

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอไนต์ เฟอริกออกไซด์
แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ต่อลักษณะ
ที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส
CHANGE IN THE CONTENT OF BENTONITE, FERRIC OXIDE,
MANGANESE DIOXIDE, AND NICKEL OXIDE
ON THE APPEARANCE OF CERAMIC GLAZES
AT A TEMPERATURE OF 1230 DEGREES CELSIUS

จุมพฏ พงศ์ศักดิ์ศรี*, ปิยธิดา บุญเพชร, ศุภวิชญ์ บัวทอง, อุษา อินทร์ประสิทธิ์
Jumpot Phongsaksri*, Piyathida Boonpet, Supawit Botbong, Usa Inprasit

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 3 กันยายน 2567

วันที่แก้ไขบทความ 9 ธันวาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 11 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอไนต์ เฟอริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสี และลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ โดยกำหนดเคลือบพื้นฐานที่มีส่วนผสมของ เฟลด์สปาร์ โดโลไมท์ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินขาว ควอตซ์ และใช้สารเพิ่มเติมแบบเจาะจง ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 ได้แก่ 1) เบนทอไนต์กับเฟอริกออกไซด์ 2) เบนทอไนต์กับแมงกานีสไดออกไซด์ และ 3) เบนทอไนต์กับนิเกิลออกไซด์ จำนวน 27 ส่วนผสม เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส บรรยากาศแบบออกซิเดชัน ผลการวิจัยพบว่าเคลือบเซรามิกส์ทุกส่วนผสมมีโทนสีน้ำตาล มีลักษณะความมันแวววาวและกึ่งด้านกึ่งมัน และทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ ส่วนผสมที่สามารถนำไปประยุกต์ปรับปรุงพัฒนาเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ประกอบด้วย เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 45 โดโลไมท์ ร้อยละ 10 แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 13 ดินขาว ร้อยละ 7 และควอตซ์ ร้อยละ 25 และสามารถใส่สารเพิ่มเติมในส่วนผสม ได้ดังนี้ 1) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 ผสมกับเฟอริกออกไซด์ ร้อยละ 4 ถึงร้อยละ 9 2) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 ผสมกับแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 และ 3) เบนทอไนต์ ร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 9 ผสมกับนิเกิลออกไซด์ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 5

คำสำคัญ: เคลือบเซรามิกส์, เบนทอไนต์, เฟอริกออกไซด์, แมงกานีสไดออกไซด์, นิเกิลออกไซด์

Abstract

This research aimed to study the changes in the amounts of bentonite, ferric oxide, manganese dioxide, and nickel oxide, as well as their effects on the color appearance and characteristics of ceramic glazes. The basic glaze formulation consisted of feldspar, dolomite, calcium carbonate, kaolin, and quartz. Specific additional substances, ranging from 1% to 9%, were incorporated into the glaze in the following combinations: 1) bentonite with ferric oxide, 2) bentonite with manganese dioxide, and 3) bentonite with nickel oxide, resulting in 27 distinct formulations. The glazes were fired at a temperature of 1230°C in an oxidation atmosphere. The results indicated that all glaze formulations exhibited brown tones with a glossy to semi-glossy finish and were defect-free. The most suitable formulations for potential application in the ceramic industry consisted of 45% feldspar, 10% dolomite, 13% calcium carbonate, 7% kaolin, and 25% quartz, with the following combinations of additives: 1) bentonite in the range of 1% to 6% mixed with ferric oxide (4% to 9%), 2) bentonite (1% to 9%) mixed with manganese dioxide (1% to 9%), and 3) bentonite (5% to 9%) mixed with nickel oxide (1% to 5%).

Keywords: Ceramics glaze, Bentonite, Ferric oxide, Manganese dioxide, Nickel oxide

1. บทนำ

เคลือบเซรามิกส์ (Ceramics glaze) เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เพิ่มความสวยงามและความเป็นเอกลักษณ์ให้กับเครื่องปั้นดินเผาทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ทนทาน และยังช่วยให้ล้างทำความสะอาดได้ง่าย เคลือบเซรามิกส์ คือชั้นแก้วบางๆที่เกิดจากการผสมกันของวัตถุดิบหลักๆ เช่น หินฟีนมา (Feldspar) หินเขียวหนุมาน (Quartz) ดิน (Kaolin) โดยการบดให้เป็นผงผสมกับน้ำแล้วเคลือบบนผิวภาชนะแล้วจึงนำไปเผาให้หลอมละลายและเมื่อเย็นตัวจะกลายเป็นแก้วเคลือบผิวภาชนะอยู่ ชนิดของเคลือบมีหลายลักษณะซึ่งแตกต่างกันไปทั้งส่วนผสม การเผาและวิธีการใช้งาน และมีสมบัติที่แตกต่างกันซึ่งเคลือบที่เป็นพื้นฐานที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ เคลือบใส (Transparent glaze) นิยมใช้เคลือบทับภาชนะเครื่องปั้นดินเผาที่เขียนสีได้เคลือบ และยังสามารถผสมออกไซด์เพื่อให้เกิดสี หรือความทึบในตัวเคลือบได้ (สุขุมาล, 2564) ซึ่งการใช้เคลือบผสมออกไซด์ให้สีจะสร้างเคลือบให้มีสีที่หลากหลายในเนื้อเคลือบ และมีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้นจึงเป็นที่นิยมของช่างปั้นและโดยทั่วไปสีสำเร็จรูปจะมีราคาสูงกว่าการใช้ออกไซด์ที่ให้สีตามธรรมชาติ (ไพจิตร, 2546) ซึ่งออกไซด์ที่

นิยมใช้ที่สุดชนิดหนึ่ง ได้แก่ เพอร์ริกออกไซด์ (Ferric oxide) เป็นออกไซด์ให้สี ในกลุ่มสีโทนน้ำตาล และยังมีแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide) นิกเกิลออกไซด์ (Nickel oxide) ที่ให้สีในโทนนี้ (สุขุมาล, 2564) เบนทอนไนต์ (Bentonite) มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ จัดตามสมบัติทางเคมีจะอยู่ในวัตถุดิบกลุ่มกลาง (Neutral group) (สมศักดิ์, 2549) ซึ่งมักจะพบการใช้เบนทอนไนต์ในสูตรเคลือบเนื่องจากเบนทอนไนต์มีลักษณะเด่น ในการเพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสมเคลือบทำให้การเคลือบบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ได้ง่ายขึ้นและ มีความสม่ำเสมอ ช่วยให้เคลือบตกตะกอนช้าลงทำให้เคลือบเกาะตัวแน่นกับผิวผลิตภัณฑ์เมื่อชุบเคลือบ และเมื่อเผาจะมีสีครีมอ่อน และยังช่วยสร้างสรรค์ผลงานเฉพาะตัวเพื่อให้ได้สูตรเคลือบที่มีลักษณะที่แตกต่างไปจากการใช้ออกไซด์ผสมเพื่อให้สีแบบเดิม (สุขุมาล, 2548)

จากข้อมูลที่กำลังมาผู้วิจัยจึงสนใจในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เพื่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสี และลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลและแนวทางใหม่ๆ ในการพัฒนาสีเคลือบเซรามิกส์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ต่อไป ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้จะเหมาะกับกลุ่มผู้ผลิตเซรามิกส์อุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือผู้ผลิตเซรามิกส์ระดับครัวเรือนที่ใช้ออกไซด์เป็นสารให้สีในส่วนผสมของเคลือบที่จัดเตรียมขึ้นเองโดยไม่ใช้สีสำเร็จรูปและมีส่วนผสมเนื้อผลิตภัณฑ์เดิมหรือเนื้อดินสำเร็จรูปที่ยังต้องเผาที่อุณหภูมิ 1230-1250 องศาเซลเซียส เนื่องจากสีสำเร็จรูปที่ใช้ผสมเคลือบโดยทั่วไปจะ กำหนดอุณหภูมิการเผาได้ไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย ไว้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอไนต์ เฟอริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดสูตรเคลือบเซรามิกส์พื้นฐานที่ใช้ในการผสมเป็นเคลือบใส ได้แก่ เฟลด์สปาร์ (Potash feldspar) ร้อยละ 45 โดโลไมท์ (Dolomite) ร้อยละ 10 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ร้อยละ 13 ดินขาว (Kaolin) ร้อยละ 7 และควอตซ์ (Quartz) ร้อยละ 25

2. กำหนดอัตราส่วนผสมในการพัฒนาเคลือบเซรามิกส์ ได้แก่ 1) เบนทอไนต์ (Bentonite) 1) เฟอริกออกไซด์ (Ferric oxide) 2) แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese oxide) และ 3) นิเกิลออกไซด์ (Nickel oxide) โดยกำหนดปริมาณส่วนผสมใช้ในการทดลองเป็นแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากการใช้ตารางคำนวณวัตถุดิบ 2 ชนิด (Biaxial blend) (สมศักดิ์, 2549) ซึ่งได้อัตราส่วนผสมในการวิจัยครั้งนี้ จำนวน 27 ส่วนผสม มีรายละเอียดดังนี้

1) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 ผสมกับ เฟอริกออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 จำนวน 9 ส่วนผสม

2) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 ผสมกับ แมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 จำนวน 9 ส่วนผสม

3) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 ผสมกับ นิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 จำนวน 9 ส่วนผสม ดังตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 3

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์กับเฟอริกออกไซด์

	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF 6	BF7	BF8	BF9
Bentonite	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ferric oxide	9	8	7	6	5	4	3	2	1
รวม	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์กับแมงกานีสออกไซด์

	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM6	BM7	BM8	BM9
Bentonite	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Manganese oxide	9	8	7	6	5	4	3	2	1
รวม	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมระหว่าง เบนทอนต์ กับ นิเกิลออกไซด์

	BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6	BN7	BN8	BN9
Bentonite	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nickel oxide	9	8	7	6	5	4	3	2	1
รวม	10	10	10	10	10	10	10	10	10

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

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 ทำการเผาขึ้นไฟ เป็นเวลา 15 นาที วัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไฟโรเมตริกเทอร์โมคัปเปิล (Pyrometric thermocouple) และนำแผ่นทดลองออกจากเตาไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส

7. วิเคราะห์การเกิดสีของเคลือบ ดังนี้ 1) สังกะสีเคลือบจากแผ่นทดลอง 2) สีเคลือบที่สแกน (Scan) ด้วยเครื่อง Colorimeter Linshang รุ่น LS171 ประเทศจีน ได้แก่ รูปแบบรหัสสีตามเฉดสีของ RAL-LS color chart (RAL color standard) ซึ่งเป็นระบบมาตรฐานสีที่พัฒนาโดยสถาบัน RAL (Reichsausschuss für Lieferbedingungen)

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 จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) (ไพจิตร, 2546)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้

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

2. วิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลือบ โดยกำหนดลักษณะเคลือบเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ 1) ผิวเคลือบมีลักษณะมันแวววาว (Bright) โดยการใช้การสังเกตที่ผิวเคลือบแวววาวสะท้อนแสงได้ดี 2) ผิวเคลือบมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน (Semi mat) 3) ผิวเคลือบมีลักษณะด้าน (Mat) โดยการใช้การสังเกตที่ผิวเคลือบหลอมสุกตัวแล้วมีผิวด้านไม่สะท้อนแสง 4) ผิวเคลือบมีลักษณะไม่สุกตัว (Un fused) โดยการใช้การสังเกตที่ผิวเคลือบไม่หลอมละลาย (ไพจิตร, 2547)

3. วิเคราะห์ค่าระดับความมันเงาของผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความเงา (Gloss meter) รุ่น YG60S/3NH ประเทศจีน มีหน่วยวัดเป็น Gloss unit (GU)

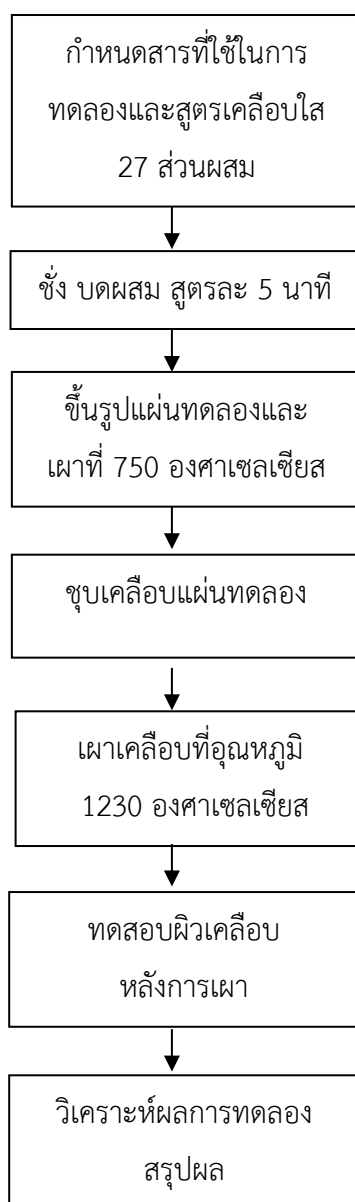
4. วิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ เป็นการวิเคราะห์ผิวเคลือบตามลักษณะการเกิดตำหนิของเคลือบซึ่งแต่ละลักษณะของการเกิดตำหนิ 11 ลักษณะ จะช่วยให้สามารถตรวจสอบและคัดแยกข้อบกพร่องต่างๆ ได้ โดยตรวจสอบผิวเคลือบด้วยการมองด้วยตาเปล่าตามเกณฑ์ มผช. 930/2556 ประกอบกับการพิจารณาตำหนิที่ผิวเคลือบโดยที่ผิวเคลือบสมบูรณ์ต้องไม่มีตำหนิ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

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ

หัวข้อตำหนิ (Glaze defects)	คำอธิบาย	การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของ ผิวเคลือบตามแนว 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. การหลุดตัวของเคลือบ (Crawling)	จะพบเคลือบหลุดหรือแยกหรือร่นหรือดึงตัวเป็นก้อนทำให้เกิดช่องว่างเคลือบไม่ติดกับเนื้อดิน	เคลือบต้องไม่หลุดหรือแยกออกจากพื้นผิวเนื้อดิน
4. เคลือบไหล (Running of glaze)	จะพบผิวเคลือบที่ไหลตัวมากเกินไป ไม่เกาะผิวผลิตภัณฑ์ บางครั้งอาจหรือเส้นรอยการไหล	เคลือบต้องไม่ไหลมากเกินไป

หัวข้อตำหนิ (Glaze defects)	คำอธิบาย	การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของ ผิวเคลือบตามแนว มผช.930/2556
5. การแตกลิ้งของเคลือบ (Dunting)	จะพบรอยแตกที่ลิ้งและยาวบนผิวเคลือบเป็นแนวเส้นตรงเกิดรอยลิ้งถึงเนื้อผลิตภัณฑ์	การแตกลิ้งของเคลือบต้องไม่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์
6. ขอบเป็นสีดำ (Black top rim)	จะพบสีดำคล้ำในบางส่วนของเคลือบหรือเกิดขึ้นตามขอบของชิ้นงานหรือมีลักษณะเป็นเส้นๆสีดำ ที่ขอบของชิ้นงาน	ขอบของเครื่องปั้นดินเผาต้องไม่ปรากฏเป็นสีดำที่มีผลกระทบต่อความสวยงามหรือความทนทานของผลิตภัณฑ์
7. เคลือบเดือดหรือพุพอง (Boiling or blistering)	จะพบเคลือบเป็นหลุมเดือดเป็นฟองมีผิวขรุขระ การพุพองจะมีขนาดใหญ่มองเห็นได้บนผิวเคลือบ	ผิวเคลือบของเครื่องปั้นดินเผาต้องไม่เกิดการพุพองหรือหลุมเดือดที่มีขนาดใหญ่หรือมองเห็นได้อย่างชัดเจน
8. เคลือบเกิดสภาพขุ่น (Devitrification)	จะพบเคลือบที่ควรใสกลับเกิดการตกผลึกขุ่นเป็นฝ้าดูทึบหรือไม่เงาสดใส ทำให้ไม่สามารถมองเห็นพื้นผิวของเซรามิกส์ได้อย่างชัดเจน	เคลือบต้องไม่เกิดการตกผลึกที่ทำให้เคลือบดูขุ่นหรือทึบ ซึ่งจะทำให้ผิวเคลือบไม่ใสและไม่สามารถมองเห็นพื้นผิวของเซรามิกส์ได้อย่างชัดเจน
9. การหลุดร่อนของเคลือบ (Peeling or shivering)	จะพบเคลือบกะเทาะร่อนหรือแตกร่อนบริเวณริมขอบหรือมุมของชิ้นงานหลุดออกเป็นชิ้นๆ	ผิวเคลือบต้องไม่เกิดการหลุดร่อนหรือการแตกร่อนจากเนื้อดิน โดยเฉพาะบริเวณขอบหรือมุมของผลิตภัณฑ์
10. เกิดฟองอากาศในเคลือบ (Air bubble)	จะพบฟองอากาศกระจายตัวในชั้นเคลือบ ซึ่งทำให้ผิวเคลือบมีลักษณะไม่เรียบ บางครั้งจะทำให้ผิวเคลือบแตกหัก	ผิวเคลือบต้องไม่เกิดฟองอากาศที่มองเห็นได้ชัดเจนหรือฟองที่ทำให้ผิวเคลือบมีลักษณะไม่เรียบและขรุขระ
11. เคลือบลักษณะของผิวส้ม (Orange peel)	มีลักษณะเป็นปุ่มหรือคลื่นนูนเล็กๆ เหมือนกับเปลือกส้ม และอาจมีจุดรูเข็มเล็กๆกระจายอยู่บนพื้นผิว	ผิวเคลือบของเครื่องปั้นดินเผาต้องมีลักษณะที่เรียบเนียนและไม่ขรุขระไม่มีมีจุดรูเข็มเล็กๆกระจายอยู่บนพื้นผิว

วิธีดำเนินการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนด์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีส ไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

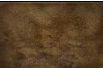
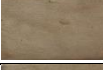
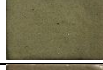
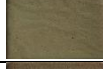
4. ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนต์ เฟอริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้ ภายหลังจากดำเนินการทดลองมีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอไนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีส ไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศา มีรายละเอียดผลการศึกษาวิจัย ดังนี้

1.1 ผลการวิเคราะห์การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์

สูตร ที่	แผ่น ทดลอง	RGB	RAL	สูตร ที่	แผ่น ทดลอง	RGB	RAL	สูตร ที่	แผ่น ทดลอง	RGB	RAL
BF1		RGB: 125, 94, 74	RAL-LS 8007	BM1		RGB: 163, 119, 90	RAL-LS 8000	BN1		RGB: 167, 154, 123	RAL-LS 7034
BF2		RGB: 123, 95, 69	RAL-LS 8007	BM2		RGB: 177, 134, 103	RAL-LS 8000	BN2		RGB: 159, 147, 116	RAL-LS 1020
BF3		RGB: 155, 127, 93	RAL-LS 7008	BM3		RGB: 184, 141, 109	RAL-LS 1036	BN3		RGB: 160, 149, 116	RAL-LS 1020
BF4		RGB: 156, 125, 96	RAL-LS 7008	BM4		RGB: 203, 170, 138	RAL-LS 1036	BN4		RGB: 155, 143, 112	RAL-LS 1020
BF5		RGB: 169, 139, 98	RAL-LS 1020	BM5		RGB: 204, 172, 140	RAL-LS 1000	BN5		RGB: 164, 150, 118	RAL-LS 1020
BF6		RGB: 176, 145, 108	RAL-LS 1020	BM6		RGB: 206, 177, 147	RAL-LS 1000	BN6		RGB: 166, 147, 116	RAL-LS 1036
BF7		RGB: 198, 167, 133	RAL-LS 1001	BM7		RGB: 207, 179, 151	RAL-LS 1000	BN7		RGB: 153, 133, 106	RAL-LS 1036
BF8		RGB: 194, 167, 128	RAL-LS 1001	BM8		RGB: 205, 178, 151	RAL-LS 1035	BN8		RGB: 163, 132, 103	RAL-LS 1036
BF9		RGB: 208, 187, 159	RAL-LS 1014	BM9		RGB: 211, 188, 167	RAL-LS 7032	BN9		RGB: 173, 133, 99	RAL-LS 1036

จากตารางที่ 5 พบว่าการเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ทุกส่วนผสมอยู่ในโทนสีน้ำตาล แบ่งตามส่วนผสมได้ดังนี้ 1. ส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์ ผสมกับ เพอร์ริกออกไซด์ ทั้งหมดมีโทนสีน้ำตาล แบ่งตาม RAL-LS color chart ได้ 5 เฉดสี คือ 1) Ral-Ls 8007 2) Ral-Ls 7008 3) Ral-Ls 1020 4) Ral-Ls 1001 และ 5) Ral-Ls 1014 2. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ ผสมกับ แมงกานีส ไดออกไซด์ ทั้งหมดมีโทนสีน้ำตาล แบ่งตาม RAL-LS color chart ได้ 5 เฉดสี คือ 1) Ral-Ls 8000 2) Ral-Ls 1036 3) Ral-Ls 1000 4) Ral-Ls 1035 และ 5) Ral-Ls 7032 และ 3. ส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์ ผสมกับ นิเกิลออกไซด์ ทั้งหมดมีโทนสีน้ำตาล แบ่งตาม RAL-LS color chart ได้ 3 เฉดสี คือ 1) Ral-Ls 7034 2) Ral-Ls 1020 3) Ral-Ls 1036

1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ภายหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลการทดสอบดังตารางที่ 6 และภาพที่ 2

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความสว่าง (L^*) และค่าสี (a^*) (b^*) ของเคลือบเซรามิกส์

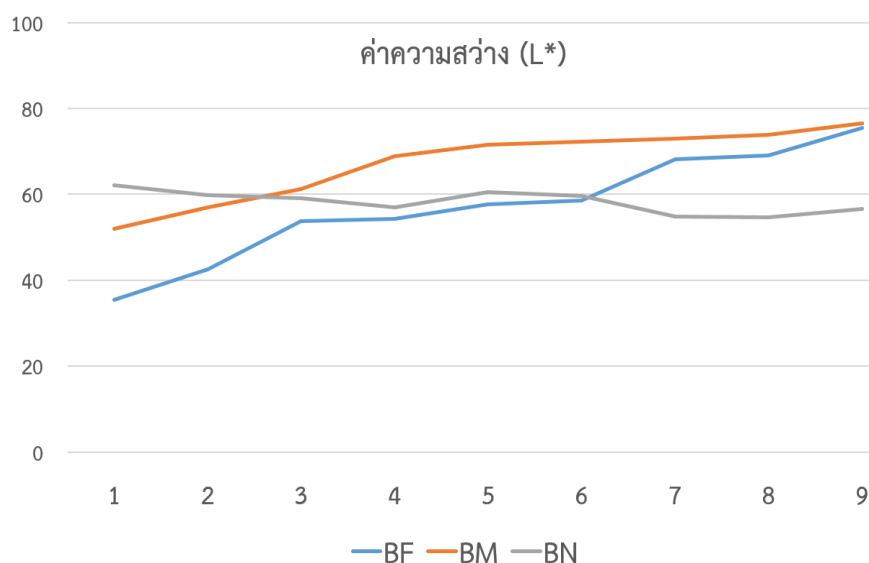
สูตร ที่	ค่าความ สว่าง (L^*)	ค่าสี a^*	ค่าสี b^*	สูตร ที่	ค่าความ สว่าง (L^*)	ค่าสี a^*	ค่าสี b^*	สูตร ที่	ค่าความ สว่าง (L^*)	ค่าสี a^*	ค่าสี b^*
BF1	35.46	6.48	22.55	BM1	52.04	6.43	29.54	BN1	62.08	-8.00	22.19
BF2	42.50	1.34	24.15	BM2	57.00	5.03	28.56	BN2	59.80	-7.98	22.10
BF3	53.78	0.57	26.75	BM3	61.23	3.80	27.68	BN3	59.17	-7.88	22.51
BF4	54.31	0.45	25.53	BM4	68.83	0.83	26.34	BN4	57.04	-6.63	21.69
BF5	57.66	-0.88	30.38	BM5	71.51	0.06	25.53	BN5	60.51	-6.59	22.16
BF6	58.63	-1.27	29.78	BM6	72.24	-0.74	24.40	BN6	59.66	-4.79	22.75
BF7	68.24	-2.70	26.83	BM7	73.05	-1.40	22.61	BN7	54.84	-2.17	20.72
BF8	69.09	-3.14	27.24	BM8	73.89	-1.11	22.55	BN8	54.74	1.44	24.64
BF9	75.39	-3.96	23.07	BM9	76.51	-2.31	20.28	BN9	56.66	4.54	28.08

จากตารางที่ 6 ผลการทดสอบเคลือบเซรามิกส์ทุกส่วนผสม มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ที่ 60.96 มีค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.48 ถึง -8.00 โดยที่ค่า a บวก* (6.48) จะแสดงถึงโทนสีที่มีความแดงหรือน้ำตาลแดง ซึ่งทำให้สีเคลือบมีลักษณะที่อบอุ่นหรือเข้มข้น และค่า a ลบ* (-8.00) จะแสดงถึงโทนสีเขียว ซึ่งจะทำให้สีเคลือบมีลักษณะที่เย็นลงและลดความเข้มของสีลง ซึ่งความแตกต่างนี้จะทำให้สีเคลือบมีความหลากหลายจากโทนสีอบอุ่น (แดงหรือน้ำตาลแดง) ไปจนถึงโทนเย็น (เขียว) และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.28 ถึง 30.38 โดยค่า b บวก* (20.28 ถึง 30.38) แสดงถึงโทนสีเหลือง ซึ่งทำให้สีเคลือบมีความเข้มข้นของสีเหลือง และเมื่อแบ่งตามส่วนผสมได้ผลการทดสอบดังนี้

1. ส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์ผสมกับเฟอร์ริกออกไซด์ มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 35.46 ถึง 75.39 หรือเฉลี่ยความสว่างที่ 57.23 ค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.48 ถึง -3.96 และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 22.55 ถึง 30.38

2. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ผสมกับแมงกานีสไดออกไซด์ มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 52.04 ถึง 76.51 หรือเฉลี่ยความสว่างที่ 67.37 ค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.43 ถึง -2.31 และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.28 ถึง 29.54

3. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ผสมกับนิเกิลออกไซด์ มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 54.74 ถึง 62.08 หรือเฉลี่ยความสว่างที่ 58.27 ค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 4.54 ถึง -8.00 และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.72 ถึง 28.08



ภาพที่ 2 กราฟค่าความสว่าง (L^*) ส่วนผสม BF BM และBN

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอไนต์ เฟอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส มีผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลือบ ระดับความมัน (GU) และความสมบูรณ์ของเคลือบเซรามิกส์

สูตรที่	ลักษณะ	GU	ความสมบูรณ์	สูตรที่	ลักษณะ	GU	ความสมบูรณ์	สูตรที่	ลักษณะ	GU	ความสมบูรณ์
BF1	แวววาว	65	ไม่มีตำหนิ	BM1	แวววาว	83	ไม่มีตำหนิ	BN1	กึ่งด้าน กึ่งมัน	33	ไม่มีตำหนิ
BF2	แวววาว	63	ไม่มีตำหนิ	BM2	แวววาว	77	ไม่มีตำหนิ	BN2	กึ่งด้าน กึ่งมัน	35	ไม่มีตำหนิ
BF3	แวววาว	63	ไม่มีตำหนิ	BM3	แวววาว	76	ไม่มีตำหนิ	BN3	กึ่งด้าน กึ่งมัน	39	ไม่มีตำหนิ



สูตร ที่	ลักษณะ	GU	ความ สมบูรณ์	สูตร ที่	ลักษณะ	GU	ความ สมบูรณ์	สูตร ที่	ลักษณะ	GU	ความ สมบูรณ์
BF4	แวววาว	64	ไม่มีตำหนิ	BM4	แวววาว	76	ไม่มีตำหนิ	BN4	กึ่งด้าน กึ่งมัน	42	ไม่มีตำหนิ
BF5	แวววาว	63	ไม่มีตำหนิ	BM5	แวววาว	74	ไม่มีตำหนิ	BN5	แวววาว	54	ไม่มีตำหนิ
BF6	แวววาว	62	ไม่มีตำหนิ	BM6	แวววาว	64	ไม่มีตำหนิ	BN6	แวววาว	56	ไม่มีตำหนิ
BF7	กึ่งด้าน กึ่งมัน	46	ไม่มีตำหนิ	BM7	แวววาว	64	ไม่มีตำหนิ	BN7	แวววาว	64	ไม่มีตำหนิ
BF8	กึ่งด้าน กึ่งมัน	45	ไม่มีตำหนิ	BM8	แวววาว	63	ไม่มีตำหนิ	BN8	แวววาว	65	ไม่มีตำหนิ
BF9	กึ่งด้าน กึ่งมัน	45	ไม่มีตำหนิ	BM9	แวววาว	62	ไม่มีตำหนิ	BN9	แวววาว	66	ไม่มีตำหนิ

จากตารางที่ 7 พบว่าทุกส่วนผสมลักษณะของเคลือบ มีความมันแวววาวและกึ่งด้านกึ่งมัน โดยส่วนผสมที่ผิวมีความมันแวววาวจะมีค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 54 GU ถึง 83 GU และส่วนผสมที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 33 GU ถึง 46 GU และทุกสูตรส่วนผสมมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ

แบ่งตามส่วนผสมได้ดังนี้ 1. ส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์ ผสมกับ เพอร์ริกออกไซด์ มีผลการวิเคราะห์สรุปดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบ สูตรที่มีความมันแวววาว ได้แก่ สูตร BF1 ถึง BF6 สูตรที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน ได้แก่ สูตร BF7 ถึง BF9 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 45 GU ถึง 65 GU และ 3) ทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ 2. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ ผสมกับ แมงกานีสไดออกไซด์ มีผลการวิเคราะห์สรุปดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบ ทุกสูตรส่วนผสมมีความมันแวววาว 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 62 GU ถึง 83 GU และ 3) ทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ 3. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ ผสมกับ นิเกิลออกไซด์ มีผลการวิเคราะห์สรุปดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบ สูตรที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน ได้แก่ สูตร BN1 ถึง BN4 สูตรที่มีความมันแวววาว ได้แก่ สูตร BN5 ถึง BN9 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 33 GU ถึง 66 GU และ 3) ทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ

จากผลการทดลองที่มีการแปรผันปริมาณของเบนทอไนต์ร่วมกับออกไซด์ให้สีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เพอร์ริกออกไซด์, แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ สามารถสรุปแนวโน้มของผลการทดลองดังนี้

1. การเพิ่มปริมาณเบนทอนไนด์ในส่วนผสมเคลือบจะมีแนวโน้มส่งผลทำให้สีเคลือบมีความเข้มข้นไปในโทนสีแดงน้ำตาล และมีแนวโน้มลดความมันแวววาวของเคลือบเมื่อลดปริมาณการใช้เฟอร์ริกออกไซด์ในส่วนผสม หรือมีปริมาณของนิเกิลออกไซด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เคลือบมีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน และมีแนวโน้มเพิ่มความมันแวววาวของเคลือบเมื่อผสมกับแมงกานีสไดออกไซด์ และลดปริมาณการใช้นิเกิลออกไซด์

2. การปรับอัตราส่วนผสมของออกไซด์ให้สีในสูตรเคลือบเซรามิกส์จากผลการทดลองพบว่า มีแนวโน้มส่งผลต่อลักษณะของสีและความสว่างของเคลือบ สูตรที่มีเฟอร์ริกออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ (BF, BM) จะมีค่าความสว่างสูงกว่า สีอยู่ในโทนแดงน้ำตาล และค่าสี b^* ที่สูง (สีเหลือง) สูตรที่ผสมกับนิเกิลออกไซด์ (BN) จะมีความสว่างปานกลาง สีอยู่ในโทนเขียว และค่าสี b^* ที่ต่ำกว่าทำให้สีเคลือบมีลักษณะหม่น

5. อภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนด์ เฟอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียสในครั้งนี้ ภายหลังการดำเนินการทดลองสามารถอภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนไนด์ เฟอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส อภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้

1.1 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ทุกส่วนผสมอยู่ในโทนสีน้ำตาล ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีคือ เฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric oxide) แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide) นิเกิลออกไซด์ (Nickel oxide) เป็นออกไซด์ให้สีในกลุ่มสีโทนน้ำตาล (สุขุมาล, 2564) และสอดคล้องกับงานวิจัยของกฤตยชญ์ และคณินนิต (2559) ที่พบว่า เคลือบเซรามิกซ์ที่ถ่มน้ำส้มหลังจากใช้เฟอร์ริกออกไซด์จะให้สีน้ำตาลแดง ส่วนเบนทอนไนด์ (Bentonite) มีสูตรทางเคมี คือ $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 9H_2O$ เมื่อเผาจะมีสีครีมอ่อน และนิเกิลออกไซด์จะให้สีน้ำตาลอมเขียว (สุขุมาล, 2548)

1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ ทุกส่วนผสม มีค่าความสว่าง (L^*) เฉลี่ยอยู่ที่ 60.96 มีค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.48 ถึง -8.00 และ มีค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.28 ถึง 30.38 ซึ่งเป็นไปตามอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แต่มีข้อสังเกตว่าส่วนผสมระหว่างเบนทอนไนด์ผสมกับเฟอร์ริกออกไซด์ และส่วนผสมระหว่างเบนทอนไนด์ผสมกับแมงกานีสไดออกไซด์ จะมีค่าความสว่าง (L^*) เป็นไปตามลำดับการใช้ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเฟอร์ริกออกไซด์กับแมงกานีสไดออกไซด์ แต่ในส่วนของการผสมระหว่างเบนทอนไนด์ผสมกับนิเกิลออกไซด์ มีค่าความ

สว่าง (L^*) ใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยมีค่าความสว่างอยู่ที่ 58.27 สอดคล้องกับ สุขุมาล (2564) ที่กล่าวว่า สีที่เกิดจากนิเกิลออกไซด์จะเป็นสีน้ำตาลที่ค่อนข้างหม่นไม่สดใส

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส อภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้

ผลการศึกษาลักษณะของผิวเคลือบ ระดับความมัน และความสมบูรณ์ของผิวเคลือบเซรามิกส์ พบว่า ส่วนผสมลักษณะของเคลือบเซรามิกส์มีความมันแวววาว และมีผิวกึ่งด้านกึ่งมัน โดยส่วนผสมที่ผิวมีความมันแวววาวจะมีค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 54 GU ถึง 83 GU และส่วนผสมที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 33 GU ถึง 46 GU และทุกสูตรส่วนผสมมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ โดยที่ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับเพอร์ริกออกไซด์ ที่ลักษณะของเคลือบมีความมันแวววาว ได้แก่ สูตร BF1 ถึง BF6 สูตรที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน ได้แก่ สูตร BF7 ถึง BF9 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริมา (2557) ที่พบว่าสาเหตุที่เคลือบมีความมันวาวนั้นเพราะมีส่วนประกอบของวัตถุดิบกลุ่มต่างปริมาณมาก โดยในสูตรเคลือบพื้นฐานจะมีปริมาณกลุ่มต่างรวม ร้อยละ 68 แบ่งเป็น เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 45 โดโลไมท์ ร้อยละ 10 และ แคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 13 สอดคล้องกับ สมศักดิ์ (2549) ที่กล่าวว่า เบนทอนต์ (Bentonite) มีสูตรทางเคมี คือ $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 9H_2O$ จัดตามสมบัติทางเคมีจะอยู่ในวัตถุดิบกลุ่มกลาง (Neutral group) มีผลให้เป็นตัวทนไฟในเคลือบลดความมันแวววาวของเคลือบ และสอดคล้องกับ ปรีดา (2547) ที่กล่าวว่า เพอร์ริกออกไซด์ เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวของเคลือบ ดังนั้นเมื่อลดปริมาณการใช้เพอร์ริกออกไซด์ในส่วนผสมจึงส่งผลให้เคลือบมีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน ในขณะที่ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับนิเกิลออกไซด์ ลักษณะของเคลือบ สูตรที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน ได้แก่ สูตร BN1 ถึง BN4 จะสอดคล้องกับ สุขุมาล (2564) ที่กล่าวว่า การเผาเคลือบในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น การผสมนิเกิลปริมาณมากจะช่วยเพิ่มจุดสุกตัวของเคลือบให้สูงขึ้นเนื่องจากมีความทนไฟสูง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้นิเกิลออกไซด์ในส่วนผสมเคลือบจึงส่งผลให้เคลือบมีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน และส่วนผสมที่หลอมตัวได้ดีมีความมันแวววาว สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปราโมทย์ (2552) ที่พบว่าสูตรเคลือบที่มีการหลอมตัวสมบูรณ์ มีความมันแวววาวเนื่องจากมีส่วนผสมของเฟลด์สปาร์และหินปูนในปริมาณมาก ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยการหลอมตัวในเคลือบ และมีดินขาวในปริมาณน้อยทำให้เคลือบเกิดการหลอมตัวได้ดีมีความมันแวววาว ที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับงานวิจัยของ รมลรัตน์ (2565) ที่พบว่าเมื่อใช้เฟลด์สปาร์ชนิดโพแทส (Potash) ปริมาณมากในส่วนผสมของเคลือบจะมีบทบาทสำคัญต่อการหลอมตัวของเคลือบ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรชัย (2558) ที่

พบว่าอัตราส่วนผสมของเคลือบที่เหมาะสมหลอมละลายได้ดีจะมีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตในสูตรเคลือบ ร้อยละ 6 ถึง ร้อยละ 9

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ต่อลักษณะที่ปรากฏของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียสในครั้งนี้ ภายหลังการดำเนินการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ด้านดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อการปรากฏสีของเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1.1 การเกิดสีของเคลือบเซรามิกส์ทุกส่วนผสมอยู่ในโทนสีน้ำตาล แบ่งตามส่วนผสมได้ดังนี้ 1. ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับเพอร์ริกออกไซด์ ทั้งหมดมีโทนสีน้ำตาล แบ่งตาม RAL-LS color chart ได้ 5 เฉดสี คือ 1) Ral-Ls 8007 2) Ral-Ls 7008 3) Ral-Ls 1020 4) Ral-Ls 1001 และ 5) Ral-Ls 1014 2. ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับแมงกานีสไดออกไซด์ ทั้งหมดมีโทนสีน้ำตาล แบ่งตาม RAL-LS color chart ได้ 5 เฉดสี คือ 1) Ral-Ls 8000 2) Ral-Ls 1036 3) Ral-Ls 1000 4) Ral-Ls 1035 และ 5) Ral-Ls 7032 และ 3. ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับนิเกิลออกไซด์ ทั้งหมดมีโทนสีน้ำตาล แบ่งตาม RAL-LS color chart ได้ 3 เฉดสี คือ 1) Ral-Ls 7034 2) Ral-Ls 1020 3) Ral-Ls 1036

1.2 ผลการทดสอบความสว่างและค่าสีของเคลือบเซรามิกส์ ทุกส่วนผสม มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ที่ 60.96 มีค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.48 ถึง -8.00 และ มีค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.28 ถึง 30.38 แบ่งตามส่วนผสมได้ดังนี้ 1. ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับเพอร์ริกออกไซด์ มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 35.46 ถึง 75.39 หรือเฉลี่ยความสว่างที่ 57.23 ค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.48 ถึง -3.96 และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 22.55 ถึง 30.38 2. ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับ แมงกานีสไดออกไซด์ มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 52.04 ถึง 76.51 หรือเฉลี่ยความสว่างที่ 67.37 ค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 6.43 ถึง -2.31 และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.28 ถึง 29.54 และ 3. ส่วนผสมระหว่างเบนทอนต์ผสมกับนิเกิลออกไซด์ มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 54.74 ถึง 62.08 หรือเฉลี่ยความสว่างที่ 58.27 ค่าสี a^* อยู่ระหว่าง 4.54 ถึง -8.00 และค่าสี b^* อยู่ระหว่าง 20.72 ถึง 28.08

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเบนทอนต์ เพอร์ริกออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ และนิเกิลออกไซด์ที่ส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของผิวเคลือบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการศึกษาลักษณะของผิวเคลือบ ระดับความมัน และความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ เซรามิกส์ พบว่าทุกส่วนผสมลักษณะของเคลือบ มีความมันแวววาวและกึ่งด้านกึ่งมัน โดยส่วนผสมที่ผิวมีความมันแวววาวจะมีค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 54 GU ถึง 83 GU และส่วนผสมที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 33 GU ถึง 46 GU และทุกสูตรส่วนผสมมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ

แบ่งตามส่วนผสมได้ดังนี้ 1. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ผสมกับเฟอร์ริกออกไซด์ มีผลการวิเคราะห์สรุปดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบ สูตรที่มีความมันแวววาว ได้แก่ สูตร BF1 ถึง BF6 สูตรที่มีลักษณะกึ่งด้านกึ่งมัน ได้แก่ สูตร BF7 ถึง BF9 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss Unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 45 GU ถึง 65 GU และ 3) ทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ 2. ส่วนผสมระหว่างเบนทอไนต์ผสมกับ แมงกานีสไดออกไซด์ มีผลการวิเคราะห์สรุปดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบทุกสูตรส่วนผสมมีความมันแวววาว 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 62 GU ถึง 83 GU และ 3) ทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ 3. ส่วนผสมระหว่าง เบนทอไนต์ผสมกับ นิเกิลออกไซด์ มีผลการวิเคราะห์สรุปดังนี้ 1) ลักษณะของเคลือบ สูตรที่มีลักษณะ กึ่งด้านกึ่งมัน ได้แก่ สูตร BN1 ถึง BN4 สูตรที่มีความมันแวววาว ได้แก่ สูตร BN5 ถึง BN9 2) ค่าระดับความมันของผิวเคลือบ Gloss unit (GU) มีค่าความเงาอยู่ระหว่าง 33 GU ถึง 66 GU และ 3) ทุกสูตรมีความสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ

โดยสรุปสูตรส่วนผสมของสารเพิ่มเติมที่มีความเหมาะสมกับเคลือบเซรามิกส์ที่ประกอบด้วย 1) เฟลด์สปาร์ (Potash feldspar) ร้อยละ 45 2) โดโลไมท์ (Dolomite) ร้อยละ 10 3) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ร้อยละ 13 4) ดินขาว (Kaolin) ร้อยละ 7 5) ควอตซ์ (Quartz) ร้อยละ 25 โดยสามารถใช้สารเพิ่มเติมในส่วนผสมของสูตรเคลือบเซรามิกส์ ได้จำนวน 3 ส่วนผสม ดังนี้ 1) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 ผสมกับ เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 4 ถึงร้อยละ 9 2) เบนทอไนต์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 ผสมกับ แมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 9 3) เบนทอไนต์ ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 9 ผสมกับ นิเกิลออกไซด์ ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 5

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ซึ่งทำให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กฤตยชญ์ คำมิ่ง, และคณินิต ปทุมมาเกสร. (2559). การพัฒนาเคลือบเซรามิกซีเมนต์สำหรับ
จังหวัดกำแพงเพชร. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 11 (3),
85-94.
- ดร.ณัฏฐ์ วัฒนศิริเวช, และสุธี วัฒนศิริเวช. (2552). การวิเคราะห์แร่ดินเคลือบและตำหนิในผลิตภัณฑ์
เซรามิก. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์. (2565). การพัฒนาสูตรเคลือบดอกซากุระโดยใช้สีสกัดจากเปลือกส้ม
สารให้สี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 2(2), 23-31.
- ปราโมทย์ ปิ่นสกุล. (2552). การทำน้ำเคลือบเซรามิกจากเศษผงปูนปลาสเตอร์. วารสารวิจัยและ
พัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 4(1), 63-71.
- พรชัย ปานทุ่ง. (2558). การพัฒนาน้ำเคลือบเซรามิกจากเนื้อดินพื้นบ้าน. วารสารวิจัยสหวิทยาการ
ไทย, 10(3), 38-44.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2546). สีเซรามิก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2547). รวมสูตรเคลือบเซรามิก (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ศิริมา เอมวงษ์. (2557). การพัฒนาเคลือบโครมทินเรด อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส.
วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 7(1), 52-57.
- สมศักดิ์ ขวาลาวัณย์. (2549). เซรามิก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- สุขุมล เล็กสวัสดิ์. (2548). เครื่องปั้นดินเผาพื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุขุมล สารเกษตริน. (2564). เครื่องปั้นดินเผาการออกแบบและปฏิบัติงาน. กรุงเทพฯ: 50 Press
Printing.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). เครื่องปั้นดินเผาโตนแวร์ (มผช. 930/2556).
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.