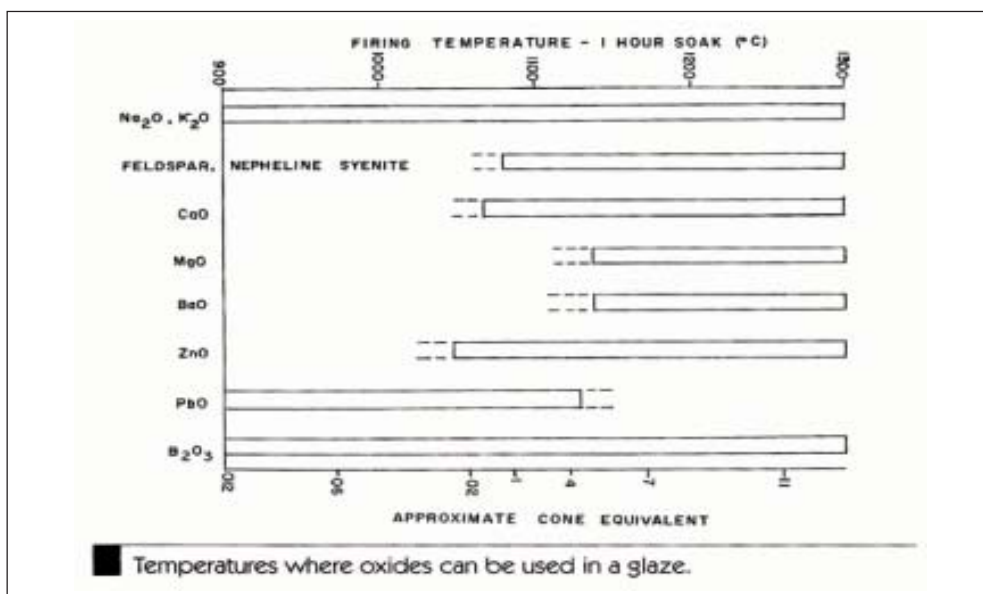


การพัฒนา เคลือบไฟต่ำ

เซรามิกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้พลังงานจำนวนมากในการเผาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เคลือบสุกตัว อุณหภูมิที่ใช้เผาเคลือบอยู่ที่ประมาณ 1150-1300 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา ที่นิยมใช้ได้แก่ LPG มีแนวโน้มที่ราคาจะปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้นทุนของอุตสาหกรรมเซรามิกจะประกอบด้วย วัตถุดิบ พลังงาน แรงงาน ค่าเสื่อม เป็นหลัก ซึ่งพลังงานที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 8-20 ของต้นทุน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์ ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องหาทางลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การพัฒนาเคลือบไฟต่ำ เพื่อลดอุณหภูมิเผาเคลือบลง จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนด้านพลังงาน ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

เคลือบไฟต่ำ

เคลือบไฟต่ำ คือ เคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ดังนั้นเคลือบไฟต่ำจึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยลดจุดหลอมตัว (flux) ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งได้แก่ โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ตะกั่วออกไซด์ (PbO) โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า Na_2O เป็น flux ที่สามารถใช้ได้ดีในช่วงอุณหภูมิค่อนข้างกว้าง คือตั้งแต่ 900-1300 C นอกจากนั้นแล้วยังช่วยให้เคลือบมีสีสดใส มันวาว จึงทำให้นิยมใช้ Na_2O เป็น flux ในเคลือบ แต่การใช้ Na_2O ก็มีข้อเสียคือ ทำให้เคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนสูง จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า Na_2O เป็น flux ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนสูงที่สุด จึงทำให้เคลือบที่มีปริมาณ Na_2O สูงมักเกิดปัญหาเคลือบร้าว นอกจากนั้นแล้วการใช้ Na_2O ในปริมาณมากยังทำให้เคลือบอ่อน ไม่แข็งแรง ง่ายต่อการถูกขีดขูด และยังถูกละลายได้ง่ายในสารละลายกรด นอกจากนั้นแล้วเคลือบยังถูกกัดกร่อนจากสภาพดินฟ้าอากาศได้ง่าย อย่างไรก็ตามหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมและใช้ร่วมกับออกไซด์ตัวอื่น Na_2O ก็สามารถนำมาใช้เป็น flux ได้



ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่ออกไซด์ทำหน้าที่เป็น flux⁽¹⁾

K_2O มีสมบัติที่ใกล้เคียงกับ Na_2O บางครั้งอาจใช้ K_2O ทดแทน Na_2O บางส่วน ช่วยทำให้เคลือบมีความมันเพิ่มขึ้น และความเหนียวของเคลือบที่อุณหภูมิสูงจะมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ Na_2O สำหรับ PbO เป็น flux ที่รุนแรงที่อุณหภูมิตั้งแต่ 900-1150 °C ถ้าที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ PbO จะเกิดการระเหยกกลายเป็นไออย่างมาก การใช้ PbO มีข้อดีหลายอย่าง ได้แก่ เคลือบสุกตัวง่าย มีลักษณะมันวาว ช่วยลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ลดความเหนียวและลดแรงดึงผิวของเคลือบขณะหลอม ช่วยทำให้ช่วงการสุกตัวของเคลือบกว้างขึ้น และช่วยไม่ให้เกิดการตกผลึกขณะเคลือบเย็นตัว เคลือบสีที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบหลัก มักจะมีสีออกเหลือง การเติมอัลคาไลหรือโบรอนจะช่วยทำให้เคลือบมีสีใสมากขึ้น การใช้ PbO มีข้อดีหลายอย่าง แต่ก็มีข้อเสียหลายประการเช่นกัน คือ ความเป็นพิษของมันทำให้เป็นข้อจำกัดในการใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้สัมผัสอาหาร อย่างไรก็ตามเราสามารถลดความเป็นพิษของตะกั่วได้โดยการใช้ในรูปของฟริต นอกจากนั้นแล้ว หากใช้ปริมาณตะกั่วมากในเคลือบ จะทำให้เคลือบไม่แข็งแรง ความต้านทานต่อการขีดข่วนลดลง ส่วน B_2O_3 สามารถใช้เป็น flux ได้ในช่วงอุณหภูมิเช่นเดียวกับ Na_2O B_2O_3 สามารถสร้างโครงสร้างร่างแหได้ นอกจากนั้นแล้วยังช่วยลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ถ้าใช้โบรอนเกิน 12 % จะทำให้เคลือบมีความคงทนลดลง ในเคลือบที่ไม่มีตะกั่วและมีปริมาณโบรอนสูง ควรใช้ตัวช่วยหลอมอื่น ๆ รวมด้วยอย่างน้อย 3 ชนิดหรือมากกว่า เพื่อช่วยให้เคลือบมีความคงทนมากขึ้น ถ้าใช้โบรอนร่วมกับตะกั่วจะทำให้เคลือบมีความแข็งแรงมากขึ้น ผิวเรียบ มัน และไม่ถูกละลายในสารละลายกรด ใช้เคลือบภาชนะบนโต๊ะอาหาร

Coefficient of expansion chart		
HIGHEST EXPANSION	Sodium	41.6
	Potassium	39.0
	Calcium	16.3
	Barium	14.0
	Lead oxide	10.6
	Magnesium	4.6
	Zirconium	2.3
	Alumina	1.4
LOWEST EXPANSION	Silica	.5
	Boric oxide	-6.5

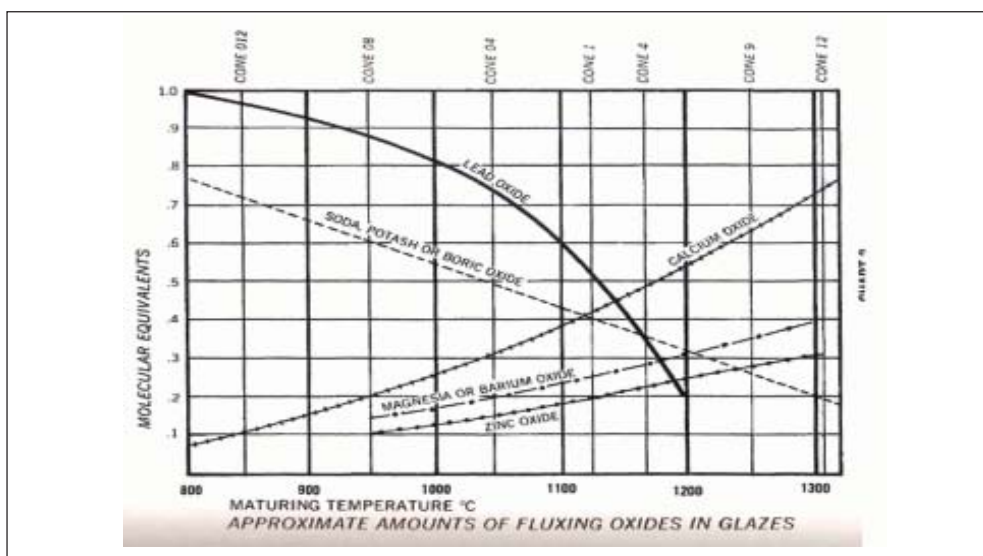
(all figures to power of 10^{-4})

Some coefficient of expansion charts are rated in different ways, but it is the relationship among the oxides that is important for clayworkers and this can be gleaned from any chart.

ภาพที่ 2

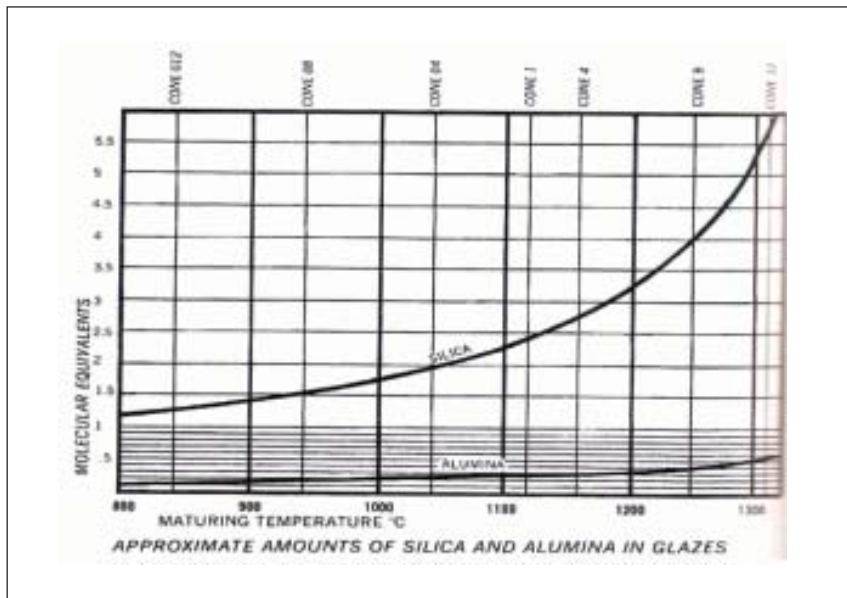
แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของออกไซด์ที่ใช้ในเคลือบ⁽²⁾

นอกจากออกไซด์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว อาจมีการใช้ออกไซด์อื่นๆ เป็น flux ในเคลือบไฟต่ำ เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) CaO มักมีในเคลือบส่วนใหญ่เนื่องจากมีราคาถูก และให้สมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น ทำให้เคลือบมีความแข็งแรง ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ปกติแล้ว CaO จะเป็น flux ที่โคน 4 ขึ้นไป แต่ถ้าใช้ร่วมกับ flux ตัวอื่น เช่น PbO ZnO และ Na_2O สามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ หากใช้ CaO มากไป จะทำให้เกิดเคลือบด้านได้ ส่วน ZnO ใช้เป็น flux ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 1000 °C ถ้าใช้ในปริมาณน้อย จะเป็นตัวช่วยเร่งให้ออกไซด์ตัวอื่นหลอมง่ายขึ้น แต่ถ้าใช้ในปริมาณมาก จะทำให้เคลือบเกิดปัญหาเคลือบลอน (crawling), เคลือบเป็นหลุม (pitting), เคลือบรูเข็ม (pinholing) หรือเกิดการตกผลึกทำให้ผิวเคลือบด้านได้ ในกรณีที่ใช้ร่วมกับอัลคาไลและ B_2O_3 จะทำให้ผิวเคลือบเรียบปราศจากปัญหาใดๆ ปริมาณของ flux ที่ใช้ในเคลือบจะขึ้นอยู่กับชนิดและ flux ที่ใช้รวม **ภาพที่ 3** แสดงปริมาณ flux ที่ใช้สำหรับเคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณ flux แต่ละชนิดที่ใช้ในเคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ⁽³⁾

เคลือบที่มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าควรมีปริมาณอะลูมินา(Al_2O_3) ไม่เกิน 0.05 โมลสมมูล เพราะ Al_2O_3 มีผลต่อความทนไฟ ส่วนเคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิสูงอาจมีปริมาณ Al_2O_3 สูงถึง 0.9 โมลสมมูล ปริมาณของ Al_2O_3 สามารถเปลี่ยนแปลงได้มากมาย เพราะมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ชนิดและปริมาณของ flux ที่ใช้ Al_2O_3 ช่วยทำให้เคลือบแข็งขึ้น ต้านทานต่อการละลายของ สารเคมีได้ดี ส่วนปริมาณซิลิกา (SiO_2) จะอยู่ระหว่าง 1-12 โมลสมมูล ถ้าเคลือบมีปริมาณ SiO_2 น้อย จะมีสมบัติไม่คงทนละลาย ได้ง่าย หากมีปริมาณ SiO_2 มากเกินไป เคลือบจะมีความทนไฟ สุกตัวที่อุณหภูมิสูง อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1:4 ถึง 1: 20 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนผสมและจุดสุกตัวของเคลือบ ปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่ใช้ในเคลือบ แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่ใช้ในเคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิต่างๆ⁽³⁾

การพัฒนาเคลือบพื้นฐานไฟต่ำ

ได้ทดลองเตรียมเคลือบ จากสูตรเคลือบพื้นฐานที่มี Na_2O K_2O PbO B_2O_3 CaO และ ZnO เป็น flux และมีปริมาณ Al_2O_3 อยู่ระหว่าง 0.03-0.25 โมลสมมูล SiO_2 อยู่ระหว่าง 1.12-7.2 โมลสมมูล แสดงในตารางที่ 1 และสูตรส่วนผสมแสดงในตารางที่ 2 ส่วนเนื้อดินที่ใช้สำหรับการทดลองครั้งนี้ ได้ใช้เนื้อดิน 3 ชนิด ที่นิยมใช้ในการทำของประดับตกแต่ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเผาที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ เนื้อดินทัลค์ เนื้อดินโคโลไมต์ และเนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์ (เนื้อดินแดง) เนื้อดิน 2 ชนิดหลัง เป็นเนื้อดินที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ส่วนเนื้อดินทัลค์เป็นเนื้อดินที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 5

ตารางที่ 1 แสดงสูตรเคลือบพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง

หมายเลข	สูตรเคลือบ		
LT0	1.0 PbO	0.03 Al_2O_3	1.12 SiO_2
LT01	1.0 PbO	0.09 Al_2O_3	1.25 SiO_2
LT1	0.8 PbO 0.2 KNaO	0.23 Al_2O_3	2.3 SiO_2
LT2	0.51 PbO 0.17 KNaO 0.10 CaO 0.20 ZnO	0.2 Al_2O_3	1.6 SiO_2
LT3	0.6 PbO 0.1 KNaO 0.3 CaO	0.15 Al_2O_3 0.15 B_2O_3	2.00 SiO_2
LT4	0.53 PbO 0.17 KNaO	0.20 Al_2O_3 0.69 B_2O_3	2.00 SiO_2
LT5	0.35 PbO 0.20 KNaO 0.30 CaO 0.15 ZnO	0.25 Al_2O_3 0.5 B_2O_3	2.27 SiO_2

ตารางที่ 2 แสดงสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	LT0	LT01	LT1	LT2	LT3	LT4	LT5
พริตตะกั่วซิลิเกต	95	90	62.5	43.4	54.0	38.6	24.5
แร่ฟันม้า	-	-	29.9	33	17.1	23.5	26.9
โคลีมาไนต์	-	-	-	-	6.4	-	10.0
หินปูน	-	-	-	3.0	6.2	-	2.4
ซิงค์ออกไซด์	-	-	-	4.9	-	-	2.9
โบรอนออกไซด์	-	-	-	-	-	4.2	3.4
ดินขาว	5	10	3.5	3.9	4.0	2.0	3.1
ควอตซ์	-	-	3.7	11.8	12.2	16.1	26.7

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะทั่วไปของเคลือบหลังเผาที่อุณหภูมิ 950°C และ 1000°C และ 1050°C

หมายเลข	อุณหภูมิ°C	ลักษณะทั่วไป	
LTO	950	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง ผิวเรียบ
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
	1,000	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง ผิวเรียบ
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
	1,050	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง ผิวเรียบ
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
LTO1	950	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
	1,000	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ สีใสออกเหลือง ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
	1,050	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ สีใสออกเหลือง ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
LT1	950	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใส
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ
	1,000	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง ผิวเรียบ
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
	1,050	เนื้อดินทึบค	เคลือบสุกตัวดี มันวาว สีใสออกเหลือง ผิวเรียบ
		เนื้อดินโดโลไมต์	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน
		เนื้อดินแดง	เคลือบสุกตัวดี มันวาว ผิวเรียบ ราน

การพัฒนาเคลือบสีไฟต่ำ

ได้ทดลองนำสูตรเคลือบ LT 1 ที่ให้ลักษณะเคลือบสุดตัวดี มันทวน ผิวเรียบ สีใส ไปพัฒนาเป็นเคลือบสี โดยใช้คอปเปอร์ ออกไซด์ปริมาณ ตั้งแต่ 1-5 % และโครเมียมออกไซด์ปริมาณตั้งแต่ 0.2-1.0% และสีเซรามิกชนิดเซอรัคคอนสีฟ้าและสีเหลือง เป็นสารให้สี ผลการทดลอง แสดงในภาพที่ 6

เนื้อดินทอล์ค

อุณหภูมิ (°C)	LTO	LTO1	LT1	LT2	LT3	LT4	LT5
950 °C							
1000 °C							
1050 °C							

เนื้อดินโดโลไมต์

อุณหภูมิ (°C)	LTO	LTO1	LT1	LT2	LT3	LT4	LT5
950 °C							
1000 °C							
1050 °C							

เนื้อดินแดง

อุณหภูมิ (°C)	LTO	LTO1	LT1	LT2	LT3	LT4	LT5
950 °C							
1000 °C							
1050 °C							

ภาพที่ 5 แสดงผลการทดลองเคลือบบนแสลปเนื้อดินทอล์ค โดโลไมต์ และเนื้อดินแดง

เนื้อดิน	CuO 1%	CuO 2%	CuO 3%	CuO 4%	CuO 5%
ดินทอล์ค (TALC)					
ดินโดโลไมต์ (DOLOMITE)					
ดินอิฐขาว (EARTHEN WARE)					

เนื้อดิน	Cr ₂ O ₃ 0.2%	Cr ₂ O ₃ 0.4%	Cr ₂ O ₃ 0.6%	Cr ₂ O ₃ 0.8%	Cr ₂ O ₃ 1.0%
ดินทอล์ค (TALC)					
ดินโดโลไมต์ (DOLOMITE)					
ดินอิฐขาว (EARTHEN WARE)					

สูตรเคลือบสี LT1

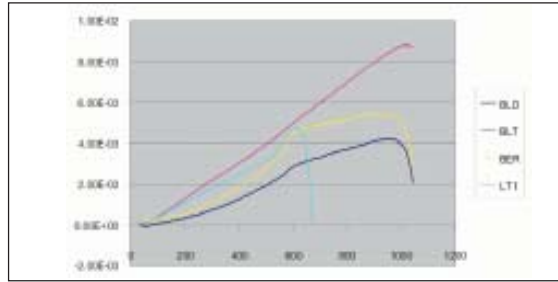
เนื้อดิน	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ดินทอล์ค (TALC)			
ดินโดโลไมต์ (DOLOMITE)			
ดินอิฐขาว (EARTHEN WARE)			

ภาพที่ 6 แสดงเคลือบสีไฟต่ำจากการใส่คอปเปอร์ออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ และสีเซรามิกในปริมาณต่างๆ

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน

ได้ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองคือเนื้อดินทัลค์ (BLT) เนื้อดินโดโลไมต์ (BLD) เนื้อดินแดง (BER) และสูตรเคลือบ LT1 ปกติแล้วเคลือบควรจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนน้อยกว่าเนื้อดินเพื่อให้เคลือบอยู่ในภาวะแรงอัด จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ และช่วยป้องกันไม่ให้เคลือบเกิดการร้าวเมื่อนำไปใช้งาน ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินทั้ง 3 ชนิดและเคลือบแสดงใน **ภาพที่ 7** จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบ LT1 ต่ำกว่าเนื้อดินทัลค์ สอดคล้องกับผลการทดลองเคลือบคือเคลือบไม่ร้าว ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบ LT1 สูงกว่าเนื้อดินโดโลไมต์และเนื้อดินแดง เป็นผลให้เคลือบร้าวเมื่อเคลือบบนแสงเนื้อดินโดโลไมต์และเนื้อดินแดง

ภาพที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบ



ต้นทุนของเคลือบพื้นฐาน

ต้นทุนของเคลือบพื้นฐาน โดยคิดจากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบในห้องปฏิบัติการ พบว่าราคาประมาณ 116บาท/กิโลกรัม การคำนวณแสดงดัง **ตารางที่ 4**

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้/กิโลกรัม	ราคาวัตถุดิบ/กิโลกรัม	ต้นทุน/กิโลกรัม
ฟrit ตะกั่วซิลิเกต	0.629	180	113.22
หินฟันม้า	0.299	3.5	1.05
ดินขาวระนอง	0.350	2.7	0.94
ควอตซ์	0.370	3.0	1.11
ราคาเคลือบต่อกิโลกรัมเป็นเงิน			116.32

ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณต้นทุนของเคลือบพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ

สรุปผลการทดลองเคลือบไฟต่ำ

เคลือบสูตร LT1 เมื่อนำมาใช้กับเนื้อดินทัลค์ เนื้อดินโดโลไมต์ และเนื้อดินแดง เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะให้เคลือบใส สุกตัว มันวาว ผิวเรียบ และสามารถพัฒนาเป็นเคลือบสีต่างๆได้ โดยใส่ออกไซด์ให้สี หรือสีเซรามิก เหมาะสำหรั้นำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ของประดับตกแต่ง เนื่องจาก เนื้อดินมีความแข็งแรงน้อย และเคลือบมีส่วนผสมของตะกั่ว

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Richard A. Eppler and Douglas R. Eppler, Glaze and Glass Coatings, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 2000. p 17-20.
- Susan Peterson and Jan Peterson, The Craft and Art of Clay, 4 th ed. Laurence King Publishing, 2003 p. 352-357
- Daniel Rhodes, Clay and Glazes for the Potter, 3rd ed. , Krause publications, 2000. p.196-202
- Cullen W. Parmalee, Ceramic Glaze ,3 rd ed. Cahner Publishing, 1973
- Robin Hopper, The Ceramic Spectrum, 2 nd ed. Krause publications, 2001. p114-114
- เนื้อดินทัลค์, เอกสารเผยแพร่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2528

