้ำมันเกาะติดอยู่บนผลิตภัณฑ์ที่เผา biscuit
2. น้ำมันจากเตาเผาหรือน้ำมันจากภายในโรงงาน กระเด็นมาติด

3. ปริมาณของ SiO_2 ในเคลือบมากเกินไป
4. ชุบเคลือบหนาเกินไป
5. บदनํ้ายาเคลือบละเอียดเกินไป
6. ปริมาณดินในเคลือบมากเกินไป ทำให้เคลือบหดตัวมาก
7. การใช้วัตถุดิบบางตัว เช่น ZnO , MgCO_3 จะทำให้เคลือบหดตัวมาก
8. มีเกลือละลายน้ำอยู่ที่ผิวของชิ้นงานระหว่างอบแห้ง ทำให้เกิดเคลือบไม่ติด หรือติดไม่ดี
9. ชุบเคลือบติดกับชิ้นงานไม่ดี

วิธีแก้ไข

1. ก่อนทำการชุบเคลือบจะต้องปิดฝุ่นละอองออกให้หมด
2. เช็ดหรือขัดของที่เผาอบให้สะอาดปราศจากไขมันหรือนํ้ามัน
3. ลดปริมาณ SiO_2 และเพิ่มปริมาณ flux ในนํ้ายาเคลือบ
4. อย่าชุบเคลือบหนาจนเกินไป
5. อย่าบदनํ้ายาเคลือบละเอียดเกินไป
6. ลดปริมาณดินที่ใช้ในนํ้ายาเคลือบ
7. ควรเผาคัลไซต์วัตถุดิบที่มีการหดตัวมาก เช่น ZnO ก่อนนำมาใช้งาน
8. ให้ใส่ BaCO_3 ในเนื้อดิน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเกลือละลายน้ำขึ้นมาที่ผิวของชิ้นงาน
9. เติมพวกกาวยา หรือ gum arabic ลงในนํ้ายาเคลือบ เพื่อให้เคลือบติดกับเนื้อดินได้ดีขึ้น

4. **เคลือบเป็นรูเข็ม (Pin hole)** เคลือบมีลักษณะเป็นรูบนผิวหน้าพรุนอยู่ทั่วไป เล็กขนาดเท่ารูเข็ม

สาเหตุ อินทรีย์สารหรือคาร์บอน (Carbon) ที่มีอยู่ในเนื้อดินมีปริมาณมาก เมื่อเผาอินทรีย์สารก็จะถูกเผาไหม้ไปทำให้เกิดเป็นรูเข็ม หรืออาจเนื่องจากเนื้อดินมีฟองอากาศมาก

วิธีแก้ไข

1. เพิ่มอุณหภูมิการเผา แต่ต้องไม่ให้เกินอุณหภูมิสุกตัวของเคลือบ
2. เมื่อเผาเคลือบสุกตัวแล้ว ควรเย็นไฟไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้ฟองอากาศออกหมด
3. อย่าใช้เคลือบที่มีความหนืดสูงมากเพราะจะทำให้ฟองอากาศหรือก๊าซต่าง ๆ หนีออกยาก

5. **เคลือบขาดความเป็นมัน (Loss of glaze)**

สาเหตุ

1. เผาเคลือบไม่ถึงจุดสุกตัว (underfiring)
2. ส่วนผสมของนํ้ายาเคลือบบางชนิดระเหยง่าย เช่น Borax, ตะกั่ว

วิธีแก้ไข

1. เผาให้สูงขึ้น
2. การเตรียมเคลือบให้ระมัดระวังการผสมนํ้า จะต้องให้พอดีเหมาะแก่การเคลือบ

6. เคลือบไหลตัว (Glaze running)

สาเหตุ

1. ชุบเคลือบหนาไป
2. เผาเคลือบเกินจุดสุกตัว (Overfiring)
3. ส่วนผสมของเคลือบ มีปริมาณดินน้อยเกินไป

วิธีแก้ไข

1. อย่าชุบเคลือบหนาเกินไป
2. ลดอุณหภูมิการเผาเคลือบลงมา อย่าให้เกินจุดสุกตัว
3. เพิ่มปริมาณดินในเคลือบ

7. เคลือบพอง (Blistering)

สาเหตุ

1. พบก๊าซต่าง ๆ ที่หนีออกมาจากชั้นของเนื้อดินระหว่างการเผาเคลือบ
2. พบก๊าซต่าง ๆ ที่หนีออกมาจากเคลือบเองในระหว่างการเผา

วิธีแก้ไข

1. เผาดิบให้สูงขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้เนื้อดิน มีความพรุนตัวน้อยลง
2. ในการเผาเคลือบ เมื่อถึงจุดสุกตัวแล้ว จะต้องเย็นไฟไว้ $\sim 1/2$ ชั่วโมง เพื่อให้ก๊าซต่างๆ หนีออกไปได้หมด

8. การตกผลึกเล็ก ๆ (Devitrification)

สาเหตุ

1. การเย็นตัวในเตาช้า
2. มี free SiO_2 มากเกินไป
3. มีปริมาณดินสูงเกินไป

วิธีแก้ไข

1. ทำให้เตาเย็นตัวเร็วขึ้น
2. ลดปริมาณ free SiO_2 ลง
3. ลดปริมาณดินลง

เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เผาครั้งเดียว (Glazes for One – firing)

การเผาผลิตภัณฑ์เผาครั้งเดียว (One – firing) มีข้อดีคือ

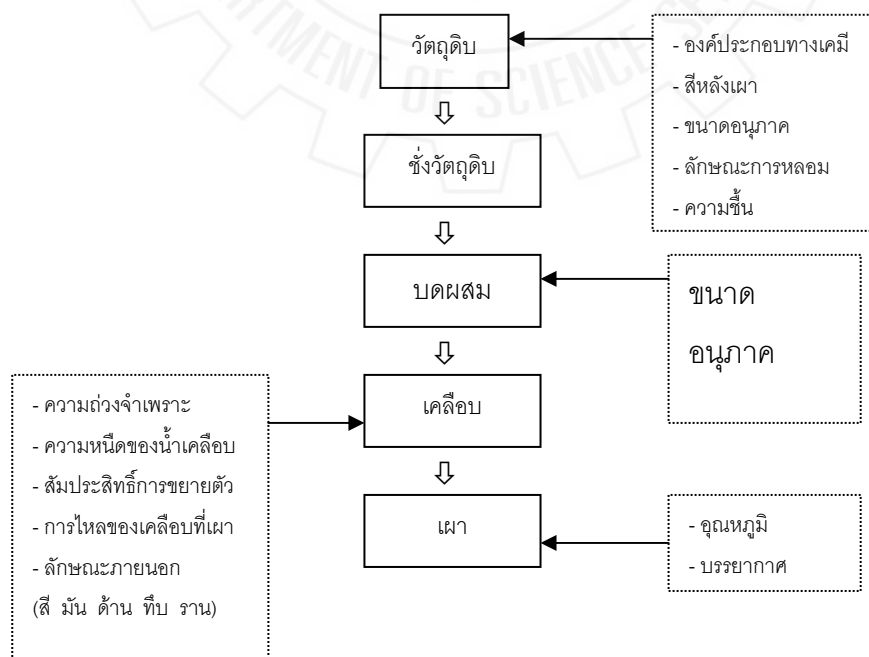
1. สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการเผา
2. ประหยัดแรงงานสำหรับการเอาของเข้าออกเตาเผา ถึงแม้การเผาครั้งเดียวจะประหยัดพลังงานและแรงงานแต่ก็ไม่นิยม เนื่องจาก
 - 2.1 การขนย้ายทำได้ยาก ต้องระมัดระวังมาก
 - 2.2 เคลือบที่ใช้สำหรับการเผาครั้งเดียวจะต้องแน่ใจว่าติดดีกับเนื้อดินและหดตัวใกล้เคียงกับเนื้อดิน ดังนั้นเคลือบจะต้องมีปริมาณดินมากกว่าเคลือบที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เผา 2 ครั้ง
 - 2.3 ผลิตภัณฑ์ที่เผาครั้งเดียว ผิวเคลือบมักมีตำหนิ เช่น เคลือบล่อน (crawling), รูพรุน (pin holes), ผิวเปลือกส้ม (orange epeel) ฯลฯ

ข้อแนะนำสำหรับผลิตภัณฑ์เผาครั้งเดียว

1. เนื้อดินที่ใช้ควรมีปริมาณของกร็อก (grog) ไม่เกิน 10% และมีดินเหนียวไม่น้อยกว่า 20%
2. เคลือบที่ใช้ควรมีดินไม่น้อยกว่า 20%
3. เตรียมเคลือบให้น้ำน้อยเท่าที่ทำได้ โดยใช้สารช่วยกระจายลอยตัว (deflocculant) เช่น Na_2SiO_3 แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้เคลือบเป็นเจล
4. อย่าเคลือบชั้นงานหนาเกินไปจะทำให้เคลือบหลุดออกมาได้
5. ควรใช้กาบ เช่น CMC เพื่อช่วยให้เคลือบยึดติดกับผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น

การทดสอบเคลือบ

เพื่อให้เคลือบที่เตรียมมีสมบัติและลักษณะสม่ำเสมอ เช่น ความสุกตัว สี ความมัน/ด้าน ความทึบ/ใส การควบคุมและการทดสอบเคลือบในขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็น ดังตัวอย่างขั้นตอนการเตรียมและการทดสอบเคลือบ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการเตรียมและการทดสอบเคลือบ

1. องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำเคลือบเป็นสิ่งสำคัญต่อสมบัติของเคลือบ เช่น ความสูงตัว การเกิดสี เป็นต้น การวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบต้องใช้ความรู้และความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านการส่งตัวอย่างวัตถุดิบแก่หน่วยงานที่มีบริการทางด้านนี้มีราคาค่าค่อนข้างแพง จึงอาจลดความถี่ในการตรวจสอบองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแหล่งวัตถุดิบหรือเมื่อมีข้อสงสัยโดยเฉพาะในวัตถุดิบที่มีการแปรปรวนสูง

การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุดิบที่เป็นผลจากองค์ประกอบเคมีเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ผู้ผลิตสามารถใช้ในการตรวจสอบสมบัติวัตถุดิบ เช่น ความสามารถในการดูดซึมน้ำ การดูลักษณะการหลอม เป็นต้น

2. ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

มักใช้กับวัตถุดิบประเภทดิน แสดงถึงความทนไฟของวัตถุดิบ ตัวอย่างที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำต่ำมักมีขนาดอนุภาคเล็ก หรือมีองค์ประกอบเคมีของสารช่วยลดอุณหภูมิ (flux) สูงกว่าตัวอย่างที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง

2.1 วัสดุที่ใช้

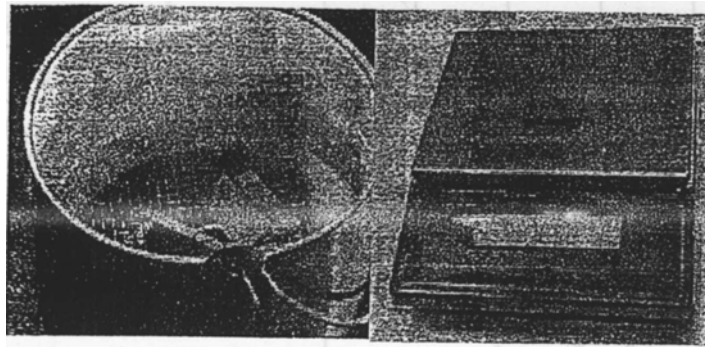
- แบบสำหรับอัดตัวอย่าง
- เครื่องชั่ง
- หม้อต้ม
- ผ้าฝ้าย

2.2 วิธีทดสอบ

- นวดตัวอย่างให้เนื้อเข้ากันดี
- อัดตัวอย่างในแบบ ถอดแบบ ทิ้งตัวอย่างให้แห้ง (ควรเตรียมอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง)
- เผาตัวอย่าง (ควรมีการตรวจสอบอุณหภูมิที่เผาตัวอย่าง ให้ได้ตามที่กำหนด)
- ทำหมายเลขบนตัวอย่าง
- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เผาแล้ว (D)
- นำตัวอย่างที่เผาแล้วมาต้มในน้ำเดือด (ตัวอย่างจมอยู่ในน้ำและไม่สัมผัสกับก้นภาชนะ) 5 ชั่วโมง แล้วย้ายตัวอย่างค้างไว้ 1 คืน (อย่างน้อย 24 ชั่วโมง)
- นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำมาเช็ดหยดน้ำที่เกาะผิวด้วยผ้าชื้นและชั่งทันที (W)

2.3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = (W - D) / D * 100$$



3. สีหลังเผาหรือลักษณะภายนอก

ตรวจสอบสีของตัวอย่างวัตถุดิบหลังเผา เนื่องจากสารบางตัวเกิดสีหลังเผา เช่น เหล็กออกไซด์ในดินหรือแร่ฟันม้า หลังเผามีสีน้ำตาล หรือตรวจสอบลักษณะของเคลือบหลังเผาด้วยตาเปล่า ด้านสี ความมัน ลักษณะผิว ฯลฯ

4. ลักษณะการหลอม

มักใช้กับวัตถุดิบประเภท flux เช่น แร่ฟันม้า ดูการเสียรูปหลังเผาซึ่งจะสัมพันธ์กับการใช้วัตถุดิบในการช่วยหลอมและเพิ่มการไหลตัวของเคลือบ

4.1 วัสดุที่ใช้

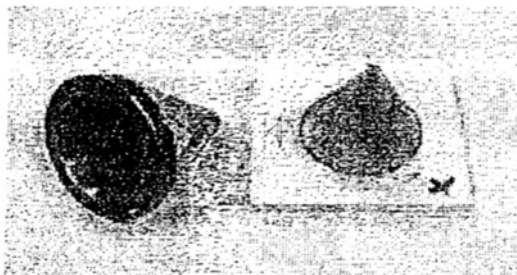
- โกร่ง
- แบบสำหรับอัดตัวอย่าง
- ตะแกรงขนาด 65 และ 170 เมช
- วัตถุดิบมาตรฐาน เช่นกรณีทดสอบการหลอมของซีเมนต์ตัวอย่าง อาจใช้ดินเลนมาตรฐานเป็นตัวผสม โดยใช้อัตราส่วนที่กำหนด

4.2 วิธีการทดสอบ

- นำตัวอย่างมาบดให้ผ่านตะแกรงขนาด 65 เมช
- นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาด 65 เมช มาบดต่อจนตัวอย่างค้ำบนตะแกรงขนาด 170 เมช ร้อยละ 50-60
- นำตัวอย่างมาผสมกันในโกร่งให้เข้าเป็นเนื้อเดียว
- อัดตัวอย่างไปแบบ และถอดแบบ (อาจต้องผสมน้ำและกาวอินทรีย์เพื่อช่วยในการอัด)
- เผาตัวอย่างบนแผ่นรอง (ควรมีการตรวจสอบอุณหภูมิที่เผาตัวอย่างให้ได้ตามที่กำหนด)

4.3 การดูลักษณะการหลอม

นำตัวอย่างที่เผาแล้วมาเทียบกับตัวอย่างที่กำหนดเป็นมาตรฐาน



5. ขนาดอนุภาค

ขนาดอนุภาคตั้งต้นของวัตถุดิบมีผลต่อชั่วโมงการบดเคลือบหรือการสุกตัวของเคลือบ การตรวจสอบขนาดอนุภาคทำได้หลายวิธี เช่น การวัดขนาดด้วยตะแกรง การวัดโดยเครื่อง Sedigraph การวัดโดย hydrometer เป็นต้น โดยแต่ละวิธีอาจมีข้อจำกัดแตกต่างกัน การวัดขนาดด้วยตะแกรงเหมาะสำหรับอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างหยาบ อาจใช้ในการตรวจสอบขนาดของเคลือบที่บดอย่างคร่าว ๆ สามารถทำได้รวดเร็วและราคาถูก การทดสอบขนาดด้วยตะแกรงที่กล่าวในที่นี่เป็นวิธีการหาการกระจายขนาดอนุภาคด้วยการหาอนุภาคค้างตะแกรง

5.1 วัสดุที่ใช้

- ตะแกรงขนาดต่าง ๆ เช่น 40, 80, 200 เมช
- เครื่องชั่ง

5.2 วิธีการทดสอบ

- ชั่งน้ำหนักตะแกรงแห้ง (S)
- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (U) เช่น 100 กรัม
- ร่อนตัวอย่างบนตะแกรง โดยใช้น้ำล้างให้อนุภาคขนาดเล็กกรองผ่านตะแกรงจนน้ำล้างใสสะอาด
- อบตะแกรงพร้อมอนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงให้แห้ง
- ชั่งน้ำหนักตะแกรงพร้อมอนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรง (S+V)

5.3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณอนุภาคค้างตะแกรง, ร้อยละ} = ((S+V)-S)U*100$$



6. ความชื้น

ควรทดสอบความชื้นของวัสดุที่ใช้ก่อนซัง เนื่องจากความชื้นในวัสดุอาจทำให้ส่วนผสมของเคลือบเปลี่ยนแปลงได้ การวัดความชื้นทำได้โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักวัสดุีก่อนและหลังการอบแห้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักวัสดุที่จะต้องซังเพื่อเข้าสู่กระบวนการเตรียมเคลือบ

6.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- เครื่องซัง
- ถ้วยรองตัวอย่าง
- ตู้อบ

6.2 วิธีการทดสอบ

- สุ่มวัสดุ
- ซังน้ำหนักถ้วยรองตัวอย่าง (A)
- ซังน้ำหนักถ้วยรองตัวอย่างและวัสดุ (A+B)
- อบวัสดุให้แห้งหรือมีน้ำหนักคงที่
- ซังน้ำหนักถ้วยรองตัวอย่างและวัสดุที่แห้ง (A+C)

6.3 การคำนวณ

$$\text{ความชื้นในวัสดุ, ร้อยละ} = ((A+B)-A)-((A+C)-A)/((A+B)-A)*100$$

7 ความถ่วงจำเพาะ

เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำในเคลือบ ซึ่งจะมีผลต่อความหนืดและความหนาของเคลือบ ความหนาของเคลือบส่งผลถึงต้นทุนและตำหนิในเคลือบ การควบคุมความหนาของเคลือบโดยการควบคุมความถ่วงจำเพาะและความหนืดของเคลือบจึงเป็นสิ่งสำคัญ วิธีการทดสอบความถ่วงจำเพาะ คือ

7.1 วัสดุที่ใช้

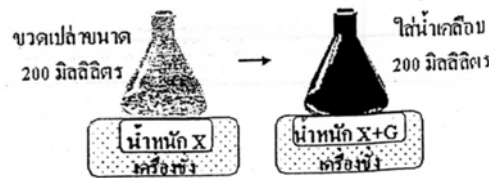
- ขวดเปล่า
- เครื่องซัง
- น้ำ

7.2 วิธีการทดสอบ

- ซังน้ำหนักขวดเปล่า (X)
- ซังน้ำหนักขวดเปล่าเติมน้ำเต็มหรือเติมน้ำในปริมาตรที่กำหนด เช่น 200 มิลลิลิตร (X+H)
- ซังน้ำหนักขวดเปล่าเติมน้ำเคลือบเต็มหรือเติมน้ำเคลือบในปริมาตรที่กำหนด เช่น 200 มิลลิลิตร (X+G)

7.3 วิธีการคำนวณ

- ปริมาตรขวด = $(X+H)-X$
- น้ำหนักเคลือบ = $(X+G)-X$
- ถ่วงจำเพาะเคลือบ = $((X+G)-X)/((X+H)-X)$



8. ความหนืดของน้ำเคลือบ

ความหนืดของน้ำเคลือบจะสัมพันธ์กับความหนาของเคลือบเช่นกัน วิธีการทดสอบความหนืดของเคลือบมีหลายวิธีเช่น การวัดอัตราในการไหลของน้ำเคลือบ การวัดโดยเครื่อง Brookfield เป็นต้น การวัดอัตราในการไหลแม้มีข้อจำกัดสูงแต่ผู้ผลิตสามารถทำได้โดยราคาถูก วิธีการวัดง่าย คือการจับเวลาการไหลของน้ำเคลือบที่ทราบปริมาตร เวลาในการไหลนานแสดงว่าน้ำเคลือบมีความหนืดสูง

8.1 วัสดุที่ใช้

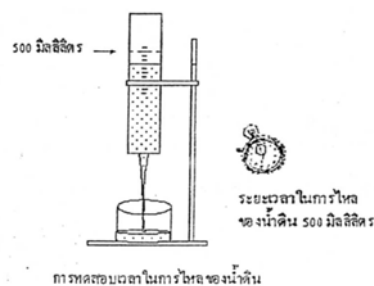
- อุปกรณ์วัดอัตราการไหล
- ถ้วยตวง
- นาฬิกา
- กระบอกตวง
- เครื่องปั่น

8.2 วิธีทดสอบ

- ตวงน้ำเคลือบให้ได้ปริมาตรตามที่กำหนด
- เข้าเครื่องปั่น 5 นาที (ระวังไม่ให้เกิดฟอง)
- เทน้ำเคลือบในอุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุดรูทางน้ำออก
- เปิดรูทางน้ำออก จับเวลาที่น้ำเคลือบไหลออกจนหมด

8.3 ผลการทดสอบ

เวลาในการไหลของน้ำเคลือบนานแสดงว่าน้ำเคลือบมีความหนืดสูง



9. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบ

การขยายตัวของเคลือบและเนื้อดินมีความสำคัญ การที่เคลือบมีการขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดินเคลือบอยู่ในสภาพแรงอัดและหากแรงอัดสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการร้าวของเคลือบ หากเคลือบขยายตัวสูงกว่าเนื้อดินเคลือบอยู่ภายในสภาพแรงดึงและอาจร้าวได้ การปรับให้เคลือบและเนื้อดินมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่เหมาะสมกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยทั่วไปนิยมใช้เคลือบที่อยู่ในสภาพแรงอัดเนื่องจากมีความแข็งแรงสูงกว่าและช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการขยายตัวของเนื้อดินเมื่อมีการดูดความชื้นย้อนกลับ วิธีการวัดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบอาจใช้เครื่อง Dilatometer ซึ่งมีราคาแพง การทดสอบโดย Ring Test ทำได้ง่ายและราคาถูก คือ

9.1 วัสดุที่ใช้

- เนื้อดินหรือน้ำดิน
- แบบปูนปลาสเตอร์กรณีขึ้นรูปด้วยการหล่อ
- เครื่องตัด
- คาลิเปอร์

9.2 วิธีการทดสอบ

- ขึ้นรูปเนื้อดินเป็นรูปวงแหวนให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว
- เคลือบด้านนอกของวงแหวนและเผา
- กำหนดจุด 2 จุดบนวงแหวนวัดระยะห่างระหว่างจุดทั้งสอง
- ตัดระหว่างจุดที่กำหนดทั้งสอง
- วัดระยะห่างระหว่างจุดที่กำหนดอีกครั้ง

9.3 ผลการทดสอบ

หากระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองลดลงแสดงว่าเคลือบอยู่ภายใต้แรงอัด หากระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพิ่มขึ้นแสดงว่าเคลือบอยู่ภายใต้แรงดึง



10. การไหลของเคลือบ

การไหลของเคลือบสัมพันธ์กับอุณหภูมิการหลอมและความหนืดของเคลือบขณะหลอมเป็นเนื้อแก้ว

10.1 วัสดุที่ใช้

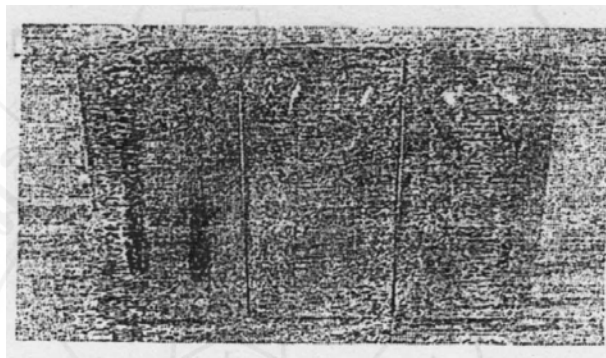
- แท่นรองที่ลาดเอียง (ทำจากเนื้อดิน)
- เครื่องชั่ง

10.2 วิธีทดสอบ

- ชั่งเคลือบแห้ง
- นำเคลือบแห้งดิบมาขึ้นรูปเป็นเม็ด
- วางเคลือบบนแผ่นรองที่ลาดเอียง
- เผาตัวอย่าง
- วัดระยะเพื่อเปรียบเทียบระยะที่เคลือบไหล (ควรใช้เคลือบมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบทุกครั้ง)

10.3 ผลการทดสอบ

เคลือบที่มีระยะการไหลยาวแสดงว่าเคลือบสามารถไหลและไหลได้ดีกว่าเคลือบที่มีระยะการไหลสั้น



11. การวัดอุณหภูมิการเผา

อุณหภูมิการเผาเคลือบสามารถวัดโดยใช้คอนหรือการใช้ thermocouple ในที่นี้จะกล่าวถึงการวัดอุณหภูมิด้วยคอนดังนี้

11.1 วัสดุที่ใช้

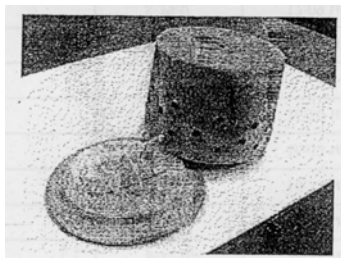
- พิธีอิโคน เช่น เบอร์ 1 (1160°C) เบอร์ 4 (1190°C) เบอร์ 5 (1205°C) เบอร์ 6 (1230°C)
- วัสดุทนไฟ เช่น ดินผสมอะลูมินา

11.2 วิธีการทดสอบ

- เลือกโคนเบอร์ที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการเผา และเบอร์ข้างเคียงมากและน้อยกว่าอย่างละหนึ่ง
- ตั้งโคนมาตรฐานบนแท่นที่ทำด้วยวัสดุทนไฟ โดยปักโคนบนแท่นให้เหลือความสูงประมาณ 24 มิลลิเมตร และด้านที่โคนจะโค้งจะทำมุมกับแนวราบประมาณ 82° องศา
- วางโคนที่ปักแล้วในตำแหน่งต่าง ๆ ของเตา

11.3 วิธีการดูอุณหภูมิ

ดูอุณหภูมิของเตาจากเบอร์ของโคนที่เผาแล้ว เลือกอ่านเบอร์ของโคนที่หลอมตัวและละลาย โคนโค้งลงมาแตะแป้นหรือฐานที่โคนตั้งอยู่

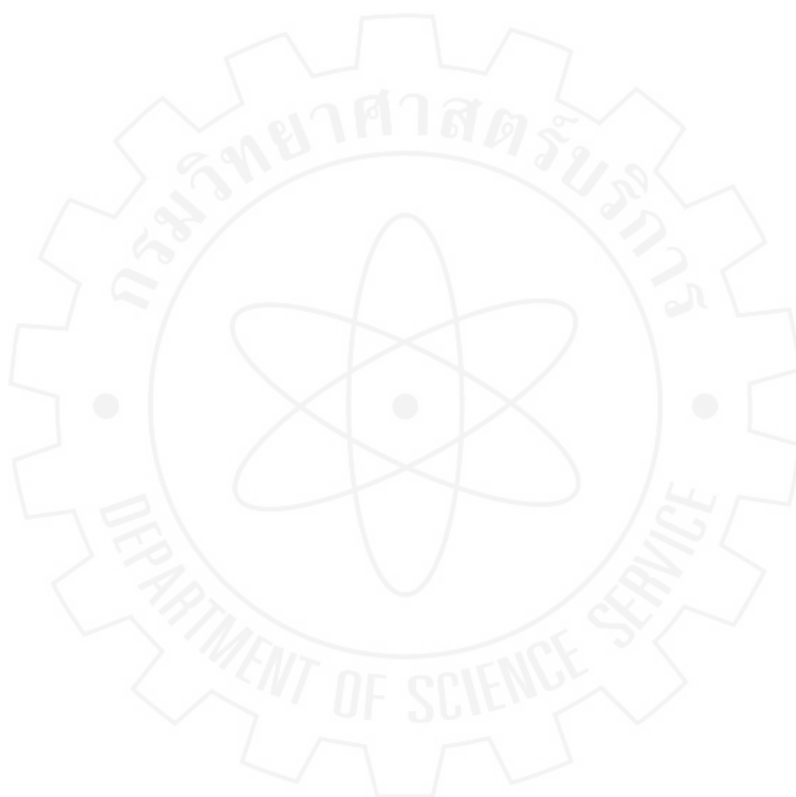


สูตรเคลือบ

ส่วนผสม	LM32	LZ17RL	M12R13	W31	GLa	GM10
แร่ฟันม้า	32.22	37.61	30	35.2	28	46.9
แบเรียมคาร์บอเนต	11.42	-	-	-	-	-
หินปูน	14.56	16.51	22.5	13.6	20	20.3
ทัลคัม (คัลไซน์)	3.73	-	-	4.8	-	-
ดิน	14.51	13.76	15	11.1	15	22.4
ควอร์ตซ์	23.66	23.85	22.5	28.5	32	10.4
ฟрит	10 (XM133)	-	-	-	30 (PN5520)	-
เบนโตไนต์	5	5	-	-	-	-
ซิงค์ออกไซด์ (คัลไซน์)	-	8.25	10	6.8	5	-
อุณหภูมิเผา, °ซ.	1180	1180	1180	1200	1060	1200
ลักษณะ	มัน / ไส	มัน / ไส	มัน / ไส	มัน / ไส	มัน / ไส	ด้าน

เอกสารอ้างอิง

1. Robin Hopper, The Ceramic Spectrum, A Simplified Approach to Glaze & Color Development, 2nd ed., Krause publications 2001.
2. Richard A.Eppler and Douglas R.Eppler, Glazes and Glass Coatings, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 2000.
3. Singer, F. and Singer, S.S, Industrial Ceramics, London, Chapman and Hall, 1979.
4. Parmelee, Cullen W., Ceramic Glaze, Boston, Massachusetts:Cahners Book Company, Inc. 1973.
5. Richard Behrens, Ceramic Glazemaking, aCM handbook, Professional Publications, Inc.



ภาคผนวก ก
การคำนวณเคลือบ

1. คำนวณจาก ไปเป็นส่วนผสม สูตรเคมี (empirical formular) วัตถุดิบ (batch composition)
2. คำนวณจากส่วนผสมวัตถุดิบ ไปเป็นสูตรเคมี (empirical formular)

สูตรเคมีจะแบ่งวัตถุดิบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ด่าง (basic oxide) กลาง (amphoteric oxide) และ กรด (acidic oxide)



ด่าง

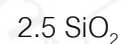
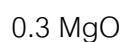


กลาง



กรด

ตัวอย่างเช่น



การคำนวณจากสูตรเคมีไปเป็นส่วนผสมวัตถุดิบจะต้องทำให้ผลรวมของกลุ่มต่าง เท่ากับ 1



ด่าง



กลาง



กรด

ออกไซด์ที่อยู่ในกลุ่มด่าง	ออกไซด์ที่อยู่ในกลุ่มกลาง	ออกไซด์ที่อยู่ในกลุ่มกรด
Li_2O, Na_2O, K_2O	Al_2O_3, B_2O_3	SiO_2
MgO, CaO, BaO	Fe_2O_3, Cr_2O_3	SnO_2
SrO, PbO, ZnO		ZrO_2
FeO, MnO, CdO		TiO_2
CuO, NiO, CoO		

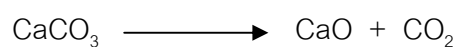
วัตถุดิบที่ใช้แทนออกไซด์

Na ₂ O	แร่ฟันม้า (Soda feldspar) , โซดาแอช (Na ₂ CO ₃) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) , บอแรกซ์ (Borax) , เนเฟลีนไซด์ไนท์ (nepheline Syenite)
K ₂ O	แร่ฟันม้า (Potash feldspar) , โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K ₂ CO ₃) เนเฟลีนไซด์ไนท์ (nepheline syenite)
CaO	ไวตติ้ง (Whiting) , หินปูน (limestone) , วอลลาสโตไนท์ (Wollastonite:CaSiO ₃) โดโลไมต์ (Dotomite:CaCO ₃ .MgCO ₃)
MgO	แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbonate : MgCO ₃) โดโลไมต์ (dolomite:CaCO ₃ .MgCO ₃) , ทัลก์ (talc :3MgO.4 SiO ₂ -H ₂ O)
ZnO	ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide : 2nO)
BaO	แบเรียมคาร์บอเนต (Barium carbonate : BaCO ₃)
PbO	ตะกั่วแดง (red lead : Pb ₃ O ₄) , ตะกั่วขาว (white lead) ตะกั่วซิลิเกต (lead silicate)
Al ₂ O ₃	แร่ฟันม้า (feldspar) , ดินขาว (clay) , อะลูมินา (alumina)
SiO ₂	แร่ฟันม้า (feldspar) , ดินขาว (clay) , ฟลินต์ (flint) , ฟริต (frit)
B ₂ O ₃	บอแรกซ์ (Borax) , กรดบอริก (Boric acid) , ฟริต (frit)

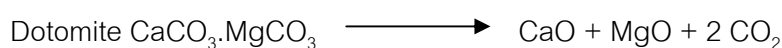
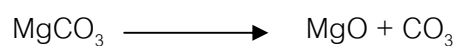
สูตรเคมีของวัตถุดิบบางตัว

Feldspar	K ₂ O . Al ₂ O ₃ . 6 SiO ₂ Na ₂ O . Al ₂ O ₃ . 6 SiO ₂
Clay	Al ₂ O ₃ . 2 SiO ₂ . 2 H ₂ O
Calcined Clay	Al ₂ O ₃ . 2 SiO ₂

Calcium carbonate



Magnesium carbonate



ขั้นตอนในการคำนวณจาก สูตรเคมีไปเป็นส่วนผสมวัตถุดิบ

1. เขียน ออกไซด์ (ต่าง กลาง กรด) เรียงจากซ้ายไปขวา แล้วใส่จำนวน โมล ไว้ข้างใต้

2. แทน ออกไซด์ ด้วยวัตถุดิบ

หลัก 1. เลือกวัตถุดิบไม่ละลายน้ำ

2. ให้ออกไซด์ มากกว่า 1 ตัว

CaO และ MgO ให้ใช้ Dolomite

3. Al_2O_3 ให้ใช้ feldspar และดิน

4. SiO_2 ให้ใช้ feldspar และดินที่เหลือ ใช้ Quartz

3. นำจำนวนโมล ที่ต้องใช้ของวัตถุดิบ X น้ำหนักโมเลกุลจะเท่ากับน้ำหนักวัตถุดิบจากนั้นทำให้เป็นร้อยละ

ตัวอย่างที่ 1

0.3 K_2O

0.5 CaO

0.4 Al_2O_3

4.0 SiO_2

0.2 ZnO

ขั้นที่ 1

	K_2O	CaO	ZnO	Al_2O_3	SiO_2
ขั้นที่ 2	0.3	0.5	0.2	0.4	4.0
0.3 ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$)	0.3	-	-	0.3	1.8
0.5 ($CaCO_3$)		0.5	0.2	0.1	2.2
		0.5	-	-	-
0.2 (ZnO)			0.2	0.1	2.2
			0.2	-	-
0.1 (Clay)				0.1	2.2
				0.1	0.2
2.0 (Quartz)					2.0
					2.0

ชั้นที่3

วัตถุดิบ	จำนวนโมล	น้ำหนักโมเลกุล	น้ำหนักวัตถุดิบ	%
โปแตส feldspar	0.3	556.0	166.8	44.0
หินปูน	0.5	100.1	50.1	13.2
ซิงค์ออกไซด์	0.2	81.4	16.3	4.3
ดิน	0.1	258.1	25.8	6.8
ควอร์ตซ์	2.0	60.0	<u>120.0</u>	<u>31.7</u>
รวม			379.0	100

ตัวอย่างที่ 2

0.4 K₂O

0.5 CaO

0.1 MgO

0.6 Al₂O₃

5.4 SiO₂

	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
	0.4	0.5	0.1	0.6	5.4
0.4 (K ₂ O . Al ₂ O ₃ . 6 SiO ₂)	0.4	-	-	0.4	2.4
0.5 (CaCO ₃)	-	0.5	0.1	0.2	3.0
	-	0.5	-	-	-
0.03 (3 MgO . 4 SiO ₂ . H ₂ O)	-	-	0.1	0.2	3.0
	-	-	0.1	-	0.13
0.1 (Al ₂ O ₃ . 2 SiO ₂ . H ₂ O)	-	-	-	0.2	2.87
	-	-	-	0.1	0.20
0.1 (Al ₂ O ₃ . 2 SiO ₂)	-	-	-	0.1	2.67
	-	-	-	0.1	0.20
2.4 (SiO ₂)	-	-	-	-	2.47
	-	-	-	-	2.47

วัตถุดิบ	จำนวนโมล		น้ำหนักโมเลกุล		น้ำหนักส่วนผสม	%
K-feldspar	0.4	X	556	=	220.40	46.2
หินปูน	0.5	X	100	=	50.00	10.4
ทัลก์	0.03	X	378	=	11.34	2.6
ดิน	0.1	X	258	=	25.80	5.4
ดินคัลไซน์	0.1	X	222	=	22.20	4.6
ควอร์ตซ์	2.4	X	60	=	<u>148.20</u>	<u>30.8</u>
					481.20	100

ตัวอย่างที่ 3

0.15 Na₂O

0.20 K₂O

0.30 PbO

0.35 CaO

0.28 Al₂O₃

0.31 B₂O₃

3.0 SiO₂

	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	CaO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Na ₂ O . B ₂ O ₃	0.15	0.20	0.30	0.35	0.31	0.28	3.0
0.15 Borax	0.15						
0.20 K ₂ CO ₃		0.20					
Pb ₃ O ₄ 0.10 Red lead			0.30				
CaCO ₃ 0.35 whiting				0.35			
B ₂ O ₃ .3H ₂ O 0.01 Boric acid					0.01		
Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O 0.1 raw clay						0.1	0.2
Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ 0.18 Calc .clay						<u>0.18</u> 0.18	<u>2.8</u> 0.36
SiO ₂ 2.44 Flint							<u>2.44</u> 2.44

วัตถุดิบ	จำนวนโมล		น้ำหนักโมเลกุล		น้ำหนักวัตถุดิบ		%
Borax	0.15	X	382.4	=	57.21	=	14.23
K ₂ CO ₃	0.20	X	138.0	=	27.60	=	6.86
Red lead	0.10	X	685.6	=	68.56	=	17.05
Whiting	0.35	X	100.1	=	35.04	=	8.71
Boricida	0.01	X	123.7	=	1.24	=	0.31
Raw clay	0.1	X	258.1	=	25.81	=	6.42
Calc Clay	0.18	X	222.1	=	39.98	=	9.94
Flint	2.44	X	60.1	=	146.64	=	36.47
					402.08	=	100

ขั้นตอนการคำนวณจากส่วนผสมวัตถุดิบเป็นสูตรเคมีไพรกัล

1. นำส่วนผสมวัตถุดิบมาหารด้วยน้ำหนักโมเลกุล จะได้จำนวนโมล
2. นำจำนวนโมลของวัตถุดิบมากระจายให้อยู่ในรูปของออกไซด์ แล้วรวมจำนวนโมลของออกไซด์ชนิดเดียวกันเข้าด้วยกัน
3. นำไปเขียนให้อยู่ในรูปของสูตรเคมีไพรกัล โดยทำให้กลุ่มต่างมีผลรวมเท่ากับ 1

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณจากส่วนผสมวัตถุดิบเป็นสูตรเคมีไพรกัล

สูตรเคลือบใส 1200⁰ซ

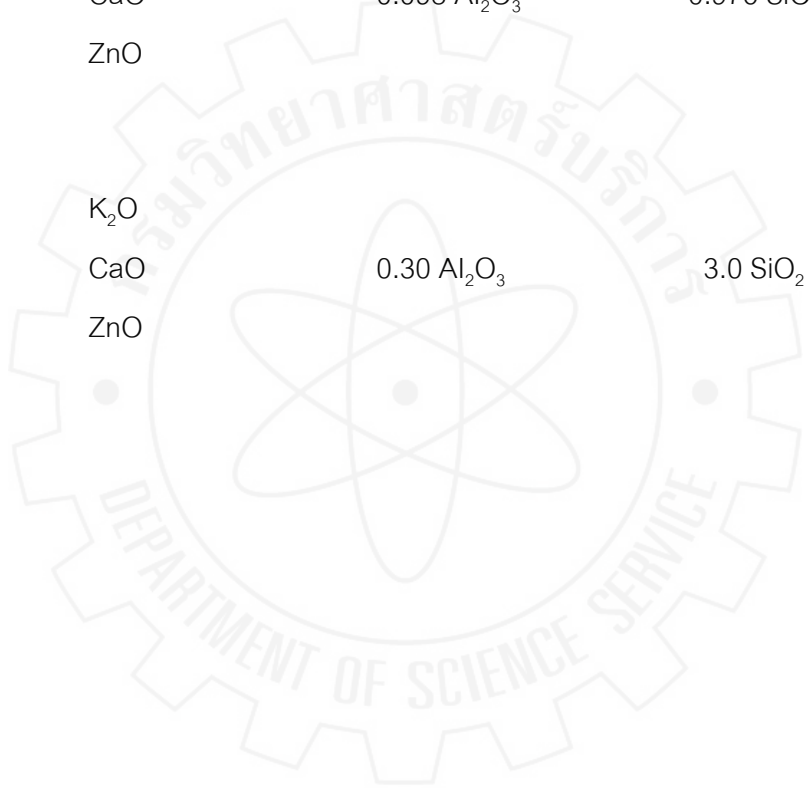
แร่ฟันม้า	36.18%
หินปูน	16.26%
ซิงค์ออกไซด์	7.93%
ดินขาว	8.39%
ควอร์ตซ์	31.24%

ส่วนผสม	น้ำหนักโมเลกุล	จำนวนโมล
แร่ฟันม้า	$36.18 \div 556.5$	0.065
หินปูน	$16.26 \div 100$	0.163
ซิงค์ออกไซด์	$7.93 \div 81.4$	0.097
ดินขาว	$8.39 \div 258.1$	0.033
ควอร์ตซ์	$31.24 \div 60.1$	0.520

วัตถุดิบ	K ₂ O	CaO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
0.065(K ₂ O. Al ₂ O ₃ . 6 SiO ₂)	0.065	-	-	0.065	0.39
0.163 (CaCO ₃)	-	0.163	-	-	-
0.097 (ZnO)	-	-	0.097	-	-
0.033 (Al ₂ O ₃ . 6 SiO ₂)	-	-	-	0.033	0.066
0.520 (SiO ₂)	-	-	-	-	0.520
รวม	0.065	0.163	0.097	0.098	0.976

0.065 K₂O
 0.163 CaO 0.098 Al₂O₃ 0.976 SiO₂
0.097 ZnO
 0.325

 0.20 K₂O
 0.50 CaO 0.30 Al₂O₃ 3.0 SiO₂
0.30 ZnO
 1.00



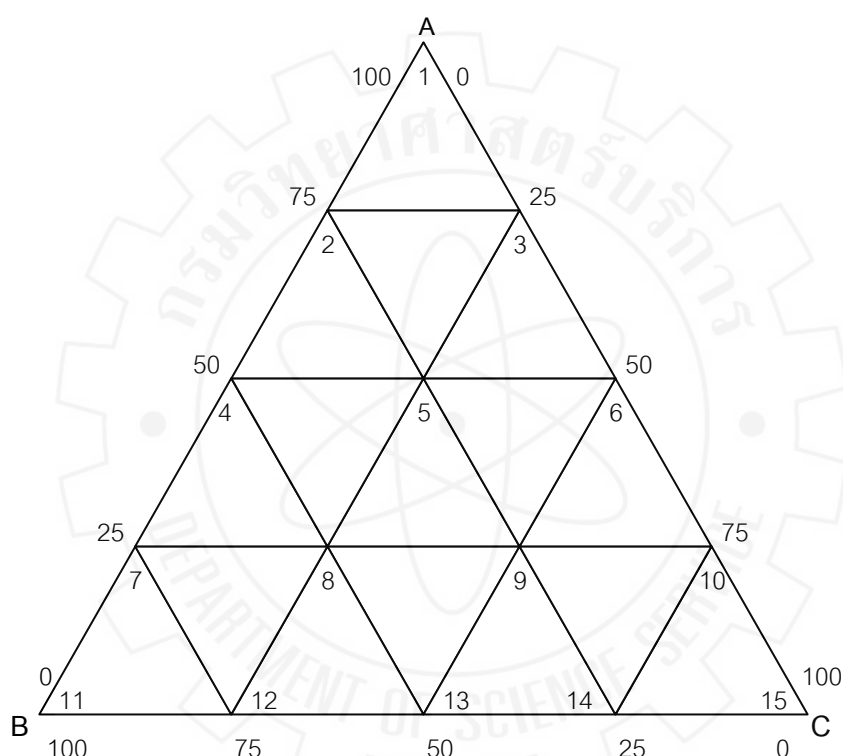
ภาคผนวก ข.

การผสมสีให้เกิดเป็นสีต่าง ๆ โดยใช้รูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ABC

ด้าน AB จะแทนส่วนผสมของ A และ B ด้าน BC จะแทนส่วนผสมของ B และ C ส่วนด้าน CA จะแทนส่วนผสมของ C และ A

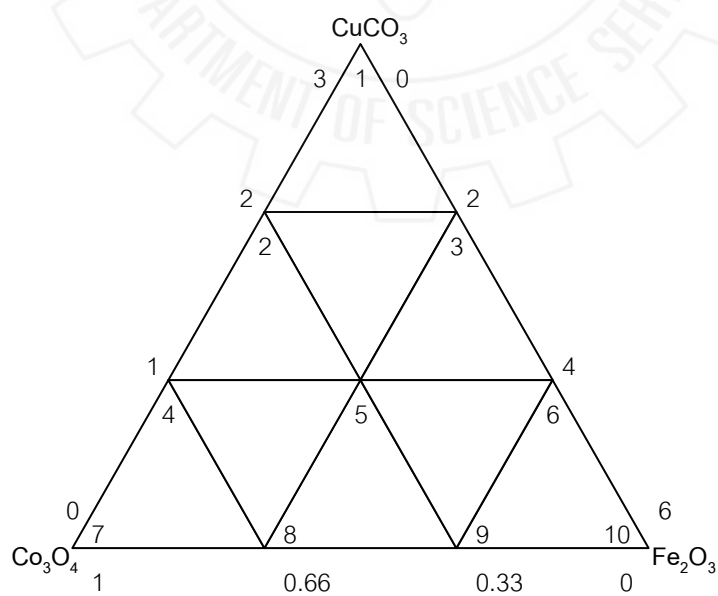
วิธีการอ่าน ปริมาณของส่วนผสม ที่จุดต่าง ๆ $\triangle$ ในด้านเท่าทำโดยลากเส้นจากจุดนั้นให้ขนานกับด้านของ $\triangle$ ตามลูกศรหรือทวนเข็มนาฬิกา เมื่อเส้นนั้นไปชนด้านใด ก็อ่านปริมาณของส่วนผสม ซึ่งด้านนั้นเป็นตัวแทน เช่น จุด 5 ในตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณของ A 50%, B 25%, C 25%

ส่วนจุด 5 ในตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณของ A CuCo_3 1% Co_3O_4 0.33% และ Fe_2O_3 2%



ตัวอย่างที่ 1

จุดที่	A	B	C
1	100	-	-
2	75	25	-
3	75	-	25
4	50	50	-
5	50	25	25
6	50	-	50
7	25	75	-
8	25	50	25
9	25	25	50
10	25	-	75
11	-	100	-
12	-	75	25
13	-	50	50
14	-	25	75
15	-	-	100



ตัวอย่างที่ 2

จุดที่	CuCO_3	Co_3O_4	Fe_2O_3
1	3	-	-
2	2	0.33	-
3	2	-	2
4	1	0.66	-
5	1	0.33	2
6	1	1	4
7	-	1	-
8	-	0.66	2
9	-	0.33	4
10	-	-	6

