



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับตัวของเคลือบสีลาด

โดย

นางสาวไพจิตร อังศิริวัฒน์ และคณะ

31 ตุลาคม 2549

สัญญาเลขที่ RDG4950027

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาดล

ปฏิบัติการผู้วิจัยโดย
นางสาวพิชญภา ตามี

ภายใต้การดูแลของ
นางสาวไพจิตร อังศิริวัฒน์

ภายใต้การควบคุมของ
ผศ. ประกรณ์ วิไล
ผศ.วันชัย เพี่ยมแดง
นายไพบุลย์ หล้าสมศรี

“โครงการวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของภาคนิพนธ์ เพื่อสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมบัณฑิต
ซึ่งสนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)”

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมท้องถิ่น

Technology Development for Local SMEs (TDLS)

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการร้าวตัวของเคลือบสีลาด
(ภาษาอังกฤษ) Study of factors influencing on Celadon glaze cracking

2. ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา

ศิลปะการผลิตสีลาดมีต้นกำเนิดมานานหลายร้อยปีแล้ว ซึ่งเคลือบสีลาดมีเอกลักษณ์โดดเด่นเฉพาะตัว คือ ผิวของเคลือบจะมีร่องร้าวที่แตกรานตัวอยู่โดยรอบภาชนะเคลือบสีเขียว หยก และน้ำเคลือบนั้นทำจากขี้เถ้าไม้ซึ่งได้จากขี้เถ้าไม้มะกอกและขี้เถ้าไม้รูกฟ้าผสมกับดินเหนียว ซึ่งจะได้อะไหล่เคลือบที่มีความงาม คลาสสิก และมีคุณค่าในตัวเอง ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของสีลาด ซึ่งขัดแย้งกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารเพราะในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.)ผิวของเคลือบต้องไม่มีรอยร้าวหรือรอยร้าวเพราะเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ไปในระยะเวลาหนึ่งก็อาจจะทำให้เกิดคราบสิ่งสกปรกแทรกซึมลงในร่องของเคลือบ เมื่อชำระล้างไม่หมดเกิดแบคทีเรียฝังอยู่ ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จึงทำให้เกิดแนวคิดในการที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการร้าวตัวของเคลือบ

3. วัตถุประสงค์

- 3.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการร้าวตัวของเคลือบ
- 3.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่ทำให้เคลือบร้าวหรือไม่ร้าว

4. ระเบียบวิธีวิจัย (โดยย่อ)

เป็นการวิจัยแบบทดลอง(Experimental Research) ดังนี้

- 4.1 ทดลองเคลือบโดยใช้ดินสโตนแวร์ของโรงงานบ้านสีลาดเป็นผลิตภัณฑ์
- 4.2 ปรับเปลี่ยนสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในน้ำเคลือบ
- 4.3 วิเคราะห์สูตรเคลือบที่มีแนวโน้มของความเป็นไปได้

5. สิ่งคาดว่าจะได้รับ

- 5.1 สามารถรู้ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการร้าวตัวของเคลือบ
- 5.2 สามารถรู้ถึงตัวแปรที่ทำให้เคลือบร้าวหรือไม่ร้าว

**6. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของชุดโครงการพัฒนาเทคโนโลยี สำหรับอุตสาหกรรมท้องถิ่น
อย่างไร**

- 6.1 พัฒนาสูตรเคลือบสีลาดที่สามารถควบคุมการรานตัวได้แน่นอน
- 6.2 เพื่อส่งเสริมบุคคลที่สนใจได้มีโอกาสเรียนรู้ผลิตภัณฑ์สีลาดของชาวเชียงใหม่ให้
กว้างขวางยิ่งขึ้น

โครงการ: การศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด
 ผู้ร่วมโครงการ: นางสาวพิชญภา ตามี
 สังกัด: เทคโนโลยีเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 หัวหน้าโครงการ: อาจารย์ไพจิตร อังศิริวัฒน์ พ.ศ. 2549

บทคัดย่อ

การทำโครงการครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด เพื่อที่จะช่วยให้มีทางเลือกใหม่ๆให้กับผู้บริโภค และเสริมสร้างเอกลักษณ์เคลือบสีลาดของชาว เชียงใหม่ อันเป็นจุดขายที่สามารถดึงดูดผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งส่งเสริม บุคคลที่สนใจได้มีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับเครื่องเคลือบสีลาด ซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์ในอีก รูปแบบหนึ่ง แต่ในความเป็นเอกลักษณ์ของความเป็นสีลาดมีความขัดแย้งกับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ผิวของเคลือบต้องไม่มีรอยแตกรานหรือรอยร้าวเพราะจะทำให้เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ไปใน ระยะเวลาหนึ่งก็อาจจะทำให้เกิดคราบสิ่งสกปรกแทรกซึมลงในร่องของเคลือบ เมื่อชำระล้างไม่ หมด ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จึงทำให้เกิดแนวคิดในการที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการราน ตัวของเคลือบสีลาด โดยใช้วิธี การวิจัยเชิงทดลอง หาอัตราส่วนผสมของเคลือบสีลาดชั้นพื้นฐาน จากตารางสี่เหลี่ยม ขนาด 121 จุด (Quadraxial Blend) และมาพัฒนาปรับปรุงการรานของเคลือบ

การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด โดยทดลองจาก การนำเคลือบของโรงงานบ้านสีลาด มาเพิ่มวัตถุดิบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวและการ หดตัวของเคลือบ ลงในน้ำเคลือบ ในปริมาณ 5% -30% พบว่าเคลือบสีลาดที่ผสมด้วยดินหนานา 8-10% ไม่มีการรานและไม่ไหลตัว จึงเลือกที่จะนำมาชุบผลิตภัณฑ์ ส่วนเมื่อเติมโพแทสเซิลด์สปาร์ ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) ลงไปตามเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆก็จะทำให้เคลือบรามีการรานตัวจากหยาบ ไปรานละเอียด

.....หัวหน้าโครงการ
 (นางสาวไพจิตร อังศิริวัฒน์)

Project Title: Study of factors influencing on Celadon glaze cracking

By: Miss Pitchayapa Tamee

Department: Ceramics Technology

Head project: Miss Pijit Ingsiriwat

Year 2006

Abstract

Celadon wares in Chiangmai is made of traditional wood ash glaze. The characteristic of the glaze is thick, glassy-green and crazing. But the standard of tablewares approved by Thai Industrial Standard, the glaze of tableware pieces must not cracks for proper cleaning.

Study of factors influence on Celadon glaze cracking to improve the glaze or stop the cracking on Celadon glaze. We try to put 11 kinds of ceramic raw materials in to Celadon glaze from 5%-30%. We found out that the clay from the surface of the rice field about 10% can stop the glaze from cracking and the colour of the glaze did not change much. But if we put potashfeldspar into Celadon glaze from 5%-30%. The glaze developed more cracks which start from bigger cracks to medium cracks and very fine cracks.

แบบสรุปโครงการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย5)

สัญญาเลขที่ RDG4950027 ชื่อโครงการ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด
หัวหน้าโครงการ น.ส.ไพจิตร อังศิริวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วช.ภาคพายัพ
โทรศัพท์ 0-5341-4250-3 โทรสาร 0-5341-4253

ความสำคัญ / ความเป็นมา

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาดเพื่อที่จะช่วยให้มีทางเลือกใหม่ๆให้กับผู้บริโภค และเสริมสร้างเอกลักษณ์ของเครื่องเคลือบสีลาดของชาวเชียงใหม่ อันเป็นจุดขายที่สามารถดึงดูดผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งส่งเสริมบุคคลที่สนใจได้มีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สีลาดซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์ในอีกรูปแบบหนึ่ง แต่ในความเป็นเอกลักษณ์ของความเป็นสีลาดนั้นมีความขัดแย้งกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.)ผิวของเคลือบต้องไม่มีรอยแตกรานหรือรอยร้าวเพราะจะทำให้เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ไปในระยะเวลาหนึ่งก็อาจจะทำให้เกิดคราบสิ่งสกปรกแทรกซึมลงในร่องของเคลือบ ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบ
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่ทำให้เคลือบรานหรือไม่ราน

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

การศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด ทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยต่างๆที่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัวบนผิวเคลือบ นำมาซึ่งการปรับปรุงและพัฒนาเคลือบให้มีความหลากหลายมากขึ้น โครงการนี้จัดทำโดย นางสาวไพจิตร อังศิริวัฒน์ (หัวหน้าโครงการ) และคณะนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ โดยมีบริษัท บ้านสีลาด จำกัด อ. ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ เป็นภาคอุตสาหกรรมในท้องถิ่นที่เข้าร่วมในโครงการนี้

การประชาสัมพันธ์

ได้นำโครงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการดำเนินการผลิตไปแสดงในงานสัปดาห์ ณ หอศิลป์และวัฒนธรรมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 8 เมษายน 2549 ถึง วันที่ 28 เมษายน 2549

ตารางที่ A แสดงการเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ผลที่ได้รับ	บรรลุมติวัตถุประสงค์ข้อที่	โดยทำให้
1. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการ รณตัวของเคลือบ	1	1. มีข้อมูลจากผลการทดลองที่ จะนำไปใช้
2. ทราบถึงตัวแปรที่ทำให้ เคลือบรณหรือไม่รณ	2	1.มีข้อมูลจากผลการทดลองที่ จะนำไปปรับปรุงและพัฒนา

ตารางที่ B แสดงการเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับ
ตลอดโครงการ

กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	1. ได้ข้อมูลเคลือบสีลาด	1. ได้ข้อมูลเคลือบสีลาดและอัตราส่วนของเคลือบ	-
	2. ได้ลักษณะของเคลือบราน	2. ได้ลักษณะของเคลือบราน	-
2. ออกแบบทดสอบและเผา	1. ได้ออกแบบทดสอบและเผา จำนวน 500 ชิ้น	1. ได้ออกแบบทดสอบและเผา จำนวน 500 ชิ้น	-
3. ศึกษาสูตรเคลือบพื้นฐาน	1. ได้ศึกษาการใช้ตารางสีเหลี่ยม 121 จุด	1. ได้ศึกษาการใช้ตารางสีเหลี่ยม 121 จุด	-
	2. ได้สูตรเคลือบพื้นฐานสีลาด	2. ได้สูตรเคลือบพื้นฐานสีลาด	-
4. จัดเตรียมวัตถุดิบ	1. ชั่งวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง	1. ชั่งวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง	-
5. บดเคลือบและชุบเคลือบ	1. ได้บดเคลือบและชุบเคลือบบนแท่งทดสอบ	1. ได้บดเคลือบและชุบเคลือบบนแท่งทดสอบ	-
6. เผาเคลือบ	1. ได้ทำการเผาเคลือบอุณหภูมิ 1,250 °C	1. ได้ทำการเผาเคลือบอุณหภูมิ 1,250 °C	-
7. วิเคราะห์คัดเลือกสูตร	1. ได้สูตรเคลือบที่ดีที่สุด	1. ได้สูตรเคลือบที่ 81-85 ใช้ดินหล่อ	-
8. ทดลองปรับปรุงคุณภาพ	1. ได้ทดลองปรับปรุงคุณภาพ	1. ได้ปรับปรุงสีให้ใกล้เคียงกับโรงงาน	-
	2. ได้สูตรเคลือบใกล้เคียงกับโรงงาน	2. ได้สูตรเคลือบที่ 85 ใช้ดินหล่อ	-
9. รายงานความก้าวหน้า	1. จัดส่งรายงานความก้าวหน้า	1. จัดส่งรายงานความก้าวหน้า	-

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาโครงการรายบุคคลครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ไพจิตร อิงศิริวัฒน์ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและอาจารย์ไพบุลย์ หล้าสมศรี , ผศ. ประกรณ์ วิไล ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนโครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการพิจารณาโครงการที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงการ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กิตติชัย ะมิงค์วงศ์ หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีเซรามิก ที่ให้คำแนะนำและความสะดวกในการดำเนินโครงการนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์แผนกวิชาเทคโนโลยีเซรามิกทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอนในทุกวิชาที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการและการนำไปใช้ในการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณทางโรงงานบ้านศิลาคลที่ช่วยเหลือในการเผาทดสอบเคลือบและผลิตภัณฑ์
ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และผู้ให้การสนับสนุนการเรียนมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนตามโครงการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมท้องถิ่น ประจำปี 2549

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายประสานงานสกว. ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียน อสบ.ชร. ที่ให้ความร่วมมือทั้งกำลังกาย กำลังใจ และกำลังสติปัญญาในการดำเนินการศึกษาจนเป็นผลสำเร็จอย่างสมบูรณ์

พิชญภา ตามี
ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
แบบสรุปโครงการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม	จ
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	ฉ
ตารางการเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	ซ
กิตติกรรมประกาศ	ฅ
สารบัญ	ณ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การศึกษา	2
สมมุติฐานของการศึกษา	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ขอบเขตเนื้อหา	3
ข้อจำกัดทางการวิจัย	3
ข้อตกลงเบื้องต้น	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
ผลที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ประวัติของเคลือบสีลาดล	6
ลักษณะพิเศษสีลาดล (Celadon)	7
ลักษณะทั่วไปของเคลือบรานหรือเคลือบแตกลายงา (Crackle glaze)	7
ความสัมพันธ์ของการหดตัวของเคลือบและเนื้อดิน (Glaze Fit)	8
วัตถุดิบที่ทำให้เคลือบมีการหดตัวและขยายตัว	9
ความสมดุลระหว่างเคลือบและเนื้อดิน	10
สาเหตุของการเกิดเคลือบราน	12

แนวทางการแก้ไขเคลือบราน	14
วัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์สีลาด	15
วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ	16
กรรมวิธีการเตรียมเคลือบ	21
การทดสอบเคลือบก่อนใช้	21
การเผาผลิตภัณฑ์	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	26
วิธีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า	26
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	29
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	30
วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	30
การวิเคราะห์ข้อมูล	30
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	31
ผลการทดลองคุณสมบัติของเคลือบ	32
ลักษณะเคลือบสีลาดของโรงงานบ้านสีลาด	46
การพัฒนาและปรับปรุงสูตรเคลือบ	48
การพัฒนาและปรับปรุงการรานตัวของเคลือบสีลาด	51
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	58
สรุปผลการวิจัย	58
อภิปรายผล	61
ปัญหาที่พบขณะทำการศึกษาค้นคว้า	62
ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	65
ภาคผนวก ข ประวัติผู้เขียน	66
ภาคผนวก ค บทความสำหรับเผยแพร่	67

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินหน้านา, จีเถ้าไม้ก่อก่อ และจีเถ้าไม้รกกฟ้า	19
ตารางที่ 2 แสดงตารางสี่เหลี่ยม (Quadraxial Blend) จำนวน 121 จุด	27
ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 1 (ดินปั้น)	32
ตารางที่ 4 สรุปผลของวัตถุดิบ 4 ตัวกับการรานและการไหล	38
ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 1 (ดินหล่อ)	39
ตารางที่ 6 สรุปผลของวัตถุดิบ 4 ตัวกับการรานและการไหล	45
ตารางที่ 7 แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาดล (ดินปั้น)	46
ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาดล (ดินหล่อ)	47
ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 2	48
ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 3	49
ตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 4	50

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 1	แสดงการขยายตัวของวัตถุคืบเมื่อเผาผ่านความร้อน	10
ภาพที่ 2	เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวและขยายตัวของเคลือบ และเนื้อดิน(Dilatometer)	10
ภาพที่ 3	แสดงเคลือบบนเนื้อดิน	11
ภาพที่ 4	แสดงเคลือบที่มีค่า C.O.E. มากกว่าเนื้อดิน	11
ภาพที่ 5	แสดงเนื้อดินที่มีค่า C.O.E. มากกว่าเคลือบ	11
ภาพที่ 6	แสดงแรงกดของเคลือบสูงมาก	11
ภาพที่ 7	แสดงตำหนิเคลือบร่อน	11
ภาพที่ 8	แสดงการเปลี่ยนแปลงของซิลิกาเมื่อได้รับความร้อน	14
ภาพที่ 9	แสดงดินไม้รกรฟ้า	19
ภาพที่ 10	แสดงดินไม้มะกอก	19
ภาพที่ 11	แสดงกราฟการเผาเคลือบแบบสันดาปไม่สมบูรณ์ (RF)	25
ภาพที่ 12	แสดงผลการทดลองคุณสมบัติเคลือบสีลาด โดยใช้ดินปั้น	37
ภาพที่ 13	แสดงผลการทดลองคุณสมบัติเคลือบสีลาด โดยใช้ดินหล่อ	44
ภาพที่ 14	แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาดของโรงงานบ้านสีลาด โดยใช้ดินปั้น	46
ภาพที่ 15	แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาด ของโรงงานบ้านสีลาด โดยใช้ดินหล่อ	47
ภาพที่ 16	แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 2	48
ภาพที่ 17	แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 3	49
ภาพที่ 18	แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 4	50
ภาพที่ 19	แสดงผลผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยสูตรสีลาดไม่ร่อนและร่อนตัว	65

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ศิลปะการผลิตเครื่องเคลือบสังคโลกหรือศิลาดล มีต้นกำเนิดมาจากประเทศจีนเมื่อประมาณ 2,000 ปีมาแล้ว และได้มีการถ่ายทอดต่อมายังอาณาจักรสุโขทัย ซึ่งถือว่าเป็นยุคสมัยที่รุ่งเรือง และมีการติดต่อการค้ากับอาณาจักรอื่นๆ โดยมีแหล่งผลิตสำคัญอยู่ที่อาณาจักรสุโขทัย ตามประวัติศาสตร์ พ่อขุนมั่งรายปฐมกษัตริย์ผู้สร้างเมืองเชียงใหม่ เป็นพระสหายร่วมน้ำมิตรกับพ่อขุนรามคำแหง กษัตริย์องค์ที่ 3 แห่งอาณาจักรสุโขทัย และพ่อขุนผาเมืองเจ้าเมืองพะเยา การเป็นพระสหายร่วมน้ำมิตร ทำให้มีการถ่ายทอดศิลปวัฒนธรรมระหว่างทั้ง 2 อาณาจักร ศิลปะการผลิตเครื่องเคลือบสังคโลก ก็เป็นสิ่งที่พ่อขุนรามคำแหงได้นำศิลปะแขนงนี้ ขึ้นมาถ่ายทอดไว้ให้กับเมืองเชียงใหม่ แต่การถ่ายทอดศิลปะแขนงนี้ จะไม่สามารถรุ่งเรืองขึ้นมาได้หากสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์ และธรรมชาติของผู้คนเชียงใหม่ไม่เกื้อหนุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเป็นช่าง (Craftsmanship) ของคนเชียงใหม่ ที่มีติดตัวมาตั้งแต่ในอดีตประกอบกับเชียงใหม่ เป็นแหล่งดินดำ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญ นำมาใช้เป็นเนื้อดินในการผลิตศิลาดล

ส่วนน้ำเคลือบนั้นเป็นน้ำเคลือบจี้เถ้าไม้ (Wood Ash Glaze) ซึ่งได้มาจากจี้เถ้าไม้มะกอกตาหมู และจี้เถ้าไม้รักฟ้าผสมกับดินหนานา เผาแล้วเป็นสีเขียวอ่อนแบบน้ำเคลือบศิลาดล (Celadon) ลักษณะของเตาเป็นเตาประเภททางเดินลมร้อนขึ้น Cross-Draught ที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง การเผาเตาต้องใช้ความชำนาญมากเพราะความร้อนภายในเตาจะไม่เท่ากัน กล่าวคือ อุณหภูมิระหว่างบริเวณภายในเตาด้านหน้า กลางเตา หลังเตา และส่วนที่ติดปล่องเตา จะมีความแตกต่างกันมาก จึงนิยมนางเครื่องปั้นดินเผาที่ต้องการเคลือบไว้ในบริเวณส่วนหน้าและเข้าไปถึงตรงกลางเตา เพราะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงพอเหมาะต่อการเผาเคลือบศิลาดล ส่วนบริเวณหลังหรือท้ายๆ เข้าไปในเตาจนถึงส่วนที่เป็นปล่องไฟอุณหภูมิจะต่ำกว่า จึงใช้วางเผาภาชนะที่ไม่เคลือบหรือเครื่องปั้นดินเผาเนื้อแดง เช่น กระจาดต้นไม้ต่างๆ การควบคุมอุณหภูมิในเตาต้องใช้การสังเกตดูเปลวไฟจากปล่องเตาเผาเพื่อประมาณค่าอุณหภูมิในเตาเผา เป็นเทคนิคความรู้ที่ถ่ายทอดกันมา (เอกสารประกอบของโรงงานบ้านศิลาดล)

นอกจากนี้ยังได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับเคลือบรานหรือเคลือบแตกลายงา (Crackle glaze) ซึ่งเคลือบรานมักมีส่วนผสมของโซดาและโพแทสเซิลด์สปาร์อยู่สูง วัตถุดิบทั้งสองอย่างนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวหลังการเผาสูงมาก 11-12 % หลังเผา โดยปกติน้ำเคลือบและดินควรรจะหดตัวเท่าๆกันเคลือบจึงจะไม่เกิดรอยร้าว แต่ตามหลักวิชาแล้วนิยมนำให้เคลือบหดตัวมากกว่าดินเล็กน้อยประมาณ 1 % เพื่อให้ชั้นของเคลือบสามารถรัดเนื้อผลิตภัณฑ์ได้แน่นกระชับทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงเพิ่มขึ้น ดินเอิร์ทเทินแวร์ ดินสโตนแวร์ และดินปอร์ซเลนมีค่าความหดตัว

ภายหลังการเผาไม่เท่ากัน ดังนั้นเคลือบทั้งสามชนิดที่นำมาใช้กับดินทั้ง 3 อุณหภูมิก็ต้องมีค่าความหดตัวแตกต่างกันไปด้วย สาเหตุที่เคลือบรานเกิดขึ้นเนื่องจากเคลือบขยายตัวมากกว่าดิน ทำให้ชั้นของเคลือบที่มีความหนา 1-1.2 มม. ที่ปกคลุมบนผิวของผลิตภัณฑ์ขยายตัวดันกันแตกถ้าขยายตัวมากจะดันกันแตกมาก ก็เป็นลายละเอียด (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2537)

ส่วนใหญ่เคลือบรานไม่นิยมใช้เคลือบผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารหรือหม้ออบอาหารในเตาอบ เนื่องจากคราบไขมันจากอาหารจะฝังเข้าไปในรอยแตกของเคลือบเกิดกลิ่นเหม็นหืนเพราะล้างคราบไขมันออกได้ไม่หมดทำให้มีกลิ่นติดอยู่ตลอดและบางครั้งรอยรานของเคลือบก็เป็นที่สะสมของแบคทีเรียของเศษอาหารที่ฝังอยู่ในรอยรานทำให้รอยรานมีสีดำ และอาจปนเปื้อนกับอาหาร ทำให้อาหารเป็นพิษ (ปฐมนรณ พิชญไพบูรณ์, 2538)

จึงได้มีแนวความคิดที่ต้องการจะศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรที่ทำให้เคลือบรานหรือไม่ราน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลการรานตัวของเคลือบ
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่ทำให้เคลือบรานหรือไม่ราน

สมมติฐานของการศึกษา

1. ดินปั้นและดินหล่อ (ดินดำ) น่าจะทำให้มีการรานตัวของเคลือบที่แตกต่างกัน
2. โพลีเทสเฟลด์สปาร์ น่าจะเป็นตัวแปรหลักที่จะทำให้เคลือบมีการรานตัวมากหรือน้อย

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตประชากร

1. วัตถุดิบเนื้อดิน
 - 1.1 ดินสโตนแวร์ของโรงงานบ้านสีลาดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ
2. วัตถุดิบเคลือบ
 - 2.1 จี๊เจ้าไม้มะกอก
 - 2.2 จี๊เจ้าไม้รอกฟ้า
 - 2.3 ดินหนานา
 - 2.4 โซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
 - 2.5 โพแทสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
 - 2.6 หินปูน (CaCO_3)

- 2.7 แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)
- 2.8 ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2.9 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- 2.10 แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)
- 2.11 ควอร์ตซ์ (SiO_2)
- 2.12 บอแรกซ์ฟริต (B_2O_3 , FT 366)
- 2.13 ดินหนานา
- 2.14 ทัลก์ (Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

ขอบเขตเนื้อหา

- 1. ศึกษาประวัติ
 - 1.1 ประวัติของเคลือบสีลาดล
- 2. ศึกษาปัจจัยการรานตัวของเคลือบ
 - 2.1 สาเหตุของการเกิดเคลือบราน
 - 2.2 ลักษณะทั่วไปของเคลือบราน
 - 2.3 ความสัมพันธ์ของการหดตัวของเคลือบและเนื้อดิน (Glaze Fit)
- 3. ศึกษาวัตถุดิบ
 - 3.1 วัตถุดิบในการเตรียมเนื้อดิน
 - 3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ
 - 3.3 วัตถุดิบที่ใช้ทำแท่งทดสอบ (Test)
- 4. ศึกษากรรมวิธีการเตรียมเคลือบ
- 5. ศึกษาการเผาผลิตภัณฑ์
 - 5.1 เเผาเคลือบในบรรยากาศ RF

ข้อจำกัดทางการวิจัย

- 1. ผู้ศึกษาสามารถศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาดล เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจศึกษาต่อ

ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1. ผู้ศึกษาทำการศึกษาวิจัยในเรื่องวัตถุดิบที่ใช้ในส่วนผสมของเคลือบเท่านั้น
- 2. ผู้ศึกษาใช้ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ของทางโรงงานบ้านสีลาดลในการเคลือบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ในการทดสอบเบื้องต้น

3. ผู้ศึกษาต้องการทดลองเคลือบซิลาคล เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในการเผาไหม้แบบสันดาปไม่สมบูรณ์ (RF) เท่านั้น

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เคลือบซิลาคล หมายถึง เครื่องปั้นดินเผาชนิดเนื้อแกร่ง เคลือบด้วยน้ำเคลือบที่ทำจากเถ้าถ่านจากไม้และหินฟันม้า ซึ่งมีส่วนผสมของแร่เหล็กและเผาในอุณหภูมิสูงถึง 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชั่น
2. ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ หมายถึง ดินดำหรือดินเหนียวที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นดินที่ทนการเผาในอุณหภูมิสูงได้ นำมาผสมตามสูตรเฉพาะของทางโรงงานบ้านศิลาคล เผาที่อุณหภูมิ 1,250- 1,300 องศาเซลเซียส
3. เคลือบราน หมายถึง เคลือบที่มีเส้นรานปรากฏอยู่บนผิวเคลือบ ซึ่งลวดลายที่รานนั้นจะใหญ่หรือเล็กขึ้นกับอัตราการหดตัวที่ไม่เท่ากันของเนื้อเคลือบและเนื้อดินของภาชนะ ยังมีความแตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งทำให้การรานตัวละเอียดมากขึ้นเท่านั้น
4. การเผาเคลือบ RF หมายถึง การเผาไหม้แบบสันดาปไม่สมบูรณ์ในเตาเผาที่มีออกซิเจน (Oxygen) ไม่เพียงพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อยู่ในบรรยากาศการเผาไหม้
5. เผาดิบ หมายถึง การเผาเนื้อดินครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 750 °C –800 °C เนื้อดินแข็งเป็นหินแต่ยังดูดซึมน้ำได้ดีสามารถนำไปชุบเคลือบได้

ผลที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถรู้ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบ
2. สามารถรู้ถึงตัวแปรที่ทำให้เคลือบรานตัวหรือไม่ราน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาดล ครั้งนี้ ได้กำหนด
แนวทางการศึกษาข้อมูล ดังนี้

1. ศึกษาประวัติ
 - 1.1 ประวัติของเคลือบสีลาดล
2. ศึกษาปัจจัยการรานตัวของเคลือบ
 - 2.1 สาเหตุของการเกิดเคลือบราน
 - 2.2 ลักษณะทั่วไปของเคลือบราน
 - 2.3 ความสัมพันธ์ของการหดตัวของเคลือบและเนื้อดิน (Glaze Fit)
3. ศึกษาวัตถุดิบ
 - 3.1 วัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์
 - 3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ
 - 3.3 วัตถุดิบที่ใช้ทำแท่งทดสอบ (Test)
4. ศึกษากรรมวิธีการเตรียมเคลือบ
5. ศึกษาการเผาผลิตภัณฑ์
 - 5.1 เผาเคลือบในบรรยากาศ RF

ประวัติของเคลือบสีลาด

คำว่า “สีลาด” มีความหมายหลายอย่าง คือ อาจหมายถึงหุ้มด้วยหยกหรือเป็นชื่อของคนเลี้ยงแกะที่ชื่อว่า เซลาดอน (Celadon) ซึ่งชอบใส่ชุดเขียว จาก นวนิยายเรื่อง L'Astree ซึ่งเป็นนวนิยายที่มีชื่อเสียงของฝรั่งเศส Urfe ในคริสต์ศตวรรษที่ 17

ในกลุ่มของผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาในปัจจุบัน ได้นำคำว่า “สีลาด” มาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยให้คำจำกัดความว่า เครื่องปั้นดินเผา สีลาด หมายถึง เครื่องปั้นดินเผาชนิดแกร่ง เคลือบด้วยน้ำเคลือบที่ทำจากเถ้าถ่านจากไม้และหินฟันม้าซึ่งมีส่วนผสมของแร่เหล็ก และเผาในอุณหภูมิสูงถึง 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์

เคลือบสีลาด มีแหล่งกำเนิดจากจีนในสมัยราชวงศ์ถังและทำแพร่หลายมากขึ้นในสมัยราชวงศ์ซ่ง พ.ศ.1503-1822 เตาเผาสีลาดที่มีชื่อเสียงของจีน ทำจากแหล่งเตาหล่งจวนในอาณาจักรซ่งได้ ผลิตรักษะสีลาด จากแหล่งเตาหล่งจวนมีสีเขียวสดสวยกว่าที่ผลิตในอาณาจักรซ่งเหนืออย่างเห็นได้ชัด นักประวัติศาสตร์ได้สันนิษฐานว่าในยุคหลังของอาณาจักรซ่งได้มีการเผาแบบรีดักชั่น เกิดความชำนาญมากขึ้นและสูตรเคลือบปรับปรุงดีขึ้นผลิตรักษะจึงมีสีเขียวสวยงามกว่าสีลาด ในยุคแรกๆ ที่ผลิตในอาณาจักรซ่งเหนือซึ่งเป็นสีเขียวคล้ำอมน้ำตาลขุ่น

ชาวจีนถือว่าหยกเป็นอัญมณีล้ำค่าซึ่งใช้เป็นเครื่องประดับของกษัตริย์เคลือบสีลาด นี้ได้ถูกเลียนแบบให้มีสีเหมือนหยกซึ่งเป็นอัญมณีล้ำค่า เตาเผาเคลือบสีลาด ถูกควบคุมการผลิตโดยคนจากราชสำนักของ จีนสำหรับใช้ในวังเท่านั้นชาวบ้านธรรมดาไม่ได้ใช้เครื่องเคลือบสีลาด คุณสมบัติของเคลือบสีลาด เป็นที่เล้าขานกันต่อมาว่า ถ้านำถ้วยสีลาด ไปใส่อาหารที่มียาพิษอาหารจะเปลี่ยนสีเป็นสีดำทันที ทำให้เจ้าของถ้วยสามารถรอดพ้นอันตรายจากยาพิษได้

เคลือบสีลาด ของจีนเป็นที่นิยมแพร่หลายไปถึง เกาหลี ญี่ปุ่น เวียดนาม และไทย เคลือบสีลาดมีหลายสีหลายโทนเช่น สีเขียวอมฟ้า เขียวอมเทา เขียวอมน้ำตาล และเขียวขี้ม้า ไทยเรานิยมเรียกเคลือบสีลาด ว่า เครื่องสังคโลกตามแหล่งเตาที่พบในประวัติศาสตร์ที่ อ.สวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

เคลือบสีลาด ของไทยส่วนใหญ่มีส่วนผสมของขี้เถ้าไม้อยู่ประมาณ 50%ในสูตร หลังการเผาได้เคลือบใสสีเขียว สีเขียวที่เกิดจากคลอโรไฟด์หรือธาตุเหล็กในพีชถ้าต้องการให้มีสีเขียวมากขึ้นต้องเติมแร่เหล็กในเคลือบ 1-2% ถ้าใส่แร่เหล็กปริมาณ 4-6% เคลือบจะกลายเป็นสีเขียวเข้มอมน้ำตาลขี้ม้า ถ้าเพิ่มปริมาณเหล็กมากขึ้นอีก 10-15% จะได้เคลือบสีน้ำตาลอมดำแทนในบรรยากาศการเผาแบบรีดักชั่น (RF) เหล็กแดงออกไซด์ในเคลือบจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นเหล็กดำแต่เหล็กมีปริมาณน้อยเพียง 1-2% ทำปฏิกิริยาในเคลือบกลายเป็นสีเขียวอ่อนหรือสีฟ้าอ่อน เคลือบสีลาด นิยมเผาในเตาฟืนหรือเตาแก๊สเท่านั้น ถ้านำสูตรเคลือบสีลาด ใส่เหล็กแดง 2% ไปเผาในเตาไฟฟ้า จะได้เคลือบสีเหลืองจางๆ ใดๆในการเผาบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น ดังนั้นเคลือบสีลาด จึงต้องเผาด้วยวิธีสันดาปไม่สมบูรณ์เท่านั้น (ไพจิตร อังศิริวัฒน์ ,2537 ,142)

ลักษณะพิเศษศิลาดล (Celadon) คือ

1. มีสีเขียวหยก เกิดจากการที่นำเอาไม้ก่อ-ไม้รูกฟ้า มาเผาเอาขี้เถ้า แล้วนำมาผสมกับดินเหนียวเป็นน้ำเคลือบ แล้วเผาด้วยอุณหภูมิความร้อนสูง 1,260-1,300 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชั่น (RF) แล้วทิ้งให้เย็นตัวจะเกิดเป็นสีเขียว วัตถุประสงค์ในการเตรียมเคลือบส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ และการเตรียมเคลือบใช้วิธีดั้งเดิมแบบโบราณ
2. ผิวเคลือบจะร้าวแตกลายงา (Cracking) บนตัวเคลือบ ซึ่งเกิดจากการหดตัวของเนื้อดินกับน้ำเคลือบเมื่อเย็นตัวลง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของเคลือบศิลาดลทำให้ดูสวยงามและมีค่าในตัวเอง
3. ศิลาดล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยมือ ซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของช่างแต่ละคน ทำให้ดูเป็นสิ่งมีค่า เป็นที่น่าดึงดูดและน่าสนใจในตัวเอง
4. ผลิตภัณฑ์ศิลาดลใช้ได้ทั้งเป็นพวกตกแต่งบ้าน และใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ชุดอาหาร ไม่ใช่แต่เพื่อความสวยงามเท่านั้น สามารถใช้ปรุงอาหารในเตาอบไมโครเวฟและเข้าเครื่องล้างจานก็ได้ ไม่อันตรายต่อสุขภาพเพราะไม่มีสารเคมีใดๆอยู่ในกระบวนการผลิตเลย แต่ความจริงแล้วในเคลือบมีสารเคมีที่ให้สีเจือปนอยู่ด้วย

(เอกสารประกอบของโรงงานบ้านศิลาดล)

ลักษณะทั่วไปของเคลือบรานหรือเคลือบแตกลายงา (Crackle glaze)

เคลือบแตกลายงานี้ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นเทคนิคการตกแต่งผลิตภัณฑ์แบบหนึ่ง โดยมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเลียนแบบของเก่าของจีน หรือเครื่องสังคโลกของไทย มีผู้เชี่ยวชาญเครื่องเคลือบดินเผาหลายท่านสันนิษฐานว่าของเก่าของจีนนั้นเมื่อแรกทำออกมายังไม่เกิดรอยร้าวบนเคลือบ แต่รอยร้าวจะค่อยๆเกิดหลังจากเวลาผ่านไปแล้วหลายเดือน (Delay Crazeing) ซึ่งรอยร้าวนี้บางที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วบางทีก็เกิดขึ้นอย่างช้าๆหลังจากเวลาผ่านไปเป็นร้อยปี

สูตรเคลือบรานหรือเคลือบแตกลายงาที่ทดลองนี้ เป็นสูตรเคลือบรานสำเร็จรูป คือทันทีที่เผาเสร็จนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผา จะเห็นรอยรานของเคลือบได้ชัดเจน เคลือบบางชนิดแตกเป็นลายละเอียด บางชนิดแตกเป็นเส้นห่างๆ แตกต่างกันออกไป เคลือบรานที่เห็นรอยแตกของเคลือบได้ชัดเจนควรเป็นเคลือบที่มีสีขุ่นทึบ รอยรานของเคลือบจะต้องฝังลึกตกแต่งภายหลัง

การฝังสีในรอยรานของเคลือบครั้งแรกจะเกิดจากความไม่ตั้งใจจากภาชนะถ้วยชามที่ใช้ไปนานๆ แล้วมีคราบน้ำชาซึมเข้าไปฝังรอยรานทำให้สวยงามมากยิ่งขึ้น ต่อมาจึงเกิดการทำเทคนิคฝังสีลงตามรอยรานด้วยวิธีต่างๆ เช่น ใช้หมึกจีนป้ายตามรอยร้าวของเคลือบ ใช้ออกไซด์ผสมน้ำ แล้วแช่ผลิตภัณฑ์ในน้ำที่มีออกไซด์หรือนำไปต้มแล้วนำผลิตภัณฑ์ไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส หรือใช้น้ำเชื่อมทาบนผลิตภัณฑ์แล้วนำไปอบที่ 400 องศาเซลเซียส นำมาล้างคราบน้ำตาล

ออกให้หมด ในการทำเทียมของเก่าบางครั้งใช้น้ำมันเครื่องซีโลฟิงลายรานของเคลือบทิ้งไปแล้วแต่จะหาวัตถุดิบได้ง่ายตามความเหมาะสม ถ้าไม่นำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ชุดอาหาร

เคลือบรานไม่นิยมใช้เคลือบผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารหรือหม้ออบอาหารในเตาอบ เนื่องจากคราบไขมันจากอาหารจะฝังเข้าไปในรอยแตกของเคลือบ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนเพราะล้างคราบไขมันออกได้ไม่หมดทำให้มีกลิ่นติดอยู่ตลอดและบางครั้งรอยรานของเคลือบก็เป็นทีที่สะสมแบคทีเรียของเศษอาหารที่ฝังอยู่ในรอยรานทำให้อาหารเป็นพิษ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์ ,2537 ,12 5)

ความสัมพันธ์ของการหดตัวของเคลือบและเนื้อดิน (Glaze Fit)

น้ำยาเคลือบที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมกับเนื้อดิน คนส่วนใหญ่เข้าใจว่าเคลือบทุกเคลือบจะเข้ากับเนื้อดินที่มีอยู่ของโรงงานได้ แต่ความจริงแล้วไม่สามารถจะนำเคลือบอะไรก็ได้มาหลอมละลายให้ติดอยู่บนผิวดินได้ผลดี นอกจากเกิดข้อผิดพลาดโดยบังเอิญ เคลือบจึงติดผิวดินได้แน่นแข็งแรงและมีผิวเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งตามปกติแล้วขณะที่เคลือบเย็นตัวลงจะเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ (Cracks, Crazing) หรือขีดตัวแตกหลุดออกจากผิวดิน หรือรอยแตกของเคลือบลึกลงไปจนถึงเนื้อดิน ทำให้ชิ้นงานแตกเสียหายหลังการเผา (Delay – Crazing)

สาเหตุที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวและการหดตัวของเคลือบ และเนื้อดินแตกต่างกันมาก ขณะที่เตาเย็นลงเคลือบจะหดตัว เกิดแรงดึงหรือความตึงผิว ถ้าเกิดเนื้อดินหดตัวน้อยแต่เคลือบหดตัวมาก แรงดึงที่เกิดขึ้นนี้ถ้ามีมากเกินไป สามารถทำให้เคลือบร้าวตัวจนเนื้อดินแตกเป็นเสี่ยงได้ ดังนั้นด้วยหลักการนี้ ถ้าต้องการให้เนื้อดินมีความหดตัวหลังการเผาพอดีกับเคลือบที่ใช้ ส่วนผสมของเนื้อดินและน้ำเคลือบจะต้องปรับเพื่อให้เคลือบหดตัวหลังการเผาได้เท่ากัน เคลือบมีความแข็งแรง (Strength) และยืดหยุ่น (Elasticity) ในการขยายตัวและหดตัวให้พอเหมาะกับเนื้อดินที่ใช้

สาเหตุที่ทำให้เกิดเคลือบแตกลายงา (Crazing) เกิดจากการหดตัวของเนื้อดินและเคลือบไม่เท่ากัน การที่เคลือบไม่มีรอยราน ขณะเคลือบเย็นตัวลงต้องหดตัวมากกว่าเนื้อดินเล็กน้อย ทำให้เคลือบเกิดแรงกด (Compression) รัศเนื้อดินเอาไว้แน่นพอดี ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วเคลือบจะเกิดแรงดึงตัว (Tension) ทำให้เคลือบเกิดรอยราน

ปกติขณะที่เตาเย็นลง เนื้อดินที่ปั้นหนาจะมีการหดตัวมากกว่าเคลือบมาก ดังนั้นโดยปกติเนื้อดินที่เผาอุณหภูมิสูงจะมีอัตราส่วนการหดตัวมากกว่าเคลือบเกือบ 10% ดังนั้นเคลือบที่จะนำมาใช้กับเนื้อดินจึงต้องหดตัวมากกว่าเนื้อดิน 10% จึงมีความสัมพันธ์กันพอดี

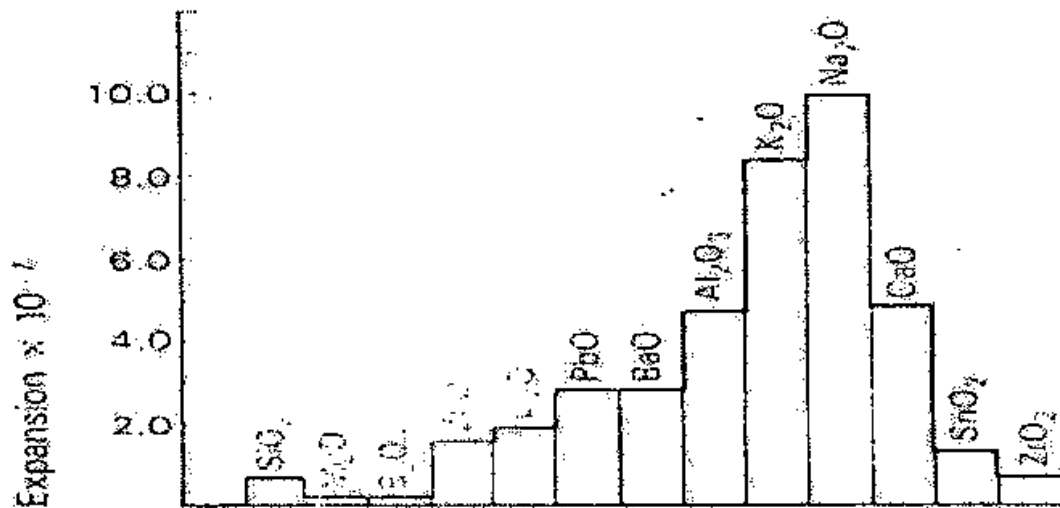
การเผาเคลือบไม่ถึงอุณหภูมิจุดสุกตัวของเนื้อดิน ทำให้เกิดการรานตัวของเคลือบเพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อดินที่ไม่สุกตัวเกิดผลึกแก้ว คริสโตบาไลต์น้อย ผลึกคริสโตบาไลต์เกิดจากซิลิกาอิสระ (Free silica) ในเนื้อดิน ซึ่งขณะที่เตาเผาเย็นลงผลึกนี้จะหดตัวลง 2% ทำให้เคลือบซึ่งเป็นแก้วหดตัวรัศเนื้อดินไว้

เนื้อดินที่บดไม่ละเอียดยังเห็นเม็ดทรายหยาบ (Quartz) ตัวอย่างเช่น เนื้อดินสโตนแวร์จะทำให้เกิดผลึกคริสโตบาลไลท์หลังการเผาดินน้อย จึงทำให้เคลือบเกิดการร้าวได้ง่ายกับเนื้อดินหยาบสโตนแวร์ มากกว่าดินหล่อที่ผ่านการบดอย่างละเอียด

วัตถุดิบที่ทำให้เคลือบมีการหดตัวและขยายตัว

วัตถุดิบที่ทำให้ความสัมพันธ์ของการหดตัวและการขยายตัวของเคลือบและเนื้อดินมีความแตกต่างกัน คือ

Na ₂ O	High COE	หดตัวมากขณะเย็นตัว
K ₂ O	↑	
CaO		
BaO		
TiO ₂		
Fe ₂ O ₃		
Al ₂ O ₃		
PbO		
CuO		
MnO		
ZrO ₂		
SnO ₂		
P ₂ O ₅		
ZnO		
MgO		
SiO ₂		
B ₂ O ₃	Low COE	หดตัวต่ำขณะเย็นตัว

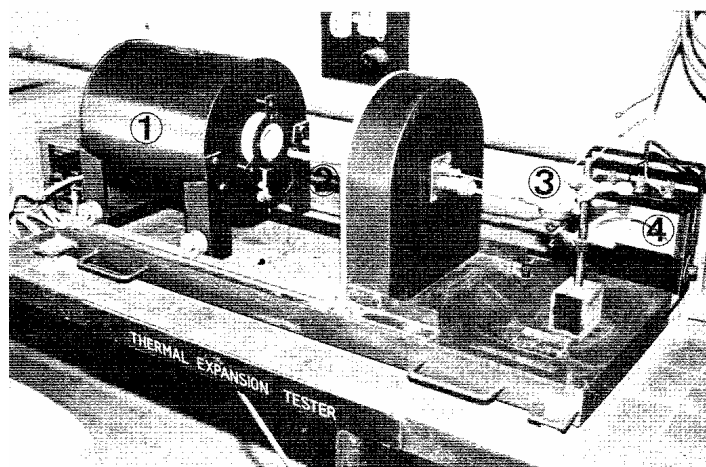


ภาพที่ 1 แสดงการขยายตัวของวัตถุดิบเมื่อเผาผ่านความร้อน

ความสมดุลระหว่างเคลือบและเนื้อดิน

ค่า C.O.E. ของเคลือบควรจะต้องต่ำกว่าเนื้อดินเล็กน้อย หากไม่สมดุล ก็จะมีแนวโน้มในการเกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา

- หากค่า C.O.E. ของเคลือบต่ำกว่า เนื้อดินมากๆ จะเกิดเป็นแรงเครียดจากการถูกดึง (Tensile Stress)
- หากค่า C.O.E. ของเคลือบสูงกว่าเนื้อดินมากๆ จะเกิดเป็นแรงเครียดจากการบีบกด (Compressive Stress)
- เคลือบสามารถต้านทานแรง Compression Stress ได้ดีกว่าแรงดึง Tension Stress



ภาพที่ 2 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวและขยายตัวของเคลือบและเนื้อดิน (Dilatometer)



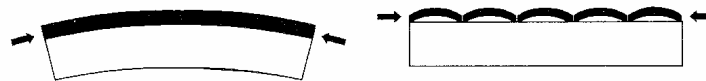
ภาพที่ 3 แสดงเคลือบบนเนื้อดิน โดยเคลือบกับเนื้อดินจะมีอัตราการหดตัวที่เท่ากัน ดังนั้นค่า C.O.E. จะเท่ากันเหมือนกัน

เคลือบที่หดตัวมาก



ภาพที่ 4 แสดงเคลือบที่มีค่า C.O.E. มากกว่าเนื้อดิน เมื่อเคลือบหดตัวมากกว่าเนื้อดินและมีแรงดึงผิวมาก เนื้อดินที่บางก็จะโค้งงอ ตามที่ลูกศรแสดงทิศทางแรงดึงบนเคลือบ เมื่อเคลือบเย็นตัวลงก็จะเกิดการร้าว

เนื้อดินหดตัวมาก



ภาพที่ 5 แสดงเนื้อดินที่มีค่า C.O.E. มากกว่าเคลือบ เนื้อดินก็จะหดตัวกว่าเคลือบ เมื่อเคลือบมีแรงกด เนื้อดินที่บางก็จะโค้งงอ ถ้าเนื้อดินหดตัวก็จะทำให้เคลือบมีความเปราะบางมากกว่าเคลือบที่หดตัว ถ้าเคลือบหดตัวน้อยกว่าเนื้อดินก็จะกลายเป็นแรงกดบนเคลือบทำให้เคลือบร่อนออก



ภาพที่ 6 แสดงแรงกดของเคลือบสูงมาก เมื่อเย็นตัวลงก็จะทำให้เคลือบแตกรานจนถึงเนื้อดิน

ตำหนิเคลือบร่อน (Peeling)

สาเหตุของการเกิดเคลือบร่อน

- เคลือบร่อนเกิดจากแรงกดที่เกิดภายในเคลือบ ทำให้แรงยึดเหนี่ยว (Bonding Strength) ระหว่างเนื้อดินกับเคลือบไม่สัมพันธ์กัน
- เนื่องจากเนื้อดินมีการขยายตัวมาก เมื่อเทียบกับเนื้อเคลือบ (ทำให้เกิดแรงกดในเคลือบ)



ภาพที่ 7 แสดงตำหนิเคลือบร่อน

***สาเหตุของการเกิดเคลือบร่อน มีลักษณะตรงข้ามกับเคลือบราน

แนวทางการแก้ไขเคลือบร่อน

หลักการคือ ต้องเพิ่มการขยายตัวของเคลือบหรือลดการขยายตัวของเนื้อดิน

- พยายามลดอุณหภูมิสูงสุดในการเผา ด้วยการลดจำนวนของซิลิกาในเนื้อดินที่จะเปลี่ยนเฟสเป็นคริสโตเบลไลต์ ซึ่งสิ่งที่อาจทำได้ คือ ลดปริมาณของฟลินท์ (Flint) แล้วแทนที่ด้วยควอทซ์ จะช่วยลดการขยายตัวของเนื้อดิน (ฟลินท์มีความละเอียดสูง เวลาเผาทำปฏิกิริยาได้ง่าย ทำให้การเปลี่ยนเฟสเป็นคริสโตเบลไลต์มีมาก

การปรับค่าการขยายตัวของเคลือบ

ง่ายกว่า

การปรับค่าการขยายตัวของเนื้อดิน

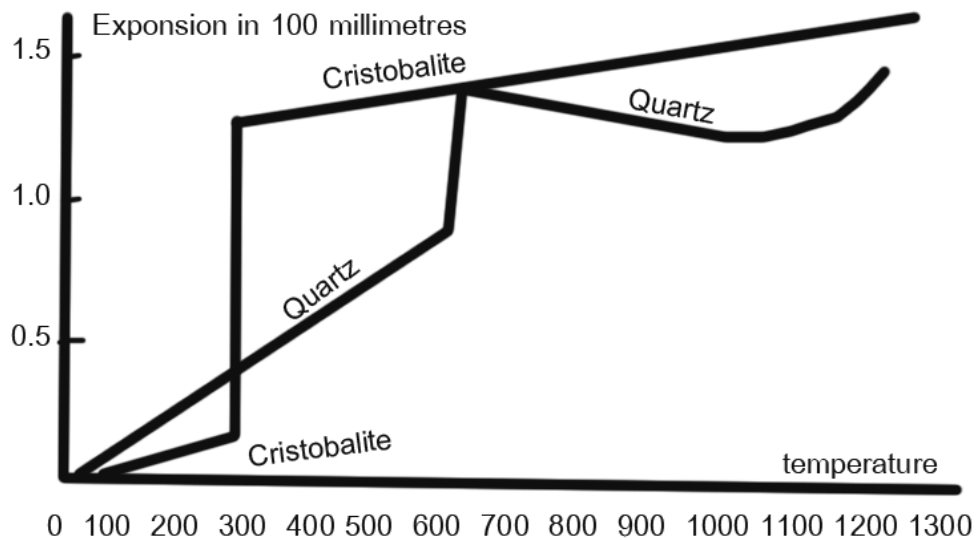
- ควบคุมความหนาของเคลือบขณะจุ่มเคลือบ เพราะความหนาของเคลือบที่มากเกินไปจนความจำเป็นมีแนวโน้มทำให้เกิดเคลือบร่อนได้ง่าย
- การเพิ่มการขยายตัวของเคลือบ เพื่อแก้ไขปัญหาเคลือบร่อน ทำได้โดยเติมฟลักซ์ วัสดุคิบกลุ่มที่เป็นตัวหลอมละลายในเคลือบ ประมาณ 5-10%
- การเติมฟลักซ์ และออกไซด์ของธาตุต่างๆเพิ่มเข้าไปในเคลือบประมาณ 1%ส่งผลให้การขยายตัวของเคลือบเป็น

สาเหตุของการเกิดเคลือบราน

1. เคลือบรานมีสาเหตุมาจากความสัมพันธ์ของเคลือบกับเนื้อดิน กล่าวคือ ถ้าเคลือบมีการขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน เมื่อเทียบกับเนื้อดินจะทำให้เกิดปัญหาเคลือบราน
2. การเผาขึ้นงานเคลือบ เนื้อดินกับเคลือบจะมีปฏิกิริยาต่อความร้อน ไม่เหมือนกัน หรือไม่พร้อมกัน กล่าวคือ เคลือบที่อยู่ด้านบนอาจจะได้รับความร้อนก่อน หลังจากนั้นความร้อนจึงผ่านเข้าไปยังเนื้อดิน โดยการเหนี่ยวนำทางความร้อน ทำให้เกิดแรงขึ้นระหว่างชั้นของเคลือบและเนื้อดิน ถ้าแรงนี้เกิดขึ้นมากก็จะเกิดการรานของเคลือบในที่สุด
3. บางครั้งความชื้นซึ่งก่อให้เกิดการขยายตัวก็ส่งผลให้เกิดการรานของเคลือบได้เช่นเดียวกัน เช่น เนื้อดินที่มีความพรุนตัวสูง เช่น เอิร์ทเทิร์นแวร์
4. ความชื้นที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกับน้ำของเนื้อดินที่มีความพรุนตัว ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในเคลือบ ซึ่งสะสมแรงขึ้นเรื่อยๆอาจทำให้เกิดการรานได้ เมื่อใช้งานไปนานๆ

5. เนื่องจากการเผาที่เร็วเกินไป ทำให้ชิ้นงานได้รับความร้อน (Heat Work) ไม่เพียงพอ การเผาแบบเร็ว ทำให้การกระจายความร้อนในเตาไม่ทั่วถึง เนื้อดินไม่สุกตัว
 6. ใช้เนื้อดินที่มีการขยายตัวต่ำ เมื่อเทียบกับเคลือบ
 7. ใช้เคลือบที่มีการขยายตัวสูง
 8. เคลือบหนาจนเกินไป จะมีโอกาสเกิดเคลือบรạnได้มากกว่าเคลือบบาง
 9. การใช้สีสแตนท์ที่เป็นออกไซด์ของโลหะ (Metallic Oxide) บางตัว เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ เป็นต้น เพราะออกไซด์เหล่านี้จะเพิ่มการขยายตัวของเคลือบ
 10. การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอย่างกะทันหัน หลังจากที่ชิ้นงานที่เผาเริ่มเย็นตัว การเปิดเตาให้กระทบความเย็นจากภายนอกในทันที ทำให้เกิดการรạnตัวของเคลือบได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าอุณหภูมิยังสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จะเสี่ยงมาก เพราะเฟสหรือรูปผลึกของคริสโตแบไลต์ยังมีการเปลี่ยนแปลง
 11. การเปลี่ยนแปลงของซิลิกาเมื่อได้รับความร้อน
 - ซิลิกาในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของหินทราย (Sandstone) หรือฟลินท์สโตน (Flinstone)
 - ในแร่ดินที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก มีส่วนประกอบของซิลิกาแทบทั้งสิ้น แต่จะมีปริมาณมากน้อย แตกต่างกันไป
- เช่น ดิน Kaolinite ประกอบด้วย $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Bentonite ประกอบด้วย $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Montmorillonte ประกอบด้วย $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- ซิลิกาอาจมีรูปผลึก (Crystal Form) ได้หลายแบบ เช่น ในธรรมชาติซิลิกาจะอยู่ในรูปควอตซ์ (Quartz)
 - เมื่อนำมาเผาจะเปลี่ยนรูปเป็น Tridimite และ Cristobalite แต่สูตรทางเคมียังคงเหมือนเดิม คือ SiO_2 ต่างกันที่การเรียงตัวของซิลิกอนอะตอมในโครงสร้างเท่านั้น
 - ในช่วงของเปลี่ยนแปลงรูปผลึกดังกล่าว ยังมีการเปลี่ยนเฟสย่อยๆ ได้แก่

ที่อุณหภูมิ 225 °C	Alpha Cristobalite	↔	Beta Cristobalite
ที่อุณหภูมิ 573 °C	Alpha Quartz	↔	Beta Quartz
ที่อุณหภูมิ 870 °C	Alpha Tridimite	↔	Beta Tridimite
- การเปลี่ยนเฟสแอลฟา เป็นเบต้าจะเกิดขึ้น ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลง เฟสเบต้าจะกลับเป็นแอลฟาเหมือนเดิม



ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซิลิกาเมื่อได้รับความร้อน

แนวทางการแก้ไขเคลือบราน

1. ต้องเผให้ได้อุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท เพื่อให้ซิลิกาในเนื้อดินเกิดเฟสคริสโตเบลไลท์มากเพียงพอ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์เอิร์ธเทิร์นแวร์ อุณหภูมิเผาจะอยู่ที่ 1100-1220 °C
2. ถ้าใช้วิธีเผาเคลือบเร็ว อย่างเตาโรลเลอร์ อาจต้องเพิ่มอุณหภูมิเผาสองเท่าวิธีเผาช้า อย่างเตาเซดเติลหรือทัลเนล เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน (Heat Work) เพียงพอ
วิธีเผาเคลือบแบบช้าช่วยให้การกระจายตัวของความร้อนทั่วถึงกว่า การเผาช้าหรือเผาช่อมอาจแก้ปัญหาเคลือบรานได้
3. เพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินด้วยการเพิ่มซิลิกา เพื่อให้เกิดคริสโตเบลไลท์มากขึ้น
4. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบด้วยการใช้ฟริตที่มีการขยายตัวต่ำ
5. ควบคุมความหนาของเคลือบขณะจุ่มเคลือบ เพราะความหนาของเคลือบที่มากเกินไปเกินไปมีแนวโน้มทำให้เกิดเคลือบรานได้ง่าย
6. ถ้าปัญหาเคลือบรานเกิดขึ้นจากการดูดซึมความชื้นของผลิตภัณฑ์ แล้วเกิดการขยายตัวสามารถแก้ไขได้ ดังนี้
 - เพิ่มอุณหภูมิในการเผา
 - เพิ่มทัลค์หรือโดโลไมต์ในส่วนของเฟลด์สปาร์
7. ให้ระวังการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอย่างกะทันหัน ต้องแน่ใจว่าชิ้นงานเย็นก่อนที่จะเปิดเตา ถ้าเป็นไปได้อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C จึงจะปลอดภัย

(เอกสารประกอบการเรียนของอาจารย์ไพจิตร อิงศิริวัฒน์)

การกำหนดแนวทางดำเนินการแก้ไขการร้าวของเคลือบสีลาด

1. การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบในน้ำเคลือบเพื่อลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว

- เพิ่มปริมาณควอทซ์หรือลดปริมาณวัตถุดิบตัวหลอมละลาย
- ใช้บอร์แทซิเดแทนควอทซ์
- ใช้วัตถุดิบตัวหลอมละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแทนวัตถุดิบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- ใช้วัตถุดิบลิเทียมแทนโซเดียมและโพแทสเซียม

(หมายเหตุ โรงงานส่วนใหญ่มีส่วนผสมของเนื้อดินคงที่ การเปลี่ยนเนื้อดินยากกว่าการเปลี่ยนเคลือบของโรงงาน จึงเลือกทำเฉพาะข้อ 1 ในการทดสอบกับเคลือบสีลาดของโรงงานบ้านสีลาด)

2. การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบในเนื้อดินเพื่อลดความพรุณตัว

- เพิ่มปริมาณดินขาวแทนดินดำที่มีทรายมาก
- เพิ่มหินฟ้าม้าบดละเอียด
- บดเนื้อดินให้ละเอียดโดยวิธีบดผสมเปียกในหม้อบดบอลมิลให้มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 10 ไมครอน 80%

การร้าวของเคลือบ มี 2 กรณี คือ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบสูงกว่าดิน รานธรรมชาติ/รานออกจากเตาทันที (Immediate crazing)
2. เนื้อดินเผาไม่สุก หรือเนื้อดินมีความพรุณตัวสูง ดูดซึมน้ำมาก (High water absorption) เมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากเตาจะไม่ราน แต่ถึงระยะเวลาหนึ่งจะเริ่มราน(Delayed Crazing) เมื่อความชื้นเข้าไปสะสมในเนื้อดิน

วัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์สีลาด

ประเภทของเนื้อดินในการทำผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ของทางโรงงานที่ใช้จัดเป็นเครื่องปั้นดินเผาชนิดเนื้อแน่นแข็งแรงค่อนข้างสูง วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือดินในท้องถิ่นที่มีความหนาไฟสูงปัจจุบันใช้ดินตามสูตรทางเซรามิกที่ซื้อเข้ามาแล้วนำมาผสมตามสูตรในการทำผลิตภัณฑ์จัดได้ว่าเป็นสโตนแวร์เนื้อละเอียดใช้ทำผลิตภัณฑ์ถ้วยชามบนโต๊ะอาหารและผลิตภัณฑ์สีลาด

วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ

โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)

เฟลด์สปาร์เป็นชื่อเรียกทั่วไปของเกลือซิลิเกต โดยทั่วไปจะหมายถึงโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ใช้ประโยชน์ในการทำแก้วและเซรามิกส์

เฟลด์สปาร์หรือหินฟันม้า มีคุณสมบัติเป็นเคลือบธรรมชาติ มีต่าง กลาง และกรดอยู่ครบในส่วนประกอบของเคลือบ มีอยู่ 3 ชนิดคือ

โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar) มีจุดหลอมละลายประมาณ $1200-1250^{\circ}C$

โซดาเฟลด์สปาร์ (Soda Feldspar) มีจุดหลอมละลายประมาณ $1100-1200^{\circ}C$

แคลเซียมเฟลด์สปาร์ (Calcium Feldspar) มีจุดหลอมละลายประมาณ $1550^{\circ}C$

เฟลด์สปาร์ที่ใช้เป็นโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโพแทสเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกตเป็นส่วนใหญ่ เฟลด์สปาร์ชนิดนี้มีจุดหลอมละลายประมาณ $1200-1250^{\circ}C$ ใช้ผสมในน้ำเคลือบหรือในเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวและการหลอมละลายของเคลือบ เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบชนิดไม่มีความเหนียว ในเคลือบสโตนแวร์จะมีปริมาณเฟลด์สปาร์อยู่ประมาณ 40-50%

อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3)

จุดหลอมละลายที่ $2,050^{\circ}C$ มีคุณสมบัติเป็นกลาง ทำให้เคลือบหนืดเกาะติดผิวดินได้ดีไม่ไหลจากตัวตัวผลิตภัณฑ์ขณะเผาถึงจุดสุกตัวหลอมละลาย ช่วยทำให้เคลือบดิบที่ยังไม่ได้เผามีความแข็งแรงสามารถเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ได้แน่นไม่หลุดเป็นฝุ่นติดมือขณะจับ หรือทำให้เคลือบมีตำหนิได้ง่าย ปกติเราใช้ดินขาวเป็นวัตถุดิบที่ให้อะลูมินาในเคลือบ เคลือบเกือบทุกชนิด มีดินขาวอยู่ประมาณ 10 % ในสูตร เพื่อช่วยให้เคลือบลอยตัวไม่ตกตะกอนกันถึง และช่วยให้เคลือบไม่หลุดเป็นฝุ่นและมีคุณสมบัติเป็นตัวหนืดในขณะที่เคลือบหลอมละลาย

วัตถุดิบที่ให้อะลูมินา ได้แก่ ดินขาว $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

อลูมินาไฮดรอกไซด์ $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$

ดินขาวเป็นดินที่เกิดจากแร่ลูมิโนในซิลิเกตที่เป็นโครงสร้างของหินชนิดต่างๆ ดินขาวที่ใช้คือดินขาวของ จังหวัด ระนองเป็นดินที่มีปริมาณ อะลูมินาสูงและปริมาณของเหล็กน้อย เป็นดินขาวที่มีคุณภาพปานกลางซึ่งเป็นแร่กาเลสินไนท์ มีความทนไฟประมาณ $1500^{\circ}C$

ดินขาวมีสารประกอบทางเคมีเป็น $(OH)_4Al_2Si_2O_3$ หรือ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ซึ่งประกอบด้วย

Al_2O_3	39.8 %
$2SiO_2$	46.3 %
$2H_2O$	13.9 %

สารประกอบข้างต้นนี้เป็นสารประกอบที่ยึดหลักสากลอาจเปลี่ยนแปลงได้บ้างเนื่องจาก 2 สาเหตุดังนี้

1. เนื่องจากโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่กันโดยธาตุต่างๆที่มีประจุบวก
2. เนื่องจากสารประกอบที่เจือปนอยู่ได้แก่ ควอตซ์(Quartz) เฟลด์สปาร์(Feldspar)รูไทล์(Rutile) ไพไรต์(Pyrite) ทัวร์มาลีน(Tourmaline) เซอร์คอน(Zircon)เฮมาไทต์(Hematite) แมกนีไทต์(Magnetite) ฟลูออไรด์(Fluoride)มัสโคไวต์(Muscovite) เป็นต้น

สมบัติทางกายภาพของดินขาว

ดินขาวโดยทั่วไปที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบผสมในเนื้อดินปั้นหรือเคลือบนั้นต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. ขนาดของเม็ดดินโดยเฉลี่ยขนาดของเม็ดดินที่เหมาะสมในการนำไปใช้ควรมีขนาดระหว่าง 0.05-1.0 ไมครอน
2. ความแข็งแรงเมื่อแห้งดินขาวมีความแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อแห้ง โดยเฉลี่ยความแข็งแรงของดินขาวควรอยู่ระหว่าง 140-120 ปอนด์/ตารางนิ้ว
3. การหดตัวหลังการเผาดินขาวมีการหดตัวหลังการเผาเฉลี่ยประมาณ 20%

แคลเซียม (CaCO_3)

แคลเซียมที่มีมีสารประกอบที่สมบูรณ์ที่สุดได้แก่แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งข้างป็นดินนิยมใช้ในการทำเคลือบ

แคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูนเป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายสูง 2500°C มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายหลักในเคลือบอุณหภูมิสูง $1250-1300^{\circ}\text{C}$ สามารถใช้เพียงตัวเดียวได้ เพื่อเป็นตัวหลอมละลายโดยปกติจะใช้คู่กับโซดาหรือโพแทสเฟลด์สปาร์ปริมาณที่ใช้ 15-25% ในเคลือบอุณหภูมิสูงช่วยให้น้ำยาเคลือบมีความแข็งแรง

สูตรทางเคมีคือ CaCO_3

แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)

เป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายที่ $1,923^{\circ}\text{C}$ มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายที่อุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง $1,180^{\circ}\text{C}-1,250^{\circ}\text{C}$ โดยปกติแล้วแบเรียมไม่ใช่ตัวหลอมละลายหลักจึงใช้เป็นตัวเร่งตัวหนึ่งในการหลอมละลายของเคลือบแต่ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย 5-8% ถ้าใช้เกินกว่านั้นก็ไม่ทำให้เคลือบละลายเร็วขึ้น ถ้าใช้เกิน 20% ขึ้นไปในเคลือบ มักจะให้สีด้านแทน เคลือบที่มีปริมาณของแบเรียมสูง ถ้าเผาเกินอุณหภูมิไปเล็กน้อย $20^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}$ จะเกิดตำหนิเป็นฟองบนผิวเคลือบ หรือเคลือบเดือดพองฟูๆจึงต้องระวังในการเผาเป็นพิเศษโดยเผาต่ำกว่าอุณหภูมิเดิมสัก $20-30^{\circ}\text{C}$ แล้วแช่เวลาที่อุณหภูมิสูงสุดไว้ 10 นาที เคลือบจะมีคุณภาพดี ไม่เกิดตำหนิเป็นฟองหลังการเผา

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

เป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายสูง หลอมละลายได้แก่ที่ $1,800^{\circ}\text{C}$ สังกะสี (Zinc) เป็นด่างที่นิยมใช้ในเคลือบอุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง $1,150^{\circ}\text{C}$ - $1,250^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ร่วมกับด่างตัวอื่นๆ เช่น หินปูน โซดาเฟลด์สปาร์ ฯลฯ ถ้าใช้เฉพาะสังกะสีเพียงตัวเดียว เคลือบจะไม่ยอมหลอมละลายเคลือบใสที่มีสังกะสี ถ้านำมาใช้เขียนสีได้เคลือบ สีเขียว สีเหลือง สีน้ำตาล จะซีดลงและสีเขียวจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลด้วย แต่เคลือบสังกะสีจะทำให้ สีน้ำเงินมีสีสดมากขึ้น และถ้าใช้ปริมาณเกิน 25% ในเคลือบจะทำให้เกิดเคลือบด้าน

แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

เป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายสูงมาก $2,800^{\circ}\text{C}$ จัดเป็นวัตถุดิบทนไฟแต่มีคุณสมบัติเป็นด่างหรือตัวหลอมละลายในเคลือบอุณหภูมิสูง $1,250^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไปถึง $1,300^{\circ}\text{C}$ แมกนีเซียมไม่ได้ใช้เป็นตัวหลอมละลายหลักในสูตรเคลือบใช้ในปริมาณน้อยมาก จาก 1-10% ถ้าใช้ปริมาณมากเคลือบจะทนไฟสูง และเกิดเป็นเคลือบกึ่งด้าน (Semi Matt) วัตถุดิบที่ให้แมกนีเซียม ได้แก่

- ทัลคัม (Talcum) $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ แมกนีเซียมซิลิเกต
- โดโลไมต์ (Dolomite) $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต
- แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium Carbonate) MgCO_3

จีเถ้าไม้

จีเถ้าไม้ใช้เป็นเคลือบมานานแล้วตามประวัติศาสตร์ของจีนและญี่ปุ่น เป็นเคลือบที่เผาในอุณหภูมิสูงชนิดแรกที่มนุษย์รู้จักทำขึ้นและยังคงนิยมใช้ต่อมาถึงยุคปัจจุบัน แต่ในขณะนี้จีเถ้าจากไม้ต่างๆ นับวันจะหาได้ยากและมีราคาแพง เคลือบจีเถ้าไม้นิยมใช้เคลือบงานเครื่องปั้นดินเผาที่เป็นศิลปะพื้นบ้าน ซึ่งนิยมกันแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่น เช่น ผลิตภัณฑ์ปิเซน ชิการากิ และมัซชิโกะ ในปัจจุบันเคลือบจีเถ้าได้นิยมแพร่หลาย ไปถึงช่างปั้นอิสระในออสเตรเลีย อเมริกา และยุโรป

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไม่นิยมเคลือบด้วยเคลือบจีเถ้าไม้ เนื่องจากจีเถ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายทำให้เคลือบที่ใช้จีเถ้าเป็นส่วนประกอบที่ไม่คงที่ การผลิตในครั้งแรกและครั้งต่อไป มักมีปัญหาเรื่องเคลือบเปลี่ยนสีไม่เหมือนเดิม ดังนั้นในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาหรือโรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาเคลือบสีต่างๆ ไม่นิยมใช้จีเถ้าในสูตรเคลือบ

คุณสมบัติของจีเถ้า

จีเถ้าไม้เนื้อแข็งหรือไม้ยืนต้น เผารีดก้านแล้วจะได้สีเขียวค่อนข้างใส ส่วนจีเถ้าพีชล้มลุกจำพวกข้งข้าวโพด กากอ้อย หรือไม้ไผ่ ก็สามารถให้จีเถ้าได้แต่มีสีขุ่นทั้งนี้ต้องทดลองเอาเศษจีเถ้าใส่ถ้วยทดสอบ ทดลองเผาพร้อมกับผลิตภัณฑ์ในเตาแก๊สหรือเตาไฟฟ้า จะเห็นการทดลองหลังการเผาได้ชัดเจน



ภาพที่ 9 ต้นไม้รกรฟ้า



ภาพที่ 10 ต้นไม้มะก่อ

ดินหน้านา

ดินหน้านามีสมบัติเป็นกรด ในดินหน้านามีซิลิกาสูง 76% และมีแร่เหล็กออกไซด์ 1.64% เป็นตัวให้สี

	ดินหน้านา	จีเถ้าไม้ก่อ	จีเถ้าไม้รกรฟ้า
SiO ₂	76.259	4.681	3.763
Al ₂ O ₃	18.611	2.515	2.025
K ₂ O	2.737	2.857	1.044
Fe ₂ O ₃	1.640	0.886	1.015
TiO ₂	0.628	0.302	0.282
SO ₃	0.084	0.298	-
ZrO ₂	0.041	-	-
PbO	-	-	-
Mn ₂ O ₃	-	0.620	-
CaO	-	77.249	88.651
MgO	-	7.691	-
P ₂ O ₅	-	2.321	-
SrO	-	0.456	0.296
BaO	-	0.123	-

(ดวงเดือน กันทะวงศ์, พฤติกรรมการตกจมของวัตถุขี้ในเคลือบสีลาด)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินหน้านา,จีเถ้าไม้ก่อ และจีเถ้าไม้รกรฟ้า

ซิลิกา (SiO₂)

จุดหลอมละลาย 1,750°C เป็นทรายแก้ว หรือหินแก้วผลึกของแร่ควอตซ์ มีค่าความแข็ง 7 ทำให้บดละเอียดได้ยาก มีสมบัติเป็นกรด ทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ ลดการไหลตัวของน้ำเคลือบ ทำให้ผิวเคลือบมีความแข็งแรงทนต่อการรอยขีดข่วน ทนแรงกระแทก ทนฤทธิ์กรด และด่างได้ดี ในเคลือบอุณหภูมิสูงทุกชนิดมีปริมาณของซิลิกาในสูตร 25-30 %

วัตถุดิบที่ให้ซิลิกา ได้แก่ ควอตซ์ (Quartz) ฟลินท์ (Flint) ซิลิกา ทรายแก้วบริสุทธิ์ และเฟลด์สปาร์ทุกชนิด

ทัลก์ (Talc, 3MgO . 4SiO₂ . H₂O)

ถูกนำมาใช้เมื่อต้องการสาร Mg และ Si ปกติทัลก์มีแร่แคลไซต์ปนมาด้วย จึงมีคุณสมบัติเป็นฟลักซ์ แต่เมื่อมีเกิน 10% จะทำให้เคลือบด้าน

ฟริต (Frit)

ในที่นี้ใช้ฟริตของ บริษัท เฟอร์โร บอแร็กซ์ฟริต NO.FT 366 เเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

ฟริตเป็นแก้วที่เกิดจากการนำสารที่เป็นองค์ประกอบหลักและมีคุณสมบัติเด่น ต่างๆกัน ที่การใช้งานต่างอุณหภูมิต่างๆของสารเคลือบมาหลอมที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1350-1500 องศาเซลเซียส โดยมีซิลิกา (Silica) เป็นสื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างของแก้ว

ทำไมจึงต้องทำเป็นฟริต

1. เพื่อเปลี่ยนเกลือของสารที่ละลายน้ำได้ให้อยู่ในรูปของสารไม่ละลายน้ำ เช่น เกลือ Carbonate, Nitrate, Sulfate, Borate
 - เพราะเกลือของสารบางตัวสามารถซึมเข้าทางผิวหนัง และสะสมในร่างกายเป็นอันตรายกับผู้เกี่ยวข้องอย่างมาก
 - เกลือบางตัวจะถูกดูดซับไว้ในรูพรุนของดิน และทำปฏิกิริยาในขณะเผา ทำให้เกิดเป็นผลเสียกับเคลือบได้อย่างมาก
2. เพื่อนำฟลักซ์ (Flux) ที่มีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิสูง เช่น แบเรียม (Barium) มาใช้งานที่อุณหภูมิต่ำลง
3. ทำให้องค์ประกอบหลักหลอมรวมกันอย่างสมบูรณ์ เมื่อนำกลับมาใช้งานในเคลือบ จะช่วยลดเวลาในการทำให้เคลือบเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ได้มาก ช่วยให้เกิดประโยชน์อย่างมากกับการเผาไฟดำได้ดีขึ้น และเผาได้เร็วขึ้น
4. ความสม่ำเสมอของสี ของเคลือบแต่ละครั้งที่ทำงาน เพราะลดอัตราผิดพลาดจากการใช้วัตถุดิบหลายๆตัวให้เหลือน้อยลง

วัตถุดิบที่ใช้ทำแท่งทดสอบ (Test)

เนื้อดินสโตนแวร์ (Stoneware)

ใช้เนื้อดินของโรงงานบ้านศิลาดลในการทดสอบ เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อแกร่งเผาที่อุณหภูมิสูง 1,250-1,300 องศาเซลเซียส เนื้อดินมีสีเทาอ่อนหรือสีน้ำตาลอ่อนทึบแสง มีความแข็งแรงทนทานกว่าดินเอร์ทเทินแวร์ ดูดซึมน้ำไม่เกิน 3% ลักษณะการปั้นค่อนข้างหนา เสี่ยงเคาะดังกังวานปานกลาง เนื่องจากเผาในอุณหภูมิสูงจนเนื้อดินสุกตัว หลอมตัวกันแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ดูดซึมน้ำแม้ว่าจะไม่เคลือบก็ตาม สามารถใช้กับเคลือบเผาอุณหภูมิสูงได้ทุกชนิด เพราะมีช่วงการเผาขาว มีชั้นของเคลือบหนา 1-2 มม. เนื้อดินไม่เปราะ แตกหักหรือบิ่นได้ง่ายเมื่อนำมาล้างหรือกระทบกัน ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์สามารถทนความร้อนและความเย็นอย่างเฉียบพลันได้ดี นิยมใช้ทำภาชนะในเตาอบ ทำถ้วยชามและชุดกาแฟ สีของเคลือบที่เผาในอุณหภูมิสูงเป็นสีขรึมน้ำเคลือบไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ เครื่องสังคโลก โอ่งมังกร และถ้วยชามที่มีเนื้อดินทึบแสง (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

กรรมวิธีการเตรียมเคลือบ

- กำหนดสูตรเคลือบและสารให้สี
- ชั่งเคลือบตามสูตร
- บดวัตถุดิบให้ละเอียดในครกสูตรละ 30 นาที
- ชุบแท่งทดสอบหรือชิ้นงานทดสอบ

วัตถุดิบทางเคมีในการเตรียมเคลือบส่วนใหญ่ ถูกบดเป็นผงละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ #200 วัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นรูปผงละเอียดสีขาวเหมือนกันหมด ยกเว้นออกไซด์ให้สีต่างๆ ดังนั้นควรเขียนชื่อวัตถุดิบทางเคมีกำกับให้ชัดเจน

การทดสอบเคลือบก่อนใช้

การเผาตัวอย่าง

เคลือบทำเสร็จใหม่หำ้นำไปใช้ก่อนที่จะเผาตัวอย่าง (Test) ควรมีแผ่นทดสอบที่กดเป็นแผ่นบางๆเจาะรูสำหรับร้อยเชือกมูมใดมูมหนึ่ง เขียนชื่อกำกับด้านหลังนำไปเผาอุณหภูมิที่ต้องการ หลังการเผาควรตรวจสอบสีของเคลือบว่าถูกต้องและมีคุณภาพคงเดิมหรือไม่ เมื่อได้เคลือบตามต้องการแล้วเขียนชื่อเคลือบที่ถั่งและอุณหภูมิการเผาให้ชัดเจนผูกไว้ข้างถั่ง

การทดสอบความชื้นของเคลือบ

เคลือบก่อนใช้ชุบผลิตภัณฑ์ต้องกวณเคลือบลอยตัวจากกันถั่งให้หมดแล้วทดลองชุบชิ้นงานตัวอย่าง 1 ชิ้นหรือเศษผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาถิบแล้วก็ได้โดยนำผลิตภัณฑ์จุ่มลงในถั่งเคลือบตรวจสอบความหนาของเคลือบมีความหนา 1-1.5 มม.

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้วิธีการทดสอบความชื้นของเคลือบให้ได้มาตรฐานทุกครั้งโดยวิธีตวงน้ำยาเคลือบที่กวนแล้ว 1 ลิตร ปริมาตร 1000 ซีซี นำไปชั่งหาค่าน้ำหนักมาตรฐานทุกครั้งโดยการใช้หลักความถ่วงจำเพาะของเหลวชนิดเดียวกันที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ย่อมมีน้ำหนักมากกว่าของเหลวชนิดเดียวกันที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ด้วยตวงที่ใช้เป็นบีเกอร์(Beaker) ทรงกระบอกหรือเหยือกตวงที่มีขีดบอกซีซี เห็นปริมาตรชัดเจน เมื่อชั่งเคลือบแล้วหาค่าน้ำหนักของกระบอกตวงออกจะได้ค่าน้ำหนักเคลือบปริมาณ 1 ลิตร โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ทางโรงงานเดิมได้บันทึกไว้ในการบดน้ำยาเคลือบทุกครั้งความเข้มข้นต้องได้มาตรฐานคงเดิม น้ำเคลือบจะได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ

การเผาผลิตภัณฑ์สีลาดเผาโดยใช้เตาแก๊สของโรงงานบ้านสีลาด

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกมี 2 ขั้นตอน

1. การเผาดิบ (Biscuit Firing) 800 องศาเซลเซียส บรรยากาศสันดาปสมบูรณ์
2. การเผาเคลือบ (Glost Firing) 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์

การเผาดิบ

การให้ความร้อนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนที่ละน้อยไม่ว่าจะเป็นเตาแก๊ส น้ำมัน ฟืน และไฟฟ้า ควรให้ระยะเวลาการเผาเป็นไปอย่างช้าๆ (Slow rate) สม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการเผาไม่ควรเผาเร็วจนเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้โดยง่าย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโต ควรใช้เวลาในการเผาดิบให้ยาวนานขึ้น เพื่อความปลอดภัยและความเชื่อมั่นได้ ไม่ให้ผลิตภัณฑ์แตกหรือเสียหายได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาดิบโดยทั่วไปประมาณ 750-850 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 8-10 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์และขนาดของเตา การให้เตาเย็นลงภายหลัง การให้เตาเย็นลงภายหลัง การเผาควรระมัดระวังเช่นกัน ควรให้เวลานานๆ ไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง

วงจรการเผาดิบโดยทั่วไป

จากอุณหภูมิห้อง 24 °C-230 °C เผาช้าๆ เปิดระบายไอน้ำออกจากเตาเผาไม่ควรเผาเร็วเกินไป 100 °C/1 ชั่วโมง ถ้าเผาเร็วผลิตภัณฑ์จะแตก

230 °C-573 °C ควรเผาช้าเอาไว้ตามเดิมไม่เกิน 150 °C/1 ชั่วโมง

600 °C-750 °C เป็นระยะปลอดภัยเร่งเผาได้ 200 °C /1 ชั่วโมง

750 °C –800 °C ปิดเตาเผา

*หมายเหตุ ต้องเผาดิบในบรรยากาศที่สมบูรณ์เต็มที่ ไม่ให้มีเขม่าตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการเผาใช้ระยะเวลาประมาณ 6-7 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้ว เนื้อดินแข็งเป็นหินแต่ยังดูดซึมน้ำได้ดีสามารถนำไปชุบเคลือบได้โดยไม่สลายตัวเป็นโคลน

การเผาเคลือบ

การเผาเคลือบอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลางส่วนใหญ่เป็นการเผาแบบบรรยากาศสันดาปสมบูรณ์ (มีออกซิเจนในการเผาไหม้) นอกจากเคลือบอุณหภูมิสูงซึ่งมี 2 ชนิด คือเคลือบชนิดที่เผาในบรรยากาศสันดาปสมบูรณ์ และเคลือบชนิดพิเศษที่ต้องการเผาบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ ซึ่งงานที่ผ่านการเผาเคลือบแล้วนำมาชุบเคลือบ แล้วเผาเพื่อให้เคลือบหลอมเป็นแก้วติดอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ การเผาเคลือบจะเผาที่อุณหภูมิเท่าใด บรรยากาศการเผาแบบใด ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์

วงจรการเผาเคลือบโดยทั่วไป

ช่วงแรก	24 °C – 900 °C	ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 5 ชั่วโมง
ช่วงที่สอง	900 °C – 1250 °C	ใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง
ช่วงที่สาม	แช่อุณหภูมิ 1250 °C	ใช้เวลา 10-15 นาที

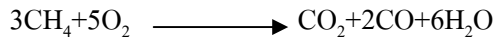
การเผาเคลือบไม่ได้สิ้นสุดเมื่อถึงอุณหภูมิ น้ำยาเคลือบเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างสลับซับซ้อนและต่อเนื่องวัตถุดิบในเคลือบค่อยๆ หลอมละลายเป็นแก้วฟองอากาศและอากาศต่าง ๆ ลอยจากผิวดินขึ้นมาแตกบนผิวเคลือบในอุณหภูมิสูงเคลือบจะค่อยๆ ไหลตัวเล็กน้อยทำให้ผิวเคลือบเนียนเรียบ เมื่อปิดเตาเผาปล่อยให้เตาเย็นตัวลงก็ยังคงเกิดปฏิกิริยาในเคลือบยังการเปลี่ยนแปลงได้อีก ถ้าปล่อยให้เย็นตัวเร็วจะได้เคลือบสีธรรมชาติ แต่ถ้าควบคุมการเผาให้ค่อยๆ เย็นตัวลงอย่างช้าๆ วัตถุดิบบางตัวก็จะเกิดผลึกหรือเป็นจุดเล็กๆ ทึบเป็นฝ้าบนผิวเคลือบ

บรรยากาศในการเผาเคลือบแบบสันดาปไม่สมบูรณ์ RF (Reduction Firing)

ปกติการเผาไหม้จะต้องประกอบด้วยเชื้อเพลิงและอากาศหรือออกซิเจน ผลที่ได้คือความร้อนซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงแต่ละชนิดนิยมเรียกว่าค่าความร้อนเป็นสัดส่วนของหน่วยความร้อน ปกติการเผาไหม้สามารถมองเห็นเปลวไฟได้สว่าง เช่นการลุกติดของเปลวเทียนลักษณะเช่นนี้เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กล่าวคือเชื้อเพลิงของเทียนไขถูกเผาไหม้หมดไปในอากาศที่มีออกซิเจนผลที่ปรากฏออกมาดังสมการเคมีดังนี้



เมื่อให้ความร้อนที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิง จะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้โดยอาศัยก๊าซออกซิเจนช่วยให้เชื้อเพลิงเกิดการลุกติดไฟเป็นผลทำให้เกิดความร้อนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) รวมทั้งความชื้น (H₂O) แต่หากบรรยากาศออกซิเจนในบรรยากาศรอบๆ มีน้อยกว่าปกติเราจะพบว่ามีความควันหรือเขม่าเกิดขึ้น เช่นการเผาถ่านไม้ใช้วิธีสูบลมไม้และเผาให้ร้อนแล้วคลุมด้วยสังกะสีหรือจี๊ถ้าเคลือบ บางส่วนเพื่อจำกัดปริมาณก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ทำให้มีควันอบอวลผลที่ได้จากการเชื้อเพลิงที่เผาแบบสันดาปไม่สมบูรณ์คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังสมการต่อไปนี้



การเผาด้วยบรรยากาศไม่สมบูรณ์ภายในเตาเผาจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของออกซิเจนได้ถูกกำจัดลงสามารถสังเกตได้ โดยการลองสอดท่อนไม้เล็กๆเข้าไปในเตาเผ่าถ้าไม้มนั้นติดไฟลุกเป็นเปลวขึ้นมาได้แสดงว่าบรรยากาศภายในเตาเผาเป็นบรรยากาศที่สมบูรณ์ แต่ถ้าท่อนไม้กลายเป็นถ่านสุกแดงโดยไม่มีเปลวไฟเช่นเดียวกับการไหม้ของรูปแสดงว่าบรรยากาศการเผาภายในเตาเป็นลักษณะไม่สมบูรณ์ การลดปริมาณอากาศ (ออกซิเจน) ที่เข้าไปช่วยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้ภายในเตาเผามีปริมาณก๊าซคาร์บอน โมโนออกไซด์มากขึ้น อุณหภูมิสูงก๊าซคาร์บอน โมโนออกไซด์จะมีคุณสมบัติดึงเอาก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในเนื้อเคลือบและเนื้อดินออกมา เป็นผลทำให้สีของเนื้อเคลือบและเนื้อดินเปลี่ยนแปลงไป วิธีการควบคุมบรรยากาศการเผาไหม้มีหลายวิธีแตกต่างกันตามลักษณะของเตาเผา เช่นเตาเผาทางเดินลมร้อนลงจะใช้วิธีการลดปริมาณอากาศที่เข้าไปผสมเชื้อเพลิงให้น้อยลงด้วยการปรับแต่งวาล์วท่อลมและการปรับลิ้นปล่องไฟ ส่วนเตาเผาลมร้อนขึ้นจะใช้วิธีการเลื่อนลิ้นปล่องไฟให้แคบลงเพื่อลดปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่เตาเผา โดยปกติการเผาด้วยเทคนิคบรรยากาศไม่สมบูรณ์จะเป็นเพียงช่วงหนึ่งของการเผาผลิตภัณฑ์เท่านั้น การเผาด้วยบรรยากาศ RF ที่นานเกินไป นอกจากจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาตกลงแล้วยังเป็นผลเสียต่อเนื้อดินทำให้เกิดการยุบตัวเกิดตำหนิเป็นปุ่มมากมายนั่นเอง ผลเสียต่อเคลือบคือทำให้สีเคลือบดูไม่สดใส ถ้าทำการเผาด้วยเตาทางเดินลมร้อนขึ้นจะพบว่าเปลวไฟล้นออกมาจากภายในเตาในบรรยากาศ RF ที่เกินความจำเป็นจึงเป็นการสูญเสียเปลวไฟทั้งเชื้อเพลิงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เทคนิคการเผาแบบ RF ไม่ใช่การเผาแบบ RF ตลอดการเผาแต่จะใช้ร่วมกับการเผาที่บรรยากาศสมบูรณ์และบรรยากาศแบบ RF สลับกันไป เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่การเผาที่สมบูรณ์มากเกินไปจะทำให้เคลือบที่เผามีสีซีดจางไม่น่าดู โดยเฉพาะเคลือบเคลือบที่ผิวเคลือบ การเผาแบบ RF

วิธีการเผา RF แบ่งได้เป็น 3 ช่วง

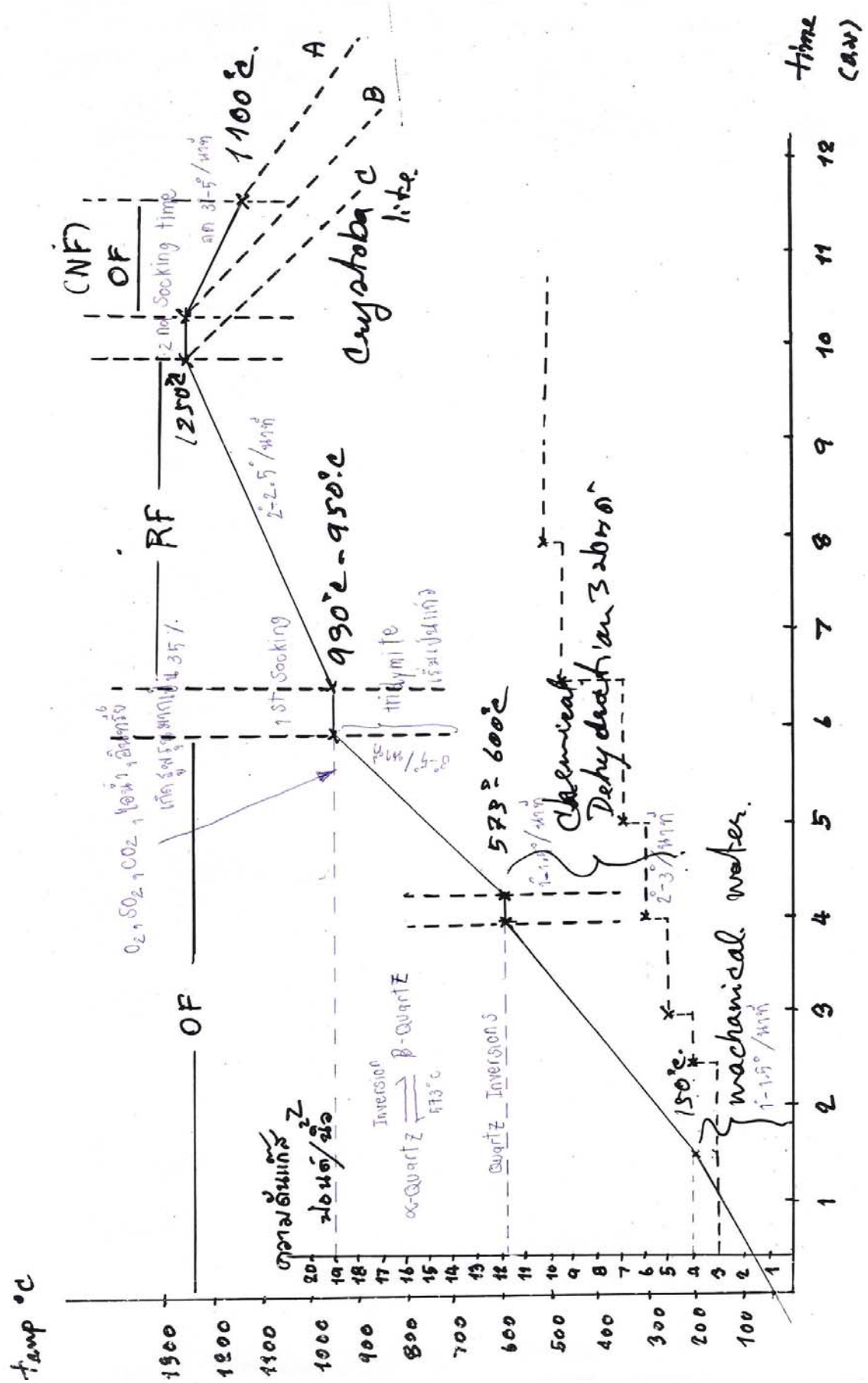
อุณหภูมิห้อง 26 °C – 950 °C เผาแบบออกซิเดชั่น (บรรยากาศสมบูรณ์)

950 °C เริ่มการเผาแบบ RF

950 °C - 1250 °C เผาแบบ RF

เผา RF ออกซิเดชั่น 10-15 นาที ก่อนปิดเตาเผา

การเผาด้วยบรรยากาศที่ไม่สมบูรณ์นิยมทำการเผาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ แต่ก็สามารถทำได้ภายในเตาเผาไฟฟ้าเช่นกัน โดยการเติมผงซิลิคอนคาร์ไบด์หรือผงคอร์ันดัมบดผ่านตะแกรงละเอียดลงในเนื้อเคลือบ ควรหลีกเลี่ยงการเผาไหม้เพื่อทำให้เกิดบรรยากาศไม่สมบูรณ์ภายในเตาเผาไฟฟ้า เนื่องจากจะทำให้ขดลวดความร้อนสึกกร่อนและหมดอายุการใช้งานก่อนกำหนด



ภาพที่ 11 แสดงกราฟการเผาเคลือบแบบสั่นดาบไม่สมบูรณ์ (RF)

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อการศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด เป็น การวิจัยแบบทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วิธีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า
2. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล
4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิธีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

วิธีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าจัดเป็นแบบการวิจัยเชิงทดลอง โดยการศึกษาจาก

- 1.1 ศึกษาลักษณะเคลือบสีลาด ของโรงงานบ้านสีลาด โดยพิจารณาจาก

คุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. การรานตัว
2. การไหลตัว
3. เนื้อผิวเคลือบ
4. เนื้อสีของเคลือบ

1.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเคลือบที่กำหนดอัตราส่วนผสมแบบตารางสี่เหลี่ยม (Quadraxial Blend) ของจีเถ้าไม้มะกอก จีเถ้าไม้รักฟ้า ดินหนานา และโพแทสเซิลด์สปาร์ จำนวน 121 สูตร เปรียบเทียบอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ที่บรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ (RF) เพื่อการคัดเลือก สูตรที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก

คุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. การรานตัว
 - เคลือบที่มีลักษณะการรานตัวแบบละเอียด คือ เป็นตาข่ายห่างประมาณ 2-3 มม.
 - เคลือบที่มีลักษณะการรานตัวแบบหยาบ คือ เป็นตาข่ายห่างประมาณ 4-5 มม.
 - เคลือบที่มีลักษณะไม่มีการรานตัว
2. การไหลตัว

3. เนื้อผิวเคลือบ
4. เนื้อสีของเคลือบ

ตารางสี่เหลี่ยม (Quadraxial Blend) จำนวน 121 จุด

A ขี้เถ้าไม้มะกอก

B ขี้เถ้าไม้รูกฟ้า

1 A 100	2 A 90 B 10	3 A 80 B 20	4 A 70 B 30	5 A 60 B 40	6 A 50 B 50	7 A 40 B 60	8 A 30 B 70	9 A 20 B 80	10 A 10 B 90	11 B 100
12 A 90 C 10	13 A 81 B 9 C 9 D 1	14 A 72 B 18 C 8 D 2	15 A 63 B 27 C 7 D 3	16 A 54 B 36 C 6 D 4	17 A 45 B 45 C 5 D 5	18 A 36 B 54 C 4 D 6	19 A 27 B 63 C 3 D 7	20 A 18 B 72 C 2 D 8	21 A 9 B 81 C 1 D 9	22 B 90 D 10
23 A 80 C 20	24 A 72 B 8 C 18 D 2	25 A 64 B 16 C 16 D 4	26 A 56 B 24 C 14 D 6	27 A 48 B 32 C 12 D 8	28 A 40 B 40 C 10 D 10	29 A 32 B 48 C 8 D 12	30 A 24 B 56 C 6 D 14	31 A 16 B 64 C 4 D 16	32 A 8 B 72 C 2 D 18	33 B 80 D 20
34 A 70 C 30	35 A 63 B 7 C 27 D 3	36 A 56 B 14 C 24 D 6	37 A 49 B 21 C 21 D 9	38 A 42 B 28 C 18 D 12	39 A 35 B 35 C 15 D 15	40 A 28 B 42 C 12 D 18	41 A 21 B 49 C 9 D 21	42 A 14 B 56 C 6 D 24	43 A 7 B 63 C 3 D 27	44 B 70 D 30
45 A 60 C 40	46 A 54 B 6 C 36 D 4	47 A 48 B 12 C 32 D 8	48 A 42 B 18 C 28 D 12	49 A 36 B 24 C 24 D 16	50 A 30 B 30 C 20 D 20	51 A 24 B 36 C 16 D 24	52 A 18 B 42 C 12 D 28	53 A 12 B 48 C 8 D 32	54 A 6 B 54 C 4 D 36	55 B 60 D 40
56 A 50 C 50	57 A 45 B 5 C 45 D 5	58 A 40 B 10 C 40 D 10	59 A 35 B 15 C 35 D 15	60 A 30 B 20 C 30 D 20	61 A 25 B 25 C 25 D 25	62 A 20 B 30 C 20 D 30	63 A 15 B 35 C 15 D 35	64 A 10 B 40 C 10 D 40	65 A 5 B 45 C 5 D 45	66 B 50 D 50
67 A 40 C 60	68 A 36 B 4 C 54 D 6	69 A 32 B 8 C 48 D 12	70 A 28 B 12 C 42 D 18	71 A 24 B 16 C 36 D 24	72 A 20 B 20 C 30 D 30	73 A 16 B 24 C 24 D 36	74 A 12 B 28 C 18 D 42	75 A 8 B 32 C 12 D 48	76 A 4 B 36 C 6 D 54	77 B 40 D 60
78 A 30 C 70	79 A 27 B 3 C 63 D 7	80 A 24 B 6 C 56 D 14	81 A 21 B 9 C 49 D 21	82 A 18 B 12 C 42 D 28	83 A 15 B 15 C 35 D 35	84 A 12 B 18 C 28 D 42	85 A 9 B 21 C 21 D 49	86 A 6 B 24 C 14 D 56	87 A 3 B 27 C 7 D 63	88 B 30 D 70
89 A 20 C 80	90 A 18 B 2 C 72 D 8	91 A 16 B 4 C 64 D 16	92 A 14 B 6 C 56 D 24	93 A 12 B 8 C 48 D 32	94 A 10 B 10 C 40 D 40	95 A 8 B 12 C 32 D 48	96 A 6 B 14 C 24 D 56	97 A 4 B 16 C 16 D 64	98 A 2 B 18 C 8 D 72	99 B 20 D 80
100 A 10 C 90	101 A 9 B 1 C 81 D 9	102 A 8 B 2 C 72 D 18	103 A 7 B 3 C 63 D 27	104 A 6 B 4 C 54 D 36	105 A 5 B 5 C 45 D 45	106 A 4 B 6 C 36 D 54	107 A 3 B 7 C 27 D 63	108 A 2 B 8 C 18 D 72	109 A 1 B 9 C 9 D 81	110 B 10 D 90
111 C 100	112 C 90 D 10	113 C 80 D 20	114 C 70 D 30	115 C 60 D 40	116 C 50 D 50	117 C 40 D 60	118 C 30 D 70	119 C 20 D 80	120 C 10 D 90	121 D 100

C ดินเหนียว

D โพลีเอทิลีน

ตารางที่ 2 ตารางสี่เหลี่ยม (Quadraxial Blend) จำนวน 121 จุด

1.3 ปรับปรุงคุณภาพของเคลือบ

1.3.1 เลือกสูตรที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเคลือบของโรงงานบ้านศิลาดล เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

1.3.2 ทำการปรับปรุงคุณภาพของสีเคลือบโดยการเลือกกลุ่มของสูตรเคลือบมา 8 สูตร โดยใส่เพิ่มโครมิกออกไซด์ ลงไป 0.1% 0.2% 0.5% เพื่อปรับสีเคลือบให้ใกล้เคียงกับโรงงาน

1.3.3 เลือกสูตรที่ดีที่สุดมาเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสัดส่วนของสูตรเคลือบศิลาดล ของโรงงาน

1.3.4 นำสูตรเคลือบของโรงงานมาเพิ่มตัวแปรวัตถุดิบที่เพิ่มและลดการรานตัวในเคลือบ คือ

1.3.4.1 โซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)

1.3.4.2 โพแทสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)

1.3.4.3 หินปูน (CaCO_3)

1.3.4.4 แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)

1.3.4.5 ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

1.3.4.6 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

1.3.4.7 แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)

1.3.4.8 ควอร์ต (SiO_2)

1.3.4.9 บอแรกซ์ฟริต (B_2O_3 , FT 366)

1.3.4.10 ดินหนานา

1.3.4.11 ทัลก์ (Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

โดยการเพิ่มสูตรเคลือบละ 5 % เช่น 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%

1.3.5 เลือกสูตรที่ตรงตามจุดประสงค์ของการวิจัย มาบดเคลือบ จำนวน 3 กิโลกรัม

1.3.5.1 เลือกสูตรที่ไม่มีการรานตัวของเคลือบศิลาดล

1.3.5.2 เลือกสูตรที่สามารถควบคุมการรานตัวของเคลือบได้

1.4 นำสูตรเคลือบที่ต้องการมาหุบผลิตภัณฑ์ เพื่อมาทดสอบกับรูปทรงของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- ภาชนะทรงกระบอก เช่น แก้วน้ำ
- ภาชนะทรงกลม เช่น แจกัน
- ภาชนะทรงแบน เช่น จาน
- ภาชนะที่เป็นถ้วยปากกว้าง เช่น ชามถ้วยเดี่ยว

(เพื่อสังเกตดูรูปทรงมีอิทธิพลต่อการรานหรือไม่)

1.5 การเผาเคลือบ

- เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส
- ในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ (RF)

1.6 รายงานผลการทดลอง

- ทำตารางผลการทดลอง แล้วเลือกสูตรที่ดีที่สุด มาเปรียบเทียบกับสูตรของโรงงานบ้านศิลาดล
- เปรียบเทียบสูตรที่ทดลองกับสูตรของโรงงานบ้านศิลาดล

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1. วัตถุดิบเนื้อดิน

- 1.1 ดินสโตนแวร์ของโรงงานบ้านศิลาดลเป็นผลิตภัณฑ์

2. วัตถุดิบเคลือบ

- 2.1 จี๊เจ้าไม้มะกอก
- 2.2 จี๊เจ้าไม้รักฟ้า
- 2.3 ดินหนานา
- 2.4 โซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
- 2.5 โพแทสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
- 2.6 หินปูน (CaCO_3)
- 2.7 แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)
- 2.8 ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2.9 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- 2.10 แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)
- 2.11 ควอร์ต (SiO_2)
- 2.12 บอแรกซ์ฟริต (B_2O_3 , FT 366)
- 2.13 ดินหนานา
- 2.14 ทัลก์ (Talc , $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ใช้เครื่องมือในการบันทึกผลการทดลอง ดังนี้

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
1											
2											
3											

4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการศึกษาข้อมูลสภาพความเป็นจริงจากตารางผลการทดลอง
2. ทำตารางผลการทดลอง แล้วเลือกสูตรที่ดีที่สุด มาเปรียบเทียบกับสูตรของโรงงานบ้าน
ศิลาชล

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเลือกสูตรเคลือบจากคุณสมบัติที่สังเกตที่ได้จากผลการทดลองเบื้องต้น
ได้แก่

1. การรานตัว
 - เคลือบที่มีลักษณะการรานตัวแบบละเอียด คือ เป็นตาข่ายห่างประมาณ 2-3 มม.
 - เคลือบที่มีลักษณะการรานตัวแบบหยาบ คือ เป็นตาข่ายห่างประมาณ 4-5 มม.
 - เคลือบที่มีลักษณะไม่มีการรานตัว
2. การไหลตัวของเคลือบต้องไม่มีหรือมีน้อยมาก
3. การหลอมตัวของเคลือบสมบูรณ์
4. ผิวเคลือบมีความมันวาว
5. สีของเคลือบเป็นสีเขียวใส

ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพนั้น ผลการทดลองต้องออกมาเหมือนเดิมทุกครั้งไม่มีการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการศึกษาปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด โดยใช่วิธีการศึกษา แบบการวิจัยเชิงทดลอง (True Experimental Research) ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ผลการทดลองคุณสมบัติของเคลือบ
 - ผลการทดลองเคลือบพื้นฐานแบบตารางสี่เหลี่ยม (Quadraxial Blend) จำนวน 121 สูตร
2. ลักษณะเคลือบสีลาด ของโรงงานบ้านสีลาด
3. การพัฒนาและปรับปรุงสูตรสีเคลือบสีลาด
4. การพัฒนาและปรับปรุงการรานตัวของเคลือบสีลาด

1. ผลการทดลองคุณสมบัติของเคลือบ

ผลการทดลองคุณสมบัติเคลือบสีลาด โดยใช้ดินปั้น ชุบเคลือบ หนาประมาณ 1-1.5 มม.

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่1

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
1	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุกตัว
2	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุกตัว
3	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุกตัว
4	ขาวขุ่น			/			/			/	มีคราบสีเขียวเกิดการ Running Glaze
5	น้ำตาล			/			/			/	เคลือบไม่สุกตัว
6	น้ำตาล อมเขียว		/			/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
7	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
8	เขียวใส	/				/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
9	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
10	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
11	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
12	น้ำตาล			/			/			/	เคลือบด้าน มีการไหล รุนแรง(Running Glaze)
13	น้ำตาล			/			/			/	เคลือบด้าน มีการไหล รุนแรง(Running Glaze)
14	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุกตัว
15	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุกตัว
16	น้ำตาล อมเขียว	/				/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
17	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
18	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
19	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
20	เขียวใส	/				/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
21	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
22	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ

สูตร	สี	การไหลตัว			การร่วน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
23	น้ำตาล			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
24	น้ำตาล			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
25	น้ำตาล			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
26	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
27	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
28	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
29	เขียวใส	/				/		/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
30	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
31	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
32	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
33	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
34	น้ำตาล			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
35	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
36	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
37	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
38	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
39	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
40	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
41	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
42	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
43	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
44	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
45	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
46	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
47	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
48	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
49	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
50	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
51	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
52	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
53	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
54	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
55	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
56	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
57	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
58	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
59	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
60	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
61	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
62	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
63	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
64	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
65	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
66	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบเกิดผลึก
67	เขียว	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
68	เขียวใส		/		/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
69	เขียว		/			/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
70	เขียว		/			/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
71	เขียวใส		/			/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
72	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
73	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
74	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
75	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
76	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
77	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
78	เขียวขุ่น			/			/			/	ผิวเคลือบเกิดการไหลรุนแรง (running glaze)
79	เขียวขุ่น		/				/			/	เคลือบไหลรุนแรง

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
80	เขียวขุ่น		/			/				/	-
81	เขียวใส	/			/			/			-
82	เขียวใส		/		/			/			-
83	เขียวใส	/			/			/			-
84	เขียวใส		/		/			/			-
85	เขียวใส	/			/			/			-
86	เขียวใส	/			/			/			-
87	เขียวใส		/		/			/			-
88	เขียวใส		/		/			/			-
89	เขียวขี้ม้า			/			/			/	-
90	เขียวขี้ม้า			/			/			/	-
91	เขียวขี้ม้า			/			/			/	-
92	เขียวขี้ม้า			/			/			/	-
93	เขียวขุ่น		/		/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
94	เขียวใส		/		/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
95	เขียวใส		/		/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
96	เขียวใส		/		/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
97	เขียวใส		/		/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
98	เขียวใส		/		/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
99	เขียว			/	/			/			ผิวเคลือบมีฟองอากาศ
100	น้ำตาลอม ส้มขุ่น		/				/			/	เคลือบมีผิวกะเทาะออก
101	น้ำตาล อ่อนขุ่น		/				/			/	เคลือบไหลรุนแรง (running glaze)
102	น้ำตาล อ่อนขุ่น		/				/			/	เคลือบไหลรุนแรง (running glaze)
103	น้ำตาล อ่อนขุ่น		/				/			/	เคลือบไหลรุนแรง (running glaze)
104	เขียว		/				/	/			-
105	เขียวอม น้ำตาลขุ่น		/			/		/			-

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
106	เทาขุ่น		/			/		/			-
107	เทาขุ่น		/			/		/			-
108	เทาขุ่น		/			/		/			-
109	ขาวขุ่น		/		/			/			เคลือบรานแบบकिन्टะ
110	ขาวขุ่น		/		/			/			เคลือบรานแบบकिन्टะ
111	เทาอม น้ำตาล เข้มขุ่น		/				/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออก
112	น้ำตาล ขุ่น		/				/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออก
113	ครีมน้ำตาล ขุ่น		/				/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออก
114	ครีมน้ำตาล ขุ่น		/				/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออก
115	ครีมขุ่น		/				/			/	ผิวเคลือบแตกร้าว
116	ครีมขุ่น		/				/			/	ผิวเคลือบแตกร้าว
117	ครีมขุ่น			/		/			/		-
118	ขาวขุ่น			/		/			/		-
119	ขาวขุ่น			/		/		/			-
120	ขาวขุ่น			/	/			/			เคลือบรานแบบकिन्टะ
121	ขาวขุ่น			/	/						เคลือบรานแบบकिन्टะ

จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเคลือบบนเนื้อดินปั้นว่าบริเวณที่เป็นเคลือบทนไฟจะอยู่ในช่วงมุมที่มีจี๋เข้าไม้ระก้อมาก (สูตรที่ 1-6,12-16,23-25) ส่วนที่เป็นเคลือบไหลจะอยู่ในช่วงมุมที่มีจี๋เข้าไม้ระก้อมาก (สูตรที่ 7-11,17-22,26-33,35-44,45-55) ส่วนที่มีการรานตัวของเคลือบหยาบโดยความกว้างของตาข่ายประมาณ 4-5 มม.จะอยู่ในช่วงที่มีดินหนานาและโพแทสเซิลด์สปาร์มาก(สูตรที่ 94-99, 105-108) ส่วนที่มีการรานตัวของเคลือบละเอียดโดยความกว้างของตาข่ายประมาณ 2-3 มม. จะอยู่ในช่วงที่มีจี๋เข้าไม้ระก้อมาก กับโพแทสเซิลด์สปาร์มาก (สูตรที่ 74-77,85-88) ส่วนที่ไม่มีการรานตัวของเคลือบหรือมีน้อยมากและผิวเคลือบมีลักษณะด้านจะอยู่ในช่วงที่มีดินหนานามาก (สูตรที่ 89-92,100-104,111-115) ส่วนที่เป็นเคลือบकिन्टะจะอยู่ในช่วงที่มีโพแทสเซิลด์สปาร์มาก(สูตรที่ 109,110,119-121)



ภาพที่ 12 แสดงผลการทดลองคุณสมบัติเคลือบสีลาด โดยใช้ดินปั้น

A ชี้อ่าไม้ก่อ

B ชี้อ่าไม้รักฟ้า

1 A 100	2 A 90 B 10	3 A 80 B 20	4 A 70 B 30	5 A 60 B 40	6 A 50 B 50	7 A 40 B 60	8 A 30 B 70	9 A 20 B 80	10 A 10 B 90	11 B 100	
12 A 90 C 10	13 A 81 B 9 C 10	14 A 72 B 18 C 10	15 A 63 B 27 C 7 D 3	16 A 54 B 36 C 6 D 4	17 A 45 B 45 C 5 D 5	18 A 36 B 54 C 4 D 6	19 A 27 B 63 C 2 D 2	20 A 18 B 72 C 2 D 2	21 A 9 B 81 C 1 D 1	22 B 90 D 10	
23 A 80 C 20	เคลือบทนไฟ				27 A 48 B 32 C 12 D 8	28 A 40 B 40 C 10 D 10	29 A 32 B 48 C 8 D 12	เคลือบไหล			33 B 80 D 20
34 A 70 C 30	35 A 63 B 7 C 27 D 3	36 A 56 B 14 C 24 D 6	37 A 49 B 21 C 21 D 9	38 A 42 B 28 C 18 D 12	39 A 35 B 35 C 15 D 15	40 A 28 B 42 C 12 D 18	41 A 21 B 49 C 9 D 21	42 A 14 B 36 C 6 D 24	43 A 7 B 63 C 3 D 27	44 B 70 D 30	
45 A 60 C 40	46 A 54 B 8 C 36 D 4	47 A 48 B 12 C 32 D 8	48 A 42 B 18 C 28 D 12	49 A 36 B 24 C 24 D 16	เคลือบรานละเอียด				54 A 6 B 54 C 4 D 36	55 B 60 D 40	
56 A 50 C 50	57 A 45 B 5 C 45 D 5	58 A 40 B 10 C 40 D 10	59 A 35 B 15 C 35 D 15	60 A 30 B 20 C 30 D 20	65 A 5 B 45 C 5 D 45	66 B 50 D 50					
67 A 40 C 60	68 A 36 B 4 C 54 D 6	69 A 32 B 8 C 48 D 12	70 A 28 B 12 C 42 D 16	71 A 24 B 16 C 36 D 24	72 A 20 B 20 C 30 D 30	73 A 16 B 24 C 24 D 36	74 A 12 B 28 C 18 D 42	75 A 8 B 32 C 12 D 48	76 A 4 B 36 C 6 D 54	77 B 40 D 60	
78 A 30 C 70	79 A 27 B 3 C 63 D 7	80 A 24 B 6 C 56 D 14	81 A 21 B 9 C 49 D 21	82 A 18 B 12 C 42 D 28	83 A 15 B 15 C 35 D 35	84 A 12 B 18 C 28 D 40	85 A 9 B 21 C 21 D 42	86 A 6 B 24 C 14 D 56	87 A 3 B 27 C 7 D 63	88 B 30 D 70	
89 A 20 C 80	90 A 18 B 2 C 72 D 8	91 A 16 B 4 C 64 D 16	92 A 14 B 6 C 58 D 24	93 A 12 B 8 C 48 D 32	เคลือบรานหยาบ				97 A 4 B 16 C 16 D 64	98 A 2 B 18 C 8 D 72	99 B 20 D 80
100 A 10 C 90	101 A 9 B 1 C 90	102 A 8 B 2 C 90	103 A 7 B 3 C 63 D 27	104 A 6 B 4 C 54 D 36	105 A 5 B 5 C 45 D 45	106 A 4 B 6 C 36 D 54	107 A 3 B 7 C 27 D 63	108 A 2 B 8 C 18 D 72	109 A 1 B 9 C 9 D 81	110 B 10 D 90	
เคลือบด้าน		114 C 70 D 30	115 C 80 D 40	116 C 50 D 50	117 C 40 D 60	เคลือบรานแบบคินตะ					

C ดินเหนียว

D โพลีเอสเตอร์สปร

ตารางที่ 4 สรุปผลของวัสดุคืบ 4 ตัวกับการรานและการไหล

ผลการทดลองคุณสมบัติเคลือบสีลาดล โดยใช้ดินหล่อ ขุบเคลือบหนาประมาณ 1-1.5 มม.

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 1

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
1	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุก
2	เขียวอมขาว		/			/				/	-
3	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุก
4	เขียวอมขาว		/		/					/	-
5	ขาว	/			/					/	มีจุดกราบสีฟ้า
6	เขียวใส	/			/				/		
7	เขียวใส	/			/				/		มีจุดกราบสีฟ้า
8	เขียวใส	/			/				/		มีจุดกราบสีฟ้า
9	เขียวใส	/			/				/		-
10	เขียวใส	/			/				/		-
11	เขียวใส	/			/				/		-
12	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุก
13	ขาวขุ่น			/			/			/	เคลือบไม่สุก มีกราบสีฟ้า
14	ขาวอมเขียว	/			/				/		มีกราบสีเหลือง
15	เขียวใส	/			/				/		มีกราบสีฟ้า
16	เขียวใส	/			/				/		-
17	เขียวใส	/			/				/		-
18	เขียวใส	/			/				/		-
19	เขียวใส	/			/				/		-
20	เขียวใส	/			/				/		-
21	เขียวใส	/			/				/		-
22	เขียวใส	/				/			/		-
23	เขียว		/				/			/	มีกราบสีฟ้า
24	เขียวใส		/		/				/		-

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
25	เขียวใส	/			/				/		-
26	เขียวใส	/			/				/		-
27	เขียวใส	/			/				/		-
28	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
29	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
30	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
31	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
32	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
33	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
34	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
35	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
36	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
37	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
38	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
39	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
40	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
41	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
42	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
43	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
44	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
45	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
46	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
47	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
48	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
49	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
50	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
51	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
52	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
53	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
54	เขียวใส	/			/			/			-
55	เขียวใส	/			/			/			-
56	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
57	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
58	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
59	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
60	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
61	เขียวใส	/			/				/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
62	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
63	เขียวใส	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
64	เขียวอมฟ้าใส	/			/			/			-
65	เขียวอมฟ้าใส		/		/			/			-
66	เขียวอมฟ้าใส	/			/			/			-
67	เขียวขี้ม้า	/			/			/			ผิวเคลือบไม่เรียบ
68	เขียวขี้ม้า			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
69	เขียวขี้ม้า			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
70	เขียวขี้ม้า		/			/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
71	เขียวขี้ม้า			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
72	เขียวขี้ม้า			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
73	เขียวขี้ม้า			/		/			/		ผิวเคลือบไม่เรียบ
74	เขียวใส		/		/			/			-
75	เขียวใส	/			/			/			-
76	เขียวอมฟ้าใส	/			/			/			-
77	เขียวอมฟ้าใส		/		/			/			-
78	เขียวขี้ม้า ขุ่น			/			/		/		เคลือบไหลรุนแรง

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
79	เขียวจี้ม้า ขุน		/			/			/		เคลือบไหลรุนแรง (running glaze)
80	เขียวจี้ม้า ขุน		/			/			/		-
81	เขียวใส		/		/			/			-
82	เขียวใส		/		/			/			-
83	เขียวใส	/			/			/			-
84	เขียวใส	/			/			/			-
85	เขียวใส		/		/			/			-
86	เขียวใส		/		/			/			-
87	เขียวอม ฟ้าใส		/		/			/			-
88	เขียวอม ฟ้าใส			/	/			/			-
89	น้ำตาลขุน			/			/	/			เคลือบไหลรุนแรง
90	น้ำตาลอม เขียวขุน			/			/	/			-
91	น้ำตาลอม เขียวขุน			/			/	/			เคลือบไหลรุนแรง
92	น้ำตาลอม เขียวขุน			/			/	/			-
93	เขียวจี้ม้า ขุน			/		/		/			-
94	เขียว เข้มขุน			/		/		/			-
95	เขียว เข้มขุน			/			/	/			-
96	เขียวขุน			/	/			/			มีฟองจุดเล็กผิวเคลือบ
97	เขียวใส			/	/			/			-
98	เขียวใส			/	/			/			รานแบบคินูตะมีฟองจุดเล็กๆ
99	เขียวใส			/	/			/			มีฟองจุดเล็กๆผิวเคลือบ
100	น้ำตาลส้ม ขุน			/			/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออกมา

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
101	น้ำตาล อ่อนขุ่น			/			/	/			-
102	น้ำตาล อ่อนขุ่น			/			/	/			-
103	น้ำตาล อ่อนขุ่น			/			/	/			-
104	เทาขุ่น			/			/	/			-
105	เทาขุ่น			/		/		/			-
106	เทาขุ่น			/			/	/			-
107	เทาขุ่น			/	/			/			-
108	เทาขุ่น			/	/			/			-
109	ขาวขุ่น			/	/			/			มีฟองจุดเล็กผิวเคลือบ
110	ขาวขุ่น			/	/			/			มีฟองจุดเล็กผิวเคลือบ
111	เทาอม น้ำตาลขุ่น			/			/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออกมา
112	น้ำตาลขุ่น			/			/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออกมา
113	ครีม น้ำตาลขุ่น			/			/			/	ผิวเคลือบกะเทาะออกมา
114	ครีม น้ำตาลขุ่น			/			/			/	ผิวเคลือบแตกเล็กน้อย
115	ครีม น้ำตาลขุ่น			/			/			/	ผิวเคลือบแตกเล็กน้อย
116	ครีมขุ่น			/			/			/	-
117	ครีมขุ่น			/		/			/		-
118	ขาวขุ่น			/		/			/		-
119	ขาวขุ่น			/	/			/			-
120	ขาวขุ่น			/	/			/			-
121	ขาวขุ่น			/	/			/			-



ภาพที่ 13 แสดงผลการทดลองคุณสมบัติเคลือบสีลาด โดยใช้ดินหล่อ

A ขี้เถ้าไม้ก่อก

B ขี้เถ้าไม้รูกฟ้า

1 A 100	2 A 90 B 10	3 A 80 B 20	4 A 70 B 30	5 A 60 B 40	6 A 50 B 50	7 A 40 B 60	8 A 30 B 70	9 A 20 B 80	10 A 10 B 90	11 B 100	
12 A 90 C 10	13 A 81 B 9 C 9	14 A 72 B 18 C 9	15 A 63 B 27 C 7	16 A 54 B 36 C 6 D 4	17 A 45 B 45 C 5 D 5	18 A 36 B 54 C 4 D 6	19 A 27 B 63 C 3 D 3	20 A 18 B 72 C 2 D 2	21 A 9 B 81 C 1 D 1	22 B 90 D 10	
23 A 80 C 20	เคลือบทนไฟ				27 A 48 B 32 C 12 D 8	28 A 40 B 40 C 10 D 10	29 A 32 B 48 C 8 D 12	เคลือบไหล		33 B 80 D 20	
34 A 70 C 30	35 A 63 B 7 C 27 D 3	36 A 56 B 14 C 24 D 6	37 A 49 B 21 C 21 D 9	38 A 42 B 26 C 18 D 12	39 A 35 B 35 C 15 D 15	40 A 28 B 42 C 12 D 18	41 A 21 B 49 C 9 D 21	42 A 14 B 36 C 6 D 24	43 A 7 B 63 C 3 D 27	44 B 70 D 30	
45 A 60 C 40	46 A 54 B 6 C 36 D 4	47 A 48 B 12 C 32 D 8	48 A 42 B 18 C 28 D 12	49 A 36 B 24 C 24 D 16	เคลือบรานละเอียด				53 A 12 B 48 C 8 D 32	54 A 6 B 54 C 4 D 36	55 B 60 D 40
56 A 50 C 50	57 A 45 B 5 C 45 D 5	58 A 40 B 10 C 40 D 10	59 A 35 B 15 C 35 D 15	60 A 30 B 20 C 30 D 20	เคลือบรานละเอียด				65 A 5 B 45 C 5 D 45	66 B 50 D 50	
67 A 40 C 60	68 A 36 B 4 C 54 D 6	69 A 32 B 8 C 48 D 12	70 A 28 B 12 C 42 D 18	71 A 24 B 16 C 36 D 24	72 A 20 B 20 C 30 D 30	73 A 18 B 24 C 24 D 36	74 A 12 B 28 C 18 D 42	75 A 8 B 32 C 12 D 48	76 A 4 B 36 C 6 D 54	77 B 40 D 60	
78 A 30 C 70	79 A 27 B 3 C 63 D 7	80 A 24 B 6 C 56 D 14	81 A 21 B 9 C 49 D 21	82 A 18 B 12 C 42 D 28	83 A 15 B 15 C 35 D 25	84 A 12 B 18 C 28 D 28	85 A 9 B 21 C 21 D 28	86 A 6 B 24 C 14 D 56	87 A 3 B 27 C 7 D 63	88 B 30 D 70	
89 A 20 C 80	90 A 18 B 2 C 72 D 8	91 A 16 B 4 C 64 D 16	92 A 14 B 6 C 58 D 24	93 A 12 B 8 C 48 D 32	เคลือบรานหยาบ			97 A 4 B 16 C 16 D 64	98 A 2 B 18 C 8 D 72	99 B 20 D 80	
100 A 10 C 90	101 A 9 B 1 C 90 D 10	102 A 8 B 2 C 80 D 20	103 A 7 B 3 C 63 D 27	104 A 6 B 4 C 54 D 36	105 A 5 B 5 C 45 D 45	106 A 4 B 6 C 36 D 54	107 A 3 B 7 C 27 D 63	108 A 2 B 8 C 18 D 72	109 A 1 B 9 C 9 D 81	110 B 10 D 90	
111 C 100	เคลือบด้าน		114 C 70 D 30	115 C 60 D 40	116 C 50 D 50	117 C 40 D 60	118 C 30 D 70	เคลือบรานแบบคินูตะ			

C ดินเหนียว

D โพลีเอสเตอร์สไปร์

ตารางที่ 6 สรุปผลของวัสดุเคลือบ 4 ตัวกับการรานและการไหล

จากตารางที่ 8 แสดงผลการทดลองเคลือบบนเนื้อดินหล่อว่าเคลือบที่ไม่สุกตัว (เคลือบทนไฟ) จะอยู่ในช่วงที่มีขี้เถ้าไม้กะก้อมาก (สูตรที่ 1-3, 12, 13, 23) ส่วนเคลือบที่มีการไหลตัวมาก ก็จะอยู่ในช่วงที่มีขี้เถ้าไม้รูกฟ้ามาก (สูตรที่ 6-11, 16-22, 24-33, 34-44, 45-55) ส่วนที่มีการรานตัวของเคลือบละเอียด โดยมีความกว้างของตาข่ายประมาณ 2-3 มม. จะอยู่ในช่วงที่มีขี้เถ้าไม้รูกฟ้ากับโพลีเอสเตอร์สไปร์มาก (สูตรที่ 74-77, 86-88) ส่วนที่มีการรานตัวของเคลือบหยาบ โดยความกว้างของตาข่ายประมาณ 4-5 มม. จะอยู่ในช่วงที่มีดินเหนียวและโพลีเอสเตอร์สไปร์มาก (สูตรที่ 83, 84, 94-99) ส่วนที่เป็นเคลือบคินูตะจะอยู่ในช่วงที่มีโพลีเอสเตอร์สไปร์มากๆ (สูตรที่ 108-110, 119-121)

สรุปผลการทดลองทั้ง 2 ตารางว่า

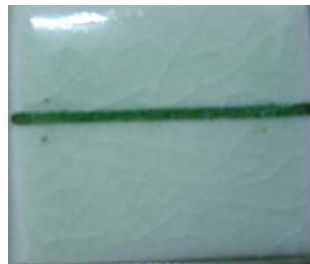
จากตารางที่ 3 และตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองเคลือบพบว่าเมื่อชุบเคลือบบนแท่งทดสอบที่ใช้ดินหล่อกับเมื่อชุบเคลือบบนแท่งทดสอบที่ใช้ดินปั้น ทำให้เคลือบทั้ง 2 ตารางไม่มีความแตกต่างหรือมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของการรานตัว จึงสามารถชุบเคลือบได้ทั้งดินปั้นและดินหล่อ และเคลือบที่มีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อคือ สูตรที่ 81 -88

2. ลักษณะเคลือบสีลาดของโรงงานบ้านสีลาด

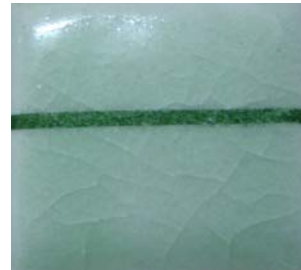
1. ตัวอย่างเคลือบสีลาดของโรงงานบ้านสีลาด โดยใช้ดินปั้น

ตารางที่ 7 แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาด

แท่ง	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
1	เขียวใส			/		/		/			
2	เขียวใส			/		/		/			
3	เขียวใส			/	/			/			
4	เขียวใส			/	/			/			



แท่งที่ 1



แท่งที่ 2



แท่งที่ 3



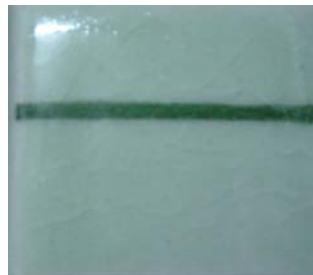
แท่งที่ 4

ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาดของโรงงานบ้านสีลาด โดยใช้ดินปั้น

2. ตัวอย่างเคลือบสีลาดล ของโรงงานบ้านสีลาดล โดยใช้ดินหล่อ

ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาดล

แท่ง	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
1	เขียวใส			/		/		/			
2	เขียวใส			/		/		/			
3	เขียวใส			/	/			/			
4	เขียวใส			/	/			/			



แท่งที่ 1



แท่งที่ 2



แท่งที่ 3



แท่งที่ 4

ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างเคลือบสีลาดล ของโรงงานบ้านสีลาดล โดยใช้ดินหล่อ

จากตารางที่ 7 และ 8 แสดงผลสรุปของตัวอย่างเคลือบสีลาดล ของโรงงานบ้านสีลาดลว่าสีของเคลือบเป็นสีเขียวใส อยู่ในเกณฑ์ดี ไม่มีการไหลตัว ส่วนการรานตัวของเคลือบไม่ค่อยสม่ำเสมอ ชุบเคลือบ 4 ครั้ง การรานตัวไม่ค่อยเหมือนกันอาจอยู่ที่ความหนาในการชุบเคลือบไม่เท่ากัน ผิวเคลือบมันวาวอยู่ในเกณฑ์ดีเท่ากัน จึงเลือกแท่งที่ 2 โดยใช้ดินหล่อ เพราะมีการรานตัวอยู่ในเกณฑ์ดี

3. การพัฒนาและปรับปรุงสูตรเคลือบ

1. เลือกสูตรเคลือบที่ดีที่สุดมา 8 สูตร มาพัฒนาสีให้ใกล้เคียงกับสูตรเคลือบของโรงงาน โดยการเติม Cr_2O_3 ปริมาณ 0.5 % ลงในทุกสูตร

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 2

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
81	เขียวเข้มอม น้ำตาลขุ่น			/		/			/		
82	เขียวเข้มอม น้ำตาลขุ่น			/		/			/		
83	น้ำตาลเข้ม อมเขียวขุ่น			/			/	/			
84	เขียวเข้มอม น้ำตาลขุ่น			/	/			/			
85	เขียวเข้มอม น้ำตาลขุ่น			/	/			/			
86	เขียวเข้มอม น้ำตาลขุ่น			/	/			/			
87	เขียวเข้มขุ่น			/	/			/			รานแบบฟลิก
88	เขียวขุ่น			/	/			/			รานแบบฟลิก



ภาพที่ 16 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 2

จากตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองเคลือบว่าเคลือบที่ลักษณะที่มีสีเขียวเข้มอมน้ำตาลขุ่น เนื่องจากมีปริมาณโครมิกออกไซด์มากเกินไป และสูตรที่ 87,88 มีการรานตัวเป็นฟลิกจึงใช้ไม่ได้ แต่ผิวเคลือบมีความมันวาวดี

2. เลือกสูตรที่ดีที่สุดมา 5 สูตร มาพัฒนาสีให้ใกล้เคียงกับสูตรเคลือบของโรงงาน โดยการลดปริมาณ Cr_2O_3 เหลือ 0.1 % ลงในทุกสูตร

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 3

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
81	เขียวขุ่น			/		/			/		
82	เขียวใส		/		/			/			
83	เขียวใส		/		/			/			
84	เขียวใส			/	/			/			รานตัวมากๆ
85	เขียวใส		/		/			/			รานตัวมากๆ



ภาพที่ 17 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 3

จากตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองเคลือบว่าโดยส่วนใหญ่จะให้สีของเคลือบเป็นสีเขียวใส ที่อยู่ในเขตดี มีการไหลตัวของเคลือบเพียงเล็กน้อย มีการรานตัวมาก ผิวเคลือบมีความมันวาว

3. นำ 5 สูตรเดิม มาพัฒนาสีเพิ่มโดยการเติม Cr_2O_3 ปริมาณ 0.2 % ลงในทุกสูตร

ตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 4

สูตร	สี	การไหลตัว			การราน			ผิวเนื้อเคลือบ			ลักษณะอื่นๆ
		มาก	น้อย	ไม่มี	มาก	น้อย	ไม่มี	มัน	กึ่ง	ด้าน	
81	เขียวขุ่น			/		/			/		
82	เขียวใส			/	/			/			
83	เขียวใส		/		/			/			
84	เขียวใส			/	/			/			รานตัวมากๆ
85	เขียวใส			/	/			/			รานตัวมากๆ



ภาพที่ 18 แสดงผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 4

จากตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองเคลือบว่าโดยส่วนใหญ่จะให้สีของเคลือบเป็นสีเขียวใส ที่อยู่ในเขตดี ไม่มีการไหลตัว มีการรานตัวมาก ผิวเคลือบมีความมันวาว จึงเลือกสูตรที่ 85 เพราะมีความใกล้เคียงกับสูตรโรงงานมากที่สุด โดยการประมาณสูตรเคลือบของโรงงาน ดังนี้

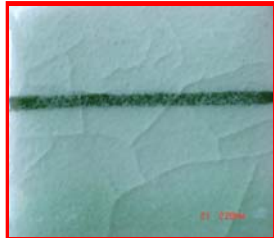
จีเถ้าไม้ก่อ	9-15 %
จีเถ้าไม้รอกฟ้า	15-25 %
ดินหนานา	15-20 %
โพแทสเซิลด์สปาร์	40-50 %

**หมายเหตุ เนื่องจากทางโรงงานไม่สามารถเปิดเผยสูตรได้ จึงต้องมีการประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์

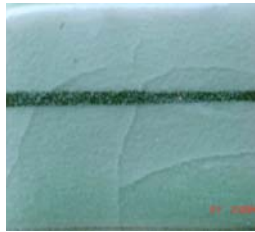
4. การพัฒนาและปรับปรุงการรานตัวของเคลือบซิลาคด

4.1 ในการพัฒนาและปรับปรุงการการรานตัวของเคลือบซิลาคด นั้นจะใช้วิธีการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ ของวัตถุดิบที่จะเติมเข้าไปที่ละ 5 %-30% ลงในเคลือบของโรงงาน

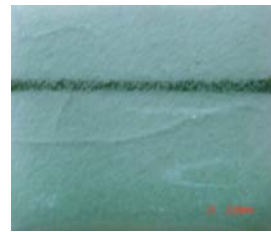
1. เติมนโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)



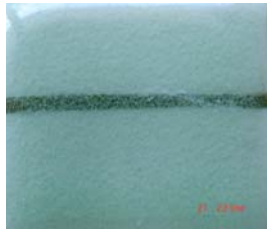
5 %



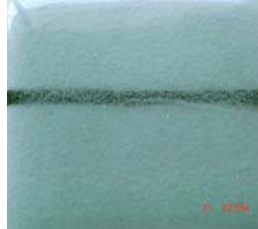
10 %



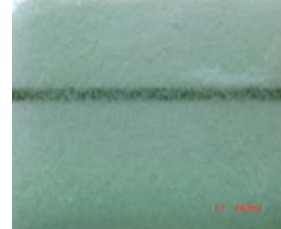
15%



20 %



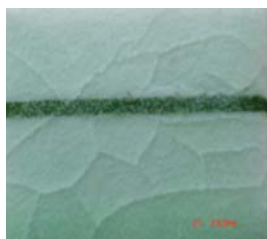
25 %



30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เมื่อเคลือบออกจากเตาเผาใน 1 สัปดาห์แรก จะไม่มีการรานตัวของเคลือบซิลาคด เมื่อสัปดาห์ถัดไปก็จะมีกรรานตัวขึ้นมา ในสูตรที่เพิ่มปริมาณ 5% , 10% , 15% ส่วนในสูตรที่เพิ่ม 20% , 25% , 30 % ไม่มีการรานตัวเลย แต่เคลือบมีสีขุ่นเล็กน้อย มีผิวมันวาว ไม่มีการไหลตัว ทุกเปอร์เซ็นต์

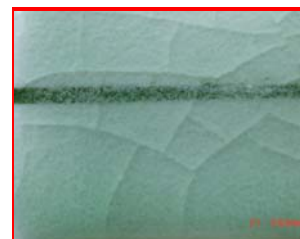
2. เติมนโพแทสเซเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)



5%



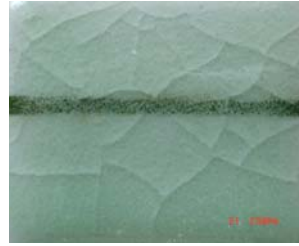
10%



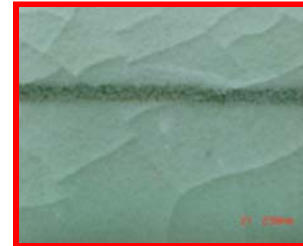
15%



20%



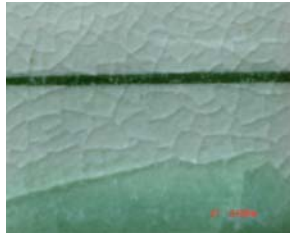
25%



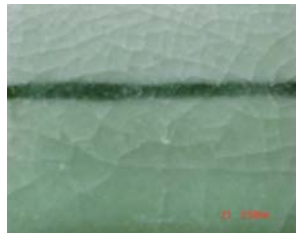
30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เมื่อเติมโพแทสเซิลด์สปาร์เพิ่มเปอร์เซ็นต์ขึ้นเรื่อยๆ ก็จะมีการรานจากที่มีเส้นรานตัวน้อยๆ ไปยังที่มีเส้นตาข่ายมากขึ้น มีผิวมันวาว ไม่มีการไหลตัว

3. เติมหินปูน (CaCO_3)



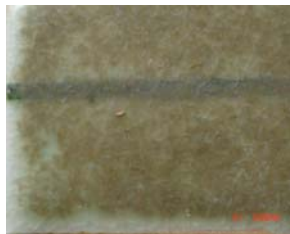
5%



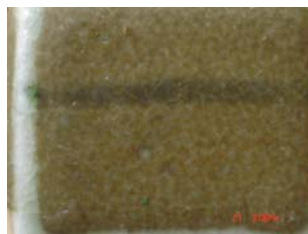
10%



15%



20%



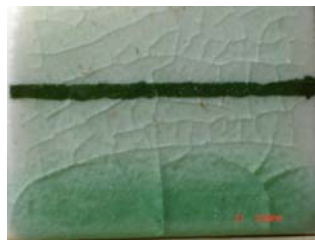
25%



30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ในสูตรเคลือบที่ 5% , 10% , 15% มีสีเขียวใสดี ผิวมันวาว มีการรานตัวที่มากและในสูตรที่ 15% มีการไหลตัวของเคลือบ ส่วนในสูตรเคลือบที่ 20% , 25% , 30% มีสีน้ำตาลขุ่นเข้ม ผิวกึ่งมันกึ่งด้าน

4. เติมเบเรียมคาร์บอเนต (BaO_3)



5%



10%



15%



20%



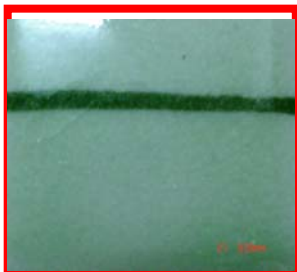
25%



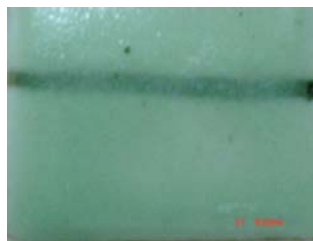
30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ผิวเคลือบมีความมันวาว มีการรานตัวมาก ในสูตรที่ 25%, 30% มีการไหลตัวของเคลือบเล็กน้อย

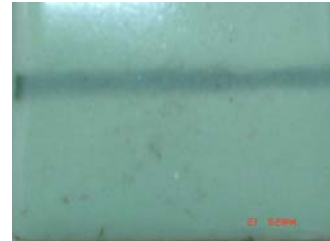
5. เติมดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)



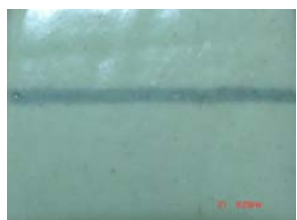
5%



10%



15%



20%



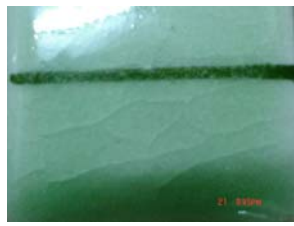
25%



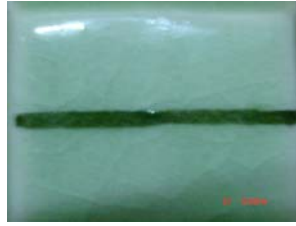
30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เคลือบทุกเปอร์เซ็นต์ไม่มีการรานตัวส่วน ไม่มีการไหลตัว ส่วนในสูตรที่ 5% มีผิวเคลือบมันวาว สีเขียวใส และในสูตรที่ 10%, 15%, 20% มีผิวเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน มีสีเขียวอมขาว ในสูตรที่ 25%, 30% มีผิวเคลือบด้าน สีขาวขุ่น

6. เติมซิงค์ออกไซด์ (ZnO)



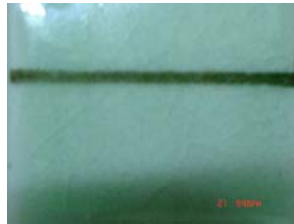
5%



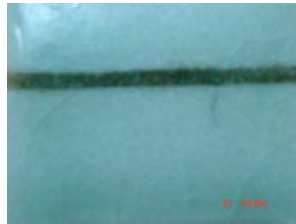
10%



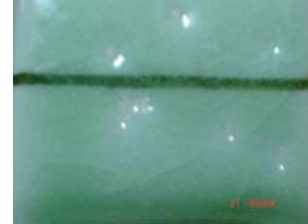
15%



20%



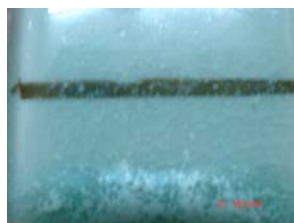
25%



30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เคลือบมีผิวมันวาว สีเขียวใส ไม่มีการไหลตัว มีการรานตัวน้อย เมื่อเพิ่มเติมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จนถึง 30% ขึ้นไปเคลือบจะมีการหดตัวเห็นเนื้อดิน

7. เติมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$)



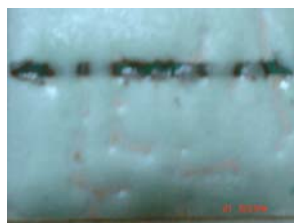
5%



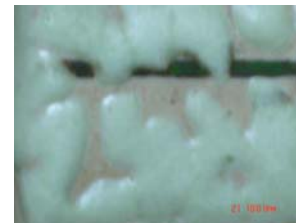
10%



15%



20%



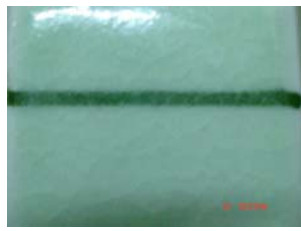
25%



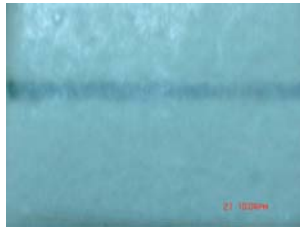
30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ในสูตรที่ 5% มีสีเขียวขุ่น มีคราบฝ้า ผิวเคลือบมันวาว ไม่มีการไหลตัว การรานตัวมาก ส่วนในสูตรที่ 10% - 30% พบว่าเมื่อเพิ่มเติมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ขึ้นเรื่อยๆก็จะทำให้เคลือบมีการหดตัวเห็นเนื้อดินมากขึ้น มีสีขาวขุ่น มีคราบสีขาวที่ผิวเคลือบ ผิวเคลือบแข็งมันกึ่งด้าน ไม่มีการไหลตัว

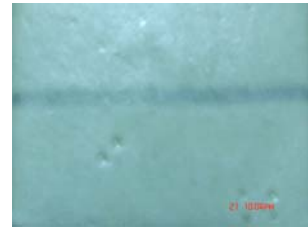
8. เติมควอร์ต (SiO₂)



5%



10%



15%



20%



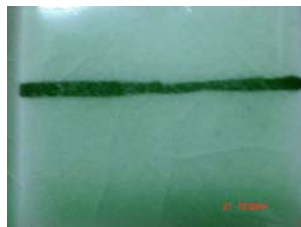
25%



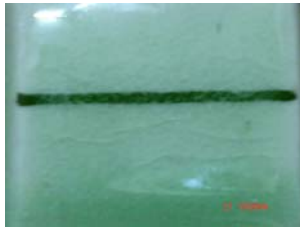
30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ในสูตรที่ 5% มีสีเขียวใส มีการรานตัวมาก ไม่มีการไหลตัว ส่วนในสูตรที่ 10%-30% มีสีขาวขุ่น ไม่มีการไหลตัว

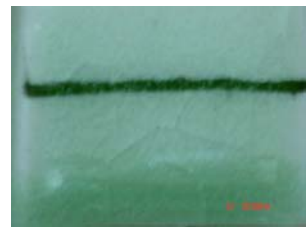
9. เติมโบรเร็กซ์ฟริต (B₂O₃, FT 366)



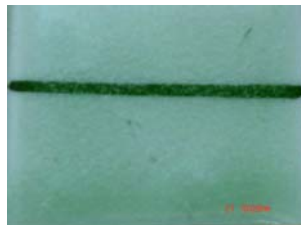
5%



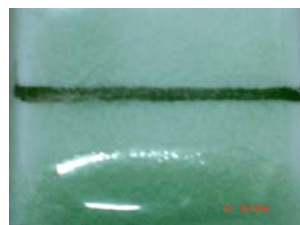
10%



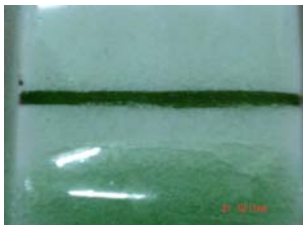
15%



20%



25%



30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เคลือบมีสีเขียวใส มีการรานตัวเล็กน้อย ไม่มีการไหลของเคลือบ แต่ในสูตรที่ 25%, 30% มีการไหลตัวเล็กน้อย

10. เติมดินหน้านา



5%



10%



15%



20%

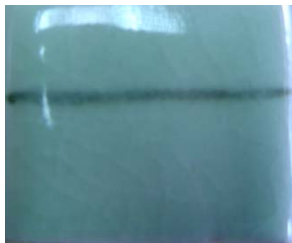


25%



30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ใน 5% -10% เคลือบมีสีเขียวใส ไม่ไหล แต่ 10 % ขึ้นไป จะไม่มีการราน มีสีน้ำตาลขุ่นและผิวเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน

11. เติมทัลก์ (Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

5%



10%



15%



20%



25%



30%

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ใน 5% เคลือบมีสีเขียวใส ไม่ไหล มีการรานตัวเล็กน้อย แต่ 10% ขึ้นไปจะมีสีขาวขุ่นทึบ ไม่รานตัว มีผิวด้าน

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 5

การพัฒนาและปรับปรุงการการานตัวของเคลือบซิลาคด นั้นจะใช้วิธีการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบที่จะเติมเข้าไปที่ละ 5 % ลงในเคลือบของโรงงาน

ดังนั้น จึงได้ทำการเลือกสูตรที่เติมโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ปริมาณ 5% และเติมดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 5% และดินหนานา ปริมาณ 5-10 % เพราะมีแนวโน้มที่จะทำให้เคลือบรานตัวน้อยลงจนถึงไม่ราน ส่วนสูตรที่เติมโปแตสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ปริมาณ 15% และ 30% เมื่อเติมลงในเคลือบแล้วทำให้เห็นการรานตัวที่แตกต่างกันจากเปอร์เซ็นต์ที่ใส่ลงในเคลือบ ถ้าใส่ลงในปริมาณมากก็จะทำให้เคลือบรานเพิ่มขึ้น

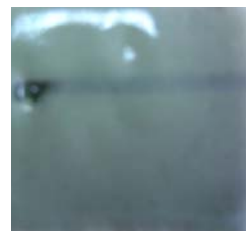
4.2 ในการพัฒนาและปรับปรุงการการานตัวของเคลือบซิลาคด ต่อจากครั้งที่ 5 โดยการเติมดินหนานาและดินขาว ลงไปในอัตราส่วน 5:5 , 7:3 , 8 : 2 และไล่เปอร์เซ็นต์ของดินหนานา คือ 8%,9%,10%



5:5



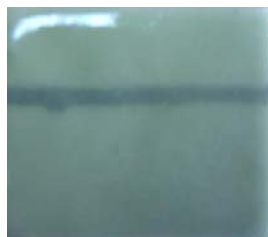
7:3



8:2



8%



9%



10%

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 6

จากผลการทดลองเคลือบซิลาคดพบว่า สูตรเคลือบที่เติมดินหนานาและดินขาวลงไปไม่มีการราน ไม่มีการไหล แต่สีเคลือบมีลักษณะเป็นสีเขียวขุ่น ส่วนเมื่อเติมดินหนานาอย่างเดียวก็น่าจะมีสีเขียวใส ไม่มีการราน และไม่มีการไหลตัว ดังนั้นจึงได้เลือกเติมดินหนานา ปริมาณ 9-10%

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยการรบกวนตัวของเคลือบซิลาคัล มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าปัจจัยที่มีการรบกวนตัวของเคลือบนั้น มีหลายปัจจัย คือมีทั้งปัจจัยทางเนื้อดิน วัตถุคิบบในเคลือบ การเย็นตัวของเตาเผา การบดเคลือบ การชุบเคลือบ ในที่นี้จะศึกษาแต่วัตถุคิบบในน้ำเคลือบเท่านั้น ส่วนในการศึกษาตัวแปรที่ทำให้เคลือบร่วนหรือไม่ร่วนตัวนั้นก็จะเพิ่มตัวแปรลงในสูตรเคลือบของโรงงานเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์ในการเพิ่มตัวแปร

ผลการทดลองเคลือบ

1. ผลการทดลองเคลือบซิลาคัล โดยใช้เนื้อดินปั้นของโรงงาน

ผลการทดลองเคลือบบนเนื้อดินปั้นว่าบริเวณที่เป็นเคลือบทนไฟจะอยู่ในช่วงมุมที่มีจี๋เข้าไม้มะก้อมาก (สูตรที่ 1-6,12-16,23-25) ส่วนที่เป็นเคลือบไหลจะอยู่ในช่วงมุมที่มีจี๋เข้าไม้รักฟามาก (สูตรที่ 7-11,17-22,26-33,35-44,45-55) ส่วนที่มีการรบกวนตัวของเคลือบหยาบโดยความกว้างของตาข่ายประมาณ 4-5 มม.จะอยู่ในช่วงที่มีดินหนานาและโพแทสเซิลด์สปาร์มาก(สูตรที่ 94-99, 105-108) ส่วนที่มีการรบกวนตัวของเคลือบละเอียดโดยความกว้างของตาข่ายประมาณ 2-3 มม. จะอยู่ในช่วงที่มีจี๋เข้าไม้รักฟากับโพแทสเซิลด์สปาร์มาก (สูตรที่ 74-77,85-88) ส่วนที่ไม่มีการรบกวนตัวของเคลือบหรือมีน้อยมากและผิวเคลือบมีลักษณะด้านจะอยู่ในช่วงที่มีดินหนานามาก (สูตรที่ 89-92,100-104,111-115) ส่วนที่เป็นเคลือบคิบนูตะจะอยู่ในช่วงที่มีโพแทสเซิลด์สปาร์มากๆ(สูตรที่ 109,110,119-121)

2. ผลการทดลองเคลือบซิลาคัล โดยใช้เนื้อดินหล่อของโรงงาน

ผลการทดลองเคลือบบนเนื้อดินหล่อว่าเคลือบที่ไม่สุกตัว(เคลือบทนไฟ)จะอยู่ในช่วงที่มีจี๋เข้าไม้มะก้อมาก (สูตรที่ 1-3,12,13,23) ส่วนเคลือบที่มีการไหลตัวมาก ก็จะอยู่ในช่วงที่มีจี๋เข้าไม้รักฟามาก (สูตรที่ 6-11,16-22,24-33,34-44,45-55) ส่วนที่มีการรบกวนตัวของเคลือบละเอียด โดยมีความกว้างของตาข่ายประมาณ 2-3 มม. จะอยู่ในช่วงที่มีจี๋เข้าไม้รักฟากับโพแทสเซิลด์สปาร์มาก (สูตรที่ 74-77,86-88) ส่วนที่มีการรบกวนตัวของเคลือบหยาบโดยความกว้างของตาข่ายประมาณ 4-5 มม.จะอยู่ในช่วงที่มีดินหนานาและโพแทสเซิลด์สปาร์มาก (สูตรที่ 83,84,94-99) ส่วนที่เป็นเคลือบคิบนูตะจะอยู่ในช่วงที่มีโพแทสเซิลด์สปาร์มากๆ(สูตรที่ 108-110,119-121)

3. ผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 2

ผลการทดลองเคลือบโดยการเพิ่มโครมิกออกไซด์ ปริมาณ 0.5 % เพื่อปรับคุณภาพสี พบว่าเคลือบโดยส่วนใหญ่จะมีสีเขียวเข้มอมน้ำตาลปนมากเกินไป และสูตรที่ 87,88 มีการรานตัวเป็นผลึกจึงใช้ไม่ได้ แต่ผิวเคลือบมีความมันวาวดี

4. ผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 3

ผลการทดลองเคลือบโดยการเพิ่มโครมิกออกไซด์ ปริมาณ 0.1 % เพื่อปรับคุณภาพของสี พบว่าโดยส่วนใหญ่จะให้สีของเคลือบเป็นสีเขียวใสที่อยู่ในเกณฑ์ดี มีการไหลตัวของเคลือบเพียงเล็กน้อย มีการรานตัวมาก ผิวเคลือบมีความมันวาว

5. ผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 4

ผลการทดลองเคลือบโดยการเพิ่มโครมิกออกไซด์ ปริมาณ 0.2 % เพื่อปรับคุณภาพของสี พบว่า โดยส่วนใหญ่จะให้สีของเคลือบเป็นสีเขียวใสที่อยู่ในเกณฑ์ดี ไม่มีการไหลตัว มีการรานตัวมาก ผิวเคลือบมีความมันวาว จึงเลือกสูตรที่ 85 เพราะมีความใกล้เคียงกับสูตรโรงงานมากที่สุด โดยการประมาณสูตรเคลือบของโรงงาน ดังนี้

ซีเมนต์กั่ว	9-15 %
ซีเมนต์รอกฟ้า	15-25 %
ดินเหนียว	15-20 %
โพแทสเซิลด์สปาร์	40-50 %
สารให้สี โครมิกออกไซด์	0.2 %

6. ผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 5

การพัฒนาและปรับปรุงการการรานตัวของเคลือบสีลาดนั้นจะใช้วิธีการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบที่จะเติมเข้าไปที่ละ 5 % ลงในเคลือบของโรงงาน

6.1 เติมนิโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เมื่อเคลือบออกจากเตาเผาใน 1 สัปดาห์แรก จะไม่มีการรานตัวของเคลือบสีลาด เมื่อสัปดาห์ถัดไปก็จะมี การรานตัวขึ้นมา ในสูตรที่เพิ่ม ปริมาณ 5% , 10% , 15% ส่วนในสูตรที่เพิ่ม 20% , 25% , 30 % ไม่มีการรานตัวเลย แต่เคลือบมีสีขุ่นเล็กน้อย มีผิวมันวาว ไม่มีการไหลตัว ทุกเปอร์เซ็นต์

6.2 เติมนิโพแทสเซิลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เมื่อเติมนิโพแทสเซิลด์สปาร์เพิ่มเปอร์เซ็นต์ขึ้นเรื่อยๆ ก็จะมีการรานจากที่มีเส้นรานตัวน้อยๆ ไปยังที่มีเส้นดาข่ายมากขึ้น มีผิวมันวาว ไม่มีการไหลตัว

6.3 เติมหินปูน (CaCO_3)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ในสูตรเคลือบที่ 5% , 10% , 15% มีสีเขียวใสดี ผิวมันวาว มีการรานตัวที่มากและในสูตรที่ 15% มีการไหลตัวของเคลือบ ส่วนในสูตรเคลือบที่ 20% , 25% , 30% มีสีน้ำตาลขุ่นเข้ม ผิวกึ่งมันกึ่งด้าน

6.4 เติมแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ผิวเคลือบมีความมันวาว มีการรานตัวมาก ในสูตรที่ 25%, 30% มีการไหลตัวของเคลือบเล็กน้อย

6.5 เติมดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เคลือบทุกเปอร์เซ็นต์ไม่มีการรานตัวส่วน ไม่มีการไหลตัว ส่วนในสูตรที่ 5% มีผิวเคลือบมันวาว สีเขียวใส และในสูตรที่ 10%, 15%, 20% มีผิวเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน มีสีเขียวอมขาว ในสูตรที่ 25%, 30% มีผิวเคลือบด้าน สีขาวขุ่น

6.6 เติมซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เคลือบมีผิวมันวาว สีเขียวใส ไม่มีการไหลตัว มีการรานตัวน้อย เมื่อเพิ่มเติมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จนถึง 30% ขึ้นไปเคลือบจะมีการหดตัวเห็นเนื้อดิน

6.7 เติมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ในสูตรที่ 5% มีสีเขียวขุ่น มีคราบฝ้า ผิวเคลือบมันวาว ไม่มีการไหลตัว การรานตัวมาก ส่วนในสูตรที่ 10% - 30% พบว่าเมื่อเพิ่มเติมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) ขึ้นเรื่อยๆก็จะทำให้เคลือบมีการหดตัวเห็นเนื้อดินมากขึ้น มีสีขาวขุ่น มีคราบสีขาวที่ผิวเคลือบ ผิวเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน ไม่มีการไหลตัว

6.8 เติมควอร์ต (SiO_2)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ในสูตรที่ 5% มีสีเขียวใส มีการรานตัวมาก ไม่มีการไหลตัว ส่วนในสูตรที่ 10%-30% มีสีขาวขุ่น ไม่มีการไหลตัว

6.9 เติมโบร่าเร็กซ์ฟริด (B_2O_3 , FT 366)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า เคลือบมีสีเขียวใส มีการรานตัวเล็กน้อย ไม่มีการไหลของเคลือบ แต่ในสูตรที่ 25%, 30% มีการไหลตัวเล็กน้อย

6.10 เติมดินหนานา

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ใน 5% -10% เคลือบมีสีเขียวใส ไม่ไหล แต่ 10 % ขึ้นไป จะไม่มีการราน มีสีน้ำตาลขุ่นและผิวเคลือบกึ่งมันกึ่งด้าน

6.11 เติมทัลก์ (Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

ผลการทดลองเคลือบพบว่า ใน 5% เคลือบมีสีเขียวใส ไม่ไหล มีการรานตัวเล็กน้อย แต่ 10% ขึ้นไปจะมีสีขาวขุ่นทึบ ไม่รานตัว มีผิวด้าน

7. ผลการทดลองเคลือบ ครั้งที่ 6

จากผลการทดลองเคลือบสีลาดพบว่า สูตรเคลือบที่เติมดินหน้าและดินขาวลงไปไม่มีการราน ไม่มีการไหล แต่สีเคลือบมีลักษณะเป็นสีเขียวขุ่น ส่วนเมื่อเติมดินหน้าอย่างเดียวก็มีสีเขียวใส ไม่มีการราน และไม่มีการไหลตัว ดังนั้นจึงได้เลือกเติมดินหน้า ปริมาณ 9-10%

อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด นั้น มีอยู่ 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยทางเนื้อดินกับปัจจัยทางน้ำเคลือบ แต่ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะในน้ำเคลือบ โดยใช้วิธี การวิจัยเชิงทดลอง หาอัตราส่วนผสมของเคลือบสีลาดขึ้นพื้นฐานจากตารางสี่เหลี่ยม เผาในบรรยากาศ รีดักชั่น (RF) ที่อุณหภูมิ $1,250^{\circ}\text{C}$ เพื่อมาพัฒนาปรับปรุงการรานตัวของเคลือบ จากนั้นก็นำเคลือบที่เราเลือกได้ใกล้เคียงกับเคลือบของโรงงานบ้านสีลาด มาประมาณสัดส่วนของเคลือบโรงงาน เนื่องจากทางโรงงานไม่สามารถเปิดเผยสูตรได้ จึงต้องมีการประมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้นก็มาพัฒนาและปรับปรุงการการรานตัวของเคลือบสีลาด โดยจะใช้วิธีการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ ของโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), โปแตสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), หินปูน (CaCO_3), แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3), ดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3), ควอร์ต (SiO_2), บอแรกซ์ฟริต (B_2O_3 , FT 366), ดินหนานา และทัลก์ ที่จะเติมเข้าไปที่ละ 5 % ลงในเคลือบของโรงงาน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. เนื่องจากโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายในน้ำเคลือบ มีจุดหลอมละลายประมาณ $1100-1200^{\circ}\text{C}$ มีค่า C.O.E. สูง หดตัวมากขณะเย็นตัว เมื่อเติมเข้าไปก็จะทำให้เคลือบไม่รานตัวใน 1-2 สัปดาห์ เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์มากขึ้นเรื่อยๆ สีของเคลือบจะมีลักษณะขุ่น

2. เนื่องจากโปแตสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายในน้ำเคลือบ มีจุดหลอมละลายประมาณ $1200-1250^{\circ}\text{C}$ มีค่า C.O.E. สูง หดตัวมากขณะเย็นตัว เมื่อเติมเข้าไปในปริมาณน้อยๆก็จะทำให้เคลือบนั้นรานตัวน้อย แต่เมื่อเติมมากขึ้นก็สามารถทำให้เคลือบนั้นรานตัวมากขึ้น

3. เนื่องจากดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) มีคุณสมบัติเป็นกลาง จุดหลอมละลายที่ $2,050^{\circ}\text{C}$ ทำให้เคลือบหนืดเกาะติดผิวดินได้ดี ไม่ไหลจากตัวตัวผลิตภัณฑ์ขณะเผาถึงจุดสุกตัวหลอมละลาย เมื่อเติมในปริมาณ 5% ก็จะทำให้เคลือบรานเล็กน้อย แต่เมื่อเติม 10% ขึ้นไปจะทำให้เคลือบด้าน

4 เนื่องจากดินเหนือนามีคุณสมบัติเป็นกลาง ในดินเหนือนามีแร่เหล็กออกไซด์ เมื่อเติมเกิน 10% จะทำให้เคลือบมีสีน้ำตาล ผิวแข็งมันกึ่งด้าน

ดังนั้น จึงได้เลือกสูตรที่เพิ่มโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ปริมาณ 5% , โปแตสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ปริมาณ 15% และ 30% , ดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 5% และดินเหนือนา ปริมาณ 9-10% ที่มีแนวโน้มดีในการที่จะพัฒนาต่อไปได้ จึงได้สูตรเคลือบสีลาดที่ไม่ราน ได้แก่ สูตรเคลือบที่เติมดินขาวไม่เกิน 5% และสูตรเคลือบที่เติมดินเหนือนาปริมาณ 9-10%

แต่เนื่องจากปัจจัยที่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัวมีหลายปัจจัย คือ 1. เนื้อดิน 2. วัตถุดิบในเคลือบ 3. การเย็นตัวของเตาเผา 4. รูปทรงของผลิตภัณฑ์ 5. ความหนาของเคลือบ สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาต่อในเรื่องการรานตัวของเคลือบสีลาดนั้น ควรจะศึกษาการใช้เนื้อดินคอมพาวด์ และเนื้อดินซูเปอร์พอร์ซเลน (SPP) เพิ่มเติม โดยใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง นำดินคอมพาวด์และดินซูเปอร์พอร์ซเลนมาทำแท่งทดสอบ เพื่อหาค่าความหดตัวของเนื้อดิน และหุบเคลือบที่ได้ทดสอบมาก่อนหน้า โดยควบคุมความหนาของเคลือบขณะจุ่มเคลือบเพราะความหนาของเคลือบที่มากเกินไปจนความจำเป็นมีแนวโน้มทำให้เกิดเคลือบรานได้ง่าย ให้ระวังการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอย่างกะทันหัน ต้องแน่ใจว่าชิ้นงานเย็นก่อนที่จะเปิดเตา ถ้าเป็นไปได้อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จึงจะปลอดภัย แต่การเปลี่ยนเนื้อดินจะมีผลต่อสีของเคลือบหลังการเผาด้วย

ปัญหาที่พบขณะทำการศึกษาค้นคว้า

1. เนื่องจากทางโรงงานไม่ค่อยให้ความร่วมมือกับการศึกษาวิจัย ทำให้เกิดความล่าช้าในการทดลอง
2. เมื่อเลือกสูตรเคลือบที่ไม่มีการราน แล้วในภายหลังเกิดการรานตัวขึ้นทำให้ควบคุมผลการทดลองรานตัวยาก
3. เมื่อหุบเคลือบลงในผลิตภัณฑ์แล้วผลเคลือบที่ออกมามีการผิเพี้ยน การรานตัวไม่เหมือนกับแท่งทดสอบ โดยเฉพาะสูตรที่ไม่มีการรานตัว
4. ไม่สามารถควบคุมความหนาบางของเคลือบได้

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาปัจจัยการรานตัวของเคลือบสีลาด ต่อผู้ที่สนใจจะนำไปศึกษาต่อควรจะมีการทดลองเนื้อดินผลิตภัณฑ์หลายชนิดด้วย เพื่อความสมบูรณ์ของการทดลอง เนื้อดินแต่ละชนิดมีผลต่อการรานของเคลือบและสีของเคลือบหลังการเผา

เอกสารอ้างอิง

- ดวงเดือน กันทะวงศ์ (2547). พฤติกรรมการตกจมของวัตถุดิบในเคลือบศิลาดล
บริษัท เฟอร์โร (ประเทศไทย) จำกัด. เอกสารประกอบของบริษัท เฟอร์โร (ประเทศไทย) จำกัด
- ปณณรัตน์ พิชญ์ไพบูรณ์ (2538). เครื่องเคลือบดินเผา เทคนิคการสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ :
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2537). รวมสูตรเคลือบเซรามิก. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2541). เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเคลือบ
- โรงงานบ้านศิลาดล (2548). เอกสารประกอบของโรงงานบ้านศิลาดล

ภาคผนวก



ภาพที่ 19 แสดงผลิตภัณฑ์เสร็จสมบูรณ์

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ปริญญานิพนธ์ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรณตัวของเคลือบสีลาด

สาขา เทคโนโลยีเซรามิก

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพิชญภา ตามี

เกิด 30 มีนาคม 2527

ที่อยู่ 130 หมู่ 4 ตำบลสันปูเลย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

ประวัติการศึกษา

- | | |
|--------------------------|--|
| - ระดับประถมศึกษา | จบจากโรงเรียนพุทธโสภณ |
| - ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น | จบจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ |
| - ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย | จบจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ |
| - ระดับปริญญาตรี | จบจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิทยาเขตภาคพายัพ |

บทความสำหรับการเผยแพร่

โครงการ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการราน

ตัวของเคลือบสีลาด

Study of factors influencing on

Celadon glaze cracking

นางสาวไพจิตร อังศิริวัฒน์ หัวหน้าโครงการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วท. ภาควิชา
นางสาวพิษณุภา ตามี ผู้ร่วมโครงการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วท. ภาควิชา

บทคัดย่อ

การทำโครงการครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาดเพื่อที่จะช่วยให้มีทางเลือกใหม่ ๆ ให้กับผู้บริโภคและเสริมสร้างเอกลักษณ์เคลือบสีลาดของชาวเชียงใหม่ อันเป็นจุดขายที่สามารถดึงดูดผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งส่งเสริมบุคคลที่สนใจได้มีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับเครื่องเคลือบสีลาดซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์ในอีกรูปแบบหนึ่งแต่ในความเป็นเอกลักษณ์ของความเป็นสีลาดนั้นมีความขัดแย้งกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ผิวของเคลือบต้องไม่มีรอยแตก รานหรือรอยร้าวเพราะจะทำให้เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ไปในระยะเวลาหนึ่งก็อาจจะทำให้เกิดคราบสิ่งสกปรกแทรกซึมลงในร่องของเคลือบ เมื่อชำระล้างไม่หมด ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จึงทำให้เกิดแนวคิดในการที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด โดยใช้วิธี การวิจัยเชิงทดลอง หาอัตราส่วนผสมของเคลือบสีลาดชั้น พื้นฐานจากตารางสี่เหลี่ยม ขนาด 121 จุด (Quadraxial Blend) และมาพัฒนาปรับปรุงการรานของเคลือบ

การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาด โดยทดลองจากการนำเคลือบของโรงงานบ้านสีลาด มาเพิ่มวัตถุดิบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวและการหดตัวของเคลือบลงในน้ำเคลือบ ในปริมาณ 5% -30% พบว่าเคลือบสีลาดที่ผสมด้วยดินเหนียว 8-10% ไม่มีการรานและไม่ไหลตัว จึงเลือกที่จะนำมาชุบผลิตภัณฑ์ ส่วนเมื่อเติมโพแทสเซิลด์สปาร์ ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) ลงไปตามเปอร์เซ็นต์มากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะทำให้เคลือบรามีการรานตัวจากหยาบไปรานละเอียด

Abstract

Celadon wares in Chiangmai is made of traditional wood ash glaze. The characteristic of the glaze is thick, glassy-green and crazing. But the standard of tablewares approved by Thai Industrial Standard, the glaze of tableware pieces must not cracks for proper cleaning.

Study of factors influence on Celadon glaze cracking to improve the glaze or stop the cracking on Celadon glaze. We try to put 11 kinds of ceramic raw materials in to Celadon glaze from 5%-30%. We found out that the clay from the surface of the rice field about 10% can stop the glaze from cracking and the colour of the glaze did not change much. But if we put potashfeldspar into Celadon glaze from 5%-30%. The glaze developed more cracks which start from bigger cracks to medium cracks and very fine cracks.

ความสำคัญ / ความจำเป็น

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบสีลาดเพื่อที่จะช่วยให้มีทางเลือกใหม่ๆให้กับผู้บริโภค และเสริมสร้างเอกลักษณ์ของเคลือบสีลาดของชาวเชียงใหม่ อันเป็นจุดขายที่สามารถดึงดูดผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งส่งเสริมบุคคลที่สนใจได้มีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สีลาดซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์ในอีกรูปแบบหนึ่ง แต่ในความเป็นเอกลักษณ์ของความเป็นสีลาดนั้นมีความขัดแย้งกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.)ผิวของเคลือบต้องไม่มีรอยแตกกรรณหรือรอยร้าวเพราะจะทำให้เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ไปในระยะเวลาหนึ่งก็อาจจะทำให้เกิดคราบสิ่งสกปรกแทรกซึมลงในร่องของเคลือบ ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรานตัวของเคลือบ
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่ทำให้เคลือบรานหรือไม่ราน

ระเบียบวิธีวิจัย (โดยย่อ)

เป็นการวิจัยแบบทดลอง(Experimental Research) ดังนี้

1. ทดลองเคลือบโดยใช้ดินสโตนแวร์ของโรงงานบ้านสีลาดเป็นผลิตภัณฑ์
2. ปรับเปลี่ยนสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในน้ำเคลือบ
3. วิเคราะห์สูตรเคลือบที่มีแนวโน้มของความเป็นไปได้

สิ่งที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 สามารถรู้ถึงปัจจัยที่มีต่อการรานตัวของเคลือบ
- 2 สามารถรู้ถึงตัวแปรที่ทำให้เคลือบรานหรือไม่รานตัว

วิธีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

วิธีที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าจัดเป็นแบบการวิจัยเชิงทดลอง โดยการศึกษาจาก

- 1.1 ศึกษาลักษณะเคลือบสีลาด ของโรงงานบ้านสีลาด โดยพิจารณาจาก

คุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. การรานตัว
2. การไหลตัว
3. เนื้อผิวเคลือบ
4. เนื้อสีของเคลือบ

- 1.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเคลือบที่กำหนดอัตราส่วนผสมแบบตารางสี่เหลี่ยม (Quadraxial Blend) ของซีเมนต์ไม่ม้ะก่อ ซีเมนต์ไม่รกรฟ้า ดินเหนียว และโพแทสเซิลด์สปาร์ จำนวน 121 สูตร เปรียบเทียบคุณสมบัติ 1,250 องศาเซลเซียส ที่บรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ (RF) เพื่อการคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก

คุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1. การรานตัว
 - เคลือบที่มีลักษณะการรานตัวแบบละเอียด คือ เป็นตาข่ายห่างประมาณ 2-3 มม.
 - เคลือบที่มีลักษณะการรานตัวแบบหยาบ คือ เป็นตาข่ายห่างประมาณ 4-5 มม.
 - เคลือบที่มีลักษณะไม่มีการรานตัว
2. การไหลตัว
3. เนื้อผิวเคลือบ
4. เนื้อสีของเคลือบ

- 1.3 ปรับปรุงคุณภาพของเคลือบ

- 1.3.1 เลือกสูตรที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเคลือบของโรงงานบ้านสีลาด เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

- 1.3.2 ทำการปรับปรุงคุณภาพของสีเคลือบโดยการเลือกกลุ่มของสูตรเคลือบมา 8 สูตร โดยใส่เพิ่ม

โครมิกออกไซด์ ลงไป 0.1% 0.2% 0.5% เพื่อปรับสีเคลือบให้ใกล้เคียงกับโรงงาน

1.3.3 เลือกสูตรที่ดีที่สุดมาเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสัดส่วนของสูตรเคลือบสีลาดล ของโรงงาน

1.3.4 นำสูตรเคลือบของโรงงานมาเพิ่มตัวแปรวัตถุดิบที่เพิ่มและลดการรานตัวในเคลือบ คือ

- โซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
- โพแทสเซิลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)
- หินปูน (CaCO_3)
- แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)
- ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)
- ควอร์ต (SiO_2)
- บอแรกซ์ฟริต (B_2O_3 , FT 366)
- ดินหนานา
- ทัลก์ (Talc , $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

โดยการเพิ่มสูตรเคลือบละ 5 % เช่น 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%

1.3.5 เลือกสูตรที่ตรงตามจุดประสงค์ของการวิจัย มาบดเคลือบ จำนวน 3 กิโลกรัม

1.3.5.1 เลือกสูตรที่ไม่มีการรานตัวของเคลือบสีลาดล

1.3.5.2 เลือกสูตรที่สามารถควบคุมการรานตัวของเคลือบได้

1.4 นำสูตรเคลือบที่ต้องการมาหุบผลิตภัณฑ์ เพื่อมาทดสอบกับรูปทรงของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- ภาชนะทรงกระบอก เช่น แก้วน้ำ
 - ภาชนะทรงกลม เช่น แจกัน
 - ภาชนะทรงแบน เช่น จาน
 - ภาชนะที่เป็นถ้วยปากกว้าง เช่น ชามถ้วยเดียว
- (เพื่อสังเกตรูปร่างมีอิทธิพลต่อการรานหรือไม่)

1.5 การเผาเคลือบ

- เเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

- ในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ (RF)

1.6 รายงานผลการทดลอง

- ทำตารางผลการทดลอง แล้วเลือกสูตรที่ดีที่สุด มาเปรียบเทียบกับสูตรของโรงงานบ้านสีลาดล
- เปรียบเทียบสูตรที่ทดลองกับสูตรของโรงงานบ้านสีลาดล

การรานตัวของเคลือบ มี 2 กรณี คือ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบสูงกว่าดิน รานธรรมชาติ/รานออกจากเตาทันที (Immediate crazing)
 2. เนื้อดินเผาไม่สูง หรือเนื้อดินมีความพรุนตัวสูง ดูดซึมน้ำมาก (High water absorption) เมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากเตาจะไม่ราน แต่ถึงระยะเวลาหนึ่งจะเริ่มราน (Delayed Crazing)
- เมื่อความชื้นเข้าไปสะสมในเนื้อดิน

แนวทางการแก้ไขเคลือบราน

1. ต้องเผาให้ได้อุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท เพื่อให้ซิลิกาในเนื้อดิน เกิดเฟสคริสโตเบลไลท์มากเพียงพอ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อีร์ธเทิร์นแวร์ อุณหภูมิเผาจะอยู่ที่ 1100-1220 °C
 2. ถ้าใช้วิธีเผาเคลือบเร็ว อย่างเตาโรลเลอร์ อาจต้องเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงกว่าวิธีเผาช้า อย่างเตาซัดเตลหรือทอลล์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน (Heat Work) เพียงพอ
- ** วิธีเผาเคลือบแบบช้าช่วยให้การกระจายตัวของความร้อนทั่วถึงกว่า การ

เผาซ้ำหรือเผาซ่อมอาจแก้ปัญหาเคลือบรานได้

3. เพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินด้วยการเพิ่มซิลิกา เพื่อให้เกิดคริสโตเบไลต์มากขึ้น

4. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบด้วยการใช้ฟritที่มีการขยายตัวต่ำ

5. ควบคุมความหนาของเคลือบขณะจุ่มเคลือบ เพราะความหนาของเคลือบที่มากเกินไปจนทำให้มีความจำเป็นมีแนวโน้มทำให้เกิดเคลือบรานได้ง่าย

6. ถ้าปัญหาเคลือบรานเกิดขึ้นจากการดูดซึมความชื้นของผลิตภัณฑ์ แล้วเกิดการขยายตัว สามารถแก้ไขได้ ดังนี้

- เพิ่มอุณหภูมิในการเผา
- เพิ่มทัลค์หรือโคโลไมต์ในส่วนของเฟลด์สปาร์

7. ให้ระวังการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอย่างกะทันหัน ต้องแน่ใจว่าชิ้นงานเย็นก่อนที่จะเปิดเตา ถ้าเป็นไปได้ อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C จึงจะปลอดภัย

สนใจจะศึกษาต่อในเรื่องการรานตัวของเคลือบซิลาคัลนั้น ควรจะศึกษาการใช้เนื้อดินคอมพาวด์ และเนื้อดินซูเปอร์พอร์ซเลน(SPP)เพิ่มเติม โดยใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง นำดินคอมพาวด์และดินซูเปอร์พอร์ซเลนมาทำแท่งทดสอบ เพื่อหาค่าความหดตัวของเนื้อดิน และหุบกเคลือบที่ได้ทดสอบมาก่อนหน้า โดยควบคุมความหนาของเคลือบขณะจุ่มเคลือบ เพราะความหนาของเคลือบที่มากเกินไปจนมีความจำเป็นมีแนวโน้มทำให้เกิดเคลือบรานได้ง่าย ให้ระวังการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอย่างกะทันหัน ต้องแน่ใจว่าชิ้นงานเย็นก่อนที่จะเปิดเตา ถ้าเป็นไปได้ อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จึงจะปลอดภัย แต่การเปลี่ยนเนื้อดินจะมีผลต่อสีของเคลือบหลังการเผาด้วย

สรุปผลการวิจัย

ดังนั้น จึงได้เลือกสูตรที่เพิ่มโซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ปริมาณ 5% , โพแทสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ปริมาณ 15% และ 30% ,ดินขาวระนอง ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 5% และดินหนานาปริมาณ 8-10% ที่มีแนวโน้มดีในการที่จะพัฒนาต่อไปได้ จึงได้สูตรเคลือบซิลาคัลที่ไม่ราน ได้แก่ สูตรเคลือบที่เติมดินขาวไม่เกิน 5% และสูตรเคลือบที่เติมดินหนานาปริมาณ 9-10%

แต่เนื่องจากปัจจัยที่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัวมีหลายปัจจัย คือ 1. เนื้อดิน 2. วัตถุดิบในเคลือบ 3. การเย็นตัวของเตาเผา 4. รูปทรงของผลิตภัณฑ์ 5. ความหนาของเคลือบ สำหรับผู้ที่