ผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

EFFECTS OF COPPER OXIDE AND TIN OXIDE ON THE APPEARANCE OF CERAMIC GLAZES AT 1230 °C

จุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี*, รังสิวุฒิ อ่อนดี

Jumpot Phongsaksri*, Rangsiwut Ondee

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: jumpot_ph@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 8 กันยายน 2568
วันที่แก้ไขบทความ 29 ธันวาคม 2568
วันที่ตอบรับบทความ 29 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสี และลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ โดยกำหนดเคลือบพื้นฐานที่มีส่วนผสมของเฟลด์สปาร์ โดโลไมท์ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินขาว ควอตซ์ และใช้คอปเปอร์ออกไซด์ ทินออกไซด์เป็นสารเพิ่มเติมแบบเจาะจง ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 จำนวน 11 ส่วนผสม เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส บรรยากาศแบบออกซิเดชั่น ผลการวิจัยพบว่า เคลือบเซรามิกส์ที่มีความเหมาะสม มีค่า Gloss Unit เฉลี่ยอยู่ที่ 79.22 สูตรส่วนผสมประกอบด้วย หินฟันม้า ร้อยละ 45 โดโลไมท์ ร้อยละ 7.5 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 10 ดินขาว ร้อยละ 7.5 และหินเขี้ยวหนุมาน ร้อยละ 30 โดยสามารถใช้สารเพิ่มเติมในส่วนผสมของสูตรเคลือบเซรามิกส์ โดยใช้ออกไซด์ 2 ชนิด ได้แก่ 1) คอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 และ 2) ทินออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 6 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ สามารถแบ่งเป็นช่วงได้ 3 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 สูตรที่ 1–3 ได้สีโทนอ่อน เขียวอมเทา–ฟ้า ช่วงที่ 2 สูตรที่ 4–6 สีเริ่มเข้มขึ้นเป็นเขียวอมเทาเข้ม และช่วงที่ 3 สูตรที่ 7–16 ได้สีเขียวเข้มถึงเขียวอมดำ โดยผลการวิจัยนี้ให้ข้อค้นพบที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเคลือบเซรามิกส์ และเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ขนาดเล็กถึงขนาดกลางในการใช้ออกไซด์ให้สีแทนสีสำเร็จรูป

คำสำคัญ: เคลือบเซรามิกส์, คอปเปอร์ออกไซด์, ดีบุกออกไซด์, ความมันเงา, สีเคลือบ

Abstract

This study aimed to investigate the effects of copper oxide (CuO) and tin oxide (SnO_2) on the color development and surface appearance of ceramic glazes. A base glaze formulation was prepared using feldspar, dolomite, calcium carbonate, kaolin, and quartz, with copper oxide and tin oxide specifically added in proportions ranging from 1 to 6 wt%, resulting in 11 glaze compositions. All samples were fired at 1230 °C under an oxidation atmosphere. The results revealed that the most suitable glaze exhibited an average gloss value of 79.22 Gloss Units, with the optimal formulation consisting of 45% feldspar, 7.5% dolomite, 10% calcium carbonate, 7.5% kaolin, and 30% quartz. The addition of copper oxide and tin oxide at different levels significantly influenced the glaze color, which could be classified into three distinct ranges: (1) Formulations 1–3 produced light tones of grayish-green to bluish-green; (2) Formulations 4–6 developed darker grayish-green shades; and (3) Formulations 7–11 yielded deep green to greenish-black hues. These findings provide useful insights for the development of ceramic glazes with controlled color variations, particularly for small-to medium-scale ceramic industries seeking alternatives to commercial coloring materials. These findings are beneficial for the development of ceramic glazes and offer an alternative to the use of coloring oxides in place of commercial colorants.

Keywords: Ceramics glaze, Copper oxide, Tin oxide, Gloss, Glaze color

1. บทนำ

เคลือบเซรามิกส์ (Ceramics glaze) คือแก้วชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกับแก้ว (ดรุณีและสุธี, 2552) การพัฒนาเคลือบเซรามิกส์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดความสวยงามน่าใช้สามารถป้องกันการรั่วซึมของภาชนะที่ใส่ของเหลว และต้องมีความแข็งแรงทนต่อการเสียดสีหรือขูดขีดบนผิวภาชนะได้ดี (ไพจิตร, 2552) โดยเคลือบที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ เคลือบใส (Transparent glaze) นอกจากจะนิยมใช้เคลือบทับภาชนะเครื่องปั้นดินเผาที่เขียนสีใต้เคลือบ แล้วยังสามารถผสมออกไซด์เพื่อเกิดสี หรือความทึบในตัวเคลือบได้ (สุขุมาล, 2564) ซึ่งการใช้ออกไซด์เป็นตัวให้สีในสูตรเคลือบจะช่วยสร้างความหลากหลายให้กับเคลือบ และเพิ่มความโดดเด่นน่าสนใจให้กับผลงาน ทำให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังเป็นทางเลือกที่มีต้นทุนต่ำกว่าการเลือกใช้สีเคลือบสำเร็จรูป ซึ่งโดยทั่วไปจะมีราคาสูงกว่าและเผาในอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเคลือบเซรามิกส์มีหลากหลายชนิด โดยเฉพาะออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้สีในเคลือบที่สำคัญ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ (Copper oxide) หรือทองแดง ซึ่งเป็นโลหะที่มนุษย์รู้จักใช้มาตั้งแต่ยุคแรก ๆ โดยเมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันจะให้สีเขียว และถือเป็นสารที่มีความเข้มของสีสูง (ไพจิตร, 2546) คอปเปอร์ออกไซด์จึงมักถูกนำมาใช้ในสูตรเคลือบเพื่อสร้างโทนสีเขียวเข้มที่มีความงดงาม และช่วยเพิ่มทางเลือกเพื่อสร้างความหลากหลายในการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้อีกทางหนึ่ง (ธมลวัฒน์, 2565) และถ้าผสมมากกว่า ร้อยละ 6 ขึ้นไปจะทำให้เกิดเป็นสีดำโลหะอาจทำให้เคลือบไหลตัว (สุขุมาล, 2564) ส่วนทินออกไซด์ (Tin oxide) เป็นสารหลักที่สำคัญในการให้สีขาวทึบ (Opacifier) ในเคลือบใส ช่วยปรับเสริมสีของออกไซด์ให้เด่นชัด (เอ็ททสิโซะ, 2553) การใช้ทินออกไซด์ในเคลือบก็เพื่อทำให้เกิดเคลือบทึบแสง เพราะว่าไม่ละลายในสารประกอบซิลิเกตช่วยทำให้เคลือบปกคลุมผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีและเป็นตัวทำให้เคลือบมีสีขาวดีที่สุด เป็นสารที่มีความสำคัญในการผลิตเคลือบสีมักใช้ทินออกไซด์ ในส่วนผสมของเคลือบ ร้อยละ 6 ซึ่งหากใช้มากเกินไปอาจทำให้เคลือบด้านหรือเคลือบไม่สุกใสเท่าที่ควร (ปรีดา, 2547)

จากข้อมูลที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงสนใจในการศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และดีบุกออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส โดยมุ่งหวังให้ได้ข้อค้นพบเกี่ยวกับสัดส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์และดีบุกออกไซด์ ผ่านการใช้ตารางผสมออกไซด์ให้สีสองชนิด (Biaxial blend) ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าสี ความสว่าง และระดับความมันเงาของเคลือบเซรามิกส์อุณหภูมิสูง เพื่อให้สามารถนำผลการศึกษาไปต่อยอดเป็นแนวทางใหม่ในการพัฒนาสีเคลือบสำหรับงานเซรามิกส์ในอนาคต โดยผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของออกไซด์ปริมาณการใช้ และผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้สำคัญอย่างยิ่งต่อผู้ประกอบการรายย่อยและกลุ่มผู้ผลิตเซรามิกส์ในระดับครัวเรือนที่นิยมใช้สารออกไซด์เป็นตัวให้สีในสูตรเคลือบที่ผสมเองมากกว่าการพึ่งพาสีสำเร็จรูป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

2.2 เพื่อศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย ไว้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดสูตรเคลือบเซรามิกส์พื้นฐานที่ใช้ในการผสมเป็นเคลือบใส ได้แก่ หินฟันม้า (Feldspar) ร้อยละ 45 โดโลไมท์ (Dolomite) ร้อยละ 7.5 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ร้อยละ 10 ดินขาว (Kaolin) ร้อยละ 7.5 และหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) ร้อยละ 30

2. กำหนดสารให้สีในการพัฒนาเคลือบเซรามิกส์แบบเจาะจง (Porpossive sampling) จากการใช้ตารางคำนวณวัตถุดิบ 2 ชนิด (Biaxial blend) (สมศักดิ์, 2549) โดยออกไซด์ 2 ชนิด ได้แก่ 1) คอปเปอร์ออกไซด์ (Copper oxide) ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 และ 2) ทินออกไซด์ (Tin oxide) ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 6 จำนวน 11 ส่วนผสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมเคลือบเซรามิกส์

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Copper Oxide	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
Tin Oxide	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
รวม	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

3. ชั่งส่วนผสมๆ ละ 100 กรัม ด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิตอลบริษัท Mettler Toledo (0.001g) รุ่น PG203-S ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ และบดผสมด้วยเครื่องบดผสมความเร็วสูง (Hi-speed mill) ขนาดเล็กสูตรละ 5 นาที ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 เครื่องบดผสมความเร็วสูง (Hi-speed mill)

4. ขึ้นรูปแผ่นทดลองสำหรับการเคลือบ (Test pieces) ขนาด 4x4 เซนติเมตร ด้วยดินสโตนแวร์สำเร็จรูปของบริษัท พอทเทอรี เคลย์จำกัด (Pottery clay) แล้วนำไปเผาดิบ (Biscuit firing) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

5. ปรับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบอยู่ระหว่าง 1.40-1.45 และชุบเคลือบแผ่นทดลองโดยใช้เวลาในการชุบเคลือบบนแผ่นทดลอง 3 วินาที

6. เผาแผ่นทดลองที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน (Oxidation firing) ด้วยเตาเผาชนิดไฟฟ้าบริษัท Carbolite Gero Ltd. รุ่น CWF1300 ประเทศอังกฤษ ทำการเผายืนไฟ เป็นเวลา 15 นาที วัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไพโรเมตริกเทอร์โมคัพเปิล (Pyrometric thermocouple) และนำแผ่นทดลองออกจากเตาไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 เผาแผ่นทดลองด้วยเตาเผาชนิดไฟฟ้า

7. วิเคราะห์การเกิดสีของเคลือบ ดังนี้ 1) สังเกตสีเคลือบจากแผ่นทดลอง 2) สีเคลือบที่สแกน (Scan) ด้วยเครื่อง Colorimeter Linshang รุ่น LS171 ประเทศจีน ได้แก่ รูปแบบรหัสสีตามเฉดสีของ Pantone-LS C 2019

8. วิเคราะห์ทดสอบค่าสีและความสว่างของเคลือบด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-400 บริษัท Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น ในระบบสเกลสี (Color Scale) L*, a*, และ b* ของ Hunter lab scale ซึ่งเป็นระบบการวิเคราะห์สีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง –L* แสดงถึงสีดำ แกน a* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว (-a*) ไปจนถึงแดง (+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน (-b*) ไปเหลือง (+b*) (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2546) โดยวัดบนผิวแผ่นทดลอง 5 จุด และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ทดสอบค่าสีและความสว่างของเคลือบด้วยเครื่อง Chroma Meter

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแผ่นทดลองที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาศึกษาวิเคราะห์ 3 ประเด็นดังนี้ 1) วิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลือบ 2) วิเคราะห์ค่าระดับความมันเงาของผิวเคลือบเซรามิกส์ และ 3) วิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ

2. วิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลือบ โดยกำหนดลักษณะเคลือบเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ 1) ผิวเคลือบมีลักษณะมันแววววาว (Bright glaze) โดยใช้การสังเกตที่ผิวเคลือบแววววาวสะท้อนแสงได้ดี 2) ผิวเคลือบมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน (Semi-matte glaze) 3) ผิวเคลือบมีลักษณะด้าน (Matte glaze) โดยใช้การสังเกตที่ผิวเคลือบหลอมสุกตัวแล้วมีผิวด้านไม่สะท้อนแสง 4) ผิวเคลือบมีลักษณะไม่สุกตัว (Unfused glaze) โดยใช้การสังเกตที่ผิวเคลือบไม่หลอมละลาย (ไพจิตร, 2547)

3. วิเคราะห์ค่าระดับความมันเงาของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความเงา (Gloss meter) รุ่น YG60S/3NH ประเทศจีน มีหน่วยวัดเป็น Gloss unit (GU) โดยวัดความมันบนผิวแผ่นทดลอง 5 จุด และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

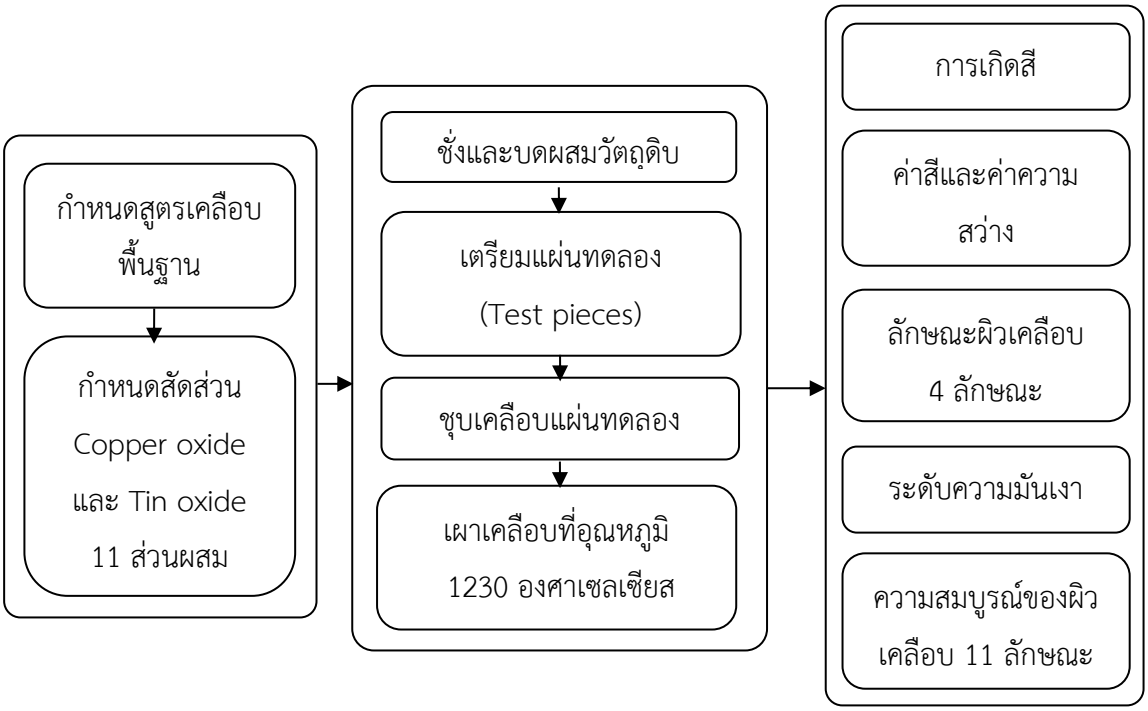
4. วิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ เป็นการวิเคราะห์ผิวเคลือบตามลักษณะการเกิดตำหนิของเคลือบซึ่งแต่ละลักษณะของการเกิดตำหนิ 11 ลักษณะ จะช่วยให้สามารถตรวจสอบและคัดแยกข้อบกพร่องต่างๆ ได้ โดยตรวจสอบผิวเคลือบด้วยการมองด้วยตาเปล่าตามเกณฑ์ มผช. 930/2556 ประกอบกับการพิจารณาตำหนิที่ผิวเคลือบโดยที่ผิวเคลือบสมบูรณ์ต้องไม่มีตำหนิ (Glaze defects) 11 ลักษณะ (ไพจิตร, 2552; ดรุณี และสุธี, 2552; สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ

หัวข้อตำหนิ (Glaze defects)	**คำอธิบาย**	**การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบตามแนว มผช.930/2556**
1.รูเข็ม (Pinhole)	จะพบรู หรือช่องว่างที่มองเห็นได้ชัดเจนบนผิวเคลือบ โดยอาจมีจุดหลุมขนาดเล็กกระจายทั่วผิว	ผิวเคลือบต้องไม่มีรูเข็มที่มีขนาดเกิน 0.5 มิลลิเมตร รูเข็มที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร หรือมีรูเข็มมากเกินไป
2.รอยแตกร้าวที่ผิวเคลือบ (Crazing)	จะพบการแตกร้าวเล็ก ๆ บนผิวเคลือบ	ผิวเคลือบจะต้องไม่เกิดรอยแตกร้าว หรือรอยแยก
3.การหดตัวของเคลือบ (Crawling)	จะพบเคลือบหดตัวหรือแยกหรือร่นหรือดึงตัวเป็นก้อนทำให้เกิดช่องว่าง เคลือบไม่ติดกับเนื้อดิน	เคลือบต้องไม่หดตัวหรือแยกออกจากพื้นผิวเนื้อดินปั้น
4.เคลือบไหล (Running of glaze)	จะพบผิวเคลือบที่ไหลตัวมากเกินไปไม่เกาะผิวผลิตภัณฑ์ บางครั้งอาจหรือเส้นรอยการไหล	เคลือบต้องไม่ไหลมากเกินไป
5.การแตกลึกของเคลือบ (Dunting)	จะพบรอยแตกที่ลึกและยาวบนผิวเคลือบเป็นแนวเส้นตรงเกิดรอยลึกถึงเนื้อผลิตภัณฑ์	การแตกลึกของเคลือบต้องไม่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์
6.ขอบเป็นสีดำ (Black top rim)	จะพบสีดำคล้ำในบางส่วนของเคลือบหรือเกิดขึ้นตามขอบของชิ้นงานหรือมีลักษณะเป็นเส้นๆสีดำ ที่ขอบของชิ้นงาน	ขอบของเครื่องปั้นดินเผาต้องไม่ปรากฏเป็นสีดำที่มีผลกระทบต่อความสวยงามหรือความทนทานของผลิตภัณฑ์
7.เคลือบเดือดหรือพุพอง (Boiling or Blistering)	จะพบเคลือบเป็นหลุมเดือดเป็นฟองมีผิวขรุขระ การพุพองจะมีขนาดใหญ่มองเห็นได้บนผิวเคลือบ	ผิวเคลือบของเครื่องปั้นดินเผาต้องไม่เกิดการพุพองหรือหลุมเดือดที่มีขนาดใหญ่หรือมองเห็นได้อย่างชัดเจน
8.เคลือบเกิดสภาพขุ่น (Devitrification)	จะพบเคลือบที่ควรใสกลับเกิดการตกผลึกขุ่นเป็นฝ้าดูทึบหรือไม่เงาสดใสทำให้ไม่สามารถมองเห็นพื้นผิวของเซรามิกส์ได้อย่างชัดเจน	เคลือบต้องไม่เกิดการตกผลึกที่ทำให้เคลือบดูขุ่นหรือทึบ ซึ่งจะทำให้ผิวเคลือบไม่ใสและไม่สามารถมองเห็นพื้นผิวของเซรามิกส์ได้อย่างชัดเจน
9.การหลุดร่อนของเคลือบ (Peeling or shivering)	จะพบเคลือบกะเทาะร่อนหรือแตกร่อนบริเวณริมขอบหรือมุมของชิ้นงานหลุดออกเป็นชิ้นๆ	ผิวเคลือบต้องไม่เกิดการหลุดร่อนหรือการแตกร่อนจากเนื้อดิน โดยเฉพาะบริเวณขอบหรือมุมของผลิตภัณฑ์
10.เกิดฟองอากาศในเคลือบ (Air bubble)	จะพบฟองอากาศกระจายตัวในชั้นเคลือบ ซึ่งทำให้ผิวเคลือบมีลักษณะไม่เรียบ บางครั้งจะทำให้ผิวเคลือบแตกหัก	ผิวเคลือบต้องไม่เกิดฟองอากาศที่มองเห็นได้ชัดเจนหรือฟองที่ทำให้ผิวเคลือบมีลักษณะไม่เรียบและขรุขระ

หัวข้อตำหนิ (Glaze defects)	คำอธิบาย	การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบตามแนว มผช.930/2556
11.เคลือบลักษณะของผิวส้ม (Orange Peel)	มีลักษณะเป็นปุ่มหรือคลื่นนูนเล็กๆ เหมือนกับเปลือกส้ม และอาจมีจุดรูเข็มเล็กๆกระจายอยู่บนพื้นผิว	ผิวเคลือบของเครื่องปั้นดินเผาต้องมีลักษณะที่เรียบเนียนและไม่ขรุขระไม่มีมีจุดรูเข็มเล็กๆกระจายอยู่บนพื้นผิว

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่องผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

4. ผลการวิจัย

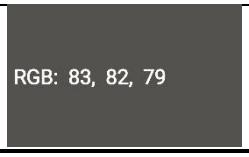
การวิจัยเรื่องผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้ ภายหลังการดำเนินการทดลองมีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีรายละเอียดผลการศึกษาวิจัย ดังนี้

1.1 ผลการวิเคราะห์การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์

สูตรที่	Copper oxide	Tin oxide	แผ่นทดลอง	RGB	Pantone chart
1	1	6		RGB: 179, 191, 183	PANTON-LS 4170 C
2	1.5	5.5		RGB: 170, 179, 170	PANTON-LS 5507 C
3	2	5		RGB: 175, 183, 172	PANTON-LS 5585 C
4	2.5	4.5		RGB: 175, 179, 164	PANTON-LS 4190 C
5	3	4		RGB: 155, 160, 142	PANTON-LS 5635 C
6	3.5	3.5		RGB: 141, 151, 132	PANTON-LS 4181 C
7	4	3		RGB: 122, 128, 112	PANTON-LS 5615 C
8	4.5	2.5		RGB: 155, 152, 131	PANTON-LS 4180 C
9	5	2		RGB: 112, 116, 101	PANTON-LS 4223 C
10	5.5	1.5		RGB: 93, 95, 80	PANTON-LS 553 C

สูตรที่	Copper oxide	Tin oxide	แผ่นทดลอง	RGB	Pantone chart
11	6	1			

จากตารางที่ 3 พบว่า จากการเพิ่มปริมาณ Copper oxide ตั้งแต่ ร้อยละ 1–6 และลด Tin oxide จาก ร้อยละ 6–1 สีของเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน โดยสามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงออกเป็นช่วงได้ 3 ช่วงดังนี้ 1) ช่วงที่ 1 สูตรที่ 1–3 (Copper oxide ต่ำ, Tin oxide สูง) ได้สีโทนอ่อน เขียวอมเทา–ฟ้า Pantone อยู่ในกลุ่มสีเขียวอ่อน ได้แก่ LS 4170 C, LS 5507 C, LS 5585 C 2) ช่วงที่ 2 สูตรที่ 4–6 (Copper oxide ปานกลาง, Tin oxide ปานกลาง) สีเริ่มเข้มขึ้น เป็นเขียวอมเทาเข้ม Pantone อยู่ในโทนเขียวปานกลาง–เข้ม ได้แก่ LS 4190 C, LS 5635 C, LS 4181 C และ 3) ช่วงที่ 3 สูตรที่ 7–16 (Copper Oxide สูง, Tin Oxide ต่ำ) ได้สีเขียวเข้มถึงเขียวอมดำ Pantone อยู่ในกลุ่มเขียวเข้ม–เทาดำ ได้แก่ LS 5615 C, LS 4180 C, LS 4223 C, LS 553 C, LS 5467 C

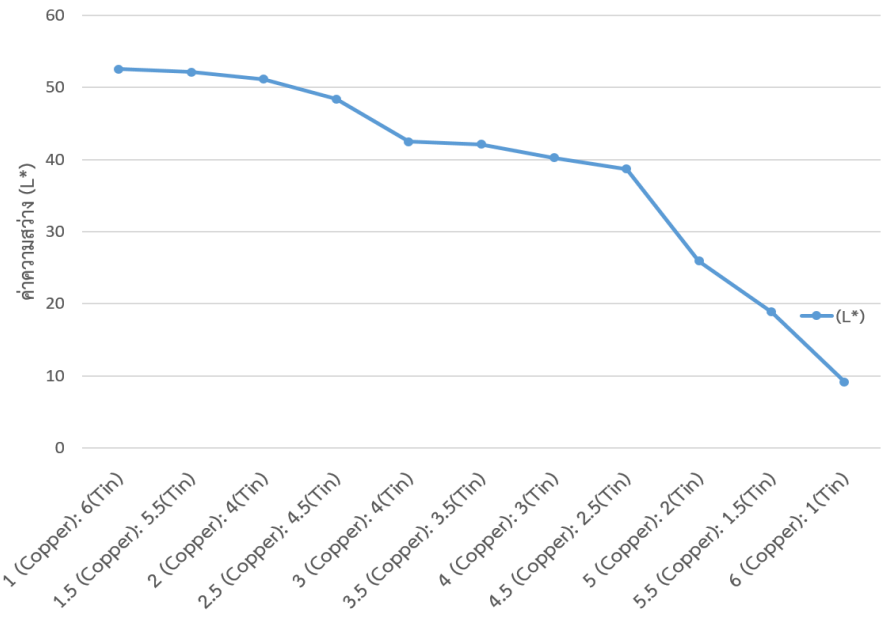
1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความสว่าง (L*) และค่าสี (a*) (b*) ของเคลือบเซรามิกส์

สูตรที่	Copper oxide	Tin oxide	L*	a*	b*
1	1	6	+52.53	-11.65	+10.02
2	1.5	5.5	+52.15	-10.48	+10.11
3	2	5	+51.17	-9.37	+12.13
4	2.5	4.5	+48.41	-11.44	+13.37
5	3	4	+42.49	-11.42	+15.26
6	3.5	3.5	+42.11	-10.06	+17.45
7	4	3	+40.24	-11.49	+16.78
8	4.5	2.5	+38.72	-9.58	+18.48
9	5	2	+25.95	-9.71	+14.80
10	5.5	1.5	+18.90	-8.66	+17.06
11	6	1	+9.17	-4.69	+7.55

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าความสว่าง (L*) ค่าสี (a*) และ ค่าสี (b*) พบว่า มีค่าความสว่าง อยู่ระหว่าง +9.17 ถึง +52.53 มี ค่าสี (a*) อยู่ระหว่าง -4.69 ถึง -11.65 และค่าสี (b*) อยู่ระหว่าง +7.55 ถึง +10.02

และมีผลการวิเคราะห์แนวโน้มความสว่าง (L*) ของเคลือบเซรามิกส์จากการใช้คอปเปอร์ออกไซด์ (Copper oxide) ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 และ 2) ทินออกไซด์ (Tin oxide) ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 6 ภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของเคลือบเซรามิกส์มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณ Copper oxide ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แนวโน้มความสว่างของเคลือบเซรามิกส์

2. การศึกษาผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลือบ ระดับความมัน (GU) และความสมบูรณ์ของเคลือบเซรามิกส์

สูตรที่	Copper oxide	Tin oxide	ลักษณะของผิวเคลือบ	Gloss unit (GU)	ความสมบูรณ์ของเคลือบ
1	1	6	ลักษณะมันแวววาว	53.6	ผิวเคลือบสมบูรณ์
2	1.5	5.5	ลักษณะมันแวววาว	55.4	ผิวเคลือบสมบูรณ์
3	2	5	ลักษณะมันแวววาว	65.8	ผิวเคลือบสมบูรณ์
4	2.5	4.5	ลักษณะมันแวววาว	78.8	ผิวเคลือบสมบูรณ์
5	3	4	ลักษณะมันแวววาว	110.0	ผิวเคลือบสมบูรณ์
6	3.5	3.5	ลักษณะมันแวววาว	98.8	ผิวเคลือบสมบูรณ์
7	4	3	ลักษณะมันแวววาว	86.8	ผิวเคลือบสมบูรณ์
8	4.5	2.5	ลักษณะมันแวววาว	83.4	ผิวเคลือบสมบูรณ์
9	5	2	ลักษณะมันแวววาว	81.8	ผิวเคลือบสมบูรณ์
10	5.5	1.5	ลักษณะมันแวววาว	80.6	ผิวเคลือบสมบูรณ์
11	6	1	ลักษณะมันแวววาว	76.4	ผิวเคลือบสมบูรณ์

จากตารางที่ 5 พบว่า ทั้ง 11 สูตรผิวเคลือบมีลักษณะมันแวววาว ผิวเคลือบมีความสมบูรณ์และมีค่า Gloss unit เฉลี่ยอยู่ที่ 79.22 โดยสามารถแบ่งช่วงความมันเงาของผิวเคลือบเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่1 สูตรที่ 1-3 มีค่าความ Gloss unit เฉลี่ย 79.22 ช่วงที่2 สูตรที่ 4-6 มีค่าความ Gloss Unit เฉลี่ย 95.87 และ ช่วงที่3 สูตรที่ 7-11 มีค่าความ Gloss unit เฉลี่ย 81.8

5. อภิปรายผล

การวิจัยเรื่องผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้ ภายหลังการดำเนินการทดลองสามารถอภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ ดังนี้

1. ผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส อภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้

1.1 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ สรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณ Copper oxide ตั้งแต่ร้อยละ 1–6 และลด Tin oxide จากร้อยละ 6–1 พบว่า สีของเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน โดยสามารถแบ่งเป็นช่วงได้ 3 ช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 สูตรที่ 1–3 (Copper oxide ต่ำ, Tin oxide สูง) ได้สีโทนอ่อน เขียวอมเทา–ฟ้า Pantone อยู่ในกลุ่มสีเขียวอ่อน ซึ่งสอดคล้องกับการที่ทินออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารสร้างความทึบ (Opacifier) เมื่อใช้ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์จะทำให้เคลือบได้โทนสีน้ำ

ทะเล (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2547) ช่วงที่ 2 สูตรที่ 4–6 (Copper oxide ปานกลาง, Tin oxide ปานกลาง) สีเริ่มเข้มขึ้น เป็นเขียวอมเทาเข้ม Pantone อยู่ในโทนเขียวปานกลาง–เข้ม เป็นผลจากการเพิ่มสัดส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์ระดับปานกลาง ร้อยละ 2.5–3.5 และทินออกไซด์ ร้อยละ 4–3.5 ส่งผลให้สีของเคลือบเริ่มเข้มขึ้นและเปลี่ยนเป็นโทนเขียวอมเทาเข้ม แสดงถึงสมดุลระหว่างสัดส่วนของออกไซด์ และช่วงที่ 3 สูตรที่ 7–16 (Copper oxide สูง, Tin oxide ต่ำ) ได้สีเขียวเข้มถึงเขียวอมดำ Pantone อยู่ในกลุ่มเขียวเข้ม–เทาดำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์ (2565) ที่พบว่า คอปเปอร์ออกไซด์มักถูกนำมาใช้ในสูตรเคลือบเพื่อสร้างโทนสีเขียวเข้ม และสอดคล้องกับ ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์ (2546) ที่กล่าวว่า คอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีความเข้มของสีสูง และจากงานวิจัยของ Yi Wang และคณะ (2561) ได้อธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแสดงสีของคอปเปอร์ออกไซด์ สีที่ได้จากคอปเปอร์ออกไซด์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวเองเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิการเผา บรรยากาศในเตาเผา ส่วนประกอบของน้ำเคลือบพื้นฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอปเปอร์ออกไซด์มีความอ่อนไหวในการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อทำปฏิกิริยาร่วมกับสารอื่น (Wang *et al*., 2561) และสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Mateeva (2568) ที่พบว่าอุณหภูมิการเผามีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเข้มและการพัฒนาของสีในเคลือบเซรามิกส์ที่ใช้คอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารให้สี โดยการเผาที่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปอาจทำให้ปฏิกิริยาของออกไซด์เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ส่งผลให้สีพัฒนาได้ไม่เต็มที่ และในขณะที่การเผาที่อุณหภูมิสูงเกินไปอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดตำหนิบนผิวเคลือบและทำให้ลักษณะสีของเคลือบเกิดความคลาดเคลื่อนได้

1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ (L*) ค่าสี (a*) และ ค่าสี (b*) สรุปได้ว่าเมื่อใช้คอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ในเคลือบเซรามิกส์จะมีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง +9.17 ถึง +52.53 ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นความแตกต่างของระดับความสว่างตั้งแต่เคลือบสีเข้มคล้ำจนถึงเคลือบที่มีความสว่างสูง โดยมีแนวโน้มชัดเจนว่าการเพิ่มคอปเปอร์ออกไซด์ส่งผลให้ค่า L* ลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นไปตามสมบัติเด่นของคอปเปอร์ออกไซด์ และผลทดสอบพบว่าเคลือบมีค่าสี (a*) อยู่ระหว่าง -4.69 ถึง -11.65 ซึ่งมีค่าติดลบทั้งหมด บ่งชี้ได้ว่าสีของเคลือบอยู่ในโทนสีเขียว โดยเมื่อมีปริมาณทินออกไซด์สูง ค่า a* มีค่าน้อยกว่า -10 ซึ่งหมายถึงโทนเขียวที่ชัดเจน ขณะที่เมื่อ ทินออกไซด์ลดลง และคอปเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น ค่า a* มีแนวโน้มเข้าใกล้ศูนย์มากขึ้น (-4.69) ทำให้สีเขียวหม่นคล้ำลง และผลทดสอบพบว่าเคลือบค่าสี (b*) อยู่ระหว่าง +7.55 ถึง +10.02 แสดงว่า คอปเปอร์ออกไซด์ และทินออกไซด์มีบทบาทร่วมกันในการควบคุมทั้งความสว่างและโทนสีของเคลือบเซรามิกส์

2. ผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส อภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้ ผลการศึกษาลักษณะของผิวเคลือบระดับความมัน และความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์ พบว่า ลักษณะของผิวเคลือบ ทั้ง 11 สูตร ผิวเคลือบมีลักษณะมันแวววาว ผิวเคลือบมีความสมบูรณ์และมีค่า Gloss unit เฉลี่ยอยู่ที่ 79.22

ลักษณะของผิวเคลือบเซรามิกส์ทั้งหมดมีความสมบูรณ์เกิดจากการใช้สัดส่วนของออกไซด์ที่เหมาะสมระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ ซึ่งช่วยให้โครงสร้างเคลือบหลอมตัวสมบูรณ์และเกิดการสะท้อนแสงสูง สอดคล้องทฤษฎีของ สุขุมาล สาระเกษตริน (2564) ที่กล่าวว่าการผสมคอปเปอร์ออกไซด์ในจำนวนมากจะแสดงปฏิกิริยาเป็นฟลักซ์ (Flux) ทำให้เคลือบไหลตัว และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปราโมทย์ ปิ่นสกุล (2552) ที่พบว่าการใช้หินฟันม้าและหินปูนในปริมาณมากสูตรเคลือบเซรามิกส์จะช่วยให้เคลือบหลอมตัวได้ดีมีความมันแวววาว

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบ เซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้ ภายหลังการดำเนินการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ด้านดังนี้

1. ผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1.1 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ สรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณ Copper oxide ตั้งแต่ 1–6% และลด Tin oxide จาก 6–1% พบว่า สีของเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน โดยสามารถแบ่งเป็นช่วงได้ 3 ช่วงดังนี้ 1) ช่วงที่ 1 สูตรที่ 1–3 (Copper oxide ต่ำ, Tin oxide สูง) ได้สีโทนอ่อนเขียวอมเทา–ฟ้า Pantone อยู่ในกลุ่มสีเขียวอ่อน ได้แก่ LS 4170 C, LS 5507 C, LS 5585 C 2) ช่วงที่ 2 สูตรที่ 4–6 (Copper oxide ปานกลาง, Tin Oxide ปานกลาง) สีเริ่มเข้มขึ้น เป็นเขียวอมเทาเข้ม Pantone อยู่ในโทนเขียวปานกลาง–เข้ม ได้แก่ LS 4190 C, LS 5635 C, LS 4181 C และ 3) ช่วงที่ 3 สูตรที่ 7–16 (Copper oxide สูง, Tin oxide ต่ำ) ได้สีเขียวเข้มถึงเขียวอมดำ Pantone อยู่ในกลุ่มเขียวเข้ม–เทาดำ ได้แก่ LS 5615 C, LS 4180 C, LS 4223 C, LS 553 C, LS 5467 C

1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ (L*) ค่าสี (a*) และ ค่าสี (b*) สรุปได้ว่าเมื่อใช้คอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ในเคลือบเซรามิกส์จะมีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง +9.17 ถึง +52.53 มี ค่าสี (a*) อยู่ระหว่าง -4.69 ถึง -11.65 และค่าสี (b*) อยู่ระหว่าง +7.55 ถึง +10.02

2. ผลของคอปเปอร์ออกไซด์และทินออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการศึกษาลักษณะของผิวเคลือบ ทั้ง 11 สูตรผิวเคลือบมีลักษณะมันแวววาว ผิวเคลือบมีความสมบูรณ์และมีค่า Gloss unit เฉลี่ยอยู่ที่ 79.22 โดยสามารถแบ่งช่วงความมันเงาของผิวเคลือบเป็น 3 ช่วงได้แก่ ช่วงที่1 สูตรที่ 1-3 มีค่าความ Gloss unit เฉลี่ย 79.22 ช่วงที่2 สูตรที่ 4-6 มีค่าความ Gloss unit เฉลี่ย 95.87 และ ช่วงที่3 สูตรที่ 7-11 มีค่าความ Gloss unit เฉลี่ย 81.8

โดยสรุปสูตรส่วนผสมของสารเพิ่มเติมที่มีความเหมาะสมกับเคลือบเซรามิกส์ที่ประกอบด้วย หินฟันม้า (Feldspar) ร้อยละ 45 โดโลไมท์ (Dolomite) ร้อยละ 7.5 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ร้อยละ 10 ดินขาว (Kaolin) ร้อยละ 7.5 และหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) ร้อยละ 30 โดยสามารถใช้สารเพิ่มเติมในส่วนผสมของสูตรเคลือบเซรามิกส์ โดยใช้ออกไซด์ 2 ชนิด ได้แก่ 1) คอปเปอร์ออกไซด์ (Copper oxide) ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 และ 2) ทินออกไซด์ (Tin oxide) ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 6 ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 เคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

6. ข้อเสนอแนะการวิจัย

6.1 ควรศึกษาทดลองผลของเคลือบในบรรยากาศที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะการปรากฏของเคลือบเซรามิกส์

6.2 ควรศึกษาความคงทน และความแข็งของผิวเคลือบเซรามิกส์ เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานจริง

6.3 วิจัยสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ โดยประยุกต์ใช้สูตรเคลือบที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมและการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในรูปแบบต่างๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ซึ่งทำให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

ดรุณี วัฒนศิริเวช, และสุธี วัฒนศิริเวช. (2552). **การวิเคราะห์แร่ดินเคลือบและตำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิก.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์. (2565). การพัฒนาสูตรเคลือบดอกซากุระโดยใช้นิเกิลออกไซด์เป็นสารให้สี. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ**, 2(2), 23–31.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547). **เซรามิกส์** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราโมทย์ ปิ่นสกุล. (2552). การทำน้ำเคลือบเซรามิกส์จากเศษผงปูนปลาสเตอร์. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์**, 4(1), 63–71.

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546). **สีเซรามิกส์**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2547). **รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2552). **ตำหนิเซรามิกและแนวทางแก้ไข**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. (2549). **เซรามิกส์**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). **เครื่องปั้นดินเผาสโตนแวร์** (มผช. 930/2556). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

สุขุมาล สาระเกษตริน. (2564). **เครื่องปั้นดินเผาการออกแบบและปฏิบัติงาน**. กรุงเทพฯ: 50 Press Printing.

เอ็ททสึโซะ คาโต. (2553). **หลักการทำเคลือบเซรามิก** [The fundamentals of glaze preparation] (สมบูรณ์ อรัณยภาค, ผู้แปล). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ต้นฉบับพิมพ์ปี ค.ศ. 1980)

Mateeva, J. (2025). Preparation and study of red-colored copper-containing ceramic glaze fired in an oxidizing environment. **Journal of Chemical Technology and Metallurgy**, 60(3), 441–446. Doi: https://doi.org/10.59957/jctm.v60.i3.2025.9

Wang, Y., Yu, S., Chu, J., Chen, D., & Chen, J. (2018). Study on the copper and iron coexisted coloring glaze and the mechanism of the flambé. **Journal of the European Ceramic Society**, 38(10).
Doi: https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.04.004