

การทดลองเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนาสำหรับขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ

ปริญญานิพนธ์

ของ

สมชาย สารเพชร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

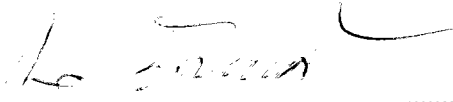
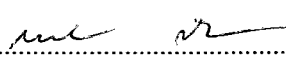
เมษายน 2542

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

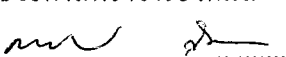
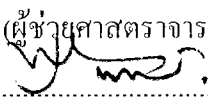
118724

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว  
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต  
วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

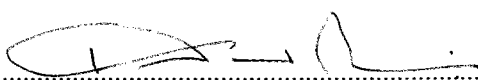
คณะกรรมการควบคุม

  
..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกมล รักษ์วงศ์)  
  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสถาพร)

คณะกรรมการสอบ

  
..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกมล รักษ์วงศ์)  
  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสถาพร)  
  
..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม  
(รองศาสตราจารย์ทวี พรหมพฤษย์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)  
วันที่ ..../.. เดือน ..../พ.ศ. 2542

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์โกมล รัชวงศ์ และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสถาพร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จอย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งท่านรองศาสตราจารย์ทวี พรหมพฤกษ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบและทั้งยังให้คำแนะนำ เสนอแนะ เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์เวนิช สุวรรณโมลี และท่านอาจารย์สมศักดิ์ ขวาลาวัลย์ และคณาจารย์ ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา สถาบันราชภัฏพระนคร ที่กรุณาให้คำแนะนำ เกี่ยวกับการทดลอง

ขอขอบพระคุณภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันราชภัฏพระนครที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือสำหรับใช้ในการทดลอง

ความสำเร็จส่วนหนึ่งเกิดจากผู้วิจัยได้รับกำลังใจและความช่วยเหลือในการพิมพ์จาก คุณปัญญา สารเพชร จึงขอขอบคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบความดีทั้งหมดของงานวิจัยแก่ บิดา - มารดา และครู - อาจารย์ ที่มีพระคุณ ต่อผู้วิจัยตลอดมา

สมชาย สารเพชร

## สารบัญ

| บทที่                                                                | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 1 บทนำ .....                                                         | 1    |
| ภูมิหลัง .....                                                       | 1    |
| จุดมุ่งหมายของการทดลอง .....                                         | 3    |
| ความสำคัญของการทดลอง .....                                           | 3    |
| ขอบเขตของการทดลอง .....                                              | 3    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ .....                                                | 7    |
| 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                               | 11   |
| ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดินและเนื้อดินป่น .....                        | 11   |
| เนื้อดินป่นวิเคราะห์สไลนา .....                                      | 16   |
| วัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินป่นวิเคราะห์สไลนาและน้ำเคลือบ .....          | 23   |
| การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ .....                                         | 31   |
| น้ำเคลือบและการเคลือบผลิตภัณฑ์ .....                                 | 39   |
| เตาและการเผา .....                                                   | 41   |
| อิทธิพลความร้อนที่มีผลต่อการหลอมละลายของเนื้อดินป่นและวัตถุดิบ ..... | 51   |
| การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติในการหล่อของ เนื้อดินป่น..... | 53   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ .....              | 58   |
| 3 วิธีดำเนินการดำเนินการทดลอง .....                                  | 64   |
| วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง .....                                       | 64   |
| การสุ่มตัวอย่าง .....                                                | 65   |
| ตัวแปรที่ศึกษา .....                                                 | 75   |

| บทที่                                                | หน้า |
|------------------------------------------------------|------|
| เกณฑ์ในการตัดสินความเป็นเนื้อดินปนวิเทรียสไนนา ..... | 78   |
| อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....                        | 80   |
| การดำเนินการทดลอง .....                              | 81   |
| สูตรที่ใช้ในการทดลอง .....                           | 87   |
| สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง .....             | 88   |
| 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....                         | 89   |
| ผลการทดลอง .....                                     | 90   |
| 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                 | 99   |
| วิธีดำเนินการทดลอง .....                             | 99   |
| อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....                        | 101  |
| ลำดับขั้นที่ใช้ในการทดลอง .....                      | 102  |
| การวิเคราะห์ข้อมูล .....                             | 104  |
| สรุปผลการทดลอง .....                                 | 104  |
| อภิปรายผล .....                                      | 105  |
| ข้อเสนอแนะในการนำผลการทดลองไปใช้ .....               | 108  |
| ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในโอกาสต่อไป .....            | 108  |
| บรรณานุกรม .....                                     | 109  |
| ภาคผนวก .....                                        | 113  |
| ประวัติย่อผู้วิจัย .....                             | 124  |

## บัญชีตาราง

| ตาราง                                                                                      | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างดินเหนียวและดินขาวโดยแยกตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์ .....        | 12   |
| 2 แสดงตัวอย่างส่วนผสมอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา .....                             | 16   |
| 3 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินสูตรเดิม .....                                          | 20   |
| 4 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ .....                                                  | 20   |
| 5 แสดงตัวอย่างการคำนวณโดยกำหนดค่า $\text{SiO}_2$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 66.9 .....             | 22   |
| 6 แสดงการเปรียบเทียบหมายเลขเซกเกอร์โค่นกับอุณหภูมิ .....                                   | 48   |
| 7 แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา .....                                         | 58   |
| 8 แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา .....                                         | 59   |
| 9 แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา (ร้อยละ) .....                                | 60   |
| 10 แสดงอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาในรูปร้อยละของออกไซด์ .....                      | 63   |
| 11 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสูตรสากล .....                          | 66   |
| 12 แสดงการคำนวณโดยกำหนดค่า $\text{SiO}_2$ เป็นค่าคงที่ ร้อยละ 66.2 .....                   | 67   |
| 13 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{SiO}_2$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 66.55 .....                | 68   |
| 14 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{SiO}_2$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 66.9 .....                 | 69   |
| 15 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 21.4 .....        | 70   |
| 16 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 22.0 .....        | 71   |
| 17 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 22.6 .....        | 72   |
| 18 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{K}_2\text{O}$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 3.4 .....            | 73   |
| 19 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{K}_2\text{O}$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 3.8 .....            | 74   |
| 20 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า $\text{K}_2\text{O}$ เป็นค่าคงที่ร้อยละ 4.2 .....            | 75   |
| 21 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองหาความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา .....      | 76   |
| 22 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองหาความเหมาะสมในการหล่อ .....                            | 77   |
| 23 แสดงจำนวนออกไซด์ (ร้อยละ) ที่นำไปเป็นเกณฑ์คำนวณหา ความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ..... | 89   |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 24 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปนวิเทรียสไชนาก่อนการเผา .....                                               | 90 |
| 25 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปนวิเทรียสไชนาหลังการเผาที่อุณหภูมิ<br>1200 องศาเซลเซียส .....               | 92 |
| 26 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปนวิเทรียสไชนา<br>ก่อนการเผาและหลังการเผาของการทดลองชุดที่ 1 ..... | 94 |
| 27 แสดงผลการทดสอบความเหมาะสมสำหรับการหล่อแบบระหว่างเนื้อดินปนวิเทรียส<br>ไชนา น้ำ และโซเดียมซิลิเกต .....        | 95 |
| 28 แสดงวันเวลาในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง .....                                                                | 98 |

## บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ                                                                  | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 แสดงวิธีวาง โคนและการล้อมของ โคน .....                                   | 50   |
| 2 แสดงการกดน้ำหนักลงบนแท่งทดลองด้วยเครื่องมือทดสอบความแข็งแรง .....        | 54   |
| 3 แสดงการทำเครื่องหมายไว้ที่แท่งทดลอง .....                                | 55   |
| 4 แบบพิมพ์ที่ใช้หล่อทดสอบอัตราความหนา .....                                | 80   |
| 5 แสดงลักษณะของชิ้นทดลองทดสอบการหดตัว .....                                | 81   |
| 6 แสดงลักษณะของชิ้นทดลองทดสอบความแข็งแรงก่อนเผา .....                      | 82   |
| 7 แสดงการทดสอบการโค้งงอของชิ้นงาน .....                                    | 83   |
| 8 แสดงขั้นตอนการทดลองชุดที่ 1 .....                                        | 85   |
| 9 แสดงขั้นตอนการทดลองชุดที่ 2 .....                                        | 86   |
| 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการเผาเคลือบ .....    | 115  |
| 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแผ่นทดลอง ..... | 116  |
| 12 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส .....         | 118  |
| 13 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ติดตั้งอุปกรณ์และแขวนผนัง .....                 | 119  |
| 14 แบบพิมพ์ที่ใช้ในการหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและทดสอบความหนาในการหล่อ .....  | 120  |
| 15 แบบพิมพ์ที่ใช้ในการหล่อแผ่นทดลอง .....                                  | 121  |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมเซรามิกส์ เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วจากการผลิตเพื่อสนองความต้องการภายในประเทศทดแทนการนำเข้า ปัจจุบันกลายเป็นอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกสามารถทำรายได้เข้าประเทศมีมูลค่าถึง 8872 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2537 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ (สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2538 : 3 - 2) ในจำนวนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่ส่งออกนั้น สุภภัณฑ์ (sanitary ware) ก็เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้มีส่งออกด้วย โดยมีสัดส่วนเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นแล้วประมาณร้อยละ 17.6 อยู่อันดับสาม รองจากถ้วยชาม และของ ชำร่วยซึ่งเป็นอันดับหนึ่งและสองตามลำดับ มีมูลค่าส่งออกประมาณ 1568 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2537 (สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2538 : 3 - 3) อุตสาหกรรมสุภภัณฑ์ในประเทศไทยเริ่ม มีขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2511 โดยมีการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นชื่อว่า บริษัท อเมริกันแสดนดาร์ด (ประเทศไทย) จำกัด ลงทุนร่วมกับอเมริกา และบริษัทแซงค์ (ประเทศไทย) จำกัดลงทุน ร่วมกับอังกฤษ ปัจจุบันมีผู้ผลิตรายใหญ่เปิดดำเนินการ 7 บริษัท (สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2538 : 1 - 7) สุภภัณฑ์ประกอบด้วย โถส้วม (closet) ถังพักน้ำ (tank) อ่างล้างหน้า (lavatory) ขาตั้งอ่าง (pedestal) โถปัสสาวะชาย (urinal) โถปัสสาวะหญิง (bidet) และอุปกรณ์ประกอบห้องน้ำ (accessory) ได้แก่ ที่วางสบู่ (soapdish) ที่ใส่กระดาษชำระ (paperholder) ที่แขวนผ้า (towelbar) เป็นต้น

เนื้อดินปั้น (body) ที่ใช้ในการทำสุภภัณฑ์ เรียกว่า เนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา (Vitreous china) มีลักษณะหลังเผา เนื้อแน่น ละเอียด มีสีขาวทึบ แข็งแรง มีความทนไฟที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส (โคน 5) ถึงอุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส (โคน 12) มีการหดตัว (shrinkage) ไม่เกินร้อยละ13 การดูดซึมน้ำ (water absorption) ไม่เกินร้อยละ1 (Singer. 1963 : 450) แต่ปริดาพิมพ์ขาวขำ (2534 : 411) และสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (2531 : 2) ได้กล่าวไว้ว่าเนื้อดินปั้นชนิดนี้มีการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ0.5 ส่วนเคลือบ (glaze) ที่ใช้เป็น เคลือบพอร์ซเลน (Porcelain) ที่เผาในอุณหภูมิที่สูงเช่นเดียวกับเนื้อดินปั้น ทำให้มีความ แข็งแกร่งทนต่อการขัดสี น้ำยาซักล้าง กรด ด่าง (สุรศักดิ์ โกสียพันธ์.2527 : 68 - 69) การขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนาต้องมีการเตรียมเนื้อดินปั้นอยู่ในรูปของเหลวซึ่งเรียกว่าน้ำดิน (slip) เพื่อนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการเทแบบหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการหล่อ (casting) ที่ต้องใช้วิธีนี้เพราะคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นไม่มีความเหนียวพอที่จะขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นและยังเหมาะกับสุภภัณฑ์ที่มีรูปทรงขนาดใหญ่มีส่วนโค้งเว้าทั้งตัวและภายในซับซ้อนด้วย

วัตถุดิบ (raw materials) ที่ใช้ในการผลิตเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) วัตถุดิบที่มีความเหนียว (plastic raw materials) ได้แก่ ดินชนิดต่างๆ 2) วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (non plastic raw materials) ได้แก่ หิน ททราย และแร่ต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของออกไซด์ (โกมล รัชวงศ์.2531 : 1) การผลิตสุกัณฑ์ในช่วงแรกๆวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต มีการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมดสืบเนื่องจากในขณะนั้นอุตสาหกรรมการทำเหมืองวัตถุดิบยังล้าหลังอยู่ จึงทำให้คุณภาพของวัตถุดิบไม่ดีพอขาดความสม่ำเสมอในเรื่องคุณภาพและการจัดส่งอย่างต่อเนื่อง (สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2538 : 7 - 1) แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรม การทำเหมืองวัตถุดิบมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการผลิต และบุคลากรก็มีความชำนาญมากขึ้น จึงสามารถผลิตวัตถุดิบให้มีคุณภาพและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ส่วนการพัฒนาปรับปรุงสูตรเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตสุกัณฑ์นั้นมีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลาโดยมีความพยายามเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกแต่มีคุณภาพเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง (ปริดา พิมพ์ขาวจำ.2534 : 414) และปัจจุบันมี การใช้วัตถุดิบที่ผลิตในประเทศมากขึ้นแต่ ก็ยังมีการนำเข้าอยู่บ้างจะเห็นได้จากข้อมูลของกรมศุลกากร (2538 : 152 - 162) มีการนำเข้า ดินดำ (Ball clay) ดินขาว (Kaolin) หินฟันม้า (Feldspar) ซิลิกา (Silica) โดโลไมท์ (Dolomite) ในปี พ.ศ. 2538 มีมูลค่า 134 ล้านบาทและยังมีแนวโน้มว่าการนำเข้ายังมีอยู่อีกต่อไป

การพัฒนาเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาในประเทศไทยนอกจากบริษัทผู้ผลิตสุกัณฑ์แล้วยังมี โกมล รัชวงศ์ (2531 : 163) ได้ทำการทดลองโดยใช้วัตถุดิบในประเทศทั้งหมด ประกอบด้วย ดินดำ ดินขาว หินฟันม้า หินเขียวหนุมานและอลูมินา ผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนผสมเนื้อดินมาตรฐาน ผ่านความเป็นเนื้อดินวิเทียสไชนาได้ 5 สูตร เเผาที่อุณหภูมิระหว่าง1250-1380 องศาเซลเซียส (โคน 8 - 13) 2) ส่วนผสมที่ให้ความแข็งแรงเป็นพิเศษ โดยการเติมอลูมินาเข้าไปในอัตราส่วนผสม ผ่านความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา 3 สูตร เเผาที่อุณหภูมิ 1250-1350 องศาเซลเซียส (โคน8 - 12)

จากการศึกษางานทดลองของโกมล รัชวงศ์ ทำให้ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะพัฒนาเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ที่เผาในอุณหภูมิต่ำลงมา โดยเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (โคน 6) และประโยชน์ที่จะได้รับคือช่วยลดต้นทุนการผลิตลง เพราะการเผาในอุณหภูมิที่สูงทำให้เสียเชื้อเพลิงและเวลาในการเผามาก การลดเวลาในการเผาลงทำให้ผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเร็วขึ้น สามารถส่งมอบให้ลูกค้าได้ตามกำหนดเวลา นอกจากนี้ในประเทศยังมีวัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นจำนวนมากทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ โดยกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ได้แก่ ดินขาว ดินเหนียว หินปูน หินฟันม้า หินเขียวหนุมาน และอื่น ๆ เป็นต้น (ศิริชัย โพธิ์ดาปนะ. 2532 : 54) การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยใช้หลักการคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์ตามสูตรมาตรฐาน

สากลเพื่อรักษาคุณสมบัติต่าง ๆ ให้คงอยู่เหมือนเดิม ใช้วัตถุดิบ ภายในประเทศทั้งหมด และวัตถุดิบเหล่านี้ได้ผ่านการวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีมาแล้วว่า มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อนามาใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ได้แก่ ดินดำ ดินขาว หินฟันม้า ทรายแก้ว ผลการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลาง ขนาดเล็ก ผู้สนใจและเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนา เนื้อดินปั้นประเภทนี้ต่อไป

### จุดมุ่งหมายของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา จากวัตถุดิบภายในประเทศ ได้แก่ ดินดำ ดินขาว หินฟันม้า ทรายแก้ว โดยเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของน้ำดินสำหรับใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ระหว่างส่วนผสม ของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา น้ำ และโซเดียมซิลิเกต
3. เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ก่อนเผาและหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

### ความสำคัญของการทดลอง

ผลของการทดลองเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนามีความสำคัญดังต่อไปนี้

1. ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อทำผลิตภัณฑ์วิเทียสไชนาโดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ ยังผลให้มีการใช้วัตถุดิบภายในประเทศให้เกิดประโยชน์มากขึ้น
2. เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าในด้านการทำผลิตภัณฑ์วิเทียสไชนาต่อไป
3. เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลาง เล็ก และผู้สนใจ

### ขอบเขตของการทดลอง

เพื่อให้การทดลองครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมาย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตดังนี้

1. การทดลองครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ตอนคือ
  - 1.1 การทดลองตอนที่ 1 เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของอัตราส่วนผสมจำนวน 9 อัตราส่วนผสมเพื่อหาความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่ดีที่สุด

1.2 การทดลองตอนที่ 2 นำผลการทดลองตอนที่ 1 หาคคุณสมบัติที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ จำนวน 20 อัตราส่วนผสม

2. อัตราส่วนผสมที่นำไปทดลองได้จากการใช้วิธีคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์ตาม องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไพนาสกาล จากการรวบรวมผลการวิจัย ของเฟลิซ และชันจา เอส ซิงเกอร์ (1963 : 450 - 455) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

|                                |        |             |
|--------------------------------|--------|-------------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 66.2 - 66.9 |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.6 - 1.0   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 21.4 - 22.6 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.3 - 0.6   |
| CaO                            | ร้อยละ | 0.2 - 0.4   |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.1 - 0.2   |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 3.4 - 4.2   |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 0.2 - 0.6   |
| L.O.I.(Loss on ignition)       | ร้อยละ | 3.9 - 6.9   |

3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทรียสไพนา ได้แก่

- 3.1.1 ดินเหนียว
- 3.1.2 ดินขาว
- 3.1.3 หินฟันม้า
- 3.1.4 ทรายแก้ว
- 3.1.5 น้ำ
- 3.1.6 โซเดียมซิลิเกต

3.2 วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำเคลือบ ได้แก่

- 3.2.1 หินฟันม้า
- 3.2.2 โดโลไมท์
- 3.2.3 หินปูน
- 3.2.4 สังกะสีออกไซด์
- 3.2.5 แบริยมออกไซด์
- 3.2.6 เซอร์โคเนียมซิลิเกต
- 3.2.7 ดินขาว

### 3.2.8 ทราเยแก้ว

### 3.2.9 น้ำ

## 4. ตัวแปรที่ศึกษา

### 4.1 ตัวแปรต้นได้แก่

4.1.1 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ได้จากการใช้วิธีคำนวณตาม ทฤษฎีทางเซรามิกส์ตามองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสากล จำนวน 9 อัตราส่วนผสม

4.1.2 อัตราส่วนผสมของน้ำดินที่เหมาะสมต่อการหล่อโดยนำเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่ผ่านเกณฑ์จากการทดลองส่วนที่ 1 ที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วน ผสมกับน้ำและเติมโซเดียมซิลิเกตจำนวน 20 อัตราส่วน

### 4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ก่อนการเผาและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 4.2.1.1 คุณสมบัติก่อนการเผา ได้แก่

1. ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นในขณะแห้ง (modulus of rupture)

2. การหดตัว

#### 4.2.1.2 คุณสมบัติหลังเผา ได้แก่

1. การหดตัว

2. การดูดซึมน้ำ

3. การโค้งงอ (warp)

4. ความทนไฟ (refractories)

5. สีของเนื้อดิน (fired colour)

6. ความเหมาะสมกับเคลือบ

#### 4.2.2 คุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อ

4.2.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่น)

4.2.2.2 ความหนืด (การไหลตัว)

4.2.2.3 ความหนาที่หล่อในระยะเวลา 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)

## 5. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้จากแหล่งต่อไปนี้

### 5.1 ดินดำแม่วิท จังหวัดลำปาง

- 5.2 ดินดำแม่แซน จังหวัดลำปาง
- 5.3 โดโลไมท์ จังหวัดกาญจนบุรี
- 5.4 ดินขาวระนอง จังหวัดระนอง
- 5.5 ดินขาวลำปาง จังหวัดลำปาง
- 5.6 หินฟันม้า จังหวัดราชบุรี
- 5.7 ททรายแก้ว จังหวัดระยอง
- 5.8 หินปูน จังหวัดสระบุรี
- 5.9 สังกะสีออกไซด์ ชนิดที่ใช้ในการค้าทั่วไป
- 5.10 โซเดียมซิลิเกต ชนิดที่ใช้ในการค้าทั่วไป
- 5.11 แบริยมออกไซด์ ชนิดที่ใช้ในการค้าทั่วไป
- 5.12 เซอร์โคเนียมซิลิเกต ชนิดที่ใช้ในการค้าทั่วไป

6. น้ำเกลือที่ใช้ในการทดลองเป็นเกลือโพรซเลนเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสูตรเอมไพริคัล ( Empirical ) ดังนี้

0.25-0.35  $K_2O$

0.30-0.70  $CaO$

0.35-0.40  $Al_2O_3$

2.0-3.0  $SiO_2$

0-0.20  $MgO$

0-0.20  $BaO$

0-0.20  $ZnO$

ส่วนผสมพิเศษเซอร์โคเนียมซิลิเกต ( $ZrSiO_4$ ) ร้อยละ 18

สูตรส่วนผสมของน้ำเกลือ โดยได้จากสูตรเอมไพริคัล

หินฟันม้า ร้อยละ 52

โดโลไมท์ ร้อยละ 3

หินปูน ร้อยละ 16

แบเรียมออกไซด์ ร้อยละ 3

สังกะสีออกไซด์ ร้อยละ 3

ดินขาว ร้อยละ 6

ททรายแก้ว ร้อยละ 17

รวม ร้อยละ 100

และส่วนผสมพิเศษเซอร์โคเนียมซิลิเกต ร้อยละ 18

7. น้ำดินใช้สำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อกำหนดให้ความถ่วงจำเพาะ 1.75 - 1.80 ใช้การ ชั่งน้ำหนักเป็นวิธีวัดความถ่วงจำเพาะ และมีความหนืด (viscosity) 5 - 50 พอยซ์ ใช้บรูกฟิลด์ เป็นเครื่องมือวัด

8. การทดลองหาความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ จะคัดเลือกอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นจากการทดลองตอนที่ 1 ที่ผ่านเกณฑ์ของความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทรียสไฮนาที่ดีที่สุด เพียง 1 สูตรเท่านั้น

9. การทดลองครั้งนี้กำหนดให้เคลือบมีความถ่วงจำเพาะ 1.60 - 1.75 ใช้การชั่งน้ำหนักเป็นวิธีวัดความถ่วงจำเพาะ และจะเคลือบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างด้วยวิธีพ่นให้ความหนาของเคลือบ ที่เกาะผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.6 - 0.7 มิลลิเมตร หลังเผาเหลือความหนาเคลือบเท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร

10. ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1200 องศาเซลเซียส การวัดอุณหภูมิกำหนดให้ใช้โคนของเซกเกอร์ (Segger cone) และเทอร์โมคอปเปิลไพโรเมตริก เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน (oxidation) ด้วยเตาแก๊ส

11. การขึ้นรูปขึ้นทดลอง (specimen) ใช้วิธีการหล่อในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้

11.1 ขนาด 2 x 25 x 1.2 เซนติเมตร ทดสอบความแข็งแรงก่อนการเผา

11.2 ขนาด 7 x 15 x 1.2 เซนติเมตร ทดสอบความเหมาะสมกับเคลือบและการดูด

ซึมน้ำ

11.3 ขนาด 2 x 10 x 1.2 เซนติเมตร ทดสอบการหดตัว

11.4 ขนาด 3 x 25 x 1.2 เซนติเมตร ทดสอบการโค้งงอ

11.5 รูปถ้วยขนาด  $\varnothing$  15 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ทดสอบความหนาที่หล่อในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

12. ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างได้จากการนำน้ำดินไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อโดยเทน้ำดินลงไปแบบพิมพ์พลาสติกทำเป็นรูปร่างล้างหน้า มีขนาด 360 x 477 x 182 เซนติเมตร ค่าผิดพลาดร้อยละ  $\pm 3$  มีจำนวน 2 ชิ้น

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. วิเทรียสไฮนา หมายถึง เนื้อดินปั้นเซรามิกส์ที่มีคุณสมบัติ เผาจนถึงจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เนื้อจะแน่นละเอียดมีสีขาวทึบ ดูดซึมน้ำไม่เกิน ร้อยละ 0.5 และมีส่วนผสมของดินดำ ดินขาว หินฟันม้า ทราายแก้วในอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. อัตราส่วนผสม หมายถึง สัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาผสมรวมกันเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของออกไซด์

3. ดินเหนียว หมายถึง ดินที่เกิดในที่ราบต่ำ เนื้อดินละเอียดมีอินทรีย์วัตถุปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก มีความเหนียวมาก เนื้อดินมีสีดำ หรือสีเทา เมื่อผ่านการเผาจะให้สีจางคือ สีขาวหม่น ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นเพื่อเพิ่มความเหนียวให้แก่เนื้อดิน ทำให้การขึ้นรูปง่ายขึ้น การทดลองครั้งนี้ใช้ดินเหนียวแม่วิท แม่แซน จากจังหวัดลำปาง

4. ดินขาว หมายถึง ดินที่เกิดในบริเวณที่ราบสูง เนื้อหยาบ มีสีขาว เนื้อดินมีความเหนียวน้อย ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น และเคลือบ ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นทำให้ เนื้อดินปั้นมีความทนไฟ และทำให้เนื้อดินมีสีขาว ใช้ผสมในเคลือบทำให้มีความทนไฟและเป็นตัวประสาน ทำให้เคลือบเกาะผิวชิ้นงานดีขึ้นในขณะพ่นเคลือบ การทดลองครั้งนี้ใช้ดินขาวจากแหล่ง คือ จังหวัดลำปาง และจังหวัดระนอง

5. หินฟันม้า หมายถึง สารประกอบของโซเดียมและโพแทสเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต ใช้ผสมเนื้อดินปั้นและเคลือบ ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิให้ต่ำลง การทดลองครั้งนี้ใช้หินฟันม้าจากจังหวัดราชบุรี

6. หินเขียวหนุมาน หมายถึง ผลึกของซิลิกา ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและเคลือบเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และลดการบิดเบี้ยว ผสมในน้ำเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็งเป็นแก้ว และเป็นมันแวววาวดีขึ้น การทดลองครั้งนี้ใช้ทรายแก้วจากจังหวัดระยอง

7. โซเดียมซิลิเกต หมายถึง สารประกอบระหว่างโซเดียมคาร์บอเนต กับซิลิกา ใช้เติมลงในน้ำดิน เพื่อทำให้น้ำดินมีการกระจายลอยตัวดีไม่ตกตะกอน การทดลองครั้งนี้ใช้ชนิดที่ใช้ในการค้าทั่วไป

8. เคลือบ หมายถึง สารประกอบซิลิเกต (Silicate) ผสมกับสารประกอบอย่างอื่นที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายเรียกว่าฟลักซ์ (Flux) นำไปเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ และนำไปผ่านกระบวนการเผา ทำให้ผิวผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแก้วฉาบติดอยู่ เพิ่มความสวยงาม ทนทานต่อการกัดกร่อน ของกรดและด่าง ในการทดลองครั้งนี้ใช้วัตถุดิบประกอบด้วย หินฟันม้าชนิดโพแตส โดโลไมท์ หินปูน สังกะสีออกไซด์ แบเรียมออกไซด์ เป็นตัวช่วยหลอมละลาย ดินขาว เป็นตัวทนไฟและตัวเชื่อมประสาน ทรายแก้วระยองทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรง และเป็นมันวาว เซอร์โคเนียมซิลิเกตเป็นตัวทำให้เคลือบทึบ

9. น้ำดิน หมายถึง เนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่มีส่วนผสมของน้ำอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและเติมโซเดียมซิลิเกตลงไปเพื่อปรับคุณสมบัติโดยการทำให้มีการกระจายตัวดีไม่ตกตะกอนเหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ

10. การหดตัว หมายถึง การที่เนื้อดินปั้นมีขนาดเปลี่ยนไป เมื่อเนื้อดินปั้นแห้งและได้รับความร้อนจากการเผา ในการทดลองครั้งนี้ หลังจากการเผาเคลือบการหดตัวต้องไม่เกิน ร้อยละ 13

11. ความเหมาะสมในการหล่อ หมายถึง น้ำดินที่ได้จากการเตรียมจะต้องสามารถนำไปขึ้นรูปด้วยการหล่อได้ โดยมีคุณสมบัติดังนี้

11.1 ความหนาต้องไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ในระยะเวลาหล่อ 1 ชั่วโมง

11.2 ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.75-1.80

11.3 ความหนืด เท่ากับ 5-50 พอยซ

12. การดูดซึมน้ำ หมายถึง การนำเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาไปทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำตามกรรมวิธี โดยเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนาจะต้องดูดซึมน้ำไม่เกิน ร้อยละ 0.5

13. ความแข็งแรงก่อนการเผา หมายถึง คุณสมบัติของเนื้อดินปั้นที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกดที่กระทำต่อเนื้อดินปั้นโดยใช้เครื่องมือในการทดสอบความแข็ง ค่าที่วัดได้จะต้องมากกว่า 9.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{Kg/cm}^2$ )

14. หินปูน (lime stone) หมายถึง วัตถุดิบที่มีสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิให้ต่ำลง เหมาะสำหรับใส่ลงในเคลือบ ในการทดลองครั้งนี้ใช้หินปูนที่มาจากแหล่งจังหวัดสระบุรี

15. โดโลไมท์ หมายถึง สารประกอบของ แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนตใช้ผสมในน้ำเคลือบจะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบ ในการทดลองครั้งนี้ใช้โดโลไมท์จากแหล่งจังหวัดกาญจนบุรี

16. ความทนไฟ หมายถึง ความทนทานของเนื้อดินวิเทรียสไชนาต่อความร้อน โดยเนื้อดินไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพโครงสร้างทางกายภาพ (การหลอม) ยังสามารถคงสภาพเดิมได้โดยไม่สูญเสียรูปทรง เช่นบิดเบี้ยว คดงอ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

17. การโค้งงอ (sag bar test) หมายถึง การทดสอบเพื่อหาความโค้งงอตัวของเนื้อดินเมื่อผ่านการเผาแล้วโดยแท่งดินที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 3 x 25 x 1.2 เซนติเมตร โดยจะวางบนที่ตั่งเผา (sag bar) มีระยะห่างแต่ละจุดสัมผัส 20 เซนติเมตร หลังเผากการโค้งงอ ต้องไม่เกิน 22 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร

18. การเผาแบบออกซิเดชัน หมายถึง การเผาที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอไม่ก่อให้เกิดควันเขม่าในห้องเผาไหม้ของเขา

19. เตาแก๊ส หมายถึง เตาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้เผาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สธรรมชาติ

20. เทอร์โมคอบเบิลไฟโรเมตริก หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิในเตาเผาโดยใช้หลอดต่างกัน 2 ชนิด เมื่อสายโลหะทั้งคู่ได้รับความร้อนจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านระบบเครื่องวัดทางไฟฟ้าและ แปลงค่าเป็นอุณหภูมิสามารถบอกค่าเป็นองศาเซลเซียส และ องศาฟาเรนไฮต์ ที่หน้าปัด

21. โคนหรือหุ่นวัดไฟ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิในเตาเผาเป็นแท่งสามเหลี่ยมปลายแหลมคล้ายปิรามิด โดยวางไว้ทุกจุดในเตาเผาและในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นเพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ การวางจะต้องวางเรียงกัน 3 ชั้น ด้านแบนของโคนจะทำมุม 82 องศา เมื่อเผาจนถึงจุดสุกตัวโคนจะล้มไปตามเข็มนาฬิกาประมาณ 1, 2 และ 3 นาฬิกา ตามลำดับ ในการทดลองครั้งนี้ใช้โคน 7, 6 และ 5

22. เกณฑ์ความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนา หมายถึง คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนา ได้แก่

22.1 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นขณะแห้ง

22.2 การหดตัวก่อนการเผา

22.3 ดูดซึมน้ำ

22.4 การหดตัวหลังการเผา

22.5 การโค้งงอ

22.6 ความทนไฟที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

22.7 ความเหมาะสมในการเคลือบ

22.8 สีของเนื้อดิน

22.9 ความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้กล่าวเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน และเนื้อดินป็น
2. เนื้อดินป็นวิเทรียสไชนา
3. วัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินป็นวิเทรียสไชนาและน้ำเคลือบ
4. การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อพิมพ์
5. น้ำเคลือบและการเคลือบผลิตภัณฑ์
6. เตาและการเผา
7. อิทธิพลความร้อนที่มีผลต่อการหลอมละลายของเนื้อดินป็นและวัตถุดิบ
8. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินป็น และคุณสมบัติในการหล่อของน้ำดินป็น
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ

#### 1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน และเนื้อดินป็น

##### ความหมายและการกำเนิดของดิน

1.1 ดิน หมายถึง วัตถุดิบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเกิดจากการแปรสภาพหินพื้นม้ เนื่องจากได้รับความชื้น จนเกิดการผุพังเปลี่ยนสภาพเป็นดิน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า เกาลินไนท์เซชัน (Kaolinitization) (โกลล รักษ์วงศ์, 2531 : 3) ดินป็นสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกต และมีสารประกอบอื่นเจือปนอยู่มาก เช่น ซิลิกาซิลิกา สารอัลคาไลน์ อัลคาไลน์เอิร์ท เหล็กออกไซด์ ทิตาแทนเนียมแมงกานีส เป็นต้น จะมีความเหนียวในขณะที่มีน้ำผสมอยู่ จะเหนียวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินถ้าหากเม็ดดินละเอียดมากก็จะเหนียวมากและมีความแข็งแรงมากเมื่อแห้ง ดินแต่ละประเภทมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบแผ่น (sheet structure) แต่ก็มีบางชนิดที่มีโครงสร้างจับกันเหมือนลูกโซ่ (chain silicate) การเปลี่ยนแปลงสภาพของดินเมื่อได้รับความร้อนดินเริ่มเปลี่ยนสภาพเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำในโมเลกุลเริ่มแตกสลายตัว จึงเหลือสารประเภทอลูมิเนียมซิลิเกตที่ปราศจากน้ำและจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้น ความแข็งแรงจะมากขึ้น หากนำมาผสมน้ำจะไม่เกิดความเหนียว อีกต่อไป (สมศักดิ์ ขวลาวัณย์, 2535 : 21)

ดินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ดินมีหลายประเภทแตกต่างกันไปตามลักษณะของดิน นับตั้งแต่แหล่งกำเนิด โครงสร้าง คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น สี ของดิน ความทนไฟ การหดตัว ความเหนียวของดิน องค์ประกอบที่แตกต่างกัน เป็นต้น (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2523 : 41)

ดินแบ่งตามแหล่งกำเนิด เป็น 2 ชนิด คือ ( ทวี พรหมพฤษชัย 2526 : 58 )

1. ดินที่เกิดครั้งแรก (primary clay) คือดินที่เกิดในบริเวณที่ราบสูงได้แก่ดินขาว มีลักษณะ เนื้อหยาบ ให้สีขาวหรือสีขาวหม่น ความทนไฟสูง ความเหนียวไม่ดีพอที่จะขึ้นรูปได้ ต้องนำไปผสมกับดินชนิดอื่น

2. ดินที่เกิดครั้งที่สอง 2 (secondary clay) คือดินที่เกิดในบริเวณที่ราบต่ำ หรือที่ราบลุ่มได้แก่ ดินเหนียว มีลักษณะสีเทาหรือดำ เนื่องจากมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่มาก ขนาดอนุภาคเล็ก แต่เมื่อหลังเผาจะมีสีขาว มีเม็ดละเอียด ทำให้เกิดมีความเหนียวดี เหมาะแก่การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินป็นขณะทำการเผาได้ดี เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น มีเนื้อเดียวกันตลอด แต่ก็มีข้อเสียบางประการ คือ มีความบริสุทธิ์ต่ำมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มาก โดยเฉพาะเหล็กออกไซด์และทิตานียมออกไซด์เป็นผลให้สีของเนื้อดินหลังเผาไม่ขาวเท่าที่ควร ทำผลิตภัณฑ์ไปรังแสงได้ยาก และมีการหดตัวสูงทำให้บิดเบี้ยว แตกร้าว (โกมล รักษ์วงศ์ 2531 : 9 - 10)

ตาราง 1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างดินเหนียวและดินขาวโดยแยกตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์

| ดินเหนียว                   | ดินขาว                          |
|-----------------------------|---------------------------------|
| เนื้อละเอียด                | เนื้อหยาบกว่า                   |
| มีความเหนียวมาก             | เหนียวน้อยกว่า                  |
| หดตัวมากไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 | หดตัวน้อยกว่า                   |
| มีความแข็งตัวก่อนการเผาสูง  | มีความแข็งตัวก่อนการเผาน้อยกว่า |
| มีความบริสุทธิ์น้อย         | มีสีขาว บริสุทธิ์สูง            |
| ทนต่อความร้อนได้ต่ำ         | ทนต่อความร้อนได้สูงกว่า         |
| มีการยุ่ยตัวได้ยาก          | ยุ่ยตัวได้ง่ายกว่า              |
| เกิดหลัง                    | เกิดก่อน                        |

โกลม รักษ์วงศ์ (2531 : 81) แบ่งดินออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. ดินขาว
2. ดินเหนียว
3. ดินทนไฟ (Fire clay) เป็นดินที่มีความทนไฟสูง สามารถทนความร้อนได้ 1000 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นประเภทอิฐทนไฟ
4. ดิน เบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นดินเหนียวที่เกิดจากจีไธ้าของภูเขาไฟมี ความเหนียว และทนไฟสูง เป็นดินที่มีความบริสุทธิ์ต่ำไม่เหมาะที่จะผสมกับเนื้อดินปั้นที่ทำผลิตภัณฑ์สีขาว

ซิงเกอร์ ( Singer. 1963 : 26 ) ได้แบ่งดินออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. ดินขาวหลังการเผา
  - 1.1 ดินขาว
  - 1.2 ดินเหนียว
2. ดินทนไฟ
  - 2.1 ดินที่มีส่วนประกอบซิลิกาสูง
  - 2.2 ดินที่มีส่วนประกอบอลูมินาสูง
3. ดินที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง
4. ดินสโตนแวร์

1.2 เนื้อดินปั้น หมายถึง เนื้อดินหรือวัตถุดิบที่ได้ผ่านการเตรียมโดยมีเป้าหมายที่แน่นอนที่จะทำผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งทั้งนี้เพื่อให้เนื้อดินมีคุณสมบัติที่ดีเป็นไปตามความ ต้องการ (ทวีพรหมพฤกษ์. 2523 : 17) เช่นเดียวกับ ซิงเกอร์ (1963 : 393) กล่าวว่าเนื้อดินปั้น หมายถึง การนำวัตถุดิบมาผสมกัน เตรียมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่ง และรวมไปถึง เคลือบที่ใช้ด้วยเนื้อดินปั้นส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจากดิน หรืออยู่บนพื้นฐานของวัตถุดิบ 3 อย่างคือ ดินเหนียว หินฟันม้า และหินเขียวหนุมาน โดยได้สัดส่วนจากตารางสามเหลี่ยม (triangular diagram) นำไปทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่ดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับทำผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง เนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมกัน 3 ชนิด นี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เนื้อดินปั้นไตรแอกเซียล (ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. 2535 : 94 - 95 )

ซิงเกอร์ (1963 : 394 - 395 ) แบ่งเนื้อดินปั้นเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ

1. แบบนิยม (Traditional) ได้แก่

- 1.1 บ릭แวร์ (Brick ware)
- 1.2 อิฐทนไฟ (Refractories)
- 1.3 สโตนแวร์ (Stone ware)
- 1.4 ไฟร์เคลย์ (Fire clay)
- 1.5 คัลเลอร์ เอิร์ทเทิร์นแวร์ (Coloured earthen ware)
- 1.6 ไวท์เอิร์ทเทิร์นแวร์ (White earthen ware)
- 1.7 เซมิ วิเทรียสไชนา (Semi-vitreous china)
- 1.8 วิเทรียสไชนา (Vitreous china)
- 1.9 ไฟน์สโตนแวร์ (Fire stone ware)
- 1.10 ซอฟท์ พอร์ซเลน (Soft porcelain)
- 1.11 โบนไชนาน่า (Bone china)
- 1.12 ฮาร์ด พอร์ซเลน (Hard porcelain)

2. แบบปรับปรุงจากเนื้อดินแบบดั้งเดิม (Modern Improved bodies)

- 2.1 เทอร์มินัล อินซูลेशन บอดี้ (Thermal insulation body)
- 2.2 ไวท์ เคมีคัลสโตนแวร์ (White chemical stoneware)
- 2.3 เทอร์มัล ชอค รีซิส สโตนแวร์ (Thermal shock resisting stoneware)
- 2.4 อิเล็กทริกัล สโตนแวร์ (Electrical stoneware)
- 2.5 อิเล็กทริกัล พอร์ซเลน (Electrical porcelain)
- 2.6 เคมีคัล พอร์ซเลน (Chemical porcelain)
- 2.7 มุลไลต์ พอร์ซเลน (Mullite porcelain)
- 2.8 เซอร์คอน พอร์ซเลน (Zircon Porcelain)
- 2.9 เซรามิก บอนด์ แอบราซีฟ (Ceramic-bonded abrasives)

3. แบบใหม่บนพื้นฐานส่วนผสมเดียว (Newbodies based on single compounds) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- 3.1 พอร์ซเลน (Porcelain)
  - 3.1.1 คอร์ดีเยว ไรท์ (Cordierite)
  - 3.1.2 สตีไทท์ (Steatite)
  - 3.1.3 ฟอรัสเตไรท์ (Forsterite)

- 3.1.4 สไปเนล (Spinel)
- 3.1.5 ไพโรฟิลไลต์ (Pyrophyllite)
- 3.1.6 วอลลาสโตไนต์ (Wollastonite)
- 3.1.7 ลิเทียมอลูมิโน ซิลิเกต (Lithium aluminosilicate)
- 3.1.8 ไฮท์ อลูมินา (High alumina)
- 3.1.9 ไฮท์แมกนีเซีย (High magnesia)
- 3.1.10 ไฮท์ เบเรลเลีย (High berellia)
- 3.2 สารประกอบเดี่ยวที่มีความบริสุทธิ์ (Pure single component type)
  - 3.2.1 สารบริสุทธิ์และสารประกอบที่ได้จากการเผาในอุณหภูมิสูง (Pure sintered oxides carbides nitrides and other compounds)
  - 3.2.2 เซอร์เมต (Cermets)
  - 3.2.3 รูไทล์ (Rutile)
  - 3.2.4 ทิทาเนต (Titanates)
  - 3.2.5 เฟอไรต์ (Ferrites)
- 3.3 เพอร์มิบเบิล เพอร์ส บอดี้ (Permeable porous bodies)

ปริดา พิมพ์ขาว (2535 : 93) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นที่ทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์มี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนผสม และเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนผสม แต่มีเนื้อวัสดุชนิดเดียวกันหรือวัสดุหลายชนิดผสมกัน แบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนประกอบ ดินบางส่วนอาจผ่านการเผามาแล้ว และอาจมีวัสดุอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย
2. เนื้อดินปั้นที่มีออกไซด์บริสุทธิ์ เช่น  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  เป็นต้น
3. เนื้อดินปั้นที่ไม่ใช่ออกไซด์ ได้แก่ พวกโบไรด์ เช่น  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$  พวกคาร์ไบด์ ได้แก่ WC, TiC พวกไนไตรด์ เช่น  $Si_3N_4$  เป็นต้น
4. เนื้อแก้วผลิตได้จากการหลอมส่วนผสม ซึ่งเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วจะกลายเป็นแก้ว วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อแก้วได้แก่  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  เป็นต้น

สมหวัง นรพัลลภ (2527 : 36) แบ่งประเภทของเนื้อดินปั้นที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ดังนี้

1. เนื้อดินปั้นอีพ็อกซีเรซินแวร์ เป็นเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของดินมากกว่าส่วนผสมอย่างอื่น และเผาที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำประมาณ 1100 องศาเซลเซียส เนื้อดินมีความพรุนตัว น้ำสามารถผ่านได้

2. เนื้อดินชนิดสโตนแวร์ สำหรับเนื้อดินชนิดนี้มีส่วนผสมของหินและดินเผา ๆ กัน หรืออาจมีดินมากกว่าเล็กน้อย แต่เผาในอุณหภูมิค่อนข้างสูงกว่าชนิดแรก คือตั้งแต่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเนื้อดินที่เผาถึงจุดสุกตัว เนื้อดินแข็งแรง น้ำและของเหลวไม่สามารถไหลผ่านได้ เนื้อดินค่อนข้างหยาบ

3. เนื้อดินปั้นพอร์ซเลน ส่วนผสมคล้ายสโตนแวร์ แต่จะต้องเป็นเนื้อดินที่เผาสุกตัวแล้วให้สีขาว โปร่งแสง เนื้อละเอียด ความแข็งแรงสูง

4. เนื้อดินปั้นชนิดโบนไชนาน่า เป็นเนื้อดินปั้นชนิดพิเศษ ที่มีส่วนผสมของเถ้ากระดูกสัตว์ปริมาณสูง และเป็นเนื้อดินที่ค่อนข้างจะมีกรรมวิธีสลับซับซ้อนตั้งแต่เริ่มผลิตจนกระทั่งสำเร็จรูป ส่วนมากจะใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องประดับเป็นส่วนใหญ่

### เนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา

เนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา เป็นเนื้อดินปั้นที่จัดอยู่ในประเภทพอร์ซเลนชนิดหนึ่ง ที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

โกลม รักษัวงศ์ (2531 : 162 - 163) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นชนิดนี้มีสีขาว หรืออาจจะมีสีอื่น จะเผาในอุณหภูมิตั้งแต่ 1180 - 1350 องศาเซลเซียส (โคน 5 - 12 ถึง โคน 12) เมื่อเผาจนถึงจุดสุกตัว ไม่ดูดซึมน้ำ น้ำเคลือบที่ใช้จะเป็นเคลือบอุณหภูมิสูง เช่นเดียวกับเนื้อดินปั้น ตัวอย่างอัตราส่วนเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา นามีดังต่อไปนี้

ตาราง 2 แสดงตัวอย่างส่วนผสมอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา

| วัตถุดิบ  | ส่วนผสมเนื้อดินปั้นเป็นมาตรฐาน |        |        |        |        | ส่วนผสมเนื้อดินปั้นที่ทำให้เกิด<br>ความแข็งแรง |        |        |
|-----------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------------------|--------|--------|
|           | สูตร 1                         | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 | สูตร 5 | สูตร 6                                         | สูตร 1 | สูตร 8 |
| ดินขาว    | 35.6                           | 34.5   | 39.5   | 40     | 34     | 34                                             | 34     | 34     |
| ดินเหนียว | 9.4                            | 9.5    | 8.0    | 6      | 12     | 9                                              | 7      | 9      |
| หินแก้ว   | 34.0                           | 35.0   | 34.5   | 36.3   | 17     | 27                                             | 24     | 19.5   |
| หินฟันม้า | 21.0                           | 21.0   | 18.0   | 17.7   | 3      | 18                                             | 16     | 17     |
| อลูมินา   | -                              | -      | -      | -      | -      | 12                                             | 17     | 20.5   |
| อุณหภูมิ  | 8-10                           | 8.10   | 8.10   | 9-13   | 8.10   | 10.12                                          | 10-12  | 10-12  |

ปรีดา พิมพ์ขาวจำ (2535 : 411) กล่าวว่า สัณณของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาจะมีเนื้อแน่น ละเอียด มีความพรุนตัวต่ำกว่าร้อยละ 0.5 และเคลือบด้วยเคลือบพอร์ซเลนที่แข็งแรง และมีความต้านทานต่อการขัดสี ต่อน้ำยาซักล้าง กรด ต่าง

ซิงเกอร์ (1963 : 450 - 452) กล่าวถึงเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาว่า เป็นเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบประกอบด้วย ดินขาว ดินเหนียว หินฟันม้า และ หินเขียวหนุมาน เป็นองค์ประกอบหลัก บางตัวอย่างใช้เนปทาไลไนท์แทน หินฟันม้า เฟลสปาร์ นอกจากนี้ยังใช้ ลิเทียม เลปิโดไลท์ (Lepidolite) สโปดิวเมน (Spodumene) หินปูน และ ทัลค์ เป็นส่วนประกอบ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา อยู่ระหว่าง 1180-1350 องศาเซลเซียส (โคน 5 - ถึง โคน 12) แต่นิยมเผา ที่อุณหภูมิ 1250-1300 องศาเซลเซียส ใช้ (โคน 8 - 10) เนื้อดินมีลักษณะขาวทึบ ผิวเนียน ดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 1 ได้มีผู้ทำการทดลองเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาน่าหลายท่าน และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไว้โดยคิดเป็นร้อยละของออกไซด์มีดังนี้

|                                |        |             |
|--------------------------------|--------|-------------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 66.2 - 66.9 |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.6 - 1.0   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 21.4 - 22.6 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.3 - 0.6   |
| CaO                            | ร้อยละ | 0.2 - 0.4   |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.1 - 0.2   |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 3.4 - 4.2   |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 0.6 - 0.7   |

## 2.1 วัตถุประสงค์ของการเตรียมเนื้อดินปั้น (Rhodes. 1973 : 27 ) ได้แก่

2.1.1 เพื่อเปลี่ยนแปลงความเหนียวของเนื้อดินปั้นให้มีความเหนียวมากหรือน้อย เพื่อให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2.1.2 เพื่อลดการหดตัวของเนื้อดินปั้น หรือพัฒนาให้เนื้อดินปั้นมีการบิดงอ แตกร้าว น้อยที่สุด

2.1.3 เพื่อเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในการเผาของเนื้อดินปั้นให้สูงขึ้น โดยเพิ่มวัตถุดิบที่มีความทนไฟลงในเนื้อดินปั้น ได้แก่ ดินขาว หินเขียวหนุมาน ดินทนไฟ

2.1.4 เพื่อเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในการเผาของเนื้อดินปั้นให้ต่ำลง ซึ่งเนื้อดินที่มีความทนไฟสูงเมื่อเผาแล้วเนื้อดินไม่ถึงจุดสุกตัว เนื้อดินจะโปร่งสามารถดูดซับน้ำได้ มีความแข็งแรง ไม่เพียงพอ การแก้ไขสามารถทำได้โดย นำวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติช่วยลดอุณหภูมิลง เรียกว่า ฟลักซ์ ผสมเข้าไปในส่วนผสม เช่น หินฟันม้า ฟริต (Frit)

2.1.5 เพื่อปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงสีหลังการเผา ให้มีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นมา ถ้าจะให้เนื้อดินปั้นหลังการเผามีสีขาว จะต้องเลือกวัตถุดิบที่ให้สีขาวหลังการเผา และในส่วนประกอบของวัตถุดิบจะต้องมีปริมาณของทาทาเนียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ คิดเป็นร้อยละน้อยที่สุด เพราะออกไซด์ 2 ตัวนี้จะให้สี ถ้าเราต้องการผลิตภัณฑ์หลังการเผาที่มีสี ก็เติมวัตถุดิบที่ให้สีลงไป เช่น ใช้ดินแดงท้องถิ่น แทนดินชนิดที่เราใช้ หรืออาจเติมสี ออกไซด์ที่ให้สีเข้าไปตามความเหมาะสม ( Rhodes. 1959 : 45 - 52 )

2.1.6 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการหล่อของเนื้อดินปั้น ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต เกลือโซเดียมคาร์บอเนตเข้าไปเพื่อให้เนื้อดินปั้นที่เตรียมไว้ไม่ตกตะกอน มีการกระจายลอยตัวอยู่ตลอดเวลา ( ทวี พรหมพฤษย์. 2523 : 85 - 86 )

2.1.7 เพื่อต้องการให้เนื้อดินปั้นเหมาะสมกับน้ำเคลือบ ซึ่งจะช่วยให้ผิวเคลือบไม่ร้าวเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน

2.1.8 เพื่อต้องการลดค่าใช้จ่าย เนื่องจากวัตถุดิบบางชนิดมีน้อย และราคาแพง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสูตรใหม่เพื่อลดต้นทุนลง เช่น เดิมใช้วัตถุดิบจากต่างประเทศ ซึ่งค่าใช้จ่ายจะสูงจึงต้องปรับปรุงโดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศให้มากขึ้นเพื่อมาทดแทนวัตถุดิบต่างประเทศ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2535 : 94)

## 2.2 การกล่าวถึงส่วนผสมเนื้อดินปั้นสามารถกล่าวถึงได้ 4 วิธี

### 2.2.1 กล่าวถึงโดยเขียนเป็นร้อยละของวัตถุดิบ เช่น

|                |        |    |
|----------------|--------|----|
| ดินขาว         | ร้อยละ | 35 |
| ดินเหนียว      | ร้อยละ | 25 |
| หินเขียวหนุมาน | ร้อยละ | 13 |
| หินฟันม้า      | ร้อยละ | 27 |

### 2.2.2 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นร้อยละออกไซด์ต่าง ๆ เช่น

|                                     |        |      |
|-------------------------------------|--------|------|
| SiO <sub>2</sub>                    | ร้อยละ | 66.7 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | ร้อยละ | 21.6 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | ร้อยละ | 0.5  |
| CaO                                 | ร้อยละ | 0.6  |
| MgO                                 | ร้อยละ | 0.4  |
| K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O | ร้อยละ | 4.5  |
| L.O.I.                              | ร้อยละ | 5.7  |

### 2.2.3 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นรูปร้อยละของแร่ เช่น

|                |        |    |
|----------------|--------|----|
| แร่ดิน         | ร้อยละ | 50 |
| หินเขียวหนุมาน | ร้อยละ | 25 |
| หินฟีนมา       | ร้อยละ | 25 |

### 2.2.4 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นสูตรทั่วไป เช่น

|            |          |        |
|------------|----------|--------|
| $RO, R_2O$ | $R_2O_3$ | $RO_2$ |
| 0.36       | 1        | 5.24   |

$RO, R_2O$  หมายถึงออกไซด์ของโลหะซึ่งมีวาเลนซ์ 2 และ 1 ตามลำดับ เช่น  $CaO, MgO, K_2O, Na_2O$

$R_2O_3$  หมายถึงออกไซด์ของโลหะ ซึ่งมีวาเลนซ์ 3 เช่น  $Al_2O_3, Fe_2O_3$  เป็นต้น

$RO_2$  หมายถึงออกไซด์ของโลหะที่มีวาเลนซ์ 4 เช่น  $SiO_2, TiO_2$  เป็นต้น

การกล่าวถึงส่วนผสมเนื้อดินปั้นในแบบแรก มีประโยชน์สำหรับการเตรียมเนื้อดินปั้นโดยเฉพาะไม่สามารถเปรียบเทียบเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนผสมที่ต่าง ๆ กันได้

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงส่วนผสมของเนื้อดินปั้นตามลักษณะที่สอง คือ การกล่าวถึงในลักษณะโดยเป็นร้อยละของออกไซด์ต่าง ๆ เนื่องจากเนื้อดินที่จะสร้างขึ้นใหม่ ได้จากการใช้วิธีคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์จากสูตรมาตรฐานสากล

## 2.3 การคำนวณหาอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นตามทฤษฎีทางเซรามิกส์

การหาอัตราส่วนเนื้อดินปั้นโดยวิธีนี้ เป็นการนำผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบใหม่ มาคำนวณหาค่าของออกไซด์ตามผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินปั้นสูตรเดิมเพื่อรักษาคุณสมบัติต่าง ๆ ในการขึ้นรูปและคุณสมบัติต่าง ๆ หลังจากเผาแล้วให้เหมือนเนื้อดินปั้นเดิม

คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุดิบและของเนื้อดินปั้นทั้งก่อนเผาและหลังเผามีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบและโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วย ส่วนประกอบทางเคมี เนื้อแร่ การกระจายขนาดของอนุภาค อนุภาคคอลลอยด์และพื้นผิว สารที่เป็นตัวปรุงแต่งคอลลอยด์ เนื้อดินปั้นที่แตกต่างกันไปก็ใช้ประโยชน์ในจุดมุ่งหมายที่ต่างกัน ซึ่งจะมีส่วนประกอบเฉพาะแต่ละรูปแบบ เคลือบกับเนื้อผลิตภัณฑ์จะเข้ากันได้ดีก็ต้องมีอัตราส่วนของ  $Al_2O_3$  ต่อ  $SiO_2$  และปริมาณควอตซ์อิสระที่เหมาะสม ความขาวของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของ  $TiO_2$  และ  $Fe_2O_3$  (ปริดา พิมพ์ขาว. 2535 : 102)

วิธีการสร้างส่วนผสมเนื้อดินปั้นใหม่มีขั้นตอนและเหตุผลในการกระทำแต่ละขั้นตอนคือ

ศึกษาความรู้เบื้องต้นที่ควรรู้ก่อนการคำนวณ

### 1. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินสูตรเดิม

ตาราง 3 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินสูตรเดิม

| ออกไซด์                        | ค่าต่ำ | ค่ากลาง | ค่าสูง |
|--------------------------------|--------|---------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 66.20  | 66.55   | 66.90  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.60   | 0.80    | 1.00   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21.40  | 22.00   | 22.60  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.30   | 0.45    | 0.60   |
| CaO                            | 0.20   | 0.30    | 0.40   |
| MgO                            | 0.10   | 0.15    | 0.20   |
| K <sub>2</sub> O               | 3.40   | 3.80    | 4.20   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.20   | 0.40    | 0.60   |
| L.O.I.                         | 6.90   | 5.30    | 3.90   |

### 2. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง 4 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ

| ออกไซด์          | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | L.O.I. |
|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------|--------|
| วัตถุดิบ         |                  |                  |                                |                                |      |      |                  |                   |        |
| ดินขาวลำปาง      | 59.7             | 0.07             | 27.6                           | 0.84                           | 0.13 | 0.25 | 5.85             | 0.15              | 5.39   |
| ดินขาวระนอง      | 48.6             | 0.02             | 36.4                           | 0.94                           | 0.08 | 0.07 | 2.00             | 0.19              | 11.73  |
| ดินดำแจ้คอน      | 56.2             | 0.63             | 29.8                           | 2.09                           | 0.40 | 0.74 | 2.78             | 0.85              | 7.04   |
| ดินดำแม่ทาน      | 62.3             | 0.57             | 24.5                           | 1.22                           | 0.24 | 0.59 | 2.14             | 0.13              | 8.31   |
| หินฟันม้าราชบุรี | 65.2             | -                | 20.4                           | 1.0                            | 1.7  | 1.7  | 6.7              | 1.5               | 1.5    |
| หินเขียวหนุมาน   | 98.9             | -                | 0.80                           | 0.10                           | 0.05 | 0.09 | -                | -                 | 0.05   |

3. นำผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบคำนวณหาจำนวนออกไซด์ โดยใช้สูตร

$$X = \frac{Yn}{100}$$

X = จำนวนออกไซด์

Y = จำนวนวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น

n = จำนวนออกไซด์ที่เกิดจากร้อยละของวัตถุดิบ

|               |                 |     |           |                                |   |                  |      |
|---------------|-----------------|-----|-----------|--------------------------------|---|------------------|------|
| ตัวอย่างที่ 1 | ดินดำแฉกคอน     | 100 | ส่วน ให้  | SiO <sub>2</sub>               | = | 56.2             | ส่วน |
|               | ดินดำแฉกคอน     | 1   | ส่วน ให้  | SiO <sub>2</sub>               | = | <u>56.2</u>      | ส่วน |
|               |                 |     |           |                                |   | 100              |      |
|               | ดินดำแฉกคอน     | 12  | ส่วน ให้  | SiO <sub>2</sub>               | = | <u>56.2 x 12</u> | ส่วน |
|               |                 |     |           |                                |   | 100              |      |
|               | ถ้าใช้ดินแฉกคอน | 12  | ส่วนจะให้ | SiO <sub>2</sub>               | = | 6.74             | ส่วน |
| ตัวอย่างที่ 2 | ดินดำแฉกคอน     | 100 | ส่วน ให้  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | = | 29.8             | ส่วน |
|               | ดินดำแฉกคอน     | 1   | ส่วน ให้  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | = | <u>29.8</u>      | ส่วน |
|               |                 |     |           |                                |   | 100              |      |
|               | ดินดำแฉกคอน     | 12  | ส่วน ให้  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | = | <u>29.8 x 12</u> | ส่วน |
|               |                 |     |           |                                |   | 100              |      |
|               | ถ้าใช้ดินแฉกคอน | 12  | ส่วนจะให้ | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | = | 3.58             | ส่วน |

ตาราง 5 แสดงตัวอย่างการคำนวณโดยกำหนดค่า  $\text{SiO}_2$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 66.9

| ออกไซด์<br>เนื้อดินป่นสูตรเดิม | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | L.O.I. |
|--------------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------|
| วัตถุดิบ                       |                |                |                         |                         |              |              |                      |                       |        |
| ดินแฉะก่อน                     | 56.2           | 0.63           | 29.8                    | 2.09                    | 0.40         | 0.14         | 2.78                 | 0.85                  | 7.04   |
| ร้อยละ 12                      | 6.74           | 0.07           | 3.58                    | 0.25                    | 0.05         | 0.09         | 0.33                 | 0.10                  | 0.85   |
| ดินแม่ทาน                      | 62.3           | 0.57           | 24.5                    | 1.22                    | 0.24         | 0.59         | 2.14                 | 0.13                  | 8.13   |
| ร้อยละ 13                      | 8.10           | 0.07           | 3.18                    | 0.16                    | 0.03         | 0.08         | 0.28                 | 0.02                  | 1.06   |
| ดินขาวระนอง                    | 48.6           | 0.02           | 36.4                    | 0.94                    | 0.08         | 0.07         | 2.00                 | 0.19                  | 11.73  |
| ร้อยละ 14                      | 6.80           | 0.00           | 5.1                     | 0.13                    | 0.01         | 0.01         | 0.28                 | 0.03                  | 1.64   |
| ดินขาวลำปาง                    | 59.7           | 0.07           | 27.6                    | 0.84                    | 0.13         | 0.25         | 5.85                 | 0.15                  | 5.39   |
| ร้อยละ 21.05                   | 12.54          | 0.02           | 5.81                    | 0.18                    | 0.03         | 0.05         | 1.23                 | 0.03                  | 1.13   |
| หินฟันม้าราชบุรี               | 65.2           | -              | 20.4                    | 1.0                     | 1.7          | 1.7          | 6.7                  | 1.5                   | 1.5    |
| ร้อยละ 20                      | 13.0           |                | 4.08                    | 0.20                    | 0.34         | 0.34         | 1.34                 | 0.30                  | 0.3    |
| หินเขียวอนุমান                 | 98.9           | -              | 0.80                    | 0.10                    | 0.05         | 0.09         | -                    | -                     | 0.05   |
| ร้อยละ 19.95                   | 19.7           |                | 0.16                    | 0.02                    | 0.01         | 0.02         |                      |                       | 0.01   |
| รวมร้อยละ 100                  | 66.9           | 0.16           | 21.91                   | 0.94                    | 0.47         | 0.59         | 3.46                 | 0.48                  | 4.99   |

### 3. วัสดุที่ใช้ผสมเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนาและน้ำเคลือบ

#### 3.1 ดินขาว หรือ ไชนา เคลย์

หมายถึง ดินที่มีสีขาว มีแหล่งกำเนิดตามบริเวณที่ราบสูง ตามภูเขาที่มีแหล่งหินฟอสเฟต เนื้อดินหยาบมีความทนไฟสูง มีความเหนียวน้อย ยากแก่ การนำมาขึ้นรูปจะต้องนำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เป็นดินที่มีการหดตัวน้อย ประโยชน์ของ ดินขาวนอกจากทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ก็ใช้เป็น วัตถุดิบทำอุตสาหกรรมชนิดอื่น ๆ อีก เช่น อุตสาหกรรม กระดาษ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรม วัตถุทนไฟ และไฟเบอร์กันความร้อน (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 58 - 59)

ดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศไทย แบ่งไว้ตามลักษณะการนำไปใช้ใน เครื่องปั้น ดินเผาแบ่งได้ 2 ประเภท (ชาญ จรรย์วนิชย์. 2528 : 48 - 56)

3.1.1 ดินขาวซึ่งประกอบไปด้วยแร่แคลิไนท์เป็นส่วนใหญ่จะมีความเหนียวน้อย หลังเผามีสีขาว และทนความร้อนในอุณหภูมิสูง ดินขาวลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ดินขาวจากแหล่ง จังหวัดระนอง จังหวัดนราธิวาส และ จังหวัดปราจีนบุรี ดินทั้ง 3 แหล่งนี้ ดินนราธิวาสมีปริมาณ ความละเอียดสูงกว่าและปริมาณโมกัลละเอียดน้อยกว่าดินระนอง ดินจากจังหวัดระนองเนื้อดินค่อนข้างหยาบ แต่มีคุณสมบัติในการหล่อผลิตภัณฑ์ดีกว่าดินนราธิวาส ส่วนดินขาวจากจังหวัดปราจีนบุรี เป็นดินที่มีอุณหภูมิสูงพอ ๆ กับทั้งสองแหล่ง แต่มีความละเอียด และความเหนียวมากกว่า มีความ ทนไฟน้อยกว่าสองแหล่งที่กล่าวถึงในตอนแรก

3.1.2 ดินขาวซึ่งประกอบไปด้วยแร่แคลิไนท์ในปริมาณต่ำ จะมีทรายและแร่อื่นปน อยู่เป็นส่วนใหญ่ทำให้มีสมบัติในการหดตัวค่อนข้างสูง และทนไฟน้อยกว่าพวกแรก มีราคาถูกกว่า ได้แก่ ดินขาวจาก อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นแหล่งที่มีผลผลิตมากที่สุดในประเทศไทย และสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในทุกประเภท เช่น นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ พอร์ซเลน ลูกถ้วยไฟฟ้า สโตนแวร์ เอิรท์เธรีนแวร์ กระเบื้องบุผนัง กระเบื้องปูพื้น โมเสก เครื่องสุขภัณฑ์ และของชำร่วย (ชาญ จรรย์วนิชย์. 2530 : 1 - 2)

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกดินขาวจาก 2 แหล่งคือ ดินขาวระนองกับดินขาว ลำปาง เพราะเป็นดินขาวที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับทำเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนา นิยมใช้ในวงการ เซรามิกส์ หาซื้อง่ายและราคาถูก

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวลำปาง (เคลย์มิน. 2540 : ไม่มีเลขหน้า)

|                  |        |      |
|------------------|--------|------|
| SiO <sub>2</sub> | ร้อยละ | 60.0 |
| TiO <sub>2</sub> | ร้อยละ | 0.10 |

|                                |        |      |
|--------------------------------|--------|------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 27.0 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.90 |
| CaO                            | ร้อยละ | 0.10 |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.20 |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 6.10 |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 0.50 |
| L.O.I.                         | ร้อยละ | 5.10 |

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวระนอง ตำบลหาดส้มแป้น และตำบลบางรีน อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ( เกลย์มิน. 2540 : ไม่มีเลขหน้า)

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 47.60 |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.08  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 36.60 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 1.20  |
| CaO                            | ร้อยละ | 0.10  |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.10  |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 1.90  |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 0.10  |
| L.O.I.                         | ร้อยละ | 12.20 |

### 3.2 ดินเหนียว

เป็นดินที่พบในที่ราบต่ำ มีลักษณะตรงข้ามกับดินขาว มีส่วนผสมของเหล็กค่อนข้างสูง สามารถหลอมตัวได้ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก มีความเหนียว เนื้อดินละเอียด มีสารประกอบอย่างอื่นปะปนอยู่มาก เมื่ออยู่ในรูปของวัตถุคิบที่ยังขึ้นอยู่ มักจะเป็นสีเทา-ดำ มีสารคาร์บอนผสมอยู่เผาในอุณหภูมิประมาณ 1300 องศาเซลเซียส หลังเผาเนื้อดินเป็นสีขาว หดตัวมากกว่าดินขาว (ทวีพรหมพฤษ. 2523 : 59-60) ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ ดินเหนียว แม่วัด แม่แซนลำปางเป็นวัตถุดิบในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสโซนา ซึ่งดินทั้ง 2 แหล่ง มีคุณสมบัติ และผลวิเคราะห์ทางเคมีดังนี้

3.2.1 ดินเหนียวแม่วัด เป็นดินที่มีความละเอียดมาก เนื้อดินลื่น ให้ความแข็งแรงสูง หลังการเผามีสีขาว เหมาะที่จะใช้การขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน

ผลวิเคราะห์ทางเคมีดินเหนียวแม่วิท

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 56.60 |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.40  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 26.30 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 1.30  |
| CaO                            | ร้อยละ | 0.30  |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.64  |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 2.40  |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 0.30  |
| L.O.I.                         | ร้อยละ | 11.80 |

3.2.2 ดินเหนียวแม่แซน ลักษณะเป็นสีน้ำตาลดำ มีความเหนียวดีกว่า นิยมใช้ผสมทำเครื่องสุขภัณฑ์ และลูกถ้วยไฟฟ้า

ผลวิเคราะห์ทางเคมีดินเหนียวแม่แซน

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 62.3  |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.60  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 23.90 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 1.30  |
| CaO                            | ร้อยละ | 0.20  |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.60  |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 2.30  |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 0.20  |
| L.O.I.                         | ร้อยละ | 8.60  |

### 3.3 หินฟันม้า

หินฟันม้าเป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ท มีสารประกอบของโซเดียม โพแทสเซียม พบมากและใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ หินฟันม้าเป็นหินที่ใช้ผสมทั้งเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน ช่วยลดจุดสุกตัวให้ต่ำลง เป็นตัวเริ่มให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง (hardness) และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น (ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. 2532 : 61 - 62) ส่วน

เคลือบทำให้ผิวมันวาว (ทวิ พรหมพฤษ. 2523 : 73) ในด้านการใช้งานจะดูลักษณะการหลอมตัว ซึ่งแตกต่างกันระหว่างโซเดียม และโพแทสเซียม หินฟันม้าที่ดีจะต้องหลอมตัว ผิวเป็นมันวาวที่อุณหภูมิ 1180 - 1250 องศาเซลเซียส และมีสีขาว หรือใส

ชนิดของหินฟันม้าที่สำคัญและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา มี 3 ชนิด

3.3.1 หินฟันม้าโพแทสเซียม หรือออร์โทเคลส (Orthoclase) หรือไมโครไคลน์ (Microcline) มีสูตรทางเคมีคือ  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $6SiO_2$  เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบของโพแทสเซียม มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.56 มีสีแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งที่กำเนิด ได้แก่ สีขาว เหลือง ชมพู เหมาะสำหรับใช้ผสมในอัตราส่วนเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี มีส่วนประกอบดังนี้  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  และ  $K_2O$

|                  |        |      |
|------------------|--------|------|
| $SiO_2$          | ร้อยละ | 65.7 |
| $Al_2O_3$        | ร้อยละ | 18.4 |
| $K_2O$           | ร้อยละ | 16.9 |
| มีน้ำหนักโมเลกุล |        | 557  |

3.3.2 หินฟันม้าโซเดียม หรืออัลไบต์ (Albite) มีสูตรเคมีคือ  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $6SiO_2$  หินฟันม้าชนิดนี้เป็นสารประกอบของโซเดียม มีความถ่วงจำเพาะ 2.61 - 2.64 มีความแข็ง 6 - 6.5 เป็นผลึกสีขาว นิยมใช้เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในเคลือบไฟสูง มีส่วนประกอบดังนี้

|                  |        |      |
|------------------|--------|------|
| $SiO_2$          | ร้อยละ | 68.8 |
| $Al_2O_3$        | ร้อยละ | 19.4 |
| $Na_2O$          | ร้อยละ | 11.8 |
| มีน้ำหนักโมเลกุล |        | 524  |

3.3.3 หินฟันม้าแคลเซียม หรืออะโนไบต์ (Anobite) มีสูตรเคมีคือ  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  หินฟันม้าชนิดนี้เป็นสารประกอบของแคลเซียม มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 - 2.76 สูงกว่า หินฟันม้าโพแทสเซียมและโซเดียม อยู่ในรูปของผลึกไม่มีสี มีความแข็ง 6.0 - 6.5 นิยมใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบ มีส่วนประกอบดังนี้

|                  |        |      |
|------------------|--------|------|
| $SiO_2$          | ร้อยละ | 43.3 |
| $Al_2O_3$        | ร้อยละ | 36.6 |
| $CaCO_3$         | ร้อยละ | 20.1 |
| มีน้ำหนักโมเลกุล |        | 298  |

ในการทดลองผู้วิจัยได้เลือกใช้นหินพื้นน้ำจากตำบลสวนผึ้ง อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี และจากจังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้ผสมทั้งเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ ซึ่งมีผลวิเคราะห์ทางเคมี ดังนี้

#### ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหินพื้นน้ำ ตำบลสวนผึ้ง อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 70.80 |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.23  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 17.10 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.30  |
| CaO                            | ร้อยละ | 1.40  |
| MgO                            | ร้อยละ | 0.07  |
| K <sub>2</sub> O               | ร้อยละ | 1.10  |
| Na <sub>2</sub> O              | ร้อยละ | 8.60  |
| L.O.I.                         | ร้อยละ | 0.30  |

### 3.4 หินปูน

เป็นสารประกอบประเภทแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ CaCO<sub>3</sub> เป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ โดยเฉพาะใช้เป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบ (โกลด์ รักษ์วงศ์. 2531 : 47) ได้แก่ เคลือบพอร์ซเลนหรือเคลือบหินอื่น ๆ การนำหินปูนมาผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็งแรงยิ่งขึ้นและเป็นตัวช่วยหลอมละลายในเคลือบไฟสูง ถ้าผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยลดการพุดตัว (porosity) ของเนื้อดิน (สุรศักดิ์ โกสียพันธ์. 2527 : 13) หินปูนพบอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและมีมากที่จังหวัดสระบุรี และราชบุรี

หินปูนเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส จะละลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) (โกลด์ รักษ์วงศ์. 2531: 47) หินปูนมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 มีความแข็ง 2.3 หินปูนเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งถ้าไม่นำไปผสมกับสารประเภทอื่นที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและด่าง

#### ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

|                              |        |       |
|------------------------------|--------|-------|
| CaO                          | ร้อยละ | 56.03 |
| CO <sub>2</sub>              | ร้อยละ | 43.79 |
| (โกลด์ รักษ์วงศ์. 2531 : 47) |        |       |

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยนำหินปูนไปใช้ในการทำเคลือบโดยใช้วัตถุดิบจากจังหวัดสระบุรี เนื่องจากเป็นหินปูนที่ได้มาตรฐาน หาได้ง่ายในท้องตลาด และราคาถูก ซึ่งผลวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า มีแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 56 (สุชาดา สุขชี. 2538 : 28)

### 3.5 หินเขียวหนุมาน หรือควอทซ์

เป็นสารประกอบซิลิกาที่เกิดในธรรมชาติมีความบริสุทธิ์สูงโดยเป็นวัตถุดิบที่ให้ซิลิกาสูงมากถึงร้อยละ 99 มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 มีความแข็ง 7 โครงสร้างเป็นผลึกรูปเหลี่ยม มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1728 องศาเซลเซียส นำมาใช้ในเครื่องปั้นดินเผา ในลักษณะเป็นผงละเอียดลำเรีจรูป (325 เมช) เรียกว่า ฟลินท์ (Flint) หินเขียวหนุมานที่พบในประเทศไทยมีหลายสี เช่น ใส ขุ่นทึบ ขาว ชมพู ใช้ผสมในน้ำเคลือบและเนื้อดินปั้น ในปัจจุบันโรงงานส่วนใหญ่หันมาใช้ทรายแก้วแทนเพราะมีคุณภาพดี สม่ำเสมอ ง่ายและสะดวกในการนำมาใช้งาน ทรายแก้วเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์แก้ว เช่น ขวด แก้ว กระจกแผ่น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 62)

การนำเอาหินเขียวหนุมานผสมในเนื้อดินปั้นจะทำให้เนื้อดินปั้นแข็งแรง ป้องกันการหดตัว ลดการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ และยังเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วได้ ทำให้เนื้อดินโปร่งแสงดี ถ้าผสมในน้ำเคลือบจะทำให้เคลือบแข็งเป็นแก้วมีความใสแวววาวดีขึ้น (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 25) หินเขียวหนุมานที่พบในประเทศไทย พบอยู่ทั่ว ๆ ไป แต่พบมากที่เขาหินแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ. ม.ป.ป: 28) ส่วนทรายแก้วที่สำคัญ อยู่ที่ภาคตะวันออกคือที่ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง อำเภอท่าใหม่ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี อำเภอเมือง และอำเภอกลองใหญ่ จังหวัดตราด ทรายแก้วจากแหล่งที่กล่าวมาแล้วทั้ง 4 แหล่ง มีคุณภาพดีที่สุด มีปริมาณซิลิกา ร้อยละ 99 ขึ้นไป (ชาญ จรรยาวิชย์. 2528 : 72 )

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ทรายแก้วจากแหล่งจังหวัดระยอง เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีคุณภาพ มีปริมาณซิลิกาสูงและเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่วไป

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของทรายแก้วจากจังหวัดระยอง (เคลย์มิน. 2540 : ไม่มีเลขหน้า)

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 99.30 |
| TiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.04  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.30  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.10  |

|                   |        |      |
|-------------------|--------|------|
| CaO               | ร้อยละ | 0.04 |
| MgO               | ร้อยละ | 0.01 |
| K <sub>2</sub> O  | ร้อยละ | 0.04 |
| Na <sub>2</sub> O | ร้อยละ | 0.02 |
| L.O.I.            | ร้อยละ | 0.10 |

### 3.6 สังกะสีออกไซด์

มีสูตรทางเคมีคือ ZnO สังกะสีออกไซด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เครื่องปั้นดินเผาจะมีความละเอียด 0.21 - 926 ไมครอน และ 0.12 - 0.18 ไมครอน สังกะสีออกไซด์บริสุทธิ์จะต้องผ่านการเผา ในอุณหภูมิ 1165 องศาเซลเซียส (Cone 4 - 5) จะมีสารประกอบของตะกั่วอยู่ร้อยละ 0.2 - 0.5 ถ้าให้บริสุทธิ์จริงจะต้องเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1300 องศาเซลเซียส (2372 องศาฟาเรนไฮน์) สังกะสีออกไซด์มีน้ำหนักโมเลกุล 81.38 มีความถ่วงจำเพาะ 5.5 มีจุดหลอมละลาย 1975 องศาเซลเซียส (2362 องศาฟาเรนไฮน์) สามารถละลายน้ำได้ในอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส (โกลด์เบิร์ก, 2531 : 75) เมื่อผสมในน้ำเคลือบจะทำให้เป็นเงาดีขึ้น ถ้าใช้ในปริมาณน้อยจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย แต่ใช้ในปริมาณมากจะทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟและทำให้เกิดทึบในเคลือบ (opacifier) โดยมากใช้ในเคลือบผลึก โดยใช้แทนที่แคลเซียมออกไซด์จะทำให้จุดสุกตัวของเคลือบต่ำลง ถ้าใส่เพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้การไหลตัวของเคลือบดีขึ้น ทำให้ผิวเรียบ ถ้าใช้ในปริมาณมาก และเผาในอุณหภูมิสูงจะตกผลึกจึงนิยมใช้ทำเคลือบผลึก (crystalline glaze) จะได้ผลึกที่มีลักษณะเป็นเม็ด ๆ ถ้าผสมในเคลือบสี จะทำให้สีสดใสขึ้น (สุรศักดิ์ โกสียพันธ์, 2527 : 16)

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้ผสมในเคลือบโดยใช้สังกะสีออกไซด์ที่ใช้ในการค้าทั่วไป

### 3.7 โดโลไมท์

เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมคาร์บอเนต มีความถ่วงจำเพาะ 2.8 - 2.9 มีความแข็ง 3.5 - 4 ทนความร้อนได้ถึง 1700 องศาเซลเซียส ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น น้ำเคลือบ และวัสดุทนไฟ ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้

|                              |        |    |
|------------------------------|--------|----|
| CaCO <sub>3</sub>            | ร้อยละ | 56 |
| MgCO <sub>3</sub>            | ร้อยละ | 44 |
| โดโลไมท์มีน้ำหนักโมเลกุล 184 |        |    |

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้โคโลไมท์สำหรับเตรียมน้ำเคลือบ โดยใช้โคโลไมท์จากอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหินโคโลไมท์ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นดังนี้

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ร้อยละ | 0.12  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 1.20  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ร้อยละ | 0.5   |
| CaO                            | ร้อยละ | 31.50 |
| MgO                            | ร้อยละ | 20.80 |
| L.O.I.                         | ร้อยละ | 46.30 |

### 3.8 โซเดียมซิลิเกต

มีสูตรเคมี เป็น Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์จะผสมลงในน้ำดินเพื่อปรับคุณสมบัติของน้ำดิน ให้เกิดการกระจายลอยตัวไม่ให้ตกตะกอน เกิดการไหลตัวดี อัตราส่วนที่ใช้คือ Na<sub>2</sub>O : SiO<sub>2</sub> เท่ากับ 1 ต่อ 3.22

### 3.9 แบเรียมออกไซด์ (BaO)

เป็นฟลักซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่าพวกแคลเซียม แมกนีเซียม และสตรอนเทียม เมื่อผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแวววาวแต่ไม่เท่าตะกั่ว เพราะมีดัชนีการหักเหของแสงสูงรองจากตะกั่ว มีการขยายตัวเมื่อถูกความร้อนน้อยกว่าพวกอัลคาไลน์ และแคลเซียม สารที่ให้แบเรียมออกไซด์ ได้แก่ แบเรียมคาร์บอเนต เป็นแร่ที่เกิดในธรรมชาติ โดยมากใช้ร่วมกับฟลักซ์ตัวอื่น ๆ เพราะว่าที่อุณหภูมิต่ำจะทำปฏิกิริยาช้ามากและแสดงกิริยาเป็นวัตถุทนไฟซึ่งจะทำให้ผิวเคลือบด้าน (ถ้าใช้แบเรียมเป็นฟลักซ์ตัวเดียวโดด ๆ) แต่ถ้าใช้ผสมลงในเคลือบไฟสูง แบเรียมออกไซด์นี้จะทำปฏิกิริยาเป็นฟลักซ์ที่ดี (Strong flux) และแบเรียมโครเมต (BaCrO<sub>4</sub>) ส่วนมากใช้ในการทำสีสำเร็จ โทนสีเขียวซึ่งจะให้สีที่ต่อเนื่องเมื่อเผาอุณหภูมิ ไม่เกิน 1040 ถ้าเกินจะระเหยหายไปหมด

### 3.10 เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconium dioxide - $\text{ZrO}_2$ ) หรือ เซอร์โคเนียมซิลิเกต ( $\text{Zr SiO}_4$ )

ใช้แทนบางส่วนของซิลิกา ที่มีดีบุกออกไซด์อยู่ จะช่วยให้เคลือบมีความทึบที่ดีกว่า การใช้ดีบุกออกไซด์อย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าใช้ร่วมกับฟลูออสปาร์ (Fluorspar,  $\text{CaF}_2$ ) หรือเถ้ากระดูก [Bone ash, -  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ] จะทำให้เคลือบมีความทึบดียิ่งขึ้น แต่ปัจจุบันนี้นิยมใช้ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ในการทำให้ทึบในเคลือบมากกว่าใช้ออกไซด์ของดีบุก เนื่องจากมีราคาถูกกว่ามาก แต่ถ้าใช้เดี่ยว ๆ จะให้ผลด้อยกว่าใช้ดีบุกออกไซด์เป็นตัวทำให้ทึบ ทั้งในเคลือบไฟดำ และไฟสูง ใช้กันประมาณร้อยละ 8 – 12 (สุรศักดิ์ โกสียพันธุ์, 2527 : 38 – 39)

## 4. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

กรรมวิธีผลิตเครื่องปั้นดินเผามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการผลิต ผู้ผลิตจะต้องมีความชำนาญ มีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคต่าง ๆ อย่างเพียงพอในแต่ละแบบแต่ละประเภทรวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพตามที่ต้องการ การขึ้นรูปเซรามิกส์มี 6 วิธีคือ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536 : 1)

1. การขึ้นรูปด้วยวิธีกด (press method)
2. การขึ้นรูปด้วยวิธีรีดดิน (extrusion method)
3. การขึ้นรูปด้วยวิธีใช้มือ (hand forming method)
4. วิธีการขึ้นรูปด้วยการหล่อ (casting method)
5. วิธีการขึ้นรูปด้วยปั้นหมุน (throwing method)
6. วิธีการขึ้นรูปด้วยใบมีด (jiggering method)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการขึ้นรูปด้วยการหล่อ

### 4.1 การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ

การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ วิธีนี้จะต้องอาศัยพิมพ์ที่ทำด้วย ปูนปลาสเตอร์เป็นหลักและเป็นตัวคู่น้ำในน้ำดินให้แห้งและคงรูปตามพิมพ์ ข้อดีของการขึ้นรูป ด้วยวิธีนี้คือ เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงซับซ้อนยากแก่การขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นสามารถผลิต ชิ้นงานออกมาได้เป็นจำนวนมาก มีขนาดและรูปทรงเหมือนกันเหมาะสำหรับการผลิตเพื่ออุตสาหกรรม

## การขึ้นรูปด้วยการหล่อมี 2 วิธีคือ

4.1.1 การหล่อแบบกลวง (drain casting) หมายถึงการนำน้ำดินเทลงไปในพิมพ์ที่เตรียมไว้ ทั้งไว้จนได้ความหนาตามต้องการจึงเทน้ำดินออกจากพิมพ์ เทคนิคในการเทน้ำดินต้องค่อย ๆ เทและคว่ำไว้จนน้ำดินในพิมพ์ออกหมดเพื่อให้ผิวภายในเรียบ ถ้าเป็นพิมพ์ตัวใหญ่จะมีการฝังท่อพีวีซี ขนาดที่พอเหมาะทั้งไว้สำหรับหยอดและถ่ายน้ำดิน เพื่อจะได้ไม่ต้องคว่ำเพราะพิมพ์มีขนาดใหญ่จะหนักและอาจจะทำให้เนื่องานยุบได้ นอกจากนี้ยังมีการฝังท่อพีวีซีสำหรับอัดลมช่วยไม่ให้ชิ้นงานยุบตัวในขณะที่ถ่ายน้ำดินด้วยพิมพ์ที่ใช้อาจเป็นพิมพ์ขึ้นเดียว หรือหลายชิ้นก็ได้แล้วแต่รูปทรง

4.1.2 การหล่อแบบตัน (solid or casting) หมายถึงการนำน้ำดินเทลงในพิมพ์ที่เตรียมไว้ทั้งไว้จนน้ำดินแข็งตัวเต็มพิมพ์โดยไม่ต้องเทออก การหล่อวิธีนี้จะจำกัดความหนาของผลิตภัณฑ์เหมาะสำหรับการหล่อจานแปล เครื่องสุกภัณฑ์ต่าง ๆ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน ซึ่งจะใช้ทั้งแบบกลวงและแบบตันในพิมพ์เดียวกัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงและได้ตามรูปทรงที่ต้องการ

## 4.2 การสร้างพิมพ์พลาสติก

การออกแบบที่เหมาะสมและใช้กรรมวิธีการผลิตที่ถูกวิธีจะทำให้การหล่อพิมพ์ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ทำได้ง่ายมากขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ (ไพศาล กาญจนพิบูลย์.ม.ป.ป. : 1) เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่ทำการผลิตอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนการทำพิมพ์ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

4.2.1 แบบเหมือนหรือต้นแบบ (original model prototype) การทำแบบเหมือนจะสร้างขึ้นจากปูนพลาสติกโดยแกะสลักหรือกลึงให้มีรูปร่างเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่จะต้องมีการขยายสัดส่วนเพื่อการหดตัวของเนื้อดินปั้นด้วยรวมไปถึงการยุบตัวเนื่องจากการเผา ซึ่งจะต้องมีการทดลองตรวจวัดไว้ก่อนแล้วและกำหนดค่าไว้เป็นมาตรฐาน

4.2.2 แบบพิมพ์สำหรับต้นแบบ (block mold or master mold) นำต้นแบบที่ทำสำเร็จแล้วมาแบ่งรอยต่อของพิมพ์พลาสติกให้เหมาะสมให้มีชิ้นส่วนของแบบพิมพ์น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น โดยคำนึงถึงการประกอบและถอดแบบพิมพ์ออกจากชิ้นงานให้ง่ายและสะดวกที่สุด ไม่กระทบกระเทือนต่อชิ้นงาน เพราะถ้ามีการกระทบกระเทือนถึงชิ้นงานอาจทำให้ชิ้นงานนั้นยุบหรือเสียได้ นอกจากนี้จะมีการสร้างช่องทางที่จะเทน้ำดินและส่วนเผื่ออื่น ๆ สำหรับตัดออก หลังจากหล่อเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว พิมพ์สำหรับต้นแบบนี้จะต้องทำด้วยปูนพลาสติกเท่านั้น ใช้เป็นพิมพ์สำหรับหล่อเพื่อทดลองศึกษาความเป็นไปได้ของขนาดและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ก่อนเผาและหลังเผา

เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบที่เขียนไว้ ถ้าพบจุดบกพร่องก็จะได้ทำการแก้ไขที่แบบพิมพ์ต่อไป จากนั้นนำไปทดลองจนกว่าชิ้นงานจะสมบูรณ์ได้ตามแบบจึงนำแบบพิมพ์นี้ไปสร้างเป็นแม่พิมพ์เพื่อใช้สำหรับผลิตพิมพ์ต่อไป

4.2.3 แม่พิมพ์สำหรับผลิตแบบพิมพ์ (case mold) การทำแม่แบบสำหรับผลิตแบบพิมพ์มีความจำเป็นมากสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการ เพราะแม่แบบจะสามารถหล่อแบบพิมพ์จำนวนมากเพื่อใช้ในการผลิต วัสดุที่ใช้ในการสร้างแม่แบบจะต้องมีความแข็งที่ผิวค่อนข้างดีและทนต่อการใช้งานหล่อพลาสติกระยะยาว เช่น ปูนพลาสติกชนิดแข็งพิเศษ สำหรับทำแบบวัสดุประเภทอีพอกซีเรซิน ยางหล่อโลหะ หรือแม้กระทั่งใช้ปูนพลาสติกที่ใช้ทำแบบพิมพ์ผสมปูนซีเมนต์ก็ใช้ได้ แต่ทั้งหมดนี้จะต้องพิจารณาคุณสมบัติแต่ละชนิดที่ใช้งาน คือวัสดุทุกชนิดที่นำมาทำแม่พิมพ์จะต้องมีการขยายตัวต่ำในขณะขึ้นรูปและมีความทนทานในการใช้งานดีพอสมควร สำหรับอุตสาหกรรมที่จะต้องใช้ปริมาณมาก ๆ ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบแล้วจะใช้วัสดุประเภทอีพอกซีได้แต่จะต้องมีการขยายตัวและบิดงอต่ำในขณะขึ้นรูป ข้อเสียของวัสดุประเภทนี้คือ มีราคาแพง ดัดแปลงแก้ไขยาก ข้อดีคือมีความทนทาน การบำรุงรักษาตลอดจนการผลิตแบบทำได้ง่าย

4.2.4 แบบพิมพ์พลาสติกใช้งาน (working mold or production mold) เป็นแบบพิมพ์พลาสติกที่ผลิตออกมาจากแม่พิมพ์และจะเป็นตัวนำไปใช้หล่อผลิตภัณฑ์

#### 4.3 น้ำดินและคุณสมบัติในการหล่อแบบ

น้ำดินปั้นทุกชนิดที่ใช้สำหรับขึ้นรูปโดยวิธีการเทแบบต้องมีคุณสมบัติไหลตัวได้ดี มีปริมาณร้อยละของของแข็งสูงกระจายลอยตัวอยู่ในของเหลวซึ่งปกติคือน้ำ โดยมีสารเคมีเป็นตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัว การเทแบบเป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยอาศัยน้ำเนื้อดินปั้นเทลงในแบบพิมพ์ซึ่งเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ความหนาของผลิตภัณฑ์จะค่อย ๆ ก่อตัวขึ้น แบบพิมพ์จะดูดของเหลวเข้าไปในเนื้อแบบบนผนังแบบจะค่อย ๆ มีเนื้อดินเกาะและเริ่มแข็งขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปเมื่อได้ความหนาของเนื้อดินตามต้องการแล้วให้ถายนํ้าดินปั้นส่วนที่เหลือทิ้ง และปล่อยชิ้นงานอยู่ในแบบประมาณ 15 - 90 นาทีจึงแกะแบบพิมพ์ออก นำชิ้นงานไปตกแต่งและอบให้แห้งสนิทแล้วนำไปพ่นเคลือบและเผา

ขนาดของอนุภาคของแข็งต่าง ๆ ในน้ำเนื้อดินปั้นจะมีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่จะผสมลงไปในเนื้อดินปั้น โดยมีขนาดระหว่าง 0.001 ไมครอน ถึง 5000 ไมครอน ขนาดของอนุภาคที่กล่าวมานี้ ส่วนหนึ่งสามารถแยกได้ด้วยตะแกรงร่อน อีกส่วนสามารถแยกได้ด้วยการปล่อยให้จมตัวลง อนุภาคที่ใหญ่กว่า 100 ไมครอนเรียกว่าอยู่ในช่วงของตะแกรงร่อน อนุภาค

ระหว่าง 100 - 0.2 ไมครอนเรียกว่าอยู่ได้ช่วงตะแกรงร่อน อนุภาคระหว่าง 0.2 - 0.001 ไมครอน เรียกว่าอนุภาค คอลลอยด์ (Colloid) และอนุภาคที่เล็กกว่าเรียกว่า โมเลกุล

วัตถุดิบต่าง ๆ ที่นำมาผสมกันตามส่วน หินเขียวหุนามานและหินฟันม้า มีส่วนให้อนุภาคคอลลอยด์เพียงเล็กน้อย ดินขาวให้อนุภาคคอลลอยด์ปานกลาง ส่วนดินดำเป็นตัวให้อนุภาคคอลลอยด์มากที่สุด (ปริดา พิมพ์ขาวจำ. 2535 : 122 - 124)

4.3.1 การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue) เป็นเทคนิคการดูดซับสีเพื่อหาพื้นที่ผิวของวัตถุดิบเซรามิกส์เป็นวิธีการที่เร็ว และสะดวกสามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ เซรามิกส์ได้ทั้งแร่ดินขาวและที่สัมพันธ์กับดินขาว รวมทั้งอุณหภูมิที่ผ่านการเผาแล้ว นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณสารที่ใช้เป็นตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัวได้ดี ความแข็งแรงหลังจากผลิตภัณฑ์อบแห้งแล้ว ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดความเหนียวและการเคลื่อนตัวของน้ำเนื้อดินปั้น

4.3.2 การกระจายและการลอยตัวในน้ำของอนุภาคของสารที่เป็นของแข็งของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ ดินในน้ำดินปั้นที่ใช้ในการขึ้นรูป ด้วยวิธีการเท แบ่งได้ 3 ชนิด

4.3.2.1 ประเภทที่มีทั้งดินและไม่ใช่อินผสมกัน ได้แก่ เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกซ์ ถ้วยชาม สุขภัณฑ์

4.3.2.2 ประเภทที่มีแต่ออกไซด์ซึ่งเป็นวัตถุดิบไฟ เช่น  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $ThO_2$  และ  $UO_2$

4.3.2.3 ประเภทซึ่งไม่มีทั้งดินและออกไซด์ เช่น  $TiC$ ,  $TiN$ ,  $Mo$ ,  $Si$ ,  $Ti$  และ  $ZrN$

การกระจายลอยตัวของเนื้อดินปั้นซึ่งมีดินเป็นส่วนประกอบ การกระจายตัวของกลุ่มดินในสารละลาย ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ สิ่งที่ต้องการอันดับแรกในการขึ้นรูปโดยวิธีการเทแบบ คือ น้ำดินที่ใช้เทแบบต้องมีปริมาณน้ำน้อยปริมาณเนื้อดินปั้นมาก และมีคุณสมบัติการไหลตัวดี

4.3.3 ความหนืด เป็นการวัดความสม่ำเสมอของน้ำดิน ซึ่งมีค่าหนึ่งทางด้านทานการไหลของน้ำดิน ค่านี้คือความหนืด มีหน่วยเป็นพอซ

4.3.4 ไทโซโทรปี (Thixotropy) หมายถึงพฤติกรรมของน้ำดินที่มีแนวโน้มที่จะมีความหนืดเพิ่มเมื่อทิ้งน้ำดินไว้เฉย ๆ ที่เป็นเช่นนั้นเพราะเกิดโครงสร้างขึ้นภายในน้ำดินและโครงสร้างนี้จะถูกทำลายก็โดยการกวน ค่าไทโซโทรปีวัดโดยใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดในช่วงเวลาหนึ่ง

4.3.5 การกระจายลอยตัวและความหนาแน่นมีผลต่อความหนืด และไทโซโทรปี เราจึงสามารถใช้ความรู้เหล่านี้แก้ไขสถานะน้ำดินให้เหมาะสมได้ ดังนี้

4.3.5.1 ถ้าความหนืดสูงเกินไป ไทโซโทรปีที่น่าจะสูงด้วยวิธีแก้ไขทำได้โดยการค่อย ๆ เพิ่มตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัว แต่ถ้าไทโซโทรปีถูกต้องแล้วจะแก้ไขโดยการเติมน้ำเพื่อปรับความหนาแน่นให้ต่ำลงหรือถ้าไทโซโทรปีมีค่าต่ำมากเกินไปควรแก้ไขโดยลดปริมาณตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัวหรือเติมน้ำ

4.3.5.2 ถ้าน้ำดินมีความหนืดต่ำ วิธีแก้ไขทำโดยลดปริมาณน้ำ หรือเติมผงเนื้อดินปั่นเข้าไป และถ้าไทโซโทรปี ต่ำมากด้วย แก้ไขด้วยการลดปริมาณตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัว (ปริดา พิมพ์ขาวจำ. 2535 : 128 - 132)

4.3.6 สาเหตุต่าง ๆ ที่เป็นตัวทำให้น้ำดินมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลง ได้แก่

4.3.6.1 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัตถุดิบ ซึ่งรวมถึงน้ำที่ใช้ด้วย

4.3.6.2 การชั่งน้ำหนักไม่ถูกต้อง และความชื้นจะเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมเนื้อดินปั่น

4.3.6.3 ความละเอียดของหินเขียวหุนมาน และหินฟันม้า

4.3.6.4 เวลาที่กวนผสมปริมาณตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัวและความหนืดของน้ำดิน จะมีผลต่อการกระจายตัวของดินเหนียว

4.3.6.5 ความถูกต้องของการเติมตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัว

4.3.6.6 การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนและคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำดิน และเศษดินที่นำกลับมาใช้ใหม่

4.3.6.7 สิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่ติดมากับเศษดิน น้ำดิน และวัตถุดิบต่าง ๆ

4.3.6.8 ผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักน้ำดินในถังเก็บ

#### 4.4 ตัวช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัว

โซเดียมซิลิเกตและโซเดียมคาร์บอเนต เป็นสารที่ทำให้เกิดการกระจายลอยตัว ในน้ำดิน และยังช่วยเพิ่มความหนืดให้กับเนื้อดินปั่นที่ใช้ในการเทแบบด้วย วิธีใช้อาจใช้ซิลิเกตอย่างเดียว หรืออาจใช้อัตราส่วนเท่ากันระหว่างโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังมีโซเดียมหรือแอมโมเนียม พอลิอะคริเลตอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่ให้น้ำดินกระจายลอยตัวเร็วและคงทนกว่าซิลิเกต เหมาะสำหรับการปรับคุณสมบัติหน้าดินก่อนการเทแบบโซเดียมคาร์บอเนต มีส่วนช่วยให้อินทรีย์สารในดินเหนียวซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์อยู่แล้ว เกิดประโยชน์ได้มากขึ้น พบว่าในเนื้อดินปั่นที่มีดินเหนียวดังกล่าวจะต้องใช้โซเดียมคาร์บอเนต ระหว่างร้อยละ 0.06 - 0.10 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้หน้าดินมีการกระจายลอยตัวและมีพฤติกรรมการเทแบบที่ดีที่สุด ส่วนโซเดียมซิลิเกต จะใช้แค่เพียงทำให้เกิดการกระจายลอยตัวที่สมบูรณ์

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้โซเดียมซัลเฟตชนิดที่มีขายทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

#### 4.5 ทฤษฎีการเทแบบ

อัตราส่วนของน้ำในน้ำดินประมาณร้อยละ 25 น้ำในน้ำดินจะถูกปูนปลาสเตอร์ดูดด้วยแรงที่เกิดจากสุญญากาศในแบบ น้ำดินที่บริเวณผิวแบบจะขึ้นขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดก็จะเหลือแต่เนื้อดินสะสมที่ผิวแบบกลายเป็นผนังของผลิตภัณฑ์ ผนังผลิตภัณฑ์จะหนาขึ้นตามเวลาที่ผ่านไปแบบพิมพ์ก็จะขึ้นมากขึ้นเช่นกัน อัตราความเร็วในการเทแบบหรืออัตราการเพิ่มความหนาของผลิตภัณฑ์จะเริ่มลดลงตามเวลาที่ผ่านไปซึ่งจะสัมพันธ์กับสาเหตุต่อไปนี้

4.5.1 น้ำจะผ่านเข้าแบบยากขึ้นเพราะว่าผนังของแบบด้านเอาไว้

4.5.2 แบบขึ้นมากขึ้น อัตราการดูดซึมย่อมลดลง

4.5.3 ความละเอียดของเนื้อดินป็นยังมีส่วนช่วยเร่งอัตราเร็วในการเทแบบ คือ น้ำดินป็น ยิ่งหยาบอัตราการเทแบบยิ่งเร็ว

น้ำดินประกอบด้วย ดินและวัสดุอื่น ๆ ซึ่งกระจายลอยตัวอยู่ในน้ำดิน น้ำอยู่ในน้ำดินควรมีปริมาณต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่น้ำดินก็ต้องมีการไหลตัวดี การที่จะทำให้มีคุณสมบัติเช่นนี้จะต้องนำสารเคมีซึ่งมีคุณสมบัติช่วยทำให้กลุ่มดินมีการกระจายและลอยตัวได้ดีใส่ลงไปช่วย

โรดส์ (1972 : 20) กล่าวว่าปริมาณน้ำในดินที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำดิน จะอยู่ระหว่างร้อยละ 30 - 35 โดยน้ำหนักของดินแห้ง และเติมโซเดียมซัลเฟตลงไปประมาณร้อยละ 0.15 - 0.35

ซิงเกอร์ (1963 : 755 - 759) กล่าวว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปในการเตรียมน้ำดินจะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของเนื้อดินป็น เช่น ไฟร์เคลย์ ร้อยละ 16 - 18 สโตนแวร์ ร้อยละ 20 - 22 เอิร์ทเธอร์นแวร์ และวิเทรียสไชนา ร้อยละ 23 - 28 ฮาร์ดพอร์ซเลน ร้อยละ 28 - 30 โบนไชนา ร้อยละ 50.5 ถ้าไม่เติมโซเดียมซัลเฟต และร้อยละ 35.5 ถ้าเติมโซเดียมซัลเฟตโดยโซเดียมซัลเฟตที่ใช้เติมลงไปในน้ำดิน คิดเป็นปริมาณร้อยละ 0.05 - 0.2 ของเนื้อดินแห้ง

ปรีดา พิมพ์ขาวจำ (2535 : 119) น้ำดินที่ใช้สำหรับหล่อพิมพ์จะต้องมีน้ำผสมอยู่ร้อยละ 20 - 30

ทวี พรหมพุกษ์ (2523 : 86) น้ำที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำดินร้อยละ 35 - 50 ในดินร้อยละ 1 โดยประมาณ และเติมโซเดียมซัลเฟตเข้าไปเพื่อให้เกิดการกระจายลอยตัวของน้ำดิน

น้ำดินที่ใช้ในการเทแบบที่มีการเทน้ำดินที่ค้างทิ้ง ควรมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.65 - 1.80 มีความหนืดระหว่าง 1 - 5 พอยซ์ ส่วนน้ำดินที่ใช้ในการเทแบบชนิดให้น้ำดินแข็งในแบบเลย ควรมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.75 - 1.95 ความหนืดระหว่าง 5 - 50 พอยซ์

อัตราความเร็วในการเทแบบจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับส่วนผสมของน้ำดิน ความชื้น อายุการใช้งานแบบ การเทน้ำดินออกจากแบบหลังจากที่ทิ้งไว้ในแบบจนได้ความหนาตามต้องการแล้ว คือ เมื่อเทน้ำดินที่เหลือทิ้ง ผิวด้านในของผลิตภัณฑ์จะต้องเรียบ ผลิตภัณฑ์ในขณะที่ทำการถอดแบบจะต้องมีความคงทนแข็งแรงไม่บิดเบี้ยวจนเสียรูปทรง ความคงทนแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกใช้น้ำดิน สารที่ช่วยในการกระจายตัวของเนื้อดินและการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขณะอยู่ในแบบจะต้องมีการหดตัวมากเพียงพอที่จะหลุดจากแบบได้เองแต่ไม่ควรมีการหดตัวมากเกินไป การหลุดออกจากแบบของผลิตภัณฑ์บางครั้งมีปัญหาเพราะจะมาติดที่แกนในทำให้ถอดยาก การแก้ปัญหาจะต้องมีการลงแป้งที่แบบก่อนหล่อและใช้ลมเป่าช่วยในการถอด

#### 4.6 การควบคุมน้ำดินและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเทแบบ

การทำน้ำดินและผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพและมีคุณสมบัติสม่ำเสมอมีหลายสิ่งหลายอย่างที่ต้องพิจารณา ดังต่อไปนี้

4.6.1 อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบที่มีความเหนียวกับวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว เช่น ดินกับหินฟ้าน้ำ และหินเขียวหนุมาน อัตราส่วนนี้มีความสำคัญมาก ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.83 - 1.10

4.6.2 ชนิดและปริมาณดินขาวที่ใช้ก็มีความสำคัญ ดินขาวที่มีเม็ดหยาบจะมีผลทำให้ผนังของผลิตภัณฑ์ในขณะที่เทแบบมีรูพรุนมากและรูมีขนาดใหญ่ทำให้การดูดซึมเป็นไปได้ดี ซึ่งเป็นผลทำให้การเทแบบได้เร็ว แต่มีข้อเสียคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่ค่อยแข็งแรงมีโอกาสเสียรูปทรงได้ง่าย สำหรับดินขาวที่มีเม็ดละเอียดก็จะมีผลตรงกันข้าม

4.6.3 ดินดำที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยวิธีการเทแบบ คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ขนาดของเม็ดดิน ปริมาณของอินทรีย์สาร และปริมาณของเกลือแร่ที่ละลายน้ำได้จะไม่สม่ำเสมอ

4.6.4 อัตราส่วนระหว่างดินขาวกับดินดำ การใช้ดินดำมากอัตราเร็วในการเทแบบจะช้า อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินวิเทียสไชนา ระหว่างน้ำหนักของดินต่อน้ำหนักของวัตถุดิบอื่นเท่ากับ 0.97 : 1 น้ำหนักดินดำต่อน้ำหนักดินขาว เท่ากับ 1 : 1.40

4.6.5 ขนาดของวัตถุดิบและการกระจายตัว ระบบการเรียงตัวของดินดำกับดินขาวมีการเรียงตัวกันแน่น จึงเป็นผลดีต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทแบบ

4.6.6 อัตราส่วนผสมของโซเดียมซิลิเกตกับโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งมีผลต่อการกระจายตัวของนิยมีใช้อัตราส่วน  $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$  เป็น 1 : 3.90, 1 : 3.22 หรือ 1 : 2.00 อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 1 : 3.90

วิธีการผสม ผสมน้ำกับโซเดียมคาร์บอเนตก่อน แล้วเติมลงไปผสมในเนื้อดินปั่น กวนผสมให้เข้ากัน ขั้นสุดท้ายจึงเติมโซเดียมซิลิเกตลงไป จะทำให้ได้น้ำดินที่มีความหนืดต่ำสุด

4.6.7 ในน้ำดินถ้ามีอนุภาคที่มีประจุบวกสอง บวกสามหรือ พวกอนุภาคซัลเฟต และในปริมาณสูงจะทำลายน้ำดิน แต่ในน้ำดินที่มีอนุภาคซัลเฟตน้อยกว่า 300 ppm (PART PER MILION) จะมีคุณสมบัติดีกว่า น้ำดินที่ไม่มีอนุภาคซัลเฟตเลย (ปริศา พิมพ์ขาวจำ. 2535 : 150)

#### 4.7 การเตรียมน้ำดินปั่นสำหรับเทแบบ

การเตรียมน้ำดินปั่นสำหรับเทแบบมี 2 วิธี ดังนี้

4.7.1 นำส่วนผสมน้ำดินปั่นที่เตรียมมาเรียบร้อยแล้วกวนเข้ากับสารละลายของน้ำกับสารที่ช่วยให้เกิดการกระจายตัวและลอยตัวในน้ำในปริมาณที่เหมาะสม วิธีนี้ช่วยลดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำทั้งหมดที่ติดมากับวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำน้ำดินปั่น และการร่อนน้ำดินผ่านตะแกรงก็จะง่ายและสะดวกขึ้น

4.7.2 ในโรงงานผลิตสุกซ์กัณฑ์ จะมีวิธีการเตรียมน้ำดินสำหรับเทแบบโดยผสมวัตถุดิบที่จะใช้เป็นน้ำดินปั่นกับสารละลายของน้ำกับสารที่ช่วยให้เกิดการกระจายตัวและลอยตัวในน้ำในปริมาณที่เหมาะสมโดยทำให้น้ำดินมีความถ่วงจำเพาะ 1.80 แล้วร่อนน้ำดินผ่านตะแกรงร่อน จากนั้นผ่านน้ำดินไปยังเครื่องแยกสารแม่เหล็ก เพื่อแยกเอาสารประกอบของเหล็กออก การเตรียมน้ำดินด้วยวิธีนี้จะประหยัด เนื่องจากไม่ต้องเตรียมน้ำดินปั่นก่อน แต่การควบคุมน้ำดินค่อนข้างลำบาก

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีเตรียมน้ำน้ำดินปั่นตามวิธีที่ 1 เพราะปริมาณน้ำดินที่เตรียมมีจำนวนไม่มากนัก

#### 4.8 การเทน้ำดินลงในแบบพิมพ์

การเทน้ำดินลงในแบบพิมพ์ มีขั้นตอนดังนี้

4.8.1 การเทน้ำดินลงในแบบ ถ้าเป็นแบบขนาดเล็ก ใช้วิธีเทลงปาทงปากแบบ อาจทำโดยใช้ขันตักน้ำกินแล้วเทลงในแบบ แต่วิธีนี้ไม่ดีนักเพราะจะทำให้เสียเวลามาก ความหนาของผลิตภัณฑ์จะไม่เท่ากัน โอกาสมีตำหนิสูง ในโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้ปั้มน้ำดินมาตามท่อและเปิดวาล์วลงในแบบซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมเพราะประหยัดเวลาและน้ำดินไหลสม่ำเสมอ โอกาสที่จะเกิดตำหนิมีน้อย

4.8.2 เทน้ำดินออกจากแบบ เมื่อทิ้งไว้จนได้ความหนาตามที่ต้องการแล้ว ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดเล็กให้ค่อย ๆ เทน้ำดินออกและคว่ำบนไม้ระแนงทิ้งไว้ให้แห้งจึงตั้งขึ้น รอนจนดินหมาด ร่อนออกจากแบบ จึงแกะออก ส่วนแบบใหญ่ ๆ ในโรงงานสุกซ์กัณฑ์ใช้การถายน้ำดินออกจากแบบตามท่อถ่ายด้านล่างของแบบเพราะแบบขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก การพลิกแบบอาจจะทำให้ชิ้นงาน

เสียหายได้ ให้รอจนกว่าดินหมาดจึงถอดแบบออก ตั้งให้แห้งบนตัวรองขึ้นงาน (setter) และในขณะที่ถายนํ้าดินจะอัดลมเข้าไปช่วยไล่นํ้าดินออกทำให้ผิวขึ้นงานเรียบและแห้งเร็ว

#### 4.9 การแต่งผิวให้เรียบร้อย (Finishing)

การแต่งผิวให้เรียบร้อย ทำได้ดังนี้

4.9.1 แต่งในขณะที่ดินหมาด หลังจากถอดขึ้นงานออกแล้วทิ้งไว้ให้ดินแข็งตัว จึงทำการตัดตะเข็บแล้วเอาฟองน้ำชุบน้ำเช็ดขึ้นงานให้เรียบและสะอาด บริเวณที่ผิวไม่ดี ใช้เครื่องมือขูดตกแต่งให้ได้ตามต้องการ และใช้ฟองน้ำเช็ดผิวให้เรียบร้อยจากนั้นให้คลุมผ้าไว้ อบในห้องหล่อซึ่งควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

4.9.2 แต่งแบบในขณะที่ดินแห้ง หลังจากผลิตภัณฑ์แห้งแล้วนำมาตกแต่งผิวให้เรียบร้อยก่อนส่งไปพ่นเคลือบต่อไป การตกแต่งใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ดผิวให้สะอาดเรียบ ไม่เป็นคลื่นและได้รูปทรง

### 5. น้ำเคลือบและการเคลือบผลิตภัณฑ์

#### 5.1 น้ำเคลือบ

คือสารประกอบของซิลิเกต ผสมกับสารอื่น ๆ ที่เป็นตัวช่วยในการหลอม ละลาย เรียกว่า ฟลักซ์ อาจจะมียอดไซด์ของโลหะผสมลงไปด้วยเพื่อทำให้เกิดสีและทึบในเคลือบ เมื่อเผาส่วนผสมของน้ำเคลือบถึงอุณหภูมิที่ทำให้หลอมละลายแล้ว น้ำเคลือบจะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะมีลักษณะเหมือนแก้วบาง ๆ ฉาบติดอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2527 : 1)

การเตรียมน้ำเคลือบ หมายถึง การนำวัตถุดิบต่าง ๆ ตามสูตรมาชั่ง ตวง ผสมเข้าด้วยกัน แล้วนำไปบดเข้าด้วยกันในหม้อบด หรือโกร่ง (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 112)

##### 5.1.1 การบดเคลือบ

วิธีบดเคลือบ การใช้โกร่งบด (mortar) เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและสามารถหาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป โกร่งบดทำด้วยเนื้อพอร์ซเลนแข็งแรงแรงมาก มีขนาด 6, 10, 12 นิ้ว เคลือบเฉพาะภายนอก ส่วนภายในที่ใช้บดไม่เคลือบเพื่อให้ผิวหยาบบดได้ดี ในขณะที่บดต้องเติมนํ้าลงไปด้วยเพื่อให้การบดมีประสิทธิภาพดีขึ้น ไม่เกิดฝุ่น ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ การบดด้วยโกร่งใช้เวลามาก เพราะฉะนั้นก่อนบดควรร่อนด้วยตะแกรงก่อน

การบดน้ำเคลือบโดยใช้หม้อบด หม้อบดเป็นเครื่องทุ่นแรงโดยอาศัยกำลังไฟฟ้าจุดหม้อน้ำให้หมุนรอบตัว 30 รอบต่อนาที

หม้อบดขนาดใหญ่ (ball mill) ภายนอกหุ้มด้วยแผ่นเหล็กส่วนภายในกรุด้วยหินแข็งหรือเป็นเนื้อพอร์ซเลน ความจุของหม้อขนาดใหญ่มีตั้งแต่ขนาด 50, 100, 150, 500, 1000 กิโลกรัม

วิธีบดใช้วัตถุดิบบรรจุในหม้อบดพร้อมด้วยลูกบด ซึ่งลูกบดทำหน้าที่เสียดสีและกระแทกวัตถุดิบให้ละเอียด การบดที่ให้ประสิทธิภาพคือการบดเปียก

หม้อบดขนาดเล็ก (jar mill) ทำจากเนื้อพอร์ซเลน (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 113) ส่วนภายในไม่เคลือบ ทำให้เนื้อหยาบเหมาะแก่การบด ขนาดบรรจุ 500 กรัม 5 กิโลกรัม

#### 5.1.2 การเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ (Glazing)

การเคลือบผิวที่ดีขึ้นอยู่กับวิธีหรือเทคนิคในการเคลือบผิว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังเผาที่ดี วิธีเคลือบแบ่งเป็น 4 วิธี (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 113 - 114)

5.1.2.1 วิธีทาด้วยแปรง (painting) ลักษณะแปรงที่ใช้ทาน้ำเคลือบควรมีขนยาว นุ่ม จะช่วยให้ฉาบน้ำได้มาก ในการทาเคลือบไม่ควรทาน้ำเคลือบทับซ้ำ ๆ กันหลายครั้งและควรใช้แปรงทาไปด้านหนึ่งด้านใด ไม่ควรทาย้อนกลับไปกลับมา การทาด้วยแปรงเหมาะกับงานขนาดเล็ก แบบ ๆ

5.1.2.2 วิธีชุบหรือจุ่มในน้ำเคลือบ (dipping) การชุบด้วยวิธีนี้ต้องมีปริมาณน้ำเคลือบมากพอที่จะชุบผลิตภัณฑ์ได้ทั้งชิ้น การชุบแต่ละครั้งต้องกวนน้ำเคลือบตลอดเวลาเพื่อให้ น้ำเคลือบเกาะผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีมีความสม่ำเสมอ ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทแจกันให้กรอกน้ำเคลือบไปข้างในก่อนและเทออกมาจากนั้นก็ชุมภายนอก การจับผลิตภัณฑ์ในเวลาชุบเคลือบควรให้มือสัมผัสน้อยที่สุด หลังจากเคลือบทั่วแล้วให้เอาน้ำเคลือบเต็มบริเวณรอยมือที่จับ ใช้มีดกดแต่งบริเวณส่วนที่เกินออกมาจะช่วยทำให้ผิวเรียบไม่มีตำหนิ การเคลือบวิธีนี้ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ทำผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่น แจกัน ถ้วยกาแฟ จานรอง ที่ผลิตจำนวนมาก ๆ

5.1.2.3 วิธีเทราด (pouring) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับน้ำเคลือบที่มีปริมาณน้อย โดยนำผลิตภัณฑ์ที่จะชุบไปวางบนภาชนะที่เตรียมไว้โดยเฉพาะ โดยวางบนไม้หรือสแตนเลส นำน้ำเคลือบมาเทราด อาจต้องเทหลายสีกก็ได้แล้วแต่ความต้องการ โดยเทราดให้ทับกัน หลังเผาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สวยงาม

5.1.2.4 วิธีพ่น (spraying) การเคลือบโดยวิธีนี้ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ และผลิตจำนวนมาก ๆ น้ำเคลือบที่ใช้จะต้องได้มาตรฐานไม่เหลวหรือข้นเกินไป ควรพ่นในตู้พ่นเคลือบ เพราะจะมีฝุ่นละอองของเคลือบกระจายซึ่งอาจทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ผลิตภัณฑ์ที่นิยมพ่นเคลือบได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ อ่างน้ำ อ่างล้างหน้า โถส้วม แจกันขนาดใหญ่

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้วิธีพ่นเคลือบผลิตภัณฑ์โดยให้ความหนาของเคลือบเท่ากับ 0.6 - 0.7 มิลลิเมตร ส่วนเคลือบที่ใช้จะใช้ตามสูตรที่กำหนดไว้ และคุณสมบัติก่อนการใช้อาจจะต้องอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

## 6. เตาและการเผา

เตาเผาเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เตาเผาเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนจนผลิตภัณฑ์เกิดการแข็งตัว หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อีกแล้ว ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 134) กล่าวว่าในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในระยะเริ่มแรก อาศัยวิธีการผึ่งแดดเพื่อให้เกิดความแข็ง และต่อมาพบว่าเมื่อได้รับความร้อนโดยวิธีเผาจะทำให้เกิดความแข็ง คงทนดีกว่า โดยเอาผลิตภัณฑ์วางกองบนพื้นแล้วเอาเศษหญ้า ใบไม้เป็นเชื้อเพลิงในการเผา จนกระทั่งต่อมามนุษย์รู้จักควบคุมอุณหภูมิโดยการจุดเป็นอุโมงค์ ทำให้สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ที่ละมาก ๆ ให้อุณหภูมิสูงกว่าเดิม และได้แก้ไขดัดแปลงตามลำดับ

ต่อมามนุษย์เรามีความรู้ความเข้าใจรู้จักทำอิฐและผลิตภัณฑ์ที่ทนความร้อนได้ในอุณหภูมิสูงและมีคุณภาพดีตามลำดับ จึงได้มีการออกแบบสร้างเตาขึ้นตลอดจนการหาวิธีการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ตามความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ปัจจุบันมนุษย์สามารถผลิตเตาเผา ที่เผาได้ในอุณหภูมิสูงพร้อมกับสามารถควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาได้ตามความต้องการอีกด้วย

### 6.1 ชนิดของเตาเผา

เตาที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์จำแนกได้หลายลักษณะ ดังนี้ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 143 )

#### 6.1.1 แบ่งเตาตามหน้าที่การใช้งาน จำแนกได้ 3 ประเภท คือ

6.1.1.1 เตาเผาชนิดเป็นครั้งคราว (periodic kiln) เป็นเตาที่ใช้เผาเป็นครั้งคราว ไม่ติดต่อกันโดยรอให้ผลิตภัณฑ์เต็มเตาจึงจะเผา และปล่อยให้เตาเย็นเสียก่อนจึงจะเผาใหม่เหมาะสำหรับ โรงเรียน และอุตสาหกรรมในครัวเรือน

6.1.1.2 เตาเผาแบบกึ่งถาวร (semi continuous kiln) เป็นเตาเผาชนิดเมื่อเผาเสร็จแล้วก็พร้อมจะเผาต่อไปได้อีกโดยไม่ต้องรอให้เตาเย็น เป็นการประหยัดเชื้อเพลิง แต่ที่สำคัญจะต้องมีผลิตภัณฑ์รอเผาอย่างต่อเนื่อง เช่น เตาขัดเคลือบ (Suttle kiln) เตาอีลิเวเตอร์ (Elevetor kiln)

6.1.1.3 เตาเผาแบบถาวร (continuous kiln) เป็นเตาเผาชนิดเผาติดต่อกันตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเตาที่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ได้แก่ เตาอุโมงค์ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเตาชนิดนี้จะสูงมาก

6.1.2 แบ่งตามลักษณะทางเดินลมร้อน หมายถึงเตาที่สามารถควบคุมความร้อนไปในทิศทางที่ต้องการได้ แบ่งเป็น 3 ชนิด

6.1.2.1 เตาเผาชนิดทางลมร้อนเดินตรง หรือเอียงขึ้นเล็กน้อย (horizontal draft kiln) เป็นเตาที่มีลักษณะยาวโดยให้ความร้อนจากปากเตา วิ่งผ่านภาชนะที่เรียงอยู่ในเตาออกปล่อง ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่เผาจากเตานี้คือ โอ่ง, ไห, อ่าง, เตาชนิดนี้มีขนาดใหญ่และเผาได้จำนวนมาก

6.1.2.2 เตาชนิดทางเดินลมร้อนลง (down draft kiln) เป็นเตาชนิดที่ให้ความร้อนสูง เนื่องจากการออกแบบเตาควบคุมให้ความร้อนไหลเวียนอยู่ในเตาแล้วไหลออกสู่ปล่อง ทำให้เพิ่มความร้อนในเตาสูงขึ้นเหมาะสำหรับเผาผลิตภัณฑ์ไฟสูง

6.1.2.3 เตาเผาชนิดลมร้อนขึ้น (up draft kiln) เป็นเตาที่สร้างให้ความร้อนไหลขึ้น ผ่านผลิตภัณฑ์ออกสู่ปล่องโดยตรง การสร้างง่ายและสะดวก ราคาไม่แพงจนเกินไป ที่สำคัญทำให้ความร้อนไหลเวียนสม่ำเสมอ เนื่องจากการเรียงตะกรับเตา (checker work) ไว้หลายชั้น ช่วยให้ความร้อนไม่ไหลเร็วจนเกินไป

6.1.3 แบ่งตามรูปลักษณะเตา หมายถึงเตาที่มีรูปร่างต่างๆ เช่น แมลงป่อง เตาอุบล เตาจีน ในสมัยสุโขทัยเจริญรุ่งเรืองมีเตาเผาชื่อ เวียงกาหลง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะเผาผลิตภัณฑ์ในเตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนลงในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน

## 6.2 ส่วนประกอบของเตา

มีความสำคัญมากเพราะเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการกระจายความร้อนได้ทั่วทั้งเตา ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและปลอดภัย ตลอดจนได้ผลิตภัณฑ์สวยงามตามต้องการ การออกแบบหรือสร้างเตาต้องคำนึงถึงส่วนต่างๆดังต่อไปนี้ (ทวี พรหมพลกุล, 2523 : 135 - 136)

6.2.1 ห้องบรรจุผลิตภัณฑ์สำหรับเผา (firing chamber) ผู้ออกแบบสร้างเตาต้องทราบความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการความจุขนาดเท่าใด ห้องบรรจุผลิตภัณฑ์สำหรับเผา แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

6.2.1.1 ส่วนบน ( top part )

6.2.1.2 ส่วนกลางของเตา ( middle part )

6.2.1.3 ส่วนล่างของเตา ( bottom part )

ห้องบรรจุทั้ง 3 ส่วนนี้ต้องควบคุมความร้อนให้สม่ำเสมอ

6.2.2 ผนังเตา ( fire wall ) ปัจจุบันผนังเตาได้พัฒนาไปเป็นอย่างมากโดยภายนอกเป็นเหล็กภายในบุด้วยไฟเบอร์ซึ่งมีความทนไฟ สะดวกในการติดตั้ง มีน้ำหนักเบา ประหยัดไฟ ซึ่งแตกต่างจากเดิมที่เคยใช้อิฐชนิดหนาทนความร้อนก่อเป็นกำแพง 2 ชั้น เพื่อควบคุมความร้อน

6.2.3 พื้นเตา (floor) เดิมก่อด้วยอิฐชนิดทนความร้อนได้สูงและรับน้ำหนักได้ดี เตาบางประเภทออกแบบให้พื้นเตาทำหน้าที่เป็นตะแกรงไปในตัวก็มี ปัจจุบันไม่มีพื้นเตา สำหรับเตาอุโมงค์จะใช้รัดแทน

6.2.4 ทางระบายลมร้อน (main flue) เป็นเตาชนิดออกแบบทางเดินลมร้อนลง ให้ความร้อนสูง ใช้น้ำมันเตาแก๊สเป็นเชื้อเพลิง

6.2.5 กำแพงไฟ (bag wall) ใช้ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เปลวไฟไปกระทบผลิตภัณฑ์ เป็นอิฐชนิดทนความร้อนสูง และสามารถทนต่อการปะทะของเปลวไฟได้ดี

6.2.6 ห้องเผา (fire box) เป็นห้องที่ให้ความร้อนโดยตรง มีช่องให้หัวฟืนเข้าได้พอดี มีช่องปรับอากาศเข้าไปช่วยในการลุกไหม้ ช่องอากาศอาจจะเจาะ ทั้งข้างล่างหรือข้างบนก็ได้

6.2.7 หัวฟืน (burner) เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ติดไฟให้ความร้อน มีหลายชนิด ทั้งน้ำมัน และแก๊ส บางระบบจะมีพัดลม (blower) ประกอบไปในตัว สามารถปรับลม น้ำมันให้สัมพันธ์ได้ตามต้องการ

6.2.8 หลังคาเตา (crown) เตาที่มีขนาดความจุมากและขนาดใหญ่หลังคาต้องสร้างโค้งจะช่วยให้เตามีความแข็งแรงและอิฐที่เรียงต้องใช้อิฐลิ้มช่วยในการทรงตัวและเกาะกันได้ดี

6.2.9 ประตูเตา (door) ฝาเตาที่ดีควรมีฉนวนป้องกันความร้อนไม่ให้ไหลออก เพื่อลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และใช้สำหรับบรรจุของเข้าเตา มีทั้งแบบเปิดเข้าและเปิดออก

6.2.10 รถบรรทุกผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา (kiln car) สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาทีละมาก ๆ และบรรจุในเตาขณะที่เตายังร้อนได้ด้วย

6.2.11 แผ่นควบคุมความร้อน (damper) มีหลายชนิดทั้งแบบทำด้วยแผ่นเหล็กหรืออิฐใช้กันความร้อนไม่ให้ไหลเร็วจนเกินไปหรือควบคุมการเผาแบบปิดกั้น

6.2.12 เครื่องวัดอุณหภูมิ (pyrometer) เป็นเครื่องมือใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาใช้ในการควบคุมการเผา

6.2.13 ช่องดูไฟ (fire hole (peep hole) ใช้สำหรับดูไฟเพื่อสังเกตความร้อนในเตา ดูสีของไฟ และดูโคนที่วางไว้ในเตาเผา

### 6.3 เตาที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

เตาที่นิยมใช้ในปัจจุบันทั้งประเภทที่ใช้ในโรงเรียนและอุตสาหกรรมเซรามิกส์ขนาดใหญ่มีดังนี้

6.3.1 เตาไฟฟ้า (electric kiln) หมายถึงเตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวด สามารถให้ความร้อนได้สูงมากซึ่งเราสามารถวัดได้ด้วยเครื่องไพโรมิเตอร์

โดยต่อสายกับเทอร์โมคอบเบิลไว้ในเตา เมื่อเทอร์โมคอบเบิลได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต่างกัน ดังนั้นปลายสายอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมคอบเบิลซึ่งต่อไว้กับมิเตอร์ซึ่งมีสเกล (Scale) จะบอกค่าอุณหภูมิภายในเตา การเผาของเตาไฟฟ้าที่ไม่มีควันทันเรียกว่า สภาวะเผาแบบบรรยากาศออกซิเดชัน เป็นเตาที่นิยมใช้แพร่หลายในสถานศึกษาและวงการอุตสาหกรรม เพราะมีความสะดวกต่อการเผาเป็นอันมากได้ผลแน่นอน ควบคุมอุณหภูมิได้ดี แต่ต้องลงทุนสูง ทั้งราคาและค่าใช้จ่ายสำหรับการเผาแต่ละครั้ง เตาไฟฟ้าเป็นเตาเผาที่เผาได้ สะอาดที่สุด เผาได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำไปจนถึงอุณหภูมิสูง เร่งช้าเร็วได้ตามต้องการ เนื่องจากมีสวิตช์ไฟหลายตัวสับเปลี่ยนกันในการเผา ไม่มีเปลวไฟ ไม่มีควันทัน เตาไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

6.3.1.1 เตาเผาที่ใช้ความร้อนไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส ภายในเตาเผาใช้ขดลวดชนิดนิเกิล-โครเมียม (Nickel - chromium) หรือบางทีเรียก นิ - โครม (Ni - chrom) เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการเผาดิบ เผาเคลือบไฟดำ เผาได้สูงสุดเพียง 1090 องศาเซลเซียส ถ้าสูงกว่านี้ขดลวดจะขาด

6.3.1.2 เตาเผาที่ใช้ความร้อนสูง เป็นเตาที่ใช้ลวดให้ความร้อน (heating element) ชนิดเป็นแท่งซึ่งทำจากซิลิกาคาร์ไบด์ (Silica carbide) เรียกว่าแท่ง โกรบาร์ (Grobars) ให้ความร้อนสูงถึง 1538 องศาเซลเซียส ปัจจุบันมีแท่งโครบาร์ที่ทนความร้อนได้สูง 1800 องศาเซลเซียส เรียกว่า ซูเปอร์แคนทัล เตาเผาประเภทนี้จะใช้เผาอุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้าพอร์ซเลนไฟสูง แต่เนื่องจากแท่งโครบาร์มีราคาสูงจึงนิยมเปลี่ยนมาใช้ลวดแคนทัล (Kanthal wire) ซึ่งมีราคาถูกกว่าและให้ความร้อนสูงถึง 1400 องศาเซลเซียสแทน ซึ่งสามารถเผาเครื่องปั้นดินเผาชนิดที่ต้องการอุณหภูมิ 1250 - 1280 องศาเซลเซียสได้

ข้อดีของเตาเผาไฟฟ้า

1. ให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ ใช้ได้ผลดีที่สุด
2. การควบคุมการเผา และอุณหภูมิทำได้สะดวก
3. เป็นเตาเผาที่สะอาดที่สุด เพราะไม่มีเปลวไฟ ไม่มีควันทันและเขม่า
4. สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย
5. บรรยากาศในเตาเป็นแบบออกซิเดชันจึงไม่ทำให้น้ำหนักเคลือบหรือสีเปลี่ยนแปลง

(ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 148 - 151)

6.3.2 เตาอุโมงค์ (tunnel kiln) เป็นเตาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมสุขภัณฑ์ กระเบื้อง ลักษณะทั่วไปของเตาอุโมงค์ จะมีความยาวประมาณ 80 ถึง 120 เมตร ภายในกลวงเป็นอุโมงค์ มีรางทอดผ่านภายในตามบรรจบกับภายนอกเตาเพื่อเป็นทางเดินของรถเตา มี 2 แบบ คือ แบบเตापิด (muffle) และเตาเปิด (open Fire) ผนังเตาจะก่อด้วย

อิฐทนไฟหนา 2 ชั้น เป็นตัวกันเปลวไฟเพราะใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เวลาเผาเปลวไฟจะสัมผัสผิวของผลิตภัณฑ์ได้ทำผิวเคลือบด้านกลายเป็นของเสีย ปัจจุบันนิยมใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง จะไม่มีกำแพงกันไฟ เพราะมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีให้ทันสมัยมากขึ้น ข้างนอกเป็นโครงเหล็กหรืออลูมิเนียม ส่วนข้างในบุด้วยเซรามิกสีไฟเบอร์ หรือฉนวนกันความร้อน ซึ่งทำให้สามารถทำความสะดวกและเปลี่ยนใหม่ได้ง่าย มีระบบควบคุมที่ทันสมัยสามารถควบคุมได้ทุกจุด เตาแบบเดิมต้องเผา 18 - 24 ชั่วโมง ปัจจุบันสามารถเผาได้ต่ำสุด 10 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าเร็วมาก เตาแบบเดิมถ้ามีการชำรุดเกิดขึ้นภายในต้องใช้เวลามากในการปิดและเปิด กว่าจะใช้งานได้รวมแล้วใช้เวลาไม่น้อยกว่า 10 วัน แต่ปัจจุบันใช้เวลาประมาณ 5 วันเท่านั้น การทำงานในเตาอุณหภูมิแบ่งได้ 3 ขั้นตอนคือ (ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. 2535 : 521)

6.3.2.1 ช่วงการอุ่นผลิตภัณฑ์ (preheat zone) แก๊สร้อนจะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์ดิบ ช่วงนี้จะใช้เวลาในการเผาค่อนข้างช้าเพราะจะเกิดปฏิกิริยา ซิลิกา ซึ่งเป็นสารประกอบของดินขยายตัวโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 428 - 870 องศาเซลเซียส รวม 3 ช่วง (ทวี พรหมพฤกษ. 2523 : 155) คือ ช่วง 428 - 577 องศาเซลเซียส เปลี่ยนจาก อัลฟาคริสโตบาลไลท์ (Alpha cristobalite) เป็นเบตาคริสโตบาลไลท์ (Beta cristobalite) ช่วง 575 องศาเซลเซียส อัลฟาควอตซ์เป็นเบตาควอตซ์ จะขยายตัวร้อยละ 15 การขยายตัวในช่วงนี้อันตรายมากถ้าแรงไฟให้เร็วขึ้นผลิตภัณฑ์จะแตกร้าว ช่วงการเผาในอุณหภูมิ 870 องศาเซลเซียส ควอตซ์จะเปลี่ยนเป็นแบบไทรไดไมท์ (Tridymite form) ซิลิกาจะละลายเกิดการประสานเชื่อมกับอลูมินา เรียกว่า มุลไลท์ (Mullite) จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง

6.3.2.2 ช่วงการเผา (heating zone) เป็นช่วงการเผาที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงนี้เนื้อดินและเคลือบจะหลอมตัวจับกันแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน

6.3.2.3 ช่วงทำให้เย็น (cooling zone) เป็นช่วงการปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกดีแล้วเย็นตัวลง อากาศจะถูกดูดเข้าไปส่วนทางกันกับรอบบรรจุผลิตภัณฑ์ที่สุกตัวแล้ว ผลิตภัณฑ์จะเย็นตัวลง เนื่องจากคายพลังงานความร้อนออกมาให้กับอากาศที่ส่วนทางเข้ามาในเตา เมื่อรอมมาถึงปากทางออกของเตา ผลิตภัณฑ์ก็จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอากาศข้างนอก

ข้อดีของเตาอุณหภูมิที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง คือ

1. การลงทุนก่อสร้างต่ำ
2. ความร้อนถ่ายเทไปสู่ผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่า
3. การให้ความร้อนมีประสิทธิภาพสูงกว่าในหลายกรณี
4. เผาได้อุณหภูมิสูงกว่าซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในการเผาเร็ว

#### 6.4 วัสดุและอุปกรณ์ของเตา (kiln furniture)

อุปกรณ์ของเตามีความสำคัญมากเพราะเป็นสิ่งที่ช่วยทำให้การเผาผลิตภัณฑ์สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ประกอบด้วย (ทวิ พรหมพฤกษ์. 2523 : 158 - 159)

6.4.1 ชั้นวางผลิตภัณฑ์ (shelf) เป็นแผ่นสำหรับรองผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีหลายขนาดการวางผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีชั้นวาง เพื่อให้สามารถเข้าเตาให้ได้มากที่สุดจะได้ประหยัดเนื้อที่และค่าใช้จ่าย และทำให้ความร้อนในเตาไหลเวียนได้ดีขึ้น ชั้นวางมี 2 ชนิดคือ ซิลิกอนคาร์ไบด์ ให้ความทนไฟสูง คอร์เดียไรท์ ใช้ได้กับความร้อนน้อยกว่าอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (โคน 6)

6.4.2 ขาตั้ง (post) เป็นขาสำหรับรองรับแบบวางชิ้นงาน รับน้ำหนักและทนความร้อนได้สูง มีลักษณะเป็นแท่งกลม สี่เหลี่ยม มีทั้งขนาดสั้นและยาว

6.4.3 วัสดุสำหรับทาชั้นรองเข้าเตาเผาเคลือบ (kiln wash) แก้ปัญหาน้ำเคลือบไหลมาเกาะ ติดกับแผ่นรองเผา ใช้ลูมินาผสมน้ำทาทั่ว

6.4.4 ขาตั้งผลิตภัณฑ์ (stilts) ทำด้วยวัสดุทนไฟ มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน ปลายขาตั้ง ออกแบบให้แหลม เพื่อให้สัมผัสผลิตภัณฑ์แต่น้อย

6.4.5 ที่วางโคนทำด้วยดิน (cone plaques) ใช้สำหรับตั้งโคนในเตาเผา ซึ่งจะใช้ดินที่มีความทนไฟสูง ปัจจุบันใช้โลหะทำ

#### 6.5 การเผาผลิตภัณฑ์ (firing)

ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่สวยงามและมีคุณภาพนั้นจะประกอบด้วย การตกแต่งลงรายละเอียด และต้องผ่านการบวนการเผา (firing process) เพื่อให้เนื้อดินปั้นหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นมา มีความแข็งแรงและคงรูป น้ำเคลือบที่ตกแต่งไว้เกิดการหลอมละลายจับกับผิวของผลิตภัณฑ์เป็นมันวาว และทนต่อการขัดถู การเผามี 2 ลักษณะ (ทวิ พรหมพฤกษ์. 2523 : 152 - 154) คือ

6.5.1 การเผาดิบ (biscuit firing) เป็นการเผาผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่มีการเคลือบผิวที่อุณหภูมิประมาณ 750 - 900 องศาเซลเซียส ให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงและคงรูปเพื่อที่จะได้นำไปทำการตกแต่งต่อ โดยการเขียนลายได้เคลือบ หรือไปชุบเคลือบสะดวกขึ้น ป้องกันการเสียหายอันเกิดจากการเปื่อยของเนื้อดินเมื่อชุบเคลือบ จุดประสงค์หนึ่งคือการตรวจสอบสภาพของเนื้อดินว่า มีการแตกร้าวหรือไม่ ก่อนนำไปเคลือบเพื่อลดการสูญเสียอีกครั้งหนึ่ง การเผาดิบนั้นจะให้ความร้อนและมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่ละน้อย การเผาเป็นไปอย่างช้า ๆ สมำเสมอ ถ้าเผาเร็วเกินไปจะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เวลาที่ใช้เผาในแต่ละครั้งไม่ต่ำกว่า 8 - 10 ชั่วโมง และการเปิดเตาควรทิ้งเวลาให้เย็นลงหลังปิดเตา 24 ชั่วโมง

6.5.2 เผาเคลือบ (glaze firing) หมายถึงการเผาให้น้ำเคลือบที่ชุบบนผิวผลิตภัณฑ์ละลายเคลือบผิว เพื่อจุดประสงค์ให้เกิดความสวยงาม และบางชนิดต้องการให้ทนต่อการกัด ด่างเมื่อใช้งาน การเผาเคลือบไม่ว่าจะเป็นเคลือบชนิดไฟต่ำหรือไฟสูงจะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นจะเกิดการเสียหายได้เช่นการเผาที่ไฟเกิน (overfire) ย่อมทำให้น้ำเคลือบไหลมาก อาจจะติดพื้นเตา หรือชั้นรอง ยากแก่การเอาออก ทำให้เสียหายได้ และการเผาที่อุณหภูมิไม่ถึง (underfire) จะทำให้น้ำเคลือบไม่สุก ตัวผิวของผลิตภัณฑ์จะไม่มันแวววาวเท่าที่ควร ในการเผาเคลือบที่ดีควรมีอัตราการเผาที่อุณหภูมิ 50 - 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ใหญ่และหนาควรยืดเวลาในการเผาให้มากกว่านี้ ไม่ควรเร่งเวลาในการเผาให้เร็วจนเกินไป การเผาที่ใช้โคนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิ หลังโคนลึ้ม หรืออุณหภูมิการเผาได้ที่แล้วควรทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเพื่อให้การเผาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การปิดเตา ควรปล่อยเตาทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง อัตราการลดความร้อนควรใช้ 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตกเสียหาย

ข้อควรคำนึงในการเผาเคลือบ คือ

1. ในการเพิ่ม และลดความร้อน ควรเป็นลักษณะเดียวกันตลอดคือเป็นไปอย่างช้า ๆ ไม่ เร่งรีบเกินไป
2. เผาไล่สิ่งเจือปน เช่น คาร์บอนเนต ออกให้หมดก่อนที่เคลือบจะหลอมตัวติดผิวผลิตภัณฑ์
3. จุดศูนย์กลางของเคลือบจะลดความหนืด และเคลื่อนตัวคลุมผลิตภัณฑ์
4. เมื่อเผาถึงจุดศูนย์กลางควรทิ้งระยะประมาณ 30 นาทีจะทำให้ผิวเคลือบสม่ำเสมอดี
5. การปิดเตาเผาเคลือบ ควรปิดช่องทุกช่องหลังการเผาเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อควบคุม ความร้อนให้ลดลงอย่างช้า ๆ

## 6.6 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีคุณภาพดีถูกต้อง ในสมัยโบราณนั้นใช้การสังเกตจากสีของไฟ หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์โดยการคาดคะเนด้วยสายตา ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญเป็นพิเศษ แต่ในปัจจุบันมีผู้คิดค้นเครื่องมือต่าง ๆ หลายแบบที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง และเที่ยงตรง ได้แก่ เครื่องมือ วัดอุณหภูมิ ท่อนวัดไฟ เครื่องมือวัดความร้อน โดยการเปรียบเทียบสี (optical pyrometer) (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 107)

6.6.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการการเกิดกระแสไฟฟ้าจากความร้อน โดยนำเอาโลหะสองชนิดมาเชื่อมโยงให้ปลายติดกัน เรียกว่า ฮ็อทจังชัน (Hot junction)

แต่โลหะทั้งสองจะต้องมีคุณสมบัติต่างสัณฐานกัน ใส่เข้าไปในเตาเผาให้ได้รับความร้อน ส่วนปลายอีกด้านต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ แล้วเข็มจะชี้บอกอัตราความร้อนตามความมากน้อยของกระแสไฟฟ้า มีตัวเลขบอกอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ ปลายของโลหะที่ต่อไปยังหน้าปัทม์เรียกว่า โคลด์จังชัน (Cold junction) ส่วนที่ได้รับความร้อนเรียกว่า เทอร์โมคอปเปิล จะมีเครื่องป้องกันทำด้วยวัสดุทนไฟหุ้มไว้อีกชั้นหนึ่ง

6.6.2 ทู่นวัดไฟ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตา การใช้ง่ายและสะดวก ผู้ที่ทำทู่นวัดไฟเป็นครั้งแรก ได้แก่ ชาวเยอรมันชื่อ เซกเกอร์ (Segger) จึงตั้งชื่อตามผู้คิดค้นว่า เซกเกอร์โคน โดยนำเอาวัตถุดิบผสมกับฟลักซ์ ทำเป็นแท่งสามเหลี่ยมทรงคล้ายปิรามิด ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ต่ำไปจนสูง แบ่งออกเป็นหมายเลข นอกจากทู่นวัดไฟของเซกเกอร์ ยังมีของออร์ตัน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีอยู่ 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ และขนาดเล็กการใช้ทู่นวัดไฟที่ถูกต้องนั้นจะต้องใช้ครั้งละ 3 ตัว เรียงลำดับอุณหภูมิบนแท่งดิน โดยทำมุมเอียง 82 องศา การอ่านโคนจะชี้ตัวกลางเป็นหลักและเป็นตัวอุณหภูมิที่ต้องการ การเผาที่ถูกต้องโคนจะล้มตามเข็มนาฬิกา การวางทู่นวัดไฟควรวางในส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของเตา และควรวางให้สามารถมองเห็นได้ง่ายในการวัดอุณหภูมิขณะทดลองเผาผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยจะใช้ทั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและทู่นวัดไฟควบคู่กันไป เพราะจะทำให้มีความเที่ยงตรงสูงกว่าใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งอาจผิดพลาด หรือคลาดเคลื่อนได้

ตาราง 6 แสดงการเปรียบเทียบหมายเลขเซกเกอร์โคนกับอุณหภูมิ

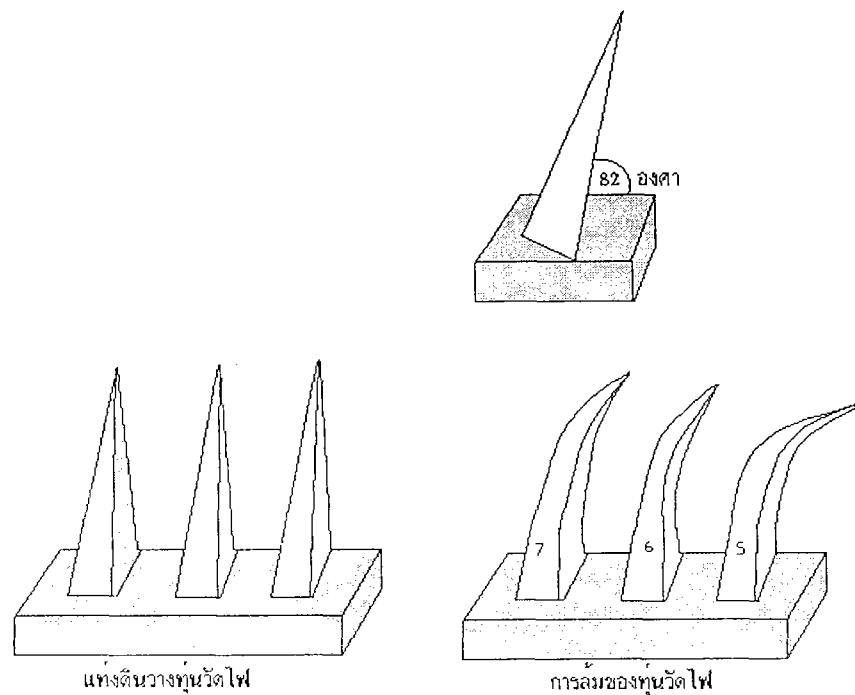
| หมายเลขเซกเกอร์โคน | อุณหภูมิ (°C) | หมายเลขเซกเกอร์โคน | อุณหภูมิ (°C) |
|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 022                | 680           | 8                  | 1250          |
| 021                | 650           | 9                  | 1280          |
| 020                | 670           | 10                 | 1300          |
| 019                | 690           | 11                 | 1320          |
| 018                | 710           | 12                 | 1350          |
| 017                | 730           | 13                 | 1380          |
| 016                | 750           | 14                 | 1410          |
| 015                | 790           | 15                 | 1435          |
| 014                | 815           | 16                 | 1460          |
| 013                | 835           | 17                 | 1480          |

ตาราง 6 (ต่อ)

| หมายเลขเชกเกอร์โคน | อุณหภูมิ (°C) | หมายเลขเชกเกอร์โคน | อุณหภูมิ (°C) |
|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 012                | 855           | 18                 | 1500          |
| 011                | 880           | 19                 | 1520          |
| 010                | 900           | 20                 | 1530          |
| 09                 | 920           | 26                 | 1580          |
| 08                 | 940           | 27                 | 1610          |
| 07                 | 960           | 28                 | 1630          |
| 06                 | 980           | 29                 | 1650          |
| 05                 | 1000          | 30                 | 1670          |
| 04                 | 1020          | 31                 | 1690          |
| 03                 | 1040          | 32                 | 1710          |
| 02                 | 1060          | 33                 | 1730          |
| 01                 | 1080          | 34                 | 1750          |
| 1                  | 1110          | 35                 | 1770          |
| 2                  | 1120          | 36                 | 1790          |
| 3                  | 1140          | 37                 | 1825          |
| 4                  | 1160          | 38                 | 1850          |
| 5                  | 1180          | 39                 | 1880          |
| 6                  | 1200          | 40                 | 1920          |
| 7                  | 1203          | 41                 | 1960          |
|                    |               | 42                 | 2000          |

ที่มา : ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 185 - 186)

การวางโคนภายในเตาเผาจะต้องวางโคนในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยในการเผาแต่ละครั้งจะใช้โคน 3 ตัว คือ โคนหมายเลขที่มีระดับอุณหภูมิที่เราต้องการวางไว้ในตำแหน่งกลาง และต้องวางโคนหมายเลขก่อนและหลังหมายเลขที่เราต้องการเรียงเป็นแถวตามลำดับ ดังภาพประกอบ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 168)



ภาพประกอบ 1 แสดงวิธีวางโคนและการล้มของโคน

จากภาพประกอบ ระดับอุณหภูมิที่เราต้องการเผา คือ โคนหมายเลข 6 ฉะนั้นจะต้องวาง โคน 3 ตัวคือ โคนหมายเลข 7, 6 และ 5 ตามลำดับ เมื่อเผาถึงอุณหภูมิใกล้จุดที่เราต้องการ โคนหมายเลข 5 จะเริ่มโค้งงอลง เป็นการเตือนให้เราทราบและระมัดระวังคอยดู จากนั้นเมื่อเราเผา จนกระทั่งโคนหมายเลข 6 เริ่มโค้งงอ แต่โคนหมายเลข 7 ยังไม่โค้งงอจึงปิดเตา แสดงว่าเราเผาได้ถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการพอดี แต่ถ้าปล่อยให้โคนหมายเลข 7 โค้งงอ แสดงว่าเราเผาอุณหภูมิ สูงกว่าที่ต้องการ

## 7. อิทธิพลความร้อนที่มีต่อวัตถุดิบที่ใช้ทำเซรามิกส์

เนื้อดินปั้นและเคลือบประกอบไปด้วยดิน หินและแร่ ซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนการเผาทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและฟิสิกส์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (โกลมล รักษ์วงศ์ . 2531 : 100 - 112)

### 7.1 อิทธิพลความร้อนต่อดินขาว

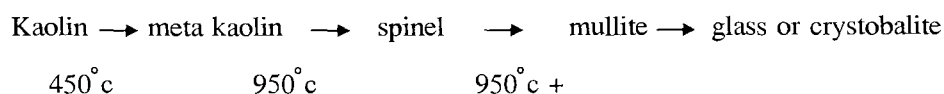
แร่ในดินขาวประกอบไปด้วย อลูมินา 1 โมล ซิลิกา 2 โมล นอกจากนี้ยังมีอนุภาคอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วย เช่น อนุภาคของคาร์บอนเนต อนุภาคของซัลเฟต อนุภาคเหล่านี้ประกอบไปด้วย น้ำ ดินขาวจึงมีน้ำ อยู่ 2 ชนิด คือ น้ำในโมเลกุล และน้ำ นอกโมเลกุล การเผาจะมีการระเหย 2 ช่วง คือ

7.1.1 ช่วงแรกเป็นการระเหยแบบกลเรียกว่า เมคานิคอล วอเตอร์ (Mechanical water) จะเริ่มระเหยตั้งแต่ 100 - 150 องศาเซลเซียส หลังจากช่วงนี้แล้วดินจะแห้งสนิท น้ำนอกโมเลกุลจะระเหยไปหมด การเผาในช่วงนี้ถ้าหากหยุดการเผาแล้วยังสามารถนำเอาไปผสมน้ำและยังยุ่ยตัว (slak) และยังมีความเหนียวเหมือนเดิม

7.1.2 ช่วงที่สองเป็นการกำจัดน้ำแบบเคมี (chemical dehydration period) จะเริ่มต้นจากอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสขึ้นไป ดินจะสูญเสียน้ำในโครงสร้างโมเลกุลเกิดความแข็งแรงไม่แตกตัวได้อีกต่อไป โครงสร้างของผลึกจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น เมตะเคโอไลน์ (Meta kaolin) ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) จะทำให้โครงสร้างมีรูพรุนเกิดขึ้น หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากการเรียงตัวใหม่ของอะตอมในหนึ่งหน่วยเซลล์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำจึงกำจัดออกไปหมด หลังการเผาที่ 380 องศาเซลเซียส ผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ และการพรุนตัวจะลดลงที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสจะเป็นไปในรูปการประสานเนื้ออนุภาคเข้าด้วยกัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในดินจะถูกเผาไหม้ ตั้งแต่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ถึง 1000 องศาเซลเซียส อนุภาคของคาร์บอนเนตและซัลเฟตจะสลายตัว สีของดินจะเปลี่ยนไป มีขนาดเล็กลงและน้ำหนักลดลงด้วย

อิทธิพลในการเผาดินขาวในช่วง 500 - 580 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของซิลิกา จะทำให้ดินขยายตัวออกอีกครั้ง หลังจากนั้นจะหดตัว ลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดสุดท้ายจึงจะขยายตัวออก

## ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเผาหินขาว



### 7.2 อิทธิพลความร้อนที่มีต่อซิลิกา

รูปร่างของหินเขียวหนุมานที่อุณหภูมิต่ำ มีโครงสร้างของอะตอมจับกันเป็นเกลียว ซึ่งเกิดจากการจับตัวแบบปริมาตรฐานสามเหลี่ยมของซิลิกอน และออกซิเจน เมื่อหินฟืนน้ำถูกเผาที่อุณหภูมิ 573 องศาเซลเซียส หินเขียวหนุมานจะเปลี่ยนรูปร่างจากเดิม มีการขยายตัวใหญ่กว่าเดิม มีการจัดเรียงอะตอมจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่าการผกผัน (Inversion) มีลักษณะเกิดการจัดเรียงอะตอมใหม่อย่างรุนแรง เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่มีการกระทบกระเทือนพื้นระเพียงเล็กน้อย สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

### 7.3 อิทธิพลความร้อนที่มีต่ออลูมินา

อลูมินาจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างโครงสร้างในอุณหภูมิ 1150 - 1200 องศาเซลเซียส คือเปลี่ยนโครงสร้างจากรูปแกมมา (γ form) เป็นรูปอัลฟา (α form) และไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างคืนอีกหลังจากเย็นตัวลง

### 7.4 อิทธิพลความร้อนที่มีต่อหินฟืนน้ำ

โดยปกติหินฟืนน้ำจะมีจุดหลอมละลายตัวประมาณ 1100 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนสภาพเป็นสารเนื้อเดียวกลายเป็นสารประกอบใหม่ เรียกว่า ลิวไซต์ (Leucite) หินฟืนน้ำชนิดโซเดียม จะมีจุดหลอมละลายที่ใกล้เคียงกันกับชนิดโพแทสเซียม แต่มีความเคลื่อนไหวตัวดีกว่า และช่วงอุณหภูมิการเผาจะสั้นกว่าชนิดโพแทสเซียม

### 7.5 การเกิดมูลไธท์

มูลไธท์ที่มีผลึกรูปเข็มเกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ

7.5.1 มูลไธท์ที่เกิดจากการแยกผลึกออกมาจากดิน ซึ่งมีขนาดของผลึกเล็กมาก

7.5.2 มูลไธท์ที่เกิดจากการตกผลึกออกมาจากหินฟืนน้ำหรือหินเขียวหนุมาน มูลไธท์นี้จะละลายได้ดีในเนื้อแก้วที่มีซิลิกาสูง

การเกิดผลึกรูปเข็มมูลไลต์ในเนื้อดินปั้นจะมีส่วนช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ผลึกรูปเข็มนี้จะฝังตัวอยู่ในเนื้อแก้ว ทำตัวเปรียบเสมือนเป็นเหล็กเส้นในคอนกรีต การพัฒนามูลไลต์ในเนื้อผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งจำเป็น อัลคาไลน์จะช่วยให้มูลไลต์สลายตัวเป็นอลูมินาและแก้วที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสขึ้นไป ปฏิบัติการจะช้าลงหรือหยุดเมื่อมีซิลิกามากเกินไป

## 7.6 การหดตัว

ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น ความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อยที่สุดระหว่างอุณหภูมิ 1100 - 1200 องศาเซลเซียส และจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของรูพรุนนี้ รูพรุนเกิดจากแก๊ส ซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำและการสลายตัวของอนุภาคของคาร์บอนและอนุภาคซิลิเกต รูพรุนนี้จะอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่เชื่อมถึงภายนอก ส่วนรูพรุนอีกชนิดหนึ่งเป็นรูพรุนที่เกิดจากฟองอากาศในเนื้อดินปั้นจะเชื่อมถึงผิวนอก หลังเผาทำให้เกิดตำหนิได้ การแก้ไข เวลาเผาจะต้องเผาช้า ๆ เพื่อให้เนื้อแก้วเกิดการหลอมละลายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

## 7.7 การเสียรูปทรงขณะทำการเผา

เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเนื้อแก้วสูง มีแนวโน้มจะเสียรูปทรงได้ง่ายระหว่างทำการเผาที่จุดสุกตัว ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการย้อนตัวของเนื้อแก้ว เป็นการยากที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนน้อยและมีความแข็งแรงสูง การแก้ปัญหาการสูญเสียรูปทรงระหว่างการเผาสามารถทำได้หลายวิธีคือ การปรับปรุงเนื้อดินปั้นโดยลดซิลิกาและเพิ่มอลูมินา เพื่อให้เกิด คอर्डิเอไรท์ (ปริดา พิมพ์ขาวจำ. 2535 : 414) คือปรับปรุงกรรมวิธีในการผลิตโดยทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นขึ้น เช่น การอัด นอกจากนี้ก็มีการทำตัวรองรับผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยไม่ให้มีการเสียรูปทรงในขณะที่ทำการเผา (สุชาดา สุขชี. 2538 : 45)

## 8. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นซึ่งมีความสำคัญมาก เพราะทำให้สามารถจำแนกชนิดของเนื้อดินปั้นว่าเหมาะที่จะทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดใด เช่น ชนิดที่มีเนื้อสีขาวหรือชนิดที่มีเนื้อสีอื่น ๆ หรือทำผลิตภัณฑ์ที่มีความทนไฟ ซึ่งมีคุณสมบัติที่จะต้องทดสอบต่อไปนี้

### 8.1 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น

ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกระทบหรือแรงกดที่กระทำต่อเนื้อดินปั้นที่ขึ้นรูปแล้ว เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงเมื่อแห้งจะไม่เปราะแตกง่าย สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก โดยทั่วไปเนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวมากจะมีความแข็งแรงมาก เมื่อขึ้นรูปและผึ่งให้แห้ง โดยสากลถือว่าเนื้อดินปั้นจะต้องมีความแข็งแรงตั้งแต่ 20 - 1500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 9.1 - 682 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

วิธีทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น ทำได้ดังนี้

8.1.1 นำน้ำดินนึ่งที่ผสมและผ่านการทดสอบคุณสมบัติในการหล่อแล้วมาเทลงในแบบทดลองที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความยาว กว้าง และหนา ตามที่กำหนด

8.1.2 นำแท่งทดลองไปผึ่งให้แห้งแล้วนำไปอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

8.1.3 นำแท่งทดลองไปกดให้หักโดยเครื่องมือทดสอบ

8.1.4 จดแรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก แล้วนำไปคำนวณหาความแข็งแรงจากสูตรดังต่อไปนี้ (Singer.1963 : 337)

$$R = \frac{3WL}{2bh^2}$$

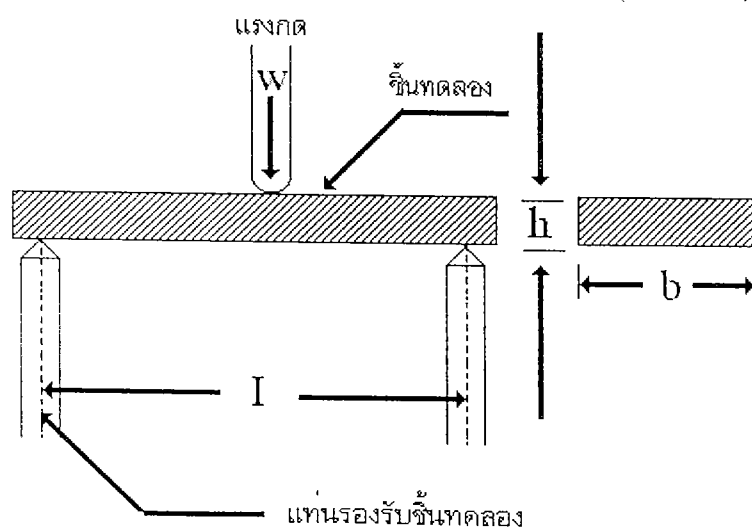
โดย R = ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

W = แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กิโลกรัม)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับแท่งทดลอง (เซนติเมตร)

b = ความกว้างของแท่งทดลอง (เซนติเมตร)

h = ความหนาของแท่งทดลอง (เซนติเมตร)



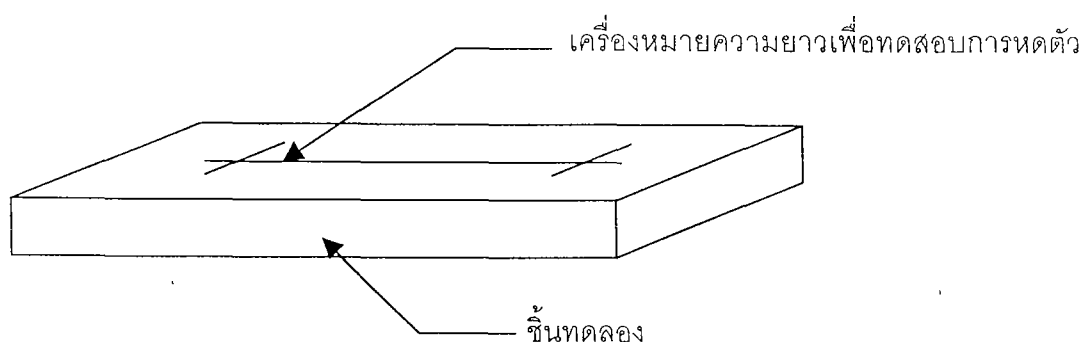
ภาพประกอบ 2 แสดงการกดน้ำหนักลงบนแท่งทดลองด้วยเครื่องมือทดสอบความแข็งแรง

## 8.2 การหดตัว

คุณสมบัติเกี่ยวกับการหดตัวของเนื้อดินปั้นมีความสำคัญ เพราะในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ๆ ถ้าเนื้อดินปั้นมีการหดตัวมากก็จำเป็นที่จะต้องให้เนื้อดินปั้นนั้นแห้งอย่างช้า ๆ และแห้งอย่างสม่ำเสมอทั่วเนื้อผลิตภัณฑ์ สาเหตุที่หดตัวก็เนื่องมาจากน้ำที่อยู่รอบ ๆ เนื้อเนื้อดินปั้นระเหยออกไป ทำให้เนื้อดินปั้นเข้ามติดกันจึงเกิดการหดตัว โดยปกติแล้วเนื้อดินปั้นที่มีความละเอียดและเหนียวย่อมมีการหดตัวมากกว่าเนื้อดินปั้นหยาบ การหดตัวของเนื้อดินปั้นมีอยู่ 2 ระยะด้วยกันคือ การหดตัวหลังจากการฟุ้งให้แห้ง (drying shrinkage) และการหดตัวหลังจากการเผา (firing shrinkage) การหดตัวหลังจากการเผามีความสำคัญในการเผาผลิตภัณฑ์มาก เพราะถ้าเนื้อดินปั้นมีการหดตัวสูง จำเป็นจะต้องเผาผลิตภัณฑ์อย่างช้าและควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ มิฉะนั้นผลิตภัณฑ์จะเกิดการบิดเบี้ยว หรือแตกเสียหายได้ นอกจากนี้การทดสอบหาร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินปั้นทั้งก่อนเผาและหลังการเผาแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อการขยายแบบเพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์มีขนาดตามที่ต้องการได้อีกด้วย

วิธีทดสอบความหดตัวของเนื้อดินปั้น ทำได้ดังนี้

8.2.1 นำน้ำดินที่เตรียมและผ่านการทดสอบคุณสมบัติด้านการหล่อแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์ เช่นเดียวกับการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น ทำเครื่องหมายตามด้านยาว วัดจากริมของแท่งทดลองเข้ามาด้านละเท่ากันขีดทำ เครื่องหมายไว้



ภาพประกอบ 3 แสดงการทำเครื่องหมายไว้ที่แท่งทดลอง

8.2.2 นำแท่งทดลองไปผึ่งให้แห้งแล้วจดบันทึกค่าไว้

8.2.3 นำแท่งทดลองไปเผาที่อุณหภูมิตามต้องการ

8.2.4 วัดความยาวของแท่งทดลองหลังจากการเผาแล้วจดบันทึกไว้

8.2.5 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละความหดตัวของเนื้อดินปั้นโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้ (Rhodes. 1972 : 200)

$$\text{ร้อยละการหดตัวของดินแห้ง} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินแห้ง} \times 100}{\text{ความยาวของดินเปียก}}$$

$$\text{ร้อยละการหดตัวของดินเผาแล้ว} = \frac{\text{ความยาวของดินแห้ง} - \text{ความยาวของดินเผาแล้ว} \times 100}{\text{ความยาวของดินแห้ง}}$$

$$\text{ร้อยละการหดตัวของดิน} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินเผาแล้ว} \times 100}{\text{ความยาวของดินเปียก}}$$

### 8.3 การดูดซึมน้ำ

การทดสอบหาร้อยละของความดูดซึมน้ำจะทำให้เราทราบถึงความแตกต่างของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำสูงจะมีจุดหลอมละลายสูง ทำให้สามารถเลือก เนื้อดินปั้นที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาชนิดต่าง ๆ

วิธีทดสอบการดูดซึมน้ำ ทำได้ดังนี้

8.3.1 นำแท่งทดลองที่ผ่านการเผาแล้วมาชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกไว้

8.3.2 นำแท่งทดลองไปต้มในน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำเดือด จึงเริ่มจับเวลาแล้วต้มในน้ำ เดือดต่อไปอีก 2 ชั่วโมง หยุดให้ความร้อนแก่หม้อต้ม

8.3.3 ทิ้งแท่งทดลองไว้ในหม้อต้มอีก 24 ชั่วโมง

8.3.4 นำแท่งทดลองมาเช็ดน้ำออกด้วยผ้านำมาชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณด้วยสูตรดังต่อไปนี้ (Rhodes. 1972 : 200)

$$A = \frac{W - D}{D} \times 100$$

โดย    A    =    ร้อยละการดูดซึมน้ำ  
           W    =    น้ำหนักดินที่อิ่มตัว  
           D    =    น้ำหนักดินที่แห้ง

#### 8.4 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น

เพื่อจำแนกว่าเนื้อดินปั้นที่ได้ควรใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ชนิดทนไฟได้หรือไม่ เนื้อดินปั้นที่ทำผลิตภัณฑ์ทนไฟนั้นต้องมีความทนไฟขั้นต่ำสุดที่ 1550 องศาเซลเซียส แต่สำหรับเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนาความทนไฟอยู่ระหว่าง 1180-1350 องศาเซลเซียส

วิธีทดสอบความทนไฟของเนื้อดินปั้น ทำได้ดังนี้

8.4.1 นำน้ำดินที่เตรียมไว้มาหล่อในแบบพิมพ์เป็นรูปท่อนวัดไฟให้มีขนาดเท่ากับท่อนวัดไฟขนาดใหญ่ตามมาตรฐานของออร์ตัน (Orton) แล้วฝังให้แห้งสนิท

8.4.2 นำชิ้นทดลองที่แห้งสนิท 3 ชิ้น วางเรียงบนแท่งดินเหนียว และกดให้ฐานชิ้นทดลองฝังลงไปบนแท่งดินเหนียว ป้องกันการล้ม ทำมุมเอียง 82 องศา เช่นเดียวกับการวางท่อนวัดไฟ แล้วทำการหั่นไว้ด้านล่างของแท่งดิน

8.4.3 นำชิ้นทดลองที่เตรียมไว้แล้วเข้าเตาเผา และทำการเผาโดยใช้อุณหภูมิในการเผาสูงจนชิ้นทดลองหลอมละลายล้มลงราบกับพื้นแท่งดินเหนียวที่ชิ้นทดลองวางอยู่แล้วจึงปิดเตา จดบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิ อุณหภูมิที่วัดได้ก็จะเป็นค่าของความทนไฟของเนื้อดินปั้นที่นำมาทดสอบ

#### 8.5 สีของเนื้อดินปั้น

สีของเนื้อดินปั้นมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาอย่างยิ่ง เนื่องจากเนื้อดินปั้นแต่ละแหล่งจะมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ อยู่มาก เช่น แร่ต่าง ๆ ซากพืช ซากสัตว์ เป็นต้น โดยปกติแล้วสีของเนื้อดินปั้นจะถูกเปลี่ยนแปลงหลังจากการเผาแล้ว เช่น ดินเหนียว ก่อนการเผามีสีดำคล้ำหรือสีเทา แต่เมื่อเผาแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีขาว หรือเปลี่ยนเป็น สีแดงเข้ม แต่ดินทนไฟเมื่อเผาแล้วมักจะมีสีแดงดั้งเดิมเป็นต้น

วิธีทดสอบสีของเนื้อดินปั้น ทำได้โดยนำน้ำดินหล่อในพิมพ์แท่งทดลองเช่นเดียวกับการทดลองความทนไฟของเนื้อดินปั้น ปล่อยให้แห้งสนิทแล้วจึงนำไปเผาในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่าง 700 - 1250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในแต่ละช่วงจะปรากฏสีเนื้อดินปั้นที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถเลือกใช้หรือนำไปผสมกับเนื้อดินปั้นอื่น เพื่อพัฒนาสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการ

## 9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ

ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยเกี่ยวกับเนื้อดินปนวิเทรียสไชนา ทั้งในประเทศและต่างประเทศ  
ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

9.1 โกมล รักษ์วงศ์ ( 2531 : 162 -163 ) กล่าวถึงอัตราส่วนเนื้อดินปนวิเทรียสไชนา  
ดังนี้

ตาราง 7 แสดงอัตราส่วนเนื้อดินปนวิเทรียสไชนา

| วัตถุดิบ  | ส่วนผสมเนื้อดินปนมาตรฐาน |        |        |        |        | ส่วนผสมเนื้อดินปน<br>(ทำให้เกิดความแข็งแรง) |        |        |
|-----------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------------------|--------|--------|
|           | สูตร 1                   | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 | สูตร 5 | สูตร 6                                      | สูตร 7 | สูตร 8 |
| ดินขาว    | 35.6                     | 34.5   | 39.5   | 40     | 34     | 34                                          | 37     | 34     |
| ดินเหนียว | 9.4                      | 9.5    | 8.0    | 6      | 12     | 9                                           | 7      | 9      |
| หินแก้ว   | 34.0                     | 35.0   | 34.5   | 36.3   | 17     | 27                                          | 24     | 19.5   |
| หินฟันม้า | 21.0                     | 21.0   | 18.0   | 17.7   | 3      | 18                                          | 18     | 17     |
| อลูมินา   | -                        | -      | -      | -      | -      | 12                                          | 17     | 20.5   |
| อุณหภูมิ  | 8-10                     | 8-10   | 8-10   | 9-13   | 8-10   | 10-12                                       | 10-12  | 10-12  |

## 9.2 เอ.อี.โคด (1967 : 337) กล่าวถึงอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนาคังนี้

ตาราง 8 แสดงอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนา

| วัตถุดิบ       | ส่วนผสมเนื้อดินปั้น (ร้อยละ) |
|----------------|------------------------------|
| ดินดำ          | 20 – 30                      |
| ดินขาว         | 20 – 30                      |
| หินฟันม้า      | 10 – 20                      |
| หินเขียวหนุมาน | 30 – 40                      |
| ทัลคัม         | 0 – 3                        |

หมายเหตุ บางครั้งใช้ เนปทาไลน์ไซยาไนท์ทดแทนหินฟันม้า

9.3 เฟลิซ ชิงเกอร์ และ ชันจา เอส ชิงเกอร์ (1963 : 450 - 455) ได้กล่าวในหนังสือ อินคัสเทรียลเซรามิกส์ เกี่ยวกับอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนา จำนวน 56 สูตร ซึ่งเป็นผลงานของนักเซรามิกส์ที่ได้ทำวิจัยเอาไว้ ผู้วิจัยจะขอกล่าวเฉพาะบางส่วนเท่านั้นซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 9 แสดงอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา (ร้อยละ)

| วัตถุดิบ        | สูตร   |        |        |        |        |                |                |              |             |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------------|-------------|
|                 | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6              | 7              | 8            | 9           |
| ดินดำ           | 35-50  | 20     | 30     | 35     | 35     | 15             | 9.5            | 29           | 25          |
| ดินขาว          |        | 30     | 10     | 20     | 20     | 28             | 33             | 11           | 20          |
| ควอทซ์          | 20-40  | 30     | 10     | 10     | 13     | 39             | 35             | 8            | 30          |
| หินฟันม้า       | 10-30  | 20     | 30     | 35     | 22     | 15             | 21             | 8            | 25          |
| เพกมาไทท์       |        |        | 20     |        | 10     |                |                |              |             |
| ไวดิง           |        |        | 50     |        |        |                |                | 7            |             |
| ทัลค์           |        |        |        |        |        |                |                | 37           |             |
| เนปทาไลน์       |        |        | 1      |        |        |                |                |              |             |
| ฟิเชอร์         |        |        |        |        |        |                |                |              |             |
| โคโลไมท์        |        |        |        |        |        |                | 1.5            |              |             |
| สโปคูเมน        |        |        |        |        |        |                |                |              |             |
| มาเบิล          |        |        |        |        |        |                |                |              |             |
| แมกนีไซต์       |        |        |        |        |        |                |                |              |             |
| แบเรียม         |        |        |        |        |        |                |                |              |             |
| ซิลเฟด          |        |        |        |        |        |                |                |              |             |
| อุณหภูมิ        | -      | 5      | 5      | 5      | 5      | -              | 10-12          | 3-4          | 5           |
| ลักษณะการใช้งาน | ทั่วไป | ทั่วไป | ทั่วไป | ทั่วไป | ทั่วไป | เทเบิล<br>แวร์ | ไฮเต็ล<br>ไฮนา | ดิน<br>เนอร์ | วอล<br>ไทล์ |



ตาราง 9 (ต่อ)

| วัตถุดิบ      | สูตร  |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
|---------------|-------|--------|--------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|               | 19    | 20     | 21     | 22   | 23    | 24    | 25    | 26    | 27     | 28    |
| ดินดำ         | 29    | 24     | 24     | 20   | 21.3  | 33    | 45    | 30    | 40     | 40    |
| ดินขาว        | 23    | 28     | 28     | 20   | 26.5  | 26.5  |       |       | 50     |       |
| ควอทซ์        | 14    |        |        |      | 21    | 40    | 35    | 30    | 20-30  | 40    |
| หินฟันม้า     | 24    | 10     | 5      | 25   | 12-3  | 27    | 20    | 48    | 15-30  | 20    |
|               |       |        |        |      | 15.9  |       |       |       |        |       |
| เพกมาไทท์     |       |        |        | 30   |       |       |       |       |        |       |
| ไวติง         |       |        |        | 5    |       |       |       |       | .5-1.0 |       |
| ทัลค์         |       | 28     | 33     |      |       |       |       |       |        |       |
| เนปทาไลน์     | 10    |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
| พิชเชอร์      |       |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
| โคโลไมท์      |       |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
| สโปคูเมน      |       |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
| มาเบิล        |       |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
| แมกนีไซด์     |       |        |        |      |       |       |       |       |        |       |
| แบเรียมซัลเฟต |       | 10     | 10     |      |       |       |       |       |        |       |
| อุณหภูมิ      | 8     | 8      | 8      | 5    | 7-8   | 7-12  | 7-12  | 7-12  | 7-12   | 7-12  |
| ลักษณะการ     | สุข   | ฟรี    | ฟรี    | วอล  | สุข   | สุข   | สุข   | สุข   | สุข    | สุข   |
| ใช้งาน        | กัณฑ์ | ควอทซ์ | กอลทซ์ | ไทล์ | กัณฑ์ | กัณฑ์ | กัณฑ์ | กัณฑ์ | กัณฑ์  | กัณฑ์ |

ตาราง 10 แสดงอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทียสโซนาในรูปร้อยละของออกไซด์

| ออกไซด์                                       | อัตราส่วน (ร้อยละ) | อุณหภูมิ              |
|-----------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| ซิลิกอนออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ )             | 66.2 – 66.9        | เผาอุณหภูมิ 1250-1280 |
| ทิตาเนียมออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )           | 0.6 – 1.0          | องศาเซลเซียส          |
| อลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | 21.4 - 22.6        |                       |
| เหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )      | 0.3 - 0.6          |                       |
| แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ )              | 0.2 - 0.4          |                       |
| แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ )            | 0.1 - 0.2          |                       |
| โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ )    | 3.4 - 4.2          |                       |
| โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ )      | 0.6 - 0.7          |                       |

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ วัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา โดยเลือกใช้วัตถุดิบภายในประเทศ แทนวัตถุดิบจากต่างประเทศ ซึ่งอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ที่ผู้วิจัยจะทำการทดลองนี้ประกอบด้วย ดินขาวระนอง ดินขาวลำปาง ดินดำแม่แซน ดินดำแม่วิท หินฟันม้าราชบุรี ทราชแก้วระยอง โดยใช้วิธีการคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบตามผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสากล เพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง
2. การสุมตัวอย่าง
3. ตัวแปรที่จะศึกษา
4. เกณฑ์ในการตัดสินเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
6. ลำดับขั้นในการทดลอง
7. สูตรที่ใช้ในการทดสอบทางกายภาพ
8. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

#### 1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

##### 1.1 วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ได้แก่

- |                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| 1.1.1 ดินดำแม่แซน    | จังหวัดลำปาง                          |
| 1.1.2 ดินดำแม่วิท    | จังหวัดลำปาง                          |
| 1.1.3 ดินขาว         | จังหวัดระนอง                          |
| 1.1.4 ดินขาว         | จังหวัดลำปาง                          |
| 1.1.5 หินฟันม้า      | จังหวัดราชบุรี                        |
| 1.1.6 ทราชแก้ว       | จังหวัดระยอง                          |
| 1.1.7 โซเดียมซิลิเกต | ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่วไป |

## 1.2 วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบ ได้แก่

- |                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 1.2.1 หินฟันม้า           | จังหวัดราชบุรี                        |
| 1.2.2 โคลไรท์             | จังหวัดกาญจนบุรี                      |
| 1.2.3 หินปูน              | จังหวัดสระบุรี                        |
| 1.2.4 สังกะสีออกไซด์      | ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่วไป |
| 1.2.5 ดินขาว              | จังหวัดระนอง                          |
| 1.2.6 ทราชแก้ว            | จังหวัดระยอง                          |
| 1.2.7 แบเรียมออกไซด์      | ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่วไป |
| 1.2.8 เซอร์โคเนียมซิลิเกต | ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่วไป |

## 2. การสุ่มตัวอย่าง

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงโดยใช้วิธีการคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์จากสูตรมาตรฐานสากล ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ของเนื้อดินปั้นวิเทียสโซนา มีข้อกำหนดดังนี้

2.1 กำหนดให้ค่า  $\text{SiO}_2$  คงที่อยู่ที่ร้อยละ 66.20, 66.55 และ 66.90 ค่าของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  อัลคาไลน์เอิร์ทและอัลคาไลน์ (Alkaline earths and Alkaline) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามผลวิเคราะห์ของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมทำเนื้อดินปั้น

2.2 กำหนดให้ค่า  $\text{Al}_2\text{O}_3$  คงที่อยู่ที่ร้อยละ 21.40, 22.00 และ 22.60 ค่าของ  $\text{SiO}_2$  อัลคาไลน์เอิร์ทและอัลคาไลน์เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามผลวิเคราะห์ของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมทำเนื้อดินปั้น

2.3 กำหนดให้ค่า  $\text{K}_2\text{O}$  คงที่อยู่ที่ร้อยละ 3.40, 3.80 และ 4.20 ให้ค่าของ  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  อัลคาไลน์เอิร์ทและ  $\text{Na}_2\text{O}$  เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามผลวิเคราะห์ของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมทำเนื้อดินปั้น

ตาราง 11 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนาสูตรสากล

| ออกไซด์                        | ค่าต่ำสุด | ค่ากลาง | ค่าสูงสุด |
|--------------------------------|-----------|---------|-----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 66.2      | 66.55   | 66.9      |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.6       | 0.80    | 1.0       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21.4      | 22.00   | 22.6      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.3       | 0.45    | 0.6       |
| CaO                            | 0.2       | 0.30    | 0.4       |
| MgO                            | 0.1       | 0.15    | 0.2       |
| K <sub>2</sub> O               | 3.4       | 3.80    | 4.2       |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.2       | 0.40    | 0.6       |
| L.O.I.                         | 6.9       | 5.30    | 3.9       |

ตาราง 12 แสดงการคำนวณโดยกำหนดค่า  $\text{SiO}_2$  เป็นค่าคงที่ ร้อยละ 66.2

| วัตถุดิบ                 | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | L.O.I.     |
|--------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา  | 66.2           | 0.6            | 21.4                    | 0.6                     | 0.1          | 0.2          | 3.4                  | 0.2                   | 6.9        |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 12    | 62.3           | 0.6            | 23.9                    | 1.3                     | 0.2          | 0.6          | 2.3                  | 0.2                   | 8.6        |
|                          | 7348           | 0.07           | 2.87                    | 0.16                    | 0.02         | 0.07         | 0.28                 | 0.02                  | 1.03       |
| ดินดำแม่วิท ร้อยละ 13    | 56.6           | 0.4            | 26.3                    | 1.3                     | 0.3          | 0.6          | 2.4                  | 0.3                   | 11.8       |
|                          | 7.36           | 0.05           | 3.42                    | 0.17                    | 0.04         | 0.08         | 0.31                 | 0.04                  | 1.53       |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 17.70 | 47.6           | 0.08           | 36.6                    | 1.2                     | 0.1          | 0.1          | 1.9                  | 0.1                   | 12.2       |
|                          | 8.43           | 0.01           | 6.48                    | 0.21                    | 0.02         | 0.02         | 0.34                 | 0.02                  | 2.16       |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 21.0  | 60.0           | 0.1            | 27.0                    | 0.9                     | 0.1          | 0.2          | 6.1                  | 0.5                   | 5.1        |
|                          | 12.6           | 0.02           | 5.67                    | 0.19                    | 0.02         | 0.04         | 1.28                 | 0.11                  | 1.07       |
| หินฟันม้า ร้อยละ 20      | 70.8           | 0.23           | 17.1                    | 0.3                     | 1.4          | 0.07         | 1.1                  | 8.6                   | 0.3        |
|                          | 14.16          | 0.05           | 3.42                    | 0.06                    | 0.28         | 0.01         | 0.22                 | 1.72                  | 0.06       |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 16.30    | 99.3           | 0.04           | 0.3                     | 0.05                    | 0.04         | 0.01         | 0.04                 | 0.02                  | 0.1        |
|                          | 16.19          | 0.01           | 0.05                    | 0.01                    | 0.01         | 0.00         | 0.01                 | 0.00                  | 0.02       |
| <b>รวมร้อยละ 100</b>     | <b>66.22</b>   | <b>0.21</b>    | <b>21.91</b>            | <b>0.80</b>             | <b>0.39</b>  | <b>0.22</b>  | <b>2.44</b>          | <b>1.91</b>           | <b>5.9</b> |

ตาราง 13 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $\text{SiO}_2$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 66.55

| วัตถุดิบ                | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | L.O.I.      |
|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไซนา | 66.55          | 0.80           | 22.0                    | 0.45                    | 0.30         | 0.15         | 3.80                 | 0.40                  | 5.30        |
| ดินดำแม่แซนร้อยละ 15    | 62.3           | 0.6            | 23.9                    | 1.3                     | 0.2          | 0.6          | 2.3                  | 0.2                   | 8.6         |
|                         | 9.35           | 0.09           | 3.59                    | 0.20                    | 0.03         | 0.09         | 0.35                 | 0.03                  | 1.29        |
| ดินดำแมวิตร้อยละ 15     | 56.6           | 0.4            | 26.3                    | 1.3                     | 0.3          | 0.6          | 2.4                  | 0.3                   | 11.8        |
|                         | 8.49           | 0.06           | 3.95                    | 0.20                    | 0.07         | 0.09         | 0.36                 | 0.05                  | 1.77        |
| ดินขาวระนองร้อยละ 17.40 | 47.6           | 0.08           | 36.6                    | 1.2                     | 0.1          | 0.1          | 1.9                  | 0.1                   | 12.2        |
|                         | 8.28           | 0.01           | 6.36                    | 0.21                    | 0.02         | 0.02         | 0.33                 | 0.02                  | 2.12        |
| ดินขาวลำปางร้อยละ 17    | 60.0           | 0.1            | 27.0                    | 0.9                     | 0.1          | 0.2          | 6.1                  | 0.5                   | 5.1         |
|                         | 10.2           | 0.02           | 4.59                    | 0.15                    | 0.02         | 0.03         | 1.04                 | 0.09                  | 0.87        |
| หินฟันม้าร้อยละ 18      | 70.8           | 0.23           | 17.1                    | 0.3                     | 1.4          | 0.07         | 1.1                  | 8.6                   | 0.3         |
|                         | 12.74          | 0.04           | 3.08                    | 0.05                    | 0.25         | 0.01         | 0.20                 | 1.55                  | 0.05        |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 17.60   | 99.3           | 0.04           | 0.3                     | 0.05                    | 0.04         | 0.01         | 0.04                 | 0.02                  | 0.1         |
|                         | 17.48          | 0.01           | 0.05                    | 0.01                    | 0.01         | 0.00         | 0.01                 | 0.00                  | 0.02        |
| <b>รวมร้อยละ 100</b>    | <b>66.54</b>   | <b>0.23</b>    | <b>21.86</b>            | <b>0.82</b>             | <b>0.40</b>  | <b>0.24</b>  | <b>2.29</b>          | <b>1.74</b>           | <b>6.12</b> |

ตาราง 14 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $\text{SiO}_2$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 66.9

| วัตถุดิบ                 | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | L.O.I.      |
|--------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา  | 66.9           | 1.0            | 22.6                    | 0.6                     | 0.4          | 0.2          | 4.2                  | 0.2                   | 3.9         |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 15    | 62.3           | 0.6            | 23.9                    | 1.3                     | 0.2          | 0.6          | 2.3                  | 0.2                   | 8.6         |
|                          | 9.35           | 0.09           | 3.58                    | 0.19                    | 0.03         | 0.09         | 0.34                 | 0.03                  | 1.29        |
| ดินดำเมว็ด ร้อยละ 14     | 56.6           | 0.4            | 26.3                    | 1.3                     | 0.3          | 0.6          | 2.4                  | 0.3                   | 11.8        |
|                          | 7.92           | 0.06           | 3.68                    | 0.18                    | 0.04         | 0.08         | 0.34                 | 0.04                  | 1.65        |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 18.25 | 47.6           | 0.08           | 36.6                    | 1.2                     | 0.1          | 0.1          | 1.9                  | 0.1                   | 12.2        |
|                          | 8.69           | 0.01           | 6.68                    | 0.22                    | 0.02         | 0.02         | 0.35                 | 0.02                  | 2.23        |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 14    | 60.0           | 0.1            | 27.0                    | 0.9                     | 0.1          | 0.2          | 6.1                  | 0.5                   | 5.1         |
|                          | 8.4            | 0.01           | 3.78                    | 0.13                    | 0.01         | 0.03         | 0.85                 | 0.07                  | 0.71        |
| หินฟันม้า ร้อยละ 21      | 70.8           | 0.23           | 17.1                    | 0.3                     | 1.4          | 0.07         | 1.1                  | 8.6                   | 0.3         |
|                          | 14.87          | 0.05           | 3.59                    | 0.06                    | 0.29         | 0.01         | 0.23                 | 1.81                  | 0.63        |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 17.75    | 99.3           | 0.04           | 0.3                     | 0.05                    | 0.04         | 0.01         | 0.04                 | 0.02                  | 0.1         |
|                          | 17.63          | 0.01           | 0.05                    | 0.01                    | 0.01         | 0.00         | 0.01                 | 0.00                  | 0.02        |
| <b>รวมร้อยละ 100</b>     | <b>66.9</b>    | <b>0.23</b>    | <b>21.4</b>             | <b>0.79</b>             | <b>0.40</b>  | <b>0.23</b>  | <b>2.12</b>          | <b>1.97</b>           | <b>5.96</b> |

ตาราง 15 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 21.4

| วัตถุดิบ                | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | L.O.I. |
|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------|
| เนื้อดินปั้นวิเทริสไลนา | 66.2           | 0.6            | 21.4                    | 0.6                     | 0.1          | 0.2          | 3.4                  | 0.6                   | 6.9    |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 14   | 62.3           | 0.6            | 23.9                    | 1.3                     | 0.2          | 0.6          | 2.3                  | 0.2                   | 8.6    |
|                         | 8.72           | 0.1            | 3.35                    | 0.2                     | 0.03         | 0.1          | 0.32                 | 0.03                  | 1.2    |
| ดินดำแม่วิท ร้อยละ 15   | 56.6           | 0.4            | 26.3                    | 1.3                     | 0.3          | 6.6          | 2.4                  | 0.3                   | 11.8   |
|                         | 8.49           | 0.06           | 3.95                    | 0.2                     | 0.04         | 0.1          | 0.36                 | 0.04                  | 1.77   |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 18.5 | 47.6           | 0.08           | 36.6                    | 1.2                     | 0.1          | 0.1          | 1.9                  | 0.1                   | 12.2   |
|                         | 8.81           | 0.01           | 6.77                    | 0.22                    | 0.02         | 0.02         | 0.35                 | 0.02                  | 2.26   |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 13   | 60.0           | 0.1            | 27.0                    | 0.9                     | 0.1          | 0.2          | 6.1                  | 0.5                   | 5.1    |
|                         | 7.8            | 0.01           | 3.51                    | 0.12                    | 0.01         | 0.03         | 0.79                 | 0.06                  | 0.66   |
| หินฟันม้า ร้อยละ 22     | 70.8           | 0.23           | 17.1                    | 0.3                     | 1.4          | 0.07         | 1.1                  | 8.6                   | 0.3    |
|                         | 15.58          | 0.05           | 3.76                    | 0.07                    | 0.31         | 0.01         | 0.24                 | 1.89                  | 0.67   |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 17.5    | 99.3           | 0.04           | 0.3                     | 0.05                    | 0.04         | 0.01         | 0.04                 | 0.02                  | 0.1    |
|                         | 17.38          | 0.01           | 0.05                    | 0.01                    | 0.01         | 0.00         | 0.01                 | 0.00                  | 0.02   |
| รวม ร้อยละ 100          | 66.77          | 0.23           | 21.40                   | 0.79                    | 0.42         | 0.24         | 2.08                 | 2.05                  | 5.98   |

ตาราง 16 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $Al_2O_3$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 22.0

| วัตถุดิบ                | $SiO_2$      | $TiO_2$     | $Al_2O_3$    | $Fe_2O_3$   | CaO         | MgO         | $K_2O$      | $Na_2O$     | L.O.I.      |
|-------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา | 66.55        | 0.80        | 22.0         | 0.45        | 0.30        | 0.15        | 3.80        | 0.40        | 5.30        |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 14   | 62.3         | 0.6         | 23.9         | 0.3         | 0.2         | 0.6         | 2.3         | 0.2         | 8.6         |
|                         | 8.72         | 0.10        | 3.35         | 0.20        | 0.03        | 0.10        | 0.32        | 0.03        | 1.20        |
| ดินดำแม่วิท ร้อยละ 15   | 56.6         | 0.4         | 26.3         | 1.3         | 0.3         | 0.6         | 2.4         | 0.3         | 11.8        |
|                         | 8.49         | 0.10        | 3.95         | 0.20        | 0.04        | 0.10        | 0.36        | 0.04        | 1.77        |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 20   | 47.6         | 0.10        | 36.6         | 1.2         | 0.10        | 0.10        | 1.90        | 0.10        | 12.2        |
|                         | 9.52         | 0.02        | 7.32         | 0.24        | 0.02        | 0.02        | 0.38        | 0.02        | 2.44        |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 13   | 60.0         | 0.10        | 27.0         | 0.9         | 0.10        | 0.20        | 6.10        | 0.50        | 5.10        |
|                         | 7.80         | 0.01        | 3.51         | 0.12        | 0.01        | 0.03        | 0.80        | 0.06        | 0.66        |
| หินฟันม้า ร้อยละ 22     | 70.80        | 0.23        | 17.1         | 0.3         | 1.40        | 0.10        | 1.10        | 8.60        | 0.30        |
|                         | 15.58        | 0.05        | 3.76         | 0.07        | 0.31        | 0.01        | 0.24        | 1.89        | 0.07        |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 16      | 99.3         | 0.04        | 0.30         | 0.05        | 0.04        | 0.01        | 0.04        | 0.02        | 0.10        |
|                         | 15.89        | 0.01        | 0.05         | 0.01        | 0.06        | 0.00        | 0.01        | 0.00        | 0.02        |
| <b>รวมร้อยละ 100</b>    | <b>65.89</b> | <b>0.23</b> | <b>21.94</b> | <b>0.81</b> | <b>0.47</b> | <b>0.24</b> | <b>2.10</b> | <b>2.05</b> | <b>6.16</b> |

ตาราง 17 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $Al_2O_3$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 22.6

| วัตถุดิบ                 | $SiO_2$      | $TiO_2$     | $Al_2O_3$    | $Fe_2O_3$   | CaO         | MgO         | $K_2O$      | $Na_2O$     | L.O.I.      |
|--------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา  | 66.9         | 1.0         | 22.6         | 0.6         | 0.4         | 0.2         | 4.2         | 0.6         | 3.9         |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 14    | 62.3         | 0.6         | 23.9         | 1.3         | 0.2         | 0.6         | 2.3         | 0.2         | 8.6         |
|                          | 8.72         | 0.10        | 3.35         | 0.18        | 0.03        | 0.08        | 0.32        | 0.03        | 1.20        |
| ดินดำเมวิท ร้อยละ 15     | 56.6         | 0.4         | 26.3         | 1.3         | 0.3         | 0.6         | 2.4         | 0.3         | 11.8        |
|                          | 8.49         | 0.10        | 3.95         | 0.19        | 0.04        | 0.10        | 0.36        | 0.04        | 1.77        |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 21.75 | 47.6         | 0.10        | 36.6         | 1.2         | 0.1         | 0.1         | 1.9         | 0.1         | 12.2        |
|                          | 10.35        | 0.02        | 7.96         | .026        | 0.02        | 0.02        | 0.41        | 0.02        | 2.65        |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 13    | 60.0         | 0.10        | 27.0         | 0.9         | 0.10        | 0.20        | 6.10        | 0.50        | 5.10        |
|                          | 7.80         | 0.01        | 3.51         | 0.12        | 0.01        | 0.03        | 0.79        | 0.06        | 0.66        |
| หินฟันม้า ร้อยละ 22      | 70.8         | 0.23        | 17.1         | 0.3         | 1.4         | 0.10        | 1.10        | 8.60        | 0.30        |
|                          | 15.58        | 0.05        | 3.76         | 0.07        | 0.31        | 0.01        | 0.42        | 1.89        | 0.07        |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 13.25    | 99.3         | 0.04        | 0.30         | 0.05        | 0.04        | 0.01        | 0.04        | 0.02        | 0.10        |
|                          | 14.15        | 0.01        | 0.04         | 0.01        | 0.01        | 0.00        | 0.01        | 0.00        | 0.01        |
| <b>รวมร้อยละ 100</b>     | <b>65.10</b> | <b>0.23</b> | <b>22.60</b> | <b>0.83</b> | <b>0.42</b> | <b>0.24</b> | <b>2.31</b> | <b>2.05</b> | <b>6.37</b> |

ตาราง 18 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $K_2O$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 3.4

| วัตถุดิบ                | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $CaO$ | $MgO$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | L.O.I. |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-------|-------|--------|---------|--------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา | 66.2    | 0.6     | 21.4      | 0.6       | 0.1   | 0.2   | 3.4    | 0.6     | 6.9    |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 10   | 62.3    | 0.6     | 23.9      | 1.3       | 0.2   | 0.6   | 2.3    | 0.2     | 8.6    |
|                         | 6.23    | 0.06    | 2.39      | 0.13      | 0.02  | 0.06  | 0.23   | 0.02    | 0.86   |
| ดินดำแม่วิต ร้อยละ 15   | 56.6    | 0.40    | 26.3      | 1.3       | 0.3   | 0.6   | 2.4    | 0.3     | 11.8   |
|                         | 8.49    | 0.6     | 3.94      | 0.19      | 0.04  | 0.10  | 0.36   | 0.04    | 1.77   |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 10   | 47.6    | 0.10    | 36.6      | 1.2       | 0.1   | 0.1   | 1.9    | 0.1     | 12.2   |
|                         | 4.76    | 0.10    | 3.66      | 0.12      | 0.01  | 0.01  | 0.20   | 0.01    | 1.22   |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 41   | 60.0    | 0.10    | 27.0      | 0.9       | 0.1   | 0.2   | 6.1    | 0.5     | 5.1    |
|                         | 24.6    | 0.04    | 11.10     | 0.37      | 0.04  | 0.10  | 0.25   | 0.20    | 2.10   |
| หินฟันม้า ร้อยละ 11     | 70.8    | 0.23    | 17.1      | 0.3       | 1.4   | 0.10  | 1.10   | 8.60    | 0.3    |
|                         | 7.79    | 0.02    | 1.88      | 0.33      | 0.15  | 0.01  | 0.12   | 0.95    | 0.03   |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 13      | 99.3    | 0.04    | 0.30      | 0.05      | 0.04  | 0.01  | 0.04   | 0.02    | 0.10   |
|                         | 12.91   | 0.00    | 0.04      | 0.01      | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.01   |
| รวมร้อยละ 100           | 64.78   | 0.20    | 22.98     | 1.15      | 0.27  | 0.25  | 3.41   | 1.23    | 5.99   |

ตาราง 19 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $K_2O$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 3.8

| วัตถุดิบ                | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $CaO$ | $MgO$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | L.O.I. |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-------|-------|--------|---------|--------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา | 66.55   | 0.10    | 22.0      | 0.45      | 0.30  | 0.15  | 3.80   | 0.40    | 5.30   |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 10   | 62.3    | 0.60    | 23.9      | 1.30      | 0.20  | 0.60  | 2.30   | 0.20    | 8.60   |
|                         | 6.23    | 0.06    | 2.39      | 0.13      | 0.02  | 0.06  | 0.23   | 0.02    | 0.86   |
| ดินดำเมว็ด ร้อยละ 10    | 56.6    | 0.40    | 26.3      | 1.30      | 0.30  | 0.60  | 2.40   | 0.30    | 11.8   |
|                         | 5.66    | 0.04    | 2.63      | 0.13      | 0.03  | 0.06  | 0.24   | 0.03    | 1.18   |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 10   | 47.6    | 0.10    | 36.6      | 1.20      | 0.10  | 0.10  | 1.90   | 0.10    | 12.5   |
|                         | 4.76    | 0.01    | 3.66      | 0.12      | 0.01  | 0.01  | 0.20   | 0.01    | 1.25   |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 50   | 60.0    | 0.10    | 27.0      | 0.90      | 0.10  | 0.20  | 6.10   | 0.50    | 5.10   |
|                         | 32.99   | 0.05    | 13.5      | 0.45      | 0.05  | 0.10  | 3.05   | 0.25    | 2.55   |
| หินฟันม้า ร้อยละ 10     | 70.8    | 0.23    | 17.1      | 0.30      | 1.40  | 0.10  | 1.10   | 8.60    | 0.30   |
|                         | 7.08    | 0.02    | 1.71      | 0.03      | 0.14  | 0.01  | 0.11   | 0.86    | 0.03   |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 10      | 99.3    | 0.04    | 0.30      | 0.05      | 0.04  | 0.01  | 0.04   | 0.02    | 0.10   |
|                         | 9.93    | 0.00    | 0.03      | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.01   |
| รวมร้อยละ 100           | 66.65   | 0.18    | 23.9      | 0.86      | 0.25  | 0.23  | 3.82   | 1.17    | 5.88   |

ตาราง 20 แสดงการคำนวณโดยการกำหนดค่า  $K_2O$  เป็นค่าคงที่ร้อยละ 4.2

| วัตถุดิบ                | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $CaO$ | $MgO$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | L.O.I. |
|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-------|-------|--------|---------|--------|
| เนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา | 66.9    | 1.0     | 22.6      | 0.6       | 0.4   | 0.2   | 4.2    | 0.6     | 3.9    |
| ดินดำแม่แซน ร้อยละ 10   | 62.3    | 0.6     | 23.9      | 1.30      | 0.20  | 0.60  | 2.30   | 0.20    | 8.60   |
|                         | 6.23    | 0.06    | 2.39      | 0.13      | 0.02  | 0.06  | 0.23   | 0.02    | 0.86   |
| ดินดำเมว็ด ร้อยละ 10    | 56.6    | 0.40    | 26.3      | 1.30      | 0.30  | 0.60  | 2.40   | 0.30    | 11.8   |
|                         | 5.66    | 0.04    | 2.63      | 0.13      | 0.03  | 0.06  | 0.24   | 0.03    | 1.18   |
| ดินขาวระนอง ร้อยละ 5    | 47.6    | 0.08    | 36.6      | 1.20      | 0.10  | 0.10  | 1.90   | 0.10    | 12.2   |
|                         | 2.38    | 0.00    | 0.83      | 0.06      | 0.00  | 0.00  | 0.10   | 0.00    | 0.61   |
| ดินขาวลำปาง ร้อยละ 57   | 60.0    | 0.10    | 27.0      | 0.90      | 0.10  | 0.20  | 6.10   | 0.05    | 5.10   |
|                         | 34.2    | 0.06    | 15.40     | 0.51      | 0.06  | 0.11  | 0.48   | 0.28    | 2.91   |
| หินฟันม้า ร้อยละ 10     | 70.8    | 0.23    | 17.1      | 0.30      | 1.40  | 0.10  | 1.10   | 8.60    | 0.30   |
|                         | 7.08    | 0.02    | 1.71      | 0.03      | 0.14  | 0.01  | 0.11   | 0.86    | 0.03   |
| ทรายแก้ว ร้อยละ 8       | 99.3    | 0.04    | 0.30      | 0.05      | 0.04  | 0.01  | 0.04   | 0.02    | 0.10   |
|                         | 7.94    | 0.00    | 0.02      | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.01   |
| รวมร้อยละ 100           | 63.49   | 0.19    | 23.97     | 0.87      | 0.25  | 0.25  | 4.20   | 1.20    | 5.59   |

### 3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด

3.1.1 การทดลองชุดที่ 1 เป็นการทดลองขั้นต้นเพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสม ที่ผ่านเกณฑ์ความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมที่ใช้ทดลอง ได้แก่ อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา จำนวน 9 อัตราส่วนผสมที่ได้จากการใช้ วิธีคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมดังนี้

ตาราง 21 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองหาความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา

| สูตร | วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมคิดเป็นร้อยละ |           |             |             |           |          | รวม |
|------|----------------------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|----------|-----|
|      | ดินแม่แซน                              | ดินแม่วิต | ดินขาวระนอง | ดินขาวลำปาง | หินฟันม้า | ทรายแก้ว |     |
| 1    | 12                                     | 13        | 17.70       | 21          | 20        | 16.30    | 100 |
| 2    | 15                                     | 15        | 17.40       | 17          | 18        | 17.60    | 100 |
| 3    | 15                                     | 14        | 18.25       | 14          | 21        | 17.75    | 100 |
| 4    | 14                                     | 15        | 18.5        | 13          | 11        | 17.5     | 100 |
| 5    | 14                                     | 15        | 20          | 13          | 22        | 16       | 100 |
| 6    | 14                                     | 15        | 21.75       | 13          | 22        | 14.25    | 100 |
| 7    | 10                                     | 15        | 10          | 41          | 11        | 13       | 100 |
| 8    | 10                                     | 10        | 10          | 50          | 10        | 10       | 100 |
| 9    | 10                                     | 10        | 5           | 57          | 10        | 8        | 100 |

3.1.2 การทดลองชุดที่ 2 นำอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วนจากการทดลองชุดที่ 1 หาอัตราส่วนของน้ำและอัตราส่วนของโซเดียมซิลิเกต เพื่อให้เนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ จำนวน 20 อัตราส่วน

ตาราง 22 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองหาความเหมาะสมในการหล่อ

| สูตร | เนื้อดินแห้ง (กรัม) | น้ำ (ร้อยละ) | โซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ) |
|------|---------------------|--------------|-------------------------|
| 1    | 1000                | 27           | 0.1                     |
| 2    | 1000                | 27           | 0.2                     |
| 3    | 1000                | 27           | 0.3                     |
| 4    | 1000                | 27           | 0.4                     |
| 5    | 1000                | 27           | 0.5                     |
| 6    | 1000                | 28           | 0.1                     |
| 7    | 1000                | 28           | 0.2                     |
| 8    | 1000                | 28           | 0.3                     |
| 9    | 1000                | 28           | 0.4                     |
| 10   | 1000                | 28           | 0.5                     |
| 11   | 1000                | 29           | 0.1                     |
| 12   | 1000                | 29           | 0.2                     |
| 13   | 1000                | 29           | 0.3                     |
| 14   | 1000                | 29           | 0.4                     |
| 15   | 1000                | 29           | 0.5                     |
| 16   | 1000                | 30           | 0.1                     |
| 17   | 1000                | 30           | 0.2                     |
| 18   | 1000                | 30           | 0.3                     |
| 19   | 1000                | 30           | 0.4                     |
| 20   | 1000                | 30           | 0.5                     |

3.2 ตัวแปรตาม แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ คุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อ คุณสมบัติของเนื้อดินปั้นก่อนและหลังการเผา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.2.1 คุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อ

#### 3.2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ

#### 3.2.1.2 ความหนืด

#### 3.2.1.3 อัตราความหนาในการหล่อที่ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

### 3.2.2 คุณสมบัติก่อนการเผาได้แก่

#### 3.2.2.1 ความแข็งแรงของเนื้อดินขณะแห้ง

#### 3.2.2.2 การหดตัวของเนื้อดินปั้นขณะแห้ง

### 3.2.3 คุณสมบัติหลังการเผา

#### 3.2.3.1 การหดตัว

#### 3.2.3.2 การดูดซึมน้ำ

#### 3.2.3.3 การโค้งงอ

#### 3.2.3.4 ความทนไฟ ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

#### 3.2.3.5 ความเหมาะสมในการเคลือบ

#### 3.2.3.6 สีของเนื้อดินปั้น

## 4. เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทริสไชนา

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทริสไชนามีดังนี้คือ คุณสมบัติก่อนการเผาและหลังการเผา

### 4.1 การทดสอบคุณสมบัติก่อนการเผาได้แก่

#### 4.1.1 ความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อพิมพ์โดยต้องผ่านเกณฑ์ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1.1 สามารถทรงตัวอยู่ได้เมื่อถอดจากแบบ มีผิวเรียบหลังถ่ายน้ำดิน

##### 4.1.1.2 ความหนาที่ได้ในการหล่อผลิตภัณฑ์ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้ความหนามากที่สุด

#### 4.1.2 การหดตัวของเนื้อดินเมื่อแห้ง กำหนดให้มีค่าไม่เกินร้อยละ 4

#### 4.1.3 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น ใช้เครื่องมือในการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดิน แล้วนำมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงโดยความแข็งแรงของเนื้อดินจะต้องไม่น้อยกว่า 9.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

### 4.2 การทดสอบคุณสมบัติหลังเผา

#### 4.2.1 การหดตัวของเนื้อดินปั้นไม่เกินร้อยละ 13

#### 4.2.2 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น จะดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 0.5

#### 4.2.3 ความขาวของเนื้อดินปั้น สังเกตด้วยตาเปล่ามีลักษณะขาวทึบ

#### 4.2.4 ความทนไฟ คือ ลักษณะของเนื้อดินที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เนื้อดินไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง สามารถคงสภาพเดิมได้ ไม่เกิดการเสียรูปบิดเบี้ยวหรือคอง การทดสอบทำให้อยู่ในรูปของหุ่นวัดไฟ

4.2.5 การโค้งงอ หลังเผาโค้งงอไม่เกิน 22 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร

4.2.6. ความเหมาะสมกับเคลือบ

4.2.6.1 ความมันวาว พิจารณาถึงผิวของเคลือบหลังเผาต้องมีลักษณะมันวาวเหมาะสมที่จะใช้เป็นเคลือบสุญญากาศ

4.2.6.2 การหดตัวและการขยายตัวระหว่างน้ำเคลือบและเนื้อดินปั้น โดยพิจารณาจากการรานของเคลือบมีดังนี้

4.2.6.2.1 เคลือบรานตัว หมายถึง การหดและขยายตัวระหว่าง น้ำเคลือบและเนื้อดินปั้น ไม่เหมาะสม

4.2.6.2.2 เคลือบไม่รานตัว หมายถึง การหดและการขยายตัวระหว่าง น้ำเคลือบและเนื้อดินปั้นเหมาะสม

4.2.6.3 จุดสุกตัวของน้ำเคลือบ พิจารณาการหลอมละลายของเคลือบหลังการเผาดังนี้

4.2.6.3.1 เคลือบไม่หลอมละลาย หมายถึง น้ำเคลือบมีความทนไฟสูงหรือจุดหลอมละลายเกินอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

4.2.6.3.2 เคลือบหลอมละลาย หมายถึงเคลือบที่มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

4.2.6.3.3 เคลือบไหลตัว หมายถึง น้ำเคลือบมีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียส

## 5. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินปั้นวิเทียสโซนา และวัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบซึ่งมีดังต่อไปนี้

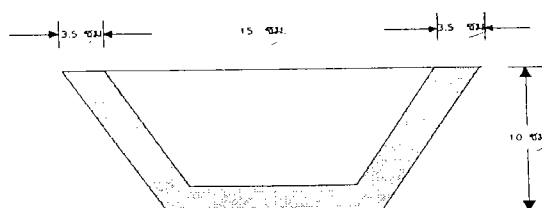
- 5.1 ดินขาว จังหวัดลำปาง
- 5.2 ดินขาว จังหวัดระนอง
- 5.3 ดินเหนียว แม่แชน จังหวัดลำปาง
- 5.4 ดินเหนียวแม่เว็ด จังหวัดลำปาง
- 5.5 หินฟันม้า จังหวัดราชบุรี
- 5.6 หินปูน จังหวัดสระบุรี
- 5.7 ทรายแก้ว จังหวัดระยอง

- 5.8 สังกะสีออกไซด์ ชนิดการค้าทั่วไป
- 5.9 โคลโลไมท์ จังหวัดกาญจนบุรี
- 5.10 โซเดียมซลิเกต ชนิดการค้าทั่วไป
- 5.11 แบเรียมออกไซด์ ชนิดการค้าทั่วไป
- 5.12 เซอร์โคเนียมซลิเกต ชนิดการค้าทั่วไป

## 6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 6.1 เครื่องชั่งระบบไฟฟ้าชนิดละเอียด
- 6.2 หม้ออบขนาดเล็กและขนาดใหญ่
- 6.3 ตะแกรงร่อนขนาด 80 , 100 และ 125
- 6.5 แบบพิมพ์พลาสติกสำหรับขึ้นทดลองเคลือบและการดูดซึมน้ำ
- 6.6 เครื่องทดสอบความแข็ง
- 6.7 เครื่องบรูกฟิลด์เพื่อทดสอบความหนืด
- 6.8 โกร่งบด
- 6.9 เตาแก๊ส
- 6.10 ท่อนวดไฟเซกเกอร์หมายเลข 5 , 6 และ 7
- 6.11 ไม้บรรทัด
- 6.12 เวอร์เนีย
- 6.13 เตาอบแห้ง
- 6.14 แบบพิมพ์พลาสติกสำหรับทำแท่งการทดสอบการหดตัว
- 6.15 แบบพิมพ์พลาสติกสำหรับทำแท่งการทดสอบความแข็งแรง
- 6.16 แบบพิมพ์พลาสติกสำหรับทดสอบอัตราการหล่อ มีลักษณะเป็นรูปถ้วย ดัง

ภาพประกอบ



ภาพประกอบ 4 แบบพิมพ์ที่ใช้หล่อทดสอบอัตราการความหนา

6.17 แบบพิมพ์พลาสติกสำหรับหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

6.18 แบบพิมพ์พลาสติกสำหรับทดสอบการโค้งงอ

## 7. การดำเนินการทดลอง

7.1 การทดลองอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสโซนา มีขั้นตอนดังนี้

7.1.1 เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง โดยนำมากรองผ่านตะแกรงขนาด 80

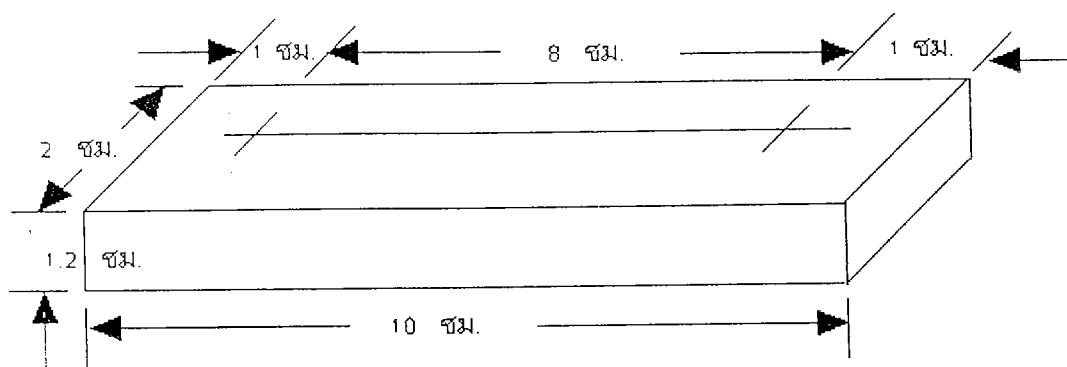
เมช

7.1.2 ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสม จำนวน 9 อัตราส่วนผสม

7.1.3 นำอัตราส่วนผสมวัตถุดิบที่ได้ไปบดด้วยหม้อบดขนาดเล็ก 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบด 10 ชม. นำมากรองด้วยตะแกรง 100 เมช

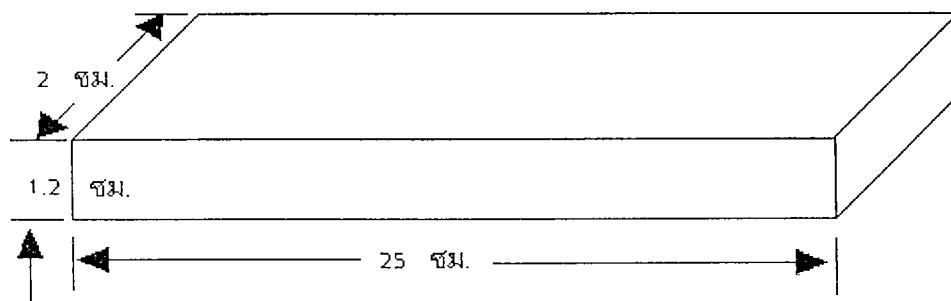
7.1.4 นำน้ำดินทดสอบคุณสมบัติความเหมาะสมในการหล่อ ได้แก่ ความถ่วง เฉพาะ ความหนืด และนำไปเทลงในแบบพิมพ์พลาสติกที่เตรียมไว้ เพื่อทดสอบคุณสมบัติดังต่อไปนี้

7.4.1.1 การทดสอบการหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา โดยนำน้ำดิน แต่ละอัตราส่วนผสมเทลงในแบบพิมพ์พลาสติกที่มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร หนา 1.2 เซนติเมตร ทำเครื่องหมายระยะความยาวและห้สบนขึ้นทดลองทุกอัตราส่วนผสม ทิ้งไว้ให้แห้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นำมาวัดขนาดหลัง การอบอีกครั้งเพื่อหา ความแตกต่างก่อนและหลังอบ เมื่อได้ค่าความต่างแล้ว นำค่านั้นไปคำนวณหาค่าร้อยละของการ หดตัว



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะของชิ้นทดลองทดสอบการหดตัว

7.1.4.2 การทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา โดยนำน้ำดินแต่ละอัตราส่วนผสมเทลงไปในแบบของชิ้นทดลองปล่อยให้แห้งและนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นำชิ้นทดลองไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องมือวัดความแข็งแรง แล้วนำมาคำนวณตามสูตร



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะของชิ้นทดลองทดสอบความแข็งแรงก่อนเผา

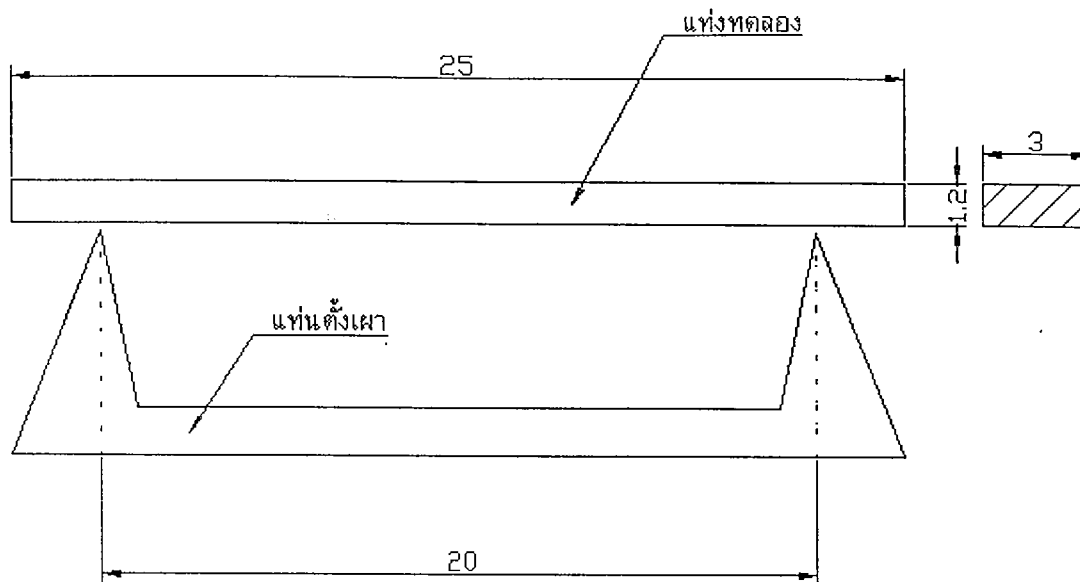
7.1.4.3 การทดสอบการหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผาโดยการนำชิ้นทดลองมาเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสแล้วนำมาวัดขนาดของชิ้นทดลองหลังเผา นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการหดตัวหลังเผาโดยคิดเป็นร้อยละ

7.1.4.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น โดยการนำชิ้นงานแต่ละชิ้นที่เผาแล้วมาชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้ จากนั้นนำชิ้นงานทุกชิ้นไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ในหม้อต้ม 1 คืน นำชิ้นทดลองทุกชิ้นมาแช่ค้ำให้แห้งสนิท ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จดบันทึกไว้ และนำค่าของน้ำหนักก่อนและหลังต้มมาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

7.1.4.5 การทดสอบความขาวของเนื้อดินปั้น ใช้วิธีสังเกตสีของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ด้วยตา

7.1.4.6 ความทนไฟ นำน้ำดินเทลงในแบบพิมพ์ท่อนวัดไฟ ถอดชิ้นทดลองจากแบบพิมพ์ทิ้งไว้ให้แห้งนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส สังเกตท่อนวัดไฟ จะต้องไม่ล้มลงหรือบิดงอ

7.1.4.7 การโค้งงอ นำน้ำดินเทลงในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตรหนา 1.2 เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งตัวในแบบพิมพ์ ถอดออกจากแบบพิมพ์อบให้แห้งนำไปเผาโดยวางบนตัวแท่นตั้งเผาตามแนวยาวให้จุดค้ำห่างกัน 20 เซนติเมตร หลังเผานำมาวัดความโค้งงอต้องไม่เกิน 22 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร



ภาพประกอบ 7 แสดงการทดสอบการไถ้งของชิ้นงาน

7.1.4.8 การทดสอบเกี่ยวกับอัตราความหนาในระยะเวลาการหล่อ 1 ชั่วโมง โดยนำน้ำดินที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติด้านความหนืดและความถ่วงจำเพาะแล้วเทลงในแบบปูนพลาสติกที่เตรียมไว้จับเวลาเมื่อถึงเวลาที่กำหนด 1 ชั่วโมง ให้เทน้ำดินปั้นที่ยังไม่แข็งตัวออก จะเหลือเฉพาะที่เกาะอยู่กับแบบพลาสติก ตัดวัดความหนา

7.1.4.9 ในกรณีการทดสอบคุณสมบัติของความเหมาะสมในด้านการหล่อของน้ำดินไม่ผ่านเกณฑ์จะต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติต่อไปจนกว่าจะผ่าน คุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะและความหนืด จากนั้นจึงนำไปใช้หล่อในแบบพิมพ์ได้

7.1.4.10 ตรวจสอบผิวของชิ้นงานหลังเผาผิวของเคลือบและ การจับเกาะผิวระหว่างเคลือบกับเนื้อดิน ต้องหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันติดอยู่บนผิวชิ้นงาน

## 7.2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไนนาสำหรับการหล่อ

นำอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วนผสมมาทดลองหาปริมาณน้ำและปริมาณของโซเดียมซิลิเกต ที่เหมาะสมในการทำน้ำดินมีลำดับดังต่อไปนี้

7.2.1 ชั่งอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุด นำไปบดในหม้อบด 10 ชั่วโมง ในสัดส่วนวัตถุดิบต่อน้ำต่อลูกบดคือ 1 : 1 : 1 (พิมพ์วัลค์ วัฒนภาส.2537 : 2) เพื่อให้การบด มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7.2.2 นำน้ำดินที่ได้จากการบดผ่านตะแกรง 100 เมช

7.2.3 นำน้ำดินไปเกรอะบนปูนพลาสติกให้แห้ง

7.2.4 นำเนื้อดินปั้นไปทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหล่อระหว่างเนื้อดินปั้นต่อน้ำต่อโซเดียมซิลิเกต โดยให้เนื้อดินปั้นมีค่าคงที่ น้ำอยู่ในอัตราส่วนระหว่าง ร้อยละ 27- 30 และเติมโซเดียมซิลิเกต เพื่อปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมสำหรับการหล่อ ระหว่างอัตราส่วนร้อยละ 0.1 - 0.5 จำนวน 20 อัตราส่วน เหนือที่แสดงถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อคือ

7.2.4.1 ความถ่วงจำเพาะ ที่ 1.75 – 1.8

7.2.4.2 ความหนืด 5 - 50 พอยซ

7.2.4.3 ความหนาจากการหล่อ ต้องมากกว่า 4 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 1

ชั่วโมง

7.2.5 นำน้ำดินไปกรองที่ตะแกรง 100 เมช

7.2.6 เก็บไว้ในถังมีฝาปิด 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้

7.2.7 จินรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 2 ตัว

7.2.8 ทิ้งไว้ให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทและตกแต่งให้เรียบร้อย

7.2.9 นำไปวัดขนาดแล้วบันทึกไว้

7.2.10 ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ก่อนพ่นเคลือบ

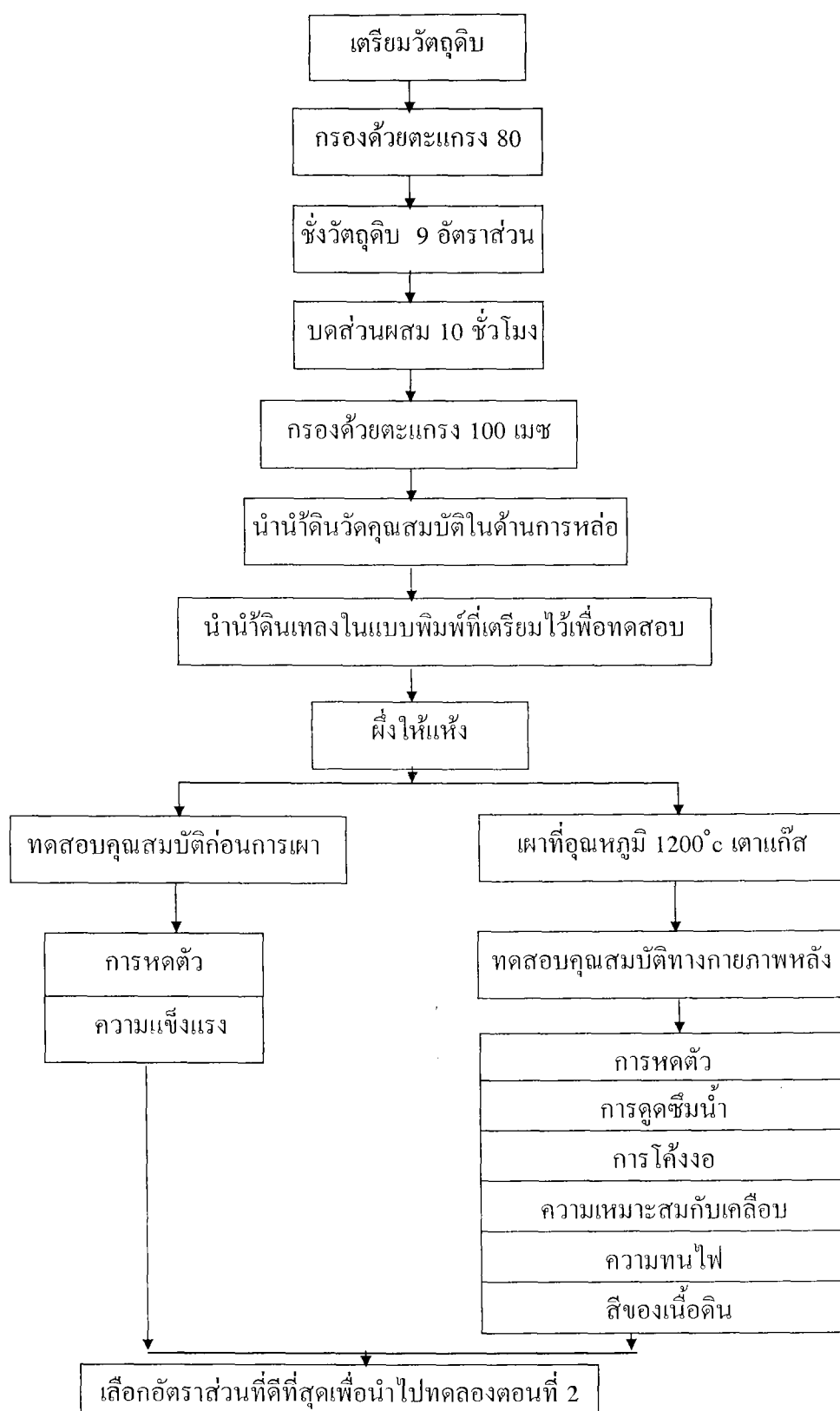
7.3.11 พ่นเคลือบ

7.2.12 เเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ด้วยเตาแก๊ส

7.2.13 นำผลิตภัณฑ์หลังเผามาตรวจวัดขนาดเพื่อคำนวณหาร้อยละการหดตัว

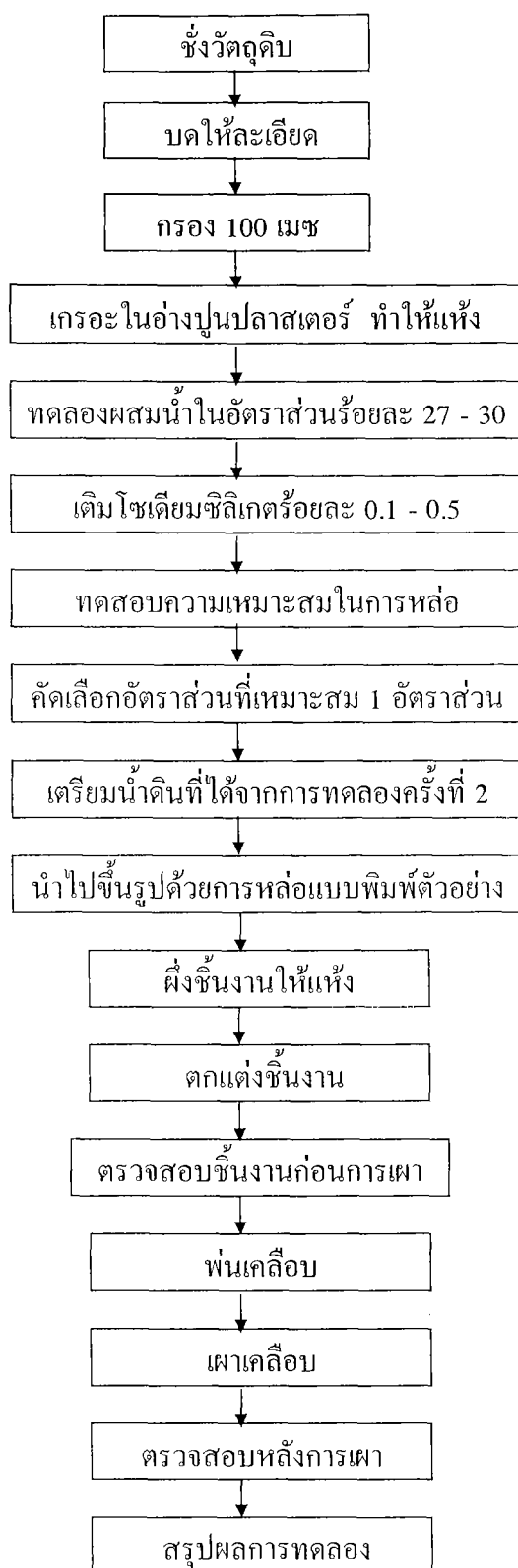
7.2.14 สรุปผลการทดลอง

กระบวนการทดลองเนื้อดินปั้นวิเทียสไฮนา ชุดที่ 1



ภาพประกอบ 8 แสดงขั้นตอนการทดลองชุดที่ 1

กระบวนการทดลองเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา ชุดที่ 2



ภาพประกอบ 9 แสดงขั้นตอนการทดลองชุดที่ 2

## 8. สูตรที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้สูตรเพื่อคำนวณหาคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน ปั่นวีเทรียสไชนา ดังต่อไปนี้

### 8.1 การหัดัวของเนื้อดินปั่นก่อนเผา (Rhodes.1972 : 200)

$$\text{ค่าร้อยละของการหัดัวของดินแห้ง} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินแห้ง} \times 100}{\text{ความยาวของดินเปียก}}$$

### 8.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั่นก่อนเผา (Rhodes.1972 : 200)

$$R = \frac{3WL}{2bh^2}$$

|     |   |   |                                                |
|-----|---|---|------------------------------------------------|
| โดย | R | = | ความแข็งแรงของเนื้อดิน (กก./ซม. <sup>2</sup> ) |
|     | W | = | แรงกลที่ทำให้ขึ้นทดลองหัก (กก.)                |
|     | L | = | ระยะห่างของแท่นรองรับขึ้นทดลอง (ซม.)           |
|     | b | = | ความกว้างของขึ้นทดลอง (ซม.)                    |
|     | h | = | ความหนาของขึ้นทดลอง (ซม.)                      |

### 8.3 การหัดัวของเนื้อดินปั่นหลังการเผา (Rhodes.1972 : 200)

$$\text{ค่าร้อยละของการหัดัวของดินหลังเผา} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินที่เผาแล้ว} \times 100}{\text{ความยาวของดินเปียก}}$$

### 8.4 การดูดซึมน้ำของเนื้อดิน (Rhodes.1972 : 200)

$$A = \frac{W-D}{D} \times 100$$

|     |   |   |                          |
|-----|---|---|--------------------------|
| โดย | A | = | ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ |
|     | W | = | น้ำหนักดินที่อิ่มตัว     |
|     | D | = | น้ำหนักดินที่แห้ง        |

### 8.5 สูตรการหาค่าความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำดิน}}{\text{ปริมาตรน้ำดิน}}$$

### 8.6 สูตรการหาปริมาณสารที่ช่วยในการกระจายลอยตัว

$$\text{ร้อยละของสารที่ช่วยในการกระจายลอยตัว} = \frac{\text{น้ำหนักโซเดียมซิลิเกตที่ใช้} \times 100}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบ}}$$

### 8.7 สูตรหาปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น

$$\text{ร้อยละของน้ำที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้} \times 100}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบ} + \text{ปริมาณน้ำที่ใช้}}$$

## 9. สถานที่ และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

9.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันราชภัฏพระนคร

9.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เริ่มจากเดือนมิถุนายน พ.ศ.2541 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2541

**บทที่ 4**  
**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้คือ

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วนโดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา น้ำ และโซเดียมซลิ เกต สำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาโดยเน้นใช้วัตถุดิบภายในประเทศ เป็นส่วนผสม ประกอบด้วย ดินดำ ดินขาว หินฟันม้า ทรายแก้ว โดยใช้วิธีการคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์ จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบและกำหนดให้  $\text{SiO}_2$  มีค่าระหว่างร้อยละ 66.2 - 66.9,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  มีค่าระหว่างร้อยละ 21.4 - 22.6 และ  $\text{K}_2\text{O}$  มีค่าระหว่างร้อยละ 3.4 - 4.2 เป็นค่ามาตรฐานตามสูตรเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสากล

ในการทดลองผู้วิจัย กำหนดให้  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{K}_2\text{O}$  แต่ละออกไซด์มี 3 ค่าคือ ค่าต่ำ ค่ากลาง ค่าสูง หรือออกไซด์ละ 3 อัตราส่วนผสม รวม 9 อัตราส่วนผสม ตามตาราง 23 และนำอัตราส่วนผสมทั้ง 9 อัตราส่วนผสมไปทำการทดลองตามกระบวนการแล้วเลือกอัตราส่วน ผสมที่ดีที่สุดโดยใช้เกณฑ์การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเป็นตัวกำหนด

ตาราง 23 แสดงจำนวนออกไซด์ (ร้อยละ) ที่นำไปเป็นเกณฑ์คำนวณหา ความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา

| ออกไซด์                 | ค่าต่ำ | ค่ากลาง | ค่าสูง |
|-------------------------|--------|---------|--------|
| $\text{SiO}_2$          | 66.20  | 66.55   | 66.90  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 21.4   | 22.00   | 22.60  |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 3.40   | 3.80    | 4.20   |

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสำหรับขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ โดยทำการทดลองหาปริมาณน้ำกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 27 - 30 ระยะห่างกันหนึ่งหน่วย ได้แก่ 27, 28, 29 และ 30 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโซเดียมซิลิเกตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.1 - 0.5 ให้ค่าห่างกัน 0.1หน่วย จะได้จำนวน โซเดียมซิลิเกตที่ใช้ในการทดลองคือร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ ดังนั้นการทดลองตอนที่ 2 จะมีจำนวนอัตราส่วนผสม 20 อัตราส่วนผสม นำแต่ละอัตราส่วนผสมมาทดสอบคุณสมบัติในการหล่อ และเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดไปใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

หลังจากผ่านการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอนแล้ว จะได้อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วน นำอัตราส่วนผสมที่ผ่านการเลือกแล้วมาเตรียมให้อยู่ในรูปของน้ำดินเพื่อใช้หล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง และนำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปพ่นเคลือบและเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

### ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา โดยเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพก่อนเผา และความเหมาะสมในการหล่อแบบ มีผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 24 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาก่อนการเผาและความหนา

| อัตราส่วนผสม<br>(หมายเลข) | ความหนา<br>(มม./ชม.) | ความแข็งแรง<br>(กก./ชม. <sup>2</sup> ) | การหดตัว<br>(ร้อยละ) |
|---------------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1                         | 8.10                 | 28.25                                  | 3.45                 |
| 2                         | 8.20                 | 28.16                                  | 3.06                 |
| 3                         | 8.00                 | 28.91                                  | 3.47                 |
| 4                         | 8.10                 | 25.66                                  | 2.70                 |
| 5                         | 8.15                 | 26.87                                  | 2.96                 |
| 6                         | 7.90                 | 26.66                                  | 2.88                 |
| 7                         | 8.00                 | 26.91                                  | 3.00                 |
| 8                         | 8.10                 | 25.81                                  | 2.70                 |
| 9                         | 8.00                 | 27.34                                  | 3.60                 |

จากตาราง 24 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพก่อนการเผา มีรายละเอียดดังนี้

ความแข็งแรง จากการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาทั้ง 9 อัตราส่วนผสม ผลปรากฏว่าทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์ มาตรฐานต่ำสุดของความแข็งแรง ก่อนการเผา เท่ากับ 9.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนผสมที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 4 เท่ากับ 25.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วน ที่มีความแข็งแรงมากที่สุด ได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 3 เท่ากับ 28.91 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร

การหดตัว เกณฑ์ที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 4 ผลการทดลองพบว่าทุกอัตราส่วนผสม ผ่าน เกณฑ์ที่กำหนด อัตราส่วนผสมเนื้อดินที่มีการหดตัวน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 2.70 มี 2 อัตราส่วนผสม คือ อัตราส่วนผสมหมายเลข 4 และ 8 อัตราส่วนผสมที่มีการหดตัวมากที่สุดมีค่าร้อยละ 3.6 มี 1 อัตราส่วนผสมคือ อัตราส่วนผสมหมายเลข 9

ความหนา เกณฑ์ที่กำหนดในเวลา 1 ชั่วโมง ความหนาที่ได้จากการหล่อต้องไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังการเผา ได้แก่ การทดสอบการหดตัว การดูดซึมน้ำ การโค้งงอ ความขาว และความทนไฟ คุณสมบัติดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 25 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

| หมายเลข | การหดตัว<br>(ร้อยละ) | การดูดซึมน้ำ<br>(ร้อยละ) | การโค้งงอ<br>(มม/ซม. <sup>2</sup> ) | ความ<br>ขาว | ความ<br>ทนไฟ | ความเหมาะสม<br>กับเคลือบ |
|---------|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------|--------------------------|
| 1       | 12.27                | 0.010                    | 19.50                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ใช้ได้                   |
| 2       | 12.04                | 0.005                    | 18.00                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ใช้ได้                   |
| 3       | 12.07                | 0.057                    | 20.50                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ใช้ได้                   |
| 4       | 11.36                | 0.424                    | 16.00                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ใช้ได้                   |
| 5       | 11.80                | 0.015                    | 17.50                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ราน                      |
| 6       | 11.80                | 0.015                    | 17.20                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ราน                      |
| 7       | 11.80                | 0.126                    | 17.50                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ราน                      |
| 8       | 11.36                | 0.005                    | 17.00                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ราน                      |
| 9       | 12.72                | 00.38                    | 21.00                               | ขาวทึบ      | ทนไฟได้      | ราน                      |

จากตาราง 25 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาหลังการเผามีรายละเอียดดังนี้ คือ

การหดตัว เนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่มีการหดตัวมากที่สุดคือร้อยละ 12.72 ได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 9 ส่วนเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่มีการหดตัวน้อยที่สุดคือร้อยละ 11.36 ได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 4 และ 8 จะเห็นได้ว่าการหดตัวหลังการเผาที่กำหนดไว้คือไม่เกินร้อยละ 13 ทุกอัตราส่วนผสมยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

การดูดซึมน้ำ การดูดซึมน้ำมีเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ ไม่เกินร้อยละ 0 - 0.5 จากการทดสอบทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์หมดแต่หมายเลข 4 มีการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูงคือ ร้อยละ 0.424 อัตราส่วนผสมที่ดูดซึมน้ำได้น้อยที่สุดคืออัตราส่วนหมายเลข 2 และ 8 ร้อยละ 0.005

การโค้งงอหลังเผาทุกอัตราส่วนมีการโค้งงออยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือไม่เกิน 22 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร

ความขาว สีของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาหลังเผาทุกอัตราส่วนผสมมีลักษณะสีขาวทึบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ความทนไฟ หลังเผาทุกอัตราส่วนผสมไม่มีการบิดงอ แสดงว่าทุกอัตราส่วนผสมมีความทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ความเหมาะสมกับเคลือบ เหนือในการทดสอบเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนากับเคลือบคือ มีความมันวาว ไม่ร่วน อัตราส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 5, 6, 7, 8 และ 9 ผิวเคลือบมีลักษณะรานเป็นลายงา ส่วนอัตราส่วนผสมหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ผ่านเกณฑ์

ตาราง 26 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาก่อนการเผา  
และหลังการเผาของการทดลองชุดที่ 1

| อัตราส่วนผสม<br>หมายเลข | ก่อนเผา |                 |              | หลังเผา      |                  |                |              |                      |
|-------------------------|---------|-----------------|--------------|--------------|------------------|----------------|--------------|----------------------|
|                         | ความหนา | ความ<br>แข็งแรง | การหด<br>ตัว | การ<br>หดตัว | การดูด<br>ซึมน้ำ | ความ<br>โค้งงอ | ความ<br>ทนไฟ | ความเหมาะสมกับเคลือบ |
| 1                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✓                    |
| 2                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✓                    |
| 3                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✓                    |
| 4                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✓                    |
| 5                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✦                    |
| 6                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✦                    |
| 7                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✦                    |
| 8                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✦                    |
| 9                       | ✓       | ✓               | ✓            | ✓            | ✓                | ✓              | ✓            | ✦                    |

✓ หมายถึง คุณสมบัติที่ผ่านเกณฑ์กำหนด

✦ หมายถึง คุณสมบัติที่ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด

จากตาราง 26 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ อัตราส่วนผสมที่ไม่ผ่านเกณฑ์ได้แก่ หมายเลข 5, 6, 7, 8 และ 9 อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์ได้แก่หมายเลข 1, 2, 3 และ 4 จากอัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์จะต้องเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วนเพื่อไปทำการทดลอง ในส่วนที่ 2 ต่อไป

ผู้วิจัยได้เลือกอัตราส่วนผสมหมายเลข 2 เนื่องจากรายละเอียดผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพแล้วมีความเหมาะสมมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่การหดตัวก่อนเผาร้อยละ 3.06 หดตัวหลังเผาร้อยละ 12 การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.005 ความโค้งงอ 18 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร มีความแข็งแรงก่อนเผา 28.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการขนย้ายชิ้นงานดินมาก และมีความเหมาะสมกับเคลือบมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนากับปริมาณน้ำและปริมาณโซเดียมซลิเกตสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ

จากการทดลองในตอนที่ 1 อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 2 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมวัตถุดิบดังนี้

|             |        |       |
|-------------|--------|-------|
| ดินดำแม่แซน | ร้อยละ | 15.00 |
| ดินดำแม่วิท | ร้อยละ | 15.00 |
| ดินขาวระนอง | ร้อยละ | 17.40 |
| ดินขาวลำปาง | ร้อยละ | 17.00 |
| หินฟันม้า   | ร้อยละ | 18.00 |
| ทรายแก้ว    | ร้อยละ | 17.60 |

ผู้วิจัยได้ดำเนินการชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมหมายเลข 2 ที่ได้คัดเลือกจากการทดลองตอนที่ 1 ไปบดผสมให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปอบให้แห้งในอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และนำไปบดอีกครั้งก่อนนำไปทดสอบกับปริมาณน้ำและโซเดียมซลิเกตในปริมาณที่กำหนด โดยปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบมีค่าร้อยละ 27, 28, 29 และ 30 ส่วนปริมาณของโซเดียมซลิเกตร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 รวมจำนวน 20 อัตราส่วนผสม นำแต่ละอัตราส่วนผสมไปทดสอบคุณสมบัติสำหรับการหล่อมิผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 27 แสดงผลการทดสอบความเหมาะสมสำหรับการหล่อแบบระหว่างเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา น้ำ แลโซเดียมซลิเกต

| อัตราส่วน<br>หมายเลข | ปริมาณ<br>ดินแห้ง<br>(กรัม) | ปริมาณ<br>น้ำ<br>(ร้อยละ) | ปริมาณ<br>โซเดียมซลิเกต<br>(ร้อยละ) | คุณสมบัติเพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ |                                            |                                 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|
|                      |                             |                           |                                     | ความถ่วง<br>จำเพาะ                      | ความหนืดที่<br>เวลา 0 และ 30<br>นาที/พอยซ์ | ลักษณะผิว<br>หลังถ่าย<br>น้ำดิน |
| 1                    | 1000                        | 27                        | 0.1                                 |                                         | 31.5/65                                    | ไม่เรียบ แห้งช้า                |
| 2                    | 1000                        | 27                        | 0.2                                 | 1.79                                    | 5.5/6                                      | เรียบ แน่น แห้งไว               |
| 3                    | 1000                        | 27                        | 0.3                                 | 1.79                                    | 15/16                                      | ไม่เรียบ แห้งช้า                |
| 4                    | 1000                        | 27                        | 0.4                                 | 1.79                                    | วัดค่าไม่ได้                               | -                               |
| 5                    | 1000                        | 27                        | 0.5                                 | 1.79                                    | วัดค่าไม่ได้                               | -                               |
| 6                    | 1000                        | 28                        | 0.1                                 | 1.78                                    | 7.5/22                                     | ไม่เรียบ แห้งช้า                |

ตาราง 27 (ต่อ)

| อัตราส่วน<br>หมายเลข | ปริมาณ<br>ดินแห้ง<br>(กรัม) | ปริมาณ<br>น้ำ<br>(ร้อยละ) | ปริมาณ<br>โซเดียมซัลเฟต<br>(ร้อยละ) | คุณสมบัติเพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ |                                             |                                 |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
|                      |                             |                           |                                     | ความถ่วง<br>จำเพาะ                      | ความหนืดที่<br>เวลา 0 และ 30<br>นาที่/พอยซ์ | ลักษณะผิว<br>หลังถ่าย<br>น้ำดิน |
| 7                    | 1000                        | 28                        | 0.2                                 | 1.78                                    | 6.0/7.5                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 8                    | 1000                        | 28                        | 0.3                                 | 1.78                                    | 4.5/5.0                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 9                    | 1000                        | 28                        | 0.4                                 | 1.78                                    | 34/34                                       | ไม่เรียบ แข็งช้า                |
| 10                   | 1000                        | 28                        | 0.5                                 | 1.78                                    | วัดค่าไม่ได้                                | -                               |
| 11                   | 1000                        | 29                        | 0.1                                 | 1.77                                    | 4.0/7.0                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 12                   | 1000                        | 29                        | 0.2                                 | 1.77                                    | 4.0/4.0                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 13                   | 1000                        | 29                        | 0.3                                 | 1.77                                    | 4.0/4.0                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 14                   | 1000                        | 29                        | 0.4                                 | 1.77                                    | 15/15                                       | ไม่เรียบ แข็งช้า                |
| 15                   | 1000                        | 29                        | 0.5                                 | 1.77                                    | วัดค่าไม่ได้                                | -                               |
| 16                   | 1000                        | 30                        | 0.1                                 | 1.76                                    | 3.5/6.0                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 17                   | 1000                        | 30                        | 0.2                                 | 1.76                                    | 2.5/2.5                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 18                   | 1000                        | 30                        | 0.3                                 | 1.76                                    | 2.0/2.0                                     | เรียบ แน่น แข็งไว               |
| 19                   | 1000                        | 30                        | 0.4                                 | 1.76                                    | 11/11.5                                     | ไม่เรียบ แข็งช้า                |
| 20                   | 1000                        | 30                        | 0.5                                 | 1.75                                    | 11.5/12.5                                   | ไม่เรียบ แข็งช้า                |

จากตาราง 27 การทดสอบปริมาณน้ำและปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่ปริมาณต่างกัน มีผลดังนี้  
ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่น) ทุกอัตราส่วนผสมมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในเกณฑ์ที่  
กำหนดคือ 1.75 - 1.80 โดยอัตราส่วนผสมหมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 มีความถ่วงจำเพาะที่ 1.79  
และอัตราส่วนผสมหมายเลข 16, 17, 18, 19 และ 20 มีความถ่วงจำเพาะที่ 1.76

ความหนืด อัตราส่วนผสมหมายเลข 2, 7, 8, 11, 12, 13, 16, 17 และ 18 มีความหนืด  
ที่เหมาะสมสำหรับนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบได้เพราะมีคุณสมบัติไหลตัวดี ไม่ตก  
ตะกอน อัตราส่วนผสมอื่นมีความหนืดมากเกินไปทำให้ถ่ายน้ำดินออกจากแบบลำบาก

ความหนืดที่เวลา 0 นาที่ หมายถึง เวลาที่วัดค่าความหนืดครั้งที่ 1 โดยเริ่มวัดหลังจาก  
กวนน้ำดินเสร็จทันที

ความหนืดที่เวลา 30 นาที่ หมายถึง เวลาที่วัดค่าความหนืดครั้งที่ 2 โดยเริ่มวัดหลังจาก  
ปล่อยน้ำดินทิ้งโดยไม่ได้กวนเป็นระยะเวลา 30 นาที

ลักษณะผิวหลังถ่ายน้ำดิน เกณฑ์ที่กำหนดคือผิวเรียบ เนื้อแน่น ผิวแห้งไม่เกิน 10 นาที อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 2, 7, 8, 11, 12, 13, 16, 17 และ 18

ผลการทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ปรากฏว่าอัตราส่วนผสมหมายเลข 2, 7, 8, 11, 12, 13, 16, 17 และ 18 ผ่านทุกเกณฑ์และผู้วิจัยได้เลือกอัตราส่วนผสมหมายเลข 7 ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ร้อยละ 28.0 กับปริมาณโซเดียมซิลิเกต ร้อยละ 0.30 เพื่อนำไปเตรียมน้ำดินสำหรับหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจำนวน 7 ตัวต่อไป

ตาราง 28 แสดงวันเวลาในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

| ว/ด/ป   | ตัวที่ | เวลาหยุด | เวลาถ่ายน้ำดิน | เวลาเปิด | ความหนา |
|---------|--------|----------|----------------|----------|---------|
| 13/7/41 | 1      | 11.00    | 12.15          | 13.30    | 9 มม.   |
| 13/7/41 | 2      | 15.30    | 17.00          | 18.00    | 9 มม.   |
| 16/7/41 | 3      | 18.55    | 19.10          | 20.10    | 9 มม.   |
| 18/7/41 | 4      | 8.40     | 9.55           | 10.55    | 9 มม.   |
| 18/7/41 | 5      | 13.25    | 14.50          | 15.40    | 9 มม.   |
| 19/7/41 | 6      | 11.30    | 12.45          | 13.45    | 9 มม.   |
| 19/7/41 | 7      | 14.55    | 16.20          | 17.10    | 9 มม.   |

หมายเหตุ การหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างซึ่งต้นแบบ (model) มีทั้งจุดกลางและต้นอยู่ในตัวเดียวกันจะมีความลำบากในการถ่ายน้ำดินออกจากแบบ เพราะการทิ้งน้ำดินในแบบนานเพื่อสร้างความหนาเป็นผนังของผลิตภัณฑ์จะทำให้ น้ำดินมีความหนืดและถ่ายออกลำบาก หลังจากได้ความหนาที่ต้องการแล้วการแก้ปัญหาวิธีนี้คือใช้ลมที่มาจากสายจากเครื่องทำลม โดยสอดสายลมเข้าไปในแบบและเปิดลมไล่น้ำดินให้ออกจากแบบโดยใช้แรงลมขนาดไม่เกิน 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร น้ำดินจะค่อย ๆ ไหลออกมาจนหมดและทิ้งลมไว้ในแบบจนกว่าจะมั่นใจว่าผิวของชิ้นงานเริ่มแข็งและทรงตัวได้จึงปิดลม (ไม่ควรทิ้งลมไว้นานเกินไปเพราะจะทำให้ ผิวชิ้นงานแตกร้าวได้) และทำการเปิดแบบเพื่อเอาชิ้นงานออกและนำชิ้นงานดินไปวางตากให้แห้ง แต่ในกรณีการหล่อชิ้นงานตัวอย่างของผู้วิจัยนั้นไม่มีการใช้ลมช่วย การถ่ายน้ำดินทำโดยธรรมชาติ

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองหาอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสำหรับขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ โดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศเป็นส่วนผสมเพื่อทดแทนการใช้วัตถุดิบจากต่างประเทศ

#### จุดมุ่งหมายของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา จากวัตถุดิบภายในประเทศ ได้แก่ ดินดำ ดินขาว หินฟันม้า ทรายแก้ว โดยเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของน้ำดินสำหรับการขึ้นรูป ด้วยวิธีการหล่อระหว่างอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา น้ำ และโซเดียมซิลิเกต
3. เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

#### วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อหาดินปั้นวิเทียสไชนา จำนวน 9 อัตราส่วนผสมเพื่อหาความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วนผสม

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ โดยนำอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดจากตอนที่ 1 มาผสมกับน้ำในปริมาณร้อยละ 27 - 30 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.1 - 0.5 สำหรับทำน้ำดิน

เมื่อผ่านการทดลองทั้ง 2 ตอนแล้วจึงนำมาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

#### ตัวแปรที่ศึกษา

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา

ตัวแปรต้น คือ อัตราส่วนผลสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาจำนวน 9 อัตราส่วนผลสม

ตัวแปรตาม คือ คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาก่อนและหลังการเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งได้แก่คุณสมบัติดังต่อไปนี้

คุณสมบัติก่อนการเผา ได้แก่

1. ความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ ได้แก่ อัตราความหนาในระยะ เวลา 1 ชั่วโมง

2. ความแข็งแรงของเนื้อดิน

3. การหดตัว

คุณสมบัติหลังการเผา ได้แก่

1. การหดตัว

2. การดูดซึมน้ำ

3. การโค้งงอ

4. ความขาว (สีของเนื้อดินปั้น)

5. ความทนไฟ

6. ความเหมาะสมกับเคลือบ

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสำหรับการขึ้นรูป ด้วยวิธีหล่อแบบ

ตัวแปรต้น คือ ปริมาณน้ำและปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่ผสมในเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา

ตัวแปรตาม คือ คุณสมบัติและลักษณะของน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบ ได้แก่

1. ความถ่วงจำเพาะ(ความหนาแน่น)

2. ความหนืด (การไหลตัว)

3. ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังการหล่อแบบ ได้แก่ ลักษณะผิวผลิตภัณฑ์หลังการถ่ายน้ำดิน

ออกจากแบบ ลักษณะผิวผลิตภัณฑ์หลังการเปิดแบบ การแตกร้าว และการทรงตัวของผลิตภัณฑ์

### วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. ดินดำแม่แซน ลำปาง (ซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มินเนอรัลส์ ประเทศไทย จำกัด)
2. ดินดำแม่วิท ลำปาง (ซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มินเนอรัลส์ ประเทศไทย จำกัด)
3. ดินขาวระนอง (ซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มินเนอรัลส์ ประเทศไทย จำกัด)
4. ดินขาวลำปาง (ซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มินเนอรัลส์ ประเทศไทย จำกัด)
5. หินฟันม้าราชบุรีและกาญจนบุรี (ซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มินเนอรัลส์ ประเทศไทย จำกัด)
6. ทรายแก้วระยอง (ซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มินเนอรัลส์ ประเทศไทย จำกัด)
7. หินปูนสระบุรี
8. โคลโลไมท์ กาญจนบุรี
9. สังกะสีออกไซด์ ชนิดที่ใช้งานในการค้าทั่วไป
10. แบเรียมออกไซด์ ชนิดที่ใช้งานในการค้าทั่วไป
11. เซอร์โคเนียมซิลิเกต ชนิดที่ใช้งานในการค้าทั่วไป
12. โซเดียมซิลิเกต ชนิดที่ใช้งานในการค้าทั่วไป

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด
2. หม้ออบขนาดเล็กละใหญ่
3. ตะแกรงขนาด 80, 100 และ 125
4. กระบอทดวง
5. เครื่องมือทดสอบความแข็งแรง
6. แบบพิมพ์สำหรับทำขึ้นทดลอง
7. เวอร์เนีย
8. เตาแก๊ส
9. โกร่งบด
10. แบบพิมพ์ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

11. ทุนวัดไฟเซกเกอร์หมายเลข 5, 6 และ 7
12. เครื่องมือทดสอบความหนืด
13. ไม้บรรทัด
14. เครื่องมือดูดสนิมเหล็ก

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนา มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบ
2. กรองด้วยตะแกรง 80 เมช
3. ชั่งวัตถุดิบ 9 อัตราส่วนผสม
4. บดส่วนผสมในหม้อบด 10 ชั่วโมง
5. กรองน้ำดินด้วยตะแกรง 100 เมช
6. ปรับคุณสมบัติของน้ำดินด้วยการเติมน้ำให้ได้ความถ่วงจำเพาะ 1.75 - 1.80 และเติม

โซเดียมซิลิเกตสำหรับการไหลตัว

7. นำน้ำดินเทในแบบพิมพ์ทดสอบ เพื่อนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ
8. นำแผ่นทดสอบไปทำให้แห้งและเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
9. ทดสอบคุณสมบัติก่อนการเผา ได้แก่ การหดตัว ความแข็งแรง
10. นำแผ่นที่เหลือไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ทดสอบหลังเผา
11. ทำการทดสอบคุณสมบัติหลังการเผา ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ การโค้งงอ ความทนไฟ และความเหมาะสมกับเคลือบ
12. วิเคราะห์และคัดเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดไปทำการทดลองในขั้นตอนที่ 2

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไชนาสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ โดยทดลองหาปริมาณน้ำและปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่เหมาะสม ในการทำน้ำดิน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่คัดเลือกมาจากตอนที่ 1
2. นำวัตถุดิบลงในหม้อบดเติมน้ำและบดให้ละเอียดในเวลา 10 ชั่วโมง
3. กรองด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช
4. เกรอะในอ่างพลาสติกทำให้แห้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

5. บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบด
6. ชั่งส่วนผสมชดละ 1000 กรัม รวมทั้งหมด 20 ชุด
7. เติมน้ำลงไปในส่วนผสมทุกชุดโดยปริมาณน้ำร้อยละ 27 - 30 และเติมโซเดียมซลิ เกต เพื่อปรับการไหลตัวโดยปริมาณร้อยละ 0.1 - 0.5
8. ทดสอบความเหมาะสมในการหล่อ ประกอบด้วยการตรวจสอบความถ่วงจำเพาะ การไหลตัว (ความหนืด) ความหนาในระยะเวลา 1 ชั่วโมงและผิวหลังการถ่ายน้ำดินออกจากแบบ
9. เลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทำน้ำดินสำหรับหล่อแบบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง
10. ชั่งวัตถุดิบจำนวน 104 กิโลกรัม แยกเป็น 2 ส่วนโดยนำวัตถุดิบที่มีความเหนียว ได้แก่ ดินดำแม่ขน ดินดำแม่วัด ดินขาวลำปาง ใส่ในหม้อบดก่อนและเติมน้ำเข้าไป 41 กิโลกรัมใช้เวลาบด 2 ชั่วโมง
11. เติมโซเดียมซลิเกตในปริมาณ 400 กรัม และบดต่ออีก 1 ชั่วโมง
12. เติมวัตถุดิบส่วนที่ 2 ได้แก่ ดินขาวระนอง หินฟันม้าและทรายแก้ว ลงในหม้อบดและบดต่อจนครบ 10 ชั่วโมง
13. ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะและการไหลตัว (ความหนืด) ของน้ำดินให้อยู่ในเกณฑ์
14. ในกรณีน้ำดินคุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์จะต้องทำการปรับคุณสมบัติจนกว่าจะได้ตามเกณฑ์ และให้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ความถ่วงจำเพาะตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ 1.75 - 1.80 ถ้าต่ำกว่าเกณฑ์หมายความว่า ในน้ำดินมีปริมาณของแข็งน้อย (วัตถุดิบ) แต่มีปริมาณน้ำมาก วิธีการปรับคือเติมปริมาณของแข็งลงไป ในน้ำดิน ถ้าสูงกว่าเกณฑ์หมายถึงน้ำดินมีปริมาณของแข็งมากแต่มีปริมาณน้ำน้อย วิธีการปรับคือเติมปริมาณน้ำลงไป เพื่อให้ได้ความถ่วงจำเพาะ ที่ต้องการ
15. นำน้ำดินไปหมัก 1 คืน โดยปิดฝาให้มิดชิดป้องกันน้ำในน้ำดินระเหยออก
16. ทำการร่อนน้ำดิน และทดสอบคุณสมบัติทุกครั้ง เมื่อนำน้ำดินไปหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง
17. อบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างให้แห้ง และตกแต่งผิวให้สะอาดเรียบร้อย
18. นำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปพ่นเคลือบ
19. นำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส
20. ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

## การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของ เนื้อดินปั้น วิเทียสไชนา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ตอนได้แก่

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาทั้งก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ

## สรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองผ่านทั้ง 2 ตอนแล้วได้ผลการทดลองดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาเป็นการทดลองอัตราส่วนผสมจำนวน 9 อัตราส่วน และเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด 1 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วนผสมหมายเลข 2 ประกอบด้วยวัตถุดิบดังนี้

|             |        |       |
|-------------|--------|-------|
| ดินดำแม่แซน | ร้อยละ | 15.00 |
| ดินดำแม่วัด | ร้อยละ | 15.00 |
| ดินขาวระนอง | ร้อยละ | 17.40 |
| ดินขาวลำปาง | ร้อยละ | 17.00 |
| หินฟีนมา    | ร้อยละ | 18.00 |
| ทรายแก้ว    | ร้อยละ | 17.60 |

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพก่อนการเผาของอัตราส่วนผสมหมายเลข 2 พบว่ามีความแข็งแรงที่ 28.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การหดตัวมีค่าร้อยละ 3.06 ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส การหดตัวมีค่าร้อยละ 12.04 เนื้อดินมี การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.005 เนื้อดินมีสีขาวทึบ สามารถทนไฟได้และเหมาะสมกับน้ำเคลือบ ที่กำหนด

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสำหรับการหล่อแบบการทดลองหาความเหมาะสมของปริมาณน้ำกับปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่จะผสมในอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา เพื่อให้เกิดคุณสมบัติที่ดีในการหล่อ การทดลองจะ ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 27, 28, 29 และ 30 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่ใช้คือร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับจำนวน 20 อัตราส่วนผสม จากผลการทดลองทั้ง 20 อัตราส่วนผสมพบว่า

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 28 ส่วนปริมาณของโซเดียมซัลเฟต คือร้อยละ 0.30 น้ำดินมีลักษณะการไหลตัวที่ดี ผิวเรียบ ร่อนออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย ไม่เกิด การแตกร้าว สามารถทรงตัวได้ดีเมื่อถอดจากแบบ ด้านความถ่วงจำเพาะมีค่าที่ 1.78 ซึ่งอยู่ใน เกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 1.75 - 1.80

### อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

#### ตอนที่ 1 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับทำเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา

จากการทดลอง อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมประกอบด้วย ดินดำแม่แซนร้อยละ 15 ดินดำแม่วิตร้อยละ 15 ดินขาวระนองร้อยละ 17.4 ดินขาวลำปางร้อยละ 17 หินฟันม้าร้อยละ 18 ททรายแก้วร้อยละ 17.6 ซึ่งตรงกับผลวิเคราะห์ทางเคมีที่กำหนดให้  $\text{SiO}_2$  เป็นค่าคงที่เท่ากับร้อยละ 66.55 และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เท่ากับร้อยละ 22.00 แต่จากผลวิเคราะห์ทางเคมี  $\text{Al}_2\text{O}_3$  จะต่ำกว่า ค่ากลางร้อยละ 0.14 และอัตราส่วนระหว่าง  $\text{SiO}_2$  ต่อ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  เท่ากับ 3.04 ซึ่งอยู่ในค่าที่เหมาะสมซึ่ง สอดคล้องกับ ซิงเกอร์ (Singer. 1963 : 453) กล่าวไว้ว่าผลวิเคราะห์ทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับ เนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาเท่ากับ  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 66.2 - 6.9  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 21.4 - 22.6  $\text{K}_2\text{O}$  ร้อยละ 3.4 - 4.2 และ L.O.I. ร้อยละ 3.9 - 6.9

ตอนที่ 1.1 ผู้วิจัยได้นำอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพก่อนการเผาได้ผลดังนี้

1.1.1 ความแข็งแรง อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นแต่ละส่วนผสมจะมีค่าแตกต่างกัน ความแข็งแรงมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 28.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนความแข็งแรงที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 25.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร วัตถุดิบที่มีผลทำให้เกิดความแข็งแรง คือ ดินดำแม่แซน ดินดำแม่วิต และดินขาวลำปาง เพราะดินทั้งสามชนิดนี้เป็นดินที่มีความเหนียว และยังสามารถขึ้นรูปโดยการหล่อ ความเหนียวทำให้เนื้อดินจับตัวแน่น ทรงตัวได้ดีในขณะเปิดแบบ และเมื่อชิ้นงานแห้งจะมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่ายทำให้สะดวกสบายในการตกแต่งและขนย้าย ดังคำกล่าวของปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2535 : 149) ที่ว่าดินที่มีความเหนียวมากจะมีความแข็งแรงมากเมื่อแห้งทำให้ไม่เปราะและแตกง่ายขณะขนย้ายและจับต้อง ประโยชน์ที่ได้จากความแข็งแรงส่งผลในด้านการขนย้ายผลิตภัณฑ์และการตกแต่งทำให้สามารถทำงานได้สะดวกสบายขึ้นลดความเสี่ยงในการแตกร้าวจุดนี้ไป แต่ถ้าใส่อัตราส่วนของดินเหนียวมากเกินไปก็จะเป็นผลเสียต่อการขึ้นรูปในการหล่อคือเสียเวลามากเพราะดินเหนียวมีความละเอียดและความเหนียวทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมของแบบพิมพ์ในการสร้างความหนาของผิวชิ้นงานช้าลงไปด้วย

1.1.2 การหัดตัวก่อนเผา อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาทุกจุดมีการหัดตัวก่อนเผา อยู่ในมาตรฐาน คือไม่เกินร้อยละ 4 จุดที่หัดตัวสูงสุดมีค่าร้อยละ 3.60 ส่วนการหัดตัวน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 2.7 วัตถุดิบที่ส่งผลต่อการหัดตัวมาก ได้แก่ ดินดำแม่แซนและดินดำแม่วิต ซึ่งเป็นดินที่มีอินทรีย์วัตถุเจือปนมากความสามารถต่ำทำให้ความเหนียวสูง ส่วนดินขาวระนองเป็นวัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์มาก มีส่วนประกอบของอลูมินาสูงช่วยในการทนไฟ และทรายแก้วเป็นวัตถุดิบที่ให้ซิลิกาสูงจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเสริมความแข็งแรงส่งผลให้การหัดตัวลดน้อยลงด้วย ดังคำกล่าวของทวิ พรหมพฤษย์ (2523 : 79) ว่า การหัดตัวมากทำให้มีผลต่อการผลิต มีปัญหาในการแตกร้าวยากต่อการดูแลและควบคุม การหัดตัวมากอาจมีผลมาจากการเตรียมเนื้อดินแข็งแรงเกินไป โดยผสมดินที่มีความเหนียวสูงไปในอัตราส่วนผสม และผลที่ตามมาอีกอย่างหนึ่ง คืออัตราความหนาในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อก็จะช้าตามไปด้วย

ตอนที่ 1.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

เมื่อนำอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาหลังการเผาไปทดสอบคุณสมบัติด้าน กายภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 การหัดตัว อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นทุกจุดมีค่าการหัดตัวอยู่ในมาตรฐาน โดย ไม่เกิน ร้อยละ 13 จุดที่หัดตัวสูงที่สุดมีค่า 12.72 จุดที่หัดตัวน้อยที่สุดมีค่า 11.36 ซึ่งสอดคล้องกับซิงเกอร์ (Singer, 1963 : 456) ที่กล่าวว่าเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาจะมีค่าการหัดตัวหลังเผาไม่เกินร้อยละ 13

1.2.2 การดูดซึมน้ำ อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นปั้นวิเทียสไชนาทุกจุดที่นำมาทดสอบปรากฏว่ามีการดูดซึมน้ำอยู่ในมาตรฐาน อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นปั้นวิเทียสไชนาที่เลือกเพื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.005 สอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกสังเคราะห์วิเทียสไชนามีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 0.5

1.2.3 การโค้งงอ อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาทุกจุดผ่านเกณฑ์การโค้งงอ โดยหมายเลข 9 มีการโค้งงอมากที่สุดคือ 21 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร น้อยที่สุดคือหมายเลข 4 มีการโค้งงอ 16 มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตร ปัจจัยที่ทำให้เกิดการโค้งงอคือสัดส่วนระหว่างซิลิกาต่ออลูมินา ไม่ควรเกิน 3 ในกรณีเกิน 3 หมายถึงซิลิกามากแต่อลูมินาน้อยทำให้เกิดการโค้งงอมากขึ้นและ ถ้าอลูมินามากจะมีความทนไฟสูงส่งผลให้ค่าโค้งงอน้อยลง วัตถุดิบที่มีผลมาก ได้แก่ ดินขาว ระนอง ซึ่งให้อลูมินาสูง

1.2.4 ความทนไฟ อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไซนาทุกจุดสามารถทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการบิดเบี้ยว หรือคองเสียรูปทรงแต่อย่างใด

1.2.5 คุณสมบัติด้านความขาว อัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไซนาทุกจุดมีลักษณะขาวทึบ เนื่องจากการนำวัตถุดิบหลายชนิดมาเป็นอัตราส่วนผสม วัตถุดิบที่มีผลต่อความขาวอย่างมาก ได้แก่ ดินดำแม่แซนและดินดำแม่วิต เพราะทำให้เนื้อดินไม่ขาวเท่าที่ควรเนื่องจาก ในดินดำมี ทิทาเนียมออกไซด์และเฟอร์ริกออกไซด์เป็นส่วนประกอบแต่ไม่มีผลกระทบต่อการทำ ผลิตภัณฑ์

1.2.6 ความเหมาะสมกับเคลือบของส่วนผสมเนื้อดินปั้นวิเทียสไซนา จุดที่มีความเหมาะสมกับเคลือบมีทั้งหมด 4 อัตราส่วนผสม ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1, 2, 3 และ 4 ส่วนอัตราส่วนผสม 5, 6, 7, 8 และ 9 มีลักษณะรานเป็นลายงา เมื่อศึกษาผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินปั้นกับเคลือบ ไม่มีความสัมพันธ์กัน คือส่วนผสมเคลือบจะมีฟลักซ์สูง และมี  $\text{SiO}_2$  ต่ำ จึงทำให้เกิดผิวรานขึ้น ดังคำกล่าวของ สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2527 : 110) และ ทวี พรหมพฤษย์ (2523 : 119) ว่าการรานเกิดจากส่วนผสมเคลือบมีฟลักซ์สูง และมี  $\text{SiO}_2$  ต่ำ วิธีการแก้ไขคือลดจำนวน ฟลักซ์ลงและเพิ่ม  $\text{SiO}_2$  ขึ้น ถ้าจะปรับที่เนื้อดินปั้นให้ลดหินแก้วลงและเติมอลูมินาลงไปแทน

ตอนที่ 2 การทดลองหาความเหมาะสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไซนาสำหรับใช้ในการหล่อแบบ

ผู้วิจัยได้ทดลองหาปริมาณของน้ำและโซเดียมซิลิเกตที่เหมาะสมในการทำน้ำดิน โดยกำหนดปริมาณน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 27 - 30 และโซเดียมซิลิเกตประมาณร้อยละ 0.10 - 0.50 โดยน้ำหนักดิน จากการทดสอบพบว่า อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 28 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.30 น้ำดินมีลักษณะการไหลตัวที่ดี ผิวเรียบ ทรงตัวได้เมื่อถอดออกจากแบบ ไม่เกิดการแตกร้าว สามารถหล่อผลิตภัณฑ์ได้ มีความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะที่ 1.78

จากผลการทดลองสามารถนำไปใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อได้ เพราะน้ำดินมี ลักษณะการไหลตัวดี ผิวเรียบ แกะออกจากแบบพิมพ์ได้ง่ายและทรงตัวได้ดี ไม่เกิดการแตกร้าว และใช้เวลาน้อยในการหล่อซึ่งสอดคล้องกับซิงเกอร์ (1963 : 775) ที่กล่าวไว้ว่า อัตราส่วนของน้ำสำหรับเนื้อดินปั้นวิเทียสไซนาอยู่ระหว่าง ร้อยละ 23 - 28 และปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2535 : 147, 119) กล่าวว่าน้ำในน้ำดินควรมีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ แต่น้ำดินก็ต้องมีการไหลตัวดีและอัตราส่วนของน้ำสำหรับน้ำดินที่ใช้ขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบควรอยู่ระหว่างร้อยละ 20-30

ผู้วิจัยได้เตรียมน้ำดินสำหรับหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง จากจำนวนวัตถุดิบ 104 กิโลกรัม โดยใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 28 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ .30 ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจำนวน 7 ตัวอย่างและได้นำไปเคลือบด้วยการพ่น ใช้น้ำเคลือบสีขาวที่ประกอบด้วยโพแทสเซียม

เฟลสปาร์ ร้อยละ 52 แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 16 โดโลไมท์ ร้อยละ 3 แบเรียมออกไซด์ ร้อยละ 3 ซิงค์ออกไซด์ ร้อยละ 3 ดินขาว ร้อยละ 6 ทรายแก้ว ร้อยละ 17 และส่วนพิเศษ เซอร์โคเนียม ซิลิเกต ร้อยละ 18 โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส น้ำเคลือบที่ได้จะหลอมตัวดี ผิวเรียบ เป็นมันวาว ไม่เกิดรอยร้าวที่ผิวเคลือบ ซึ่งแสดงว่าสูตรเคลือบดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ปั้นวิเทรียสไลนาที่ผู้วิจัยทดลอง

### ข้อเสนอแนะในการนำผลการทดลองไปใช้

การนำผลการทดลองไปใช้ควรมีการทดลองซ้ำเพื่อตรวจสอบผลการทดลองเนื่องจากวัตถุดิบ แต่ละแหล่งมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน ผลที่ได้จะแตกต่างกัน การคัดเลือกวัตถุดิบมาใช้ มีความสำคัญมาก ต้องพิถีพิถันเลือกวัตถุดิบที่มีสิ่งเจือปนน้อยที่สุดและมีความบริสุทธิ์สูง โดยศึกษาผลวิเคราะห์ทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบก่อนนำมาใช้ เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นตาม คุณสมบัติที่ต้องการ

### ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในโอกาสต่อไป

1. ศึกษาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนาและคุณสมบัติทางกายภาพ ในระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียส เพื่อลดค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิต
2. ศึกษาวัตถุดิบแหล่งอื่น ๆ นำมาเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนาเพื่อทดแทน แหล่งเดิมที่จะหมดไปในอนาคต
3. ศึกษาอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นวิเทรียสไลนา โดยเพิ่ม อลูมินาออกไซด์และลดซิลิกาสูงเพื่อลดปัญหาการแตกร้าวขณะเผา

บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- กะรัต, บริษัท. วิธีทดสอบคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นวิเทรียไฮนาและเคลือบ. บริษัทกะรัต จำกัด, ม.ป.ป. ถ่ายเอกสาร.
- โกมล รัชวงศ์. วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องเคลือบดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครู พระนคร, 2531.
- คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน, สำนักงาน. ภาวะอุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนปี 2537. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน, 2538.
- ชาญ จรรย์วนิชย์. “สถานการณ์แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์,” ในวารสารเซรามิกส์ไทย. 1(1) : 47 - 76 ; พฤษภาคม 2528.
- เชียงใหม่, มหาวิทยาลัย. เซรามิกส์สำหรับผู้เริ่มต้น. เชียงใหม่ : ศูนย์ทรัพยากรเซรามิกส์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536.
- ทวี พรหมพฤกษ์. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2523.
- ปรีดา พิมพ์ขาวจำ. เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- พิมพ์วัลย์ วัฒนภาส. เนื้อดินสำหรับทำตุ๊กตาดินเผา. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนา อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2539.
- ไพศาล กาญจนพิบูลย์. เอกสารสัมมนาเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : บริษัทเครื่องสุขภัณฑ์อเมริกันสแตนดาร์ด จำกัด, ม.ป.ป.
- ราชภัฏพระนคร, สถาบัน. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเครื่องเคลือบดินเผา. กรุงเทพฯ : ภาควิชา เครื่องปั้นดินเผา คณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและวิศวกรรมศาสตร์, ม.ป.ป. ถ่ายเอกสาร.
- ลดดา พันธุ์สุขุมธนา. “รีโอโลยีและขบวนการหล่อน้ำสลิป,” ใน เอกสารการสัมมนาวิชาการเคลือบเครื่องเคลือบดินเผาสำหรับสุขภัณฑ์. หน้า 1 - 65. กรุงเทพฯ : บริษัท เคลย์ แอนด์ มินอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด, 2540.
- วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์, ศูนย์. เครื่องปั้นดินเผาที่น่าสนใจ. กรุงเทพฯ : กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์, 2539.
- ศิริชัย โปธิตาปนยะ. “วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์,” เซรามิกส์ไทย. 5(1) : 20 ; ธันวาคม. 2531.

- ศุภกา ดอกไม้. การทดสอบเนื้อดินสโตนแวร์จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ด ดินขาว หินเขียวหนุมานและทัลคัม. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2535. ถ่ายเอกสาร.
- ศุลกากร, กรม. รายงานการนำเข้าวัตถุดิบที่ใช้ในงานเซรามิกส์ 2538 - 2539. กรุงเทพฯ : กรมศุลกากร, 2539.
- เศรษฐกิจอุตสาหกรรม, สำนักงาน. รายงานการศึกษาภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเซรามิกส์ประเภท ของข้าวสวยและเครื่องประดับ. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2536.
- ..... รายงานการศึกษาภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2528.
- ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ, ศูนย์. อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. เชียงใหม่ : โรงพิมพ์ ช้างเผือก, ม.ป.ป.
- สมบูรณ์ สารสิทธิ์. การทดลองเนื้อดินปั้นจากดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อการขึ้นรูป ด้วยวิธีหล่อแบบและน้ำเคลือบที่เหมาะสม. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2535. ถ่ายเอกสาร.
- สมหวัง นรพัลลภ. “เนื้อดินปั้น,” ในอนุสรณ์พระราชทานเพลิงศพ นอ.สมหวัง นรพัลลภ. หน้า 36. กรุงเทพฯ : อัมรินทร์การพิมพ์, 2527.
- สมศักดิ์ ขวลาวันย์. การพัฒนาสีในเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยใช้สัณนิโลหะตามสูตร ไตรดุษฎภาค. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2534. ถ่ายเอกสาร.
- สุชาดา สุขชี. การทดลองเนื้อดินปั้นโบนีไชนา. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2538. ถ่ายเอกสาร.
- สุรศักดิ์ โกสียพันธ์. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา วิทยาลัยครู พระนครศรี, 2527.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. มาตรฐานสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสุขภัณฑ์วีเทรียสไชนาอ่างล้างหน้า - ล้างมือ. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2531.
- Dodd, A.E. Dictionary of Ceramic. London, J.W. Arrowsmith Ltd., 1967.
- Fournier, Robert. Illusrated Dictionary of Practical Pottery. New York : Van Nost and Reinhold Company, 1977.
- Hogg, C.S. The Testing of Clay - Water Systems Ceramic Monographs - hand Book Ceramics. England, 1985.

Hopper, Daniel. The Ceramic Spectrum A Simplified Approach to Glasry and Color Development. Pensylvania : Chiton Book Company, 1984.

Rhodes, Daniel. Clay and Grazes for the Porttor. London : Pitmane Publishing Company, 1972.

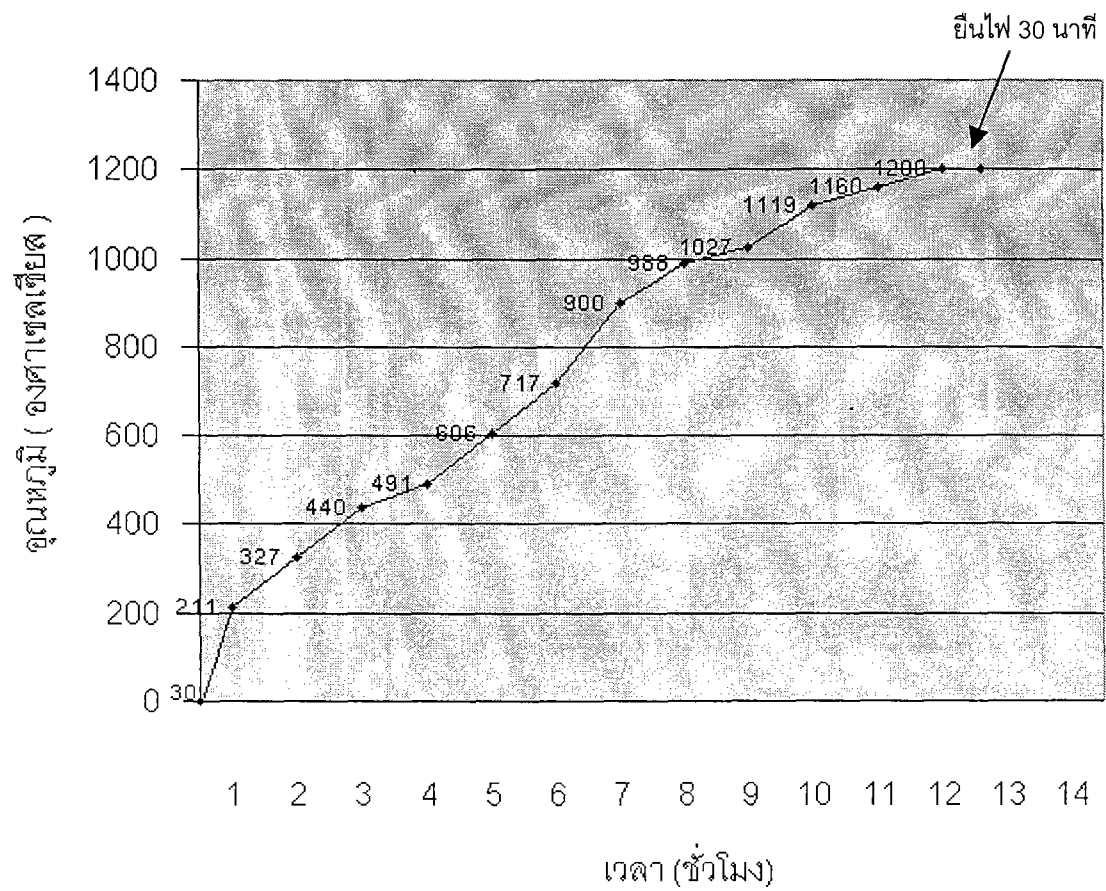
Shaw, Kenneth. Ceramic Colours and Pottery Decoration. London : Maclaren and Sons Ltd., 1968.

Singer, Felix and Sonja S. Singer. Industrial Ceramics. London : Champan and Hall Ltd., 1963.

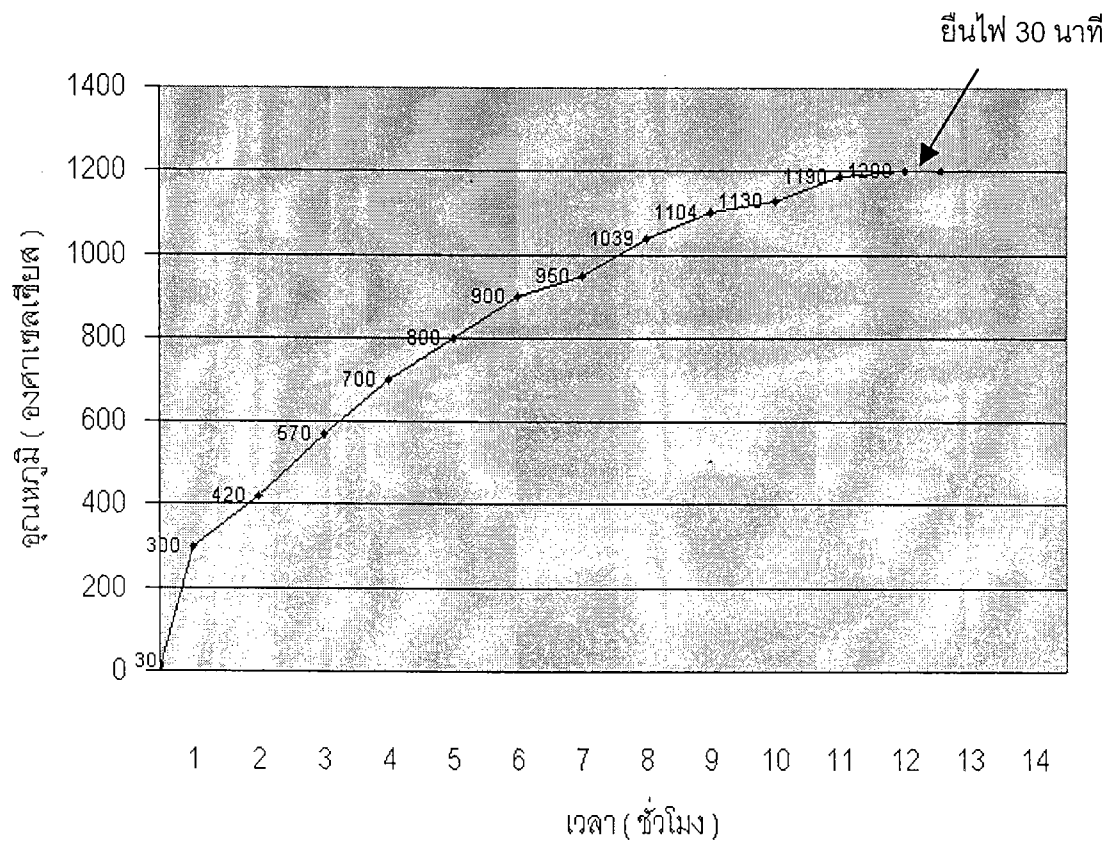
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กราฟแสดงการเผาในระดับอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส  
ในบรรยากาศออกซิเดชัน



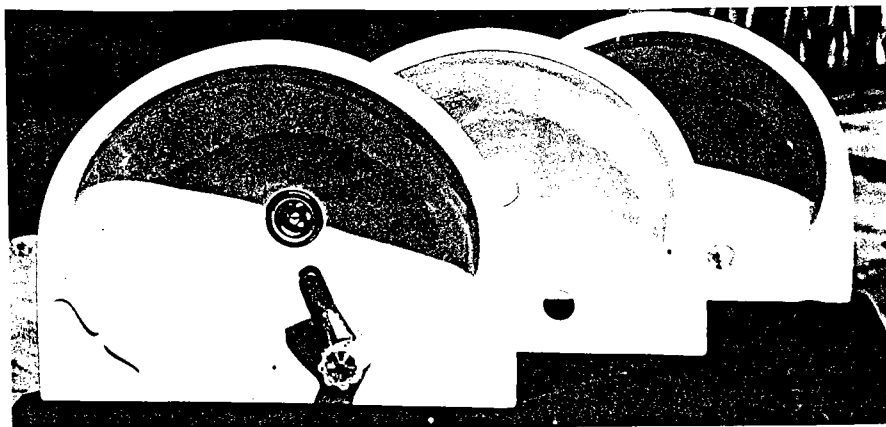
ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการเผาเคลือบ



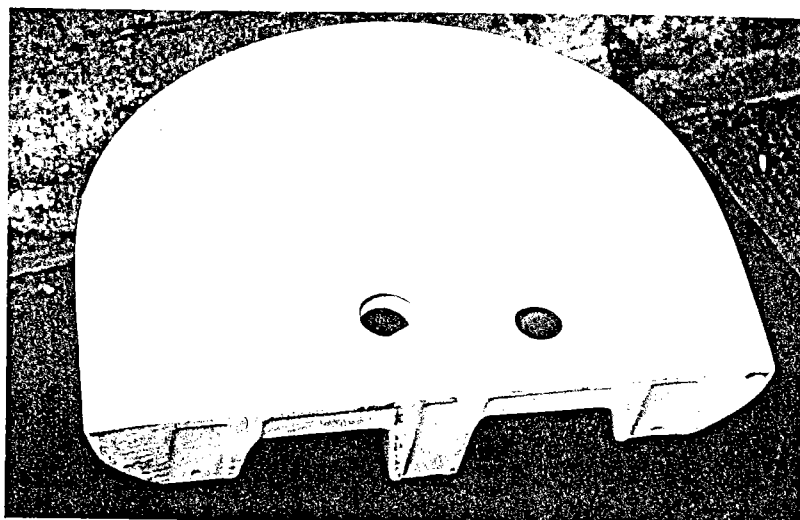
ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแผ่นทดลอง

## ภาคผนวก ข

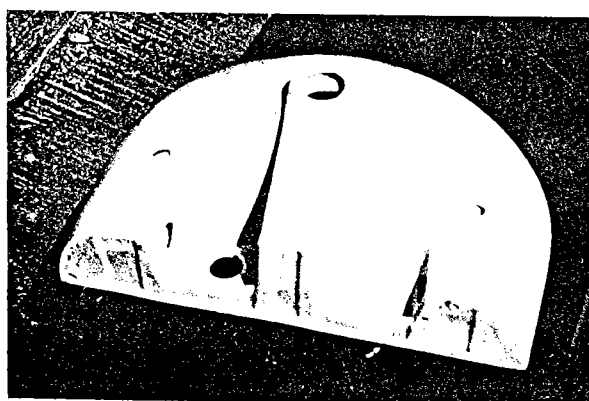
ภาพถ่ายอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส  
บรรยากาศแบบออกซิเดชันและภาพแบบพิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์



ติดตั้งอุปกรณ์

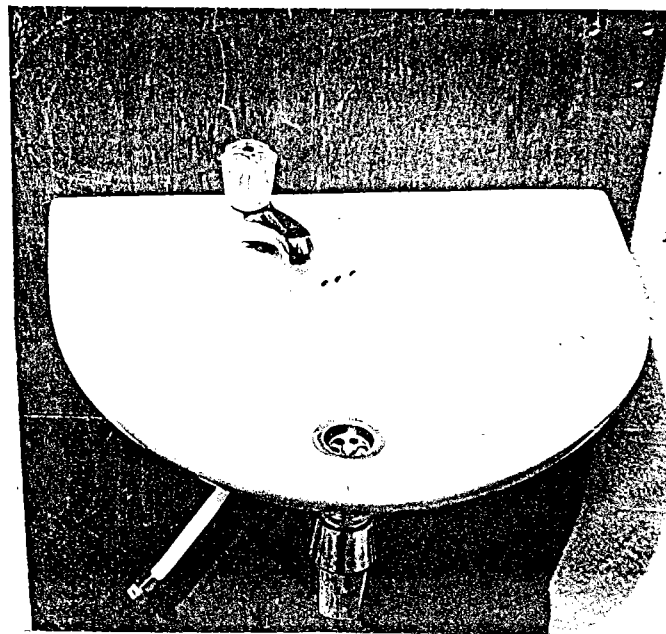
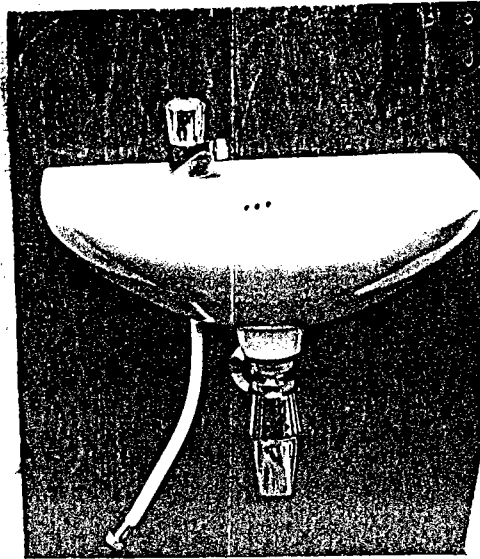


ด้านหน้า

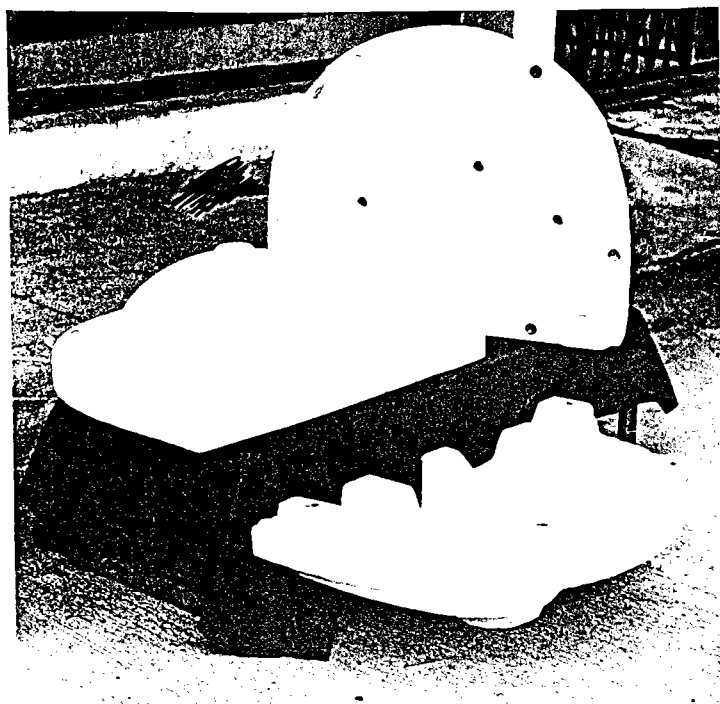


ด้านหลัง

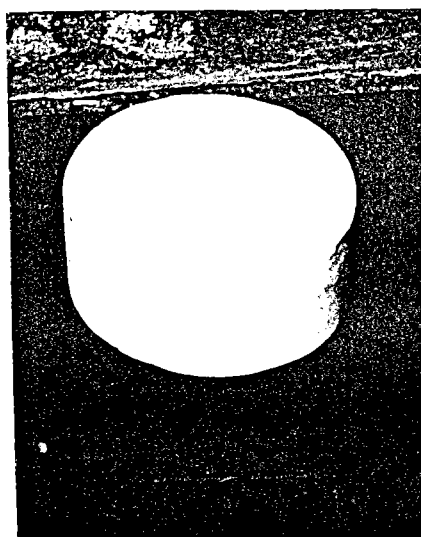
ภาพประกอบ 12 แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส



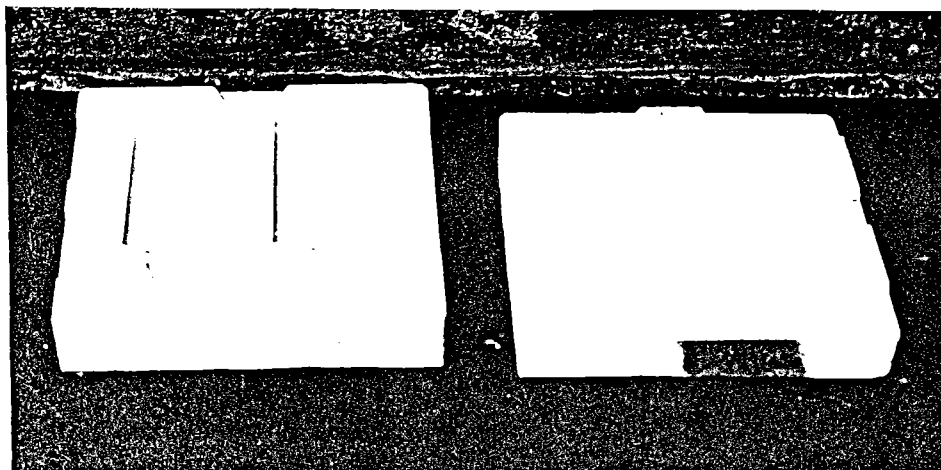
ภาพประกอบ 13 แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ติดตั้งอุปกรณ์และแขวนผนัง



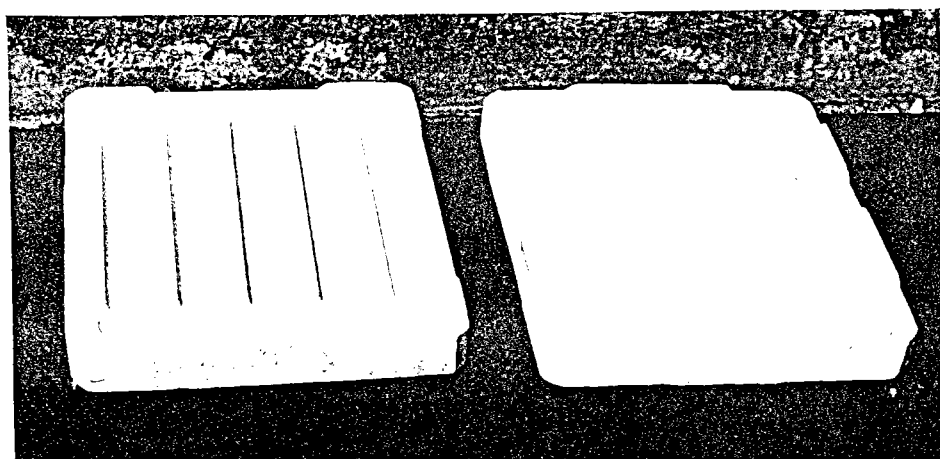
หล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



ภาพประกอบ 14 แบบพิมพ์ที่ใช้ในการหล่อตัวอย่างและผลิตภัณฑ์ทดสอบ  
ความหนาในการหล่อ



ทดสอบน้ำเคลือบและการดูดซึมน้ำ



ทดสอบความแข็งแรง, ความโค้งงอ, การหดตัว

ภาพประกอบ 15 พิมพ์ที่ใช้ในการทำแผ่นทดลอง

ภาคผนวก ค

หนังสือขอความอนุเคราะห์



ที่ ทม 1007/ ร ๕๖๔

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

30 มิถุนายน 2541

เรื่อง ขอใช้สถานที่ทดสอบเพื่อการวิจัย

เรียน คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันราชภัฏพระนคร

สิ่งที่ส่งมาด้วย เครื่องมือการวิจัย

ด้วย นายสมชาย สารเพชร นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การทดลองเนื้อดินปั้น วีเทรียสไชนาสำหรับการหล่อ" โดยมีคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ คือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โรกมล รักษ์วงศ์ ประธาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ดิสถาพร กรรมการ

บัณฑิตวิทยาลัยเรียนมาเพื่อขอความกรุณาให้นิสิตใช้สถานที่ในการทดลองเนื้อดินปั้นวีเทรียสไชนาสำหรับการหล่อพร้อมทั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทางการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเซรามิกส์ ในระหว่างเดือนมิถุนายน - ตุลาคม 2541 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน และขอขอบคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทรสาร/โทร. 258-4119

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

|                      |                                                                                                                |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ                 | นายสมชาย สารเพชร                                                                                               |
| เกิด                 | วันที่ 21 มิถุนายน 2506                                                                                        |
| สถานที่เกิด          | จังหวัดสุรินทร์                                                                                                |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน  | 50/22 ม. 8 ถ.สุวรรณศรี ต.ห้วยทราย อ.หนองแค<br>จ.สระบุรี 18230                                                  |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | บริษัทสยามซานิทารีแวร์ อินดัสตรีจำกัด (COTTO)<br>33/4 ม. 2 ถ.สุวรรณศรี ต. โลกแย้ อ. หนองแค<br>จ. สระบุรี 18230 |
| ตำแหน่ง              | เจ้าหน้าที่เทคนิคประจำแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์                                                                       |
| ประวัติการศึกษา      |                                                                                                                |
| พ.ศ. 2524            | จบมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.ศ.5) จากโรงเรียนสุรวิทยาคาร จ.สุรินทร์                                                  |
| พ.ศ. 2526            | จบประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาชั้นสูง (ป.กศ.สูง) จากวิทยาลัยครู<br>สุรินทร์ จ. สุรินทร์                           |
| พ.ศ. 2529            | จบครุศาสตรบัณฑิต (กบ.) วิชาเอกศิลปหัตถกรรม สาขาเครื่องปั้นดินเผา<br>จากวิทยาลัยครูพระนคร                       |
| พ.ศ. 2536            | เข้าศึกษาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอก อุตสาหกรรมศึกษาที่มหาวิทยาลัย<br>ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตรจนถึงปัจจุบัน    |

การทดลองเนื้อดินปั้นวิหรีสไลนาสำหรับขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ

บทคัดย่อ

ของ

สมชาย สารเพชร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

เมษายน 2542

การวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา สำหรับขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ โดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ เป็นส่วนผสม ได้แก่ ดินดำแม่แซน ดินดำแม่วิท ดินขาวระนอง ดินขาวลำปาง หินฟันม้า ทรายแก้ว โดยใช้วิธีการคำนวณตามทฤษฎีทางเซรามิกส์ จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ และกำหนดให้  $\text{SiO}_2$  มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 66.2-66.9 ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 21.4 - 22.6 และ  $\text{K}_2\text{O}$  มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.8 - 4.2 ตามผลวิเคราะห์ ทางเคมีของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาสากล และนำอัตราส่วนผสมที่ได้จากการคำนวณไปทำการทดลอง 2 ขั้นตอน

1. เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อหาความเป็นเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนา
2. นำอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นวิเทียสไชนาที่ได้จากตอนที่ 1 ไปทดลองหาปริมาณน้ำ และโซเดียมซิลิเกตเพื่อหาความเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมของน้ำดินปั้นวิเทียสไชนาสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อประกอบด้วย ดินดำแม่แซนร้อยละ 15 ดินดำแม่วิทร้อยละ 15 ดินขาวระนองร้อยละ 17.4 ดินขาวลำปางร้อยละ 17 หินฟันม้าร้อยละ 18 ทรายแก้วร้อยละ 17.6 ปริมาณน้ำร้อยละ 28 และปริมาณโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.30

นำอัตราส่วนผสมที่ได้ไปเตรียมเป็นน้ำดินเพื่อหล่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เมื่อขึ้นงานดินแห้งทำการตกแต่ง นำไปพ่นเคลือบสีขาว และเผาด้วยเตาแก๊สที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชั่น หลังการเผาผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีขาว มันวาว รูปทรงสวยงาม

**AN EXPERIMENT STUDY ON VITREOUS CHINA BODY FOR CASTING**

**AN ABSTRACT**

**BY**

**SOMCHAI SARAPETCH**

**Presented in Partial fulfillment of the requirement for the Master  
of Education degree Industrial Education  
at Srinakharinwirot University**

**April 1999**

The Purpose of this study was to research vitreous china body from internal country materials casting from the mixing of Measand clay, Meavit clay, Ranong kaolin, Lumpang kaolin, Feldspar and Quartz. The materials were analysed through Seger's ceramical theory. The result from ceramical composition raw materials analysis,  $\text{SiO}_2$  at the rate of 66.2 to 66.9 percent,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  21.4 to 22.6 and  $\text{K}_2\text{O}$  3.8 - 4.2 percent. From the result of ceramical Intervitreous china body analysis. Brought about mixing from calculating materials for experiment by 2 steps:

- 1 Studying physical properties for vitreous china body.
2. Bringing about the recipes of mixing from vitreous china body from step 1 to experiment for recipes of water and sodium silicate for suitable methodology of casting.

The result were :

The recipes of mixture of slip for casting to be composed of Measand clay 15 percent, Meavit clay 15, Ranong kaolin 17.4, Lumpang kaolin, Feldspar 18, Quartz 17.6, Water 28 and Sodium silicate 0.30 percent.

Preparation the slip from recipes of mixture for forming by casting sample products. When products were dried, finishing, glazing with white color glaze and to be fire in gas kiln at  $1200^\circ\text{C}$  oxidation atmosphere, After fired product were opacifier, glaze were glossy and beautiful.