ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
วพซ
อว 5

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 1

น้ำยาเคลือบโบนไชนา
(Bone China Glaze)

ของ

นางสาวสุมาลี ลิขิตวนิชกุล
นักวิทยาศาสตร์ 6ว.

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

บทคัดย่อ

เรื่อง

น้ำยาเคลือบโบนไชนา

(Bone China Glaze)

การทดลองนี้เป็นการศึกษาวิจัยการทำน้ำยาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์โบนไชนา เคลือบประเภทนี้ประกอบด้วยฟริตประเภทเลดบอโรซิลิเกตรวมกับส่วนผสมอื่น เช่น โดโลไมต์ แร่ฟันม้า หินปูน ดินขาว และฟลิ้นท์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในประเทศ ได้ศึกษาวิจัยเพื่อทดลองเตรียมเคลือบจากฟริตสำเร็จรูป (Commercial frit) และฟริตที่เตรียมขึ้นเอง จากผลการทดลองพบว่าสามารถเตรียมเคลือบที่เรียบใส มันวาว มีฟองอากาศและ/หรือรูเข็มน้อย และมีสีขาวนวล ได้จากฟริตสำเร็จรูปและฟริตที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

วท
เลขหมู่ วพ
ล5
เลขทะเบียน ๔๑๑๔
วันที่ 14 พ.ค. ๔๕

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วท.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....ก

สารบัญ.....ข

สารบัญตาราง.....ง

สารบัญภาพ.....จ

1. บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....1

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....2

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ.....2

2. วิธีการทดลอง.....2

2.1 การเตรียมเคลือบ.....2

2.1.1 ส่วนผสมเคลือบ.....2

2.1.2 เตรียมเคลือบจากฟริตสำเร็จรูปและการปรับสูตรเคลือบ.....2

2.1.3 ศึกษาผลของการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 ต่อเคลือบ.....4

2.1.4 เตรียมเคลือบจากฟริตที่เตรียมขึ้นเองและการปรับสูตรเคลือบ.....5

ก. เตรียมฟริตจากสูตร P1.....5

ข. ปรับสูตรเคลือบ P1 เป็น P3 และเตรียมฟริตจากสูตร P3.....6

ค. ทดแทนดินขาวด้วยคัลไซน์ดิกไกต์ในสูตรฟริต P3I.....7

2.1.5 การบดเคลือบ.....7

2.2 การเตรียมฟริต.....7

2.3 การเตรียมตัวอย่างและการเผา.....7

2.4 การตรวจสอบและการทดสอบเคลือบ.....8

3. ผลการทดลอง.....8

3.1 เคลือบสูตร P2 จากฟริตสำเร็จรูป.....8

3.2 เคลือบจากการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2.....9

3.3 ฟริตที่เตรียมขึ้นเองและเคลือบจากฟริตเหล่านี้.....10

4. วิจารณ์ผลการทดลอง.....11

5. สรุปผลการทดลอง.....13

คำขอบคุณ.....14

เอกสารอ้างอิง.....15

หน้า

ภาคผนวก..... 16

ก ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์โบนไชนา..... 17

ข ผลิตภัณฑ์โบนไชนาก่อนและหลังผ่านการเคลือบ..... 18

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมี และลักษณะภายนอกของฟริต FP-530 และ FP-682	3
2	ส่วนผสมวัตถุดิบของเคลือบจากการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2	5
3	ส่วนผสมวัตถุดิบฟริต PRและเคลือบจากฟริต PR	6
4	ส่วนผสมวัตถุดิบฟริต P3I และเคลือบจากฟริต P3I	7
5	ลักษณะเคลือบส่วนผสม CFG1 และ CFG2	8
6	ลักษณะเคลือบที่ได้จากการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2	9
7	ลักษณะของฟริตและเคลือบจากฟริตที่เตรียมขึ้นเอง	11
8	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและคัลไซน์ดิกไกต์	12

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.	แผนภูมิ Al_2O_3-SiO_2	4
2.	แผนภูมิแสดงลักษณะของเคลือบ	10

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์โบนไชนาเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีความขาว และมีความแกร่งสูง ความโปร่ง-แสงของเนื้อผลิตภัณฑ์ทำให้โบนไชนามีความสวยงามน่าใช้ และมีลักษณะเฉพาะตัวต่างจากผลิต-ภัณฑ์พอรซ์เลนประเภทอื่นๆ (ภาคผนวก ก) ในการผลิตโบนไชนานั้น ผู้ผลิตต้องทำการเผาเนื้อผลิตภัณฑ์ให้มีความแข็งแกร่ง และความโปร่งแสงที่อุณหภูมิประมาณ 1200°ซ. ก่อน จากนั้นจึงนำมาทำการเคลือบ อุณหภูมิสุกตัวของผลิตภัณฑ์โบนไชนามีค่าที่วิกฤตมาก ถ้าหากอุณหภูมิที่เผาสูงเกินกว่าจุดสุกตัวเพียงเล็กน้อยก็จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวและเสียหาย ดังนั้นเคลือบที่ใช้จะต้องสุกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์

เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์โบนไชนา ควรมีความโปร่งใสและมันวาวมากกว่าเคลือบที่ใช้กับผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนอื่น ๆ ความโปร่งใสช่วยเน้นให้เห็นความขาวของเนื้อโบนไชนา ส่วนความมันวาวช่วยเพิ่มความสวยงามให้แก่เนื้อผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น ภาพเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โบนไชนาก่อนและหลังเคลือบได้แสดงในภาคผนวก ข เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์โบนไชนามักมีตะกั่วเป็นส่วนผสม เพื่อให้ได้เคลือบที่มีลักษณะมันวาวดังกล่าว ดังนั้นการละลายและความเป็นพิษของสารตะกั่วในขณะเตรียมเคลือบจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง การละลายและพิษของสารตะกั่วในเคลือบสามารถลดลงได้ โดยการนำตะกั่วทั้งหมดในสูตรมาผสมกับส่วนประกอบบางส่วนหลอมเป็นแก้วหรือฟริต ที่ไม่ละลายน้ำ ก่อนที่จะนำไปทำเป็นเคลือบ

การศึกษาทดลองการเตรียมเคลือบโบนไชนานี้ เป็นงานต่อเนื่องจากงานวิจัยเนื้อผลิตภัณฑ์โบนไชนาที่ได้ทำขึ้นที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในการวิจัยได้ศึกษาการเตรียมเคลือบโดยใช้ฟริตสำเร็จรูปประเภทเลดบอโรซิลิเกต และฟริตที่เตรียมขึ้น-เอง ผสมกับวัตถุดิบอื่นๆที่มีในประเทศ เช่น โดโลไมต์ แร่ฟันม้า หินปูน ดินขาว ดิกไกต์ และฟลิ้นท์ เพื่อใช้เคลือบบนเนื้อดินโบนไชนาสูตร B10

เอกสารงานวิจัยฉบับนี้รายงานขั้นตอนการทดลองเตรียมเคลือบ การศึกษาการปรับปริมาณอะลูมินา (Al_2O_3) - ซิลิกา (SiO_2) และการใช้ดิกไกต์แทนดินขาวในเคลือบ การเปรียบเทียบลักษณะของเคลือบหลังการเผา และผลของการทดสอบสมบัติของเคลือบที่เตรียมขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเตรียมเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์โบนไชนาโดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ

1.2.2 เพื่อให้ได้ส่วนผสมและวิธีการเตรียมเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์โบนไชนา

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ผลของการวิจัยสามารถนำไปใช้เคลือบเนื้อผลิตภัณฑ์โบนไชนา สามารถถ่ายทอดให้แก่ผู้ประกอบการที่ผลิตผลิตภัณฑ์โบนไชนา นอกจากนั้นยังเป็นแนวทางเชิงวิชาการสำหรับนักวิจัยและผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตเคลือบสำหรับเนื้อดินโบนไชนา

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ พ.ศ. 2531-2533

2. วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มด้วยการเตรียมเคลือบ การคัดเลือกฟริตสำเร็จรูป การเตรียมฟริตขึ้นเอง การปรับส่วนผสมเคลือบและฟริต การปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 การใช้ดิกไกต์แทนดินขาวในการเตรียมฟริต การเตรียมตัวอย่างและการเผา การตรวจสอบและการทดสอบเคลือบ

2.1 การเตรียมเคลือบ

2.1.1 ส่วนผสมเคลือบ

เคลือบที่ใช้ในการทดลองเริ่มจากส่วนผสมสูตร P1 (P.Rado, 1981) ซึ่งประกอบด้วย เลดออกไซด์ (PbO) แมกเนเซียมออกไซด์ (MgO) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) Al_2O_3 SiO_2 และ บอริกออกไซด์ (B_2O_3)

<u>สูตรเคลือบ P1</u>

0.3	PbO	0.3	Al_2O_3	3.0	SiO_2
0.1	MgO			0.4	B_2O_3
0.4	CaO				
0.1	K_2O				
0.1	Na_2O				

จากการคำนวณส่วนผสมเป็นวัตถุดิบพบว่ามีวัตถุดิบที่เป็นพิษและละลายน้ำได้ เช่นตะกั่วแดง และบอแรกซ์ เป็นส่วนประกอบ จึงต้องควบคุมความเป็นพิษและการละลายของวัตถุดิบเหล่านี้โดยนำมาหลอมเป็นฟริต ก่อนที่จะใช้ในการเตรียมเคลือบ หรือใช้ฟริตสำเร็จรูปประเภทเลดบอโรซิลิเกต

2.1.2 เตรียมเคลือบจากฟริตสำเร็จรูปและการปรับสูตรเคลือบ

ฟริตสำเร็จรูปประเภทเลดบอโรซิลิเกตที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ FP-530 และ FP-682 (จากบริษัท Ferro) ฟริตทั้งสองมีองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะภายนอก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และลักษณะภายนอกของฟริต FP-530 และFP-682

ฟริต	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	PbO	B_2O_3	ลักษณะภายนอก
FP-530	11.6	2.6	0.3	traces	0.4	0.2	62.2	20.4	ก้อนใส สีเหลือง
FP-682	12.3	3.3	0.5	0.1	0.3	0.2	59.8	19.9	ก้อนใส สีขาว

เอมไพริคัลฟอร์มูลา (empirical formula) ของฟริต FP-530 และ FP-682 ที่คำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1 คือ

<u>ฟริต FP-530</u>	0.952	PbO	0.087	Al_2O_3	0.660	SiO_2
	0.018	CaO			1.185	B_2O_3
	0.022	Na_2O				
	0.007	K_2O				

Formula batch weight = 332.883

<u>ฟริต FP-682</u>	0.936	PbO	0.113	Al_2O_3	0.715	SiO_2
	0.031	CaO			1.182	B_2O_3
	0.009	MgO				
	0.017	Na_2O				
	0.007	K_2O				

Formula batch weight = 335.001

เมื่อคำนวณส่วนผสมเป็นวัตถุดิบจากสูตร P1 โดยใช้ฟริตสำเร็จรูป ปรากฏว่าในส่วนผสมของวัตถุดิบนั้น ยังคงมีวัตถุดิบที่ละลายน้ำได้รวมอยู่ ซึ่งคือบอริกแอซิด ($B_2O_3.3H_2O$) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เคลือบที่มีวัตถุดิบซึ่งสามารถละลายน้ำได้นั้น ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานในระยะยาว เนื่องจากการละลายของวัตถุดิบเหล่านั้นจะมีผลทำให้คุณภาพของเคลือบไม่สม่ำเสมอ เพื่อความเหมาะสมได้ดัดแปลงสูตร P1 เป็นสูตร P2 โดยลดปริมาณของ B_2O_3 ลง และตัด K_2O ออก

<u>สูตรเคลือบ P2</u>

0.30	PbO	0.30	Al_2O_3	3.00	SiO_2
0.10	MgO			0.30	B_2O_3
0.47	CaO				
0.13	Na_2O				

หลังจากแทนค่าออกไซด์ต่างๆในสูตร P2 ด้วยวัตถุดิบ จะได้ส่วนผสมดังนี้

ฟริต FP-530 หรือ FP-682	ร้อยละ 27.27 (โดยน้ำหนัก)
แร่ฟันม้า	ร้อยละ 17.95
โดโลไมต์	ร้อยละ 4.85
หินปูน	ร้อยละ 9.75
ดินขาว	ร้อยละ 9.51
ฟลิ้นท์	ร้อยละ 30.67

เคลือบที่เตรียมโดยใช้ฟริต FP-530 และฟริต FP-682 ใช้สัญญลักษณ์เคลือบ CFG1 และ CFG2 ตามลำดับ

2.1.3 ศึกษาผลของการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 ต่อเคลือบ

เพื่อหาสูตรเคลือบที่มีลักษณะดีที่สุด ได้เตรียมเคลือบโดยใช้ชนิดและจำนวนโมลของออกไซด์ในสูตร P2 เป็นหลัก ใช้ฟริต FP-530 และปรับปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 ดังนี้

ปรับปริมาณ Al_2O_3 จาก 0.20-0.30 โมล

ปรับปริมาณ SiO_2 จาก 1.50-3.00 โมล

ส่วนผสมของ Al_2O_3 ต่อ SiO_2 จำนวน 12 ส่วนผสมได้แสดงในภาพที่ 1

Al_2O_3, โมล					
0.30		9	10	11	12
0.25		5	6	7	8
0.20		1	2	3	4
	1.5	2.0	2.5	3.0	SiO_2, โมล

ภาพที่ 1 แผนภูมิ Al_2O_3-SiO_2

จากการแทนค่า Al_2O_3-SiO_2 ทั้ง 12 ส่วนผสมในสูตร P2 และจากการคำนวณสูตรเคลือบทั้ง 12 สูตรเป็นวัตถุดิบ จะได้ส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนผสมวัตถุดิบของเคลือบจากการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

		ฟริต FP-530	แร่ฟันม้า	โดโลไมต์	หินปูน	ดินขาว (KAOLIN)	ฟลิ้นท์
CF	1	37.54	24.70	6.68	13.42	3.74	13.92
	2	33.85	22.28	6.02	12.10	3.38	22.34
	3	30.83	20.29	5.49	11.02	3.07	29.30
	4	28.30	18.62	5.04	10.12	2.82	35.10
	5	36.62	24.10	6.52	13.09	8.21	11.46
	6	33.11	21.79	5.89	11.83	7.42	19.96
	7	30.21	19.98	5.38	10.80	6.77	26.97
	8	27.78	18.28	4.94	9.83	6.23	8.69
	9	35.75	23.53	6.36	12.78	12.47	9.12
	10	32.39	21.32	5.76	11.58	11.30	17.65
	11	29.61	19.49	5.27	10.58	10.33	24.72
	12	27.27	17.95	4.85	9.75	9.51	30.67

2.1.4 เตรียมเคลือบจากฟริตที่เตรียมขึ้นเองและการปรับสูตรเคลือบ

ก. <u>เตรียมฟริตจากสูตร P1</u>

ในการเตรียมฟริตหรือแก้วขึ้นเองนั้น ได้แยกเอาส่วนผสมที่เป็นพิษและละลายน้ำได้ ได้แก่ PbO และ B_2O_3 ทั้งหมดมาทำฟริต และเพื่อให้ได้ฟริตที่ไม่ละลายน้ำจำเป็นต้องเลือกออกไซด์อื่นๆ บางส่วนมาผสมด้วย การกำหนดอัตราส่วนของออกไซด์ต่างๆในการทำฟริตนั้น ต้องเป็นไปตามกฎของการเตรียมฟริต (C.W. Parmalee, 1975) ดังนี้

i. อัตราส่วนของกลุ่ม RO ต่อกลุ่ม RO_2 ควรมีค่าระหว่าง 1:1 ถึง 1:3

ii. อัตราส่วนของแอลคาไลน์ในกลุ่มของ RO (เช่น K_2O และ Na_2O) ต่อออกไซด์ที่เหลือในกลุ่ม RO ไม่ควรมากกว่า 1:1

iii. อัตราส่วนของ B_2O_3 ต่อ SiO_2 ไม่ควรมากกว่า 1:2

iv. ปริมาณ Al_2O_3 ในฟริตไม่ควรเกิน 0.2 โมล

<u>หมายเหตุ</u> -กลุ่ม RO ประกอบด้วยออกไซด์ เช่น K_2O, Na_2O, CaO, MgO และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น

-กลุ่ม RO_2 เช่น SiO_2 เป็นต้น

ฟริตที่เตรียมจากสูตร P1 นี้ใช้สัญลักษณ์ PR ออกไซด์ที่เลือกมาทำฟริตประกอบด้วย

ฟริต PR	0.30	PbO	0.10	Al_2O_3	1.20	SiO_2
	0.15	CaO			0.40	B_2O_3
	0.10	Na_2O				

จากการคำนวณ จะได้ส่วนผสมของวัตถุดิบสำหรับใช้ในการเตรียมฟริต เรียกว่า frit batch และส่วนผสมของวัตถุดิบสำหรับใช้ในการเตรียมเคลือบเรียกว่า mill batch ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนผสมวัตถุดิบฟริต PR และเคลือบจากฟริต PR (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

FRIT BATCH (ฟริต PR)		MILL BATCH	
	ร้อยละ		ร้อยละ
ตะกั่วแดง	29.51	ฟริต PR	52.32
บอแรกซ์	16.42	โดโลไมต์	5.02
บอริกแอซิด	10.65	แร่ฟันม้า	15.17
หินปูน	6.46	หินปูน	4.09
ดินขาว	11.11	ดินขาว	7.04
ฟลิ้นท์	25.85	ฟลิ้นท์	16.36

ข. ปรับสูตรเคลือบ P1 เป็น P3 และเตรียมฟริตจากสูตร P3

เพื่อให้ได้ฟริตที่หลอมตัวดีขึ้นและไม่มีออกไซด์ที่ละลายน้ำได้เหลืออยู่ในสูตรเคลือบ ได้ปรับจำนวนโมลของออกไซด์ และปรับชนิดออกไซด์ในสูตร P1 โดยลดจำนวนโมลของ Al_2O_3 SiO_2 CaO และ B_2O_3 และเพิ่มจำนวนโมลของ PbO และ Na_2O นอกจากนั้นได้ตัด MgO ออก และเปลี่ยน K_2O เป็น KNaO เกิดเป็นสูตร P3 ดังนี้

สูตรเคลือบ P3

0.42	PbO	0.25	Al_2O_3	2.5	SiO_2
0.33	CaO			0.3	B_2O_3
0.10	KNaO				
0.15	Na_2O				

จากนั้นทำการคำนวณ โดยเลือกออกไซด์ที่ต้องนำมาเตรียม frit batch ตามกฎของการเตรียมฟริต ฟริตที่เตรียมจากสูตร P3 นี้ใช้สัญลักษณ์ P3I และมีส่วนประกอบดังนี้

ฟริต P3I	0.42	PbO	0.10	Al_2O_3	1.2	SiO_2
	0.30	CaO			0.3	B_2O_3
	0.15	Na_2O				

ส่วนผสมวัตถุดิบของ frit batch และ mill batch ได้แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนผสมวัตถุดิบฟริต P3I และเคลือบจากฟริต P3I (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

FRIT BATCH (ฟริต P3I)		MILL BATCH	
	ร้อยละ		ร้อยละ
ตะกั่วแดง	35.7	ฟริต P3I	67.4
บอแรกซ์	21.3	แร่ฟันม้า	16.9
หินปูน	11.2	หินปูน	0.9
ดินขาว	9.6	ดินขาว	3.9
ฟลิ้นท์	22.2	ฟลิ้นท์	10.9

ค. ทดแทนดินขาวด้วยคัลไซน์ดิกไกต์ ในสูตรฟริต P3I

เพื่อปรับปรุงแก้ไขสีของฟริตให้อ่อนลง ซึ่งจะมีผลทำให้ได้เคลือบที่มีความขาวมากขึ้น ได้ทดแทนดินขาวในสูตรฟริต P3I ด้วยคัลไซน์ดิกไกต์ (ดิกไกต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°ซ.) ที่บดละเอียด เกิดเป็นฟริตสูตร P3II

2.1.5 การบดเคลือบ

เคลือบที่ใช้ในการทดลองได้ถูกเตรียมขึ้นตามขั้นตอน ดังนี้

- ชั่งวัตถุดิบตามสูตรเคลือบให้มีน้ำหนักรวม 100 กรัม
- บดผสมแบบบดเปียกในหม้อบด โดยใช้น้ำประมาณ 80-100 มล. บดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- ร่อนน้ำเคลือบที่บดครบตามเวลาที่กำหนดไว้ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

2.2 การเตรียมฟริต

การเตรียมฟริตมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ชั่งวัตถุดิบในสูตรฟริตที่ได้มาจากการคำนวณให้ได้น้ำหนักรวมสูตรละ 1.5 กก.
- บดผสมแห้งโดยใช้โกร่งบด เพื่อให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง และผสมกันอย่างสม่ำเสมอ
- นำวัตถุดิบที่ผสมกันดีแล้วไปหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 1000°ซ. เทแก้วหรือฟริตที่หลอมดีแล้วลงในภาชนะที่มีน้ำเย็น เพื่อทำให้แก้วเย็นตัวอย่างฉับพลันและแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย
- ล้างทำความสะอาดฟริตที่ได้ด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง จากนั้นทุบให้มีขนาดเล็กลง ก่อนที่จะนำไปบดเปียกในหม้อบดเป็นเวลา 20 ชั่วโมง
- ร่อนฟริตที่บดแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปอบแห้ง

2.3 การเตรียมตัวอย่างและการเผา

ชิ้นตัวอย่างสำหรับใช้ทดลองเคลือบได้เตรียมจากเนื้อดินโบนไชนาสูตร B10 ซึ่งประกอบด้วย

คัลไซน์โบน	ร้อยละ 47	(โดยน้ำหนัก)
ดินขาว	ร้อยละ 25	
แร่ฟันม้า	ร้อยละ 28	
เติมแร่ควอรตซ์	ร้อยละ 5	

บดผสมแบบบดเปียกในหม้อบดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเกรอะในอ่างปูนปลาสเตอร์ จนกระทั่งหมาดพอปั้นได้ จึงนำมาทำเป็นชิ้นตัวอย่างขนาดประมาณ 3 x 3x 0.5 ซม. ตากแห้ง และนำเข้าเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิประมาณ 1220°ซ.

การเคลือบและเผาเคลือบชิ้นตัวอย่างได้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

- นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผาแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 100°ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- พ่นเคลือบบนชิ้นตัวอย่างที่อบแล้วและยังมีความร้อนอยู่ ควบคุมความหนาของเคลือบประมาณ 0.15-0.2 มม.
- เผาเคลือบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1080°ซ. และ 1100°ซ. ยืนไฟเป็นเวลา 15 นาที

2.4 การตรวจสอบและการทดสอบเคลือบ

เคลือบที่ผ่านการเผาได้รับการตรวจสอบลักษณะผิวเคลือบ ดังนี้

- ความเรียบ และความใสของเคลือบ
- ความมันวาว
- สีของเคลือบ
- รูเข็มบนผิวเคลือบ

เคลือบที่มีลักษณะเรียบใส มีรูเข็มน้อย และมันวาวได้ถูกนำมาทดสอบการรานตัวของผิวเคลือบโดยหม้อนึ่งความดัน (Cenco, บริษัท Central Scientific) โดยทดสอบที่ความดันเท่ากับ 350, 700, 1400 และ 1700 กิโลพาสคัล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ทุกๆหน่วยความดัน ตรวจสอบการรานของเคลือบโดยเช็ดผิวเคลือบของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านหม้อนึ่งความดันมาแล้วให้ชุ่มด้วยสีย้อมอีโอซิน เช็ดทำความสะอาดชิ้นตัวอย่าง แล้วตรวจดูสีย้อมที่ตกค้างอยู่ใต้ผิวเคลือบ

3. ผลการทดลอง

3.1 เคลือบสูตร P2 จากฟริตสำเร็จรูป

เคลือบที่เตรียมจากฟริต FP-530 และ FP-682 ซึ่งคือเคลือบ CFG1 และ CFG2 ตามลำดับนั้น หลังจากเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1080°ซ มีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะเคลือบส่วนผสม CFG1 และ CFG2

ตัวอย่างเคลือบ	ลักษณะเคลือบ
CFG1	มีสีเหลือง มีรูพรุน ผิวเคลือบกึ่งมัน
CFG2	มีสีคล้ำ เคลือบด้าน

จะเห็นได้ว่าเคลือบ CFG2 ซึ่งมีฟริต FP-682 ผสมอยู่ มีความสุกตัวน้อยกว่าและมีสีคล้ำกว่าเคลือบ CFG1 ซึ่งมีฟริต FP-530 ผสมอยู่ เคลือบที่มีลักษณะเช่นนี้ คือไม่ขาวใสและไม่มันวาว จะเป็นผลเสียต่อผลิตภัณฑ์โบนไชนา ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะฟริต FP-530 มาทำการศึกษาหาส่วนผสมเคลือบในขั้นตอนต่อไป

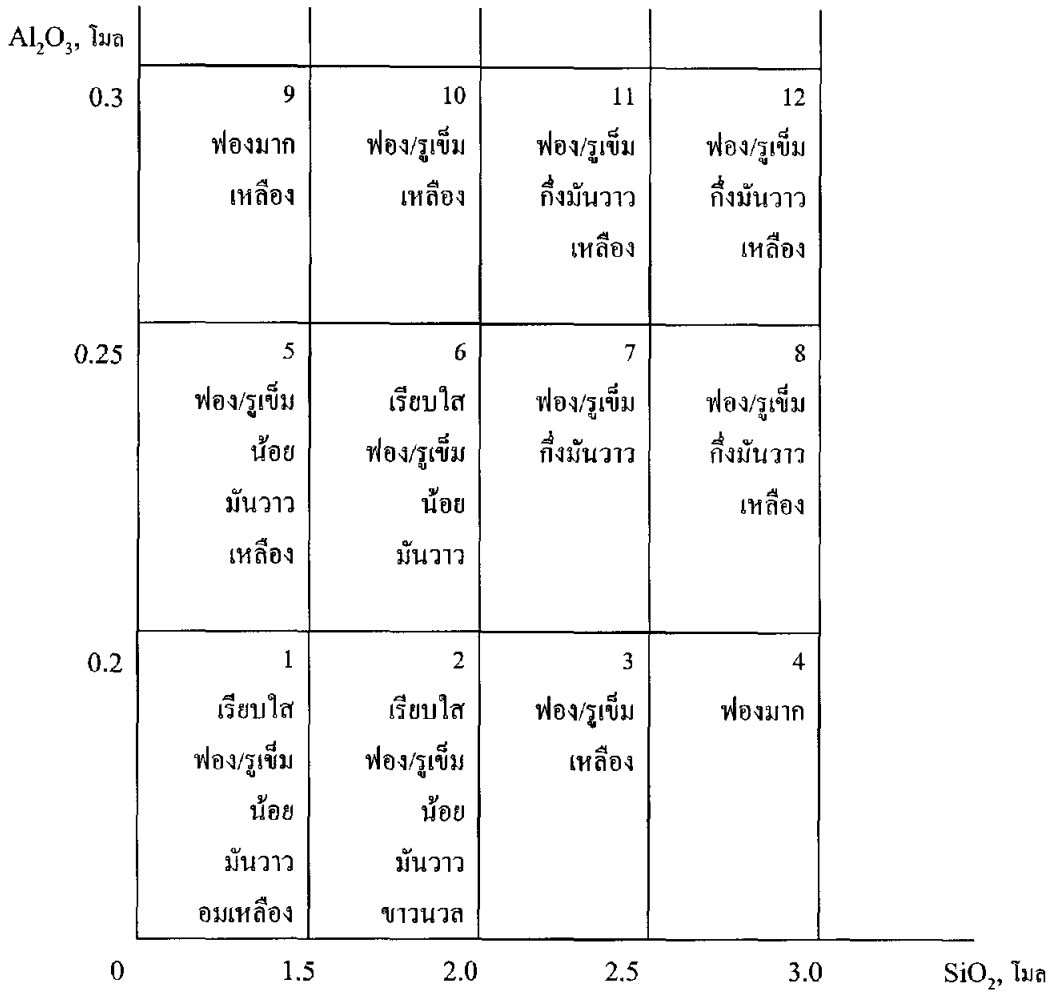
3.2 เคลือบจากการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2

เคลือบที่เตรียมโดยการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 ในสูตร P2 และใช้ฟริต FP-530 ได้ผลดังปรากฏในตารางที่ 6 และเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่มีต่อลักษณะของเคลือบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ได้ประมวลผลในตารางที่ 2 กับแผนภูมิในภาพที่ 1 เป็นแผนภูมิในภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของ SiO_2 เพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณของ Al_2O_3 คงที่ (Al_2O_3 = 0.2 โมล) ผิวเคลือบจะมีฟองอากาศมากขึ้น และเคลือบจะมีรูเข็มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของเคลือบในลักษณะเดียวกันปรากฏให้เห็นในกรณีที่ปริมาณของ Al_2O_3 เพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณของ SiO_2 คงที่ (SiO_2 = 1.5 โมล) ในแผนภูมิเดียวกันได้แสดงให้เห็นด้วยว่า ฟองอากาศและรูเข็มบนผิวเคลือบได้เพิ่มขึ้น และการสุกตัวของเคลือบได้ลดลงเมื่อปริมาณของ Al_2O_3 และ SiO_2 เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 ลักษณะเคลือบที่ได้จากการปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2

สูตรเคลือบ	ลักษณะเคลือบ
CF1	ผิวเคลือบเรียบใส มีฟองอากาศและรูเข็มเล็กน้อย มันวาว สีอมเหลือง
2	ผิวเคลือบเรียบใส มีฟองอากาศและรูเข็มเล็กน้อย มันวาว สีขาวนวล
3	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็ม สีเหลือง
4	ผิวเคลือบมีฟองอากาศมาก
5	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็มเล็กน้อย มันวาว สีเหลือง
6	ผิวเคลือบเรียบ มีฟองอากาศและรูเข็มเล็กน้อย มันวาว
7	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็ม กึ่งมันวาว
8	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็ม กึ่งมันวาว สีเหลือง
9	ผิวเคลือบมีฟองอากาศมาก สีเหลือง
10	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็ม สีเหลือง
11	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็ม กึ่งมันวาว สีเหลือง
12	ผิวเคลือบมีฟองอากาศและรูเข็ม กึ่งมันวาว สีเหลือง

หมายเหตุ เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1080°ซ.



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงลักษณะของเคลือบ

เคลือบที่มีลักษณะดี คือมีผิวเรียบใส มีรูเข็มน้อย และมันวาว ได้แก่สูตร CF 1, 2 และ 6 ซึ่งมี Al_2O_3 อยู่ในช่วง 0.2 – 0.25 โมล และมี SiO_2 อยู่ในช่วง 1.5 – 2.0 โมล ได้ถูกนำไปทดสอบการรานตัวในหม้อนึ่งความดัน ผลการทดสอบปรากฏว่าไม่มีสูตรใดเกิดการรานตัวของผิวเคลือบที่ทุกๆหน่วยความดัน

3.3 ฟริตที่เตรียมขึ้นเอง และเคลือบจากฟริตเหล่านี้

ฟริต PR ที่เตรียมจากส่วนผสมในหัวข้อ 2.1.4 ก. มีสีเขียว ไม่ใสและมีฟองปนมาก เคลือบที่เตรียมจากฟริต PR มีสีเหลือง มีฟองอากาศ ผิวไม่เรียบ และไม่มันวาว

เพื่อให้ได้ฟริตที่หลอมตัวดีขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 1000°ซ. และให้ได้เคลือบที่มีความหนืดขณะหลอมลดลง ได้ปรับสูตรเคลือบ P1 เป็นสูตร P3 ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1.4 ข. ลักษณะของฟริต P3I และลักษณะของเคลือบที่เตรียมจากฟริตนี้ ได้แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะของฟริตและเคลือบ จากฟริตที่เตรียมขึ้นเอง

ฟริต สูตร	ลักษณะของฟริต	ลักษณะของเคลือบ
P3I	ก้อนใส สีเขียว	ผิวเคลือบเรียบใส เคลือบมัน มีฟองอากาศขนาดเล็กอยู่เล็กน้อย สีอมเหลือง*
P3II	ก้อนใส สีเขียวอ่อน	ผิวเคลือบเรียบ กึ่งมันวาว มีฟองอากาศมาก สีขาว*
P3II	ก้อนใส สีเขียวอ่อน	ผิวเคลือบเรียบใส มันวาว มีฟองอากาศขนาดเล็กอยู่เล็กน้อย สีขาวนวล**

หมายเหตุ *เคลือบเตรียมจากฟริต P3I และ P3II เผาที่อุณหภูมิ 1080°ซ.

**เคลือบเตรียมจากฟริต P3II เผาที่อุณหภูมิ 1100°ซ.

เมื่อเปรียบเทียบกับฟริต PR ฟริต P3I นั้นหลอมดีขึ้น มีความใสมากขึ้น แต่มีสีเขียว เคลือบที่เตรียมจากฟริต P3I มีผิวเคลือบที่เรียบใส มันวาว มีฟองอากาศและรูเข็มน้อย แต่มีสีอมเหลืองอยู่ สีเหลืองในเคลือบนั้นเป็นผลมาจากสีเขียวของฟริต P3I

ฟริต P3II ที่ได้จากการแทนดินขาวด้วยคัลไซน์ดิกไกต์ในฟริตสูตร P3I มีก้อนใส และมีสีเขียวอ่อน เคลือบที่เตรียมจากฟริตนี้ มีผิวเคลือบกึ่งมันวาว มีสีขาว มีฟองอากาศและรูเข็ม

หลังจากเผาเคลือบที่มีลักษณะกึ่งมัน ซึ่งคือเคลือบที่เตรียมจากฟริต P3II ที่อุณหภูมิ 1100°ซ. ปรากฏว่าได้เคลือบที่มีลักษณะผิวเคลือบเรียบใส มันวาว สีขาวนวล มีฟองอากาศและรูเข็มน้อย ดังแสดงในตารางที่ 7

เคลือบซึ่งเตรียมจากฟริตสูตร PR P3I และ P3II ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1080°ซ. และ 1100°ซ. นั้น ทุกตัวอย่างไม่เกิดการรานตัวของผิวเคลือบที่ทุกหน่วยความดันที่ทดสอบ

4. วิจารณ์ผลการทดลอง

เคลือบสูตร P2 ซึ่งเตรียมจากฟริตสำเร็จรูป FP-530 และ FP-682 มีลักษณะแตกต่างกัน การสุกตัวของเคลือบที่เตรียมจากฟริต FP-682 น้อยกว่าเคลือบที่เตรียมจากฟริต FP-530 เนื่องจากฟริต FP-682 มีปริมาณของ Al_2O_3 และ SiO_2 ซึ่งมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงอยู่มากกว่าฟริต FP-530 และในขณะเดียวกันฟริต FP-682 มีปริมาณของ PbO และ Na_2O ซึ่งช่วยในการลดอุณหภูมิการหลอมตัวของเคลือบอยู่น้อยกว่าที่มีอยู่ในฟริต FP-530 (ค่าเปรียบเทียบเอมไพริคัลฟอร์มูลาของฟริตทั้งสองได้แสดงในหัวข้อ 2.1.2)

เคลือบซึ่งเตรียมโดยปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 และใช้ฟริตสำเร็จรูป FP-530 ในสูตรเคลือบ P2 นั้น ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เคลือบมี

ฟองมากขึ้น มีรูเข็ม และลดความมันวาวลง ทั้งนี้เนื่องจาก Al_2O_3 และ SiO_2 มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูง เมื่อปริมาณของออกไซด์สองชนิดนี้เพิ่มขึ้น จึงทำให้เคลือบสุกตัวยากขึ้น นอกจากนั้นเคลือบที่มีปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 มากขึ้น ทำให้ความหนืดของเคลือบขณะหลอมสูงขึ้น จึงเป็นอุปสรรคต่อการลอยตัวของฟองอากาศซึ่งเกิดจากการสลายตัวของวัตถุดิบที่อยู่ในเคลือบขณะที่ถูกเผา (เช่น การสลายตัวของสารประกอบคาร์บอเนตต่างๆ เป็นกาซคาร์บอนไดออกไซด์, CO_2) นอกจากนั้นความหนืดที่สูงขึ้นยังทำให้เคลือบไม่สามารถไหลมาปิดผิวในบริเวณที่ฟองอากาศได้หนีออกไปแล้ว ส่งผลให้เคลือบที่ได้หลังจากเผาแล้วมีฟองอากาศและ/หรือรูเข็มมาก เคลือบที่มีผิวเรียบใส มีฟองอากาศและรูเข็มน้อย และมันวาว มี Al_2O_3 อยู่ในช่วง 0.2–0.25 โมล และมี SiO_2 อยู่ในช่วง 1.5–2.0 โมล ส่วนเคลือบที่มีฟองอากาศ มีรูเข็มมาก และไม่มันวาว มี Al_2O_3 อยู่มากกว่า 0.25 โมล และมี SiO_2 อยู่มากกว่า 2.0 โมล

ฟริต PR ที่เตรียมขึ้นเองจากสูตรเคลือบ P1 มีฟองมากและไม่ใส เนื่องจากมีส่วนผสมที่ช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมตัว (เช่น PbO) อยู่น้อย จึงทำให้ฟริตไม่หลอมตัวดี เคลือบที่เตรียมจากฟริต PR ซึ่งมีลักษณะไม่มันวาว ไม่สุกตัว และมีสีเหลืองนั้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากฟริต PR อีกส่วนหนึ่งมาจากส่วนผสมของสูตรเคลือบ P1 ซึ่งมีปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงอยู่ในส่วนผสมมาก เคลือบ P1 มี Al_2O_3 อยู่ 0.3 โมล และมี SiO_2 อยู่ 3.0 โมล

จากการปรับสูตร P1 เป็น P3 ทำให้ได้ฟริตที่หลอมดีขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของ PbO ที่ช่วยลดจุดหลอมตัวมากขึ้น (จาก 0.3 โมล ในสูตร P1 มาเป็น 0.42 โมล ในสูตร P3) ฟริตที่หลอมดีขึ้นส่งผลให้เคลือบที่เตรียมจากสูตร P3 โดยใช้ฟริต P3I มีผิวเคลือบเรียบใส เคลือบมัน และมีฟองอากาศขนาดเล็กอยู่เล็กน้อย การที่เคลือบที่เตรียมจากฟริต P3I ยังมีสีอมเหลืองอยู่นั้น เนื่องจากฟริต P3I มีสีเขียว หลังจากทดแทนดินขาวในสูตรฟริต P3I ด้วยคัลไซน์ดิกไกต์ทำให้ได้ฟริต P3II ที่มีสีอ่อนลง เนื่องจากปริมาณเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่มีอยู่ในดิกไกต์มีปริมาณต่ำกว่าที่มีอยู่ในดินขาวมาก ดังแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและคัลไซน์ดิกไกต์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ	L.O.I.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
ดินขาว	12.4	44.1	38.6	**1.4**	0.3	0.3	0.7	1.9
ดิกไกต์	0.4	66.8	31.2	**0.1**	0.3	0.1	0.2	0.3

เคลือบที่เตรียมจากสูตร P3 โดยใช้ฟริต P3II หลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1080° ซ. มีผิวเคลือบเรียบ กึ่งมันวาว มีฟองอากาศ และสีขาว ความสุกตัวที่ลดลงของเคลือบเมื่อเทียบกับเคลือบที่เตรียมจากฟริต P3I เนื่องจากคัลไซน์ดิกไกต์มีความทนไฟมากกว่าดินขาว หลังจากทำการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น (1100° ซ) ผิวเคลือบมีลักษณะเรียบใส มันวาว มีฟองอากาศขนาดเล็กอยู่เพียงเล็กน้อย และมีสีขาวนวล

เคลือบมีลักษณะดี คือมีผิวเคลือบที่เรียบใส มันวาว มีฟองอากาศและ/หรือรูเข็มน้อย และมีสีขาวนวล ซึ่งได้แก่เคลือบสูตร CF 1, 2 และ 6 โดยใช้ฟริตสำเร็จรูป FP-530 และเคลือบสูตร P3 โดยใช้ฟริตที่เตรียมขึ้นเองสูตร P3II ล้วนผ่านการทดสอบการรานตัวของผิวเคลือบที่ทุกหน่วยความดันที่ทดสอบ ผลที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าเนื้อดินและเคลือบมีความเหมาะสมกัน และเคลือบเหล่านี้จะไม่เกิดการรานตัวเนื่องจากความชื้น

5. สรุปผลการทดลอง

เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์โบนไชนา ซึ่งมีผิวเคลือบที่เรียบใส มันวาว มีฟองอากาศและ/หรือรูเข็มน้อย และมีสีขาวนวล สามารถทำขึ้นได้โดยใช้ฟริตสำเร็จรูปประเภทเลดบอโรซิลิเกต หรือฟริตที่เตรียมขึ้นเองผสมกับวัตถุดิบในประเทศ ได้แก่ โดโลไมต์ แร่ฟันม้า หินปูน ดินขาว และ ฟลิ้นท์ สำหรับเคลือบที่ต้องการเผาที่อุณหภูมิ 1080°ซ. นั้น สามารถเตรียมได้จากฟริตสำเร็จรูป FP-530 และใช้สูตรเคลือบ CF 1, 2 และ 6 ถ้าหากต้องการเตรียมเคลือบเพื่อเผาที่อุณหภูมิ 1100°ซ. ก็สามารถเตรียมได้โดยใช้ฟริตที่เตรียมขึ้นเองสูตร P3II โดยใช้เคลือบสูตร P3

เคลือบทั้งหมดที่กล่าวข้างต้น เป็นเคลือบที่ผ่านการทดสอบการรานตัวของผิวเคลือบที่ทุกหน่วยความดันที่ทดสอบ

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสีของฟริตและความสุกตัวของฟริตมีผลต่อลักษณะของเคลือบ ฟริตที่มีสีเจือปนมากจะส่งผลให้เคลือบที่ได้ไม่ขาวนวล การเลือกวัตถุดิบที่มีปริมาณ Fe_2O_3 น้อย ช่วยทำให้ฟริตมีสีอ่อนลง ส่วนฟริตที่มีจุดหลอมตัวสูงมีส่วนทำให้เคลือบไม่สุกตัว การเพิ่มปริมาณของ PbO (หรือตะกั่วแดง ในรูปของวัตถุดิบ) ช่วยทำให้ฟริตหลอมตัวดีขึ้น องค์ประกอบทั้งสองช่วยทำให้ได้เคลือบที่มีสีขาวนวลมากขึ้น และสุกตัวดีขึ้น

ผลการทดลองปรับจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 ในสูตรเคลือบได้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของ Al_2O_3 และ SiO_2 ต่อการสุกตัวและความหนืดของเคลือบขณะหลอมเหลว ปริมาณของ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของเคลือบขณะหลอมเหลวสูงขึ้น และยังทำให้เคลือบสุกตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ผิวเคลือบที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วมีฟองและรูเข็มมาก สำหรับเคลือบสูตร P2 ปริมาณ Al_2O_3 ในช่วง 0.2–0.25 โมล และ SiO_2 ในช่วง 1.5–2.0 โมล เป็นปริมาณที่ทำให้ได้เคลือบที่มีผิวเรียบใส มีฟองอากาศและรูเข็มน้อย และมันวาว

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนและความร่วมมืออย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

จรัสศรี สมบัติทวี. โบนไชนา. **เอกสารประกอบการสัมนาทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา ครั้งที่ 2**, กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กันยายน 2514. หน้า 7.1-7.17.

พลยุทธ ศุขสมบัติ. โบนไชนา. **ข่าวสารการธรณี**, มีนาคม 2531. ฉบับที่ 33(3), หน้า 3-13.

วรุณี ถิรมงคล. โบนไชนา. **วารสาร สสท**. ฉบับเทคโนโลยี, ธันวาคม 2532. ฉบับที่ 16(88), หน้า 46-50.

Norton, F.H. **Fine ceramics**. New York : Mc Graw-Hill Book Company, 1970. p.347-355.

Parmalee, C.W. **Ceramic glazes.** Boston : CBI Publishing Company, 1975. p.100.

Rado, P. Bone China. Verlag Schmid Gmbh Freiburg, Germany: **Ceramic Monographs-Handbook of Ceramics**, 1981. p.1-10,

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์โบนไชนา

ภาคผนวก ข

ผลิตภัณฑ์โบนไชนาก่อนและหลังผ่านการเคลือบ