การพัฒนาภาชนะเซรามิกเนื้อ คอร์เดียไรต์

วรรณา ต.แสงจันทร์
ปราณี จันทร์ลา

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการสังเคราะห์เนื้อคอร์เดียไรต์ (cordierite body) เพื่อใช้ทำภาชนะเซรามิกสำหรับปรุงอาหารที่สามารถตั้งบนเตา (stove-top) ได้โดยตรง จากส่วนผสมของดินขาวระนองดินเหนียวลานสกา ทัลคัม และเซอร์คอน เผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน (thermal shock resistance) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน และส่วนประกอบทางแร่วิทยา คัดเลือกสูตรเนื้อคอร์เดียไรต์ ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันได้สูงถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส มาทำการพัฒนาสูตรเคลือบ ทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน การรานตัว และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบ จากนั้นคัดเลือกสูตรเนื้อคอร์เดียไรต์ และเคลือบที่ผ่านการทดสอบมาทดลองทำเป็นภาชนะ และทดสอบการใช้งานจริงบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊ส

บทนำ

ภาชนะเซรามิกที่ใช้ปรุงอาหาร และสามารถตั้งบนเตา (stove-top) ได้โดยตรง ไม่ว่าจะเป็นเตาไฟฟ้า หรือเตาแก๊ส จะต้องทำจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (thermal expansion coefficient) ต่ำ เพื่อให้ภาชนะนั้นมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันจึงจะไม่เกิดการแตกร้าวเสียหาย และสามารถใช้งานได้อย่างทนทาน ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานในสภาวะดังกล่าว ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์แก้วทนไฟและเซรามิกแก้ว (glass-ceramic) ซึ่งมีราคาแพง เพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากผลิตภัณฑ์แก้วทนไฟ และเซรามิกแก้วแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อคอร์เดียไรต์เป็นส่วนผสมหลัก มักนิยมนำมาใช้งานในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน และไม่มีการเคลือบผิว เช่น ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผา (kiln furniture) เป็นต้น

คอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบซิลิเกต มีสูตรทางเคมีคือ $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ เป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ คือ ประมาณ 1-3 $x10^{-6}$ / $^{\circ}C$ (Norton, 1970) จึงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคอร์เดียไรต์เป็นส่วนผสมหลักสามารถใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันอยู่เสมอโดยไม่แตกร้าวเสียหายการที่คอร์เดียไรต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ จึงเป็นเรื่องยากที่จะพัฒนาเคลือบให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าเนื้อคอร์เดียไรต์ เพื่อให้สามารถใช้งานแล้ว ไม่เกิดปัญหาเคลือบรานตัว โดยทั่วไปเคลือบที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทไวท์แวร์ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนประมาณ 6-9 $x10^{-6}$/ $^{\circ}C$ Norton,1970)

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเนื้อคอร์เดียไรต์ และเคลือบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ สุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1250-1300 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ทำภาชนะเซรามิกสำหรับตั้งบนเตาโดยตรง เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์เซรามิก และศักยภาพการผลิตให้แก่ผู้ประกอบการสามารถทำให้ตลาดเซรามิกขยายตัวมากขึ้น

การทดลองเนื้อคอร์เดียไรต์

1. วิธีการทดลองเนื้อดิน

ทำการคัดเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ กำหนดส่วนผสมที่ใช้ทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกัน ทำเป็นชิ้นตัวอย่างทดสอบ เผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน ส่วนประกอบทางแร่วิทยา และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน จากนั้นคัดเลือกสูตรไปทดลองเคลือบ และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

1.1 วัตถุดิบที่ใช้

- ดินขาว จ.ระนอง
- ดินเหนียวลานสกา จ.นครศรีธรรมราช
- ทัลคัม จีนแดง
- เซอร์คอน ชนิดบดละเอียด ที่ใช้เป็นตัวทำทึบในเคลือบเซรามิก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	LOI	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O
ดินขาวระนอง	11.90	46.50	36.90	1.57	0.06	0.14	0.10	2.38
ดินเหนียวลานสกา	12.48	49.10	29.80	3.03	0.47	1.16	0.22	2.16
ทัลคัม	1.74	64.5	0.06	0.24	0.39	33.0	-	-

1.2 ส่วนผสมที่ทำการทดลอง

จากงานวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เรื่องเนื้อคอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของแร่เคโอลินกับทัลคัม สามารถสังเคราะห์เนื้อคอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของดินขาวระนอง ดินเหนียวลานสกา และทัลคัม เผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียสได้คอร์เดียไรต์ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนอยู่ระหว่าง 1-3.6 x 10^{-6}/ ˚C จึงได้คัดเลือกสูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำมาทำการทดลอง 4 สูตร (C1 C2 C3 และ C4) โดยมีปริมาณดินขาวอยู่ระหว่างร้อยละ 50-60 ดินเหนียวลานสการ้อยละ 5-25 ทัลคัม ร้อยละ 25-35 และได้ผสมเซอร์คอนลงไปในสูตรทุกสูตร เนื่องจากเซอร์คอนมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ คือ 4.1x10^{-6}/ ˚C และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันได้ดี (Singer,1963)

1.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อน มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งส่วนผสม และบดในหม้อบด โดยบดเปียก ใช้เวลาบดประมาณ 8 ชั่วโมง
2. เกรอะส่วนผสมให้หมาดในอ่างปูนปลาสเตอร์
3. นำมาทำชิ้นทดสอบ โดยอัดในแม่แบบทองเหลืองด้วยมือ
4. อบชิ้นทดสอบให้แห้ง
5. นำชิ้นทดสอบไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร่ง 150 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง และยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 30 นาที

1.4 การวิเคราะห์ทดสอบ

นำชิ้นทดสอบไปวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น โดยทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C373-88 (Reapproved 2006)
2. ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน (thermal shock resistance) โดยทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C554-93 (Reapproved 2006)
3. ส่วนประกอบทางแร่วิทยา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์
4. สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน โดยใช้เครื่องวัดการขยายตัวเมื่อร้อน (dilatometer)

2. ผลการทดลองเนื้อคอร์เดียไรต์ และวิจารณ์ผล

ผลวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 2 3 4 และภาพที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนประกอบทางแร่วิทยาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ แสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C

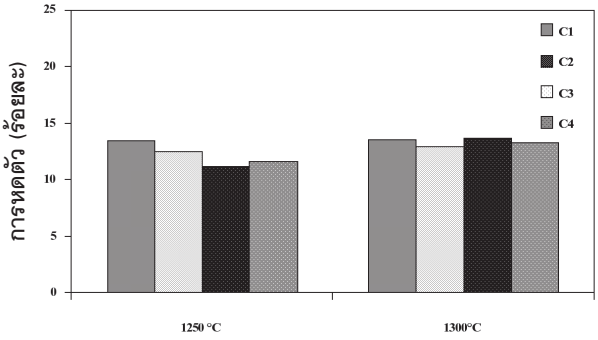
สูตร	การหดตัว, ร้อยละ		การดูดซึมน้ำ ,ร้อยละ		ความหนาแน่น ,กรัม/ลบ.ซม.	
	1250˚C	1300˚C	1250˚C	1300˚C	1250˚C	1300˚C
C1	13.41	13.57	0.12	0.10	2.39	2.39
C2	12.49	12.94	4.22	0.96	2.28	2.30
C3	11.21	13.75	0.80	0.18	2.30	2.32
C4	11.59	13.26	2.98	0.15	2.32	2.36

ตารางที่ 3 ผลทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันของตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C

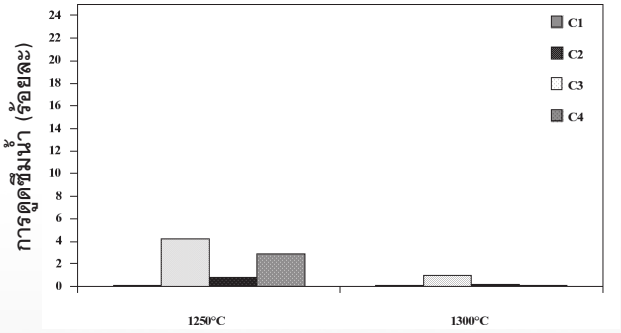
สูตร (1250˚C)	อุณหภูมิที่ทดสอบ (˚C)					สูตร (1300˚C)	อุณหภูมิที่ทดสอบ (˚C)				
	150	175	200	225	250		150	175	200	225	250
C1	✓	✓	✓	✓	✓	C1	✓	✓	✓	✓	✓
C2	✓	✓	✓	×	×	C2	✓	✓	✓	×	×
C3	✓	✓	✓	✓	✓	C3	✓	✓	✓	✓	✓
C4	✓	✓	✓	✓	✓	C4	✓	✓	✓	✓	✓

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 1250 ˚C

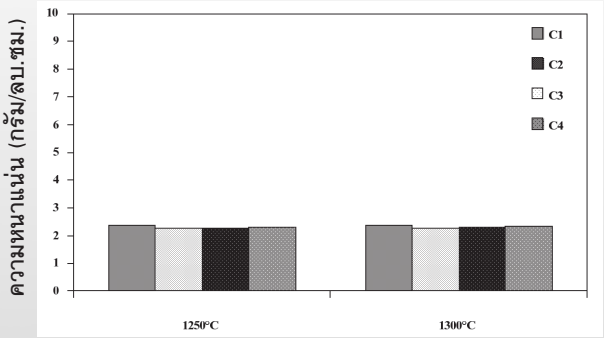
สูตร	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (25-800 ˚C), / ˚C$\times 10^{-6}$
C1	3.937
C2	-
C3	3.941
C4	3.689



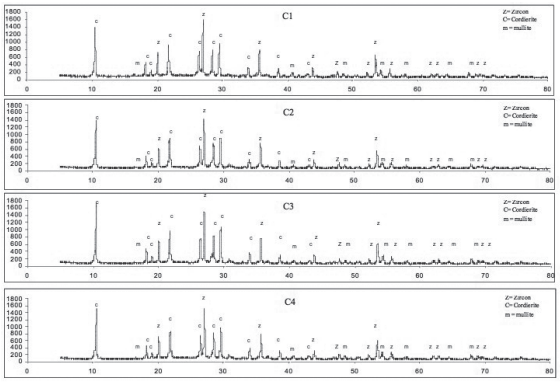
ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าการหดตัวของตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 1250˚C และ 1300˚C



ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 1250˚C และ 1300˚C



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 1250˚C และ 1300˚C



ภาพที่ 4 แสดงส่วนประกอบทางแร่วิทยา ของตัวอย่าง C1-C4 เผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ทั้ง 4 สูตร มีค่าการหดตัวมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำลดลง และค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส สูตร C1 สามารถสุกตัวได้ดีกว่าตัวอย่างสูตรอื่นๆ เนื่องจากมีค่าการดูดซึมน้ำเข้าใกล้ศูนย์ เป็นเพราะส่วนผสมมีปริมาณดินเหนียวมากกว่าสูตรอื่น ๆ จากองค์ประกอบเคมีในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวมีเหล็กออกไซด์อยู่ค่อนข้างสูงซึ่งเป็นตัวช่วยหลอม จึงทำให้ตัวอย่างที่มีดินเหนียวในปริมาณมากกว่าสุกตัวได้ดีกว่าตัวอย่างอื่น ๆ และทำให้ค่าการหดตัว และความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างอื่นด้วย ส่วนตัวอย่าง C2 ที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมน้ำยังมีค่าสูงอยู่ เนื่องจากส่วนผสมมีปริมาณดินเหนียวน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ทำให้การหลอมตัวยังไม่ดี เมื่อนำตัวอย่างไปทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน พบว่า สูตร C1 C3 และ C4 เผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส สามารถผ่านการทดสอบได้ถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยไม่มีรอยร้าว หรือรานตัวเกิดขึ้น ตัวอย่างที่สามารถผ่านการทดสอบได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า จะสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันได้ดีกว่า และมีเพียงสูตร C2 ที่ไม่สามารถผ่านการทดสอบได้ถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยาในภาพที่ 4 ทุกสูตรมีคอร์เดียไรต์ มัลไลต์ และเซอร์คอน เกิดขึ้น สูตร C3 มีคอร์เดียไรต์ เกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ C4 และ C1 ตามลำดับ ส่วนสูตร C2 มีคอร์เดียไรต์เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบจากความสูงของพีกเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

3. สรุปผลการทดลองเนื้อดิน

จากผลการทดลอง ได้คัดเลือกสูตร C3 และ C4 เผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เผาผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทสโตนแวร์ ไปทดลองเคลือบ และทำผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถผ่านการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันได้สูงถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และเกิดเนื้อคอร์เดียไรต์ได้มากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ นอกจากนั้นแล้วการหดตัวของสองสูตรนี้ยังมีค่าน้อยกว่าสูตร C1 การหดตัวมากของผลิตภัณฑ์มีผลทำให้เกิดความเครียดสะสมอยู่ในเนื้อมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวเสียหายได้ ดังนั้นเนื้อที่มีการหดตัวน้อยกว่าจึงเหมาะสมกว่า

การทดลองเคลือบ

1. วิธีการทดลองเคลือบ

เนื่องจากเนื้อคอร์เดียไรต์มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ เคลือบที่นำมาใช้กับเนื้อคอร์เดียไรต์ จึงจำเป็นต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่า เพื่อไม่ให้เกิดการรานตัวเมื่อนำไปใช้งาน ในการทดลองนี้จึงได้เลือกสูตรเคลือบพื้นฐานที่ใช้ Li_2O MgO และ ZnO เป็นตัวช่วยหลอม เนื่องจากออกไซด์เหล่านี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ (Eppler, 2000) และได้แปรเปลี่ยนจำนวนโมลของ Al_2O_3 อยู่ระหว่าง 0.31-0.51 ปริมาณ SiO_2 อยู่ระหว่าง 3.0-5.0 เพื่อศึกษาผลต่อการสุกตัว และการเข้ากันได้ของเนื้อคอร์เดียไรต์กับเคลือบ โดยทำการทดลองทั้งหมด 9 สูตรดังแสดงในตารางที่ 5 และได้ทำการเติมสารเซอร์โคเนียมซิลิเกต (เซอร์คอน) ซึ่งเป็นตัวทำทึบในเคลือบในปริมาณร้อยละ 10 ทุกสูตร เพราะเซอร์โคเนียมซิลิเกตเป็นสารที่มีความคงตัวในเคลือบ ทำให้เคลือบเกิดความทึบโดยการเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ โดยปกติแล้วเคลือบที่มีผลึกเล็ก ๆ อยู่ด้วยจะแข็ง และทนต่อการขัดสีได้ดี (NITC, 1983) ส่วนผสมของเคลือบแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 สูตรเคลือบที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	สูตรเคลือบ		
ZL1	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.31$A1_2O_3$	3.0SiO_2
ZL 2	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.41$A1_2O_3$	3.0SiO_2
ZL 3	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.51$A1_2O_3$	3.0SiO_2
ZL 4	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.31$A1_2O_3$	4.0SiO_2
ZL 5	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.41$A1_2O_3$	4.0SiO_2
ZL 6	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.51$A1_2O_3$	4.0SiO_2
ZL 7	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.31$A1_2O_3$	5.0SiO_2
ZL 8	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.41$A1_2O_3$	5.0SiO_2
ZL 9	0.35 Li_2O 0.55 MgO 0.10 ZnO	0.51$A1_2O_3$	5.0SiO_2

ตารางที่ 6 ส่วนผสมของเคลือบที่ใช้ในการทดลอง

สูตร	ทัลคัม ร้อยละ	ซิงค์ออกไซด์ ร้อยละ	ลิเทียมคาร์บอเนต ร้อยละ	ดินขาวระนอง ร้อยละ	ควอตซ์ ร้อยละ
ZL1	23.67	2.90	9.28	28.66	35.48
ZL2	22.56	2.77	8.84	36.12	29.71
ZL3	19.98	2.45	7.83	36.12	29.71
ZL4	19.48	2.39	7.64	23.59	46.90
ZL5	18.72	2.29	7.34	29.98	41.66
ZL6	18.02	2.21	7.06	35.89	36.82
ZL7	16.55	2.03	6.49	20.04	54.88
ZL8	16.00	1.96	6.27	25.62	50.14
ZL9	15.48	1.90	6.07	30.84	45.70

1.1 การเตรียมเคลือบทดลอง

การเตรียมเคลือบสำหรับทดลอง มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. ชั่งส่วนผสมตามตารางที่ 6
2. บดส่วนผสมในหม้อบดความเร็วสูง (high speed ball mill) โดยใช้น้ำ : วัตถุดิบเท่ากับ 1 : 1 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาบด 20 นาที
3. เคลือบบนสแลปเนื้อคอร์เดียไรต์ สูตร C3 และ C4 ที่ผ่านการเผาดิบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มาแล้ว โดยชุบเคลือบตัวอย่างละ 10 แผ่น
4. นำแผ่นสแลปไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร่ง 150 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง และยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุดนาน 30 นาที

1.2 การวิเคราะห์ทดสอบ

นำชิ้นตัวอย่างเคลือบที่เผาเรียบร้อยแล้วมาตรวจพินิจลักษณะทั่วไป จากนั้นจึงคัดเลือกสูตรที่มีลักษณะทั่วไปดี คือ ไม่รานตัว และไม่หลุดล่อน นำไปทดสอบ

ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ซึ่งใช้วิธีทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบเนื้อคอร์เดียไรต์ ทดสอบการรานตัว โดยวิธี ASTM C424-93 (Reapproved 2006) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบการรานของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทไวท์แวร์ และหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน เพื่อดูว่าเนื้อคอร์เดียไรต์ และเคลือบ สามารถเข้ากันได้ดีหรือไม่ ปกติแล้วเคลือบควรมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าเนื้อดิน เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ และไม่ทำให้เคลือบเกิดการราน

2. ผลการทดลองเคลือบ และวิจารณ์ผล

ผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของเคลือบแสดงในตารางที่ 7 พบว่า เคลือบทุกสูตรให้ลักษณะเคลือบขาวทึบ สูตร ZL1 ZL2 และ ZL3 ผิวเคลือบมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน (semi-matt) ส่วนสูตรอื่นๆ ผิวเคลือบมีลักษณะด้าน เนื่องมาจากเคลือบยังหลอมตัวไม่ดี เคลือบที่มีจำนวนโมลของซิลิกาและอะลูมิน่าสูงขึ้น จะทำให้เคลือบมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น เคลือบทุกสูตรไม่มีการรานตัว และหลุดล่อน เกิดขึ้น

ตารางที่ 7 ลักษณะทั่วไปของเคลือบที่เผาอุณหภูมิ 1250˚C

สูตร	เนื้อดิน C3 เผา 1250˚C				เนื้อดิน C4 เผา 1250˚C			
	สี	ผิวเคลือบ	ราน	หลุด,ล่อน	สี	ผิวเคลือบ	ราน	หลุด,ล่อน
ZL1	ขาวทึบ	กึ่งมันกึ่งด้าน	-	-	ขาวทึบ	กึ่งมันกึ่งด้าน	-	-
ZL2	ขาวทึบ	กึ่งมันกึ่งด้าน	-	-	ขาวทึบ	กึ่งมันกึ่งด้าน	-	-
ZL3	ขาวทึบ	กึ่งมันกึ่งด้าน	-	-	ขาวทึบ	กึ่งมันกึ่งด้าน	-	-
ZL4	ขาวทึบ	ด้าน	-	-	ขาวทึบ	ด้าน	-	-
ZL5	ขาวทึบ	ด้าน	-	-	ขาวทึบ	ด้าน	-	-
ZL6	ขาวทึบ	ด้าน	-	-	ขาวทึบ	ด้าน	-	-
ZL7	ขาวทึบ	ด้าน	-	-	ขาวทึบ	ด้าน	-	-
ZL8	ขาวทึบ	ด้าน	-	-	ขาวทึบ	ด้าน	-	-
ZL9	ขาวทึบ	ด้าน	-	-	ขาวทึบ	ด้าน	-	-

ได้คัดเลือกสูตรเคลือบที่มีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้านและไม่ราน คือ สูตร ZL1 ZL2 และ ZL3 นำไปทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ผลการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลันแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันของตัวอย่างเคลือบเผาที่อุณหภูมิ 1250˚C

สูตรเคลือบ	เนื้อดิน C3 เผา 1250˚C				เนื้อดิน C4 เผา 1250˚C			
	อุณหภูมิที่ทดสอบ (˚C)				อุณหภูมิที่ทดสอบ (˚C)			
	150	175	200	250	150	175	200	250
ZL1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ZL2	✓	✓	×	×	✓	✓	×	×
ZL3	✓	✓	×	×	✓	✓	×	×

ได้นำตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส คือ ZL1 ไปทดสอบการรานตัว และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการรานตัวของเคลือบ

สูตรเคลือบ	สูตรเนื้อดิน C3 เผา 1250˚C					สูตรเนื้อดิน C4 เผา 1250˚C				
	ความดันที่ทดสอบ (psi)					ความดันที่ทดสอบ (psi)				
	50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
ZL1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ตารางที่ 10 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของตัวอย่างเคลือบ ZL1

สูตร	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (25-800(C), /(C _10-6
ZL1	3.048

จากผลการทดสอบ การรานตัวของเคลือบ จะเห็นได้ว่าเคลือบสามารถทนความดันไอสูงสุดโดยไม่แตกรานได้สูงถึง 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) โดยทั่วไปเนื้อดินที่ยังมีค่าการดูดซึมน้ำสูงอยู่ จะต้องทดสอบการรานตัวของเคลือบ เพื่อให้แน่ใจว่า เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานแล้วจะไม่เกิดปัญหาเคลือบรานและจากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบ จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบ มีค่าต่ำกว่าเนื้อคอร์เดียไรต์ แสดงว่าเนื้อคอร์เดียไรต์และเคลือบ สามารถเข้ากันได้ดี

3. สรุปผลการทดลองเคลือบ

จากผลการทดลองเคลือบ ได้เลือกเคลือบสูตร ZL1 ซึ่งผ่านการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันได้ที่อุณหภูมิสูงสุด คือ 250 องศาเซลเซียส และการรานตัวของเคลือบที่ความดันไอสูงสุด 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) โดยไม่แตกรานไปทดลองเคลือบผลิตภัณฑ์

การทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์โดยการเทแบบ

1. วิธีการทดลอง

เตรียมน้ำดิน โดยใช้สูตร C3 และ C4 จากนั้นนำไปเทแบบในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีรูปแบบเป็นหม้อและจาน ตกแต่งให้เรียบร้อย เผาดิบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เคลือบด้วยเคลือบสูตร ZL1 เผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังเผาไปทดสอบการใช้งาน

2. วิธีการทดสอบ

2.1 การทดสอบโดยเตาไฟฟ้า

นำผลิตภัณฑ์ตั้งบนเตาไฟฟ้า (hot plate electric) และใส่น้ำให้เต็ม เปิดเตาให้ความร้อนสูงสุดจนกระทั่งน้ำเดือด ปล่อยทิ้งให้เดือดต่อไปเป็นเวลา 5 นาทีนำชิ้นงานใส่ลงในน้ำเย็น จากนั้น นำชิ้นงานมาตรวจสอบรอยแตกร้าว โดยใช้สารละลายของสีย้อมอินทรีย์ทาให้ทั่ว หากไม่พบรอยแตกร้าว ให้ทำการทดสอบซ้ำอีก ทำเช่นนี้จนครบ 5 ครั้ง

2.2 การทดสอบโดยเตาแก๊ส

นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบจากเตาไฟฟ้า 5 ครั้งแล้ว ตั้งบนเตาแก๊ส และใส่น้ำให้เต็ม เปิดแก๊สให้เปลวไฟเป็นสีฟ้า จนกระทั่งน้ำเดือด ปล่อยทิ้งให้เดือดต่อไปอีก 5 นาที นำชิ้นงานใส่ลงในน้ำเย็น จากนั้น นำชิ้นงานมาตรวจสอบรอยแตกร้าว โดยใช้สารละลายของสีย้อมอินทรีย์ทาให้ทั่ว หากไม่พบรอยแตกร้าว ให้ทำการทดสอบซ้ำอีก ทำเช่นนี้จนครบ 5 ครั้ง

3. ผลการทดลอง

การทดสอบการใช้งานของผลิตภัณฑ์หม้อและจานไม่พบรอยแตกร้าว เมื่อทำการทดสอบครบ 5 ครั้ง ทั้งเตาไฟฟ้า และเตาแก๊ส

ภาพที่ 5 การทดสอบผลิตภัณฑ์โดยตั้งบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สขณะน้ำเดือด

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำภาชนะเซรามิกเนื้อคอร์เดียไรต์ เพื่อใช้ตั้งบนเตาไฟฟ้า และเตาแก๊สโดยตรง พบว่า เนื้อดินสูตร C3 และ C4 สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะโดยวิธีเทแบบ และเคลือบด้วยสูตรเคลือบ ZL1 เผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ได้ภาชนะเซรามิกสำหรับใช้ปรุงอาหาร และสามารถตั้งบนเตาได้โดยตรง และไม่เกิดการแตกร้าวเสียหายขณะใช้งาน

ภาพที่ 6 ภาชนะเนื้อคอร์เดียไรต์ที่สามารถตั้งบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สได้

ภาพที่ 7 ภาชนะเนื้อคอร์เดียไรต์ใช้ทอดไข่ดาวบนเตาแก๊ส

เอกสารอ้างอิง

Nagoya International Training Center (NITC). **Glaze and color in ceramics Nagoya.** Nagoya International Training Center. 1983. p. 8.Norton,F.H. **Fine ceramics technology and application.** New York : Mcgraw-Hill, 1970. p. 183,196.

Rhodes, Daniel. **Clay and glazes for the potter.** 3 rd. revised and expanded. [n.p] : Krause publications, 2000 p.111-113.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กองการวิจัย. เนื้อคอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของแร่เคโอลินกับทัลคัม. โดย สุจินดาโชติพานิช และคณะ. เอกสารรายงาน ผลงานวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก. กรุงเทพมหานคร : กรม , มปป.

_____. ผลิตภัณฑ์แผ่นรองขดลวดไฟฟ้าชนิดจาน. เอกสารรายงานผลงานวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก. กรุงเทพมหานคร : กรม , ม.ป.ป.