

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นไปในการปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนโดยใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบแทนซิลิกาจากควอตซ์ และการนำเถ้าแกลบกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบ และ
2. การศึกษาผลของการใช้เถ้าแกลบแทนควอตซ์ ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่
 - 2.1 การศึกษาผลของปริมาณเถ้าแกลบ และ
 - 2.2 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบ

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

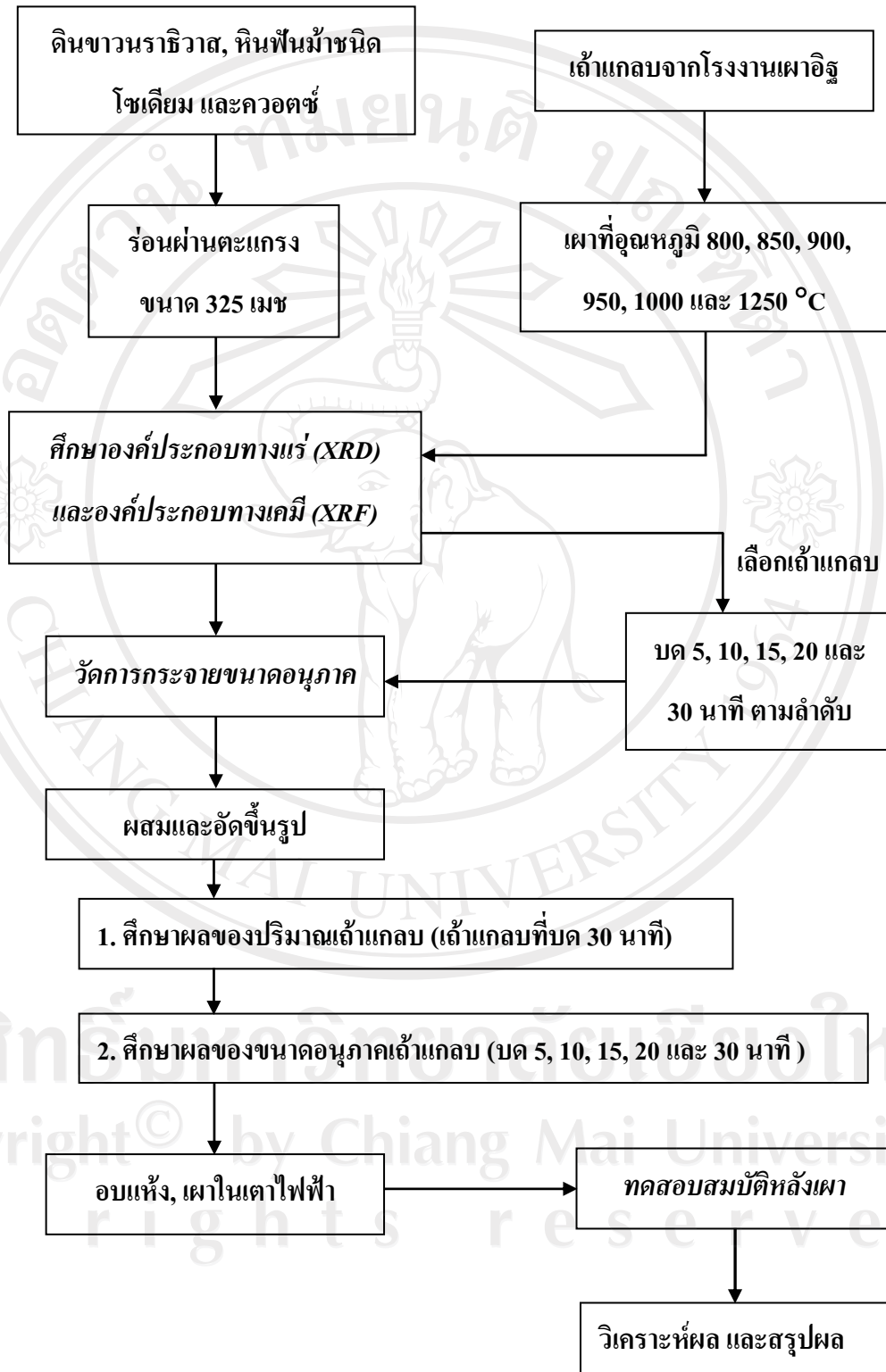
1. บีกเกอร์ ขนาด 25, 100 และ 250 มิลลิลิตร
2. ช้อนตักสาร
3. กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร
4. ถาดอะลูมิเนียม
5. แม่พิมพ์โลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร
6. เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.001 กรัม รุ่น HF-300G ของบริษัท AC ADAPTER
7. ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 60 เมช (Mesh) มาตรฐาน ASTM ของบริษัท Retsch
8. ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 325 เมช มาตรฐาน ASTM ของบริษัท Retsch
9. หม้อบด (Pot Mill) พร้อมลูกบด
10. เครื่องบดความเร็วสูง (High Speed Mill)
11. เครื่องอัด Hydraulic ขนาด 30 ตัน ของบริษัท M.S. INDUSTRIAL SUPPLIES
12. ตู้อบไฟฟ้าห้องปฏิบัติการ
13. เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม สำหรับชั่งน้ำหนักในน้ำ

14. เครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer, Diffraction) รุ่น Mastersizer S ของบริษัท Malvern
15. เตาเผา (Furnace) รุ่น BWF 11/13/902 PX ของบริษัท Carbolite
16. เครื่องวัดสี X-Rite CDM ระบบ CEI LAB (1976)
17. เครื่องวัดการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (Dilatometer) L75 บริษัท Linseis Messagerate GMBH
18. เครื่องวัดความแข็งแรง (Compression Test Machine) รุ่น 100 kN Capacity (10000 Kgf) บริษัท WYKEHAM FARRANCE ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
19. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) รุ่น JEM-2010 บริษัท JEOL สถาบันบริการวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
20. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffractometry) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 วัตถุดิบ และสารเคมี

1. ดินขาวนาธิวาส จำหน่ายโดยบริษัท Northern Chemical and Glassware จำกัด
2. หินฟีนม้าชนิดโซเดียม (Sodium Feldspar) จำหน่ายโดยบริษัท Clay and Mineral (Thailand) จำกัด
3. ควอตซ์ จำหน่ายโดยบริษัท ปะการังซัพพลายเออร์ จำกัด
4. แก้วแกลบ จากโรงงานเผาอิฐ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
5. กรดไฮโดรฟลูออริก (HF)
6. น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)

3.3 แผนการทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงแผนการทดลอง

3.4 การเตรียมวัตถุดิบ

3.4.1 การเตรียมดินขาว หินฟันม้าชนิดโซเดียม และควอตซ์

ทำการเตรียมโดยการนำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาบดแบบแห้งด้วยหม้อบดขนาด 1.00 กิโลกรัม เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช แล้วเก็บไว้ในถุงกันความชื้น

3.4.2 การเตรียมเถ้าแกลบ

(1) การเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบ

นำเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานเผาอิฐมาเผาที่อุณหภูมิ 800, 850, 900, 950, 1000 และ 1250 °C จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด 5 ครั้ง และกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออก แล้วอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(2) การศึกษาผลของปริมาณเถ้าแกลบ

นำเถ้าแกลบที่เผาที่อุณหภูมิ 1250 °C ที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาบดด้วยเครื่องบดความเร็วสูงเป็นเวลา 30 นาที แล้วคัดขนาดโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช เก็บไว้ในถุงกันความชื้น

(3) การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบ

เตรียมเถ้าแกลบให้มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน คือนำเถ้าแกลบที่เผาที่อุณหภูมิ 1250 °C และผ่านการอบแห้งแล้ว มาบดด้วยเครื่องบดความเร็วสูงเป็นเวลา 5, 10, 15, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช เก็บในถุงกันความชื้น จะได้เถ้าแกลบที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน

3.5 การเตรียมชิ้นทดสอบ

3.5.1 การศึกษาผลของปริมาณเถ้าแกลบ

- (1) นำวัตถุดิบแต่ละชนิดที่เตรียมไว้มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1
- (2) ทำการผสมแบบเปียกในหม้อบดขนาด 1.00 กิโลกรัม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้ว จึงบดให้แตกเป็นผงละเอียดเพื่อนำไปขึ้นรูปต่อไป
- (3) ผงดินละเอียดที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด โดยนำมาผสมน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 7 ให้เข้ากัน แล้วหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช เพื่อให้ได้เม็ดดิน (แกรนูล, Granule) ที่มีขนาดสม่ำเสมอและมีความชื้นเท่ากันทุกส่วน
- (4) นำแกรนูลที่เตรียมได้มาอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบทิศทางเดียว (Uniaxial Pressing) ส่วนผสมละ 20 ชิ้น ดังนี้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัสดุดิบแต่ละชนิดในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

ส่วนผสม (Mix no.)	ดินขาวนาฬิกา	หินฟันม้าชนิดโซเดียม	ควอตซ์	เถ้าเคลบ (บด 30 นาที)
PR-1	50	25	25	0
PR-2	50	25	20	5
PR-3	50	25	15	10
PR-4	50	25	10	15
PR-5	50	25	5	20
PR-6	50	25	0	25

ตารางที่ 3.2 ขนาดอนุภาคเริ่มต้นของเถ้าเคลบที่เติมในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

ส่วนผสม (Mix no.)	เวลาในการบดเถ้าเคลบ (นาที)
PS-1	30
PS-2	20
PS-3	15
PS-4	10
PS-5	5

1) รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร ใช้แกรนูล 7 กรัม อัดด้วยความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi.) เป็นเวลา 1 นาที จำนวน 10 ชิ้น สำหรับการทดสอบสมบัติความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความทนแรงอัด และการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (โดยการเตรียมชิ้นทดสอบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 2 เซนติเมตร

2) แผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 เซนติเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร ใช้แกรนูล 5 กรัม อัดด้วยความดัน 1000 psi. เป็นเวลา 1 นาที จำนวน 10 ชิ้น สำหรับการทดสอบสมบัติการหดตัว ความขาวสว่าง และความโปร่งแสง

(5) นำชิ้นทดสอบที่ทำการขึ้นรูปแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C โดยมีอัตราการให้ความร้อน 2 °C ต่อนาที ขึ้นไฟ 60 นาที

3.5.2 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเถ้าเคลือบ

ทำการเตรียมส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วนร้อยละ โดยน้ำหนัก ดังนี้ ดินขาวนาธาวิสาสร้อยละ 50 หินฟืนม้าชนิดโซเดียมร้อยละ 25 และเถ้าเคลือบร้อยละ 25 โดยให้มีขนาดของเถ้าเคลือบแตกต่างกันในแต่ละส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 2 แล้วทำการเตรียมชิ้นงานตาม 3.5.1 ขั้นตอนที่ (1)-(5) ตามลำดับ

3.6 การทดสอบลักษณะของวัตถุดิบ

ทำการศึกษาลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาทดลอง ดังนี้

3.6.1 การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

นำวัตถุดิบทั้งหมดมาทำการหาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน โดยการนำผงตัวอย่างของวัตถุดิบแต่ละชนิดมาบดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช แล้วนำมาอัดลงใน Plate สำหรับใส่สารตัวอย่าง นำเข้าเครื่อง ทำการเก็บข้อมูลจากมุม 2 θ ตั้งแต่ 10° ถึง 60°

3.6.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

นำวัตถุดิบทั้งหมดมาทำการหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ โดยวิธีการวิเคราะห์จะนำสารตัวอย่างไปหลอมที่อุณหภูมิสูง สารตัวอย่างที่ผ่านการหลอมจะทำให้เป็นแผ่นกลมขนาดพอเหมาะที่จะนำไปวางในช่องสำหรับวางสาร หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการวิเคราะห์ด้วยการยิงรังสีเอกซ์ โดยธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างจะดูดซับรังสีเอกซ์ และทำการปล่อยรังสีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ออกมาตามลักษณะเฉพาะของธาตุนั้นๆ และจะถูกรวบรวมโดยหัววัดของเครื่องมือ

3.6.3 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer, Diffraction) โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ

1. Range lens : 300 RF mm
2. He-Ne laser source, λ 633 nm., Beam length 2.40 mm.
3. Particle size range : 0.05-900 μ m
4. Dispersion medium : deionized water

5. Laser power 82.5

และทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1. นำตัวอย่างที่เตรียมได้แล้วมาประมาณ 1 กรัม
2. นำบีกเกอร์ที่ใส่น้ำปราศจากอ็อกซิเจนประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วนำมา Calibrate เครื่องกวาดด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที (rpm) จนกระทั่งค่าปริมาณอนุภาคเท่ากับศูนย์
3. ใส่ตัวอย่างลงในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำจนปริมาณอนุภาคมีค่าประมาณร้อยละ 15 จึงทำการวัดการกระจายขนาดอนุภาค

3.7 การทดสอบสมบัติของชิ้นงานหลังเผา

ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาแล้ว จะนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.7.1 การหาค่าการหดตัว (ASTM C326-82)

สามารถหาค่าการหดตัวหลังเผาได้ ดังนี้

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบหลังจากการอัดขึ้นรูป บันทึกค่าเป็น L_0
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบหลังเผา บันทึกค่าเป็น L_1
3. คำนวณหาร้อยละการหดตัวของชิ้นทดสอบ ดังนี้

$$\% \text{ Linear Shrinkage, } S = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{ Volume Shrinkage} = \left[1 - \left(1 - \frac{S}{3} \right)^3 \right] \times 100 \quad (3.2)$$

3.7.2 การหาค่าความหนาแน่น (Density) (ASTM C373-88)

การหาความหนาแน่นในงานเซรามิก สามารถทำได้หลายวิธี และแบ่งออกเป็นหลายแบบ ซึ่งส่วนมากแล้วจะหาค่าความหนาแน่นโดยใช้หลักอาร์คิมิดีส และแสดงค่าในสองแบบ คือ

1. ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) เป็นความหนาแน่นของวัตถุทั้งชิ้นที่รวมทั้งรูพรุนปิดและรูพรุนเปิดที่บริเวณผิวด้วย
2. ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) เป็นความหนาแน่นของวัตถุทั้งชิ้นที่ไม่รวมรูพรุนเปิดภายนอก

ซึ่งความหนาแน่นทั้ง 2 แบบ สามารถหาได้ ดังนี้

- (1) นำชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอกที่ผ่านการเผาแล้วมาอบให้แห้ง และทิ้งไว้ให้น้ำหนักคงที่ แล้วจึงชั่งน้ำหนักแห้ง บันทึกค่าเป็น D
- (2) ต้มตัวอย่างชิ้นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ให้น้ำท่วมชิ้นทดสอบตลอดเวลา) แล้วแช่ทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักในน้ำ บันทึกค่าเป็น S
- (3) หลังจากชั่งน้ำหนักในน้ำแล้ว นำมาซับน้ำบริเวณผิวชิ้นทดสอบออกมา แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกค่าเป็น M
- (4) นำค่าที่ได้มาประมวลผลเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ดังนี้

$$\text{Exterior Volume, } V, (\text{cm}^3) = M \quad (3.3)$$

$$\text{Volume of Open Pore, } V_{op}, (\text{cm}^3) = M - D \quad (3.4)$$

$$\text{Volume of impervious Portions, } V_{ip}, (\text{cm}^3) = D - S \quad (3.5)$$

$$\text{Bulk Density, } (g/\text{cm}^3) = \frac{D}{V} \quad (3.6)$$

$$\text{Apparent Density, } (g/\text{cm}^3) = \frac{D}{V_{ip}} \quad (3.7)$$

3.7.3 การหาค่าความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity) และการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) (ASTM C373-88)

ความพรุนตัวปรากฏและค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน สามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการหาความหนาแน่น ดังนี้

$$\% \text{ Apparent Porosity} = \frac{M - D}{V} \times 100 \quad (3.8)$$

$$\% \text{ Water Absorption} = \frac{M - D}{D} \times 100 \quad (3.9)$$

3.7.4 การหาค่าความขาวสว่าง (Brightness)

วัดความขาวสว่างของชิ้นทดสอบด้วยระบบ CIELAB (1976) ด้วยเครื่อง X-Rite CDM โดยนำชิ้นทดสอบหลังเผามาวางในแนวระนาบ แล้วใช้เครื่องวัดสี วัดความขาวสว่างของชิ้นงาน โดยเครื่องจะทำการวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา และแสดงผลค่าเฉลี่ยเป็น L^* , a^* และ b^* โดยมีสถานะของเครื่องในขณะทดลอง ดังนี้

Light Source : Gas filled Tungsten lamp ~ 2856 K (Corrected for D_{65} illuminant)

Spectral response : CIE Standard Observer for D_{65} illuminant and 10° Observer

3.7.5 การหาค่าความโปร่งแสง (Translucency)^[73]

หาค่าความโปร่งแสงด้วยวิธีแบบ Contrast Ratio โดยการวัดค่าความเข้มแสงหรือความสว่างที่สะท้อนกลับออกมาของวัสดุเมื่อตกกระทบพื้นหลังสีขาวและสีดำ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความโปร่งแสง ดังนี้

- (1) วัดความหนาของชิ้นทดสอบ บันทึกค่าเป็น L
- (2) นำชิ้นงานที่ต้องการวัดความโปร่งแสงมาวางบนพื้นหลังสีขาว แล้ววัดความขาวสว่างด้วยเครื่อง X-Rite CDM อ่านค่า L^* แล้วบันทึกค่าเป็น Y_w
- (3) เปลี่ยนพื้นหลังเป็นสีดำ วัดความขาวสว่าง อ่านค่า L^* แล้วบันทึกค่าเป็น Y_b
- (4) คำนวณค่าความโปร่งแสงได้ดังนี้

$$\text{Contrast Ratio} = 1 - \left(1 - \frac{Y_b}{Y_w} \right)^{1/L} \quad (3.10)$$

3.7.6 การทดสอบความทนแรงอัด (Compressive Strength) (ASTM C773-88)

ทำการทดสอบความทนแรงอัดด้วยเครื่อง Compressive Test Machine ขนาด 10 ตัน โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร มาวางตรงกลางของฐานรองของเครื่องมือ แล้วจึงเลื่อนหัวกดลงด้วยอัตราเร็ว 2 เซนติเมตรต่อนาที จนกระทั่งเกิดการแตกหัก ซึ่งสังเกตจากการเกิดรอยแตกด้านข้างของชิ้นทดสอบ หรือการแตกตามแนวตั้งของชิ้นทดสอบ แล้วทำการอ่านและบันทึกค่า Division ของ Proving Ring ที่ใช้นำมาคำนวณหาความทนแรงอัด ดังนี้

1. สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Chart) เพื่อทำการเทียบค่า Total Load ที่ใช้ในการกดอัดจากสมการที่ได้จากกราฟ

2. คำนวณความทนแรงอัด ดังสมการ

$$C = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

เมื่อ C = ความทนแรงอัดของชิ้นทดสอบ (psi หรือ MPa)

P = Total Load ของชิ้นทดสอบ (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (cm^2)

3.7.7 การหาค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (Thermal Expansion) (ASTM C372-94)

ทำการหาค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนและสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชิ้นทดสอบ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 2 เซนติเมตร แล้วขัดผิวให้เรียบ แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (Dilatometer) รุ่น L75 ซึ่งมีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. วัดความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ ด้วยเวอร์เนียมิเตอร์ บันทึกค่าเป็น L_0
2. วางชิ้นทดสอบลงในช่องสำหรับวางชิ้นงานแล้วต่อแท่งแก้วชนิด Fused silica ให้สัมผัสกับปลายชิ้นทดสอบ (Fused silica มีขยายตัว $\alpha = 0.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ที่ $25\text{-}1200 \text{ } ^\circ\text{C}$) จากนั้นนำไมโครมิเตอร์มาต่อที่ปลายอีกด้านหนึ่งเพื่อวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน

3. ตั้งค่าต่างๆ ของเครื่อง Dilatometer ได้แก่

- (1) ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (L_0)

- (2) อัตราการให้ความร้อน = $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ต่อนาที

- (3) อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการวัด = $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$

- (4) เวลาในการเก็บข้อมูล = 100 นาติ (การเก็บข้อมูลในขณะที่เย็นตัว ให้ตั้งเวลามากขึ้นตามต้องการและตั้งอุณหภูมิสูงสุดมากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการวัดจริงประมาณ $100 \text{ } ^\circ\text{C}$)

หมายเหตุ เครื่องมือจะทำการเก็บข้อมูลจนกระทั่งสิ้นสุดเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งก่อน ระหว่างเวลาในการเก็บข้อมูลและอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ

- (5) เลือกช่องทางสำหรับการเก็บข้อมูล

4. หลังจากตั้งค่าต่างๆ แล้ว ทำการทดสอบโดยการเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติจนเสร็จ ซึ่งจะได้ค่าร้อยละของการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (% Expansion) แล้วนำค่าที่ได้จากเครื่องมือมาหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (α) ดังนี้

$$\alpha, (^{\circ}\text{C}^{-1}) = \frac{0.01P}{T_2 - T_1} \quad (3.12)$$

$$P = \frac{L_2 - L_1}{L_0} \times 100 + A \quad (3.13)$$

เมื่อ P = ร้อยละของการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ T_1 ถึง T_2
 T_1 = อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำการวัดการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 T_2 = อุณหภูมิสูงสุดที่ทำการวัดการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 L_0 = ความยาวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ T_0 (20°C - 30°C)
 L_1 = ความยาวของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ T_1
 L_2 = ความยาวของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ T_2
 A = Instrument Correction

3.7.8 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค

โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุประเภทเซรามิก สามารถศึกษาได้โดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ดังนี้

1. ตัดหรือหักชิ้นทดสอบให้มีขนาดเท่ากับขนาดของ Stub
2. นำไปขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทรายขัดเหล็ก แล้วจึงขัดด้วยผงอะลูมินาอีกครั้ง จากนั้นนำไปแช่ในกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 10 % เป็นเวลา 5 นาที
3. นำชิ้นทดสอบที่แช่ในกรดแล้ว มาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วซับน้ำที่ผิวออกและอบให้แห้ง
4. ติดชิ้นทดสอบด้านที่ไม่ต้องการศึกษาด้วยเทปคาร์บอนบน Stub แล้วนำไปเคลือบทอง เพื่อลดการสะสมประจุที่ผิวชิ้นทดสอบ (Charging) ซึ่งทำให้เกิดเป็นจุดสว่าง
5. นำ Stub เข้าเครื่อง SEM เพื่อทำการศึกษาโครงสร้างที่สนใจ

3.7.9 การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาแล้ว จะถูกบดให้เป็นผงละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช จากนั้นนำมาหาลักษณะทางแร่ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน โดยผงละเอียดของชิ้นทดสอบแต่ละส่วนผสมจะถูกอัดลงใน Plate สำหรับใส่สารตัวอย่าง แล้วนำเข้าเครื่องและทำการเก็บข้อมูลจากมุม 2θ ตั้งแต่ 10° ถึง 60°