

น้ำยาเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ทำจากเปลือกหอย

LIME GLAZE FROM SHELLS FOR CERAMIC PRODUCTS

ศิริชัย โพธิ์ตาปะนะ
Sirichai Pothitapana

กองบริการอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
Industrial Service Division, Ministry of Industry

บทคัดย่อ

เปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงสามารถนำมาใช้แทนหินปูนในการทำน้ำยาเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้แทนหินปูนในสูตรน้ำยาเคลือบ 3 สูตร คือ lime-zinc glaze, lime-magnesia glaze และ lime-barium glaze ได้นำน้ำยาเคลือบไปเคลือบผลิตภัณฑ์และเผาที่อุณหภูมิ 1,200–1,300°C. ในบรรยากาศออกซิเดชัน พบว่าความสามารถในการเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของเคลือบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ได้จากหินปูนจะมีปฏิกิริยามากกว่า CaO ที่ได้จากเปลือกหอย และความสามารถในการเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของเคลือบของ CaO ที่ได้จากเปลือกหอยทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกัน การใช้สูตรน้ำยาเคลือบ lime-zinc glaze จะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบที่มีความมันวาว เมื่อใช้หินปูนที่มีสูตรเคมี $0.2 K_2O, 0.3-0.6 CaO, 0.5-0.2 ZnO, 0.4 Al_2O_3$ และ $2.0-4.0 SiO_2$ และจะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบที่มีความมันวาวใสเมื่อใช้เปลือกหอยที่มีสูตรเคมี $0.2 K_2O, 0.2-0.7 CaO, 0.6-0.1 ZnO, 0.4 Al_2O_3$ และ $3.0-4.0 SiO_2$ ส่วนน้ำยาเคลือบ lime-magnesia glaze และ lime-barium glaze จะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบด้านเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C. และจะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบที่มีความมันวาวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,300°C. ทั้งนี้ไม่ว่าจะใช้หินปูนหรือเปลือกหอย แสดงว่าเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงสามารถนำมาใช้ทดแทนหินปูนในสูตรน้ำยาเคลือบได้ทั้ง 3 สูตร

ABSTRACT

The shells of ark shell and sea shell were substituted for lime in 3 lime glaze formulae: lime-zinc glaze, lime-magnesia glaze and lime-barium glaze in the production of ceramics. They were burnt at temperature of 1,200–1,300°C in the oxidation condition.

It was found that the flux of CaO from lime was more active than CaO from ark shell and sea shell, but CaO from these 2 shells were not different. The lime-zinc glaze ceramics were gloss with the use of lime at the empirical formulae as $0.2 K_2O$, $0.3-0.6 CaO$, $0.5-0.2 ZnO$, $0.4 Al_2O_3$ and $2.0-4.0 SiO_2$ and they were gloss when using shells at the empirical formulae as $0.2 K_2O$, $0.2-0.7 CaO$, $0.6-0.1 ZnO$, $0.4 Al_2O_3$ and $3.0-4.0 SiO_2$. Ceramic products from lime-magnesia glaze and lime - barium glaze were matt at $1,200^\circ C$ and gloss at $1,300^\circ C$, and the results of using lime or each kind of shells was the same. This indicated that the shells of ark shell and sea shell could be substituted for lime in 3 formulae of lime glaze.

คำนำ

ผลิตภัณฑ์เซรามิกนับเป็นสินค้าที่ทำรายได้อย่างมากให้แก่ผู้ประกอบการตั้งแต่ระดับอุตสาหกรรมในครอบครัวจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยการผลิตนอกจากเพื่อใช้ในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งออกนับเป็นจำนวนมากในแต่ละปี การทำผลิตภัณฑ์เคลือบในปัจจุบัน นั้น ใช้วัสดุภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ คือ ดินขาว ดินเหนียว และหินปูน เป็นต้น รายงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงการนำหินปูน (lime) มาทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมมีราคาถูกและการลงทุนต่ำของน้ำยาเคลือบและจุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์เซรามิกต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการนำเปลือกหอยมาใช้แทนหินปูนในส่วนผสมของน้ำยาเคลือบหินปูน ซึ่งเป็นน้ำยาเคลือบที่นิยมใช้เคลือบผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น พอร์ซเลน สโตนแวร์ และเอิร์ทเทนแวร์ เป็นต้น น้ำยาเคลือบหินปูนนี้จะเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของเคลือบทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้นทนต่อการขีดข่วน จึงนิยมนำไปใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์ชุดอาหาร ชุดน้ำชา เครื่องประดับ และของขำขันต่าง ๆ ผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้วัตถุดิบหรือกากวัสดุภายในประเทศให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เซรามิกของประเทศต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ หินปูน (lime) หินฟันม้า (feldspar) หินควอตซ์ (quartz) ดินขาว เปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงที่เผาจนเป็นขี้เถ้า ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียม (MgCO₃) ทัลคัม (3MgO 4 SiO₂ H₂O) และแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO₃)

วิธีการ

1. หาจุดสุกตัวของน้ำยาเคลือบสี โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 กลุ่ม ตามสูตรน้ำยาเคลือบ คือ กลุ่มที่ 1 lime-zinc glaze กลุ่มที่ 2 lime-magnesia glaze และกลุ่มที่ 3 lime-barium glaze และในแต่ละกลุ่มจะแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ตามชนิดของแหล่งที่ให้ CaO คือ ชุดที่ 1 ใช้หินปูน ชุดที่ 2 ใช้ซีเมนต์ของเปลือกหอยแครง และชุดที่ 3 ใช้ซีเมนต์ของเปลือกหอยแมลงภู่ และในแต่ละชุดของการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณส่วนผสมของต่างตัวอื่น ๆ พร้อมทั้งเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิกับซิลิกา ตามสูตรเอมไพริคอลในภาคผนวก แล้วจึงนำน้ำยาเคลือบสีสูตรต่าง ๆ เหล่านี้ไปเคลือบผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปเผาเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. และ 1,300°ซ. ในบรรยากาศออกซิเดชัน เพื่อดูปฏิกิริยาและผลหลังจากการเผาเพื่อหาจุดสุกตัวของน้ำยาเคลือบสี หลังจากนั้นจึงคัดเลือกส่วนผสมของน้ำยาเคลือบสีที่เหมาะสมเพื่อนำไปทดลองทำน้ำยาเคลือบสีโดยการเติมออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี (Colouring Oxide) ต่อไป

เนื้อดินที่ใช้ทดลองกับน้ำยาเคลือบเป็นเนื้อดินที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เอิร์ทเทนแวร์และพอร์ซเลน ซึ่งมีส่วนผสมคือ

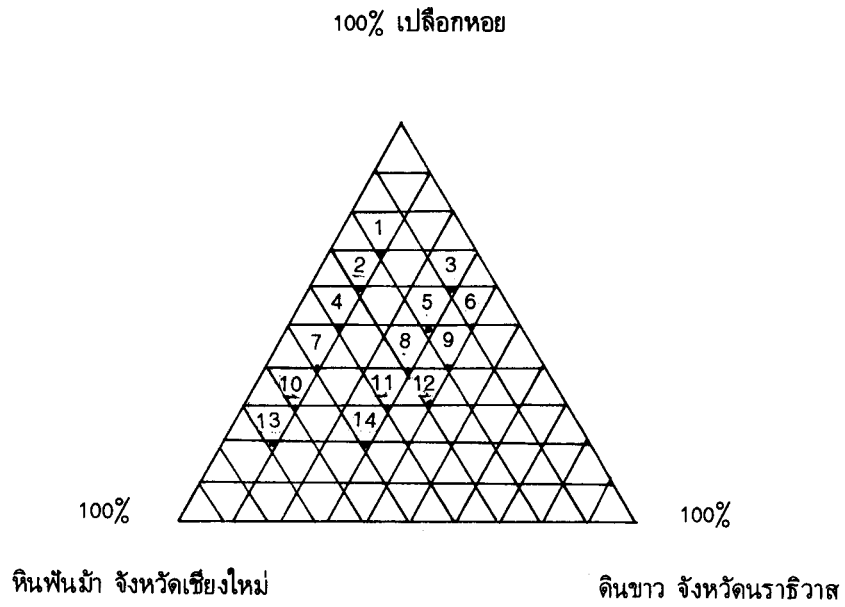
1.1 เนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์ที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. ประกอบด้วย ดินขาวระนอง 27%, ดินขาวลำปาง 28%, ดินขาวปากพลี จังหวัดปราจีนบุรี 10%, หินควอตซ์ จังหวัดราชบุรี 20%, หินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่ 10% และหินปูน จังหวัดสระบุรี 5%

1.2 เนื้อดินพอร์ซเลน ที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ. ประกอบด้วย ดินขาวระนอง 35%, ดินขาวปากพลี จังหวัดปราจีนบุรี 7.5%, ดินเหนียวพลุพลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 7.5%, หินควอตซ์ จังหวัดราชบุรี 35.0%, และหินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่ 15.0%

สำหรับการทดลองใช้เปลือกหอยแทนหินปูนในน้ำยาเคลือบทั้ง 3 กลุ่มนั้น นำซีเมนต์ของเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่ ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 600–800°ซ. เป็นส่วนผสมของน้ำยาเคลือบแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับหินปูนทุกประการ เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด

2. ทดลองน้ำยาเคลือบสี lime glaze โดยใช้วิธี Triaxial Trial เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ซีเมนต์เปลือกหอย ดินขาว จังหวัดนราธิวาส และหินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ส่วนผสมเปลี่ยนแปลงตามรูปและตาราง ดังนี้

อัตราส่วนส่วนผสมของน้ำยาเคลือบสี



ส่วนผสมโดยน้ำหนักของน้ำยาเคลือบใส

หน่วย : % โดยน้ำหนัก

Base glaze no.	เปลือกหอย	หินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่	ดินขาว จังหวัดนราธิวาส
10.1	70	20	10
10.2	60	30	10
10.3	60	15	25
10.4	50	40	10
10.5	50	25	25
10.6	50	15	35
10.7	40	50	10
10.8	40	35	25
10.9	40	25	35
10.10	30	60	10
10.11	30	45	25
10.12	30	35	35
10.13	20	70	10
10.14	20	55	25

ขั้นตอนต่อไปนำน้ำยาเคลือบใสสูตรต่าง ๆ เหล่านี้ไปเคลือบบนผลิตภัณฑ์เซรามิกแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. และ 1,250°ซ. เพื่อดูลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังจากการเผา

3. ทดลองทำน้ำยาเคลือบสี โดยผสมออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีในน้ำยาเคลือบสีสูตรต่าง ๆ ตามตารางและรูปดังนี้

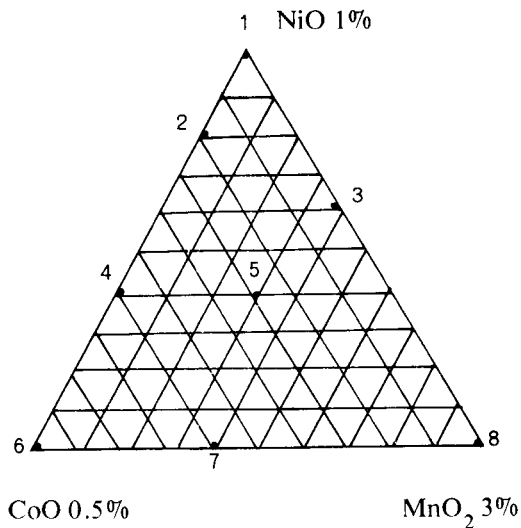
base glaze no. 3.6 เผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.

Cr_2O_3 5%	1	2	3	Fe_2O_3 5%
4		5		6
7		8		9
CuO 6%				CoO 3%

base glaze no. 4.4 เผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.

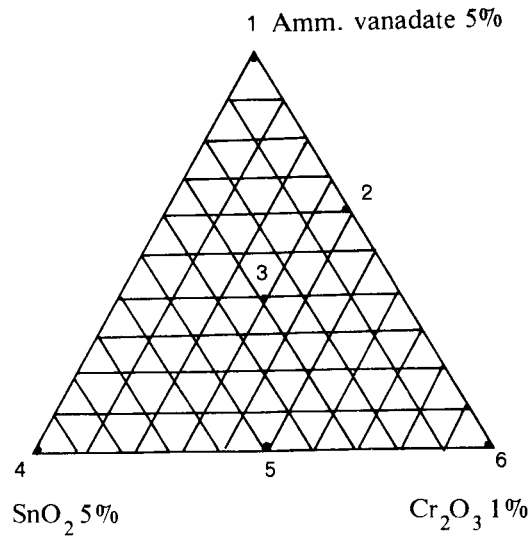
Cr_2O_3 5%	1	2	3	CuO 6%
4		5		6
7		8		9
TiO_2 5%				SnO_2 10%

base glaze no. 10.14



ซี้ถ้าเปลือกหอยแครงแทนหินปูน

base glaze no. 10.10



ซี้ถ้าเปลือกหอยแมลงภู่แทนหินปูน

ขั้นตอนต่อไปนำน้ำยาเคลือบสีสูตรต่าง ๆ เหล่านี้ไปเคลือบบนผลิตภัณฑ์เซรามิกแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. เพื่อดูสีของผลิตภัณฑ์หลังจากเคลือบและเผาแล้ว

ผลและวิจารณ์

ผลการเผาผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบหินปูนที่อุณหภูมิ 1,200–1,300°ซ. เพื่อหาจุดสุกตัวของน้ำยาเคลือบสีพบว่าความสามารถในการเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของเคลือบที่เกิดจาก CaO ในหินปูนจะมีปฏิกิริยามากกว่าที่เกิดจาก CaO ที่ได้จากเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่ แต่ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของเคลือบที่เกิดจาก CaO จากหอยแครงและหอยแมลงภู่ จะได้ผลที่ไม่แตกต่างกัน แสดงว่า CaO จากหอยแครงและหอยแมลงภู่สามารถใช้แทน CaO จากหินปูนได้ (ตารางที่ 1–6)

เมื่อใช้หินปูนแทน CaO ในน้ำยาเคลือบ lime-zinc glaze จะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบที่ให้ความมันวาวและมีจุดสุกตัวในช่วงอุณหภูมิ 1,200–1,300°ซ. (ตารางที่ 1 และ 2) คือน้ำยาเคลือบที่มีสูตรเอม-ไพริคอล 0.2 K₂O, 0.3–0.6 CaO, 0.5–0.2 ZnO, 0.4 Al₂O₃ และ 2.0–4.0 SiO₂ โดยมีสัดส่วน Al₂O₃ : SiO₂ = 1:5–10 (รูปที่ 1:a และ d) และเมื่อใช้เปลือกหอยชนิดใดชนิดหนึ่งแทน CaO ในสูตร

เหล่านี้พบว่าผลิตภัณฑ์เคลือบที่ใช้เปลือกหอยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของเคลือบ จะมีปฏิกิริยาน้อยกว่าเมื่อใช้หินปูน เคลือบที่ได้มักมีสีน้ำตาลเนื่องจากมีสารสกาปรกเจือปน ซึ่งอาจเกิดจากสนิมเหล็ก แต่จะสามารถขจัดให้หมดไปได้โดยผ่านเครื่องแยกเหล็ก ผลิตภัณฑ์เคลือบ lime-zinc glaze ที่ให้ความมันวาวใสที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. (รูปที่ 1:b และ c) มีสูตรเคมีไพรคอลล 0.2 K₂O, 0.2-0.7 CaO, 0.6-0.1 ZnO, 0.4 Al₂O₃ และ 2.0 SiO₂ (Al₂O₃ : SiO₂ = 1:5) และผลิตภัณฑ์เคลือบที่มีความมันวาวใส เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ. (รูปที่ 1:e และ f) มีสูตรเคมีไพรคอลล 0.2 K₂O, 0.2-0.7 CaO, 0.6-0.1 ZnO, 0.4 Al₂O₃ และ 3.0-4.0 SiO₂ (Al₂O₃ : SiO₂ = 1:7.5)

เมื่อใช้หินปูนในน้ำยาเคลือบ lime-magnesia glaze พบว่าปริมาณของ magnesia และหินปูนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์เคลือบมีความทนไฟเพิ่มขึ้นด้วย (ตารางที่ 3 และ 4) ผลิตภัณฑ์เคลือบน้ำยา lime-magnesia glaze หากเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. จะได้เคลือบด้าน (รูปที่ 2:a) เมื่อมีสูตรเคมีไพรคอลล 0.2 K₂O, 0.3-0.7 CaO, 0.5-0.1 MgO, 0.4 Al₂O₃ และ 3.0-4.0 SiO₂ (Al₂O₃ : SiO₂ = 1:5-7.5) ถ้าใช้เปลือกหอยชนิดใดชนิดหนึ่งแทน CaO ในน้ำยาดังกล่าว จะได้เคลือบด้าน (รูปที่ 2:b และ c) เมื่อมีสูตรเคมีไพรคอลล 0.2 K₂O, 0.5-0.7 CaO, 0.3-0.1 MgO, 0.4 Al₂O₃ และ 3.0-4.0 SiO₂ (Al₂O₃ : SiO₂ = 1:5-10) และถ้าเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ. จะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบมีความมันวาว (รูปที่ 2:d,e และ f)

น้ำยาเคลือบ lime-barium glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. จะใช้หินปูนหรือเปลือกหอยแต่ละชนิดแทนหินปูน ก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6 คือจะได้เคลือบด้าน (รูปที่ 3:a,b และ c) เมื่อมีสูตรเคมีไพรคอลล 0.2 K₂O, 0.3-0.7 CaO, 0.5-0.1 BaO, 0.4 Al₂O₃ และ 4.0 SiO₂ (Al₂O₃ : SiO₂ = 1:10) และถ้าเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ. จะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบมันวาว (รูปที่ 3:d,e และ f) เมื่อมีสัดส่วนของ Al₂O₃ : SiO₂ อยู่ระหว่าง 1:7.5-10 ในการทดลองใช้เปลือกหอยแต่ละชนิดแทน CaO ในน้ำยาเคลือบโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของหินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่ และดินขาว พบว่าเมื่อปริมาณหินฟันม้าเป็น 25-60% ปริมาณเปลือกหอยเป็น 30-40% ใน base glaze no. 10.7-10.10 จะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบมันวาวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,250°ซ. และจะได้ผลิตภัณฑ์เคลือบด้านเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. (ตารางที่ 7) แสดงว่าการนำเปลือกหอยชนิดใดชนิดหนึ่งมาใช้แทนหินปูนในน้ำยาเคลือบ lime glaze ได้ผลดีสามารถนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น สโตนแวร์ เอิร์ทเทนแวร์ได้ นอกจากนี้ยังนำไปเคลือบกระเบื้องบุผนัง กระเบื้องปูพื้น โถงน้ำ หรือผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับที่มีสีต่าง ๆ โดยการใส่ออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีหรือสีสำเร็จรูปลงไป (ตารางที่ 8) แต่น้ำยาเคลือบที่ใช้เปลือกหอยนี้จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาว เช่น พอร์ซเลนไม่ได้เพราะมีสารสกาปรกเจือปน จะทำให้เคลือบที่ได้สีไม่ขาวบริสุทธิ์เหมือนใช้น้ำยาเคลือบที่ใช้หินปูน

ตารางที่ 1. ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยา lime-zinc glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.

Base glaze no.	CaO จากหินปูน	CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่	CaO จากเปลือกหอยแครง
1.1	ด้าน สีขาว มีการดิ่งตัว	ค่อนข้างมัน สีขาว มีผลึกเกิดที่ผิว	ด้าน สีขาว มีการดิ่งตัวเล็กน้อย
1.2	ค่อนข้างมัน สีขาว ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน สีขาว
1.3	มันสีขาว ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.4	มันวาวใส มีผลึกเล็กน้อย	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.5	มันวาวใส มีผลึกเล็กน้อย	มันวาวใส มีฟองอากาศเล็กน้อย	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.6	มันวาวใส มีผลึกเกิดมาก	มันวาวใส มีฟองอากาศเล็กน้อย	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.7	มันวาวใส มีผลึกเกิดมาก	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน มีผลึกเล็กน้อย
2.1	ด้าน สีขาว มีฟองอากาศเล็กน้อย	ค่อนข้างมัน มีผลึกเล็กน้อย	ค่อนข้างมัน สีขาว ผิวไม่เรียบ
2.2	ค่อนข้างมัน สีขาว	ค่อนข้างมัน มีผลึกเล็กน้อย	ค่อนข้างมัน สีขาว มีฟองอากาศ
2.3	มันวาวใส มีผลึกเล็กน้อย	ค่อนข้างมัน มีผลึกปานกลาง	ค่อนข้างมันวาวใส
2.4	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน ผิวไม่เรียบ มีฟองอากาศ	ค่อนข้างมันวาวใส
2.5	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ค่อนข้างมันวาวใส
2.6	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ค่อนข้างมันวาวใส มีผลึกเล็กน้อย
2.7	ค่อนข้างมันวาวใส	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ค่อนข้างมันวาวใส
3.1	ด้าน สีขาว มีการดิ่งตัวเล็กน้อย	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมัน สีขาว ผิวไม่เรียบ
3.2	ค่อนข้างมันวาวใส	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมัน สีขาว มีฟองอากาศ
3.3	มันวาวใส มีผลึกเล็กน้อย	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมัน สีขาว มีฟองอากาศ
3.4	มันวาวใส	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมันวาวใส
3.5	มันวาวใส	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมันวาวใส
3.6	มันวาวใส	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมันวาวใส
3.7	ค่อนข้างมัน มีผลึกเล็กน้อย	ผิวแห้ง สีขาว ไม่ถึงจุดสุกตัว	ค่อนข้างมันวาวใส

ตารางที่ 2. ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยา lime-zinc glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ.

Base glaze no.	CaO จากหินปูน	CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่	CaO จากเปลือกหอยแครง
1.1	ค่อนข้างมัน	มันวาวใส มีผลึกเกิดขึ้นเล็กน้อย	ค่อนข้างมัน
1.2	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.3	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.4	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ มีรอยต่างสีน้ำตาล
1.5	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ มีรอยต่างสีน้ำตาล
1.6	มันวาวใส มีผลึกที่ผิว	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
1.7	มันวาวใส มีผลึกที่ผิว	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
2.1	ค่อนข้างมัน	ค่อนข้างมัน มีผลึกเกิดขึ้นที่ผิว	ค่อนข้างมัน สีขาว มีผลึก
2.2	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน มีผลึกเกิดขึ้นเล็กน้อย	ค่อนข้างมัน
2.3	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
2.4	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
2.5	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
2.6	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
2.7	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
3.1	ค่อนข้างมัน	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน สีขาว มีรูเข็ม
3.2	มันวาวใส ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน สีขาว
3.3	มันวาวใส ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน สีขาว
3.4	มันวาวใส มีฟองอากาศ	ด้าน สีขาว มีฟองอากาศ	มันวาวใส ผิวเรียบ
3.5	มันวาวใส	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
3.6	มันวาวใส ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวไม่เรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
3.7	มันวาวใส ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวไม่เรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ

ตารางที่ 3. ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยา lime-magnesia glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.

Base glaze no.	CaO จากหินปูน	CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่	CaO จากเปลือกหอยแครง
4.1	ค่อนข้างด้าน มีรอยแตกที่ผิวตลอด	ไม่สุกตัว ผิวมีรอยแตกระแหง	ไม่สุกตัว ผิวมีรอยแตกระแหง
4.2	ค่อนข้างด้าน มีรอยแตกที่ผิวเล็กน้อย	ค่อนข้างด้าน ผิวไม่เรียบ	ค่อนข้างด้าน ผิวเรียบ
4.3	ค่อนข้างด้าน ผิวเรียบ	ด้าน ผิวเรียบ	ด้าน ผิวเรียบ
4.4	ค่อนข้างด้าน ผิวเรียบ	ด้าน ผิวเรียบ	ด้าน ผิวเรียบ
5.1	ค่อนข้างด้าน มีรอยแตกที่ผิวตลอด	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว
5.2	ด้าน สีขาว มีรอยแตกที่ผิวปานกลาง	ไม่สุกตัว ผิวมีรอยแตกระแหง	ค่อนข้างด้าน ผิวไม่เรียบ
5.3	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ค่อนข้างด้าน ผิวไม่เรียบ	ค่อนข้างด้าน ผิวเรียบ
5.4	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน ผิวเรียบ	ด้าน ผิวเรียบ
6.1	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว
6.2	ด้าน สีขาว มีรอยแตกที่ผิวเล็กน้อย	ค่อนข้างด้าน ผิวไม่เรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
6.3	ด้าน สีขาว มีรอยแตกที่ผิวเล็กน้อย	ด้าน ผิวไม่เรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
6.4	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน ผิวไม่เรียบ	ด้าน ผิวเรียบ

ตารางที่ 4. ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยา lime-magnesia glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ.

Base glaze no.	CaO จากหินปูน	CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่	CaO จากเปลือกหอยแครง
4.1	ค่อนข้างมัน มีรูเข็ม	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
4.2	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
4.3	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
4.4	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
5.1	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว มีรอยรูเข็ม	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
5.2	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ
5.3	มันวาวใส ผิวเรียบ	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
5.4	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ	มันวาวใส ผิวเรียบ
6.1	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
6.2	ค่อนข้างมัน ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
6.3	มันวาวใส ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
6.4	มันวาวใส ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ

ตารางที่ 5. ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยา lime-barium glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.

Base glaze no.	CaO จากหินปูน	CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่	CaO จากเปลือกหอยแครง
7.1	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว
7.2	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว
7.3	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน
8.1	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว	ไม่สุกตัว
8.2	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน
8.3	ด้าน	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน
9.1	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน	กึ่งด้าน
9.2	ด้าน	ด้าน	ด้าน
9.3	ด้าน	ด้าน	ด้าน

ตารางที่ 6. ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยา lime-barium glaze เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ.

Base glaze no..	CaO จากหินปูน	CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่	CaO จากเปลือกหอยแครง
7.1	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
7.2	กึ่งมัน	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ	ด้าน สีขาว ผิวเรียบ
7.3	กึ่งมัน มีรูเข็ม	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ
8.1	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ
8.2	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ
8.3	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ
9.1	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ
9.2	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ
9.3	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ	มันวาว ผิวเรียบ

ตารางที่ 7. เปรียบเทียบลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เคลือบน้ำยาเคลือบใสจากเปลือกหอยแมลงภู่ และหอยแครง เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ. และ 1,250°ซ.

Base glaze no.	เปลือกหอยแมลงภู่	เปลือกหอยแครง	เปลือกหอยแมลงภู่	เปลือกหอยแครง
10.1	ไม่ถึงจุดสุกตัว	ไม่ถึงจุดสุกตัว	ด้าน รานตัว มีจุดสีน้ำตาล	ไม่ถึงจุดสุกตัว
10.2	ด้าน มีจุดสีน้ำตาล	ไม่ถึงจุดสุกตัว	ด้าน รานตัว มีจุดสีน้ำตาล	ด้าน สีขาว มีจุดน้ำตาล
10.3	ด้าน มีจุดสีน้ำตาล	ไม่ถึงจุดสุกตัว	ด้าน รานตัว มีจุดสีน้ำตาล	ด้าน สีขาว มีจุดน้ำตาล
10.4	ด้าน สีน้ำตาล	ไม่ถึงจุดสุกตัว	มัน สีขาว รานตัว	ด้าน สีขาว
10.5	ด้าน สีน้ำตาล	ด้าน สีน้ำตาล	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว
10.6	ด้าน สีน้ำตาล	ด้าน สีน้ำตาล	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว
10.7	ด้าน สีน้ำตาล	ด้าน สีน้ำตาล	ด้าน สีขาว มีจุดน้ำตาล	ด้าน สีขาว
10.8	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	มัน สีขาว รานตัว
10.9	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	มัน สีขาว รานตัว
10.10	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว มีฟองอากาศ	สีขาว รานตัว
10.11	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว
10.12	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว
10.13	มัน สีขาว มีรอยแตกหลายงา	กึ่งมัน สีขาว	มันวาว สีขาว	ด้าน สีขาว
10.14	มัน สีขาว มีรอยแตกหลายงา	กึ่งมัน สีขาว	ด้าน สีขาว	ด้าน สีขาว

ตารางที่ 8. ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์เคลือบเมื่อเติมออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี

Base glaze no. 3.6

No.	ปริมาณออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี	สีที่ได้หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.
1.	Cr ₂ O ₃ 5%	น้ำตาล
2.	Cr ₂ O ₃ 2.5%	น้ำตาลเข้มขึ้น
	Fe ₂ O ₃ 2.5%	
3.	Fe ₂ O ₃ 5%	น้ำตาลเข้ม
4.	Cr ₂ O ₃ 2.5%	น้ำตาลอมเขียว
	CuO 3%	
5.	Cr ₂ O ₃ 1.25%	น้ำตาลอมเขียว
	Fe ₂ O ₃ 1.25%	
	CuO 1.5%	
	CoO 0.75%	
6.	Fe ₂ O ₃ 2.5%	เขียวอมน้ำเงิน
	CoO 1.5%	
7.	CuO 6%	เขียว
8.	CuO 3%	เขียวเข้ม
	CoO 1.75%	
9.	CoO 3%	น้ำเงิน

Base glaze no. 4.4

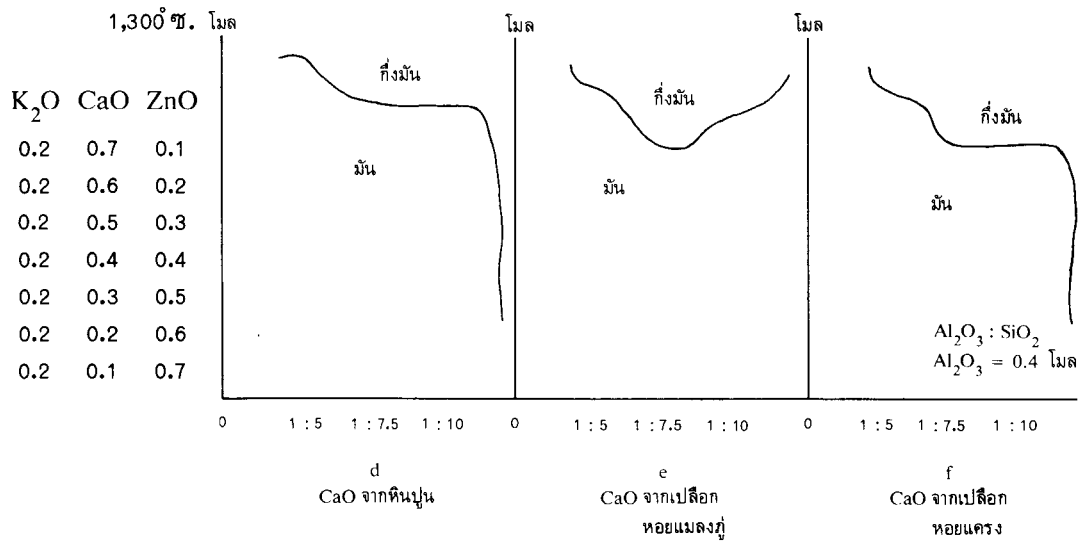
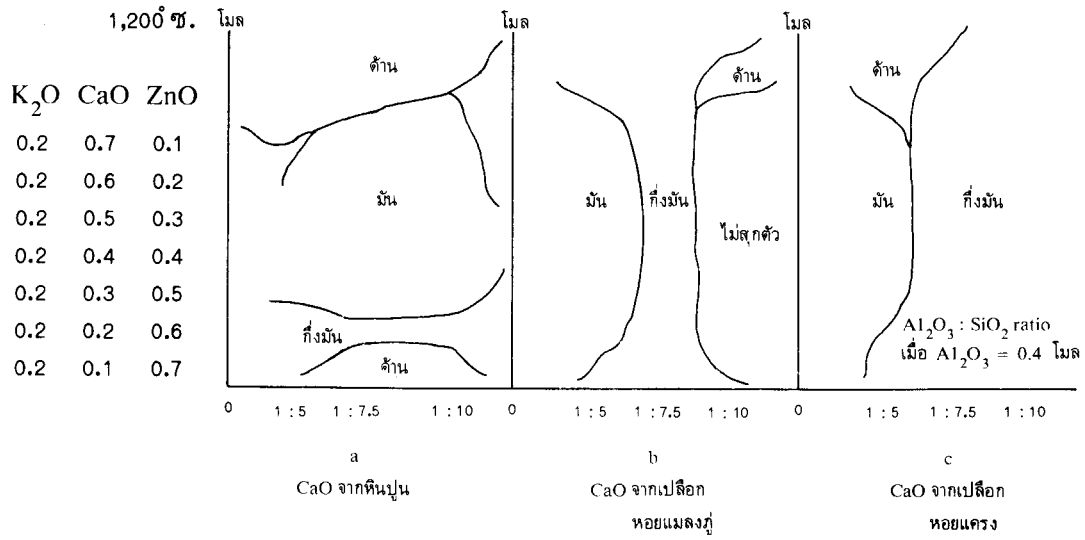
No.	ปริมาณออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี	สีที่ได้หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ.
1.	Cr ₂ O ₃ 5%	น้ำตาล
2.	Cr ₂ O ₃ 2.5%	น้ำตาลเข้ม
	CuO 3%	
3.	CuO 6%	เขียว
4.	Cr ₂ O ₃ 2.5%	น้ำตาลอมชมพู
	TiO ₂ 2.5%	
5.	Cr ₂ O ₃ 1.25%	
	CuO 1.5%	เขียว
	TiO ₂ 1.25%	
	SnO ₂ 2.5%	
6.	CuO 3.0%	เขียวอ่อน
	SnO ₂ 5.0%	
7.	TiO ₂ 7.0%	เหลืองอ่อน
8.	TiO ₂ 3.5%	ขาวอมเหลือง
	SnO ₂ 5%	
9.	SnO ₂ 10%	ขาวทึบแสง

Base glaze no. 10.14

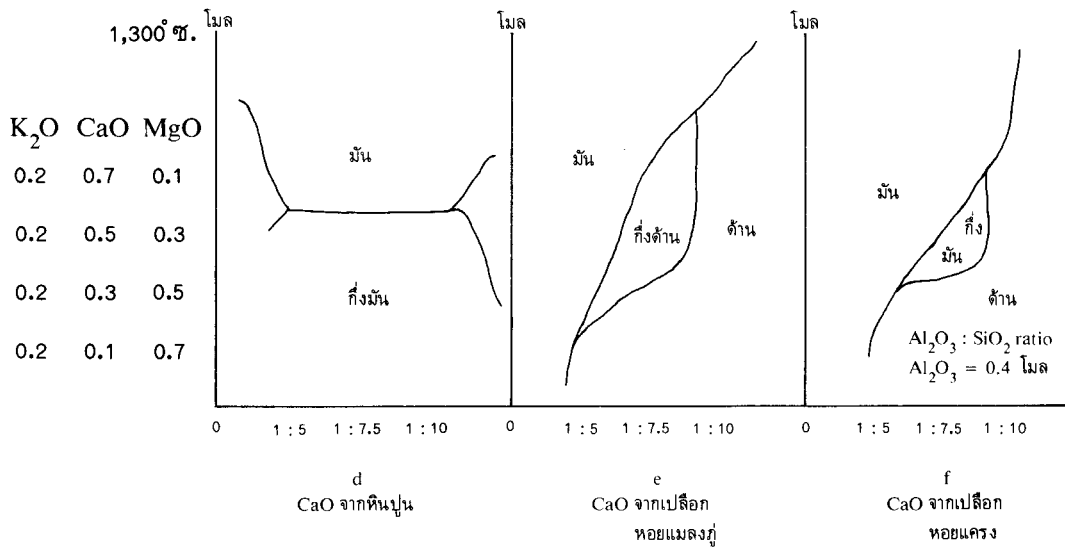
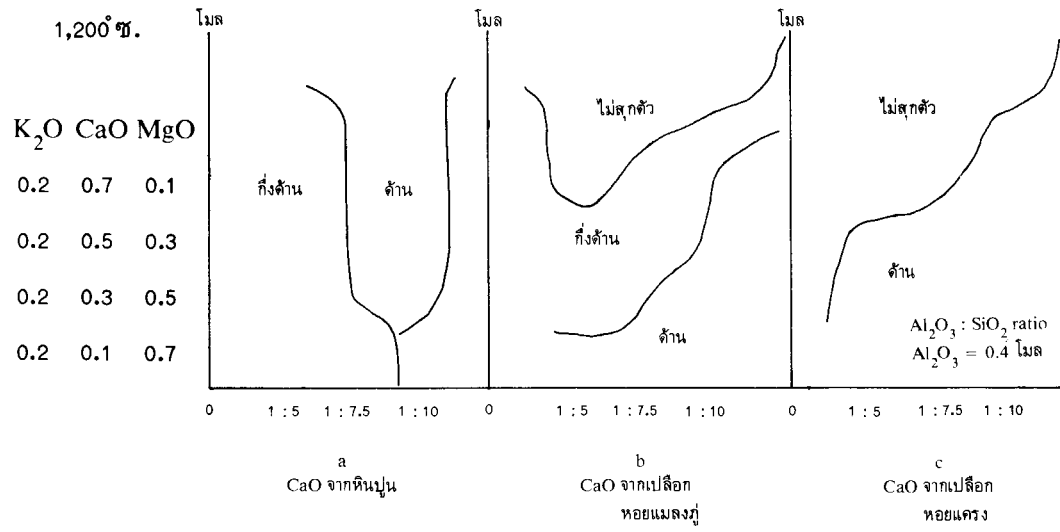
No.	ปริมาณออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี	สีที่ได้หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,250°ซ.
1.	NiO 1%	น้ำตาลอมเทา
2.	NiO 0.8%	น้ำตาลอมเทา
3.	CoO 0.1%	น้ำตาลอ่อน (รานตัว)
	NiO 0.6%	
4.	MnO ₂ 1.2%	น้ำเงินอ่อน
	NiO 0.4%	
5.	CoO 0.3%	น้ำเงิน
	NiO 0.4%	
	MnO ₂ 0.9%	
6.	CoO 0.15%	น้ำเงินอ่อน
	CoO 0.5%	
7.	CoO 0.3%	น้ำเงิน
	MnO ₂ 1.2%	
8.	MnO ₂ 3.0%	น้ำตาล

Base glaze no. 10.10

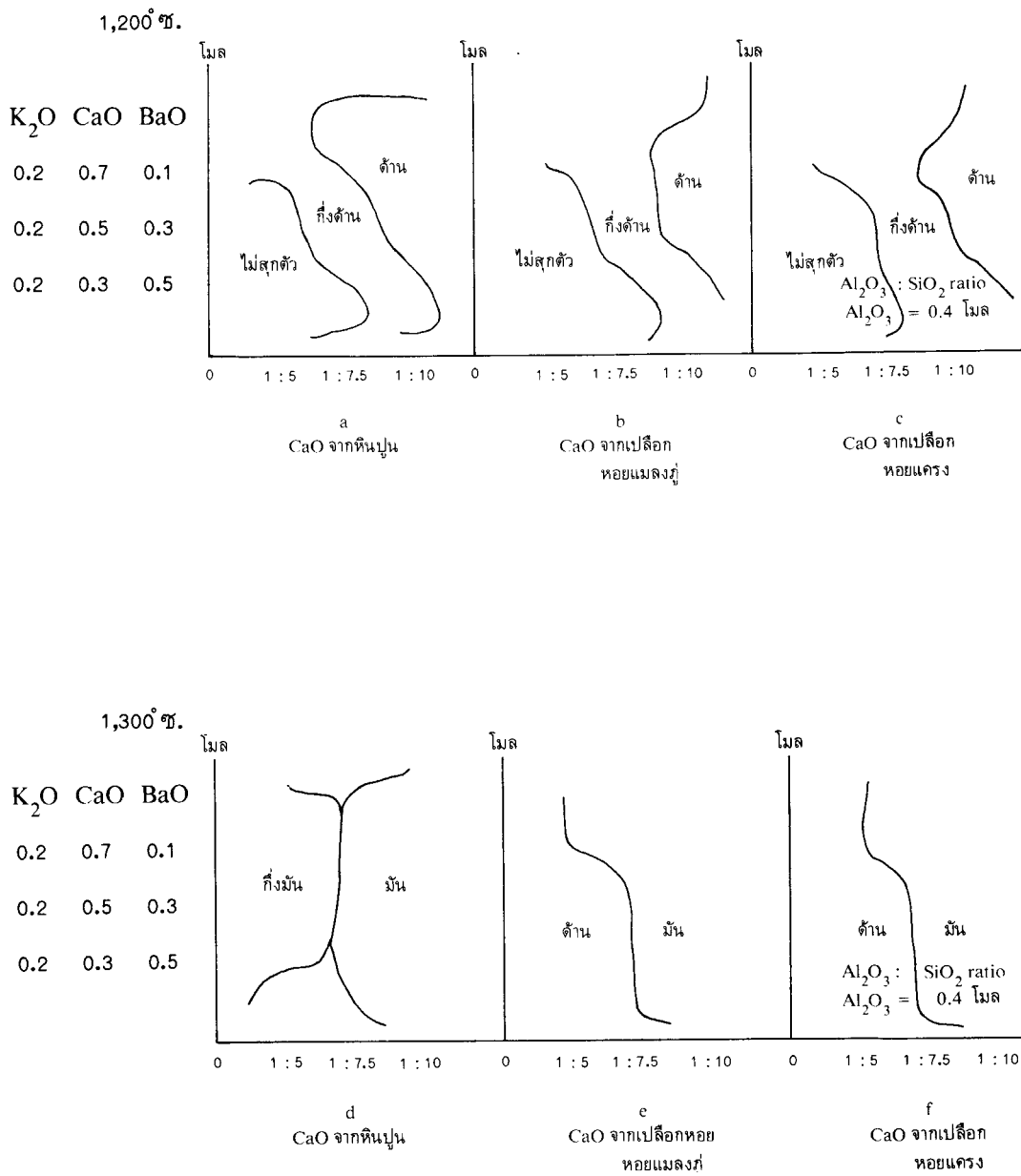
No.	ปริมาณออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี	สีที่ได้หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,250°ซ.
1.	Amm.Vanadate 5%	เขียวอมเหลือง (รานตัว)
2.	Amm.Vanadate 3%	เขียว (รานตัว)
	Cr ₂ O ₃ 0.4%	
3.	Amm.Vanadate 2%	เขียวอ่อน
	SnO ₂ 1.5%	
	Cr ₂ O ₃ 0.3%	
4.	SnO ₂ 5%	ขาวทึบแสง
5.	SnO ₂ 3%	น้ำตาล
	Cr ₂ O ₃ 0.4%	
6.	Cr ₂ O ₃ 1%	น้ำตาล



รูปที่ 1. แสดงการสุกตัวของน้ำยาเคลือบ lime-zinc glaze



รูปที่ 2. แสดงการสุกตัวของน้ำยาเคลือบ lime-magnesia glaze



รูปที่ 3. แสดงการสุกตัวของน้ำยาเคลือบ lime-barium glaze

ภาคผนวก

1.1 สูตรเคมีไพรกอล lime-zinc glaze

หน่วย โมล (Mole)

Base glaze no.	K ₂ O	CaO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1.1	0.2	0.1	0.7	0.4	2.0
1.2	0.2	0.2	0.6	0.4	2.0
1.3	0.2	0.3	0.5	0.4	2.0
1.4	0.2	0.4	0.4	0.4	2.0
1.5	0.2	0.5	0.3	0.4	2.0
1.6	0.2	0.6	0.2	0.4	2.0
1.7	0.2	0.7	0.1	0.4	2.0
2.1	0.2	0.1	0.7	0.4	3.0
2.2	0.2	0.2	0.6	0.4	3.0
2.3	0.2	0.3	0.5	0.4	3.0
2.4	0.2	0.4	0.4	0.4	3.0
2.5	0.2	0.5	0.3	0.4	3.0
2.6	0.2	0.6	0.2	0.4	3.0
2.7	0.2	0.7	0.1	0.4	3.0
3.1	0.2	0.1	0.7	0.4	4.0
3.2	0.2	0.2	0.6	0.4	4.0
3.3	0.2	0.3	0.5	0.4	4.0
3.4	0.2	0.4	0.4	0.4	4.0
3.5	0.2	0.5	0.3	0.4	4.0
3.6	0.2	0.6	0.2	0.4	4.0
3.7	0.2	0.7	0.1	0.4	4.0

- หมายเหตุ
1. Al₂O₃ : SiO₂ = 1 : 5
 2. Al₂O₃ : SiO₂ = 1 : 7.5
 3. Al₂O₃ : SiO₂ = 1 : 10

1.2 ส่วนผสมโดยน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ lime-zinc glaze

หน่วย % โดยน้ำหนัก

Base glaze no.	หินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่	หินปูน จังหวัดราชบุรี	ซิงค์ออกไซด์	ดินขาว จังหวัดนครราชสีมา	หินควอตซ์ จังหวัดราชบุรี
1.1	43.84	3.94	22.43	20.32	9.47
1.2	43.52	7.86	19.09	20.17	9.36
1.3	43.20	11.65	15.79	20.03	9.33
1.4	42.89	15.41	12.54	19.90	9.26
1.5	42.58	19.14	9.34	19.74	9.20
1.6	42.28	22.80	6.18	19.60	9.13
1.7	41.98	26.42	3.07	19.46	9.06
2.1	35.45	3.19	18.14	16.43	26.79
2.2	35.24	6.34	15.46	16.34	26.62
2.3	35.04	9.45	12.81	16.24	26.46
2.4	34.83	12.52	10.18	16.14	26.33
2.5	34.63	15.56	7.59	16.05	26.17
2.6	34.42	16.57	5.03	15.96	26.02
2.7	34.23	21.54	2.50	15.87	25.86
3.1	29.76	2.67	15.22	13.79	38.54
3.2	29.61	5.32	12.98	13.72	38.35
3.3	29.46	7.94	10.77	13.66	38.16
3.4	29.32	10.54	8.57	13.54	38.03
3.5	29.17	13.11	6.40	13.96	37.86
3.6	29.03	15.66	4.24	13.42	37.65
3.7	28.89	18.18	2.11	13.39	37.42

สูตร เอมไฟร็อกอล lime-magnesia glaze

หน่วย โมล (Mole)

Base glaze no.	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
4.1	0.2	0.1	0.7	0.4	2.0
4.2	0.2	0.3	0.5	0.4	2.0
4.3	0.2	0.5	0.3	0.4	2.0
4.4	0.2	0.7	0.1	0.4	2.0
5.1	0.2	0.1	0.7	0.4	3.0
5.2	0.2	0.3	0.5	0.4	3.0
5.3	0.2	0.5	0.3	0.4	3.0
5.4	0.2	0.7	0.1	0.4	3.0
6.1	0.2	0.1	0.7	0.4	4.0
6.2	0.2	0.3	0.5	0.4	4.0
6.3	0.2	0.5	0.3	0.4	4.0
6.4	0.2	0.7	0.1	0.4	4.0

ส่วนผสมโดยน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ lime-magnesia glaze

หน่วย % โดยน้ำหนัก

Base glaze no.	หินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่	หินปูน จังหวัดสระบุรี	แมกนีไซต์	ดินขาว จังหวัดนครราชสีมา	ควอตซ์ จังหวัดราชบุรี
4.1	43.49	3.91	23.05	20.16	9.39
4.2	42.96	11.59	16.26	19.92	9.27
4.3	42.45	19.08	9.64	19.67	9.16
4.4	41.94	26.39	3.17	19.45	9.05
5.1	35.22	3.17	18.67	16.33	26.61
5.2	34.88	9.40	13.20	16.17	26.35
5.3	34.53	15.52	7.84	16.02	26.09
5.4	34.20	21.52	2.59	15.85	25.84
6.1	29.60	2.66	15.68	13.72	38.34
6.2	29.35	7.92	11.11	13.60	38.02
6.3	29.11	13.08	6.62	13.49	37.70
6.4	28.87	18.17	2.19	13.38	37.39

สูตร เอมไฟริคอลล ของน้ำยาเคลือบ lime-barium glaze

หน่วย โมล (Mole)

Base glaze no.	K ₂ O	CaO	BaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
7.1	0.2	0.3	0.5	0.4	2.0
7.2	0.2	0.5	0.3	0.4	2.0
7.3	0.2	0.7	0.1	0.4	2.0
8.1	0.2	0.3	0.5	0.4	3.0
8.2	0.2	0.5	0.3	0.4	3.0
8.3	0.2	0.7	0.1	0.4	3.0
9.1	0.2	0.3	0.5	0.4	4.0
9.2	0.2	0.5	0.3	0.4	4.0
9.3	0.2	0.7	0.1	0.4	4.0

ส่วนผสมโดยน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ lime-barium glaze

หน่วย % โดยน้ำหนัก

Base glaze no.	หินฟันม้า จังหวัดเชียงใหม่	หินปูน จังหวัดสระบุรี	แบเรียมคาร์บอเนต	ดินขาว จังหวัดนครราชสีมา	หินควอตซ์ จังหวัดราชบุรี
7.1	35.27	9.51	31.26	16.35	7.61
7.2	37.58	16.89	19.99	17.42	8.12
7.3	40.23	25.31	7.13	18.65	8.68
8.1	29.63	7.99	26.26	13.73	22.39
8.2	31.25	14.04	16.62	14.48	23.61
8.3	33.05	20.80	5.86	15.32	24.97
9.1	25.54	6.88	22.64	11.85	33.09
9.2	26.74	12.02	14.22	12.39	34.63
9.3	28.05	17.65	4.97	13.00	36.33