

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุดิบเซรามิก

วัตถุดิบที่สำคัญในทางเซรามิก ได้แก่ วัตถุดิบกลุ่มดินหรือวัตถุดิบที่มีความเหนียว เช่น ดินขาว (Kaolin) ดินเหนียว (Ball clay) และวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว ได้แก่ ตัวช่วยหลอม เช่น เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นต้น และวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดเนื้อแก้ว เช่น ควอตซ์ (Quartz) หรือ ซิลิกา (Silica) เป็นต้น

ดินขาว (Kaolin) (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2547)

คำว่า kaolin เป็นคำที่มาจากภาษาจีน คำว่า kaoling ซึ่งแปลว่าภูเขาสูง ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของดินขาว ในประเทศอังกฤษ ดินขาว เรียกว่า china clay ในสหรัฐอเมริกา เรียกดินที่หลังจากเผาแล้วมีสีขาวนี้ว่า เคโอลิน

ดินขาวเป็นดินที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ มีสีขาวทั้งขณะแห้งและหลังจากเผา นอกจากจะใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นแล้วยังใช้เป็น ฟิลเลอร์ และโคทติ้ง (Filler, coating) ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษและยาง ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ เป็นต้น ซึ่งการใช้ดินขาวในอุตสาหกรรมต่าง มีปริมาณแตกต่างกันออกไป เช่น

เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นสุกัณฑ์ร้อยละ 20-30

เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นลูกถ้วยไฟฟ้าร้อยละ 17-39

เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นกระเบื้องผนังร้อยละ 0-47

เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นกระเบื้องปูพื้นร้อยละ 20-30

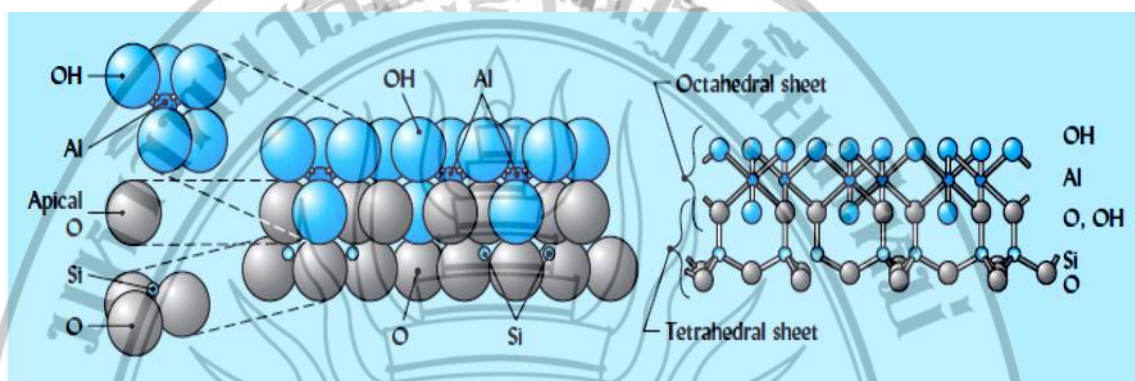
เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นถ้วยชามร้อยละ 18-33

ดินขาวบริสุทธิ์มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ คิดเป็น Al_2O_3 ร้อยละ 39.8 SiO_2 ร้อยละ 46.3 และ H_2O ร้อยละ 13.9

โครงสร้างของแร่ดินขาวประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น Disilicates เกิดจากการเชื่อมโยงกันของออกซิเจนกับออกซิเจนอะตอมสามคู่ของ tetrahedron ของแต่ละหน่วย การเชื่อมโยงกันเป็นไปอย่างต่อเนื่องในลักษณะที่เป็นแผ่น (Sheet) ซึ่งจะมีอัตราส่วนของ Si:O ในอัตราส่วน 2:5 รูปร่างของ tetrahedral sheet จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง ตรงกลางของแต่ละเซลล์เป็นโพรงใหญ่

ส่วนที่สอง คือ Octahedral sheet ประกอบด้วยแต่ละคู่ของ octahedral-packed OH sheets ซึ่งมีอนุมูลบวกอยู่ระหว่าง octahedron เหล่านั้น มาเรียงซ้อนกันอย่างเหมาะสม พวกอนุมูลบวกอาจเป็น Al^{+3} , Fe^{+2} หรือ Mg^{+2} ในดินซึ่งมีคุณภาพสูงเราจะพบแต่ Al^{+3} นอกจากนี้ octahedral sheet ยังมีโพรงเช่นเดียวกับ tetrahedral sheet ในโพรงเหล่านี้พวกอนุมูลบวกสามารถเข้าไปอยู่ได้ในหนึ่งเซลล์ถ้ามีอนุมูลบวกเข้าไปอยู่เต็มที่ 6 ตัว เรียกแร่เหล่านี้ว่า trioctahedral และถ้ามีอนุมูลบวกเข้าไปอยู่เพียง 2 ใน 3 หรือ 4 ตัว เรียกแร่เหล่านี้ว่า dioctahedral

Tetrahedral sheet (T) กับ octahedral sheet (O) เมื่อจับกันอย่างเหมาะสมจะกลายเป็นหน่วยพื้นฐาน (layers typical) แร่ดินอาจมีการจับกันแบบ T:O (1:1) หรือ T:O:T (1:2) ซึ่งแร่ดินขาวจะจับกันแบบ O:T ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงแบบ O:T หรือ 1:1 ของแร่ดิน (Brady, N. C and Weil, R. R., 1995)

แร่ดินมีหลายอย่างด้วยกัน ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างกัน แต่มีสูตรเคมีเหมือนกัน คือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ทำให้มีชื่อเรียกต่างกัน ได้แก่ แร่ kaolinite มีโครงสร้างผลึกเป็น triclinic แร่ dickite มีโครงสร้างผลึกเป็น monoclinic แร่ nacrite มีโครงสร้างผลึกเป็น orthorhombic เป็นต้น สำหรับดินขาว จะมีแร่ kaolinite เป็นองค์ประกอบหลัก

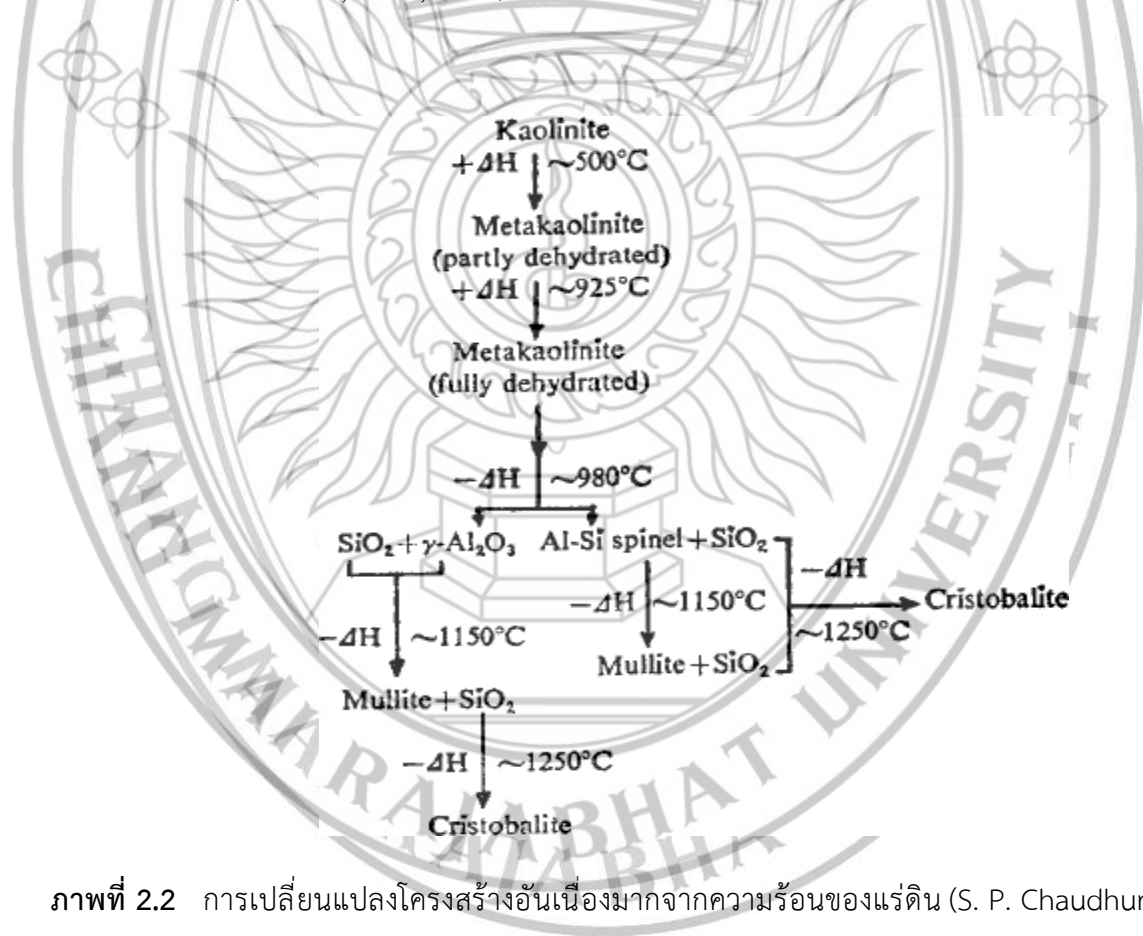
ในธรรมชาติ ดินขาวมักจะมีส่วนประกอบต่างกันไปด้วยเหตุผล 2 ประการ

1. เนื่องจากในโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่กันของโลหะที่มีจุบวก
2. เนื่องจากมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ ได้แก่ quartz, feldspar, rutile, pyrite, tourmaline, zircon, hematite, magnetite, fluorite, muscovite เป็นต้น

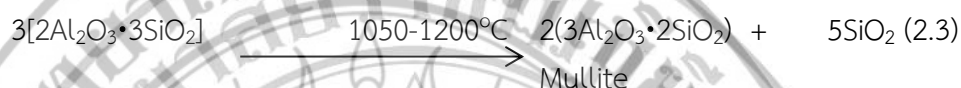
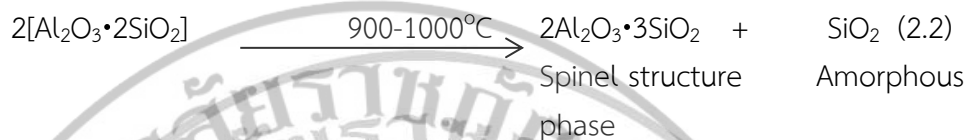
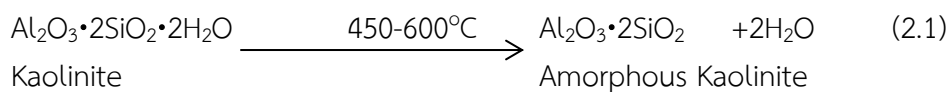
ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดินขาว มีความสำคัญเป็นตัวช่วยให้ทราบถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินขาวนั้น เช่น ถ้ามีปริมาณซิลิกา (SiO_2) แสดงให้รู้ว่าจะทนไฟมาก เพราะซิลิกามีจุดหลอมตัวประมาณ $1,700^\circ\text{C}$ หรือ อะลูมินา (Al_2O_3) ก็เช่นเดียวกัน มีจุดหลอมเหลวสูงมากกว่า $2,000^\circ\text{C}$ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญอื่น ๆ อีก ได้แก่ Na_2O , K_2O , CaO , MgO ทั้งหมดนี้ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมหรือฟลักซ์ (Flux) ส่วน Fe_2O_3 และ TiO_2 เป็นตัวทำให้เกิดสีหลังเผา หรือค่าความสูญเสียหลังเผหากมีค่าประมาณร้อยละ 13.9 ก็น่าจะเป็นตัวบอกได้ว่าตัวอย่างที่กำลังศึกษาอยู่น่าจะเป็นแร่ดินขาว

การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นเดียวกัน เช่น มีแร่ดินเคโอลินต์ (kaolinite) และ มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ปริมาณมากก็พอจะบอกได้ว่าดินนั้นน่าจะมีคามเหนียวดีซึ่งจะทำให้แข็งแรงเมื่อแห้งสูง มีแร่ไมกา (Mica) และเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ปริมาณมาก แสดงว่ามีความเป็นฟลักซ์ จุดสุกตัวของดินน่าจะต่ำ เช่นเดียวกับแคลไซต์ (Calcite) และโดโลไมต์ (Dolomite) ปริมาณน้อยก็ประพจน์ตัวเป็นฟลักซ์เช่นกัน และถ้ามีควอตซ์ (Quartz) มาก นอกจากจะลดความเหนียวแล้วยังช่วยเพิ่มความทนไฟ

ดินขาวเมื่อได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี กล่าวคือ จะมีการสูญเสียไนโตรเจนในโครงสร้าง เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 500°C โดยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลจาก kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ไปเป็น metakaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) โดยการสูญเสียกลุ่ม OH^- ในตำแหน่ง octahedral sheet ส่งผลให้ดินขาวมีความพรุนตัว metakaolinite เป็นโมเลกุลที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากสูญเสียความเป็นผลึก เมื่อเผาต่อไป ที่อุณหภูมิราว 980°C จะเกิดการสูญเสียโมเลกุลซิลิกาในโครงสร้าง เกิดเป็นสปินเนล (Spinel, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) เมื่อเผาต่อไปด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นประมาณ $1,150^{\circ}\text{C}$ ก็จะมีการสูญเสียซิลิกาเกิดเป็นผลึกของมัลไลต์ (Mullite, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) พร้อมกับเกิดเนื้อแก้วจากการหลอมของซิลิกา และซิลิกาบางส่วนอาจมีการตกผลึกเกิดเป็นคริสโตบาไลต์ (Cristobalite) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงถึง $1,200^{\circ}\text{C}$ ปฏิกิริยายังคงดำเนินต่อไปแต่จะเป็นในรูปการประสานเนื้ออนุภาคเข้าด้วยกัน ซึ่งส่งผลให้พูนลดน้อยลง ทั้งสามารถแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของแร่ดินขาวอันเนื่องมาจากความร้อน ดังภาพที่ 2.2 และสมการ 2.1-2.4 (Bauleke, M. P., 1978)



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอันเนื่องมาจากความร้อนของแร่ดิน (S. P. Chaudhuri, S.P., 1977)



เฟลด์สปาร์ (Feldspar) (ปริดา พิมพ์ขาวขำ, 2547)

เฟลด์สปาร์ หรือมีชื่อเรียกอีกชื่อว่า หินฟันม้า เป็นแร่ที่มีความสำคัญมากในการผลิตภัณฑ์เซรามิก เนื่องจากเป็นตัวช่วยหลอม เพื่อทำให้เกิดเนื้อแก้ว (Glassy phase) ในระหว่างการเผา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง และมีสมบัติทางแสง ได้แก่ การโปร่งแสง

เฟลด์สปาร์เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลและอัลคาไลเอิร์ท โดยเฉพาะสารประกอบของ Na, K และ Ca พบมากและใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิก ในธรรมชาติมักจะไม่พบเฟลด์สปาร์ที่มี Na, K และ Ca อย่างใดอย่างหนึ่งหรือบริสุทธิ์ มักจะพบอยู่ร่วมกัน

เฟลด์สปาร์เป็นแหล่งให้สารประกอบอัลคาไลในเนื้อวัสดุดิบ ซึ่งมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับซิลิกา เพื่อเกิดเป็นเนื้อแก้ว ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งให้ซิลิกา และอะลูมินา

เฟลด์สปาร์ที่พบมากมี 3 ชนิด ได้แก่

- 1) โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ หรือ ออร์โทเคลส (orthoclase) มีสูตรเคมี เป็น $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
- 2) โซเดียมเฟลด์สปาร์ หรือ แอลไบต์ (Albite) มีสูตรเคมี เป็น $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
- 3) แคลเซียมเฟลด์สปาร์ หรือ อะนอร์ไทต์ (Anorthite) มีสูตรเคมี เป็น $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

โครงสร้างของเฟลด์สปาร์เป็นร่างแห 3 มิติ เกิดจากการเชื่อมโยงกันของออกซิเจน ทั้ง 4 อะตอมของ oxygen-silicon tetrahedron นอกจากนี้ Al^{+3} ยังเข้าไปแทนที่ Si^{+4} บางส่วน และช่องว่างในโครงสร้างร่างแหยังถูก K^+ , Na^+ , Ca^{+2} เข้าไปอยู่ เนื่องจาก Na^+ และ Ca^{+2} มีขนาดใกล้เคียงกัน มันจึงสามารถละลายกันได้ดี ส่วน K^+ มีขนาดใหญ่มาก สารประกอบของมันจึงละลายกับ Na^+ และ Ca^{+2} ได้เพียงบางส่วน ซึ่งเฟลด์สปาร์ที่มี Na^+ และ Ca^{+2} เป็นองค์ประกอบจะมีโครงสร้างเป็น triclinic ส่วนเฟลด์สปาร์ที่มี K^+ เป็นองค์ประกอบ จะมีโครงสร้างเป็น monoclinic

แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จะสลายตัวได้ลิวไซต์ (Leucite, $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$) และแก้วที่อุณหภูมิ $1,100^\circ\text{C}$ และลิวไซต์ยังสามารถทนความร้อนได้ถึงอุณหภูมิ $1,500^\circ\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบกับแร่โซดา

เฟลด์สปาร์ ซึ่งจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิ $1,100^{\circ}\text{C}$ แสดงว่าที่อุณหภูมิเดียวกันแร่โซดาเฟลด์สปาร์มีความเหนียวหรือการเคลื่อนไหวดีกว่าแร่โพแทสเฟลด์สปาร์

ซิลิกา (SiO_2)

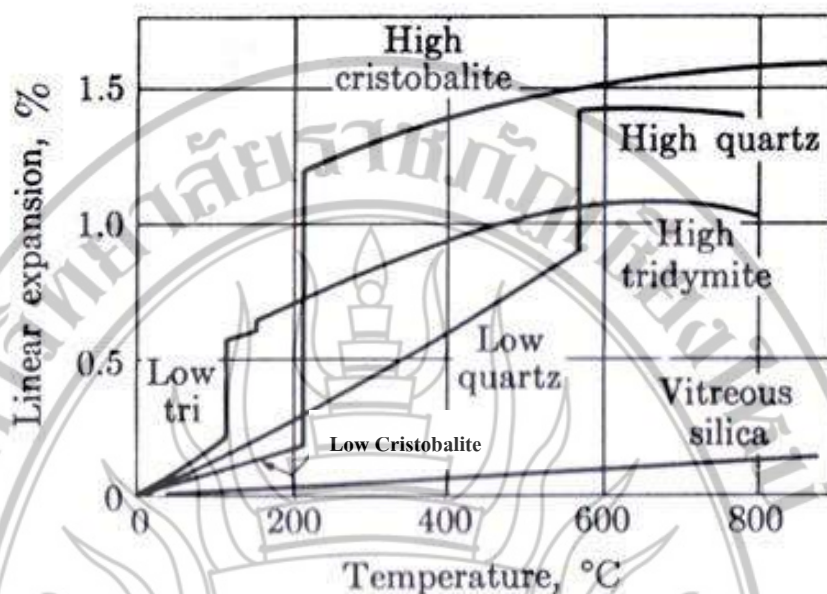
ในธรรมชาติมักพบซิลิกาอยู่ในรูปของควอตซ์ แสดงให้เห็นรูปผลึกอย่างสมบูรณ์และมีความบริสุทธิ์สูง เมื่อได้รับความร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวภายในโครงสร้าง เปลี่ยนรูปผลึกไปเป็นอีกรูปผลึกหนึ่ง รูปผลึกแต่และรูปผลึกจะคงสภาพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เรียกว่า inversion ซึ่งมี 2 แบบด้วยกัน ได้แก่ แบบที่หนึ่งซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของอะตอมอย่างมาก และแบบที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว มีผลต่อพันธะเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงแบบที่สองนี้สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ง่าย แต่แบบแรกจะเปลี่ยนแปลงกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ต้องมีการกระทำที่รุนแรง

รูปร่างของควอตซ์ที่อุณหภูมิต่ำ มีโครงสร้างของอะตอมจับกันเป็นเกลียวซึ่งเกิดจากการจับกันทุกมุมของพีระมิดฐานสามเหลี่ยมยอดแหลมของ Si และ O เมื่อควอตซ์ถูกเผาถึงอุณหภูมิ 573°C ควอตซ์จะเปลี่ยนรูปร่างจากรูปร่างที่อุณหภูมิต่ำไปเป็นรูปร่างที่อุณหภูมิสูงมีขนาดใหญ่คือ เกิดการขยายตัวนั่นเอง

คริสโตบาไลต์ (Cristobalite) เป็นรูปร่างหนึ่งของควอตซ์ผลิตได้โดยการทำให้ควอตซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงคริสโตบาไลต์ มีโครงสร้างหลวมกว่าควอตซ์ จึงมีความหนาแน่นน้อยกว่าควอตซ์ คริสโตบาไลต์ผลิตได้โดยการเผาควอตซ์กับสารประกอบที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ สารนี้มักใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 2

คริสโตบาไลต์ ที่อุณหภูมิต่ำจะเปลี่ยนรูปร่างไปเป็น คริสโตบาไลต์ที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ $200-280^{\circ}\text{C}$ คริสโตบาไลต์ที่อุณหภูมิสูงจะมีรูปร่างที่หลวมกว่าจึงมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า กล่าวคือมีการขยายตัว

ทรไคไมต์ (Tridymite) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของควอตซ์ ซึ่งสามารถผลิตได้จากควอตซ์ที่มีสิ่งสกปรกเจือปนและใช้สารประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกลายเป็นแก้วเข้าช่วยเร่งอีกด้วย ทรไคไมต์ มีโครงสร้างหลวมกว่าควอตซ์มาก แร่นี้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่อุณหภูมิสูงที่สองอุณหภูมิ คือ 117°C แล 163°C ในบางกรณีจะพบการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ 400°C และ 500°C ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนโครงสร้างของซิลิกาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Dinsdale, A. 1986)

ผลิตภัณฑ์เซรามิก (Ceramic products)

ผลิตเซรามิกหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า “เซรามิก” ก็คือ ชิ้นงานหรือของอะไรก็ตามที่ผลิตด้วยดินทั้งหมด หรือใช้ดินเป็นส่วนประกอบบางส่วนนำมาปั้น หรือขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่นปั้นเป็นรูปสัตว์ เครื่องมือ เครื่องใช้ สิ่งของ รวมถึงพวกเครื่องประดับ จากนั้นทิ้งให้แห้งแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงคงทนไม่แตกหักง่าย ซึ่งการทำเซรามิกแบบนี้นิยมเรียกว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional ceramics) (สุรพล ปลื้มใจ, 2543)

ต่อมาเทคโนโลยีการผลิตได้พัฒนาขึ้น ความรู้ด้านผลิตภัณฑ์เซรามิกมีมากขึ้น การให้คำจำกัดความผลิตภัณฑ์เซรามิกอย่างเดิมจึงไม่เพียงพอ ดังนั้นคำจำกัดความผลิตภัณฑ์เซรามิกในปัจจุบันก็คือผลิตภัณฑ์อะไรก็ตามที่ผลิตหรือทำจากวัสดุที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน และรวมไปถึงพวก แก้ว ซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้วัตถุดิบที่ใช้อาจไม่ใช่ดิน หมายความว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกในปัจจุบันอาจผลิตหรือทำด้วยวัตถุดิบในพวกดิน สารอนินทรีย์คือพวกแร่ธาตุต่าง ๆ อาจทำมาจากพวกอโลหะหรือนำวัตถุดิบหลาย ๆ อย่างมาผสมกันก็ได้ เราเรียกผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้ว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ (New ceramics)

การจำแนกหรือการแบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์เซรามิก สามารถให้หลักเกณฑ์หลากหลายในการแบ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้หรือความเหมาะสมกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทนั้น ดังนี้

1. การจำแนกชนิดผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยอาศัยการมีหรือไม่มีเคลือบ แบ่งเป็น
 - 1.1 ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลือบ ได้แก่ กระถางปลูกต้นไม้ คนโท หม้อน้ำ ฯลฯ
 - 1.2 ผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบ ได้แก่ แจกัน ถ้วยกาแฟ โอ่งมังกร ถ้วย-จาน ฯลฯ

2. การจำแนกโดยการพิจารณาสีของเนื้อดินที่นำมาทำผลิตภัณฑ์และผ่านการเผามาแล้ว
- เช่น
- 2.1 ผลิตภัณฑ์ที่มีสีของเนื้อดินออกสีน้ำตาลหรือแดง เช่น กระถาง คนโท
 - 2.2 ผลิตภัณฑ์ที่มีสีของเนื้อดินเป็นสีขาว เช่น ผลิตภัณฑ์พวกถ้วย-ชาม ถ้วยกาแฟ เป็นต้น
3. การแบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยอาศัยประโยชน์การนำไปใช้งาน สามารถแบ่งได้
- เป็น
- 3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้บนโต๊ะอาหาร (Tableware)
ผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดนี้ ตัวอย่างเช่น จาน ชาม ถ้วยกาแฟ โถน้ำชา ถ้วยใส่ขนม ซ้อนเซรามิก เป็นต้น ซึ่งใช้สำหรับเป็นภาชนะบรรจุ หรือใส่อาหาร ปกติมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวสะอาดหรืออาจตกแต่งด้านนอกของผลิตภัณฑ์พวกนี้ด้วยลวดลายต่าง ๆ เช่น ลวดลายดอกไม้ ลวดลายการ์ตูน หรือปิดทับด้วยน้ำยาเคลือบที่มีสีสันต่าง ๆ ก็ได้
 - 3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เกี่ยวกับการทำอาหาร (Cookware)
ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้เป็นที่นิยมในแถบประเทศยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น และปัจจุบันในประเทศไทยมีการนำมาใช้งานบ้างแล้ว ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีคุณสมบัติทนทานต่อความร้อน เพราะต้องสัมผัสกับความร้อน หรือเปลวไฟโดยตรง มีความแข็งแรงทนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว คือทนต่อการทำให้ร้อนอย่างรวดเร็วและทนต่อการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วซ้ำและซ้ำอีกได้ดี ตัวอย่างเช่นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้กับเตาอบไฟฟ้า เช่น จาน ชาม ถ้วย ฯลฯ ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้เตรียมอาหารโดยวางบนเตาไฟฟ้าและสัมผัสเปลวไฟโดยตรง เช่น กระทะเซรามิก หม้อต้มสุกี้เซรามิก เป็นต้น
 - 3.3 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานด้านไฟฟ้าหรือพวกฉนวน (Insulator)
ผลิตภัณฑ์พวกนี้ เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า ทั้งที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าแรงสูงและใช้กับกระแสไฟฟ้าแรงต่ำ พวกหัวเทียนชนิดต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์พวกนี้ต้องมีความแข็งแรง เป็นฉนวนไฟฟ้า ทนทานต่อแรงดึงของอุปกรณ์ไฟฟ้าและสายไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์เซรามิกพวกนี้มักเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบสีน้ำตาลหรือสีช็อคโกแลต
 - 3.4 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานก่อสร้างหรือโครงสร้าง (Ceramic Building)
ผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้มีหลากหลายรูปแบบและมีประโยชน์ใช้สอยแตกต่างกัน แต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างแทบทุกชนิด ผลิตภัณฑ์พวกนี้ต้องมีความแข็งแรง คงทน สวยงาม ตัวอย่างเช่น ซีเมนต์ อิฐก่อสร้าง กระจุกแก้ว กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องปูผนัง กระเบื้องโมเสค สุขภัณฑ์ห้องน้ำชนิดต่าง ๆ เช่น ชักโครก โถปัสสาวะ อ่างล้างหน้า ที่วางสบู่ ที่ใส่กระดาษทิชชู สุขภัณฑ์นั่งยอง เป็นต้น กระเบื้องมุงหลังคาที่เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก

3.5 เซรามิกที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการหรือห้องทดลอง (Chemical ceramics)

คุณสมบัติเด่นของผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้คือ ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีทั้งที่เป็นกรด-ด่าง ทนทานต่อการได้รับความร้อนสูง ทนต่อปฏิกิริยาที่เกิดจากการทดลองทางเคมี อายุการใช้งานยาวนานทนต่อการสึกกร่อนและกะเทาะ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ทำมาจากเนื้อดินชนิดพิเศษและมักมีสีขาวและมีน้ำยาเคลือบปิดทับ ตัวอย่างเช่น โกร่งหรือครกบดสารเคมี ถ้วยหรือเบ้าที่ทนทานต่อความร้อนและปฏิกิริยาเคมี (Crucible)

3.6 วัสดุทนไฟ (Refractories)

ผลิตภัณฑ์พวกนี้ใช้สำหรับกรูหรือก่อสร้างเป็นผนังของเตาเผาเซรามิก กรูเตาหลอมโลหะ เตาปฏิกรณ์เคมี นอกจากนี้ยังใช้ทำเป็นแผ่นรองเตา ทำจ้อสำหรับใส่ ถ้วย-ชาม เพื่อการเผา พวกนี้มีคุณสมบัติเด่นคือ มีความทนทานต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น บางชนิดทนทานที่อุณหภูมิสูงกว่า $1,500^{\circ}\text{C}$

3.7 ผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ (New ceramics)

ปัจจุบันเครื่องจักร เครื่องยนต์ หลากๆ ชนิดมีอุปกรณ์บางชิ้นที่ต้องการความทนทานต่อการเสียดทาน เสียดสี ทนต่อการสึกกร่อน ทนต่อความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีได้ดี เช่น พวกฟันเฟือง กระบอกสูบ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักผลิตจากวัสดุชนิดพิเศษที่มีความแข็งแรง ทนทาน ขึ้นรูปด้วยเทคนิคที่ใช้เทคโนโลยีสูง เช่น การอัดรีดด้วยแรงดันสูง และมีรูปลักษณะของชิ้นผลิตภัณฑ์ที่จำเพาะเจาะจงและผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงๆ ดังนั้นจึงจัดผลิตภัณฑ์พวกนี้ไว้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้ยังรวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้งานด้านไฟฟ้าบางชนิด ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์พวกนี้ใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ชิ้นส่วนเครื่องบินและจรวด เป็นต้น

4. การจำแนกผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยอาศัยสมบัติด้านความพรุนตัว (Porosity) ของเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก

ค่าความพรุนตัวคือค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก บ่งบอกให้ทราบถึงการสุกตัวของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ทั้งยังบ่งบอกให้ทราบถึงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เซรามิกแต่ละชนิดได้ ดังนั้นค่าความพรุนตัวจึงเป็นตัวที่บ่งบอกให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นๆ จะนำไปใช้ประโยชน์หรือใช้งานอะไรได้ ดังนั้นจึงจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์เซรามิกตามค่าความพรุนตัวได้ดังนี้

4.1 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีค่าความพรุนตัวสูง

ทำมาจากดินตามธรรมชาติ เผาที่อุณหภูมิไม่สูงมากอยู่ระหว่าง $800-1,150^{\circ}\text{C}$ มีค่าการดูดซึมน้ำตั้งแต่ร้อยละ 10-20 ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบผลิตที่แตกต่างกัน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ เช่น กระถาง คนโท หม้อดิน อิฐก่อสร้าง

4.2 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีค่าความพรุนตัวต่ำ

พวกนี้มีวิวัฒนาการมาจากพวกแรก มีค่าการดูดซึมน้ำน้อย อยู่ในช่วงร้อยละ 4-9 ผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้ได้จากส่วนผสมของดิน และส่วนประกอบอื่น ๆ หลายชนิด

อุณหภูมิการเผาอยู่ในช่วง 1,150-1,230°C ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้มีความแข็งแรงพอประมาณ และมีรูปร่างหลากหลาย บางชนิดมีเคลือบด้วย ตัวอย่างเช่น กระเบื้องปูพื้นห้องน้ำ ถ้วย-ชามของประดับ ของชำร่วย เป็นต้น

4.3 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ไม่มีค่าความพรุนตัว

พวกนี้จะไม่มีความพรุน หรือค่าการดูดซึมน้ำเป็นศูนย์ ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง คือตั้งแต่อุณหภูมิ 1,200-1,250°C เป็นต้นไป ผลิตภัณฑ์พวกนี้จะมีค่าความแข็งแรงสูงเพราะเนื้อแน่น ผลิตภัณฑ์เกือบทุกประเภทจะมีเคลือบปิดทับอยู่เพื่อความสวยงามและเพิ่มความแข็งแรง ตัวอย่างเช่น แจกันดอกไม้ ถ้วยชา-กาแฟ โถน้ำชา ลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นต้น

5. ผลิตภัณฑ์เซรามิกแบ่งตามคุณสมบัติและองค์ประกอบของเนื้อผลิตภัณฑ์ (Body composition)

การแบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์เซรามิกตามหลักเกณฑ์นี้เป็นที่นิยมและเข้าใจตรงกันในหมู่นักอุตสาหกรรมเซรามิก เพราะผลิตภัณฑ์เซรามิกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่ต่างกันทั้งทางด้านองค์ประกอบหรือสูตรเนื้อดิน อุณหภูมิการเผา ค่าความพรุนตัว ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการนำไปใช้งาน ซึ่งจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้ให้คุณสมบัติที่ครอบคลุมได้กว้างกว่าการแบ่งชนิดผลิตภัณฑ์แบบอื่นๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้ คือ

5.1 ผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดเอิร์ธเทนแวร์ (Earthenware)

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีทั้งที่มีเคลือบและที่ไม่มีเคลือบ ผลิตมาจากดินธรรมชาติทั้งหมดหรือบางส่วน ดินที่นำมาใช้ทั้งชนิดเป็นดินสีแดง ดินสีน้ำตาลแดง ดินดำ หรือดินสีขาวออกเทาซึ่งสามารถนำมาขึ้นรูปได้ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อาจทำได้โดยการปั้นอิสระด้วยมือ การปั้นด้วยแป้นหมุน การทำเป็นน้ำดินเหลวสำหรับงานหล่อ หรือการขึ้นรูปโดยการอัดก็ได้

คุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เอิร์ธเทนแวร์

5.1.1 อุณหภูมิการเผาไม่สูงมากนัก คือเผาในช่วงอุณหภูมิ 950-1,165°C

5.1.2 ค่าความพรุนตัวหรือค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 0-15

5.1.3 สีของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านการเผามีสีตั้งแต่ สีขาวขุ่น สีแดง สีน้ำตาล จนถึงสีออกดำ

5.1.4 ความแข็งแรงของเนื้อผลิตภัณฑ์ต่ำ

5.1.5 กรณีที่ผลิตภัณฑ์ไม่มีเคลือบ ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเก็บกักน้ำได้ เพราะมีความพรุนตัวสูง

5.1.6 ถ้าเนื้อดินมีสีเข้ม สามารถปิดทับผิวภายนอกของเนื้อผลิตภัณฑ์ได้โดยการใช้เคลือบปิดทับหรือการใช้ดินสีอื่นปิดทับด้านนอกเพื่อความสวยงามและประโยชน์ใช้สอย เรียกเทคนิคนี้ว่า “การเอนโกบ”

5.1.7 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีทั้งชนิดของประดับ ของชำร่วย อุปกรณ์ใช้สอย รวมไปถึงผลงานทางศิลปกรรมต่างๆ

5.1.8 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ดินธรรมชาติ มีสีเข้มและไม่มีเคลือบ เช่น กระถางปลูกต้นไม้ อิฐก่อสร้าง คนโท กระเบื้องประดับ เป็นต้น

5.1.9 พวกอุปกรณ์ของใช้และมีเคลือบ เช่น ถ้วย จาน ชาม ถ้วยกาแฟ จานรองถ้วยกาแฟ เครื่องประดับ เป็นต้น

5.1.10 ผลิตภัณฑ์งานศิลปกรรม เช่น กระเบื้องเคลือบลาย งานปั้นมืออิสระ เป็นต้น

5.2 ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ (Stoneware)

ผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้ เนื้อผลิตภัณฑ์มักทำมาจากดินจากธรรมชาติ จำพวกดินขาว ดินเหนียวหรือดินดำ บางครั้งอาจมีการเติมวัตถุดิบอื่นบางชนิดเพื่อช่วยให้เนื้อดินมีคุณสมบัติด้านการสุกตัวหรือหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เช่น มีการเติมหินฟอสฟอรัสหรือหินแข็งบดละเอียด หินปูนบดละเอียด ลงไปบางส่วน เป็นต้น

คุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

5.2.1 เเผาที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง คือ อุณหภูมิประมาณ 1,200-1260°C

5.2.2 เนื้อผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวต่ำหรือไม่มีความพรุนตัวเลย หมายความว่าค่าการดูดซึมน้ำน้อยหรือเป็นศูนย์

5.2.3 เนื้อผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูง เนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน

5.2.4 ผลิตภัณฑ์เซรามิกในกลุ่มนี้มีทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบ

5.2.5 กรณีผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่มีเนื้อแน่น ไม่มีความพรุนตัวสามารถใช้บรรจุหรือใส่ของเหลวและน้ำได้ ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จะไม่เคลือบก็ตาม

5.2.6 บางครั้งสามารถนำดินที่มีสี เช่น ดินแดง มาทำเป็นผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ได้ ถ้าเผาผลิตภัณฑ์ให้เนื้อดินมีการสุกตัว มีเนื้อแน่นรวมเป็นเนื้อเดียวกันและมีความแข็งแรง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์เนื้อสีแดง (Terra cotta stoneware)

5.2.7 ค่าความพรุนตัวหรือค่าดูดซึมน้ำของเนื้อผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0-5

5.2.8 สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบที่หลากหลาย ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็ก เช่น ของประดับ ของชำร่วย จนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น กระถางเคลือบขนาดใหญ่ แจกัน โอ่งเคลือบ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่ทำมาจากดินธรรมชาติชนิดเดียว เช่น โอ่งมังกร ไหน้ำปลา กระเบื้อง

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่ทำมาจากดินขาว ดินขาวล้างผสมกับดินเหนียวหรือดินดำ รวมทั้งผสมกับส่วนผสมอื่นๆ เช่น หินฟอสฟอรัส เพื่อช่วยด้านการหลอมตัวหรือสุกตัวของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงมา เช่น แจกัน ถ้วย จาน ชาม ถ้วยกาแฟ จานรองถ้วยกาแฟ กาน้ำชา เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ชนิดพิเศษที่ทำขึ้นสำหรับงานที่จำเพาะเจาะจงและมีส่วนประกอบของเนื้อดินที่หลากหลาย ทั้งที่เป็นดินและส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษนั้น เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้าชนิดทนต่อกระแสไฟฟ้าแรงต่ำ เป็นต้น

5.3 ผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพอร์ซเลน (Porcelain)

ผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพอร์ซเลน เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสีขาว เนื้อแน่น โปร่งแสง เมื่อเคาะผลิตภัณฑ์จะมีเสียงดังกังวาน ราคาของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีราคาแพง วัตถุดิบที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนส่วนใหญ่เป็นดินขาว ผสมกับหินฟันม้าเพื่อช่วยด้านการหลอม และใช้หินควอตซ์บดละเอียดผสมด้วยเพื่อช่วยให้เกิดเนื้อแก้วและการโปร่งแสง นอกจากนี้ยังมีการผสมดินเหนียวหรือดินดำบ้างเล็กน้อยเพื่อสร้างความเหนียวให้กับเนื้อดิน และเหมาะแก่การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบต่าง ๆ

คุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ชนิดพอร์ซเลน

5.3.1 เนื้อผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสง

5.3.2 เคาะมีเสียงดังกังวาน

5.3.3 มีความพรุนหรือค่าการดูดซึมน้ำเป็นศูนย์

5.3.4 เเผาที่อุณหภูมิสูง คือสูงกว่า $1,260^{\circ}\text{C}$

5.3.5 เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเนื้อแน่นหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน

5.3.6 ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดมีเคลือบเพื่อความสวยงาม ทำความสะอาดง่าย

5.3.7 มีความแข็งแรงสูง เนื้อผลิตภัณฑ์แข็งแกร่ง

5.3.8 เป็นผลิตภัณฑ์มีหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ใน

ชีวิตประจำวัน เช่น จาน ชาม ของชำร่วย ของประดับ จนถึงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานที่จำเพาะพิเศษเช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า อุปกรณ์ภาชนะที่ใช้ในห้องทดลอง เช่น โกร่งบด ถ้วยหลอมสารเคมี

5.3.9 เป็นผลิตภัณฑ์มีราคาแพง

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามหน้าที่การใช้งาน อุณหภูมิการเผา และคุณสมบัติของเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนี้

(1) ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนไฟต่ำ (Soft porcelain)

ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้เผาที่อุณหภูมิประมาณ $1,260-1,320^{\circ}\text{C}$ โปร่งแสงเนื้อผลิตภัณฑ์มีสีขาว มีเคลือบชนิดเคลือบใสปิดเนื้อผลิตภัณฑ์ ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของใช้ในครัวเรือน สำหรับประดับตกแต่งในบ้าน ผลิตภัณฑ์ไข้ว หรือใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้บนโต๊ะอาหาร ตัวอย่างเช่น ถ้วย จาน ชาม ถ้วยกาแฟ จานรองถ้วยกาแฟ กาน้ำชา ถ้วยใส่นม โถน้ำตาล แจกัน ตุ๊กตา กรอบรูป

(2) ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนไฟสูง (Hard porcelain)

ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้เผาที่อุณหภูมิสูงกว่า $1,320^{\circ}\text{C}$ บางชนิดอาจเผาสูงถึงอุณหภูมิ $1,400-1,450^{\circ}\text{C}$ เนื้อผลิตภัณฑ์จะไม่โปร่งแสงมีความแข็งแรงสูง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานเฉพาะด้าน ทนทานต่ออุณหภูมิสูง ทนทานต่อกระแสไฟฟ้า เช่น

ลูกถ้วยไฟฟ้าชนิดทนต่อกระแสไฟฟ้าแรงสูง

หัวเทียนรถยนต์ รถจักรยานยนต์ เครื่องยนต์

ถ้วยหรือภาชนะเบ้าหลอม สำหรับงานทดลองทางปฏิกิริยาเคมี โกร่งบดสารเคมี

หม้ออบ ลูกบดที่ใช้งานทางอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น

5.4 ผลิตภัณฑ์ชนิดโบนไชน่า (Bone chinaware)

ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้บางครั้งก็จัดว่าอยู่ในกลุ่มพอร์ซเลนชนิดไฟต่ำ เพราะมีความโปร่งแสงมาก เนื้อผลิตภัณฑ์มีสีขาวออกเหลือง การผลิตทำได้ยากมากเพราะเนื้อผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบหลักเป็นดินขาวกับเถ้ากระดูกวัวที่เผาและบดจนละเอียด ผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม เนื้อผลิตภัณฑ์เผาที่อุณหภูมิประมาณ $1,150^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่เคลือบเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าคืออุณหภูมิ $1,250^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นเวลาผลิตจึงต้องให้ความดูแลเป็นอย่างดี การเผาก็ต้องควบคุมอุณหภูมิให้แน่นอน เพราะมิฉะนั้นแล้ว อัตราการเสียหายจากการผลิตจะมีสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จึงมีราคาแพง ผลิตภัณฑ์พวกนี้มักมีความสวยงาม บาง และมีขนาดที่ไม่ใหญ่โตมาก

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์โบนไชน่า เช่น จาน ชาม ถ้วย ถ้วยกาแฟ จานรองถ้วยกาแฟ น้ำชา ถ้วยน้ำชา ของประดับ ของชำร่วยที่ต้องใช้ความประณีตในการออกแบบและการผลิตโดยเฉพาะงานศิลปกรรมพวกรูปสัตว์ต่าง ๆ เช่น นกอินทรี ม้า แมว ทำเป็นชุดต้นไม้ เป็นต้น

5.5 ผลิตภัณฑ์ชนิดโดโลไมต์ (Dolomite)

ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีองค์ประกอบหลักเป็นพวกโดโลไมต์ ซึ่งเป็นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นหินแข็ง ก้อนนำไปใช้ต้องนำไปบดเป็นผงละเอียด มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นออกไซด์ของแคลเซียมและออกไซด์ของแมกนีเซียมในปริมาณสูง ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เผาที่อุณหภูมิประมาณ $1,100^{\circ}\text{C}$

คุณสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์โดโลไมต์

5.5.1 มีน้ำหนักเบา

5.5.2 เผาที่อุณหภูมิไม่สูง จึงมีค่าความพรุนตัวหรือค่าการดูดซึมน้ำสูงคือมีค่าประมาณร้อยละ 10-20

5.5.3 เปราะ แตกหักง่าย

5.5.4 ผลิตภัณฑ์ที่มีเคลือบ สามารถใช้เป็นภาชนะใส่น้ำหรือของเหลวได้

5.5.5 ส่วนมากนิยมผลิตเป็นของใช้ ของประดับของชำร่วย

5.5.6 บางครั้งก็จัดผลิตภัณฑ์โดโลไมต์อยู่ในกลุ่มเอิร์ธเทนแวร์ เพราะมีค่าความพรุนตัวสูง

5.5.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์โดโลไมต์ แจกัน ถ้วยกาแฟ จาน ชาม ถ้วย ตุ๊กตาแบบต่าง ๆ เป็นต้น

เนื้อดินหรือเนื้อเซรามิก (Ceramic bodies)

สำหรับเนื้อเซรามิก หมายถึง ส่วนผสมของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้มีลักษณะเฉพาะและสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการของผลิตภัณฑ์เซรามิกแต่ละชนิด ดังนั้น การจำแนกประเภทของเนื้อเซรามิกมักจะจำแนกตาม ลักษณะเฉพาะและสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เนื้อเอิร์ธเทนแวร์ (Earthenware) เนื้อสโตนแวร์ (Stoneware) เนื้อพอร์ซเลน (Porcelain) เนื้อบอนไชน่า (Bone China) และเนื้อโดโลไมต์ (Dolomite) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะและสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถูกกำหนดโดยองค์ประกอบของวัตถุดิบ และอุณหภูมิการเผา การผลิตเนื้อเซรามิกขึ้นมาใช้งานนั้น นอกจากพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะและสมบัติที่ต้องการแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความสามารถในการขึ้นรูป ดังนี้

1. ลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อเซรามิก

ในการศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อเซรามิก จะมีการศึกษาดังนี้

1.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (Chemical analysis) เป็นการศึกษาเพื่อทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะและสมบัติของเซรามิกหลังจากเผา โดยจะแสดงในรูปของร้อยละ (%) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเซรามิกชนิดพอร์ซเลน

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
SiO ₂	61.84
Al ₂ O ₃	24.88
Fe ₂ O ₃	0.69
MgO	0.08
CaO	0
Na ₂ O	0.04
K ₂ O	0.06
TiO ₂	0.58
Loss on Ignition (น้ำหนักที่สูญเสีย)	11.80

ที่มา: Kamseu, E. et al. (2007)

1.2 ลักษณะเฉพาะและสมบัติก่อนเผาของเนื้อเซรามิก

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะและสมบัติก่อนเผาของเนื้อเซรามิก

ลักษณะเฉพาะและสมบัติ	หน่วย
ความชื้นดินแผ่น (Moisture content)	ร้อยละ (%)
ความหนาแน่นของน้ำดิน (slip density)	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Kg/cm ³)
ปริมาณโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate)	(% ต่อน้ำหนักดินแผ่น)
ความหนืด (viscosity)	พอยส์ (poise)
การไหลตัว (fluidity)	องศาสวิง (°swg)
ค่าทิกโซโทรปี ที่ 2 นาที (thixotropy)	องศาสวิง °swg
ความแข็งแรงก่อนเผา (green strength)	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Kg/cm ³)
การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า 10 ไมครอน (Particle size distribution; PSD)	ร้อยละ (%)
ค่าขนาดอนุภาพ (D ₅₀)	ไมครอน (μm)

ที่มา: สำนักเทคโนโลยีชุมชน (2556)

จากตารางจะเห็นว่า แต่ละค่ามีผลต่อการใช้งานเนื้อเซรามิกโดยเฉพาะการนำไปขึ้นรูป และการดูแลหลังขึ้นรูป และมีผลต่อลักษณะเฉพาะและสมบัติหลังเผา เช่น การหดตัว ความแข็งแรง เป็นต้น

1.3 ลักษณะเฉพาะและสมบัติหลังเผาของเนื้อเซรามิก

ตารางที่ 2.3 ลักษณะเฉพาะและสมบัติหลังเผาของเนื้อเซรามิก

ลักษณะเฉพาะและสมบัติ	หน่วย
การหดตัวแห้ง (dry shrinkage)	ร้อยละ (%)
การหดตัวรวม (total shrinkage)	ร้อยละ (%)
ระยะทนไฟ (sagging)	เซนติเมตร (cm)
การดูดซึมน้ำ (water absorption)	ร้อยละ (%)
ความแข็งแรงหลังเผา (firing strength)	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kg/cm ²)
สี (color)	L, a,b
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 25-500°C (COE)	(หนึ่งในล้านส่วนต่อองศาเคลวิน) 10 ⁻⁶ K ⁻¹
การขยายตัวที่ 500°C (Expansion)	ร้อยละ (%)

ที่มา: สำนักเทคโนโลยีชุมชน (2556)

สำหรับลักษณะเฉพาะและสมบัติหลังเผา จะเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่จะส่งมอบให้กับลูกค้าหรือการนำไปใช้

2. การเตรียมเนื้อดินหรือเนื้อเซรามิก

การเตรียมเนื้อเซรามิกเป็นการนำวัตถุดิบที่ผ่านการซังมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะเฉพาะและสมบัติที่ต้องการทั้งก่อนและหลังเผา โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การสำรวจและการเก็บตัวอย่างดิน

การสุ่มตัวอย่างดิน

การนำดินท้องถิ่นมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเนื้อดินเซรามิก จำเป็นต้องนำมาทดสอบและควบคุมคุณภาพก่อนนำมาใช้ ดังนี้ ทดสอบหาความชื้น ความละเอียด การหดตัวหลังอบและหลังเผา และการดูดซึมน้ำ เป็นต้น ก่อนที่จะนำดินท้องถิ่นมาทดสอบดังกล่าว จะต้องมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อเลือกตัวแทนของดินแต่ละแหล่ง หรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแหล่งดินใหม่ วิธีการสุ่มตัวอย่างมีดังนี้ (สำนักเทคโนโลยีชุมชน, 2556)

วิธีการสุ่มตัวอย่างเนื้อดิน

2.1.1 การสุ่มตัวอย่างดินควรมีการสุ่มจากหลายๆจุด สำหรับแหล่งดินขนาดใหญ่ ควรขุดและเลือกตัวอย่างดินจากหลายๆ จุด ของบริเวณแหล่งดินนั้นๆ สำหรับดินที่บรรจุถุงหรือดินที่ผ่านกระบวนการล้างแล้ว ควรสุ่มตัวอย่างจากหลายๆ ถุง

2.1.2 จากนั้นนำดินที่สุ่มออกมาได้จากจุดต่างๆ หรือของแต่ละถุง มาผสมให้เป็น กองเดียวกัน

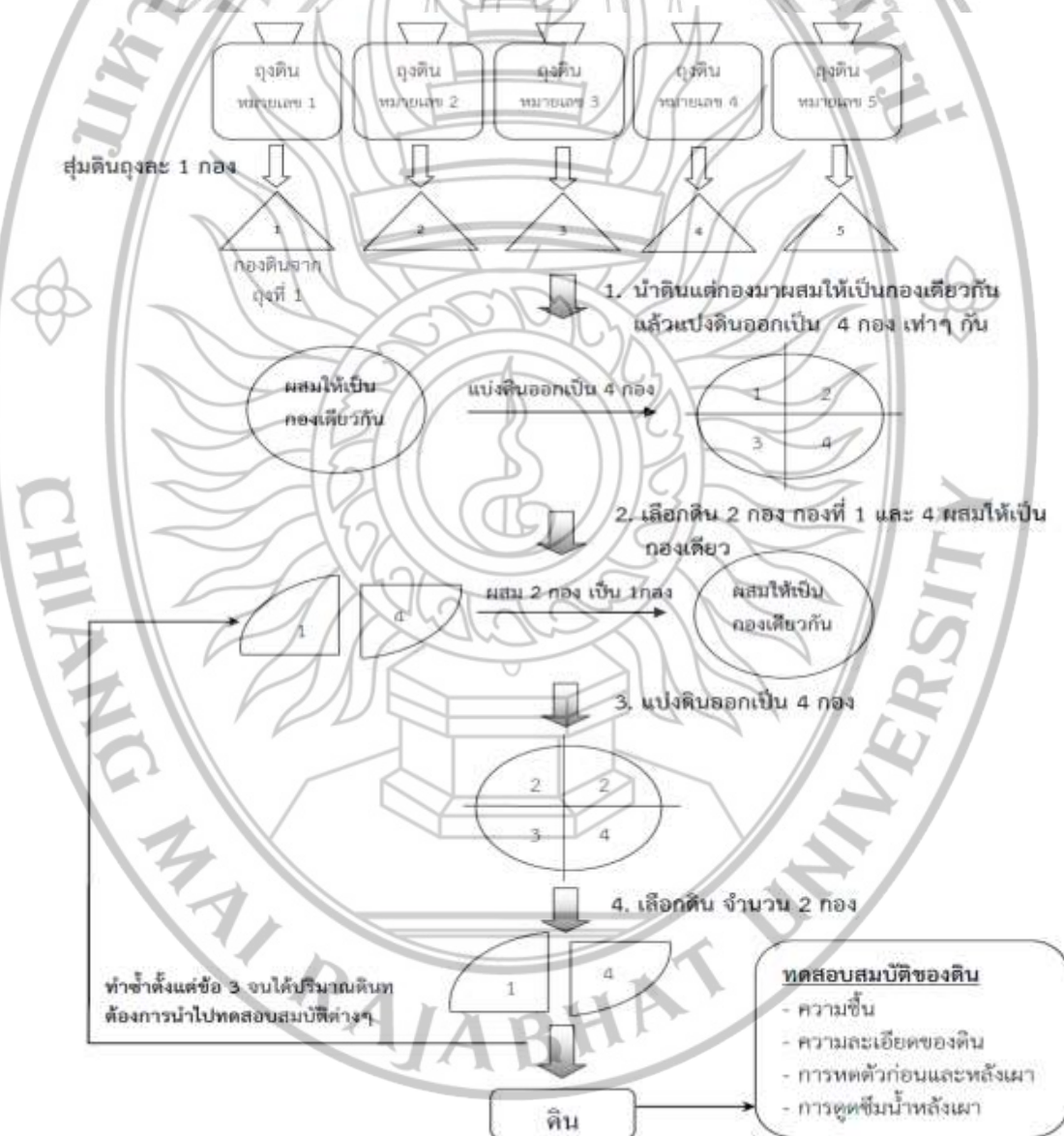
2.1.3 แบ่งดินที่ผสมกันออกเป็น 4 กองเท่า ๆ กัน

2.1.4 เลือกมา 2 กอง แล้วนำมาผสมให้เป็นกองเดียวกัน

2.1.5 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 จนกระทั่งได้ดินในปริมาณที่ต้องการทดสอบ (ดังภาพที่

2.4)

2.1.6 จากนั้นนำดินไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ เช่น ความชื้น ความละเอียด ของเนื้อดิน การหดตัวหลังอบและหลังเผา และการดูดซึมน้ำหลังเผา เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างดิน (สำนักเทคโนโลยีชุมชน, 2556)

2.2 การเตรียมแบบแห้ง (Dry process)

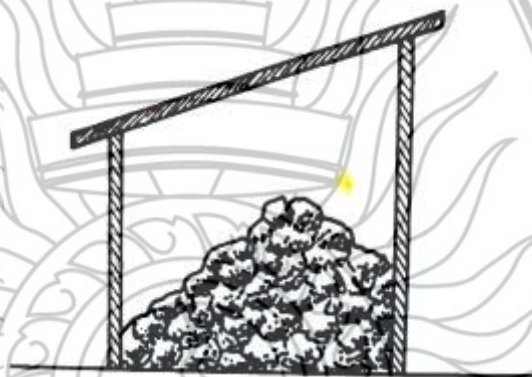
ข้อดี

- (1) ไม่ต้องการดินเนื้อละเอียดมาก ส่วนใหญ่จะเป็นดินแดง
- (2) มีราคาถูกกว่าการเตรียมแบบเปียก เพราะไม่ต้องมีการล้างดินเหมือนดิน

ขาวซึ่งจะเตรียมแบบเปียก

ข้อเสีย

- (1) ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีฝนตกเป็นประจำ
- (2) ควรมีห้องหรืออาคารสำหรับเก็บดินแห้ง เพื่อป้องกันฝน



ภาพที่ 2.5 การเก็บดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

2.2.1 หากดินมีความชื้นสามารถนำไปตากแดด โดยกองไว้บนพื้นดิน หรือกองบนแผ่นพื้นที่ยกตัวสูง สามารถคลุมด้วยผ้ากันฝนเมื่อเกิดฝนตก



ภาพที่ 2.6 การตากดิน โดยการวางบนพื้นที่ปูด้วยอิฐ (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.2 นำดินแห้งมาบด ด้วยวิธีการตำหรือใช้เครื่องบด



ภาพที่ 2.7 วิธีการบดดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.2 ทำการร่อนด้วยตะแกรง เพื่อแยกหิน กรวด ทรายหยาบ ออก

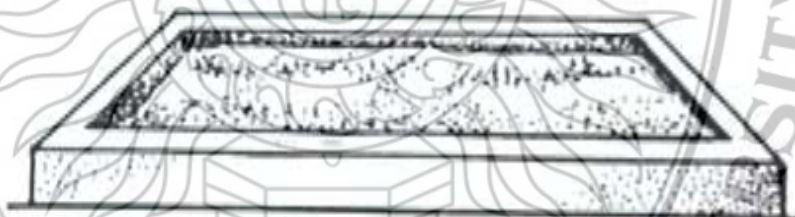
ภาพที่ 2.8 การร่อนดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.3 คลุกเคล้าให้เข้ากัน



ภาพที่ 2.9 การคลุกเคล้าดินให้เข้ากัน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.4 นำดินไปแช่น้ำ เพื่อให้ดูดซึมน้ำ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง



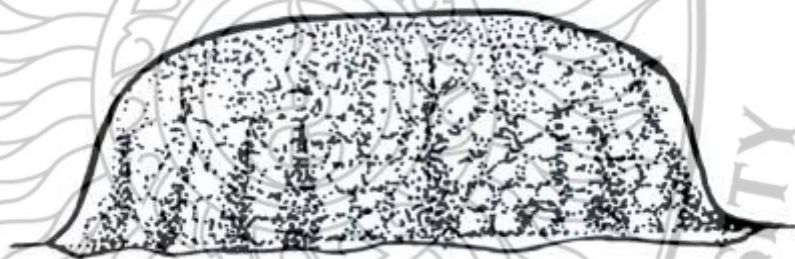
ภาพที่ 2.10 การแช่ดินในอ่างน้ำ (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.6 ทำการนวดดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เท้าเหยียบหรือย่ำ หรือใช้เครื่อง
นวดดิน



ภาพที่ 2.11 วิธีการนวดดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.7 หมักดินทิ้งไว้ โดยใช้ผ้าพลาสติกคลุม อย่างน้อย 3 วัน หรือ หลายสัปดาห์
เพื่อเพิ่มความเหนียวหรือเกิดการเข้าเนื้อกัน (Maturing)



ภาพที่ 2.12 การหมักดินโดยการคลุมด้วยผ้าพลาสติก (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.2.8 ก่อนนำเนื้อดินมาขึ้นรูป ให้ทำการนวดดินอีกครั้ง เพื่อให้ดินมีความเหนียว
และมีความชื้นเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 2.13 การขึ้นรูป โดยใช้แป้นหมุนมือ (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

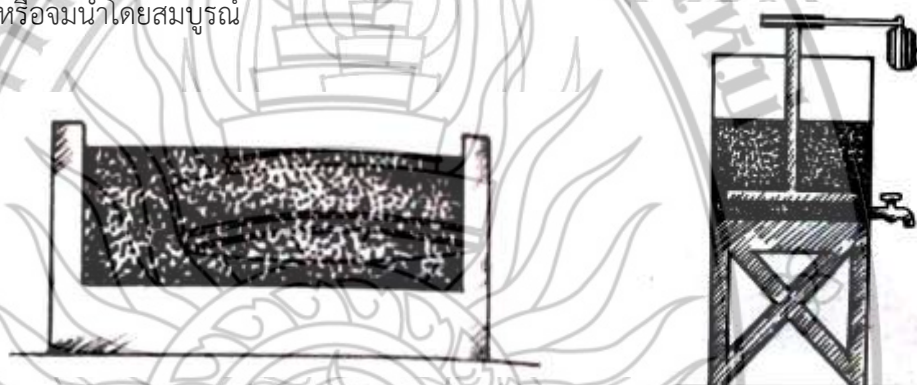
2.3 การเตรียมแบบเปียก

เหมาะสำหรับการเตรียมดินเนื้อละเอียด เนื้อสีขาว โดยจะต้องกำจัดอนุภาคของสารประกอบเหล็กออก สามารถเตรียมได้ง่าย ๆ ด้วยมือสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แต่จะมีความยุ่งยากถ้าต้องเตรียมในปริมาณมาก ๆ สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และแพง นอกจากนี้ยังไม่ต้องทำให้ดินแห้งก่อน แต่ต้องรู้ค่าความชื้นของดิน

2.3.1 ขุดดินหรือวัตถุดิบมาเก็บไว้ในห้องหรืออาคารเก็บวัตถุดิบ

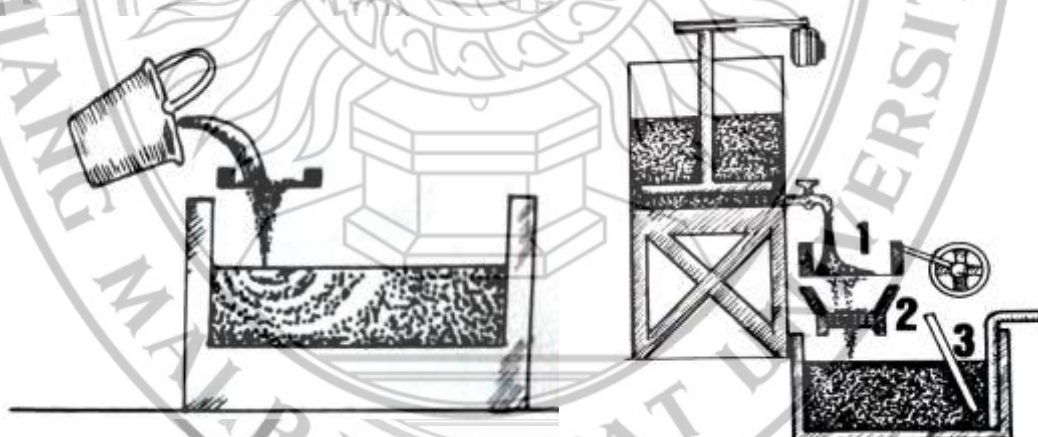
2.3.2 ผึ่งดินให้แห้ง เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปแช่น้ำ แต่ไม่จำเป็น

2.3.3 แช่ดินในถังน้ำ จนกระทั่งกลายเป็นน้ำดิน โดยไม่ต้องคน จนกว่าดินจะแช่น้ำหรือจมน้ำโดยสมบูรณ์



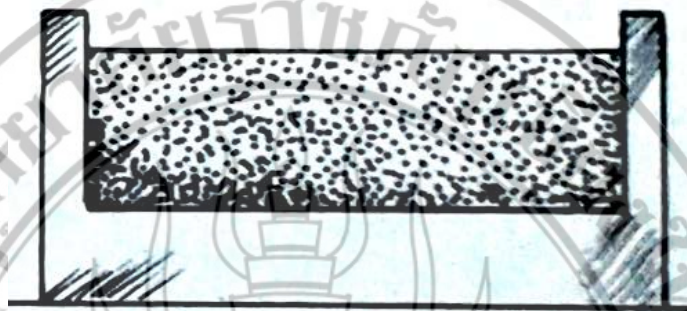
ภาพที่ 2.14 ป่อแช่ดินและถังกวนดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.3.4 กรองน้ำดินผ่านตะแกรงลงถังเก็บอีกใบ



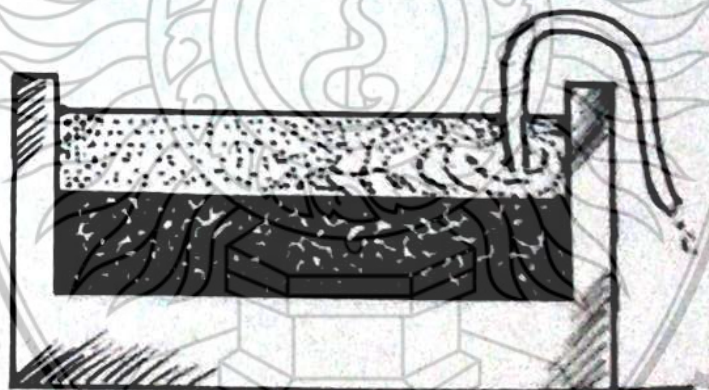
ภาพที่ 2.15 การกรองน้ำดินผ่านตะแกรง (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.3.5 ปล่องให้ดินตกตะกอนในถัง



ภาพที่ 2.16 ปล่องตกตะกอน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.3.6 ดูดน้ำใที่อยู่ด้านบนออก



ภาพที่ 2.17 การดูดน้ำใ้ออกจากดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.3.7 นำน้ำดินไปกรองบนบ่อที่ทำจากอิฐหรือปูนปลาสเตอร์ที่มีผ้ากรอง เพื่อให้
คุดน้ำออกจากดิน หรือใช้เครื่องกรองน้ำออกจากดิน (Filter press)



ภาพที่ 2.18 การกรองน้ำดิน และรีดน้ำออกจากดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.3.8 ทำการนวดดินโดยใช้เท้าหรือใช้เครื่องนวดดิน

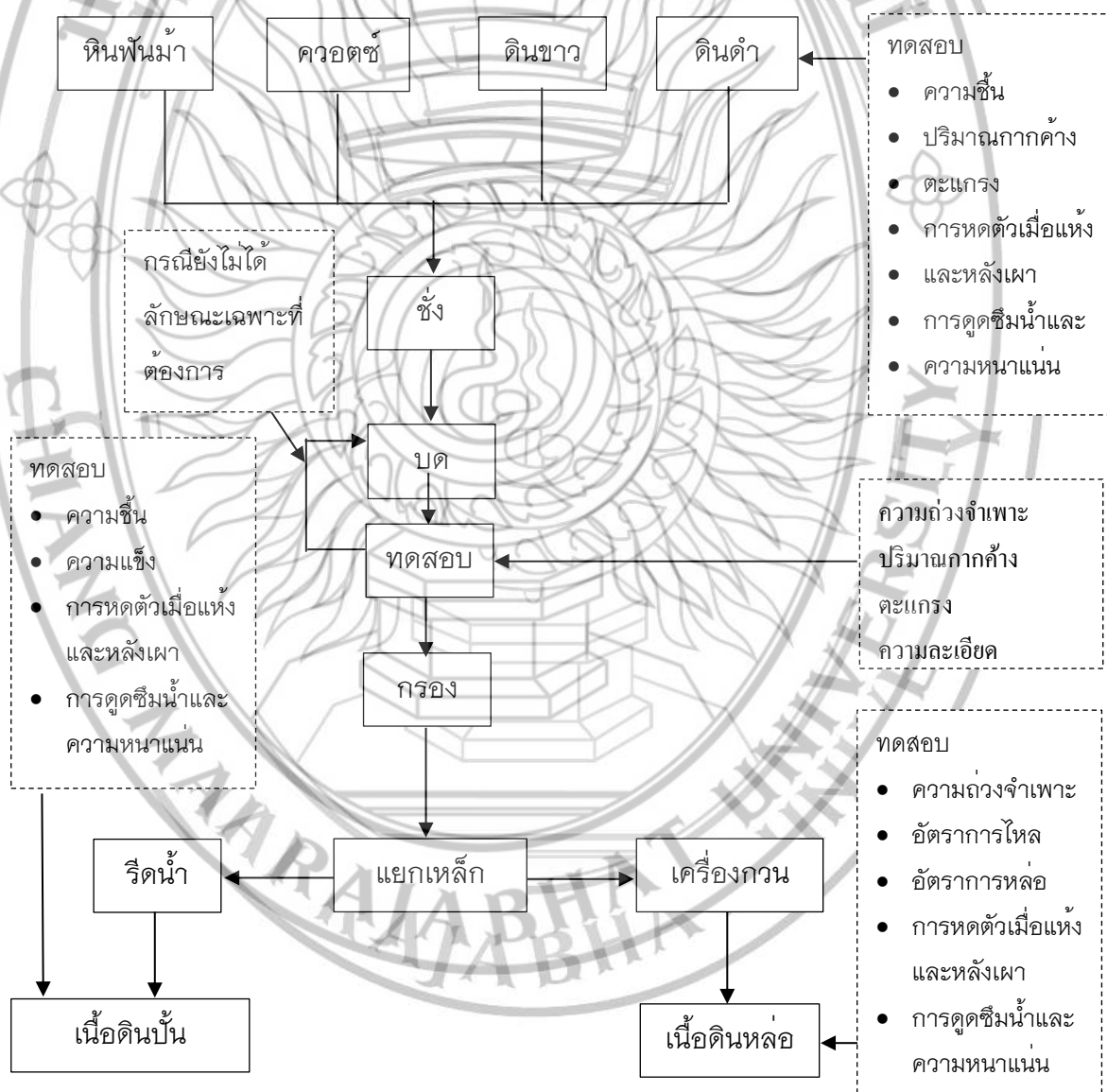


ภาพที่ 2.19 การนวดดินด้วยเท้าและเครื่องนวดดิน (Norsker, H and Danisch, J., 1991)

2.3.9 หมักดินไว้เพื่อเพิ่มความเหนียว อย่างน้อย 3 วัน โดยใช้ผ้าพลาสติกคลุม

สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ก็มีขั้นตอนที่มากกว่า เช่น การซังผสมวัตถุดิบ การบดให้เข้ากัน การแยกเหล็ก และการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพในขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- (1) นำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติ
- (2) ซังส่วนผสมแต่ละชนิดเข้าด้วยกัน
- (3) ทำการบด โดยใช้เครื่องบอลมิลในสภาวะเปียก
- (4) ทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพของส่วนผสม
- (5) กรองเพื่อควบคุมขนาด
- (6) เข้าเครื่องแยกเหล็ก
- (7) เข้าเครื่องรีดน้ำกรณีต้องการทำเนื้อดินปั้น
- (8) เข้าเครื่องกวนเพื่อทำเป็นเนื้อดินหล่อ



ภาพที่ 2.20 การเตรียมเนื้อดินแบบเปียกที่ใช้ในอุตสาหกรรม

3. การทดสอบลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อเซรามิก

เนื้อดินสำเร็จรูปที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก มักมีการตรวจสอบลักษณะเฉพาะและสมบัติ ดังนี้

3.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมี เป็นการทดสอบที่สำคัญสำหรับการใช้งานวัตถุดิบและเนื้อเซรามิก เพราะเป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะและสมบัติอื่น ๆ ของเนื้อเซรามิก โดยเฉพาะหลังเผา โดยค่าที่ได้จะรายงานในรูปองค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบออกไซด์ โดยเฉพาะองค์ประกอบที่เป็นซิลิกา (Silica; SiO_2) และอะลูมินา (Alumina; Al_2O_3) ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณซิลิกอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และธาตุอื่นๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมี (%)		
	ซิลิกา (SiO_2)	อะลูมินา (Al_2O_3)	อื่น ๆ
ดินขาว	55	35	10
ดินดำ	75	20	5
แร่ฟันม้า	70	20	10
Nepheline syenite	60	25	15
ทัลค์	60	0	40 (MgO)
ซิลิกา	95	0	5
ฟลินท์	90	0	10
เถ้ากระดูก	0	0	10 ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$)

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2560)

3.2 ความชื้นของดินและวัตถุดิบอื่นๆ

ความชื้น แสดงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน การวัดความชื้นทำได้โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักดินก่อนและหลังการอบแห้ง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

$$\frac{(\text{น้ำหนักวัตถุดิบชื้น} - \text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบชื้น}} = \text{ความชื้น (\%)} \quad (2.5)$$

3.3 ความละเอียดของเนื้อดิน

ความละเอียดของเนื้อดิน มีความสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อสมบัติอื่น เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง การยึดเกาะตัว การหดตัว รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาทางความร้อนและเผา ดังนั้น จึงต้องทำให้อนุภาคของเนื้อดิน มีความละเอียดสอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน

การตรวจสอบขนาดอนุภาคทำได้หลายวิธี เช่น การวัดขนาดด้วยตะแกรง (100, 140, 200, 325 เมช), การวัดด้วยเครื่อง Sedigraph, การวัดโดย Hydrometer เป็นต้น แต่ละวิธีมีข้อจำกัดแตกต่างกัน การวัดขนาดด้วยตะแกรงเหมาะสำหรับอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างหยาบ สามารถทำได้รวดเร็วและราคาถูก (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

$$\frac{(\text{น้ำหนักตะแกรง} + \text{กากค้างตะแกรง}) - \text{น้ำหนักตะแกรง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} = \text{น้ำหนักกากค้างตะแกรง} \quad (2.6)$$

$$\frac{(\text{น้ำหนักตะแกรง} + \text{กากค้างตะแกรง}) - \text{น้ำหนักตะแกรง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100 = \text{ปริมาณอนุภาคค้างตะแกรง (\%)} \quad (2.7)$$

3.4 การหาความถ่วงจำเพาะของผงดิน

ในการหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงจะใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อว่าขวดพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) เพื่อหาอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรของวัสดุ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าความหนาแน่น หลังจากนั้นนำค่าความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่าประมาณ 1 g/cm^3 ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าความหนาแน่นของวัสดุ แต่ไม่มีหน่วย ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$G = \frac{(W - P)}{(W_1 - P) - (W_2 - W)} \quad (2.8)$$

เมื่อ

G = ค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเทียบกับน้ำที่อุณหภูมิที่ทำการวัดค่า

P = น้ำหนักของขวดพิคโนมิเตอร์

W = น้ำหนักของขวดพิคโนมิเตอร์ พร้อมจุกและผงตัวอย่าง

W₁ = น้ำหนักของขวดพิคโนมิเตอร์ พร้อมจุกและน้ำกลั่น

W₂ = น้ำหนักของขวดพิคโนมิเตอร์ พร้อมจุกและผงตัวอย่างและน้ำกลั่น

3.5 ความเหนียว (Plasticity)

ค่าความเหนียว (Plasticity) ค่าความเหนียวของดินนั้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้ดินสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ และให้เหมาะสมกับวิธีการขึ้นรูปของโรงงาน โดยความเป็นจริงแล้วเรามักต้องการดินที่มีค่าความเหนียวมากเพื่อที่จะขึ้นรูปได้ดี ไม่มีปัญหาแตก

เสียหายขณะเคลื่อนย้าย แต่ดินที่มีความเหนียวสูงก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน ในกรณีการเตรียมดินแบบกึ่งเปียก (Semiwet process) ถ้าใช้ดินที่มีความเหนียวมากมักจะมีปัญหาเวลาผสมในเครื่อง Mixer, เครื่อง Screen feeder ทั้งปัญหาความเหนียวที่จะติดกับตัวเครื่อง และการผสมกับวัตถุดิบตัวอื่นๆจะเข้ากันได้ยาก ในกรณีทำดินให้เป็นสลิปเพื่อนำไปสเปรย์เป็นผงดิน หรือนำไปขึ้นรูปด้วยการเทแบบ ดินที่มีความเหนียวมากนั้นจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก และประกอบด้วยแร่มอนต์โมริลโลไนท์สูง จึงทำให้น้ำดินมีความหนืดสูง ต้องใช้ปริมาณสารช่วยกระจายลอยตัวมาก และน้ำดินจะมีความเป็นทิกโซโทรปิก (Thixotropic) สูง

วิธีการอย่างง่ายที่จะหาค่าความเหนียวของดินคือการนำดินมานวดแล้วปั้นให้เป็นเส้นเล็กๆแล้วกดเพื่อดูความสามารถในการคงตัวของดิน ถ้าขาดง่ายแสดงว่ามีความเหนียวต่ำ แต่ถ้าสามารถกดเป็นวงได้แสดงว่ามีความเหนียวสูง ซึ่งการวัดแบบนี้จะใช้ความรู้สึกในการตัดสินใจค่อนข้างสูงและมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้หลายประการทั้งปริมาณน้ำที่ใช้ แรงในการนวดดินขนาดเส้นรอบวงที่ใช้คิดปริมาณน้ำที่เติมลงไป ในขณะที่การนวดดินก็พอจะบอกค่าความเหนียวของดินได้ ดินที่มีค่าความเหนียวต่ำจะใช้ปริมาณน้ำน้อยในการนวดเพื่อสามารถขึ้นรูปได้ ในขณะที่ดินที่มีความเหนียวสูงจะต้องเติมน้ำในปริมาณมากในการนวดเพื่อการขึ้นรูป

วิธีการหาค่าความเหนียวของดินอีกวิธีหนึ่งเรียกว่าการหา slaking time โดยการนำดินมาเป็นลูกเต๋าและแช่ไว้ในน้ำ จับเวลาจนกระทั่งเหลี่ยมของดินลบมอดออกไปจนหมด แต่ถ้าดินมีความเหนียวมากจะใช้เวลาในการทดสอบนานบางครั้งหลายวัน ดังนั้นการทดสอบอย่างรวดเร็วจะใช้วิธีการปั้นเป็นลูกเต๋าเช่นกันแต่นำไปอบแห้ง แล้วจึงใส่ลงในน้ำ จับเวลาจนกระทั่งลูกเต๋าเริ่มสลายตัว ซึ่งจะใช้เวลาไม่นานนัก แต่สามารถเปรียบเทียบค่าออกมาเป็นตัวเลขได้



ภาพที่ 2.21 การทดสอบความเหนียวโดยใช้หลักการ slaking time (สมาคมเซรามิกส์ไทย, 2564)

นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานดิบและความแข็งแรงของชิ้นงานหลังอบแห้งก็จะเป็นตัวชี้บ่งถึงค่าความเหนียวของดินด้วยเช่นกัน ดินที่มีค่าความเหนียวที่ดีก็จะมีค่าความแข็งแรงดิบและความแข็งแรงหลังอบสูงตามไปด้วย

การทดสอบความเหนียวของดินอีกวิธีหนึ่งจะใช้หลักการของ Atterberg's limits (GTM-7, 2015) โดยดูค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid limit) และขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit) ของดิน การหาค่าขีดจำกัดเหลวนั้นทำได้โดยนำดินที่ต้องการทดสอบมาผสมน้ำจนเข้ากันแล้วนำมาปาดลงในถ้วยเคาะ ใช้เครื่องมือมาตรฐานในการบากร่องของดินเหลว หลังจากนั้นจึงทำการหมุนเครื่องเคาะเพื่อให้เกิดแรงเฉือนขึ้นกับเนื้อดินจนครบ 25 ครั้ง ถ้าดินยังไม่

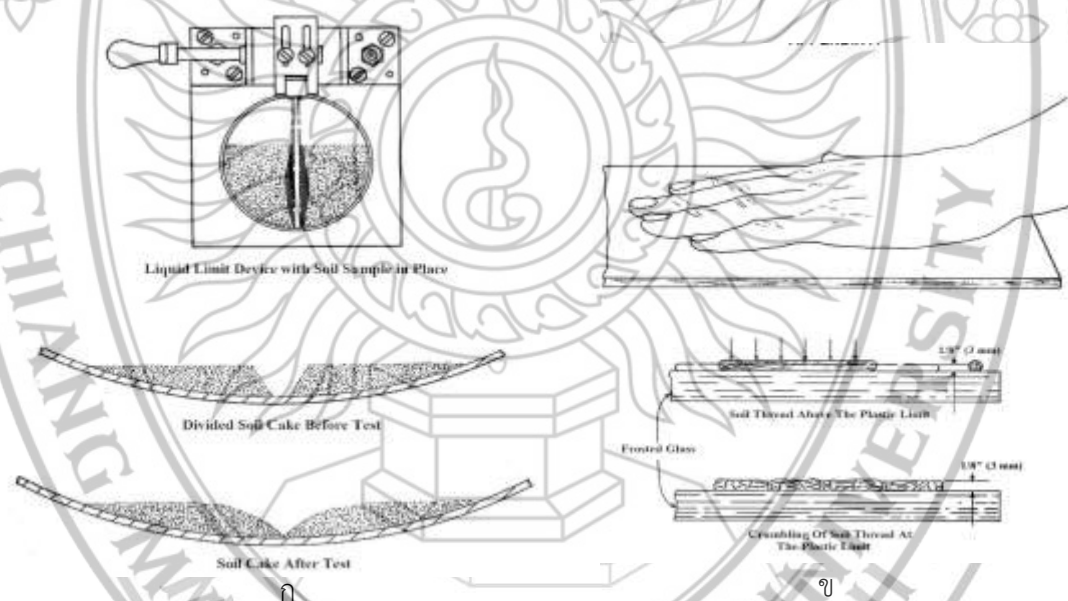
เคลื่อนตัวมาแตะกันที่รอยบากก็ให้เติมน้ำเพิ่มแล้วทำการเคาะใหม่จนกระทั่งดินตรงรอยบากมาแตะกัน แล้วนำดินไปหาค่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน สำหรับดินที่มีค่าดัชนีความเหนียวสูง แสดงว่าเป็นดินที่มีความเหนียวสูง

โดยการประเมินค่าความเหนียวสามารถประเมินจากค่าดัชนีความเหนียวซึ่งคือ ผลต่างของขีดจำกัดความเหลวกับขีดจำกัดพลาสติก ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าดัชนีความเหนียวของดินแต่ละชนิด

ดัชนีความเหนียว (%)	ชนิดของดิน	ความเหนียว	ความสามารถในการยึดเกาะ
0	ทราย	ไม่เหนียว	ไม่มีการยึดเกาะ
$7 <$	ดินตะกอน	เหนียวต่ำ	ยึดเกาะบางส่วน
7-17	ดินเหนียวปนตะกอน	เหนียวปานกลาง	มีการยึดเกาะ
>17	ดินเหนียว	เหนียวสูง	มีการยึดเกาะ

ที่มา: Roy, S. et al. (2017)



ภาพที่ 2.22 การทดสอบความเหนียวด้วยหลักการ Atterberg's limits (GTM-7, 2015)
(ก) การหาขีดจำกัดเหลว (ข) ขีดจำกัดพลาสติก

อีกวิธีการ จะใช้ดินที่เราต้องการจะตรวจสอบความเหนียวมาผสมกับน้ำจนได้ความชื้นพอเหมาะ (พอปั้นได้ไม่ติดมือ) แล้วปล่อยลงมาจากระดับความสูง 1 เมตร ลงบนพื้นที่มี scale อยู่ ถ้าดินมีการแผ่ตัวออกไปมากแสดงว่ามีความเหนียวน้อย ถ้าดินจับตัวเป็นก้อนได้ดีแสดงว่ามีความเหนียวมาก

3.6 การหัดตัวหลังอบและหลังเผา

การหัดตัวเป็นสมบัติที่สำคัญ เพราะถ้าดินมีการหัดตัวสูงมากเกินไปเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์แตก โค้งงอ และผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยว การรู้ค่าการหัดตัวหลังอบและหลังเผา ในการออกแบบขนาดของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องรู้ค่าการหัดตัวหลังเผาเพื่อใช้ในการทำแบบพิมพ์ให้ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่มีขนาดตามต้องการ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

$$\frac{(\text{ความยาวเริ่มต้น}) - \text{ความยาวหลังอบ}}{\text{ความยาวเริ่มต้น}} \times 100 = \text{ร้อยละการหัดตัวหลังอบ} \quad (2.9)$$

$$\frac{(\text{ความยาวเริ่มต้น}) - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวเริ่มต้น}} \times 100 = \text{ร้อยละการหัดตัวหลังเผา} \quad (2.10)$$

3.7 การตรวจสอบสีหลังเผา

การตรวจสอบสีหลังเผา เนื่องจากสารบางตัวเกิดสีหลังเผา เช่น เหล็กออกไซด์ในดินหลังเผามีสีน้ำตาล การตรวจสอบสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดสี ค่าที่ได้จะแสดงเป็นค่าความสว่าง (L) มีค่าตั้งแต่ สว่างมาก (100) ไม่สว่าง(0) ค่าสีแดง(+a) - เขียว (-a) และสีเหลือง (+b) - น้ำเงิน (-b) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

3.8 การดูดซึมน้ำหลังเผาและความหนาแน่น

การดูดซึมน้ำหลังเผาและความหนาแน่น แสดงถึงความทนไฟของดิน ตัวอย่างที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำมักมีขนาดอนุภาคเล็กหรือมีองค์ประกอบเคมีของสารช่วยลดอุณหภูมิ (Flux) สูงกว่าตัวอย่างที่มีค่าดูดซึมน้ำสูง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

$$\frac{(\text{น้ำหนักเปียก}) - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 = \text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} \quad (2.11)$$

$$\frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักในน้ำ})} = \text{ความหนาแน่น} \quad (2.12)$$

3.9 ความถ่วงจำเพาะของน้ำดิน (สำนักเทคโนโลยีชุมชน (2555)

ความถ่วงจำเพาะของน้ำดิน แสดงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำดิน โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.65-1.80 สำหรับการหล่อแบบกลวง และ 1.75-1.90 สำหรับการหล่อแบบตัน ซึ่งสามารถทดสอบโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของน้ำดินและเคลือบ ที่ทราบปริมาตร

$$\frac{\text{น้ำหนักของน้ำดิน 100 มิลลิลิตร (mm)}}{\text{น้ำหนักของน้ำ 100 มิลลิลิตร (mm)}} = \text{ความถ่วงจำเพาะ} \quad (2.13)$$

3.10 การทดสอบสมบัติการไหลตัวของน้ำดิน และเคลือบ (สำนักเทคโนโลยีชุมชน (2555, 2556)

การทดสอบความหนืดโดยใช้ถ้วยวัดการไหล (Flow Cup) เป็นการทดสอบอัตราการไหล โดยการปล่อยน้ำดินในปริมาณที่กำหนดให้ไหลออกจากถ้วยที่มีรูเปิดด้านล่าง บันทึกเวลาที่น้ำดินเริ่มไหลจนน้ำดินขาดสาย

3.11 การทดสอบอัตราเร็วในการหล่อของน้ำดิน (สำนักเทคโนโลยีชุมชน (2555)

อัตราการหล่อแสดงถึงระยะเวลาที่ต้องใช้ในการหล่อผลิตภัณฑ์ จนได้ความหนาตามที่ต้องการ ทดสอบโดยการหล่อผลิตภัณฑ์ในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ควรใช้ปูนที่เตรียมวิธีเดียวกับที่ใช้ในการผลิต เพื่อจำลองการผลิตจริง

3.12 การทดสอบมอดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture ; MOR)

มอดูลัสแตกร้าว เป็นการวัดความแข็งแรงของเนื้อเซรามิกที่มักทำทั้งก่อนและหลังเผา โดยเป็นการวัดความแข็งแรงที่เกิดจากแรงกดบริเวณตรงกลางแท่งทดสอบที่มีความกว้าง ความหนาและความยาวตามที่กำหนด โดยวางบนบารองในระยะที่กำหนด แล้วออกแรงกดผ่านการเคลื่อนที่ของหัวกดจนแตกหัก ค่าที่ได้เป็นน้ำหนักกิโลกรัมหน่วยเป็นกิโลกรัม แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ตามสูตรดังนี้

$$MOR = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.14)$$

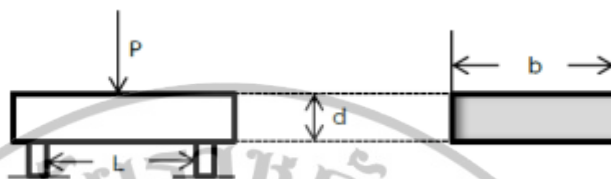
เมื่อ MOR = ค่าความแข็งแรงของเนื้อเซรามิก (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kg/cm²))

P = แรงกดที่ทำให้แท่งทดสอบหัก (กิโลกรัม)

L = ระยะห่างของแท่งรองรับแท่งทดสอบ (เซนติเมตร; cm)

b = ความกว้างของแท่งทดสอบ (เซนติเมตร; cm)

d = ความหนาของแท่งทดสอบ (เซนติเมตร; cm)



ภาพที่ 2.23 การทดสอบมอดูลัสแตกร้าว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

3.13 ความบิดเบี้ยว (Warpage)

เป็นการตรวจสอบการทรุดตัวของแผ่นทดสอบ และตรวจสอบในอุณหภูมิเผาสูง เนื้อดินมีแนวโน้มที่จะโค้งงอหรือการทรุดตัวหลังเผา โดยให้คว่ำแผ่นทดสอบบนแผ่นระนาบ ใช้ไม้บรรทัดหาที่เส้นระยะห่าง 10 เซนติเมตร จากจุดกึ่งกลางของ 10 เซนติเมตร ทั้ง 2 จุด วัดค่าความโค้งตรงส่วนโค้งมากที่สุดเป็นหน่วยมิลลิเมตร เนื้อดินที่มีช่วงการเผายาวเมื่อสุกตัวแล้วค่าความโค้งจะมีน้อย ไม่บิดเบี้ยวเสียรูปทรงได้ง่ายในระหว่างการเผา



ภาพที่ 2.24 การทดสอบความบิดเบี้ยว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

3.14 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion : COE)

เคลือบควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดิน เพื่อให้อยู่ในภาวะแรงอัด ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ ถ้าเคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงกว่าเนื้อดิน จะทำให้เกิดการร้าว นอกจากนั้นผลของการทดสอบสามารถอ้างอิงถึงความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยกะทันหัน (Thermal Shock) ของผลิตภัณฑ์ได้ นั่นคือ หากผลิตภัณฑ์มีการขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการแตก-ร้าวได้ง่าย การทดสอบสามารถทำได้โดยใช้เครื่อง dilatometer โดยผลิตภัณฑ์ทำจากดินจะมีการขยายตัวและหดตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่นเดียวกัน โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือปริมาตรนี้จะมีความสัมพันธ์ขนาดเริ่มแรก อุณหภูมิที่ใช้ และสมบัติของวัตถุนั้น ซึ่งการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดที่เป็นผลเนื่องจากอุณหภูมินี้จะคำนวณออกมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์การ

ขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion : COE) ซึ่งเป็นค่าของความแตกต่างของความยาวหรือปริมาตรของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1°C เมื่อเทียบกับความยาวหรือปริมาตรเริ่มต้น

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน โดยทั่วไปจะคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{\Delta L}{\Delta T L_0} \quad (2.15)$$

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน, Linear Expansion

T_R = อุณหภูมิห้อง

T' = อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้อัด

L_0 = ความยาวของชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง

L = ความยาวของชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงสุด

$\Delta T = T_R - T' =$ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน

ภาพที่ 2.25 การทดสอบสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
(กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2560)

การเผาเซรามิก (Ceramic Firing)

การเผา (Firing) คือ กระบวนการให้ความร้อนแก่เนื้อเซรามิก (Ceramic bodies) หรือเคลือบ (Glaze) เพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ (Ceramic raw materials) ที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อเซรามิกและเคลือบ ดังนั้น กลไกการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความร้อนของวัตถุดิบเมื่อผ่านกระบวนการเผา จึงมีความสำคัญ ที่จะนำไปสู่ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดสมบัติของผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรง ความแข็ง ความทนไฟ ความโปร่งแสง ความเป็นฉนวนไฟฟ้าและความร้อน เป็นต้น การทำความเข้าใจธรรมชาติของวัตถุดิบจึงเป็นสิ่งจำเป็น ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางแร่ รวมถึงลักษณะเฉพาะอื่นๆ ได้แก่ การกระจายตัวของขนาดอนุภาค ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค ความบริสุทธิ์ ความถ่วงจำเพาะ จุดหลอมเหลว ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวจะเป็นตัวกำหนดกลไกการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความร้อน

1. การเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินระหว่างเผา

วัตถุดิบที่สำคัญในทางเซรามิก ได้แก่ วัตถุดิบกลุ่มดินหรือวัตถุดิบที่มีความเหนียว เช่น ดินขาว (Kaolin) ดินเหนียว (Ball clay) และวัตถุดิบที่ไม่มี ความเหนียว ได้แก่ ตัวช่วยหลอม เช่น เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นต้น และวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดเนื้อแก้ว เช่น ควอตซ์ (Quartz) หรือ ซิลิกา (Silica) เป็นต้น

ในเนื้อดินที่มีส่วนผสมของแร่ดิน ควอตซ์ และเฟลด์สปาร์ ซึ่งถือเป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมเนื้อดิน เมื่อเข้าสู่กระบวนการเผา เนื้อดินมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1.1 ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 200°C ความชื้นที่ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคของวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเนื้อดิน จะแห้งสนิท

1.2 ในช่วงอุณหภูมิ $200-700^{\circ}\text{C}$ สารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในวัตถุดิบจะถูกเผาไหม้จนหมด การเผาไหม้

1.3 การขจัดกลุ่ม OH^- ออกจากแร่ดิน จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ $500-900^{\circ}\text{C}$ ทำให้แร่ดินสูญเสียความเป็นผลึก เนื่องจากโครงสร้างเกิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่ไม่เป็นระเบียบ นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดการหดตัวพร้อมกับเกิดรูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นช่วงของการเผาดิบ (Biscuit)

1.4 ที่อุณหภูมิ 573°C ผลึกควอตซ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปอยู่ในรูปควอตซ์ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัว

1.5 ที่อุณหภูมิประมาณ 980°C เนื้อดินจะมีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวใหม่ เกิดสปินเนล (Spinel) และเกิดมัลไลต์ (Mullite) ขนาดเล็ก ๆ ขึ้น

1.6 ที่อุณหภูมิ $1,100^{\circ}\text{C}$ ในเนื้อดินที่มีแร่โซดาเฟลด์สปาร์และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ จะมีแก้วเกิดขึ้น แก้วนี้จะเกิดขึ้นตามบริเวณรอบอนุภาคของแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งสัมผัสกับเนื้อดิน นอกจากนี้แก้วยังอาจเกิดจากการหลอมตัวของไมกาซึ่งเจือปนมากับดินได้ เมื่อเผาสูงขึ้นไปอีกเนื้อแก้วก็เพิ่มปริมาณมากขึ้น แร่เฟลด์สปาร์จะไม่หลอมเฉพาะที่ผิวเท่านั้น แต่มันจะหลอมตามบริเวณที่มีข้อบกพร่อง เช่น รอยแตกด้วย ดังนั้นแร่เฟลด์สปาร์ที่เป็นของแข็งก็จะเล็กลง ๆ เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นแร่เฟลด์สปาร์จะหลอมตัวหมด แต่จะยังคงรูปร่างของอนุภาคเดิมอยู่ ในขณะเดียวกันจะเกิดแก้วขึ้นในเนื้อดิน ถึงแม้ว่าปกติแก้วจะหลอมที่ $1,550^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้เพราะว่ามีสิ่งเจือปน และนอกจากนี้ยังเกิดการแพร่ของพวกอัลคาไลน์อีกด้วย ในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีปริมาณแก้ว มัลไลต์ และควอตซ์ เกิดขึ้นแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบเฟสในเนื้อดินที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	เนื้อแก้ว (%)	มัลไลต์ (%)	ควอตซ์ (%)
1,200	56	19	25
1,300	62	22	16
1,400	68	22	10

ที่มา: ปรีดา พิมพ์ขาวข้า (2547)

1.7 ถ้าเนื้อดินควอตซ์ขนาดเล็กอาจจะละลายได้หมดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

1.8 การเกิดผลึกมัลไลต์ สามารถเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ อาจเกิดจากแร่ดิน มัลไลต์ที่เกิดโดยการแยกผลึกออกมาจากแร่ดินนี้จะมีขนาดเล็กมาก หรืออาจเกิดขึ้นโดยการตกผลึกออกมาจากแร่ฟันม้าหรือเนื้อแก้วส่วนอื่น มัลไลต์ละลายได้ดีในเนื้อแก้วที่มี SiO_2 สูง ในเนื้อแก้วที่มี SiO_2 ต่ำ มัลไลต์จะเจริญเติบโตได้เร็วมาก

การเกิดผลึกรูปเข็มของมัลไลต์ในเนื้อผลิตภัณฑ์มีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ผลึกรูปเข็มนี้จะฝังตัวอยู่ในเนื้อแก้ว ประพุดตัวเหมือนกับเหล็กเส้นในคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นการพัฒนาผลึกให้เกิดขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้ยังต้องการการศึกษาหาขนาดของมัลไลต์ที่จะให้ผลดีที่สุดอีกด้วย

อัลคาไลน์จะทำให้มัลไลต์สลายตัวเป็น Al_2O_3 และแก้ว ปฏิกริยานี้จะเริ่มที่ $1,200^\circ\text{C}$ และปฏิกริยาจะเกิดขึ้นเร็วมากที่อุณหภูมิ $1,400^\circ\text{C}$ อย่างไรก็ตามปฏิกริยาจะช้าลงหรือหยุดได้เมื่อมี SiO_2 มากเกินไป ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า SiO_2 เป็นตัวทำให้เนื้อแก้วมีความหนืดสูงขึ้น ในผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีสีขาว การสลายตัวของมัลไลต์มีน้อยมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่เผาค่อนข้างต่ำ และยังมี SiO_2 มากพออีกด้วย

1.9 การเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ไปเป็นคริสโตบาไลต์ ในเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีสีขาวหลายอย่างแทบจะไม่พบคริสโตบาไลต์หรือพบน้อยมาก แต่ในผลิตภัณฑ์อื่นที่เผาสูงกว่า จะพบการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ไปเป็นคริสโตบาไลต์ ยิ่งในเนื้อแก้วที่ใสหรือมีความหนืดต่ำ ยิ่งเร่งให้มีการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น

1.10 การหดตัวของผลิตภัณฑ์ ความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อยที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง $1,100-1,200^\circ\text{C}$ และจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของรูพรุน รูพรุนนี้เกิดจากก๊าซซึ่งอาจมาจากน้ำ คาร์บอนเนต และซัลเฟต หรือเกิดจากการเผาไหม้ของคาร์บอน รูพรุนที่กล่าวนี้ซ่อนตัวอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่เชื่อมต่อกันภายนอก ส่วนรูพรุนอีกชนิดหนึ่งจะเชื่อมต่อกับภายนอก รูพรุนชนิดนี้เกิดจากพองอากาศที่ถูกกักอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จใหม่ ๆ และในระหว่างการเผาที่ไม่สามารถเชื่อมโยงรูพรุนเหล่านี้ให้ปิดสนิทได้ อย่างไรก็ตามเราสามารถลดรูพรุนชนิดนี้ได้หรือทำให้หมดไปเลยด้วยการควบคุมสภาวะการเผาให้เหมาะสม แต่เราไม่สามารถลดรูพรุนที่ซ่อนอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ลงได้หมดด้วยวิธีการปกติ

สาเหตุที่เป็นตัวทำให้อนุภาคในเนื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งมีเนื้อแก้วเกิดขึ้น ประสานตัวกันเป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างเผา มีองค์ประกอบหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง ที่สำคัญ คือ ความตึงผิวของเนื้อแก้ว ซึ่งพยายามกระทำตัวให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด วิธีการกระทำมี 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการรัดตัวทำให้มวลทั้งหมดมีขนาดเล็กลงเนื่องจากมีเนื้อแก้วเกิดขึ้น และวิธีที่สอง เกิดจากการหดตัวของรูพรุน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดความดันภายใน และความดันภายในนี้เกิดจากความตึงผิว ก๊าซที่อยู่ในรูพรุนซึ่งเชื่อมโยงถึงด้านนอกจะถูกขจัดออกจากรูพรุนได้ง่าย โดยการเคลื่อนตัวออกตามรูพรุนซึ่งมีระบบคล้ายหลอดที่มีรูเล็ก ๆ ส่วนก๊าซในรูพรุนซึ่งซ่อนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์จะถูกขจัดออกมาได้ก็โดยการแพร่ออกมาทางเนื้อแก้วเท่านั้น

1.11 การเสียรูปร่างระหว่างการเผา เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ใกล้จะเป็นแก้ว คือ เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ในเนื้อที่มีปริมาณเนื้อแก้วสูง มีแนวโน้มที่จะเสียรูปร่างได้ง่ายในขณะทำการเผาที่จุดสุกตัว

ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากน้ำหนักตัวของผลิตภัณฑ์เอง การแก้ปัญหานี้ก็โดยการรองรับผลิตภัณฑ์ให้ดีกว่าก่อนจะนำเข้าเตาเผา การยุบตัวของผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะการเคลื่อนตัวของของที่มีความเหนียวซึ่งเกิดจากการย้อยตัวของเนื้อแก้ว เป็นการลำบากที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนน้อยและในขณะเดียวกันก็ให้มีความแข็งแรงสูง ฉะนั้นการแก้ปัญหาคือการเลือประหว่างเผาที่ดีที่สุดคือการรองรับที่ดี

ทั้งนี้นอกจากองค์ประกอบของวัตถุดิบที่เป็นตัวกำหนดลักษณะของเฟสที่เกิดขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ธรรมชาติของวัตถุดิบในแต่ละชนิดเอง อุณหภูมิ เวลา สภาวะบรรยากาศและการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ก็มีผลต่อเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนี้

(1) ธรรมชาติของดิน กล่าวคือ หากในเนื้อดินมีดินขาวล้วน ๆ หรือใช้ดินขาวปนบอล์เคลย์ ในบอล์เคลย์จะมีพวกอินทรีย์สาร เช่น อนุภาคของลิกไนต์ปนอยู่ด้วย จำเป็นจะต้องเผาให้หมดไปก่อนที่จะรูพรุนจะถูกปิดซ่อนไว้ในเนื้อดินนั้น มิฉะนั้นจะเกิดแกนดำหรือการบวมขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดจากการพยายามหนีออกมาของก๊าซผลิตภัณฑ์บาง ๆ เช่น ถ้วย ชาม การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว ส่วนในผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างหนาและหนามาก การเผาไหม้อินทรีย์สารต้องเผาไปอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำ ที่อุณหภูมิสูงหากดินมีสิ่งเจือปน เช่น ไมก้า (Mica) ซึ่งมี K^+ อยู่มากจะทำให้เกิดแก้วมากขึ้นกว่าดินขาวที่มีไมก้า น้อยหรือไม่มีเลย ในบอล์เคลย์บางชนิดมีสารประกอบที่เป็นตัวช่วยเร่งในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น Fe_2O_3 , $CaCO_3$ เป็นต้น ดินชนิดนี้ก็จะเช่นกัน จะช่วยทำให้เกิดเนื้อแก้วขึ้นมากกว่าดินที่ไม่มีสารดังกล่าว

(2) ธรรมชาติของซิลิกา ซิลิกาในเนื้อดินนั้นอาจใช้ควอตซ์บดให้ละเอียด หรือใช้ฟลินซ์เผาและบดให้ละเอียด บางแห่งใช้คริสโตบาไลต์ แก้วซิลิกาและไดอะตอมไมต์ การใช้ซิลิกาแต่ละอย่างก็จะได้ผลต่าง ๆ กัน คือ การใช้ควอตซ์บดละเอียด จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงมากกว่าการใช้ทรายละเอียดหรือฟลินซ์

(3) ธรรมชาติของเฟลด์สปาร์ การใช้เฟลด์สปาร์ไม่ว่าจะเป็นชนิดโซดาหรือโพแทสเซียม ไม่มีผลแตกต่างกันในพฤติกรรมการเผา แต่ถ้าใช้เฟลด์สปาร์ที่มีอัตราส่วนของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์มากกว่าโซดาเฟลด์สปาร์สูงจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงมากขึ้น การใช้เฟลด์สปาร์ชนิดโซดาจะมีฟองอากาศขนาดเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก ในขณะที่เนื้อแก้วเกิดจากแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จะมีฟองขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อยกว่า สิ่งนี้เป็นผลทำให้เนื้อแก้วที่เกิดจากโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์มีความโปร่งแสงมากกว่าเนื้อแก้วที่เกิดจากโซดาเฟลด์สปาร์ ฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้เนื่องจากมีสิ่งสกปรกในเฟลด์สปาร์นั่นเอง

(4) อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลา มีการศึกษาว่า เมื่อทำการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน หลาย ๆ ช่วงเวลา พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อความพรุนและการหดตัว กล่าวคือ ยิ่งอุณหภูมิสูงการหดตัวยิ่งมากขึ้นในขณะที่ความพรุนลดลง และที่อุณหภูมิการเผาเดียวกัน แต่เมื่อมีการเผาที่นานขึ้น ส่งผลให้มีการหดตัวเพิ่มขึ้นและความพรุนลดลง สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการสุกตัวถูกกำหนดโดยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการยีนไฟ

ปัจจุบันมีความพยายามที่จะเผาให้เร็วขึ้น แต่จะเผาอย่างไรที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเล็ก ๆ และสมบัติส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ เช่น การเผาช้าจะทำให้

ควอตซ์ละลายได้มากและขณะเดียวกันก็เกิดผลึกรูปเข็มของมัลไลต์ขึ้นมากเช่นกัน ส่วนการเผาเร็วจะเกิดผลตรงข้าม นอกจากนี้มีนักเซรามิกบางคนให้เหตุผลว่า การเผาเร็วจะทำให้เนื้อแก้วไหลตัวดี จะทำให้ผลึกมีขนาดแข็งแรงขึ้น แต่จะมีรูพรุนซ่อนอยู่ภายในเพิ่มขึ้น บางครั้งการควบคุมอุณหภูมิที่จุดสุดท้ายเพียง 1 ชั่วโมง ก็เพียงพอที่จะทำให้ผลึกมีขนาดแข็งแรงดี ถึงแม้จะมีการเร่งการเผาถึงชั่วโมงละ 180°C และนอกจากนี้ยังพบว่า การบดเนื้อดินบดละเอียดมาก ๆ จะช่วยลดรูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งจะช่วยให้การเผาได้เร็วขึ้น

(5) การปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ขอบเขตจำกัดของการเผาเร็วอยู่ในช่วงการปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ที่ใดเกิดแรงเค้นขึ้นมากจะมีรอยแตกเนื่องจากความร้อนเกิดขึ้น (Dunting) การเปลี่ยนแปลงของควอตซ์เกิดขึ้นที่ประมาณ 600°C จะทำให้เกิดการหดตัวทันทีทันใด นอกจากนี้คริสโตบาลิตก็เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ 200°C ซึ่งก็อาจเป็นเหตุทำให้เกิดรอยแตกได้ การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการบดควอตซ์ให้ละเอียดมากขึ้น หรืออาจใช้อะลูมินาแทนควอตซ์บางส่วน

2. การปฏิบัติการเผา

การเผาเซรามิก (Ceramic Firing) คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้กับเนื้อเซรามิก จนนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างภายในเนื้อเซรามิก เช่น องค์ประกอบเฟสเชิงเคมีและแร่ ความพรุน เป็นต้น และนำมาซึ่งสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรง ความโปร่งแสง การดูดซึมน้ำ เป็นต้น

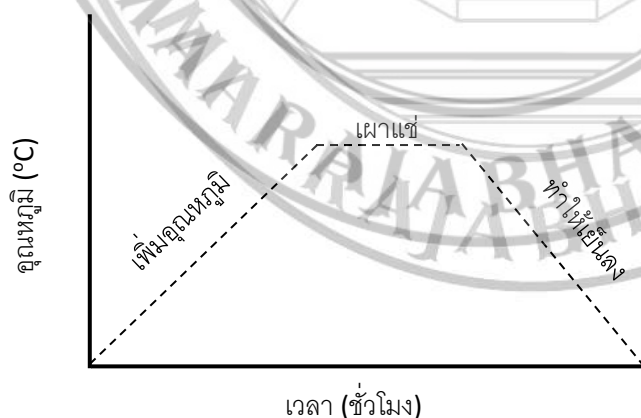
ปัจจัยที่ต้องควบคุมระหว่างเผาที่สำคัญ ได้แก่

อุณหภูมิการเผา ต้องเผาให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายของเนื้อเซรามิก ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของเนื้อดิน

อัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิต้องมีความเหมาะสมและเวลาการเผาแช่ที่ส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงที่สมบูรณ์

บรรยากาศการเผาต้องควบคุมให้เหมาะสมกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ หรือการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากบรรยากาศ เช่น สีของเนื้อดินและเคลือบ เป็นต้น

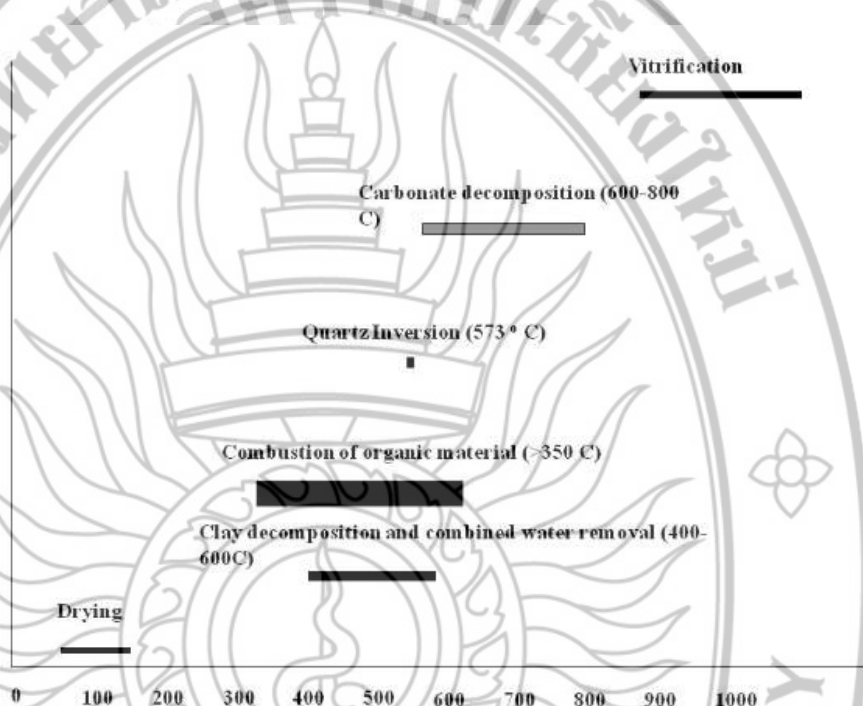
โดยทั่วไปแล้วการเผาจะมีขั้นตอนหลัก ๆ ประมาณ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การขึ้นอุณหภูมิ การเผาแช่ และการทำให้เย็นตัวลง ดังภาพ



ภาพที่ 2.26 ขั้นตอนการเผาเซรามิกโดยทั่วไป (Kumar, S and Maithel, S., 2016)

2.1 การเพิ่มอุณหภูมิ

การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการให้ความร้อนแก่เนื้อเซรามิกหรือเนื้อดินเพื่อกำจัดความชื้นและสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และสี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันในระหว่างที่มีการให้ความร้อน ดังภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินในช่วงอุณหภูมิการเผาต่าง ๆ (Kumar,S and Maithel, S., 2016)

2.2 การเผาแช่ (Soaking)

เป็นการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สมบูรณ์ ได้แก่ การสุกตัว การเกิดองค์ประกอบทางเคมีและแร่ เป็นต้น เรียกกระบวนการเผาในช่วงนี้ว่า การเผาแช่หรือการเย็นไฟ

2.3 การทำให้เย็นตัวลง (Cooling)

การทำให้เย็นตัวลง คือ การลดอุณหภูมิจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ ระยะเวลาที่ทำให้อุณหภูมิลดลงของเหลวเกิดการแข็งตัวกลายเป็นแก้ว เกิดการสร้างพันธะระหว่างอนุภาค ซึ่งการทำให้เย็นตัวลงควรที่จะกระทำอย่างช้า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันจะทำให้เกิดความเค้นสะสมในตัวผลิตภัณฑ์จนนำไปสู่การแตกร้าวได้ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างของควอตซ์ที่อุณหภูมิ 573°C ทำให้มีการหดตัวที่รุนแรงเกิดขึ้นในจุดนี้

ประสิทธิภาพในการเผามีปัจจัยหลายอย่างด้วยกันที่ต้องคำนึง ได้แก่

- (1) ประสิทธิภาพของเตาเผา กล่าวคือ ต้องส่งเสริมให้ภายในเตามีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ ควบคุมความร้อนและบรรยากาศได้ดี
- (2) การปฏิบัติการเผา ซึ่งผู้ควบคุมเตาเผาต้องมีทักษะในการควบคุมเตา ทั้งอุณหภูมิ เวลา และบรรยากาศการเผา มีการตรวจสอบเตาก่อนและหลังเผา
- (3) การบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา ต้องมีพื้นที่หรือช่องว่างให้ลมร้อนมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตมีการสำรวจแหล่งแร่ของกรมทรัพยากรธรณี พบว่า เมื่อปี พ.ศ. 2521 มีการเผยแพร่ข้อมูลแหล่งดินในที่ทำการสำรวจภายในประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ ภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคกลาง และใต้ ในส่วนของภาคเหนือ มีการสำรวจครอบคลุมพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ พื้นที่ อำเภอเมือง บ้านแม่หยวก คุณลักษณะของดินโดยทั่วไปมีลักษณะสีชาวมุหลังเผา ใช้ทำผลิตภัณฑ์กระเบื้องปู พื้นและบุผนัง มีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ มีซิลิการ้อยละ 64.50 อะลูมินา ร้อยละ 23.83 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.77 และอำเภอแม่แตง บ้านปากทาง มีการสำรวจบริเวณ แหล่งทางน้ำ พบว่ามีลักษณะเป็นดินเลน ไม่มีข้อมูลทางแร่และทางเคมี สามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ เซรามิกได้ ในจังหวัดลำปางซึ่งเป็นอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดใหญ่ของประเทศในปัจจุบัน มีการสำรวจครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ได้แก่ อำเภอแม่ทะ บ้านแม่ทาน พบว่าดินที่มีลักษณะสีเทาอ่อนมี องค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ มีซิลิการ้อยละ 60.57 อะลูมินาร้อยละ 26.28 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.72 สีเทาแกมเหลืองมีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ และเคโอลิไนต์ มีซิลิกา ร้อยละ 65.05 อะลูมินาร้อยละ 21.39 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 4.07 และสีน้ำตาลมี องค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ มีซิลิการ้อยละ 49.41 อะลูมินาร้อยละ 29.42 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.95 สีหลังเผาเป็นสีขาวเหลือง ชาวมุ และขาวเหลือง ตามลำดับ ทั้ง สามชนิด เป็นดินทนไฟปานกลางถึงสูง อำเภอแจ้ห่ม บ้านเขาปางค่า พบว่าเป็นแหล่งดินขาว ที่เกิด จากการสลายตัวของหินเดิมอยู่กับที่มีแร่เฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบ มีเม็ดควอตซ์ปนอยู่มาก มีซิลิกา ร้อยละ 68.02 อะลูมินาร้อยละ 16.89 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.28 สีหลังเผาเป็นสีชาวมุจนถึง ขาว เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ต้องการความขาว และบ้านห้วยแป้น เป็นแหล่งดินที่มี องค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ มีซิลิการ้อยละ 71.51 อะลูมินาร้อยละ 21.58 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 0.90 สีหลังเผาเป็นสีขาว เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว และอำเภอเมือง มีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ มีซิลิกา ร้อยละ 53.45 อะลูมินา ร้อยละ 27.87 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6.41 สีหลังเผาเป็นสีน้ำตาลแก่ ไม่เหมาะกับการนำเนื้อดินที่ ต้องการความขาว บ้านกล้วยหลวงและบ้านโป่ง มีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ มีซิลิกา ร้อยละ 52.50 อะลูมินาร้อยละ 26.63 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 3.94 มีสีน้ำตาลหลังเผาไม่ เหมาะสำหรับการทำดินทนไฟ จังหวัดแพร่ สำรวจที่อำเภอเมือง บ้านแม่ลอง มีองค์ประกอบแร่เป็น ควอตซ์ และเคโอลิไนต์ มีซิลิกา ร้อยละ 76.36 อะลูมินาร้อยละ 31.22 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.64 สีหลังเผามีสีขาว เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว จังหวัดอุดรดิตต์ อำเภอเมือง บ้าน วังยาง มีการสำรวจจำนวน 3 จุด จุดแรกเป็นดินที่มีสีเทาอ่อนแกมเขียว มีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์

เคโอลิไนต์ อิลไลต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ มีซิลิการ้อยละ 72.79 อะลูมินาร้อยละ 15.69 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 2.55 จุดที่สองเป็นดินที่มีสีเทาอ่อนแกมเขียว มีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ อิลไลต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ มีซิลิการ้อยละ 71.89 อะลูมินาร้อยละ 15.83 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 2.79 จุดที่สามเป็นดินที่มีสีขาวแกมน้ำเงิน มีองค์ประกอบแร่เป็นควอตซ์ อิลไลต์ และเคโอลิไนต์ มีซิลิกา ร้อยละ 68.56 อะลูมินาร้อยละ 19.32 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 2.21 ทั้งสามจุดมีสีหลังเผาเป็นสีเทา แก่ ไม่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว และจังหวัดพะเยา อำเภอพะเยา บ้านต้อม ตง พบว่าเป็นแหล่งดินขาว เนื้อหยาบ มีองค์ประกอบเป็นแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และอิลไลต์ มีซิลิกา ร้อยละ 69.54 และอะลูมินาร้อยละ 19.23 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.08 เหมาะสำหรับการทำกระเบื้อง และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว

ในปี 2535 มีการสำรวจทางธรณีวิทยาของดินเหนียวตำบลบ้านเอื้อม อำเภอเมือง จังหวัด ลำปาง โดยสำนักทรัพยากรธรณีเขต 3 จังหวัดเชียงใหม่ (เกียรติชัย ตูลาธรรมกุล, 2535) พบว่า โครงสร้างของดินเหนียวแบ่งออกเป็นสองชั้น ชั้นแรกมีความหนาประมาณ 6-10 เมตร และชั้นที่สองมีความหนา 1-3 เมตร โดยชั้นแรกมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก จากการสำรวจ ลักษณะเฉพาะของดินที่ระดับความลึก 1-1.45 เมตร และ 3-3.45 เมตร พบว่า มีสีก่อนเผาเป็นเทาปน น้ำตาลอ่อน และน้ำตาลแดง ตามลำดับ เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 950°C จะให้สีน้ำตาลอ่อน และน้ำตาล ตามลำดับ เมื่อเผาที่ 1,150°C จะให้สี น้ำตาลอ่อน ครีมน้ำตาล และน้ำตาลแดงด้าน และพบว่า มีการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,150°C ร้อยละ 5.88 และ 10.78 ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมี เป็นซิลิกา ร้อยละ 61.03 อะลูมินา ร้อยละ 18.40 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7.66 ซึ่งปริมาณเหล็กที่สูงเกินไปจริงเนื่องจากการปนเปื้อนจากเหล็กของหัวเจาะ

ในปี 2551 มีการรายงานโดยกรมทรัพยากรธรณี (อัครนิย ฉายากุล) เกี่ยวกับคุณภาพดินเพื่อ อุตสาหกรรมเซรามิก ผู้วิจัยได้รายงานว่า ดินส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ ดินขาว ดินเหนียว และดินดำ จากการศึกษาแหล่งดินหลาย ๆ แหล่งพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายกัน ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) อย่างไรก็ตามแต่ละแหล่งมี องค์ประกอบทางเคมีในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งผู้ใช้ต้องทราบข้อมูลเหล่านี้ เพื่อเป็นการ ควบคุมคุณภาพของดินที่นำมาใช้ และการนำมาใช้ส่วนใหญ่ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความ เหมาะสมต่อการนำไปใช้ โดยการนำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น กล่าวคือ เนื้อดินสูตรหนึ่งอาจจะต้อง ประกอบไปด้วย ดินขาว ดินเหนียว และดินดำ นอกจากนี้มีการรายงานองค์ประกอบทางเคมีของดิน ขาวในแต่ละแหล่ง พบว่า ดินขาวจากจังหวัดลำปาง หนอง นราธิวาส และสุราษฎร์ธานี มีปริมาณซิลิ การ้อยละ 44.07-76.76 อะลูมินา ร้อยละ 13.89-39.68 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 0.21-3.57 สามารถ นำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาวได้ ดินขาวจากจังหวัดกาญจนบุรี อุตรดิตถ์ และอุทัยธานี มี ปริมาณซิลิกา ร้อยละ 51.41-77.56 อะลูมินา ร้อยละ 12.26-32.26 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 0.54- 3.77 สามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง ดินขาวจากจังหวัดเชียงรายมีปริมาณซิลิ กา ร้อยละ 44.72-55.30 อะลูมินา ร้อยละ 29.88-38.91 และเหล็กออกไซด์ร้อยละ 0.69-3.52 เหมาะสมที่จะนำไปผสมเนื้อดินปั้นที่ต้องการความขาว นอกจากนี้ยังพบ แหล่งดินดำที่มีคุณภาพ ได้แก่ บ้านแม่ทาน บ้านดอนไฟ และบ้านแจ้คอน ใช้ผสมเพื่อช่วยในการขึ้นรูป ดินดำบ้านดอนไฟและบ้านแจ้ คอน นำไปผสมทำผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ไม่ต้องการความขาว และพบว่า แหล่งดินเหนียวจังหวัด

กาฬสินธุ์ ของแก่น มหาสารคาม สกลนคร อุตรธานี อุบลราชธานี และนครราชสีมา สามารถนำไปผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านได้

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับวัตถุดิบเพื่อใช้ผลิตเนื้อเซรามิก พบว่า มีการศึกษาในหลายพื้นที่ด้วยกัน เช่นกรณีของ สิริพรรณ นิลไพรัช และคณะ ได้ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเหนียวจากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผา ในพื้นที่บ้านศาลาบางปูและบ้านทุ่งน้ำเค็ม จังหวัดนครศรีธรรมราช บ้านสทิงหม้อและบ้านป่าขาด จังหวัดสงขลา พบว่า มีองค์ประกอบเคมีคือ มีซิลิกา ร้อยละ 60.67 - 64.25 อะลูมินา ร้อยละ 8.49 - 21.52 มีปริมาณอัลคาไล (K_2O และ Na_2O) และอัลคาไลเอิร์ท ออกไซด์ (CaO และ MgO) รวมกันร้อยละ 3.31 - 4.93 ปริมาณรวมของ Fe_2O_3 และ TiO_2 มีค่าร้อยละ 4.25 - 7.34 และมีการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา (loss on ignition) ร้อยละ 7.19 - 8.34 จากการศึกษาองค์ประกอบทางแร่ พบว่ามีแร่ประกอบดินเป็น ควอตซ์ (Quartz), เคโอลิไนต์ (Kaolinite), ไฮดรอสไมกา (Hydrous Mica) และสมกไทต์ (Smectite) และพบว่าดินเกือบทุกแหล่งเป็นดินเนื้อเนียนละเอียดและมีความเหนียวดี มีปริมาณความชื้นในแท่งดินรีดร้อยละ 23.13 - 27.67 ค่าการหดตัวร้อยละ 7.25 - 9.12 ความแข็งแรงหลังการอบแห้ง 735 - 1125 psi รวมทั้งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ในช่วงอุณหภูมิ 300 - 500°C และ 500 - 600°C $11-14.69 \times 10^{-6} / ^\circ C$ และ $10.59 - 19.82 \times 10^{-6} / ^\circ C$ ตามลำดับ พบว่า ดินบ้านทุ่งน้ำเค็มและดินบ้านสทิงหม้อสุกตัวที่อุณหภูมิต่ำและมีช่วงการเผาแคบโดยเฉพาะดินบ้านสทิงหม้อซึ่งมี Na_2O สูง ในขณะที่ดินบ้านศาลาบางปูซึ่งมี Na_2O และ MgO ต่ำกว่าและดินบ้านป่าขาดซึ่งมีปริมาณ K_2O ต่ำกว่าและ Al_2O_3 สูงกว่า จะสุกตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าและทนไฟสูง 1200°C มีสีหลังเผาเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้นตั้งแต่เหลืองอ่อนจนถึงแดง

ในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีการศึกษาโดย เกษม พลฤกษ์วัน (2556) เกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของดินเหนียวพื้นที่กรุงเทพฯ เพื่อผลิตเซรามิก พบว่า ดินเหนียวมีองค์ประกอบทางเคมี เป็น ซิลิกา ร้อยละ 58.78 อะลูมินา ร้อยละ 14.50 เหล็กออกไซด์ ร้อยละ 6.55 โพแทสเซียมออกไซด์ ร้อยละ 2.70 โซเดียมออกไซด์ ร้อยละ 0.99 แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 1.33 แมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 1.94 ไททาเนียมออกไซด์ ร้อยละ 1.01 และซัลเฟต ร้อยละ 2.11 มีการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาร้อยละ 11.62 มีการหดตัวหลังแห้ง และความแข็งแรง เท่ากับ ร้อยละ 12.65 และ 63.38 Kg/cm^2 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าดินมีการพองตัวและหดตัวสูง ผู้วิจัยจึงทำการปรับสภาพโดยการผสมวัตถุดิบบางชนิดเข้าไปเพื่อปรับปรุงลักษณะเฉพาะและสมบัติให้มีความเหมาะสม ได้แก่ ซิลิกา ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง โดโลไมต์ และเฟลด์สปาร์ การปรับสภาพทำให้ได้เนื้อดินที่มีคุณภาพสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ เช่น เนื้อดินที่มีส่วนผสมเป็น ดินเหนียวกรุงเทพฯ ร้อยละ 70 ดินขาวลำปางผสมดินขาวระนอง ร้อยละ 20 และเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 10 สามารถเผาให้สุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 1,150°C เนื้อดินที่มีส่วนผสมเป็นดินเหนียวกรุงเทพฯ ร้อยละ 50 โดโลไมต์ ร้อยละ 10 และเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 40 สามารถเผาให้สุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 1,200°C เป็นต้น

สำหรับแนวทางการสำรวจ การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ มีหน่วยงานที่ทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางที่เป็นมาตรฐาน ได้แก่ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ให้แนวทางการเก็บตัวอย่างดินที่ต้องครอบคลุมพื้นที่ มีการสุ่มตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละจุด

และนำไปวิเคราะห์ทดสอบเบื้องต้นเพื่อประเมินความเหมาะสม ได้แก่ ความชื้น กากค้ำตะแกรง การหดตัวหลังอบและหลังเผา การดูดซึมน้ำ และแนวทางการปรับสภาพดินให้มีความเหมาะสม การนำดินไปใช้ ซึ่งแนวคิดนี้จะมาใช้ประกอบการศึกษาเพื่อสำรวจแหล่งดินและพัฒนาให้เหมาะสมในครั้งนี

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะเห็นว่า ดินซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเซรามิก มีลักษณะเฉพาะและสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามแหล่งกำเนิดดิน ในการนำมาใช้มักจะมีการปรับสภาพให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตและความต้องการในลักษณะเฉพาะและสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การขึ้นรูปได้ ความแข็งแรง สี การดูดซึมน้ำ การสุกตัว เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าดินที่นำมาใช้มีคุณภาพหรือไม่ ซึ่งผู้ผลิตเซรามิกควรให้ความสำคัญในการเข้าถึงธรรมชาติที่เป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะและสมบัติเหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางแร่ ความละเอียด เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะสำรวจและพัฒนาแหล่งดิน ให้เป็นแหล่งวัตถุดิบหลัก ในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์เซรามิกของชุมชน ซึ่งจะอาศัยแนวคิดที่รวบรวมมานี้เป็นแนวทางในการดำเนินงาน ประกอบกับข้อมูลเชิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อผลสัมฤทธิ์ของการดำเนินงาน

