666.6
ส๖๒๑
ส ๒๖๔ ๒๓๖
๒ ๒

การทดลองหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินปากเกร็ด ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแหลคัม

ปริญญานิพนธ์

ของ

ศุภกา ดอกไม้

19 ก.ค. 2536

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
กันยายน 2535
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

184793

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน

(ผศ.โกมล รักษ์วงศ์)

..... กรรมการ

(ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

(ผศ.โกมล รักษ์วงศ์)

..... กรรมการ

(ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(รศ.ทวี พรหมพฤกษ์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศ.ดร.สมพร บัวทอง)

วันที่...๒๔..เดือน...มีนาคม.....พ.ศ..๒๕๔๕...

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการทดลอง	4
	ความสำคัญของการทดลอง	4
	ขอบเขตของการทดลอง	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
	การจำแนกผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา	9
	เนื้อดินปั้น ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และวิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น	12
	การเตรียมเนื้อดินปั้นและหลักในการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์	16
	การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้น	19
	วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์	23
	แหล่งวัตถุดิบภายในประเทศที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	29
	อิทธิพลและความร้อนที่มีต่อเนื้อดินปั้นและวัตถุดิบในเนื้อดินปั้น	32
	องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์	36
	เตาและการเผา	39
	การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	44
	กรรมวิธีการผลิตถ้วย จาน ชาม เครื่องเคลือบดินเผา	48
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศและต่างประเทศ	51
3	วิธีดำเนินการทดลอง	62
	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	62

บทที่ หน้า

ตัวแปรที่จะศึกษา..... 62
เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์..... 68
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้..... 68
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้..... 69
ลำดับขั้นในการทดลอง..... 69
สูตรที่ใช้ในการทดลอง..... 80
สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้..... 81

4 ผลการทดลอง..... 82
ผลการทดลองตอนที่ 1..... 83
ผลการทดลองตอนที่ 2..... 92
ผลการทดลองตอนที่ 3..... 99
ผลการทดลองตอนที่ 4..... 102

5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 103
จุดมุ่งหมายของการทดลอง..... 103
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 104
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง..... 104
ลำดับขั้นการทดลอง..... 105
ผลการทดลอง..... 106
อภิปรายผล..... 114
ข้อเสนอแนะ..... 115

บรรณานุกรม..... 120

ภาคผนวก..... 124
ภาคผนวก ก. 125

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ข. 135
ภาคผนวก ค. 143
ภาคผนวก ง. 146
ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 149

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงค่าวัตถุดิบแต่ละชนิดที่อ่านได้ของแต่ละจุดที่อยู่บนแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าในภาพประกอบ 1	16
2	แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	31
3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดสุกตัวหรืออุณหภูมิสูงสุดของการเผาผลิตภัณฑ์กับเปอร์เซนต์ของแก้ว มูลไลท์ และหินเชี่ยวหนุมานที่เกิดขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์	34
4	หมายเลขของโคนและอุณหภูมิที่โคนล้ม กับส่วนผสมทางเคมีของโคน	46
5	ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสังคโลกชนิดสโตนแวร์	52
6	อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้ได้ผลเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,225 - 1,250 องศาเซลเซียส	54
7	อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้ได้ผลดีเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส	55
8	อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส.	56
9	ผลการทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์เผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส	58
10	ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ผลิตขึ้นในประเทศต่าง ๆ	59
11	อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละจุดที่อ่านค่าได้จากภาพประกอบ 5 แล้วนำไปรวมกับแทลคัม อีกจุดละ ร้อยละ 2	64
12	ผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส	83
13	ผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส	86
14	ผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส	88
15	อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจากจุดที่ดีที่สุดในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส	92

ตาราง หน้า

16 ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส..... 92
17 ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส..... 95
18 ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส..... 97
19 ผลการคัดเลือกผลการทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโทนแวร์..... 99
20 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโทนแวร์..... 101
21 อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 9 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส..... 127
22 อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 19 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส..... 130
23 อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 31 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส..... 133

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	แสดงแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า และจุดต่าง ๆ ที่อยู่บนแผนภาพ.....	15
2	แสดงการกดน้ำหนักลงบนชิ้นทดลองด้วยเครื่องมือทดสอบความแข็งแรง.....	20
3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เผากับเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์.....	38
4	แสดงวิธีการวางโคนและการล้มของโคน.....	47
5	แสดงแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งประกอบด้วยจุดจำนวน 36 จุด.....	63
6	แสดงตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่เลือกได้ จากการทดลองในชุดที่ 1 ในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส.....	66
7	แสดงตัวอย่างอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 ที่กระจายได้จำนวน 28 อัตราส่วนผสม.....	67
8	แสดงลักษณะของชิ้นทดลอง.....	71
9	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นของการทดลอง.....	75
10	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง ตอนที่ 1	76
11	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง ตอนที่ 2	77
12	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง ตอนที่ 3	78
13	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง ตอนที่ 4	79
14	แสดงการกระจายจุดที่ 9 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส.....	126
15	แสดงการกระจายจุดที่ 19 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส.....	129
16	แสดงการกระจายจุดที่ 31 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส.....	132

ภาพประกอบ หน้า

17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาดิบ ที่ระดับอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส..... 136
18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส..... 137
19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส..... 138
20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส..... 139
21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส..... 140
22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส..... 141
23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส..... 142
24 ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 เผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส..... 144
25 ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 เผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส..... 145

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สิ่งที่เป็นหลักฐานแสดงถึงวิวัฒนาการแห่งความเจริญอันเก่าแก่ที่สุดของมนุษย์อย่างหนึ่ง ก็คือ ภาชนะเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ทำขึ้นด้วยดิน จากการศึกษาทางด้านประวัติศาสตร์อาจกล่าวได้ว่า ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการทำเครื่องปั้นดินเผาที่เก่าแก่ที่สุด นับจากหลักฐานการทำภาชนะดินเผาเขียนสีชนิดไม่เคลือบของบ้านเชียง ซึ่งมีอายุประมาณ 4,500 - 5,600 ปี มาแล้ว (กรมศิลปากร. 2530 : 27) และได้พัฒนาการทำขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งในสมัยสุโขทัยได้มีการทำเครื่องเคลือบดินเผาที่มีความสวยงามและมีชื่อเสียงที่ทั่วโลกรู้จักในนามของ "เครื่องสังคโลก" หรือที่เรียกว่า "เซลาดอน" (Celadon) ซึ่งนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มของอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาของประเทศไทย (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 4.1 - 4.2)

อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบภายในประเทศเกือบทั้งหมด รัฐบาลจึงให้การส่งเสริมคุ้มครองอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา โดยการตราพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรมขึ้นในปี พ.ศ. 2505 และจัดตั้งโครงการศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมขึ้นในปี พ.ศ. 2507 (คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรม. 2509 : 11) เพื่อสำรวจแหล่งวัตถุดิบภายในประเทศและนำมาวิจัยหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ (Clay Body and Glaze) มีการนำมาตรการระงับการให้สิทธิประโยชน์ด้านภาษีอากรการนำเข้าวัตถุดิบแก่อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมใหม่มาใช้ในปี พ.ศ. 2511 (คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. : 30) เพื่อส่งเสริมให้มีการนำวัตถุดิบที่เป็นทรัพยากรของประเทศมาใช้ให้มากยิ่งขึ้น ในปี พ.ศ. 2521 รัฐบาลได้ใช้มาตรการห้ามนำเข้าสินค้าอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาประเภทภาชนะ ถ้วย จาน ชาม (กระทรวงพาณิชย์. 2521 : อัดสำเนา) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ และ

ในปี พ.ศ. 2527 คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาประเภทสโตนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่อยู่ในข่ายได้รับการส่งเสริมการลงทุนเพื่อการส่งออก (คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. 2527 : อัดสำเนา) ลู่ทางที่จะส่งเสริมอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาในอนาคตที่พอจะมองเห็น ได้แก่ การส่งเสริมการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป โดยเฉพาะเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ (กอบกิต ฐิตตวัฒนกุล. 2522 : 19)

ด้านตลาดและความต้องการผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา เครื่องเคลือบดินเผาประเภทเครื่องประดับ (งานศิลปะ) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ แจกัน กระถาง และของที่ระลึก เป็นต้น ตลาดส่วนใหญ่มีความต้องการเป็นจำนวนมาก แต่ทางโรงงานไม่สามารถผลิตได้ทันกับความต้องการของตลาด สำหรับเครื่องเคลือบดินเผาประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ถ้วย จาน ชาม หรือผลิตภัณฑ์ชุดอาหาร ชุดน้ำชา และชุดกาแฟ เป็นต้น เฉพาะผลิตภัณฑ์ ถ้วย จาน ชาม ภายหลังจากมีการใช้มาตรการห้ามนำเข้าในปี พ.ศ. 2521 เป็นผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 19,375 ตันต่อปี เป็น 31,675 ตันต่อปี และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น (กอบกิต ฐิตตวัฒนกุล. 2527 : 37) ตลาดหลักภายในประเทศ ได้แก่ โรงแรม ภัตตาคารใหญ่ ๆ และห้องอาหารชั้นหนึ่ง ตลอดจนผู้มีรายได้สูง ความต้องการภายในประเทศในช่วงปี พ.ศ. 2523 - 2528 มีการขยายตัวในอัตราค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 7.7 ต่อปี (สมศักดิ์ แต้มบุญเลิศชัย และคนอื่น ๆ. 2530 : 10) คาดว่าอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาประเภทภาชนะ ถ้วย จาน ชาม จะเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอีกประเภทหนึ่งที่สามารถส่งออกและทำรายได้ให้กับประเทศไทยในอนาคต

จากข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สรุปได้ว่า รัฐบาลได้ให้การสนับสนุนและคุ้มครองการประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผามาตลอด โดยเฉพาะเรื่องวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น เนื้อดินปั้น และน้ำเคลือบ ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตที่รัฐบาลได้สนับสนุนให้มีการศึกษา วิเคราะห์ วิจัย เพื่อพัฒนาวัตถุดิบให้มีคุณภาพ ช่วยลดการสูญเสียวัตถุดิบและพลังงานในการผลิต การผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่เป็นเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ จึงเป็นลู่ทางที่จะส่งเสริมให้ผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรมสำหรับจำหน่ายให้แก่โรงงานต่าง ๆ ที่ต้องการลดภาระ

หรือขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบที่จะใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ให้น้อยลง แต่วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตและจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันยังไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะโรงงานขนาดเล็กที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และยังต้องพึ่งวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา

จากปัญหาความต้องการวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา เป็นเหตุให้ผู้วิจัยสนใจในปัญหาของเนื้อดินปั้นโดยเฉพาะ และจะทดลองเพื่อพัฒนาดินปากเกร็ดให้ใช้ทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ได้ เนื่องจากดินปากเกร็ดเป็นดินที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติอยู่ในบริเวณที่ลุ่มห้องนา อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ซึ่งต้องเปิดหน้าดินลึกประมาณหนึ่งเมตร จึงจะถึงชั้นดินที่มีคุณสมบัติใช้ทำผลิตภัณฑ์เอิทเทนแวร์ได้ (กรมวิทยาศาสตร์. ม.ป.ป. : 6 - 7) ดินปากเกร็ดเป็นดินที่มีความเหนียวมาก มีเนื้อละเอียด สีน้ำตาลเข้ม หรือสีเทาดำ ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย แต่แห้งช้า และเมื่อตากแห้งหรือเผาผลิตภัณฑ์จะแตกหรือบิดเบี้ยวได้ง่าย เนื่องจากเนื้อดินมีการหดตัวหลังการเผาประมาณร้อยละ 20 เนื้อดินมีส่วนผสมของธาตุเหล็ก (Ferric) ธาตุคาร์บอน (Carbon) และมีวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยในการหลอมละลาย (Flux) เช่น แอลคะไลและแอลคะไลเอิธ (Alkalies and Alkali Earths) ผสมอยู่ในปริมาณมาก ทำให้ไม่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงเกิน 1,150 องศาเซลเซียส (2,045 องศาฟาเรนไฮต์) ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นจึงมีความแข็งแกร่งน้อย เปราะหรือแตกเสียหายได้ง่าย มีความพรุนตัวสูง ดูดซึมน้ำได้ การพัฒนาดินปากเกร็ดครั้งนี้เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นที่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงขึ้นได้ ทำให้เนื้อดินปั้นมีความพรุนตัวน้อย ดูดซึมน้ำได้น้อย หรือไม่ดูดซึมน้ำเลย ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น เนื้อดินที่ผ่านการพัฒนาแล้วจะสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดสโตนแวร์ประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องประดับได้ การทดลองครั้งนี้จึงเป็นการใช้ประโยชน์จากดินปากเกร็ดที่มีอยู่ภายในประเทศมาพัฒนาให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ผลการทดลองที่ได้จะสามารถนำไปผลิตเป็นสินค้าในรูปของวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป เพื่อช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ ช่วยลดขั้นตอนในการผลิตให้แก่โรงงานขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นสินค้าสำเร็จรูปประเภทเครื่องประดับและเครื่องใช้ในครัวเรือนได้อีกด้วย

จุดมุ่งหมายของการทดลอง

1. เพื่อหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ระหว่างดินปากเกร็ด ผสมกับดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแทลคัม โดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial Diagram)

2. เพื่อทดลองอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ระหว่างดินปากเกร็ดผสมกับดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแทลคัม นำไปเผาในอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส (2,190, 2,250 และ 2,280 องศาฟาเรนไฮต์) โดยเผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ

2.1 การทดลองชุดที่ 1 จะเป็นการทดลองเบื้องต้น เพื่อให้ได้จุดที่จะหาอัตราส่วนผสมที่ละเอียดขึ้นสำหรับการทดลองขั้นต่อไป

2.2 การทดลองชุดที่ 2 จะเป็นการทดลองอัตราส่วนผสมที่ได้จากการเลือกจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิมากระจายหาอัตราส่วนผสมที่ละเอียดขึ้น

3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้นที่ทำการทดลองในชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ซึ่งได้แก่ การหดตัวหลังการเผา การดูดซึมน้ำ ความทนไฟและสีภายหลังการเผา

4. เพื่อเลือกอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุดจากการทดลองชุดที่ 2 ในแต่ละระดับอุณหภูมิไปผสมเป็นเนื้อดินปั้น และนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างประเภทชุดอาหารและผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับที่เป็นแจกัน

ความสำคัญของการทดลอง

ผลการทดลองหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์นี้ จะมีความสำคัญดังต่อไปนี้ คือ

1. ผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา จะสามารถนำผลการทดลองไปผสมเป็นเนื้อดินปั้นสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับ และเครื่องใช้ในครัวเรือนเพื่อเป็นสินค้าออกจำหน่ายได้

2. ผู้ประกอบการผลิตและจำหน่ายวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา จะสามารถนำผลการทดลองไปผสมเป็นวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป เพื่อจำหน่ายให้แก่โรงงานผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา

3. สถาบันการศึกษาที่มีการเรียนการสอนวิชาเครื่องเคลือบดินเผา จะสามารถนำผลการทดลองไปผสมเป็นเนื้อดินปั้น สำหรับใช้ฝึกทักษะและความชำนาญในการเรียนการสอนได้

4. การทดลองครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในด้านการให้ความรู้เรื่องเครื่องเคลือบดินเผาชนิดสโตนแวร์แก่บุคคลผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการทดลองครั้งต่อไปสำหรับผู้วิจัยและบุคคลทั่วไป

<u>ขอบเขตของการทดลอง</u>

เพื่อให้การทดลองในครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการทดลองครั้งนี้ไว้ดังนี้ คือ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

1.1 ประชากร คือ ดินปากเกร็ด ที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณ ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ดินปากเกร็ด ที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณที่ลุ่มท้องนาของหมู่บ้านบางพูด ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

2. อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่จะนำมาทดลอง ได้จากการอ่านค่าของวัตถุดิบในแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า

3. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง จะใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน

4. การทดสอบหาปริมาณน้ำในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นจะทำการทดสอบเฉพาะผลการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์เท่านั้น

5. น้ำเคลือบที่ใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง มีอัตราส่วนผสมดังนี้ คือ

ดินขาวลำปาง	ร้อยละ	10.0
หินฟันม้าราชบุรี	ร้อยละ	55.0
หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี	ร้อยละ	8.0
หินปูนราชบุรี	ร้อยละ	15.0
แบเรียมออกไซด์	ร้อยละ	12.0

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ หมายถึง เนื้อดินปั้นที่เตรียมขึ้นจาก ดินปากเกร็ด ผสมกับ ดินขาวลำปาง หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี โดยมีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ตามจุดบนแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า รวมกับแหล่งในอัตราส่วนผสมคงที่ร้อยละ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือนที่เป็นชุดอาหาร และผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับที่เป็นแจกัน

2. อัตราส่วนผสม หมายถึง อัตราส่วนของวัตถุดิบแต่ละตัวที่นำมาผสมเข้าด้วยกันเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ปริมาณของวัตถุดิบคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก

3. วัตถุดิบ หมายถึง วัตถุดิบที่เตรียมเพื่อใช้ผสมเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ สำหรับการทดลองในครั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ด ดินขาวลำปาง หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี และแหล่งในม

4. ดินปากเกร็ด หมายถึง ดินที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติอยู่ในบริเวณที่ลุ่มห้องนา ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี มีความเหนียวมากและหดตัวมาก มีสีน้ำตาลหรือสีเทาดำ มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส

5. ดินขาวลำปาง หมายถึง ดินขาวที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเขาปางค่า ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้หม่ จังหวัดลำปาง เนื้อดินมีความเหนียวน้อยและหดตัวน้อย มีสีขาว ทนความร้อนได้สูงถึง 1,400 องศาเซลเซียส (2,608 องศาฟาเรนไฮต์)

6. หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี หมายถึง สารที่ตกผลึกของซิลิกา ที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ที่บริเวณเขาหินแก้ว จังหวัดจันทบุรี

7. แหลคัม หมายถึง วัตถุดิบที่เป็นสารประกอบของ แมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium Silicate) แหลคัมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นชนิดที่ใช้ในทางการค้าทั่วไป

8. ชนิดที่ใช้ในทางการค้าทั่วไป (Commercial Grade) หมายถึง วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำเครื่องเคลือบดินเผาที่มิได้กำหนดเฉพาะเจาะจงว่ามาจากแหล่งใด

9. แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial Diagram) หมายถึง แผนผังตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินปั้น

10. โคน (Cone) หมายถึง วัสดุที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาสำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้ของเซกเกอร์ (Seger) โดยใช้เพียง 3 ระดับอุณหภูมิ คือ

โคนหมายเลข 6 ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

โคนหมายเลข 7 ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

โคนหมายเลข 8 ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

11. การเผาแบบออกซิเดชั่น (Oxidation) หมายถึง การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาที่มีการเผาไหม้หมดจด การสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตา การเผาแบบออกซิเดชั่นจะใช้เตาไฟฟ้าเผา

12. การเผาแบบรีดักชั่น (Reduction) หมายถึง การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาที่มีการเผาไหม้ไม่หมดจด การสันดาปเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตา การเผาแบบรีดักชั่นจะใช้เตาแก๊ส

13. การหดตัว (Total Shrinkage) หมายถึง เปอร์เซนต์การหดตัวของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส

14. การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) หมายถึง เปอร์เซนต์ความสามารถ

ในการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นที่ผ่านการเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส

15. ความทนไฟ (Refractory) หมายถึง ความทนทานต่อความร้อนของเนื้อดินปั้นโดยไม่หลอมละลาย ในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส

16. สีของเนื้อดินปั้น หมายถึง สีของเนื้อดินปั้นที่ปรากฏขึ้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบรีดักชั่นและออกซิเดชัน

17. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป (Water of Plasticity) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นสำหรับนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีแป้นหมุน

18. ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น (Modulus of Rupture) หมายถึง คุณสมบัติของเนื้อดินปั้นที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกระทบ หรือแรงกดที่กระทำต่อเนื้อดินปั้นที่ขึ้นรูปด้วยวิธีแป้นหมุน และผึ่งแห้งแล้ว โดยใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น ค่าที่วัดได้จะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้แยกกล่าวเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. การจำแนกผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา
2. เนื้อดินปั้น ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และวิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น
3. การเตรียมเนื้อดินปั้น และหลักในการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์
4. การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้น
5. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์
6. แหล่งวัตถุดิบภายในประเทศที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้
7. อิทธิพลของความร้อนที่มีต่อเนื้อดินปั้นและวัตถุดิบในเนื้อดินปั้น
8. องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์
9. เตาและการเผา
10. การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
11. กรรมวิธีการผลิตถ้วย จาน ชาม เครื่องเคลือบดินเผา
12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศและต่างประเทศ

1. การจำแนกผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา

ผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาจำแนกตามลักษณะของเนื้อดินปั้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา จำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์เอิร์ธเธนแวร์ (Earthenware) ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ (Stoneware) ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลน (Porcelains) (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 15)

1.1 ผลิตภัณฑ์เอิร์ธเธนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำกันโดยทั่วไป ส่วนใหญ่เผาในอุณหภูมิต่ำประมาณ 1,050 - 1,100 องศาเซลเซียส (1,920 - 2,030 องศาฟาเรนไฮต์ หรือโคนหมายเลข 01 - หมายเลข 04) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อหนา ผิวหยาบ มีความพรุนตัว (Porous) สามารถดูดซึมน้ำได้ สีของเนื้อผลิตภัณฑ์ส่วนมากมีสีน้ำตาลอ่อน เทาอ่อน และเหลืองอ่อน ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ เวลาเคาะผลิตภัณฑ์จะมีเสียงทึบไม่กังวานเหมือนผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น เนื้อดินส่วนมากเตรียมจากดินเหนียวธรรมดาโดยทั่ว ๆ ไปที่พบในท้องถิ่น ส่วนมากมีเปอร์เซนต์ของเหล็กค่อนข้างสูง และมีสารจำพวกแอลคะไลหรือด่างมาก โดยปกตินิยมใช้ดินในท้องถิ่น ซึ่งได้แก่ ดินปากเกร็ด เป็นดินที่เกิดในที่ราบต่ำ ที่เรียกกันว่า "ดินแดง" (Red Clay) เนื้อดินมีลักษณะละเอียด แห้งช้า มีความเหนียวดีเหมาะแก่การนำไปขึ้นรูปทรงต่าง ๆ ได้ดี การขึ้นรูปนิยมใช้ทรายผสมในเนื้อดินปั้นเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย ช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินปั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตกและบิดเบี้ยวได้ง่าย และเมื่อนำไปเผาเนื้อดินจะแข็งแกร่งขึ้น ส่วนใหญ่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทหม้อดิน กระถางต้นไม้ โอ่งน้ำ และคนโทน้ำ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ

1.2 ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาถึงจุดสุกตัว (Vitreous Ware) ส่วนมากเผาในอุณหภูมิ 1,190 - 1,390 องศาเซลเซียส (2,170 - 2,530 องศาฟาเรนไฮต์ หรือโคนหมายเลข 6 - หมายเลข 14) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อละเอียดหรือหยาบก็ได้ แต่ผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อแน่นและแข็งแกร่งมาก น้ำและของเหลวไม่สามารถซึมผ่านได้ หรืออาจซึมผ่านได้แต่น้อยมาก สีของเนื้อดินตามธรรมชาติมีสีเทาหรือสีน้ำตาล (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 17) มีลักษณะคล้ายเนื้อดินชนิดเอิร์ธเธนแวร์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ขุดได้จากเตาสันกำแพง ซึ่งทราบได้จากเสียงที่เคาะดังกังวาน และสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ถูกเผาจนผิวหน้าเยิ้มเป็นเคลือบ ส่วนด้านตรงข้ามเพียงแต่สุกเป็นสีน้ำตาลอมแดง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับภาชนะดินเผาที่บ้านด่านเกวียนที่เผาจนถึงจุดสุกตัวของเนื้อดินจนทำให้ผิวเป็นมัน น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (เสริมศักดิ์ นาคบัว. 2516 : 9 - 10) วัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มีความทนไฟสูง มีความเหนียวดี ขณะที่เป็นดินยังไม่เผาเนื้อดินจะแข็งแรง ไม่เปราะ

หรือแตกหักง่าย (โกมล รักษ์วงศ์. 2532 : 127) สีของเนื้อดินปั้นเมื่อเผาแล้วจะเป็นสีอะไรก็ได้ แต่ที่สำคัญจะต้องมีความแข็งแกร่ง ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์เตรียมได้ 2 ลักษณะ คือ เตรียมจากดินธรรมชาตินำมาปั้นโดยตรง ที่เรียกว่า "ดินสโตนแวร์" เนื้อดินอาจมีสีเหลืองฟาง สีน้ำตาล สีเทา เนื่องจากมีฟลักซ์ (Flux) หรือตัวหลอมละลายผสมอยู่ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่นมากขึ้น (สมชาย เสรีรมย์. 2521 : 8) ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่เตรียมจากดินธรรมดาได้แก่ ผลิตภัณฑ์โอ่งราชบุรี ผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน และผลิตภัณฑ์ซิลาดอนของเชียงใหม่ เป็นต้น อีกลักษณะหนึ่งเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย เนื้อดิน ร้อยละ 30 - 70 เพื่อให้เนื้อดินปั้นมีความเหนียว สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ดินเหนียว (Ball Clay) หินเขี้ยวหนุมาน ร้อยละ 30 - 60 เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งและป้องกันการบิดเบี้ยว และหินฟันม้า ร้อยละ 5 - 25 เพื่อช่วยในการหลอมละลาย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นมากขึ้น ใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องประดับ อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์ เป็นต้น

เนื่องจากเนื้อดินปั้นชนิดสโตนแวร์ มีลักษณะคล้ายเอิธเธนแวร์ แต่เนื้อดินปั้นชนิดสโตนแวร์เผาในอุณหภูมิที่สูงกว่า เพราะวัตถุดิบที่ใช้ทำมีความทนไฟสูงกว่า (โกมล รักษ์วงศ์. 2532 : 127) ฉะนั้นการที่จะพัฒนาดินปากเกร็ด ซึ่งใช้ทำผลิตภัณฑ์เอิทเธนแวร์ให้สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ได้นั้น จึงมีโอกาสที่จะเป็นไปได้ค่อนข้างมาก ผู้วิจัยจึงได้เลือกพัฒนาดินปากเกร็ดให้สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในชั้นของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

1.3 <u>ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลน</u> เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษในห้องปฏิบัติการ เนื้อดินจะมีสีขาว เผาถึงจุดสุกตัว และที่สำคัญคือ ผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้วจะโปร่งแสง (Translucent) เผาในอุณหภูมิตั้งแต่ 1,250 องศาเซลเซียส (โคนหมายเลข 8) ขึ้นไป ส่วนผสมของเนื้อดินประกอบไปด้วย หินเขี้ยวหนุมาน หินฟันม้า ดินขาว และดินขาวเหนียว ตลอดจนวัตถุดิบอื่นตามสัดส่วนที่ต้องการ เมื่อนำไปเผาแล้วจะมีความแข็งแกร่งมาก น้ำและของเหลวไม่สามารถซึมผ่านได้ ผลิตภัณฑ์มีเนื้อละเอียด มีลักษณะแกร่งเหมือนแก้ว เนื้อดินมีความเหนียวน้อย จึงอาศัยการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (Casting) เป็นส่วนใหญ่ การเตรียมเนื้อดินเป็นกระบวนการที่

ซับซ้อนมาก นิยมนำไปผลิตเป็นภาชนะใส่อาหารและงานทางด้านศิลปะ นอกจากนี้ยังใช้ทำเครื่องฉนวนไฟฟ้าและอุปกรณ์เครื่องยนต์ เช่น หัวเทียนรถยนต์ และภาชนะทดลองทางเคมี เช่น ถ้วยครูซิเบิล (Crucible) เป็นต้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 17 - 18) ฉะนั้นการพัฒนาดินปากเกร็ดให้อยู่ในชั้นของผลิตภัณฑ์พอร์สเลน จึงมีโอกาสเป็นไปได้ยาก เนื่องจากดินปากเกร็ดมีจุดหลอมละลายต่ำและมีธาตุเหล็กผสมอยู่มาก โอกาสที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีขาวและโปร่งแสงจึงมีโอกาสที่เป็นไปได้ยาก ผู้วิจัยจึงพัฒนาดินปากเกร็ดให้มีคุณภาพอยู่ในชั้นของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์เท่านั้น

2. <u>เนื้อดินปั้น ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและวิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น</u>

เนื้อดินปั้น หมายถึง ดินที่เตรียมขึ้นตามธรรมชาติ หรือดินที่นำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นเพื่อให้เนื้อดินมีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น เพิ่มความเหนียวให้แก่เนื้อดินปั้น เพิ่มความหนาแน่นในอุณหภูมิที่ต้องการเผา เพิ่มความโปร่งแสงให้กับเนื้อดินหลังการเผา (Rhodes. 1973 : 24) เพื่อให้คงทนต่อสภาพการใช้งาน เช่น ทนต่อกรดและด่าง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal Shock) ให้มีความพรุนตัว หรือไม่มีความพรุนตัว เป็นต้น การทำเนื้อดินปั้นแต่ละชนิดจึงต้องใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ (โกมล รักษ์วงศ์. 2532 : 127)

เนื้อดินปั้นอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนผสม ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นชนิดสโตนแวร์ ที่อาจมีดินล้วน ๆ แต่ส่วนมากจะมีวัตถุดิบอื่นผสมอยู่ด้วย และเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนผสม ซึ่งอาจมีเนื้อวัตถุดิบชนิดเดียวกัน หรือหลายชนิดผสมกัน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 83)

ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น โดยทั่วไปเนื้อดินปั้นจะประกอบไปด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดิน หินเชี้ยวหนุมาน และหินฟันม้า วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด เป็นสินแร่ตามธรรมชาติซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก ความบริสุทธิ์จะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ เมื่อผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม

จะทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย การกล่าวถึงส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอาจกล่าวได้ถึง 4 ลักษณะ คือ

ลักษณะที่ 1 การกล่าวโดยเขียนเป็นเปอร์เซนต์ของวัตถุดิบ เช่น

ดินขาว	ร้อยละ 35
ดินเหนียว	ร้อยละ 25
หินเขี้ยวหนุมาน	ร้อยละ 13
หินฟันม้า	ร้อยละ 27

ลักษณะที่ 2 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นเปอร์เซนต์ของออกไซด์ เช่น

Loss on Ignition	ร้อยละ 5.7
SiO_2	ร้อยละ 66.7
Al_2O_3	ร้อยละ 21.6
Fe_2O_3	ร้อยละ .5
CaO	ร้อยละ .6
MgO	ร้อยละ .4
K_2O, Na_2O	ร้อยละ 4.5

ลักษณะที่ 3 การกล่าวถึงโดยเขียนในรูปเปอร์เซนต์ของแร่ เช่น

แร่ดิน	ร้อยละ 50
ควอซ (Quartz)	ร้อยละ 25
เฟลด์สปาร์ (Feldspar)	ร้อยละ 25

ลักษณะที่ 4 การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นสูตรทั่วไป เช่น

RO, R_2O	R_2O_3	RO_2
.36	1	5.24

RO, R_2O หมายถึง ออกไซด์ของโลหะ ซึ่งมีวาเลนซี่ 1 และ 2 ตามลำดับ เช่น CaO, MgO, K_2O และ Na_2O เป็นต้น

R_2O_3 หมายถึง ออกไซด์ของโลหะ ซึ่งมีวาเลนซี่ 3 เช่น Al_2O_3, Fe_2O_3 เป็นต้น

RO_2 หมายถึง ออกไซด์ของโลหะ ซึ่งมีวาเลนซี่ 4 เช่น SiO_2, SnO_2 และ TiO_2 เป็นต้น (ปรีดา พิมพ์ขาวชำ. 2532 : 34 - 85)

สำหรับการทดลองในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงส่วนผสมของเนื้อดินปั้นตามลักษณะที่ 1 คือ เขียนเป็นเปอร์เซนต์ของวัตถุดิบเท่านั้น เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าการกล่าวถึงในลักษณะอื่น นอกจากนี้ส่วนผสมของค่าที่อ่านได้จะมีค่าเป็นเปอร์เซนต์ของวัตถุดิบแต่ละตัว ซึ่งมีวิธีการหาค่าของอัตราส่วนผสมดังต่อไปนี้

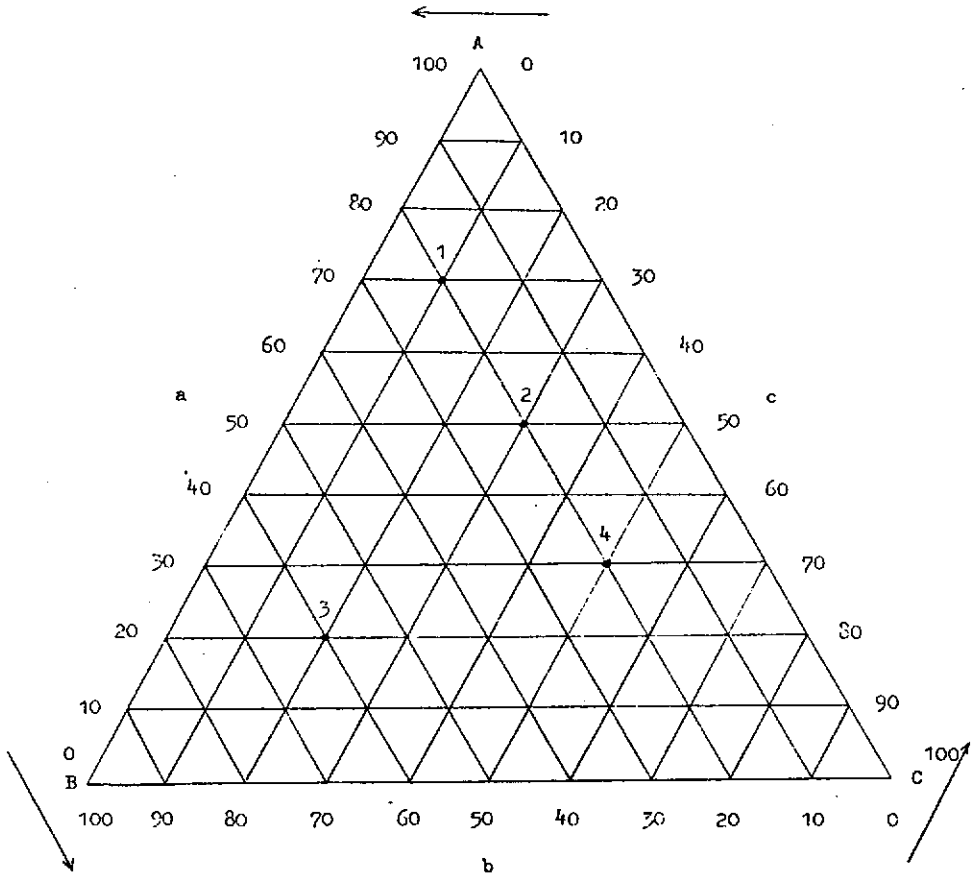
วิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ค่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นนั้นสามารถหาได้โดยการคำนวณจากสูตรทางเคมี หรือคำนวณจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอเฉพาะวิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เท่านั้น วิธีการหาค่าอัตราส่วนผสมโดยวางวัตถุดิบไว้ตรงมุมของแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าแล้วอ่านค่าออกมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละตัวที่รวมกันอยู่ในแต่ละจุดบนแผนภาพ ซึ่งเป็นวิธีการทดลองแบบสุ่มเอาหลาย ๆ จุด และเลือกเอาเฉพาะจุดที่ได้ผลดีมาใช้งาน วิธีการหาค่าของอัตราส่วนในแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า มีดังนี้คือ (ดูภาพประกอบ 1 ให้ A, B, C เป็นวัตถุดิบ 3 ชนิด

การหาค่าของวัตถุดิบ A ให้อ่านค่าตามแกนนอน (←——) ที่ด้าน a

การหาค่าของวัตถุดิบ B ให้อ่านค่าตามแกนเฉียงลง (↘) ที่ด้าน b

การหาค่าของวัตถุดิบ C ให้อ่านค่าตามแกนเฉียงขึ้น (↗) ที่ด้าน c

ค่าของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ที่อ่านได้ในแต่ละจุดของแผนภาพนี้ เมื่อรวมกันแล้วจะต้องได้ 100 พอดี ถ้าหากรวมกันแล้วได้มากกว่าหรือน้อยกว่า 100 แสดงว่า อ่านค่าใดค่าหนึ่งผิด



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า และจุดต่าง ๆ ที่อยู่บนแผนภาพ

จากภาพประกอบ 1 แสดงให้เห็นว่า จุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ A, B และ C ในแต่ละจุดตามตาราง 1

ตาราง 1 แสดงค่าของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่อ่านได้ของแต่ละจุดที่อยู่บนแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ในภาพประกอบ 1

จุดที่	วัตถุดิบ A	วัตถุดิบ B	วัตถุดิบ C	รวม
1	70	20	10	100
2	50	20	30	100
3	20	60	20	100
4	30	20	50	100

(Hopper. 1984 : 67 - 72)

3. การเตรียมเนื้อดินปั้นและหลักในการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

การเตรียมเนื้อดินปั้น หมายถึง การผสมดินกับวัตถุดิบชนิดอื่น โดยมีเป้าหมายที่แน่นอนว่าจะทำผลิตภัณฑ์ชนิดใด เพื่อให้เนื้อดินปั้นมีคุณสมบัติตามต้องการ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 77) ในทางปฏิบัติเราถือกันว่า การเตรียมเนื้อดินปั้นเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา ซึ่งจะต้องวางหลักการอันแน่นอนว่าจะทำผลิตภัณฑ์ประเภทใด ชนิดใด และจะปรับปรุงคุณสมบัติอย่างไรจึงจะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำ ดังนั้น ผู้ที่จะเตรียมเนื้อดินปั้นจึงจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของดิน และคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะใช้ผสมทำเนื้อดินปั้น ตลอดจนวัตถุประสงค์ของการเตรียมเนื้อดินปั้น

วัตถุประสงค์ของการเตรียมเนื้อดินปั้น โดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ

1. เพื่อเปลี่ยนแปลงสี หรือพื้นผิวภายหลังการเผา
2. เพื่อเปลี่ยนแปลงความเหนียวของเนื้อดินปั้น ให้มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นหรือลดน้อยลง

3. เพื่อลดการหดตัวของเนื้อดินปั้น หรือเพื่อพัฒนาให้เนื้อดินปั้นมีการบิดงอ หรือแตกร้าวน้อยที่สุด

4. เพื่อเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิในการเผาของเนื้อดินปั้น ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น หรือต่ำลง หรือเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อดินในระดับอุณหภูมิที่ต้องการเผา

5. เพื่อเปลี่ยนแปลงเนื้อดินให้เหมาะสมกับวิธีการขึ้นรูป และน้ำเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ (Rhodes. 1973 : 27)

<u>การเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์</u> เริ่มด้วยการตั้งข้อกำหนดที่เกี่ยวกับเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ต้องการจะทำ เช่น

1. ต้องการนำเนื้อดินปั้นไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทใด
2. ผลิตภัณฑ์ที่จะทำใช้อุณหภูมิในการเผาเท่าไร
3. ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่น หรือความสามารถในการดูดซึมน้ำได้เท่าไร
4. ต้องการให้เนื้อของผลิตภัณฑ์มีสีอะไร
5. ต้องการให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความละเอียดหรือหยาบ (Rhodes. 1973 : 29)

เมื่อทราบข้อกำหนดดังกล่าวแล้ว จึงทำการตรวจสอบคุณสมบัติของดินว่าขาดคุณสมบัติข้อใด หรือมีข้อบกพร่องที่จะต้องปรับปรุงอะไรบ้าง แล้วจึงดำเนินการเตรียมหรือปรับปรุงเนื้อดินปั้น ตามหลักการเตรียมเนื้อดินปั้น ซึ่งจะนำเสนอเฉพาะหลักในการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์เท่านั้น

<u>หลักในการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์</u> หรือการปรับปรุงเนื้อดินปั้นให้มีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ตามต้องการนั้น มีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

1. เนื้อดินมีความเหนียวมากเกินไป ทำให้เป็นปัญหาต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และมีผลให้การหดตัวของเนื้อดินมากเกินไป ผลิตภัณฑ์อาจแตกเสียหายในขณะแห้งหรือเผาได้ง่าย โดยปกติเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จะมีการหดตัวหลังการเผาอยู่ในช่วงร้อยละ 13 - 20 ซึ่งจะเหนียวพอที่จะ

ใช้ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้ วิธีการลดความเหนียวของดินลงโดยการเติมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้น ซึ่งได้แก่ ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน หรือดินเชื้อ เป็นต้น

2. เนื้อดินมีความเหนียวน้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ วิธีการเพิ่มความเหนียวโดยการเติมวัตถุดิบที่มีความเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้น ซึ่งได้แก่ ดินเหนียว ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเหนียวและความแข็งแกร่งให้แก่เนื้อดินปั้น ดินเหนียวบางแหล่งอาจมีความเหนียวมาก ฉะนั้นจึงควรใช้ในปริมาณน้อย การใช้ดินเหนียวผสมในเนื้อดินปั้นโดยปกติจะใช้ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 40

3. เนื้อดินอาจหลอมเป็นแก้วหรืออาจบิดงอ เสียรูปทรง มีผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการยุบตัวเมื่อเผา ซึ่งหมายความว่าเนื้อดินปั้นมีจุดหลอมละลายต่ำ วิธีการปรับปรุงแก้ไขโดยลดอุณหภูมิที่เผาให้ต่ำลง หรือเพิ่มวัตถุดิบที่มีความทนไฟ เช่น ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และดินทนไฟ เป็นต้น ลงไปในเนื้อดินปั้น

4. เนื้อดินเมื่อเผาแล้วภายนอกอ่อน โปร่ง ไม่แน่น สามารถดูดซึมน้ำได้และร่วนเหมือนชอล์ก แสดงว่าเผายังไม่ถึงจุดสุกตัวของเนื้อดิน แก้ไขโดยเพิ่มอุณหภูมิในการเผาหรือเพิ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติช่วยในการหลอมละลายลงในเนื้อดินปั้น ซึ่งได้แก่ หินฟันม้า ดินแดง หรือฟริต (Frit) เพื่อช่วยลดจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นให้มีอุณหภูมิของจุดสุกตัวต่ำลง โดยปกติจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จะอยู่ในช่วง 1,190 - 1,390 องศาเซลเซียส (โคนหมายเลข 6 - หมายเลข 14) และมีความพรุนตัวไม่เกินร้อยละ 5

5. เนื้อดินเมื่อเผาแล้วมีสีเข้มหรืออ่อนกว่าที่ต้องการ ถ้าเนื้อดินที่เผาแล้วมีสีเข้มเกินไปอาจใช้ดินขาว หรือดินเหนียวขาวผสมลงไปในเนื้อดินปั้น จะช่วยทำให้เนื้อดินปั้นมีสีอ่อนลงได้ ถ้าต้องการให้เนื้อดินมีสีเข้มขึ้น อาจใช้ดินแดงหรือดินเอิทเธนแวร์ หรือออกไซด์ที่ให้สี เช่น เหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide) แมงกานีสออกไซด์ (Manganese Oxide) เป็นต้น ผสมลงในเนื้อดินปั้นจะช่วยให้เนื้อดินมีสีต่าง ๆ (Rhodes. 1959 : 45 - 52)

จากการศึกษาหลักในการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ดินปากเกร็ดซึ่งมีข้อบกพร่องดังกล่าวไว้ในบทที่ 1 แล้วนั้น สิ่งที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เนื้อดินมีคุณสมบัติ

เป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส มีความเหนียวที่สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับ เช่น แจกัน และผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น ชุดอาหารได้ เนื้อดินปั้นเมื่อเผาแล้วจะมีการหดตัวร้อยละ 13 - 20 มีความพรุนตัวไม่เกินร้อยละ 3 ฉะนั้นการปรับปรุงดินปากเกร็ดตามหลักการเตรียมเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จึงได้แก่

1. ลดความเหนียวของเนื้อดินลง ซึ่งจะช่วยให้การหดตัวของเนื้อดินลดน้อยลงด้วย
2. เพิ่มจุดสุกตัวหรือจุดหลอมละลายของเนื้อดินปั้นให้สูงขึ้น
3. เพิ่มความแข็งแกร่งให้แก่เนื้อดินปั้น

เมื่อทราบถึงข้อกำหนดที่จะต้องแก้ไขเนื้อดินปั้นแล้ว ผู้วิจัยจะต้องศึกษาดูว่า วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์แต่ละตัวมีคุณสมบัติอย่างไร เพื่อให้สามารถเลือกใช้วัตถุดิบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อการปรับปรุงเนื้อดินให้มีคุณสมบัติตามต้องการ

4. <u>การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้น</u>

การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้น มีความสำคัญมากทำให้สามารถจำแนกชนิดของเนื้อดินปั้นได้ว่า เป็นเนื้อดินปั้นชนิดไหน ซึ่งมีคุณสมบัติที่จะต้องทดสอบดังนี้

1. <u>ความแข็งแรงของดิน</u> (Modulus of Rupture) ความแข็งแรงของดินเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกระทบ หรือแรงกดต่อดินที่ขึ้นรูปแล้ว ดินที่มีความแข็งแรงเมื่อแห้งจะไม่เปราะ สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก โดยทั่วไปดินที่มีความเหนียวมากจะมีความแข็งแรงมาก เมื่อขึ้นรูปและผึ่งให้แห้ง ซึ่งมีวิธีการทดสอบความแข็งแรงของดินดังนี้ คือ

1.1 นำดินที่นวดแล้วมาทำเป็นชิ้นทดลอง ให้มีขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร

1.2 ผึ่งชิ้นทดลองให้แห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (205 องศาฟาเรนไฮต์)

1.3 นำแท่งทดลองไปอัดให้หักโดยใช้เครื่องมือทดสอบ ดังภาพประกอบ 2

1.4 จดบันทึกแรงกดที่ทำให้แท่งทดลองหัก แล้วนำไปคำนวณหาค่าความแข็งแรงโดยใช้สูตรของ ซิงเกอร์

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

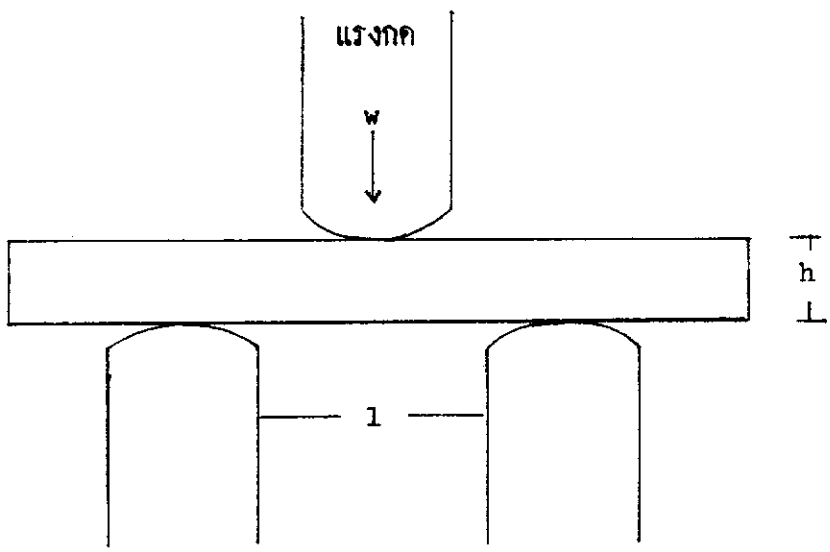
ให้ R = ค่าความแข็งแรงของดิน

W = แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดลองหัก

l = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง

b = ความกว้างของชิ้นทดลอง

h = ความหนาของชิ้นทดลอง



ภาพประกอบ 2 แสดงการกดน้ำหนักลงบนชิ้นทดลองด้วยเครื่องมือทดสอบความแข็งแรง

2. <u>ทดสอบการหดตัวของเนื้อดินปั้น</u> (Firing Shrinkage) เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวมากย่อมเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตก การงอ และการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ การหดตัวของเนื้อดินปั้นที่จัดเป็นมาตรฐาน คือ เนื้อดินปั้นภายหลังการเผาแล้วจะหดตัวประมาณร้อยละ 15 - 20 การทดสอบการหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังการเผาสามารถกระทำได้ดังนี้

2.1 นำเนื้อดินปั้นที่นวดแล้วมาทำเป็นชิ้นทดลอง โดยวัดเป็นความยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร หนา 1.5 เซนติเมตร

2.2 ทำเครื่องหมายบนผิวชิ้นทดลอง โดยวัดเป็นความยาว 10 เซนติเมตร

2.3 นำชิ้นทดลองไปผึ่งให้แห้ง แล้วนำเข้าเผาตามอุณหภูมิที่กำหนด

2.4 วัดความยาวของเครื่องหมายบนชิ้นทดลองที่ทำไว้ ภายหลังจากที่เผาแล้วครั้งหนึ่ง

2.5 คำนวณโดยใช้สูตรของเคนนี่ (Kenny. 1949 : 159)

$$\text{เปอร์เซนต์การหดตัว} = \frac{\text{จำนวนความยาวดินเปียก} - \text{จำนวนความยาวดินแห้ง}}{\text{จำนวนความยาวของดินเปียก}} \times 100$$

3. <u>การทดสอบความพรุนตัวของเนื้อดินปั้น</u> (Porosity) เป็นคุณสมบัติที่จะช่วยให้เราทราบว่าเนื้อดินปั้นนั้นเผาถึงจุดสุกตัว (Vitrification) หรือไม่ เนื้อดินปั้นที่มีความพรุนตัวมากจะดูดซึมน้ำได้มาก เนื้อดินปั้นที่มีความพรุนตัวน้อยก็จะดูดซึมน้ำได้น้อย มาตรฐานความพรุนตัวของเนื้อดินปั้นโดยทั่วไป คือ เนื้อดินปั้นสโตนแวร์จะสามารถดูดซึมน้ำได้ประมาณร้อยละ 1 - 6 (Nelson. 1960 : 125) วิธีการหาเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น (Water Absorption) มีวิธีการดังนี้ คือ

3.1 นำชิ้นทดลองที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิที่กำหนดมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

3.2 นำชิ้นทดลองไปต้มในจุดน้ำเดือดนาน 2 ชั่วโมง และแช่ทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง

184793

3.3 นำชิ้นทดลองที่ตมแล้วมาเช็ดให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาจุดอิ่มตัวของชิ้นทดลอง จดบันทึกไว้

3.4 คำนวณหาเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น โดยใช้สูตรของเคนนี่ (Kenny. 1949 : 158)

$$\text{เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{จุดอิ่มตัว} - \text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง}}{\text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง}} \times 100$$

4. <u>ความทนไฟของเนื้อดินปั้น</u> (Refractory) มีวิธีการทดสอบดังนี้

4.1 นำดินที่เตรียมไว้มาทำชิ้นทดลองเป็นรูปโคน ให้มีขนาดเท่ากับโคนขนาดใหญ่ ตามมาตรฐานของเซกเกอร์ แล้วผึ่งให้แห้งสนิท

4.2 นำชิ้นทดลองเข้าเตาเผา ใช้ระดับอุณหภูมิในการเผาสูงจนชิ้นทดลองหลอมละลายล้มลงราบกับพื้น แล้วจึงปิดเตา จดบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ซึ่งจะเป็นค่าความทนไฟของดินที่นำมาทดสอบ

สำหรับการทดลองครั้งนี้จะเผาชิ้นทดลองในระดับอุณหภูมิตามที่กำหนด คือ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส เพื่อดูว่าอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ทดลองจะสามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิที่กำหนดได้หรือไม่เท่านั้น

5. <u>การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป</u> (Water of Plasticity) การขึ้นรูปด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปในแต่ละวิธีย่อมมากน้อยต่างกันด้วย ดังนั้นการหาปริมาณน้ำของเนื้อดินปั้นที่ใช้ขึ้นรูปด้วยมือหรือแป้นหมุน มีวิธีการดังนี้ คือ

5.1 ชั่งอัตราส่วนผสมจำนวน 500 กรัม ใส่บนกระจกที่เตรียมไว้

5.2 เติมน้ำลงไปในดินและใช้เกรียงคนให้ทั่ว พร้อมกับจดบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้เติมทั้งหมด

5.3 นวดดินจนกว่าจะขึ้นรูปได้

5.4 คำนวณโดยใช้สูตรของเคนนี่ (Kenny. 1949 : 156)

$$\text{เปอร์เซนต์ของน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป} = \frac{\text{จำนวนน้ำหนักของน้ำ}}{\text{จำนวนน้ำหนักของดินแห้ง}} \times 100$$

5. <u>วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์</u>

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วัตถุดิบที่มีความเหนียว (Plastic Raw Materials) ได้แก่ ดินชนิดต่าง ๆ และวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (Non Plastic Raw Materials) ได้แก่ หิน ทราย และแร่ธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของออกไซด์

5.1 <u>วัตถุดิบที่มีความเหนียว</u> ได้แก่ ดินชนิดต่าง ๆ นับเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากในการทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่ใช้ทำภาชนะใส่อาหาร (Table Ware) เครื่องสุขภัณฑ์ (Sanitary Ware) กระเบื้อง (Tiles) และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า (Insulators) เป็นต้น ดินเป็นสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminium Silicate) ที่มีสูตรทางเคมี คือ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ในแร่ดินธรรมชาติจะมีสารประกอบอื่น ๆ ปะปนอยู่มากมายที่เป็นสาเหตุทำให้ดินไม่บริสุทธิ์ สารเหล่านี้ได้แก่ ไมก้า (Mica) เหล็ก (Iron Oxide) เฮมาไทท์ (Hematite) และฟลูออไรท์ (Flourite) เป็นต้น ดินเกิดจากการแปรสภาพของหินฟันม้า โดยการผุพังเปลี่ยนสภาพเป็นดิน หรือการสลายตัวโดยการกระทำของน้ำ และสภาวะอากาศเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติที่ต่อเนื่องกันตลอดเวลา ปฏิกิริยาการแปรสภาพของหินฟันม้าที่กลายเป็นดิน เรียกว่า ปฏิกิริยา "เคโอลินไนเซชั่น" (Kaolinization) ดินแบ่งตามการเกิดออกเป็น 2 ชนิด คือ ดินที่เกิดในที่ราบสูงและที่ราบต่ำ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 58)

5.1.1 <u>ดินที่เกิดในที่ราบสูง</u> (Primary Clay or Residual Clay) ได้แก่

ดินขาว (Kaolin) เป็นผลึกที่บริสุทธิ์ มีส่วนประกอบทางเคมีเป็น $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ มีสีขาว หรือสีขาวหม่น มีความเหนียวน้อย หดตัวน้อย มีความแข็งแกร่งก่อนเผาน้อย ยุยตัวได้ง่าย ทนความร้อนได้สูง และมีความบริสุทธิ์สูง ดินขาวไม่สามารถใช้ขึ้นรูปได้โดยลำพัง ต้องนำไปผสมกับวัตถุดิบหรือดินชนิดอื่น แหล่งดินขาวที่พบในประเทศไทยที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผามีหลายแหล่งด้วยกัน ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง และดินขาวยะลา เป็นต้น

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกดินขาวเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่จะใช้ในการปรับปรุงดินปากเกร็ดให้มีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ เพราะดินขาวสามารถช่วยลดความเหนียว ลดการหดตัว เพิ่มความทนไฟ และความแข็งแกร่งหลังการเผาให้แก่ดินปากเกร็ดได้ และยังช่วยลดสีของดินปากเกร็ดให้อ่อนลงได้ด้วย ดินขาวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ดินขาวลำปาง เนื่องจากเป็นแหล่งดินที่มีปริมาณสำรองมาก มีความบริสุทธิ์สูง และเป็นที่นิยมใช้กันในวงการอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไป

5.1.2 <u>ดินที่เกิดในที่ราบต่ำ</u> (Secondary Clay or Sedimentary Clay) เป็นดินที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดินขาวที่ไหลเคลื่อนไปทับถมกันในที่ราบต่ำเป็นเวลานานนับพันปี เนื้อดินมีความละเอียด เหนียวดี พบในธรรมชาติมักมีสีเทา สีดำ เนื่องจากมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ เนื้อดินจึงมีความบริสุทธิ์ต่ำ (Norton. 1952 : 18) ดินที่เกิดในที่ราบต่ำมีหลายชนิด ได้แก่

5.1.2.1 <u>ดินเหนียว</u> (Ball Clay) เป็นดินที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับดินขาว มีเปอร์เซนต์ของเหล็กค่อนข้างสูง ทนความร้อนได้สูงถึง 1,300 องศาเซลเซียส (2,282 องศาฟาเรนไฮต์) เนื้อดินละเอียด มีความเหนียวดีมาก พบในธรรมชาติจะมีสีเทาสีดำ ไม่สามารถใช้ขึ้นรูปได้โดยลำพังต้องนำไปผสมกับวัตถุดิบหรือดินชนิดอื่น เมื่อนำไปเผาแล้วให้สีขาวและหดตัวมากกว่าดินขาว จึงนิยมใช้สำหรับเพิ่มความเหนียวให้แก่เนื้อดินปั้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อดินปั้นก่อนเข้าเตาเผา และช่วยทำให้เนื้อดินปั้นหลังการเผามี

เนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

ในการทดลองครั้งนี้ มุ่งที่จะพัฒนาดินปากเกร็ด ซึ่งเป็นดินที่มีความเหนียวมาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้ดินเหนียว เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น เพราะจะทำให้เนื้อดินปั้นมีความเหนียวเพิ่มขึ้น และมีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5.1.2.2 <u>ดินสโตนแวร์</u> (Stoneware Clay) เป็นดินที่ค่อนข้างเหนียว สามารถนำไปขึ้นรูปได้โดยสำพัง เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1,300 องศาเซลเซียส ดินสโตนแวร์ที่พบตามธรรมชาติจะมีสีเทาอ่อน เทาแก่ หรือน้ำตาลเข้ม บางทีก็มีผู้เรียกว่า ดินทนไฟ (Fire Clay) มีผู้นิยมนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ทนไฟ (Sagger) ที่ใช้สำหรับป้องกันเปลวไฟไปถูกผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาโดยตรง

เนื่องจากดินปากเกร็ดเป็นดินที่มีความเหนียวมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำดินสโตนแวร์ ซึ่งเป็นดินที่มีความเหนียวมาใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น

5.1.2.3 <u>ดินเอิร์ธเธนแวร์</u> (Earthenware Clay) เป็นดินที่พบโดยทั่วไปในธรรมชาติ มีส่วนผสมของเหล็กและด่าง เช่น แอลคะไล และแอลคะไลเอิร์ธ ค่อนข้างสูง ทนความร้อนได้สูงถึง 1,100 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะมีสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ และเทาแก่ มีความเหนียวดีมาก เมื่อนำไปขึ้นรูปจะต้องใช้ทรายหรือดินเชื้อ (Grog) ผสมลงไปเพื่อป้องกันการแตกร้าว หรือบิดงอ นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์พวกกระถางต้นไม้ ครก และหม้อดิน เป็นต้น ดินเอิร์ธเธนแวร์ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นเพื่อช่วยลดจุดสุกตัวของเนื้อดิน และช่วยทำให้เนื้อดินมีสีเข้มขึ้น ดินชนิดนี้ที่พบในธรรมชาติ ได้แก่ ดินปากเกร็ด ดินเหมืองกุง เป็นต้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 58 - 62) สำหรับการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะพัฒนาดินปากเกร็ดเนื่องจากเป็นแหล่งดินที่อยู่ใกล้และสามารถนำมาใช้ในการทดลองได้สะดวก

5.2 <u>วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว</u> ได้แก่ หินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการผสมเนื้อดินปั้น มีมากมายหลายชนิด ได้แก่

5.2.1 หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) เป็นสารที่เกิดจากการตกผลึกของซิลิกา (SiO_2) ที่ให้ซิลิกาสูงถึงร้อยละ 99 นับว่ามีความบริสุทธิ์สูงมาก มีความแข็งประมาณ 7 ความถ่วงจำเพาะ 2.7 มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,728 องศาเซลเซียส (3,140 องศาฟาเรนไฮต์) ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์จะใช้หินเขี้ยวหนุมานผสมเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ เพราะหินเขี้ยวหนุมานจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้แก่เนื้อดินปั้น ลดการหดตัวและป้องกันการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ เปลี่ยนสภาพเป็นแก้วได้ ทำให้เนื้อดินมีความแข็งแกร่งและโปร่งใสขึ้น แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ความเหนียวลดลงและเพิ่มความขยายตัว มีผลต่อการแตกร้าวเสียหายได้ ใช้ผสมในน้ำเคลือบจะทำให้เคลือบมีความแข็งเป็นแก้ว เป็นมัน และทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ทนไฟสูงเช่นกัน

วัตถุดิบที่ให้ซิลิกาสูงและสามารถนำมาใช้แทนหินเขี้ยวหนุมานได้ ได้แก่ กรวด (Granite) หินทราย (Sand Stone) ทราย (Sand) แต่ความสะอาดสดใสอาจไม่เท่ากับหินเขี้ยวหนุมาน การทดลองในครั้งนี้จึงเลือกใช้หินเขี้ยวหนุมาน ซึ่งจะช่วยให้ดินปากเกร็ดมีความแข็งแกร่ง และลดการหดตัวของเนื้อดินปั้น แหล่งหินเขี้ยวหนุมานที่พบ ได้แก่ หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี หินเขี้ยวหนุมานระยอง และหินเขี้ยวหนุมานสงขลา เป็นต้น แต่ผู้วิจัยได้เลือกใช้เฉพาะแหล่งหินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีปริมาณสำรองมาก มีคุณภาพดี และเป็นแหล่งที่นิยมใช้กันในวงการอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา

5.2.2 หินฟันม้า (Feldspar) เป็นวัตถุดิบสำคัญใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายในอุณหภูมิสูง ช่วยละลายวัตถุดิบอื่นให้มีอุณหภูมิในการเผาต่ำลง หินฟันม้าเป็นสารประกอบของ แอลคะไลน์อลูมิเนียมซิลิเกต (Alkalines Aluminium Silicate) ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต มีลักษณะทั่วไปทึบแสง พบในธรรมชาติมีทั้งสีขาวและสีชมพู หินฟันม้าที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ

5.2.2.1 หินฟันม้าชนิดโปแตส (Potass Feldspar) มีสูตรทางเคมี

คือ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบโปแตสเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Potassium Aluminium Silicate) มีจุดหลอมละลายประมาณ 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี

5.2.2.2 <u>หินฟันม้าชนิดโซดา</u> (Soda Feldspar) ได้แก่ หินอัลไบท์ (Albite) มีสูตรทางเคมี คือ $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบของโซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Sodium Aluminium Silicate) เป็นผลึกสีเทา หรือสีขาวขุ่น ใช้ผสมในน้ำเคลือบไฟสูง เพื่อช่วยลดอุณหภูมิ หินฟันม้าชนิดนี้ช่วยทำให้อุณหภูมิของเคลือบต่ำกว่า หินฟันม้าชนิดโปแตส

5.2.2.3 <u>หินฟันม้าชนิดแคลเซียม</u> (Calcium Feldspar) ได้แก่ หินไลมสปาร์

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยมิได้เลือกใช้หินฟันม้าเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น เนื่องจากหินฟันม้ามีแอลคะไลน์ เช่น โปแตสเซียม โซเดียม และแคลเซียม เป็นสารประกอบที่จะช่วยลดอุณหภูมิให้แก่เนื้อดินปั้น ซึ่งดินปากเกร็ดก็มีแอลคะไลน์เป็นสารประกอบเช่นเดียวกัน จึงไม่ต้องการใช้วัตถุดิบที่มีแอลคะไลน์ ซึ่งจะทำให้เนื้อดินมีแอลคะไลน์เพิ่มมากขึ้น แต่ผู้วิจัยเลือกใช้หินฟันม้าชนิดโปแตสเป็นส่วนผสมของน้ำเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ทำการทดลองในครั้งนี้

5.2.3 <u>หินปูน</u> (Lime Stone or Whiting) เป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา นิยมใช้เป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบ ส่วนในเนื้อดินปั้นใช้น้อยมาก เพราะถ้าใส่มากเกินไปจะเกิดผลเสีย ทำให้เนื้อดินยุบตัวเนื่องจากหินปูนทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย หินปูนเป็นสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) มีสูตรทางเคมี คือ $CaCO_3$ หินปูนมีความแข็ง 2.3 ความถ่วงจำเพาะ 2.7 ใช้ผสมในน้ำเคลือบจะช่วยให้เคลือบมีความแข็งแกร่ง และเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในเคลือบไฟสูง ช่วยให้เคลือบมีความคงทนต่อกรด เป็นวัตถุดิบที่สามารถทนความร้อนได้สูง หากไม่นำไปผสมกับวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและกลาง

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้หินปูนเป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบเท่านั้น เพราะจะช่วยให้เคลือบมีความแข็งแกร่ง

5.2.4 ทัลค์หรือแทลคัม (Talc or Talcum) เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium Silicate) มีสูตรทางเคมี คือ $3MgO \cdot 4SiO \cdot H_2O$ มีความแข็ง 2 ความถ่วงจำเพาะ 2.8 มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,490 องศาเซลเซียส มีการหดตัวน้อยมาก ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยให้เนื้อดินมีความคงทนต่อการหดขยายตัว และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วได้ดี และเป็นตัวช่วยในการหลอมละลาย และมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ช่วยป้องกันการรานตัว (Crazing) ให้แก่เคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวเมื่อชิ้นนิยมใช้เป็นส่วนผสมในการทำกระเบื้องบุผนัง ใช้ในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้แก่เนื้อดินปั้นเมื่อเผาแล้ว แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากจะทำให้เนื้อดินมีความทนไฟต่ำ และมีความเหนียวลดลงยากแก่การขึ้นรูป แทลคัมมีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

ซิลิกา	ร้อยละ	63.50
แมกนีเซียม	ร้อยละ	31.70
น้ำ	ร้อยละ	4.80 (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 62 - 65)

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้แทลคัมเป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในปริมาณเล็กน้อย เพื่อช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้แก่เนื้อดินและช่วยให้เนื้อดินมีการหดตัวและขยายตัวต่ำ ทำให้เนื้อดินทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี

จากการศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ประเภทที่มีความเหนียวและไม่มีความเหนียว ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นนั้น เป็นข้อมูลสำหรับผู้วิจัยในการเลือกใช้วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการทดลองเพื่อพัฒนาดินปากเกร็ดให้มีคุณภาพดีขึ้น วัตถุดิบที่เลือกใช้ประกอบไปด้วย

1. ดินขาว เป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศ โดยเฉพาะดินขาวลำปาง ซึ่งมีปริมาณสำรองมาก และเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นดิน

ที่มีคุณภาพดี และมีคุณสมบัติที่จะช่วยปรับปรุงหรือพัฒนาดินปากเกร็ดให้มีคุณภาพดีขึ้นได้ คือ มีเนื้อหยาบ มีความเหนียวน้อย ซึ่งจะช่วยลดความเหนียวและการหดตัวของดินปากเกร็ดได้ มีความทนไฟสูงที่จะช่วยเพิ่มความทนไฟให้แก่ดินปากเกร็ด และยังช่วยให้ดินปากเกร็ดมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้นอีกด้วย

2. หินเชื้ยวหนุมาน เป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศ และให้ซิลิกาสูงถึงร้อยละ 99 โดยเฉพาะหินเชื้ยวหนุมานจันทบุรี ซึ่งเป็นแหล่งที่มีปริมาณสำรองมาก มีคุณภาพดี และเป็นที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา หินเชื้ยวหนุมานจะช่วยให้ดินปากเกร็ดมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เป็นโครงสร้างป้องกันการหดตัวและการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อดินมีความแข็งแกร่งและทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีขึ้น

3. แทลคัม เป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศ ใช้ในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยให้ดินปากเกร็ดมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้ความพรุนตัวน้อยลง และช่วยให้เนื้อดินมีการหดตัวขยายตัวต่ำ ทำให้เคลือบจับติดผิวเนื้อดินได้ดี และทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ในการทดลองครั้งนี้ ในอัตราส่วนผสมคงที่ร้อยละ 2 ในแต่ละอัตราส่วนผสม

6. แหล่งวัตถุดิบภายในประเทศที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

6.1 ดินขาวลำปาง เป็นดินขาวที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเขาปางค่า ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง อยู่ทางทิศตะวันออกของเส้นทางหลวงลำปาง - แจ้ห่ม ตรงหลักกิโลเมตรที่ 26 และบริเวณเขาป่าขาม ตรงหลักกิโลเมตรที่ 28 ห่างจากเส้นทางหลวงเข้าไปประมาณ 2 กิโลเมตร ทั้งสองแหล่งเกิดจากการยุพังสลายตัวของหินฟันม้าในหินภูเขาไฟ (Liperite) การสลายตัวยังไม่สมบูรณ์ดี จึงมีปริมาณหินแข็งปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก ดินขาวลำปางมีปริมาณสำรองมาก มีคุณภาพดี และเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไป (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 2.38)

6.2 <u>ดินปากเกร็ด</u> เป็นดินที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติอยู่ในบริเวณที่ลุ่มห้องนา ในท้องที่หมู่บ้านบางพูดและบางพัง ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ซึ่งต้องเปิดหน้าดินลึกประมาณหนึ่งเมตร จึงจะถึงชั้นดินที่มีคุณสมบัติใช้ทำเครื่องปั้นดินเผาได้ ดินแหล่งนี้มีความเหนียวมาก ส่วนประกอบของดินมีปริมาณของเหล็กและแอลคะไลน์สูง (กรมวิทยาศาสตร์. ม.ป.ป. : 6 - 7)

6.3 <u>หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี</u> เป็นหินเขี้ยวหนุมานที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเขาหินแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี อยู่หลักกิโลเมตรที่ 323.5 ถนนสุขุมวิท เลี้ยวทางซ้ายมือเข้าไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีทั้งชนิดสีขาวและสีชมพู เป็นแหล่งที่มีปริมาณสำรองมาก มีคุณภาพดี เป็นแหล่งที่โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาส่วนมากนิยมใช้ (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 2.48)

6.4 <u>หินฟันม้าราชบุรี</u> เป็นหินฟันม้าที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเขาสวนผึ้ง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี หินฟันม้าแหล่งนี้มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณภาพดี เป็นหินฟันม้าชนิดโปแตส (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 2.46)

6.5 <u>หินปูนราชบุรี</u> เป็นหินปูนที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตเขาบ้านบ่อ อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 2.46)

6.6 <u>แทลคัม</u> เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ไม่เฉพาะเจาะจงว่ามาจากแหล่งใด แต่ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาโดยทั่วไป เป็นชนิดที่ผลิตในทางการค้า

6.7 <u>แบเรียมออกไซด์</u> (Barium Oxide) เป็นออกไซด์ของโลหะที่ผลิตใช้ในทางการค้าทั่วไป

จากการศึกษาแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ สามารถสรุปเป็นผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละแหล่งได้ดังตารางที่ 2 เพื่อนำไปใช้คำนวณเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์

ทางเคมีของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ผลิตในประเทศต่าง ๆ

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	L.I.O.
						(2.5)		
ดินขาวลำปาง*	51.2	36.4	1.4	1.1	2.1			5.3
ดินปากเกร็ด**	60.6	22.37	4.46	0.27	0.32	2.12	-	8.4
หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี*	98.90	0.80	0.10	0.05	0.09	-	-	0.05
หินฟันม้าราชบุรี*	65.20	20.40	1.00	1.70	-	6.70	1.50	1.50
แหลคัม***	63.50	-	-	-	31.70	-	-	น้ำ 4.80

*(กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 2.46 - 2.48)

**(นรงค์ ฉิมพาลี. 2534 : อัดสำเนา)

***(โกมล รักษ์วงศ์. 2532 : 28)

เมื่อทราบข้อบกพร่องของดินปากเกร็ดที่จะต้องปรับปรุงหรือพัฒนา และกำหนดวัตถุดิบที่จะใช้ในการปรับปรุงดินปากเกร็ดแล้ว สิ่งจำเป็นที่ผู้วิจัยควรได้ศึกษาและทำความเข้าใจก็คือ อิทธิพลความร้อนที่มีต่อเนื้อดินปั้นและวัตถุดิบในเนื้อดินปั้น ตลอดจนองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสุกตัวของเนื้อดินปั้นหรือเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ผู้วิจัยสามารถกำหนดรายละเอียดในการเผาผลิตภัณฑ์ได้ เช่น การให้ความร้อนในแต่ละช่วงของการเผา ระยะเวลาในการเผา และการปล่อยให้เย็นตัว เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาได้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับปรับปรุงการเผาครั้งต่อไป

7. อิทธิพลของความร้อนที่มีต่อเนื้อดินปั้นและวัตถุดิบในเนื้อดินปั้น

เนื้อดินปั้นจะประกอบไปด้วย ดิน หิน และแร่ ซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนการเผา ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวัตถุดิบเหล่านี้ ขณะที่เนื้อดินปั้นถูกเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญทำให้ทราบว่าวัตถุดิบเหล่านี้เมื่อถูกเผาแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีคุณสมบัติอย่างไร เนื้อผลิตภัณฑ์เมื่อเผาถึงจุดสุกตัวแล้วจะมีเนื้อเป็นแก้วเกิดขึ้นภายในนั้นเกิดขึ้นอย่างไร กระบวนการเผาอาจแยกได้หลายขั้นตอนตามอุณหภูมิต่าง ๆ ขั้นตอนเหล่านี้จะเกิดต่อเนื่องกันจนไม่สามารถแยกแต่ละขั้นตอนให้เด่นชัดได้ ขั้นตอนในการเผาและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากความร้อนในการเผามีดังนี้ คือ

7.1 การอบแห้งที่สมบูรณ์ ขั้นตอนนี้จะเป็นการขจัดความชื้นที่อยู่บนผิวของอนุภาคในเนื้อดินปั้น ที่ยังคงหลงเหลืออยู่หลังจากการปล่อยหรืออบผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปใหม่ให้แห้ง ซึ่งน้ำจะเริ่มระเหยตั้งแต่อุณหภูมิ 100 - 150 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้งสนิทที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำนอกโมเลกุลของดินจะระเหยออกไปหมด (ตามปกติดินจะมีน้ำอยู่ 2 ชนิด คือ น้ำในโมเลกุล ได้แก่ น้ำที่เป็นโครงสร้างของโมเลกุลของดินและน้ำนอกโมเลกุล ซึ่งเป็นน้ำที่ช่วยให้ดินเกิดความเหนียว) การเผาในช่วงนี้ถ้าหยุดการเผาแล้วยังสามารถนำดินไปผสมน้ำให้ดินยุ่ยตัว และมีความเหนียวเหมือนอย่างเดิมได้

7.2 การเผาไหม้พวกอินทรีย์สารและการขจัดน้ำในดิน ดินทุกชนิดจะมีอินทรีย์สารเจือปนอยู่ในรูปของลิกไนท์เสมอ อินทรีย์สารเหล่านี้จะเกิดการเผาไหม้รวมตัวกับออกซิเจนตั้งแต่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (372 องศาฟาเรนไฮต์) และเมื่อถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส (838 องศาฟาเรนไฮต์) ดินจะเริ่มสูญเสียน้ำในโครงสร้างของโมเลกุล ทำให้เกิดความแข็งและไม่สามารถยุ่ยตัวได้อีกต่อไป โครงสร้างของผลึกจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเมตะเคโอลิน (Metakaolin) ที่มีโครงสร้างจาก $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ เปลี่ยนไปเป็น $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ที่ทำให้เกิดการหดตัว และมีรูพรุนเกิดขึ้นในโครงสร้าง หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากมีการเรียงตัวใหม่ของอะตอมในหนึ่งหน่วย จนกระทั่งอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

โมเลกุลของน้ำจึงถูกขจัดออกไปหมด อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จะเกิดการประสานเนื้ออนุภาคเข้าด้วยกัน การหดตัวจะลดน้อยลงอีกเรื่อย ๆ ถ้าหากดำเนินการเผาต่อไป อนุมูลของคาร์บอเนตและซัลเฟตจะสลายตัวออก สีของดินจะเปลี่ยนไป น้ำหนักลดลงและขนาดเล็กลงด้วย

7.3 <u>การเปลี่ยนแปลงของหินเชื้อวหนุมาน</u> หินเชื้อวหนุมานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของซิลิก้าในช่วงอุณหภูมิ 560 - 580 องศาเซลเซียส (1,043 - 1,080 องศาฟาเรนไฮต์) ทำให้เกิดการขยายตัวออก มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวเช่นกัน และหลังจากนั้นจะหดตัวไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดสุดตัว การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ควอซอินเวอร์ชั่น (Quartz Inversions) และที่อุณหภูมิ 980 องศาเซลเซียส (1,825 องศาฟาเรนไฮต์) ในเนื้อดินจะมีการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่เกิดเป็นผลึกรูปเข็ม (Spinal) เป็นมูลไลท์ขนาดเล็ก ๆ

7.4 <u>การเกิดแก้ว</u> หินฟันม้าเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส จะมีแก้วเกิดขึ้น แก้วนี้จะเกิดตามบริเวณรอบอนุภาคของหินฟันม้าซึ่งผสมกับเนื้อดิน นอกจากนี้แก้วอาจเกิดจากการหลอมตัวของไม้กา ซึ่งเจือปนมากับดิน เมื่อเผาสูงขึ้นไปอีกปริมาณจะมากขึ้น หินฟันม้าจะหลอมบริเวณที่มีช่องกพร่อง เช่น รอยแตกร้าว ดังนั้น หินฟันม้าส่วนที่เป็นของแข็งก็จะเล็กลง เมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นหินฟันม้าจะหลอมตัวหมดเกิดเป็นแก้วขึ้นในเนื้อดิน ซึ่งตามทฤษฎีที่จะเกิดแก้วคือ อุณหภูมิ 1,550 องศาเซลเซียส (2,888 องศาฟาเรนไฮต์) แต่ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ในเนื้อดินนั้น เช่น การแพร่ตัวของพวกแอลคะไลน์ การละลายของดินและหินเชื้อวหนุมานในเนื้อแก้วจะขึ้นอยู่กับขนาดของดินและหินเชื้อวหนุมาน ซึ่งถ้ามีขนาดเล็กก็อาจละลายได้หมดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามรายละเอียดในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดสุกตัวหรืออุณหภูมิสูงสุดของการเผาผลิตภัณฑ์ กับเปอร์เซนต์ของแก้ว มูลไลท์ และหินเขี้ยวหนุมานที่เกิดขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	เปอร์เซนต์ ของแก้ว	เปอร์เซนต์ ของมูลไลท์	เปอร์เซนต์ ของหินเขี้ยวหนุมาน
1,200	56	19	25
1,300	62	22	16
1,400	68	22	10

(ปรีดา พิมพ์ชาวชำ. 2532 : 270)

จากตาราง 3 แสดงให้เห็นว่า เนื้อดินปั้นเมื่อถูกเผาในอุณหภูมิที่สูงขึ้นปริมาณของแก้วที่เกิดจะมากขึ้นไปด้วย และกลับทำให้ปริมาณของหินเขี้ยวหนุมานที่หลงเหลืออยู่ลดน้อยลง

7.5 <u>การเกิดมูลไลท์</u> มูลไลท์ที่มีผลึกรูปเข็มเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ

7.5.1 มูลไลท์ที่เกิดจากการแยกผลึกออกมาจากดิน ซึ่งมีขนาดของผลึกเล็กมาก

7.5.2 มูลไลท์ที่เกิดจากการตกผลึกออกมาของหินฟันม้าหรือหินเขี้ยวหนุมาน มูลไลท์จะละลายได้ดีในเนื้อแก้วที่มีซิลิกาสูง

การเกิดผลึกรูปเข็มของมูลไลท์ในเนื้อดินปั้นจะมีส่วนช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแกร่ง ผลึกรูปเข็มนี้จะฝังตัวอยู่ในเนื้อแก้ว ทำตัวเปรียบเสมือนเป็นเหล็กเส้นในคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น การพัฒนามูลไลท์ให้เกิดขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งจำเป็น แอลคะไลน์จะช่วยให้มูลไลท์สลายตัวเป็นอลูมินาและแก้วได้ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ปฏิกิริยาจะช้าลงหรือหยุดได้เมื่อมีซิลิกามากเกินพอ

7.6 <u>การหดรัดตัวทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น</u> ความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อยที่สุดระหว่างอุณหภูมิ 1,100 - 1,200 องศาเซลเซียส และจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของรูพรุน รูพรุนนี้เกิดจากก๊าซซึ่งมาจากน้ำ คาร์บอเนต และซัลเฟต หรือเกิดจากการเผาไหม้ของคาร์บอน รูพรุนที่กล่าวนี้จะซ่อนตัวอยู่ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ ไม่เชื่อมต่อถึงภายนอก ส่วนรูพรุนอีกชนิดหนึ่งเกิดจากฟองอากาศที่ถูกกักอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จใหม่ ๆ และเชื่อมต่อกับภายนอกได้ ในระหว่างการเผาไม่อาจเชื่อมโยงรูพรุนเหล่านี้ให้ปิดสนิทได้ แต่สามารถลดรูพรุนชนิดนี้ลงได้ด้วยการควบคุมสภาวะการเผาให้ช้าลง ซึ่งจะทำให้เนื้อแก้วที่เกิดขึ้นประสานตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดความตึงผิวของเนื้อแก้วที่พยายามทำตัวให้มีพื้นผิวน้อยที่สุดจนทำให้เกิดมีความดันภายใน และทำให้ก๊าซที่อยู่ในรูพรุนเชื่อมโยงถึงด้านนอกถูกขจัดออกมาได้ง่าย โดยการเคลื่อนตัวออกมาตามรูพรุนที่มีระบบคล้ายหลอดที่เป็นรูเข็มเล็ก ๆ ส่วนก๊าซที่ซ่อนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์จะถูกขจัดออกมาโดยการแพร่ออกมาทางเนื้อแก้วเท่านั้น

7.7 <u>การเสียรูประหว่างทำการเผา</u> เนื้อผลิตภัณฑ์ที่จะเป็นแก้ว คือ เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซนต์เนื้อแก้วสูง มีแนวโน้มจะเสียรูปได้ง่ายระหว่างทำการเผาที่จุดสุกตัว ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากน้ำหนักตัวของผลิตภัณฑ์เอง การแก้ปัญหานี้โดยการรองรับผลิตภัณฑ์ให้ดีก่อนนำเข้าเตาเผา การยุบตัวของผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะการเคลื่อนตัวของของที่มีความเหนียว ซึ่งเกิดจากการย้อนตัวของเนื้อแก้ว เป็นการยากที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนน้อยและมีความแข็งแรงสูง ฉะนั้นการแก้ปัญหาการสูญเสียระหว่างการเผาที่ดีที่สุด คือ การรองรับผลิตภัณฑ์ที่ดี (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 267 - 275)

การทดลองครั้งนี้จะต้องเผาเนื้อดินปั้นที่อยู่ในขั้นของการเผาผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ จึงต้องให้ความร้อนอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก เพื่อให้อินทรีย์สารถูกเผาไหม้หมดไป และในช่วงอุณหภูมิ 560 - 580 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่หินเขี้ยวหนุมานขยายตัว อาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกได้ นอกจากนี้การให้ความร้อนอย่างช้า ๆ ก่อนถึงระดับอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส จะช่วยให้ก๊าซที่อยู่ในรูพรุนและในเนื้อผลิตภัณฑ์ถูกขจัดออกไปได้หมด การบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กจะช่วยให้

การละลายของดินและหินเชี้ยวหนุมานดีขึ้นด้วย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการสุกตัวของเนื้อดินปั้น ดังนั้น การศึกษาถึงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสุกตัวของเนื้อดินปั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะกล่าวต่อไป

8. องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์

การผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา มีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ดังนี้ คือ

8.1 ธรรมชาติของดิน ในเนื้อดินปั้น ดินที่ใช้อาจใช้ดินขาวล้วน ๆ หรือใช้ดินขาวปนกับดินเหนียว ในเนื้อดินจะมีพวกอินทรีย์สาร เช่น อนุภาคของลิกไนท์ปะปนอยู่ด้วย จึงจำเป็นต้องเผาไหม้สิ่งเหล่านี้ให้หมดไปก่อนที่รูพรุนจะถูกปิดซ่อนไว้ในเนื้อดินปั้น มิฉะนั้นจะเกิดแกนดำหรือการบวมขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดจากความพยายามหนีออกมาของก๊าซ ผลิตภัณฑ์ที่มีความบาง เช่น ถ้วย จาน ชาม การเผาไหม้จะเป็นไปอย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างหนาและหนามาก เช่น ผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าขนาดใหญ่ การเผาไหม้อินทรีย์สารต้องกระทำให้หมดไปในอุณหภูมิต่ำ

ที่อุณหภูมิสูงชนิดของดินมีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะสิ่งเจือปนจะมีผลต่อปริมาณและชนิดของแก้วที่จะเกิดขึ้น เช่น ดินขาวที่มีไมก้าอยู่มากจะทำให้เกิดแก้วมากขึ้นตามไปด้วย ในดินเหนียวบางชนิดอาจมีสารประกอบที่เป็นตัวช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำได้ เช่น เหล็กออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแอลคะไลน์ ดินชนิดนี้ก็จะช่วยให้เกิดเนื้อแก้วขึ้นมากกว่าดินที่ไม่มีสารเหล่านี้ผสมอยู่

8.2 ธรรมชาติของซิลิกา ซิลิกาในเนื้อดินปั้น อาจได้จากหินเชี้ยวหนุมานที่บดให้ละเอียดหรือวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น หราย หรือหินเหล็กไฟ แต่หินเชี้ยวหนุมานจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงมากกว่า การใช้หรายละเอียดหรือหินเหล็กไฟ

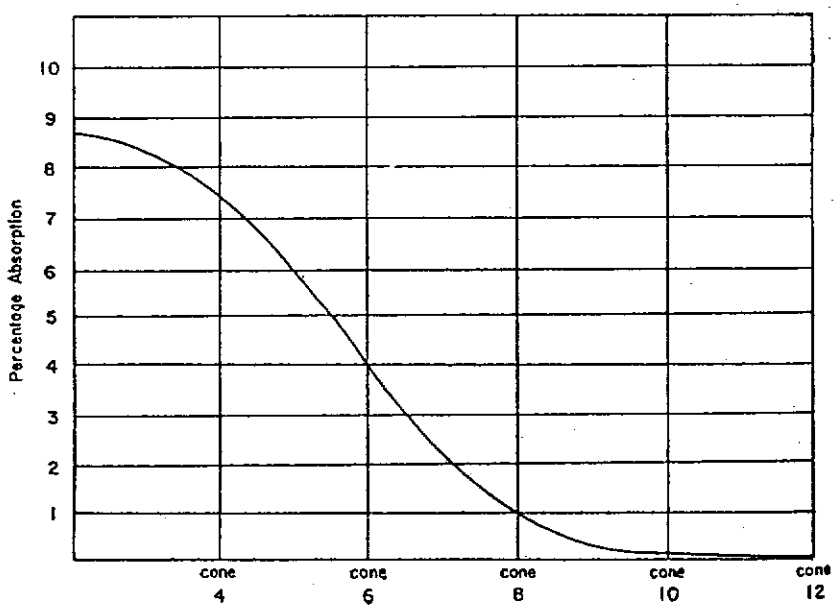
8.3 ธรรมชาติของหินฟันม้า การใช้หินฟันม้าในเนื้อดินปั้น ไม่ว่าจะเป็นชนิดโซดาหรือโปแตส ไม่มีผลแตกต่างอะไรในพฤติกรรมการเผา แต่ถ้าใช้หินฟันม้าที่มีอัตราส่วนของโปแตสต่อโซดาสูง จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความโปร่งแสงมากขึ้น การใช้หินฟันม้าชนิดโซดาจะมีฟองอากาศขนาดเล็กมาก ในขณะที่การใช้หินฟันม้าชนิดโปแตสจะมีฟองอากาศขนาดใหญ่แต่จำนวนน้อย ฟองอากาศนี้เกิดจากสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในหินฟันม้า ดังนั้นเนื้อแก้วที่เกิดจากหินฟันม้าชนิดโปแตสจึงมีความโปร่งแสงได้มากกว่าแก้วที่เกิดจากหินฟันม้าชนิดโซดา

8.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลา ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาต้องการวงจรการเผาที่รวดเร็ว สิ่งที่น่าคิดก็คือ เราจะเผาได้เร็วขนาดไหนโดยที่ไม่ทำให้โครงสร้างเล็ก ๆ และคุณสมบัติส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นอร์ตัน (Norton) พบว่า "การเผาช้าจะทำให้หินเชี้ยวหนุมานละลายได้มาก และเกิดผลึกรูปเข็มของมูลไลท์มากขึ้นเช่นกัน ส่วนการเผาเร็วจะเกิดผลตรงกันข้าม" นอกจากนี้นักเซรามิกส์บางคนยังให้เหตุผลว่า การเผาเร็วจะได้เนื้อแก้วที่ไหลตัวดี ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงดีขึ้น แต่การเผาเร็วก็จะได้รูพรุนที่ซ่อนอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์มากขึ้นด้วย และยังพบว่าการควบคุมการเผาผลิตภัณฑ์ที่จุดสุกตัวเพียง 1 ชั่วโมง ก็เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงดี ถึงแม้ว่าเราจะเร่งอุณหภูมิการเผาถึงชั่วโมงละ 180 องศาเซลเซียส และที่น่าสนใจสิ่งหนึ่งก็คือ การบดเนื้อดินปั้นให้มีความละเอียดมาก ๆ จะช่วยลดรูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเผาได้เร็วขึ้น

8.5 การปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ขอบเขตจำกัดของการเผาเร็วอยู่ในช่วงการปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง เช่น อาจมีรอยแตกเนื่องจากเกิดแรงเค้นที่มาจากการเปลี่ยนแปลงของหินเชี้ยวหนุมานที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส (1,117 องศาฟาเรนไฮต์) ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวทันทีทันใด การแก้ปัญหานี้โดยบดหินเชี้ยวหนุมานให้ละเอียดมากขึ้นหรืออาจใช้อลูมินาแทน หินเชี้ยวหนุมานในบางส่วน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2523 : 275 - 278)

การทดลองในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเนื้อดินปั้นที่ระดับอุณหภูมิระหว่าง 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส ฉะนั้นการเผาที่จะทำให้เนื้อดินปั้นมีความพรุนตัวน้อยที่สุดจะต้อง

กำจัดก๊าซซึ่งมาจากน้ำ ซัลเฟต และคาร์บอเนต ที่ซ่อนอยู่ในเนื้อของผลิตภัณฑ์ออกให้หมดก่อนถึงระดับอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เพราะเป็นระดับอุณหภูมิที่เนื้อดินปั้นจะมีความพรุนตัวน้อยที่สุด เนื่องจากเนื้อดินปั้นเริ่มหลอมละลายหากมีรูพรุนถูกปิดซ่อนไว้จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างได้ง่าย ในการเผาผลิตภัณฑ์ผู้วิจัยจะใช้อัตราการเร่งอุณหภูมิการเผาเพียงชั่วโมงละ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอัตราเร่งปกติที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป การเผาผลิตภัณฑ์จนถึงขั้นจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างได้ง่าย ดังนั้น การเลือกอัตราส่วนผสมที่ทดลองได้มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ในการทดลองครั้งนี้จะเลือกเฉพาะอัตราส่วนผสมของชิ้นทดลองที่มีอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเนื้อดินปั้นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ภาชนะใส่อาหาร คือ มีอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 (Rhodes. 1959 : 59) ซึ่งจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิการเผา ดังภาพประกอบ 3



ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

ภาพประกอบ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เผากับเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Rhodes. 1959 : 58)

จากภาพประกอบ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเผาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ระดับอุณหภูมิโคนหมายเลข 6 (1,200 องศาเซลเซียส) เนื้อดินจะดูดซึมน้ำได้ประมาณร้อยละ 4 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาเนื้อดินปั้นให้สูงขึ้นเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำก็จะยิ่งลดน้อยลงไป เมื่อทราบถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อการสุกตัวของเนื้อดินปั้นแล้ว การศึกษาในเรื่องเตาเผาประเภทต่าง ๆ และการเผาก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้วิจัยจะต้องทราบ เพื่อจะได้เลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

9. เตาและการเผา

9.1 เตาเผาเครื่องเคลือบดินเผา เป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงที่สุดในโรงงาน และยังต้องการการควบคุมที่ดี เตาเผาสำหรับใช้เผาผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ และปอร์สเลนจะต้องสามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง และมีการกระจายความร้อนภายในเตาอย่างสม่ำเสมอ เตาเผาจึงแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ

9.1.1 แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา

9.1.2 แบ่งตามประเภททางเดินลมร้อน

9.1.3 แบ่งตามลักษณะของเปลวไฟ

9.1.4 แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง (ทวี พรหมพฤกษ์. 2524 : 11)

ในที่นี้ผู้วิจัยจะนำเสนอเฉพาะเตาเผาเครื่องเคลือบดินเผาที่แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง คือ เตาไฟฟ้า (Electric Kiln) และเตาแก๊ส (Gas Kiln) ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากเป็นเตาที่สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูงใช้เผาผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ได้ และนอกจากนี้เตาทั้งสองชนิดยังสามารถให้บรรยากาศในการเผาที่แตกต่างกันได้

9.1.4.1 เตาไฟฟ้า (Electric Kiln) เป็นเตาที่มีผู้ให้ความสนใจและนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะสถานศึกษาและโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากผู้ใช้มีความสะดวกสบาย ควบคุมได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง แต่ราคา

ค่อนข้างแพง เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่เผาได้สะอาดที่สุด เผาได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูง และเร่งอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้น ช้า - เร็ว ได้ตามต้องการ เนื่องจากใช้สวิทซ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิในการเผา ไม่มีเปลวไฟ ไม่มีควัน เผาได้อย่างสะอาด เตาไฟฟ้าจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ

1) เตาไฟฟ้าชนิดที่เผาในอุณหภูมิไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ภายในเตาเผาใช้ขดลวดชนิดนิโครม (Nichrome) เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการเผาดิบเผาเคลือบไฟต่ำ หรือเผาสีบนเคลือบเท่านั้น เพราะถ้าเผาอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ลวดอาจขาดได้ เนื่องจากทนความร้อนไม่ได้สูง โดยปกติลวดนิโครมจะเผาอุณหภูมิสูงสุดเพียง 1,050 องศาเซลเซียส

2) เตาไฟฟ้าชนิดที่ใช้เผาอุณหภูมิสูง ซึ่งมีสองลักษณะคือ ลักษณะแรกใช้แท่งทนความร้อน ชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) หรือที่เรียกว่า "แท่งโกรบา" (Groba) สามารถให้ความร้อนได้สูงถึงอุณหภูมิ 1,575 องศาเซลเซียส (2,934 องศาฟาเรนไฮต์) นิยมใช้เผาผลิตภัณฑ์ประเภทปอร์สเลนชนิดอุณหภูมิสูง หรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (Electric Insulator) หรือเผาทดลองงานวิจัย เป็นต้น ลักษณะที่สอง ใช้ขดลวดชนิดแคนทัล (Kanthal Wire) เป็นตัวให้ความร้อน สามารถให้ความร้อนได้สูงถึงอุณหภูมิประมาณ 1,375 องศาเซลเซียส (2,561 องศาฟาเรนไฮต์) มีราคาถูกกว่าชนิดแท่งทนความร้อน จึงมีผู้นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 148 - 159)

9.1.4.2 เตาแก๊ส (Gas Kiln) ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันในบรรดาผู้ผลิตเครื่องเคลือบดินเผา เป็นเตาที่ค่อนข้างสะอาด เผาได้ในอุณหภูมิสูง มีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย และสามารถเผาแบบรีดักชั่นได้ เตาแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดทางลมร้อนขึ้น และชนิดทางลมร้อนลง

1) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น เป็นเตาที่ไม่มีปล่องไฟแต่จะมีช่องระบายความร้อน ทำหน้าที่แทนปล่องไฟอยู่ตอนบนของเตา ช่องล่าง (พื้นเตา) จะเป็น

ช่องสำหรับให้ความร้อนผ่านไปยังแผ่นรองชนิดทนไฟสูง (Hearth Slab) โดยไม่ผ่านผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี (Thermal Conductivity) รับน้ำหนักและช่วยเฉลี่ยความร้อนให้สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา เตาชนิดนี้จะมีขนาดไม่ใหญ่นักเหมาะสำหรับงานทดลองและงานวิจัยต่าง ๆ

2) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง เป็นเตาที่ออกแบบสร้างให้มีขนาดใหญ่และเผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก ถ้าเตามีขนาดใหญ่การบรรจุผลิตภัณฑ์จะใช้รถ (Kiln Car) ซึ่งทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็เพิ่มรถสำรองไว้อีก ซึ่งเท่ากับเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี สามารถเผาติดต่อกันได้ เตาแก๊สชนิดนี้จะต้องสร้างให้มีปล่องเตาซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้หรือการสันดาปสมบูรณ์ดี การก่อสร้างเตาชนิดนี้มีน้ำหนักมาก ผู้ทำการก่อสร้างจะต้องสร้างฐานรากให้แข็งแรง เตาแก๊สชนิดนี้มีราคาสูงกว่าชนิดทางลมร้อนขึ้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2524 : 42 - 43)

9.2 <u>การเผา</u> (Firing) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการทำเครื่องเคลือบดินเผา การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาโดยปกติทั่วไปจะเผากันประมาณ 3 ครั้ง คือ เผาดิบ เผาเคลือบ และเผาสีบนเคลือบ แต่ในบางกรณีอาจเผาเพียงครั้งเดียว และมีการเคลือบด้วย (One Firing) โดยไม่ต้องผ่านการเผาดิบก่อน ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานได้ แต่ผลิตภัณฑ์ก็อาจเสียหายได้ง่ายเช่นกัน การเผาในแต่ละครั้งจะเผาตามลำดับขั้นดังนี้

9.2.1 <u>การเผาดิบ</u> (Biscuit Firing) เป็นการเผาครั้งแรกเพื่อให้เนื้อดินปั้นหรือผลิตภัณฑ์มีความแข็ง (Mechanical Strengh) และคงรูป ตลอดจนสีสรรของเนื้อดิน เป็นการตรวจสอบสภาพผลิตภัณฑ์ว่ามีการแตกร้าวหรือไม่ก่อนนำไปเคลือบ นับว่าเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานได้ เพราะเป็นขั้นตอนที่ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นจะไม่แตกก่อนนำไปเคลือบ

การให้ความร้อนในการเผาดิบจะต้องเพิ่มความร้อนทีละน้อย ไม่ว่าจะเป็นเตาชนิดใด ควรใช้ระบบเวลาการเผาเป็นไปอย่างช้า ๆ (Slow Rate) สม่ำเสมอ การเผาเร็วเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ควรใช้เวลาในการเผาดิบให้ยาวนานขึ้น เพื่อความปลอดภัยไม่ให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหาย อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาดิบโดยทั่วไปประมาณ 750 - 800 องศาเซลเซียส (1,304 - 1,490 องศาฟาเรนไฮต์) และใช้เวลาในการเผาผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 8 - 10 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์และขนาดของเตา การให้เตาเย็นลงภายหลังการเผาควรระมัดระวังเช่นกัน ควรทิ้งให้เย็นเป็นเวลานานไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง

9.2.2 <u>การเผาเคลือบ</u> (Glost Firing) เป็นการเผาที่ทำให้น้ำเคลือบที่เคลือบผลิตภัณฑ์ไว้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน มีผิวเรียบ ด้าน หรือมันแวววาว ตามแต่ชนิดของเคลือบ มีความแข็ง และสามารถทนต่อกรดและด่างได้ดี การเผาเคลือบจะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามข้อกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นอาจเกิดการเสียหายได้ เช่น เผาไฟเกิน (Overfire) ทำให้เคลือบไหลมาก อาจไหลติดพื้นเตาหรือชั้นรอง ยากแก่การเอาออกทำให้เสียหายได้ และการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ (Underfire) มีผลให้เคลือบไม่เป็นมันเท่าที่ควร การเผาเคลือบที่ดีควรให้อัตราการเผาอยู่ในช่วง 100 - 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่หรือค่อนข้างหนาควรยืดเวลาในการเผาให้ช้ากว่านี้ การเผาเคลือบไม่ควรเร่งการเผาให้เร็วเกินไป การเผาที่ใช้โคนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมินั้น ภายหลังจากที่โคนล้มแล้วควรเผาแช่ไว้ (Soaking Peroid) อีกประมาณครึ่งชั่วโมงจะทำให้การเผาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การปิดเตาหลังการเผาเคลือบได้ที่แล้ว ควรปล่อยเตาทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตกเสียหาย (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 152 - 157)

9.2.3 <u>การเผาสีบนเคลือบ</u> (Overglaze Firing) เป็นการเผาครั้งที่สาม เพื่อตกแต่งลวดลายให้สวยงาม โดยใช้สีบนเคลือบ (On Glaze) เขียนลวดลายบนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาเคลือบแล้ว และนำไปเข้าเตาเผา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสีบนเคลือบโดยทั่วไป

ประมาณ 750 - 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 8 - 10 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งด้วยสีบนเคลือบของประเทศไทย เรียกว่า "เครื่องเบญจรงค์" (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 152 - 157)

การทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจะใช้เฉพาะการเผาดิบและการเผาเคลือบเท่านั้น เพราะเนื่องจากการเผาชิ้นทดลองจะใช้อุณหภูมิในการเผาเคลือบโดยทั่วไป และการเผาผลิตภัณฑ์ตัวอย่างก็มิได้ทำการตกแต่งด้วยสีบนเคลือบ สำหรับอัตราการเผานั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้อัตราการเผาที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดไม่ใหญ่ คือ 100 - 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้ระยะเวลาในการเผาดิบประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง และระยะเวลาในการเผาเคลือบประมาณ 8 - 10 ชั่วโมง เพราะเนื่องจากชิ้นทดลองและตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นจะมีความยางและขนาดไม่ใหญ่

9.3 <u>บรรยากาศในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา</u> การเผาเครื่องเคลือบดินเผาโดยใช้บรรยากาศที่แตกต่างกัน จะมีผลให้สีของเนื้อดินและสีของน้ำเคลือบที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ในการเผาเครื่องเคลือบดินเผาจะมีการเผาอยู่ 2 แบบ คือ แบบรีดักชั่น และแบบออกซิเดชั่น การเผาจะมีบรรยากาศเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของเตาเผาและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา ซึ่งการเผาแต่ละแบบจะมีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

9.3.1 <u>การเผาแบบออกซิเดชั่น</u> (Oxidation) เป็นการเผาที่กระทำให้บรรยากาศในการเผาไหม้หมดจด การเผาหรือการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตา เพราะออกซิเจนและเชื้อเพลิงเหมาะสมกันดี เตาเผาที่สามารถเผาบรรยากาศออกซิเดชั่นได้ดีที่สุด คือ เตาเผาไฟฟ้า

9.3.2 <u>การเผาแบบรีดักชั่น</u> (Reduction) เป็นการเผาที่ทำให้บรรยากาศในการเผาไหม้ไม่หมดจด การเผาไหม้เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยการลดอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ให้น้อยกว่าปกติ ซึ่งจะมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์และน้ำเคลือบ การเผาแบบนี้จะกระทำได้โดยใช้เตาเผาชนิดที่ใช้น้ำมัน แก๊ส และฟืน เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ การ

เผาแบบรีดักชั่นจะมีผลโดยตรงต่อการให้สีของสารให้สีบางตัว เช่น การเผาคอปเปอร์ออกไซด์ (Copper Oxide) ถ้าเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นจะให้สีเขียว และถ้าเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นจะให้สีแดง เหล็กออกไซด์ ถ้าเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นจะให้สีน้ำตาล แต่ถ้าเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นจะให้สีเขียว เป็นต้น ฉะนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงได้กำหนดการเผาไว้ทั้งการเผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น

การทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เตาไฟฟ้าชนิดที่สามารถเผาอุณหภูมิสูงได้สำหรับทดลองเผาแบบออกซิเดชั่น เพราะการเผาด้วยเตาไฟฟ้าจะทำให้การเผาไหม้หมดจด และเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลงสำหรับทดลองเผาแบบรีดักชั่น การเผาทั้งสองแบบนี้จะมีผลให้สีของเนื้อดินปั้นแตกต่างกัน เพราะในดินปากเกร็ดมีธาตุเหล็กผสมอยู่ในปริมาณมาก อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้เพียง 3 ระดับอุณหภูมิ คือ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส (โคนหมายเลข 6, 7 และ 8 ตามลำดับ) เนื่องจากเป็นระดับอุณหภูมิที่นิยมใช้เผาผลิตภัณฑ์สโตนแวร์กันโดยทั่วไป และนับเป็นช่วงระดับอุณหภูมิที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเผา เพราะยิ่งเผาอุณหภูมิสูงมากก็จะยิ่งสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการเผามากขึ้นด้วย

10. <u>การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ</u>

10.1 <u>การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา</u> สามารถทำการวัดได้หลายแบบ คือ

10.1.1 การวัดอุณหภูมิด้วยตา โดยใช้วิธีดูสีของไฟโดยประมาณ

10.1.2 การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเพิล (Thermocuple)

10.1.3 การวัดอุณหภูมิด้วยออพติคอลไพโรมิเตอร์ (Optical Pyrometer)

10.1.4 การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกไพโรมิเตอร์ (Thermo Electric Pyrometer)

10.1.5 การวัดอุณหภูมิด้วยไพโรเมตริกโคน (Pyrometric Cone)

ในที่นี้จะเสนอรายละเอียดเฉพาะการใช้ไพโรเมตริกโคน ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาเผาเท่านั้น เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และเป็นการวัดที่ประหยัดค่าใช้จ่าย มีความแม่นยำ ใช้ง่าย ไม่ต้องบำรุงรักษามาก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เครื่องมือวัดชนิดนี้สำหรับการทดลองในครั้งนี้

เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไพโรเมตริกโคน หรือที่เรียกกันสั้น ๆ ว่า "โคน" ถ้ามีตัวช่วยหลอมละลายน้อยจุดสุกตัวก็จะสูงขึ้น โคนมีลักษณะเป็นรูปปิรามิดยอดแหลมฐานสามเหลี่ยมที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ เซกเกอร์โคน (Seger Cone) และออร์ตันโคน (Orton Cone)

เซกเกอร์โคน เป็นโคนที่นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันเป็นผู้คิดค้นขึ้นเป็นคนแรก ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา เซกเกอร์โคนมีสัญลักษณ์เป็นอักษรย่อว่า "SK" ซึ่งย่อมาจากชื่อของผู้คิดค้น คือ ดร.เซกเกอร์ เคเกล (Dr.Seger Kegel) ส่วน ออร์ตันโคน เป็นโคนชนิดเดียวกันกับเซกเกอร์โคน แต่ผลิตขึ้นใช้กันในประเทศอเมริกา (ปรีดา พิมพ์ชาวชำ. 2523 : 246 - 247)

โคนที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นโคนมาตรฐาน ซึ่งมีหมายเลขต่างกันถึง 60 หมายเลข แต่ละหมายเลขจะมีจุดหลอมตัวต่างกันเป็นลำดับ คือ 10, 20, 30 หรือ 50 องศาเซลเซียส (18, 37, 56 และ 93 องศาฟาเรนไฮต์) ที่ข้างตัวโคนจะมีหมายเลขกำกับไว้ เพื่อใช้เปรียบเทียบเป็นองศาอุณหภูมิได้จากตาราง 4

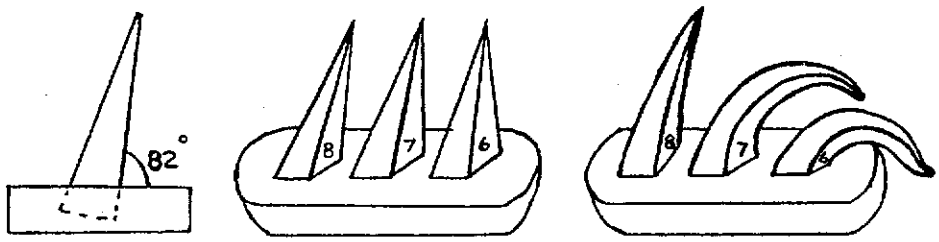
ตาราง 4 หมายเลขของโคนและอุณหภูมิที่โคนล้ม กับส่วนผสมทางเคมีของโคน

SK หมายเลข	อุณหภูมิที่โคนล้ม องศาเซลเซียส	ส่วนผสมทางเคมีของโคน					
		KNaO	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	B_2O_3
010	900	0.349	0.338	0.313	0.423	2.262	0.675
09	920	0.344	0.335	0.311	0.468	3.087	0.671
08	940	0.317	0.469	0.314	0.543	2.691	0.559
07	960	0.311	0.391	0.293	0.554	2.984	0.521
06	980	0.316	0.407	0.277	0.561	3.197	0.493
05	1,000	0.315	0.428	0.257	0.571	3.467	0.475
6	1,200	0.311	0.685	0.013	0.693	6.801	0.026
7	1,230	0.3	0.7	-	0.7	7	-
8	1,250	0.3	0.7	-	0.8	8	-
9	1,280	0.3	0.7	-	0.9	9	-
10	1,300	0.3	0.7	-	1.0	10	-
26	1,580	0.3	0.7	-	7.2	72	-
27	1,610	0.3	0.7	-	20	200	-
28	1,630	-	-	-	1	10	-

(ปรีดา พิมพ์ขาวชำ. 2523 : 248)

จากตาราง 3 SK 010 - 05 ช่วงหนึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง 900 - 1,000 องศาเซลเซียส (1,672 - 1,832 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้เผากระเบื้องประดับและกระเบื้องมุงหลังคาในจังหวัดชลบุรี จันทบุรี และราชบุรี ช่วงที่สอง SK 6-SK 10 คือ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1,200 - 1,300 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิของการเผาถ้วย จาน ชาม และผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ชนิดอื่น เช่น โรงงานในจังหวัดลำปาง ช่วงที่สาม SK 26-SK 28 เป็นช่วงอุณหภูมิที่มีความสำคัญมากในการทดสอบวัสดุทนไฟ ใช้วัดความทนไฟของผลิตภัณฑ์ทนไฟจากโรงงานที่ผลิตวัสดุทนไฟ ดังนั้น การทดลองในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงใช้อุณหภูมิช่วง 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส (Sk 6 - SK 8) เป็นระดับอุณหภูมิที่ใช้เผาชิ้นทดลองและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

การวางโคน เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของการใช้โคน ถ้าวางไม่ถูกค่าของอุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงได้ การวางโคนต้องมีฐานที่ทำขึ้นด้วยเนื้อดินปั้น (Cone Plaque) ที่มีความทนไฟสูง การเผาแต่ละครั้งต้องวางโคน 3 ตัว เช่น โคนหมายเลข 6, 7 และ 8 ตามลำดับ โคนแต่ละตัวต้องหันหน้าด้านแบนทำมุมกับฐานประมาณ 82 องศา แต่ละตัววางเรียงเป็นแถวตามลำดับ ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงวิธีการวางโคนและการล้มของโคน
(ทวี พรหมพฤกษ์. 2535 : 160)

การวางโคนภายในเตาเผา จะต้องวางในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน โคนแต่ละตัวต้องมีความสามารถทนความร้อนได้ในจุดต่าง ๆ กัน เมื่อเผาถึงจุดสุกตัว (Vitrify)

ของโคนตัวใดแล้ว โคนนั้นจะล้มลงมาติดที่ฐานรอง จากตัวอย่างในภาพประกอบ 4 ระดับอุณหภูมิที่ต้องการ คือ โคนหมายเลข 7 ฉะนั้นจึงต้องวางโคน 3 ตัว คือ โคนหมายเลข 6, 7 และ 8 ตามลำดับ โดยให้โคนหมายเลขที่ต้องการนั้นอยู่ในตำแหน่งกลาง เมื่อเผาถึงอุณหภูมิใกล้จุดที่ต้องการ โคนหมายเลข 6 จะเริ่มโค้งงอลง เป็นการเตือนให้เราทราบและใช้ความระมัดระวังคอยดู จากนั้นให้เผาจนกระทั่งโคนหมายเลข 7 เริ่มโค้งงอ เป็นการเตือนให้เราทราบและใช้ความระมัดระวังคอยดู ต่อจากนั้นให้เผาจนกระทั่งโคนหมายเลข 7 โค้งงอแต่โคนหมายเลข 8 ยังไม่โค้งงอจึงปิดเตา แสดงว่า เราเผาได้ถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการพอดี แต่ถ้าปล่อยให้โคนหมายเลข 8 โค้งงอ แสดงว่า เราเผาอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่ต้องการ โคนใช้บอกอุณหภูมิภายในเตาเผาได้เกือบทุกส่วน นอกจากนี้ยังใช้หาความทนไฟของวัตถุดิบได้แน่นอนด้วย

การวัดอุณหภูมิด้วยโคนในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา นอกจากจะประหยัดได้ผลดีเที่ยงตรงต่อเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ ซึ่งจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบมักจะเรียกตามหมายเลขของโคน เมื่อโคนหมายเลขนั้นล้มก็หมายถึง เนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบสุกตัวพอดี

11. กรรมวิธีการผลิต ถ้วย จาน ชาม เครื่องเคลือบดินเผา

การผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาทุกชนิดนั้น กรรมวิธีการผลิตในทุกขั้นตอนจะมีความหมายและความสำคัญเท่ากันหมด เพราะหากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในขั้นตอนใด นั่นก็หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดชำรุดบกพร่องและเสียหายได้ กรรมวิธีการผลิต ถ้วย จาน ชาม ก็เช่นกัน ผู้วิจัยจึงควรได้ศึกษาถึงขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิต เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เป็นเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น ชุดอาหาร และเครื่องประดับ เช่น แจกัน กรรมวิธีการผลิต ถ้วย จาน ชาม ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

11.1 <u>การเตรียมวัตถุดิบ</u> วัตถุดิบที่จะนำมาผสมกัน เช่น ดินขาว ดินเหนียว หินฟันม้า หินเชี้ยวหนุมาน เป็นต้น จะต้องผ่านการเตรียมเพื่อแยกเอาสิ่งเจือปนออกแล้วบดให้ได้

ขนาดตามความต้องการ เช่น การเตรียมดิน จะต้องล้างเอากรวด ทราย และเศษใบไม้ออกให้หมดเสียก่อน การล้างดินส่วนใหญ่จะทำที่เหมืองขุด แล้วจึงนำส่งโรงงาน ส่วนหินฟันม้าและหินเขี้ยวหนุมานจะต้องนำมาย่อยและบดให้ละเอียด วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ควรมีการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีเสียก่อน เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอน จากนั้นนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาชั่งให้ได้อัตราส่วนผสมตามต้องการ แล้วนำมาบดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันในหม้อบด (Ball Mill) โดยใช้น้ำช่วยในการคลุกเคล้า แล้วผ่านเครื่องแยกเหล็ก หลังจากนั้นจึงป้อนน้ำดินเข้าสู่เครื่องอัดดิน (Filter Press) เพื่อแยกน้ำออก เนื้อดินปั้นที่ได้จะต้องนำไปผ่านเครื่องรีดดิน (Vacaum Press) เพื่อรีดไล่อากาศออกให้หมดก่อนที่จะนำไปใช้งาน

11.2 <u>การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์</u> การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ้วย จาน ชาม มีอยู่ 3 วิธี คือ การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน การขึ้นรูปด้วยใบมีด และการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ

11.2.1 <u>การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน</u> (Throwing) วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพราะเนื่องจากผลิตได้จำนวนน้อยแต่ต้องใช้แรงงานมาก ส่วนใหญ่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์แบบที่เป็นศิลปะ หรือใช้ผลิตกันเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรืออุตสาหกรรมในครอบครัว

11.2.2 <u>การขึ้นรูปด้วยใบมีด</u> (Jiggering) เป็นการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและทุ่นแรงงาน โรงงานจึงหันมาใช้วิธีนี้กันมากขึ้น

11.2.3 <u>การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ</u> ภาชนะบางชนิดปั้นด้วยแป้นหมุน หรือขึ้นรูปด้วยใบมีดไม่ได้ ต้องใช้วิธีหล่อน้ำดิน

สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เพราะเนื่องจากผลิตเป็นจำนวนน้อย จึงไม่เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นที่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลาในการตระเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนยังสามารถใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทชุดอาหาร และผลิตภัณฑ์ประเภทงานศิลปะได้อีกด้วย

11.3 การอบ เป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่องอบ เพื่อให้แห้งและมีความแข็งแรงพอที่จะนำไปตกแต่งให้เรียบร้อยโดยไม่เสียรูปทรง การอบใช้อุณหภูมิประมาณ 50 - 60 องศาเซลเซียส (93 - 111 องศาฟาเรนไฮต์) การอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องผลิตให้ได้ปริมาณมากและทันกับเวลา แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้เป็นเพียงการทดลองว่าเนื้อดินปั้นนั้นสามารถใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้เท่านั้น จึงไม่มีความจำเป็นต้องนำไปอบ เพียงแต่ใช้วิธีการผึ่งให้แห้งตามธรรมชาติก่อนที่จะนำไปตกแต่งให้เรียบร้อย

11.4 การเผาครั้งที่ 1 หรือเผาดิบ เป็นการเผาเพื่อให้เนื้อดินมีความแข็งแกร่งขึ้นเพื่อสะดวกในการเคลือบผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้เผาประมาณ 900 - 950 องศาเซลเซียส

11.5 การเตรียมน้ำเคลือบ วัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำเคลือบ ได้แก่ ดินขาว ดินเหนียว หินเขี้ยวหนุมาน หินฟันม้า โดโลไมท์ และซิงค์ออกไซด์ เป็นต้น วิธีเตรียมน้ำเคลือบสามารถเตรียมได้ในลักษณะเดียวกับการเตรียมเนื้อดินปั้น คือ เตรียมวัตถุดิบ ชั่งให้ได้อัตราส่วนผสมตามต้องการและใส่หม้อบด บดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมากรองผ่านตะแกรงเบอร์ 80

11.6 การเขียนลาย ลายที่เขียนมี 2 แบบ คือ ลายบนเคลือบ และลายใต้เคลือบ ลายบนเคลือบจะต้องเคลือบเสียก่อนจึงจะเขียน ส่วนลายใต้เคลือบนั้นจะต้องเขียนลายเสียก่อนแล้วจึงนำไปเคลือบ

11.7 การเคลือบ เป็นการนำภาชนะที่ผ่านการเผาครั้งที่ 1 แล้ว มาเคลือบทับด้วยน้ำเคลือบ ซึ่งมีวิธีการที่นิยมใช้กันอยู่ 2 วิธี คือ การชุบด้วยมือ เป็นการชุบผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก และการใช้เครื่องพ่นสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ สิ่งที่ควรระวังในการเคลือบผลิตภัณฑ์ก็คือความเข้มข้นของน้ำเคลือบและความหนาในการเคลือบ

11.8 การเผาเคลือบ เป็นการเผาครั้งที่ 2 เผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,250 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำเคลือบหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อภาชนะ เมื่อเผาเสร็จแล้วผิวเคลือบจะมีลักษณะเรียบเป็นมันหรือด้าน ตามแต่ชนิดของเคลือบ

11.9 <u>การติดรูปลอกและอบ</u> ผลิตภัณฑ์บางชนิดไม่ใช้วิธีเขียนลายลงบนภาชนะ แต่ใช้วิธีการติดรูปลอก ซึ่งเป็นลวดลายสำเร็จรูป แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 700 - 800 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำให้สารเคมีที่อยู่ในสีของรูปลอกระเหยไปจนหมด และลวดลายที่เป็นสีจะหลอมติดคงทนถาวรอยู่บนผิวของภาชนะ

11.10 <u>การคัดเลือกผลิตภัณฑ์</u> เพื่อบรรจุหีบห่อออกจำหน่าย (กอบกิต ฐิตวัฒนกุล. 2527 : 15 - 17)

12. <u>งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศและต่างประเทศ</u>

12.1 เดโช ฉัตรกุล ณ อยุธยา ได้ทดลองทำเครื่องปั้นสังคโลกชนิดสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิประมาณ 1,230 - 1,300 องศาเซลเซียส พบว่า วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินดำปากพลี หินฟันม้าราชบุรี และหินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี ซึ่งมีอัตราส่วนผสมดังตาราง 5 และมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์จากการทดลอง พบว่า เนื้อดินปั้นหมายเลข SK-1, SK-2 และ SK-7 จะมีอัตราการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส น้อยกว่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส แสดงว่า เนื้อดินปั้นทั้ง 3 ตัวอย่างมีการขยายตัวเกิดขึ้นเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส และอัตราการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1,280 องศาเซลเซียส (2,384 องศาฟาเรนไฮต์) และที่อุณหภูมิเดียวกันนี้เนื้อดินปั้นหมายเลข SK-1, SK-2, SK-3 และ SK-4 จะไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ แสดงว่า เป็นอุณหภูมิที่เผาถึงจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้น ส่วนหมายเลข SK-5, SK-6 และ SK-7 ยังสามารถดูดซึมน้ำได้ SK-5 ดูดซึมน้ำน้อยกว่า SK-6 และมีการหดตัวมากกว่า นอกจากนี้ยังได้ทดลองใช้เนื้อดินปั้นตามตัวอย่างต่าง ๆ ปั้นเป็นภาชนะ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเนื้อดินปั้น การขึ้นรูป และการคงรูปเมื่อเผา ประกอบกันแล้วพบว่า เนื้อดินปั้น SK-6 เป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เหมาะที่สุด (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 4.5 - 4.8)

ตาราง 5 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสังคโลกชนิดสโตนแวร์

ตัวอย่างหมายเลข	ดินขาวลำปาง	ดินดำปากพลี	หินฟันม้าราชบุรี	หินเขี้ยวหนุมาน จันทบุรี	รวม
SK-1	55	25	10	10	100
SK-2	60	25	10	5	100
SK-3	60	25	15	-	100
SK-4	65	20	5	10	100
SK-5	70	20	5	5	100
SK-6	75	20	-	5	100
SK-7	75	15	-	10	100

(กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 4.6)

จากการทดลอง เดโช ฉัตรกุล ณ อยุธยา แสดงว่า เนื้อดินปั้นที่มีอัตราส่วนผสมเหมือนกัน เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คุณสมบัติทางฟิสิกส์หลังการเผาต่างกัน และเนื้อดินปั้นที่มีอัตราส่วนผสมต่างกัน เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิเดียวกัน คุณสมบัติทางฟิสิกส์หลังการเผาต่างกัน

12.2 โกมล รักษ์วงศ์ (ม.ป.ป. : 3) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์สำหรับขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้ได้ผลดีเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,225 องศาเซลเซียส (2,282 องศาฟาเรนไฮต์) มีอัตราส่วนผสมดังต่อไปนี้ คือ

ดินขาวลำปาง	ร้อยละ	25.8
ดินขาวระนอง	ร้อยละ	19.2
ดินเหนียวแม่ทาน	ร้อยละ	14.3
หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี	ร้อยละ	30.0
หินฟันม้าราชบุรี	ร้อยละ	10.7
โซเดียมซิลิเกต	ร้อยละ	0.3

ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์หลังการเผา คือ มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.1 การหดตัวร้อยละ 13.8 เมื่อเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นจะมีสีขาวเหลือง และเมื่อเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นจะมีสีขาว แสดงว่า บรรยากาศในการเผาจะมีผลต่อสีของเนื้อดินปั้น

12.3 ทวี พรหมพฤกษ์ ได้หาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่ใช้ได้ผลดีเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,225 - 1,250 องศาเซลเซียส และเนื้อดินปั้นที่เผาแล้วดูดซึมน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ดังตาราง 6 แสดงว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ผสม

ตาราง 6 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้ได้ผลเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,225 - 1,250 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้นหมายเลข	ดินสโตนแวร์	ดินขาว	หินฟันม้า	หินแก้ว	ดินทนไฟ	ดินเหนียวขาว	ดินแดง	รวม
1	80	10	-	-	-	-	10	100
2	75	-	-	-	-	-	15	100
3	40	20	-	10	10	-	20	100
4	30	-	-	-	-	30	30	100
5	-	-	40	15	10	30	-	100
6	20	-	25	20	20	-	15	100

(ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 82)

12.4 เกรบานิเออร์ (Grebanier. 1975 : 112) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปแป้นหมุน โดยใช้ดินจอร์แดน (Jordan Clay) ผสมกับดินเหนียว หินฟันม้า และหินเขี้ยวหนุมาน ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่เผาอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส และใช้ได้ผลดีมีอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ดังตาราง 7

ตาราง 7 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้ได้ผลดีเมื่อเผาในอุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้นหมายเลข	ดินจอร์แดน	ดินเหนียว	หินฟันม้า	หินเชี้ยวหนุมาน	รวม
4	53	22	5	20	100
8	55	22	5	18	100

(Grebanier. 1975 : 112)

จากการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นหมายเลข 4 และ 8 สามารถใช้ขึ้นรูปแป้นหมุนได้ดี และเมื่อเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นจะมีสีน้ำตาลอ่อน เผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นจะมีสีเทาอ่อน แสดงว่า บรรยากาศที่ใช้ในการเผานั้นมีผลต่อสีของเนื้อดินปั้น

12.5 ซากิน (Zakin. 1781 : 44) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นประกอบไปด้วย วัตถุดิบที่เป็นดินร้อยละ 90 และอีกร้อยละ 10 เป็นวัตถุดิบชนิดอื่น อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ใช้ได้ผลดีมีอัตราส่วนผสมตามตาราง 8 แสดงว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นย่อมแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นดินถึงร้อยละ 90

ตาราง 8 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้น หมายเลข	ดินแดง	ดินสโตนแวร์	ดินขาว	ดินเหนียว	ดินทนไฟ	ฟริ้น	เฟลด์สปาร์
1	45	-	33	12	-	10	-
2	10	70	-	-	10	5	5
3	25	40	20	5	-	5	5

(Zakin. 1981 : 44)

12.6 นอร์ตัน (Norton. 1952 : 225) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิ 1,225 - 1,250 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนของเนื้อดินปั้นที่ใช้ได้ผลดีมีอัตราส่วนผสมดังนี้ คือ

ดินสโตนแวร์ ร้อยละ 47.5
ดินเหนียว ร้อยละ 30.0
หินเชี้ยวหนุมาน ร้อยละ 22.5

จากผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี มีการหดตัวหลังการเผาร้อยละ 13 การดูดซึมน้ำร้อยละ 5 เผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นจะมีสีเทา

12.7 แชปเปล (Chappell. 1977 : 68) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ขึ้นรูปแป้นหมุน ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ใช้ได้ผลดีมีอัตราส่วนผสมดังนี้ คือ

ดินเอ็กเซนแวร์ ร้อยละ 40

ดินขาว	ร้อยละ 18
ดินเหนียว	ร้อยละ 15
เหล็กออกไซด์	ร้อยละ 16
แมงกานีสไดออกไซด์	ร้อยละ 6
ดินเบนโทไนท์	ร้อยละ 3
เนพพารีนไซยาไนท์	ร้อยละ 2

จากผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี มีการหดตัวร้อยละ 12.5 การดูดซึมน้ำร้อยละ 5 เผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นเนื้อดินจะมีสีน้ำตาล - ดำ เผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นเนื้อดินจะมีสีอ่อนกว่าเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น แสดงว่า บรรยากาศที่ใช้เผามีผลต่อสีของเนื้อดินปั้น

12.8 โรว์เดส (Rhodes. 1959 : 60 - 61) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ใช้ขึ้นรูปได้ง่าย มีเนื้อละเอียด มีสีขาว และสามารถดัดแปลงให้มีเนื้อหยาบได้ง่าย จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในอุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ที่ใช้ได้ผลดีมีอัตราส่วนผสมดังตาราง 9 ผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นสามารถดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 1 - 5 และมีการหดตัวหลังการเผาร้อยละ 11 - 12.5 สีของเนื้อดินปั้นขึ้นอยู่กับบรรยากาศในการเผา คือ เผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น เนื้อดินจะมีสีเทา เผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นเนื้อดินจะมีสีน้ำตาล แสดงว่า เนื้อดินปั้นมีอัตราส่วนผสมแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และเมื่อเผาในอุณหภูมิเดียวกันย่อมมีผลให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์หลังการเผาต่างกัน นอกจากนี้บรรยากาศที่ใช้ในการเผามีผลต่อสีของเนื้อดินปั้นด้วย

ตาราง 9 ผลการทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์เผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

วัตถุดิบ	1	2	3	4	5	6
ดินสโตนแวร์	60	-	-	15	45	60
ดินขาว	-	25	-	30	-	-
ดินเหนียวขาว	20	30	30	15	20	15
ดินเอ็ทเซนแวร์	-	10	10	5	-	-
ดินทนไฟ	-	15	40	-	-	-
ซิลิก้า	10	10	10	15	15	15
หินฟันม้า	10	10	10	20	20	10
เผาแบบออกซิเดชั่น	เหาอ่อน	เหา	เหา	น้ำตาล-เหา	เหา	เหา
เผาแบบรีดักชั่น	น้ำตาลอ่อน	เหา-น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล
เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	5.0
เปอร์เซนต์การหดตัว	11.5	12.5	12.5	12.0	12.0	11.0

(Rhodes. 1959 : 61)

12.9 ซิงเกอร์ (Singer. 1963 : 431) ได้ทำการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ทำขึ้นในประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศอังกฤษ จีน ญี่ปุ่น เป็นต้น และจากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ผลิตขึ้นในแต่ละประเทศนั้นได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 10

ตาราง 10 ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ผลิตขึ้นในประเทศต่าง ๆ

แหล่งที่ผลิต	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
Altrom	65.62	27.94	1.60	1.25	1.33	0.39	1.42
Vauxhall	74.00	22.04	2.00	0.60	0.17	1.60	
Helsingborg	74.60	19.00	4.25	0.62		1.30	
Vosonlien	74.30	19.50	3.90	0.50	0.80	0.50	
Batimore	67.40	29.00	2.00	0.60		0.60	
Wedgwood	66.49	26.00	6.12	1.04	0.15	0.20	
China	62.00	22.00	14.00	0.50		1.00	
Japan, Grey	71.29	21.07	1.25	2.82	1.98	1.03	0.44
Japan, Brown	73.68	10.20	4.37	0.70	0.32	1.14	0.32

(Singer. 1963 : 431)

จากตาราง 10 สรุปได้ว่า เนื้อดินปั้นสโตนแวร์โดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้คือ

ซิลิก้า	ระหว่างร้อยละ	35 - 75
อลูมิน่า	ระหว่างร้อยละ	19 - 41
เหล็กออกไซด์	ระหว่างร้อยละ	1 - 16
แคลเซียมออกไซด์	ระหว่างร้อยละ	0 - 3
แมกนีเซียมออกไซด์	ระหว่างร้อยละ	0 - 2
แอลคะไลน์	ระหว่างร้อยละ	0.2

แสดงว่า ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ย่อมแตกต่างกันตามแต่ชนิดและแหล่งของวัตถุดิบที่ใช้

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ สรุปได้ว่า

1. การพัฒนาดินปากเกร็ด ซึ่งปัจจุบันใช้ทำผลิตภัณฑ์เอิทเธนแวร์ ให้สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ได้นั้นมีโอกาสเป็นได้มาก แต่จะพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนนั้นโอกาสเป็นไปได้น้อยมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์เอิทเธนแวร์และผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ผลิตภัณฑ์เอิทเธนแวร์กับผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก

2. เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ คือ ความเหนียวของเนื้อดินปั้นจะสามารถขึ้นรูปด้วยมือ หรือแป้นหมุนได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นก่อนการเผาจะหดตัวประมาณร้อยละ 8 - 12 การหดตัวของเนื้อดินปั้นหลังการเผาจะหดตัวประมาณร้อยละ 13 - 20 และการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นจะสามารถดูดซึมน้ำได้ประมาณร้อยละ 1 - 6 แต่สำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ประเภทภาชนะใส่อาหารที่ถือเป็นมาตรฐาน คือ จะมีการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 2 - 3 นั่นคือ เนื้อดินปั้นสโตนแวร์จะมีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 - 1,300 องศาเซลเซียส

3. วัตถุดิบที่จะช่วยพัฒนาดินปากเกร็ดให้มีคุณภาพดีขึ้น ได้แก่ ดินขาว ซึ่งจะช่วยลดความเหนียวและเพิ่มความทนไฟ ตลอดจนความแข็งแกร่งให้แก่ดินปากเกร็ด หินเชี้ยวหมุมานจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและเป็นโครงสร้างป้องกันการหดตัว และการบิดงอของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนทำให้ดินปากเกร็ดมีความแข็งแกร่ง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ แหลคัมก็จะช่วยให้ดินปากเกร็ดมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีความพรุนตัวน้อย มีการหดตัวและขยายตัวต่ำ ทำให้เคลือบจับติดผิวดินได้ดี และทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี

4. การเผาผลิตภัณฑ์จนถึงจุดสุกตัวจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างได้ง่าย การเผาผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพรุนตัวน้อยที่สุด จะต้องเผากำจัดก๊าซซึ่งจะมาจากน้ำ ซัลเฟต และคาร์บอเนต ที่ซ่อนอยู่ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ออกให้หมดในระดับอุณหภูมิต่ำประมาณ

1,100 องศาเซลเซียส อัตราการเผาโดยปกติทั่วไปจะใช้อัตราเร่งประมาณ 120 - 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการเผาดิบประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง เผาเคลือบประมาณ 8 - 10 ชั่วโมง

5. บรรยากาศในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาที่แตกต่างกัน สีของเนื้อดินและสีของน้ำเคลือบที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกัน เนื่องจากสารเจือปนในวัตถุดิบ เช่น เหล็กออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับบรรยากาศที่เผา ทำให้สีที่เกิดขึ้นในแต่ละบรรยากาศที่ใช้เผาแตกต่างกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ด ดินขาวลำปาง หินเชี้ยวหมุมานจันทบุรี และแทลคัม โดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าในการหาอัตราส่วนผสม การทดลองครั้งนี้ได้กำหนดรายละเอียดตามหัวข้อดังนี้ คือ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. ตัวแปรที่จะศึกษา
3. เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์
4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
5. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง
6. ลำดับขั้นในการทดลอง
7. สูตรที่ใช้ในการทดลอง
8. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ดินปากเกร็ด ที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

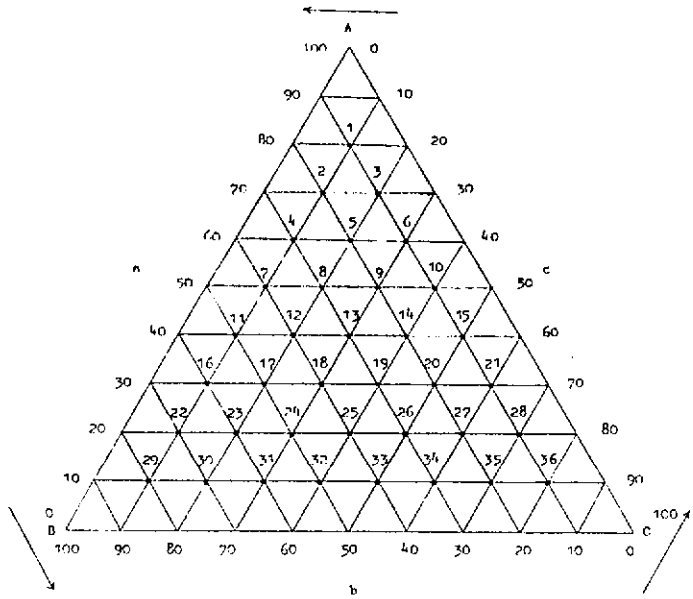
1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ดินปากเกร็ดที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณที่ลุ่มห้องนาของหมู่บ้านบางพูด ตำบลปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

2. ตัวแปรที่จะศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

2.1.1 <u>อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง</u> แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ

<u>การทดลองชุดที่ 1</u> ได้จากการสุ่มอย่างมีระบบห่างกันจุดละ 10 หน่วย บนแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จะได้จำนวน 36 จุด แต่ละจุดจะประกอบไปด้วยอัตราส่วนผสมของดินปากเกร็ด ดินขาวลำปาง หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี ซึ่งวัตถุดิบแต่ละตัวจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่ตั้งของจุดบนแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า แต่เมื่อนำค่าของอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดรวมกันในแต่ละจุดจะมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย และเพิ่มอัตราส่วนผสมของแทลคัมในอัตราส่วนผสมคงที่ ร้อยละ 2 ลงในอัตราส่วนผสมของแต่ละจุด ดังภาพประกอบ 5 ซึ่งแต่ละจุดจะมีอัตราส่วนผสมตามตาราง 11



ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งประกอบไปด้วยจุดจำนวน 36 จุด

ตาราง 11 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในแต่ละจุดที่อ่านค่าได้จากภาพประกอบ 5 แล้วนำไปรวมกับแทลคัม อีกจุดละ ร้อยละ 2

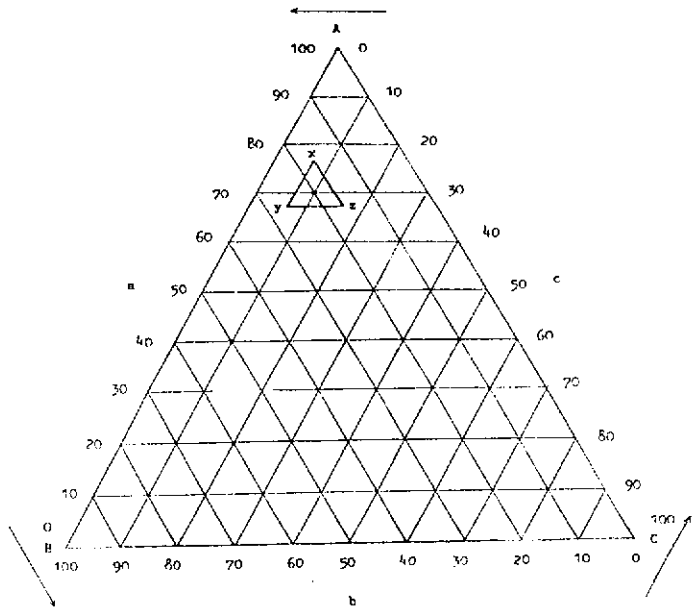
จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเขี้ยวหนุมาน	แทลคัม
1	80	10	10	2
2	70	20	10	2
3	70	10	20	2
4	60	30	10	2
5	60	20	20	2
6	60	10	30	2
7	50	40	10	2
8	50	30	20	2
9	50	20	30	2
10	50	10	40	2
11	40	50	10	2
12	40	40	20	2
13	40	30	30	2
14	40	20	40	2
15	40	10	50	2
16	30	60	10	2
17	30	50	20	2
18	30	40	30	2
19	30	30	40	2
20	30	20	50	2

ตาราง 11 (ต่อ)

จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเขี้ยวหนุมาน	แทลคัม
21	30	10	60	2
22	20	70	10	2
23	20	60	20	2
24	20	50	30	2
25	20	40	40	2
26	20	30	50	2
27	20	20	60	2
28	20	10	70	2
29	10	80	10	2
30	10	70	20	2
31	10	60	30	2
32	10	50	40	2
33	10	40	50	2
34	10	30	60	2
35	10	20	70	2
36	10	10	80	2

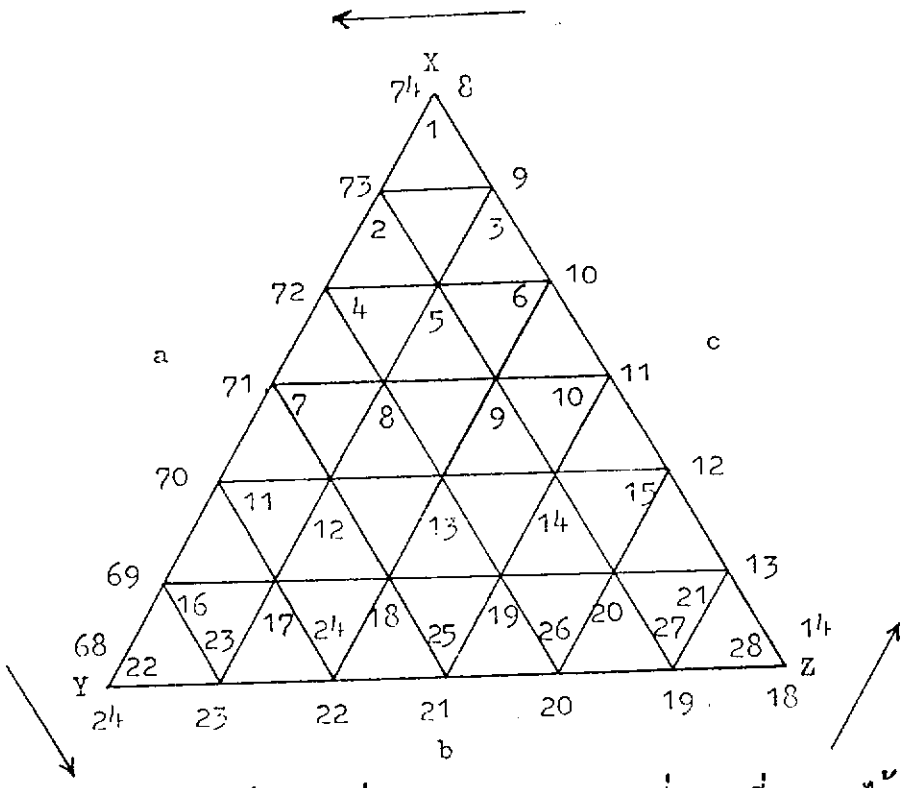
การทดลองชุดที่ 2 ได้จากการเลือกอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุดจากการทดลองชุดที่ 1 ในแต่ละระดับอุณหภูมิมากระจายหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น โดยรอบบริเวณจุดที่เลือกได้ตามแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จากผลการทดลองชุดที่ 1 สมมติให้

จุด 2 เป็นจุดที่ดีที่สุด ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่เลือกได้ จากการทดลองในชุดที่ 1 ในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 6 แสดงว่า จุด 2 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ตรงกลางของสามเหลี่ยม XYZ และเป็นจุดที่ดีที่สุดที่เลือกได้จากผลการทดลองชุดที่ 1 ในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส และพื้นที่สามเหลี่ยมด้านเท่า XYZ คือ พื้นที่ที่จะคำนวณหาอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งจะใช้ช่วงห่างแต่ละช่วงในแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า XYZ ให้มีค่าต่างกันเพียง 1 หน่วย จะได้อัตราส่วนผสมอีก 28 อัตราส่วนผสม ตามภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 ที่กระจายได้จำนวน 28 อัตราส่วนผสม

2.1.2 <u>ระดับอุณหภูมิที่ใช้เผาในการทดลองครั้งนี้</u> จะได้ตามการแบ่งช่วงอุณหภูมิของโคน จำนวน 3 ระดับอุณหภูมิ คือ

ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ใช้โคนหมายเลข 6
ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ใช้โคนหมายเลข 7
ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ใช้โคนหมายเลข 8

2.1.3 <u>การเผาในการทดลองครั้งนี้</u> มี 2 แบบ คือ

การเผาแบบออกซิเดชั่น เผาโดยใช้เตาไฟฟ้า
การเผาแบบรีดักชั่น เผาโดยใช้เตาแก๊ส

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1 การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

2.2.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น

2.2.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น

2.2.4 สีของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

3. เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จะใช้เกณฑ์การตัดสินดังนี้คือ

3.1 การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา จะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 13 - 20

3.2 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นจะดูดซึมน้ำได้ในระหว่างร้อยละ 0 - 3

3.3 ความทนไฟของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นจะสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ประกอบไปด้วย

4.1 เตาไฟฟ้าชนิดที่ใช้เผาในอุณหภูมิสูง และเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง

4.2 เครื่องชั่งชนิดละเอียด มีหน่วยการชั่งเป็นกรัมและมิลลิกรัม

4.3 ตะแกรงร่อนเบอร์ 80

4.4 กระบอกตวง

4.5 เกรียง

4.6 แผ่นกระจก

4.7 แบบพิมพ์สำหรับทำชิ้นทดลอง

4.8 แผ่นโลหะสำหรับทำเครื่องหมายความยาวบนชิ้นทดลอง

4.9 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น

4.10 หม้อบด

4.11 เครื่องอัดแยกน้ำ

4.12 เครื่องรีดอากาศออก

4.13 เครื่องแป้นหมุน

4.14 โคนหมายเลข 5, 6, 7, 8 และ 9

4.15 ไม้บรรทัด

5. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย

5.1 ดินปากเกร็ด

5.2 ดินขาวลำปาง

5.3 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี

5.4 หินฟันม้าราชบุรี

5.5 หินปูนราชบุรี

5.6 แทลคัม

5.7 แมงกานีสไดออกไซด์

6. ลำดับขั้นในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้จะแบ่งลำดับขั้นการทดลองออกเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 เพื่อหาจุดที่ดีที่สุด ของอัตราส่วนผสม จำนวน 36 จุด

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองชุดที่ 2 เพื่อหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากการกระจายจุดที่ดีที่สุดของการทดลองชุดที่ 1

ตอนที่ 3 เป็นการทดลองคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา ซึ่งจะทดสอบเฉพาะผลการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

ตอนที่ 4 เป็นการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ตอนที่ 1 มีลำดับขั้นการทดลองตามลำดับดังนี้ คือ

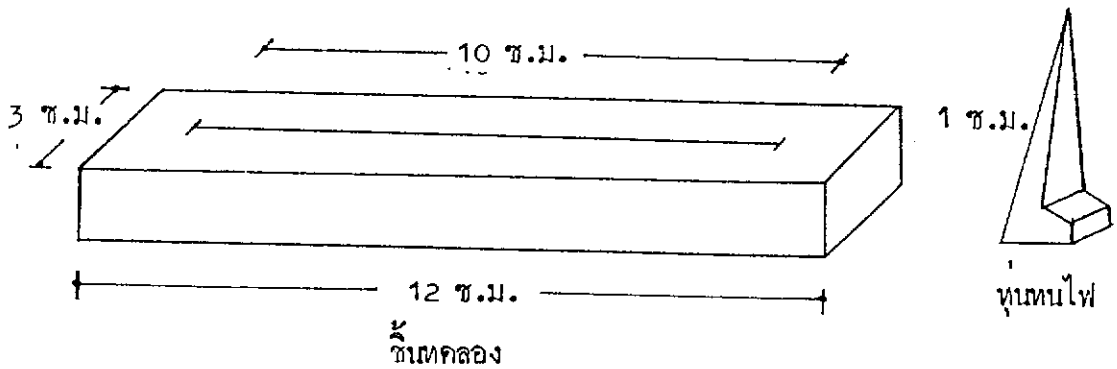
1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง โดยนำวัตถุดิบทุกชนิดมาบดให้ละเอียดและผ่านตะแกรงเบอร์ 80

2. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 1 ที่คำนวณได้จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าตามตาราง 11 ซึ่งมีจำนวน 36 จุด และชั่งอัตราส่วนผสมจุดละ 500 กรัม เพื่อนำไปทำชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟอย่างละ 6 ชิ้น สำหรับการทดลองเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส โดยเผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น

3. นำวัตถุดิบที่ชั่งไว้เข้าบดในหม้อบดขนาดเล็ก โดยเติมน้ำ 500 ซีซี และบดนาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาเกรอะในอ่างปูนปลาสเตอร์เพื่อแยกเอาน้ำออก แล้วจึงนวดด้วยมือให้เนื้อดินเป็นเนื้อเดียวกัน

4. นำดินที่นวดแล้วมาทำเป็นชิ้นทดลองและทุ่นทดสอบความทนไฟ โดยใช้แบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ ทำเครื่องหมายความยาวและรหัสบนชิ้นทดลองและทุ่นทดสอบความทนไฟ จากนั้นผึ่งชิ้นทดลองและทุ่นทดสอบความทนไฟให้แห้งในบรรยากาศปกติประมาณ 1 สัปดาห์

5. นำชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟที่แห้งแล้ว จำนวน 6 ชุด เข้าเผาเตาไฟฟ้า จำนวน 3 ชุด และเผาเตาแก๊ส จำนวน 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะของชิ้นทดลอง

6. ทดสอบการหดตัวหลังการเผา โดยนำชิ้นทดลองที่เผาแล้วมาวัดความยาวของเครื่องหมายที่ทำไว้ และนำมาคำนวณหาเปอร์เซนต์การหดตัว โดยใช้สูตรของ จอห์น บี เคนนี่

7. ทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น โดยชั่งน้ำหนักของชิ้นทดลองแต่ละชิ้นและจดบันทึกไว้ จากนั้นนำชิ้นทดลองไปต้มในจุดน้ำเดือดนาน 2 ชั่วโมง และทิ้งชิ้นทดลองไว้ในหม้อต้มอีก 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำชิ้นทดลองมาเช็ดให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดลองอีกครั้งและจดบันทึกไว้ แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำโดยใช้สูตรของ จอห์น บี เคนนี่

8. ทดสอบความทนไฟของเนื้อดินปั้น โดยดูผลจากการเผาหุ่นทดลองว่าโค้งงอหรือไม่ ถ้าโค้งงอแสดงว่าเนื้อดินปั้นเริ่มหลอมละลาย และไม่สามารถทนต่อระดับอุณหภูมิที่เผาได้

9. ทดสอบสีของเนื้อดินปั้น โดยดูสีของชิ้นทดลองที่ปรากฏภายหลังการเผา

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองในชุดที่ 2 มีลำดับขั้นการทดลองดังนี้

1. เลือกจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิของการทดลองชุดที่ 1 มากระจายหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์โดยรอบบริเวณจุดที่เลือกตามแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยใช้ช่วงห่างแต่ละช่วงมีค่าต่างกันเพียง 1 หน่วย (ดูการกระจายหาอัตราส่วนผสมชุดที่ 2 หน้า 66 - 67)

2. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 ที่กระจายได้ในแต่ละระดับอุณหภูมิ จำนวนระดับอุณหภูมิละ 28 จุด และชั่งอัตราส่วนผสมจุดละ 200 กรัม เพื่อนำไปทำชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟอย่างละ 2 ชิ้น เผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น

อัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 จะมีจำนวนทั้งหมดประมาณ 168 อัตราส่วนผสม ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 6 ชุด ๆ ละ 28 อัตราส่วนผสม แล้วนำไปทดสอบตามลำดับขั้นเหมือนการทดลองชุดที่ 1 ดังนี้ คือ

2.1 บดผสมวัตถุดิบ โดยใช้น้ำ 200 ซีซี เกรอะแยกน้ำ แล้วนวด

2.2 นำดินที่นวดแล้วมาทำชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟอย่างละ 2 ชิ้น และผึ่งให้แห้งประมาณ 1 สัปดาห์

2.3 นำชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟที่แห้งแล้วไปเผาในแต่ละระดับอุณหภูมิ โดยเผาแบบออกซิเดชั่น 1 ชุด และเผาแบบรีดักชั่น 1 ชุด

2.4 ทดสอบการหดตัวหลังการเผา

2.5 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.6 ทดสอบความทนไฟ

2.7 ทดสอบสี

ตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ก่อนการเผา โดยเลือกผลการทดลองในชุดที่ 2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์มาทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปและความแข็งแรงของดิน ตามลำดับขั้น คือ

1. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมที่อยู่ในเกณฑ์ความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จำนวนอัตราส่วนผสมละ 500 กรัม ใส่ลงบนแผ่นกระจกที่เตรียมไว้

2. เติมน้ำทีละน้อยใช้เกรียงคนให้เข้ากัน และจดบันทึกปริมาณน้ำที่เติมทั้งหมดไว้

3. นวดดินจนสามารถขึ้นรูปได้

4. คำนวณหาปริมาณน้ำโดยใช้สูตรของ จอห์น บี เคนนี่

5. นำดินที่นวดแล้วมาทำเป็นชิ้นทดลองและผึ่งให้แห้ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบ จดบันทึกแรงกดที่ทำให้ชิ้นทดลองหัก แล้วจึงคำนวณหาค่าความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น โดยใช้สูตรของ ซอนย่า เอส ซิงเกอร์

ตอนที่ 4 ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยเลือกเฉพาะผลการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองชุดที่ 2 ในแต่ละระดับอุณหภูมิมาทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นชุดอาหารและแจกัน ตามลำดับขั้นตอนดังนี้ คือ

1. เตรียมวัตถุดิบ

1.1 บดและร่อนวัตถุดิบผ่านตะแกรงเบอร์ 80

1.2 ชั่งและบดผสมวัตถุดิบ โดยใช้หม้อบดขนาดใหญ่และใช้น้ำช่วยในการคลุกเคล้า

1.3 ป้อนน้ำดินเข้าสู่เครื่องอัดแยกน้ำ

1.4 นำเนื้อดินปั้นที่ได้ไปเข้าเครื่องรีดอากาศออก

2. ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยนำเนื้อดินที่ได้ไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยการขึ้นรูปแบบแป้นหมุน

3. ผึ่งผลิตภัณฑ์ให้แห้ง โดยทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิท

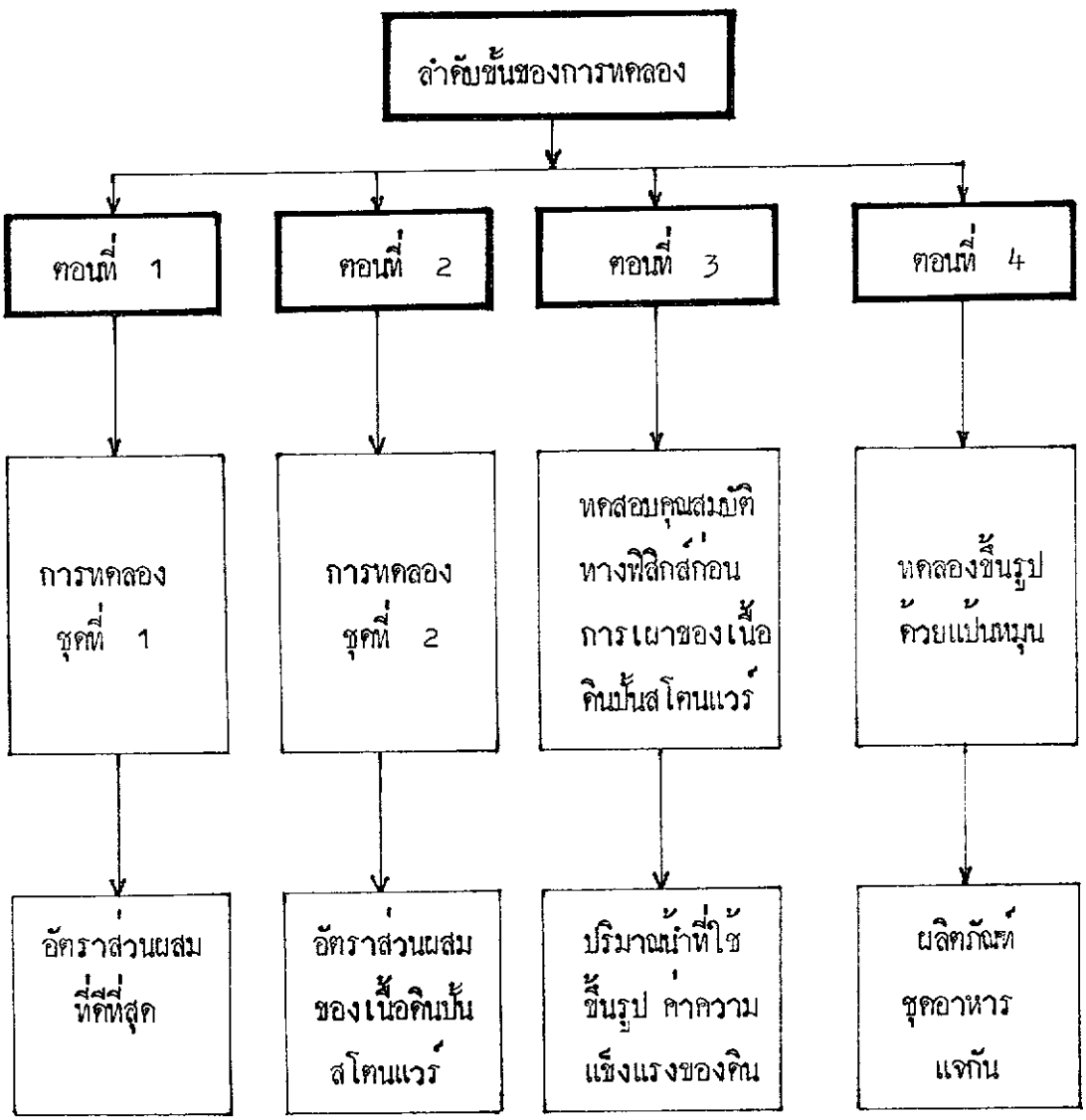
4. การเผาดิบ เป็นการเผาครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิในการเผาประมาณ 800 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการเผานาน 7 ชั่วโมง

5. การเคลือบผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กจะใช้วิธีจุ่ม ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่จะใช้วิธีพ่น

6. การเผาเคลือบ เป็นการเผาครั้งที่ 2 เผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 - 1,250 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการเผา 10 ชั่วโมง

7. คัดเลือกผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

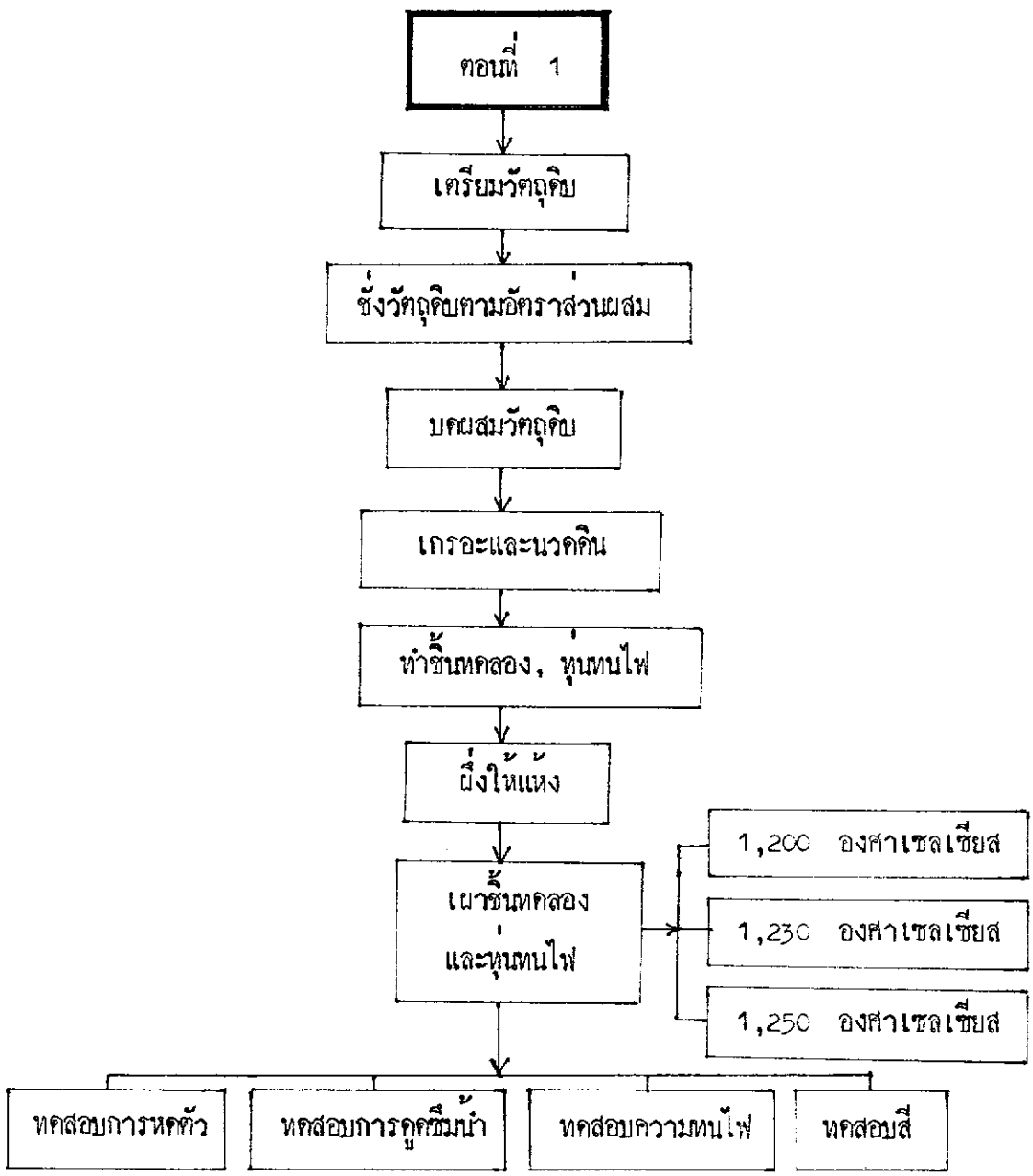
ลำดับขั้นของการทดลองครั้งนี้ สรุปได้เป็น 4 ตอน ดังภาพประกอบ 9



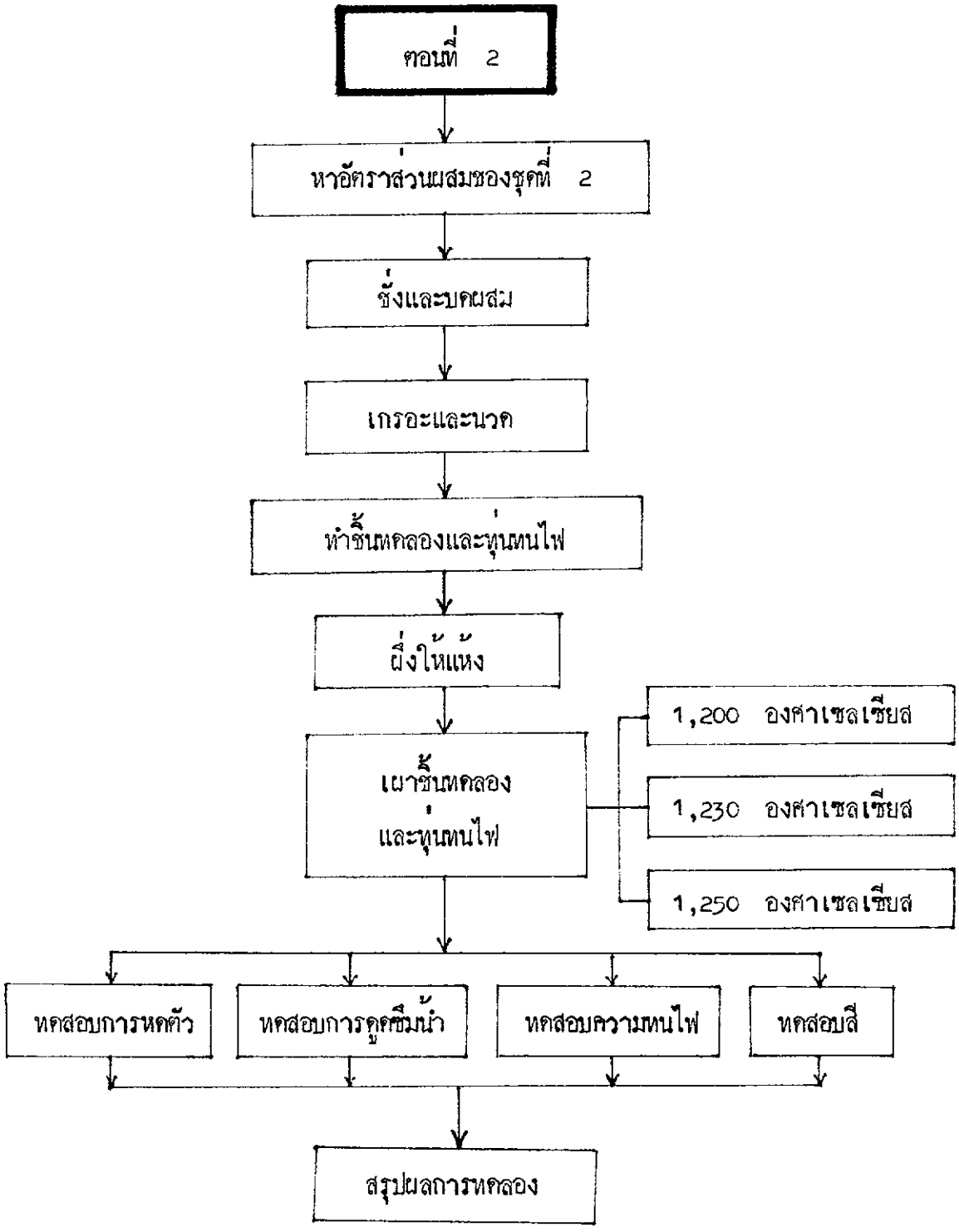
ภาพประกอบ 9 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นของการทดลอง

จากภาพประกอบ 9 ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด ซึ่งจะนำไปกระจายหาอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2 ตอนที่ 2 เป็นการทดลองชุดที่ 2 เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ตอนที่ 3 เป็นการทดสอบ

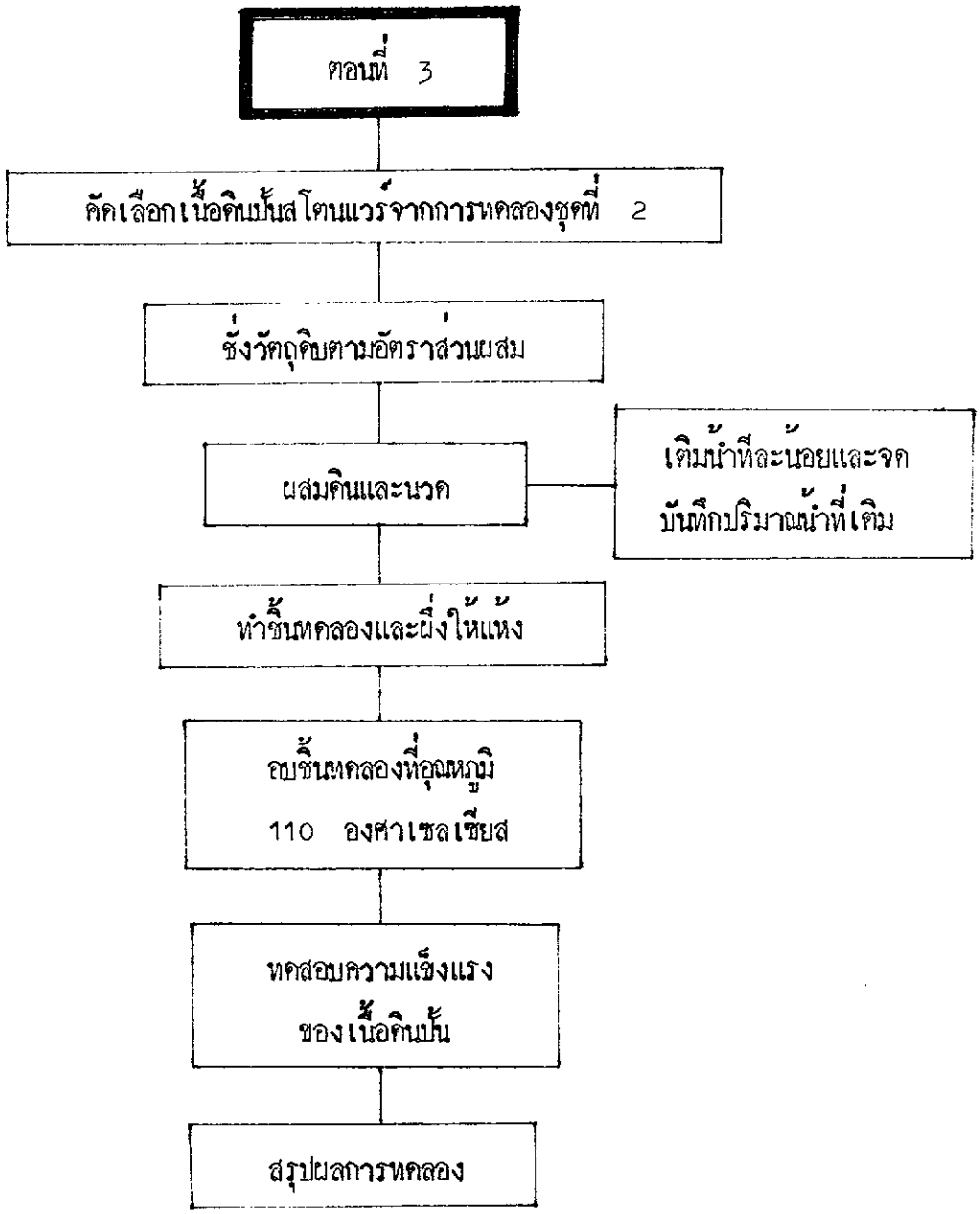
เพื่อหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปและความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่จะนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และตอนที่ 4 เป็นการทดลองนำเนื้อดินปั้นไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นชุดอาหารและแจกัน ในแต่ละตอนแสดงลำดับขั้นดังภาพประกอบ 10, 11, 12 และ 13



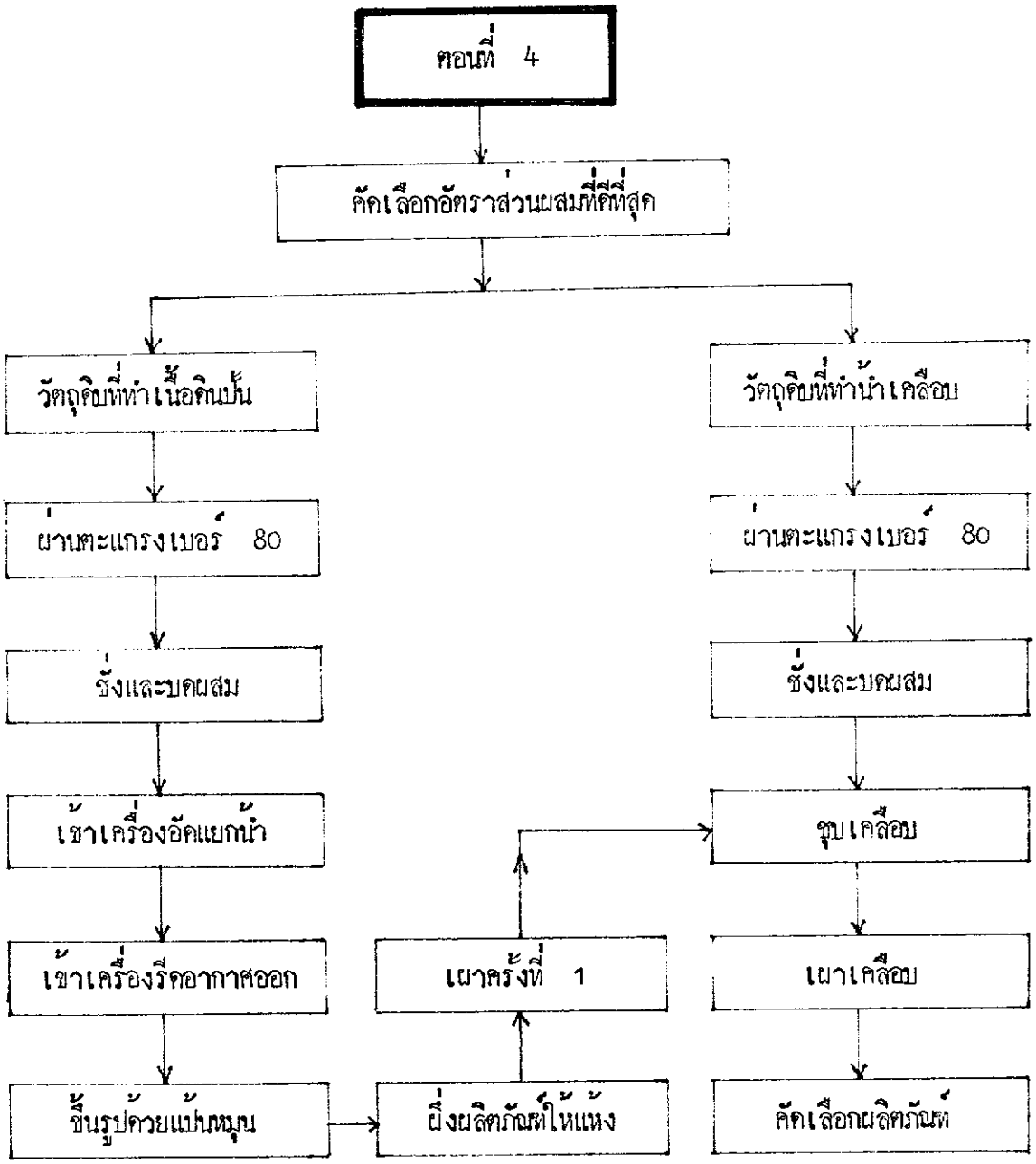
ภาพประกอบ 10 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง ตอนที่ 1



ภาพประกอบ 11 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง ตอนที่ 2



ภาพประกอบ 12 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดลอง ตอนที่ 3



ภาพประกอบ 13 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง ตอนที่ 4

7. สูตรที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้นำสูตรมาใช้คำนวณเพื่อหาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้น ดังต่อไปนี้ คือ

7.1 การหาเปอร์เซนต์การหดตัวหลังการเผา (Kenny. 1949 : 159)

$$\text{เปอร์เซนต์การหดตัว} = \frac{\text{จำนวนความยาวดินเปียก} - \text{จำนวนความยาวดินแห้ง}}{\text{จำนวนความยาวดินเปียก}} \times 100$$

7.2 การหาเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ (Kenny. 1949 : 158)

$$\text{เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{จุดอิ่มตัว} - \text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง}}{\text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง}} \times 100$$

7.3 การหาความแข็งแรงของดิน (Singer. 1963 : 337)

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

ให้ R = ค่าความแข็งแรงของดิน

W = แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดลองหัก

l = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง

b = ความกว้างของชิ้นทดลอง

h = ความหนาของชิ้นทดลอง

8. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

8.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ห้องปฏิบัติการภาควิชาเครื่องเคลือบดินเผา คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

8.2 ระยะเวลาที่ใช้ทำการทดลอง

8.2.1 ดำเนินการทดลองตอนที่ 1, 2 และ 3 เริ่มจากเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2534

8.2.2 ดำเนินการทดลองตอนที่ 4 เริ่มจากเดือนธันวาคม พ.ศ. 2534 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2535

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ด ดินขาวลำปาง หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี และแคลคัม โดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าในการหาอัตราส่วนผสม การทดลองครั้งนี้ได้แบ่งลำดับขั้นการทดลองออกเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของแต่ละระดับอุณหภูมิที่จะนำไปกระจายหาอัตราส่วนผสมของการทดลองชุดที่ 2

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองชุดที่ 2 เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ตามเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

ตอนที่ 3 เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา โดยทดสอบเฉพาะผลการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ เพื่อทดสอบการหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปและความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่จะนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 4 เป็นการทดลองนำเนื้อดินปั้นไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นชุดอาหารและแจกันด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบแป้นหมุน

เกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

1. การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา จะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 13 - 20
2. การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นจะดูดซึมน้ำได้ในช่วงร้อยละ 0 - 3
3. ความทนไฟของเนื้อดินปั้น เนื้อดินจะสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป

ผลการทดลอง

ผลการทดลองตอนที่ 1 เมื่อเผาชิ้นทดลองของการทดลองชุดที่ 1 ในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ผลการทดลองแสดงรายละเอียดตามตาราง 12, 13 และ 14

ตาราง 12 ผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
1.1	15.6	0.00	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลดำ
1.2	12.3	5.46	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลดำ
1.3	13.4	0.52	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลดำ
1.4	12.4	2.65	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
1.5	11.3	2.10	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
1.6	11.3	0.00	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.7	11.3	4.43	ทนได้	เนื้อ	น้ำตาลเหลือง
1.8	11.3	3.10	ทนได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
1.9	11.9	0.14	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.10	11.8	3.19	ทนได้	น้ำตาลส้ม	น้ำตาลดำ
1.11	12.9	0.42	ทนได้	เนื้อ	เนื้อ
1.12	13.5	0.00	ทนได้	เนื้อ	เนื้อ
1.13	12.0	0.13	ทนได้	น้ำตาล	เนื้อเข้ม

ตาราง 12 (ต่อ)

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
1.14	11.8	1.20	ทนได้	น้ำตาล	เนื้อเข้ม
1.15	9.2	6.13	ทนได้	ส้ม	เนื้อเข้ม
1.16	10.3	1.92	ทนได้	เนื้อ	เนื้อ
1.17	12.8	3.34	ทนได้	เนื้อ	เนื้อ
1.18	12.4	0.54	ทนได้	เนื้อ	เนื้อ
1.19	12.4	1.21	ทนได้	เนื้อ	เนื้อส้ม
1.20	10.8	4.56	ทนได้	เนื้อส้ม	เนื้อส้ม
1.21	7.1	11.62	ทนได้	ส้ม	เนื้อส้ม
1.22	11.8	0.00	ทนได้	เนื้ออ่อน	เทา
1.23	13.3	0.13	ทนได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
1.24	12.3	1.10	ทนได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
1.25	10.3	3.52	ทนได้	ส้มอ่อน	เนื้ออ่อน
1.26	11.3	2.60	ทนได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
1.27	9.2	5.14	ทนได้	ส้มอ่อน	ส้ม
1.28	5.1	12.36	ทนได้	เหลืองอ่อน	ส้ม
1.29	12.9	0.00	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
1.30	13.2	0.30	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
1.31	11.3	1.45	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
1.32	11.3	2.73	ทนได้	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน

ตาราง 12 (ต่อ)

เนื้อดินปั้นหมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
1.33	10.2	4.72	ทนได้	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน
1.34	9.1	6.75	ทนได้	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน
1.35	5.6	10.47	ทนได้	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน
1.36	3.0	14.61	ทนได้	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน

จากตาราง 12 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นที่ไม่สามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1 - 1.6 ส่วนเนื้อดินปั้นที่สามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.7 - 1.36 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.3, 1.12, 1.23 และ 1.30 คือ หดตัวร้อยละ 15.6, 13.4, 13.5, 13.3 และ 13.2 ตามลำดับ เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.3 - 1.6, 1.9, 1.11 - 1.14, 1.16, 1.18, 1.19, 1.22 - 1.24, 1.26 และ 1.29 - 1.32 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.00, 0.58, 2.65, 2.10, 0.00, 0.14, 0.42, 0.00, 0.13, 1.20, 1.92 0,54, 1.21, 0.00, 0.13, 1.10, 2.60, 0.00, 0.30, 1.45 และ 2.73 ตามลำดับ สีจากการเผาเนื้อดินปั้นในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่นส่วนใหญ่ให้สีที่แตกต่างกัน แต่มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขที่ให้สีเหมือนกัน ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.11, 1.12, 1.16, 1.17, 1.18, 1.20, 1.23, 1.24, 1.26 และ 1.32 - 1.36

ตาราง 13 ผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
2.1	13.4	1.20	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลดำ
2.2	13.4	7.15	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลดำ
2.3	13.4	0.58	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลดำ
2.4	11.8	6.77	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
2.5	11.3	7.35	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
2.6	11.6	0.00	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
2.7	10.8	6.87	ทนไม่ได้	เนื้อ	น้ำตาลเหลือง
2.8	10.3	5.36	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเขียว
2.9	12.4	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเขียว
2.10	11.3	5.02	ทนไม่ได้	น้ำตาลส้ม	น้ำตาลดำ
2.11	11.9	3.87	ทนไม่ได้	เนื้อ	น้ำตาลเหลือง
2.12	10.8	1.80	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	น้ำตาลเหลือง
2.13	11.5	0.26	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
2.14	11.3	1.17	ทนไม่ได้	น้ำตาล	น้ำตาลเหลือง
2.15	8.7	6.37	ทนไม่ได้	ส้ม	น้ำตาลเขียว
2.16	8.7	5.28	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้อเหลือง
2.17	11.9	1.06	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้อเหลือง
2.18	11.8	0.81	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้อเหลือง

ตาราง 13 (ต่อ)

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
2.19	12.4	1.20	ทนได้	เนื้อ	เนื้อเหลือง
2.20	10.2	4.78	ทนไม่ได้	เนื้อส้ม	เนื้อส้ม
2.21	6.1	11.70	ทนไม่ได้	ส้มอ่อน	เนื้อส้ม
2.22	10.7	0.00	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เทา
2.23	11.8	0.00	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
2.24	11.8	0.80	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
2.25	11.8	1.92	ทนได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
2.26	11.8	0.92	ทนได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
2.27	10.2	4.15	ทนได้	ส้มอ่อน	ส้ม
2.28	4.0	12.47	ทนได้	เหลืองอ่อน	ส้ม
2.29	12.9	0.00	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
2.30	13.3	0.00	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
2.31	11.8	1.20	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
2.32	11.8	11.32	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
2.33	11.2	3.78	ทนได้	เหลืองอ่อน	ครีม
2.34	9.1	5.45	ทนได้	เหลืองอ่อน	ครีม
2.35	7.1	9.67	ทนได้	เหลืองอ่อน	ส้มอ่อน
2.36	3.0	14.42	ทนได้	เหลืองอ่อน	ส้ม

จากตาราง 13 แสดงให้เห็นผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส นั้นเนื้อดินปั้นส่วนใหญ่ไม่สามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1 - 2.8, 2.10 - 2.12, 2.13 - 2.18 และ 2.20 - 2.24 ส่วนเนื้อดินปั้นที่สามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.9, 2.19 และ 2.25 - 2.36 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1 - 2.3 และ 2.30 คือ หดตัวร้อยละ 13.4, 13.4 และ 13.3 ตามลำดับ เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1, 2.3, 2.6, 2.9, 2.13, 2.14, 2.17 - 2.19, 2.22 - 2.26, 2.29 - 2.31 คือ ดูดซึมน้ำร้อยละ 1.20, 0.58, 0.00, 0.00, 7.80, 0.26, 1.17, 1.06, 0.08, 1.20, 0.00, 0.00, 0.80, 1.92, 0.92, 0.00, 0.00 และ 1.20 ตามลำดับ สีจากการเผาเนื้อดินปั้นในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่นส่วนใหญ่ให้สีแตกต่างกัน แต่มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขที่ให้สีเหมือนกัน ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.20 และ 2.23 - 2.26

ตาราง 14 ผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้นหมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
3.1	12.9	1.66	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง
3.2	12.9	1.61	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง
3.3	12.4	3.48	ทนไม่ได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง
3.4	11.8	1.57	ทนไม่ได้	เนื้อ	น้ำตาลเหลือง
3.5	10.8	0.82	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	น้ำตาลเหลือง

ตาราง 14 (ต่อ)

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
3.6	11.9	0.00	ทนไม่ได้	น้ำตาลเทา	น้ำตาลเหลือง
3.7	10.8	0.72	ทนไม่ได้	เนื้อ	น้ำตาลเหลือง
3.8	11.3	6.64	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	น้ำตาลเหลือง
3.9	11.3	0.13	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	น้ำตาลเหลือง
3.10	11.3	2.84	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	น้ำตาลเขียว
3.11	10.8	7.10	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	เนื้อ
3.12	10.3	6.87	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	เนื้อ
3.13	11.3	0.77	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	เนื้อ
3.14	10.8	1.75	ทนไม่ได้	เนื้อเข้ม	เนื้อ
3.15	9.2	5.39	ทนไม่ได้	ส้มอ่อน	น้ำตาล
3.16	9.7	4.11	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้อ
3.17	9.7	6.83	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้ออ่อน
3.18	10.3	3.02	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้ออ่อน
3.19	11.3	1.20	ทนไม่ได้	เนื้อ	เนื้อ
3.20	1.7	4.15	ทนไม่ได้	เนื้อส้ม	เนื้อ
3.21	5.6	11.40	ทนไม่ได้	ส้มอ่อน	เนื้อเข้ม
3.22	8.7	0.00	ทนไม่ได้	เทา	เนื้ออ่อน
3.23	10.7	0.00	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
3.24	11.3	0.26	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน

ตาราง 14 (ต่อ)

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
3.25	10.3	1.28	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
3.26	11.3	0.78	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
3.27	9.7	4.53	ทนไม่ได้	เนื้ออ่อน	เนื้ออ่อน
3.28	4.0	11.68	ทนไม่ได้	เหลืองอ่อน	ส้ม
3.29	12.7	0.13	ทนไม่ได้	ครีม	เทาอ่อน
3.30	13.3	0.00	ทนไม่ได้	ครีม	เทาอ่อน
3.31	11.9	0.40	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.32	12.3	0.00	ทนได้	เหลืองอ่อน	ครีม
3.33	12.2	0.39	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.34	9.1	4.28	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.35	6.6	10.25	ทนได้	เหลืองอ่อน	ส้ม
3.36	3.5	14.03	ทนได้	เหลืองอ่อน	ส้ม

จากตาราง 14 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1.250 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นส่วนใหญ่ไม่สามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.1 - 3.28 และ 3.30 ส่วนเนื้อดินปั้นที่สามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.31 - 3.36 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.30 คือ หดตัวร้อยละ 13.3 เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้น

หมายเลข 3.1, 3.2, 3.4 - 3.7, 3.9, 3.10, 3.13, 3.14, 3.19, 3.22 - 3.26 และ 3.29 - 3.33 คือ ดูดซึมน้ำร้อยละ 1.66, 1.61, 1.57, 0.82, 0.00, 0.72, 0.13, 2.84, 0.77, 1.75, 1.20, 0.53, 0.00, 0.26, 1.28, 0.78, 0.13, 0.00, 0.40, 0.00 และ 0.39 ตามลำดับ สีจากการเผาเนื้อดินปั้นในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่นส่วนใหญ่ให้สีที่แตกต่างกัน แต่มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขที่ให้สีเหมือนกัน ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.1, 3.3, 3.16, 3.19 และ 3.22 - 3.27

จากผลการทดลองชุดที่ 1 ผู้วิจัยได้เลือกจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ เพื่อนำไปกระจายหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นสำหรับการทดลองชุดที่ 2 ดังนี้ คือ

1. <u>ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส</u> ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 9 เนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ถึงระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ก็มีการบวมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การหดตัวใกล้เคียงร้อยละ 13 คือ หดตัวร้อยละ 12.0 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.14

2. <u>ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส</u> ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 19 เนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ถึงระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ก็บวมเพียงเล็กน้อย การหดตัวใกล้เคียงร้อยละ 13 คือ หดตัวร้อยละ 12.4 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 คือ การดูดซึมน้ำร้อยละ 1.20

3. <u>ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส</u> ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 31 เนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ถึงระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส การหดตัวใกล้เคียงร้อยละ 13 คือ หดตัวร้อยละ 11.9 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.40

เนื้อดินปั้นที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งแต่ละจุดมีอัตราส่วนผสม ตาราง 15

ตาราง 15 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นจากจุดที่ดีที่สุดในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	เนื้อดินปั้น หมายเลข	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเชี่ยวหนุมาน จันทบุรี	แหลคัม
1,200	9	50	20	30	2
1,230	19	30	30	40	2
1,250	31	10	60	30	2

ผลการทดลองตอนที่ 2 เมื่อเผาชิ้นทดลองของการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งได้จากการกระจายจุดที่ดีที่สุดของการทดลองชุดที่ 1 ในแต่ละระดับอุณหภูมิ (ดูการกระจายจุดที่ดีที่สุดในภาคผนวก ก. ผลจากการทดลองชุดที่ 2 แสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 16, 17 และ 18

ตาราง 16 ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
1.1	13.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.2	13.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม

ตาราง 16 (ต่อ)

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
1.3	12.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.4	13.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.5	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.6	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.7	11.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.8	13.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.9	13.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.10	12.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.11	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.12	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.13	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.14	13.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.15	11.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.16	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.17	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.18	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.19	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1.20	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.21	12.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม

ตาราง 16 (ต่อ)

เนื้อดินปั้นหมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
1.22	11.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.23	12.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.24	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.25	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1.26	12.0	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.27	12.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1.28	13.5	0.00	ทนได้	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา

จากตาราง 16 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขสามารถทนความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.5 - 13.5 และเนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14 และ 1.28 คือ หดตัวร้อยละ 13, 13, 13, 13, 13, 13 และ 13.5 ตามลำดับ ส่วนการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 และสีจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีที่แตกต่างกัน การเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีน้ำตาลแดง การเผาแบบรีดักชั่น เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1 - 1.3, 1.11 - 1.15 และ 1.21 - 1.25 ให้สีเทาเข้ม เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.4 - 1.7, 1.16, 1.17 และ 1.26 - 1.28 ให้สีน้ำตาลเทา เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.8 - 1.10 และ 1.18 - 1.20 ให้สีน้ำตาลเหลือง

ตาราง 17 ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
2.1	11.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.2	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.3	11.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.4	11.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.5	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.6	10.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.7	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.8	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.9	12.0	1.85	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.10	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.11	11.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.12	11.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.13	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.14	12.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.15	12.5	1.85	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.16	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.17	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.18	13.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง

ตาราง 17 (ต่อ)

เนื้อดินปั้นหมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
2.19	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.20	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.21	12.0	1.88	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.22	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เทา
2.23	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.24	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.25	12.0	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.26	10.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.27	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
2.28	11.5	0.00	ทนได้	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง

จากตาราง 17 แสดงให้เห็นว่าการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.5 - 13 และเนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 คือ หดตัวร้อยละ 13 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นส่วนใหญ่จะดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 แต่เนื้อดินปั้นบางหมายเลขสามารถดูดซึมน้ำได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.9, 2.15 และ 2.21 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 1.85, 1.85 และ 1.88 ตามลำดับ และสีจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น

เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีที่แตกต่างกัน การเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีเนื้อเข้ม การเผาแบบรีดักชั่นเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1 - 2.8, 2.13 - 2.18 และ 2.23 - 2.28 ให้สีเนื้อเหลือง เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.9 - 2.12 และ 2.19 - 2.22 ให้สีเทา

ตาราง 18 ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้นหมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
3.1	11.5	3.5	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.2	10.0	3.5	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.3	12.0	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.4	12.0	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.5	10.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.6	12.0	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.7	11.5	1.7	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.8	12.5	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.9	12.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.10	11.5	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.11	12.0	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.12	12.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.13	12.0	3.5	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน

ตาราง 18 (ต่อ)

เนื้อดินปั้นหมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความทนไฟ	สี	
				เผาแบบออกซิเดชั่น	เผาแบบรีดักชั่น
3.14	11.5	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.15	11.5	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.16	12.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.17	11.5	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.18	11.5	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.19	12.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.20	11.5	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.21	11.5	3.5	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.22	12.0	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.23	12.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.24	12.0	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.25	12.0	1.9	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.26	12.5	0.0	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.27	11.5	3.6	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน
3.28	12.5	1.8	ทนได้	ครีม	เทาอ่อน

จากตาราง 18 แสดงให้เห็นว่าการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 12.5 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3.6 เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.3 - 3.12, 3.14 - 3.20, 3.22 - 3.26 และ 3.28 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 1.8, 1.8, 0.0, 1.8, 1.7, 1.8, 0.0, 0.0, 1.8, 0.0, 1.8, 1.8, 0.0, 0.0, 1.8, 0.0, 0.0, 1.9, 0.0 และ 1.8 ตามลำดับ และสีของเนื้อดินปั้นจากการเผาบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีที่แตกต่างกัน การเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีครีม การเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขจะให้สีเทาอ่อน

ผลการทดลองตอนที่ 3 คัดเลือกผลการทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่สามารถแสดงให้เห็นได้ตามตาราง 19

ตาราง 19 ผลการคัดเลือกผลการทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
1,200	1.1	13.0	0.0	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1,200	1.2	13.0	0.0	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม
1,200	1.4	13.0	0.0	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1,200	1.8	13.0	0.0	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1,200	1.9	13.0	0.0	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเหลือง
1,200	1.14	13.0	0.0	น้ำตาลแดง	เทาเข้ม

ตาราง 19 (ต่อ)

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	เนื้อดินปั้น หมายเลข	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	สี	
				เผาแบบ ออกซิเดชั่น	เผาแบบ รีดักชั่น
1,200	1.28	13.5	0.0	น้ำตาลแดง	น้ำตาลเทา
1,230	2.18	13.0	0.0	เนื้อเข้ม	เนื้อเหลือง
1,250	-	-	-	-	-

จากตาราง 19 เนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ในแต่ละระดับอุณหภูมิ คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14 และ 1.28 ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าไม่มีเนื้อดินปั้นหมายเลขใดที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

การทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปและความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จากผลการทดลองในชุดที่ 2 ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ตามตาราง 19 นั้นสามารถแสดงให้เห็นได้ตามตาราง 20

ตาราง 20 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

เนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสิน หมายเลข	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป (ร้อยละ)	ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น (กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร)
1.1	21.0	15.17
1.2	21.0	14.01
1.4	22.0	14.29
1.8	21.0	15.18
1.9	22.0	13.31
1.14	22.0	14.01
1.28	22.0	15.18
2.18	24.0	13.08

จากตาราง 20 แสดงว่าเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14, 1.28 และ 2.18 ซึ่งเนื้อดินปั้นแต่ละหมายเลขมีปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปร้อยละ 21.0, 21.0, 22.0, 21.0, 22.0, 22.0, 22.0 และ 24.0 ตามลำดับ และมีความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น 15.18, 14.01, 14.29, 15.18, 13.31, 14.01, 15.17 และ 13.08 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยแป้นหมุนได้

จากผลการทดลองตอนที่ 3 ตามตาราง 19 และ 20 ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 ที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดอาหารและแจกัน เนื่องจากเนื้อดินปั้นมีความแข็งแรงมากที่สุด ทำให้สามารถเคลื่อนย้าย

ผลิตภัณฑ์ได้ง่ายโดยไม่แตกเสียหาย ส่วนในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส มีเนื้อดินปั้นเพียงหมายเลขเดียว คือ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ที่จะนำไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดอาหารและแจกันเช่นกัน สำหรับเนื้อดินปั้นที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส นั้นไม่มีเนื้อดินปั้นหมายเลขใดผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ผู้วิจัยจึงมิได้นำเนื้อดินปั้นที่เผาในระดับอุณหภูมินี้ไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองตอนที่ 4 คัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิจากผลการทดลองตอนที่ 3 มาทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ชุดอาหารและแจกัน ซึ่งปรากฏผลดังนี้

1. การทดลองขึ้นรูปเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 48 ดินขาวลำปางร้อยละ 18 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 34 และแทลคัมร้อยละ 2 เนื้อดินปั้นสามารถใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีแป้นหมุนได้ดี เนื่องจากเนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี ขณะขึ้นรูปเนื้อดินสามารถทรงตัวได้ดีโดยไม่ทรุด การเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งสามารถทำได้สะดวกเนื่องจากเนื้อดินมีความแข็งแรงดี คือ มีความแข็ง 15.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำชิ้นงานไปเคลือบและเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้โดยมีการบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อย และเคลือบสามารถจับติดผิวเนื้อดินปั้นได้ดี

2. การทดลองขึ้นรูปเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 29 ดินขาวลำปางร้อยละ 31 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 40 และแทลคัมร้อยละ 2 เนื้อดินปั้นมีความเหนียวน้อยกว่าเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 การทรงตัวขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื้อดินปั้นสามารถทรงตัวได้ดีโดยไม่ทรุด การเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งต้องระมัดระวัง เนื่องจากเนื้อดินปั้นมีความแข็งแรงน้อยกว่าเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 คือ มีความแข็งแรง 13.08 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำชิ้นงานไปเคลือบและเผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้โดยมีการบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อย และเคลือบสามารถจับติดผิวของเนื้อดินปั้นได้ดี (ดูภาพประกอบ 15 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบแล้วในหน้า 144 - 145)

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ดผสมกับดินขาวลำปาง หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรีและแทลคัม ให้สามารถผลิตเป็นชุดอาหารและแจกันด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบแป้นหมุนได้

จุดมุ่งหมายของการทดลอง

การทดลองครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ดร้อยละ 10 - 80 ดินขาวลำปางร้อยละ 10 - 80 หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 10 - 80 และแทลคัมร้อยละ 2 โดยใช้อัตราส่วนผสมที่ได้จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ดร้อยละ 10 - 80 ดินขาวลำปางร้อยละ 10 - 80 หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 10 - 80 และแทลคัมร้อยละ 2 จำนวน 36 อัตราส่วนผสม เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ

ตอนที่ 2 เป็นการทดลองชุดที่ 2 โดยนำจุดที่ดีที่สุดจากการทดลองชุดที่ 1 ในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส มากระจายตามแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งใช้ช่วงห่างแต่ละช่วงในแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าที่กระจายให้มีค่าต่างกันเพียง 1 หน่วย ทำให้ได้อัตราส่วนผสมใหม่อีกจำนวน 28 จุด และทำการทดลองเพื่อหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ คือ การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาจะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 13 - 20 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้น จะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ

0 - 3 และความทนไฟของเนื้อดินปั้น เนื้อดินปั้นจะสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป

ตอนที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

ตอนที่ 4 เป็นการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จากเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ดีที่สุดที่ทดลองได้ในแต่ละระดับอุณหภูมิ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย เตาไฟฟ้าชนิดที่ใช้เผาอุณหภูมิสูง เตาแกสชนิดทางเดินลมร้อนลง เครื่องชั่งชนิดละเอียด เครื่องทดสอบความแข็งแรงของดิน หม้อบด เครื่องอัดแยกน้ำ เครื่องรีดอากาศออก เครื่องแป้นหมุน ตะแกรงร่อน กระบอกตวง เกรียง แผ่นกระจก แบบพิมพ์ชิ้นทดลอง แผ่นโลหะทำเครื่องหมายความยาวบนชิ้นทดลอง ไม้บรรทัด และโคน

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเนื้อดินปั้น ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ด ดินขาวลำปาง หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี และแทลคัม

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการทำน้ำเคลือบ ประกอบไปด้วย ดินขาวลำปาง หินฟันม้าราชบุรี หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี หินปูนราชบุรี และสังกะสีออกไซด์

ลำดับขั้นการทดลอง

การทดลองครั้งนี้แบ่งลำดับขั้นการทดลองออกเป็น 4 ตอน และแต่ละตอนมีลำดับขั้นการทดลองดังนี้

ตอนที่ 1 และตอนที่ 2 มีลำดับขั้นการทดลอง คือ

1. ชั่งอัตราส่วนผสม
2. บดอัตราส่วนผสมในหม้อบดขนาดเล็ก และนำน้ำดินไปเกรอะให้หมาด
3. นวดดิน ทำชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟ แล้วผึ่งให้แห้ง
4. เผาชิ้นทดลองและทุ่นทนไฟแต่ละชุดในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น
5. ทดสอบการดูดซึมน้ำ ความทนไฟ และสีของชิ้นทดลองทั้งหมด

ตอนที่ 3 มีลำดับขั้นการทดลอง คือ

1. ชั่งวัตถุดิบตามจุดที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จุดละ 500 กรัม ใส่ลงบนแผ่นกระจก
2. เติมน้ำทีละน้อยแล้วคนให้เข้ากัน จดบันทึกปริมาณน้ำที่เติม
3. นวดดินจนสามารถขึ้นรูปได้
4. คำนวณหาปริมาณน้ำ
5. ทำชิ้นทดลองและทดสอบความแข็งแรง

ตอนที่ 4 มีลำดับขั้นการทดลอง คือ

1. คัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ
2. เตรียมวัตถุดิบที่เป็นเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ โดยชั่งและบดผสม แล้วนำน้ำดินไปเข้าเครื่องอัดแยกน้ำ และเครื่องรีดอากาศออก

3. นำเนื้อดินปั้นมาขึ้นรูปภาชนะใส่อาหารและแจกัน ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบแป้นหมุนและผึ่งผลิตภัณฑ์ให้แห้ง

4. เผาดิบ ใช้อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการเผานาน 7 ชั่วโมง

5. เคลือบผลิตภัณฑ์

6. เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการเผา 10 ชั่วโมง

7. คัดเลือกผลิตภัณฑ์

ผลการทดลอง

จากการทดลองอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินปากเกร็ด ผสมกับ ดินขาวลำปาง หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี และแทลคัม ในแต่ละตอนได้ผลการทดลองดังนี้ คือ

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 โดยทดลองอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินปากเกร็ด ร้อยละ 10 - 80 ผสมกับ ดินขาวลำปางร้อยละ 10 - 80 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 10 - 80 และแทลคัมร้อยละ 2 จำนวน 36 อัตราส่วนผสม เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

1. เมื่อเผาชิ้นทดลองในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นที่ไม่สามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1-1.6 ส่วนเนื้อดินปั้นที่สามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.7 - 1.36 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.3, 1.12, 1.23 และ 1.30 คือ หดตัวร้อยละ 15.6, 13.4, 13.5, 13.3 และ 13.2 ตามลำดับ เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - 3 ได้แก่

เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.3 - 1.6, 1.9, 1.11 - 1.14, 1.16, 1.18, 1.19, 1.22 - 1.24, 1.26 และ 1.29 - 1.32 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.00, 0.58, 2.65, 2.10, 0.00, 0.14, 0.42, 0.00, 0.13, 1.20, 1.92, 0.54, 1.21, 0.00, 0.13, 1.10, 2.60, 0.00, 0.30, 1.45 และ 2.73 ตามลำดับ สีจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ส่วนใหญ่ให้สีที่แตกต่างกัน แต่มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขให้สีที่เหมือนกัน ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.11, 1.12, 1.16, 1.17, 1.18, 1.20, 1.23, 1.124, 1.26 และ 1.32 - 1.36 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ได้ผลดีประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 10 - 50 ดินขาวลำปางร้อยละ 10 - 80 หินเขียวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 10 - 40 และแทลคัมร้อยละ 2

2. <u>เมื่อเผาชิ้นทดลองในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส</u> เนื้อดินปั้นส่วนใหญ่ไม่สามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1 - 2.8, 2.10 - 2.12, 2.13 - 2.18 และ 2.20 - 2.24 ส่วนเนื้อดินปั้นที่สามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.9, 2.19 และ 2.25 - 2.36 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินหมายเลข 2.1 - 2.3 และ 2.30 คือ หดตัวร้อยละ 13.4, 13.4 และ 13.3 ตามลำดับ เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1, 2.3, 2.6, 2.9, 2.12 - 2.14, 2.17 - 2.19, 2.2 - 2.26 และ 2.29 - 2.31 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 1.20, ".58, 0.00, 0.00, 1.80, 0.26, 1.17, 1.06, 0.81, 1.20, 0.00, 0.00, 0.80, 1.92, 0.92, 0.00, 0.00, และ 1.20 ตามลำดับ สีจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ส่วนใหญ่ให้สีที่แตกต่างกัน แต่มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขที่ให้สีเหมือนกัน ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.20 และ 2.23 - 2.26 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ได้ผลดี ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 10 - 30 ดินขาวลำปางร้อยละ 30 - 80 หินเขียวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 10 - 50 และแทลคัมร้อยละ 2

3. <u>เมื่อเผาชิ้นทดลองในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส</u> เนื้อดินปั้นส่วนใหญ่ไม่สามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.1 - 3.29 และ 3.30 ส่วนเนื้อดินปั้นที่สามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.31 - 3.36 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.30 คือ หดตัวร้อยละ 13.3, เนื้อดินปั้นที่มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.1, 3.2, 3.4, 3.7, 3.9, 3.10, 3.13, 3.14, 3.19, 3.22 - 3.26 และ 0.29 - 3.33 คือ ดูดซึมน้ำร้อยละ 1.66, 1.61, 1.57, 0.82, 0.00, 0.72, 0.13, 2.84, 0.77, 1.75, 1.20, 0.53, 0.00, 0.26, 1.28, 0.78, 0.13, 0.00, 0.40, 0.00 และ 0.39 ตามลำดับ สีจากการเผาเนื้อดินปั้นในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ส่วนใหญ่ให้สีที่แตกต่างกัน แต่มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขที่ให้สีเหมือนกัน ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.1, 3.3, 3.16, 3.19 และ 3.22 - 3.27 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ได้ผลดีประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 10 ดินขาวลำปางร้อยละ 40 - 60 หินเชี่ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 30 - 50 และแทลคัมร้อยละ 2

จากผลการทดลองชุดที่ 1 ผู้วิจัยได้เลือกจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ ดังนี้คือ

1. <u>ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส</u> ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 9 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 50 ดินขาวลำปางร้อยละ 20 หินเชี่ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 30 และแทลคัมร้อยละ 2 เนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ถึงระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นบวมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การหดตัวของเนื้อดินปั้นใกล้เคียงร้อยละ 13 คือ หดตัวร้อยละ 12.0 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.14

2. ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 19 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 30 ดินขาวลำปางร้อยละ 30 หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 40 และแทลคัมร้อยละ 2 เนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ถึงระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นบวมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การหดตัวใกล้เคียงร้อยละ 13.0 คือ หดตัวร้อยละ 12.4 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 คือ ดูดซึมน้ำร้อยละ 1.20

3. ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 31 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 10 ดินขาวลำปางร้อยละ 60 หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 30 และแทลคัมร้อยละ 2 เนื่องจากเนื้อดินปั้นสามารถทนต่อความร้อนได้ถึงระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส การหดตัวใกล้เคียงร้อยละ 13.0 คือ หดตัวร้อยละ 11.9 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.40

ตอนที่ 2 การทดลองชุดที่ 2 เป็นการทดลองอัตราส่วนผสมที่ได้จากการกระจายอัตราส่วนผสมของจุดที่ 9, 19 และ 31 (ดูการกระจายอัตราส่วนผสมของจุดที่ 9, 19 และ 31 ในภาคผนวก ก.) เพื่อหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ผลการทดลองมีดังนี้ คือ

1. ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้จากการทดลองอัตราส่วนผสมจำนวน 28 จุด ที่กระจายได้จากอัตราส่วนผสมจุดที่ 9 ซึ่งอัตราส่วนผสมประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 48 - 54 ดินขาวลำปางร้อยละ 18 - 24 หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 28 - 34 และแทลคัมร้อยละ 2 ผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขสามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.5 - 13.5 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13.0 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14 และ 1.28 คือ หดตัวร้อยละ 13.0, 13.0, 13.0, 13.0, 13.0, 13.0 และ 13.5 ตามลำดับ

การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.0 สีจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีที่แตกต่างกัน การเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีน้ำตาลแดง การเผาแบบรีดักชั่น เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1 - 1.3, 1.11 - 1.15 และ 1.21 - 1.25 ให้สีเทาเข้ม เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.4 - 1.7, 1.16, 1.17 และ 1.26 - 1.28 ให้สีน้ำตาลเทา เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.8 - 1.10 และ 1.18 - 1.20 ให้สีน้ำตาลเหลือง

2. ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ได้จากการทดลองอัตราส่วนผสม จำนวน 28 จุด ที่กระจายได้จากอัตราส่วนผสมจุดที่ 19 ซึ่งอัตราส่วนผสมประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 28 - 34 ดินขาวลำปางร้อยละ 28 - 34 หินเขี้ยวหนุมานร้อยละ 38 - 44 และแคลคัมร้อยละ 2 ผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขสามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียสได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.5 - 13.0 เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวร้อยละ 13.0 ขึ้นไป ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 คือ หดตัวร้อยละ 13.0 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นส่วนใหญ่จะดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 0.0 แต่เนื้อดินปั้นบางหมายเลขสามารถดูดซึมน้ำได้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.9, 2.15 และ 2.21 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 1.85, 1.85 และ 1.88 ตามลำดับ สีจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีที่แตกต่างกัน การเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีเนื้อเข้ม การเผาแบบรีดักชั่นเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.1 - 2.8, 2.13 - 2.18 และ 2.23 - 2.28 ให้สีเนื้อเหลือง เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.9 - 2.12 และ 2.19 - 2.22 ให้สีเทา

3. ผลการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ได้จากการทดลองอัตราส่วนผสม จำนวน 28 จุด ที่กระจายได้จากอัตราส่วนผสมจุดที่ 31 ซึ่งอัตราส่วนผสมประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 8 - 14 ดินขาวลำปางร้อยละ 58 - 64 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 28 - 34 และแคลคัมร้อยละ 2 ผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้น

ทุกหมายเลขสามารถทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสได้ การหดตัวของเนื้อดินปั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.0 - 12.5 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 3 ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 3.3 - 3.12, 3.14 - 3.20, 3.22 - 3.26 และ 3.28 คือ ดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 1.8, 1.8, 0.00, 1.8, 1.7, 1.8, 0.00, 0.00, 1.8, 0.00, 1.8, 1.8, 0.00, 0.00, 1.8, 0.00, 0.00, 1.9, 0.00 และ 1.8 ตามลำดับ สีของเนื้อดินปั้นจากการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น เนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีที่แตกต่างกัน การเผาแบบออกซิเดชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีครีม การเผาบรรยากาศแบบรีดักชั่นเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขให้สีเทาอ่อน

จากผลการทดลองชุดที่ 2 เนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ซึ่งมีอยู่ 3 เกณฑ์ คือ การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาอยู่ในช่วงร้อยละ 13.0 - 20.0 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.0 - 3.0 และสามารถทนต่อความร้อนได้ตั้งแต่ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป พบว่าเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14 และ 1.28 ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ไม่มีเนื้อดินปั้นหมายเลขใดผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (ดูผลการคัดเลือกการทดลองชุดที่ 2 ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่ตาราง 19 หน้า 99)

<u>ตอนที่ 3</u> การทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14, 1.28 และ 2.18 ซึ่งเนื้อดินปั้นแต่ละหมายเลขมีปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปร้อยละ 21, 21, 22, 21, 22, 22, 22 และ 24 ตามลำดับ และมีความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น 15,18, 14.01, 14.29, 15.18, 13.31, 14.01, 15.17 และ 13.08 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตรตามลำดับ

จากผลการทดลองตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 ที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส และเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดอาหารและแจกัน เนื่องจากเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 มีความแข็งแรงมากที่สุด คือ 15.18 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร และมีการหดตัวมากที่สุดเช่นกัน คือ หดตัวร้อยละ 13.5 เนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี ความแข็งแรงมาก ทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย และเคลื่อนย้ายชิ้นงานได้สะดวกโดยไม่แตกเสียหาย ส่วนเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 นั้นเป็นเนื้อดินปั้นเพียงหมายเลขเดียวที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส สำหรับที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียสนั้น ไม่มีเนื้อดินปั้นหมายเลขใดที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ผู้วิจัยจึงมิได้นำเนื้อดินปั้นที่เผาในระดับอุณหภูมินี้ไปทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ตอนที่ 4 การทดลองนำเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดอาหารและแจกัน ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบแป้นหมุน ได้ผลการทดลองดังนี้

1. เนื้อดินปั้นที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้เลือกเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 48 ดินขาวลำปางร้อยละ 18 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 34 และแทลคัมร้อยละ 2 ผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี ใช้ขึ้นรูปแป้นหมุนได้ดี ขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เนื้อดินสามารถทรงตัวได้ดีโดยไม่ทรุด การเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งทำได้สะดวก เนื่องจากเนื้อดินมีความแข็งแรงดี คือ มีความแข็ง 15.18 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร เมื่อนำชิ้นงานไปเคลือบและเผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นสามารถทนความร้อนได้ โดยมีการบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อยและเคลือบสามารถจับติดผิวของเนื้อดินปั้นได้ดี

2. เนื้อดินปั้นที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้ใช้เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่ประกอบไปด้วย ดินปากเกร็ดร้อยละ 39 ดินขาวลำปางร้อยละ 31 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 30 และแทลคัมร้อยละ 2 ผลการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นมีความเหนียวน้อยกว่าเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนทำได้ยากกว่าเนื้อดินปั้น

หมายเลข 1.28 การหรงตัวขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื้อดินปั้นสามารถหรงตัวได้ดีโดยไม่หรุด การเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งต้องให้ความระมัดระวัง เนื่องจากเนื้อดินปั้นมีความแข็งแรงน้อยกว่าเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 เมื่อนำชิ้นงานไปเคลือบและเผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นทนความร้อนได้ โดยมีการบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อย และเคลือบสามารถยึดติดผิวของเนื้อดินปั้นได้ดี

3. <u>เนื้อดินปั้นที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส</u> ผู้วิจัยมิได้นำมาทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไม่มีเนื้อดินปั้นหมายเลขใดที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (ดูภาพประกอบ 24, 25 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ผ่านการเผาเคลือบในหน้า 144 - 145)

<u>ข้อสังเกตเกี่ยวกับการทดลอง</u> การทดลองครั้งนี้มีข้อสังเกตบางประการ คือ

1. เนื้อดินปั้นที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองครั้งนี้ มีเนื้อดินปั้นบางชุดที่มิได้ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ซึ่งได้กำหนดใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แต่มีคุณภาพดีพอที่จะนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นที่นอกเหนือจากการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้ เช่น การขึ้นรูปด้วยใบมีด และการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน เป็นต้น ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.7 - 1.14, 1.16 - 1.20 1.22 - 1.27 และ 1.29 - 1.33 ของการทดลองชุดที่ 1 และเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขของการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.19, 2.25 - 2.27, 2.29 - 2.31, 2.33 และ 2.34 ของการทดลองชุดที่ 1 และเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขของการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และเนื้อดินปั้นหมายเลข 3.32 - 3.34 ของการทดลองชุดที่ 1 และเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขของการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

2. จากการทดลองครั้งนี้ มีเนื้อดินปั้นบางชุดที่เผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น และรีดักชั่นแล้วสีของเนื้อดินปั้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.11, 1.12, 1.16 - 1.18, 1.23 - 1.26 และ 1.32 - 1.36 ของการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.20 และ 2.23 - 2.26

ของการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และเนื้อดินปั้นหมายเลข 3.1 - 3.3, 3.16, 3.19 และ 3.23 - 3.27 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

อภิปรายผล

จากการทดลองอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินปากเกร็ดร้อยละ 10 - 80 ผสมกับ ดินขาวลำปางร้อยละ 10 - 80 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 10 - 80 และเทลคัมร้อยละ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น การอภิปรายผลการทดลองมีดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 พบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ดีที่สุดของระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส มีปริมาณของดินปากเกร็ดเป็นอัตราส่วนผสมร้อยละ 50, 30 และ 10 ตามลำดับ แสดงว่า อัตราส่วนผสมที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณอัตราส่วนผสมของดินปากเกร็ดจะลดน้อยลง ในทางตรงกันข้ามปริมาณอัตราส่วนผสมของดินขาวลำปางเพิ่มมากขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่เผา คือระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณของดินขาวลำปางเป็นอัตราส่วนผสมร้อยละ 20, 30 และ 60 ตามลำดับ แสดงว่าอัตราส่วนผสมที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณอัตราส่วนผสมของดินปากเกร็ดจะลดน้อยลง และปริมาณของดินขาวลำปางจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (ดูตาราง 15 แสดงอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ) เนื่องจากดินปากเกร็ดเป็นดินที่ทนความร้อนได้ต่ำประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส และดินขาวลำปางทนความร้อนได้ในระดับอุณหภูมิสูงประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาผสมในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันจึงมีผลให้เนื้อดินปั้นมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ภายหลังการเผาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันแตกต่างกัน และอัตราส่วนผสมที่เหมือนกันเมื่อนำไปเผาในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันคุณสมบัติทางฟิสิกส์ก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ทวี พรหมมหฤษ์ (2523 : 82) และ โรว์เดส (Rhodes. 1959 : 58) เนื้อดินปั้นจะดูดซึมน้ำได้น้อยลง จากการ

ทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นที่เผาในอุณหภูมิสูงขึ้นและมีการบวม พอง จะดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการขยายตัวของเนื้อดินปั้นที่ทำให้เกิดการบวม พอง และมีรูพรุนเกิดขึ้น เนื้อดินจึงดูดซึมน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้บรรยากาศที่ใช้เผาขั้นทดลอง คือ แบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ส่วนใหญ่มีผลต่อสีของเนื้อดินปั้น ทำให้เนื้อดินปั้นมีสีแตกต่างกัน เนื่องจากในดินปากเกร็ดมีธาตุเหล็กผสมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ โกมล รักษ์วงศ์ (ม.ป.ป. : 3) เกรบานิเยอร์ (Grebanier. 1975 : 112) แชปเปล (Chappell. 1977 : 68) และโรว์เดส (Rhodes. 1959 : 60 - 61) ที่ว่าบรรยากาศที่ใช้ในการเผามีผลต่อสีของเนื้อดินปั้น

การทดลองตอนที่ 2 พบว่า เนื้อดินปั้นผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ทุกหมายเลข คือ 1.1, 1.2, 1.4, 1.8, 1.9, 1.14, 1.28 และ 2.18 ไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ แสดงว่าเนื้อดินปั้นได้เผาจนถึงจุดสุกตัว ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ เคนนี (Kenny. 1949 : 158) ที่ว่า ความหรุนตัวของเนื้อดินปั้นเป็นคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นที่จะช่วยให้เราทราบได้ว่า เนื้อดินปั้นนั้นเผาถึงจุดสุกตัวหรือไม่ เนื้อดินปั้นมีการหดตัวภายหลังการเผาอยู่ในช่วงร้อยละ 13.0 - 13.5 ซึ่งจัดอยู่ในขั้นต่ำของมาตรฐานการหดตัวของเนื้อดินปั้นโดยทั่วไป คือ เนื้อดินปั้นโดยทั่วไปจะหดตัวร้อยละ 13.0 - 20.0 ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าเนื้อดินปั้นมีอัตราส่วนผสมของหินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 30 - 40 ที่ช่วยให้เนื้อดินปั้นมีการหดตัวน้อยลง เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว บรรยากาศที่เผาในการทดลอง คือ แบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น มีผลให้สีของเนื้อดินปั้นแตกต่างกัน

การทดลองตอนที่ 3 พบว่า การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จะอยู่ในช่วงร้อยละ 21 - 24 ซึ่งตรงกับหลักการทั่วไป คือ ดินที่เตรียมเป็นเนื้อดินปั้นจะมีปริมาณน้ำผสมอยู่ในเนื้อดินปริมาณร้อยละ 20 - 25 ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นจากการทดลองพบว่า เนื้อดินปั้นที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์อยู่ในช่วง 13.08 - 15.18 ซึ่งเชื่อว่ามีความแข็งแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งได้โดยไม่ทำให้ชิ้นงานแตกเสียหาย

การทดลองตอนที่ 4 จากการทดลองนำเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 และ 2.18 มาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบแป้นหมุน พบว่า เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 เป็นเนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวดี เนื่องจากมีดินปากเกร็ดเป็นอัตราส่วนผสมอยู่ถึงร้อยละ 48 ดินขาวลำปางร้อยละ 18 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 34 และแหลคัมร้อยละ 2 เห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีความเหนียวมีอยู่ถึงร้อยละ 64 และเป็นดินปากเกร็ดซึ่งมีความเหนียวมากผสมอยู่ถึงร้อยละ 48 ซึ่งเป็นผลให้เนื้อดินมีความเหนียวดี การขึ้นรูปแบบแป้นหมุนจึงทำได้ง่าย เนื้อดินทรงตัวขณะขึ้นรูปได้ดีโดยไม่หรุด การเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งสามารถกระทำได้โดยสะดวก เนื่องจากเนื้อดินมีความแข็งแรงถึง 15.18 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ผลการทดลองเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 พบว่า เนื้อดินปั้นมีความเหนียวน้อยกว่าเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 เนื่องจากเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 มีดินปากเกร็ดเป็นอัตราส่วนผสมร้อยละ 29 ดินขาวลำปางร้อยละ 31 หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรีร้อยละ 40 และแหลคัมร้อยละ 2 เห็นได้ว่า ปริมาณของดินปากเกร็ดซึ่งเป็นดินที่มีความเหนียวมากผสมอยู่ในเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ในปริมาณที่น้อยมาก คือ ร้อยละ 29 เมื่อเทียบกับปริมาณของดินปากเกร็ดที่ผสมอยู่ในเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 ซึ่งมีถึงร้อยละ 48 และปริมาณของดินขาวลำปางในเนื้อดินปั้นหมายเลข 2.18 ที่มีปริมาณมากถึงร้อยละ 31 ก็มิได้ช่วยทำให้เนื้อดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินขาวลำปางเป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียวน้อยมาก การขึ้นรูปแบบแป้นหมุนจึงทำได้ยากกว่าเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 การทรงตัวของเนื้อดินปั้นขณะขึ้นรูปเนื้อดินสามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่หรุด การเคลื่อนย้ายชิ้นงานขณะแห้งต้องระมัดระวังเนื่องจากเนื้อดินมีความแข็งแรงน้อย คือ มีความแข็งแรง 13.08 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

ผลการเคลือบและเผาชิ้นงานที่ทำจากเนื้อดินปั้นหมายเลข 1.28 และ 2.18 พบว่า เนื้อดินปั้นทั้งสองหมายเลขสามารถทนต่อความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส ตามลำดับได้ โดยมีการบิดเบี้ยว เสียรูประหว่างการเผาเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเนื้อดินปั้นได้ถูกเผาจนถึงจุดสุกตัว ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2532 : 265 - 267) ที่ว่า เป็นการยากที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนน้อย มีความแข็งแรงสูง โดย

ปราศจากการเสียรูประหว่างการเผา จึงควรลดระดับอุณหภูมิในการเผาให้ต่ำลงเล็กน้อยเพื่อมิให้เกิดการเสียรูประหว่างการเผา

จากข้อสังเกตในการทดลอง เนื้อดินปั้นบางจุดที่มิได้ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ซึ่งได้กำหนดไว้ในการวิจัยครั้งนี้ มิได้หมายความว่าเนื้อดินปั้นเหล่านั้นจะนำไปใช้งานไม่ได้ เนื้อดินปั้นเหล่านั้นอาจเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่เหมาะสมกับวิธีการขึ้นรูปแบบอื่นที่นอกเหนือจากการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เช่น การขึ้นรูปด้วยใบมีด การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน เป็นต้น และที่สำคัญ คือ เนื้อดินปั้นจะต้องทนต่อความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไปได้ และเนื้อดินปั้นจะดูดซึมน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 6 ตามหลักการของ เนลสัน (Nelson. 1960 : 125) ซึ่งจากการทดลองพบว่า มีเนื้อดินปั้นบางหมายเลขที่อยู่ในเกณฑ์ของเนลสัน ได้แก่ เนื้อดินปั้นหมายเลข 1.7 - 1.14, 1.16 - 1.20, 1.22 - 1.27 และ 1.29 - 1.33 ของการทดลองชุดที่ 1 และเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขของการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินปั้นหมายเลข 2.25 - 2.27, 2.29 - 2.31, 2.33 และ 2.34 ของการทดลองชุดที่ 1 และเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขของการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และเนื้อดินปั้นหมายเลข 3.32 - 3.34 ของการทดลองชุดที่ 1 และเนื้อดินปั้นทุกหมายเลขของการทดลองชุดที่ 2 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้นบางจุดที่เผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น สีของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองของ โกมล รักษ์วงศ์ (ม.ป.ป. : 3) เกรบานิเออร์ (Grebanier. 1975 : 112) แชปเปล (Chappell. 1977 : 68) และโรว์เดส (Rhodes. 1959 : 61) ที่ว่า บรรยากาศที่ใช้ในการเผามีผลต่อสีของเนื้อดินปั้น จากการสังเกตในการทดลอง พบว่า ตำแหน่งที่วางของชิ้นทดลองในการเผาแบบรีดักชั่นหมายเลข 1.11, 1.12, 1.16 - 1.18, 1.23 - 1.26 ของการทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ชิ้นทดลองหมายเลข 2.20 และ 2.23 - 2.26 ของ

การทดลองชุดที่ 1 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส และชิ้นทดลองหมายเลข 3.1 - 3.3, 3.16, 3.19 และ 3.23 - 3.27 เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส จะวางอยู่ในบริเวณกลางเตา ซึ่งมีผลให้สีจากการเผาแบบรีดักชั่นไม่แตกต่างจากการเผาแบบออกซิเดชั่น อาจเป็นเพราะว่าบริเวณกลางเตาการรีดักชั่นอาจเข้าไปไม่ถึง จึงเป็นเหตุให้สีจากการเผาแบบรีดักชั่นเหมือนกับการเผาแบบออกซิเดชั่น การเผาแบบรีดักชั่นอาจใช้ระยะเวลาในการรีดักชั่นให้มากขึ้น โดยเพิ่มจาก 15 นาที เป็น 30 นาที

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการทดลองไปใช้

1.1 การนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส ทั้งในบรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ควรมีการทดลองอัตราส่วนผสมอีกครั้งหนึ่งเพื่อความมั่นใจ เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาใช้แต่ละครั้งอาจมีความแตกต่างกัน ทำให้ได้ผลไม่ตรงกับที่ผู้วิจัยได้ทดลองไว้

1.2 การนำผลการทดลองนี้ไปใช้กับเคลือบสูตรอื่น ควรมีการทดลองอีกครั้งเช่นกัน เนื่องจากเนื้อดินปั้นของผู้วิจัยอาจไม่เหมาะสมกับเคลือบของผู้ใช้ ซึ่งจะทำให้ได้ผลไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

1.3 การเผาเนื้อดินปั้นในแต่ละระดับอุณหภูมิ ควรลดระดับอุณหภูมิในการเผาให้ต่ำลงเล็กน้อย เพื่อลดการบิดเบี้ยว เสียรูปของผลิตภัณฑ์

1.4 เนื้อดินปั้นบนจุดที่สามารถทนความร้อนในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสขึ้นไป และดูดซึมน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 6 แต่มิได้อยู่ในเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่ได้กำหนดไว้ในการวิจัยครั้งนี้ อาจนำไปทดลองขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น เช่น การขึ้นรูปด้วยใบมีด และการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน เป็นต้น เพื่อให้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินเหนียวในแหล่งต่าง ๆ ผสมกับวัตถุดิบอื่น เช่น ดินขาว หินเชี้ยวหนุมาน และอลูมิน่า เป็นต้น เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ที่มีคุณภาพดี สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา

2.2 ควรศึกษาโดยการนำอัตราส่วนผสมที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ไปพัฒนาเป็นเนื้อดินปั้นที่มีคุณสมบัติเฉพาะด้าน เช่น ทำกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องประดับ ภาชนะทนกรดและด่าง และอุปกรณ์ที่ใช้กับเตาอบชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กอบกิต ฤทธวัฒนกุล. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเฉพาะประเภทอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2522.

_____. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเฉพาะประเภทอุตสาหกรรมเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2524.

_____. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเฉพาะประเภทถ้วย จาน ชาม เซรามิกส์. กรุงเทพฯ : กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2527.

กิตติ โสณมัย. "ปัญหาและอุปสรรคในการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกส์," ใน เอกสารพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการส่งออก. ม.ป.ท. : 2531.

โกมล รักษ์วงศ์. การทำเนื้อดินปั้นสโตนแวร์สำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ. กรุงเทพฯ : อุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร, ม.ป.ป. อัดสำเนา.

_____. การสร้างบทเรียนโมดูลเรื่อง การทำสีเซรามิกส์สำเร็จรูปตามหลักสูตรสภาการฝึกหัดครู พุทธศักราช 2524. ปริญญานิพนธ์ ค.อ.ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2529. อัดสำเนา.

_____. วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องเคลือบดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพฯ : โรงเรียนมารดานุเคราะห์, 2531.

คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรม, สำนักงาน. พระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรม พ.ศ. 2505. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรม, 2509.

_____. รายงานผลงานปี 2512 - 2513. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเพื่อกิจการอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.

หวี พรหมพฤกษ์. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2523.

_____. เอกสารประกอบการสอนชั้น 363 เตาและการเผา. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร, 2524.

นรงค์ ฉิมพาลี. รายงานผลการวิเคราะห์ดินปากเกร็ด. นครปฐม : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2534. อัดสำเนา.

นิมิตร วรพันธ์ และคณะ. เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผาเรื่อง ผลิตภัณฑ์ดินแดง. กรุงเทพฯ : อาทรการพิมพ์, 2515.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

พาณิชย์, กระทรวง. ประกาศกระทรวงพาณิชย์เรื่อง การนำสินค้าเข้ามาในราชอาณาจักร ฉบับที่ 18 พ.ศ. 2525. ลงวันที่ 22 มีนาคม 2525.

วิทยาศาสตร์, กรม. รายงานกิจกรรมของกรมวิทยาศาสตร์ 2511 - 2515. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.

_____. เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.

_____. เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม, 2514.

ศิลปากร, กรม. บ้านเชียง. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์, 2530.

ศุภกา คอกไม้. เอกสารประกอบการสอนวิชา อบ. 309. กรุงเทพฯ : คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2527. อัดสำเนา.

สมชาย เสรีรมย์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : ม.ป.ป., 2521.

สมศักดิ์ แต้มบุญเลิศชัย, จิรศักดิ์ พงพิษณุพิจิตร และสมคิด จาตุศรีพิทักษ์. รายงานการวิจัยแนวโน้มและลู่ทางการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในตลาดโลก. กรุงเทพฯ : ฝ่ายวิจัยและวางแผนบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2530.

เสริมศักดิ์ นาคขัว. เตาเผาเครื่องเคลือบดินเผาทางภาคเหนือของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2516.

สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร, 2527.

ส่งเสริมการลงทุน, คณะกรรมการ. ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเรื่อง การให้การส่งเสริมการผลิตผลิตภัณฑ์ดินเผาชนิดเคลือบ ประเภทสโตนแวร์ ปอร์สเลน และโบนไชน่า 2527. ลงวันที่ 16 ธันวาคม 2526.

Chappel, James. The Potter's Compete Book of Clay and Glaze. New York : Watson-Guptill Publications, 1977.

Dodd, A.E. Dictionary of Ceramics. London : George Newnes Limited, 1964.

Grebanier, Joseph. Chinese Stoneware Glazse. New York : Waston-Guptill Publication, 1975.

Hopper, Robin. The Ceramic Spectrum A Simplified Approach to Glaze and Color Development. Pennsylvania : Chilton Book Company, 1984.

Kenny, John B. The Complete of Pottery Making. New York : Chilton Book Company, 1949.

Nelson, Glenn C. Ceramics A Potter's Hand Book. New York : United State of America, 1960.

Norton, F.H. Element of Ceramics. California : Addison-Wesley Publication Company, Inc., 1952.

_____. Fine Ceramics Technology and Applications. New York : McGraw-Hill Book Company, 1970.

Rhodes, Daniel. Clay and Glazes for the Potter. London : Pitman Publishing Company, 1973.

_____. Stoneware and Porcelain the Art of High-fired Pottery. Pennsylvania : Chilton Book Company, 1959.

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

Zakin, Richard. Electric Klin Ceramics a Potter's Guide to Clays and Glazes. Pennsylvania : Chilton Book Company, 1981.

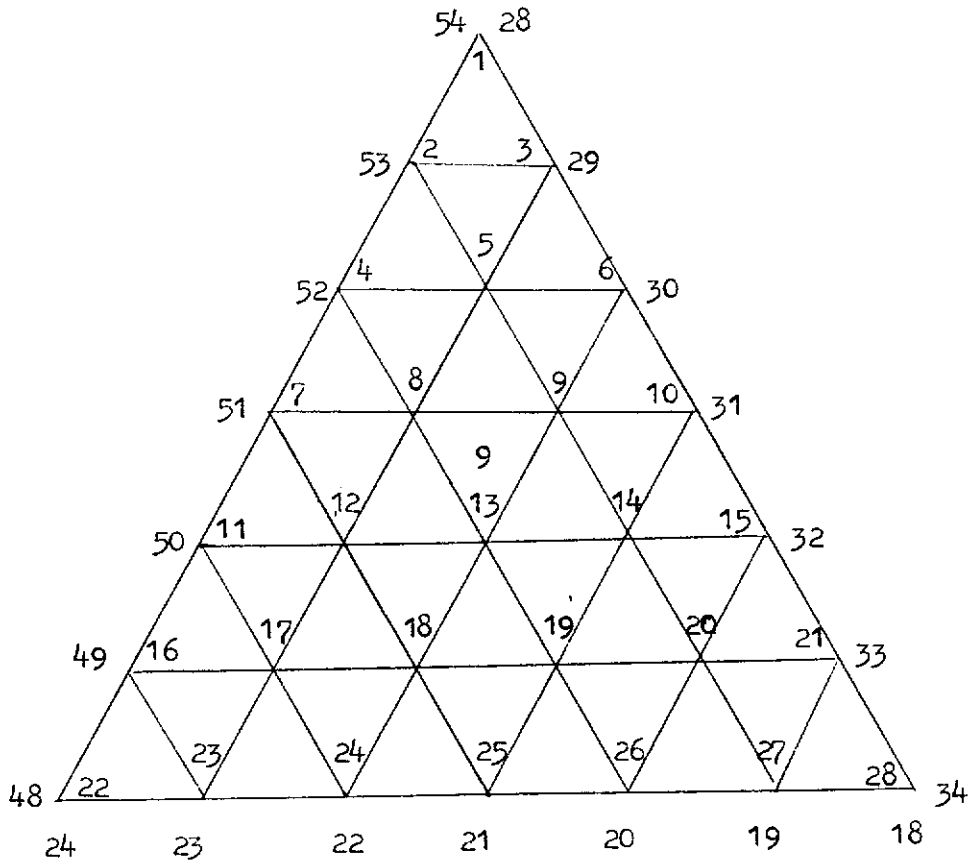
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การกระจายอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น

จากผลการทดลองของจุดที่ดีที่สุดของการทดลองชุดที่ 1

เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 14 แสดงการกระจายจุดที่ 9 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

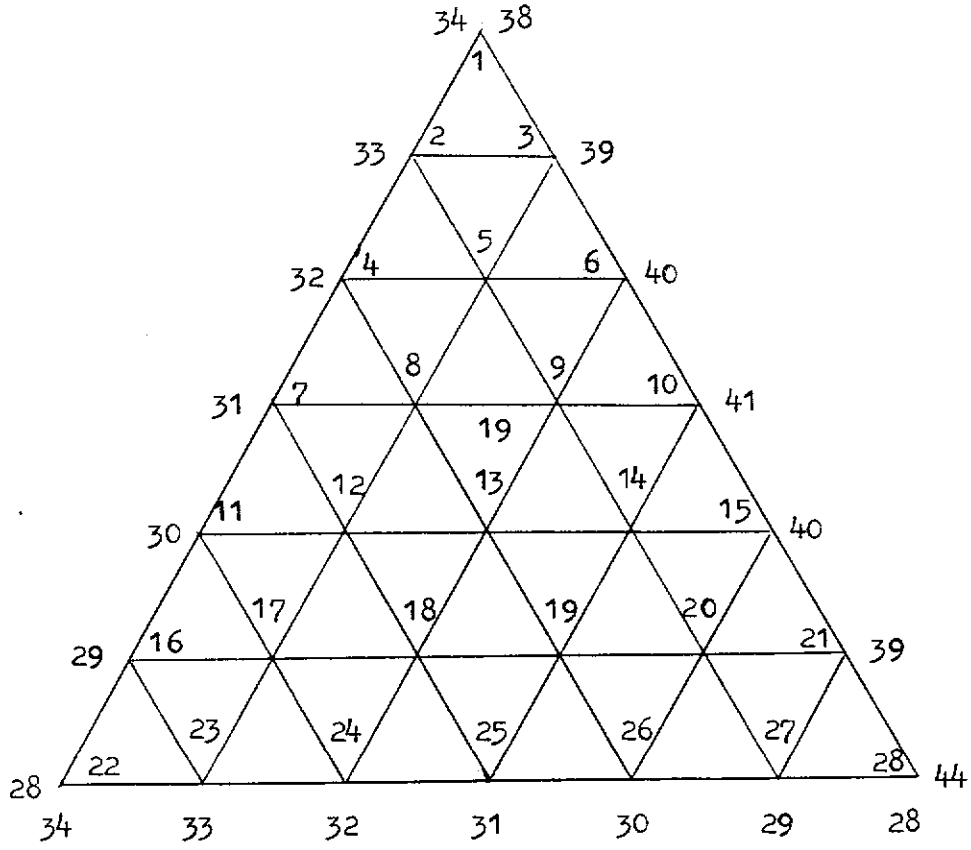
ตาราง 21 อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 9 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี	แทลคัม
1.1	54	18	28	2
1.2	53	19	28	2
1.3	53	18	29	2
1.4	52	20	28	2
1.5	52	19	29	2
1.6	52	18	30	2
1.7	51	21	28	2
1.8	51	20	29	2
1.9	51	19	30	2
1.10	51	18	31	2
1.11	50	22	28	2
1.12	50	21	29	2
1.13	50	20	30	2
1.14	50	19	31	2
1.15	50	18	32	2
1.16	49	23	28	2
1.17	49	22	29	2
1.18	49	21	30	2
1.19	49	20	31	2

ตาราง 21 (ต่อ)

จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเชื้อวหนุมานจันทบุรี	แทลคัม
1.20	49	19	32	2
1.21	49	18	33	2
1.22	48	24	28	2
1.23	48	23	29	2
1.24	48	22	30	2
1.25	48	21	31	2
1.26	48	20	32	2
1.27	48	19	33	2
1.28	48	18	34	2

หมายเหตุ หมายเลขของเนื้อดินปั้นที่ขึ้นต้นด้วย เลข 1 หมายถึง เนื้อดินปั้นที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 15 แสดงการกระจายจุดที่ 19 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

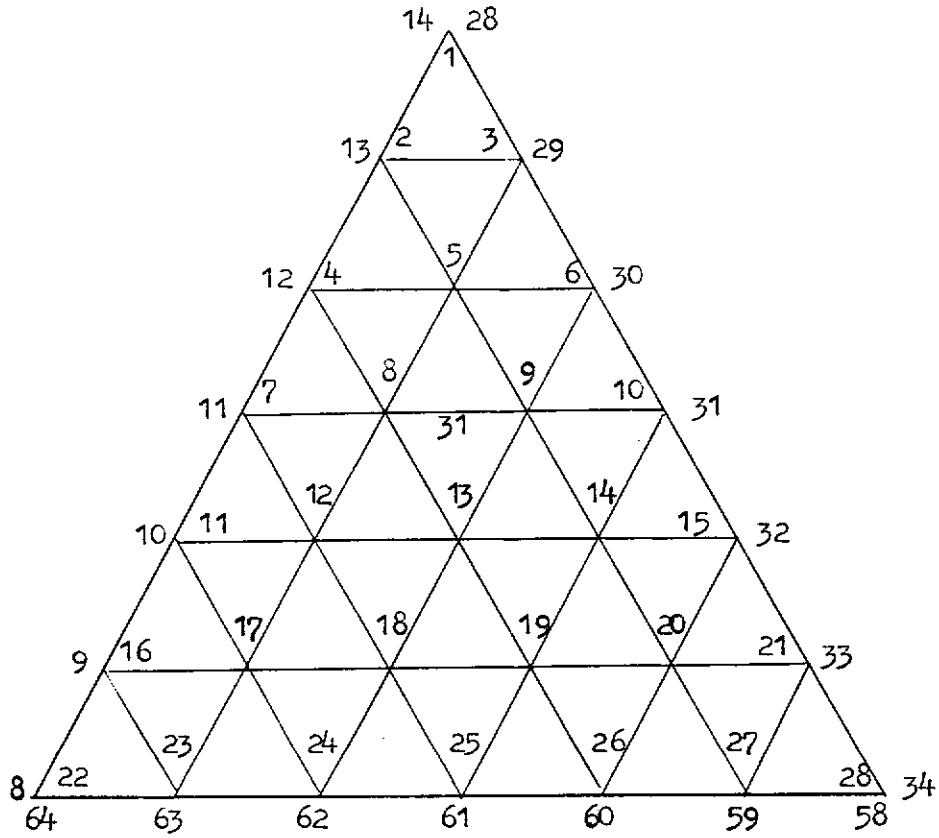
ตาราง 22 อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 19 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี	แทลคัม
2.1	44	28	28	2
2.2	43	29	28	2
2.3	43	28	29	2
2.4	42	30	28	2
2.5	42	29	29	2
2.6	42	28	30	2
2.7	41	31	28	2
2.8	41	30	29	2
2.9	41	29	30	2
2.10	41	28	31	2
2.11	40	32	28	2
2.12	40	31	29	2
2.13	40	30	30	2
2.14	40	29	31	2
2.15	40	28	32	2
2.16	39	33	28	2
2.17	39	32	29	2
2.18	39	31	30	2
2.19	39	30	31	2

ตาราง 22 (ต่อ)

จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเชี้ยวหนุมานจันทบุรี	แหลคัม
2.20	39	29	32	2
2.21	39	28	33	2
2.22	38	34	28	2
2.23	38	33	29	2
2.24	38	32	30	2
2.25	38	31	31	2
2.26	38	30	32	2
2.27	38	29	33	2
2.28	38	28	34	2

หมายเหตุ หมายเลขของเนื้อดินปั้นที่ขึ้นต้นด้วย เลข 2 หมายถึง เนื้อดินปั้นที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 16 แสดงการกระจายจุดที่ 31 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ตาราง 23 อัตราส่วนผสมที่กระจายได้จากจุดที่ 31 สำหรับเผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี	แคลไซ
3.1	14	58	28	2
3.2	13	59	28	2
3.3	13	58	29	2
3.4	12	60	28	2
3.5	12	59	29	2
3.6	12	58	30	2
3.7	11	61	28	2
3.8	11	60	29	2
3.9	11	59	30	2
3.10	11	58	31	2
3.11	10	62	28	2
3.12	10	61	29	2
3.13	10	60	30	2
3.14	10	59	31	2
3.15	10	58	32	2
3.16	9	63	28	2
3.17	9	62	29	2
3.18	9	61	30	2
3.19	9	60	31	2

ตาราง 23 (ต่อ)

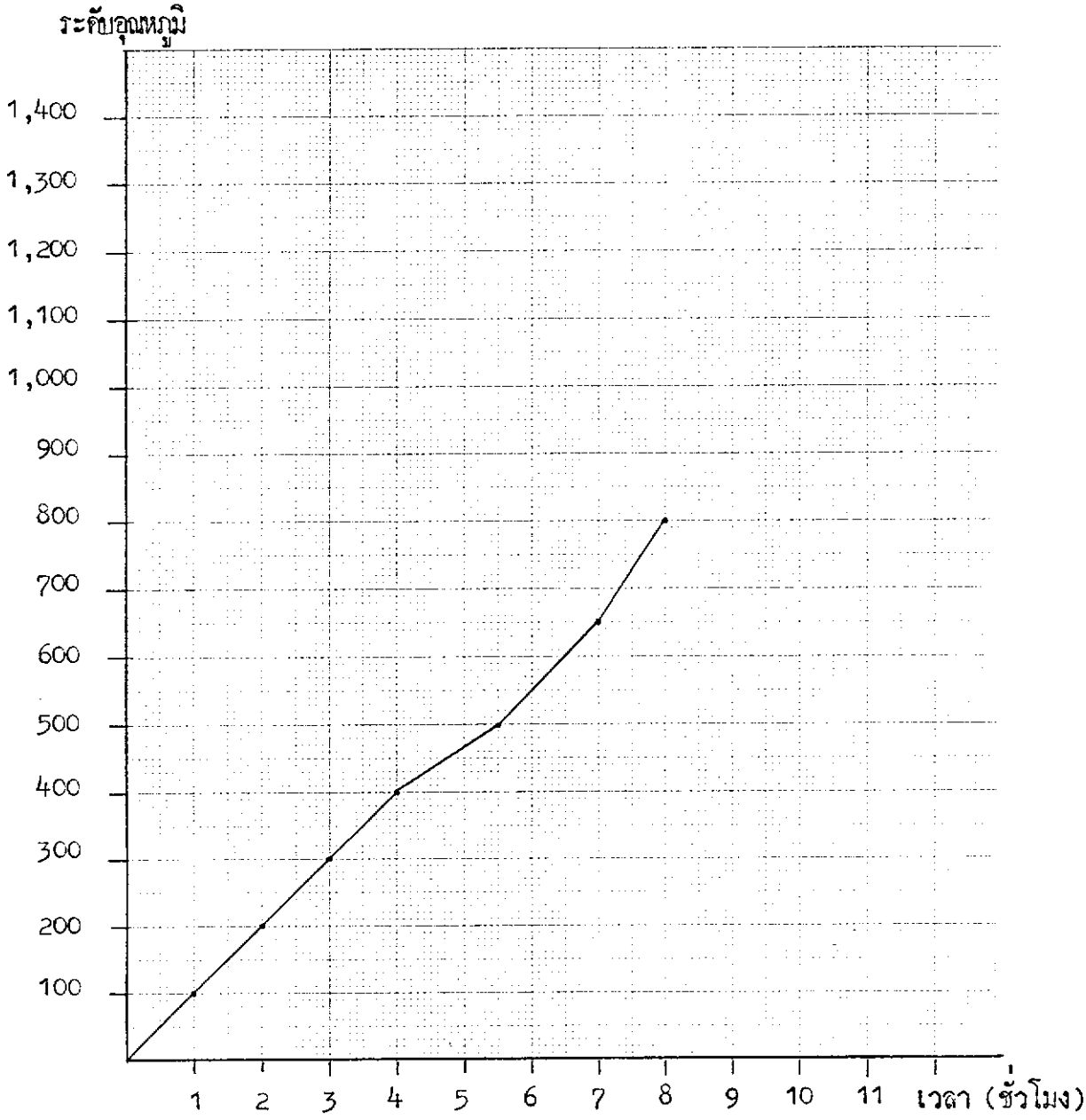
จุดที่	ดินปากเกร็ด	ดินขาวลำปาง	หินเขี้ยวหนุมานจันทบุรี	แทลคัม
3.20	9	59	32	2
3.21	9	58	33	2
3.22	8	64	28	2
3.23	8	63	29	2
3.24	8	62	30	2
3.25	8	61	31	2
3.26	8	60	32	2
3.27	8	59	33	2
3.28	8	58	34	2

หมายเหตุ หมายเลขของเนื้อดินปั้นที่ขึ้นต้นด้วย เลข 3 หมายถึง เนื้อดินปั้นที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

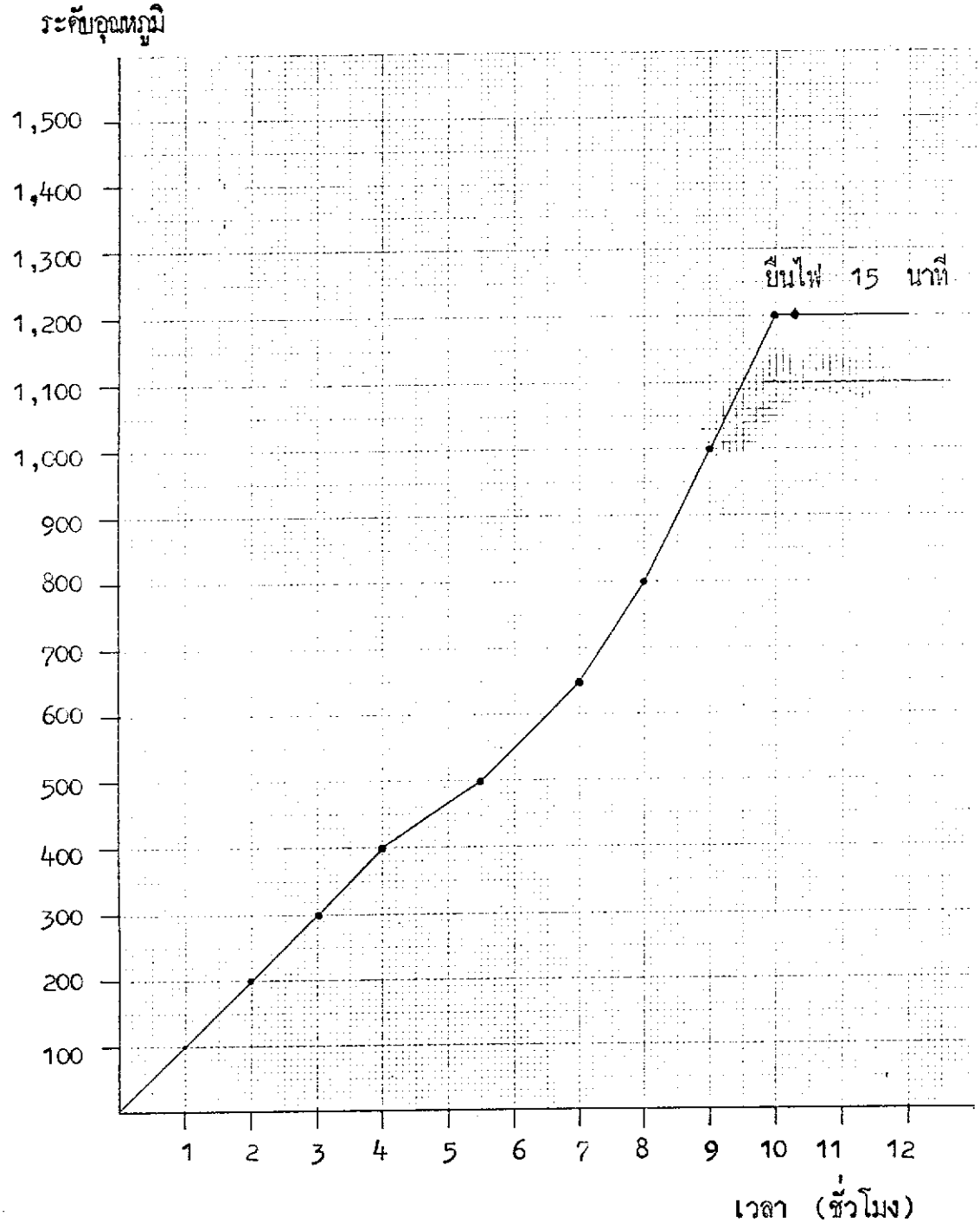
ภาคผนวก ช.

กราฟแสดงการเผาในระดับอุณหภูมิ

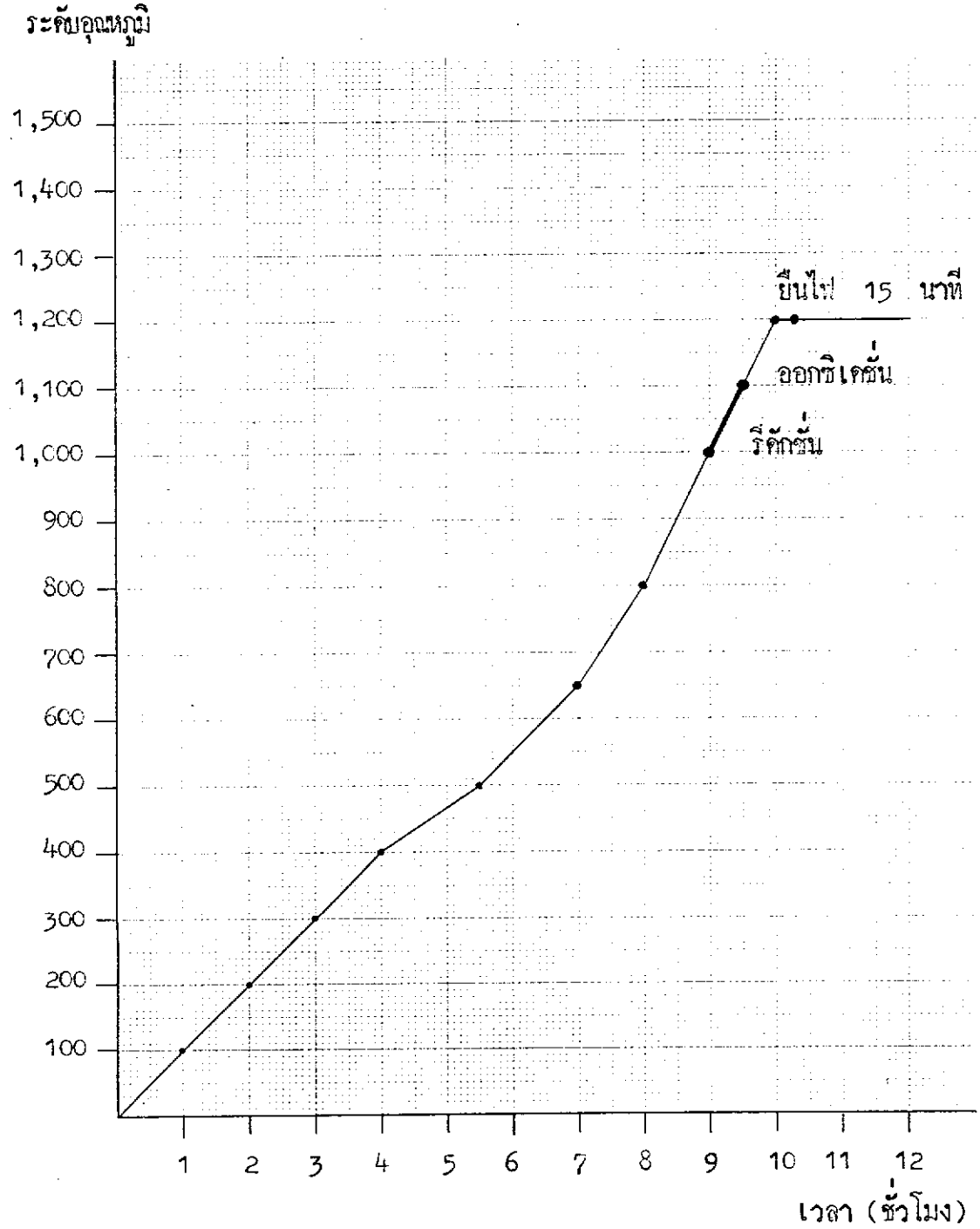
800, 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส



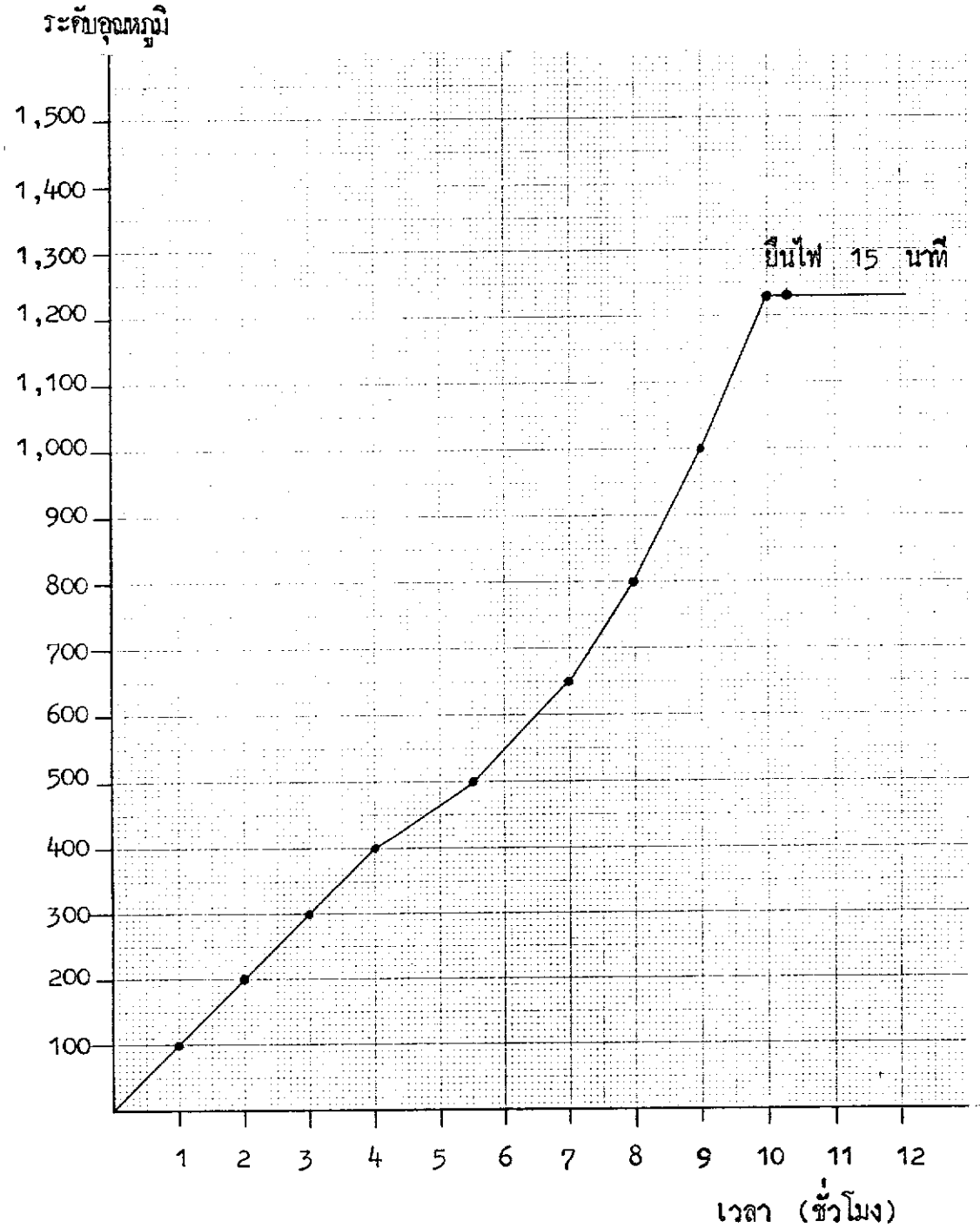
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาคิบ ที่ระดับอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



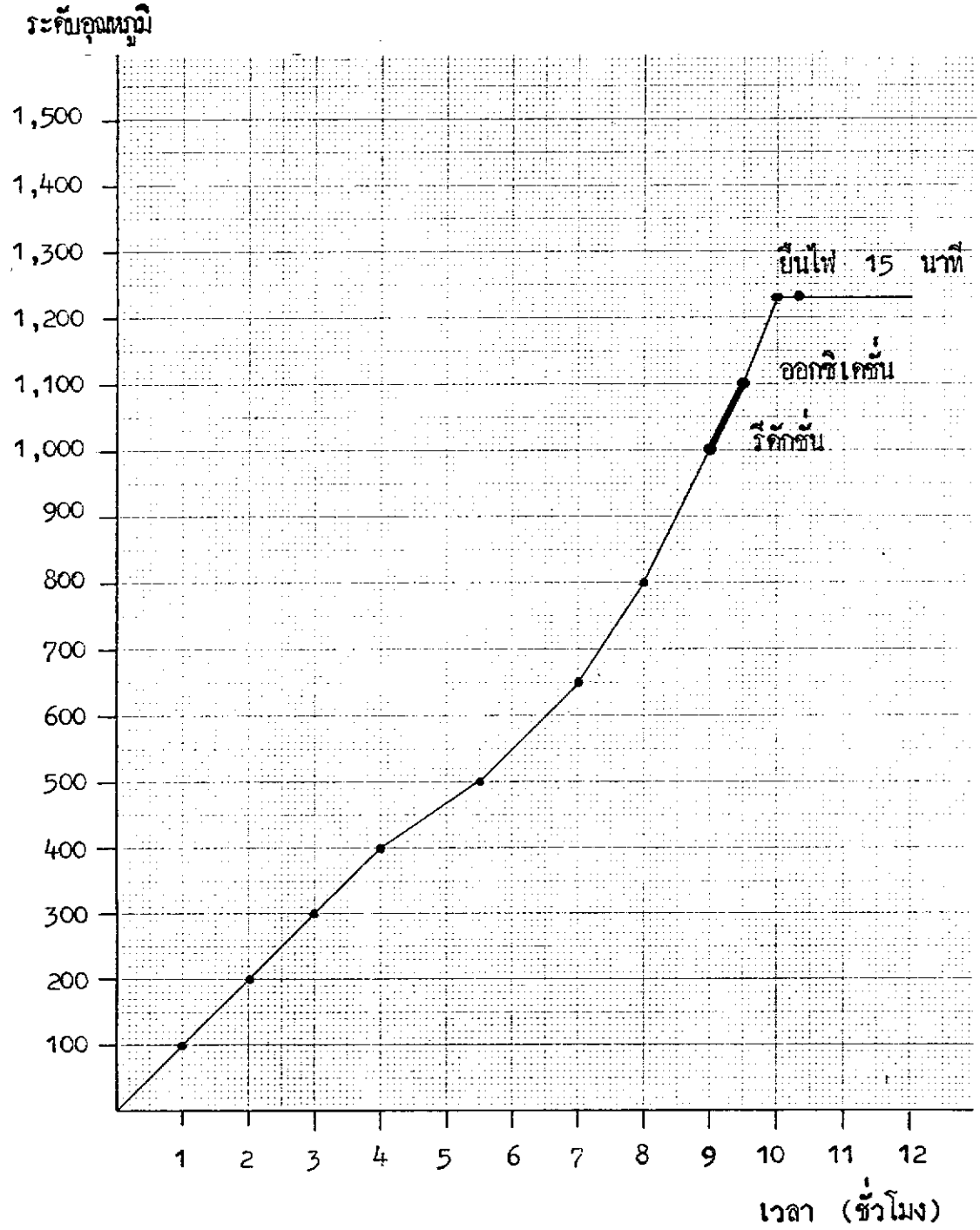
ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



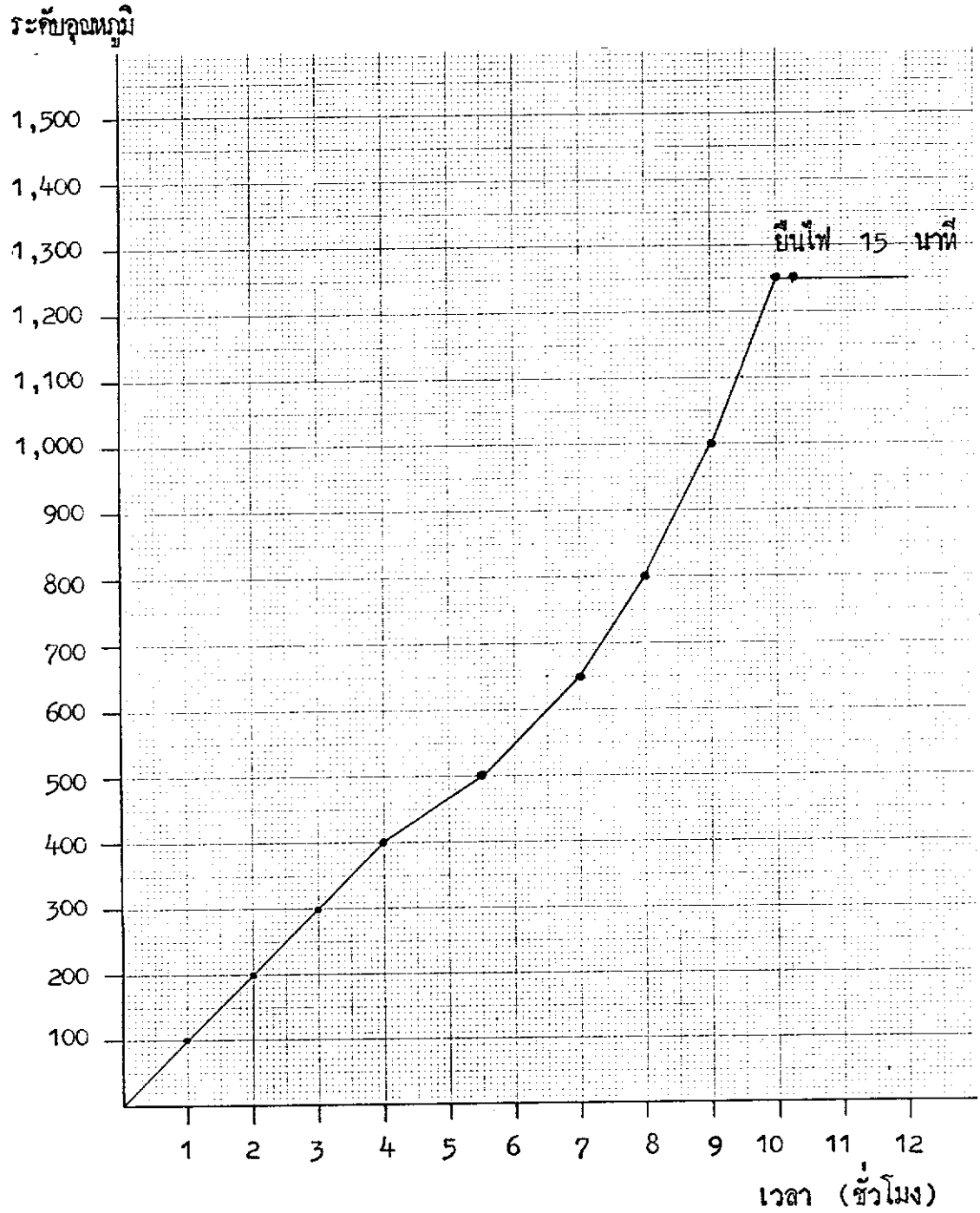
ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



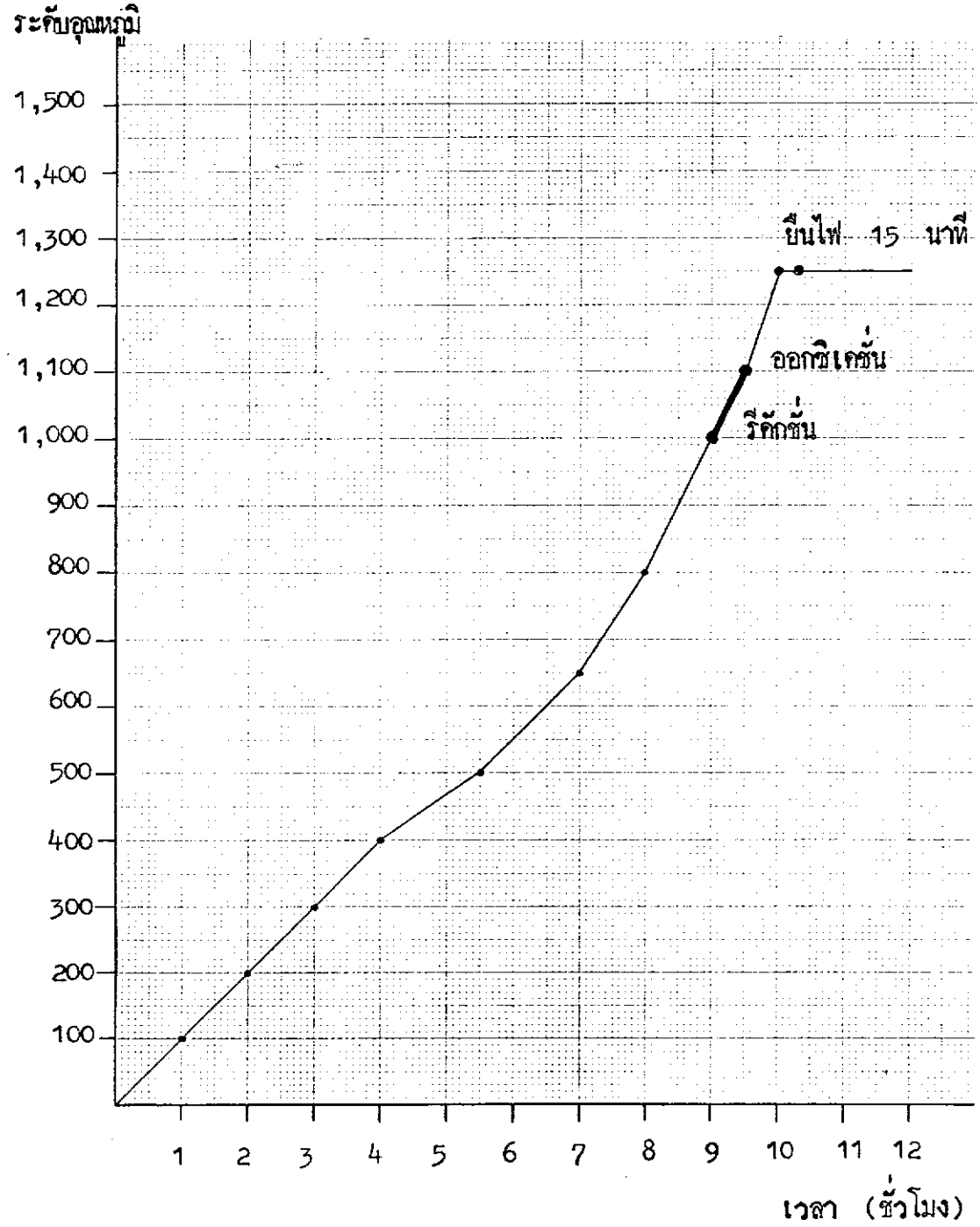
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบออกซิเดชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาแบบรีดักชั่น ที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ค.

ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาเคลือบ

ในระดับอุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส

ภาพประกอบ 24 ตัวอย่างเครื่องปั้นดินเผาที่ขุดพบในบริเวณบ้านหนองกุง ตำบลหนองกุง อำเภอเมือง

ภาพประกอบ 29 ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคหล่อกลวง เผาแบบวิบากัน ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ง.

หนังสือขอความอนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัย

ที่ ทม 1012/1606

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน
ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

5 พฤศจิกายน 2534

เรื่อง ขออนุญาตใช้สถานที่ในการทดลองวิจัย

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร

ด้วย นางสาวอุมาภา ตลกไม้ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

นิสิตผู้นี้กำลังทำปริญญานิพนธ์เรื่อง การหาสูตรผสมหาเนื้อดินโมเสโกแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ด ดินขาว ดินเชียงรายมูมาน และแทลคัม ทั้งนี้ อยู่ในความควบคุมดูแลของ ผศ. โกมล รักษ์วงศ์ เป็นประธานกรรมการ และ ดร. ละเอียด รักษ์เผ่า เป็นกรรมการ

ซึ่งที่นิสิตได้รับความอนุเคราะห์ มีความประสงค์จะขอใช้สถานที่ ของภาควิชาเครื่องเคลือบดินเผา คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นสถานที่ทำการทดลองวิจัยดังกล่าว ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม 2534

มหาวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความร่วมมือจากท่านเป็นอย่างดี และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

4 พ.ย. 34

(นายชานี ชัยเจริญ)
รองอธิการบดี

บัณฑิตศึกษา วิทยาเขตบางเขน
โทร. 521-1429

ที่ ทร 1012/1506

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน
ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

5 พฤศจิกายน 2534

เรื่อง ขออนุญาตใช้สถานที่ในการทดลองวิจัย

เรียน อธิการวิทยาลัยครูพระนคร

ด้วย นางสาวสุภกา กกกไม้ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

นิสิตผู้นี้กำลังทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การทดลองหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวเกรด ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแทลคัม" ทั้งนี้ อยู่ในความควบคุมดูแล ของ ผศ.โกมล รัตน์วงศ์ เป็นประธานกรรมการ และ ดร.ฉะเชิงเทรา รักษ์เผ่า เป็นกรรมการ

สิ่งที่นิสิตใคร่ขอความอนุเคราะห์คือ มีความประสงค์จะขอใช้สถานที่ของภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา ของวิทยาลัยครูพระนคร เป็นสถานที่ทำการทดลองวิจัยดังกล่าว ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม 2534

มหาวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความร่วมมือจากท่านด้วยดี และขอขอบคุณในความช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

4 พ.ย. 34

(นายชานี ขันธิโต)
รองอธิการบดี

บัณฑิตศึกษา วิทยาเขตบางเขน
โทร.521-1429

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวสุภกา ชื่อสกุล คอกไม้

เกิดวันที่ 6 เดือนตุลาคม พุทธศักราช 2501

สถานที่เกิด เขตคุสิต กรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 508/48 ซอยโปรงอุทิศ ถนนประชาราษฎร์บำเพ็ญ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ระดับ 5

สถานที่ทำงาน คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2519 ม.ศ. 3 จากโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2525 ค.บ. (วิชาเอกอุตสาหกรรมศิลป์) สาขาช่างปั้นดินเผา จากวิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ. 2535 กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

การทดลองหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินปากเกร็ด ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแหลคัม

บทคัดย่อ

ของ

สุกกา ดอกไม้

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

กันยายน 2535

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินปากเกร็ด ดินขาว หินเขี้ยวหนุมาน และแหลคัม ที่ระดับอุณหภูมิ 1,200, 1,230 และ 1,250 องศาเซลเซียส เผาแบบออกซิเดชั่นและรีดักชั่น ใช้ทำผลิตภัณฑ์ชุดอาหารและแจกัน ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบแป้นหมุน โดยทดลองอัตราส่วนผสมที่ได้จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า และทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของเนื้อดินปั้น ได้แก่ การหดตัวหลังการเผา การดูดซึมน้ำ ความทนไฟ สีภายหลังการเผา ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการทดลองชุดที่ 1 เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดในแต่ละระดับอุณหภูมิ ตอนที่ 2 เป็นการทดลองชุดที่ 2 เพื่อหาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ตอนที่ 3 เป็นการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป และความแข็งแรงของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา และตอนที่ 4 เป็นการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่ได้ผลดีในระดับอุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนผสมของดินปากเกร็ดระหว่างร้อยละ 48 - 54 ดินขาว ระหว่างร้อยละ 18 - 20 หินเขี้ยวหนุมานระหว่างร้อยละ 28 - 34 และแหลคัมร้อยละ 2 ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ไม่มีอัตราส่วนผสมหมายเลขใดที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินความเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE CREATION OF STONEWARE BODY FROM PAKRED CLAY, KAOLIN, QUARTZ AND TALCUM

AN ABSTRACT

BY

SUPPHAKA DOKMHAI

Presented in partial fulfillment of the requirements for the Master of Education degree in Industrial Education

at Srinakharinwirot University

September 1992

The objective of this study was to find stoneware bodies from the combination of Pakred clay, kaolin, quartz and talcum, firing by means of oxidation and reduction at the temparature of 1,200, 1,230 and 1,250 degree celcius respectively. The bodies were to be used for making tablewares and vases by throwing method. Samples derived from triaxial diagram were tested for physical properties such as shrinkage, water absorbtion, refactory, color after firing, water of plasticity, and the strength before firing.

The experiment was divided into four stages; the first stage of the experiment was to find the best temperature point at each temperature range, the second stage was to find stoneware bodies, the third was to test for water of plasticity and the strength of stoneware bodies before firing, and the fourth stage of the experiment was to make sample products.

The results of the experiment were that the combination of the stoneware bodies, which gave the best result at the temperature of 1,200 and 1,230 degree celcius contained between 48 - 54 percents of Pakred clay, 18 - 20 percents of kaolin, 28 - 34 percents of quartz, and to 2 percents of talcum. As for the firing at the temperature of 1,250 degree celcius no suitable stoneware body was found.