รายงานการวิจัย
เรื่อง
การพัฒนาอิฐทนไฟฉนวนจากเถ้าแกลบ

สนิท ปิ่นสกุล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

พ.ศ. 2554

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และ สถานที่ทำการทดลอง ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยอันเป็นประโยชน์ในครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอบคุณครอบครัว ขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่มีส่วนช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

ความดีทั้งหมดของงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์อันเป็นที่รักและเคารพสูงสุดของผู้วิจัย

นายสนิท ปิ่นสกุล

25 กันยายน 2554

หัวข้อวิจัย การพัฒนาอิฐทนไฟฉนวนจากเถ้าแกลบ
ชื่อผู้วิจัย นายสนิท ปิ่นสกุล
คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สถาบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนทั้งก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน และเพื่อทดลองผลิตอิฐทนไฟฉนวน โดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก สูตรส่วนผสมได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากตารางสามแหลี่ยม จำนวน 36 ตัวอย่าง วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมหลัก คือ เถ้าแกลบ อะลูมิเนียมออกไซด์ ดินดำสุราษฎร์ เติมเบนโทไนต์ร้อยละ 10 เพื่อเพิ่มความเหนียว และขี้เลื่อยร้อยละ 20 เพื่อเพิ่มความพรุนตัว ผลการวิจัยพบว่าเนื้อดินปั้นที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เหมาะสมในการผลิตอิฐทนไฟฉนวนได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 ในสูตรส่วนผสม มีเถ้าแกลบร้อยละ 65 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 22 ดินดำสุราษฎร์ร้อยละ 13 เบนโทไนต์ร้อยละ 10 และขี้เลื่อยร้อยละ 20 เนื้อดินปั้นสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกได้ ความหดตัวก่อนเผาเฉลี่ยร้อยละ -2.25 ความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยร้อยละ 6.63 ความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ย 0.22 กก./ตร.ซม. ความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.45 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.87 ก./ลบ.ซม. เนื้อดินปั้นมีสีเทาอ่อน และสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชันได้ ผลจากการทดลองนำเนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 ไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อิฐทนไฟฉนวนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แบบพิมพ์โลหะ พบว่าสูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนขึ้นรูปได้ดี หลังผ่านการเผาสามารถนำไปใช้งานได้

คำสำคัญ : อิฐฉนวนทนไฟ เถ้าแกลบ

Research Title	An Experiment of Insulating Firebricks from Rice Husk Ash
Name	Mr.Sanit Phinsakul
Faculty	Industrial Technology
Institute	Pibulsongkram Rajabhat University
Year	2011

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the physical quality of insulating firebrick body before and after burning at 1300 Celsius Degree in oxidation atmosphere, and to experimental produce insulating firebricks by hydraulic press. The ingredients are from specific random from truncated prism with 36 samples. Main ingredients are rice ash, Aluminum Oxide, Surat Ball Clay, 10% of Bentonite for developing stickiness, 20% of fly ash to generate porosity. The results of the study were founded that the quality of the clay body that is appropriate for making the insulating firebricks is clay body formula 10 which comprises of 65% of rice husk ash, 22% of Aluminum Oxide, 13% of Surat Ball Clay, 10% of Bentonite, and 20% of fly ash. The clay body was formed by hydraulic press, and the shrinkage before burning was -2.25%, and after burning was 6.63%. Strength of the body before burning was 0.22 kg/cm^2, and after burning was 3.45 kg/cm^2. Density of the body was 0.87 g/cm^3 in average. The color of the body was light grey and heat tolerance was at 1300 Celsius Degree under Oxidation atmosphere. As a result, the body clay formula 10 is the most appropriate for forming insulating firebricks by hydraulic press.

Keywords : Insulating Firebricks Rice Husk Ash

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ....(1)
บทคัดย่อภาษาไทย....(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....(3)
สารบัญ....(4)
สารบัญภาพ....(6)
สารบัญตาราง....(9)

บทที่ 1 บทนำ....1
ความเป็นมาของปัญหา....1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย....4
ขอบเขตของการวิจัย....4
ข้อตกลงเบื้องต้น....5
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย....6
นิยามศัพท์เฉพาะ....7

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....8
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเถ้าแกลบ....8
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอิฐทนไฟ....12
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผา....17
วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา.... 19
เนื้อดินปั้น....36
การหาส่วนผสมของวัตถุดิบ....42
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์....46
การอบผลิตภัณฑ์ให้แห้ง....51
เตาเผาและการเผา....56
เครื่องมือวัดอุณหภูมิ....63
การทดสอบวัสดุ....70

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 76

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....78

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน.....78

การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม.....86

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....87

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน.....87

ผลการวิเคราะห์การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม.....92

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....93

สรุปผลการทดลอง.....97

อภิปรายผล.....99

ข้อเสนอแนะ 103

บรรณานุกรม.....104

ภาคผนวก.....110

ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติทางกายภาพ.....111

ภาคผนวก ข เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 129

ภาคผนวก ค กระบวนการวิจัย.....135

ประวัติผู้วิจัย.....153

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 แสดงการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐมอญ....1
2 แสดงเถ้าแกลบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาอิฐมอญ....2
3 แสดงตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้หาส่วนผสมของวัตถุดิบ....44
4 แสดงตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้หาส่วนผสมของวัตถุดิบ....45
5 แสดงการหล่อสลิปแบบกลวง....50
6 แสดงการหล่อสลิปแบบตัน....51
7 แสดงน้ำที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเมื่ออบแห้ง (Shrinkage Water)....52
8 แสดงน้ำซึ่งถูกขังอยู่ในช่องว่างในผลิตภัณฑ์ (Pore Water)....53
9 แสดงน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคของวัตถุดิบ (Absorbed Water)....53
10 แสดงน้ำซึ่งประกอบอยู่ในโครงสร้างของผลึกวัตถุดิบ (Crystal Lattice Water)....53
11 แสดงโคนวัดอุณหภูมิ....65
12 แสดงการวางแท่งวัดอุณหภูมิ....66
13 แสดงรูปแท่งวัดอุณหภูมิหลังเผาแล้ว....66
14 แสดงรูปบูลเลอร์ริง....67
15 แสดงแท่นสำหรับวัดการหดตัวของวงแหวน....67
16 แสดงตารางสามเหลี่ยมที่ใช้คำนวณสูตรเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน....80
17 แสดงแท่งทดลองเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน....83
18 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 1....84
19 แสดงเตาแก๊สที่ใช้เผาทดลอง....130
20 แสดงเครื่องชั่งไฟฟ้า....130
21 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแรง....131
22 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิ....131
23 แสดงเครื่องชั่งแบบเข็ม....132
24 แสดงเครื่องอัดไฮดรอลิก....132
25 แสดงแบบพิมพ์ที่ใช้อัดขึ้นรูปชิ้นทดลอง....133
26 แสดงแบบพิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปอิฐทนไฟ....133
27 แสดงแผ่นเทียบสี Pantone Formula Guide....134

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ หน้า

28 แสดงเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล....134
29 แสดงการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐมอญ....136
30 แสดงเถ้าแกลบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาอิฐมอญ....136
31 แสดงการบดเถ้าแกลบด้วยหม้อบด....137
32 แสดงขี้เลื่อยที่ใช้เป็นส่านผสมของเนื้อดินอิฐทนไฟ....137
33 แสดงการชั่งส่วนผสม....138
34 แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบที่ชั่งเสร็จแล้ว....138
35 แสดงการผสมวัตถุดิบกับน้ำ....139
36 แสดงแบบพิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปแท่งทดลอง....139
37 แสดงการอัดขึ้นรูปแท่งทดลอง....140
38 แสดงการอัดขึ้นรูปแท่งทดลอง... 140
39 แสดงการนำแท่งทดลองออกจากแบบพิมพ์....141
40 แสดงแท่งทดลองที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว....141
41 แสดงส่วนหนึ่งของแท่งทดลองที่ผึ่งให้แห้ง....142
42 แสดงการวัดทดสอบความหดตัวของแท่งทดลอง....142
43 แสดงการทดสอบความแข็งแรง....143
44 แสดงการทดสอบความแข็งแรง....143
45 แสดงการนำแท่งทดลองเข้าเตาเผา....144
46 แสดงการเผาแท่งทดลอง....144
47 แสดงการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังเผา....145
48 แสดงการชั่งน้ำหนักแท่งทดลองเพื่อทดสอบความหนาแน่น....145
49 แสดงการเตรียมพิมพ์สำหรับอัดอิฐทนไฟ....146
50 แสดงการใส่ส่วนผสมของวัตถุดิบลงในแบบพิมพ์....146
51 แสดงการเกลี่ยส่วนผสมในแบบพิมพ์ให้เรียบ....147
52 แสดงการอัดอิฐทนไฟด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก....147

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ หน้า

53 แสดงการถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์....148
54 แสดงชิ้นงานที่ถอดออกจากแบบพิมพ์....148
55 แสดงการยกชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์....149
56 แสดงการวางชิ้นงานบนแผ่นกระเบื้อง....149
57 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว....150
58 แสดงชิ้นงานอิฐทนไฟที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วผึ่งให้แห้ง....150
59 แสดงการวางชิ้นงานในเตาเผา....151
60 แสดงการเผาชิ้นงานอิฐทนไฟด้วยเตาแก๊ส....151
61 แสดงอิฐทนไฟที่ผ่านการเผาแล้ว....152
62 แสดงอิฐทนไฟที่ผ่านการตัดแต่งแล้ว....152

สารบัญตาราง

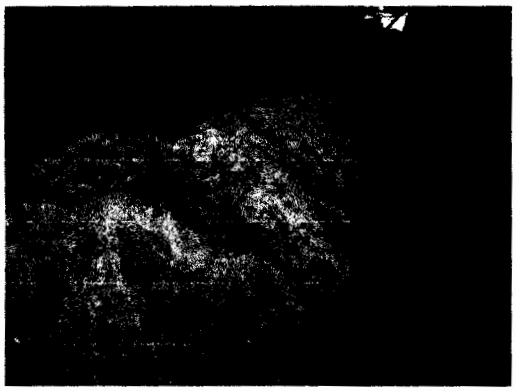
ตาราง หน้า

1 แสดงปริมาณออกไซด์ต่างๆในแกลบที่ผ่านการเผาแล้ว.....2
2 แสดงการหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบ 2 ชนิด.....43
3 แสดงการหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบ 3 ชนิด.....43
4 แสดงการเปรียบเทียบโคน 8 ของแต่ละชนิด..... 64
5 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากตารางสามเหลี่ยม.....81
6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา.....88
7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา.....90
8 ผลการคำนวณค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผา.....111
9 ผลการคำนวณค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา.....114
10 ผลการคำนวณค่าความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผา.....117
11 ผลการคำนวณค่าความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา.....120
12 ผลการคำนวณปริมาตรของแท่งทดลอง.....123
13 ผลการคำนวณค่าความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น.....126

ความเป็นมาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีสินค้าจากภาคการเกษตรหลายชนิดติดอันดับต้นๆ ในตลาดโลก และหนึ่งในนั้นก็คือ “ข้าว” ซึ่งข้าวจากประเทศไทยเป็นที่ยอมรับและนิยมกันมาก ด้วยคุณภาพและมาตรฐานที่ขึ้นชื่อ อุตสาหกรรมการผลิตข้าว เป็นอุตสาหกรรมใหญ่ประเภทหนึ่งที่มีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวในแต่ละขั้นตอน โดยเฉพาะในขั้นตอนของการสีข้าวเปลือก ซึ่งจะมีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งในปริมาณค่อนข้างมาก เฉลี่ยในแต่ละปีจะมีปริมาณแกลบเหลือทิ้งถึงปีละกว่า 7 ล้านตัน แกลบ วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวเปลือกนั้น นับได้ว่าได้สร้างปัญหาให้กับสังคมและสิ่งแวดล้อมมาก แม้ว่าจะได้มีความพยายามที่จะนำแกลบไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิง ชีวมวล อาหารสัตว์ วัสดุปรับปรุงดิน วัสดุเพาะกล้าไม้ แต่ยังมีแกลบอีกจำนวนมากที่ต้องนำไปกำจัด ซึ่งปัจจุบันใช้วิธีฝังกลบ ซึ่งทำให้เกิดปัญหามลภาวะทั้งทางน้ำและอากาศ (สิริลักษณ์ เจียรากร,2552 : 1)นอกจากนี้ในกระบวนการเผาอิฐมอญใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผา เมื่อกระบวนการเผาเสร็จสิ้นทำให้ได้เถ้าแกลบจำนวนมากเป็นผลพลอยได้ ถึงแม้ว่าเถ้าแกลบส่วนหนึ่งได้นำกลับไปใช้ผสมในดินเหนียวที่ใช้ผลิตอิฐมอญก็ตามแต่ก็ยังคงมีเถ้าแกลบจำนวนมากที่ต้องขจัดทิ้งไป ลักษณะของแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐมอญดังภาพที่ 1 และลักษณะของเถ้าแกลบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาอิฐมอญดังภาพที่ 2

ภาพที่ 1 แสดงการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐมอญ



ภาพที่ 2 แสดงเถ้าแกลบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาอิฐมอญ

แกลบนั้นเมื่อเผาแล้วจะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก ซึ่งซิลิกาก็คือวัตถุดิบสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ซิลิกาที่อยู่ในแกลบนั้นเกิดขึ้นจากการดูดซึมธาตุอาหารของต้นข้าว โดยรากของข้าวก็จะทำการดูดซึมธาตุอาหารต่างๆที่จำเป็นรวมทั้งธาตุซิลิคอน (Si) ด้วย จากนั้นสารละลายซิลิคอนก็จะมาถูกสะสมอยู่ที่บริเวณผิวด้านนอกของเปลือกเมล็ดข้าวและกลายเป็นซิลิกาที่รวมตัวกับเส้นใยประเภทเซลลูโลสและลิกนิน เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของเปลือกข้าวหรือที่เราเรียกกันว่าแกลบนั่นเอง โดยในส่วนของสารอนินทรีย์นั้นองค์ประกอบหลักก็คือซิลิกา ซึ่งมีช่วงอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 85-99 นอกจากนั้นยังมี Al_2O_3, Na_2O, K_2O, CaO และอื่นๆปริมาณซิลิกาและมลทินเหล่านี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่เพาะปลูกข้าว ชนิดของข้าวและปุ๋ยที่ใช้ด้วย ดังตัวอย่างแสดงปริมาณออกไซด์ต่างๆในแกลบที่ผ่านการเผาแล้วในตารางที่ 1

ตารางที่1 แสดงปริมาณออกไซด์ต่างๆในแกลบที่ผ่านการเผาแล้ว

ออกไซด์(ร้อยละ)	แกลบดิบเผาที่ 650 C°	แกลบดิบผ่านการล้างและเผาที่ 650 C°
SiO_2	95-96	98.5-99.5
Al_2O_3	1-1.5	0.5-0.8
Fe_2O_3	0.5-0.8	0.05
CaO	0.2-0.5	0.05
Na_2O	0.1-0.2	0
K_2O	1.3-1.5	0.1-0.3
MgO	0.3-0.5	0
Specific surfare area(m^2/g)	15-30	250-350

หมายเหตุ:แกลบที่ทำการวิเคราะห์นี้เป็นข้าวหอมมะลิแหล่งอำเภอเสาไห้จังหวัดสระบุรี เถ้าแกลบนอกจากใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิกแล้วซิลิกาจากแกลบยังสามารถใช้ทดแทนซิลิกาที่มาจากแหล่งแร่ตามธรรมชาติได้ในอุตสาหกรรมพลาสติก, ยาง และโพลิเมอร์ โดยเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงใช้เติมลงในพวกจารบี, สี, หมึก และเครื่องสำอางเพื่อช่วยเพิ่มความหนืดใช้เติมในยาสีฟันเพื่อเป็นสารขัดถูเป็นต้น (ดชินท์ สายอินทวงศ์,2552 : 1-2)

อิฐทนไฟ คือ อิฐที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูงเกินกว่า 1,300 องศาเซลเซียส อิฐทนไฟมี 2 ชนิดคือ อิฐหนักและอิฐเบา เหมาะสำหรับใช้สร้างเตาเผาหรือเตาถลุงเหล็ก อิฐหนักเรียกสั้นๆว่าอิฐทนไฟ ส่วนอิฐเบาเรียกว่าอิฐฉนวน อิฐทนไฟยังแบ่งออกเป็นหลายประเภทคือ อิฐทนไฟซิลิกาสูง , อิฐดินทนไฟ, อิฐทนไฟอะลูมินาสูง,อิฐทนไฟโครม,อิฐทนไฟแมกนีเซีย,อิฐทนไฟโครมแมกนีเซีย และอิฐฉนวนทนไฟ โดยเฉพาะอิฐทนไฟฉนวนหรือที่เรียกว่าอิฐเบา ใช้ในการสร้างเตาเผาให้ประโยชน์หลายอย่างคือ สูญเสียเชื้อเพลิงในการเผาน้อยลง สามารถเปิดเตาเผาเอาผลิตภัณฑ์ออกได้เร็วขึ้น อิฐมีรูพรุนสามารถตัดแต่งได้ง่าย และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันได้ดีกว่าอิฐตัน อิฐทนไฟชนิดนี้ทำจากดินขาวเกาลิน หรือดินขาวบริสุทธิ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของอะลูมินาอยู่ระหว่าง 37-39 % นอกจากดินขาวแล้วยังมีดินดำ และขี้เลื่อยร่อนละเอียดผสมในเนื้อดิน หลังการเผาเศษขี้เลื่อยจะถูกเผาไหม้หมดกลายเป็นรูพรุนเล็กๆอยู่ในเนื้ออิฐ รูพรุนเล็กๆเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันไม่ให้ความร้อนออกไปสู่ด้านนอก ตัวอย่างอิฐทนไฟฉนวนของศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

ดินเกาลิน(ระนอง)	40-50	%
ดินบอลเคลย์(สุราษฎร์)	25-30	%
ขี้เลื่อยร่อน	15-20	%

(ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์.2541: 212-215)

จากตัวอย่างสูตรส่วนผสมของอิฐทนไฟฉนวนของศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดลำปาง จะเห็นได้ว่าใช้ดินเกาลินมากถึงร้อยละ 50 ดินบอลเคลย์ร้อยละ 30 ซึ่งดินทั้งสองชนิดเป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียว เป็นสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกต Alyminium Silicate ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 :3) จากผลวิเคราะห์ทางเคมีดินขาวระนองหลังเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส พบว่ามี ซิลิการ้อยละ 54.5 อะลูมินาร้อยละ 41.3 และผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินบอลเคลย์สุราษฎร์พบว่ามีซิลิการ้อยละ 50.94 อะลูมินาร้อยละ 31.70 (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์,2541 : 46 - 53) อิฐทนไฟฉนวนระดับชั้นคุณภาพที่สามารถทนความร้อนอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส ราคาจำหน่ายตามท้องตลาดก้อนละ 120 บาท ซึ่งถือว่ามีราคาสูงสำหรับผู้ประกอบการเซรามิกส์และผู้ใช้งานอิฐทนไฟระดับท้องถิ่น ที่มีทุนน้อยทำให้ไม่สามารถนำมาสร้าง

เตาเผาเซรามิกส์ได้ ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่า เถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง และมีอยู่มากในท้องถิ่น เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี สามารถนำมาพัฒนาเป็นอิฐทนไฟฉนวนที่มีราคาถูกกว่าท้องตลาดได้ จากสูตรส่วนผสมของอิฐทนไฟฉนวนดังกล่าวข้างต้น

ทางผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะพัฒนาสูตรส่วนผสมของอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบหลักในสูตรส่วนผสม เพื่อผลิตอิฐทนไฟฉนวนราคาถูก และสามารถใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนเผาอิฐมอญได้อย่างคุ้มค่า ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งของท้องถิ่นอย่างคุ้มค่าต่อเนื่องและยั่งยืนตลอดไป

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน
2. เพื่อผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากตารางสามเหลี่ยม

1.1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงจางตารางสามเหลี่ยมจำนวน 36 ตัวอย่าง

1.2 ตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

1.2.1 ตัวแปรต้น คือ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนจากตารางสามเหลี่ยม

1.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

1.2.2.1 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนก่อนเผา ได้แก่

1.2.2.1.1 ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด

1.2.2.1.2 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

1.2.2.1.3 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

1.2.2.2 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนหลังเผา ได้แก่

1.2.2.2.1 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.4 ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.5 สีของเนื้อดินปั้นหลังเผา

2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

2.1 การคัดเลือกสูตรส่วนผสมสำหรับผลิตอิฐทนไฟฉนวนคัดเลือกจากสูตรส่วนผสมที่มีสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน เหมาะสมที่สุด โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผา ความหนาแน่นและสี ของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2

2.2 การขึ้นรูปอิฐฉนวนทนไฟใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ขนาดแรงอัด 3 ตัน/ตร.ซม. ให้มีขนาดใกล้เคียงกับอิฐทนไฟฉนวน ARM C2

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่

1.1.1 เถ้าแกลบ

1.1.2 อะลูมิเนียมออกไซด์

1.1.3 ดินดำสุราษฎร์

1.1.4 ดินเบนโทไนต์

1.1.5 ขี้เลื่อย

1.2 การขึ้นรูปชิ้นทดลอง สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพใช้วิธีการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

1.3 เผาทดลองด้วยเตาแก๊สทางเดินลมร้อนลงที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

1.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

1.4.1 ทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

1.4.2 ทดสอบความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผาและหลังเผา

1.4.3 ทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผาและหลังเผา

1.4.4 ทดสอบความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น

1.4.5 ทดสอบความทนไฟของเนื้อดินปั้น

1.4.6 ทดสอบสีของเนื้อดินปั้น

2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

2.1 การคัดเลือกสูตรส่วนผสมสำหรับผลิตอิฐทนไฟฉนวนคัดเลือกจากสูตรส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน เหมาะสมที่สุด โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผา ความหนาแน่น และ สี ของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2

2.2 การขึ้นรูปอิฐทนไฟฉนวนใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาดแรงอัด 300 กก./ตร.ซม. โดยให้มีขนาดเท่ากับอิฐทนไฟฉนวน ARM C2

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ผลการวิจัยได้สูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสม

2. ผลการวิจัยได้อิฐทนไฟฉนวนที่ใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสม

3. ผลการวิจัยจะเป็นข้อมูลในการใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในการผลิตเซรามิกส์สำหรับสถานประกอบการทางด้านเซรามิกส์และสถานประกอบการผลิตอิฐทนไฟฉนวนในเชิงพาณิชย์ได้

4. ผลการวิจัยทำให้เห็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบในลักษณะอื่นๆได้เช่นใช้เป็นส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน อิฐดินซิเมนต์ เป็นต้น

5. ผลงานวิจัยสามารถนำไปเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการได้

นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ใช้คำศัพท์ต่างๆ ในความหมายดังนี้

1. ขี้เถ้าแกลบ หมายถึง วัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาอิฐมอญโดยใช้แกลบเป็นชื้อเพลิง ลักษณะสีขาวปนดำและมีปริมาณของซิลิกาสูง

2. คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ปรากฏผลจากการทดลอง ได้แก่ ความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผาและหลังเผา ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผาและหลังเผา ความทนไฟของเนื้อดินปั้น ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น สีของเนื้อดินปั้น ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด

2.1 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผา หมายถึง ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่เล็กลงไปจากเดิมภายหลังจากการนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละ

2.2 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา หมายถึง ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่เล็กลงไปจากเดิมภายหลังการเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละ

2.3 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผ และหลังเผา หมายถึง ความทนทานต่อแรงกดที่กระทำกับเนื้อดินปั้น หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg / cm^2)

2.4 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น หมายถึง ความสามารถในการคงรูปเดิมของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส

2.5 ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น หมายถึง มวลต่อปริมาตรของเนื้อดินปั้นหลังผ่านการเผา มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

2.6 สีของเนื้อดินปั้น หมายถึง สีของเนื้อดินที่ปรากฏให้เห็น ภายหลังการเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส

2.7 ความสามารถการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด หมายถึง การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยนำส่วนผสมของเนื้อดินปั้น มาเทลงในแบบพิมพ์โลหะและอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

3. อิฐทนไฟฉนวน ARM C2 หมายถึง อิฐทนไฟฉนวนชนิดเบาที่มีชื่อทางการค้าว่า “ARM C2” สามารถทนความร้อนได้ถึง 1,400 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับสร้างเตาเผาเซรามิกส์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง "การพัฒนาอิฐทนไฟฉนวนจากเถ้าแกลบ " ผู้วิจัยได้วางกรอบในการศึกษาข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยต่างๆดังนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเถ้าแกลบ
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอิฐทนไฟ
3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผา
   - 3.1 ความหมายของเครื่องปั้นดินเผา
   - 3.2 วัตถุดิบที่ใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา
   - 3.3 เนื้อดินปั้น
   - 3.4 การหาส่วนผสมของวัตถุดิบ
   - 3.5 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
4. เตาเผาและการเผา
5. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
6. การทดสอบวัสดุ
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเถ้าแกลบ

เถ้าแกลบ (Rice Hull)

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2537 : 154) กล่าวว่า เถ้าแกลบมีปริมาณของซิลิกาอยู่สูงหากนำไปใช้ทำเคลือบโดยลำพังเคลือบจะทนไฟเกินไปไม่หลอมละลายดังนั้นช่างปั้นชาวญี่ปุ่นจึงนิยมใช้ขี้เถ้าจากแกลบในสูตรเคลือบแทนควอทซ์หรือซิลิกาจากเคมี ผลวิเคราะห์ทางเคมีของขี้เถ้าแกลบประกอบด้วย SiO_2 96.00% ,Al_2O_3 1.00 % , Fe_2O 0.04 % ,CaO 0.48 %, MgO 0.22 %, K_2O 0.90 %, Na_2O 0.26 %, P_2O_5 0.02 %, MnO 0.19 %

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2552 : 1) กล่าวว่า โดยทั่วไปขี้เถ้าที่หลงเหลือจากการเผาวัสดุไม่ใช่สิ่งที่น่าสนใจนัก ยกเว้นเถ้าแกลบ เพราะนักวิทยาศาสตร์พบว่า ในเถ้าแกลบมีซิลิกา (Silica,

4. ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสีเคลือบทั้งเป็นวัตถุดิบที่ให้ SiO_2 และยังให้คาร์บอนเพื่อช่วยให้เคลือบที่ต้องการเผาแบบรีดักชั่นมีสีที่สวยงามขึ้น

5. แกลบเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตเซรามิกที่ใช้ทำวัสดุขัดถู เช่น SiC, Si_3N_4

6. ซิลิกาจากแกลบใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ Mullite ซึ่งเป็นวัสดุที่สำคัญทางวัสดุทน ไฟ ในการผลิตแผ่นรองเผา(Kiln furniture) , ตัวรองสำหรับวงจรอิเลคโทรนิค (Substrate) ปลอก Thermo Couple, Ceramic Roller

7. ซิลิกาจากแกลบยังสามารถนำมาเผาต่อที่อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็น Cristobalite โดยใช้อุณหภูมิในการเปลี่ยนโครงสร้างจากอสัณฐานไปเป็นรูปผลึกของ Cristobalite ที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเปลี่ยน Phase ของ Cristobalite จาก Quartz

8. ซิลิกาจากแกลบสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นธาตุซิลิคอนเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผงโซล่าเซลสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

9. อุตสาหกรรมผลิตอิฐแบบชาวบ้านใช้แกลบดิบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐ นอกจากนี้ในปัจจุบันโรงงานผลิตปูนซีเมนต์บางโรงได้ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงควบคู่ไปกับถ่านหินเพื่อลด%ซิลิกาในสูตรลง โดยชดเชยด้วยปริมาณซิลิกาที่ได้จากแกลบนั่นเอง

นอกจากอุตสาหกรรมเซรามิกแล้วซิลิกาจากแกลบยังสามารถใช้ทดแทนซิลิกาที่มาจากแหล่งแร่ตามธรรมชาติได้ในอุตสาหกรรมพลาสติก, ยาง และโพลิเมอร์ โดยเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงใช้เติมลงในพวกจารบี, สี, หมึก และเครื่องสำอาง เพื่อช่วยเพิ่มความหนืด ใช้เติมในยาสีฟันเพื่อเป็นสารขัดถูจะเห็นได้ว่าแกลบที่เรามองข้ามมาตลอด หรือใช้ประโยชน์เป็นแค่เพียงปุ๋ย และเชื้อเพลิงนั้น จริงๆแล้วแกลบมีคุณค่ามากกว่านั้นมากนัก ซึ่งในประเทศเราที่มีพื้นที่ปลูกข้าวอยู่มหาศาล เราจึงมีแกลบมาใช้เป็นวัตถุดิบที่จะแปลงให้เป็นเงินได้อย่างมากมาย

สิริลักษณ์ เจียรากร(2552 : 1-2) กล่าวว่า วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวในแต่ละขั้นตอน โดยเฉพาะในขั้นตอนของการสีข้าวเปลือก ซึ่งจะมีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งในปริมาณค่อนข้างมากเฉลี่ยในแต่ละปีจะมีปริมาณแกลบเหลือทิ้งถึงปีละกว่า 7 ล้านตัน แกลบ วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวเปลือกนั้น นับได้ว่าได้สร้างปัญหาให้กับสังคมและสิ่งแวดล้อมมาก แม้ว่าจะได้มีความพยายามที่จะนำแกลบไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล อาหารสัตว์ วัสดุปรับปรุงดิน วัสดุเพาะกล้าไม้ แต่ยังมีแกลบอีกจำนวนมากที่ต้องนำไปกำจัด ซึ่งปัจจุบันใช้วิธีฝังกลบซึ่งทำให้เกิดปัญหามลภาวะทั้งทางน้ำและอากาศ ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างของแกลบ พบว่าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบถึง 30% และสามารถสกัดออกมาเพื่อนำไปใช้ทดแทนซิลิกาทางการค้าได้ จากองค์ความรู้นี้นอกจากจะลดปริมาณแกลบที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแกลบอีกด้วย เพราะนักวิทยาศาสตร์ได้นำซิลิกาจากแกลบ

อิฐดินทนไฟ (Fire Clay Brick) เป็นอิฐที่ทำจากดินทนไฟ นิยมใช้ทำเตาเผาในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปเช่นอุตสาหกรรมซิเมนต์ อิฐทนไฟชนิดนี้มีคุณภาพต่างๆกันหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งาน วัสดุที่นำมาใช้ทำอิฐทนไฟ ส่วนใหญ่ใช้ดินทนไฟ ซึ่งองค์ประกอบหลักของดินทนไฟคือ เกาลินไนท์ เกือบไม่ได้ผสมวัตถุดิบอื่นเพิ่มเติม นอกจากดินเชื้อ ผลิตจากดินทนไฟที่เผาแล้วเพื่อลดการหดตัว ช่วยในการผึ่งแห้ง และเผาอิฐได้สุกตัวเร็วขึ้น ในปัจจุบันการผลิตอิฐดินทนไฟนิยมอัดด้วยดินฝุ่นที่มีความชื้น ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่มีกำลังอัดสูง

อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Brick) เป็นอิฐทนไฟที่มี อะลูมินาและซิลิกา เป็นองค์ประกอบและมีอะลูมินามากกว่า 45 %ขึ้นไป อิฐทนไฟอะลูมินาสูงจะมีความทนไฟตั้งแต่ โคน 35 ขึ้นไป หรืออุณหภูมิประมาณ 1,780 องศาเซลเซียส ขึ้นไป อิฐทนไฟอะลูมินาสูงมีโครงสร้างของ Corumdum และมัลไลท์ที่เป็นรูปแข็มประกอบอยู่ด้วย จึงมีความทนทานต่อการใช้งานดี มีความทนไฟภายใต้อุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติต่อต้านการกัดกร่อน และมีค่าการนำความร้อนที่ดีเหมาะสำหรับการใช้งานในอุณหภูมิสูง อิฐทนไฟอะลูมินาสูงนิยมนำไปใช้ทำ กำแพง หลังคา และส่วนอื่นๆของ เตาเผา เตาหลอมโลหะที่ไม่มีแร่เหล็กเจือปน นอกจากนี้ยังนิยมนำไปใช้ก่อสร้างในส่วนของบริเวณความร้อนสูงของเตาเผาชนิดอื่นๆ

อิฐทนไฟโครม(Chrome) เป็นอิฐทนไฟที่ใช้กันระหว่างอิฐทนไฟประเภทกรดและอิฐทนไฟประเภทด่างเพื่อป้องกันไม่ให้ทำปฏิกิริยากัน เช่น ใช้กับเตาหลอมเหล็ก และอื่นๆ ปัจจุบันนี้อิฐทนไฟโครมไม่ค่อยนิยมใช้กันแล้ว จะนิยมใช้อิฐโครมแมกนีเซียแทน เนื่องจากว่าอิฐทนไฟโครมไม่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ และมีความต้านทานต่อแรงกดที่อุณหภูมิสูงได้น้อย และจุดอ่อนอีกอย่างหนึ่งของอิฐทนไฟประเภทนี้คือ จะเกิดการขยายตัว และแตกร้าวได้ง่ายถ้ามีผงเหล็กเข้าไปในเนื้ออิฐ

อิฐทนไฟแมกนีเซีย (Magnesia Brick) เป็นอิฐทนไฟประเภทด่างเหมือนกับอิฐทนไฟโดโลไมท์ ซึ่งมีความทนทานต่อโลหะที่หลอม ขี้โลหะและอื่นๆได้ดี อิฐประเภทนี้นิยมนำไปใช้กับเตาหลอมเหล็ก อิฐทนไฟแมกนีเซีย ส่วนผสมหลักใช้แมกนีเซียคลิงเกอร์ (Magnosia Clinker) สำเร็จที่ได้มาจากน้ำทะเล หรือได้มาจากแมกนีไซท์ ธรรมชาติ

อิฐทนไฟโครมแมกนีเซีย(Chrome-Magnesia Brick) ทำจากวัตถุดิบพวกโครไมท์ และแมกนีเซียคลิงเกอร์ อิฐชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขจุดอ่อนของอิฐทนไฟโครม และอิฐทนไฟแมกนีเซีย คุณสมบัติของอิฐโครมแมกนีเซียขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของ โครไมท์และแมกนีเซียคลิงเกอร์ เช่น ถ้ามีอัตราส่วนผสมของแมกนีเซียมากจะมีค่าความทนไฟภายใต้น้ำหนักสูง การขยายตัวสูงเมื่อถูกความร้อนและต้านทานต่อขี้โลหะได้ดี

อิฐฉนวนทนไฟ (Insulating Brick) อิฐเบาหรืออิฐทนไฟฉนวนได้พัฒนาจากเนื้อดินสูตรผสมของอิฐเพื่อใช้ในอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดประโยชน์หลายอย่างในการสร้างเตาเผา คือ สูญเสียเชื้อเพลิงในการเผาน้อยลง สามารถเปิดเตาเอาผลิตภัณฑ์ออกได้เร็วขึ้น อิฐมีรูพรุนสามารถตัดแต่งได้ง่าย ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันได้ดีกว่าอิฐตันแต่มีข้อเสียคือรับน้ำหนักแรงกดไม่ได้ ไม่ทนทานต่อแรงกระแทกหรือขุดขีด อิฐทนไฟชนิดนี้ทำจากดินขาวเกาลิน หรือดินขาวบริสุทธิ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของอะลูมินาอยู่ระหว่าง 37-39 % นอกจากดินขาวแล้วยังมีดินดำ และขี้เลื่อยร่อนละเอียดผสมในเนื้อดิน เพื่อให้เกิดความพรุนตัวหลังเผา รูพรุนเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันไม่ให้ความร้อนภายในเตาเผากระจายออกไปตามผนังเตาเผาสู่ด้านนอกในขณะที่เผา ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง คุณสมบัติของอิฐเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุดิบที่ใช้ผลิตและอุณหภูมิในการเผา อิฐที่เผาอุณหภูมิสูงจะหนักและมีค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น ความเป็นฉนวนของอิฐจะลดน้อยลง

เนื้อดินอิฐฉนวนทนไฟ อิฐฉนวนใช้วัตถุดิบดินขาวบริสุทธิ์ หรือดินขาวเกาลินที่มีอะลูมินาสูง 37-39 % มีค่าความทนไฟ 1,770 องศาเซลเซียส ดินเหนียวที่ใช้ควรมีความบริสุทธิ์ มีค่างหรือหินฟันม้าน้อยและมีอะลูมินาสูง เป็นดินที่มีค่าความทนไฟสูงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีดินเชื้อเผาแล้ว โดยการเผาดินขาวในอุณหภูมิสูง 1,250 องศาเซลเซียส บนและร่อนเป็นเม็ดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช และขี้เลื่อยร่อนเอาเศษไม้ชิ้นเล็กๆออก

ตัวอย่างสูตรส่วนผสมอิฐฉนวนทนไฟของศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบฯจ.ลำปางเผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน (OF)

ดินเกาลิน(ระนอง)	40-50	%
ดินบอลเคลย์(สุราษฎร์)	25-30	%
ขี้เลื่อยร่อน	15-20	%

ตัวอย่างฉนวนโรงงานพิเชษฐ์อุตสาหกรรม จ.ลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน (OF)

อะลุมินาผง	40	%
มอร์ต้า HM.43	50	%
ดินเหลืองอะลูมินาสูงทนไฟ	10	%
(เพิ่มขี้เลื่อยไม้ฉำฉาร่อนเอาเศษไม้ออก	10	%

การขึ้นรูปอิฐฉนวนทนไฟ ใช้แบบไม้ อัดด้วยมือทีละก้อน ควรทดสอบความหดตัวของเนื้ออิฐก่อนทำแบบพิมพ์ด้วยไม้ อิฐทุกก้อนจะต้องมีมาตรฐานภายหลังการเผาขนาด 9" x 4 ½" x 2 ½" หรือ 9" x 4 ½" x 3" การขึ้นรูปอิฐฉนวนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ที่สามารถปรับกำลังแรงอัดได้ จะได้อิฐที่มีคุณภาพดี

การเผาอิฐ ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ทุกชนิดที่เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ หรือขึ้นรูปด้วยเนื้อดินที่มีขนาดหนาเกินกว่า 1 " ขึ้นไป จะต้องเผาช้า การเผาอิฐก็เช่นกันจะต้องเผาช้าๆ เพราะอิฐแต่ละก้อนมีความหนาเกิน 3" ก่อนการเผา ถ้าเผาเร็วด้านในอิฐจะไม่สุก อิฐเนื้อแน่น (Solid Brick) สามารถเผาสุกตัวได้เร็วกว่าอิฐที่มีเนื้อพรุน อิฐเนื้อแน่นสามารถเผาได้สุกตัวในระยะเวลาไม่เกิน 72 ชั่วโมง แต่อิฐฉนวนที่มีรูพรุนอาจจะต้องเผานานถึง 144 ชั่วโมง เนื่องจากรูพรุนในเนื้ออิฐสกัดกั้นไม้ให้ความร้อนเข้าไปถึงเนื้อในอิฐได้ง่าย อุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศการเผาสันดาปสมบูรณ์ตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการเผา

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ,(2539 : 489-490) กล่าวว่า วัตถุทนไฟในสมัยแรกๆใช้ Sand Stone หรือ Mica Schist ในเตาแปรรูปร่างแท่งเหล็ก ต่อมาเริ่มมีการใช้ดินทนไฟผลิตอิฐทนไฟซึ่งนับว่าเป็นการเริ่มอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง

วัตถุทนไฟที่ใช้ในงานหนัก (Heavy Refractories) ได้แก่อิฐรูปร่างแบบต่างๆใช้สำหรับการก่อสร้างเตา มีความพรุนตัวระหว่าง 10 ถึง 25 % มีจุดหลอมตัวสูงกว่า 1,400 องศาเซลเซียส วัตถุทนไฟกลุ่มนี้ที่มีความสำคัญ ได้แก่ วัสดุทนไฟชนิดดินทนไฟ (Fire Clay) ชนิดมีเปอร์เซ็นต์อะลูมินาสูง (High Alumina) ชนิดซิลิกา(Silica) และชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง(Basic)

Fire Clay Brick อิฐชนิดนี้ผลิตโดยใช้ส่วนผสมระหว่างดินเหนียวทนไฟ และดินที่มีฟลินต์เป็นส่วนประกอบสูง หรือใช้ดินเหนียวทนไฟผสมกับดินทนไฟที่ได้เผามาแล้ว (Grog) อิฐทนไฟกลุ่มนี้มีประมาณ 10 ชั้นคุณภาพ แบ่งตามคุณสมบัติการหลอมตัวหรือความสามารถในการทนไฟและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตอิฐชนิดนั้นๆ

High Alumina Brick อิฐกลุ่มนี้จะมีอะลูมินาระหว่าง 50 ถึง 99 % ทำให้อิฐมีจุดหลอมตัวสูง กว่าอิฐดินทนไฟ อิฐกลุ่มนี้จึงสามารถใช้ในเตาตรงจุดที่อุณหภูมิสูง ผลิตจากวัตถุดิบพวก Diaspore หรือ Bauxite วิธีการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตอิฐทนไฟชนิดแรก แต่การเผาอิฐเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า

Silica Brick อิฐกลุ่มนี้ผลิตจาก Ganister Rock ผสมกับ 2% ถึง 3% ปูนขาว การเผาอิฐต้องทำช้าๆมักเผาในเตาเป็นครั้งคราว ใช้ประโยชน์สำหรับก่อสร้างเตาผลิตถ่านโค๊กและสร้างหลังคาเตา

Basic Brick ได้แก่กลุ่ม $MgCO_3$, $MgCO_3$- Cr_2O_3 , MgO อาจผลิตจากน้ำทะเล $MgCO_3$ เมื่อเผาจะได้ MgO + CO_2 CO_2 จะกลายเป็นแก๊สออกไป วิธีการผลิตแบบเดียวกับการผลิตอิฐอื่นๆ แต่การเผาจะเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ใช้ประโยชน์ในเตาถลุงโลหะทนการกัดกร่อนของขี้ถลุงได้ดี

อิฐฉนวนทนไฟ (Insulating Firebrick) อิฐทนไฟชนิดนี้ผลิตจากดินทนไฟที่มีความพรุนตัวสูง ดินขาว ดินที่มีอะลูมินาสูง รูพรุนโดยการผสมขี้เลื่อยลงในส่วนผสม หลังจากเผาอิฐ ขี้เลื่อยจะถูกขจัดออกไปเหลือรูพรุนไว้ อิฐชนิดนี้มีประโยชน์หลายประการ ดังนี้

1. ทำให้เตาเผามีผนังเตาบางลง โดยมีการสูญเสียพลังความร้อนเท่ากับเตาสมัยก่อนซึ่งต้องใช้ผนังเตาหนากว่า
2. ทำให้ผนังเตาอมความร้อนได้น้อยลง สามารถเผาได้เร็วขึ้น
3. ทำให้เตาต้องการเชื้อเพลิงน้อยลง
4. ช่วยลดพื้นที่ก่อสร้างเตา เนื่องจากผนังเตาบางลงมาก

ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์,(2538 : 193) กล่าวว่า อิฐทนไฟที่ใช้สำหรับการเผาอุณหภูมิสูงๆ จะมีน้ำหนักมากและแน่น จึงเป็นฉนวนความร้อนที่ไม่ดีนัก ทำให้เตาเผาเก็บความร้อนไม่ดี นอกจากนี้ยังมีราคาที่ค่อนข้างสูง แต่ก็มีข้อดีคือ เตามีความแข็งแรงและอายุการใช้งานยาวนาน จึงนิยมใช้อิฐชนิดนี้เป็นกำแพงภายในเตาเผา นอกจากนี้ ยังใช้เป็นกำแพงภายในของเตาเคลือบเกลือและเตาฟืน เนื่องจากมีความคงทนต่อไอระเหยของเกลือและเคลือบที่เกิดจากขี้เถ้า เตาเผาที่ใช้อิฐทนไฟชนิดนี้เป็นผนังเตาจะใช้เวลาในการเผานาน เนื่องจากตัวอิฐจะต้องสะสมความร้อนให้สูงขึ้นเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกเผาภายในเตาเผาด้วย ต่อมาได้มีการนำอิฐฉนวนความร้อนที่มีความพรุนตัวสูง หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่าอิฐทนไฟเบาหรืออิฐโฟม นิยมนำมาใช้เป็นผนังและหลังคาเตาหรือใช้เป็นฉนวนความร้อนให้กับอิฐทนไฟชนิดหนักก็ได้ และไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่เตามากเท่าอิฐทนไฟชนิดหนัก เนื่องจากอิฐมีความพรุนตัวสูง เนื้ออิฐมีความโปร่ง การตัดแบ่งอิฐก็ทำได้โดยง่าย เพราะเนื้ออิฐอ่อน สามารถใช้เลื่อยตัดได้สะดวก การตัดควรเลือกใช้เลื่อยที่สามารถเปลี่ยนใบเลื่อยได้ เนื่องจากการใช้เลื่อยกับอิฐทนไฟเบาถึงแม้จะมีคุณสมบัติโปร่งเบาตัดง่าย แต่โดยเนื้ออิฐแล้วมีองค์ประกอบของสารอะลูมินาสูง จึงมีความแข็งพอจะทำให้เลื่อยสึกและหมดความคมลงได้ อิฐทนไฟมีขนาดและรูปร่างหลายแบบหลายขนาดทั้งนี้เพื่อนำมาใช้สร้างส่วนต่างๆของเตาเผาได้อย่างมั่นคงแข็งแรง โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยปูนซิเมนต์เป็นตัวต่อเชื่อม

โกมล รักษ์วงศ์, (2531 :143-144) กล่าวว่า อิฐฉนวนความร้อนจะทำมาจากวัตถุดิบที่ใช้ทำอิฐทนไฟและวัตถุดิบที่ทนความร้อนแต่จะต้องทำให้มีความพรุนตัว ถ้าหากอยู่ในรูปของอิฐจะ

สามารถรับความร้อนที่แตกต่างกันได้มากพอสมควรระหว่างหน้าสัมผัสความร้อนกับหน้าที่ไม่สัมผัสความร้อน วัตถุดิบที่ใช้สำหรับทำอิฐชนิดนี้ได้แก่ ดินขาว (Kaolin) หรือแร่Kaolinite,Silica, Alumina,Silimanite,Dolomite ,Chromite,Chrome Magnesite,Magnisite,Zircon เป็นต้น จะใช้วัตถุดิบเหล่านี้ผสมทำอิฐและทำให้อิฐเกิดความพรุนตัวโดยการใช้วัตถุดิบที่เป็นสารอินทรีย์นำไปเป็นส่วนผสมเพื่อให้เกิดความพรุนตัว วัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ ขี้เลื่อย โฟม ขี้เถ้า แกลบ ผงคาร์บอน เป็นต้น

สรุปได้ว่าอิฐทนไฟคืออิฐที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูงเกินกว่า 1,300 องศาเซลเซียสขึ้นไป อิฐทนไฟมี 2 ชนิด คือ อิฐหนักและอิฐเบา เหมาะสำหรับใช้สร้างเตาเผาหรือเตาถลุงเหล็ก อิฐหนักเรียกว่า อิฐทนไฟ ส่วนอิฐเบาเรียกว่าอิฐฉนวน อิฐทนไฟยังแบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ อิฐทนไฟซิลิกาสูง อิฐดินทนไฟ อิฐทนไฟอะลูมินาสูง อิฐทนไฟโครม อิฐทนไฟแมกนีเซีย อิฐทนไฟโครมแมกนีเซีย อิฐฉนวนทนไฟ เป็นต้น

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผา

ความหมายของเครื่องปั้นดินเผา

นักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายของคำว่า "เครื่องปั้นดินเผา" หรือ คำว่า "เซรามิกส์" (Ceramics) ดังต่อไปนี้

ทวี พรหมพฤกษ์(2523 : 1) กล่าวว่า เครื่องปั้นดินเผาหมายถึง ผลิตภัณฑ์นานาชนิดที่ทำจากดินและหิน โดยผ่านกรรมวิธีเผา (Firing Precess) ทำให้มีความแข็งแกร่ง (Strength) มีความคงทนถาวร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอนินทรีย์สาร อโลหะ (Inorganic Non Metallic Materials) ได้แก่ แร่ชาตุดิน หินต่างๆในสมัยโบราณกรีกเรียกว่า เดรามอส (Keramos) แปลว่า สิ่งที่ถูกเผา (Burnt – stuff) มีความหมายทำนองเดียวกันและตรงกับภาษาอังกฤษว่า เซรามิกส์ (Ceramics) ผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์มีความหมายรวมไปถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆเช่น อุตสาหกรรมการทำแก้ว (Glass) ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโลหะเคลือบ(Enamel) ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทำซิเมนต์ ปูนขาว ปูนพลาสเตอร์ (Cement,Lime,Plaster) ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ (Refractories) และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสิ่งขัดถู (Abrasive)

บริษัท โอสถสภา(เด็กเฮงหยู) จำกัด(2530 : 11) กล่าวว่า เครื่องถ้วยตรงกับภาษาอังกฤษคำว่า "เซรามิค" (Ceramic) หมายถึงเครื่องปั้นดินเผาทุกชนิดทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบ ปัจจุบันคำว่า "เซรามิค " สามารถครอบคลุมถึงโลหะเคลือบ เช่น ช้อนสังกะสี ตลอดจนแก้วทุกชนิด

โกมล รักษ์วงศ์(2531 : 1) กล่าวว่า คำว่า เซรามิกส์ (Ceramics) มาจากรากศัพท์เดิมว่า "เคราเมอส" (Karamos) ซึ่งเป็นภาษากรีกและภาษาสันสกฤต มีความหมายว่าการนำเอาสารอนินทรีย์ไปทำการเผาในอุณหภูมิสูง

อนันต์ภักดิ์ โชติมงคล(2538 : 52) กล่าวว่า คำว่าเซรามิกส์ มีความหมายกว้างขึ้น ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่เราไม่เคยทราบมาก่อน เช่น ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์เครื่องไฟฟ้า (Electrical Parts) อุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (Nuclear) วัสดุทนความร้อนสูง (High Temperature Materials) แก้ว (Glass) โลหะเคลือบ (Enamal) ซิเมนต์ (Cement) เป็นต้น

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ(2539 : 1) กล่าวว่า ปัจจุบัน "เซรามิกส์" มีความหมาย 2 ประการ คือ ประการแรก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งกรรมวิธีการผลิตต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง ส่วน ความหมายประการที่สอง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดหรือส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนเปลือกโลก

มรดกไทย(2542 : 15) กล่าวว่า "เครื่องปั้นดินเผา"หมายถึง สิ่งที่ทำด้วยดินเป็นรูปทรงต่างๆ สิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ แล้วนำมาเผาเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งควรจะตรงกับภาษาอังกฤษว่า Ceramic ที่มีความหมายกว้างขวาง ครอบคลุมทั้งเครื่องปั้นดินเผาทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบ รวมทั้งโลหะเคลือบ เช่น ช้อนสังกะสี กระเบื้อง อิฐ ตลอดจนแก้วทุกชนิด

อารี ธนบุญสมบัติ(2544 : 10) กล่าวว่า เซรามิกส์เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นของแข็งที่ไม่ใช่โลหะ พลาสติก หรือวัสดุที่ทำจากพืช และสัตว์นั้นเอง

สมชัย ว่องอรุณ(2544 : 1) กล่าวว่า การแบ่งประเภทอุตสาหกรรมเซรามิกส์ แบ่งกว้างๆ ได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. Treditional Ceramics ได้แก่ กระเบื้องปูพื้น ปิดผนัง และโมเสค เครื่องสุขภัณฑ์ ถ้วยชาม ทำด้วยเซรามิกส์ ของชำร่วย และเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นต้น

2. New Ceramics เป็นเซรามิกส์ที่ต้องรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ Cutting Tools, Ceramic Fiber, Ceramic Engineer Parts, Coating Film รวมทั้งเซรามิกส์จำพวกชิ้นส่วนอีเลคทรอนิคส์ ฯลฯ

จึงสรุปได้ว่า เครื่องปั้นดินเผา หรือ เครื่องถ้วย ตรงกับภาษาอังกฤษคำว่า Ceramics มีรากศัพท์ว่า Karamos มาจากภาษากรีกและภาษาสันสกฤต หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดินและหินหรือทำจากอนินทรีย์สารและผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีความแข็งแกร่ง คงทนถาวร และมีความหมายรวมไปถึงผลิตภัณฑ์ประเภทต่างแบ่งอย่างกว้างๆได้ 2 ประเภทคือ 1. Treditional Ceramics ได้แก่ กระเบื้องปูพื้น และโมเสค เครื่องสุขภัณฑ์ ถ้วยชาม และลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นต้น 2.

New Ceramics ได้แก่ เซรามิกส์ที่ต้องรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ Cutting Tools, Ceramic Fiber, Ceramic Engine Parts, Coating Film รวมทั้งเซรามิกส์จำพวกชิ้นส่วน อีเลคทรอนิกส์ เป็นต้น

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่จัดว่าเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ดิน หิน และแร่ธาตุต่างๆ แต่การที่จะคัดเลือกวัตถุดิบเหล่านั้น นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะผู้ผลิตต้องมีความเข้าใจและรู้คุณสมบัติ ส่วนประกอบต่างๆทางเคมี (Chemical Composition) ความเหนียวของดิน (Plasticity) การหดตัวของดิน (Shringkage) ตลอดจนสีของดินที่เผาแล้ว (Fire Color) ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานอันสำคัญในการนำไปใช้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของผู้ผลิต (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 56) วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ หรือเครื่องปั้นดินเผาจะได้มาจากธรรมชาติได้แก่ ดิน (Clay) หิน (Stone) ทราย (Sand) และสินแร่ต่างๆ ที่อยู่ในรูปของออกไซด์ ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ได้มาจากพื้นธรณี (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 2) สอดคล้องกับ Nagumo(1974 :19) ที่กล่าวว่า วัตถุดิบที่ใช้งานเซรามิกส์ สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1. วัตถุดิบที่มีความเหนียว (Plastic Materials) เช่น ดินขาว ดินเหนียว ดินทนไฟ
2. วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (Non-plastic Materials) เช่น ซิลิกา ดินเชื้อ (Grog) หินฟันม้า หินปูน

วัตถุดิบที่มีความเหนียว

วัตถุดิบชนิดนี้ได้แก่ดิน ดินเป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียวที่สำคัญมากที่นำมาใช้ทำส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เซรามิกส์ สามารถนำมาใช้ทำภาชนะใส่อาหาร (Table Ware) เครื่องสุขภัณฑ์ (Sanitary Ware) กระเบื้อง (Tiles) อิฐ (Bricks) วัตถุทนไฟ (Refractories) อุปกรณ์ทางไฟฟ้าเป็นต้น (Insulators) เป็นต้น เนื่องจากดินเป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียว ดินเป็นสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกต "Aluminium Silicate" ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) ในแร่ดินธรรมชาติมีสารประกอบอย่างอื่นๆปะปนอยู่มากที่เป็นสาเหตุทำให้ดินไม่บริสุทธิ์ สารเหล่านี้ได้แก่ Quartz ,Mica, Iron, Hematite, Flourite เป็นต้น (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 3) ดินที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ จำแนกตามลักษณะของดินที่นำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ดินขาว บอลเคลย์ และดินเหนียวโดยนำดินเหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิกชนิดต่างๆ (สมศักดิ์ โพธิสัตย์, 2544 : 95)

ดินขาว (Kaolin,China Clay)

ดินขาว หมายถึง ดินมีสีขาวหรือสีซีดจากทั้งในสภาพที่ยังไม่ได้เผาและเผาแล้ว ดินขาวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินกลุ่ม Kaolinite และมีความสัมพันธ์กับมัสโคไวต์ ไมกา อิลไลต์ ควอตซ์ และอาจมีมอนต์มอริลโลไนต์ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 42) และ ศิริชัย โพธิตาปนะ

(ม.ป.ป. หน้า 10) ยังกล่าวว่า ปกติแล้วในดินขาวควรจะมีปริมาณอัลคาไลน์ (Alkalies) น้อยกว่าร้อยละ 2 ปริมาณของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)น้อยกว่าร้อยละ 1 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2)อยู่ในปริมาณเล็กน้อย แหล่งดินชนิดนี้มี 2 แบบ

1. แหล่งต้นกำเนิด (Residual Deposit) ดินขาวแหล่งนี้มักพบในลักษณะเป็นภูเขาหรือที่ราบซึ่งเดิมที่เป็นแหล่งแร่หินฟันม้า เมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ (Weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือ เป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (Kaolinization) มีขั้นตอนของปฏิกิริยาดังนี้

$KAlSi_3.O_8 + H_2O \longrightarrow HAlSi_3O_8 + KOH$ ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส (Hydrolysis)

$HAlSi_3O_8 \longrightarrow HalSiO_4 + 2SiO_2$ ปฏิกิริยาการสลายตัวให้ซิลิกา (Desilication)

$2HAlSiO_4 + H_2O \longrightarrow (OH)_4Al_2Si_2O_5$ ปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำ (Hydration)

$KAlSi_3O_8$ = หินฟันม้าชนิดโปแตช (Potash Feldspar)

$(OH)_4Al_2Si_2O_5$ = แร่ดินขาว (Kaolinite)

สิ่งสกปรกที่พบเสมอในดินแหล่งนี้ คือ ซิลิกา (Silica) มีสูตรทางเคมีเป็น SiO_2 นอกจากนี้ก็มีหินฟันม้า และผลิตผลอื่นๆ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ และอาจมีสิ่งสกปรกที่อื่นที่เข้าไปปน

2. แหล่งสะสมที่ลุ่ม (Sedimentary Deposit) หมายถึง แหล่งดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรก ถูกกระแสน้ำพัดพาไป และไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม

ในประเทศไทยมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัด มีจังหวัดลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น

ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาว

ผลึกที่บริสุทธิ์ของดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น $(OH)_4Al_2Si_2.O_5$ หรือ $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ หรือ ร้อยละ 39.8 Al_2O_3 ,ร้อยละ 46.3 SiO_2 ,ร้อยละ 13.9 H_2O ดินขาวที่พบตามแหล่งมีส่วนประกอบต่างกันไปด้วยเหตุผล 2 ประการ

1. เนื่องจากในโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่กันของโลหะธาตุที่มีประจุบวก

2. เนื่องจากมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ ได้แก่ Quartz, Feldspar, Rutile, Pyrite, Tourmaline, Zircon, Hematite,Fluorite,Muscovite เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว

การทราบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว จะช่วยทำให้เราสามารถทำนายคุณสมบัติของเนื้อดินปั้น ซึ่งมีแร่ดินเหล่านั้นผสมอยู่ได้ดีพอสมควร คุณสมบัติที่เราควรจะได้ศึกษา คือ

ขนาดของอนุภาค (Particle Size) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากอันหนึ่ง เพราะว่ามันเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Plasticity) ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Dry Strength)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล และการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) กล่าวโดยทั่วไป ดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 42-51) สอดคล้องกับคำกล่าวของ อายุวัฒน์ สว่างผล(2543 : 25) กล่าวว่า ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size of Clay)จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05-10 ไมครอน ค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5 ไมครอน (1 ไมครอน เท่ากับ 10^{-4} ซ.ม.) เม็ดดินมีความสำคัญต่อความเหนียวและการหดตัวของดินเมื่อแห้งคือดินที่มีขนาดเม็ดเล็กจะมีความเหนียวมากและร้อยละการหดตัวเมื่อแห้งก็จะสูงมาก

รูปร่าง (Particle Shape) แร่ Kaolinite อนุภาคของมันมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยมมีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (Base Exchange Capacity) คุณสมบัติข้อนี้สำหรับแร่ Kaolinite มีน้อยมาก เพราะว่าในแร่นี้มีการแทนที่กันของพวกอนุมูลบวกในโครงสร้างน้อยมาก โดยเฉพาะผลึก Kaolinite ที่บริสุทธิ์จะไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลเลย มันจะแลกเปลี่ยนได้เมื่อมันเป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์ หรือมันดูดซับเอาผลึกขนาดเล็กของแร่พวก TOT หรือ Three Layer เข้าไว้ที่ผิวของมัน

คุณสมบัติเมื่อแห้ง (Drying properties) การหดตัวเมื่อแห้งของแร่ดินล้วนๆเราไม่ค่อยสนใจเพราะว่าเนื้อดินปั้นมักประกอบด้วยแร่หลายอย่าง แต่อาจกล่าวได้กว้างๆว่าดินที่ละเอียดกว่ามีการหดตัวมากกว่าดินหยาบเมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Green strength) คุณสมบัตินี้สำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อจะนำแร่ดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นซึ่งไม่มีดินเหนียวผสมอยู่เลย เพราะว่าดินขาวเท่านั้นที่จะเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรงมากน้อยเพียงไร ดินละเอียดหรือดินที่มีมอนต์มอริลโลไนต์จะให้ความแข็งแรงมากที่สุด

คุณสมบัติหลังจากเผา (Firing Properties) แร่ดินขาวมีการหดตัวมากหลังการเผา ไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวเมื่อเผาแล้วจะหดตัวประมาณ 20 ร้อยละ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2547 : 11-12)

ดินเหนียว (Ball clay) หรือดินเหนียวขาว คือ ดินที่มีแร่เคโอลิไนต์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญโดยเฉพาะพวกที่มีโครงสร้างภายในจัดอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ(Disordered Kaolinite) มีขนาดเม็ดละเอียดมาก และมักจะมีอิลไลต์ (Illite) และมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) รวมทั้งสารอินทรีย์พวกคาร์บอนปนอยู่ด้วยเสมอ สีของบอลล์เคลย์จะเป็นสีเทาอ่อนจนเกือบจะเป็นสีดำ มีความเหนียวสูง(Hight Plasticity) เมื่อเผาแล้วจะให้สีขาวหรือสีอ่อน จึงมักนำมาผสมกับดินขาว เพื่อใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความเหนียวสูง และยังให้ความแกร่งหลังเผาดี (ภาวดี อังค์วัฒนะ, ม.ป.ป. : 23) ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ในธรรมชาติจะมีสี

ต่างๆ เช่น สีเทา สีดำ เนื่องจากมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่เมื่อหลังจากการเผาแล้วจะมีสีขาว ดินชนิดนี้จะพบอยู่ในที่ราบลุ่ม มีเม็ดละเอียด มีความเหนียวดี เหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 9) ดินเหนียวมีอนุภาคเป็นแผ่นซ้อนๆกัน เวลาปั้นหรือบีบ จึงให้ความรู้สึกนุ่มและเปลี่ยนรูปได้ง่าย (บัญชา ธนบุญสมบัติ และศุภการญจน์ ดำมณี, 2544 : 22) นอกจากนี้ ชลัย ศรีสุข(2539 : 33) กล่าวว่า ดินเหนียว (Ball Clay) เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันของดินขาว ประกอบด้วยแร่ Kaolinite เป็นส่วนประกอบสำคัญ บางครั้งจะพบแร่ดินชนิดอื่นปะปนอยู่บ้าง เช่น Montmorillonite

ประโยชน์ของดินบอลล์เคลย์ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

1. ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น

2. ผลิตภัณฑ์ก่อนเผามีความแข็งแรงมากขึ้น ลดการสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาขณะเคลื่อนย้าย

3. ช่วยทำให้น้ำเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น

4. ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินปั้นขณะทำการเผา เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด (เซรามิกส์, 2545 : 59)

ในการใช้ดินเหนียวมาผสมในเนื้อดินปั้นก็มีข้อเสียบางประการอยู่ด้วย กล่าวคือ

1. ดินเหนียวมีความบริสุทธิ์ต่ำ ย่อมมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มาก เช่น มีสารประกอบของพวกอินทรีย์สาร เหล็กออกไซด์ ทิตาเนียมออกไซด์ เป็นต้น โดยเฉพาะถ้ามีสารพวกเหล็กออกไซด์และทิตาเนียมออกไซด์เจือปนอยู่มาก จะทำให้เนื้อดินมีความขาวลดน้อยลง

2. การทำผลิตภัณฑ์โปร่งแสงทำได้ยาก ถ้าหากใช้ดินเหนียวผสมปริมาณมากๆ

3. ดินเหนียวมีความหดตัวมาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสหดตัวสูงหลังจากเผาแล้วจะทำให้บิดเบี้ยวได้ง่าย (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 10)

คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

1. ขนาด ดินเหนียวมีขนาดละเอียดกว่าดินขาว ขนาดดินเหนียวจะมีขนาดละเอียดแค่ไหนและมากน้อยเพียงใดจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ คือแหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมากจะมีการเสียดสี และการบดกันตามธรรมชาติมาก ขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2. ความเหนียว กล่าวโดยทั่วไปแล้ว ดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

3. การหดตัวเมื่อแห้ง ดินเหนียวมีการหดตัวมากน้อยแตกต่างไปตามแหล่งหรือชนิดของดินเหนียวนั้น เช่น ดินเหนียวที่มี SiO_2 สูงแทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณร้อยละ 15 แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ใช้ดินเหนียวอย่างเดียวในการผสม

เนื้อดินปั้นเราสามารถที่จะทดลองผสมเนื้อดินปั้นขึ้นมาหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวที่เหมาะสมได้

4. ความแข็งแรงก่อนเผา ปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาว ดินเหนียวที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

5. คุณสมบัติหลังจากเผา ถ้าเป็นดินเหนียวล้วนๆคุณสมบัติหลังจากการเผา เป็นต้นว่ามีสีเป็นอย่างไร เนื้อดีหรือไม่อย่างไร ไม่ค่อยสำคัญนัก แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมีผลกระทบกระเทือนเมื่อผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้น ดินเหนียวบางอย่างมี Mica ประกอบอยู่ เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อเผา Mica จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้น (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 55-56)

ดินชนิดอื่นๆ

ดินแดง เป็นดินลักษณะพิเศษ คือ มีปริมาณเหล็กสูง อาจจะมีมากถึงร้อยละ 10 โดยเหล็กจะเป็นตัวทำให้จุดสุกตัวของเนื้อดินลดลงอย่างมาก ใช้ผสมในเนื้อดินสโตนแวร์ สามารถเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าดินสโตนแวร์ดินแดงเป็นดินประเภทหนึ่งที่ไม่มีชั้นหินปกคลุมสามารถเห็นได้ชัดเจน แหล่งที่พบมากคือ สุโขทัย ลำพูน เป็นต้น

ดินมาร์ล เป็นส่วนผสมของดินกับชอล์กตามธรรมชาติ มีลักษณะร่วน เนื้อต่างจากดินอื่นๆ มีส่วนประกอบเป็นพวก แคลเซียมออกไซด์ ที่เป็นตัวลดจุดสุกตัวของดินได้ดี

ดินทนไฟ เป็นดินที่มีความแข็งคล้ายหิน มีความทนไฟสูง พบเกิดหลายแหล่งต่างๆกันไป ไม่นิยมใช้ในการทำถ้วยชามเซรามิก แต่ใช้ในการทำวัสดุทนไฟ หรือ เฟอร์นิเจอร์ภายในเตา เช่น แผ่นรองผลิตภัณฑ์ในเตาเป็นต้น (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 13)

ดินเบนโทไนต์ (Bentonite) เป็นดินที่มีคุณสมบัติพิเศษในตัวของมันเมื่อใช้ในปริมาณน้อยจะเพิ่มคุณภาพความเหนียวให้แก่เนื้อดินที่ถูกเติมเช่นเดียวกับการเติมดินบอลล์เคลย์เพื่อเพิ่มความเหนียวในเนื้อดิน ดินเบนโทไนต์นิยมผสมลงในเนื้อดินปอร์ซเลน เพื่อให้เนื้อดินมีความเหนียวขึ้น แต่ถ้าเติมดินเบนโทไนต์มากเกินไปก็จะทำให้เนื้อดินที่ถูกผสมมีสีคล้ำลง เนื่องจากดินเบนโทไนต์มีสีน้ำตาลแก่ และยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวสูงอีกด้วย (ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์, 2538 : 11-12)

วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (Non Plastic Materials)

วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว ได้แก่ หิน ทราย และแร่ธาตุต่างๆที่อยู่ในรูปของออกไซด์ (โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 26) ซึ่งในการทำเซรามิกส์ ในบางครั้งจำเป็นต้องอาศัยวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวเข้ามาผสมในส่วนผสมของเนื้อดินด้วยเนื่องจากว่า

1. ในการใช้ดินที่มีความเหนียวมากๆมีแนวโน้มที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการบิดเบี้ยวได้ง่าย ระหว่างการแห้งและการเผาเนื่องจากความละเอียดของเนื้อดิน การเติมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว เช่น ทรายสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

2. วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวบางตัวช่วยทำให้จุดสุกตัวของเนื้อดินมีค่าลดลง

พอที่จะกล่าวได้ว่า ดินยิ่งมีความบริสุทธิ์สูงมากเท่าไร ก็ยิ่งจำเป็นต้องผสมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวช่วยมากขึ้นเท่านั้น (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 13)

ซิลิก้า(Silica)

ซิลิก้าเป็นสารประกอบระหว่าง Silicon กับ Oxygen สารประกอบของซิลิก้าจะรวมตัวกับวัตถุดิบต่างๆมากมาย เช่น ดิน หินฟันม้า หินเขี้ยวหนุมาน ทาลต์ (Talc) เป็นต้น ซิลิก้าเมื่อนำเอาไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเปรียบประดุจโครงกระดูกป้องกันการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ได้ดี

โครงสร้างของซิลิก้า ในอะตอมของซิลิก้าจะประกอบด้วย Silicon และ Oxygen มี ไอออน (Ions) ของ S^{+4} และ O^{-2} การจับตัวจะมีซิลิก้า 1 ต่อออกซิเจน 4

ซิลิกาเทตราเฮดรอน (Silica Tetrahedron) (โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 27)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซิลิกาจะเปลี่ยนแปลงเป็นสองลักษณะคือ โครงสร้างไตรดายไมต์ (Tridymite) และคริสโตบาไลต์ (Cristobalite) ซิลิกา 2 ชนิดนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน จัดเรียงอะตอมจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปร่างหนึ่ง รูปร่างแต่ละแบบจะสามารถคงสภาพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เรียกว่า ซิลิกาอินเวอร์ชัน (Silica Inversion) การเกิดอินเวอร์ชันมี 2 แบบด้วยกันคือ

1. เกิดการเปลี่ยนแปลงจัดเรียงอะตอมใหม่อย่างมากมายหรืออาจเรียกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงรุนแรง จะเกิดคืนสภาพเดิมได้ยาก

2. เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว เพียงแต่มีการกระทบกระเทือนพันธะเพียงเล็กน้อยก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงแบบนี้สามารถทำให้กลับคืนสภาพเดิมได้ง่าย คือ พร้อมที่จะกลับสภาพเดิมได้เสมอ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซิลิกาแบบคริสโตบาไลต์ เตรียมได้จากการนำเอาหินแก้วหรือทรายแก้วไปผสมกับสารประกอบที่เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาและหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิไม่สูง สารพวกนี้มักใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ประมาณร้อยละ 2 ทำให้เกิดโครงสร้างคริสโตบาไลต์ที่หลวมกว่าหินแก้วหรือทรายแก้ว ในอุณหภูมิเพียง 200-280 องศาเซลเซียส ก็จะเกิดการขยายตัวได้

การเปลี่ยนแปรงโครงสร้างของซิลิกาแบบไตรดายไมต์ เป็นรูปร่างหนึ่งของหินแก้ว ซึ่งสามารถเตรียมได้จากหินแก้วที่ไม่บริสุทธิ์ และใช้สารเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วยในการเผาวัตถุดิบชนิดนี้จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในอุณหภูมิ 117 – 163 องศาเซลเซียส หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส

วัตถุดิบที่เป็นสารประกอบของซิลิกา และให้ซิลิกาสูง มีหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ ซิลิมาไนต์ ทราย กรวด หินเขี้ยวหนุมาน เป็นต้น

หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) เป็นสารที่เกิดจากการตกผลึกของซิลิกา หินเขี้ยวหนุมานเป็นวัตถุดิบที่ให้ซิลิกาสูงมากเกินร้อยละ 99 มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 จุดหลอมละลายตัว 1,710 องศาเซลเซียส มีความแข็ง 7 โครงสร้างเป็นร่างแหสามมิติเป็นรูป 6 เหลี่ยม (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 22-25) นอกจากนี้ กรมวิทยาศาสตร์(2531 : 140) ยังกล่าวว่า หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) และทรายแก้ว (Silica Sand) เป็นสารประกอบของซิลิกา ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ มีความแข็งแรง ลักษณะของหินเขี้ยวหนุมานที่พบในประเทศไทย มีทั้งชนิดใส ขาวขุ่นทึบและสีชมพู ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาจะใช้หินเขี้ยวหนุมานผสมทำเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ นอกจากนั้นยังใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว และอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ

การนำเอาหินเขี้ยวหนุมานไปผสมทำเนื้อดินปั้น จะทำให้เนื้อดินปั้นมีความแข็งแรง เป็นโครงสร้างป้องกันการบิดเบี้ยวและการหดตัวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็ง และทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์โปร่งแสงได้ ใช้ผสมเคลือบทำให้เคลือบมีความแข็งแกร่ง มีความเป็นแก้ว มีความมันแววววาวดีขึ้น นอกจากหินเขี้ยวหนุมานเป็นวัตถุดิบที่ให้ซิลิกาบริสุทธิ์สูงแล้วยังมีวัตถุดิบอื่นๆอีกที่ให้ซิลิกาสูงได้แก่ กรวด (Pebble) หินทราย (Sand Stone) ทราย (Sand) วัตถุดิบเหล่านี้นำเอามาใช้แทนหินเขี้ยวหนุมานได้ แต่ความบริสุทธิ์ไม่เท่าเทียม แหล่งวัตถุดิบเหล่านี้พบได้จากจังหวัดจันทบุรี ระยอง สงขลา (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 25)

วัตถุดิบกลุ่มซิลิมาไนต์ ไคยาไนท์ และแอนดาลูไซต์ (Silimanite, Kyanite,Andalusite) เป็นวัตถุดิบที่มีสารประกอบของอลูมินาและซิลิกา มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน แต่โครงสร้างแตกต่างกัน

วัตถุดิบในกลุ่มนี้นิยมใช้เป็นส่วนผสมเนื้อดินปั้นประเภทฉนวนไฟฟ้า เช่น หัวเทียนรถยนต์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดอื่นๆและวัตถุทนไฟ เป็นต้น เนื่องมาจากวัตถุดิบในกลุ่มนี้มีสารประกอบของซิลิกา และอลูมินาสูงสามารถทนความร้อนได้ดี

อลูมินา (Alumina) เป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ อลูมินาที่บริสุทธิ์สูงจะได้จากแร่คอรันดัม (Corundum) นอกจากนั้นจะเป็นแร่ที่มีความบริสุทธิ์รองลงมาจะได้จาก บอกไซด์ (Bouxite) ไดอสปอร์ (Diaspore) และกิปป์ไซต์ (Gibbsite) ปกติทั่วไปอลูมินาจะมีอยู่ 2 รูป คือ

รูปของ ∝ ฟอร์ม และ γ ฟอร์ม (สำหรับอลูมินาที่อยู่ในรูป ฟอร์มมีน้อยมาก)อลูมินาที่อยู่ในรูปของ ฟอร์ม จะมีสารประกอบของโซดาอยู่ทำเป็นวัตถุทนไฟไม่ได้เพราะจุดหลอมละลายต่ำ ตัวอย่างเช่น $Na_2O.11Al_2O_3$ อุณหภูมิหลอมละลายประมาณ 500 องศาเซลเซียส (930 องศาฟาเรนไฮต์) อลูมินาจะอยู่ในรูปของ γ ฟอร์ม ในเมื่อเอาไปเผาให้อุณหภูมิสูงถึง 1,150 – 1,200 องศาเซลเซียส (2,100-2,190 องศาฟาเรนไฮต์) จะเปลี่ยนเป็นรูปของ ∝ ฟอร์ม ได้

$$\gamma \text{ Alumina} \xrightarrow{1,150\text{-}1,200\ ^\circ C} \propto \text{ Alumina}$$

อลูมินาที่อยู่ในรูปของ γ ฟอร์ม มีความถ่วงจำเพาะ 4.00

อลูมินาที่อยู่ในรูปของ ∝ ฟอร์ม มีความถ่วงจำเพาะ 3.5-3.9

อลูมินาจะมีจุดหลอมละลายในอุณหภูมิ 2,050 องศาเซลเซียส (3,722 องศาฟาเรนไฮต์) มีความแข็งถึง 8 (Mohes,scale) อลูมินาจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู (Abrasive) อุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นต้น ในธรรมชาติคอรันดัมมีความแข็งมาก อาจจะอยู่ในรูปของพลอย (Gem Stone และ Ruby) มีสารประกอบออกไซด์ของโลหะอื่นปะปนอยู่เล็กน้อย มีจุดหลอมละลาย 2,050 – 2,240 องศาเซลเซียส อลูมินามีความเฉื่อย (Inert) และทนปฏิกริยาของกรดและด่างได้ดี แต่สามารถทำปฏิกริยาได้ดีกับสารจำพวก Fused Caustic Alkalies สารพวกนี้สามารถทำปฏิกริยากับอลูมินาได้อย่างช้าๆสารที่สามารถทำปฏิกริยากับอลูมินาคือ บอแรกซ์ (Borax) และ Sodium Peroxide อลูมินาชนิด γ ฟอร์ม จะทำปฏิกริยาได้ไวกว่าอลูมินาชนิด ∝ ฟอร์ม

ตัวอย่างอลูมินาทำปฏิกริยากับ Sodium Hydroxide ที่อุณหภูมิ 160 –170 องศาเซลเซียส

$$Al_2O_3 + NaOH \longrightarrow 2Na\,Al_2O \longrightarrow H_2O \text{ (Sodium Aluminiate)}$$

โซเดียมอลูมิเนตเป็นสารที่ไม่คงตัว (Unstable) จะทำปฏิกริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในแก๊สได้ง่าย (ดังตัวอย่างสมการ)

$$2NaAl_2O + CO_2 + 3H_2O \longrightarrow Na_2(O_3{+}2Al(OH)_3 \text{(Sodium Aluminiate)}$$

อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สามารถเตรียมเป็นอลูมินาได้โดยการนำไปเผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป

$$2Al(OH)_3 \xrightarrow{1,000\ ^\circ C} Al_2O_3 + 3H_2O$$

การตกผลึกของหินอัคนี ในประเทศไทย พบอยู่ในหินแกรนิต,เพกมาไทต์ และแหล่งใหญ่ของแพกมาไทต์ อยู่ที่จังหวัดราชบุรี,เชียงใหม่,แม่ฮ่องสอน,กาญจนบุรี และตาก

หินประเภทที่มีหินฟันม้า (Feldspar – bearing Rocks)

หมายถึงหินที่มีหินฟันม้าเป็นส่วนประกอบ ได้แก่กลุ่มของเนฟฟีลีนไซไนต์ (Nepheline Syenite) ซึ่งเป็นหินที่ประกอบด้วย หินฟันม้าโปแตส และ โซดา ปกติเนฟฟีลีนไซไนต์ เป็นแร่ที่หายาก สูตรทางเคมีคือ $NaAlSiO_4$ หลอมตัวได้ง่ายและแปรสภาพไปเป็นแร่อื่นได้ง่าย สามารถใช้แทนหินฟันม้าได้

เพกมาไทต์ เป็นหินที่ให้หินฟันม้าและควอตซ์ ส่วนประกอบเป็นพวกหินฟันม้า โปแตส และควอตซ์ มักจะทำการแยกออกจากกันและนำมาใช้งานเป็นตัวๆไป

คอร์นิชสโตน (Cornish Stone) เป็นเพกมาไทต์ที่พบในประเทศอังกฤษ ส่วนประกอบจะมีทั้งหินฟันม้า ไมกา,ควอตซ์ และมีแร่ของฟลูออรีนเป็นส่วนประกอบจึงอาจพบ ฟลูโอสปาร์ (Fluospar),โทแปซ (Topaz) ปะปนอยู่ด้วยและจากเหตุนี้เองที่เป็นตัวจำกัดขอบเขตการใช้งานของคอร์นิชสโตน เนื่องจากการสลายตัวของฟลูออรีน เป็นอันตรายไม่เพียงแต่ต่อผลิตภัณฑ์เท่านั้นยังครอบคลุมไปถึงวัตถุทนไฟของเตาอีกด้วย

อะนอร์โทโซต์(Anorthosite) เป็นหินที่ประกอบด้วยแร่ อัลไบต์ (Albite) หรือ หินฟันม้าโซดา (Soda Feldspar) และอะนอร์ไทต์ (Anorthite) หรือหินฟันม้าแคลเซียม (Calcium Feldspar) เหมาะสมที่จะเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อปอร์ชเลนประเภทเผาเร็ว (Fast Firing)

ไมกา (Mica) เป็นแร่ที่มีลักษณะเป็นแผ่น เกิดร่วมกับควอตซ์ และหินฟันม้า ในหินอัคนีทั่วไป เช่น แกรนิต (Granite) และเพกมาไทต์ (Pegmatite) ที่มักจะพูดถึงมี 2 ชนิด คือ มัสโคไวท์ (Muscovite หรือ White Mica) และไบโอไทต์ (Biotite หรือ Black Mica) เป็นส่วนที่จะถูกคัดทิ้งออกเนื่องจากมีสิ่งเจือปนของเหล็ก ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของงานเซรามิกส์โดยทั่วไป แต่ก็ได้มีการทดสอบนำมาใช้แทนหินฟันม้า ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 5-25 ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทไฟต่ำ เอิร์ทเทนแวร์ (Earthenware) พบว่าช่วยในการลดจุดสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ได้

สปอดูมีน (Spodumene)

เป็นแร่ที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูตรเคมีคือ $Li_2O.\ Al_2O_3\ .4\ SiO_2$ มี ลิเทียมออกไซด์ (LiO) ร้อยละ 8.0 ,อลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 27.4 และซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 64.6 โดยอาจจะมีโซเดียม (Na)จำนวนเล็กน้อยเข้าไปแทนที่ลิเทียม แร่นี้เป็นแร่ที่ใช้ในการผสมทำเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เนื่องจาก ลิเทียม (Li) มีลักษณะพิเศษ 2 ประการคือ หลอมตัวได้ดีมาก จึงใช้ในการลดจุดหลอมตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ และ ให้ค่าการขยายตัวต่ำมาก จึงใช้ทำเนื้อผลิตภัณฑ์ในครัวโดยสามารถสัมผัสความร้อนได้โดยตรง แร่นี้จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับหยก

โดโลไมต์(Dolomite)เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมคาร์บอเนตกับแคลเซียมคาร์บอเนต มีสูตรทางเคมีคือ $MgCa(CO_3)_2$ มีความถ่วงจำเพาะ 2.8-2.9 มีความแข็ง 3.5-4 นำความร้อยได้ถึง 1,700 องศาเซลเซียส (3,092 องศาฟาเรนไฮต์) ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น น้ำเคลือบและวัตถุทนไฟ ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้

$CaCO_3$	ร้อยละ 56
$MgCO_3$	ร้อยละ 44

$$MgCa(CO_3) \longrightarrow CaO + MgO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + Mg(OH)_2$$

(Dolomite) (Slaked dolomite)

จากสมการจะเห็นได้ว่าโดโลไมต์จะเริ่มแตกตัวตั้งแต่อุณหภูมิ 500 - 1,000 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แมกนีเซียมคาร์บอเนตเริ่มแตกตัวเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตจะเริ่มแตกตัวเป็นแคลเซียมออกไซด์เริ่มในอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

ทาล์ค (Talc) เป็นสารประกอบของไฮเดรท แมกนีเซียม ซิลิเกต มีสูตรทางเคมี คือ $3MgO.4SiO_2$ เป็นวัตถุดิบที่มีความแข็ง 1 มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.6-2.8 เป็นวัตถุดิบที่หดตัวน้อยมาก ประมาณ 4.5×10^{-6} มีจุดหลอมละลายตัว 1,490 องศาเซลเซียส(2,714 องศาฟาเรนไฮต์)

$3MgO$	ร้อยละ 31.8
$4SiO_2$	ร้อยละ 63.5
H_2O	ร้อยละ 4.7

ทาล์คอาจจะมีสารอื่นๆปะปนอยู่ได้แก่ อลูมินา เหล็กออกไซด์ หินปูน อัลคาไล เป็นต้น เมื่อเผาในอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส น้ำในโมเลกุลก็จะสลายตัวจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส สามารถเขียนปฏิกริยาการแตกตัวเมื่อได้รับความร้อนดังนี้

$$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 \xrightarrow{900\ ^\circ C} 3MgSiO_3 + SiO_2 + H_2O$$

(โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 38-40)

เถ้ากระดูก (Bone Ash)

เถ้ากระดูกหรือโบนแอชเป็นวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเนื้อดินปั้นโบนไชนาโดยเฉพาะ ทำมาจากเถ้ากระดูกของวัวหรือควายบดละเอียด มีจุดหลอมละลายประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส

ฟลูออสปาร์ (Fluorspar (Fluorite) เป็นสารประกอบของแคลเซียมกับฟลูออไรด์ (CaF_2) มีน้ำหนักโมเลกุล 78.08 มี CaO ร้อยละ 71.82 , F_2 ร้อยละ 48.67 มีความถ่วงจำเพาะ 3.2 มีจุดหลอมละลายตัว 1,360 องศาเซลเซียส (2,480 องศาฟาเรนไฮด์) มีความแข็ง 4 สามารถละลายน้ำได้ที่ 18 องศาเซลเซียส 0.0016 g/100 ml และที่ 25 องศาเซลเซียส 0.0017 g/100 ml ใช้สำหรับผสมในเนื้อดินปั้นและเคลือบจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลาย (Flux) แต่ถ้าหากใช้ผสมในเคลือบมากๆ อาจจะทำให้เกิดรูเข็ม (Pinholes) ได้ หรือ อาจจะทำให้เกิดตำหนิบนผิวเคลือบได้ เนื่องจากในขณะเผาจะมีแก๊สออกมาอย่างรวดเร็ว

แมกนีไซด์ Magnesite ($MgCo_3$) เป็นสารประกอบของ Magnesium Carbonate มี MgO ร้อยละ 47.80,CO_2 ร้อยละ 52.20 เป็นวัตถุดิบที่ทนความร้อนได้สูงถึง 1,600 – 1,800 องศาเซลเซียส (2,912 – 3,272 องศาฟาเรนไฮด์) สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟได้ดี ถ้าหากใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบจะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ ลดสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของเคลือบ ใช้ผสมเนื้อดินปั้นจะมีผลเช่นเดียวกับเคลือบปกติแมกนีไซด์จะเกิดในแหล่งที่มีหินฟันม้าและหินปูน แมกนีเซียมคาร์บอเนตจะเริ่มแตกตัวเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ในอุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส

$$MgCO_3 \xrightarrow{1,500\,^{\circ}C\text{ -}1,600\,^{\circ}C} MgO + CO_2$$

แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) มีความถ่วงจำเพาะ 3.65 จุดหลอมละลายตัว 2,800 องศาเซลเซียส แมกนีเซียมออกไซด์นอกจากได้มาจากสินแร่แล้วยังเตรียมได้จากน้ำทะเล (โกมล รักษ์วงศ์ , 2531 : 56-59)

สารประกอบของโซเดียมโปตัสเซียมและลิเทียม

1. สารประกอบของโซเดียม เป็นตัวช่วยหลอมละลายสารพวกซิลิก้าได้ดี สามารถลดจุดหลอมละลายของซิลิก้าให้เป็นแก้วได้เป็นอย่างดี สารประกอบพวกนี้แบ่งออกได้ดังนี้

1.1 เกลือแกง (Sodium Choride) เป็นสารประกอบระหว่างโซเดียมกับคลอรีน (NaCl) สามารถใช้ทำน้ำเคลือบได้เรียกกันว่า “Salt Glaze” โดยที่นำเอาเกลือแกงไปซัดเข้าในช่องเผาไหม้ของเตาเผา (Fire Box) ในขณะที่อุณหภูมิประมาณ 1,050 - 1,100 องศาเซลเซียส จะทำให้เกลือแกงเกิดการแตกตัวสลายกลายเป็นไอโซเดียมจะแยกตัวออกจากคลอรีน โซเดียมจะไปเกาะติดกับผิวผลิตภัณฑ์ ส่วนคลอรีนก็จะระเหยกลายเป็นไอไป ในเมื่อโซเดียมเป็นด่างทำหน้าที่เป็น Flux จะไปทำปฏิกริยากับผิวผลิตภัณฑ์ก็จะเกิดเป็นเคลือบขึ้นได้ เนื่องมาจากเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นดิน ซึ่งเป็นสารประกอบของ Aluminium และ Silica ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกลางและเป็นกรด ดังนั้นเมื่อมีส่วนผสมของโซเดียมซึ่งเป็นด่าง สามารถทำให้เกิดปฏิกริยาเป็นเคลือบได้ เนื่องจากเคลือบจะต้องมี

สารประกอบของ ด่าง กลาง กรด ผสมกันก็จะทำให้เกิดเคลือบขึ้นได้ เคลือบที่เกิดขึ้นจะเป็นสีของเนื้อดินปั้นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ

1.2 Sodium Carbonate (Na_2CO_3) ซึ่งเรียกว่า Soda Ash เป็นสารที่มีความบริสุทธิ์สูง เป็นด่างอย่างแรง สามารถเตรียมได้จากน้ำทะเล หรือเตรียมจาก Ammonia-carbodi Oxide Process เป็นวัตถุดิบที่ราคาไม่แพง ละลายน้ำได้ดี ใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบได้ ทำหน้าที่เป็น Flux นอกจากนั้นสามารถนำไปใช้เป็นตัวทำหน้าที่เป็นตัวทำให้กระจาย (Defluculant) ในน้ำสลิปได้ด้วย การนำเอาโซเดียมคาร์บอเนตไปใช้ผสมน้ำเคลือบให้ได้ผลดี ควรจะเปลี่ยนสภาพให้ไปอยู่ในรูปของ Frit เพราะสารชนิดนี้ละลายน้ำได้ดี

1.3 Sodium Nitrate ($NaNO_3$) หรือเรียกกันว่า "Soda Niter" เป็นวัตถุดิบที่ราคาแพงกว่าโซเดียมคาร์บอเนต เป็นวัตถุดิบที่เป็น Flux อย่างดีควรจะนำไปทำให้อยู่ในรูปของ Frits เนื่องจากเป็นสารละลายน้ำได้

1.4 บอแรกซ์ Borax ($Na_2O.B_2O.10H_2O$ หรือ $Na_2B_4O_7.10H_2O$ มีชื่อทางเคมีว่า "Sodium Tetraborate" มีลักษณะเป็นผลึกคล้ายๆกับผงชูรส เป็นตัวช่วยหลอมละลายอย่างแรง และเป็นสารละลายน้ำได้ เป็นตัวทำปฏิกริยาช่วยให้เกิดสีได้ เป็นตัวช่วยทำให้เคลือบไหลตัวได้ดี ถ้าหากนำไปผสมกับน้ำเคลือบไฟสูงประมาณไม่เกินร้อยละ 10 จะทำให้ผิวเคลือบมีความเรียบมัน และมีโอกาสเกิดรอยรูเข็ม ได้น้อยลง

ส่วนประกอบของ Borax มีดังนี้

Sodium Oxide	ร้อยละ 16.3
Boric Oxide	ร้อยละ 36.5
Water of Crystallization	ร้อยละ 47.2

การนำเอา Borax ไปใช้ผสมน้ำเคลือบให้ได้ผลดีควรจะเปลี่ยนสภาพให้เป็น Frites เนื่องจาก Borax ละลายน้ำได้ ถ้าหากจะนำเอา Borax มาผสมทำเคลือบดิบ ก็สามารถทำได้โดยที่ทำน้ำเคลือบในอุณหภูมิต่ำๆ การทำน้ำเคลือบดิบใช้ Borax เป็นส่วนผสมจะต้องทำให้น้ำเคลือบมีความเข้มข้นสูงๆ จึงจะได้ผลดี

1.5 Cullet (Approximate Composition 0.5 $Na_2O.0.5CaO.SiO_2$) เป็นเศษแก้วธรรมดา ซึ่งได้มาจากขวดกระจก หรืออาจจะใช้เศษแก้วแตกประเภทอื่นๆก็ได้ แต่ส่วนประกอบจะแตกต่างกัน เนื่องจากการนำแก้วประเภทใดย่อมจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน การทำแก้วส่วนมากจะใช้ส่วนผสมของ Soda Lime กับ Silica เป็นหลัก เศษแก้วสามารถนำเอาไปบดผสมทำน้ำเคลือบได้

จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ ถ้าหากเป็นแก้วสีก็สามารถทำให้เคลือบเกิดเป็นสีนั้นๆ ได้โดยที่ไม่ต้องเติมออกไซด์ที่ทำให้เกิดเป็นสีลงในเคลือบ เศษแก้วใช้ผสมในเคลือบจะทำให้เคลือบไหลตัวได้ดีด้วย

1.6 Cryolite (Na_3AlF_6) เป็นวัตถุดิบที่เป็น Flux และทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดทึบ (Opacifier) สามารถนำมาผสมทำน้ำเคลือบได้ แต่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมโลหะเคลือบ (Enamels) วัตถุดิบชนิดนี้ราคาแพงเนื่องจากต้องซื้อจากต่างประเทศ จะพบมากในกรีนแลนด์

2. สารประกอบของ Potassium เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ผสมน้ำเคลือบ มีทั้งสารประกอบที่ละลายน้ำได้ และไม่ละลายน้ำ เป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ และอาจนำไปใช้เป็นตัวช่วยขับสี ทำให้เกิดสีบางสีได้

2.1 Potassium carbonate (K_2CO_3) หรือเรียกกันว่า "Pearl Ash" เป็นสารที่ละลายน้ำได้ง่าย สารชนิดนี้อาจจะมีสารประกอบตัวอื่นผสมอยู่บ้างเล็กน้อย เช่น Potassium Chloride และ Potassium Sulphate การที่จะนำไปใช้งานให้ได้นั้นควรจะทำเป็น Frites

2.2 Potassium Nitrate (KNO_3) หรือเรียกว่า Saltperter and Niter ถ้าหากเอาไปใช้งานผสมเคลือบในรูปของเคลือบดิบจะเป็นตัว Oxidizing Agent เป็นสารละลายน้ำได้

2.3 Potassium di Chromate ($K_2Cr_2O_7$) ปกติวัตถุดิบชนิดนี้จะมีสีและเป็นสารละลายน้ำได้ จะนำไปใช้ทำสีสำเร็จรูปได้ โดยเฉพาะสีชมพู ม่วง สีเลือดหมู

3. สารประกอบของ Lithium เป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของน้ำเคลือบ แต่สารประกอบของ Lithium จะมีราคาสูงกว่าสารประกอบของ Sodium และ Potassium ลิเทียมเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย หนัก 6.94 เท่านั้น การใช้ Lithium ผสมในเคลือบจะลดการขยายตัวและเพิ่มความคงทนให้แก่เคลือบ และยังเป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็น Flux เช่นเดียวกับสารประกอบของโซเดียมและโปตัสเซียม สารประกอบของ Lithium มีดังนี้

3.1 Lepidolite ($LiF.KF.Al_2O_3.3SiO_2$) หรือเรียกว่า Lithium Mica จะมีลิเทียมอยู่ร้อยละ 6 แต่ในทางการค้า (Commercial Grades) มีลิเทียมแค่ร้อยละ 3 เท่านั้น จะนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมแก้ว

3.2 Spodumene ($Li_2O.Al_2O_3.4SiO_2$) หรือ Lithium Feldspar จะมีลิเทียมอยู่ประมาณร้อยละ 6 และสารประกอบของโซเดียมและโปเตสเซียมอยู่ด้วย Spodumene เป็นสารทนไฟเนื่องจากมีสารประกอบของอลูมิน่าเปอร์เซนต์สูง และใช้เป็น Flux ผสมในเคลือบอุณหภูมิสูงเท่านั้น

3.3 Amblygonite ($Li.ALF.PO_4$) เป็นวัตถุดิบที่มีสารประกอบของลิเทียมอยู่ประมาณร้อยละ 8 ถ้าหากใช้ผสมในน้ำเคลือบจะเป็น Flux อย่างดี ทำให้เคลือบมีความเป็นมันแววววาวสูง

เพราะว่ามีสารประกอบของ Fluorine และ Phosphoric Oxide อยู่ด้วย และเป็นตัวช่วยให้เคลือบเกิดทึบด้วย เหมาะสำหรับผสมในน้ำเคลือบทึบ (Opaque Glazes)

3.4 Lithium Carbonate ($Li_2 CO_3$) เป็นวัตถุดิบที่ละลายน้ำได้ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวมีน้ำหนักเบา ถ้าหากใช้ผสมในน้ำเคลือบจะช่วยให้น้ำเคลือบมีความแวววาวขึ้น เพิ่มความแข็ง ลดการดูดซึมของของเหลว เช่น ใช้ผสมในน้ำเคลือบผลิตภัณฑ์ ประเภท ชุดอาหาร สุขภัณฑ์ Electric Porcelain เป็นต้น การใช้ลิเทียมคาร์บอเนตสามารถใช้ได้ตั้งแต่ร้อยละ 0.5 ก็สามารถทำให้เคลือบเรียบเป็นมันได้ ลดการเกิดรูเข็ม ให้น้อยลงได้ (โกมล รักษ์วงศ์, 2531 : 63-38)

ตามที่นักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาพอสรุปได้ว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. วัตถุดิบที่มีความเหนียว(Plastic Raw Meterials) ได้แก่ดินชนิดต่างๆ ดินเกิดจากการแปรสภาพของหินฟันม้า (Feldspar) เรียกปฏิกริยานี้ว่า (Kaolinization) ดินเป็นสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกต "Aluminium Silicate" ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) หรือ ร้อยละ 39.8 Al_2O_3 ,ร้อยละ 46.3 SiO_2 , ร้อยละ13.9 H_2O ซึ่งในแร่ดินธรรมชาติมีสารประกอบอย่างอื่นๆปะปนอยู่มากที่เป็นสาเหตุทำให้ดินไม่บริสุทธิ์ สารเหล่านี้ได้แก่ Quartz ,Mica, Iron, Hematite, Flourite เป็นต้น อนุภาคของดินมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยมมีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน ดินสามารถจำแนกตากลักษณะกระบวนการเกิดได้ดังนี้ 1. ดินที่เกิดอยู่กับที่ (Residual Deposits) เช่น ดินขาวระนอง ดินขาวลำปาง 2. ดินที่สะสมตัวแบบตะกอน (Sedimentary Deposits) เกิดการเคลื่อนย้ายจากแหล่งเดิมโดย น้ำ ลม น้ำแข็ง เช่น ดินบอลเคลย์ 3. ดินเกิดแทนที่ในเนื้อหิน (Hydrothemal Replacement) หรือกระบวนการเกิดแร่ดินในหินแปรต่างๆแหล่งแร่ชนิดนี้พบที่แหล่งแร่ดิกไกต์เขาชะโงก เขาไม้นวล จังหวัดนครนายก

ประโยชน์ของดิน ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิกส์เพื่อเพิ่มความเหนียวของเนื้อดินปั้น ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดี ช่วยเพิ่มความแข็งแรงไม่ให้แตกหักก่อนเข้าเตาเผา ช่วยทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินปั้นขณะทำการเผาได้ดี นอกจากนี้ผลเสียของการใช้ดินเหนียวคือสารพวกเหล็กออกไซด์และทิตาเนียมออกไซด์ที่เจือปนอยู่มากในดิน จะทำให้เนื้อดินมีความขาวลดน้อยลง ดินเหนียวมีความหดตัวมาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสหดตัวสูงหลังจากเผาแล้วจะทำให้บิดเบี้ยวได้ง่าย นอกจากนี้ดินยังสามารถนำไปใช้ในการเป็นตัวเติม (Filler) หรือตัวเคลือบ (Coating) ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำสี พลาสติก ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เครื่องสำอาง หมึก อาหาร อิฐทนไฟ เป็นต้น

2. วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว(Non Plastic Raw Materials) ได้แก่ หิน ทราย และแร่ธาตุต่างๆที่อยู่ในรูปของออกไซด์ ในการผลิตเซรามิกส์บางครั้งจำเป็นต้องอาศัยวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวเข้ามาผสมในส่วนผสมของเนื้อดินด้วยเนื่องจากว่า ในการใช้ดินที่มีความเหนียวมากๆมีแนว

โน้มที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการบิดเบี้ยวได้ง่ายระหว่างการแห้งและการเผาเนื่องจากความละเอียดของเนื้อดิน การเติมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว เช่น ทรายสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวบางตัวช่วยทำให้จุดสุกตัวของเนื้อดินมีค่าลดลง วัตถุดิบประเภทไม่มีความเหนียวที่นำมาใช้ในการผลิตเซรามิกส์ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา (Silica) อลูมินา (Alumina) และหินฟันม้า (Feldspar) ซิลิก้าเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเปรียบประดุจโครงกระดูกป้องกันการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ได้ดี อลูมินา เป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ อลูมินาที่บริสุทธิ์สูงจะได้จากแร่ คอรันดัม (Corundum) อลูมินาจะมีจุดหลอมละลายในอุณหภูมิ 2,050 องศาเซลเซียส มีความแข็งถึง 8 (Mohes,Scale) อลูมินาจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู (Abrasive) อุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นต้น หินฟันม้า เป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลาย (Flux) ในอุณหภูมิสูง ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ทั้งสองอย่าง นอกจากนี้ยังเป็นตัวช่วยเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อแก้วขึ้นระหว่างที่เผาผลิตภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปรงแสงดีขึ้น และนอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบตัวอื่นๆอีกเช่นวัตถุดิบที่ทำให้เกิดทึบในเคลือบ ยกตัวอย่างเช่น ดีบุกออกไซด์ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ไทเทเนียมออกไซด์ สังกะสีออกไซด์ เป็นต้น และวัตถุดิบที่เป็นตัวให้สีในทางเซรามิกส์ ยกตัวอย่างเช่น โคบอลต์ออกไซด์ ทองแดงออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แมงกานีสไดออกไซด์ เป็นต้น

เนื้อดินปั้น (Bodies)

เนื้อดินปั้นที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา อาจได้จากดินตามธรรมชาติ หรือได้จากการเตรียมเนื้อดิน โดยการผสมวัตถุดิบชนิดต่างๆเพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ นักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงเนื้อดินปั้นดังต่อไปนี้

ทวี พรหมพฤกษ์(2523 : 16) กล่าวว่า การเตรียมเนื้อดินในสมัยก่อน ส่วนมากเตรียมได้จากดินเหนียวธรรมดาโดยทั่วไป นิยมใช้ดินในท้องถิ่น ดินเมื่อยังไม่เผามักมีสีน้ำตาลเข้ม สีเทาแก่ ลักษณะที่สำคัญส่วนมากเนื้อดินละเอียด แห้งช้า แต่มีความเหนียวดี (Plasticity) เมื่อนำไปเผาแล้วจะให้สีน้ำตาลอ่อน เหมาะแก่การขึ้นรูปในลักษณะต่างๆเช่นการขึ้นรูปแบบอิสระ แบบขด แบบแผ่นขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน แบบวิธีกดพิมพ์ เป็นต้น ดินประเภทนี้มีเปอร์เซ็นต์ของเหล็ก (Iron) สูงไม่นิยมทำผลิตภัณฑ์ชนิดสีขาว

บรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรม แห่งประเทศไทย(2528 : 140) กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วดินธรรมชาติเกือบทุกแห่ง แม้จะเป็นดินชนิดดีเพียงใด ก็ยังไม่ละเอียดหรือสะอาดเพียงพอที่จะนำไปใช้

ปั้นได้ทันที ฉะนั้นเมื่อได้ดินมาแล้วจึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเตรียมดิน ให้สะอาดและละเอียดเสียก่อน ไม่เช่นนั้นจะได้เครื่องปั้นดินเผาที่มีคุณภาพไม่ดี

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน(2529 : 83) กล่าวว่า ความเหนียวของเนื้อดินปั้นขึ้นอยู่กับการผสมเนื้อดินปั้นกับน้ำ ซึ่งมีส่วนต่างๆกันและจำแนกออกเป็น 4 ชนิดคือ

1. น้ำดิน (Slip) สำหรับใช้หล่อกับปูนพลาสเตอร์ เนื้อดินปั้นชนิดนี้ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 24-30 เมื่อผสมแล้ว จะมีเนื้อเหลวเป็นน้ำข้นๆเวลาปั้นต้องใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นแบบเหมาะสำหรับทำเครื่องปั้นดินเผาชนิดที่มีเนื้อบาง ทำการปั้นด้วยวิธีอื่นๆไม่ได้ เช่น เครื่องสุขภัณฑ์

2. ดินเหลว (Soft-mud) เป็นเนื้อดินปั้นที่ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 18-24 เนื้อดินปั้นชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำแล้ว จะมีเนื้ออ่อนเหลวไม่เหนียวมากนัก เวลาปั้นจะต้องมีแบบทำด้วยไม้ โลหะ หรือปูนพลาสเตอร์ เพื่อให้เนื้อดินปั้นอยู่ในที่อัดตัวจะได้เกาะติดกัน เหมาะสำหรับเครื่องปั้นดินเผาจำพวกอิฐธรรมดา กระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น

3. ดินเหนียว (Stiff-mud) เป็นเนื้อดินปั้นที่ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ14-20 เนื้อดินปั้นชนิดนี้ เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะมีเนื้อเหนียวมาก ใช้ปั้นด้วยมือหรือด้วยแบบก็ได้ เหมาะสำหรับทำเครื่องปั้นดินเผาพวก อิฐทนไฟ หม้อไหเป็นต้น

4. ดินชื้น (Dry-press) เป็นเนื้อดินปั้นที่ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 6-14 เนื้อดินปั้นชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะมีเนื้อร่วนชื้นเล็กน้อย เวลาปั้นต้องมีแบบทำด้วยโลหะและอัดให้เป็นรูปด้วยเครื่องจักร เหมาะสำหรับทำเครื่องปั้นจำพวกกระเบื้องปูพื้น กระเบื้องปูฝา อิฐทนไฟ เป็นต้น

โกมล รักษ์วงศ์(2531 : 126) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นจึงเป็นการนำดินชนิดต่างๆมาผสมเข้าด้วยกันหรือ การผสมดินกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ในสมัยก่อน การทำเนื้อดินปั้นจะทำมาจากดินธรรมชาติ ที่มีความเหนียวพอมาขึ้นรูปได้ เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆตามความต้องการ เริ่มทำจากการทำเครื่องปั้นดินชนิดไม่มีการเคลือบ นับเป็นเวลาพันๆ ปี จนกระทั่งสมัยศตวรรษที่ 10 จีนได้มีความก้าวหน้าในการทำเครื่องปั้นดินเผามาก สามารถทำเนื้อดินปั้นชนิดพิเศษขึ้นได้ เรียกว่า เนื้อดินปั้นปอร์สเลน (Porcelain)

สุรเกียรติ ยอดวิเศษ และอัมพรชิดา ยอดวิเศษ(2538 : 17-18) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นทำเครื่องปั้นดินเผาไม่จำเป็นต้องผสมกับสารเคมีหรือหินเสมอไป ในบางครั้งอาจใช้ดินที่ขุดจากแหล่งดินตามธรรมชาติมาใช้ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจจะไม่ดีเท่าที่ควร

กรมศิลปากร(2539 : 77) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นเป็นวัตถุดิบที่ปั้นให้เป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เนื้อดินปั้นโดยทั่วไปจะต้องประกอบด้วยวัตถุดิบ 4 ชนิดด้วยกันคือ วัตถุดิบเพื่อเป็นโครงสร้างของเนื้อดิน (Raw Material for Structural Forming) วัตถุดิบเพื่อความเหนียว

(Plastic Clay) สารลดอุณหภูมิในการเผา (Fluxing Material) และตัวเติม (Additive)หรือ ตัวเสริม (Promoter) ซึ่งส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจะแตกต่างกันไปตามคุณภาพของเครื่องปั้นดินเผาที่ต้องการ

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ(2539 : 125) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์อาจแยกประเภทคร่าวๆเป็นสองประเภท คือ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนประกอบกับเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนประกอบ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนประกอบ อาจมีดินล้วนๆ หรือ ดินร้อยละ 100 แต่ส่วนมากแล้วจะมีวัสดุอื่นผสมอยู่ด้วย เช่นเดียวกับเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนประกอบ อาจมีเนื้อวัสดุชนิดเดียวหรือวัสดุหลายชนิดผสมกัน

Singer(1963 : 396) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นอาจใช้ดินล้วนๆที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งมีอยู่ทั่วไป หรืออาจจะเตรียมขึ้นจากการนำเอาดิน หินฟันม้า หินเขี้ยวหนุมานมาผสมกัน แล้วหาสัดส่วนที่เห็นว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำผลิตภัณฑ์

Rhodes(1974 : 24) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นหมายถึง ดินตามธรรมชาติ หรือการนำเอาดินในธรรมชาติไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น การเพิ่มความเหนียว การเพิ่มความโปร่งแสงภายหลังการเผา

จากความหมายของเนื้อดินปั้นตามที่นักวิชาการหลายท่านได้กล่าวไว้พอสรุปได้ว่า เนื้อดินปั้น หมายถึง วัตถุดิบที่ใช้ปั้นให้เป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบ 4 ชนิดด้วยกันคือ วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเนื้อดิน (Raw Material for Structural Forming) วัตถุดิบที่ทำหน้าที่ให้เกิดความเหนียว (Plastic Clay) วัตถุดิบที่เป็นสารลดอุณหภูมิในการเผา (Fluxing Material) และวัตถุดิบที่เป็นตัวเติม (Additive)หรือ ตัวเสริม (Promoter) เนื้อดินปั้นอาจได้มาจากดินตามธรรมชาติ ที่มีความเหนียวสามารถนำมาขึ้นรูปได้ หรือเนื้อดินปั้นอาจได้มาจากการนำดินไปผสมกับวัตถุดิบตัวอื่นเพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น เพื่อให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อให้มีความขาว เพื่อให้มีความโปรงแสง หรืออีกอย่างหนึ่งเนื้อดินปั้นอาจไม่มีดินเป็นส่วนประกอบเลยก็ได้ เช่นเนื้อดินปั้นที่เป็นออกไซด์บริสุทธิ์ เช่น Al_2O_3 ความเหนียวของเนื้อดินปั้นขึ้นอยู่กับการผสมเนื้อดินปั้นกับน้ำ จำแนกชนิดของเนื้อดินปั้นออกเป็น 4 ชนิดคือ ชนิดแรกคือ น้ำดิน (Slip) สำหรับใช้หล่อกับปูนพลาสเตอร์ เนื้อดินปั้นชนิดนี้ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 24-30 ชนิดที่สอง คือ ดินเหลว (Soft-mud) เป็นเนื้อดินปั้นที่ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 18-24 ชนิดที่สาม คือ ดินเหนียว (Stiff-mud) เป็นเนื้อดินปั้นที่ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ14-20 ชนิดที่สี่ คือ ดินชื้น (Dry-press) เป็นเนื้อดินปั้นที่ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 6-14

เนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะเครื่องปั้นดินเผาที่ทำกันแบ่งออกได้ 3 ประเภทด้วยกันคือ

1. เนื้อดินปั้นเอิร์ทเทนแวร์ (Earthen Ware Bodies) สมัยก่อนทำมาจากดินที่ขุดได้ตาม

ธรรมชาติ แต่ปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีมากขึ้น การทำเครื่องปั้นดินเผาเอิร์ทเทนแวร์มีการเตรียมเนื้อดินปั้นขึ้นมาใหม่ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เนื้อละเอียดขึ้น มีความทึบแสง เนื้อดินปั้นมีความพรุนตัว มีการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำเคลือบ เป็นเครื่องปั้นดินเผาที่เผาในอุณหภูมิต่ำไม่เกิน 1,150 องศาเซลเซียส สามารถดูดซึมน้ำได้ ถ้าหากเคาะเสียงจะทึบ ความแข็งแกร่งจะไม่สูง (โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 45) ซึ่ง สมศักดิ์ ธรรมาปรีชากร(2530 : 11) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์เอิร์ทเทนแวร์จะเผาด้วยไฟในอุณหภูมิระหว่าง 850-1,050 องศาเซลเซียสเนื้อดินแบบนี้สามารถดูดซึมน้ำได้มากประมาณร้อยละ12-22 มักเป็นเครื่องปั้นดินเผาทั่วไป ที่ไม่มีการเคลือบและเครื่องถ้วยมอญ นอกจากนี้ ทวี พรหมพฤกษ์(2523 : 16) ยังกล่าวว่าเนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์ที่ใช้ปั้นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ๆนิยมใช้ผสมทราย หรือดินเชื้อ (Grog) ช่วยทำให้การขึ้นรูปทรงตัวได้ดี เมื่อนำไปเผาเนื้อดินมีความแข็งแกร่งดี และช่วยควบคุมการหดตัวของดินได้ดีพอควร มีประโยชน์ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตก และบิดเบี้ยวได้ง่าย สำหรับสีของเนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์ ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์ (2538 : 14) ได้กล่าวไว้ว่า เนื้อดินเอิร์ทเทนแวร์โดยทั่วไปจะมีสีออกแดงน้ำตาล เนื่องจากเนื้อดินมีส่วนผสมของสารประกอบเหล็กปนอยู่ เนื้อดินชนิดนี้ นิยมนำมาใช้ปั้นงานประเภทประติมากรรม และนอกจากนี้(ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 27) กล่าวว่าเอิร์ทเทนแวร์ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ มีความดูดซึมน้ำปานกลางถึงสูงสุด คำนี้มีความหมายเช่นเดียวกับคำว่า Fine Ceramics ในภาษาฝรั่งเศส ก็คือ “Faience” และคำภาษาเยอรมันก็คือ “Steingut” นอกจากนี้แล้ว Earthenware ยังแบ่งออกเป็นพวกย่อยๆได้ดังนี้ คือ

1.1 เอิร์ทเทนแวร์จากดินธรรมชาติอย่างเดียว (Natural Earthenware) โดยปกติแล้วทำจากดินชนิดเดียวไม่ต้องล้าง ทำเป็นผลิตถัณฑ์พวกถ้วยชาม (Tableware) งานศิลปะ (Artware) กระเบื้อง (Tile) มีความดูดซึมน้ำ ตั้งแต่ร้อยละ 15 ขึ้นไป ได้แก่ พวกหม้อดิน,น้ำต้น ,กระถางปลูกดอกไม้,กระเบื้องมุงหลังคาวัด,กระเบื้องเคลือบไฟต่ำ เป็นต้น

1.2 เอิร์ทเทนแวร์เนื้อละเอียด (Fine Earthenware) มาจากดินที่ล้างแล้วและพวกที่ไม่มีความเหนียว ทำการผสมโดยใช้ ตารางสามเหลี่ยม ผลิตภัณฑ์พวกถ้วยชาม,ของใช้ในครัว,กระเบื้อง ,มีความดูดซึมน้ำร้อยละ 10-15

2. เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Stone Ware Bodies) เป็นเนื้อดินปั้นที่เผาในอุณหภูมิสูงในช่วง 1,190 –1,350 องศาเซลเซียส เผาถึงจุดสุกตัว เนื้อแข็งแกร่ง ไม่ดูดซึมน้ำ ไม่มีความพรุนตัว เนื้อทึบแสงเช่นเดียวกับ Earthen Ware เนื้อดินสโตนแวร์ได้จากดินธรรมชาติในบางแหล่ง หรืออาจเตรียมขึ้นมาใหม่ (โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 45) สอดคล้องกับคำกล่าวของ Singer(1963 : 76,431) ที่กล่าวว่า สโตนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์เผาถึงจุดสุกตัว (Vitreous Ware) จะต้องเผาในอุณหภูมิ 1,200-1,250 องศาเซลเซียส เนื้อดินทึบแสง (Opaque Budies) อาจจะมีสีต่างๆขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม เนื้อ

ดินมีความเหนียวสูง ขณะที่เป็นดินยังไม่ได้เผา เนื้อดินจะมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย โดยต้องมีค่าความแข็งแรงก่อนเผา ตั้งแต่ 20-150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 1.4-105 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สมศักดิ์ วังศิริกุล(2534 : 19) ได้กล่าวว่า เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ เป็นเนื้อดินปั้นที่ทนความร้อนได้ 1240 องศาเซลเซียส มีการหดตัวก่อนเผา อยู่ระหว่าง ร้อยละ 1 ถึง 5 เนื้อผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการเผาถึงจุดสุกตัว มีเนื้อแน่นแข็งแกร่ง ทึบแสง น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ เมื่อเคาะเสียงจะดังกังวาน และสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ จะมีสีเนื้อแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับแร่ธาตุที่ผสมอยู่ในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ และบรรยากาศในการเผาไหม้ Rhodes(1959 : 43) กล่าวว่า เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ เป็นเนื้อดินที่มีการหดตัวก่อนการเผาไม่เกินร้อยละ 10 ไม่บิดเบี้ยวขณะผลิตภัณฑ์แห้งหรือกำลังเผา และมีการหดตัวหลังการเผา ไม่เกินร้อยละ 15 มีการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ไม่เกินร้อยละ 1 ถึง 5 สีของเนื้อดินเกิดจากสีธรรมชาติของดิน เช่น สีเทา สีน้ำตาล (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 17) ซึ่ง ศุภกา ดอกไม้ (2535 : 11) ได้กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่เตียมได้จากดินธรรมชาติ เช่น โอ่งมังกรราชบุรี ผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน และผลิตภัณฑ์ศิลาดล (Celadon)ของเชียงใหม่ อีกลักษณะหนึ่งก็คือเตรียมในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปประกอบด้วย เนื้อดินระหว่างร้อยละ 30-70 เพื่อให้เนื้อดินปั้นมีความเหนียวสามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ดินเหนียว หินเขี้ยวหนุมานระหว่าง ร้อยละ 25-60 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการบิดเบี้ยว และใช้หินฟันม้า ระหว่างร้อยละ 5-25 เพื่อช่วยในการหลอมละลาย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น เนื้อดินสโตนแวร์มีความเหนียวมาก เหมาะอย่างยิ่งในการนำไปใช้ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและการขึ้นรูปอิสระ (ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์, 2538 : 15) ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์สามารถทนความร้อนและความเย็นอย่างเฉียบพลันได้ดี นิยมทำภาชนะในเตาอบ ทำถ้วยชามและชุดกาแฟ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 146)เนื่อดินสโตนแวร์นี้ยังแบ่งออกได้ ดังนี้คือ

2.1 สโตนแวร์จากดินธรรมชาติชนิดเดียว (Natural Stoneware) มาจากดินชนิดเดียวและไม่ต้องล้าง พวกท่อระบายน้ำ (Drain Pipe),ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัว (Kitchenware) งานศิลป์, ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ที่พอจะจัดหาได้ในบ้านเราก็คือ โอ่งราชบุรี ,ผลิตภัณฑ์ประเภทไหปลาร้า ทางภาคอีสาน เป็นต้น มีความดูดซึมน้ำ ตั้งแต่ร้อยละ 0-5 ขึ้นไป

2.2 สโตนแวร์เนื้อละเอียด (Fine Stonewere) มาจากส่วนผสมของดินที่ล้างแล้วและส่วนผสมที่ไม่มีความเหนียวใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทหุงต้ม (Cookwere),งานศิลป(Artware) ถ้วยชามเป็นต้น มีความดูดซึมน้ำร้อยละ 0-5

2.3 สโตนแวร์เนื้อวิเทรียส (Technically Vitreous Stoneware) เนื้อดินปั้นที่ใช้ผสมอย่างดีและเผาจนกระทั่งมีความดูดซึมน้ำน้อยมากใช้ในอุตสาหกรรมเคมี,ภาชนะบรรจุน้ำกรด,อิฐทนกรด เป็นต้น มีความดูดซึมน้ำร้อยละ 0-0.2

2.4 จัสเปอร์สโตนแวร์ (Jasper Stoneware) มาจากส่วนผสมส่วนใหญ่ของบาเรียมและดิน ทำเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทงานศิลป์ (Artware)มีความดูดซึมน้ำร้อยละ 0-1

2.5 บาซัลท์สโตนแวร์ (Basalt Stoneware) มาจากดินที่มีเหล็กออกไซด์สูง เช่น ผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน ใช้ทำผลิตภัณฑ์พวกงานศิลป์ (Artware) มีความดูดซึมน้ำร้อยละ 0-1 (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 28-29)

3. เนื้อดินปั้นปอร์สเลนส์ (Porcelains) เป็นเนื้อดินปั้นที่เผาในอุณหภูมิสูง เนื้อผลิตภัณฑ์โปร่งแสง เนื้อแข็งแกร่ง ไม่มีความพรุนตัว ไม่ดูดซึมน้ำ เนื้อดินปั้นจะมีส่วนผสมของดิน หินฟันม้า และหินเขี้ยวหนุมาน (โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 46) จีน เป็นชาติแรกที่สามารถทำเครื่องปั้นดินเผาด้วยดินสีขาวเนื้อโปร่งแสงคล้ายแก้ว ได้ตั้งแต่สมัยราชวงศ์ซ้อง (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 174) ผลิตภัณฑ์ประเภทปอร์สเลน เป็นผลิตภัณฑ์เตรียมขึ้นเป็นพิเศษ เนื้อดินมีสีขาวเผาถึงจุดสุกตัว (Vitreous Ware) ที่สำคัญคือ โปร่งแสง(Translucent) (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 17) เนื้อดินปอร์ชเลนเป็นส่วนผสมที่เกิดจากตารางสามเหลี่ยมเผาดินที่อุณหภูมิต่ำหรือเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงหรืออาจจะเผาครั้งเดียวจนเนื้อแกร่ง เช่น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 30) การทำให้เนื้อดินปอร์สเลนส์เหนียวสามารถทำได้ด้วยการหมักเนื้อดินด้วยน้ำส้มสายชู ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่นิยมทำกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ การหมักจะต้องหมักเนื้อดินในที่เย็นและปราศจากแสงแดด การหมักดินตั้งแต่สองสัปดาห์ขึ้นไปถือว่าเป็นการเพียงพอที่จะนำไปใช้ขึ้นรูปบนแป้นหมุนได้ (ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์, 2538 : 18) ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนส์แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

3.1 ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนส์อุณหภูมิต่ำ (Soft Porcelains)จะเป็นเนื้อดินปอร์สเลนส์ที่เผาในอุณหภูมิต่ำ จะเผาในอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียสลงมา เนื้อขาวโปร่งแสงไม่ดูดซึมน้ำ ผลิตภัณฑ์จำพวกนี้ได้แก่ ฟันปลอม (Dental) โบนไชน่า (Bone China) แพเรียนแวร์ (Parian Ware) เป็นต้น

3.2 ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนส์อุณหภูมิสูง (Hard Porcelains) อุณหภูมิที่ใช้เผาจะอยู่ในช่วง 1,280 องศาเซลเซียสขึ้นไป เนื้อแข็งแกร่งมากกว่าปอร์สเลนส์อุณหภูมิต่ำ โปร่งแสง สีขาว ไม่ดูดซึมน้ำ (โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 46-47)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะเครื่องปั้นดินเผาแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. เนื้อดินปั้นเอิร์ทเทนแวร์ (Earthen Were Bodies) คือ เนื้อดินที่ได้มาจากดินที่ขุดได้ตามธรรมชาติ เรียกว่า เอิร์ทเทนแวร์จากดินธรรมชาติ (Natural Earthenwere) หรือเนื้อดินที่ได้จากการเตรียมเนื้อดินปั้นขึ้นมาใหม่ เรียกว่า เอิร์ทเทนแวร์เนื้อละเอียด (Fine Earthenware) เป็น

เครื่องปั้นดินเผาที่เผาในอุณหภูมิต่ำไม่เกิน 1,150 องศาเซลเซียส สามารถดูดซึมน้ำได้ประมาณร้อยละ12-22 ถ้าหากเคาะเสียงจะทึบ ความแข็งแกร่งจะไม่สูง มีสีออกแดงน้ำตาล เนื่องจากเนื้อดินมีส่วนผสมของสารประกอบเหล็กปนอยู่ ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ เช่น ถ้วยชาม น้ำต้น ,กระถางปลูกดอกไม้,กระเบื้องมุงหลังคาวัด,กระเบื้องเคลือบไฟต่ำ เป็นต้น

2. เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Stone Ware Bodies) เป็นเนื้อดินปั้นที่เผาในอุณหภูมิสูงในช่วง 1,190 –1,350 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ไม่เกินร้อยละ 1 ถึง 5 ผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการเผาถึงจุดสุกตัว จะมีเนื้อแน่นแข็งแกร่ง ทึบแสง น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ เมื่อเคาะเสียงจะดังกังวาน และสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ จะมีสีแตกต่างกันออกไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแร่ธาตุที่ผสมอยู่ในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์และบรรยากาศในการเผาไหม้ เนื้อดินสโตนแวร์อาจได้จากดินธรรมชาติในบางแหล่ง หรืออาจเตรียมขึ้นมาใหม่ ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่เตรียมได้จากดินธรรมชาติ เช่น โอ่งมังกรราชบุรี ผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน และผลิตภัณฑ์ศิลาดล (Celadon)ของเชียงใหม่

3. เนื้อดินปั้นปอร์สเลนส์ (Porcelains) เป็นเนื้อดินปั้นที่เผาในอุณหภูมิสูง เนื้อผลิตภัณฑ์จะมีจุดเด่นคือโปร่งแสง เนื้อแข็งแกร่ง ไม่มีความพรุนตัว ไม่ดูดซึมน้ำ เนื้อดินปั้นได้มาจากการเตรียมขึ้นมาใหม่ โดยจะมีส่วนผสมของดิน หินฟันม้า และหินเขี้ยวหนุมาน ซึ่งจีน เป็นชาติแรกที่สามารถทำเครื่องปั้นดินเผาปอร์สเลนส์ได้ตั้งแต่สมัยราชวงศ์ซ้อง ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนส์แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้คือ

3.1 ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนส์อุณหภูมิต่ำ (Soft Porcelains) จะเผาในอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียสลงมา เนื้อขาวโปร่งแสงไม่ดูดซึมน้ำ เช่น ฟันปลอม (Dental) โบนไชน่า (Bone China) แพเรียนแวร์ (Parian Ware) เป็นต้น

3.2 ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนส์อุณหภูมิสูง (Hard Porcelains) อุณหภูมิที่ใช้เผาจะอยู่ในช่วง 1,280 องศาเซลเซียสขึ้นไป เนื้อแข็งแกร่งมาก โปร่งแสง สีขาว ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า

การหาส่วนผสมของวัตถุดิบ

ส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเนื้อดินปั้นและเคลือบปกติแล้วจะประกอบด้วยวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ส่วนผสมวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตเคลือบอาจประกอบด้วย หินฟันม้า ดินฟริต และวัตถุดิบอื่นๆ วัตถุดิบเหล่านี้แต่ละตัวอาจจะมีองค์ประกอบของสารเคมีที่มีโครงสร้างของเนื้อวัตถุหลายๆแบบจึงเป็นการจำเป็นที่จะต้องจัดส่วนผสมของวัตถุดิบให้เหมาะสมเพื่อให้ได้เนื้อของเคลือบตรงตามวัตถุประสงค์ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2530 : 34) ดังนักวิชาการหลายท่านกล่าวถึงวิธีการหาส่วนผสมของวัตถุดิบดังต่อไปนี้

การหาสูตรเคลือบด้วยวิธี Biaxial Blend หรือ Line Blend

โดยทั่วไปการหาส่วนผสมของวัตถุดิบ 2 ชนิดใช้วิธีการเปรียบเทียบอัตราส่วน โดยวัตถุดิบ ตัวที่ 1 เริ่มต้นจากร้อยละ 0 10 20 . /. /. ถึง 100 และวัตถุดิบอีกตัวหนึ่งเริ่มต้นที่ร้อยละ 100 90 80 ....ถึง 0 แต่เราสามารถใช้วิธีการนี้มาผสมวัตถุมากกว่า 2 ชนิดก็ได้ (Hamilton, 1982 : 98) ทั้งนี้แต่ไม่ควรเกิน 4 ชนิดเพราะจะทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์และชั่งวัตถุดิบแต่ละชนิดอยู่บ้าง (เสริมศักดิ์ นาคบัว, 2536 :16)

ตาราง 2 แสดงการหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบ 2 ชนิด

วัตถุดิบ	ส่วนผสมที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
B	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(Green, 1978 : 64)

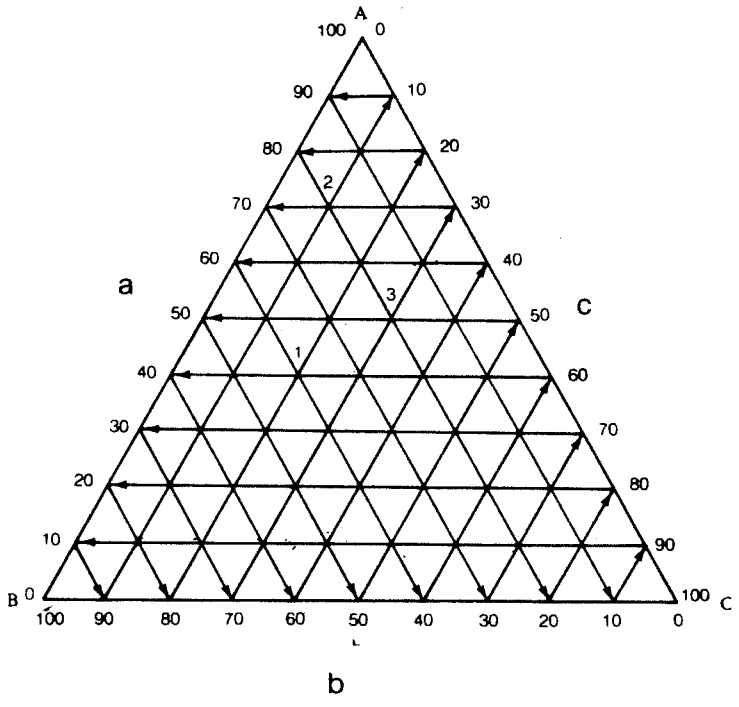
ตาราง 3 แสดงการหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบ 3 ชนิด

วัตถุดิบ	ส่วนผสมที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
B	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
C	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(Green, 1978 : 64)

การหาสูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นและเคลือบด้วยวิธี Triaxial Blend

เราสามารถคำนวณน้ำเคลือบ เนื้อดินปั้น หรือสีเคลือบ ได้จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2534 : 65) เคลือบที่ประกอบด้วยวัตถุดิบมากกว่า 2 ชนิด จะใช้งานได้ดีกว่า ทำการเคลือบ (Application) บนชิ้นงานได้ง่ายกว่า มีความแน่นอนจากผลของการเผามากกว่า และมักจะมีช่วงการเผา (Firing Range) กว้าง หรืออาจกล่าวได้ว่า เคลือบยิ่งมีส่วนผสมของวัตถุดิบมากชนิด จุดหลอมตัวของเคลือบก็จะยิ่งต่ำลง Triaxial Blend เป็นวิธีที่จะนำมาใช้หาสูตรเคลือบได้ดีขึ้นในด้านต่างๆดังนี้ (เสริมศักดิ์ นาคบัว, 2536 : 32)



ภาพที่ 3 แสดงตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้หาส่วนผสมของวัตถุดิบ
(สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2534 : 65)

วิธีอ่านค่าของตารางในสามเหลี่ยมด้านเท่า

ให้ A,B,C เป็นวัตถุดิบ 3 ชนิด

การหาค่าของวัตถุดิบ A ให้อ่านตามค่าในแกนนอน (←) ค่าให้อ่านด้าน a

การหาค่าของวัตถุดิบ B ให้อ่านตามค่าในแกนเฉียง (↘)ที่ลากจากฐาน A ไปฐาน B ค่าให้อ่านที่ด้าน b

การหาค่าของวัตถุดิบ C ให้อ่านตามค่าในแกนเฉียง (↗)ที่ลากจากฐาน B ไปฐาน C ค่าให้อ่านที่ด้าน c

ค่าทั้ง 3 ค่าที่อ่านได้จากตารางนี้เมื่อรวมกันแล้วจะต้องได้ร้อยละ100 พอดี ถ้าหากว่ารวมกันแล้วได้มากหรือน้อยกว่าร้อยละ 100 แสดงว่าอ่านค่าใดค่าหนึ่งผิด

ตัวอย่างเช่น ที่จุด 1

วัตถุดิบ A	=	40
วัตถุดิบ B	=	40
วัตถุดิบ C	=	20

ที่จุด 2

วัตถุดิบ A = 70

วัตถุดิบ B = 20

วัตถุดิบ C = 10

ที่จุด 3

วัตถุดิบ A = 50

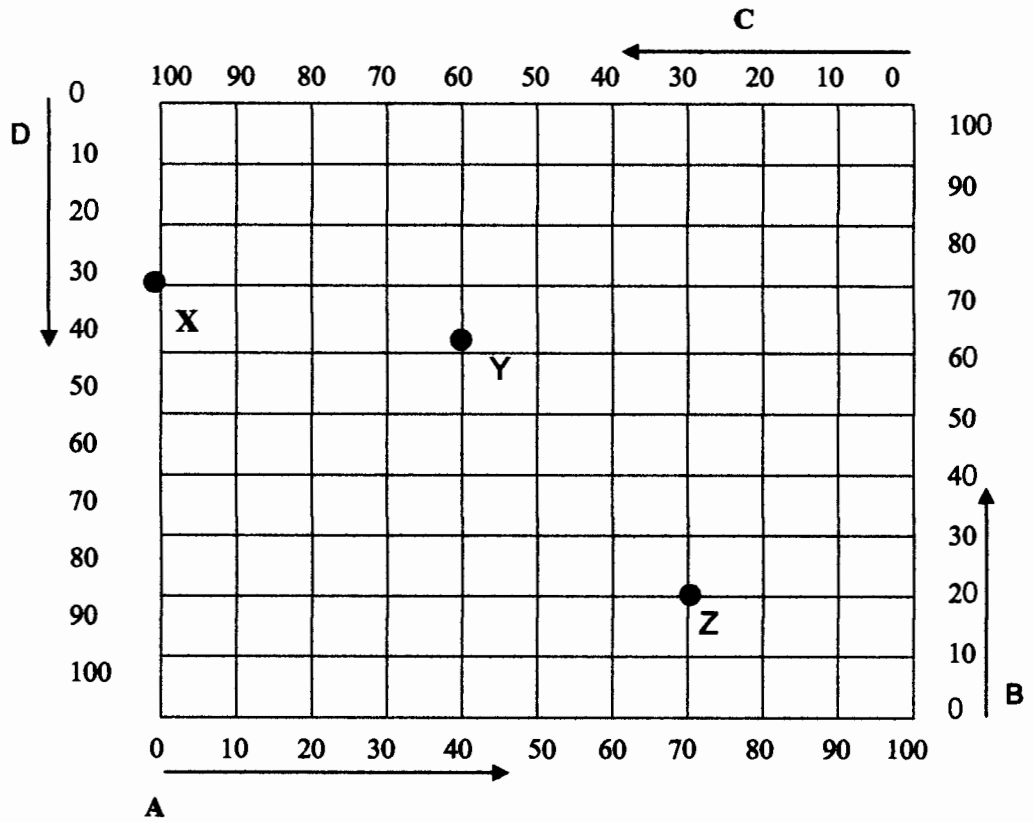
วัตถุดิบ B = 20

วัตถุดิบ C = 30

(สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2534 : 65-66)

การหาสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและเคลือบด้วยวิธี Quadraxial Blend

เคลือบที่ประกอบด้วยวัตถุดิบหลายชนิด จะนำมาใช้งานได้ง่ายกว่า มีผลการเผาที่แน่นอน (เสริมศักดิ์ นาคบัว, 2536 :54) วิธี Quadraxial Blend สามารถนำวัตถุดิบ 4 ชนิดมาผสมกัน ผลรวมของปริมาณวัตถุดิบจะเท่ากับ 100 ทุกจุด แต่ข้อจำกัดของวิธี Quadraxial Blend นั้นอยู่ที่วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีปริมาณสูงสุดไม่เกินร้อยละ 50



ภาพที่ 4 แสดงตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้หาส่วนผสมของวัตถุดิบ

วิธีการอ่านค่าจำนวนส่วนผสมของวัตถุดิบจากตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถกระทำได้โดยอ่านค่าวัตถุดิบตามทิศทางของหัวลูกศรที่ชี้ไป สมมติให้ A B C และ D เป็นวัตถุดิบ 4 ชนิด ที่ใช้สำหรับทำเนื้อดินปั้น บนด้านของสี่เหลี่ยมจัตุรัสทุกด้านทุกจุด จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบเพียง 3 ชนิด เท่านั้น เช่น ทุกจุดบนเส้น A B จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบ A C และ D เท่านั้น ไม่มีวัตถุดิบ B ทุกจุดบนเส้น BC จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบ A B และ D เท่านั้น ไม่มีวัตถุดิบ C สำหรับที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีเพียงวัตถุดิบ 2 ชนิดผสมกัน เช่น ที่มุม A จะมีวัตถุ C และ D เท่านั้น หรือ มุม B จะมีวัตถุ D และ A เท่านั้น ส่วนจุดตัดของเส้นภายในสีเหลี่ยมจัตุรัสทุกจุด จะแสดงส่วนผสมของวัตถุดิบ A B C และ D โดยการเพิ่มลดส่วนผสมของวัตถุดิบช่วงละ 10 และผลรวมของวัตถุดิบทั้งหมดตามวิธีการนี้ จะเป็น 200 เสมอไป ตัวอย่าง เช่น ที่จุด X จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบ A เป็น 0 วัตถุดิบ B เป็น 70 วัตถุดิบ C เป็น 100 และวัตถุดิบ D เป็น 30 ที่จุด Y จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบ A เป็น 40 วัตถุดิบ B เป็น 60 วัตถุดิบ C เป็น 60 และวัตถุดิบ D เป็น 40 และที่จุด Z มีส่วนผสมของวัตถุดิบ A เป็น 70 วัตถุดิบ B เป็น 20 วัตถุดิบ C เป็น 30 และวัตถุดิบ D เป็น 80

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่นิยมกันมีอยู่ 3 วิธี คือ

1. วิธี Biaxial Blend เป็นวิธีการหาส่วนผสมของวัตถุดิบโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ 2 ชนิด วิธีการนี้สามารถหาส่วนผสมของวัตถุดิบมากกว่า 2 ชนิดได้ แต่ไม่ควรเกิน 4 ชนิด เพราะจะทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์และชั่งวัตถุดิบ

2. วิธี Triaxial Blend เป็นวิธีการหาส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด มีผลดีคือ ทำให้เคลือบหลอมตัวได้ดีกว่า ใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด และยังสามารถใช้วัตถุดิบแต่ละตัวได้เกินร้อยละ 50 ข้อจำกัดคือใช้วัตถุดิบได้เพียงแค่ 3 ชนิด

3. วิธี Quadraxial Blend เป็นการหาส่วนผสมจากวัตถุดิบ 4 ชนิด ซึ่งมีผลดีคือ เคลือบยิ่งมีส่วนผสมของวัตถุดิบมากชนิด จุดหลอมตัวของเคลือบก็จะยิ่งต่ำลง แต่ข้อจำกัดของวิธี Quadraxial Blend นั้นอยู่ที่วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีปริมาณสูงสุดไม่เกินร้อยละ 50

ในการวิจัยเรื่อง "การพัฒนาอิฐทนไฟฉนวนจากเถ้าแกลบ" ผู้วิจัยใช้วิธี Triaxial Blend เพื่อหาส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบหลัก 3 ชนิด

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทางด้านเซรามิกส์มีวิธีการแตกต่างกันหลายวิธี ขึ้นกับชนิดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพและคุณสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตด้วย(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 149) การขึ้นรูปมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน กล่าวคือ

1. วิธีขึ้นรูปแบบวิธีกด (Press Method)
2. วิธีขึ้นรูปแบบรีด (Extrusion Method)
3. วิธีขึ้นรูปทรงต่างๆ (Shaping Method)
4. วิธีขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (Casting Method)

1. วิธีขึ้นรูปแบบวิธีกด (Press Method) การผลิตด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีแรงกด ดัน และน้ำหนักมาก ได้แก่ เครื่องกด โอโตเมตริก ไฮโดรลิก (Automatic Hydrolic Press) มีทั้งชนิดอัตโนมัติ และแบบธรรมดาที่กำลังคนช่วยอัดก็มี โดยเฉพาะวัตถุดิบที่เตรียมนำมาใช้ในการผลิตมีลักษณะเป็นผงหรือเป็นฝุ่น(Dry Press or Semi-wet Press) ซึ่งอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ผสมอยู่ประมาณร้อยละ 5-16 (ไม่สามารถนวดเป็นก้อนได้) ต้องอาศัยแรงอัดจึงจะเกาะเป็นรูปได้ แม่พิมพ์จะต้องสร้างด้วยเหล็กแข็ง (Steel Mould) การออกแบบผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ต้องเป็นแท่งตันเป็นเหลี่ยม ไม่มีส่วนเว้าและส่วนโค้งมาก จะทำให้ถอดพิมพ์ไม่ออก ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ได้แก่ กระเบื้องฝาผนัง กระเบื้องปูพื้น อุปกรณ์ไฟฟ้า กระเบื้องมุงหลังคา อิฐประดับ เป็นต้น

2. วิธีขึ้นรูปแบบรีด (Extrusion Method) ดินที่นำมาใช้มีลักษณะเป็นก้อน และไม่แข็งมากนัก วิธีเตรียมดินโดยผ่านเครื่องอัดดิน(Filter Press) หรืออ่างเกรอะดิน แล้วนำไปเข้าเครื่องรีดดินตามรูปแบบที่ต้องการ เช่น เป็นแท่งโปร่ง เป็นท่อขนาดต่างๆกลม เหลี่ยม ตามหัวแบบ(Die) เครื่องรีดดินโดยทั่วไปมี 2 แบบ

2.1 แบบที่ใช้ความดันของลมอัดในการรีดดิน (Piston Extrusion) เนื้อดินที่ใช้รีดต้องมีความละเอียดมาก ส่วนใหญ่นิยมใช้ผลิตท่อร้อยสาย อุปกรณ์ไฟฟ้า (Electronic) ต่างๆเป็นต้น

2.2 แบบส่วน (Augers) เหมือนกับ Pug Mill แต่เป็นเครื่องมือรีดดินขนาดใหญ่ ใช้ในวงงานอุตสาหกรรม สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก (Mass Product) ความเร็วรอบประมาณ 20-25 R.P.M. เช่น อิฐทนไฟชนิดเนื้อดินมีความเหนียวมาก การผลิตอิฐโปร่งที่กำลังเป็นที่นิยมในการก่อสร้าง

3. วิธีขึ้นรูปทรงต่างๆ (Shaping Method) หมายถึง การขึ้นรูปโดยวิธีใช้มือ (Hand Forming) และเป็นที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ในโรงเรียน ได้แบ่งวิธีขึ้นรูปหลายวิธีด้วยกัน คือ

3.1 การขึ้นรูปแบบอิสระ (Free Form Method)
3.2 การขึ้นรูปแบบแผ่น (Slab Method)
3.3 การขึ้นรูปแบบขด (Coil Method)
3.4 การขึ้นรูปแบบแป้นหมุน (Throwing Method)
3.5 การขึ้นรูปแบบใบมีด (Jigger Method)

3.6 การขึ้นรูปแบบใช้พิมพ์กด (Hand Press Method)

3.1 การขึ้นรูปแบบอิสระ (Free Form Method) การขึ้นรูปแบบอิสระ เป็นแบบที่ง่ายและสะดวกมาก (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 20-25) การปั้นแบบอิสระ เป็นการปั้นโดยใช้การปั้นด้วยมือเป็นส่วนใหญ่โดยอาศัยเครื่องมือเล็กๆน้อยๆทั้งที่ดัดแปลงเองหรือมีใช้โดยทั่วๆไป การปั้นแบบนี้จะใช้วิธี คลึง บีบ กด วิธีปั้นแบบอิสระนี้มีมาแต่โบราณ ตั้งแต่มนุษย์เริ่มทำเครื่องเคลือบดินเผาเป็นในปัจจุบันงานบางประการก็ยังใช้อยู่ แต่วิธีปั้นวิธีนี้ช้า แต่มีคุณค่าทางศิลป์ดีกว่าวิธีอื่นๆ ปัจจุบันมีใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับ(สุรเกียรติ ยอดวิเศษ และ อัมพรธิดา ยอดวิเศษ, 2538 : 19)

3.2 การขึ้นรูปแบบแผ่น (Slab Method) เป็นวิธีการทำแผ่นดินเพื่อนำมาประกอบให้เป็นทรงต่างๆ เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมหรือรูปทรงเรขาคณิต และรูปทรงที่แปลกๆวิธีทำ ขั้นแรก รีดดินให้เป็นแผ่น จากนั้นใช้เครื่องมือตัดดินตามรูปที่ต้องการ แล้วนำไปประกอบกันเข้าเป็นรูปทรง ขณะประกอบดินต้องมีลักษณะหมาดๆจึงจะติดเป็นรูปทรงได้ดี แล้วใช้น้ำดิน (Slip) เป็นตัวต่อประสานรอยให้ติดสนิท(มรดกไทย, 2542 : 36-37)

3.3การขึ้นรูปแบบขด (Coil Method) วิธีขดเป็นวิธีที่ผู้ปั้นได้จัดระเบียบการซ้อนของเส้นดินต่อเนื่องกันไปจนเกิดรูปทรงต่างๆตามความประสงค์ การซ้อนเส้นดินอย่างมีระเบียบนี้จะทำให้ดินสามารถติดกันได้ ทั้งๆที่วางทับซ้อนกันคนละครั้ง ถึงแม้ว่าดินแห้งและได้เผาจนสุกแล้วก็ยังสามารถเกาะติดกันแน่นอยู่ได้ในรูปเดิม (ทรงพันธ์ วรรณมาศ, 2532 : 192) การขดเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยช่างปั้นที่คุ้นเคยกับการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและช่างที่นิยมขึ้นรูปด้วยมือ การสร้างโอ่งลายมังกรก็ใช้กรรมวิธีนี้เช่นกัน เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็วและแข็งแรง การขดดินสามารถทำได้ด้วยการเตรียมเนื้อดินเหนียวให้เป็นเส้นยาว แล้วจึงนำเส้นดินเหล่านี้มาขดเป็นชั้นๆขึ้นไปตามความสูงที่ต้องการ การติดเนื้อดินเข้าด้วยกันจำเป็นต้องขูดสันขดดินให้เป็นรอยเพื่อช่วยให้ขดดินแต่ละชั้นติดกัน แล้วจึงทำน้ำดินเพื่อให้มีการประสานตัวกันขึ้น โดยความหนาของดินจะเป็นความหนาของผลิตภัณฑ์ (ปุณณรัตน์ พิชญไพบูรณ์, 2538 : 35)

3.4การขึ้นรูปแบบแป้นหมุน (Throwing Method) เป็นที่เชื่อกันว่า แป้นหมุนถูกนำมาใช้ตั้งแต่ 3,000 ปีก่อนคริสตกาล เครื่องมือขึ้นรูปโบราณนี้เป็นที่คุ้นเคยกันดีสำหรับช่างปั้นโดยทั่วไป (สาธร ชลชาติภิญโญ, 2544 : 79) การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนเป็นวิธีการที่อาศัยความชำนาญของช่างปั้นเป็นอย่างมาก เป็นการขึ้นรูปแบบทรงกลม โดยอาศัยเครื่องมือ แป้นหมุนในสมัยโบราณเป็นแป้นหมุนใช้แรงคนถีบ (Kick Wheel) ต่อมาได้วิวัฒนาการโดยใช้กำลังไฟฟ้า (Electric Wheel) (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 30) นอกจากนี้ โกมล รักษ์วงศ์(2538 : 52-57) ได้กล่าวไว้ว่า เนื้อดินปั้นที่นำมาขึ้นรูปโดยวิธีนี้จะต้องเป็นเนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวสูง แป้นหมุนที่ใช้ปั้นต้องมีความเร็วรอบ

ระหว่าง 40-80 รอบต่อวินาที แป้นหมุนที่มีความเร็วรอบช้าจะใช้ปั้นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ส่วนแป้นหมุนที่มีความเร็วรอบสูงจะใช้ปั้นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก ขั้นตอนต่างๆดังนี้

3.4.1 การนวดดิน เป็นการนวดดินเพื่อไล่ฟองอากาศในเนื้อดินและทำให้เนื้อดินมีความแข็งอ่อนเท่ากันทั้งก้อน การนวดดินสำหรับแป้นหมุนจะต้องนวดให้เป็นรูปทรงกลม ครึ่งวงกลม

3.4.2 การตั้งดินให้ได้ศูนย์ โดยการนำดินที่นวดเสร็จเรียบร้อยแล้วไปตั้งบนแป้นหมุนแล้วเปิดเครื่องแป้นหมุนให้หมุนทำการปั้นจับศูนย์ดินโดยใช้น้ำเป็นตัวหล่อลื่นขณะทำการปั้น

3.4.3 เมื่อตั้งดินได้ศูนย์กลางแล้วเจาะดินตรงจุดศูนย์กลางเพื่อที่จะดึงดินเป็นทรงกระบอก

3.4.4 การดึงทรงกระบอก การปั้นแป้นหมุน จะต้องตั้งทรงกระบอกให้ได้ก่อนที่จะตั้งรูปทรง

3.4.5 การทำรูปทรงต่างๆ หลังจากปั้นทรงกระบอกได้บางเป็นที่น่าพอใจแล้ว เริ่มเปลี่ยนรูปทรงตามที่เราต้องการ

3.4.6 ขั้นตกแต่งหรือขั้นสำเร็จ เป็นการตกแต่งก่อนยกผลิตภัณฑ์ออกจากแป้นหมุน

3.5 การขึ้นรูปแบบใบมีด (Jigger Method)

การขึ้นรูปแบบใบมีด เป็นการผลิตแบบมาตรฐานและสามารถผลิตได้จำนวนมากรวดเร็ว ส่วนใหญ่ได้แก่ จาน ชาม ถ้วย วิธีผลิตอาศัยพิมพ์ (Mold) และใบมีดตามลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีผลิตอาศัยแป้นหมุนที่มีความเร็วสูง (120 รอบต่อนาที) มีแขนสำหรับใส่ใบมีด พิมพ์ที่เป็นแบบทำด้วยปูนพลาสเตอร์ มีทั้งชนิดแบบภายนอก (Outside) เช่น ประเภท จาน แบบภายใน (Inside) เช่น ประเภทถ้วย เป็นต้น ใบมีดสร้างด้วยเหล็กแข็ง ใช้ขูดดินตามรูปร่างของพิมพ์ วิธีการขึ้นรูปถ้าเป็นการขึ้นรูปแบบภายนอก เตรียมดินเป็นแผ่นแล้วอัดไปบนแบบพิมพ์ เมื่อเวลาหมุนใบมีดจะทำหน้าที่ขูดไปตามรูปร่างของแบบพิมพ์ วิธีการขึ้นรูปแบบภายใน เตรียมดินเป็นก้อนกลม แล้วอัดลงไปในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ ใช้ใบมีดกดลงไปในแบบในขณะที่หมุน ดินจะถูกอัดตามแบบ ในการขึ้นรูปแบบจิกเกอร์ควรใช้น้ำเข้าช่วย เพราะจะช่วยทำให้ผิวของดินเรียบร้อยดี พิมพ์ที่ใช้ในการผลิต ควรมีหลายพิมพ์และจำนวนมากเพียงพอ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 39-40)

3.6 การขึ้นรูปแบบใช้พิมพ์กด (Hand Press Method) เป็นวิธีที่ทำกันมานานและได้ผลดี แต่มักจะมีรูปทรงตันและค่อนข้างจะหนากว่ากรรมวิธีอื่นๆ เช่นการทำพระพิมพ์ โดยทั่วไปจะนิยมใช้พิมพ์ที่ทำจากปูนพลาสเตอร์ เนื่องจากสะดวกในการเตรียมพิมพ์และการหล่อ นอกจากนี้

ปูนพลาสเตอร์ยังมีคุณสมบัติดูดน้ำจากเนื้อดินทำให้เนื้อดินแห้งเร็วและไม่ติดแน่นกับหน้าพิมพ์ ขั้นตอนการทำอาจใช้กรรมวิธีของการทำแผ่นดิน หรือขดดินก็ได้ แต่จะต้องใช้เนื้อดินที่ไม่แข็งและต้องไม่เหลวเกิน ซึ่งจะทำให้ใช้เวลานานในการทำให้แห้ง กรรมวิธีของพิมพ์กดจะต้องใช้แรงกดมากพอสมควรเพื่อให้เนื้อดินอัดตัวเข้าไปในทุกส่วนของหน้าพิมพ์ ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปกรรมวิธีนี้จะปรากฏรอยต่อของเนื้อดินที่เกิดจากการขดหรือรอยอัดของเนื้อดินขึ้น (ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์, 2538 : 47)

4. วิธีขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (Casting Method)

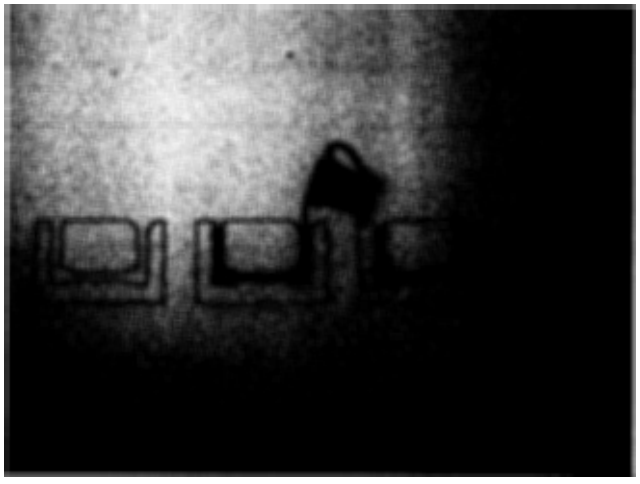
การหล่อเป็นวิธีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์หรือการอัดพิมพ์ การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดินจะต้องอาศัยแบบพิมพ์จำนวนมากในการผลิต คำว่าสลิป (Slip) หมายถึงน้ำดินเหลวโดยทั่วไป และน้ำดินสำหรับงานหล่อ เรียกว่า (Casting Slip) ต้องเติมน้ำยากันดินตกตะกอนในส่วนผสมของน้ำดินด้วย การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดินเหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่ยาก มีรายละเอียดมาก หรืองานที่ค่อนข้างซับซ้อน เช่น ชิ้นงานแกะลาย ชิ้นงานที่มีรูปทรงเหลี่ยมหรือรูปทรงอิสระต่างๆเช่น เครื่องสุขภัณฑ์ ชิ้นงานประเภทตั้งโต๊ะที่มีรูปทรงภายในกลวง เช่น กาน้ำชา-กาแฟ แจกัน โถผาปิด เป็นต้น (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 111)

การหล่อสลิปที่นิยมทำกันมี 2 วิธี คือ

1. การหล่อสลิปแบบกลวง (Drain Casting) หมายถึง การหล่อเมื่อได้ความหนาพอสมควรของผลิตภัณฑ์ก็เทน้ำสลิปออกจากพิมพ์ เทคนิคในการเทสลิปต้องค่อยๆเทและคว่ำไว้จนหมดสลิปในแบบ มิฉะนั้นจะทำให้ผิวภายในขรุขระ พิมพ์ที่ใช้เป็นพิมพ์ชิ้นเดียวหรือหลายๆชิ้นก็ได้

ภาพที่ 5 แสดงการหล่อสลิปแบบกลวง
(ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 43)

2. การหล่อสลิปแบบตัน (solid casting) หมายถึง การหล่อสลิปลงในพิมพ์ให้เป็นแท่งตัน ข้อแตกต่างกันก็คือ จะต้องทำแบบพิมพ์ไม่เหมือนกับแบบกลวง พิมพ์แบบนี้จำกัดความหนาของผลิตภัณฑ์ นิยมใช้ในการหล่อจานเปล เครื่องสุขภัณฑ์ต่างๆ



ภาพที่ 6 แสดงการหล่อสลิปแบบตัน
(ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 43)

จึงสรุปได้ว่า การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทางด้านเซรามิกส์มีหลายวิธีการแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ และยังขึ้นอยู่กับคุณภาพและคุณสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตด้วย การขึ้นรูปมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ

1. วิธีขึ้นรูปแบบวิธีกด (Press Method)
2. วิธีขึ้นรูปแบบรีด (Extrusion Method)
3. วิธีขึ้นรูปทรงต่างๆ (Shaping Method)
4. วิธีขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (Casting Method)

การอบผลิตภัณฑ์ให้แห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการผลิตเซรามิกส์ เนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องทำการขับไล่ความชื้นออกจากเนื้อของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้ว เพื่อเตรียมที่จะนำเข้าเผา กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน เริ่มต้นจากการที่น้ำเริ่มระเหยออกจากชิ้นงานพร้อมกับเกิดการหดตัวขึ้น โดยที่การหดตัวจะมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่สูญเสียไป ต่อจากนั้น เป็นช่วงที่น้ำภายในชิ้นงานเริ่มมีการระเหยออกมาซึ่งจะมีการหดตัวเล็กน้อยหรือบางครั้งไม่พบการหดตัวเลย ในกระบวนการอบแห้งนี้ เราจะพบข้อบกพร่องหรือตำหนิต่างๆ

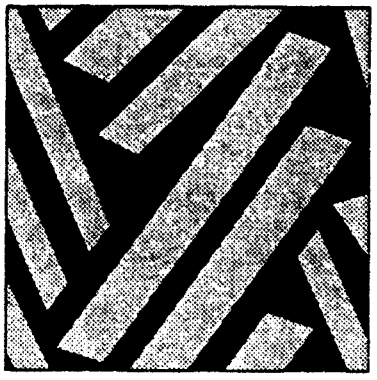
เกิดขึ้นมาได้ เช่น การร้าวของชิ้นงาน หรือการบิดงอ ชิ้นงานใดๆก็ตาม โดยหลักการแล้วควรที่จะทำการปล่อยให้แห้งอย่างช้าๆค่อยๆเป็นค่อยๆไป ไม่สมควรที่จะเร่งอัตราการแห้ง งานชิ้นใหญ่ๆบางที่ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานนับเดือน อย่างไรก็ตามเมื่อเป็นอุตสาหกรรมแล้ว เวลาเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ทำให้การรอให้แห้งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถทำได้ จึงเกิดการพัฒนากระบวนการอบแห้งเพื่อลดเวลาที่จะต้องรอคอยลงมาให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยการนำเงื่อนไขของลม,ความชื้น และอุณหภูมิเข้ามาช่วย (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 84)

กลไกการอบผลิตภัณฑ์ให้แห้ง

ในผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จใหม่ๆจะมีน้ำประกอบอยู่ 4 รูปแบบด้วยกัน คือ

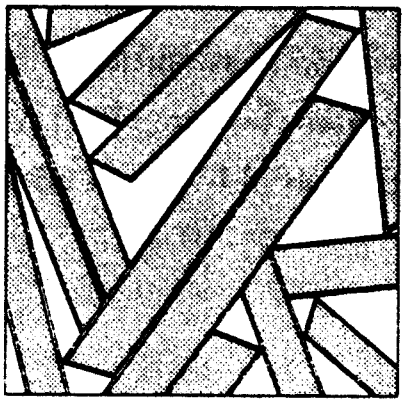
1. น้ำที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคของวัตถุดิบ (Absorbed Water)
2. น้ำที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเมื่ออบแห้ง (Shrinkage Water)
3. น้ำซึ่งถูกขังอยู่ในช่องว่างในผลิตภัณฑ์ (Pore Water)
4. น้ำซึ่งประกอบอยู่ในโครงสร้างของผลึกวัตถุดิบ (Crystal Lattice Water)

น้ำในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สถานะ แสดงให้เห็นได้ตามภาพ

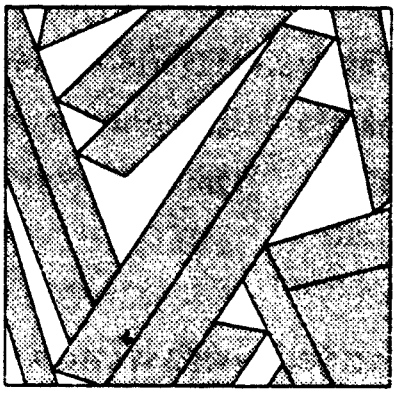


ภาพที่ 7 แสดงน้ำที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเมื่ออบแห้ง (Shrinkage Water)
(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 204)

ภาพที่ 8 แสดงน้ำซึ่งถูกขังอยู่ในช่องว่างในผลิตภัณฑ์ (Pore Water)
(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 204)



ภาพที่ 9 แสดงน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคของวัตถุดิบ (Absorbed Water)
(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 204)



ภาพที่ 10 แสดงน้ำซึ่งประกอบอยู่ในโครงสร้างของผลึกวัตถุดิบ (Crystal Lattice Water)
(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 204)

ผิวของแข็งทุกชนิดมีความสามารถดูดซับน้ำ ซึ่งอาจจะมีความหนาเพียงหนึ่งโมเลกุลหรือมากกว่า และการสะสมน้ำในเนื้อของแข็งจะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และอยู่ในรูปของหลอดเล็กๆ ปริมาณของน้ำที่ถูดดูดซับขึ้นกับความดันไอของน้ำในบรรยากาศ ดังนั้นเนื้อผลิตภัณฑ์เมื่อแห้งจะค่อยๆดูดซับน้ำในบรรยากาศจนถึงจุดสมดุล พวกดินขาวซึ่งมีเม็ดหยาบจะดูดซับน้ำได้น้อย พวกดินดำจะดูดซับความชื้นได้มากกว่าดินขาวเนื่องจากมีเม็ดละเอียดมากกว่า ปริมาณของน้ำที่ทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเมื่ออบผลิตภัณฑ์ให้แห้ง น้ำปริมาณนี้เป็นน้ำส่วนที่แยกอนุภาคของดินออกจากกันในขณะที่ดินนั้นยังคงสภาพความเหนียวอยู่ น้ำปริมาณนี้จะมีจำนวนโมเลกุลอยู่ในช่วง 200 โมเลกุล ดังนั้น เมื่อน้ำปริมาณนี้ถูกขจัดออกไปในระหว่างการอบแห้ง จะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัว

น้ำที่ถูกขังอยู่ภายในช่องว่างของผลิตภัณฑ์ น้ำปริมาณนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของอนุภาคของวัตถุดิบมีขนาดกระจายดีมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ก็ขึ้นกับการอัดตัวกันของอนุภาควัตถุดิบ คือ อัดตัวกันได้แน่นขนาดไหน ขนาดของอนุภาคของวัตถุดิบถ้าใหญ่หรือหยาบโอกาสที่จะมีช่องว่างในเนื้อผลิตภัณฑ์ก็มีมากและช่องว่างมีขนาดใหญ่ ฉะนั้นน้ำจึงมีโอกาสถูกขังอยู่ในช่องว่างมากตามไปด้วย อนุภาคขนาดเล็กหรือละเอียดก็จะให้ผลที่ตรงข้ามกับที่กล่าวมา

น้ำในผลึกของแร่ มักจะพบในแร่พวกที่หนึ่งเซลล์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสามชั้น น้ำจะแทรกอยู่ระหว่างชั้นและเป็นเหตุให้แร่นั้นมีการขยายตัว เมื่อน้ำนี้ถูกขจัดออกไปตอนอบแห้งจะทำให้ผลึกกลับคืนสู่ขนาดเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุของการหดตัว ในเบนโตไนต์จะพบปรากฏการณ์แบบนี้และมีการหดตัวสูง เพราะว่ามีแร่พวกหนึ่งเซลล์มีชั้นเนื้อเยื่อที่เป็นโครงสร้างของดินซ้อนกันสามชั้นในผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ทั่วไปมีแร่ดินพวกนี้เข้ามาเกี่ยวโยงน้อยมาก ผลการหดตัวเนื่องจากแร่พวกนี้จึงมีไม่มาก น้ำในผลึกของแร่มีแรงยึดค่อนข้างสูง การขจัดจึงค่อนข้างยาก น้ำชนิดนี้จะหมดไปในขั้นตอนสุดท้ายของขบวนการอบแห้ง

เนื้อผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งมีการหดตัวน้อยกว่าดินล้วนๆ เพราะว่าเนื้อผลิตภัณฑ์มีพวกวัตถุดิบบางส่วนไม่มีความเหนียวและยังมีเม็ดหยาบกว่าดิน ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ดูดซับปริมาณน้ำน้อยลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวต่ำเมื่อแห้ง การที่มีขนาดต่างกันของดิน หินแก้ว หินฟันม้า คือ หินแก้วและหินฟันม้าเป็นวัตถุดิบที่จัดเป็นพวกที่มีขนาดหยาบ ดินขาวมีขนาดเล็กรองลงมาและดินดำเป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียดมาก ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์อัดตัวกันดี(ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 203-205)

ลักษณะต่างๆของการอบแห้ง

1. การอบแห้งแบบฮอทฟลอร์ดรายเออร์ (Hot Floor Dryers)

การอบแห้งแบบนี้ใช้ห้องอบที่ได้รับความร้อนมาจากเตาในส่วนของแก๊สที่ผ่านมาทางปล่องระบายความร้อน หรือใช้วิธีอื่น ที่จะให้ความร้อนผ่านเข้ามาในห้องอบไอน้ำจากผลิตภัณฑ์ที่ระเหยออกมา

ทำให้บรรยากาศในห้องอบค่อนข้างชื้น จำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นในห้องอบให้เหมาะสม และส่วนมากห้องอบแบบนี้ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่มาก

2. การอบแห้งแบบอาศัยความชื้นสัมพัทธ์

การอบแห้งแบบนี้อาศัยหลักที่ว่า ของที่เปียกอยู่จะไม่มีการระเหย ถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงมากแม้ว่าจะมีการเพิ่มอุณหภูมิก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะอบแห้งแบบนี้ส่วนมากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับเตาอุโมงค์ ซึ่งจะบรรจุหรือวางบนรถที่เคลื่อนที่ผ่านห้องเผาที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากจนไม่มีการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ออกมาเลย เมื่อรถเคลื่อนที่มาจนถึงบริเวณที่กำหนดที่จะเริ่มมีการระเหยอุณหภูมิจะลดลง ในขณะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ยังคงเหลือความร้อนอยู่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณนี้ลดลง ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมาอย่างรวดเร็วจนแห้ง

3. การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด

การอบแห้งแบบนี้ต้องมีแหล่งกำเนิดคลื่นใต้แสง หรืออินฟราเรดที่จะทำให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์ดูดกลืนเข้าไปและเกิดพลังงานความร้อนขึ้นจนไอน้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ การอบแห้งวิธีนี้ค่อนข้างที่จะรวดเร็วและสม่ำเสมอ

4. การอบแห้งโดยใช้คลื่นความถี่สูง

ใช้หลักการเหมือนวิธีอินฟราเรด แต่เปลี่ยนมาเป็นคลื่นวิทยุที่มีความเข้มมากๆเช่น ไมโครเวฟแทน

5. การอบแห้งโดยใช้กระแสไฟฟ้า

อาศัยหลักการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านเนื้อดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่ขึ้นรูปจากท่อนดินขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมฉนวนไฟฟ้า ท่อนดินที่ผ่านเครื่องรีดดินจะมีขนาดใหญ่มาก การอบแห้งแบบทั่วไปไม่สามารถที่จะทำให้แห้งได้ในเวลาอันสั้น จะใช้วิธีส่งกระแสไฟฟ้าผ่านท่อนดินนี้ด้วยค่าที่เหมาะสมทำให้โมเลกุลของน้ำในดินสั่นสะเทือนและระเหยออกมา(ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์, 2541 : 287)

จึงสรุปได้ว่าการอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งถือเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตเซรามิกส์ เพราะถ้าเราปล่อยให้ผลิตภัณฑ์แห้งหรืออบให้แห้งอย่างไม่ระมัดระวังจะทำให้เกิดการแตกร้าว หรือชิ้นงานโค้งงอเสียหายได้ การอบผลิตภัณฑ์ให้แห่งเป็นการไล่น้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งในเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จใหม่ๆจะมีน้ำที่เป็นองค์ประกอบอยู่ 4 ชนิดคือ 1.น้ำที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคของวัตถุดิบ 2. น้ำที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเมื่ออบแห้ง 3. น้ำซึ่งถูกขังอยู่ในช่องว่างในผลิตภัณฑ์ 4. น้ำซึ่งประกอบอยู่ในโครงสร้างของผลึกวัตถุดิบ เมื่อน้ำถูกขจัดออกไป แล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและมีการหดตัวเกิดขึ้น วิธีการอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังเช่น

ปล่อยให้แห้งเองตามธรรมชาติในที่ร่ม, อบแห้งในห้องอบหรือเตาอบ, อบแห้งโดยใช้คลื่นความถี่สูง , หรืออบแห้งโดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็นต้น

เตาเผาและการเผา

เตาเผา (Kiln)

เตาเผาเซรามิกเป็นอุปกรณ์ลำดับท้ายสุดที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงมีความสำคัญและมีผลต่อระบบการผลิตเป็นอย่างมาก เพราะความผิดพลาดที่เกิดจากการเผา จะเป็นผลให้งานต่างๆที่ผ่านการเตรียมมาเป็นอย่างดีในขั้นตอนการผลิตแรกๆเกิดความเสียหายหรือพังทลายลงไปได้ (อำพน วัฒนรังสรรค์, 2540 : 29) นอกจากนี้การที่จะทำเครื่องปั้นดินเผาให้เกิดผลดีและผลิตภัณฑ์มีความเสียหายน้อยที่สุดนั้น ยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเผา การควบคุมไฟ และการควบคุมอุณหภูมิ (มรดกไทย, 2542 : 42) เตาเผาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้มีผู้ออกแบบตลอดจน รูปร่าง ขนาดให้เหมาะสมกับความต้องการและมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย ควบคุมสะดวก ได้แบ่งประเภทเตาเผาตามลักษณะต่างๆดังนี้คือ

1. แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา (Perodic Klin)

ซึ่งหมายความถึงเตาชนิดต่างๆจะเป็นเตาน้ำมัน เตาแก๊ส เตาไฟฟ้า เตาฟืน โดยเผาเป็นครั้งคราว เผาแบบกึ่งต่อเนื่อง หรือเผาตลอดเวลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตที่จะต้องการจะสนองความต้องการของอุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆคือ

1.1 เตาเผาที่ไม่ต่อเนื่อง (Un Continuous Kiln) หมายถึงเตาเผาที่เผาเป็นครั้งคราว โดยเผาไม่ติดต่อกัน ต้องใช้เวลานานพอสมควรรอให้เตาเย็น จึงจะมีการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาใหม่ เป็นเตาที่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมภายในครอบครัว งานค้นคว้าวิจัย งานทดลองต่างๆ

1.2 เตาเผาชนิดกึ่งการต่อเนื่อง (Simi Continuous Kiln)เป็นเตาที่สามารถเผาเกือบจะติดต่อกันไป ทำให้เป็นการประหยัดเชื้อเพลิง โดยอาศัยความร้อนส่วนหนึ่งของเตาเผา และควรเป็นเตาชนิดที่ใช้รถบรรจุผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอีกคันหนึ่ง หมุนเวียนสลับกันไป ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป

1.3 เตาเผาชนิดที่เผาต่อเนื่อง (Continuous Kiln) เป็นเตาแบบอุโมงค์ (Tunnel Kiln) หรือเตาแบบวงแหวน เป็นเตาที่ออกแบบให้เผาติดต่อกันได้ตลอดเวลา เป็นเตาที่มีระบบการควบคุมอย่างดี ลงทุนสูงใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

2. แบ่งตามประเภทของทางเดินลมร้อน

เป็นการออกแบบเตาเผา ที่ให้ความร้อนเดินไปในทิศทางที่ต้องการ และได้

ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี มีประสิทธิภาพในการใช้งาน กล่าวคือ

2.1 เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนในแนวนอน (Horizontal Draft Kiln) เป็นเตาชนิดที่มีรูปร่างยาวขนานกับพื้นดิน หลังคาโค้ง ตลอดจนถึงแนวปล่อง เป็นเตาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง และสามารถเผาได้อุณหภูมิสูง ซึ่งได้แก่ เตาจีน เตากูบ เตาเผาเคลือบเซราดอนที่เชียงใหม่ เตาเผาสังคโลกที่มีชื่อเสียงในสมัยสุโขทัย ปัจจุบันเตาแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเนื่องจากต้นทุนในการผลิตสูง และเชื้อเพลิงที่ใช้ก็หายากขึ้น และอีกประการหนึ่งต้องคอยควบคุมตลอดเวลา(ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 13-14)

2.2 เตาเผาชนิดทางลมร้อนขึ้น (Up Draft Kiln) มักเป็นเตาขนาดเล็กที่สร้างขึ้นอย่างง่ายๆ รูปทรงของเตาที่พบมีทั้งทรงกลม และทรงสี่เหลี่ยม พบมีทั้งที่ทำด้วยดินเหนียว และอิฐ โครงสร้างของเตาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ห้องบรรจุเชื้อเพลิงอยู่ด้านล่าง และห้องบรรจุภาชนะที่จะเผาอยู่ถัดขึ้นมาตอนบน มีแผ่นดินเหนียวกลมหรือสีเหลี่ยมตามรูปทรงของเตาคั่นระหว่างห้องบรรจุเชื้อเพลิงกับห้องบรรจุภาชนะ แผ่นดินเหนียวดังกล่าวเรียกว่า ตะกรับ แผ่นตะกรับนี้จะเจาะรูกลมเล็กๆคล้ายรังผึ้ง เพื่อให้ความร้อนผ่านขึ้นจากห้องบรรจุเชื้อเพลิงในระดับแนวดิ่งมาสู่ภาชนะที่วางเรียงไว้ เตาชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เตาตะกรับ (มรดกไทย, 2542 : 44)

2.3 เตาเผาชนิดทางลมร้อนลง (Down Draft Kiln) เป็นเตาที่มีบทบาทสำคัญมาก เป็นเตาที่สามารถเผาในอุณหภูมิสูง เป็นเตาเผาที่ใช้เทคนิคสูง และการลงทุนค่อนข้างแพง โดยเฉพาะวัตถุที่ใช้ในการก่อสร้างเตา ต้องเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดี สามารถทนต่อสภาวะต่างๆปัจจุบันเตาประเภทนี้นิยมสร้างเป็น เตาน้ำมัน เตาแก๊ส สำหรับเตาแก๊สใช้อิฐประเภทเบา ประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี

3. แบ่งตามประเภทของเปลวไฟ

เตาที่เผาผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันนี้ เตาบางประเภทมักออกแบบเป็นเตาให้เปลวไฟสัมผัสผลิตภัณฑ์โดยตรงก็มี แต่เตาบางชนิดโดยเฉพาะเตาเผาเคลือบ จะต้องออกแบบไม่ให้เปลวไฟสัมผัสได้เลย ซึ่งการออกแบบเตาเผาต้องมีลักษณะแตกต่างกัน คือ

3.1 เตาเผาชนิดเปลวไฟสัมผัส (Direct Firing Klin) เป็นเตาขนาดใหญ่ ใช้เผาผลิตภัณฑ์ประเภทสิ่งก่อสร้าง (Terra-cotta) อิฐ กระเบื้อง ท่อ อิฐทนไฟ เป็นเตาเผาที่ให้อุณหภูมิสูง ส่วนมากใช้เผาผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ

3.2 เตาเผาชนิดกึ่งป้องกันเปลวไฟ (Semi Muffle Kiln) เป็นเตาชนิดที่ออกแบบให้มีกำแพงไฟ (Buffle wall) ให้เปลวไฟสัมผัสกำแพงไฟโดยตรง โดยสร้างกำแพงไฟอยู่เหนือช่องเผา (Firing chember) เตาชนิดนี้ใช้เผาเคลือบได้ดี

3.3 เตาเผาชนิดเตาปิด (Muffle Kiln) เป็นเตาที่ออกแบบให้มีระบบป้องกันเปลวไฟสัมผัส โดยใช้วัสดุทนไฟสร้างเป็นหีบป้องกันไฟโดยตรง ใช้เผาเคลือบได้ดี หรือจะใช้เผาผลิตภัณฑ์ชนิดบนเคลือบก็ได้ โดยใช้หีบทนไฟ (Sagger) ขนาดเล็กที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา

4. แบ่งตามลักษณะเชื้อเพลิง

เตาที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์ จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง ตลอดจนรูปร่างและขนาดของเตา จะต้องดัดแปลงแก้ไขให้เหมาะสมกับงาน รวมทั้งการประหยัด และให้ผลคุ้มค่า กล่าวคือ

4.1 เตาชนิดที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง (Wood Firing Kiln) ผู้สร้างจะต้องออกแบบให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดี และสามารถเผาได้อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะขี้เถ้าจะต้องถ่ายเทได้สะดวก เตาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสร้างเป็นเตาชนิดต่างๆได้ตามต้องการ

4.2 เตาที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Coal Firing Kiln) เป็นเตาที่เผาได้อุณหภูมิสูง แต่การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงจะต้องออกแบบให้เหมาะสม ช่องที่จะใส่เชื้อเพลิง และการระบายขี้เถ่าในเตาต้องให้สมดุลย์กัน

4.3 เตาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (Gass Firing Kiln) เป็นเตาเผาที่ให้อุณหภูมิสูง สามารถเผาแบบ Oxidizing หรือ Reduction

4.4 เตาเผาชนิดใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (Oil Firing Kiln) อาจออกแบบให้ใช้น้ำมันประเภทโซล่า(Light Oil) หรือน้ำมันเตา (Heavy Oil)

4.5 เตาเผาชนิดไฟฟ้า (Electric Firing Kiln) เป็นเตาเผาที่สามารถให้อุณหภูมิสูง และสามารถเร่งความเร็วได้ตามต้องการ เป็นเตาที่เผาแบบ Oxidizing เท่านั้น (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 14–15)

เตาแก๊ส (Gas Kiln)

เตาแก๊สปัจจุบันนับว่าเป็นเตาที่กำลังนิยมในหมู่บรรดาผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา เป็นเตาที่ค่อนข้างสะอาดเผาให้อุณหภูมิสูง (High Temperature) มีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย เป็นเตาที่สามารถเผาแบบ Reduction ได้ การสร้างเตาแก๊ส จะต้องใช้อิฐเบา (Insulating Brick) ในการก่อเตาชนิดที่มีความทนไฟสูง เพราะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี

เตาแก๊สที่สร้างแบบมาตรฐาน ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ

1. เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น (Up Draft Kiln)
2. เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง (Down Draft Kiln)

เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น

การสร้างเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น เป็นเตาที่ไม่มีปล่องไฟ แต่มีช่องระบายความร้อนทำหน้าที่แทนปล่องไฟอยู่ในตอนบนของเตา ช่องล่าง (ก้นเตา) ให้ความร้อนผ่านแผ่นรองชนิดทนไฟสูง (Herth Slab) โดยไม่ผ่านผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี (Thermal Conductivuty) รับน้ำหนัก และช่วยเฉลี่ยความร้อนให้สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา

เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น นิยมออกแบบเตาเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชนิดเปิดหน้า (Front Loading) ชนิดเปิดบน (Top Loading) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น เป็นเตาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เป็นเตาที่เหมาะสำหรับงานทดลอง งานวิจัยต่างๆได้ดี

เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง

เป็นเตาที่ออกแบบสร้างส่วนมากเป็นเตาขนาดใหญ่ และเผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก การบรรจุผลิตภัณฑ์โดยการใช้รถ (Kiln Car) ซึ่งทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็เพิ่มรถไว้สำรองอีกซึ่งเท่ากับเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี ซึ่งสามารถเผาติดต่อกันไป กำลังเป็นที่นิยมกันอยู่ เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง จะต้องสร้างให้มีปล่องเตา ซึ่งจะช่วยให้การ เผาไหม้ หรือสันดาปได้อย่างดี การก่อสร้างเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง ซึ่งจะเป็นเตาขนาดใหญ่รับน้ำหนักมาก ผู้ทำการก่อสร้างเตาจะต้องสร้างฐานรากให้แข็งแรง นอกจากนี้เตาแก๊สชนิดนี้ การลงทุนค่อนข้างสูงกว่าแบบทางลมร้อนขึ้น

การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (Firing Ceramic Ware)

ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กระบวนการเผาถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นกระบวนการสุดท้าย ที่จะตัดสินว่าผลงานที่ออกมาดีหรือไม่ดี (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2542 : 1) การเผาในทางเซรามิกส์ คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในเตา ภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้กลายเป็นถาวรวัตถุมีความแข็งแกร่งเหมือนหินช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวรและสวยงาม (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 288)โดยความร้อนจากการเผาทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในวัตถุดิบ เช่น การหดตัว มีผลทำให้ชิ้นงานมีความแน่นขึ้น,การเปลี่ยนแปลงขนาดของรูพรุน,ค่า Weight Loss เปลี่ยนแปลงไป,การอ่อนตัวและการหลอมละลาย เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงของอุณหภูมิและชนิดของวัตถุดิบ ข้อมูลต่างๆเหล่านี้ นักเซรามิกส์ควรศึกษาให้เข้าใจเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (วาสนา ม้องวงศ์, 2543 : 1) การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การเผาดิบ (Biscuit Firing)
2. การเผาเคลือบ(Glost Firing)
3. การเผาตกแต่ง(Decoration Firing)

การเผาดิบ

ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ทางด้านเซรามิกส์ที่ขึ้นรูปแล้ว ยังคงมีความชื้น และสารอินทรีย์ (Organic Matter) อยู่ในชิ้นงาน การเผาไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ ก่อนที่จะนำไปชุบเคลือบเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากจะช่วยลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดแรงดัน จนชิ้นงานระเบิดได้ (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 91) ที่อุณหภูมิ 100-250 องศาเซลเซียส น้ำที่อยู่ในลักษณะความชื้นของอากาศระเหยออกไป และทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์(Hamilton, 1982 : 135) การเผาดิบจะทำให้เนื้อดิน หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำสำเร็จแล้ว มีความแข็ง (Mechanical Strengh) และคงรูป และยังสามารถตรวจสอบสภาพของเนื้อดิน ว่ามีการแตกร้าวหรือไม่ ก่อนนำไปเคลือบ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 152) ในการเผาดิบสามารถวางผลิตภัณฑ์ซ้อนกันหรือประกบกันได้ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบจะใช้อุณหภูมิในการเผาประมาณ 750-800 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการเผาประมาณ 6-7 ชั่วโมง ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่จะต้องทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-4 ชั่วโมง (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 289-290) การเผาเร็วเกินไป ทำให้ชิ้นงานมีการหดตัว หรือขยายตัวมากทำให้แตกขณะเผา (อนันต์ภักดิ์ โชติมงคล, 2538 : 56) ในกรณีที่ต้องการประหยัดเชื้อเพลิง แรงงาน ขั้นตอนและเวลาในการเผา การเผาดิบอาจถูกตัดออกไปก็ได้ ทำให้เหลือแต่การเผาสุกเท่านั้น วิธีการเช่นนี้เรียกว่า การเผาครั้งเดียว (One Firing) ซึ่งมักนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทเอิทเทนแวร์ สโตนแวร์ สุขภัณฑ์ และลูกถ้วยไฟฟ้า แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบมาก่อนจะมีคุณภาพดีกว่า(อำพน วัฒนรังสรรค์, 2531 : 1)

การเผาเคลือบ

การเผาเคลือบหมายถึงการเผาน้ำเคลือบที่ชุบบนผลิตภัณฑ์ ละลายเป็นเนื้อเดียวกันมีความมันแวววาว(Glassy) บางชนิดเป็นเคลือบด้าน ผิวเคลือบมีความแข็งสามารถต้านทานต่อกรดและด่างได้เป็นอย่างดี ในการเผาเคลือบจะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามข้อกำหนดของเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นการเผาจะเกิดความเสียหายได้ เช่น การเผาไฟเกิน (Overfire) ทำให้น้ำเคลือบไหลติดพื้นเตา ทำให้เตาเสียหาย การเผาที่อุณหภูมิไม่ถึง (Underfire) ทำให้เคลือบไม่เป็นมันเท่าที่ควร (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 155) การเผาเคลือบจะนิยมเผากัน 2 แบบ คือ แบบเผาครั้งเดียว (Mono Firing) จะนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งแล้วไปชุบน้ำเคลือบแล้วทำการเผา และอีกอย่างหนึ่งจะทำการเผาดิบก่อน (Second Firing) แล้วเอาผลิตภัณฑ์ไปชุบเคลือบแล้วทำการเผา(โกมล รักษ์วงศ์, 2542 : 13) ผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบแล้ว ต้องเช็ดก้นผลิตภัณฑ์ให้หมดเคลือบ เพื่อป้องกันการหลอมติดกันของเคลือบในขณะทำการเผา ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะต้องวางห่างกันเล็กน้อย ไม่ให้สัมผัสกันเพราะเคลือบจะหลอมติดกันที่อุณหภูมิสูง(ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 291)

การเผาตกแต่ง

ชิ้นงานที่เผาเคลือบแล้วนิยมตกแต่งด้วยการวาดแต้มแต่งด้วยสีหรือติดสติ๊กเกอร์(Sticker) ที่ทำสำหรับตกแต่งสีโดยเฉพาะ ติดลงไปบนภาชนะที่เคลือบแล้วนำไปเผาเพื่อให้สิ่งตกแต่งติดทนกับชิ้นงานเรียกว่าตกแต่งบนเคลือบ(Overglaze Decoration) (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 92) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตกแต่งบนเคลือบประมาณ 650-580 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสี(Pigment) หรือประเภทของวัตถุดิบที่นำมาทำสีว่าสุกตัวที่อุณหภูมิใด การเผาสีตกแต่งรูปลอกและสีเงินสีทอง จะต้องเผาในบรรยากาศสมบูรณ์ ในเตาเผาไม่ควรมีความชื้นอยู่ เพราะจะทำให้ชิ้นงานมีตำหนิ ไม่ได้มาตรฐานสีหมองคล้ำหรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม(ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 291-292)

บรรยากาศในการเผาผลิตภัณฑ์

1. บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing)

เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และใช้ออกซิเจน (Oxygen)มากเกินพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว จะมีออกซิเจน เหลืออยู่ ดังปฏิกิริยาการเผาไหม้ดังนี้

$$OF = CH_4+3O_2 \text{ (Excess)} \longrightarrow CO_2 + 2H_2 + O_2 + \text{ENERGY}$$

2. บรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing)

เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ในเตาเผามีออกซิเจน (Oxygen) ไม่เพียงพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่ดังปฏิกิริยาการเผาไหม้ดังนี้

$$RF = 2CH_4+3O_2 \longrightarrow 2CO + 4H_2O + \text{ENERGY}$$

3. บรรยากาศนิวทรัล (Neutral Firing)

เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และไม่มีออกซิเจน(Oxygen)เหลืออยู่เลย การเผาไหม้มีออกซิเจน ที่พอดีดังปฏิกิริยาการเผาไหม้ดังนี้

$$NF = CH_4+2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{ENERGY}$$ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 288)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

การเผาเนื้อดินจะมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์และทางเคมีจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

0 – 200 องศาเซลเซียส	การแห้งตัวอย่างสมบูรณ์ จะเกิดขึ้นในขณะน้ำถูกไล่ออกไปจากผลิตภัณฑ์ในระยะการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์จะแห้งสนิท

200-800	องศาเซลเซียส	เกิดการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ ถ้าเนื้อดินปั้นมีสารอินทรีย์ปนอยู่ด้วย เช่น ในดินดำ (Ball Clay) จะถูกเผาไหม้ให้หมดไปในช่วงอุณหภูมินี้
400-550	องศาเซลเซียส	เกิดการแตกตัวของโครงสร้างของดิน ทำให้มีขนาดเล็กลง และมีความพรุนตัวสูงขึ้น
573	องศาเซลเซียส	หินควอทซ์ในเนื้อดินปั้นเปลี่ยนฟอร์ม (Quartz Inversion) ในระหว่างนี้ผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนขนาดเล็กน้อย
980	องศาเซลเซียส	เกิดการตกผลึกในดิน อัญรูปของดินจะเรียงตัวในตอนแรกเป็นรูป Spinel และต่อไปก็จะเปลี่ยนเป็น Mullite อย่างละเอียด
1,100	องศาเซลเซียส	เกิดการหลอมละลายเป็นแก้วในบางส่วนของเนื้อดินปั้น พวกโซดา หรือ โปแตสเฟลสปาร์จะรวมตัวกันเป็นแก้ว โดยทำปฏิกริยากับดินที่อยู่รอบๆ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณแก้วยิ่งมากขึ้น
1,200	องศาเซลเซียส	เกิดผลิต Mullite($3Al_2O_3$ $2SiO_2$) ในเนื้อแก้วผลึกเป็นรูปเข็มมีขนาดใหญ่กว่าที่เกิดจากดิน จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2542 : 1)
1,250	องศาเซลเซียส	เนื้อดินและน้ำเคลือบสุกตัวหลอมละลาย (Sintering) โครงสร้างของผลึกดินเปลี่ยนเป็นแก้วร้อยละ 60 มัลไลท์ร้อยละ 21 และควอทซ์ร้อยละ19 (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 292)

จึงสรุปได้ว่า เตาเผาเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับเตาเผา เตาเผาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้มีการออกแบบพัฒนาให้ประหยัดเชื้อเพลิงตลอดจนใช้ระยะเวลาในการเผาสั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ว่าจะเลือกใช้เตาประเภทใด นอกจากนี้การที่จะทำเครื่องปั้นดินเผาให้มีคุณภาพดี ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการเผา ถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นกระบวนการสุดท้าย ที่จะตัดสินว่าผลงานที่ออกมาดีหรือไม่ดี การเผาในทางเซรามิกส์ คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในเตาภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้กลายเป็นถาวรวัตถุมีความแข็งแกร่ง คงทน

ถาวรและสวยงาม โดยความร้อนจากการเผาทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในวัตถุดิบ เช่น เกิดการหดตัวและขยายตัว,เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูพรุน,เกิดการอ่อนตัวและการหลอมละลาย เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงของอุณหภูมิและชนิดของวัตถุดิบ การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การเผาดิบ (Biscuit Firing) เป็นการเผาไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ ก่อนที่จะนำไปชุบเคลือบ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งและยังสามารถตรวจสอบสภาพของเนื้อดิน ว่ามีการแตกร้าวหรือไม่ ก่อนนำไปเคลือบ อุณหภูมิในการเผาประมาณ 750-800 องศาเซลเซียส

2. การเผาเคลือบ(Glost Firing) หมายถึงการเผาให้น้ำเคลือบที่ชุบบนผิวผลิตภัณฑ์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันมีความมันแวววาว(Glassy) และมีความแข็ง บางชนิดเป็นเคลือบด้าน

3. การเผาตกแต่ง(Decoration Firing) ชิ้นงานที่เผาเคลือบแล้วนิยมตกแต่งด้วยสีหรือติดสติ๊กเกอร์ (Sticker) ที่ทำสำหรับตกแต่งสีโดยเฉพาะ ติดลงไปบนภาชนะที่เคลือบแล้วนำไปเผาเพื่อให้สิ่งตกแต่งติดทนกับชิ้นงานเรียกว่าตกแต่งบนเคลือบ(Overglaze Decoration) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 650-780 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสี(Pigment) หรือประเภทของวัตถุ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การเผาเตาเครื่องปั้นดินเผา การที่จะทราบอุณหภูมิในเตาเผาได้นั้นจะต้องใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (โกมล รักษ์วงศ์, 2542 : 19) ในสมัยโบราณใช้การสังเกตสีของความร้อน เช่นชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ โดยการคาดคะเนด้วยสายตา ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญเป็นพิเศษ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 107) แต่ในปัจจุบันนักเซรามิกส์ได้ค้นคิดเครื่องมืออุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิไว้หลายประเภทด้วยกัน โดยอาศัยทฤษฎีการวัดทางกายภาพ เนื่องจากในเตามีความร้อนสูงมาก มีความจำเป็นจะต้องหาวัตถุดิบ และวัสดุที่ทนต่อความร้อนได้ในอุณหภูมิที่จะทำการวัด เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่นักเซรามิกส์ได้คิดสำหรับวัดอุณหภูมิในเตาเผามีดังนี้

1. ไฟโรเมตริกโคน (Pyrometric Cones) (โกมล รักษ์วงศ์, 2542 : 19)ไพโรเมตริกโคน หรือเรียกสั้นๆว่าโคน (Cone) ลักษณะของโคนมีรูปทรงปิรามิดสามเหลี่ยม ไพโรเมตริกโคนมีใช้อยู่ 2 ขนาดคือ ขนาดใหญ่มีความสูง 4.45 เซนติเมตร ฐานกว้าง 1.27 เซนติเมตร โคนขนาดเล็กมีขนาดความสูง 2.87 เซนติเมตร และมีฐานกว้าง 0.64 เซนติเมตร นอกจากโคนจะมีขนาดที่แตกต่างกันแล้วยังมีหมายเลขต่างๆกันอีกด้วย คือมีตั้งแต่หมายเลข 020 ถึงหมายเลข 15 (ปุณรัตน์ พิชญไพบูลย์, 2538 : 190) การใช้โคนวัดอุณหภูมิอาศัยทฤษฎีการหลอมละลายตัวของวัตถุดิบเป็นหลักในการใช้งาน เป็นเครื่องมือวัดที่ทำจากวัสดุทางเซรามิกส์ มีส่วนผสมคล้ายกับน้ำเคลือบสามารถวัดอุณหภูมิ

ได้เที่ยงตรงในเตาเผา มาตรฐานของไฟโรเมตริกโคนมีหลายมาตรฐานด้วยกันคือ มาตรฐานของออร์ตัน (Orton Standard Cones) ของอเมริกา มาตรฐานของ เซเกอร์(Seger Standard Cones) ของเยอรมัน และมาตรฐานของฮาร์ริสัน (Harrison Standard Cones) ของอังกฤษ เริ่มต้นการค้นคิดของ ดร. เฮร์แมนน์ เซเกอร์ (Dr.Hermann Seger) ใช้ Potas Feldspar ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) ผสมกับแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) และใช้สัดส่วนของอลูมินาออกไซด์ (Alumina Oxide) ต่อซิลิกา (Silica) ในอัตราส่วน 1:10 จะวัดอุณหภูมิได้ประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส (2,192 องศาฟาเรนไฮด์) จะใช้อลูมินา 0.6 โมล และซิลิกา 6 โมล เป็นอัตราส่วนเหมือนสูตรน้ำเคลือบเฟลด์สปาร์ธรรมดา จากนั้นก็เพิ่มอลูมินาขึ้น 0.1 โมลและซิลิกา 1 โมล จะพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 20-30 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างสูตรไฟโรเมตริกโคนของเซเกอร์

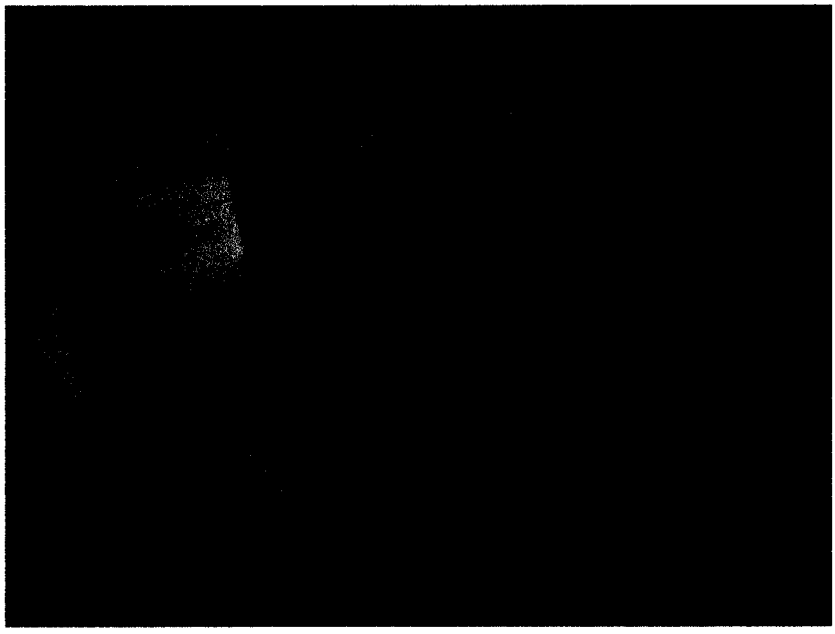
โคน 7	0.3 K_2O	0.7 Al_2O_3	7.0 SiO_2
	0.7 CaO		
โคน 8	0.3 K_2O	0.8 Al_2O_3	8.0 SiO_2
	0.7 CaO		
โคน 9	0.3 K_2O	0.9 Al_2O_3	9.0 SiO_2
	0.7 CaO		

ตัวอย่างความแตกต่างระหว่างไพโรเมตริกโคนที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัดของโคน 8

ตาราง 4 แสดงการเปรียบเทียบโคน 8 ของแต่ละชนิด (โกมล รักษ์วงศ์, 2542 : 19-20 อ้างอิงจาก Hamer,1986 : 74-75)

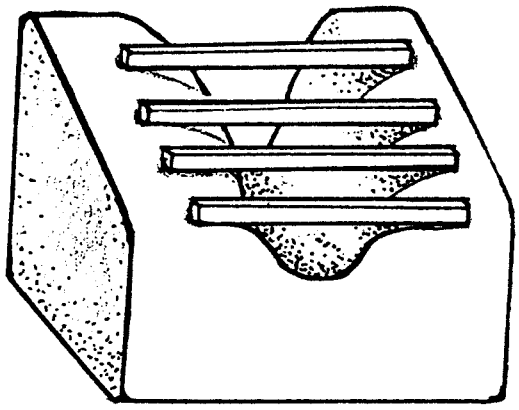
ชนิดของโคน	องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮด์
มาตรฐานเซเกอร์ Standard Seger	1,280	2,336
มิเนียเตอร์เซเกอร์ Miniature Seger	1,295	2,363
มาตรฐานฮาร์ริสัน Standard Harrison	1,260	2,300
โคนขนาดใหญ่ออร์ตัน Large Orton	1,263	2,305
โคนขนาดเล็กออร์ตัน Small Orton	1,300	2,372

การใช้โคนวัดอุณหภูมิ ที่ถูกต้องนั้น ใช้ครั้งละ 3 ตัว เรียงตามลำดับอุณหภูมิ โดยเอียงทำมุม 82 องศา การอ่านโคน จะยึดตัวกลางเป็นหลักและเป็นตัวอุณหภูมิที่ต้องการ การเผาที่ถูกต้องโคนจะล้มตามเข็มนาฬิกา โคนตัวแรกจะล้มราบ ตัวที่สองจะเอียงประมาณสองนาฬิกา ตัวที่สามจะเอียงหนึ่งนาฬิกาเป็นต้น (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 108) นอกจากนี้การวัดอุณหภูมิด้วยโคนต้องระวังเรื่องอัตราการเพิ่มความร้อนภายในเตา บรรยากาศภายในเตา ความเร็วของก๊าซ อุณหภูมิของผนังเตา เหล่านี้มีผลกระทบทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อจุดอ่อนตัวของโคน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 313) ตัวอย่างลักษณะของโคนวัดอุณหภูมิเบอร์ 7 ที่จำหน่ายตามท้องตลาด ดังภาพที่ 9.15

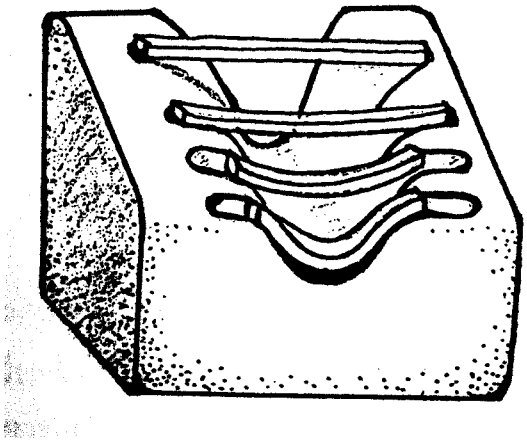


ภาพที่ 11 แสดงโคนวัดอุณหภูมิ
(สนิท ปิ่นสกุล,2544 : 288)

2. โฮลด์ครอฟต์บาร์(Holderoft's Bars) แท่งวัดอุณหภูมิของโฮลด์ครอฟต์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิหลักการเดียวกับเซเกอร์โคน คือ อาศัยจุดหลอมละลายตัวเป็นทฤษฎีในการวัดอุณหภูมิ การขึ้นรูปแท่งวัดจะใช้เนื้อส่วนผสมเป็นผงแล้วทำการอัดให้เป็นแท่ง



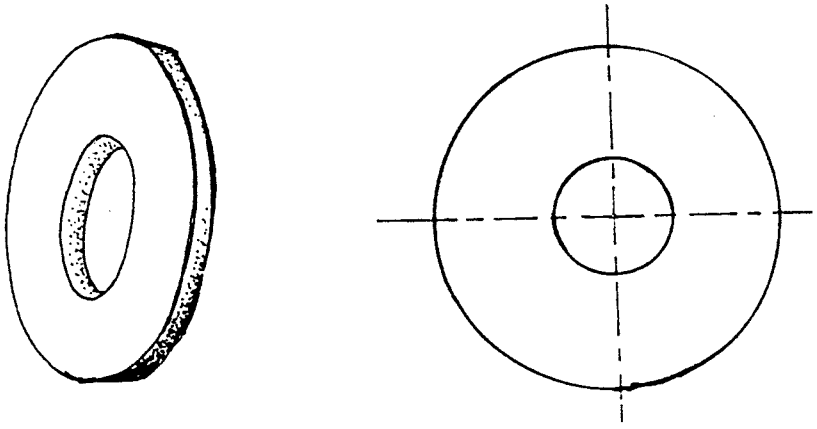
ภาพที่ 12 แสดงการวางแท่งวัดอุณหภูมิ
(โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 77)



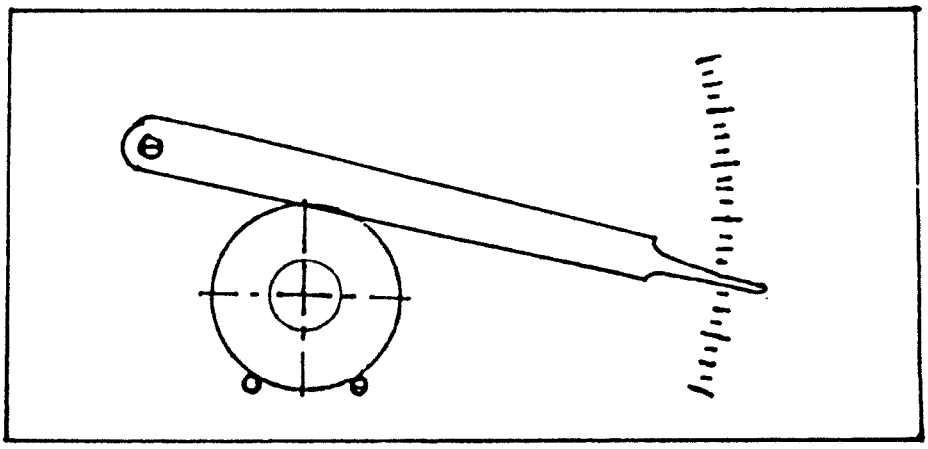
ภาพที่ 13 แสดงรูปแท่งวัดอุณหภูมิหลังเผาแล้ว
(โกมล รักษ์วงศ์, 2538 :77)

3. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบวงแหวน (Buller,s Ring หรือ Firing Trial Rings) เครื่องมือชนิดนี้อาศัยหลักการหดตัวของวัตถุเป็นเกณฑ์ในการวัด ผลิตขึ้นโดยบริษัทบูลเลอร์จำกัด เมื่อปี

ค.ศ. 1910 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว มีรูตรงกลางเอาไว้สำหรับยกออกมาจากเตาเผา โดยใช้ขอเกี่ยวออกมา สามารถวัดอุณหภูมิได้ระหว่าง 960 ถึง 1,400 องศาเซลเซียส (1,760 – 2,525 องศาฟาเรนไฮต์) จะใช้งานครั้งเดียวแบบเดียวกับไพโรเมตริกโคน



ภาพที่ 14 แสดงรูปบูลเลอร์ริง
(โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 78)



ภาพที่ 15 แสดงแท่นสำหรับวัดการหดตัวของวงแหวน
(โกมล รักษ์วงศ์, 2538 : 78)

การใช้บูลเลอร์ริง จะต้องเอาบูลเลอร์ริงวางในเตาเผาให้อยู่ในลักษณะตั้งบนแท่นวางตรงช่องรูดูอุณหภูมิของเตาเผา เมื่อเผาถึงอุณหภูมิที่ต้องการวัดก็ให้ใช้ขอเกี่ยวเหล็ก เกี่ยวเอาตัว

บูลเลอร์ริงออกมาจากเตาเผา วางให้เย็นตัวลง แล้วเอาไปวัดขนาดบนแท่นวัดเมื่อวัดได้แล้วก็นำเอาค่าหดตัวที่อ่านได้ไปเปิดตารางเทียบหาอุณหภูมิ

ตัวอย่างเช่นชนิดของบูลเลอร์ริง

บูลเลอร์ริงเบอร์ 7 เป็นวงแหวนมาตรฐานทั่วไปสีเขียวสามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ 960-1,275 องศาเซลเซียส (1,760 - 2,327 องศาฟาเรนไฮต์)

บูลเลอร์ริงเบอร์ 72 สีขาวธรรมดาจะวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 1,310 องศาเซลเซียส(2,390 องศาฟาเรนไฮต์ขึ้นไป)

บูลเลอร์ริงเบอร์ 55 สีน้ำตาล วัดอุณหภูมิได้ 960-1,200 องศาเซลเซียส (2,192 องศาฟาเรนไฮต์)

บูลเลอร์ริงเบอร์ 26 สีชมพูเป็นวงแหวนที่วัดอุณหภูมิสูงได้ 1,400 องศาเซลเซียส (2,552 องศาฟาเรนไฮต์)

4. เทอร์โมอิเลคตริก เทอร์โมมิเตอร์ (Thermoelectric Thermometers) ระบบการทำงานของเครื่องมือวัดชนิดนี้จะเป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเมื่อใช้โลหะ 2 ชนิด ต่อเชื่อมกันแล้วให้ความร้อนตรงจุดที่ต่อกัน (Hot Junction) ทำให้เกิดความต่างศักย์มีความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสองซึ่งเป็นจุดที่ไม่ร้อน (Cold Junction) โลหะที่ใช้สำหรับเทอร์โมคอปเฟิล (Thermocouple) มีดังนี้

4.1 ทองแดง ผสมกับนิเกิล โดยใช้ทองแดงร้อยละ 60 ผสมกับนิเกิลร้อยละ 40 แล้วเอาไปต่อเชื่อมกับเหล็ก สามารถวัดอุณหภูมิได้ 850 องศาเซลเซียส (1,562 องศาฟาเรนไฮต์)ขึ้นไป

4.2 นิเกิลผสมโครเมียม โดยใช้นิเกิลร้อยละ 90 ผสมกับโครเมียมร้อยละ 10 นำเอาไปต่อเชื่อมกับส่วนผสมของนิเกิลร้อยละ 98 และอลูมิเนียมร้อยละ 2 สามารถวัดอุณหภูมิได้ 1,100 องศาเซลเซียส (2,012 องศาฟาเรนไฮน์)ขึ้นไป

4.3 พลาตินัมผสมกับโรเดียม โดยใช้พลาตินัมร้อยละ 87 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 13 นำไปต่อเชื่อมกับพลาตินัมสามารถวัดอุณหภูมิได้1,500องศาเซลเซียส(2,732 องศาฟาเรนไฮต์)ขึ้นไป

4.4 พลาตินัมผสมกับโรเดียม ขั้วที่ 1 ใช้พลาตินัมร้อยละ 94 ผสมกับโรเดียมร้อบละ 6 ขั่วที่ 2 ใช้พลาตินัมร้อยละ 70 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงเกิน 1,800 องศาเซลเซียส(3,270 องศาฟาเรนไฮต์)

4.5 ไอริเดียม(Iridium) ผสมกับโรเดียม(Rhoduim) โดยใช้ไอริเดียมร้อยละ 60 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 40 ต่อเชื่อมกับไอริเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้เกิน 1,927 องศาเซลเซียส (3,500 องศาฟาเรนไฮต์)

4.6 ทังสเตน (Tungsten) ต่อเชื่อมกับไอริเดียม(Iridium) สามารถวัดอุณหภูมิได้

สูงถึง 2,100 องศาเซลเซียส (3,812 องศาฟาเรนไฮต์) ทำการต่อเชื่อมแล้วบรรจุในหลอดเซรามิกส์สูญญากาศจะวัดอุณหภูมิได้เที่ยงตรงกว่าต่อเชื่อมในหลอดเซรามิกส์ธรรมดา

เทอร์โมคอปเฟิลที่รู้จักกันดีทั่วไปจะเป็นแบบโครเมลอลูเมล(Chromel Alumel) และพลาตินัม พลาตินัมโรเดียม(Platinum Platinum-Rhodium) เพราะเป็นเทอร์โมคอปเฟิลที่นิยมใช้มากในองค์กรอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์โมคอปเพิล จะสามารถวัดได้เที่ยงตรงได้ในอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส หน้าปัด (Indicator)จะนิยมใช้แบบเข็มวัดและแบบดิจิตอล

5. ออฟติคอล เรดิเอชัน ไฟโรมิเตอร์ (Optical Radiation Pyrometers) เป็นเครื่องมือที่วัดจากการแผ่รังสีของความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัตถุ (เนื้อดินปั้นหรือผนังเตาเผา)เทียบกับสีสะท้อนของเลนส์ภายในเครื่องมือวัด ซึ่งมีหลอดไฟใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในเครื่องวัด ผู้คิดค้นครั้งแรกคือวานเนอร์(Wanner เมื่อปี ค.ศ. 1894 และได้ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดย โฮลบอร์น และคอร์ลบูน(Holborn และ Kurlbaum) ในปี ค.ศ.1901

ในการสร้างเครื่องมือวัดของวานเนอร์จะใช้หลอดไฟส่องผ่านแก้วสีแดง(Monochromatic Red Glass) เป็นสีแดงเส้นเดียวผ่านเลนส์ และผ่านนิคอลปริซึม(Nicol Prism)เมื่อใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิรังสีที่เกิดขึ้นจากการแผ่ของเนื้อผลิตภัณฑ์ในเตาเผาจะผ่านเข้าเครื่องทำการเทียบสีกับเส้นสีแดงของเครื่องมือวัด ถ้าหากรังสีที่แผ่จากผลิตภัณฑ์เท่ากับเส้นสีแดงก็ให้อ่านอุณหภูมิที่จุดนั้นจากสเกลของเครื่องวัด ปัจจุบันเครื่องมือวัดประเภทนี้จะใช้วัดอุณหภูมิในเตาหลอม มีการพัฒนาสร้างเป็นเครื่องขนาดเล็กระบบคอมพิวเตอร์เข้าช่วยใช้งานได้สะดวก เครื่องมือออฟติคอล เรดิเอชันไพโรมิเตอร์ แบ่งส่วนต่างๆออกได้ 3 ส่วน ด้วยกันคือ

1. ระบบการวัดอุณหภูมิ
2. ระบบควบคุม
3. ระบบการรับแสงเข้าเครื่องวัด(โกมล รักษ์วงศ์, 2542 : 21-26)

จากเนื้อหาเกี่ยวกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิข้างต้นพอสรุปได้ว่า เครื่องมือวัดอุณหภูมิถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งในปัจจุบันนี้ นักเซรามิกส์ได้คิดค้นเครื่องมือวัดอุณหภูมิไว้หลายประเภทขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนี้

1. ไฟโรเมตริกโคน (Pyrometric Cones) หรือเรียกสั้นๆว่าโคน (Cone) ลักษณะของโคนมีรูปทรงปิรามิดสามเหลี่ยม การใช้โคนวัดอุณหภูมิอาศัยทฤษฎีการหลอมละลายตัวของวัตถุดิบเมื่อ

ผ่านการเผา โดนมีหลายมาตรฐานด้วยกันคือ มาตรฐานของออร์ตัน (Orton Standard Cones) ของอเมริกา มาตรฐานของ เซเกอร์(Seger Standard Cones) ของเยอรมัน เป็นต้น

2. โฮลด์ครอฟต์บาร์(Holdcroft's Bars) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิหลักการเดียวกับโคน คือ อาศัยจุดหลอมละลายตัวเป็นทฤษฎีในการวัดอุณหภูมิ มีลักษณะเป็นแท่งยาว

3. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบวงแหวน (Buller's Ring หรือ Firing Trial Rings) เครื่องมือชนิดนี้อาศัยหลักการหดตัวของวัตถุเมื่อผ่านการเผาเป็นเกณฑ์ในการวัด ใช้งานครั้งเดียวแบบเดียวกับไพโรเมตริกโคน

4. เทอร์โมอิเลคตริก เทอร์โมมิเตอร์ (Thermoelectric Thermometers) ระบบการทำงานของเครื่องมือวัดชนิดนี้จะเป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเมื่อใช้โลหะ 2 ชนิด ต่อเชื่อมกันแล้วให้ความร้อนตรงจุดที่ต่อกัน (Hot Junction) ทำให้เกิดความต่างศักย์มีความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสองซึ่งเป็นจุดที่ไม่ร้อน (Cold Junction)

5. ออฟติคอล เรดิเอชัน ไฟโรมิเตอร์ (Optical Radiation Pyrometers) เป็นเครื่องมือที่วัดจากการแผ่รังสีของความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัตถุ เทียบกับสีสะท้อนของเลนส์ภายในเครื่องมือวัด ซึ่งมีหลอดไฟใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในเครื่องวัด เมื่อใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิรังสีที่เกิดขึ้นจากการแผ่ของเนื้อผลิตภัณฑ์ในเตาเผาจะผ่านเข้าเครื่องทำการเทียบสีกับเส้นสีแดงของเครื่องมือวัด ถ้าหากรังสีที่แผ่จากผลิตภัณฑ์เท่ากับเส้นสีแดงก็ให้อ่านอุณหภูมิที่จุดนั้นจากสเกลของเครื่องวัด

การทดสอบวัสดุ

การผลิตเครื่องปั้นดินเผาให้มีคุณภาพและคุณสมบัติตามต้องการจำเป็นจะต้องทำการทดสอบทางด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบ เนื้อดิน หรือเคลือบ ซึ่ง ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, (2541 : 243) กล่าวว่า การทดสอบวัตถุดิบเป็นหัวใจของกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ เนื่องจากวัตถุดิบตามธรรมชาติมีคุณสมบัติแปรปรวนไม่คงที่ การทดสอบวัตถุดิบและเนื้อดินปั้นในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ขนาดใหญ่ ถือเป็นสิ่งจำเป็นและจะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบใหม่ทุกครั้ง กระบวนการทดสอบจะต้องได้มาตรฐานเดียวกัน การทดสอบวัตถุดิบสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. การทดสอบทางกายภาพ (Physical Testing) หมายถึง การพิจารณาลักษณะของวัตถุดิบโดยใช้คุณสมบัติที่สามารถจับต้องได้ วัดได้ง่าย เช่น การใช้สายตาตรวจสอบ หรือ การใช้ความรู้สึกสัมผัส เป็นต้น

2. การทดสอบทางเคมี (Chemical Testing) การทดสอบทางเคมีต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน และมีความละเอียดสูงเพื่อที่จะทราบว่าวัตถุดิบนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีอย่างไรบ้าง ซึ่ง

จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการคำนวณ และปรับปรุงคุณภาพของเนื้อดินต่อไป เครื่องมือที่ใช้ทดสอบทางเคมีที่มีความละเอียดสูง คือ เครื่อง X-Ray Fluorescence Spctrometer ซึ่งสามารถหาส่วนประกอบทางเคมีได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

3. การทดสอบทางแร่ (Mineral Testing) วัตถุดิบทางเซรามิก คือ วัตถุดิบตามธรรมชาติที่จะประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดต่างๆ กัน การที่ทราบว่าวัตถุดิบมาจากแร่ชนิดใดนั้น ช่วยให้เข้าใจในพฤติกรรมของวัตถุดิบนั้น ตลอดจนเข้าใจโครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ เมื่อทำการเผาได้ การหาส่วนประกอบทางแร่นั้น ใช้เครื่องมือต่างๆเช่น เครื่อง X-Ray Diffractometer เป็นต้น (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 2-4)

ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยใช้การทดสอบทางกายภาพ (Physical Testing) ต่างๆดังต่อไปนี้

ความหดตัวก่อนเผา (Drying Shrinkage)

การหดตัวเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร ทำให้มีขนาดเล็กลง โดยเนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวมาก ย่อมเป็นสาเหตุอันหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตก การงอ และการบิดเบี้ยวได้มาก จะเกิดขึ้นได้จากผลิตภัณฑ์ที่แห้ง การเผาดิบ และการเผาเคลือบ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 52) สาเหตุที่ดินหดตัวก็เนื่องมาจากน้ำที่อยู่รอบๆ เนื้อดินระเหยออกไป ทำให้เนื้อดินหดตัวเข้ามาติดกันโดยปกติแล้วดินที่มีความละเอียดและเหนียว ย่อมมีการหดตัวมากกว่าดินหยาบ (มนูญ ประชันคดี, ม.ป.ป. : 20) ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ(2539 : 51,60-61) ที่กล่าวว่า เนื้อดินปั้นมีการหดตัวเมื่อปล่อยให้แห้ง เนื่องจากการสูญเสียน้ำที่ยึดเกาะอยู่กับอนุภาคของดิน ในขณะที่น้ำระเหยออกไป อนุภาคของดินจะเคลื่อนตัวเข้ามาชิดกัน ปริมาตรของเนื้อดินทั้งหมดจะลดลง การหดตัวจะมากหรือน้อยขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ ได้แก่ ปริมาณน้ำและธรรมชาติของดินนั้น ปริมาณน้ำมากมีการหดตัวมาก ปริมาณน้ำน้อยการหดตัวน้อย ขนาดของอนุภาคของดิน รูปร่างของอนุภาค กล่าวโดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

การคำนวณหาการหดตัวเมื่อแห้งโดยใช้สูตรดังนี้

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

(ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 54)

ความแข็งแรงก่อนเผา(Green Strength)

การทดสอบความแข็งแรงก่อนเผาเป็นการหาค่าความเหนียวและความละเอียดของเนื้อดินในทางอ้อม เนื้อดินมีความละเอียดมากจะมีความแข็งแรงสูง (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 264) สอดคล้องกับ กาญจนะ แก้วกำเนิด(2530 : 65) ที่กล่าวว่า ดินที่มีความละเอียดมาก และมีความเหนียวดีย่อมมีความแข็งแรงดีกว่าดินหยาบและไม่ค่อยเหนียว ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวเมื่อนำมาขึ้น

รูปและผึ่งให้แห้งแล้ว จะมีความแข็งแรงดีกว่าดินขาว นอกจากนี้ Andrews(1957 : 43-44) กล่าวว่า ความแข็งแรงก่อนเผา เป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความทนทานต่อแรงที่มากระทบกระเทือน หรือแรงกด เป็นคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นที่สำคัญอย่างหนึ่ง ก่อนทำการเผา เพราะถ้าเนื้อดินปั้นไม่มีความแข็งแรง เมื่อผลิตภัณฑ์แห้งจะทำให้เปราะแตกหักได้ง่าย ถ้ามีการจับต้องหรือเคลื่อนย้าย

การทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดิน ดังนี้คือ

1. นำเนื้อดินที่ปั้นมาทำเป็นแท่งทดลองให้มีขนาดความยาว 12 เซนติเมตร ความกว้าง 2 เซนติเมตร และความหนา 1 เซนติเมตร

2. นำแท่งทดลองมาทำให้แห้งในที่ร่ม โดยใช้ผ้าคลุมไว้เป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงเปิดปล่อยให้แห้งตามปกติ ควรพลิกกลับแท่งทดลอง ทุก 12 ชั่วโมง เพื่อให้แห้งสนิททั่วกันทั้งชิ้น ต่อจากนั้นจึงนำไปอบให้แห้งสนิท ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

3. นำแท่งทดลองไปกดให้หัก โดยเครื่องทดสอบความแข็งแรง

4. จดบันทึกแรงที่ทำให้แท่งทดลองหัก แล้วนำไปคำนวณหาค่าความแข็งแรง โดยใช้สูตร

$$M = \frac{3PL}{2bd^2}$$

ให้ M = ค่าความแข็งแรงของดิน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = แรงที่กดทำให้แท่งทดลองหัก (กิโลกรัม)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

B = ความหนาของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

d = ความกว้างของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

ความหดตัวของดินหลังเผา (Firing Shrinkage)

เมื่อแท่งทดลองหรือผลิตภัณฑ์ถูกเผาจะเกิดการหดตัวเรียกการหดตัวหลังเผา มีค่าการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างกว้าง ขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดของดินที่ประกอบอยู่ ความละเอียดของดิน ปริมารสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ และวิธีการขึ้นรูปแท่งทดลองหรือผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิที่เผา ปกติดินเหนียวหดตัวมากทั้งขณะแห้งและจากการเผามากกว่าดินที่ปราศจากความเหนียว สารอินทรีย์ในดินทำให้ดินหลังเผามีการหดตัวมากขึ้น การหดตัวของดินจะมากขึ้นเมื่อเผาสูงขึ้น และจะหดตัวน้อยลงหรือไม่หดตัวอีกเลยเมื่อเผาถึงจุดหลอมหรือจุดสลายตัว การหดตัวถ้ามีค่ามากเกินไปจะเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยว โค้งงอ และแตก (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 65-66) ซึ่ง อายุวัฒน์ สว่างผล(2543 : 25) ได้กล่าวว่า ดินจะหดตัวเมื่อเผาต่างกัน เนื่องจากความ

แตกต่างของเม็ดดินและสิ่งเจือปนที่อยู่ในเนื้อดินนั้น และนอกจากนี้ กาญจนะ แก้วกำเนิด(2530 : 65) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมว่า ถ้าดินมีการหดตัวมาก จำเป็นต้องเผาอย่างช้าๆ และควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ มิฉะนั้นแล้วผลิตภัณฑ์จะบิดเบี้ยว หรือแตกหักเสียหายได้

การทดสอบการหดตัวหลังเผาทำได้ดังนี้คือ

1. นำแท่งทดลองที่เตรียมไว้ไปเผาในอุณหภูมิที่กำหนดไว้
2. วัดความยาวของเส้นที่ขีดไว้บนแท่งทดลองหลังจากการเผา และจดบันทึกไว้
3. คำนวณหาการหดตัวภายหลังการเผาโดยใช้สูตร

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

(ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 54-55)

ความหนาแน่น(Density)

ความหนาแน่น คือ สมบัติหนึ่งที่สำคัญของสารใด ๆ โดยนิยามของความหนาแน่น คือ มวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเราเขียนแทนค่าของความหนาแน่นโดยใช้สัญลักษณ์ ρ ถ้าสารหนึ่งมีมวล m และมีปริมาตร V ความหนาแน่น ρ ของสารนี้คือ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ในระบบ SI หน่วยของความหนาแน่นคือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ในระบบ CGS (Centimeter, Gram และ Second) หน่วยของความหนาแน่นคือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)โดยที่ 1 g/cm^3 = 1000 kg/m^3

ความหนาแน่นของสารบางชนิดจะไม่คงที่ ที่ทุก ๆ ตำแหน่งภายในเนื้อสารนั้น ตัวอย่างเช่นในบรรยากาศของโลก ยิ่งสูงขึ้นไปความหนาแน่นของอากาศก็ยิ่งน้อยลง ส่วนในมหาสมุทร ยิ่งลึกลงไปความหนาแน่นของน้ำก็ยิ่งเพิ่มขึ้น สูตรของความหนาแน่น ที่แสดงข้างบนนี้เป็นการหาความหนาแน่นเฉลี่ยของสาร โดยทั่วไปความหนาแน่นของสาร มีค่าขึ้นกับปัจจัย ของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความดัน ความหนาแน่นของแก๊ส จะเปลี่ยนแปลง ตามอุณหภูมิและความดัน ได้ง่ายกว่าความหนาแน่นของของเหลว สารสองชนิดใด ๆ ที่มีปริมาตรเท่ากัน แต่มีมวลไม่เท่ากัน จะมีความหนาแน่นต่างกัน ส่วนใหญ่แก๊สจะมีความหนาแน่นน้อยกว่า ของเหลว

เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกัน บริเวณส่วนใหญ่ของแก๊สจะเป็นที่ว่าง ในทางตรงกันข้ามของเหลวจะประกอบด้วยโมเลกุลที่อยู่ใกล้ชิดกันมากกว่า จึงมีความหนาแน่นมากกว่า (ฟิสิกส์มหิดล , 2555 : 1)

ความทนไฟของเนื้อดิน (Softening Point)

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีจุดสุกตัวไม่เท่ากัน ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการเผาก็ต่างกัน ดินบางชนิดสามารถทนต่อช่วงการเผาได้ยาว ดินบางชนิดมีช่วงการเผาสั้น เช่น ดินโบนไชน่า เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงดินจะเกิดการหลอมละลายและอ่อนตัว(วาสนา ฆ้องวงศ์, 2543 : 3) เนื่องจากในเนื้อดินมีวัตถุดิบหลอมละลาย เช่น เฟลด์สปาร์ หินปูนและแร่เหล็ก วัตถุดิบเหล่านี้เป็นตัวช่วยให้ดินสุกตัวในอุณหภูมิที่ต้องการ แต่ถ้าเผาเกินอุณหภูมิ ดินก็จะอ่อนตัวลงอย่างรวดเร็ว การทดสอบ หาค่าการยุบตัวของเนื้อดินนี้ สามารถเปรียบเทียบค่าความทนไฟของดินชนิดต่างๆได้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำแผ่นทดสอบจำนวน 2 แผ่น ที่กดจากพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ และเผาดิบเสร็จเรียบร้อยแล้ว หรือยังไม่เผาดิบก็ได้ แผ่นทดสอบจะต้องมีเส้นขีดหัวท้าย 10 เซนติเมตร ตามขวางของแผ่นทั้ง 2ข้าง

2. นำแผ่นทดสอบเข้าเตาเผา โดยวางอยู่บนแผ่นทดสอบที่ไม่ใช้แล้ว 2 แผ่น ซ้อนกัน ทั้ง 2 ด้าน การวางแผ่นทดสอบต้องให้หัวท้ายห่างกัน 10 เซนติเมตร พอดีกับเส้นขวางที่ขีดไว้ และควรใส่โคนตามอุณหภูมิการทดสอบวางไว้คู่กันด้วย เมื่อถึงอุณหภูมิตามต้องการปิดเตาเผาตรวจสอบดูการทรุดตัวของแผ่นทดสอบ และตรวจสอบการล้มตัวของโคน เปรียบเทียบกับโคนมาตรฐาน

3. ขณะที่เผาในอุณหภูมิสูงเนื้อดินมีแนวโน้มที่จะอ่อนตัวลงทำให้แผ่นทดสอบโค้งงอ การโค้งงอหรือการทรุดตัวของแผ่นทดสอบนี้เป็นการวัดค่าหยาบๆว่าดินมีแนวโน้มที่จะทรุดตัวรับน้ำหนักของตัวเองไว้ไม่ได้ ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่จะมีปัญหาในการเผามากยิ่งขึ้น

4. เมื่อแผ่นทดสอบการโค้งงอ ออกจากเตาเผาแล้ว ให้คว่ำแผ่นทดสอบบนแผ่นกระจกใช้ไม้บรรทัดทาบที่เส้นระยะห่าง 10 เซนติเมตร จากจุดกึ่งกลางของ 10 เซนติเมตร ทั้ง 2 จุด วัดค่าความโค้งงอตรงส่วนโค้งมากที่สุดเป็นหน่วยมิลลิเมตร เนื้อดินที่มีช่วงการเผายาวเมื่อสุกตัวแล้วค่าความโค้งงออาจมีน้อย ไม่บิดเบี้ยวเสียรูปทรงได้ง่ายในระหว่างการเผา(ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 261-262)

สีหลังการเผา (Fired Colour)

สีเป็นวัตถุดิบที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ผลิตภัณฑ์เซรามิก ไม่ว่าจะเป็นเครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องปูพื้น บุผนัง โมเสค เครื่องถ้วยชาม ตลอดจนของประดับตกแต่งหรือ

ของที่ระลึก ถ้าจะให้ดูสดใส สวยงาม มีคุณค่าจะต้องเคลือบหรือตกแต่งให้มีสีสัน จะโดยการใส่สีเซรามิกในเคลือบ หรือนำมาเขียนตกแต่งบนผลิตภัณฑ์ก็ได้ (วรรณา ต.แสงจันทร์, 2545 : 50) สีเกิดจากการกระทบของแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถแยกความแตกต่างของสีได้ แหล่งให้สีในวัสดุเซรามิกส์ มี 2 ประเภท ประเภทแรกคือการให้สีโดยสารอินทรีย์ ที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่น ถ่าน ,แกรไฟต์ มักพบปะปนอยู่ในดิน โดยเฉพาะ Ball Clay หรือดินดำ ดินที่มีสารพวกนี้อยู่จะมีสีเหลือง ,เทา,น้ำตาล,และดำขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่และจะถูกเผาออกไปที่อุณหภูมิประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ประเภทที่สองคือการให้สีโดยสารอนินทรีย์ อาจมาจากสิ่งเจือปนที่ติดมากับวัตถุดิบหรือที่ตั้งใจเติมลงในส่วนผสมเพื่อปรับสีหรือสมบัติอื่นๆเช่น Iron,Cobalt, Chromium ฯลฯ สารเหล่านี้จะยังอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาแล้ว นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่มีผลกระทบ ต่อการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เซรามิก มีหลายอย่าง เช่น สภาพการเผา ได้แก่ อุณหภูมิและบรรยากาศในการเผา ดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ปนอยู่ในระดับหนึ่ง เมื่อเผาในบรรยากาศปกติ (Oxidising Atmosphere) จะให้สีแดง แต่ถ้าเผาในบรรยากาศ reducing จะให้สีฟ้าอ่อนๆ หรือฟ้าอมเทา นอกจากนี้ถ้าเป็นการเผาในบรรยากาศปกติ เนื้อดินที่เผาที่อุณหภูมิต่ำจะให้สีแดงเข้มกว่าเนื้อดินที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิสูง (ศิริพร ลาภเกียรติถาวร, 2543 : 1-5) สอดคล้องกับคำกล่าวของ ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์(2538 : 4) ที่กล่าวว่า เมื่อนำดินเหนียวที่มีเฟอร์ริกออกไซด์ไปเผาในบรรยากาศที่ไม่สมบูรณ์จะให้เนื้อดินที่มีสีค่อนข้างดำของเฟอร์รัสออกไซด์ และไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์(2541 : 257) ยังกล่าวอีกว่า ดินที่มีแร่มสทินปนอยู่สูงสามารถทำให้สีของดินภายหลังการเผาเปลี่ยนแปลงไปได้ เช่น ดินที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หลังการเผาจะเป็นสีเหลืองปนเทาคล้ำ ส่วนดินที่มีแร่เหล็ก (Fe_2O_3) หลังจากการเผาจะเป็นสีน้ำตาล นอกจากนี้ จรัสศรี สมบัติทวี(2525 : 46) ยังกล่าวอีกว่า สำหรับความขาวของผลิตภัณฑ์ถ้าต้องการชนิดขาวมากๆ จำเป็นต้องผสมสารประกอบของโคบอลต์ลงในเนื้อดินปั้นปริมาณเล็กน้อย เช่นร้อยละ 0.02 – 0.03 ของโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2.6H_2O$) สารประกอบของโคบอลต์จะทำลายสีเหลืองที่เกิดจากปริมาณของเฟอริกออกไซด์ ที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบให้หมดไปหรือถ้าต้องการเนื้อผลิตภัณฑ์สีครีม ก็ควรเลือกดินขาวที่มีปริมาณของเฟอริกออกไซด์ปนอยู่บ้าง ก็จะได้ผลิตภัณฑ์สีครีมตามต้องการ

การวัดค่าสี ปกติการวัดค่าสีด้วยตาของมนุษย์นั้นจัดว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากการใช้สายตานานๆทำให้ตาเกิดความล้าได้ง่าย จึงมีการสร้างเครื่องมือสำหรับวัดสีขึ้นมาโดยใช้หลักการวัดแสงสะท้อนหรือแสงที่ส่องผ่านจากวัสดุที่ต้องการวัด ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับสี Standard วิธีในการวัดสีนี้เรียกว่า Spectrophotometric ซึ่งอาจวัดเป็นค่าความเข้มของสีความสว่างหรือความมันวาว แสงที่ใช้ส่องบนวัสดุที่ต้องการวัดสีต้องเป็นแสงสีขาวที่ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์มาก (ศิริพร ลาภเกียรติถาวร, 2543 : 6)

ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยวัดค่าสีของเนื้อดินปั้นโดยวัดค่าสีด้วยสายตาและเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน Pantone Formula Guides

จากความรู้เกี่ยวกับการทดสอบวัสดุตามที่นักวิชาการหลายท่านได้กล่าวไว้ในขั้นต้นพอสรุปได้ว่ากระบวนการทดสอบวัสดุถือเป็นขั้นตอนที่จำเป็นต่อกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ จำเป็นจะต้องทำการทดสอบทางด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบ เนื้อดิน หรือ น้ำเคลือบ การทดสอบวัสดุสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ ประเภทแรกการทดสอบทางกายภาพ หมายถึง การพิจารณาลักษณะของวัตถุดิบโดยใช้คุณสมบัติที่สามารถจับต้องได้ วัดได้ง่าย ประเภทที่สอง การทดสอบทางเคมี การทดสอบทางเคมีต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน และมีความละเอียดสูงเพื่อที่จะทราบว่าวัตถุดิบนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีอย่างไรบ้าง ประเภทที่สาม การทดสอบทางแร่ การที่ทราบว่าวัตถุดิบมาจากแร่ชนิดใดนั้น ช่วยให้เข้าใจในพฤติกรรมของวัตถุดิบนั้น ตลอดจนเข้าใจโครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ เมื่อทำการเผาได้ ผู้วิจัยใช้การทดสอบทางกายภาพเพื่อทดสอบ เนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบในงานวิจัยฉบับนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การวิจัยเรื่อง "การทดลองใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบแทนควอทซ์ ในกระบวนการผลิตเซรามิกส์" สมบูรณ์ยิ่งขึ้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

เพียรพิณ ก่อวุฒิพงศ์และ สนิท ปิ่นสกุล (2551) ได้ทำการวิจัย การพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ใช้ผลิตอิฐดินเผาโดยใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มผลผลิต โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐดินเผา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คืออัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ได้จากการหาสูตรส่วนผสมด้วยวิธี biaxial blend โดยใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ดินเหนียวและขี้เถ้าแกลบ ได้สูตรส่วนผสมจำนวน 26 ตัวอย่าง จากการดำเนินการทดลอง ผสมเนื้อดินปั้นกับน้ำ ในแต่ละสูตรส่วนผสมและทดลองขึ้นรูปแท่งทดลองด้วยการอัดแบบพิมพ์ พบว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ 1 ถึงสูตรที่ 17 ส่วนผสมมีความเหนียวสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดพิมพ์ได้ ส่วนเนื้อดินปั้นตั้งแต่สูตรที่ 18 ถึงสูตรที่ 26 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นมีความเหนียวน้อย และไม่สามารถขึ้นรูปได้ หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปแท่งทดลองสูตรละ 10 แท่ง นำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาและหลังเผา ทำการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่มีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมสำหรับผลิตอิฐดินเผามากที่สุดได้แก่ สูตรส่วนผสมที่ 6 ในสูตรส่วนผสมมีดินเหนียวร้อยละ 90 ขี้เถ้าแกลบร้อยละ 10 ความหดตัวก่อนเผาเฉลี่ยร้อยละ 2.47 ความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยร้อยละ 2.20 ความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ย 3.41 กก./ตร.ซม.

ความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 5.85 กก./ตร.ซม. การดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 21.50 สีของเนื้อดินปั้นคือสีแดงอิฐ เป็นสูตรส่วนผสมที่สามารลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้

ชัยวัฒน์ ศรีสมสักดิ์ (2548) ได้ทำการวิจัย การพัฒนาคุณสมบัติของอิฐดินเผาผสมเถ้าแกลบ โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาอิฐดินเผาที่ผลิตจากดินเหนียว อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเถ้าแกลบที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของอิฐดินเผา ได้แก่การเปลี่ยนแปลงขนาดและน้ำหนัก ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ โมดูลัสแตกร้าว และกำลังรับแรงอัด ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ (1) ความละเอียดของเถ้าแกลบ (2) ปริมาณเถ้าแกลบ (3) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอิฐ เถ้าแกลบที่ใช้มี 2 ขนาด คือ เถ้าแกลบชนิดที่ไม่บดละเอียด กับชนิดที่เถ้าแกลบบดละเอียด สัดส่วนในการใช้เถ้าแกลบแทนที่ดินเหนียว คือ ที่ปริมาณร้อยละ 10 20 30 และ 40 จากการศึกษาพบว่า อิฐดินเผาที่ผลิตจากดินเหนียว อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมาสามารถที่จะพัฒนาให้ดีขึ้นโดยการแทนที่ดินเหนียวด้วยเถ้าแกลบที่บดละเอียดในปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 750 – 850 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อิฐดินเผาที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า อิฐดินเผาอำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง "การพัฒนาอิฐทนไฟฉนวนจากเถ้าแกลบ" เพื่อให้การทำวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์และสำเร็จได้นั้น ผู้วิจัยได้ลำดับขั้นตอนของการวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตอนที่ 1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

ตอนที่ 2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

ตอนที่ 1

1.การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

ผู้วิจัยดำเนินการตามรายละเอียด ดังนี้

1.1 กลุ่มตัวอย่าง

1.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.3 วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง

1.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.5 การดำเนินการทดลอง

1.6 ลำดับขั้นการทดลอง

1.7 สถานที่ที่ใช้ทดลอง

1.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงจางตารางสามเหลี่ยมจำนวน 36 ตัวอย่าง

1.2 ตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

1.2.1 ตัวแปรต้น คือ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนจากตารางสามเหลี่ยม

1.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

1.2.2.1 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนก่อนเผา ได้แก่

1.2.2.1.1 ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด

1.2.2.1.2 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

1.2.2.1.3 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

1.2.2.2 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนหลังเผา ได้แก่

1.2.2.2.1 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.4 ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.2.2.2.5 สีของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.3 วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ เถ้าแกลบ อะลูมิเนียมออกไซด์ ดินดำสุราษฎร์ เบนโทไนต์ และ ขี้เลื่อย

1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1.4.1 เตาแก๊สแบบทางเดินลมร้อนลง พร้อมอุปกรณ์เตา

1.4.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิไพโรเมตริก เทอร์โมคอปเปิล (Pyrometric Thermocouple)

1.4.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า

1.4.4 ตะแกรงกรองขนาด 100 เมช

1.4.5 เครื่องอัดไอดรอลิค

1.4.6 แบบพิมพ์โลหะขึ้นรูปชิ้นทดลอง

1.4.7 เครื่องทดสอบความแข็งแรง

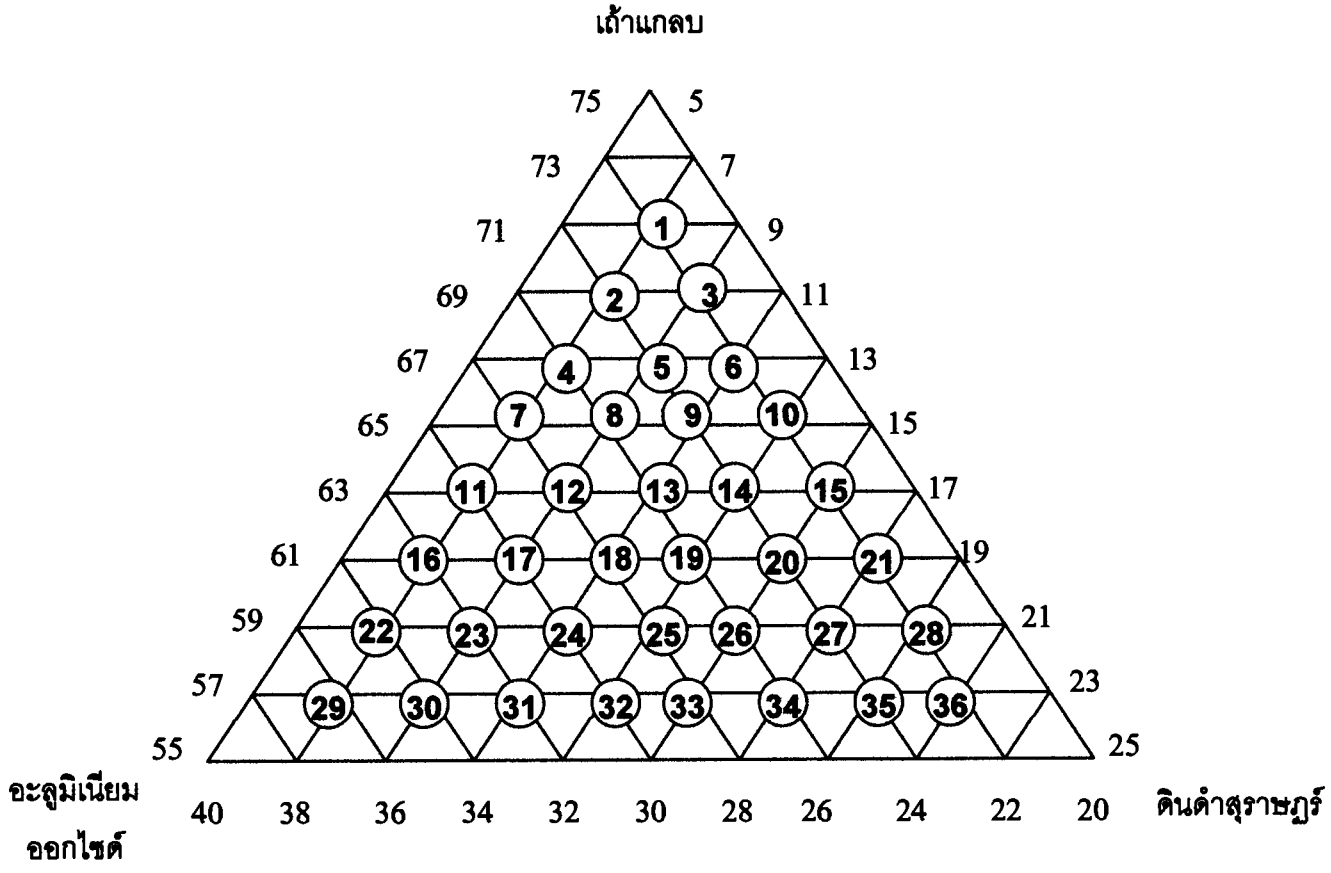
1.4.8 แผ่นเทียบสี

1.4.9 เวอร์เนียร์

1.5 การดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยดำเนินทดลอง ตามขั้นตอนดังนี้

1.5.1 กำหนดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้สูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยได้พัฒนาสูตรส่วนผสมจาก ตัวอย่างสูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนของศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดลำปาง เผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ในสูตรส่วนผสมมีดินขาวระนองระหว่างร้อยละ 40-50 ดินดำสุราษฎร์ระหว่างร้อยละ 25-30 ขี้เลื่อยระหว่างร้อยละ 15-20 จากตัวอย่างสูตรส่วนผสมของอิฐทนไฟฉนวน ผู้วิจัยได้ปรับการใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมโดยใช้ เถ้าแกลบระหว่างร้อยละ 55-75 เพื่อให้ซิลิกา ใช้อลูมินา ระหว่างร้อยละ 20-40 เพื่อให้อลูมิเนียมไดออกไซด์ ใช้ดินดำสุราษฎร์ระหว่างร้อยละ 5-25

เพื่อให้ซิลิกาและอลูมิเนียมไดออกไซด์ และเพื่อให้เกิดความเหนียวในเนื้อดินปั้น เพิ่มเติมเบนโทไนต์ร้อยละ 10 เพื่อทำให้เนื้อดินปั้นเกิดความเหนียวและเพิ่มเติมขี้เลื่อยร้อยละ 20 เพื่อให้เกิดรูพรุนในเนื้ออิฐทนไฟฉนวน กำหนดสูตรส่วนผสมโดยใช้ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าได้สูตรส่วนผสมจำนวน 36 สูตร ดังภาพที่ 16 และได้อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 5



ภาพที่ 16 แสดงตารางสามเหลี่ยมที่ใช้คำนวณสูตรเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน

ตาราง 5 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากตารางสามเหลี่ยม

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ(กรัม)				
	เถ้าแกลบ	อะลูมิเนียมออกไซด์	ดินดำสุราษฎร์	เบนโทไนต์ (เพิ่มเติม)	ขี้เลื่อย (เพิ่มเติม)
1	71	22	7	10	20
2	69	24	7	10	20
3	69	22	9	10	20
4	67	26	7	10	20
5	67	24	9	10	20
6	67	22	11	10	20
7	65	28	7	10	20
8	65	26	9	10	20
9	65	24	11	10	20
10	65	22	13	10	20
11	63	30	7	10	20
12	63	28	9	10	20
13	63	26	11	10	20
14	63	24	13	10	20
15	63	22	15	10	20
16	61	32	7	10	20
17	61	30	9	10	20
18	61	28	11	10	20
19	61	26	13	10	20
20	61	24	15	10	20
21	61	22	17	10	20
22	59	34	7	10	20
23	59	32	9	10	20
24	59	30	11	10	20

ตาราง 5 (ต่อ)

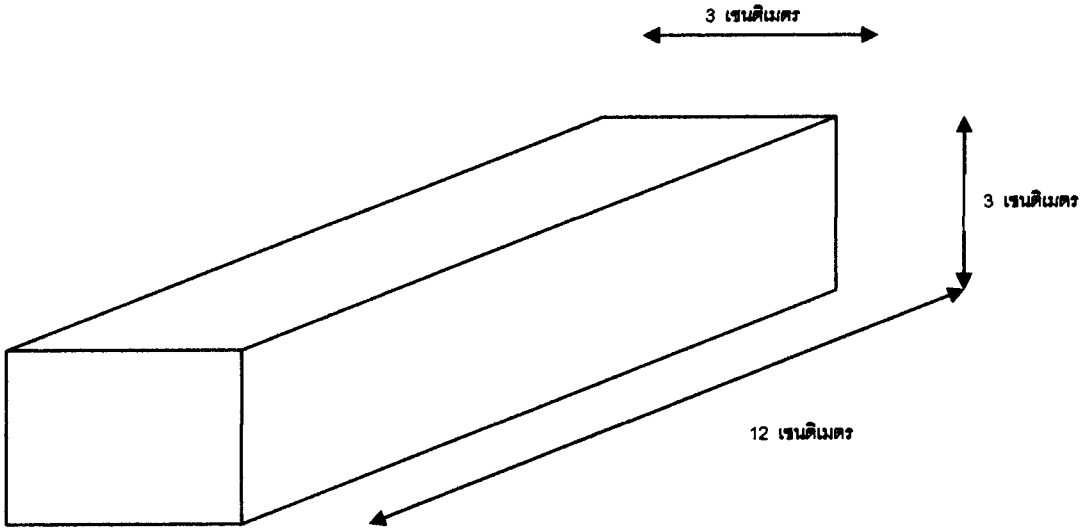
สูตรที่	อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ(กรัม)				
	เถ้าแกลบ	อะลูมิเนียมออกไซด์	ดินดำสุราษฎร์	เบนโทไนต์ (เพิ่มเติม)	ขี้เลื่อย (เพิ่มเติม)
25	59	28	13	10	20
26	59	26	15	10	20
27	59	24	17	10	20
28	59	22	19	10	20
29	57	36	7	10	20
30	57	34	9	10	20
31	57	32	11	10	20
32	57	30	13	10	20
33	57	28	15	10	20
34	57	26	17	10	20
35	57	24	19	10	20
36	57	22	21	10	20

1.5.2 บดเถ้าแกลบด้วยหม้อบดโดยกรรมวิธีบดแห้งแล้วผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

1.5.3 นำขี้เลื่อยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช

1.5.4 ชั่งส่วนผสมวัตถุดิบสูตรละ 1,000 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน ผสมน้ำเพื่อให้ส่วนผสมมีความชื้นเหมาสมกับการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

1.5.5 นำส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละสูตรขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองขนาด 12 x 3 x3 เซนติเมตร จำนวน 2 ชุดๆละ 3 แท่ง และแท่งทดสอบความทนไฟ 1 ชุด ๆละ 1 แท่ง ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงแท่งทดลองเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน

1.5.6 ผึ่งชิ้นงานให้แห้งที่อุณหภูมิห้องหลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

1.5.7 นำชิ้นทดลองชุดที่ 1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาได้แก่

1.5.7.1 ทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด

1.5.7.2 ทดสอบความหดตัวของเนื้อดินปั้น

1.5.7.3 ทดสอบความแข็งแรง

1.5.8 นำชิ้นทดลองชุดที่ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนลง

1.5.9 นำชิ้นทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านการเผาทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผา ได้แก่

1.5.9.1 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.5.9.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา

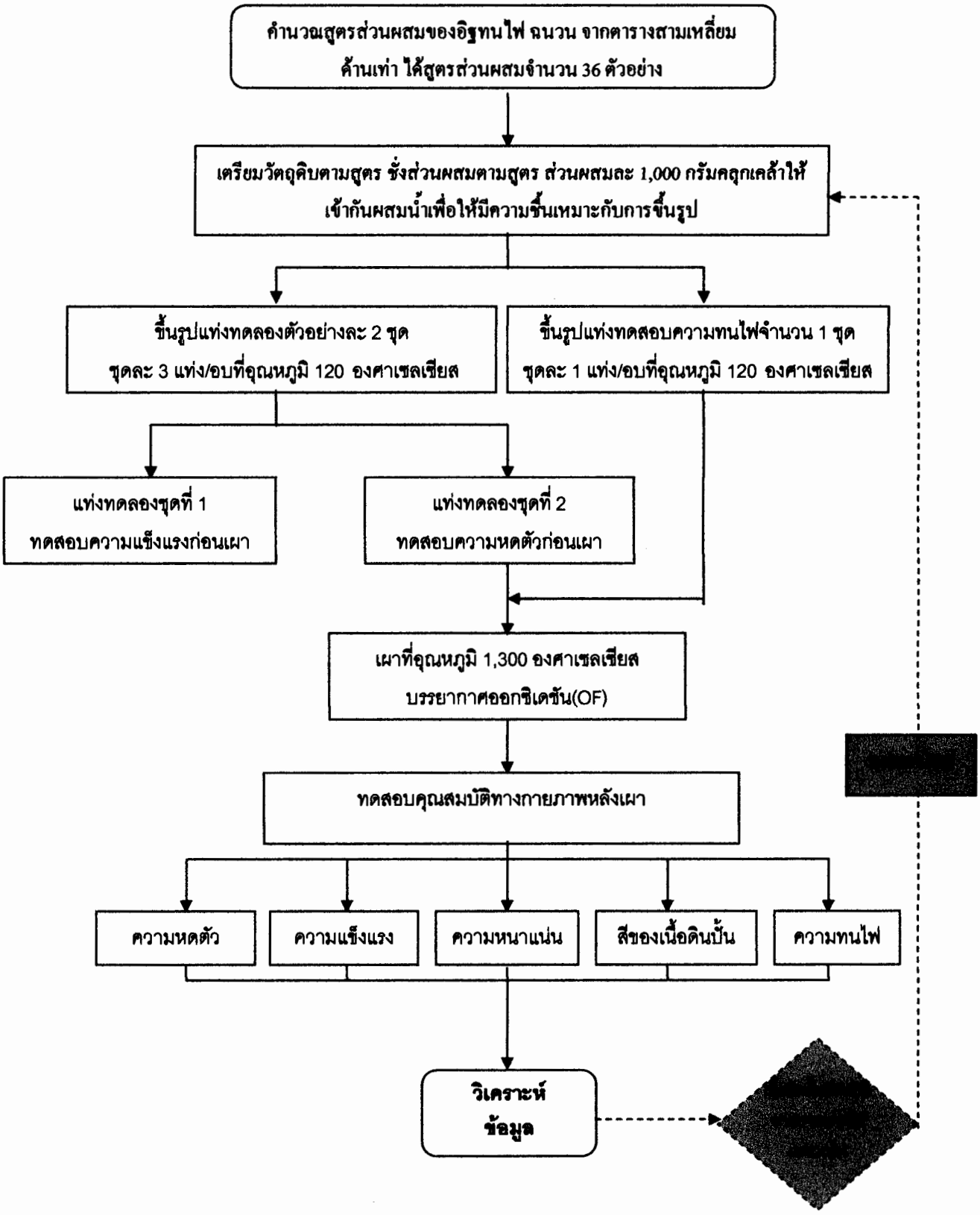
1.5.9.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น

1.5.9.4 ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น

1.5.9.5 สีของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.5.10 นำข้อมูลที่ได้จาก ข้อ 1.5.7 และ 1.5.9 มาวิเคราะห์ข้อมูล

1.6 ลำดับขั้นการทดลองตอนที่ 1 ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 1

1.7 สถานที่ใช้ทำการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

1.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.8.1 ค่าความแข็งแรงของดินก่อนการเผาและหลังการเผาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สูตร(Andrewe, 1977 : 44)

$$M = \frac{3PL}{2bd^2}$$

ให้ M = ค่าความแข็งแรงของดิน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = แรงที่กดทำให้ แท่งทดลองหัก (กิโลกรัม)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

b = ความกว้างของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

d = ความหนาของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

1.8.2 ค่าความหดตัวก่อนเผาและหลังเผาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สูตร (Rhedes, 1974 :311)

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

$$\text{ร้อยละความหดตัวของดินหลังเผา} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินหลังเผา}}{\text{การหดตัวของดินเปียก}} \times 100$$

1.8.3 ค่าความหนาแน่น วิเคราะห์โดย ใช้สูตร

$$\text{ความหนาแน่น(Density)} = \frac{\text{มวล(น้ำหนักกรัม)}}{\text{ปริมาตร(ตารางเซนติเมตร)}}$$

1.8.4 ความทนไฟของเนื้อดินวิเคราะห์โดยการวัดการโค้งงอของแท่งทดลอง ความทนไฟ

1.8.5 สีของเนื้อดินวิเคราะห์โดยการเทียบสีของเนื้อดินหลังเผากับแผ่นเทียบสี (Pantone Formula Guides)

ตอนที่ 2

2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม ดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนดังนี้

2.1 การทดลองในตอนที่ 1 จะทำให้ทราบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ทั้งสมบัติทางกายภาพก่อนเผาและสมบัติทางกายภาพหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส เลือกสูตรส่วนผสมที่มีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมมากที่สุด โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผาและความหนาแน่นของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2

2.2 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสมที่เลือกในตอนที่ 1

2.3 ขึ้นรูปอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้แบบพิมพ์โลหะด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ขนาดแรงอัด 300 กก./ตร.ซม. ให้มีขนาดใกล้เคียงกับอิฐทนไฟฉนวน ARM C2

2.4 ปล่อยชิ้นงานให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสให้แห้งสนิท

2.5 นำชิ้นงานที่ผ่านการอบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาแก๊สทางเดินลมร้อนลง

2.6 ได้ผลิตภัณฑ์อิฐฉนวนทนไฟที่ใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมนำไปทดลองใช้งาน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการดำเนินการทดลองตามกระบวนการ ได้ข้อมูลซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังมีรายละเอียดแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

ตอนที่ 2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมการผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

ตอนที่ 1

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

หลังจากได้ทำการทำการศึกษาข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าได้สูตรส่วนผสมจำนวน 36 สูตร โดยใช้วัตถุดิบ 5 ชนิด ได้แก่ เถ้าแกลบ อะลูมิเนียมออกไซด์ ดินดำสุราษฎร์ เพิ่มเติม ดินเบนโทไนต์ในสูตรส่วนผสมร้อยละ 10 และขี้เลื่อยในสูตรส่วนผสมร้อยละ 20 กรัม เพื่อช่วยทำให้เกิดความเหนียวและทำให้เกิดรูพรุนในเนื้ออิฐทนไฟฉนวน หลังผ่านการเผา ได้ผลวิเคราะห์ข้อมูลแสดงรายละเอียดดัง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

สูตรที่	คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา		
	ความหดตัวเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเฉลี่ย (กก./ตร.ซม)	การขึ้นรูปด้วยการอัด
1	-2.53	0.11	ขึ้นรูปได้
2	-2.36	0.10	ขึ้นรูปได้
3	-2.39	0.17	ขึ้นรูปได้
4	-2.47	0.10	ขึ้นรูปได้
5	-2.42	0.13	ขึ้นรูปได้
6	-2.36	0.10	ขึ้นรูปได้
7	-2.33	0.20	ขึ้นรูปได้
8	-2.44	0.21	ขึ้นรูปได้
9	-2.31	0.22	ขึ้นรูปได้
10	-2.25	0.22	ขึ้นรูปได้
11	-2.22	0.23	ขึ้นรูปได้
12	-2.31	0.22	ขึ้นรูปได้
13	-2.25	0.22	ขึ้นรูปได้
14	-2.28	0.24	ขึ้นรูปได้
15	-2.17	0.25	ขึ้นรูปได้
16	-2.25	0.22	ขึ้นรูปได้
17	-2.06	0.23	ขึ้นรูปได้
18	-2.22	0.25	ขึ้นรูปได้
19	-2.39	0.24	ขึ้นรูปได้
20	-2.36	0.29	ขึ้นรูปได้
21	-2.39	0.22	ขึ้นรูปได้
22	-2.47	0.14	ขึ้นรูปได้
23	-2.36	0.11	ขึ้นรูปได้

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สูตรที่	คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนเผา		
	ความหดตัวเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเฉลี่ย (กก./ตร.ซม)	การขึ้นรูปด้วยการอัด
24	-2.28	0.15	ขึ้นรูปได้
25	-2.22	0.16	ขึ้นรูปได้
26	-2.33	0.13	ขึ้นรูปได้
27	-2.31	0.15	ขึ้นรูปได้
28	-2.36	0.23	ขึ้นรูปได้
29	-2.58	0.00	ขึ้นรูปได้
30	-2.50	0.07	ขึ้นรูปได้
31	-2.11	0.30	ขึ้นรูปได้
32	-2.22	0.29	ขึ้นรูปได้
33	-2.19	0.40	ขึ้นรูปได้
34	-2.25	0.35	ขึ้นรูปได้
35	-2.31	0.36	ขึ้นรูปได้
36	-2.11	0.36	ขึ้นรูปได้

จากตารางที่ 6 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นด้านความหดตัวก่อนเผา เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรส่วนผสมมีค่าความหดตัวก่อนเผาเป็นลบเนื่องจากการขึ้นรูปวัตถุดิบใช้วิธีการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกและในสูตรส่วนผสมมีส่วนผสมของขี้เลื่อยที่ใส่เพิ่มเติมลงในสูตรส่วนผสมร้อยละ 20 หลังจากขึ้นรูปและนำชิ้นทดลองออกจากแบบพิมพ์ทำให้ชิ้นงานเกิดการคลายตัวจึงขยายใหญ่ขึ้น ส่งผลทำให้การคำนวณค่าความหดตัวก่อนเผาติดลบเนื้อดินปั้นที่ขยายตัวมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 เนื้อดินปั้นที่ขยายตัวน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 และ 36 เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรส่วนผสมสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกได้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา

สูตรที่	คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา				
	ความหดตัวเฉลี่ย(ร้อยละ)	ความแข็งแรงเฉลี่ย(กก./ตร.ซม)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม)	ความทนไฟ	สีของเนื้อดิน
1	6.45	2.60	0.82	ทนได้	เทาอ่อน
2	5.73	2.53	0.82	ทนได้	เทาอ่อน
3	5.67	2.52	0.83	ทนได้	เทาอ่อน
4	5.64	2.30	0.83	ทนได้	เทาอ่อน
5	6.08	2.98	0.87	ทนได้	เทาอ่อน
6	6.02	2.71	0.85	ทนได้	เทาอ่อน
7	6.51	3.02	0.90	ทนได้	เทาอ่อน
8	6.53	3.25	0.88	ทนได้	เทาอ่อน
9	6.68	3.08	0.87	ทนได้	เทาอ่อน
10	6.63	3.45	0.87	ทนได้	เทาอ่อน
11	6.68	3.23	0.88	ทนได้	เทาอ่อน
12	5.84	2.32	0.84	ทนได้	เทาอ่อน
13	5.62	2.42	0.86	ทนได้	เทาอ่อน
14	5.89	2.63	0.87	ทนได้	เทาอ่อน
15	5.82	3.05	0.88	ทนได้	เทาอ่อน
16	5.51	2.46	0.85	ทนได้	เทาอ่อน
17	5.55	2.38	0.84	ทนได้	เทาอ่อน
18	5.33	2.37	0.84	ทนได้	เทาอ่อน
19	4.80	1.95	0.83	ทนได้	เทาอ่อน
20	5.48	2.54	0.87	ทนได้	เทาอ่อน
21	5.15	1.80	0.84	ทนได้	เทาอ่อน
22	4.85	1.57	0.81	ทนได้	เทาอ่อน
23	4.10	1.32	0.81	ทนได้	เทาอ่อน

ตารางที่ 7 (ต่อ)

สูตรที่	คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นหลังเผา				
	ความหดตัวเฉลี่ย(ร้อยละ)	ความแข็งแรงเฉลี่ย(กก./ตร.ซม)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม)	ความทนไฟ	สีของเนื้อดิน
24	4.32	1.61	0.83	ทนได้	เทาอ่อน
25	4.51	1.24	0.84	ทนได้	เทาอ่อน
26	4.56	1.50	0.82	ทนได้	เทาอ่อน
27	4.10	1.23	0.81	ทนได้	เทาอ่อน
28	4.07	1.33	0.82	ทนได้	เทาอ่อน
29	2.57	0.25	0.58	ทนได้	เทาอ่อน
30	5.61	2.54	0.86	ทนได้	เทาอ่อน
31	6.96	5.06	0.94	ทนได้	เทาอ่อน
32	5.84	3.91	0.91	ทนได้	เทาอ่อน
33	6.31	4.83	0.96	ทนได้	เทาอ่อน
34	6.95	5.28	0.93	ทนได้	เทาอ่อน
35	6.76	5.20	0.94	ทนได้	เทาอ่อน
36	6.91	5.17	0.93	ทนได้	เทาอ่อน

จากตารางที่ 7 เนื้อดินปั้นที่มีความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 เนื้อดินปั้นที่มีความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 34 เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 เนื้อดินปั้นที่มีความหนาแน่นมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 เนื้อดินปั้นที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรสามารถทนไฟที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียสได้ สีของเนื้อดินปั้นมีสีใกล้เคียงกันคือสีเทาอ่อน

ตอนที่ 2

ผลการวิเคราะห์การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม การดำเนินการวิจัยตอนที่ 2 นี้เป็นการนำผลการทดลองในตอนที่ 1 หลังจากที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนทั้งก่อนเผาและหลังเผา มาเปรียบเทียบกับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2 โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผา ความหนาแน่นและสี ซึ่งกระบวนการทดสอบใช้วิธีการและเครื่องมือเช่นเดียวกันกับการทดสอบแท่งทดลองในตอนที่ 1

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2 พบว่า มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.23 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.84 ก./ลบ.ซม. สีขาวครีม

จากการเทียบเคียงคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าเนื้อดินปั้นที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.45 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.87 ก./ลบ.ซม. สีเทาอ่อน ผู้วิจัยนำสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 ไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อิฐทนไฟฉนวนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แบบพิมพ์โลหะ สูตรส่วนผสมอิฐทนไฟขึ้นรูปได้ดี หลังผ่านการเผาสามารถนำมาใช้เป็นอิฐทนไฟฉนวนในเตาเผาได้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน
2. เพื่อผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

กลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงจางตารางสามแหลี่ยมจำนวน 36 ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยวิธีการทดลอง เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นและเคลือบที่เหมาะสม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ วัสดุและอุปกรณ์ ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อใหญ่ดังต่อไปนี้

1. วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ
   - 1.1 เถ้าแกลบ
   - 1.2 อะลูมิเนียมออกไซด์
   - 1.3 ดินดำสุราษฎร์
   - 1.4 ดินเบนโทไนต์
   - 1.5 ขี้เลื่อย

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

2.1 เตาแก๊สแบบทางเดินลมร้อนลง พร้อมอุปกรณ์เตา

2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิไพโรเมตริก เทอร์โมคอปเปิล (Pyrometric Thermocouple)

2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า

2.4 ตะแกรงกรองขนาด 100 เมช

2.5 เครื่องอัดไอดรอลิค

2.6 แบบพิมพ์โลหะขึ้นรูปชิ้นทดลอง

2.7 เครื่องทดสอบความแข็งแรง

2.8 แผ่นเทียบสี

2.9 เวอร์เนียร์

การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

1.1 กำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยการสุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าได้สูตรส่วนผสมจำนวน 36 สูตร โดยใช้วัตถุดิบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าแกลบ อะลูมิเนียมออกไซด์ ดินดำสุราษฎร์ ดังภาพที่ 14 เพิ่มเติมดินเบนโทไนต์ร้อยละ 10 และขี้เลื่อยร้อยละ 20 ในทุกสูตรส่วนผสม

1.2 บดเถ้าแกลบด้วยหม้อบดโดยกรรมวิธีบดแห้งแล้วผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

1.3 นำขี้เลื่อยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช

1.4 ชั่งส่วนผสมวัตถุดิบสูตรละ 1,000 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน ผสมน้ำเพื่อให้ส่วนผสมมีความชื้นเหมาสมกับการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด

1.5 นำส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละสูตรขึ้นรูปเป็นแท่งทดลองขนาด 12 x 3 x3 เซนติเมตร จำนวน 2 ชุดๆละ 3 แท่ง และแท่งทดสอบความทนไฟ 1 ชุด ๆละ 1 แท่ง

1.6 ผึ่งชิ้นงานให้แห้งที่อุณหภูมิห้องหลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

1.7 นำชิ้นทดลองชุดที่ 1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาได้แก่

1.7.1 ทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด

1.7.2 ทดสอบความหดตัวของเนื้อดินปั้น

1.7.3 ทดสอบความแข็งแรง

1.8 นำชิ้นทดลองชุดที่ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนลง

1.9 นำชิ้นทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านการเผาทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผา ได้แก่

1.9.1 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.9.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.9.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น

1.9.4 ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น

1.9.5 สีของเนื้อดินปั้นหลังเผา

1.10 วิเคราะห์ข้อมูล

2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

2.1 เลือกสูตรส่วนผสมที่มีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมมากที่สุด โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผาและความหนาแน่นของอิฐทนไฟฉนวนมาตรฐาน ARM C2

2.2 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสมที่เลือก

2.3 ขึ้นรูปอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้แบบพิมพ์โลหะด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ขนาดแรงอัด 3 ตัน/ตร.ซม. ให้มีขนาดใกล้เคียงกับอิฐทนไฟฉนวนมาตรฐาน ARM C2

2.4 ปล่อยชิ้นงานให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสให้แห้งสนิท

2.5 นำชิ้นงานที่ผ่านการอบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ด้วยเตาแก๊สทางเดินลมร้อนลง

2.6 ได้ผลิตภัณฑ์อิฐฉนวนทนไฟที่ใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมนำไปทดลองใช้งาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

1.1 ค่าความแข็งแรงของดินก่อนการเผาและหลังการเผาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สูตร(Andrewe, 1977 : 44)

$$M = \frac{3PL}{2bd^2}$$

ให้ M = ค่าความแข็งแรงของดิน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = แรงที่กดทำให้ แท่งทดลองหัก (กิโลกรัม)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

b = ความกว้างของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

d = ความหนาของชิ้นทดลอง (เซนติเมตร)

1.2 ค่าความหดตัวก่อนเผาและหลังเผาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สูตร (Rhodes, 1974 : 311)

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

$$\text{ร้อยละของความหดตัวหลังการเผา} = \frac{\text{ความยาวของดินแห้ง} - \text{ความยาวของดินหลังเผา}}{\text{ความยาวของดินแห้ง}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของความหดตัวของดิน} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินหลังเผา}}{\text{การหดตัวของดินเปียก}} \times 100$$

1.3 ค่าความหนาแน่น วิเคราะห์โดย ใช้สูตร

$$\text{ความหนาแน่น(Density)} = \frac{\text{มวล(น้ำหนักกรัม)}}{\text{ปริมาตร(ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

1.4 ความทนไฟของเนื้อดินปั้นวิเคราะห์โดยสังเกตการโค้งงอของแท่งทดลองทุ่นทนไฟ

1.5 สีของเนื้อดินวิเคราะห์โดยการเทียบสีของเนื้อดินหลังเผากับแผ่นเทียบสี (Pantone Formula Guides)

1.6 ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธีเครื่องอัดวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำส่วนผสมของเนื้อดินไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไอดรอลิคพิจารณาดูว่าสามารถขึ้นรูปได้หรือไม่

ตอนที่ 2

2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

ในการวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตอิฐทนไฟฉนวนนี้เป็นการพิจารณาเลือกสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 1 ที่มีความเหมาะสมและสามารถนำมาผลิตได้จริง ผู้วิจัยทำการเลือกสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนโดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาแล้วที่มีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมมากที่สุด โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผาและความหนาแน่นของอิฐทนไฟฉนวนมาตรฐาน ARM C2

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละตอนสามารถสรุปผลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟก่อนเผา

1.1.1 ความหดตัวก่อนเผา เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรส่วนผสมมีค่าความหดตัวก่อนเผาเป็นลบ คือชิ้นทดลองเกิดการขยายตัว ส่งผลทำให้การคำนวณค่าความหดตัวก่อนเผาติดลบเนื้อดินปั้นที่มีค่าความหดตัวก่อนเผาติดลบมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ -2.58 เนื้อดินปั้นที่มีค่าความหดตัวก่อนเผาติดลบน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 และ 36 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ -2.11

1.1.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผา เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 ความแข็งแรงเฉลี่ย 0.40 กก./ตร.ซม เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความแข็งแรงเฉลี่ย 0.00 กก./ตร.ซม

1.1.3 ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรส่วนผสมสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกได้

1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟหลังเผา

1.2.1 ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา เนื้อดินปั้นที่มีความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ 6.96 เนื้อดินปั้นที่มีความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ 2.57

1.2.2 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 34 ความแข็งแรงเฉลี่ย 5.28 กก./ตร.ซม เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความแข็งแรงเฉลี่ย 0.25 กก./ตร.ซม

1.2.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรสามารถทนไฟที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียสได้

1.2.4 ความหนาแน่น เนื้อดินปั้นที่มีความหนาแน่นมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 ความหนาแน่น 0.96 ก/ลบ.ซม. เนื้อดินปั้นที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความหนาแน่น 0.58 ก/ลบ.ซม.

1.2.5 สีของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นมีสีใกล้เคียงกันคือสีเทาอ่อน

2. การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

ผลการวิเคราะห์การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม การดำเนินการวิจัยตอนที่ 2 นี้เป็นการนำผลการทดลองในตอนที่ 1 หลังจากที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนทั้งก่อนเผาและหลังเผา มาเปรียบเทียบกับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2โดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผา ความหนาแน่นและสี ซึ่งกระบวนการทดสอบใช้วิธีการและเครื่องมือเช่นเดียวกันกับการทดสอบแท่งทดลองในตอนที่ 1

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2 พบว่า มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.23 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.84 ก./ลบ.ซม. มีสีขาวครีม

จากการเทียบเคียงคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าเนื้อดินปั้นที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.45 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.87 ก./ลบ.ซม. สีเทาอ่อน ผู้วิจัยนำสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 ไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อิฐทนไฟฉนวนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แบบพิมพ์โลหะ สูตรส่วนผสมอิฐทนไฟขึ้นรูปได้ดี หลังผ่านการเผาสามารถนำไปใช้งานได้

อภิปรายผล

จากผลของการวิเคราะห์ข้อมูลของการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการอภิปรายผลแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟ ฉนวน โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน

คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟก่อนเผา

ความหดตัวก่อนเผา เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรส่วนผสมมีค่าความหดตัวก่อนเผาเป็นลบ คือชิ้นทดลองเกิดการขยายตัว ส่งผลทำให้การคำนวณค่าความหดตัวก่อนเผาเป็นลบเนื้อดินปั้นที่มีค่าความหดตัวก่อนเผาเป็นลบมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ -2.58 เนื้อดินปั้นที่มีค่าความหดตัวก่อนเผาเป็นลบน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 และ 36 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ -2.11 สาเหตุที่ทำให้ชิ้นทดลองเกิดการขยายตัว หลังจากนำออกจากแบบพิมพ์อัดผู้วิจัยสันนิษฐานว่าอาจเกิดจาก ขี้เลื่อยที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างหยาบในขณะขึ้นรูปเกิดการหดตัวด้วยแรงอัด หลังจากนำออกจากแบบพิมพ์อัดจึงเกิดการคลายตัวส่งผลทำให้ชิ้นงานมีการขยายตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วเนื้อดินปั้นที่มีวัตถุดิบชนิดมีความเหนียวและใช้น้ำเป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นจะเกิดการหดตัวก่อนเผา เนื่องจากมีน้ำที่เป็นสาเหตุทำให้เนื้อดินปั้นหรือผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัว สอดคล้องกับคำกล่าวของ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ,(2547 : 141) ที่กล่าวว่า การอบผลิตภัณฑ์ให้แห่งเป็นการไล่น้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งในเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จใหม่ๆจะมีน้ำที่เป็นองค์ประกอบอยู่ 4 ชนิดคือ 1.น้ำที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคของวัตถุดิบ 2. น้ำที่เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเมื่ออบแห้ง 3. น้ำซึ่งถูกขังอยู่ในช่องว่างในผลิตภัณฑ์ 4. น้ำซึ่งประกอบอยู่ในโครงสร้างของผลึกวัตถุดิบ เมื่อน้ำถูกขจัดออกไปแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งและมีการหดตัวเกิดขึ้น ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผา ค่าความแข็งแรงก่อนเผาของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนทั้ง 36 สูตรส่วนผสมโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าความแข็งแรงน้อย ทั้งนี้เนื่องจากค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผาขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่มีอยู่ในสูตรส่วนผสมถ้าในสูตรส่วนผสมมีวัตถุดิบชนิดที่มีความเหนียวอยู่มากก็จะทำให้สูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นนั้นมีความแข็งแรงมากดัง ตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 ความแข็งแรงเฉลี่ย 0.40 กก./ตร.ซม ในสูตรส่วนผสมมีเถ้าแกลบร้อยละ 57 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 28 ดินดำสุราษฎร์ร้อยละ 15 เพิ่มเติมเบนโทไนต์ร้อยละ 10 และขี้เลื่อยร้อยละ 20 เมื่อพิจารณาดูส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 พบว่ามีส่วนผสมที่มีความเหนียวซึ่งได้แก่ดินดำ

สุราษฎร์และเบนโทไนต์ในสูตรส่วนผสมรวมกันถึงร้อยละ 25 จึงส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผามีมาก ดังคำกล่าวของ สอดคล้องกับ กาญจนะ แก้วกำเนิด(2530 : 65) ที่กล่าวว่า ดินที่มีความละเอียดมาก และมีความเหนียวดีย่อมมีความแข็งแรงดีกว่าดินหยาบและไม่ค่อยเหนียว ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวเมื่อนำมาขึ้นรูปและผึ่งให้แห้งแล้ว จะมีความแข็งแรงดีกว่าดินขาว แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าในสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นมีส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีความเหนียวอยู่น้อย ก็จะทำให้เนื้อดินปั้นมีความแข็งแรงก่อนเผาน้อยตามมา ดังตัวอย่างเนื้อดินปั้นสูตรที่มีความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความแข็งแรงเฉลี่ย 0.00 กก./ตร.ซม. ในสูตรส่วนผสมมีเถ้าแกลบร้อยละ 57 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 36 ดินดำสุราษฎร์ร้อยละ 7 เพิ่มเติมเบนโทไนต์ร้อยละ 10 และขี้เลื่อยร้อยละ 20 เมื่อพิจารณาดูสูตรส่วนผสมพบว่ามีส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีความเหนียวซึ่งได้แก่ดินดำสุราษฎร์และเบนโทไนต์ในสูตรส่วนผสมรวมกันร้อยละ 17 ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรส่วนผสมสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกได้ เนื่องจากในสูตรส่วนผสมมีวัตถุดิบในกลุ่มที่มีความเหนียวอันได้แก่ ดินดำสุราษฎร์ เบนโทไนต์ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้เนื้อดินปั้นมีความเหนียวสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกได้ ดังคำกล่าวของ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ,(2547 : 13) ที่กล่าวว่า ดินเหนียวช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น นอกจากนี้การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกใช้แรงอัดที่ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเป็นแรงอัดที่สูงจึงมีส่วนช่วยทำให้เนื้อดินปั้นสามารถขึ้นรูปได้

คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟหลังเผา

ความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา เนื้อดินปั้นที่มีความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ 6.96 สาเหตุที่ทำให้เนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 มีความหดตัวเฉลี่ยหลังเผามากที่สุดเนื่องจาก ในสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 31 อยู่ในกลุ่มของสูตรส่วนผสมที่มีขี้เถ้าแกลบอยู่ในปริมาณน้อยในสูตรส่วนผสมคือร้อยละ 57 ขี้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบที่มีสารประกอบของซิลิกาสูง ถ้ามีอยู่มากในสูตรส่วนผสมจะมีส่วนช่วยทำให้เนื้อดินปั้นมีความหดตัวน้อยตามมา สอดคล้องกับคำกล่าวของ โกมล รักษ์วงศ์,(2531 : 25) ที่กล่าวว่า วัตถุดิบที่ให้ซิลิกาสูงมีอยู่หลายชนิด เช่น ควอตซ์ เมื่อนำไปผสมเนื้อดินปั้น จะทำให้เนื้อดินปั้นแข็งแรง เป็นโครงสร้างป้องกันการหดตัวของผลิตภัณฑ์ เนื้อดินปั้นที่มีความหดตัวหลังเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความหดตัวเฉลี่ยร้อยละ 2.57 สาเหตุที่ทำให้เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 มีความหดตัวหลังเผาน้อยที่สุดเนื่องจากในสูตรส่วนผสมมีปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์มากที่สุดถึงร้อยละ 36 อลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัตถุดิบในกลุ่มวัตถุทนไฟเมื่อมีอยู่มากในสูตรส่วนผสมจึงทำให้เนื้อดินปั้นมีจุดสุกตัวที่สูงและส่งผลทำให้เนื้อดินปั้นมีความหดตัวน้อยตามมา สอดคล้องกับคำกล่าวของ ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์,(2541 : 79) ที่กล่าวว่า อลูมินาเป็นวัตถุดิบที่มีความทนไฟสูง มีจุดหลอมละลายที่

2,050 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 34 ความแข็งแรงเฉลี่ย 5.28 กก./ตร.ซม เนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ยน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความแข็งแรงเฉลี่ย 0.25 กก./ตร.ซม. ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างแต่อย่างหนึ่งที่สำคัญคือความสุกตัวของเนื้อดินปั้น โดยปกติแล้วเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบกลุ่มที่เป็นวัตถุทนไฟอยู่สูงจะทำให้เนื้อดินปั้นเกิดความทนไฟและไม่สุกตัวส่งผลทำให้ความแข็งแรงน้อยดังตัวอย่างเนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 มีส่วนผสมของอะลูมิเนียมออกไซด์อยู่สูงจึงทำให้เนื้อดินปั้นเกิดความทนไฟไม่สุกตัวเป็นเนื้อเดียวกันจึงทำให้เนื้อดินปั้นมีความแข็งแรงน้อยที่สุด ส่วนเนื้อดินปั้นสูตรที่ 34 มีส่วนผสมของอะลูมิเนียมออกไซด์น้อยกว่าเนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 จึงทำให้เนื้อดินปั้นมีความสุกตัวมากกว่าความแข็งแรงจึงมากกว่า สอดคล้องกับคำกล่าวของ อายุวัฒน์ สว่างผล, (2543 : 175) ที่กล่าวว่า อลูมินาเป็นตัวทำให้ดินมีความทนไฟได้ในอุณหภูมิช่วงกว้างกว่าธาตุอื่นๆ ความทนไฟของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรสามารถทนไฟที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียสได้ ความทนไฟของเนื้อดินปั้นเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นถ้าในสูตรส่วนผสมมีวัตถุดิบในกลุ่มที่เป็นวัตถุทนไฟอยู่มากจะส่งผลทำให้เนื้อดินปั้นมีความทนไฟมากตามมา ทั้งนี้เนื้อดินปั้นทั้ง 36 สูตรมีวัตถุดิบซึ่งได้แก่ ขี้เถ้าแกลบและอะลูมิเนียมออกไซด์ ในสูตรส่วนผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 57-71 และ ร้อยละ 22-34 ตามลำดับ วัตถุดิบทั้งสองชนิดเป็นวัตถุดิบในกลุ่มวัตถุทนไฟเมื่อมีอยู่มากในสูตรส่วนผสมจึงทำให้เนื้อดินปั้นสามารถทนไฟที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียสได้ สอดคล้องกับคำกล่าวของโกมล รักษ์วงศ์,(2531 : 31) ที่กล่าวว่า อลูมินาเป็นสารทนความร้อนใช้มากในอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟ และยังสอดคล้องกับคำกล่าวของ ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์,(2541 : 79) ที่กล่าวว่า อลูมินาเป็นวัตถุดิบที่มีความทนไฟสูง มีความทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และถูกนำมาใช้ในการผลิตวัตถุทนไฟ เบ้าหลอม หัวเทียน เป็นต้น ความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นที่มีความหนาแน่นมากที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 33 ความหนาแน่น 0.96 ก/ลบ.ซม. เนื้อดินปั้นที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 ความหนาแน่น 0.58 ก/ลบ.ซม. ค่าความหนาแน่น เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น เหล็ก) จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำ (เช่น น้ำ) ที่มีมวลเท่ากัน (วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2554) สาเหตุที่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดเนื่องมาจากในสูตรส่วนผสมมีปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์อยู่มาก อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัตถุดิบที่ทนความร้อนสูงเมื่อมีอยู่มากในสูตรส่วนผสมมีผลทำให้เนื้อดินปั้นทนไฟสูงไม่สุกตัวและยังส่งผลให้เนื้อดินปั้นมีความหดตัวน้อยตามมา ตามเหตุผลที่นักวิชาการได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น เมื่อเนื้อดินปั้นเกิดการหดตัวน้อย จึงทำให้ผลการคำนวณปริมาตรของเนื้อดิน

ปั้นสูตรที่ 29 มีค่ามากเมื่อนำมาคำนวณค่าความหนาแน่น จึงส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 29 มีค่าน้อย สีของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นมีสีใกล้เคียงกันคือสีเทาอ่อน สีของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนที่ปรากฏภายหลังการเผาเกิดจากสีของ เถ้าแกลบ อะลูมิเนียมออกไซด์ ดินดำสุราษฎร์ และ เบนโทไนต์ ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวเมื่อผ่านการเผา จะได้เนื้อดินปั้นที่มีสีเทา หรือสีขาวครีมโดยเฉพาะดินดำสุราษฎร์และเบนโทไนต์ซึ่งมีสิ่งเจือปนทำให้สีที่ปรากฏหลังเผาไม่ขาวมากนัก สอดคล้องกับคำกล่าวของ สมศักดิ์ ชวาลาวัฒย์,(2549 : 44) ที่กล่าวว่า ดินดำโดยทั่วๆไปแล้วจะประกอบไปด้วยสิ่งเจือปนหลายๆอย่าง เช่น เหล็กออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อเผาแล้วทำให้สีไม่ค่อยขาวและยังสอดคล้องกับคำกล่าวของ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ,(2547 : 13) ที่กล่าวว่า ในบอลล์เคลย์มักมีสิ่งสกปรก เช่น เหล็กออกไซด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวทำให้ความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เสียไป โดยเฉพาะถ้ามีปริมาณ ไทเทเนียมไดออกไซด์ มาก

ตอนที่ 2 การผลิตอิฐทนไฟฉนวนโดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบในสูตรส่วนผสม

จากผลการทดลองในตอนที่ 1 หลังจากที่ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนทั้งก่อนเผาและหลังเผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน มาเปรียบเทียบกับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2 ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปโดยเทียบเคียงกับคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงหลังเผา ความหนาแน่นและสี ซึ่งกระบวนการทดสอบใช้วิธีการและเครื่องมือเช่นเดียวกันกับการทดสอบแท่งทดลองในตอนที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐทนไฟฉนวน ARM C2 พบว่า มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.23 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.84 ก./ลบ.ซม. มีสีขาวครีม จากการเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวน ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดได้แก่เนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 ในสูตรส่วนผสม มีเถ้าแกลบร้อยละ 65 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 22 ดินดำสุราษฎร์ร้อยละ 13 เบนโทไนต์ร้อยละ 10 และ ขี้เลื่อยร้อยละ 20 มีความแข็งแรงหลังเผาเฉลี่ย 3.45 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.87 ก./ลบ.ซม. สีเทาอ่อน ผู้วิจัยนำสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 ไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อิฐทนไฟฉนวนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แบบพิมพ์โลหะ สูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอิฐทนไฟฉนวนสามารถขึ้นรูปได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรส่วนผสมมี ดินดำสุราษฎร์ร้อยละ 13 เบนโทไนต์ร้อยละ 10 ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้มีความเหนียวและมีส่วนช่วยทำให้เนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมสามารถยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับคำกล่าวของ ธนสิทธิ์ จันทะรี,(2552 : 52) ที่กล่าวว่า ดินดำใช้เป็นส่วนผสมเนื้อดิน เพื่อให้มีความเหนียว และยังสอดคล้องกับคำกล่าวของ อายุวัฒน์ สว่างผล,(2543 : 78) ที่กล่าวว่า ดินเบนโทไนต์ เป็นดินที่เกิดจากเถ้าภูเขาไฟ เป็นดินที่มีความเหนียวมาก เป็น 3 เท่าของดิน

เหนียวทั่วไปนิยมนำมาใช้ผสมกับเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ นอกจากนี้เนื้อดินปั้นสูตรที่ 10 มีส่วนผสมของเถ้าแกลบอยู่สูงถึงร้อยละ 65 ซึ่งเถ้าแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาอิฐมอญที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และยังมีสารประกอบของซิลิกาซึ่งเป็นวัตถุดิบในกลุ่มทนไฟสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐทนไฟฉนวนได้ดี สอดคล้องกับคำกล่าวของ บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์,(2552 : 1) ที่กล่าวว่า เถ้าแกลบสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐทนไฟ (Refractory Bricks) และอิฐทนความร้อนสูง มีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และมีจุดหลอมเหลวสูง อิฐทนไฟฉนวนหลังผ่านการเผาสามารถนำไปใช้งานได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การนำผลการวิจัยไปใช้ควรทำการทดลองก่อนเพื่อที่จะได้รับประโยชน์สูงสุด

1.2 การผสมส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบในปริมาณมากควรผสมให้เข้ากันก่อนนำไปขึ้นรูป

1.3 การเผาชิ้นงานที่มีความหนามากๆควรทำการเผาอย่างช้าๆเพื่อป้องกันชิ้นงานแตกร้าวเสียหาย

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาการใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นชนิดอื่น

2.2 ควรศึกษาวัตถุดิบเหลือทิ้งในท้องถิ่นชนิดอื่นๆเป็นส่วนผสม เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

2.3 ควรศึกษาและพัฒนาแหล่งดินอื่นๆของท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้ประโยชน์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กระเทาะเปลือกเซรามิกไทย. (2546). **อุตสาหกรรมสาร**,46(1),6

กาญจนะ แก้วกำเนิด. (2530). **การทดสอบวัตถุดิบเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้นในห้องปฏิบัติการ.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กษมา ขันทราช. (2531). **เคลือบสีแดงเหล็กสำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์.** การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

โกมล รักษ์วงศ์. (2542). เตาและการเผา.**ในเอกสารประกอบการอบรม เทคโนโลยีเตาเผาเซรามิกส์**.(หน้า 4).กรุงเทพฯ: สถาบันราชภัฏพระนคร.

----------. (2538). **งานวิจัยเตาเผาและเครื่องปั้นดินเผาเตาเผาแม่น้ำน้อย เพื่อสืบสานและอนุรักษ์ศิลปวัตถุโบราณของจังหวัดสิงห์บุรี**. กรุงเทพฯ: สถาบันราชภัฏพระนคร.

----------. (2531). **วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น.** กรุงเทพฯ: วิทยาลัยครูพระนคร.

คชินท์ สายอินทวงศ์.(2552).**แกลบ วัตถุดิบมหัศจรรย์สำหรับงานเซรามิก.** (On-line) http://www.thaiceramicsociety.com/rm_paint_chaff.php.(2552,กันยายน14)

เงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย,บรรษัท. (2528). **เครื่องปั้นดินเผาและเครื่องเคลือบดินเผากับการพัฒนาการทางเศรษฐกิจและสังคมของสยาม.** กรุงเทพฯ: รุ่งเรืองวิทย์.

จรัสศรี สมบัติทวี. (2525). เครื่องปั้นดินเผาชนิดเอิทเธินแวร์.**การแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผา.** กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยศิลปากร.

จีรพันธ์ สมประสงค์. (2535). **เทคนิคการสร้างสรรค์ศิลปะเครื่องปั้นดินเผา.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

เฉลียว ปิยะชน. (2544). **มรดกเครื่องดินเผาไทย ตุ๊กตาและประติมากรรม**.กรุงเทพฯ: เมืองโบราณ.

ชัยวัฒน์ ศรีสมศักดิ์. (2548).**การพัฒนาคุณสมบัติของอิฐดินเผาผสมเถ้าแกลบ.** วิทยานิพนธ์ คอ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชลัย ศรีสุข. (2546). **เคลือบไฟต่ำ.** ข่าวสารเซรามิก,4(9),4-5.

----------. (2539). **ดินบอลเคลย์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิก**.วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 44(142),33.

ธนสิทธิ์ จันทะรี.(2550).**เครื่องปั้นดินเผาขั้นพื้นฐาน.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น.ขอนแก่น.หน้า 61.

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (2532). **เครื่องปั้นดินเผา.** กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ทรัพยากรธรณี,กรม. (2526). **แร่.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ไอเดียนสโตร์.

ทวี พรหมพฤกษ์. (2525). **เตาและการเผา.** กรุงเทพฯ: จงเจริญการพิมพ์.

----------. (2523). **เครื่องปั้นดินเผาเบื้องต้น.**กรุงเทพฯ: ไอเดียนสโตร์.

นิวัตร พัฒนะ. (2534). **การทดลองสัดส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาที่ทำให้เกิดลักษณะของเคลือบเฟลด์สปาร์.** วิทยานิพนธ์ กศ.ม.,มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์.(2552).**สาระน่ารู้ : เถ้าแกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์.** (On-line).http://www.mtec.or.th/ (2552,14 กันยายน). หน้า 1.

บัญชา ธนบุญสมบัติ และศุภการญจน์ คำมณี. (2544). **จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิงประตูสู่โลกระดับจุลภาค.**กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.(MTEC).

ปริวรรต ธรรมปรีดากร และ กฤษฎา พิณศรี. (2533). **ศิลปะเครื่องถ้วยในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แอดมี.

ปรีดา ปัญญาจันทร์. (2529). **ราชบุรีมีโอ่ง.** กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547). **เซรามิกส์ .**กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

----------. (2539). **เซรามิกส์** (พิมพ์ครั้งที่ 4).กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

----------. (2530). **เคลือบเซรามิกส์.** กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.

ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์. (2538). **เครื่องเคลือบดินเผาเทคนิคและวิธีการสร้างสรรค์.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพียรพิณ ก่อวุฒิพงศ์และสนิท ปิ่นสกุล.(2551).**การพัฒนาส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ใช้ผลิตอิฐดินเผาโดยใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มผลผลิต.** กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์. (2541). **เนื้อดินเซรามิก.** กรุงเทพฯ: ไอเดียนสโตร์.

----------. (2537). **รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์.** กรุงเทพฯ: ไอเดียนสโตร์.

ไพบูลย์ หล้าสมศรี.(2552).**เคลือบสีแดงของทองแดง.**ไอเดียนสโตร์.กรุงเทพฯ.หน้า 10.

ฟิสิกส์มหิดล. (2555). **ความหนาแน่น.**(On-line). http://www.il.mahidol.ac.th/7.(2555 เมษายน 19)

ภาวดี อังค์วัฒนะ. (ม.ป.ป.). **ความรู้เบื้องต้นด้านวัสดุ.** กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).

มนัส ขำอ่อน. (2527). **การศึกษาน้ำเคลือบผลึก.** การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มนูญ ประชันคดี. (ม.ป.ป.). **อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา.** กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

มรดกไทย โครงการสืบสานมรดกวัฒนธรรมไทย. (2542). **เครื่องปั้นดินเผา.** กรุงเทพฯ: สตาร์ปริ้นท์.

ลดา พันธ์สุขุมธนา และ ชัยวัฒน์ ธานีรัตน์. (2542). **ตำหนิผิวเคลือบไม่เรียบบนเคลือบพอร์ซเลน.** เซรามิกส์.4(10),66.

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. (2554). **ความหนาแน่น.** (On – line) http://th.wikipedia.org/ (2554 ธันวาคม 17).

วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน,กระทรวง. (2529). **เทคโนโลยีเซรามิกส์เบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

วิทยาศาสตร์บริการ,กรม. (2531). **ผลิตภัณฑ์โบนไชนา**,5(18),3.

วรรณา ต.แสงจันทร์. (2546). **เคลือบดี เป็นสี(สัน)แก่งาน.** เซรามิกส์.7(16), 66.

----------. (2545). **มารู้จักสีเซรามิกหรือสีสะเตนกันเถอะ.** เซรามิกส์.6(14),50.

วาสนา ม้องวงศ์. (2543). **อิทธิพลของพลังงานความร้อนต่อวัตถุดินเซรามิก.** ในเอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การตรวจวิเคราะห์วัตถุดิบเซรามิกตามมาตรฐานสากล. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

วัตถุดิบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก. (2545). **เซรามิกส์.**6(14), 59.

ศิริพร ลาภเกียรติถาวร. (2543). **สีความขาวและความสว่าง.** ในเอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การตรวจวิเคราะห์วัตถุดิบเซรามิกตามมาตรฐานสากล. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

ศิลปากร,กรม. (2539). **โบราณคดีวิเคราะห์ 2 : เครื่องถ้วยบุรีรัมย์และเครื่องถ้วยสุโขทัย.** กรุงเทพฯ: กรมศิลปากร.

ศุภกา ดอกไม้. (2535). **การทดลองเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนระหว่างดินปากเกร็ด ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแทลคัม.** ปริญญานิพนธ์ กศ.ม., มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาภาคเหนือ. (2538). **เอกสารวิชาการชุดที่1: ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซรามิก.** ลำปาง: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สนิท ปิ่นสกุล. (2552).**การศึกษาเนื้อดินปั้นบ้านแสงดาวและเคลือบเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย.** พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

สนิท ปิ่นสกุล.(2554). **กระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเบื้องต้น.** พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

สิริลักษณ์ เจียระกร.(2552). **STKC ศูนย์ความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.**(On-line) http://www.stkc.go.th/content.php?url=stportalDocument/1204094385.html (2552,กันยายน 14).

สมชัย ว่องอรุณ. (2544). **ขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเซรามิกไทยในตลาดโลก.** ในเอกสารประกอบการสัมนาเชิงปฏิบัติการ "SMEs : เซรามิกไทยก้าวไกลในตลาดโลก" ลำปาง: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สมถวิล อุรัสยะนันท์. (2530). **เซรามิก...ปั้นดินให้เป็นศิลปะ.**สารคดี.3(29),75.

สมศักดิ์ ชวาลาวัฒย์. (2549). **เซรามิกส์.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

สมศักดิ์ ธรรมาปรีชากร. (2530). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องถ้วย.** เครื่องถ้วยในเอเซียอาคเนย์ระหว่างพุทธศตวรรษที่ 15-22. กรุงเทพฯ: บริษัทโอสถสภา (เด็กเฮงหยู)จำกัด.

สมศักดิ์ โพธิสัตย์. (2544). **วัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์.** เซรามิกส์.5(13). 95

----------. (2543). **วัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์.**ใน เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การตรวจวิเคราะห์วัตถุดิบเซรามิกตามมาตรฐานสากล.กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สมศักดิ์ วังศิริกุล. (2534). **การทดลองเนื้อดินจังหวัดกำแพงเพชร เพื่อใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาประเภทสโตนแวร์.** วิทยานิพนธ์ กศ.ม., มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

สาธร ชลชาติภิญโญ. (2544). **รอยมือจากแป้นหมุนความงามที่สัมผัสได้.** เซรามิกส์.5(12). 79

เสริมศักดิ์ นาคบัว. (2536). **เคลือบขี้เถ้าพืช.** กรุงเทพฯ: เจ.ฟิลม์ โปรเซส.

----------. (2535). **เคลือบขี้เถ้า.** การแสดงศิลปะเครื่องปั้นดินเผาแห่งชาติ ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุมาลี ลิขิตวนิชกุล.(2531). **วิธีเตรียมและควบคุมน้ำเคลือบ.**ในเอกสารประกอบการสัมมนาเทคโนโลยีเซรามิก. (หน้า 4) กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น.

สุรเกียรติ ยอดวิเศษ และอัมพรธิดา ยอดวิเศษ. (2538). **งานปั้นเซรามิค.** กรุงเทพฯ: สยามสปอร์ตซินดิเคท.

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2542). **การควบคุมเตาเผาและเทคโนโลยีการเผา.**ในเอกสารประกอบการอบรม เทคโนโลยีเตาเผาเซรามิกส์.กรุงเทพฯ: สถาบันราชภัฏพระนคร.

----------. (2534). **น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา**(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

อนันต์ภักดิ์ โชติมงคล. (2538). **คุณรู้จักเซรามิกดีขนาดไหน.**วารสารเซรามิกส์,1(1),52.

อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543). **วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์.** กรุงเทพฯ: โอเดียสสโตร์.

อารี ธนบุญสมบัติ. และคณะ (2544). **เซรามิกส์ วัสดุอัศจรรย์.** กรุงเทพฯ :
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

อำพน วัฒนรังสรรค์. (2540). **เตาเผาเซรามิก.**วารสารเซรามิกส์.3(8),29.

----------. (2531). **การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์.** ใน เอกสารประกอบการสัมมนา
เทคโนโลยีเซรามิก .กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

โอสถสภา (เด็กเฮงหยู). (2530). **เครื่องถ้วยในเอเชียอาคเนย์ ระหว่างพุทธศตวรรษที่ 15-22.**
กรุงเทพฯ : (ม.ป.พ.).

Andrews,A.I. (1957). **Ceramic test and calculation.** New York : John Milley and Sons.

Green,David. **A Handbook of Pottery Glazes.** London : Faber and Faber.

Hamilton,David. (1982). **Stonewere and Porcelain.** London : Themes and Hudson.

Nagoya International Training Center. (1978). **The Fundamentals of the glaze**
prepartion. Nagoya: Nagoya International Training Center.

Nagumo,Ryu. (1974). **Creative Ceramic.**Tokyo : Japan Publication Inc.

Nishimura,Okada. (1978). Technology Testing for Ceramics Products.in **Ceramics**
Engineering. Nagoya : Nagoya International Training Center.

Rhodes.Danial. (1974). **Clay and Glazes for the Potter.** New York : Chilton Book.

Robert, Foumier. (1977). **Illustrated Dictionary of Practical Pottery.**London :
Van Nostrand Reinhold Company.

Singer,Fellix And Sonja S.Singer. (1963). **Industrial Ceramic.** New York :
Chemical Publishing Co.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

ตัวอย่างที่	แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กก.)			ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นทดลอง (ซม.)			ความกว้างของชิ้นทดลอง (ซม.)			ความหนาของชิ้นทดลอง (ซม.)			ค่าความแข็งแรงก่อนเผา (กก./ตร.ซม.)			ค่าความแข็งแรงก่อนเผาเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	
1	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.22	3.23	3.23	1.75	1.89	1.87	0.12	0.10	0.11	0.11
2	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.22	3.22	3.23	1.92	1.88	1.88	0.10	0.11	0.11	0.10
3	0.1	0.2	0.2	8	8	8	3.23	3.24	3.23	1.88	1.97	1.83	0.11	0.19	0.22	0.17
4	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.25	3.22	3.24	1.94	1.89	1.92	0.10	0.10	0.10	0.10
5	0.1	0.1	0.2	8	8	8	3.24	3.23	3.22	1.95	1.90	1.98	0.10	0.10	0.19	0.13
6	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.21	3.22	3.22	1.92	1.92	1.88	0.10	0.10	0.11	0.10
7	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.24	3.22	3.23	1.98	1.93	1.87	0.19	0.20	0.21	0.20
8	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.21	3.21	3.21	1.92	1.89	1.89	0.20	0.21	0.21	0.21
9	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.22	3.21	3.2	1.84	1.85	1.85	0.22	0.22	0.22	0.22
10	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.22	3.22	3.21	1.84	1.82	1.86	0.22	0.23	0.22	0.22
11	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.21	3.23	3.21	1.81	1.81	1.83	0.23	0.23	0.22	0.23

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กก.)			ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นทดลอง (ซม.)			ความกว้างของชิ้นทดลอง (ซม.)			ความหนาของชิ้นทดลอง (ซม.)			ค่าความแ ก่อนเผา (กก.	
	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2
12	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.21	3.20	3.20	1.87	1.84	1.84	0.21	0.22
13	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.21	3.23	3.22	1.89	1.77	1.82	0.21	0.24
14	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.21	3.21	3.21	1.77	1.81	1.77	0.24	0.23
15	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.20	3.21	3.20	1.72	1.75	1.72	0.25	0.24
16	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.20	3.21	3.22	1.80	1.83	1.89	0.23	0.22
17	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.21	3.22	3.19	1.79	1.81	1.82	0.23	0.23
18	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.20	3.20	3.21	1.73	1.73	1.75	0.25	0.25
19	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.19	3.19	3.21	1.69	1.78	1.85	0.26	0.24
20	0.2	0.2	0.3	8	8	8	3.20	3.21	3.21	1.71	1.75	1.74	0.26	0.24
21	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.20	3.23	3.23	1.82	1.81	1.89	0.23	0.23
22	0.2	0.1	0.1	8	8	8	3.21	3.24	3.23	1.86	1.88	1.97	0.22	0.10
23	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.22	3.23	3.23	1.83	1.83	1.84	0.11	0.11
24	0.1	0.2	0.1	8	8	8	3.19	3.19	3.20	1.80	1.85	1.82	0.12	0.22
25	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.19	3.18	3.19	1.50	1.49	1.58	0.17	0.17

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กก.)			ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นทดลอง (ซม.)			ความกว้างของชิ้นทดลอง (ซม.)			ความหนาของชิ้นทดลอง (ซม.)			ค่าความแข็ก่อนเผา (กก.	
	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2
26	0.1	0.1	0.1	8	8	8	3.20	3.20	3.20	1.71	1.70	1.61	0.13	0.13
27	0.1	0.2	0.1	8	8	8	3.19	3.19	3.19	1.84	1.85	1.87	0.11	0.22
28	0.2	0.2	0.2	8	8	8	3.20	3.21	3.20	1.80	1.86	1.80	0.23	0.22
29	0	0	0	8	8	8	3.21	3.2	3.24	1.93	1.85	1.85	0.00	0.00
30	0.1	0.1	0	8	8	8	3.21	3.21	3.19	1.85	1.89	1.88	0.11	0.10
31	0.2	0.3	0.3	8	8	8	3.26	3.23	3.22	1.87	1.78	1.81	0.21	0.35
32	0.3	0.3	0.3	8	8	8	3.20	3.22	3.22	1.99	1.99	1.95	0.28	0.28
33	0.4	0.4	0.4	8	8	8	3.23	3.22	3.24	1.92	1.98	1.92	0.40	0.38
34	0.3	0.3	0.3	8	8	8	3.22	3.23	3.20	1.82	1.79	1.78	0.34	0.35
35	0.3	0.3	0.3	8	8	8	3.23	3.25	3.20	1.79	1.74	1.74	0.35	0.37
36	0.3	0.3	0.3	8	8	8	3.22	3.21	3.22	1.73	1.80	1.79	0.37	0.35

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นหลังเผา

ตัวอย่างที่	แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กก.)			ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นทดลอง (ซม.)			ความกว้างของชิ้นทดลอง (ซม.)			ความหนาของชิ้นทดลอง (ซม.)			ค่าความแ	
	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ก่อนเผา (กก	
													ชุดที่1	ชุดที่2
1	2.3	2.1	2.1	8	8	8	3.04	3.05	3.05	1.78	1.79	1.87	2.87	2.5
2	2.3	2.2	1.9	8	8	8	3.08	3.07	3.05	1.82	1.82	1.81	2.71	2.6
3	2.2	2.1	2.1	8	8	8	3.09	3.05	3.06	1.78	1.83	1.85	2.70	2.4
4	2.1	2.0	1.9	8	8	8	3.04	3.06	3.08	1.84	1.84	1.86	2.45	2.3
5	2.4	2.3	2.2	8	8	8	3.03	3.03	3.07	1.75	1.72	1.77	3.10	3.0
6	2.0	2.2	2.4	8	8	8	3.04	3.05	3.05	1.77	1.80	1.79	2.52	2.6
7	2.3	2.5	2.4	8	8	8	3.01	3.02	3.09	1.72	1.83	1.76	3.10	2.9
8	2.8	2.4	2.4	8	8	8	3.00	3.02	3.02	1.72	1.82	1.76	3.79	2.8
9	2.2	2.1	2.6	8	8	8	3.02	3.03	3.01	1.76	1.71	1.70	2.82	2.8
10	2.3	2.5	2.6	8	8	8	3.01	3.01	3.01	1.64	1.72	1.70	3.41	3.3
11	2.7	2.2	2.3	8	8	8	3.02	3.00	3.02	1.68	1.72	1.77	3.80	2.9
12	2.1	1.7	1.7	8	8	8	3.06	3.05	3.04	1.73	1.80	1.77	2.75	2.0
13	1.8	1.7	2.1	8	8	8	3.07	3.07	3.04	1.70	1.74	1.78	2.43	2.1
14	1.9	1.7	1.8	8	8	8	3.05	3.04	3.02	1.65	1.65	1.63	2.75	2.4

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กก.)			ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นทดลอง (ซม.)			ความกว้างของชิ้นทดลอง (ซม.)			ความหนาของชิ้นทดลอง (ซม.)			ค่าความแ	
	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ก่อนแผ่ (กก	
15	1.9	2.1	2.2	8	8	8	3.00	3.04	3.04	1.65	1.64	1.63	2.79	3.0
16	1.9	2.0	2.0	8	8	8	3.04	3.04	3.03	1.78	1.79	1.76	2.37	2.4
17	2	1.9	1.6	8	8	8	3.05	3.06	3.06	1.72	1.77	1.73	2.66	2.3
18	1.8	1.6	1.6	8	8	8	3.02	3.06	3.05	1.66	1.69	1.65	2.60	2.2
19	1.6	1.2	1.6	8	8	8	3.07	3.07	3.06	1.75	1.71	1.69	2.04	1.6
20	1.9	1.6	1.6	8	8	8	3.04	3.05	3.03	1.62	1.67	1.59	2.86	2.2
21	1.4	1.2	1.2	8	8	8	3.03	3.05	3.07	1.62	1.66	1.72	2.11	1.7
22	1.4	1.4	1.2	8	8	8	3.09	3.12	3.11	1.79	1.83	1.81	1.70	1.6
23	1.0	1.0	1.1	8	8	8	3.09	3.08	3.08	1.74	1.74	1.75	1.28	1.2
24	1.1	1.1	1.5	8	8	8	3.07	3.08	3.02	1.72	1.70	1.77	1.45	1.4
25	0.7	0.6	0.7	8	8	8	3.05	3.03	3.04	1.50	1.39	1.47	1.22	1.2
26	0.8	1.1	0.8	8	8	8	3.07	3.08	3.07	1.50	1.57	1.51	1.39	1.7
27	1.1	0.9	0.9	8	8	8	3.11	3.09	3.09	1.68	1.78	1.80	1.50	1.1
28	0.7	1.0	0.9	8	8	8	3.08	3.11	3.08	1.49	1.64	1.62	1.23	1.4

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก (กก.)			ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นทดลอง (ซม.)			ความกว้างของชิ้นทดลอง (ซม.)			ความหนาของชิ้นทดลอง (ซม.)			ค่าความแ ก่อนเผา (กก	
	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ชุดที่1	ชุดที่
29	0.4	0.4	0.4	8	8	8	3.12	3.15	3.12	2.00	2.96	2.93	0.38	0.1
30	2.1	1.9	1.8	8	8	8	3.02	3.11	3.03	1.69	1.77	1.74	2.92	2.3
31	3.8	3.7	3.0	8	8	8	2.98	3.00	3.00	1.65	1.67	1.68	5.62	5.3
32	3.0	3.6	3.3	8	8	8	3.04	3.05	3.03	1.78	1.87	1.82	3.74	4.0
33	4.2	3.7	3.9	8	8	8	3.01	3.00	3.03	1.80	1.80	1.80	5.17	4.5
34	4.2	3.7	3.6	8	8	8	3.03	3.00	3.02	1.72	1.66	1.72	5.62	5.3
35	3.8	3.9	3.2	8	8	8	3.00	3.02	3.02	1.69	1.69	1.62	5.32	5.4
36	3.3	3.5	3.5	8	8	8	3.00	3.00	3.00	1.65	1.63	1.61	4.85	5.2

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณค่าความหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนเผา

ตัวอย่างที่	ความยาวของดินเปียก(ซม.)			ความยาวของดินแห้ง(ซม.)			ความหดตัว(ร้อยละ	
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
1	12	12	12	12.30	12.30	12.31	-2.50	-2.50
2	12	12	12	12.28	12.29	12.28	-2.33	-2.42
3	12	12	12	12.29	12.28	12.29	-2.42	-2.33
4	12	12	12	12.29	12.30	12.30	-2.42	-2.50
5	12	12	12	12.29	12.29	12.29	-2.42	-2.42
6	12	12	12	12.28	12.28	12.29	-2.33	-2.33
7	12	12	12	12.28	12.27	12.29	-2.33	-2.25
8	12	12	12	12.28	12.30	12.30	-2.33	-2.50
9	12	12	12	12.27	12.28	12.28	-2.25	-2.33
10	12	12	12	12.27	12.26	12.28	-2.25	-2.17
11	12	12	12	12.27	12.26	12.27	-2.25	-2.17
12	12	12	12	12.28	12.27	12.28	-2.33	-2.25
13	12	12	12	12.26	12.27	12.28	-2.17	-2.25
14	12	12	12	12.27	12.27	12.28	-2.25	-2.25
15	12	12	12	12.27	12.26	12.25	-2.25	-2.17

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความยาวของดินเปียก(ซม.)			ความยาวของดินแห้ง(ซม.)			ความหดตัว(ร้อยละ		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	
16	12	12	12	12.27	12.27	12.27	-2.25	-2.25	
17	12	12	12	12.24	12.25	12.25	-2.00	-2.08	
18	12	12	12	12.26	12.27	12.27	-2.17	-2.25	
19	12	12	12	12.28	12.29	12.29	-2.33	-2.42	
20	12	12	12	12.30	12.27	12.28	-2.50	-2.25	
21	12	12	12	12.28	12.29	12.29	-2.33	-2.42	
22	12	12	12	12.30	12.29	12.30	-2.50	-2.42	
23	12	12	12	12.28	12.28	12.29	-2.33	-2.33	
24	12	12	12	12.27	12.28	12.27	-2.25	-2.33	
25	12	12	12	12.26	12.27	12.27	-2.17	-2.25	
26	12	12	12	12.28	12.28	12.28	-2.33	-2.33	
27	12	12	12	12.28	12.27	12.28	-2.33	-2.25	
28	12	12	12	12.28	12.29	12.28	-2.33	-2.42	
29	12	12	12	12.30	12.31	12.32	-2.50	-2.58	
30	12	12	12	12.29	12.31	12.30	-2.42	-2.58	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความยาวของดินเปียก(ซม.)			ความยาวของดินแห้ง(ซม.)			ความหดตัว(ร้อยละ		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	
31	12	12	12	12.25	12.25	12.26	-2.08	-2.08	
32	12	12	12	12.26	12.27	12.27	-2.17	-2.25	
33	12	12	12	12.27	12.26	12.26	-2.25	-2.17	
34	12	12	12	12.26	12.27	12.28	-2.17	-2.25	
35	12	12	12	12.28	12.28	12.27	-2.33	-2.33	
36	12	12	12	12.25	12.25	12.26	-2.08	-2.08	

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณค่าความหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังเผา

ตัวอย่างที่	ความยาวของดินเปียก(ซม.)			ความยาวของดินหลังเผา(ซม.)			ความหดตัว(ร้อยละ	
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
1	12.3	12.3	12.31	11.47	11.52	11.54	6.75	6.34
2	12.28	12.29	12.28	11.56	11.61	11.57	5.86	5.53
3	12.29	12.28	12.29	11.6	11.59	11.58	5.61	5.62
4	12.29	12.3	12.3	11.58	11.63	11.6	5.78	5.45
5	12.29	12.29	12.29	11.55	11.53	11.55	6.02	6.18
6	12.28	12.28	12.29	11.52	11.55	11.56	6.19	5.94
7	12.28	12.27	12.29	11.45	11.51	11.48	6.76	6.19
8	12.28	12.3	12.3	11.5	11.5	11.47	6.35	6.50
9	12.27	12.28	12.28	11.45	11.46	11.46	6.68	6.68
10	12.27	12.26	12.28	11.44	11.47	11.46	6.76	6.44
11	12.27	12.26	12.27	11.41	11.45	11.48	7.01	6.61
12	12.28	12.27	12.28	11.52	11.57	11.59	6.19	5.70
13	12.26	12.27	12.28	11.58	11.59	11.57	5.55	5.54
14	12.27	12.27	12.28	11.54	11.59	11.52	5.95	5.54
15	12.27	12.26	12.25	11.53	11.56	11.55	6.03	5.71

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความยาวของดินเปียก(ซม.)			ความยาวของดินหลังเผา(ซม.)			ความหดตัว(ร้อยละ	
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
16	12.27	12.27	12.27	11.6	11.6	11.58	5.46	5.46
17	12.24	12.25	12.25	11.57	11.56	11.57	5.47	5.63
18	12.26	12.27	12.27	11.57	11.65	11.62	5.63	5.05
19	12.28	12.29	12.29	11.72	11.7	11.67	4.56	4.80
20	12.3	12.27	12.28	11.61	11.6	11.62	5.61	5.46
21	12.28	12.29	12.29	11.61	11.66	11.69	5.46	5.13
22	12.3	12.29	12.3	11.67	11.69	11.74	5.12	4.88
23	12.28	12.28	12.29	11.79	11.79	11.76	3.99	3.99
24	12.27	12.28	12.27	11.74	11.8	11.69	4.32	3.91
25	12.26	12.27	12.27	11.71	11.76	11.67	4.49	4.16
26	12.28	12.28	12.28	11.73	11.71	11.72	4.48	4.64
27	12.28	12.27	12.28	11.76	11.77	11.79	4.23	4.07
28	12.28	12.29	12.28	11.78	11.8	11.77	4.07	3.99
29	12.3	12.31	12.32	12	11.98	12	2.44	2.68
30	12.29	12.31	12.3	11.57	11.64	11.62	5.86	5.44

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความยาวของดินเปียก(ซม.)			ความยาวของดินหลังเผา(ซม.)			ความหดตัว(ร้อยละ		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	
31	12.25	12.25	12.26	11.38	11.41	11.41	7.10	6.86	
32	12.26	12.27	12.27	11.55	11.55	11.55	5.79	5.87	
33	12.27	12.26	12.26	11.46	11.5	11.51	6.60	6.20	
34	12.26	12.27	12.28	11.41	11.36	11.48	6.93	7.42	
35	12.28	12.28	12.27	11.44	11.45	11.45	6.84	6.76	
36	12.25	12.25	12.26	11.42	11.4	11.4	6.78	6.94	

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณปริมาตรของแท่งทดลอง

ตัวอย่างที่	แท่งทดลองชุดที่ 1				แท่งทดลองชุดที่ 2				แท่งทดลองชุดที่		
	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง(ซม.)	ปริมาตร	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง(ซม.)	ปริมาตร	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง
1	3.04	11.47	1.78	62.07	3.05	11.52	1.79	62.89	3.05	11.54	1
2	3.08	11.47	1.82	64.30	3.07	11.61	1.82	64.87	3.05	11.57	1
3	3.09	11.47	1.78	63.09	3.05	11.59	1.83	64.69	3.06	11.58	1
4	3.04	11.47	1.84	64.16	3.06	11.63	1.84	65.48	3.08	11.60	1
5	3.03	11.47	1.75	60.82	3.03	11.53	1.72	60.09	3.07	11.55	1
6	3.04	11.47	1.77	61.72	3.05	11.55	1.80	63.41	3.05	11.56	1
7	3.01	11.47	1.72	59.38	3.02	11.51	1.83	63.61	3.09	11.48	1
8	3.00	11.47	1.72	59.19	3.02	11.50	1.82	63.21	3.02	11.47	1
9	3.02	11.47	1.76	60.97	3.03	11.46	1.71	59.38	3.01	11.46	1
10	3.01	11.47	1.64	56.62	3.01	11.47	1.72	59.38	3.01	11.46	1
11	3.02	11.47	1.68	58.19	3.00	11.45	1.72	59.08	3.02	11.48	1
12	3.06	11.47	1.73	60.72	3.05	11.57	1.80	63.52	3.04	11.59	1
13	3.07	11.47	1.70	59.86	3.07	11.59	1.74	61.91	3.04	11.57	1
14	3.05	11.47	1.65	57.72	3.04	11.59	1.65	58.14	3.02	11.52	1
15	3.00	11.47	1.65	56.78	3.04	11.56	1.64	57.63	3.04	11.55	1
16	3.04	11.60	1.78	62.77	3.04	11.60	1.79	63.12	3.03	11.58	1

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แท่งทดลองชุดที่ 1				แท่งทดลองชุดที่ 2				แท่งทดลองชุดที่		
	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง(ซม.)	ปริมาตร	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง(ซม.)	ปริมาตร	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง
17	3.05	11.57	1.72	60.70	3.06	11.56	1.77	62.61	3.06	11.57	1
18	3.02	11.57	1.66	58.00	3.06	11.65	1.69	60.25	3.05	11.62	1
19	3.07	11.72	1.75	62.97	3.07	11.70	1.71	61.42	3.06	11.67	1
20	3.04	11.61	1.62	57.18	3.05	11.60	1.67	59.08	3.03	11.62	1
21	3.03	11.61	1.62	56.99	3.05	11.66	1.66	59.03	3.07	11.69	1
22	3.09	11.67	1.79	64.55	3.12	11.69	1.83	66.75	3.11	11.74	1
23	3.09	11.79	1.74	63.39	3.08	11.79	1.74	63.18	3.08	11.76	1
24	3.07	11.74	1.72	61.99	3.08	11.80	1.70	61.78	3.02	11.69	1
25	3.05	11.71	1.50	53.57	3.03	11.76	1.39	49.53	3.04	11.67	1
26	3.07	11.73	1.50	54.02	3.08	11.71	1.57	56.62	3.07	11.72	1
27	3.11	11.76	1.68	61.44	3.09	11.77	1.78	64.74	3.09	11.79	1
28	3.08	11.78	1.49	54.06	3.11	11.80	1.64	60.18	3.08	11.77	1
29	3.12	12.00	2.00	74.88	3.15	11.98	2.96	111.70	3.12	12.00	2
30	3.02	11.57	1.69	59.05	3.11	11.64	1.77	64.07	3.03	11.62	1
31	2.98	11.38	1.65	55.96	3.00	11.41	1.67	57.16	3.00	11.41	1
32	3.04	11.55	1.78	62.50	3.05	11.55	1.87	65.88	3.03	11.55	1

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แท่งทดลองชุดที่ 1				แท่งทดลองชุดที่ 2				แท่งทดลองชุดที่		
	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง(ซม.)	ปริมาตร	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง(ซม.)	ปริมาตร	กว้าง(ซม.)	ยาว(ซม.)	สูง
33	3.01	11.46	1.80	62.09	3.00	11.50	1.80	62.10	3.03	11.51	1
34	3.03	11.41	1.72	59.46	3.00	11.36	1.66	56.57	3.02	11.48	1
35	3.00	11.44	1.69	58.00	3.02	11.45	1.69	58.44	3.02	11.45	1
36	3.00	11.42	1.65	56.53	3.00	11.40	1.63	55.75	3.00	11.40	1

ตารางที่ 13 ผลการคำนวณค่าความหนาแน่นของเนื้อดินปั้น

ตัวอย่างที่	แท่งทดลองชุดที่ 1			แท่งทดลองชุดที่ 2			แท่งทดลองชุดที่ 3		
	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความ (ก
1	51.88	62.07	0.84	51.81	62.89	0.82	52.67	65.82	
2	53.15	64.30	0.83	52.16	64.87	0.80	52.81	63.87	
3	52.03	63.09	0.82	53.46	64.69	0.83	54.12	65.55	
4	54.62	64.16	0.85	52.56	65.48	0.80	55.13	66.45	
5	53.99	60.82	0.89	52.22	60.09	0.87	53.08	62.76	
6	52.36	61.72	0.85	53.65	63.41	0.85	53.13	63.11	
7	55.19	59.38	0.93	57.43	63.61	0.90	54.81	62.43	
8	53.53	59.19	0.90	54.63	63.21	0.86	53.54	60.97	
9	52.92	60.97	0.87	51.2	59.38	0.86	51.2	58.64	
10	49.03	56.62	0.87	51.18	59.38	0.86	50.85	58.64	
11	51.79	58.19	0.89	51.32	59.08	0.87	53.54	61.37	
12	51.62	60.72	0.85	52.1	63.52	0.82	53.46	62.36	
13	50.78	59.86	0.85	52.8	61.91	0.85	54.58	62.61	
14	50.06	57.72	0.87	49.58	58.14	0.85	50.89	56.71	
15	50.9	56.78	0.90	50.8	57.63	0.88	48.76	57.23	

ตารางที่ 13 (ต่อ)

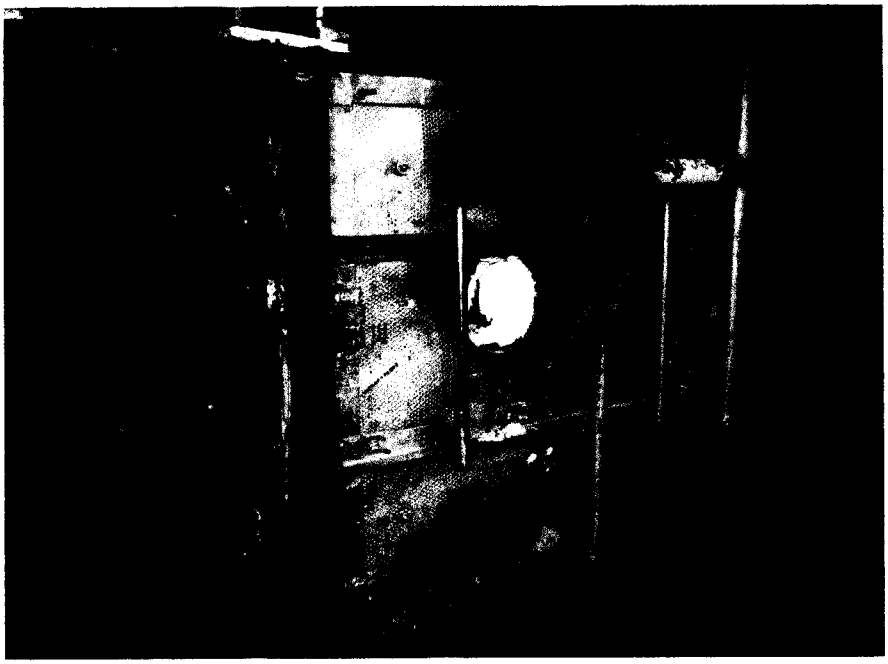
ตัวอย่างที่	แท่งทดลองชุดที่ 1			แท่งทดลองชุดที่ 2			แท่งทดลองชุดที่ 3		
	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความ (ก
16	53.04	62.77	0.84	53.17	63.12	0.84	53.84	61.75	
17	50.28	60.7	0.83	52.38	62.61	0.84	51.64	61.25	
18	49.05	58	0.85	50.73	60.25	0.84	48.35	58.48	
19	52.79	62.97	0.84	50.48	61.42	0.82	49.96	60.35	
20	50.5	57.18	0.88	50.26	59.08	0.85	48.72	55.98	
21	48.96	56.99	0.86	49.03	59.03	0.83	50.69	61.73	
22	53.01	64.55	0.82	54.19	66.75	0.81	53.16	66.09	
23	50.69	63.39	0.80	51.88	63.18	0.82	51.01	63.39	
24	50.29	61.99	0.81	50.81	61.78	0.82	53.32	62.49	
25	45.45	53.57	0.85	41.11	49.53	0.83	44.23	52.15	
26	43.72	54.02	0.81	46.68	56.62	0.82	45.12	54.33	
27	49.75	61.44	0.81	52.47	64.74	0.81	53.62	65.58	
28	44.48	54.06	0.82	49.1	60.18	0.82	48.49	58.73	
29	56.78	74.88	0.76	55.02	111.7	0.49	53.26	109.7	
30	52.26	59.05	0.89	53.69	64.07	0.84	52.9	61.26	

ตารางที่ 13 (ต่อ)

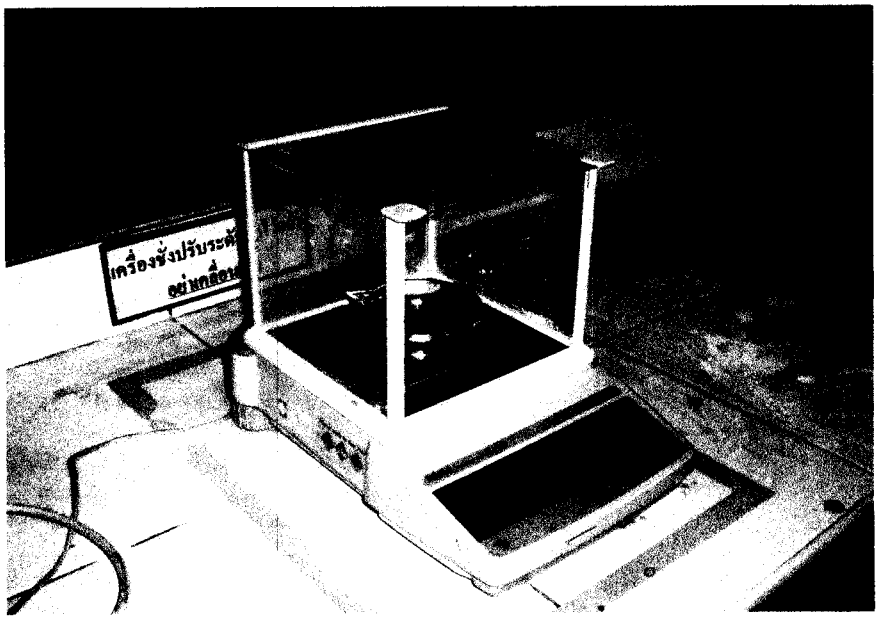
ตัวอย่างที่	แท่งทดลองชุดที่ 1			แท่งทดลองชุดที่ 2			แท่งทดลองชุดที่ 3		
	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	น้ำหนักแห้ง(กรัม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความ (ก
31	53.32	55.96	0.95	53.63	57.16	0.94	53.07	57.51	
32	56.96	62.5	0.91	60.05	65.88	0.91	57.95	63.69	
33	60.4	62.09	0.97	60.01	62.1	0.97	59.66	62.78	
34	55.88	59.46	0.94	53.6	56.57	0.95	54.44	59.63	
35	54.4	58	0.94	55.26	58.44	0.95	52.1	56.02	
36	51.39	56.53	0.91	51.43	55.75	0.92	52.02	55.06	

ภาคผนวก - ข

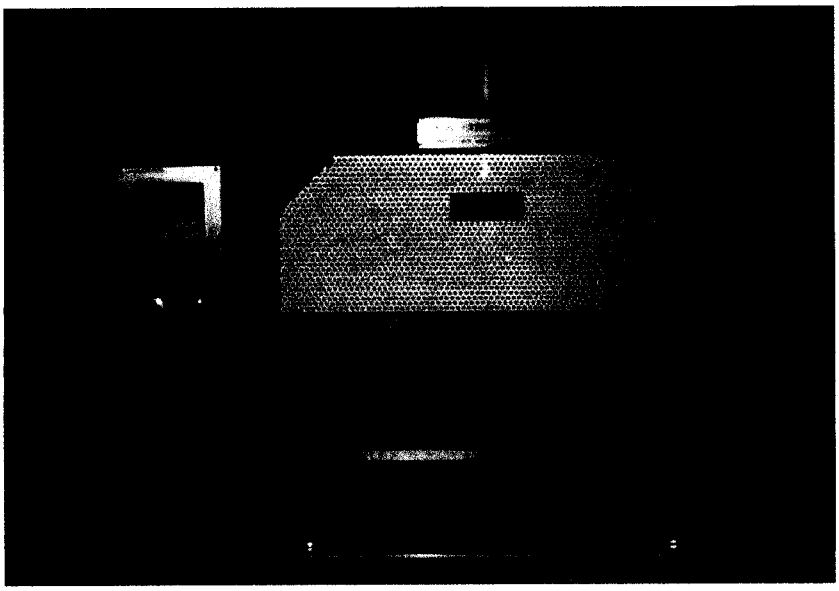
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



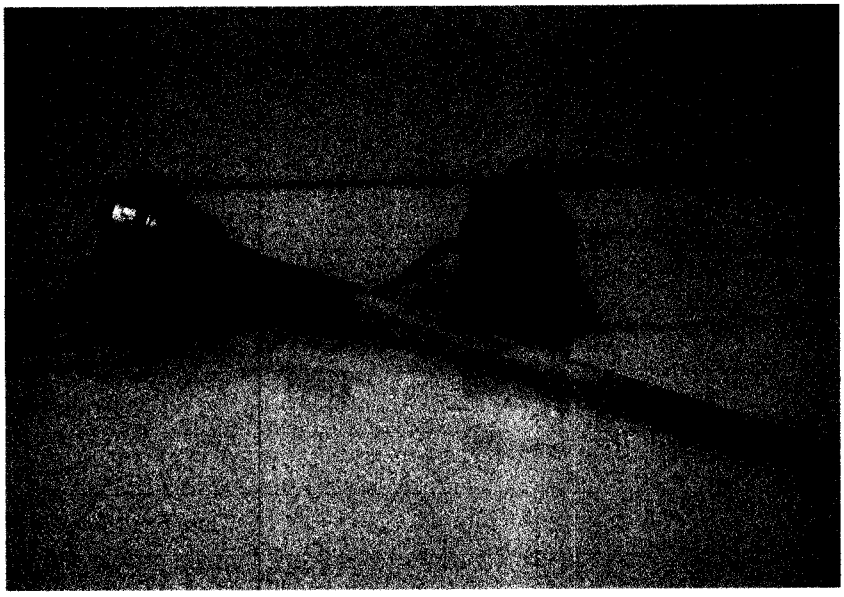
ภาพที่ 19 แสดงเตาแก๊สที่ใช้เผาทดลอง



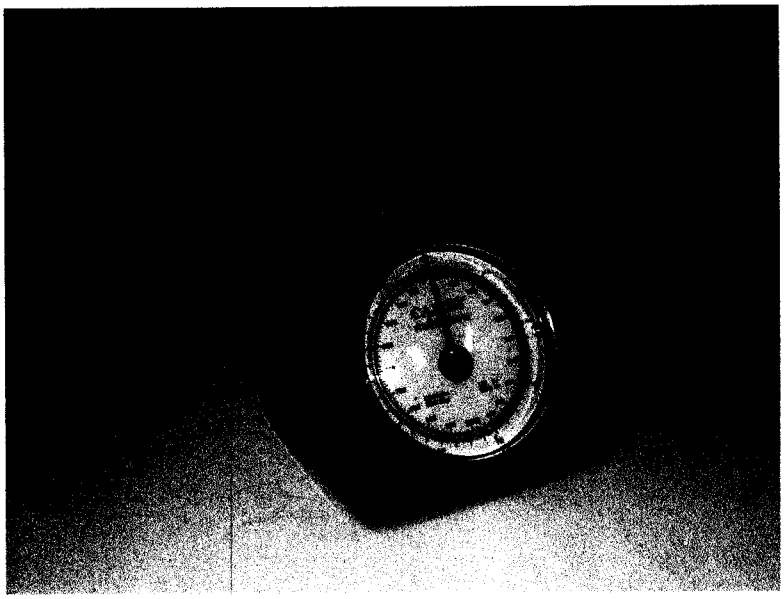
ภาพที่ 20 แสดงเครื่องชั่งไฟฟ้า



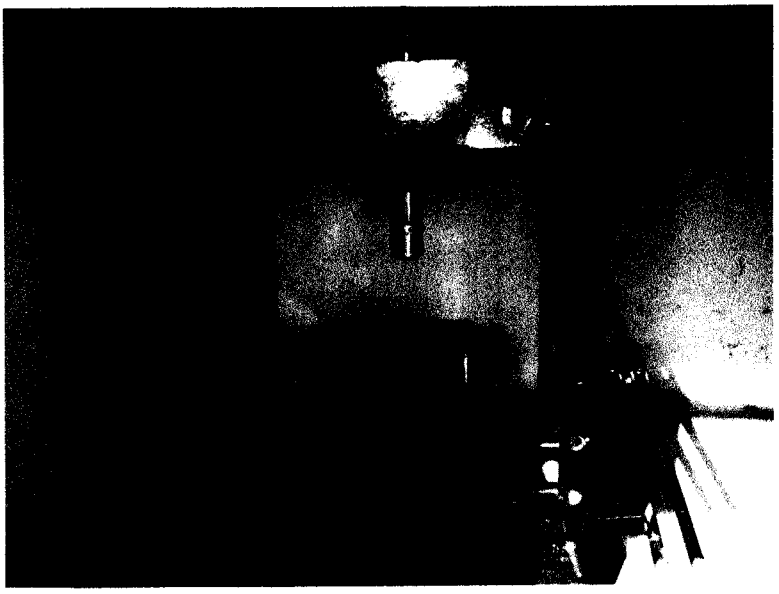
ภาพที่ 21 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแรง



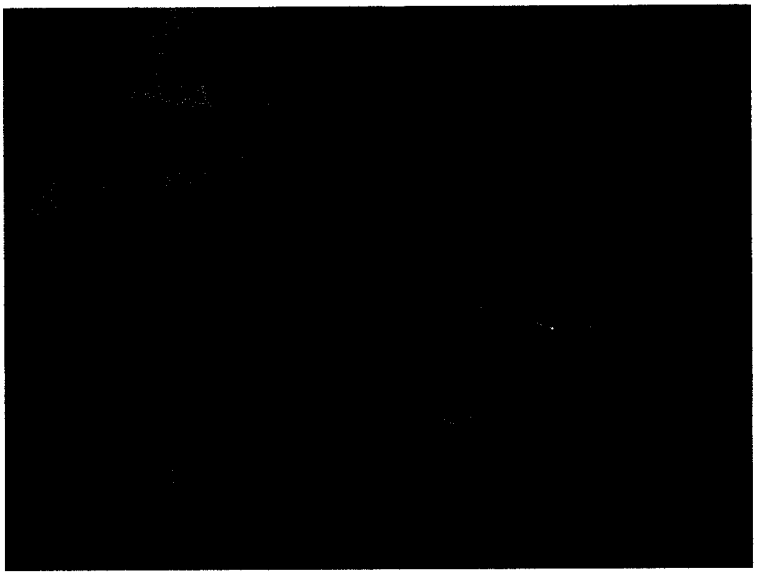
ภาพที่ 22 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



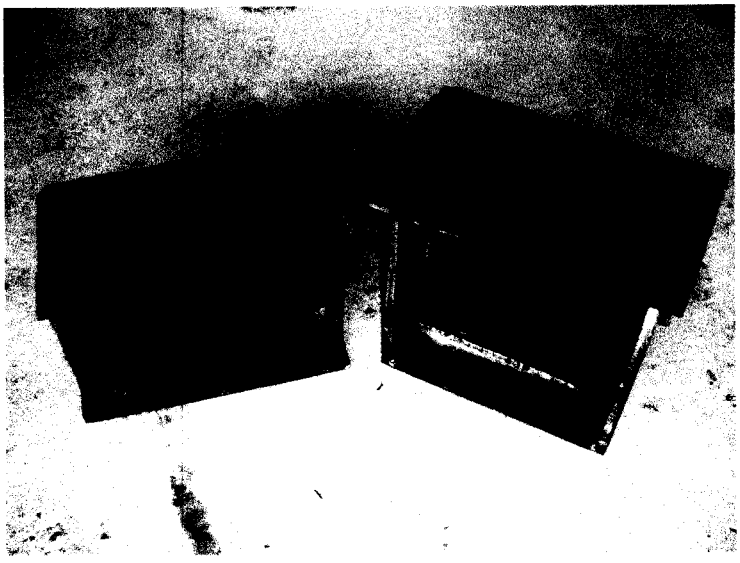
ภาพที่ 23 แสดงเครื่องชั่งแบบเข็ม



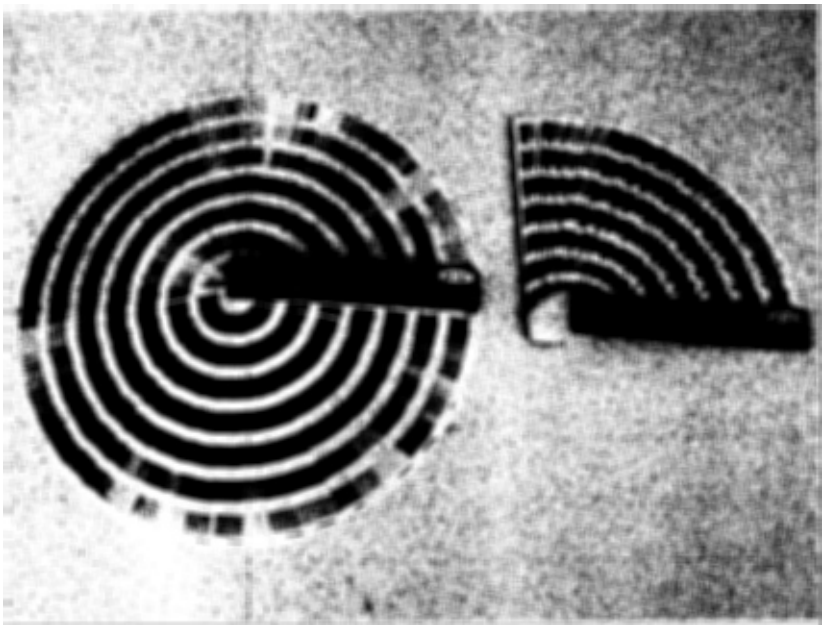
ภาพที่ 24 แสดงเครื่องอัดไฮดรอลิก



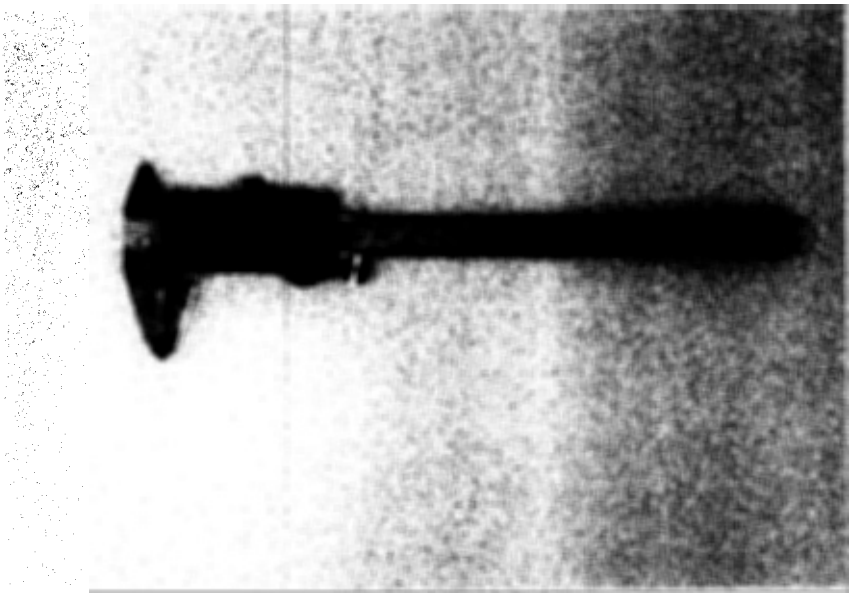
ภาพที่ 25 แสดงแบบพิมพ์ที่ใช้อัดขึ้นรูปชิ้นทดลอง



ภาพที่ 26 แสดงแบบพิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปอิฐทนไฟ



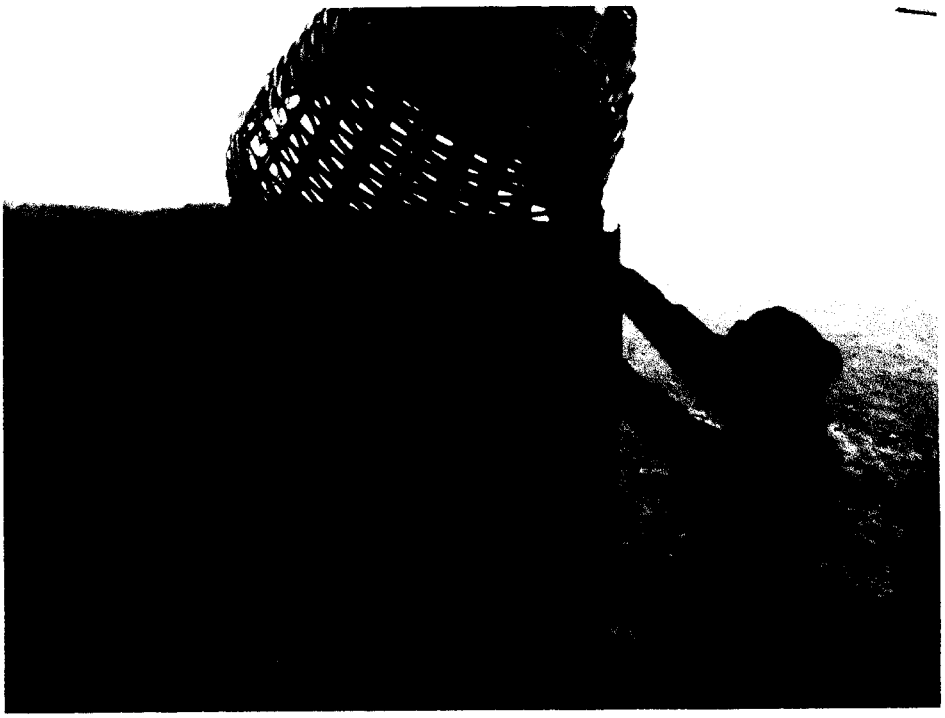
ภาพที่ 27 แสดงแผ่นเทียบสี Pantone Formula Guide



ภาพที่ 28 แสดงเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล

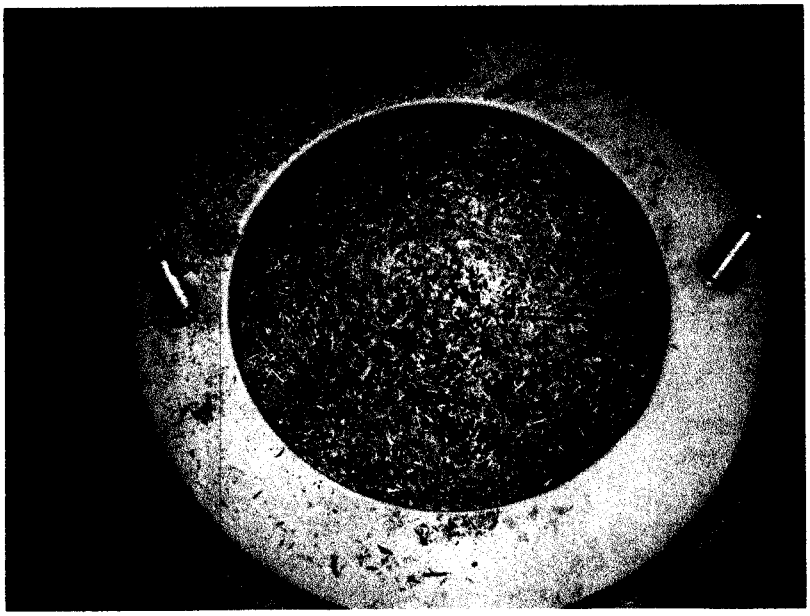
ภาคผนวก - ค

กระบวนการวิจัย



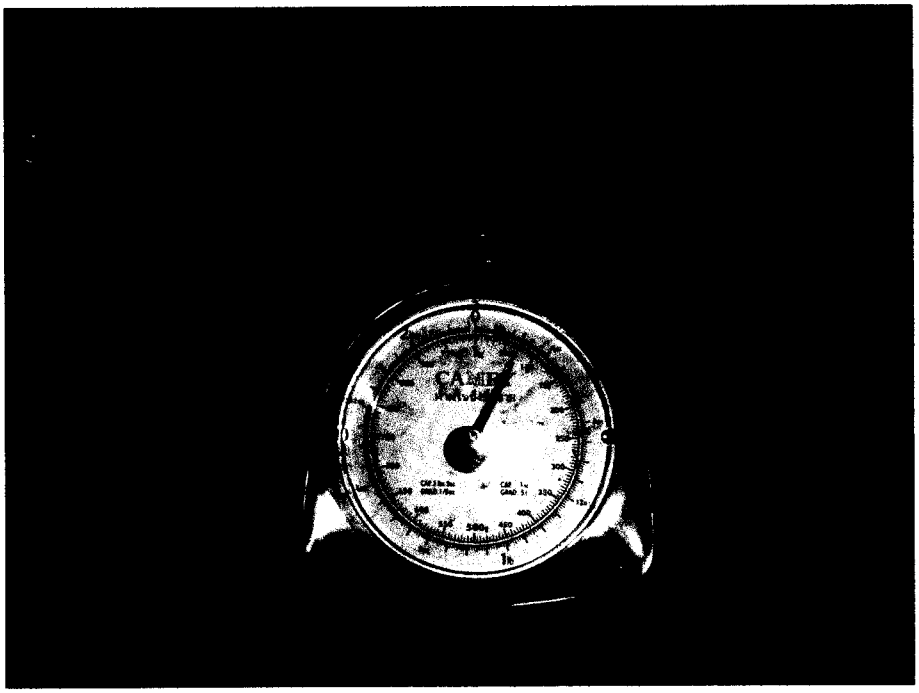
ภาพที่ 29 แสดงการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐมอญ

ภาพที่ 30 แสดงเถ้าแกลบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาอิฐมอญ

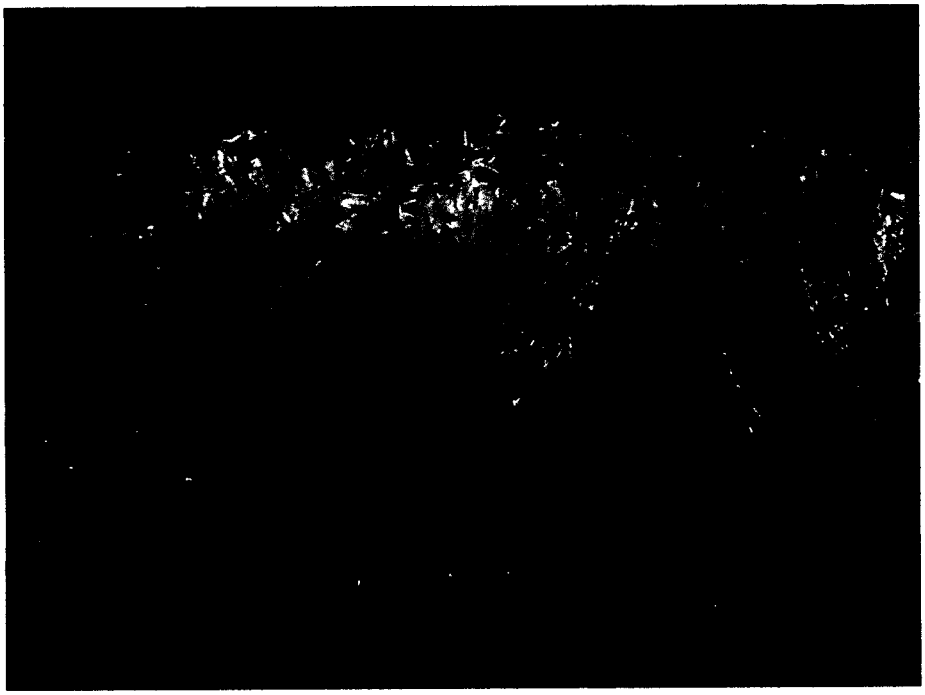


ภาพที่ 31 แสดงการบดเถ้าแกลบด้วยหม้อบด

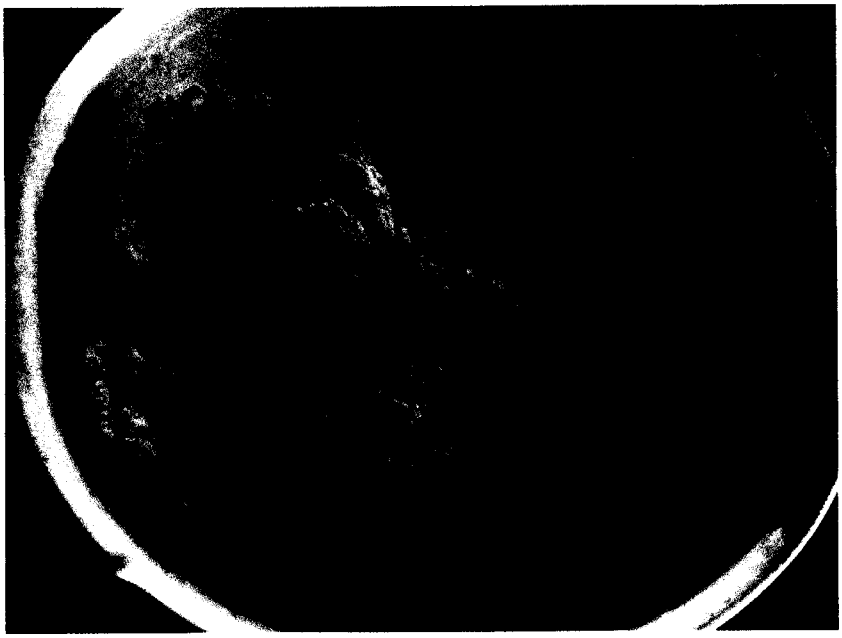
ภาพที่ 32 แสดงขี้เลื่อยที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินอิฐทนไฟ



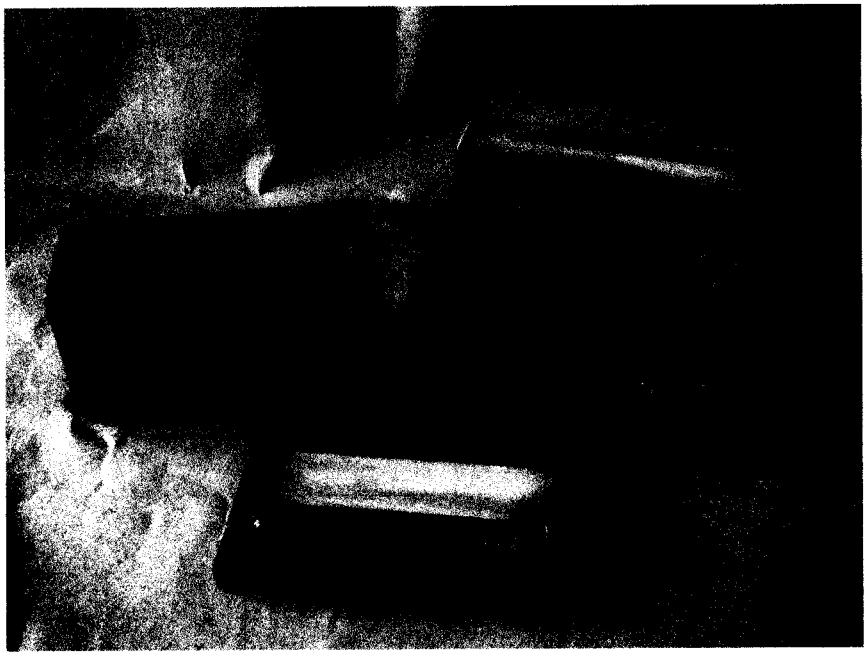
ภาพที่ 33 แสดงการชั่งส่วนผสม



ภาพที่ 34 แสดงส่วนผสมของวัตถุดิบที่ชั่งเสร็จแล้ว

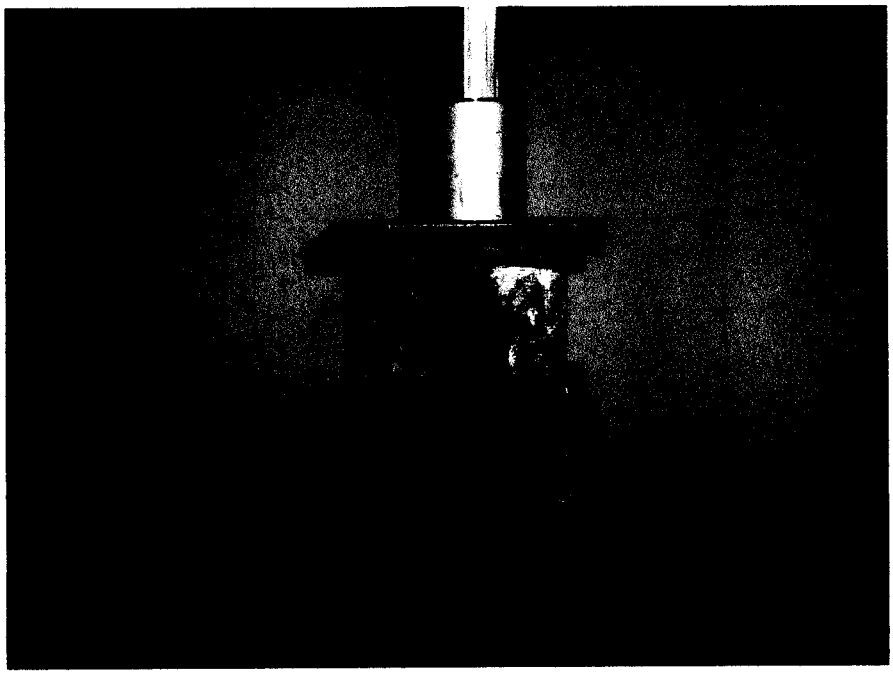


ภาพที่ 35 แสดงการผสมวัตถุดิบกับน้ำ

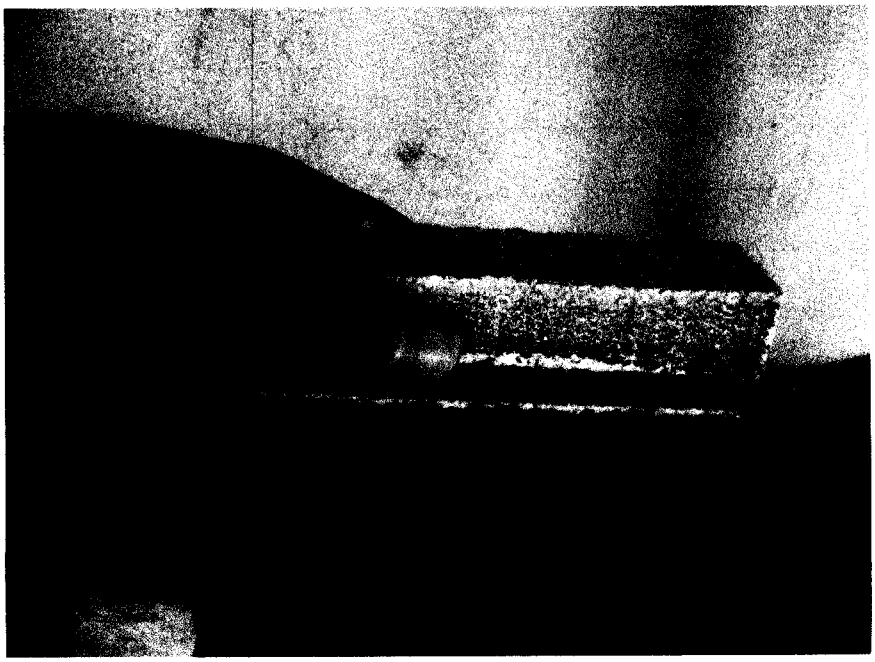


ภาพที่ 36 แสดงแบบพิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปแท่งทดลอง

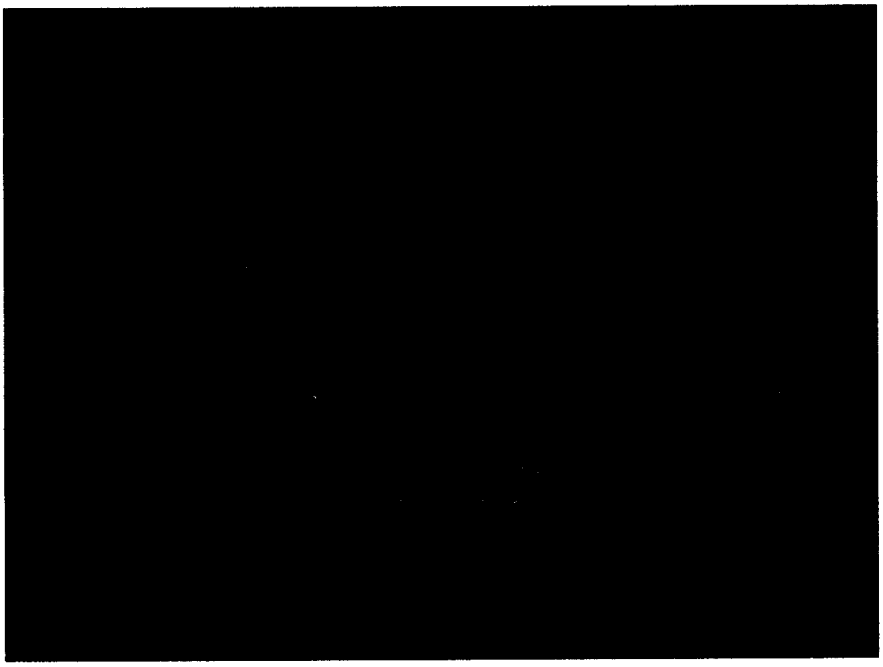
ภาพที่ 37 แสดงการอัดขึ้นรูปแท่งทดลอง



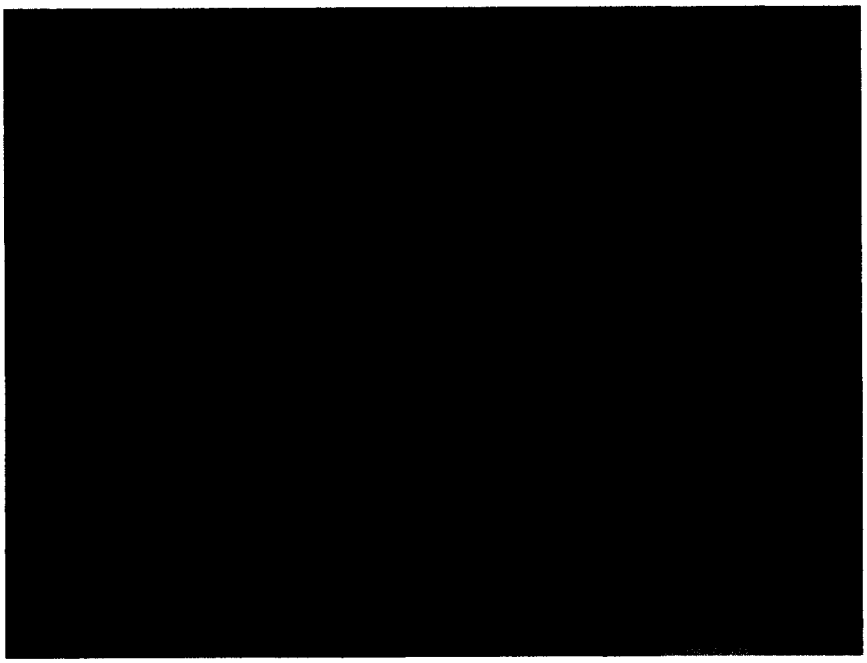
ภาพที่ 38 แสดงการอัดขึ้นรูปแท่งทดลอง



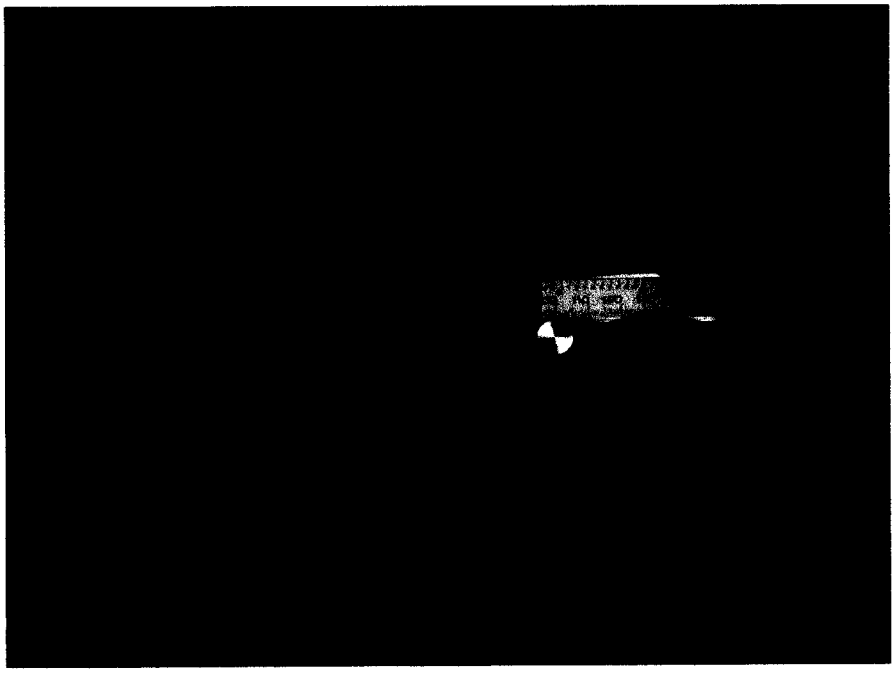
ภาพที่ 39 แสดงการนำแท่งทดลองออกจากแบบพิมพ์



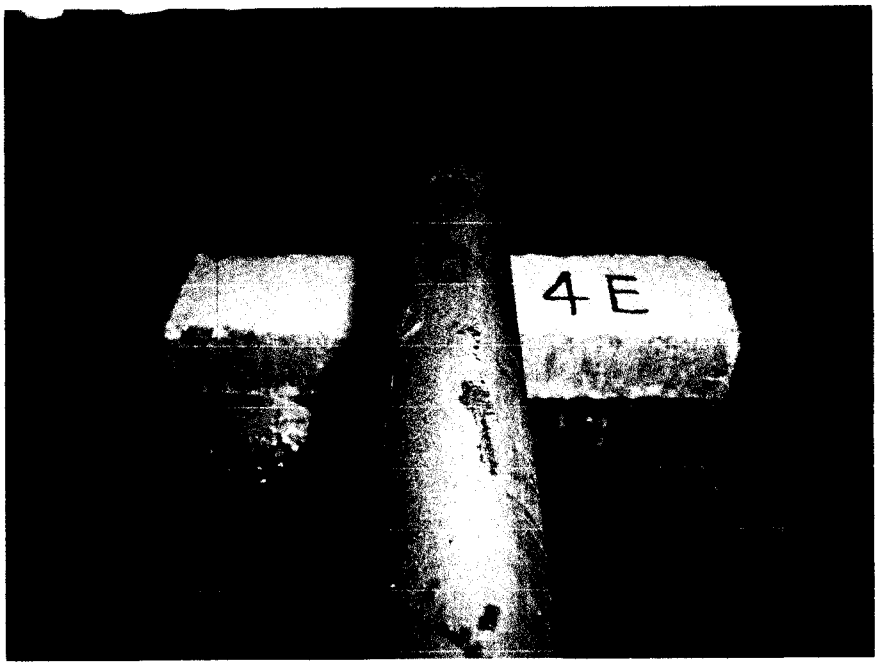
ภาพที่ 40 แสดงแท่งทดลองที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว



ภาพที่ 41 แสดงส่วนหนึ่งของแท่งทดลองที่ผึ่งให้แห้ง



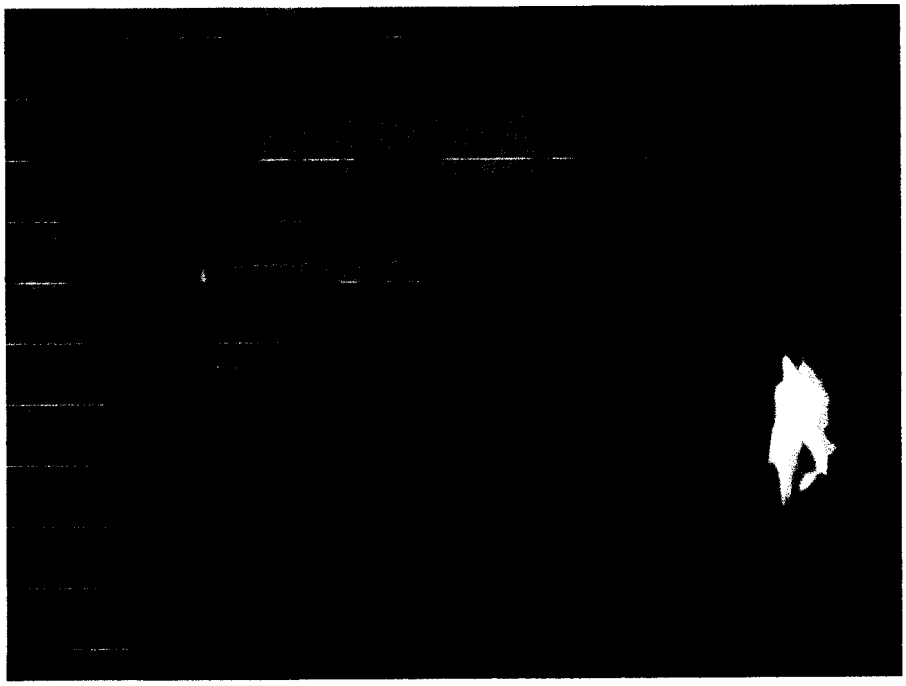
ภาพที่ 42 แสดงการวัดทดสอบความหดตัวของแท่งทดลอง



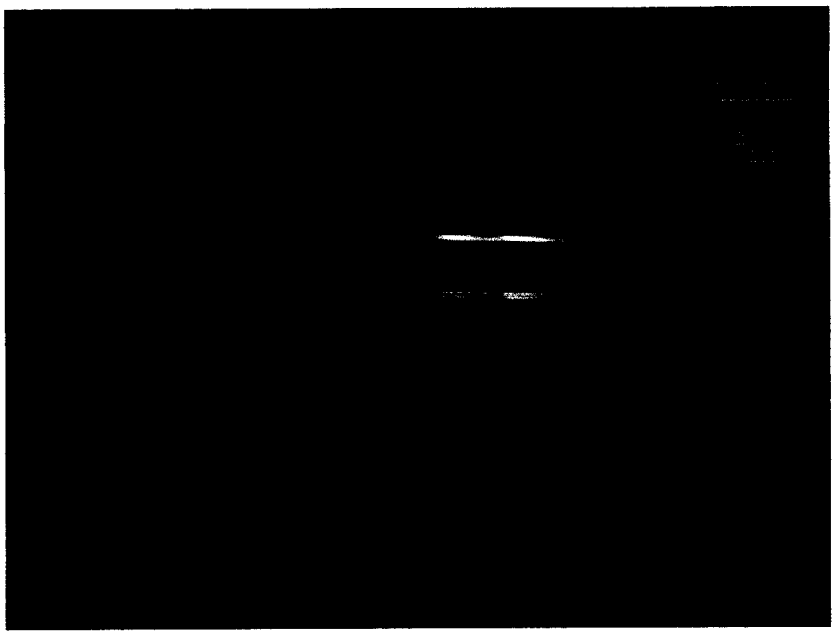
ภาพที่ 43 แสดงการทดสอบความแข็งแรง

ภาพที่ 44 แสดงการทดสอบความแข็งแรง

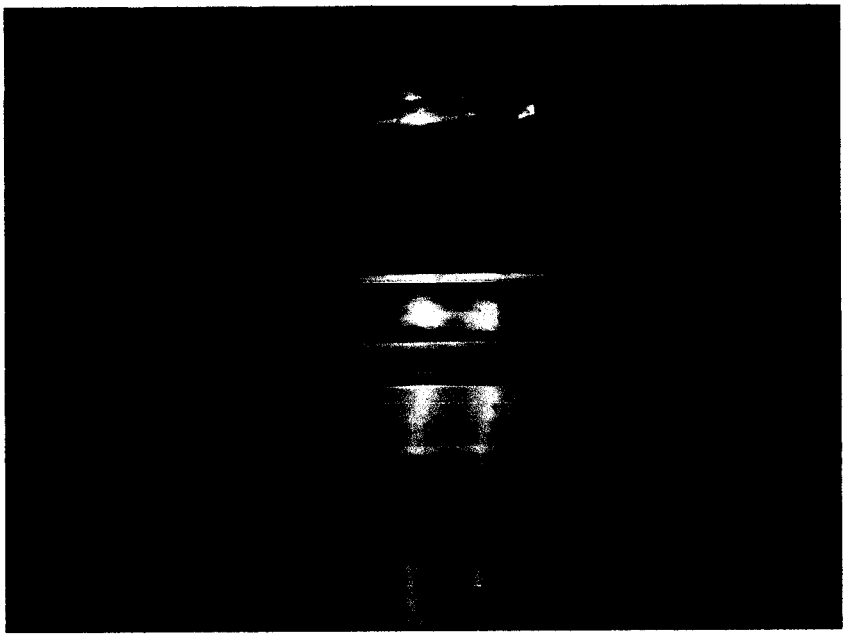
ภาพที่ 45 แสดงการนำแท่งทดลองเข้าเตาเผา



ภาพที่ 46 แสดงการเผาแท่งทดลอง

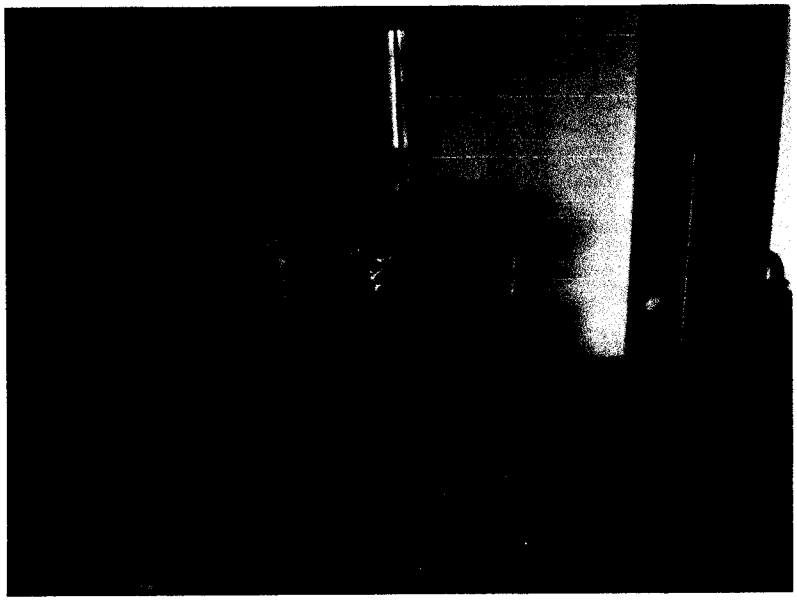


ภาพที่ 47 แสดงการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังเผา

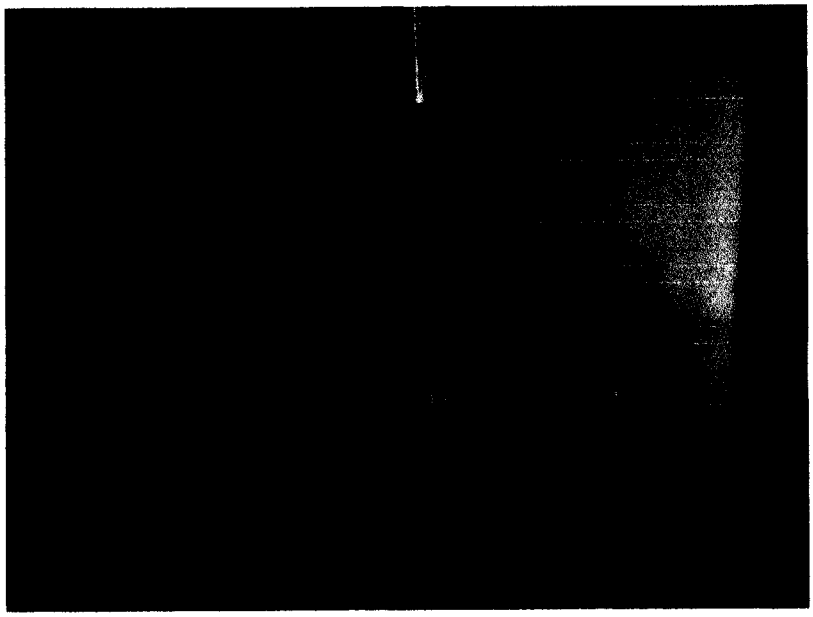


ภาพที่ 48 แสดงการชั่งน้ำหนักแท่งทดลองเพื่อทดสอบความหนาแน่น

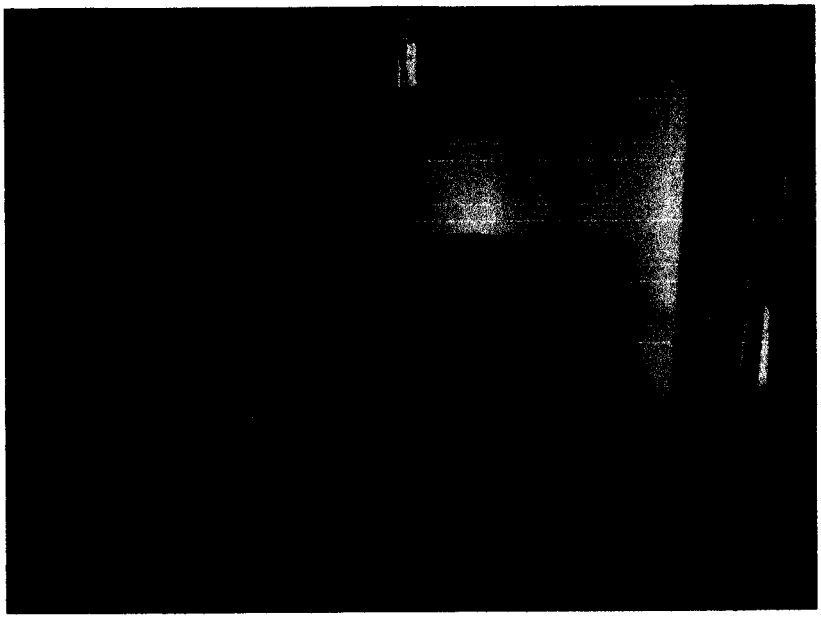
ภาพที่ 51 แสดงการเกลี่ยส่วนผสมในแบบพิมพ์ให้เรียบ



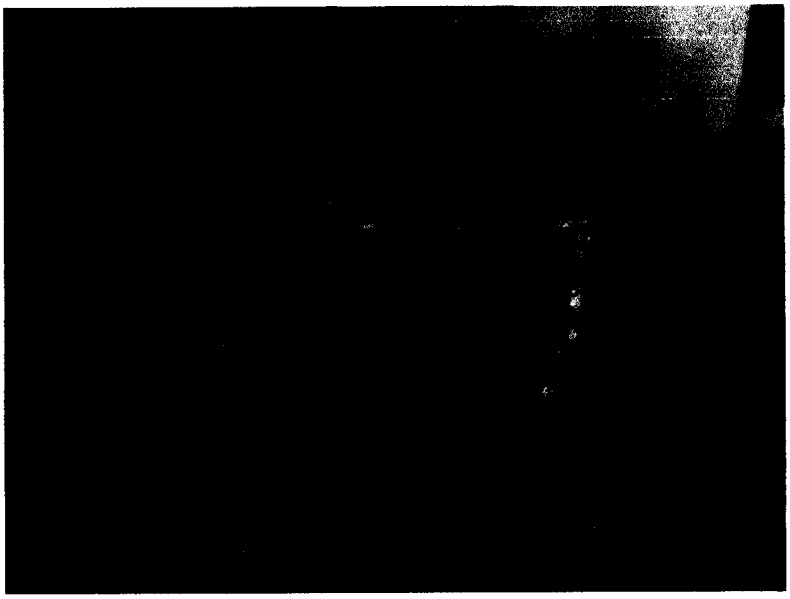
ภาพที่ 52 แสดงการอัดอิฐทนไฟด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก



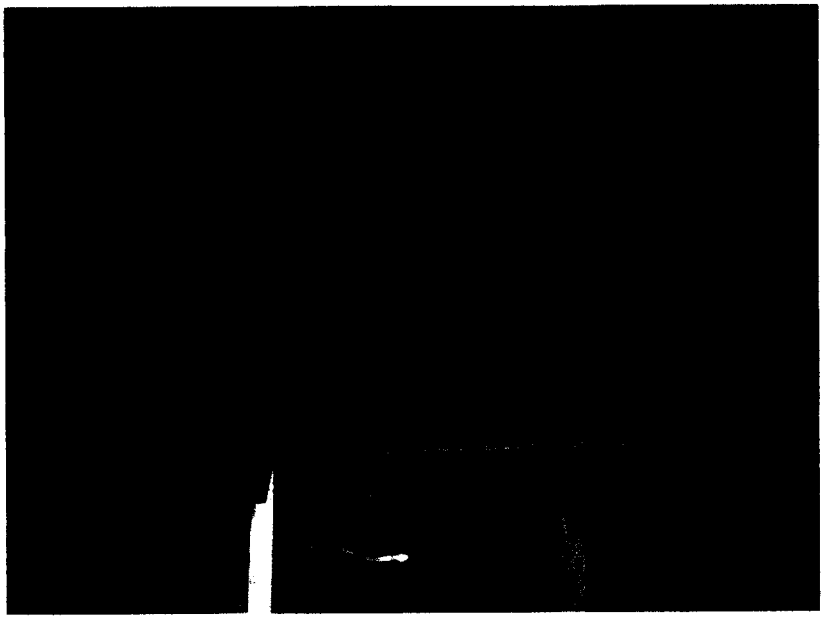
ภาพที่ 53 แสดงการถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์



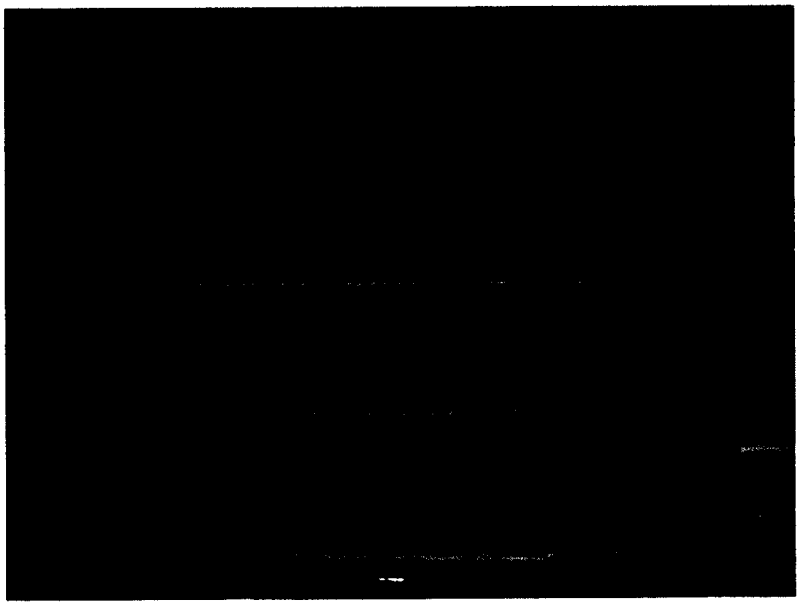
ภาพที่ 54 แสดงชิ้นงานที่ถอดออกจากแบบพิมพ์



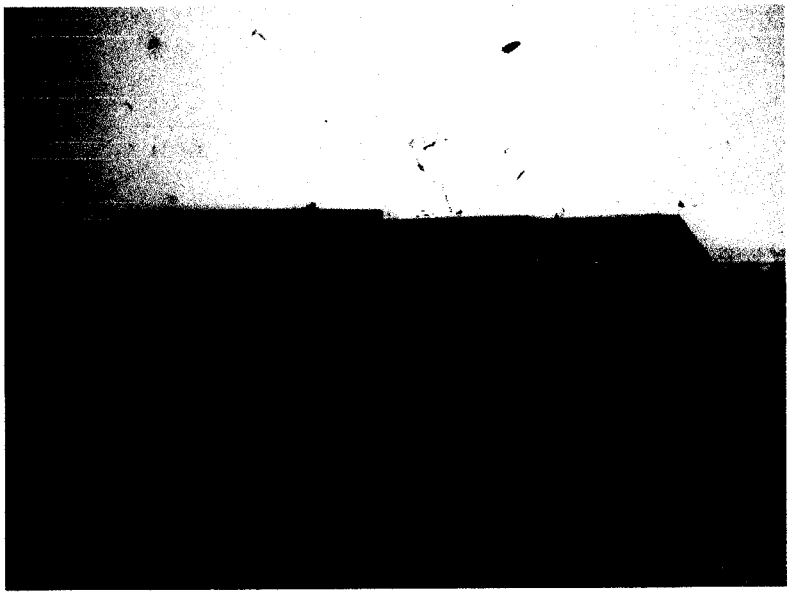
ภาพที่ 55 แสดงการยกชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์



ภาพที่ 56 แสดงการวางชิ้นงานบนแผ่นกระเบื้อง



ภาพที่ 57 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 58 แสดงชิ้นงานอิฐทนไฟที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วผึ่งให้แห้ง

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ นายสนิท ปิ่นสกุล

Mr Sanit Phinsakul

2. เลขประจำตัวบัตรประชาชน 3650600140589

3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

อาจารย์ระดับ 7

4. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์

สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ

พิบูลสงครามโทร 055- 282792 E-mail sanit17@ hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539 วท.บ. (เทคโนโลยีเซรามิกส์) จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

พ.ศ. 2546 กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จากมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

พ.ศ.2554 กำลังศึกษา ศป.ด.(ศิลปะและการออกแบบ)มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ : เทคโนโลยีเซรามิกส์

7. ประสบการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

<u>งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว</u>

หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง : การศึกษาอิทธิพลของอลูมินาต่อหินแก้วที่มีผลต่อเนื้อดินปั้น

วิเทรียสไชนา พ.ศ. 2539

หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง : การศึกษาอิทธิพลของทรายที่มีผลต่อเนื้อดินปั้นเชียงเครือ

พ.ศ. 2542

ทุนสถาบันราชภัฏสกลนคร

หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง : การศึกษาเนื้อดินและพัฒนาน้ำเคลือบเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผา :

กรณีศึกษาเครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย พ.ศ. 2546

ทุนมหาวิทยาลัยนเรศวร

หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง : การพัฒนาเนื้อดินปั้นเชียงเครือและเคลือบ เพื่อผลิต

เครื่องปั้นดินเผาประเภทสโตนแวร์สำหรับขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน พ.ศ. 2547

ทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร