การพัฒนาภาชนะเซรามิกหุงต้มเนื้อคอร์เดียไรต์

Development of Cordierite Ceramic Cookware

วรรณา ต.แสงจันทร์[1*] ลดา พันธ์สุขุมธนา[1] และปราณี จันทร์ลา[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาภาชนะเซรามิกหุงต้มเนื้อคอร์เดียไรต์ โดยสังเคราะห์เนื้อคอร์เดียไรต์จากดินขาว ดินเหนียว ทัลค์ และอะลูมินา เผาที่อุณหภูมิ 1300°C เนื้อคอร์เดียไรต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้สูงถึง 400°C มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 3.09×10^{-6}/°C และได้พัฒนาเคลือบที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าเนื้อดิน คือ 2.61×10^{-6}/°C เมื่อนำไปทดสอบความทนการรานด้วยหม้อนึ่งอบไอน้ำ(Autoclave) ที่ความดัน 250 psi เคลือบไม่เกิดการรานตัว จากนั้นได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้แก่ หม้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว เพื่อนำไปทดสอบการใช้งานจริง โดยนำไปต้มน้ำบนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้า และใช้หุงต้มอาหารมากกว่า 50 ครั้ง ผลการทดสอบ ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการแตกร้าวเสียหายใดๆ

Abstract

This study is to develop cordierite ceramic cookware by synthesis of cordierite body using kaolin, ball clay, talc, and alumina at sintering temperature 1300°C. The synthetic cordierite could withstand the thermal shock up to 400°C and had the coefficient of thermal expansion of 3.09×10^{-6}/°C. The lower coefficient of thermal expansion glaze, 2.61×10^{-6}/°C, was also developed for the synthetic body. After, the crazing resistance test by autoclave at 250 psi, the glaze did not craze. Then the 7 inch diameter pots were prepared and used for the cooking test on a gas stove-top or hot plate for more than 50 cycles. The results showed that the pots were crack free.

คำสำคัญ : ภาชนะหุงต้มเซรามิก

Keywords : Ceramic , Cookware , Flameware , Cordierite , Low expansion body

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*E-mail address: wanna@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันนี้วิถีชีวิตประจำวันของคนเราต้องรีบเร่ง จึงต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกใช้ ในเรื่องของการปรุงอาหารก็เช่นเดียวกัน ภาชนะเซรามิกหุงต้มจึงเป็นที่นิยมมากในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถใช้ตั้งบนเตาไฟฟ้า หรือเตาแก๊สปรุงอาหารได้โดยตรง และเมื่อปรุงอาหารเสร็จสามารถนำขึ้นโต๊ะอาหารพร้อมรับประทานได้ทันที ช่วยให้การดำรงชีวิตสะดวกรวดเร็วขึ้น ภาชนะเซรามิกที่สามารถนำมาใช้หุงต้มได้ จะต้องทำจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน(thermal expansion coefficient) ต่ำ มีสมบัติทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี สามารถสัมผัสเปลวไฟโดยตรงโดยไม่เกิดการแตกร้าว คอร์เดียไรต์เป็นวัสดุหนึ่งที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันและทนต่อเปลวไฟ จึงนิยมนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานในภาวะร้อนเย็น เช่น อุปกรณ์เครื่องเตาเผา(kiln furniture) ตัวกรองไอเสียรถยนต์(automobile catalytic converter supports) และภาชนะปรุงอาหาร(cookwares)[1]

คอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบแมกนีเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต มีสูตรทางเคมีคือ $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ สามารถสังเคราะห์ได้จากดิน และทัลค์ หรือดิน ทัลค์ และอะลูมินา ที่อุณหภูมิระหว่าง 1345-1460°C มีช่วงการเผาสั้น(short firing range) [2] หากเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะไม่เกิดคอร์เดียไรต์ เผาสูงเกินไปก็จะกลายเป็นฟอสเตอร์ไรต์(forsterite)และมัลไลต์(mullite) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนสูงขึ้น การเติมเซอร์คอนลงในส่วนผสมร้อยละ5-20 สามารถช่วยให้ช่วงการเผากว้างมากขึ้น โดยไม่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนสูงขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยทำให้เนื้อคอร์เดียไรต์สุกตัวที่อุณหภูมิต่ำลง[3] คอร์เดียไรต์มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ ระหว่าง 1.5-4.0 $\times 10^{-6}$/°Cทำให้ยากต่อการพัฒนาเคลือบให้มีผิวมัน และไม่เกิดการแตกราน จึงต้องทำให้เคลือบเกิดการตกผลึกของวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ เคลือบที่ใช้กับเนื้อคอร์เดียไรต์มักเป็นเคลือบในระบบ lithia-alumina-silica หรือ Magnesia-alumina-silica[4]

ประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตภาชนะเซรามิกหุงต้มได้ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีราคาแพง กรมวิทยาศาสตร์บริการจึงได้วิจัยพัฒนาภาชนะเซรามิกหุงต้มเนื้อคอร์เดียไรต์ เพื่อให้ได้เทคโนโลยีการทำภาชนะเซรามิกหุงต้มสำหรับถ่ายทอดให้กับผู้ประกอบการนำไปผลิตเชิงพาณิชย์ เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิต และทำให้ตลาดเซรามิกขยายตัวมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้า เพราะสินค้าชนิดนี้สามารถจำหน่ายในราคาที่เพิ่มขึ้นเท่าตัวได้

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การทดลองเนื้อคอร์เดียไรต์

คัดเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ กำหนดส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียดในหม้อบด ทำชิ้นทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน ส่วนประกอบทางแร่วิทยา และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน จากนั้นคัดเลือกสูตรไปทดลองเคลือบ และทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

2.1.1. วัตถุดิบที่ใช้

- ดินขาว(Kaolin) ชนิดCerafast จากบริษัทอินดัสเตรียลมินเนอรัลดิเวลลอปเมนต์จำกัด
- ดินเหนียว(Ball clay) ชนิด Ceraglobe จากบริษัทอินดัสเตรียลมินเนอรัลดิเวลลอปเมนต์จำกัด
- ดินเหนียว(Ball clay) ชนิดMagneton จากบริษัทอินดัสเตรียลมินเนอรัลดิเวลลอปเมนต์จำกัด
- ทัลค์(Talc)ชนิดSpecial จากบริษัทเซอร์นิคอินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด
- อะลูมินา(Alumina) ชนิดA-31 จากบริษัท ไนโซ จำกัด
- เซอร์คอน(Zircon)ชนิดบดละเอียดใช้เป็นตัวทำทึบในเคลือบเซรามิก จากบริษัทเซอร์นิคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 1

Table 1 องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

Raw material	LOI	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Li_2O	MnO_2	ZrO_2
Kaolin (Cerafast)	13.0	47.2	37.3	1.0	0.1	0.06	0.4	1.7	-	-	0.06	-
Ball clay (Ceraglobe)	13.7	49.8	31.3	1.2	0.4	0.1	0.5	1.6	0.7	0.02	0.03	-
Ball clay (Magneton)	11.9	56.8	25.5	1.4	0.46	0.14	0.51	2.2	1.0	0.01	-	-
Talc (Special)	1.6	62.7	0.6	0.1	1.9	32.3	0.5	0.1	-	-	0.002	-
Alumina (A31)	0.1	0.02	99.6	0.02	-	-	0.30	-	-	-	-	-
Zircon	0.6	31.1	0.1	0.1	0.2	0.05	0.2	0.2	-	-	-	67.4

2.1.2. ส่วนผสมเนื้อดิน

คอร์เดียไรต์มีสูตรทางเคมี $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ แทนออกไซด์ด้วยวัตถุดิบ เพื่อให้ได้คอร์เดียไรต์ที่มีองค์ประกอบเคมี คือ 13.8% MgO 38.8% Al_2O_3 และ 51.4% SiO_2 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่2

Table 2 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

Sample	CCZ10	CCZ15	CCZ20	CMZ10
Kaolin	15.13	15.13	15.13	13.95
Ball clay(Ceraglobe)	30.25	30.25	30.25	-
Ball clay(Magneton)	-	-	-	27.90
Talc	38.45	38.45	38.45	38.81
Alumina	16.17	16.17	16.17	19.34
Zircon	10.0	15.0	20.0	10.0

เติม เซอร์คอนลงในส่วนผสมร้อยละ 10-20 โดยใช้สัญลักษณ์ CCZ10 คือ ใช้ดินเหนียว Ceraglobe เติม เซอร์คอน ร้อยละ10 CCZ15 คือเติม เซอร์คอน ร้อยละ 15 CCZ20 คือเติม เซอร์คอน ร้อยละ20 และ CMZ10 คือใช้ดินเหนียว Magneton

2.1.3. การเตรียมเนื้อดินและชิ้นทดสอบ

ชั่งส่วนผสมและบดในหม้อบดให้ละเอียด ผ่านตะแกรง 100 เมช เกรอะในอ่างปูนปลาสเตอร์ให้หมาด นำมาทำชิ้นทดสอบโดยอัดในแบบพิมพ์โลหะขนาด30×60×12 มิลลิเมตร เผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร่ง 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 120 นาที

2.1.4. การทดสอบเนื้อดิน

นำชิ้นทดสอบที่เผาแล้วไปทดสอบสมบัติทางกายภาพได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ตามมาตรฐานของ ASTM C373-88 (Reapproved 2006) การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (thermal shock resistance)ตามมาตรฐานของ ASTM C554-93 (Reapproved 2006) ส่วนประกอบทางแร่วิทยา(phase) โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (Bruker รุ่น D8-Advance) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน(COE) โดยใช้เครื่องไดลาโตมิเตอร์(Netzsch รุ่น DIL402PC) จากนั้นคัดเลือกสูตรที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ได้สูงสุดไปทดลองเคลือบ

2.2 การทดลองเคลือบ

การทดลองครั้งนี้ เลือกใช้เคลือบระบบ Li_2O-KNaO-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2 โดยมีสูตรเคลือบพื้นฐานดังนี้ คือ

0.44 Li_2O	0.68 - 0.88Al_2O_3	4.8 –6.8 SiO_2
0.12 KNaO		
0.16 CaO		
0.28 MgO		

ทำการแปรเปลี่ยนจำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 ดังแสดงในตารางที่3 และเติมเซอร์คอนลงในสูตรเคลือบทุกสูตร ร้อยละ10 เพราะเซอร์คอนเป็นสารคงตัวในเคลือบ ช่วยทำให้เคลือบเกิดความทึบโดยการเกิดผลึกเล็กๆและทำให้เคลือบทนทานต่อสารเคมี[5]

Table 3 จำนวนโมลของ Al_2O_3 และ SiO_2 ที่ใช้ในการทดลอง

Sample	Mole of Al_2O_3	Mole of SiO_2
LG2.1	0.68	4.8
LG2.2	0.78	4.8
LG2.3	0.88	4.8
LG2.4	0.68	5.8
LG2.5	0.78	5.8
LG2.6	0.88	5.8
LG2.7	0.68	6.8
LG2.8	0.78	6.8
LG2.9	0.88	6.8

คัดเลือกวัตถุดิบที่ใช้ บดส่วนผสมให้ละเอียดในหม้อบด ชุบเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ตรวจพินิจลักษณะทั่วไป ทดสอบการรานตัว หาส่วนประกอบทางแร่วิทยา และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน คัดเลือกสูตรไปทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

2.2.1. วัตถุดิบที่ใช้

- สปอดูมีน(Spodumene) จากบริษัท เซรามิกอาร์อัส จำกัด
- แร่ฟันม้าชนิดFlux filler จากบริษัทอินดัสเตรียลมินเนอรัลดิเวลลอปเมนต์จำกัด
- โดโลไมต์ จากบริษัทเซอร์นิคอินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด
- ทัลค์ ชนิดเดียวกับที่ใช้ในเนื้อดิน
- ดินเหนียวMagneton ชนิดเดียวกับที่ใช้ในเนื้อดิน
- อะลูมินา ชนิดเดียวกับที่ใช้ในเนื้อดิน
- ควอตซ์ ชนิดเดียวกับที่ใช้ในเนื้อดิน
- เซอร์คอน ชนิดเดียวกับที่ใช้ในเนื้อดิน

2.2.2. ส่วนผสมเคลือบที่ใช้ทดลอง

- สปอดูมีน ร้อยละ 30-41
- แร่ฟันม้า ร้อยละ 10-14
- โดโลไมต์ ร้อยละ 6-8
- ทัลค์ ร้อยละ 4-5
- ดินเหนียว ร้อยละ 6-14
- อะลูมินา ร้อยละ 2-3
- ควอตซ์ ร้อยละ 20-42
- เติม เซอร์คอน ร้อยละ 10

2.2.3. การเตรียมเคลือบและชิ้นทดสอบเคลือบ

บดส่วนผสมตามสูตรในหม้อบดให้ละเอียดผ่านตะแกรง 140 เมช ชุบเคลือบบนชิ้นทดสอบเนื้อดินคอร์เดียไรต์ที่ผ่านการเผาดิบ 800 องศาเซลเซียส นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร่ง 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 120 นาที

2.2.4. การทดสอบเคลือบ

นำชิ้นทดสอบเคลือบที่เผาแล้ว มาตรวจพินิจดูลักษณะทั่วไป คัดเลือกสูตรที่เคลือบสุกตัว ลักษณะเคลือบกึ่งมัน และไม่มีรอยราน ไปทดสอบความทนการรานโดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C424-80 ส่วนประกอบทางแร่วิทยาโดยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (Bruker รุ่น D8-Advance) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน(COE) โดยใช้เครื่องไดลาโตมิเตอร์(Netzsch รุ่น DIL402PC)

2.3 **การทดลองทำผลิตภัณฑ์** คัดเลือกสูตรเนื้อดินและเคลือบที่ผ่านการทดสอบการรานตัว ไปทดลองทำผลิตภัณฑ์หม้อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ เผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง จำนวน 20 ใบ เพื่อนำไปทดสอบการใช้งาน[6] โดยการต้มน้ำบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สและทดลองหุงต้มอาหาร

2.3.1. การทดสอบการใช้งาน

วิธีทดสอบโดยเตาไฟฟ้า

นำผลิตภัณฑ์ตั้งบนเตาไฟฟ้า (hot plate electric) กำลังไฟ 1500 วัตต์ และใส่น้ำให้เต็ม เปิดเตาให้ความร้อนสูงสุดจนกระทั่งน้ำเดือด ปล่อยทิ้งให้เดือดต่อไปเป็นเวลา 5 นาทีนำชิ้นงานใส่ลงในน้ำเย็น จากนั้นนำชิ้นงานมาตรวจสอบรอยแตกร้าว โดยใช้สารละลายของสีย้อมอินทรีย์ทาให้ทั่ว หากไม่พบรอยแตกร้าว ให้ทำการทดสอบซ้ำอีก ทำเช่นนี้ จนครบ 5 ครั้ง

วิธีทดสอบโดยเตาแก๊ส

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

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 **ผลการทดลองเนื้อดิน** ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลัน และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของตัวอย่าง แสดงในตารางที่4 5 และ6 ตามลำดับ ส่วนประกอบทางแร่วิทยา แสดงในรูปที่ 1 2 และ3 เนื้อดินทุกสูตรมีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่นบัลค์ลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นจาก1250°C เป็น1300°C สูตรเนื้อดินที่มีการเติมเซอร์คอนเพิ่มขึ้นจะมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมเซอร์คอนลงไปในส่วนผสมของคอร์เดียไรต์ จะช่วยลดจุดสุกตัวของเนื้อคอร์เดียไรต์ จากผลการทดสอบ thermal shock พบว่าเนื้อดินที่ใช้ดินเหนียวCeraglobeและมีการเติมเซอร์คอนร้อยละ10(CCZ10) เผาที่อุณหภูมิ 1300°C สามารถทนthermal shock ได้สูงสุด คือ375°Cซึ่งสอดคล้องกับผล XRD พบว่าสูตร CCZ10เผา 1300 °C มีคอร์เดียไรต์เกิดขึ้นสูงสุด อย่างไรก็ตามเนื้อดินดังกล่าวมีค่าการดูดซึมน้ำสูงอยู่ จึงได้เปลี่ยนไปใช้ดินเหนียวMagneton แทนดินเหนียวCeraglobe เพื่อลดจุดสุกตัวของเนื้อดิน เนื่องจากดินเหนียวMagneton มีปริมาณ Al_2O_3 ต่ำและปริมาณด่างสูง ทำให้มีจุดสุกตัวต่ำกว่าดินเหนียวCeraglobe จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ใช้ดินเหนียวMagneton (CMZ10) แทนดินเหนียวCeraglobe มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงจาก ร้อยละ17.9 เหลือร้อยละ 12.8 และความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้นจาก 1.82 กรัม/ลบ.ซม.เป็น 1.97 กรัม/ลบ.ซม. และสามารถทน thermal shock ได้สูงถึง 400°C ซึ่งสอดคล้องกับผลXRD ที่พบว่า สูตรCMZ10เกิดคอร์เดียไรต์มากกว่า CCZ10 ที่อุณหภูมิ 1300°C

Table 4 สมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1250°C และ 1300°C

Sample	Sintering temp.,°C	CCZ10	CCZ15	CCZ20	CMZ10
Shrinkage,%	1250	9.7	9.1	9.8	-
	1300	10.1	9.6	10. 9	12.7
Water absorption,%	1250	18.7	14.1	11.4	-
	1300	17.9	14.3	0.1	12.8
Bulk density, g/cm^3	1250	1.84	2.02	2.08	-
	1300	1.82	1.97	2.49	1.97
Thermal shock temp., °C	1250	250	200	200	-
	1300	375	350	250	400

Table 5 ผลทดสอบความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันของชิ้นทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1250°C และ 1300°C

Sample	Sintering temp.,°C	Thermal shock temp. test ,°C										
		150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
CCZ10	1250	✓	✓	✓	✓	✓	×					
CCZ15		✓	✓	✓	×							
CCZ20		✓	✓	✓	×							
CCZ10	1300	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
CCZ15		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
CCZ20		✓	✓	✓	✓	✓	×					
CMZ10		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 6 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินสูตร CMZ10 เผาที่อุณหภูมิ 1300°C

Sample	Coefficient of thermal expansion (COE) (25-1000°C), $\times 10^{-6}$ /°C
CMZ10	3.09

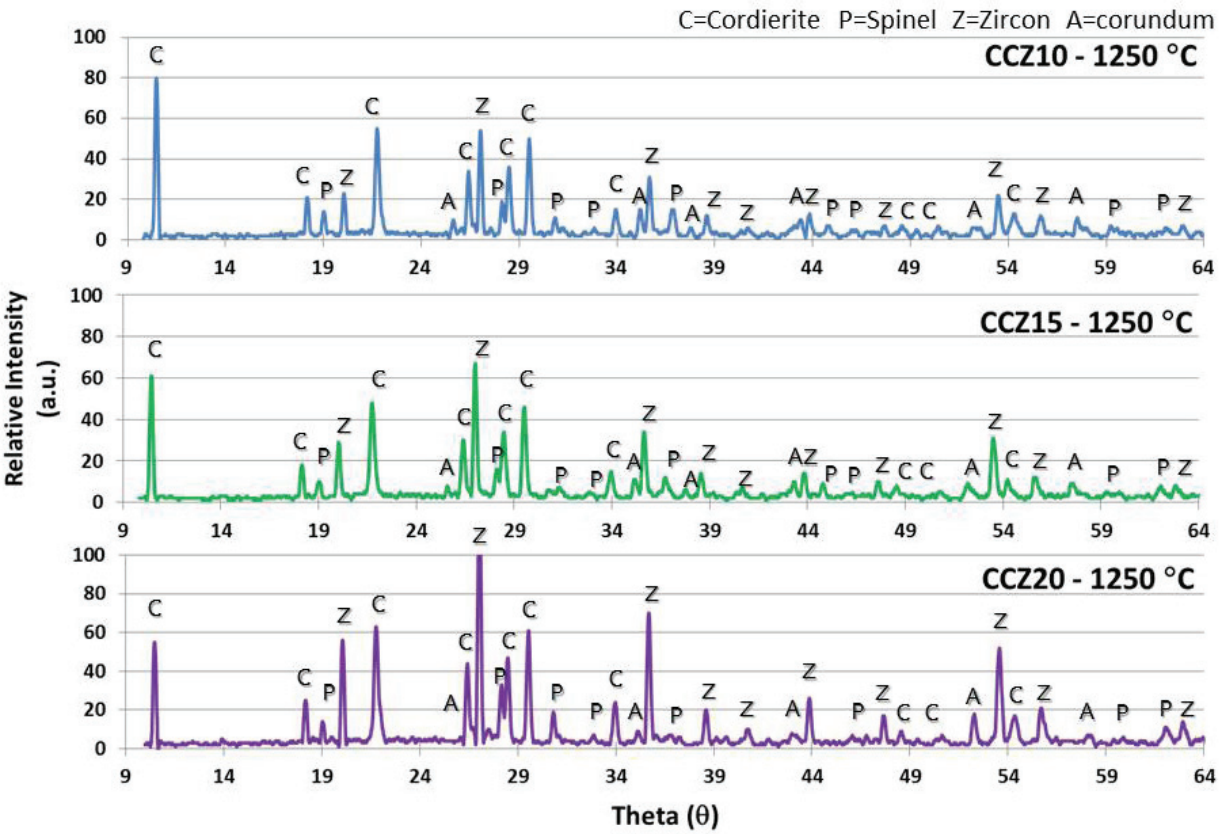

Figure 1 XRD patternของชิ้นทดสอบสูตรCCZ10-CCZ20 เผาที่อุณหภูมิ 1250°C

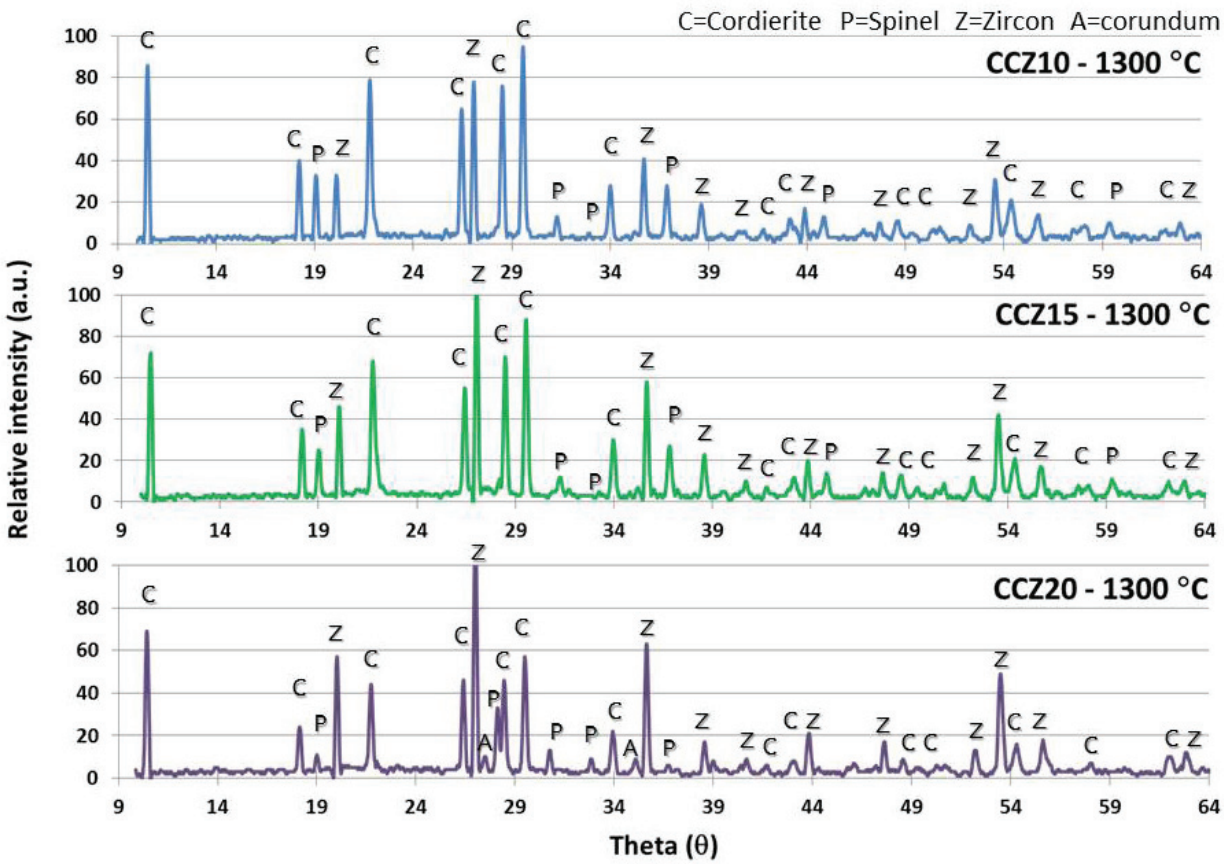

Figure 2 XRD patternของชิ้นทดสอบสูตรCCZ10-CCZ20 เผาที่อุณหภูมิ 1300°C

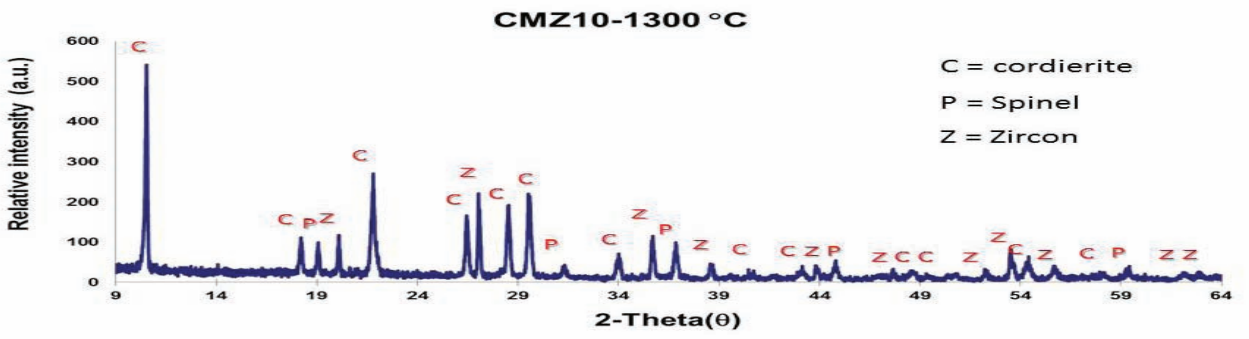

Figure 3 XRD patternของชิ้นทดสอบสูตร CMZ10 เผาที่อุณหภูมิ 1300°C

3.2 **ผลการทดลองเคลือบ** ผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของเคลือบบนเนื้อดินCMZ10ที่ได้หลังเผาอุณหภูมิ 1300°C แสดงในตารางที่ 7 พบว่า เคลือบทุกสูตรสามารถสุกตัวที่อุณหภูมิ 1300°C มีสีขาวทึบ ผิวมัน และกึ่งมัน เคลือบราน ยกเว้นสูตร LG2.9 ที่มีผิวเคลือบไม่ราน เมื่อนำชิ้นทดสอบเคลือบสูตร LG2.9 ไปทดสอบในหม้อนึ่งอบไอน้ำที่ความดัน 250 psi ไม่พบการแตกร้าวของเนื้อดินและเคลือบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าCOE พบว่าเคลือบมีค่าCOE ต่ำกว่าเนื้อดิน คือเคลือบมีค่าCOE เท่ากับ 2.61×10^{-6}/°C ส่วนเนื้อดินมีค่าCOEเท่ากับ 3.09×10^{-6}/°C ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานอยู่ภายใต้แรงอัด และไม่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัว[7] ดังแสดงในรูปที่ 4

Table 7 ลักษณะทั่วไปของเคลือบทดลองบนชิ้นทดสอบCMZ10 หลังเผา 1300°C

Glaze sample	Glaze appearance		
	Transparent-Opaque	Gloss-Matte	Craze
LG2.1	opaque	gloss	✓
LG2.2	opaque	gloss	✓
LG2.3	opaque	gloss	✓
LG2.4	opaque	Semi gloss	✓
LG2.5	opaque	Semi gloss	✓
LG2.6	opaque	Semi gloss	✓
LG2.7	opaque	Semi gloss	✓
LG2.8	opaque	Semi gloss	✓
LG2.9	Opaque	Semi gloss	X

Table 8 ผลทดสอบการรานของเคลือบสูตร LG2.9 บนเนื้อดินสูตรCMZ10 เผาอุณหภูมิ 1300 ˚C

Glaze Sample	CMZ10 fired at 1300˚C				
	Pressure, psi				
	50	100	150	200	250
LG2.9	✓	✓	✓	✓	✓

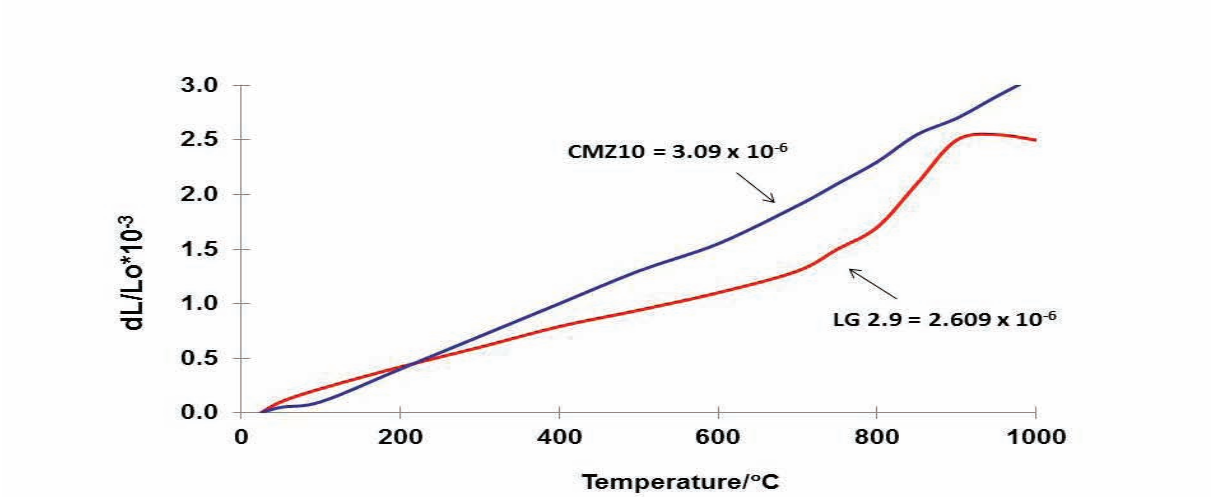

Figure 4 กราฟสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินสูตร CMZ10 และเคลือบสูตร LG2.9

3.3 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์

เมื่อนำเนื้อดินสูตรCMZ10 และเคลือบสูตร LG2.9 ไปทำเป็นผลิตภัณฑ์หม้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง7 นิ้ว จำนวน 20 ใบ ทดสอบการใช้งานโดยต้มน้ำบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊ส และนำไปใช้หุงต้มอาหารมากกว่า 50 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 ผลการทดสอบไม่พบรอยแตกร้าวใดๆเกิดขึ้น

Figure 5 การทดสอบหม้อโดยการต้มน้ำบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊ส

Figure 6 การทดสอบหม้อโดยใช้หุงต้มอาหาร

4. **สรุป** (Conclusion)

ภาชนะเซรามิกหุงต้มเนื้อคอร์เดียไรต์สามารถเตรียมได้จากเนื้อดินที่สังเคราะห์โดยใช้ดินขาว ดินเหนียวMagneton ทัลค์และอะลูมินา เติมเซอร์คอนร้อยละ10 นำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และเคลือบสูตร LG2.9 เผาที่อุณหภูมิ 1300 °C ยืนไฟ2 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้หุงต้มอาหารบนเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สโดยไม่เกิดการแตกร้าว

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนการทำโครงการวิจัย ขอขอบคุณกลุ่มวัสดุและผลิตภัณฑ์เซรามิก โครงการเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ และศูนย์เชี่ยวชาญแก้ว โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบค่าสัมประสิทธิการขยายตัวเมื่อร้อน

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] **Low thermal expansion modified cordierite**, US. Patent 4,403,017,Sep 6,1983.

[2] F.Singer and Sonja S. Singer, **Industrial Ceramics** , Chapman and Hall, London ,1979. 482-487

[3] Costa Oliveira F.A.,Franco J.A.,CruZ Fernandes J.,Dias D.,**Newly developed Cordierite-Zircon composites**,Bristish Ceramic Transactions,vol.101,No.1,Feb.2002,14-21(8)

[4] Richard A.Eppler and Douglas R.Eppler,**Glazes and Glass Coatings**,The American Ceramic Society Westerville,Ohio 2000,25-29

[5] **Composition and process for glazing ceramic ware**, US. Patent 3,871,890,Mar, 18,1975.

[6] Daniel Rhodes, **Clay and Glazes for the Potter** , 3 rd.ed. Revised and Expanded by Robin Hopper ,Krause publications,United states of America,2000, 111-113

[7] C.W.Parmalee,**Ceramic Glazes 3rd.edCahners Publishing Company**,Inc.USA,1973, 250-251