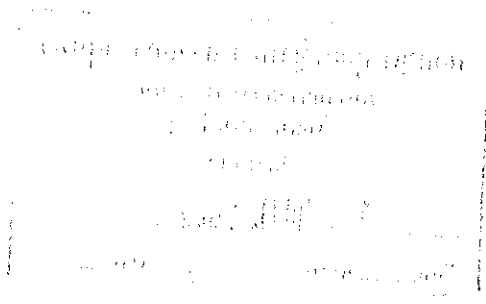




เคลือบที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน
 Suitable Glaze for Porcelain Body

พจนา ไสอินทร์
 Potjana Soin



วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 Master of Engineering Thesis in Chemical Engineering
 Prince of Songkla University
 2537

เลขหมู่ TP822 พ23 2537
 Bib Key ๓๑๑.๑๖

๑๖.2 (1)

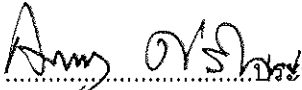
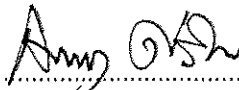
ชื่อวิทยานิพนธ์ เคลือบที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน

ผู้เขียน นางสาวพจนา ไสอินทร์

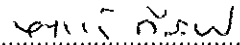
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

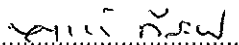
คณะกรรมการสอบ

 ประธานกรรมการ  ประธานกรรมการ

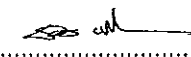
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

 กรรมการ

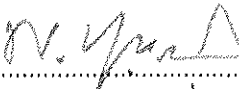
(นายจตุรงค์ กิระนันท์)

 กรรมการ

(นายจตุรงค์ กิระนันท์)

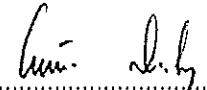
 กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

 กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
นิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหา-
บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี



(ดร. ไพรัตน์ สงวนไทร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ เคลือบที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน

ผู้เขียน นางสาวพจนา ไสอินทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ในการเคลือบ พอร์ซเลนมักมีปัญหาด้านการรานตัว (crazing) และการเกิดรูเข็ม (pin hole) การกำหนดสูตรเคลือบพอร์ซเลนที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้นชนิดหนึ่งๆ จึงพิจารณาการหดตัวของเคลือบที่เท่ากับเนื้อดินปั้น ที่จะไม่ทำให้เกิดการรานตัวและผิวหน้าของเคลือบต้องไม่เกิดรูเข็ม จากการทดลองปรับสูตรเคลือบต่างๆ เพื่อให้ได้เคลือบที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินปั้นพอร์ซเลนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยสูตรวัตถุดิบ คือโปแตสเซียมอินเดียมเฟลด์สปาร์ ดินขาว ดินดำเหนียวและทรายแก้ว ร้อยละ 14.53, 46.68, 27.80 และ 10.99 โดยน้ำหนักตามลำดับ (สูตรเคมี คือ K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 ร้อยละ 1.90, 28.43, 69.67 โดยน้ำหนักตามลำดับ) สูตรเคลือบที่เหมาะสมประกอบด้วยสูตรวัตถุดิบคือ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินขาว ดินดำเหนียว ทรายแก้ว ซิงค์ออกไซด์และโดโลไมตรี้อยละ 57.37, 11.48, 4.92, 8.20, 16.39 และ 1.64 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (สูตรเคมี คือ Na_2O , K_2O , MgO , CaO , ZnO , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 ร้อยละ 5.08, 0.27, 0.64, 1.27, 17.36, 14.48, 60.50, 0.38 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) ซึ่งมีขนาดอนุภาค 74 ไมครอน อุณหภูมิหลอมตัว $1,330^{\circ}C$. จะได้เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น ไม่เกิดการรานตัวและไม่เกิดรูเข็ม เคลือบที่ได้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาไม่เสก

Thesis Title Suitable Glaze for Porcelain Body
Author Miss.Potjana Soin
Major Program Chemical Engineering
Academic Year 1994

ABSTRACT

Problems of porcelain glaze are crazing and pin hole. The suitable formular of porcelain glaze for the porcelain body was evaluated by considering the same shrinkage rate of body and glaze which can eliminate crazing and pin hole on the surface of glaze. The experiments were carried out by varying the formulars of porcelain glaze for porcelain body composed of K-feldspar 14.53 % wt., kaolin 46.68 % wt., ball clay 27.8 % wt., and silica sand 10.99 % wt. (K_2O 1.90 % wt., Al_2O_3 28.43 % wt., and SiO_2 69.67 % wt.). Results showed that the suitable glaze was composed of Na-feldspar 57.37 % wt., kaolin 11.48 % wt., ball clay 4.92 % wt., silica sand 8.20 % wt., zinc oxide 16.39 % wt., and dolomite 1.64 % wt. (Na_2O 5.08 % wt., K_2O 0.27 % wt., MgO 0.64 % wt., CaO 1.27 % wt., ZnO 17.36 % wt., Al_2O_3 14.48 % wt., SiO_2 60.50 % wt., and TiO_2 0.38 % wt.). The influence of particle size of the compositions and melting point was also studied. It was found that using particle size of the composition of 74 micrometer and the melting point of $1,330^{\circ}C$ could affect the glaze. The glaze obtained was clear, luster, no crazing and pin hole. The glaze is accepted for standard for mosaic tile.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา และคุณจตุรงค์ กิระนันท์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้า วิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร กรรมการผู้แทนภาควิชาวิศวกรรมเคมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชณ บุญนวล กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณผดุงเกียรติ รัตนศรี ที่ให้ความอนุเคราะห์วัดดุติบและคำแนะนำ

ขอขอบคุณ ครูประเสริฐ พฤตมิกณี และคุณศักดิ์ ชนาเกียรติ ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณธเนศ วัชรสุวรรณและเพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่ช่วยเหลือในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง ที่สนับสนุนการศึกษาและคอยให้กำลังใจข้าพเจ้าจนสำเร็จ

พจนา ไสอินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
ขอบเขตของงานวิจัย	7
2. สมดุลระหว่างภูมิภาค	8
สถานะสมดุลและปฏิกริยาทางกายภาพ	8
สมดุลระหว่างภูมิภาค	9
1 ระบบ 2 ภูมิภาค	10
2 ระบบ 3 ภูมิภาค	12
3. วัตถุประสงค์	18
กลุ่มวัตถุประสงค์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นต่าง	18
1 เฟลด์สปาร์	18
2 วัตถุประสงค์ที่ให้สารประกอบแคลเซียมออกไซด์	21
3 วัตถุประสงค์ที่ให้สารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์	22
4 วัตถุประสงค์ที่ให้สารประกอบแบเรียมออกไซด์	22
5 ซิงค์ออกไซด์	22
กลุ่มวัตถุประสงค์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง	23
1 ดินขาว	23
2 ดินดำเหนียว	26

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
วัดุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด	29
4. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	30
อุปกรณ์และแหล่งวัดุดิบ	30
วิธีดำเนินการ	31
1. จัดเตรียมวัดุดิบ	31
2. เนื้อดินปั้น	32
3. เคลือบ	35
4. การปรับปรุงเคลือบ	38
การตรวจสอบผลเคลือบ	46
5. ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย	47
เนื้อดินปั้น	47
เคลือบ	57
การปรับปรุงเคลือบ	62
การทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก	83
6. สรุปผลการวิจัย	87
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก	93
ประวัติผู้เขียน	114

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลนที่ใช้ วัตถุดิบทางภาคใต้	3
1.2 เคลือบพอร์ซเลน โดยการวิจัยของ วิบูล ศุภรทัย	4
1.3 เคลือบพอร์ซเลน โดยการวิจัยของ อัมรินทร์ อินทร์อยู่	4
2.1 รูปแบบและคุณสมบัติของ ลิเทียมออกไซด์ ไซเดียมออกไซด์ โปแตสเซียมออกไซด์กับซิลิกา	14
3.1 คุณสมบัติต่างๆของเฟลด์สปาร์	19
3.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลของดินขาวแหล่งต่างๆ	24
3.3 การหดตัวของดินขาวแหล่งต่างๆ	25
3.4 ความแข็งแรงของดินขาวแหล่งต่างๆ	26
3.5 การใช้ดินดำเหนียวในเนื้อดินปั้นชนิด Whiteware	27
4.1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย	31
4.2 อัตราส่วนของเนื้อดินปั้นที่ใช้ในการวิจัย	32
4.3 สูตรเคลือบที่ประกอบด้วยไฮเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสมและ ทรายแก้ว	37
4.4 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงในแต่ละส่วน	39
4.5 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโคโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 1	40
4.6 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโคโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 2	41
4.7 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโคโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 3	41
4.8 ปริมาณแบเรียมคาร์บอเนตที่เติมลงในแต่ละส่วน	43

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
5.1 ผลการหาร้อยละของน้ำในเนื้อดินบ้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้น รูปแบบอัดแห้ง	47
5.2 ผลการหาขึ้นงานเสีย เมื่อใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 3	48
5.3 ผลการหดตัวของเนื้อดินบ้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,250 ^o ซ	49
5.4 ผลการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินบ้นภายหลังการเผาที่ อุณหภูมิ 1,250 ^o ซ	51
5.5 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อดินบ้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,250 ^o ซ	53
5.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงตามขวางของเนื้อดินบ้นภาย หลังการเผาที่ อุณหภูมิ 1,250 ^o ซ	55
5.7 ผลการทดสอบหาสูตรเคลือบ	57
5.8 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบ โดยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต	62
5.9 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบ โดยการเติมซิงค์ออกไซด์และ โดโลไมต์ ชุดที่ 1	64
5.10 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบ โดยการเติมซิงค์ออกไซด์และ โดโลไมต์ ชุดที่ 2	67
5.11 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบ โดยการเติมซิงค์ออกไซด์และ โดโลไมต์ ชุดที่ 3	70
5.12 ผลการทำซ้ำสูตรเคลือบที่ 54-57	72
5.13 ผลสูตรเคลือบที่ 54-57 วันที่ 2	73
5.14 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบโดยการเติมแบเรียมคาร์บอเนต	74
5.15 ผลปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการใช้โปแตสเซียมเฟลด์- สปาร์ แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วน	76
5.16 ผลการลดขนาดอนุภาคของเคลือบสูตรที่ 54 จากเล็กกว่า 195 ไมครอน เหลือเล็กกว่า 74 ไมครอน	78

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
5.17 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่อุณหภูมิ 1,270°ซ	79
5.18 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ	80
5.19 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่อุณหภูมิ 1,310°ซ	81
5.20 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผา ที่อุณหภูมิ 1,330°ซ	82
5.21 ผลการทดสอบการรานตัวด้วยขอโตเคิร์ฟ	83
5.22 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ	83
5.23 ผลการทดสอบการทนทานต่อสารเคมี	84
5.24 ผลการทดสอบการทนทานต่อการขัดสี	85
5.25 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเฉพาะเคลือบ	86
ข 1 การเผาที่อุณหภูมิ 1,250°ซ	103
ข 2 การเผาที่อุณหภูมิ 1,270°ซ	104
ข 3 การเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ	105
ข 4 การเผาที่อุณหภูมิ 1,310°ซ	106
ข 5 การเผาที่อุณหภูมิ 1,330°ซ	107
ค 6 รายการทดสอบ จำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนที่ยอมรับ ให้เสียได้	108

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของอะลูมินาและซิลิกา	13
2.1 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของแคลเซียมออกไซด์และซิลิกา	14
2.3 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของโซเดียมออกไซด์และซิลิกา	15
2.4 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของแคลเซียมออกไซด์และอะลูมินา	15
2.5 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของโซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและซิลิกา	16
2.6 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของโปแตสเซียมออกไซด์ อะลูมินาและซิลิกา	17
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง สูตรเคลือบที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์คงที่ที่ 70 กรัม กับการรานตัว	60
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 1 กับการรานตัว	66
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 1 กลุ่มที่ 3 กับการรานตัว	66
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 2 กับการรานตัว	69
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 2 กลุ่มที่ 3 กับการรานตัว	69
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 3 กับการรานตัว	71
ก 1 ภาพเครื่องอัดไฮโดรลิก	94
ก 2. ภาพส่วนประกอบของแบบขึ้นรูป.	94
ก 3 ภาพการใส่ตัวอัดลงในกรอบขึ้นรูป	95

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ก 4 ภาพการนำเนื้อดินปั้นออกจากแบบขึ้นรูป	95
ก 5 แผนภาพสามเหลี่ยมของโซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสมและ ทรายแก้ว	97
ก 6 ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบแบบฟัน	99
ก 7 ภาพการพ่นชิ้นงาน	99
ข 8 ภาพเตาเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 800 ^o ซ.	101
ข 9 ภาพเตาเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 1, 250 ^o ซ.	102
ค 10 เครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบทิ้งทราย	110
ง 11 ภาพการรานตัวของชิ้นงานที่เกิดมาก.	111
ง 12 ภาพการรานตัวของชิ้นงานที่เกิดน้อย	111
ง 13 ภาพการรานตัวของชิ้นงานที่เกิดน้อยมาก	112
ง 14 ภาพการรานตัวที่กว้างและลึก	112
ง 15 ภาพชิ้นงานร้าว	113
ง 16 ภาพชิ้นงานแยกชั้น	113

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเกิดขึ้นมานานและได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างของ รูปร่าง ขนาด รายละเอียด ส่วนประกอบและโครงสร้าง ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องปั้นดินเผาที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมพอร์ซเลนในภาคใต้ จึงได้ทำการวิจัยเพื่อหาสูตรน้ำเคลือบที่เหมาะสม สำหรับเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน โดยใช้วัตถุดิบในภาคใต้เกือบทั้งหมด

ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน คือ ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วนที่สำคัญคือ เนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลนและเคลือบพอร์ซเลน

เนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน หรือ เนื้อดินปั้นชนิด Triaxial ประกอบด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด ผสมกัน คือ ดิน ททราย และเฟลด์สปาร์ วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดนี้ เป็นสินแร่ตามธรรมชาติ ซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก ความบริสุทธิ์ของแร่จะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและสิ่งที่สำคัญคือ สามารถเผาให้ได้โครงสร้างตามต้องการ

วัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินปั้นควรมีการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะต่างๆ ทั้งนี้จะได้สะดวกต่อการเตรียมเนื้อดินปั้น เมื่อจำเป็นจะต้องใช้วัตถุดิบชนิดใหม่แทนวัตถุดิบชนิดเก่าอาจเนื่องมาจากวัตถุดิบชนิดหนึ่งขาดแคลนหรืออาจเป็นเหตุผลเพื่อการประหยัดหรือลดต้นทุนการผลิต เช่น ใช้วัตถุดิบภายในประเทศ ภายในท้องถิ่น เป็นต้น

การรู้ลักษณะเฉพาะของเนื้อดินปั่นตามมาตรฐานเฉพาะโรงงาน และเฉพาะชนิดเนื้อดินปั่น สามารถสร้างเนื้อดินปั่นจากวัตถุดิบใหม่ ให้เนื้อดินปั่นที่สร้างขึ้นใหม่มีคุณสมบัติเหมือนเนื้อดินปั่นเดิมทั้งก่อนเผาและหลังเผา ซึ่งเป็น การควบคุมคุณภาพในการผลิต

เคลือบพอร์ซเลน คือ เคลือบที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิด พอร์ซเลน วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเคลือบพอร์ซเลนได้แก่ เฟลด์สปาร์ ดินขาว ดินดำ เหนียว ททรายและสารเติมแต่ง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต ซิงค์-ออกไซด์ เป็นต้น มีจุดหลอมตัวเริ่มที่อุณหภูมิ 1,225°C ถึง 1,460°C. โดยทั่วไปใช้ที่อุณหภูมิ 1,250°C.

คุณสมบัติที่ดีของเคลือบชนิดนี้คือไม่ละลายในน้ำและในตัวทำละลาย ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด ยกเว้น กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric acid, HF) กรด กำมะถัน (H_2SO_4) ที่เข้มข้นและร้อน ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายต่าง แก่ที่ร้อน มีความแข็งไม่เกิดรอยขีดได้ง่าย

ตรวจเอกสาร

เนื้อดินปั่นพอร์ซเลนจะมีอัตราส่วนผสมแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์ที่ใช้และส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่นำมาใช้ สูตรของเนื้อ ดินปั่นพอร์ซเลนสูตรหนึ่งที่น่าสนใจที่ใช้วัตถุดิบที่มีทางภาคใต้เป็นส่วนใหญ่ได้แก่ สูตรของ สมโภชน์ ยธิกุล และประภฤต คงเจริญ (2535) ดังแสดงในตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลนที่ใช้วัตถุดิบที่มีทางภาคใต้เป็นส่วนใหญ่

สูตรเนื้อดินปั้น ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ความต้านทานแรงตามขวาง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	14.53	66,435.46
ดินขาว	46.68	
ดินดำเหนียว	27.80	
ทรายแก้ว	10.99	

ที่มา : สมโภชน์ ยธิกุล และประภฤต คงเจริญ , 2535 : 40-59

¹ โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ จาก ประเทศอินเดีย

ดินขาว จาก จังหวัดนครราชสีมา

ดินดำเหนียว จาก อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

ทรายแก้ว จาก อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

ในการศึกษาส่วนประกอบของเคลือบพอร์ซเลน ต้องศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น วัตถุดิบ สภาพการเผาเคลือบ อัตราการเผา การปล่อยให้เคลือบที่สุกตัวแล้วเย็นตัวลง เป็นต้น นอกจากนี้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่นำมาเคลือบผิว ก็มีความสำคัญ เพราะเคลือบชนิดหนึ่งจะเหมาะกับเนื้อผลิตภัณฑ์แบบหนึ่ง แต่ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เคลือบพอร์ซเลนโดยทั่วไปที่มีช่วงอุณหภูมิการเผาที่ 1,230°-1,330°ซ. (โมล)

0.1-0.3 KNaO , 0.4-0.7 CaO

0.0-0.3 MgO , 0.0-0.7 SrO + 0.4-0.8 Al₂O₃ + 3.0-5.0 SiO₂

0.0-0.7 BaO , 0.0-0.7 ZnO

- สูตรเคลือบที่มีช่วงอุณหภูมิการเผาที่ 1,320°-1,460°ซ.(โมล)

0.1-0.3 KNaO , 0.4-0.7 CaO

0.0-0.3 MgO , 0.0-0.7 SrO + 0.5-1.1 Al₂O₃ + 6.0-15.0 SiO₂

0.0-0.7 BaO , 0.0-0.7 ZnO

จากสูตรเคลือบพอร์ซเลนทั่วไป สามารถนำมาหาสูตรเคลือบพอร์ซเลนที่ใช้วัตถุดิบโดยธรรมชาติได้

วิบูล สุภรฤทัย (2529) และ อัมรินทร์ อินทร์อยู่ (2530) ทำการวิจัยหาเคลือบพอร์ซเลนที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน โดยใช้วัตถุดิบทางภาคเหนือ และได้เสนอสูตรเคลือบพอร์ซเลน ดังแสดงในตาราง 1.2 และ 1.3 ตามลำดับ

ตาราง 1.2 สูตรเคลือบพอร์ซเลน โดยการวิจัยของ วิบูล สุภรฤทัย

น้ำเคลือบ ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เนื้อดินปั้น ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	50 ดินขาว
ควอตซ์	30 ดินดำเหนียว
หินปูน	10 ดินขาวลำปาง
ดินขาว	10 (lampang clay)

ที่มา : วิบูล สุภรฤทัย, 2529

- ¹ โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์และควอตซ์ จากจังหวัดตาก
ดินดำเหนียวและดินขาวลำปาง จากจังหวัดลำปาง
วัตถุดิบส่วนที่เหลือไม่ปรากฏที่มา

ตาราง 1.3 เคลือบพอร์ซเลน โดยการวิจัยของ อัมรินทร์ อินทร์อยู่ (2530)

น้ำเคลือบ ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เนื้อดินปั้น ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	54.6 ดินขาวเกาลิน
ดินขาวเกาลิน	7.7 โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์
ควอตซ์	21.3 ควอตซ์
แคลเซียมคาร์บอเนต	11.2
แมกนีเซียมคาร์บอเนต	5.2

ที่มา : อัมรินทร์ อินทร์อยู่, 2530

- ¹ ดินขาวเกาลิน จาก เวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ และควอตซ์ จาก จังหวัดตาก
วัตถุดิบส่วนที่เหลือไม่ปรากฏที่มา

การใช้ alkaline (R_2O) และ alkaline earth (RO) ในเคลือบจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของเคลือบ ซึ่ง ศักดิ์เกษม เตียไม่มีไทยและสุภาพ กอเจริญทรัพย์ (2529) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนของ alkaline (R_2O) ต่อ alkaline earth (RO) ในเคลือบที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของเคลือบเช่น จุดหลอมตัว การขยายตัวเนื่องจากความร้อน การเกิดแรงอัดหรือแรงดึงบนเคลือบ ความหนืด เป็นต้น และได้สรุปผลของ อัตราส่วนของ $R_2O : RO$ ต่อคุณสมบัติต่างๆไว้ดังนี้

- ถ้า อัตราส่วนของ $R_2O:RO$ มีค่ามากจะทำให้ จุดหลอมตัวต่ำลง การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงขึ้นมีแนวโน้มเกิดแรงดึงบนเคลือบและความหนืดจะต่ำลง

- ถ้า อัตราส่วนของ $R_2O : RO$ มีค่าน้อยลงจะทำให้ จุดหลอมตัวจะสูงขึ้น การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำลง มีแนวโน้มเกิดแรงดึงบนเคลือบ และความหนืดสูงขึ้น

เนื่องจากเคลือบพอร์ซเลนมักเกิดปัญหาด้านการรานตัวและเกิดรูเข็ม ได้มีผู้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาเคลือบพอร์ซเลนไว้ดังนี้

1. การเกิดรูเข็ม (Pinholes)

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2534) ศึกษาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดรูเข็มและวิธีการแก้ปัญหา ดังนี้

- เกิดจากการเก็บน้ำเคลือบไว้นานเกินไป ทำให้เกิดการสลายตัว ของสารคาร์บอนेट และการเนาเปื้อยของอินทรีย์สารใน ดินดำเหนียว หรือพวกกาที่ ใช้ ผสมทำให้เกิดเป็นแก๊สขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดรูเข็มและฟองขึ้นได้ วิธีการแก้ปัญหา โดยการเติมสารฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือการเก็บเคลือบไว้ในลักษณะที่แห้งหรือการใช้น้ำเคลือบใหม่เสมอ

- เกิดจากผิวผลิตภัณฑ์มีฝุ่นเกาะ เนื่องจากไม่ได้ทำความสะอาดผิวผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปเคลือบ วิธีแก้ปัญหา โดยการทำความสะอาดผิวผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปเคลือบ

วิบูล สุภรฤทัย (2529) ได้ศึกษาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดรูเข็มและวิธีการแก้ปัญหา ดังนี้

- เกิดจากวัตถุดิบมีอุณหภูมิหลอมตัวไม่เท่ากัน วัตถุดิบที่มีจุดหลอมตัวต่ำหลอมตัวเร็วทำให้เกิดการยุบตัวลง เกิดเป็นรูเข็ม การแก้ปัญหา โดยการลดขนาดอนุภาคของเคลือบ เพื่อให้เคลือบเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

2. การรานตัว (Crazing)

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2534) ศึกษาสาเหตุการเกิดการรานตัวและวิธีการแก้ปัญหา ดังนี้

สาเหตุที่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัว คือเนื้อเคลือบกับเนื้อดินปั้นมีการหดตัวไม่เท่ากัน ลักษณะการรานตัวมี 2 อย่าง คือ

- การรานตัวเป็นเส้นฝอย เนื่องจากน้ำเคลือบมีสัมประสิทธิ์การหดตัวต่างจากเนื้อดินปั้นมาก
- การรานตัวเป็นเส้นห่างเนื่องจากน้ำเคลือบมีสัมประสิทธิ์การหดตัวเกือบจะเท่ากับเนื้อดินปั้น

การรานตัวของเคลือบมีทั้งชนิดรานทันที และชนิดหลังจากทิ้งไว้ระยะหนึ่ง อาจจะเป็น 3 เดือน หรือ 6 เดือน หรือ 1 ปีก็ได้ วิธีแก้การรานตัวของเคลือบ

1. ใช้สารเติมแต่ง
2. ไม่เอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาขณะที่ยังร้อนอยู่ (เกินอุณหภูมิ 100°C.)
3. กรณีเคลือบเกิดการรานตัวน้อยอาจแก้ปัญหาโดยเผาด้วยการยีนไฟไว้ที่ อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 30-60 นาที
4. กรณีเคลือบเกิดการรานตัวหลังจากทิ้งไว้ระยะหนึ่งอาจแก้ปัญหาโดยเพิ่ม อุณหภูมิการเผาแต่ต้องไม่เกินช่วงการหลอมตัวของเคลือบ

วัตถุประสงค์

ศึกษาเพื่อหาสูตรเคลือบพอร์ซเลนที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้นพอร์ซเลน และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น การรานตัว การเกิดรูเข็มของเคลือบ เป็นต้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนในภาคใต้ และสนับสนุนการใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ทางภาคใต้ ในการทำเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาวิธีการหาสูตรเคลือบพอร์ซเลนและทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้เคลือบที่ไม่เกิดรูเข็มและไม่รานตัวและมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทที่ 2

สมดุลระหว่างวัฏภาค

สถานะสมดุลและปฏิกิริยาเคมีกายภาพ (The equilibrium state and physicochemical reactions)

ในระบบของแร่ธาตุและส่วนประกอบทางเคมี สถานะสมดุลที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน ในสารประกอบบางชนิดจุดสมดุลอาจเกิดขึ้นเร็ว แต่บางชนิดอาจใช้เวลานานมาก อิทธิพลที่ทำให้จุดสมดุลเปลี่ยนไป คือ การเติมสารประกอบเคมีเพิ่ม การเปลี่ยนสัดส่วนของสารประกอบตัวใดตัวหนึ่ง การเปลี่ยนอุณหภูมิ การเปลี่ยนความดัน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นจนกระทั่งถึงสถานะสมดุลอีกสถานะหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี แต่สารอาจมีการเปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลวหรือไอ หรือกลับไปกลับมา หรือเป็นผลึกที่มีรูปแบบต่างกัน เช่น หินเขี้ยวหนูมาน เปลี่ยนเป็น คริสโตบาไลท์ (cristobalite) หรือ tridymite การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นด้วยกระบวนการหลายอย่างเช่นการหลอมเหลวหรือการหลอมตัว การกลายเป็นของแข็ง การระเหย การกลายเป็นไอ การระเหิด การเกิดสารละลาย การรวมกลุ่มเป็นเม็ดเล็กๆ และการตกตะกอน เป็นต้น

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี คือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่หนึ่งอย่างหรือมากกว่า ซึ่งแตกต่างจากสารเริ่มต้นที่ใช้ เช่น เมื่อเผาหินทองแดงในอากาศ หินทองแดงที่มีความมันวาวดี จะกลายเป็นสีดำ (เกิดทองแดงออกไซด์, CuO) ความแตกต่างทางเคมีและทางกายภาพอาจแยกออกจากกันไม่ชัดเจนนัก (แม้ว่าในทางทฤษฎีแล้วจะต่างกัน) เช่น การลดขนาดของอนุภาค การหลอมตัวของสารบริสุทธิ์แล้วปล่อยให้เย็นทำให้เกิดผลึกขึ้น จะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แต่การหลอมตัวของวัสดุเซรามิกที่ไม่ใช่สารบริสุทธิ์ และผลึกอาจประกอบด้วยส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นกับส่วนประกอบเริ่มต้น จาก สแลก (slag) หรือแก้ว เมื่อเย็นตัวลง โครงสร้างผลึก

จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยกระบวนการเกิดผลึก หรือเป็นการแยกผลึกทางกายภาพของส่วนประกอบใดส่วนประกอบหนึ่ง

ผลจากการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ชนิด จะทำให้สารตั้งต้นเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

สมดุลระหว่างวัฏภาค (phase equilibrium)

เมื่อสารสองชนิดหรือมากกว่าถูกนำมาผสมกัน อาจมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะมีความแตกต่างกันทางด้านเคมีอย่างแท้จริง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น ความเข้มข้นและการผสมสารตั้งต้นให้เป็นเนื้อเดียวกัน อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี เกิดขึ้นด้วยอัตราที่แน่นอน และจะเข้าสู่สถานะสมดุล ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ

เพื่อความสะดวกในการใช้ จึงได้มีการระบุแผนภาพสมดุลระหว่างวัฏภาค (phase equilibrium diagram) ด้วยวิธีกราฟ โดยจะใช้เป็นเครื่องมือที่จะหาจุดสมดุลและบอกลักษณะของเซรามิกส์ซึ่งได้จากการบันทึกส่วนประกอบแต่ละวัฏภาค และจำนวนของวัฏภาค ที่แสดงที่จุดสมดุล

เวลาที่ใช้จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสมดุลใดๆ จะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าอื่นๆมากกว่าที่จะขึ้นกับจุดสมดุลสุดท้ายของปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีซิลิกาสูง จะมีความหนืดของวัฏภาคของเหลวสูง ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง และใช้เวลานานก่อนที่จะเข้าสู่จุดสมดุล และโดยส่วนใหญ่แล้วจะไม่เข้าสู่จุดสมดุล สำหรับระบบอื่นๆ (ยกเว้นซิลิกา) จะเป็นสมดุลแบบกึ่งคงที่ (metastable)

ในการพัฒนาเซรามิกส์ ต้องวิเคราะห์ ควบคุม และปรับปรุง ส่วนประกอบทางเคมี เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด แผนภาพวัฏภาคจะใช้ประโยชน์ดังนี้

- 1 หาวัฏภาคของสาร
- 2 หาส่วนประกอบของแต่ละวัฏภาค
- 3 หาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดผลึก และการตกตะกอน
- 4 วางแผนที่จะหาส่วนประกอบใหม่
- 5 หาอุณหภูมิของแต่ละวัฏภาค

1 ระบบ 2 วัฏภาค (Binary systems)

เป็นระบบที่ใช้ค่าอุณหภูมิและสารผสมทางเคมีที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน โดยที่ความดันเท่ากับหรือใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ ภาพเหล่านี้แสดงให้เห็น โดยเส้นกราฟซึ่งได้จากการสังเกตผลของการทดลอง ประโยชน์ส่วนใหญ่จะใช้หา ค่าต่างๆดังนี้

- ปริมาณของสารผสมที่เกิดขึ้น
- ส่วนประกอบของสารผสม

- แผนภาพ อะลูมินาและซิลิกา (alumina/silica) เป็นระบบ 2 วัฏภาค ที่ มักพบกันมาก ในปี ค.ศ 1893 Seger¹ เป็นบุคคลแรกที่พยายามจะหาโครงสร้าง โดยการสังเกตอุณหภูมิกับวัฏภาคของเหลวที่ปรากฏขึ้นในของผสมที่มีสัดส่วน แตกต่างกัน ต่อมา Bowen และ Greig¹ ได้ศึกษาระบบที่มีรายละเอียดมากกว่า และลงความเห็นว่า แผนภาพวัฏภาค มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มี

eutectic point² ที่อุณหภูมิ 1,595°ซ. มีส่วนประกอบด้วย อะลูมินาร้อย ละ 5.5 และซิลิการ้อยละ 94.5

peritectic point ที่อุณหภูมิ 1,840°ซ. ที่จุดนี้มีสารประกอบเกิดขึ้นแต่ไม่ เสถียรที่จุดหลอมตัวของมันเอง

ตั้งแต่นั้นขึ้นแรกที่ถูกตีพิมพ์ขึ้นผู้เขียนหลายคนได้ศึกษาแผนภาพวัฏ- ภาค เป็นส่วนๆอย่างละเอียด การปรับปรุงที่ยอมรับกันทั่วไปเป็นของ Toropov และ Galakhov, Aramaki และ Roy¹ แผนภาพวัฏภาคของอะลูมินาและซิลิกา แสดงให้เห็นในภาพประกอบ 2.1

ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ภายในแร่ตระกูลอะลูมิโนซิลิเกต (kyanite, andalusite, sillimanite และ mullite) กับอุณหภูมิและความดัน ที่ความดันสูงถึง 50 กิโลบาร์ โดยแสดงให้เห็นว่า ขณะที่ sillimanite เป็นวัฏภาคที่มีอยู่มากที่ อุณหภูมิสูง kyanite จะเสถียรที่ความดันสูง andalusite มีขีดจำกัดของช่วงการ เสถียร และ mullite จะเสถียรที่ความดันปกติ

¹ Grimshaw, W.R. 1980. The chemistry and physics of clays and applied ceramic materials. p. 605-606.

² คืออุณหภูมิต่ำสุดที่ของเหลวเกิดขึ้นได้

- Rankin และ Wright¹ ได้ทดสอบหารายละเอียดสำหรับ แคลเซียมออกไซด์และซิลิกา (lime-silica) โดยมี Muan และ Osborn ทำการปรับปรุง ซึ่งจะได้ว่า ระบบนี้มี eutectic point 3 จุดคือ

1 ที่อุณหภูมิ 1,436°C. ของผสม eutectic ประกอบด้วย tridymite และ pseudo-wollastonite ($\alpha\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) เกิดขึ้น

2 ที่อุณหภูมิ 1,460°C. eutectic ประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 45 ซิลิกา ร้อยละ 55 ซึ่งจะมี pseudo-wollastonite และ $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ เกิดขึ้น

3 ที่อุณหภูมิ 2,065°C. eutectic ประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 30 และซิลิกา ร้อยละ 70 ซึ่งจะมี calcium orthosilicate และแคลเซียมออกไซด์เกิดขึ้น

สารประกอบที่มีสาร 2 ตัว 4 ชนิด แสดงให้เห็นในแผนภาพสมดุลภาพประกอบ 2.2 มีชื่อเรียกดังนี้

calcium orthosilicate ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) มีจุดหลอมเหลวที่ 2,130°C.

calcium metasilicate (CaSiO_3) มีจุดหลอมเหลวที่ 1,544°C.

สารประกอบที่มีสูตรเป็น $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ มีจุดหลอมเหลวที่ 1,464°C.

tricalcium silicate ($\text{CaO}+\alpha\text{Si}_2\text{O}_4$) มีจุดหลอมเหลวที่ 1,900°C.

สังเกตได้ว่าสารทุกตัวที่กล่าวมาจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิของ

จุด eutectic (2,065°C.) ยกเว้น calcium orthosilicate

calcium orthosilicate (Ca_2SiO_4) มีโครงสร้าง 3 รูปแบบ¹ คือ

α เสถียร สูงกว่า 1,410°C. - โมโนคลินิก; ความถ่วงจำเพาะ 3.27
ความแข็ง 5-6

β เสถียร ระหว่าง 1,410°C. - 675°C. - orthorhombic ความถ่วงจำเพาะ 3.28

γ เสถียร ต่ำกว่า 675°C. - โมโนคลินิก ความถ่วงจำเพาะ 2.97

calcium metasilicate (wollastonite, CaCO_3) มีโครงสร้าง 2 รูปแบบ คือ

α เสถียร ระหว่าง 1,125°C. และจุดหลอมตัว 1,540°C.

β เสถียร สูงกว่า 1,125°C.

¹ Grimshaw, W.R. 1980. The chemistry and physics of clays and applied ceramic materials. p. 605-606.

- ออกไซด์ของอัลคาไลและซิลิกา¹จะให้แผนภาพที่ซับซ้อนมากขึ้น มีสารประกอบหลายชนิดที่มีจุดหลอมเหลว eutectics ต่ำมาก รูปโดยทั่วไปของระบบ ลิเทียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โปแตสเซียมออกไซด์และซิลิกา สรุปไว้ในตาราง 1.1 และแผนภาพวัฏภาคของโซเดียมซิลิเกต แสดงไว้ในภาพประกอบ 2.3

แผนภาพที่แสดงไว้ทั้งหมดจะซับซ้อนมากขึ้น Williamson และ Glasser แสดงให้เห็นว่า สารประกอบ $\text{Na}_2\text{Si}_5\text{O}_{19}$ หลอมตัวพอดีที่อุณหภูมิ 799°C . (จุด eutectics)

ได้มีการเปรียบเทียบระบบ 2 วัฏภาค¹ ที่ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ กับระบบที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ พบว่ากรณีที่มีซิลิกาเป็นสิ่งเจือปน ทำให้การเกิดของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น (เช่นภาพประกอบ 2.4 กับภาพประกอบ 2.2)

2 ระบบ 3 วัฏภาค (three-component or ternary diagrams)

- ระบบโซเดียมออกไซด์-อะลูมินา-ซิลิกา (soda-alumina-silica) ศึกษาโดย Schairer และ Bowen¹ แสดงด้วยสามเหลี่ยม ดังภาพประกอบ 2.5 มีสารประกอบต่างๆดังนี้

สารที่มี 2 องค์ประกอบ (binary compounds)

$2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	การหลอมตัวจะไม่เข้ากัน ซึ่งจะแยกจากกันที่ $1,400^\circ\text{C}$.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	จุดหลอมตัวที่ $1,089^\circ\text{C}$. การหลอมเหลวเข้ากันได้
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	จุดหลอมตัวที่ 874°C . การหลอมเหลวเข้ากันได้
$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	การหลอมเหลวจะไม่เข้ากันซึ่งจะแยกจากกันที่ $1,810^\circ\text{C}$.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	ไม่มีการทดสอบ

สารที่มี 3 องค์ประกอบ (ternary compounds)

$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ จุดหลอมตัว $1,526^\circ\text{C}$. อาจหลอมเหลวเข้ากัน
(carnegieite nephelite)

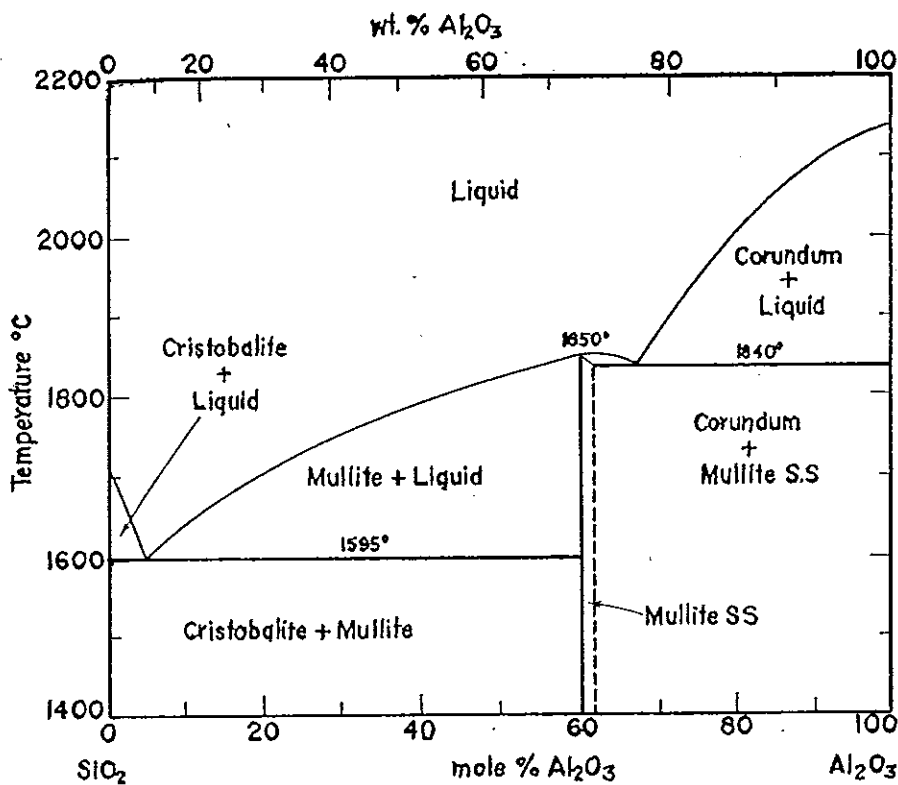
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ จุดหลอมตัวที่ $1,188^\circ\text{C}$ หลอมเหลวเข้ากันได้
(albite)

และอุณหภูมิต่ำสุดของของเหลวที่ยังคงสถานะอยู่ได้ คือ 732°C . ประกอบด้วย

¹ Grimshaw, W.R. 1980. The chemistry and physics of clays and applied ceramic materials. p. 606-612

โซเดียมออกไซด์ 26 ส่วน อะลูมินา 13 ส่วน ซิลิกา 61 ส่วน

-ระบบโปแตสเซียมออกไซด์-อะลูมินา-ซิลิกา (potash-alumina-silica) ศึกษาโดย Schairer และ Bowen¹ แสดงในภาพประกอบ 2.6 สารประกอบที่มี $K_2OAl_2O_36SiO_2$ (orthoclase feldspar) มักจะไม่หลอมเหลวเข้าด้วยกัน (เว้นแต่จะอยู่ในขีดจำกัดของส่วนประกอบ) นอกจากนี้สารประกอบ $K_2OAl_2O_34SiO_2$ (leucite) มักจะเกิดขึ้นเสมอและหลอมเหลวเข้ากันได้ ที่อุณหภูมิ 1,600°C. และ อุณหภูมิต่ำสุดที่ยังคงสถานะของเหลวอยู่ได้ คือ 695°C. ซึ่งจะประกอบด้วย โปแตสเซียมออกไซด์ 30 ส่วน อะลูมินา 4 ส่วน ซิลิกา 66 ส่วน



ภาพประกอบ 2.1 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของอะลูมินาและซิลิกา

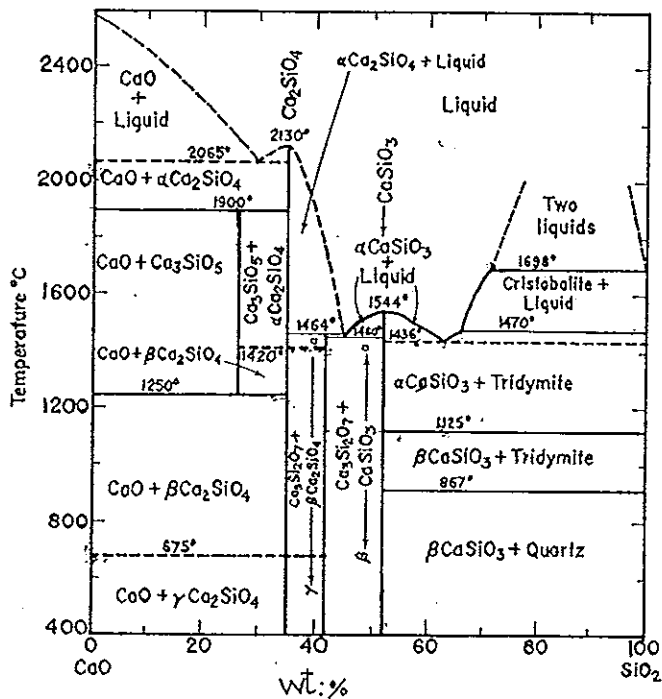
ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 606

¹ Grimshaw, W.R. 1980. The chemistry and physics of clays and applied ceramic materials. p. 606-612

ตาราง 2.1 คุณสมบัติของ ลิเทียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์กับซิลิกา

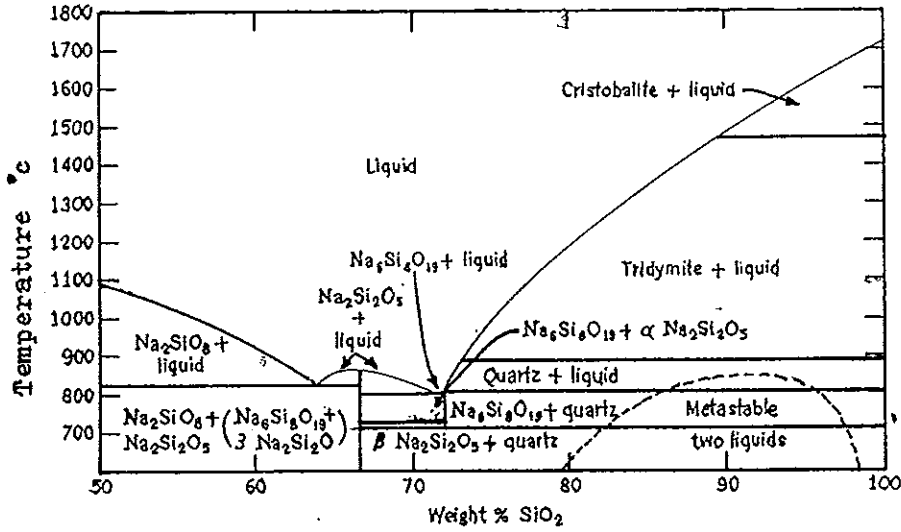
ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 612

Alkali Oxide	Compounds					Eutectics				
	Formulae		$Li_2Si_2O_5$	Li_2SiO_3	Li_4SiO_4	Li ₂ O		17%	44%	49%
Li ₂ O	Formulae	-	$Li_2Si_2O_5$	Li_2SiO_3	Li_4SiO_4	Li ₂ O	-	17%	44%	49%
	M.pt. °C.		Incong	1201	Incong	Temp. °C.	-	1028	1024	1255
Na ₂ O	Formulae	-	$Na_2Si_2O_5$	Na_2SiO_3	Na_4SiO_4	Na ₂ O	-	28%	37%	55%
	M.pt. °C.		874	1080	Incong	Temp. °C.	-	799	840	1020
K ₂ O	Formulae	$K_2Si_4O_9$	$K_2Si_2O_5$	K_2SiO_3	-	K ₂ O	26.4%	32.4%	45.0%	-
	M.pt. °C.	770	1045	976	-	Temp. °C.	767	752	780	-
Rb ₂ O	Formulae	$Rb_2Si_4O_9$	$Rb_2Si_2O_5$	-	-	Rb ₂ O	18.0%	25.0%	43.0%	-
	M.pt. °C.	870	1090	-	-	Temp. °C.	770	876	745	-
Cs ₂ O	Formulae	$Cs_2Si_4O_9$	$Cs_2Si_2O_5$	-	-	Cs ₂ O	14.0%	23.0%	-	-
	M.pt. °C.	950	1070	-	-	Temp. °C.	875	910	-	-



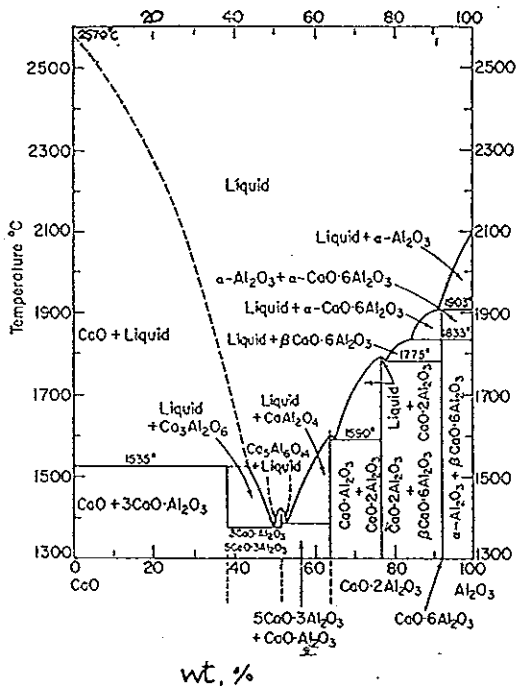
ภาพประกอบ 2.2 แผนภาพระหว่างวัฏภาคของแคลเซียมออกไซด์และซิลิกา

ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 607



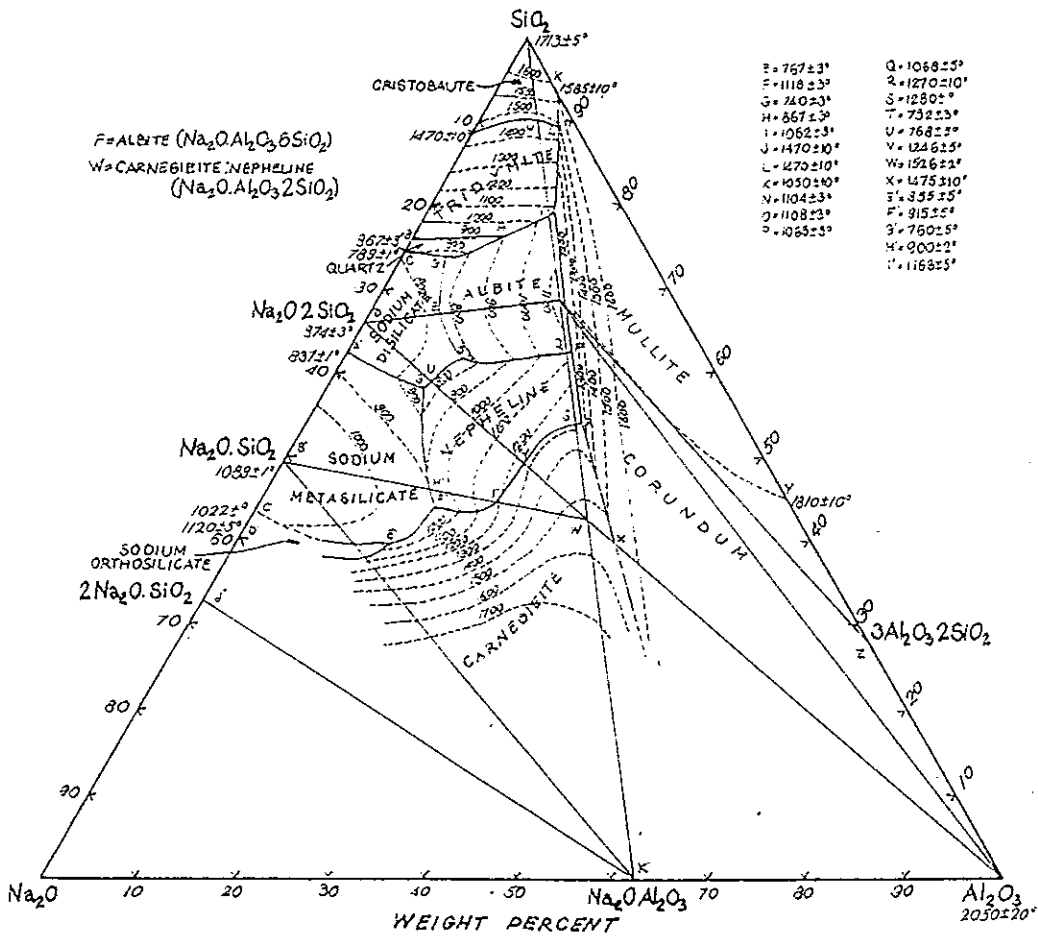
ภาพประกอบ 2.3 แผนภาพระหว่างวิภาคของโซเดียมออกไซด์กับซิลิกา

ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 611



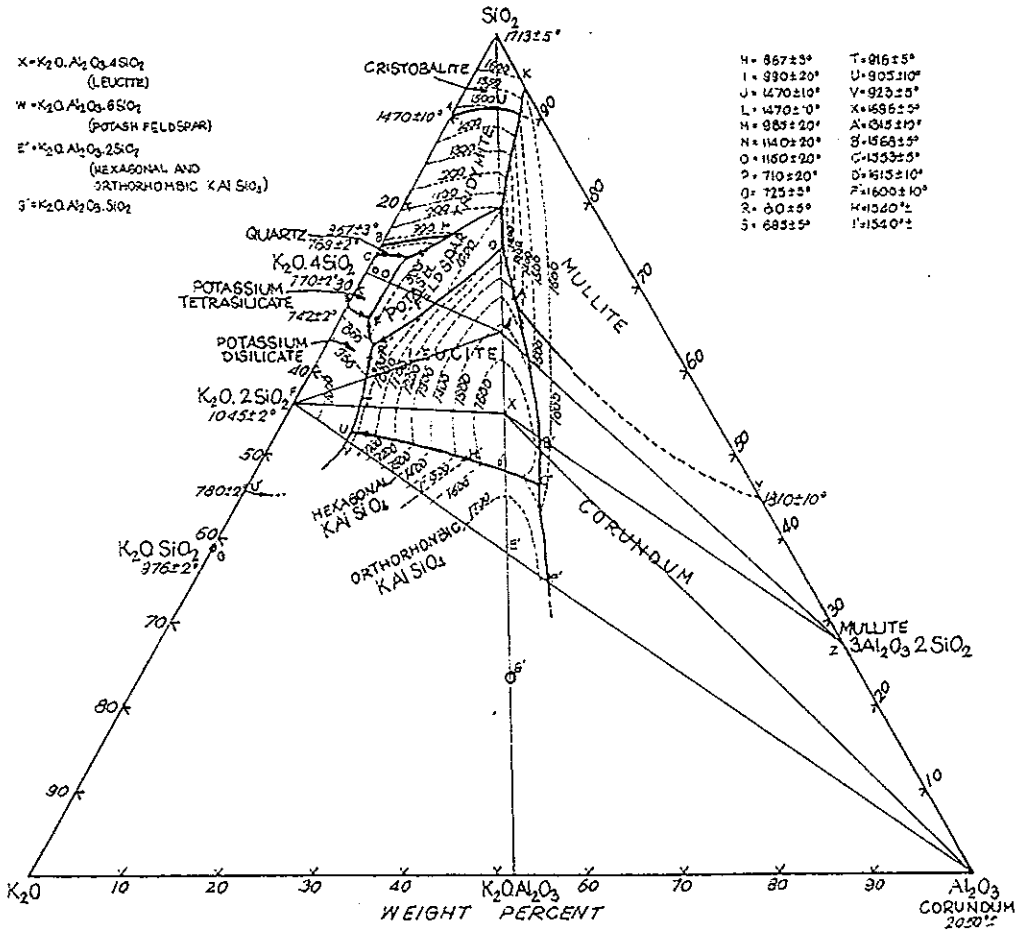
ภาพประกอบ 2.4 แผนภาพระหว่างวิภาคของแคลเซียมออกไซด์และอะลูมินา

ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 614



ภาพประกอบ 2.5 แผนภาพระหว่างภูมิภาคของโซเดียมออกไซด์ อะลูมินา และซิลิกา

ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 649



ภาพประกอบ 2.6 แผนภาพระหว่างภูมิภาคของโปแตสเซียมออกไซด์ อะลูมินา และซิลิกา

ที่มา : Grimshaw W.R, 1980 : 650

บทที่ 3

วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาบางอย่างได้มาจากสินแร่ตามธรรมชาติ เช่น ดิน (clays) ต่างๆ เฟลด์สปาร์ (feldspar) หินเขี้ยวหนุमान (quartzs) และทรายเป็นต้นนอกจากนี้วัตถุดิบบางอย่างได้จากการสกัดสินแร่ตามธรรมชาติ และนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น อะลูมินา (alumina) ซึ่งได้มาจากแร่บอกไซต์ (bauxite) ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น แบเรียมทิตาเนต ($BaO \cdot TiO_2$) นอกจากนี้ ก็มีพวกเฟอร์ไรท์ (ferrites) และสารอินทรีย์บางชนิดที่ใช้เป็นตัวช่วยในการขึ้นรูป

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผานิยมใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง เพราะสิ่งสกปรกเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจน้อยกว่า 1% ก็มีอิทธิพลต่อโครงสร้างซึ่งเชื่อมโยงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย

วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบ สามารถแบ่งกลุ่มตามคุณสมบัติทางเคมีได้ 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง (Base group) ทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมเหลว สัญลักษณ์ทั่วไปคือ RO หรือ R_2O วัตถุดิบพวกนี้ได้แก่พวกออกไซด์ของอัลคาไลด์ และอัลคาไลเอิร์ท นอกจากนี้ก็มี พวกซิงค์ออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ และพวกออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีอื่น ๆ
2. กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง (Intermediate group) สัญลักษณ์ทั่วไปคือ R_2O_3 วัตถุดิบ พวกนี้ได้แก่ Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3
3. กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด (Acidic group) สัญลักษณ์ทั่วไปคือ RO_2 วัตถุดิบพวกนี้ได้แก่ SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , SnO_2 เป็นต้น

กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง ที่ใช้ในการวิจัย คือ

1 เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เฟลด์สปาร์เป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกตของอัลคาไลด์ และอัลคาไลเอิร์ทในธรรมชาติเฟลด์สปาร์จะอยู่ในรูปอะลูมิเนียมซิลิเกตของโซเดียม (Sodium), โพแทสเซียม (Potassium), แคลเซียม (Calcium), ลิเทียม (Lithium) และสารประกอบของแบเรียมและแคลเซียมแต่ที่พบมากในธรรมชาติ

จะเป็นสารประกอบของโซเดียม โปแตสเซียมและแคลเซียมซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

เฟลด์สปาร์ที่พบบอกมี 3 ชนิด คือ

$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ เรียก โซเดียมเฟลด์สปาร์ หรือ albite

$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ เรียก โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ หรือ orthoclase

$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ เรียก แคลเซียมเฟลด์สปาร์ หรือ anorthite

โครงสร้างของเฟลด์สปาร์เป็นร่างแห 3 มิติ เกิดจากการโยกกันของออกซิเจนทั้ง 4 อะตอม ของ oxygen-silicon tetrahedron นอกจากนี้ Al^{+3} ยังไปแทนที่ Si^{+4} บางส่วน และช่องว่างในโครงสร้างร่างแหยังถูก K^+ , Na^+ , Ca^{+2} เข้าไปอยู่ ขนาดของอนุภาค Na^+ เท่ากับ 0.98 \AA , Ca^{+2} เท่ากับ 1.066 \AA , และ K^+ เท่ากับ 1.33 \AA เนื่องจากขนาดของ Na^+ และ Ca^{+2} มีขนาดใกล้เคียงกัน สารประกอบเหล่านี้จึงละลายกันได้ดี ส่วน K^+ มีขนาดใหญ่มาก สารประกอบของ K^+ จึงละลายเข้ากับสารประกอบของ Na^+ และ Ca^{+2} ได้เพียงบางส่วนคุณสมบัติต่างๆของเฟลด์สปาร์แสดงไว้ในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 คุณสมบัติต่างๆของเฟลด์สปาร์

แร่ธาตุ	สูตรและองค์ประกอบ (ร้อยละ)	ความถ่วง จำเพาะ	ความแข็ง (hardness)	รูปผลึกและสี
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ 16.9 18.3 64.8	2.56	6	โมโนคลินิก ไม่มีสี, สีขาว, แดงสด เหลืองอ่อน, และสีเทา
microcline potash	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ 16.9 18.3 64.8	2.54 - 2.57	6.0 - 6.5	ไตรคลินิก สีขาว แกมเหลือง เทา เขียวหรือแดง
โซเดียมเฟลด์สปาร์ หรือ albite	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ 11.8 19.4 68.8	2.61 - 2.64	6.0 - 6.5	ไตรคลินิก สีเทา
anorthite lime spar	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 20.1 36.6 43.3	2.70 - 2.76	6.0 - 6.5	ไตรคลินิก ไม่มีสี สีขาวหรือสีเทา

ที่มา : Norton, F.H, 1970 : p.78

ส่วนประกอบของเฟลด์สปาร์

ส่วนประกอบทางเคมีของเฟลด์สปาร์มีอัตราส่วนที่คงที่พอสมควร เว้นแต่อัตราส่วนของโซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์เท่านั้นที่เปลี่ยนไป เฟลด์สปาร์ที่มีปริมาณโซเดียมออกไซด์สูงใช้ในการผลิตแก้วและเคลือบ ส่วนเฟลด์สปาร์ที่มีปริมาณโปแตสเซียมออกไซด์สูงใช้ในการผลิตเนื้อดินปั้น ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย

โปแตสเซียมออกไซด์	ระหว่าง ร้อยละ	3.3 - 13.1
โซเดียมออกไซด์	ระหว่าง ร้อยละ	1.9 - 12.9
เหล็กออกไซด์	ระหว่าง ร้อยละ	0.02 - 0.4

เฟลด์สปาร์ที่มีปริมาณของเหล็กออกไซด์ต่ำ เหมาะสำหรับใช้ในการเคลือบที่ต้องการความขาวไม่ต้องการให้มีสี และใช้ในการผลิตแก้ว

ข้อดีในการใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์ในเคลือบ (ให้โซเดียมออกไซด์) คือ

1. เป็นตัวลดจุดหลอมเหลวในเคลือบ (strong flux)
2. ช่วยเพิ่มการไหลตัวของเคลือบ (fluidity)
3. ช่วยทำให้เคลือบมันวาว (luster)
4. ทนทานต่อแรงดึง
5. ลดความยืดหยุ่นของเคลือบ
6. เป็นแหล่งให้อะลูมินาและซิลิกาแก่เคลือบ
7. ราคาถูก
8. เป็นสารประกอบอัลคาไลที่ไม่ละลายน้ำ

ข้อดีในการใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ในเคลือบ (ให้โปแตสเซียมออกไซด์) คือ

1. เป็นตัวลดจุดหลอมเหลวในเคลือบ (strong flux)
2. ลดการไหลตัวของเคลือบ (fluidity)
3. ทนทานต่อการขีดข่วนได้ดีกว่าการใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์
4. เป็นแหล่งให้อะลูมินาและซิลิกาแก่เคลือบ
5. ราคาถูก
6. เป็นสารประกอบอัลคาไลที่ไม่ละลายน้ำ

2 วัตถุดิบที่ให้การประกอบแคลเซียมออกไซด์

- 2.1 ไวทิง (whiting) คือ แคลเซียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์บดละเอียด และกำหนดขนาดของความละเอียดด้วยตะแกรงร่อน มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ
- 2.2 โดโลไมต์ มีสูตรทางเคมี คือ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ใช้ผสมในเคลือบเพื่อให้ แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งให้คุณสมบัติเหมือนกับเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์รวมกัน มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ

การใช้แคลเซียมออกไซด์ในส่วนผสมวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเคลือบ ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 800°C แต่เป็นตัวลดจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น คืออุณหภูมิ 550°C. ขึ้นไป ความหนืดของเคลือบขณะหลอมตัวเปลี่ยนแปลงไป เคลือบจะเคลื่อนตัวได้ดียิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้แคลเซียมออกไซด์มากเกินไปจะทำให้จุดสุกตัวของเคลือบสูงขึ้น คือทนไฟมากขึ้น และจะเกิดการตกผลึกเล็กๆในเคลือบ (เป็นวิธีการผลิตเคลือบด้าน) ผลึกนี้คือ อะนอร์ไทต์ หรือแคลเซียมเฟลด์สปาร์ และอาจเป็นผลึกโวลลาสไทต์ ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ก็ได้

แคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเคลือบเกือบทุกชนิดที่มีจุดหลอมตัวสูงสำหรับ เคลือบพอร์ซเลนที่มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูง จะมีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบที่มีฤทธิ์เป็นด่างมากกว่าอัลคาไลอื่นๆ สารประกอบแคลเซียมออกไซด์ใช้กันมาก เนื่องจากมีปริมาณมาก หาได้ง่าย ราคาถูก และมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง เช่น สารประกอบคาร์บอเนต (ความถ่วงจำเพาะต่ำ กระจายลอยตัวได้ดีในน้ำ และช่วยพยุงสารที่หนักให้ลอยตัว) ไวทิง (whiting) โดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) แคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซิลิเกต เป็นต้น

ข้อดีในการใช้แคลเซียมออกไซด์ในเคลือบ

1. ช่วยลดจุดหลอมเหลวของเคลือบ
2. ทำให้เคลือบมีความแข็งแรงสูงขึ้น (Tensile strength)
3. ทำให้เคลือบทนต่อการขีดข่วนได้ดีกว่าโซเดียมและโปแตสเซียม
4. ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง

5. เพิ่มความทนทานต่อแรงดึงและลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารประกอบของอัลคาไลด์อื่นๆ

6. ทำให้เคลือบมันวาว

3. วัตถุประสงค์ที่ให้สารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ คือ โดโลไมต์ มีสูตรทางเคมี $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ใช้ผสมในเคลือบ เพื่อที่จะให้แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งให้คุณสมบัติเหมือนกับแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์รวมกัน มีคุณสมบัติ ไม่ละลายน้ำ

แมกนีเซียมออกไซด์เป็นธาตุที่กระจายทั่วไปในธรรมชาติ มักพบเป็นองค์ประกอบของหินปูน และวัตถุประสงค์อื่นๆที่ใช้เป็นส่วนผสมของเคลือบเสมอ

ข้อดีในการใช้แมกนีเซียมออกไซด์ในเคลือบ

1. เป็นตัวลดจุดหลอมเหลวในเคลือบ
2. ทำให้เคลือบไหลได้ดีมาก
3. สัมประสิทธิ์การขยายตัวลดลงมากกว่าอัลคาไลด์ตัวอื่น
4. ทำให้เคลือบมันวาว

4. วัตถุประสงค์ที่ให้สารประกอบแบเรียมออกไซด์ คือ แบเรียมคาร์บอเนต มีสูตรทางเคมี BaCO_3 เป็นแร่ที่เกิดตามธรรมชาติโดยมากใช้ร่วมกับฟลักซ์ตัวอื่นๆ เพราะที่อุณหภูมิต่ำจะทำปฏิกิริยาช้ามาก ถ้าใช้ผสมลงในเคลือบไฟสูงจะทำปฏิกิริยาเป็นฟลักซ์ที่ดีการใช้แบเรียมออกไซด์ผสมลงในเคลือบจะทำให้เคลือบมีความมันวาว (แต่ไม่เท่าตะกั่ว) เพราะมีดัชนีการหักเหของแสงสูง มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนน้อยกว่าพวกอัลคาไลด์

5. ซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเคลือบหลายๆชนิด

ข้อดีในการใช้ซิงค์ออกไซด์ในเคลือบ

1. เป็นตัวลดจุดหลอมเหลวในเคลือบ
2. ทำให้เคลือบมันวาวยิ่งขึ้น
3. ถ้าใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดเคลือบทึบ (Opacity)
4. ถ้าใช้มากเกินไป จะทำให้เกิดเคลือบผลึก (Crystalline glazes)

ข้อเสียในการใช้ซิงค์ออกไซด์มากเกินไปในเคลือบ

1. ส่วนผสมของเคลือบติดทนไฟมากขึ้น
2. เคลือบชั้นมากขึ้น

3. ทำให้ความมันลดลง

กลุ่มวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง ที่ใช้ในการวิจัย คือ

1. ดิน : ดินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่รองรับอาหาร (dinner ware) สุขาภัณฑ์ (sanitary ware) กระเบื้อง (wall and floor tile) ดินมีหลายชนิดแตกต่างกันในเรื่องโครงสร้างและสี รวมถึงคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีด้วย ดินอาจจำแนกเป็น 2 ชนิดคือ

1.1 ดินขาว (Kaolin , china clay)

ดินขาว หมายถึง ดินที่มีสีขาวหรือสีซีดจางทั้งในสภาพที่ยังไม่ได้เผา และเผาแล้ว ดินขาวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินกลุ่ม kaolinite และมีความสัมพันธ์กับ มัสโคไวท์ ไมกา (mica) อิลไลต์ (illite) ควอตซ์และอาจมีมอนต์มอริลโลไนท์ (montmorillonite) แหล่งดินชนิดนี้มี 2 แบบ

- แหล่งต้นกำเนิด (residual deposits) ดินขาวแหล่งนี้มักพบในแหล่งที่เป็นภูเขาหรือที่ราบซึ่งเดิมเป็นแหล่งแร่หินพื้นม้า เมื่อหินพื้นม้าผุพังโดยบรรยากาศ (weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (kaolinization) มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้

$\text{KAISi}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HAISi}_3\text{O}_8 + \text{KOH}$ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

$\text{KAISi}_3\text{O}_8 \rightarrow \text{HAISiO}_4 + 2\text{SiO}_2$ ปฏิกิริยาการสลายตัวให้ซิลิกา (desilication)

$2\text{HAISiO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{OH})_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำ (hydration)

$\text{KAISi}_3\text{O}_8 =$ โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ (potash feldspar)

$(\text{OH})_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 =$ ดินขาว (kaolinite)

สิ่งเจือปนที่พบเสมอในดินแหล่งนี้คือ ซิลิกา (silica) มีสูตรเคมีเป็น SiO_2 นอกจากนี้ก็มีเฟลด์สปาร์และผลิตผลอื่นๆที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์และอาจมีสิ่งเจือปนอื่นๆที่เข้าไปปน

- แหล่งสะสมที่ลุ่ม (sedimentary deposits) หมายถึงแหล่งดินขาว ที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรกถูกกระแสน้ำพัดพาไปและไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม

ประเทศไทยมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัด เช่นที่ ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช นราธิวาส เป็นต้น

ส่วนประกอบทางเคมี

ผลึกที่บริสุทธิ์ของดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

หรือประกอบด้วย Al_2O_3 ร้อยละ 39.8

SiO_2 ร้อยละ 46.3

H_2O ร้อยละ 13.9

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

การทราบคุณสมบัติของแร่ดินขาว ช่วยทำให้เราสามารถทำนายคุณสมบัติของเนื้อดินบั้นซึ่งมีแร่เหล่านั้นผสมอยู่ได้ดีพอสมควร

- ขนาดอนุภาค (particle size) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากในด้านความเหนียว (plasticity) ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength) และการหดตัวเมื่อแห้ง (dry shrinkage) โดยทั่วไปอนุภาคดินละเอียดให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้ง มากกว่าอนุภาคดินหยาบ

- รูปร่าง (particle shape) อนุภาคของแร่ kaolinite มีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม (hexagonal) มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 10 ไมครอน โดยทั่วไปมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

- ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (base change capacity) คุณสมบัติข้อนี้ สำหรับแร่ kaolinite มีน้อยมาก เพราะแร่นี้มีการแทนที่กันของของพวกอนุมูลบวกในโครงสร้างน้อยมาก สำหรับผลึกที่บริสุทธิ์จะไม่มีการแลกเปลี่ยนอนุมูลกันเลย ในผลึกที่ไม่บริสุทธิ์หรือแร่ดินขาวที่ดูดซับเอาผลึกขนาดเล็กไว้ที่ผิว (threelayer) สามารถแลกเปลี่ยนอนุมูลได้เล็กน้อย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลของดินขาวแสดงในตารางที่ 3.2

ตาราง 3.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลของดินขาวแหล่งต่างๆ

แหล่ง	base - exchange capacity milliequivalents per 100 g of clay dried at 150°C.
Bath, South Grolina	5.1
Devonshire England	9.0
cornwall England	3.3
cornwall England	1.6
Bavaria Germany	2.8
Echarsicres France	1.5

ที่มา : Norton F.H, 1970 : p.47

- คุณสมบัติเมื่อแห้ง (dry properties) เนื้อดินละเอียดมีการหดตัว มากกว่าเนื้อดินหยาบ และคุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของแร่ที่ใช้

ตาราง 3.3 การหดตัวของดินขาวแหล่งต่างๆ

Type of kaolin	Drying shrinkage, linear, %
English China Clay VC-1	7.5
English China Clay A-1	8.5
English china clay M+M	9.0
English china Clay MWM	4.5
English China Clay No.44	4.2
Georgia kaolin No.27	4.0
Georgia kaolin No.600	7.8
North Carolina kaolin	4.5
Florida E.P.K	6.0
Georgia No.carb	2.0

ที่มา : Norton F.H, 1970 : p.47

- ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (green strength) มีความสำคัญในกรณีที่น่าดินขาวไปใช้โดยไม่มีดินเหนียวปน เพราะดินขาวเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความแข็งแรง

ตาราง 3.4 ความแข็งแรงของดินขาวแหล่งต่างๆ

ชนิดของดินขาว	Modulus of rupture with 50% flint,psi
Georgia Pioneer	327
Georgia No.carb	21

ตาราง 3.4 ต่อ

ชนิดของดินขาว	Modulus of rupture with 50% flint,psi
Florida E.P.K	400
North Carolina Kamek	275
English VC-1	100
English MWM	54
English No.17	70
Czechoslovakia Zettlitz	300

ที่มา : Norton F.H, 1970 : p.48

- คุณสมบัติหลังการเผา (firing properties) ดินขาวที่เผาที่อุณหภูมิหลอมเป็นแก้วจะมีการหดตัวประมาณร้อยละ 20

1.2 ดินดำเหนียว (Ball clays)

ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์จะเปรียบเทียบดินขาวเป็นกระดูกสันหลัง โดยมีดินดำเหนียวเป็นเนื้อ ดินดำเหนียวจึงเป็นวัตถุดิบที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมที่มีความละเอียด เช่น stoneware clays, slip clays, holloysite และ bentonite

ดินดำเหนียวจะมีสีดำแต่เมื่อเผาแล้วจะมีสีขาว ดินชนิดนี้มีความเหนียวมากกว่าและทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผามีความแข็งแรงมากกว่าดินขาว

อาจให้คำจำกัดความดินดำเหนียวว่าเป็น ดินที่มีสีขาวคล้ำจนถึงดำสนิท มีแหล่งสะสมในที่ลุ่ม มีเม็ดยืด มีสารอินทรีย์เจือปน มีความเหนียวดีให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์ก่อนเผาดีกว่าดินขาว มีช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสภาพของเนื้อดินไปเป็นแก้วค่อนข้างยาว หลังเผาจะมีสีขาวหรือสีซีดจาง ดินดำเหนียวมีการเปลี่ยนแปลงมากในแต่ละแห่ง

ดินดำเหนียวที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ชนิด whiteware, bone china จะมีความสำคัญมาก และสำหรับ hard porcelains แล้วใช้เพียงเล็กน้อย

น้อยหรือไม่ใช้เลย ในตาราง 3.5 แสดงถึงการใช้ดินดำเหนียวในเนื้อดินปั้นชนิด whiteware

ตาราง 3.5 การใช้ดินดำเหนียวในเนื้อดินปั้นชนิด Whiteware

ชนิดของผลิตภัณฑ์	ร้อยละของดินดำเหนียว
Electrical porcelain	
Dry-process	10-20
Extruded	25-30
cast	20-35
Sanitary ware	15-35
Hotel china	6-9
Semivitreous ware	15-35
Frit porcelain	0
Tiles:	
Vitrified floor	0-60
Wall	0-35
Stoneware	0-25

ที่มา : Norton F.H, 1970 : p.52

ดินชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย kaolinite แต่เป็นผลึกขนาดเล็กกว่าดินอื่นๆ และผลึกมักจะไม่สมบูรณ์ บางครั้งก็พบแร่ดินอื่น เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ และซิลไลท์ เป็นต้น แร่ที่มักพบปนอยู่ในดินดำเหนียวเสมอ เช่น หินเขียว-หนุมาน ไมกา และ iron sulfide ดินดำเหนียวมีลักษณะพิเศษคือ มีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอ สารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายลิกไนต์มาก ดินดำเหนียวเมื่อแห้งมีความแข็งแรงและมีการหดตัวสูง ดินดำเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิกว้างในการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นแก้ว ซึ่งมีประโยชน์คือช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผาแล้วให้ดีขึ้น

ในประเทศไทยดินดำเหนียวที่ใช้ทำในอุตสาหกรรมเซรามิกมีหลายแห่ง เช่น สุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี แม่เมาะ ลำปาง เชียงใหม่ เป็นต้น

ส่วนประกอบทางเคมี พบว่าส่วนประกอบของดินดำเหนียวแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบ ส่วนประกอบโดยประมาณ อาจจำแนกได้ดังนี้

- SiO₂ อยู่ระหว่าง ร้อยละ 40-60
- Al₂O₃ ประมาณ ร้อยละ 30
- H₂O ในผลึกอินทรีย์สาร¹ ประมาณ ร้อยละ 10
- TiO₂, Fe₂O₃, MgO, K₂O, Na₂O เล็กน้อย

คุณสมบัติทางกายภาพ

- ขนาด (particle size) ดินดำเหนียวมีความละเอียดมากกว่าดินขาว ความละเอียดมากน้อยเพียงใดขึ้นกับแหล่งที่พบ

- ความเหนียว มีความเหนียวมากกว่าดินขาว ช่วยให้ขึ้นรูปได้ดีขึ้น และช่วยรักษา สภาพของเนื้อดินบ้นหลังขึ้นรูปให้คงสภาพอยู่ได้

- การหดตัวเมื่อแห้ง การหดตัวของดินเหนียวขึ้นกับแหล่งที่พบ ถ้ามีสารอินทรีย์สูง การหดตัวก็จะมาก ประมาณร้อยละ 15 แต่ถ้ามี SiO₂ มากแทบไม่มีการหดตัวเลย

- ความแข็งแรงก่อนเผา มีความแข็งแรงมากกว่าดินขาว

- คุณสมบัติหลังการเผา เนื่องจากดินเหนียวมีส่วนประกอบของไมกาอยู่ด้วย เมื่อเผาเนื้อดินบ้น ไมกาจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นและเนียนมากขึ้น

ข้อดีในการใช้ดินขาวและดินดำเหนียวเคลือบ (เป็นแหล่งให้อะลูมินา)

1. ควบคุมการไหลตัวของเคลือบเหลวให้เป็นไปอย่างคงที่และสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิสูงตัวของเคลือบ
2. ช่วยให้วัสดุบ้นอื่นๆในน้ำเคลือบกระจายลอยตัวได้ดี

1 อินทรีย์สาร (Organic Matter) Worrall พบว่าอินทรีย์สารที่พบในดินเหนียวดำเป็นพวก lignite ซึ่งสาร lignite จะแยกออกเป็น waxes, resins และ lignin-humus (แยกโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม)

ที่มา : Norton F.H, 1970 : p.60

3. ช่วยให้เคลือบติดเกาะผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น²
4. เป็นตัวกลางที่ควบคุมการหดตัวของเคลือบที่คลุมผิวผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผา
5. ราคาถูก
6. เป็นแหล่งให้ซิลิกาแก่เคลือบ
7. เป็นสารไม่ละลายน้ำ

ข้อเสียในการใช้ดินขาวและดินดำเหนียวในเคลือบ

1. ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้จุดหลอมตัวสูงขึ้น
2. มักมีสิ่งสกปรกที่ติดมาในดินปนเปื้อนในเคลือบ
3. มีผลกระทบต่อสี

วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด ที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ททรายแก้ว (silica sand)

ททรายแก้วหรือทรายขาว คือทรายบริสุทธิ์ที่มีซิลิกามากกว่าร้อยละ 95 มี เหล็กออกไซด์ ตลอดจนสารอื่นๆ เจือปนเล็กน้อย ทรายละเอียดนี้เหมาะในการทำแก้วและกระจกต่างๆ ซึ่งขนาดเม็ดทรายควรมีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่ควรใหญ่กว่า 20 เมช (0.84 มม) และไม่ควรถือเล็กกว่า 100-120 เมช

ข้อดีในการใช้ทรายแก้วในเคลือบ

1. ลดการไหล (fluidity) ของเคลือบที่จุดหลอมเหลว
2. เพิ่มความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารละลาย
3. ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficients of thermal expansion)
4. เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เคลือบ (Tensile strength)
5. ทำปฏิกิริยาได้อย่างดีกับพวกต่าง แล้วหลอมตัวกลายเป็นแก้ว (Glossy silicates)

2ดินดำเหนียวจะยึดเกาะบนผิวผลิตภัณฑ์ขณะที่ยังไม่เผาได้ดีกว่าดินขาว จึงควรใช้ดินเหนียวดำแทนดินขาวบางส่วนผสมในน้ำเคลือบ

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

อุปกรณ์และแหล่งวัตถุดิบ

1 อุปกรณ์

- เครื่องย่อย ชนิด Jaw crusher
- เครื่องบดชนิด Jar mill หรือ Ball mill
- เครื่องชั่ง ความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- โกร่งบดยา
- ตะแกรงร่อน ขนาด 70, 100 เมช พร้อมเครื่องร่อน
- เครื่องอัดแบบชนิด Hydraulic
- ตู้อบไฟฟ้า
- เตาเผาอุณหภูมิสูง 1,300 องศาเซลเซียส
- เครื่องออโตเครฟ
- เวิร์เนียร์คาลิเปอร์
- แวนขยาย 10 เท่า

2 แหล่งวัตถุดิบ

- ไปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ จาก ประเทศอินเดีย
- โซเดียมเฟลด์สปาร์ จาก อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ดินขาว จาก จังหวัดนราธิวาส
- ดินดำเหนียว จาก อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ททรายแก้ว จาก อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
- โดโลไมต์ จาก อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ซิงค์ออกไซด์
- แคลเซียมคาร์บอเนต

วิธีดำเนินการ

1 เตรียมวัตถุดิบ

จัดเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยทุกชนิด ชนิดละ 25 กิโลกรัม พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลวัตถุดิบ ได้ผลแสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย¹
(ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ	โปแตสเซียม เฟลด์สปาร์	โซเดียม เฟลด์สปาร์	ดินขาว	ดินดำเหนียว	ทรายแก้ว	โดโลไมต์
SiO ₂	68.40	70.30	53.00	51.00	98.30	0.62
Al ₂ O ₃	17.00	15.30	30.70	27.40	0.30	0.05
Fe ₂ O	0.10	0.58	0.89	1.71	0.11	0.11
MgO	<0.05	0.46	<0.05	0.20	<0.05	21.10
CaO	0.25	1.24	0.05	0.16	<0.01	30.10
Na ₂ O	2.37	8.35	<0.05	0.15	<0.05	<0.05
K ₂ O	11.20	0.37	0.27	2.13	0.02	<0.01
TiO ₂	<0.01	0.29	1.89	0.18	0.14	0.01
P ₂ O ₃	0.04	0.04	0.08	0.03	<0.01	<0.01
MnO	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01
Cr ₂ O	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
L.O.I	0.78	1.92	12.50	15.50	0.69	47.10
รวม	99.80	98.90	99.40	98.60	99.60	99.10

¹ วิเคราะห์ผลโดย บริษัทวิเคราะห์และบริการสำรวจแร่ (Mineral Assay Services)
10/138 ซอยชมรม 7 หมู่บ้านเมืองทอง 1 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลทุ่งสองห้อง เขต
บางเขน กรุงเทพฯ 10210 (โทรศัพท์ 02 5739100)
ผลวิเคราะห์ผิดพลาดร้อยละ 0.01

2 เนื้อดินปั้น

2.1 หาปริมาณของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง

(dry pressing)

- เตรียมวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นตามอัตราส่วนดังตาราง

4.2 ให้มีน้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม

ตาราง 4.2 อัตราส่วนของเนื้อดินปั้นที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	14.53
ดินขาว	46.68
ดินดำเหนียว	27.80
ทรายแก้ว	10.99

- ใส่วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในหม้ออบและเติมน้ำลงไป ร้อยละ 40
- บดวัตถุดิบจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
- อบเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
- นำเนื้อดินปั้นที่แห้งดีแล้วมาบดด้วยหม้ออบจนเป็นผงละเอียดให้มีขนาดอนุภาค เล็กกว่า 195 ไมครอน
- แบ่งเนื้อดินปั้นที่บดละเอียดแล้วออกเป็น 6 ชุด เติมน้ำดังนี้

ชุดที่ 1 ไม่เติมน้ำ	ชุดที่ 4 เติมน้ำร้อยละ 3
ชุดที่ 2 เติมน้ำร้อยละ 1	ชุดที่ 5 เติมน้ำร้อยละ 4
ชุดที่ 3 เติมน้ำร้อยละ 2	ชุดที่ 6 เติมน้ำร้อยละ 5

- นำเนื้อดินปั้นแต่ละชุดบดด้วยหม้อบดโดยแยกกันบดจนละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน (ตะแกรงเบอร์ 100 เมช)
- นำเนื้อดินปั้นแต่ละชุดมาขึ้นรูปโดยวิธีอัดแห้งด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก โดยใช้ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้มีน้ำหนักขึ้นละ 28 กรัม โดยประมาณ ชุดละ 10 ชิ้น (วิธีการขึ้นรูป ดูภาคผนวก ก)
- เผาชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที
- วิเคราะห์ผล
- คัดเลือกชิ้นงานที่ไม่มีการแตกร้าว บิดเบี้ยว และไม่โค้งงอ เผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล
- ทำซ้ำชุดที่มีชิ้นงานเสียน้อยที่สุด

2.2 ทาค่า การหดตัว การสูญเสียน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงตามขวาง ของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

1. เตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับการทดสอบ

- ชั่งส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในอัตราส่วนดังตารางที่ 2 ให้มีปริมาณรวม 2 กิโลกรัม
- ใส่วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในหม้อบดและเติมน้ำลงไปร้อยละ 40
- บดวัตถุดิบจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
- อบเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
- นำเนื้อดินปั้นมาเติมน้ำลงไปร้อยละ 3 บดด้วยหม้อบด จนละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน
- ขึ้นรูปเนื้อดินปั้นด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ที่ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้น้ำหนักขึ้นละ 28 กรัมโดยประมาณ จำนวน 60 ชิ้น
- อบชิ้นงานจำนวน 60 ชิ้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
- ทำหมายเลข 1 ถึง 60 เก็บไว้เตรียมการทดสอบดังนี้

2 การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา (firing shrinkage)

นำชิ้นงานหมายเลข 1 ถึง 30 มาขีดเส้น ให้มีความยาว 1.750 เซนติเมตร เป็นความยาวก่อนการเผา (L_1) เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงแล้ววัดความยาวของเส้นที่ขีดภายหลังการเผา (L_2) คำนวณหาร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา คือ :

ร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

$$= \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

3 การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา (loss on ignition)

ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน หมายเลข 31 ถึง 60 ก่อนการเผา (W_1) นำชิ้นงานไปเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงแล้วชั่งน้ำหนักภายหลังการเผาแต่ละชิ้น (W_2) คำนวณหาร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา คือ

ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

$$= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

4 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา (water absorption)

ชั่งน้ำหนักชิ้นงานหมายเลข 1 ถึง 30 ที่ผ่านการทดสอบหาการหดตัวภายหลังการเผามาแล้ว แต่ละชิ้น (W_1) แช่ชิ้นงานในน้ำกลั่นให้ท่วมชิ้นงานเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ เช็ดน้ำที่เกาะผิวชิ้นงานด้วยผ้าให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว ได้น้ำหนักเปียก (W_2) คำนวณหาร้อยละของการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา คือ

ร้อยละของการดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

$$= \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

5. การทดสอบความต้านทานแรงตามขวาง (strength or modulus of rupture)

นำชิ้นหมายเลข 31 ถึง 60 ที่ผ่านการทดสอบหาของการสูญเสีย น้ำหนักภายหลังการเผามาแล้ว มาทดสอบความต้านทานแรงตามขวาง โดยวัดขนาดของชิ้นงานทุกชิ้นก่อน แล้ววางชิ้นงานทดสอบบนที่รองรับของ bending strength tester ระยะห่าง 2/3 ของความกว้างของชิ้นงาน ให้นำน้ำหนักดลงบนแท่งชิ้นงานทดสอบที่จุดกึ่งกลางของความยาวช่วงที่รองรับ โดยน้ำหนักกดเริ่มจากศูนย์ และค่อยๆเพิ่มขึ้นในอัตราที่เท่ากันอย่างสม่ำเสมอจนชิ้นงานแตกหัก บันทึกน้ำหนักที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก ทำซ้ำจนครบ 30 ชิ้นคำนวณค่าความต้านทานแรงตามขวาง ของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา จากสูตร

$$F = 3(PL)/2bt^2$$

F คือความต้านทานแรงตามขวาง, ปาสคาล (นิวตันต่อตารางเมตร)

P คือแรงที่กระทำจนชิ้นงานแตกหัก, นิวตัน

L คือระยะห่างของขารับน้ำหนักกด, เมตร

b คือความกว้างของชิ้นงานทดสอบ, เมตร

t คือความหนาของชิ้นงานทดสอบ, เมตร

3 เคลือบ.

3.1 การเตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับการทดสอบสูตรเคลือบ

- ชั่งส่วนผสมของเนื้อดินปั้นในอัตราส่วนดังตารางที่ 2 ให้มีปริมาณรวม 20 กิโลกรัม
- ใส่วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นลงในถัง เติมน้ำลงไป ร้อยละ 40 กวนให้ทั่ว
- แบ่งเนื้อดินปั้นจำนวน 3 กิโลกรัม ใส่ในหม้อบด บดจนเนื้อดินปั้นเข้าเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง บดจนเนื้อดินปั้นที่เตรียมไว้ในถังหมด นำเนื้อดินปั้นที่บดแล้วทั้งหมดมากวนผสมกันในถัง
- อบเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
- เนื้อดินปั้นมาเติมน้ำลงไปร้อยละ 3 แล้วบดด้วยหม้อบดจนละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน
- ขึ้นรูปเนื้อดินปั้นด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ที่ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้น้ำหนัก ขึ้นละ 28 กรัมโดยประมาณ จำนวน 600 ชิ้น (วิธีการขึ้นรูปดูภาคผนวก ก)

- เผ่าขึ้นงานที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที คงไฟไว้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง
- คัดเลือกชิ้นงานที่ไม่มีการแตกร้าว บิดเบี้ยว หรือไม่โค้งงอ เก็บรักษาไว้ในที่แห้งและสะอาด

3.2 การหาสูตรเคลือบที่เหมาะสม

- การเตรียมวัสดุดิบ :

นำวัสดุดิบที่ใช้ในการเคลือบ คือ เฟลด์สปาร์ ดินขาว ดินดำเหนียวทรายแก้ว บดแยกชนิดกันด้วยหม้อบด ให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 195 ไมครอน

- เลือกสูตรเคลือบจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าของ ไซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม¹ และทรายแก้ว (วิธีการเลือก สูตรเคลือบ ดูภาคผนวก ก) 18 สูตร ดังตาราง 4.3

¹ หมายถึงดินขาวร้อยละ 70 ดินดำเหนียวร้อยละ 30

ตาราง 4.3 สูตรเคลือบที่ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม และทรายแก้ว

สูตรที่	โซเดียมเฟลด์- สปาร์ (กรัม)	ดินผสม (กรัม)	ทรายแก้ว (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)
1	6.4	1.6	2.0	10
2	6.4	2.0	1.6	10
3	6.4	2.6	1.0	10
4	6.6	1.4	2.0	10
5	6.6	2.0	1.4	10
6	6.6	2.4	1.0	10
7	6.8	1.2	2.0	10
8	6.8	2.0	1.2	10
9	6.8	2.2	1.0	10
10	7.0	1.0	2.0	10
11	7.0	1.5	1.5	10
12	7.0	1.8	1.2	10
13	7.0	2.0	1.0	10
14	7.0	2.3	0.7	10
15	7.0	2.5	0.5	10
16	7.2	1.0	1.8	10
17	7.2	1.8	1.0	10
18	7.2	2.0	0.8	10

- ชั่งวัตถุดิบที่ใช้ในแต่ละสูตร มีน้ำหนักรวม 10 กรัม
- นำวัตถุดิบแต่ละสูตรมาบดด้วยโกร่งพอร์ซเลน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนวัตถุดิบเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำลงไป 10 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน
- นำน้ำเคลือบมาเคลือบชิ้นงาน สูตรละ 3 ชิ้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้
 - : ทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน โดยเช็ดด้วยผ้าแห้งและสะอาด
 - : ใช้ฟู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ ทาชิ้นงาน ให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร
 - : ตากชิ้นงานให้แห้ง โดยทิ้งไว้ในที่ร่มประมาณ 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- ปล่อยให้อุณหภูมิลดลงตามธรรมชาติจนถึงอุณหภูมิห้อง นำชิ้นงานออกจากเตาเผา ตรวจสอบผลเคลือบที่ได้

4 การปรับปรุงสูตรเคลือบ

4.1 การปรับปรุงเคลือบโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 13 (ให้ผลการทดลองจากขั้นตอนที่ 3.2 ดีที่สุด) ซึ่งประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์	77.0	กรัม
ดินขาว	15.4	กรัม
ดินดำเหนียว	6.6	กรัม
ทรายแก้ว	11.0	กรัม
น้ำหนักรวม	110.0	กรัม

- แบ่งส่วนผสมของเคลือบเป็น 11 ส่วน เท่าๆกัน ส่วนละ 10 กรัม
- เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ลงในส่วนผสมของเคลือบแต่ละส่วน ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงในแต่ละส่วน

ส่วนที่	สูตรที่	แคลเซียมคาร์บอเนต (กรัม)
1	19	0.2
2	20	0.4
3	21	0.6
4	22	0.8
5	23	1.0
6	24	1.5
7	25	2.0
8	26	3.0
9	27	5.4

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 50
- เคลือบชิ้นงานโดยใช้ฟู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบภาคผนวก ก) สูตรละ 3 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล

4.2 การปรับปรุงเคลือบ โดยการใช้ซิงค์ออกไซด์และโคโลไมต์

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 13 ซึ่งประกอบด้วย

ไซเดียมเฟลด์สปาร์	210.0	กรัม
ดินขาว	42.0	กรัม
ดินดำเหนียว	18.0	กรัม
ทรายแก้ว	30.0	กรัม
น้ำหนักรวม	300.0	กรัม

- แบ่งส่วนผสมของเคลือบออกเป็น 30 ส่วน เท่าๆกัน ส่วนละ 10 กรัม
แยกออกเป็น 3 ชุด ดังนี้
- ชุดที่ 1 ประกอบด้วย 9 ส่วน เต็มโดโลไมต์และซิงค์ออกไซด์
ตามตาราง 4.5
- วิเคราะห์ผล
- ชุดที่ 2 ประกอบด้วย 12 ส่วน เต็มโดโลไมต์และซิงค์ออกไซด์
ตามตาราง 4.6
- วิเคราะห์ผล
- ชุดที่ 3 ประกอบด้วย 9 ส่วน เต็มโดโลไมต์และซิงค์ออกไซด์
ตามตาราง 4.7
- วิเคราะห์ผล

ตาราง 4.5 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 1

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)
1	28	0.5	0.5
2	29	0.5	0.7
3	30	0.5	1.0
4	31	0.7	0.5
5	32	0.7	0.7
6	33	0.7	1.0
7	34	1.0	0.5
8	35	1.0	0.7
9	36	1.0	1.0

ตาราง 4.6 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 2

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)
1	37	1.0	0.1
2	38	1.0	0.2
3	39	1.0	0.3
4	40	1.0	0.4
5	41	1.2	0.1
6	42	1.2	0.2
7	43	1.2	0.3
8	44	1.2	0.4
9	45	1.4	0.1
10	46	1.4	0.2
11	47	1.4	0.3
12	48	1.4	0.4

ตาราง 4.7 ปริมาณซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ที่เติมลงในแต่ละส่วน ชุดที่ 3

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)
1	49	1.5	0.2
2	50	1.6	0.2
3	51	1.7	0.2
4	52	1.8	0.2

ตาราง 4.7 ต่อ

ส่วนที่	สูตรที่	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โคโลไมต์ (กรัม)
5	53	1.9	0.2
6	54	2.0	0.2
7	55	2.1	0.2
8	56	2.2	0.2
9	57	2.3	0.2

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ชเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 50
- เคลือบชิ้นงานโดยใช้พู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบ ภาคผนวก ก) สูตรละ 3 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล
- ทำซ้ำสูตรที่ 52-57 โดยเคลือบชิ้นงานสูตรละ 10 ชิ้น
- วิเคราะห์ผล

4.3 การปรับปรุงเคลือบโดยใช้แบเรียมคาร์บอเนต

- ชั่งส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 54 ซึ่งประกอบด้วย

ไซเดียมเฟลด์สปาร์	22.94	กรัม
ดินผสม	6.56	กรัม
ทรายแก้ว	3.28	กรัม
ซิงค์ออกไซด์	6.56	กรัม
โคโลไมต์	0.66	กรัม
น้ำหนักรวม	40.00	กรัม

- แบ่งส่วนผสมของเคลือบออกเป็น 4 ส่วน เท่าๆกัน ส่วนละ 10 กรัม
 - เติมแบเรียมคาร์บอเนตลงในส่วนผสมของเคลือบแต่ละส่วน
- ดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ปริมาณแบเรียมคาร์บอเนตที่เติมลงในแต่ละส่วน

ส่วนที่	สูตรที่	แบเรียมคาร์บอเนต (กรัม)
1	58	0.3
2	59	0.5
3	60	0.7
4	61	1.0

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 50
- เคลือบชิ้นงานโดยใช้ก๊ากันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบขึ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบภาคผนวก ก) สูตรละ 5 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล

4.4 การปรับปรุงเคลือบโดยใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทน

โซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วนในเคลือบสูตรที่ 54

- ซั่งส่วนผสมของเคลือบแต่ละสูตรดังนี้

สูตรที่ 62	โซเดียมเฟลด์สปาร์	6.0 กรัม	สูตรที่ 63	โซเดียมเฟลด์สปาร์	5.5 กรัม
	โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	1.0 กรัม		โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	1.5 กรัม
	ดินขาว	1.4 กรัม		ดินขาว	1.4 กรัม
	ดินดำเหนียว	0.6 กรัม		ดินดำเหนียว	0.6 กรัม
	ทรายแก้ว	1.0 กรัม		ทรายแก้ว	1.0 กรัม
	ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม		ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม
	โคโลไมต์	0.2 กรัม		โคโลไมต์	0.2 กรัม
	น้ำหนักรวม	12.2 กรัม		น้ำหนักรวม	12.2 กรัม

สูตรที่ 64	โซเดียมเฟลด์สปาร์	5.0 กรัม	สูตรที่ 65	โซเดียมเฟลด์สปาร์	4.5 กรัม
	โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	2.0 กรัม		โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	2.5 กรัม
	ดินขาว	1.4 กรัม		ดินขาว	1.4 กรัม
	ดินดำเหนียว	0.6 กรัม		ดินดำเหนียว	0.6 กรัม
	ทรายแก้ว	1.0 กรัม		ทรายแก้ว	1.0 กรัม
	ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม		ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม
	โคโลไมต์	0.2 กรัม		โคโลไมต์	0.2 กรัม
	น้ำหนักรวม	12.2 กรัม		น้ำหนักรวม	12.2 กรัม
สูตรที่ 66	โซเดียมเฟลด์สปาร์	4.0 กรัม			
	โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	3.0 กรัม			
	ดินขาว	1.4 กรัม			
	ดินดำเหนียว	0.6 กรัม			
	ทรายแก้ว	1.0 กรัม			
	ซิงค์ออกไซด์	2.0 กรัม			
	โคโลไมต์	0.2 กรัม			
	น้ำหนักรวม	12.2 กรัม			

- บดเคลือบแต่ละสูตรด้วยโกร่งพอร์ซเลน เติมน้ำลงไปเล็กน้อย บดจนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำให้มีปริมาณของแข็ง ร้อยละ 50
- เคลือบชิ้นงานโดยใช้พู่กันจุ่มลงในน้ำเคลือบ แล้วทาบนชิ้นงาน (ดูรายละเอียดการเคลือบ ภาคผนวก ก) สูตรละ 5 ชิ้น
- ตากแห้งชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล

4.5 การปรับปรุงเคลือบโดยการลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ

- ชิ้นส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 54 ซึ่งประกอบด้วย

สูตรที่ 54	โซเดียมเฟลด์สปาร์	70 กรัม
	ดินขาว	14 กรัม
	ดินดำเหนียว	06 กรัม
	ทรายแก้ว	10 กรัม
	ซิงค์ออกไซด์	20 กรัม
	โคโลไมต์	02 กรัม
	น้ำหนักรวม	122 กรัม

- แยกบดวัตถุดิบในหม้อบด เติมน้ำลงไปร้อยละ 50 บดจน
วัตถุดิบมีขนาดอนุภาคประมาณ 74 ไมครอน (ใช้เวลาประมาณ
4 ชั่วโมง)
- นำน้ำเคลือบแต่ละสูตรใส่ลงในกระป๋องฉีดพ่น พ่นขึ้นงาน 10 ชั้น
(วิธีการพ่นดูภาคผนวก ก)
- ตากแห้งขึ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- เผาขึ้นงานที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล

4.6 การปรับปรุงเคลือบโดยการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาเคลือบ

- ซังส่วนผสมของเคลือบสูตรที่ 54 ซึ่งประกอบด้วย

สูตรที่ 54	โซเดียมเฟลด์สปาร์	70 กรัม
	ดินขาว	14 กรัม
	ดินดำเหนียว	06 กรัม
	ทรายแก้ว	10 กรัม
	ซิงค์ออกไซด์	20 กรัม
	โดโลไมต์	02 กรัม
	น้ำหนักรวม	122 กรัม

- แยกบดวัตถุดิบแต่ละสูตรในหม้อบด เติมน้ำลงไปร้อยละ 50
บดจนวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคประมาณ 74 ไมครอน
(ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง)
- นำน้ำเคลือบแต่ละสูตรใส่ลงในกระป๋องฉีดพ่น พ่นขึ้นงาน 40 ชั้น
(วิธีการพ่นดูภาคผนวก ก)
- ตากแห้งขึ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- แยกขึ้นงานออกเป็น 4 ชุด
- เผาขึ้นงานดังนี้
 - ชุดที่ 1 เผาที่อุณหภูมิ 1,270 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
 - ชุดที่ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
 - ชุดที่ 3 เผาที่อุณหภูมิ 1,310 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
 - ชุดที่ 4 เผาที่อุณหภูมิ 1,330 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข)
- วิเคราะห์ผล

เมื่อได้เคลือบที่ดีมีความมั่นใจว่าไม่เกิดการร้าวและไม่เกิดรูเข็ม นำเคลือบที่ได้มาทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค)

การตรวจสอบผลเคลือบ

- 1 การร้าว ใช้น้ำหมึกทาบนผิวเคลือบ วางไว้ให้แห้งพอหมาด ล้างออกให้สะอาดถ้าเคลือบเกิดการร้าวจะเห็นเป็นรอยเส้นสีหมึกบนผิวเคลือบ
- 2 การเกิดรูเข็ม ใช้น้ำหมึกทาบนผิวเคลือบ วางไว้ให้แห้งพอหมาด ล้างออกให้สะอาดถ้าเคลือบเกิดรูเข็มก็จะเห็นเป็นจุดๆสีหมึกบนผิวเคลือบ อาจใช้แว่นขยายขนาดกำลัง 10 เท่าส่องดู ในกรณีทีรูเข็มนั้นเล็กมาก
- 3 การร่อนออกจากเนื้อดินปั้น สังเกตได้ด้วยตาเปล่า
- 4 เคลือบหดตัวมารวมกันเป็นหย่อมๆ สังเกตได้ด้วยตาเปล่า

บทที่ 5

ผลและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ผลและการวิเคราะห์ผลของเนื้อดินปั้น (วิธีดำเนินการข้อ 2)

ตาราง 5.1 ผลการหาร้อยละของน้ำในเนื้อดินปั้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง

ชุดที่	ปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้น (ร้อยละ)	ชิ้นงานเสีย ¹ เมาที่อุณหภูมิ 800 °ซ. (ร้อยละ)	ชิ้นงานเสีย ¹ เมาที่อุณหภูมิ 1,250 °ซ. (ร้อยละ)	รวมชิ้นงานเสีย (ร้อยละ)	หมายเหตุ
1	0	10	40	50	เสียโดยการแยกชิ้นร้อยละ 10
2	1	10	50	60	เสียโดยการแยกชิ้นร้อยละ 10
3	2	20	70	90	
4	3	10	0	10	
5	4	40	40	80	เสียโดยการแยกชิ้นร้อยละ 10
6	5	50	50	100	เสียโดยการแยกชิ้นร้อยละ 50

¹ ชิ้นงานเสีย 2 ลักษณะคือ ชิ้นงานร้าว และ ชิ้นงานแยกชิ้น (ภาคผนวก ง)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.1 เมื่อพิจารณาเผาที่อุณหภูมิ 800°C. ชุดที่ 1,2 และ 4 (ปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้นร้อยละ 0,1 และ 3) มีชิ้นงานเสียน้อยที่สุด คือร้อยละ 10 เมื่อพิจารณาการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.ชุดที่ 1,2 และ 4 มีชิ้นงานเสีย ร้อยละ 40,50 และ 0 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาชิ้นงานเสียรวมแล้ว ชุดที่ 4 มีชิ้นงานเสีย น้อยที่สุด

สรุปได้ว่าปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบแห้งหรืออัดแห้งคือร้อยละ 3 ซึ่งจะให้ปริมาณชิ้นงานเสียน้อยที่สุดและได้ทำการทดลองซ้ำโดยใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 3 ดังตาราง 5.2 ในการวิจัยครั้งนี้ จึงใช้ปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้นร้อยละ 3

ตาราง 5.2 การหาชิ้นงานเสีย เมื่อใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 3

ชิ้นที่	เผาที่อุณหภูมิ 800°C	เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C	หมายเหตุ
1	ดี	ดี	ชิ้นงานร้าว
2	ดี	ดี	
3	เสีย	-	
4	ดี	ดี	
5	ดี	ดี	
6	ดี	ดี	
7	ดี	ดี	
8	ดี	ดี	
9	ดี	ดี	
10	ดี	ดี	

ตาราง 5.3 ผลการหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.

ชั้นที่	L ₁ (ซม.)	L ₂ (ซม.) ครั้งที่ 1	L ₂ (ซม.) ครั้งที่ 2	L ₁ - L ₂	(L ₁ - L ₂) / L ₁	ร้อยละของการหดตัว
1	1.750	1.500	1.555	0.222	0.127	12.7
2	1.750	1.575	1.580	0.172	0.098	9.8
3	1.750	1.515	1.500	0.242	0.138	13.8
4	1.750	1.605	1.580	0.157	0.091	9.1
5	1.750	1.600	1.500	0.200	0.114	11.4
6	1.750	1.540	1.500	0.230	0.131	13.1
7	1.750	1.530	1.510	0.230	0.131	13.1
8	1.750	1.550	1.530	0.210	0.120	12.0
9	1.750	1.545	1.550	0.202	0.116	11.6
10	1.750	1.500	1.510	0.245	0.140	14.0
11	1.750	1.440	1.545	0.258	0.147	14.7
12	1.750	1.510	1.635	0.178	0.101	10.1
13	1.750	1.415	1.520	0.283	0.161	16.1
14	1.750	1.515	1.525	0.230	0.131	13.1
15	1.750	1.540	1.620	0.170	0.097	9.7
16	1.750	1.510	1.600	0.195	0.111	11.1
17	1.750	1.520	1.555	0.212	0.121	12.1
18	1.750	1.610	1.530	0.180	0.103	10.3
19	1.750	1.570	1.650	0.140	0.080	8.0
20	1.750	1.415	1.575	0.255	0.146	14.6
21	1.750	1.415	1.575	0.255	0.146	14.6
22	1.750	1.555	1.565	0.190	0.109	10.9

ตาราง 5.3 ต่อ

ชั้นที่	L ₁ (ซม.)	L ₂ (ซม.) ครั้งที่ 1	L ₂ (ซม.) ครั้งที่ 2	L ₁ - L ₂	(L ₁ - L ₂) / L ₁	ร้อยละของ การหดตัว
23	1.750	1.505	1.510	0.242	0.139	13.9
24	1.750	1.455	1.500	0.273	0.156	15.6
25	1.750	1.455	1.500	0.273	0.156	15.6
26	1.750	1.625	1.630	0.123	0.070	7.0
27	1.750	1.610	1.655	0.117	0.067	6.7
28	1.750	1.570	1.555	0.188	0.107	10.7
29	1.750	1.550	1.600	0.175	0.100	10.0
30	1.750	1.500	1.530	0.235	0.134	13.4

การหดตัวของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C. มีค่าเฉลี่ย

ร้อยละ 11.94±0.5

ตาราง 5.4 ผลการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ
1,250°C.

ชั้นที่	W ₁ (กรัม)	W ₂ (กรัม)	W ₁ - W ₂ (กรัม)	(W ₁ - W ₂)/W ₁	ร้อยละของการสูญ เสียน้ำหนัก
1	25.1149	22.3914	2.7235	0.1084	10.84
2	25.7026	22.8997	2.7235	0.1091	10.91
3	25.7464	22.9438	2.8026	0.1089	10.89
4	23.9129	21.3634	2.5495	0.1066	10.66
5	23.6700	21.1201	2.5499	0.1077	10.77
6	25.0540	22.3714	2.6826	0.1071	10.71
7	23.7867	21.2502	2.5365	0.1066	10.66
8	26.2815	23.4250	2.8565	0.1087	10.87
9	26.6354	23.8058	2.8296	0.1062	10.62
10	26.1403	23.3363	2.8040	0.1073	10.73
11	26.9741	24.1350	2.8391	0.1053	10.53
12	27.9261	24.9638	2.9623	0.1061	10.61
13	26.8786	24.0139	2.8647	0.1066	10.66
14	25.2514	22.5491	2.7023	0.1070	10.70
15	24.7710	22.6379	2.7151	0.1061	10.61
16	25.3530	22.6379	2.7151	0.1071	10.71
17	27.6964	24.7341	2.9623	0.1070	10.70
18	26.2256	23.4202	2.8054	0.1070	10.70
19	27.3366	24.4454	2.8912	0.1058	10.58
20	25.3538	22.6332	2.7206	0.1073	10.73

ตาราง 5.4 ต่อ

ชั้นที่	W ₁ (กรัม)	W ₂ (กรัม)	W ₁ - W ₂ (กรัม)	(W ₁ - W ₂)/W ₁	ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก
21	26.4906	23.6804	2.8102	0.1061	10.61
22	27.0764	24.2013	2.8751	0.1062	10.62
23	26.7532	23.9309	2.8223	0.1055	10.55
24	27.3544	24.4426	2.9118	0.1064	10.64
25	27.1154	24.2402	2.8752	0.1060	10.60
26	27.7322	24.7724	2.9598	0.1067	10.67
27	28.6465	25.5951	3.0514	0.1065	10.65
28	27.8317	24.8599	2.9718	0.1068	10.68
29	27.5503	24.6133	2.9370	0.1066	10.66
30	27.2434	24.3529	2.8905	0.1061	10.61

การสูญเสียน้ำหนักของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C. มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 10.68±0.05

ตาราง 5.5 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อดินบ้นภายใต้การเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.

ชั้นที่	W ₁	W ₂ (กรัม)	W ₁ - W ₂ (กรัม)	(W ₁ - W ₂)/W ₁	ร้อยละของการดูด ซึมน้ำ
1	22.3914	23.4118	1.0204	0.0456	4.56
2	22.8997	23.5293	0.6296	0.0275	2.75
3	22.9438	23.8744	0.9306	0.0406	4.06
4	21.3634	23.0543	1.6909	0.0791	7.91
5	21.1201	21.9726	0.8524	0.0404	4.04
6	22.3714	23.3021	0.9307	0.0416	4.16
7	21.2502	22.3803	1.1301	0.0532	5.32
8	23.4250	24.2064	0.7814	0.334	3.34
9	23.8058	24.9033	1.0975	0.0461	4.61
10	23.3363	24.4217	1.0854	0.0465	4.65
11	24.1350	25.4658	1.3308	0.0551	5.51
12	24.9638	26.3840	1.4202	0.0569	5.69
13	24.0139	25.8351	1.8212	0.0758	7.58
14	22.5491	23.5004	0.9513	0.0422	4.22
15	22.1431	23.1203	0.9772	0.0441	4.41
16	22.6379	24.0716	1.4337	0.0633	6.33
17	24.7341	26.4075	1.6734	0.0676	6.76
18	23.4202	24.6195	1.1993	0.0512	5.12
19	24.4454	25.4583	1.0129	0.0414	4.14
20	22.6332	23.6580	1.0248	0.0453	4.53
21	23.6804	25.1277	1.4473	0.0611	6.11
22	24.2013	25.6136	1.4123	0.0584	5.84
23	23.9309	25.5914	1.6605	0.0694	6.94

ตาราง 5.5 ต่อ

ชั้นที่	W ₁	W ₂ (กรัม)	W ₁ - W ₂ (กรัม)	(W ₁ - W ₂)/W ₁	ร้อยละของการดูด ซึมน้ำ
24	24.4426	26.1503	1.7077	0.0699	6.99
25	24.2404	25.8044	1.5642	0.0645	6.45
26	24.7724	25.9774	1.2050	0.0486	4.86
27	25.5951	27.0084	1.4133	0.0552	5.52
28	24.8599	25.7203	0.8604	0.0346	3.46
29	24.6133	25.7824	1.1691	0.0475	4.75
30	24.3529	25.3755	1.0227	0.0420	4.20

การดูดซึมน้ำของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C. มีค่าเฉลี่ย
ร้อยละ 5.16±0.05

ตาราง 5.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงตามขวางของเนื้อดินปั้นภายหลัง
การเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.

ชิ้นที่	t (ซม.) ครั้งที่ 1	t (ซม.) ครั้งที่ 2	ชิ้นที่	b (ซม.)	P ¹ (นิวตัน)	F ² (ปาสคาล) 10 ⁷
1	0.560	0.590	0.595	4.600	4280	16.1
2	0.520	0.535	0.515	4.675	1712	7.8
3	0.535	0.530	0.535	4.710	1819	8.0
4	0.565	0.555	0.580	4.520	3531	14.2
5	0.555	0.525	0.580	4.580	2461	10.3
6	0.555	0.530	0.560	4.635	1605	6.7
7	0.555	0.570	0.565	4.460	5029	20.8
8	0.525	0.540	0.515	4.470	3745	17.6
9	0.535	0.525	0.515	4.540	4494	21.0
10	0.515	0.570	0.540	4.665	2889	12.3
11	0.610	0.600	0.585	4.600	2247	8.0
12	0.600	0.545	0.555	4.600	2461	9.7
13	0.500	0.500	0.520	4.600	3210	15.9
14	0.525	0.545	0.540	4.600	3424	15.1
15	0.515	0.525	0.525	4.600	2782	13.0
16	0.565	0.535	0.510	4.650	3103	13.5
17	0.500	0.465	0.485	4.650	3210	17.3
18	0.535	0.520	0.540	4.480	3317	14.3
19	0.500	0.500	0.500	4.500	3745	19.5
20	0.540	0.530	0.535	4.500	2140	9.7

ตาราง 5.6 ต่อ

ชั้นที่	t (ซม.) ครั้งที่ 1	t (ซม.) ครั้งที่ 2	ชั้นที่	b (ซม.)	P ¹ (นิวตัน)	F ² (ปาสคาล) 10 ⁷
21	0.500	0.470	0.465	4.575	2247	12.6
22	0.545	0.540	0.530	4.700	2675	11.5
23	0.555	0.545	0.555	4.570	3103	13.0
24	0.600	0.600	0.600	4.600	2996	10.6
25	0.580	0.600	0.600	4.600	2782	10.1
26	0.555	0.570	0.560	4.510	2568	10.5
27	0.545	0.500	0.520	4.620	2461	11.4
28	0.570	0.565	0.575	4.600	3852	15.1
29	0.520	0.545	0.555	4.650	2354	10.2
30	0.515	0.515	0.550	4.675	3210	14.5

1 น้ำหนักกดที่ทำให้ชั้นงานแตกหัก, กิโลกรัมคูณด้วยค่าแรงโน้มถ่วงของโลก
กำหนดให้ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²

2 ระยะห่างของขารับน้ำหนักกด, L เท่ากับ 3.900 ซม.

การทดสอบความต้านทานแรงตามขวางของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา
ที่อุณหภูมิ 1,250°C มีค่าเฉลี่ยร้อยละ $(13.0 \pm 0.5) \times 10^7$ Pa

ผลและการวิเคราะห์ผลของเคลือบ (วิธีดำเนินการข้อ 3)

ตาราง 5.7 ผลการทดสอบสูตรเคลือบ

สูตรที่	อัตราส่วนของ ไซเดียมเฟลด์สปาร์ : ดินผสม : ททรายแก้ว (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
1	64 : 16 : 20	เคลือบใส ผิวกึ่งด้าน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	>50
2	64 : 20 : 16	เคลือบใส ผิวด้าน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	>50
3	64 : 26 : 10	เคลือบใส ผิวด้าน เกิดการลอกตัวแยกออกจากเนื้อดินปั้น	-
4	66 : 14 : 20	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	38
5	66 : 20 : 14	เคลือบใส ผิวกึ่งด้าน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	38
6	66 : 24 : 10	เคลือบใส ผิวด้าน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	>50
7	68 : 12 : 20	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	22
8	68 : 20 : 12	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	24
9	68 : 22 : 10	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	21
10	70 : 10 : 20	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	25
11	70 : 15 : 15	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและเกิดรูเข็ม	30

ตาราง 5.7: ต่อ

สูตรที่	อัตราส่วนของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ : ดินผสม : ททรายแก้ว (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
12	70 : 18 : 12	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	22
13	70 : 20 : 10	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	15
14	70 : 23 : 7	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	28
15	70 : 25 : 5	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	30
16	72 : 10 : 18	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	>50
17	72 : 18 : 10	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	40
18	72 : 20 : 8	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการลอกตัว แยกออกจากเนื้อดินปั้น	-

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.7 การหาสูตรเคลือบที่ประกอบด้วยโซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสมและทรายแก้ว ได้ผลดังนี้

1. เคลือบทุกสูตรที่ทำการทดลองได้ผลเป็นเคลือบใส สีของเคลือบเป็นสีครีม
2. ลักษณะผิวเคลือบ แบ่งผิวเคลือบออกเป็น 3 ชนิด คือ
 - เคลือบด้าน
 - เคลือบกึ่งด้าน
 - เคลือบมัน

จากการทดลองพบว่าลักษณะของผิวเคลือบที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ โซเดียมเฟลด์สปาร์เป็นสำคัญ ถ้าใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์น้อย จะทำให้เกิดเคลือบ

ด้าน แต่ถ้าใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์ในเคลือบมากเพียงพอ จะทำให้เคลือบมีความมันวาว

4. การเกิดรูเข็ม จากการทดลองพบว่าเคลือบทุกสูตรเกิดรูเข็ม ซึ่งเกิดจากสาเหตุดังนี้

- ขณะหลอมตัวมีความหนืดสูง ทำให้แก๊สถูกกักอยู่ระหว่างชั้นเคลือบกับผิวเนื้อดินปั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ อาจใช้สารช่วยลดความหนืด ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ ไดโกลไมต์ และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

- วัตถุดิบที่มีจุดหลอมตัวต่ำหลอมตัวเร็วกว่าวัตถุดิบที่มีจุดหลอมตัวสูง ทำให้เกิดการยุบตัวเป็นรูเข็ม เพื่อแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการบดเคลือบให้ละเอียดมากขึ้น

5. การรานตัว จากการทดลองเคลือบทุกสูตรเกิดการรานตัว ซึ่งเกิดจากการที่เนื้อดินปั้น หดตัวมากกว่าหรือน้อยกว่าเคลือบในระหว่างที่ขึ้นงานเย็นตัวลง ผลการทดลองวิเคราะห์ได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมเฟลด์สปาร์ที่ใช้กับการรานตัว พบว่า

- สูตรเคลือบที่ 1-9 ใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์น้อยกว่า 70 กรัม พบว่าเคลือบเกิดการรานตัวสูง หากใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์น้อย การรานตัวมาก เนื่องจากเคลือบมีจุดหลอมตัวสูงขึ้น การหลอมตัวไม่สมบูรณ์

- สูตรเคลือบที่ 10-15 ใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม พบว่าเคลือบบางสูตรมีการรานตัวน้อยที่สุด

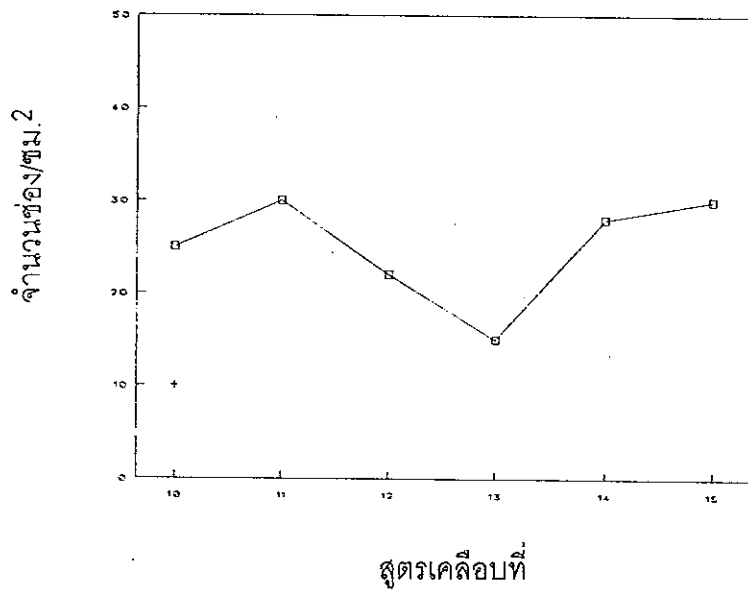
- สูตรเคลือบที่ 16-18 ใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์มากกว่า 70 กรัม พบว่าเคลือบมีการรานตัวมากขึ้นเนื่องจากเคลือบมีจุดหลอมตัวต่ำ เกิดการหดตัวมากดังนั้นเคลือบที่ดีที่สุดในการทดลอง คือ เคลือบที่ประกอบด้วยโซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม

ใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์คงที่ที่ 70 กรัม แต่เปลี่ยนแปลงดินผสมและทรายแก้วในปริมาณต่างๆกัน 6 สูตร (สูตรที่ 10-15) พบว่าลักษณะของเคลือบที่ได้ไม่แตกต่างกัน คือได้เคลือบใส ผิวมัน เกิดรูเข็ม และเกิดการรานตัว แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะการรานตัวแล้ว สูตรที่ 13 (ดิน 20 กรัม) มีจำนวนช่องของการรานตัว ประมาณ 15 ช่องต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ (ภาพประกอบ 5.1)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินผสมที่ใช้กับการรานตัวพบว่า

- เมื่อใช้ดินผสม น้อยกว่า 20 กรัม (สูตรที่ 1 และ 2) เคลือบเกิดการรานตัวมากขึ้น เนื่องจากการใช้ดินผสมน้อย ทำให้ใช้ทรายมาก เคลือบจึงเกิดการหดตัวน้อย (ทราย มีการหดตัวน้อยมาก)

- เมื่อใช้ดินผสม มากกว่า 20 กรัม (สูตรที่ 4 และ 5) เคลือบเกิดการรานตัวมากขึ้น เนื่องจากการใช้ปริมาณดินมากเกินไปนี้ทำให้จุดหลอมตัวของเคลือบสูงขึ้น จึงหลอมตัวอย่างไม่สมบูรณ์ (ใช้อุณหภูมิในการหลอมคงที่ 1,250°C)



ภาพประกอบ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์คงที่ที่ 70 กรัม กับการรานตัว

ทำการปรับสูตรเคลือบที่ 13 เพื่อหาจุดใกล้เคียงที่มีการรานตัวต่ำที่สุด
ปรับสูตรเคลือบที่ 13 ได้ผลดังนี้

สูตรที่	อัตราส่วนของ ไซเดียมเฟลด์สปาร์ : ดินผสม : ททรายแก้ว (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°ซ.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
13	69 : 19 : 10	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	22
	69 : 20 : 9	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	25
	70 : 19 : 11	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	19
	70 : 20 : 10	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	16
	70 : 21 : 9	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	20
	71 : 19 : 10	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	24
	71 : 20 : 9	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	31

สรุปได้ว่าสูตรเคลือบที่มีอัตราส่วน (กรัม) ไซเดียมเฟลด์สปาร์ : ดิน :
ทรายแก้วเป็น 70 : 20 : 10 ให้ผลเคลือบทางกายภาพดีที่สุด แต่มีปัญหาการเกิด
รูเข็มและการรานตัว จึงต้องมีการเติมสารเติมแต่ง (adding materials) เพื่อแก้
ปัญหาการรานตัวและการเกิดรูเข็ม

ผลและวิเคราะห์ผลของการปรับปรุงเคลือบ (วิธีดำเนินการข้อ 4)

1. โดยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (วิธีดำเนินการข้อ 4.1)

ตาราง 5.8 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบ โดยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต
(CaCO₃)

สูตรที่	อัตราส่วนของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ : ดินผสม ; ทรายแก้ว (กรัม)	แคลเซียม คาร์บอเนต (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
19	70 : 20 : 10	2	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	17
20	70 : 20 : 10	4	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว	27
21	70 : 20 : 10	6	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว	19
22	70 : 20 : 10	8	เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัว	23
23	70 : 20 : 10	10	เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใส รอยรานตัวลึกและกว้าง	9
24	70 : 20 : 10	15	เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใส รอยรานตัวลึกและกว้าง	8
25	70 : 20 : 10	20	เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใส รอยรานตัวลึกและกว้าง	17
26	70 : 20 : 10	30	เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใส รอยรานตัวลึกและกว้าง	10
27	70 : 20 : 10	54	เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใส รอยรานตัวลึกและกว้าง	9

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.8 การปรับปรุงเคลือบโดยเติมแคลเซียมคาร์บอเนต
แบ่งผลการทดลองได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 สูตรที่ 19-22 ได้เคลือบใส ผิวมัน เกิดการรานตัวและไม่เกิดรูเข็มทุก
สูตร (ยกเว้นสูตรที่ 19) เมื่อพิจารณาการรานตัว (คิดเป็นจำนวน
ช่องต่อตารางเซ็นติเมตร) มากกว่าสูตรเคลือบที่ไม่มีการเติมแคลเซียม-
คาร์บอเนต

กลุ่มที่ 2 สูตรที่ 23-27 เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใส เมื่อพิจารณาการรานตัว
และการเกิดรูเข็มพบว่าทุกสูตรไม่เกิดรูเข็มแต่เกิดการรานตัวใน
ลักษณะที่สังเกตเห็นได้ชัดเจน มีรอยรานตัวลึก และกว้าง (macrocraze)
ซึ่งเกิดขึ้น ทั้ง 5 สูตร แสดงว่าการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตไม่
สามารถแก้ปัญหาการรานตัวได้

สรุปได้ว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่มากกว่า 2 กรัม
(ร้อยละ 1.97) สามารถแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มได้ แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการ
รานตัวได้

2 โดยการเติมซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ (วิธีดำเนินการข้อ 4.2)

ตาราง 5.9 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบโดยการเติม ซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์
ชุดที่ 1

สูตรที่	อัตราส่วนของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม : ทวายแก้ว (กรัม)	ซิงค์ออก- ไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250 ^o ซ.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
28	70 : 20 : 10	5	5	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	30
29	70 : 20 : 10	5	7	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	28
30	70 : 20 : 10	5	10	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส รอยรานตัวเล็ก และกว้างและเกิดรูเข็ม	32
31	70 : 20 : 10	7	5	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส เกิดการราน ตัวและเกิดรูเข็ม	23
32	70 : 20 : 10	7	7	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส เกิดการราน ตัวและเกิดรูเข็ม	22
33	70 : 20 : 10	7	10	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส รอยรานตัว เล็กและกว้างและเกิดรูเข็ม	25
34	70 : 20 : 10	10	5	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส เกิดการรานตัว และเกิดรูเข็ม	10

ตาราง 5.9 ต่อ

สูตรที่	อัตราส่วนของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม : ทรายแก้ว (กรัม)	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
35	70 : 20 : 10	10	7	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส เกิดการราน ตัวและเกิดรูเข็ม	21
36	70 : 20 : 10	10	10	เคลือบใส ผิวมัน มีสี เหลืองใส รอยรานตัว ลึกและกว้างและเกิดรูเข็ม	23

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.9 การปรับปรุงเคลือบโดยเติมซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์
ชุดที่ 1 แบ่งผลการทดลองได้ 3 กลุ่ม คือ

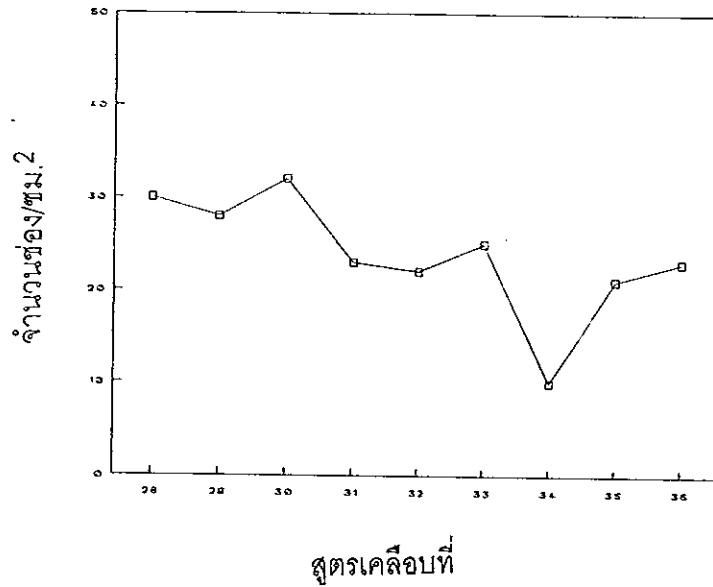
กลุ่มที่ 1 ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม เปลี่ยนปริมาณโดโลไมต์เป็น 5, 7 และ 10 กรัม
ตามลำดับ (สูตรที่ 29-30) ได้เคลือบใสผิวมัน มีสีเหลืองใส เกิดการ
รานตัวและเกิดรูเข็มทุกสูตร

กลุ่มที่ 2 ซิงค์ออกไซด์ 7 กรัม เปลี่ยนปริมาณโดโลไมต์เป็น 5, 7 และ 10 กรัม
ตามลำดับ (สูตรที่ 31-33) ได้เคลือบใส ผิวมัน มีสีเหลืองใสทุกสูตร
ยกเว้นสูตรที่ 6 ที่มีสีขาวขุ่น เคลือบทุกสูตรเกิดการรานตัวและเกิดรู
เข็ม แต่การรานตัวที่เกิดขึ้น น้อยกว่า กลุ่มที่ 1

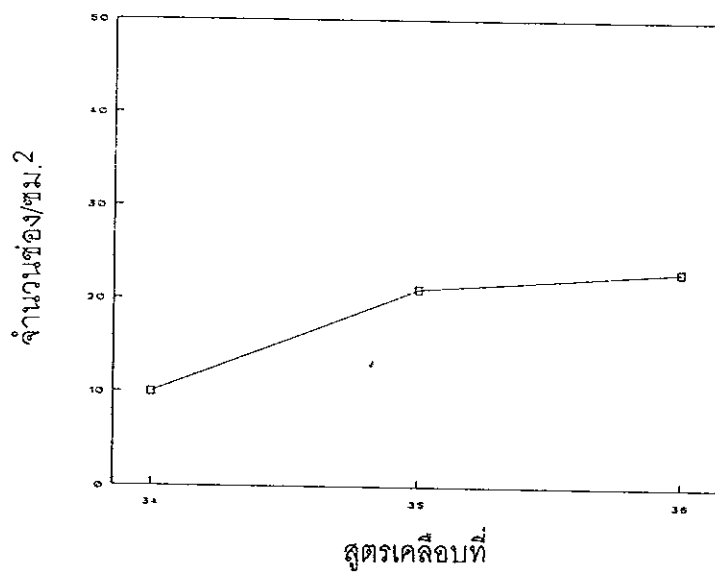
กลุ่มที่ 3 ซิงค์ออกไซด์ 10 กรัม เปลี่ยนปริมาณโดโลไมต์เป็น 5, 7 และ 10 กรัม
ตามลำดับ (สูตรที่ 34-36) ได้เคลือบใส ผิวมันและ มีสีขาวทุกสูตร
ยกเว้นสูตรที่ 7 มีสีเป็นสีเหลืองใส เคลือบทุกสูตรเกิดการรานตัวและ
เกิดรูเข็ม แต่การรานตัวที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากลุ่มที่ 2 (ภาพประกอบ 2)
เมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มที่ 3 (เนื่องจากการรานตัวน้อยที่สุด) พบว่า
การรานตัวของเคลือบลดลงเมื่อปริมาณโดโลไมต์ลดลง (ภาพประกอบ 5.3)

สำหรับสูตรเคลือบที่ได้ทดลองเติมสารเติมแต่ง 2 ชนิดคือ ซิงค์-
ออกไซด์และโดโลไมต์ ต้องเติมซิงค์ออกไซด์ในปริมาณมาก และเติมโดโลไมต์ใน
ปริมาณน้อยจากการทดลองนี้ ได้สูตรเคลือบที่มี การรานตัวต่ำสุด คือ สูตร

เคลือบที่มีซิงค์ออกไซด์ 10 กรัม และโดโลไมต์ 5 กรัม จึงทำการทดลองโดยการ
เติมซิงค์ออกไซด์มากขึ้น และเติมโดโลไมต์น้อยลง



ภาพประกอบ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 1
กับการรานตัว



ภาพประกอบ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 1
กลุ่มที่ 3 กับการรานตัว

ตาราง 5.10 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบโดยการเติม ซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์
ชุดที่ 2

สูตรที่	อัตราส่วนของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม : ททรายแก้ว (กรัม)	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
37	70 : 20 : 10	10	1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	7
38	70 : 20 : 10	10	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	11
39	70 : 20 : 10	10	3	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	8
40	70 : 20 : 10	10	4	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	9
41	70 : 20 : 10	12	1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	9
42	70 : 20 : 10	12	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	7
43	70 : 20 : 10	12	3	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	6
44	70 : 20 : 10	12	4	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	6

ตาราง 5.10 ต่อ

สูตรที่	อัตราส่วนของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม : ททรายแก้ว (กรัม)	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
45	70 : 20 : 10	14	1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	6
46	70 : 20 : 10	14	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	4
47	70 : 20 : 10	14	3	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	7
48	70 : 20 : 10	14	4	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	6

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.10 การปรับปรุงเคลือบโดยเติมซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ชุดที่ 2 แบ่งผลการทดลองได้ 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ซิงค์ออกไซด์ 10 กรัม เปลี่ยนปริมาณโดโลไมต์เป็น 1,2,3 และ 4 กรัม

ตามลำดับ (สูตรที่ 37-40)

กลุ่มที่ 2 ซิงค์ออกไซด์ 12 กรัม เปลี่ยนปริมาณโดโลไมต์เป็น 1,2,3 และ 4 กรัม

ตามลำดับ (สูตรที่ 41-44)

กลุ่มที่ 3 ซิงค์ออกไซด์ 14 กรัม เปลี่ยนปริมาณโดโลไมต์เป็น 1,2,3 และ 4 กรัม

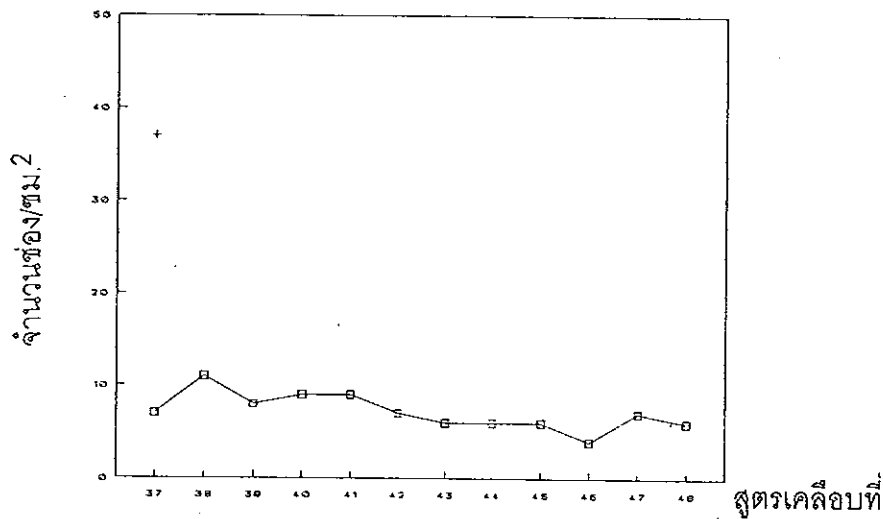
ตามลำดับ (สูตรที่ 45-48)

ลักษณะของเคลือบที่ได้มีลักษณะเหมือนกันคือเป็นเคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวยขุ่น เกิดรูเข็มและเกิดการรานตัว เมื่อเปรียบเทียบจำนวนช่องของการ-

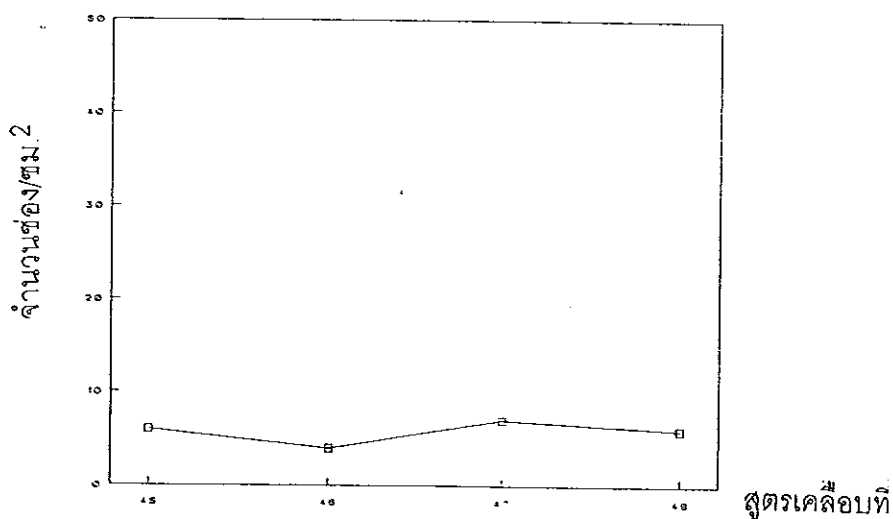
รานตัวกลุ่มที่ 3 มีการรานตัวน้อยกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 คือ รานตัวประมาณ 6 ช่องต่อตารางเซนติเมตร (ภาพประกอบ 5.4)

เมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มที่ 3 พบว่าการรานตัวของเคลือบน้อยที่สุดเมื่อมีโดโลไมต์ 2 กรัม มีการรานตัวเพียง 4 ช่องต่อตารางเซนติเมตร (ภาพประกอบ 5.5)

สำหรับสูตรเคลือบที่เติมสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์ต้องเติมซิงค์ออกไซด์มากกว่า 14 กรัมและเติมโดโลไมต์ 2 กรัม อาจทำให้การรานตัวหมดไป



ภาพประกอบ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 2 กับการรานตัว



ภาพประกอบ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ ชุดที่ 2 กลุ่มที่ 3 กับการรานตัว

ตาราง 5.11 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบโดยการเติม ซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์
ชุดที่ 3

สูตรที่	อัตราส่วนของ ไฮเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม : ทรายแก้ว (กรัม)	ซิงค์ออก- ไซด์ (กรัม)	โดโลไมต์ (กรัม)	ลักษณะเคลือบ เผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	การรานตัว จำนวนช่อง ต่อ ตร.ซม.
49	70 : 20 : 10	15	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	0.12
50	70 : 20 : 10	16	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	0.16
51	70 : 20 : 10	17	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดการรานตัวและ เกิดรูเข็ม	0.08
52	70 : 20 : 10	18	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดรูเข็ม	0
53	70 : 20 : 10	19	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดรูเข็ม	0
54	70 : 20 : 10	20	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดรูเข็ม	0
55	70 : 20 : 10	21	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดรูเข็ม	0
56	70 : 20 : 10	22	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดรูเข็ม	0
57	70 : 20 : 10	23	2	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ขุ่น เกิดรูเข็ม	0

วิเคราะห์ผลการทดลอง

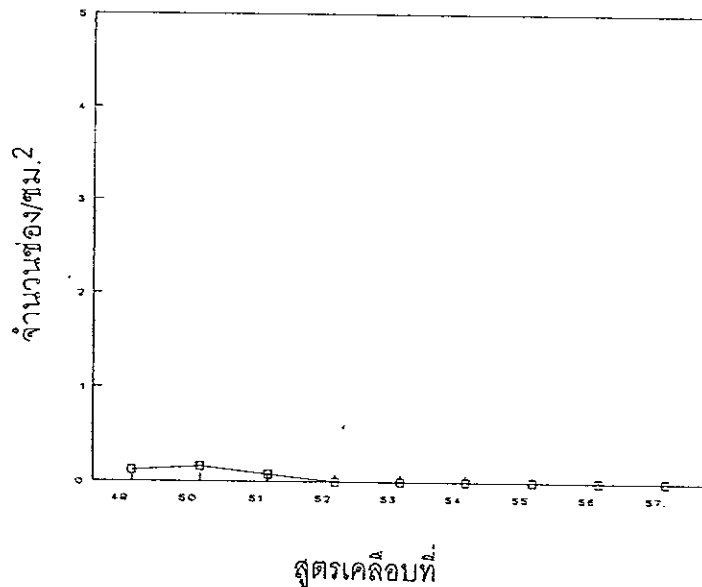
จากตาราง 5.11 ใช้ปริมาณโดโดไมต์ 2 กรัม เปลี่ยนแปลงปริมาณ ซิงค์ออกไซด์เป็น 15,16,17,18,19,20,21,22 และ 23 กรัม ตามลำดับ (สูตรที่ 49-57)

ลักษณะของเคลือบที่ได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

สูตรที่ 49-51 ได้เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น เกิดรูเข็มและเกิดการรานตัวเล็กน้อย (ภาพประกอบ 5.6)

สูตรที่ 52-57 จะได้เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น เกิดรูเข็ม ไม่เกิดการรานตัว (ภาพประกอบ 5.6)

สรุปได้ว่า สำหรับเคลือบที่มีอัตราส่วน (กรัม)ของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสม : ททรายแก้ว เป็น 70 : 20 : 10 มีปัญหาการรานตัวและเกิดรูเข็ม สามารถแก้ปัญหาการรานตัวโดยการเติม ซิงค์ออกไซด์มากกว่า 17 กรัม และเติมโดโดไมต์ 2 กรัม แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มได้



ภาพประกอบ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสูตรเคลือบที่เติมซิงค์ออกไซด์ชุดที่ 3 กับการรานตัว

ตาราง 5.12 ผลการทำซ้ำสูตรเคลือบที่ 52-57¹

สูตรที่	ลักษณะเคลือบ เมาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	จำนวนชั้นที่เกิด การรานตัว	หมายเหตุ
52	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น เกิดรูเข็ม	6	
53	" " " "	3	
54	" " " "	0	
55	" " " "	0	เกิดผลึก
56	" " " "	0	เกิดผลึก
57	" " " "	0	เกิดผลึก

¹เคลือบชิ้นงานสูตรละ 10 ชิ้น

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.12 ทดสอบสูตรเคลือบที่ 52-57 ซ้ำโดยการเพิ่มขึ้นทดสอบเป็น 10 ชิ้น ทุกสูตรให้เคลือบเหมือนกันคือ เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น และเกิดรูเข็มเมื่อพิจารณาการรานตัว สูตรที่ 52 และ 53 เกิดการรานตัว 6 และ 3 ชั้น ตามลำดับ เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ที่ใช้มีปริมาณไม่มากพอ (อ้างถึงตาราง 5.11 สูตรที่ 52 และ 53 ไม่มีการรานตัว เนื่องจากใช้ชิ้นงานทดสอบเพียง 3 ชิ้น จึงเห็นผลไม่ชัดเจน) สำหรับสูตรที่ 54-57 ไม่เกิดการรานตัว แต่สูตรที่ 55, 56 และ 57 เกิดผลึกเล็กๆขึ้น

ดังนั้นการปรับปรุงเคลือบที่ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม ดินผสม 20 กรัม ทราเยแก้ว 10 กรัม โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ในช่วง 20-23 กรัม และ โด-โลไมต์ 2 กรัม ทำให้การรานตัวของเคลือบหมดไป แต่เคลือบที่ได้มีอายุการใช้งานต่ำ เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน เคลือบก็เกิดการรานตัวขึ้น ดังตาราง 5.13

ตาราง 5.13 ผลเคลือบสูตรที่ 54-57 วันที่ 2¹

สูตรที่	ลักษณะเคลือบ เนาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	จำนวนชิ้นที่เกิด การรานตัว	หมายเหตุ
54	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น เกิดรูเข็ม	10	
55	" " " "	10	
56	" " " "	10	
57	" " " "	10	

1หลังจากวันที่อุณหภูมิในเตาเผาลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

จากตาราง 5.13 เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันเคลือบเกิดการรานตัว ลักษณะการรานตัวที่เกิดขึ้นเหมือนกันทุกสูตรคือ 2-3 เส้นต่อชิ้นงาน แสดงว่า ซิงค์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นไม่ช่วยทำให้เคลือบมีอายุการใช้งานนานขึ้น แต่ทำให้ได้เคลือบผลึก ซึ่งจะไม่สนใจในการวิจัยนี้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของเคลือบ และแก้ปัญหากการเกิดรูเข็มสูตรเคลือบที่ 54 จะใช้ในการปรับปรุงเคลือบต่อไป ประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์	70	กรัม
ดินผสม	20	กรัม
ทรายแก้ว	10	กรัม
ซิงค์ออกไซด์	20	กรัม
โดโลไมต์	2	กรัม

3 โดยการเติมแบเรียมคาร์บอเนต (วิธีดำเนินการวิจัยข้อ 4.3)

ตาราง 5.14 ผลการปรับปรุงเคลือบโดยการเติมแบเรียมคาร์บอเนต¹

สูตรที่	ลักษณะเคลือบ เหนือที่อุณหภูมิ 1,250°C	จำนวนชิ้นที่เกิดการร้าว		หมายเหตุ
		วันที่ 1	วันที่ 2	
58 ²	เคลือบใส ผิวมัน สีเหลืองใส เกิดรูเข็ม	3	2	
59 ³	" " " "	5	-	ร้าวตัวเล็กและกว้าง
60 ⁴	" " " "	5	-	ร้าวตัวเล็กและกว้าง
61 ⁵	" " " "	5	-	ร้าวตัวเล็กและกว้าง

¹เคลือบชิ้นงานทดสอบสูตรละ 5 ชิ้น

²ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม ดินผสม 20 กรัม ทราายแก้ว 10 กรัม

ซิงค์ออกไซด์ 20 กรัม ไดโลไมต์ 2 กรัม แบเรียมคาร์บอเนต 3 กรัม

³ ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม ดินผสม 20 กรัม ทราายแก้ว 10 กรัม

ซิงค์ออกไซด์ 20 กรัม ไดโลไมต์ 2 กรัม แบเรียมคาร์บอเนต 5 กรัม

⁴ ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม ดินผสม 20 กรัม ทราายแก้ว 10 กรัม

ซิงค์ออกไซด์ 20 กรัม ไดโลไมต์ 2 กรัม แบเรียมคาร์บอเนต 7 กรัม

⁵ ประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ 70 กรัม ดินผสม 20 กรัม ทราายแก้ว 10 กรัม

ซิงค์ออกไซด์ 20 กรัม ไดโลไมต์ 2 กรัม แบเรียมคาร์บอเนต 10 กรัม

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.14 ทำการทดลองโดยการเติมแบเรียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆกัน คือ สูตรที่ 58-61 ลักษณะของเคลือบที่ได้ เป็นเคลือบใสผิวมัน สีเหลืองใส เกิดรูเข็ม ส่วนปัญหาการรานตัว แยกทดสอบเป็นวันที่ 1 และ 2

วันที่ 1 สูตรที่ 58 มีการรานตัว 3 ชั้น สูตรที่ 59-61 เกิดการรานตัวหมดทุกชั้น และการรานตัวที่เกิดขึ้นมีลักษณะลึกและกว้าง

วันที่ 2 สูตรที่ 58 มีการรานตัว 2 ชั้น (ชั้นที่เกิดการรานตัววันที่ 1 จะไม่ทดสอบวันต่อไป)

สรุปได้ว่าการเติมแบเรียมคาร์บอเนตไม่สามารถแก้ปัญหการเกิดรูเข็มได้และไม่ทำให้อายุการใช้งานของเคลือบเพิ่มขึ้นแต่กลับเพิ่มปัญหาการรานตัวมากขึ้น สูตรที่เติมแบเรียมคาร์บอเนตน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 58 เคลือบเกิดการรานตัววันที่แรกถึง 3 ชั้น เปรียบเทียบกับสูตรเดียวกันแต่ไม่เติมแบเรียมคาร์บอเนตไม่เกิดการรานตัวในวันแรก ดังนั้นสูตรเคลือบที่ดีที่สุด คือสูตรเคลือบที่ 54

4 โดยการใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วน (วิธีดำเนินการข้อ 4.4)

ตาราง 5.15 แสดงการปรับปรุงเคลือบโดยการใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วน¹

สูตรที่	ลักษณะเคลือบ เเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.	จำนวนชิ้นที่เกิดการร้าวตัว	
		วันที่ 1	วันที่ 2
62 ²	เคลือบใส ผิวมัน สีขาวขุ่น เกิดรูเข็ม	1	4
63 ³	" " " "	4	1
64 ⁴	" ผิวตั้งด้าน " "	5	-
65 ⁵	" " " "	5	-
66 ⁶	" ผิวด้าน " "	5	-

¹ ชิ้นทดสอบ สูตรละ 5 ชิ้น

2 โซเดียมเฟลด์สปาร์ 60 กรัม

โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ 10 กรัม

3 โซเดียมเฟลด์สปาร์ 55 กรัม

ดินผสม 20 กรัม

โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ 15 กรัม

ทรายแก้ว 10 กรัม

4 โซเดียมเฟลด์สปาร์ 50 กรัม

+ ซิงค์ออกไซด์ 20 กรัม

โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ 20 กรัม

ไดโลไมต์ 2 กรัม

5 โซเดียมเฟลด์สปาร์ 45 กรัม

โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ 25 กรัม

6 โซเดียมเฟลด์สปาร์ 40 กรัม

โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ 30 กรัม

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตาราง 5.15 การปรับปรุงเคลือบโดยการใส่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วน คือสูตรที่ 62-66 การรานตัวแยกทดสอบเป็นวันที่ 1 และวันที่ 2

จากการทดลอง พิจารณาลักษณะของเคลือบ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ
 กลุ่มที่ 1 ได้เคลือบใส ผิวมัน สีขาวขุ่นและเกิดรูเข็ม คือ สูตรที่ 62 และ 63
 กลุ่มที่ 2 ได้เคลือบใส ผิวกึ่งด้าน สีขาวขุ่นและเกิดรูเข็ม คือ สูตรที่ 64 และ 65
 กลุ่มที่ 3 ได้เคลือบใส ผิวด้าน สีขาวขุ่นและเกิดรูเข็ม คือ สูตรที่ 66

ผลของโปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ที่มีต่อลักษณะของเคลือบ คือ ให้ผิวเคลือบต่างกัน ถ้าใช้ในชวง 15-10 กรัม จะได้เคลือบผิวมัน ถ้าใช้ในชวง 25-20 จะได้เคลือบผิวกึ่งด้าน ถ้าใช้มากกว่า 30 กรัม จะได้ เคลือบผิวด้าน

เมื่อพิจารณาการรานตัว พบว่าสูตรที่ 64-66 เกิดการรานตัวทั้งหมด จึงไม่ทดสอบการรานตัวในวันที่ 2 ส่วนสูตรที่ 62 และ 63 มีการรานตัววันแรก 1 และ 4 ชิ้น ตามลำดับ วันที่ 2 ส่วนที่เหลือทั้งหมดเกิดการรานตัว ปรากฏว่าสูตรที่ 62-64 ด้อยกว่าสูตรที่ 54 ซึ่งเป็นสูตรหลักที่ไม่มีการใส่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์

สรุปได้ว่าการใส่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วน ไม่สามารถแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มได้ และไม่ทำให้อายุการใช้งานของเคลือบเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มปัญหาการรานตัว ดังนั้นสูตรเคลือบที่ดีที่สุดคือ สูตรที่ 54

5 โดยการลดขนาดอนุภาควัตถุดิบ (วิธีดำเนินการข้อ 4.5)

ตาราง 5.16 แสดงการลดขนาดอนุภาคของเคลือบสูตรที่ 54 จากเล็กกว่า 195 ไมครอนเป็นเล็กกว่า 74 ไมครอน

ชั้นที่	ลักษณะเคลือบ	การรานตัว	
		วันที่ 1	วันที่ 2
1	เคลือบใส ผิวมัน ไม่เกิดรูเข็ม	ไม่รานตัว	รานตัว
2	" " "	" "	" "
3	" " "	" "	" "
4	" " "	" "	" "
5	" " "	" "	" "
6	" " "	" "	" "
7	" " "	" "	" "
8	" " "	" "	" "
9	" " "	" "	" "
10	" " "	" "	" "

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตาราง 5.16 จากการทดลองการปรับปรุงเคลือบ โดยการลดขนาดอนุภาคของเคลือบจากเล็กกว่า 195 ไมครอนเป็นเล็กกว่า 74 ไมครอน ลักษณะของเคลือบ ได้เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่นและไม่เกิดรูเข็ม การรานตัวแยกทดสอบวันที่ 1 และวันที่ 2

วันที่ 1 ทุกชั้นไม่เกิดการรานตัว

วันที่ 2 ทุกชั้นเกิดการรานตัว

สรุปได้ว่าการลดขนาดอนุภาคของเคลือบให้เล็กกว่า 74 ไมครอนสามารถแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มได้ แต่ไม่ทำให้อายุการใช้งานของเคลือบเพิ่มขึ้น

6 โดยการเพิ่มอุณหภูมิ (วิธีดำเนินการข้อ 4.6)

ตาราง 5.17 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่ 1,270°C.

ชั้นที่	ลักษณะเคลือบ	การรานตัว		
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ไม่เกิดรูเข็ม	ไม่รานตัว	รานตัว	-
2	" " " "	"	"	-
3	" " " "	"	"	-
4	" " " "	"	"	-
5	" " " "	"	"	-
6	" " " "	"	"	-
7	" " " "	"	"	-
8	" " " "	"	ไม่รานตัว	รานตัว
9	" " " "	"	"	-
10	" " " "	"	"	-

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.17 ผลการทดลองการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเพิ่มอุณหภูมิ จาก 1,250°C. เป็น 1,270°C. ได้เคลือบใส ผิวมัน ไม่เกิดรูเข็ม เมื่อพิจารณาการรานตัว ในวันที่ 1 เคลือบไม่รานตัว วันที่ 2 เกิดการรานตัว 7 ชั้น วันที่ 3 รานตัว 3 ชั้น (ทดสอบการรานตัวเพียง 3 วัน เพราะหลังจากนี้แล้วการรานตัวไม่เพิ่มขึ้น)

สรุปได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วยทำให้อายุการใช้งานของเคลือบนานขึ้น แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามตาราง 5.17 อาจต่ำเกินไป จึงทดลองเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 1,300°C.

ตาราง 5.18 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่ 1,300°C.

ชั้นที่	ลักษณะเคลือบ	การรานตัว		
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ไม่เกิดรูเข็ม	ไม่รานตัว	รานตัว	-
2	" " " "	"	"	-
3	" " " "	"	"	-
4	" " " "	"	"	-
5	" " " "	"	ไม่รานตัว	รานตัว
6	" " " "	"	"	"
7	" " " "	"	"	"
8	" " " "	"	"	"
9	" " " "	"	"	"
10	" " " "	"	"	"

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.18 ผลการทดลองการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1,270°C เป็น 1,300°C ได้เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวนวลและไม่เกิดรูเข็ม เมื่อพิจารณาการรานตัว วันที่ 1 ไม่เกิดการรานตัว วันที่ 2 รานตัว 4 ชั้น วันที่ 3 รานตัว 6 ชั้น จากผลการทดลองการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,300°C ให้ผลที่ดีกว่าการเพิ่มอุณหภูมิ ที่ 1,270°C แต่จากการทดลองเผาที่ 1,300°C อาจยังต่ำไป จึงทดลองเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ดังตาราง 5.19

ตาราง 5.19 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่ 1,310°ซ.

ชั้นที่	ลักษณะเคลือบ	การรานตัว		
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ไม่เกิดรูเข็ม	ไม่รานตัว	ไม่รานตัว	รานตัว
2	" " " "	"	"	-
3	" " " "	"	"	-
4	" " " "	"	"	-
5	" " " "	"	"	ไม่รานตัว
6	" " " "	"	"	"
7	" " " "	"	"	"
8	" " " "	"	"	"
9	" " " "	"	"	"
10	" " " "	"	"	"

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.19 การทดลองการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1,300°ซ. เป็น 1,310°ซ. ได้เคลือบใส ผิวมัน ไม่เกิดรูเข็ม เมื่อพิจารณาการรานตัว วันที่ 1 ไม่รานตัว วันที่ 2 ไม่รานตัวและวันที่ 3 รานตัว 5 ชั้น จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,310°ซ. ทำให้อายุการใช้งานของเคลือบนานขึ้น ดังนั้นจึงทดลองเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 1,330°ซ. ดังตาราง 5.20

ตาราง 5.20 ผลการปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเผาที่ 1,330°ซ.

ชั้นที่	ลักษณะเคลือบ	การรานตัว		
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
1	เคลือบใส ผิวมัน มีสีขาว ไม่เกิดรูเข็ม	ไม่รานตัว	ไม่รานตัว	ไม่รานตัว
2	" " " "	"	"	"
3	" " " "	"	"	"
4	" " " "	"	"	"
5	" " " "	"	"	"
6	" " " "	"	"	"
7	" " " "	"	"	"
8	" " " "	"	"	"
9	" " " "	"	"	"
10	" " " "	"	"	"

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง 5.20 ผลการทดลองปรับปรุงสูตรเคลือบที่ 54 โดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1,310°ซ. เป็น 1,330°ซ. ได้เคลือบใส ผิวมัน ไม่เกิดรูเข็มและไม่เกิดการรานตัว เมื่อทิ้งไว้ 3 วัน แสดงให้เห็นสูตรเคลือบที่ 54 เป็นสูตรเคลือบที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้น เมื่อเผาที่ 1,330°ซ. ดังนั้นจึงนำสูตรนี้ไปทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ผลการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาโมเสก

ตาราง 5.21 ผลการทดสอบการรานตัวด้วยขอโตเครฟ

ชั้นที่	ผลการทดสอบ
1	ไม่เกิดการรานตัว
2	"
3	"
4	"
5	"
6	"
7	"
8	"
9	"
10	"
11	"
12	"
13	"

ตาราง 5.22 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ชั้นที่	W_d (กรัม)	W_w (กรัม)	$W_d - W_w$ (กรัม)	$(W_d - W_w)/W_d$	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
1	25.8	26.4	0.6	0.023	2.3
2	26.5	27.1	0.6	0.023	2.3
3	25.8	26.3	0.5	0.019	1.9
4	25.1	25.6	0.5	0.020	2.0
5	25.4	26.1	0.7	0.028	2.8
6	26.6	27.2	0.6	0.022	2.2
7	27.5	28.0	0.5	0.018	1.8

ตาราง 5.22 ต่อ

ชั้นที่	W_d (กรัม)	W_w (กรัม)	$W_d - W_w$ (กรัม)	$(W_d - W_w)/W_d$	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
8	26.0	26.4	0.4	0.015	1.5
9	25.0	25.5	0.5	0.020	2.0
10	25.0	25.5	0.5	0.020	2.0
11	26.1	26.6	0.5	0.019	1.9
12	25.3	25.7	0.4	0.016	1.6
13	27.1	27.4	0.3	0.011	1.1

ตาราง 5.23 ผลการทดสอบการทนทานต่อสารเคมี

การทนทานต่อกรด

ชั้นที่	ผลการทดสอบ
1	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
2	"
3	"
4	"
5	"
6	"
7	"

การทนทานต่อด่าง

ชั้นที่	ผลการทดสอบ
1	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
2	"
3	"
4	"
5	"
6	"

ตาราง 5.24 ผลการทดสอบการทนทานต่อการขัดสี

ชั้นที่	W ₁ (กรัม)	W ₂ (กรัม)	W ₁ - W ₂ (กรัม)
1	28.0	28.0	0.0
2	25.5	25.5	0.0
3	25.6	25.6	0.0
4	25.9	25.9	0.0
5	25.9	25.9	0.0
6	26.6	26.6	0.0
7	25.8	25.8	0.0
8	24.6	24.6	0.0
9	25.8	25.8	0.0
10	24.5	24.5	0.0
11	24.5	24.5	0.0
12	26.2	26.2	0.0
13	25.8	25.8	0.0

วิเคราะห์ผลการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก

จากผลการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสกผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านมาตรฐาน ยกเว้นค่าการดูดซึมน้ำ เนื่องจากวิธีการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เป็นการทดสอบทั้งชิ้นงาน (เนื้อดินปั้นและเคลือบ) ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำเฉพาะเคลือบ ได้ผลดังตาราง 5.25

ตาราง 5.25 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเฉพาะเคลือบ

ชั้นที่	W_d	W_w	$W_d - W_w$	$(W_d - W_w)/W_d$	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
1	24.5	24.5	0.0	0.0	0.0
2	26.4	26.4	0.0	0.0	0.0
3	24.3	24.3	0.0	0.0	0.0
4	25.7	25.7	0.0	0.0	0.0
5	24.8	24.8	0.0	0.0	0.0
6	23.2	23.2	0.0	0.0	0.0
7	27.1	27.1	0.0	0.0	0.0
8	26.0	26.0	0.0	0.0	0.0
9	25.5	25.5	0.0	0.0	0.0
10	24.3	24.3	0.0	0.0	0.0
11	25.8	25.8	0.0	0.0	0.0
12	24.9	24.9	0.0	0.0	0.0
13	26.2	26.2	0.0	0.0	0.0

จากตาราง 5.25 เคลือบไม่มีการดูดซึมน้ำ ดังนั้นเคลือบที่ได้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยหาเคลือบที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน โดยใช้เนื้อดินปั้นชนิดพอร์ซเลน ที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติ ดังนี้

ส่วนประกอบของเนื้อดินปั้น ร้อยละโดยน้ำหนัก			คุณสมบัติของ เนื้อดินปั้น	
โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์	14.53	K ₂ O 1.90	ร้อยละการหดตัว	11.94±0.05
ดินขาว	46.68	Al ₂ O ₃ 28.43	ร้อยละการสูญเสีย-	10.68±0.05
ดินดำเหนียว	27.80	SiO ₂ 69.67	น้ำหนัก	
ทรายแก้ว	10.99		ร้อยละการดูดซึมน้ำ	5.16±0.05
			ความต้านทาน-	130±0.5
			แรงดัด MPa	

เคลือบที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินปั้นชนิดนี้ประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์ร้อยละ	70
ดินขาวร้อยละ	14
ดินดำเหนียวร้อยละ	6
ทรายแก้วร้อยละ	10

โดยน้ำหนัก หรือประกอบด้วย

Na ₂ O ร้อยละ	6.35
Al ₂ O ₃ ร้อยละ	18.09
SiO ₂ ร้อยละ	75.56

(จากแผนภาพวัฏภาคของไซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและซิลิกาเคลือบที่ได้มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,500°C. แต่ในการวิจัยทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C. เคลือบเกิดการหลอมตัวเนื่องจากการใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติทำให้มีสารอื่นๆปนอยู่ เช่น เหล็กออกไซด์ ทิทาเนียมออกไซด์ ทำให้จุดหลอมตัวของเคลือบต่ำลง)ลักษณะทั่วไปเป็นเคลือบใส ผิวมัน มีสีครีม แต่เคลือบที่ได้มีปัญหาเรื่องการเกิดรูเข็มและการรานตัว จึงทำการแก้ไขดังนี้

1. ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเติมลงในเคลือบ

เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 1.96 เติมลงในเคลือบสามารถแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มได้เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีคุณสมบัติช่วยลดความหนืดและอุณหภูมิของเคลือบในขณะที่หลอมตัวเคลือบหลอมตัวได้สมบูรณ์ขึ้น ทำให้ฟองอากาศสามารถหลุดออกจากชั้นเคลือบได้ แต่การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตไม่สามารถแก้ปัญหาการรานตัวได้เนื่องจาก แคลเซียมคาร์บอเนตทำให้ความหนืดของเคลือบขณะเย็นตัวลงเพิ่มขึ้น เคลือบเกิดแรงตึงผิวสูงทำให้เคลือบเกิดการรานตัวมากขึ้นและถ้าใช้มากเกินไป จะทำให้แรงตึงผิวยิ่งสูงมากจะเกิดการรานตัวที่กว้างและลึก

2. ใช้ซิงค์ออกไซด์และโดโลไมต์เติมลงในเคลือบ

เมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์ระหว่างร้อยละ 16.39-18.4 และโดโลไมต์ร้อยละ 1.64 เติมลงในเคลือบสามารถแก้ปัญหาการรานตัวได้แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มได้ เคลือบที่ได้ไม่มีความคงทน (เกิดการรานตัวเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน) และเคลือบที่ใช้ซิงค์ออกไซด์มากกว่าร้อยละ 16.39 จะเกิดผลึกเล็กๆขึ้น ดังนั้นสูตรเคลือบที่เหมาะสมคือสูตรที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 16.39 โดโลไมต์ร้อยละ 1.64 (สูตรที่ 54)

3. การใช้แบเรียมคาร์บอเนตเติมลงในเคลือบสูตรที่ 54

การใช้แบเรียมคาร์บอเนตเติมลงในเคลือบสูตรที่ 54 ไม่ช่วยทำให้เคลือบคงทนขึ้นและแก้ปัญหาการเกิดรูเข็มไม่ได้ แต่กลับเพิ่มปัญหาการรานตัวมากขึ้น เนื่องจากแบเรียมคาร์บอเนตทำให้เคลือบมีการหดตัวน้อยลง

4. การใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วนในสูตรที่ 54

การใช้โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์แทนโซเดียมเฟลด์สปาร์บางส่วนในเคลือบสูตรที่ 54 ไม่ช่วยทำให้เคลือบคงทนขึ้น แต่กลับเพิ่มปัญหาการรานตัวมากขึ้น เนื่องจากโปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ทำให้เคลือบมีการหดตัวน้อยกว่าโซเดียมเฟลด์สปาร์

5. การลดขนาดอนุภาคของเคลือบในสูตรที่ 54 จากเล็กกว่า 195 ไมครอน ให้เหลือเล็กกว่า 74 ไมครอน

การลดขนาดอนุภาคของเคลือบในสูตรที่ 54 จากเล็กกว่า 195 ไมครอนให้เหลือเล็กกว่า 74 ไมครอน สามารถแก้ปัญหการเกิดรูเข็มได้เนื่องจากเคลือบมีจุดหลอมตัวต่ำลงเล็กน้อยและน้ำเคลือบสามารถเข้ากันได้ดีเกิดการหลอมตัวที่สมบูรณ์ขึ้นทำให้รูเข็มหมดไป แต่ไม่ช่วยทำให้เคลือบคงทนขึ้น (ไม่มีผลกับการรานตัวของเคลือบ)

6. การเพิ่มอุณหภูมิการเผาเคลือบ สูตรที่ 54

การเพิ่มอุณหภูมิการเผาเคลือบสูตรที่ 54 จากอุณหภูมิ 1,250°C เป็น 1,330°C. เคลือบที่ได้มีความคงทนมากขึ้นและมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิที่ไม่เกินช่วงการหลอมตัวของเคลือบ ทำให้เคลือบมีการหลอมตัวที่สมบูรณ์มากขึ้น

สรุปได้ว่าเคลือบพอร์ซเลนที่เหมาะสม ประกอบด้วย

โซเดียมเฟลด์สปาร์ร้อยละ	57.37
ดินขาวร้อยละ	11.48
ดินดำเหนียวร้อยละ	4.92
ทรายแก้วร้อยละ	8.20
ซิงค์ออกไซด์ร้อยละ	16.39
โคโลไมต์ร้อยละ	1.64

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุบิ ได้ดังนี้

ร้อยละโดยน้ำหนัก		Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZnO
โซเดียมเฟลด์สปาร์	57.37 ประกอบด้วย	4.79	0.21	0.26	0.71	8.78	40.33	0.16	16.39
ดินขาว	11.48 ประกอบด้วย	-	0.03	-	-	3.52	6.08	0.21	-
ดินดำเหนียว	4.92 ประกอบด้วย	-	0.01	-	-	1.35	2.51	-	-
ทรายแก้ว	8.20 ประกอบด้วย	-	-	-	-	0.02	8.19	-	-
ซิงค์ออกไซด์	16.39 ประกอบด้วย	-	-	-	-	-	-	-	16.39
โคโลไมต์	1.64 ประกอบด้วย	-	-	0.35	0.49	-	-	0.01	-
รวม		4.79	0.25	0.61	1.20	13.67	57.11	0.38	16.39

หรือ ประกอบด้วย

Na ₂ O	ร้อยละ	5.08						
K ₂ O	ร้อยละ	0.27						
MgO	ร้อยละ	0.64	Al ₂ O ₃	ร้อยละ	14.48	SiO ₂	ร้อยละ	60.50
CaO	ร้อยละ	1.27				TiO ₂	ร้อยละ	0.38
ZnO	ร้อยละ	17.36						

ขนาดอนุภาคของเคลือบเล็กกว่า 74 ไมครอน และมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,330°C. ลักษณะทั่วไปเป็นเคลือบใส ผิวมัน มีสีขาวขุ่น

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2536. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก (มอก. 38-2536). กรุงเทพฯ.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2531. เคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2535. เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิบูล ศุภรฤทัย. 2529. เคลือบพอร์ซเลน. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศักดิ์เกษม เตียไม้ไทย และ สุภาพ กอเจริญทรัพย์. 2529. การใช้อัลคาไลด์และอัลคาไลเอิร์ทในเคลือบ. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมโภชน์ ยธิกุล และ ประกฤต คงเจริญ. 2535. การพัฒนาเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- อัมรินทร์ อินทร์อยู่. 2530. เนื้อดินปั้นพอร์ซเลนและน้ำเคลือบพอร์ซเลนโดยใช้วัตถุดิบทางภาคเหนือ. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Kingery, W.D. and other. 1976. Introduction to ceramics. 2nd ed. London : A Wiley-Interscience publication.
- Norton, F.H. 1974. Elements of Ceramics. 2nd ed. California : Addison-Wesley publishing company.

Norton, F.H. 1989. Fine ceramics Technology and application. New York :

Robert E. Krieger publishing company hunlington.

Parmelee, C.W. 1975. Ceramic glazes. 3rd ed. Boston : CBI. publishing

Company Inc.

Reed, J.S. 1989. Principles of ceramic processing. New York : New York

state college of ceramics alfred University.

Grimshaw, W.R. 1980. The chemistry and physics of clays and applied

ceramic materials. 4th ed. New York : A division of John Wiley &

Sons,Inc.

ภาคผนวก ก

การขึ้นรูปเนื้อดินปั้น

1 เตรียมอุปกรณ์การขึ้นรูปเนื้อดินปั้นแบบอัดแห้ง ดังนี้

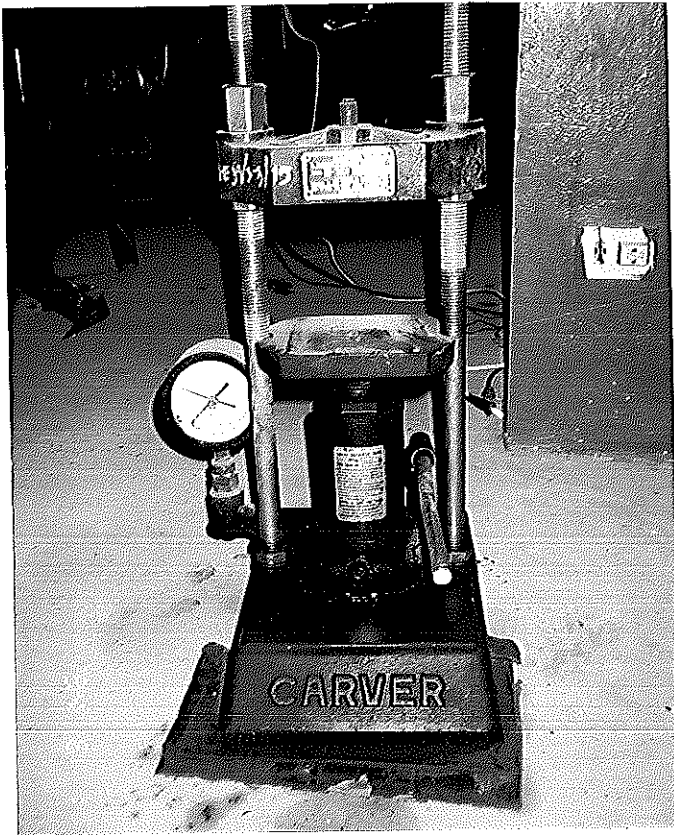
- เครื่องอัดไฮโดรลิก (ภาพประกอบ ก 1)
- แบบขึ้นรูป ประกอบด้วย (ภาพประกอบ ก 2)
 - : ตัวรองพื้น
 - : กรอบขึ้นรูป
 - : ตัวอัด
 - : ห่วงวงกลม

2 วิธีการขึ้นรูป

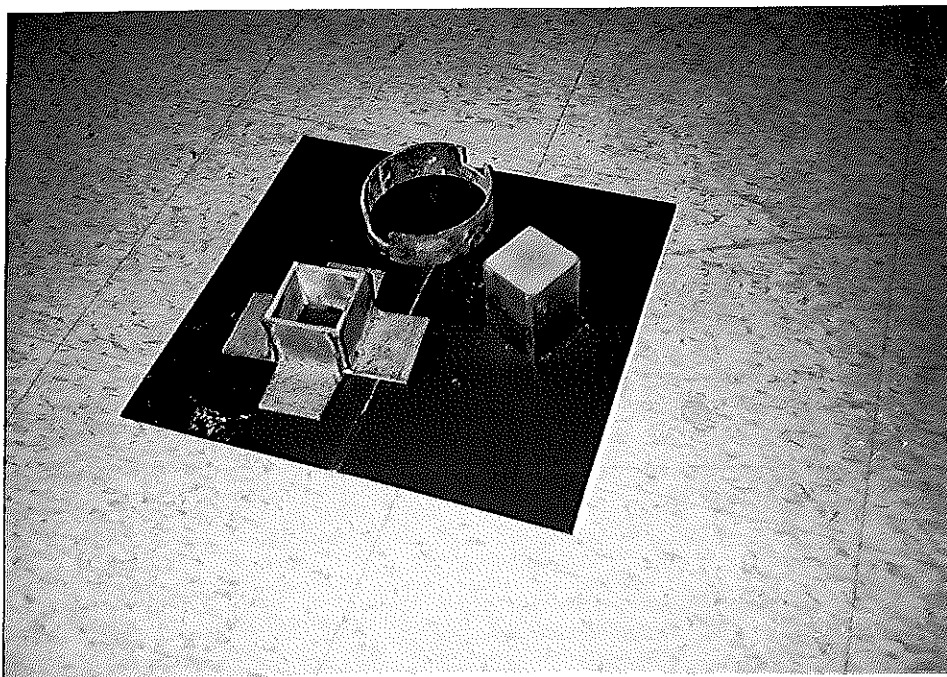
นำเนื้อดินปั้นที่เตรียมไว้มาขึ้นรูปดังนี้

- แบ่งเนื้อดินปั้นออกเป็นส่วนๆ ส่วนละ 28 กรัม
- วางกรอบขึ้นรูปบนตัวรองพื้น
- ใส่เนื้อดินปั้นที่ละส่วนลงในกรอบขึ้นรูป
- เกลี่ยดินให้เรียบเสมอกัน (ภาพประกอบ ก 3)
- ใส่ตัวอัดลงไปอย่างช้าๆ
- นำแบบขึ้นรูปเข้าเครื่องอัดไฮโดรลิก
- อัดด้วยแรง 5,000 ปอนด์ (ความดัน 1,250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)¹
- นำแบบขึ้นรูปออกจากเครื่องอัดไฮโดรลิก
- พลิกแบบขึ้นให้หงาย ครอบห่วงวงกลมลงไป ให้เนื้อดินปั้นอยู่ตรงกลาง
- นำเข้าเครื่องอัดไฮโดรลิก อัดจนกระทั่งเนื้อดินปั้นหลุดออก (ภาพประกอบ ก 4)
- นำเนื้อดินปั้นเก็บไว้ในที่แห้งและสะอาด

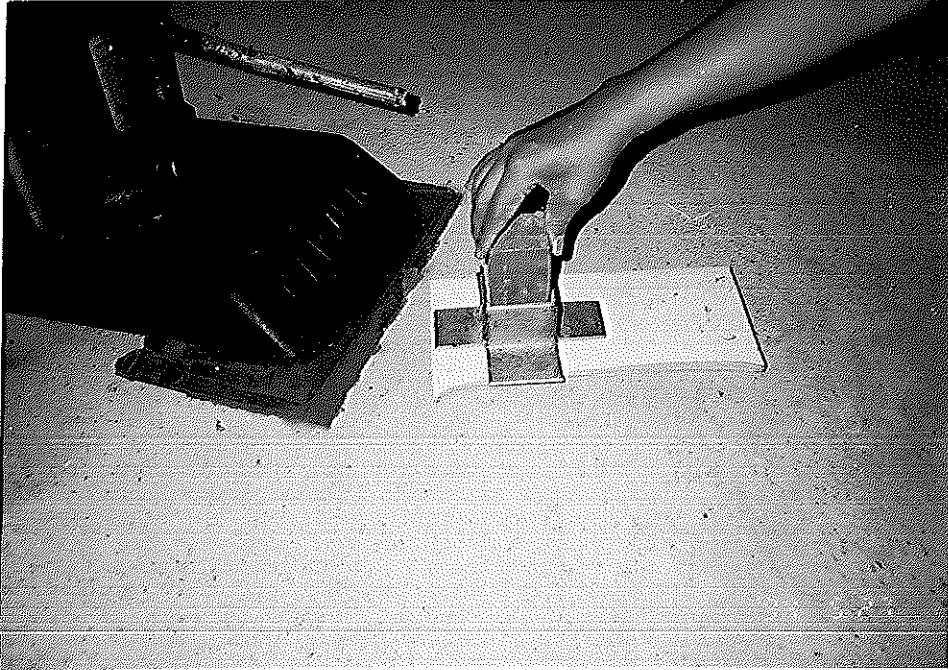
1 เป็นความดันต่ำสุดที่ทำให้ชิ้นงานมีความเสียหายจากการเคลื่อนย้ายน้อยที่สุด



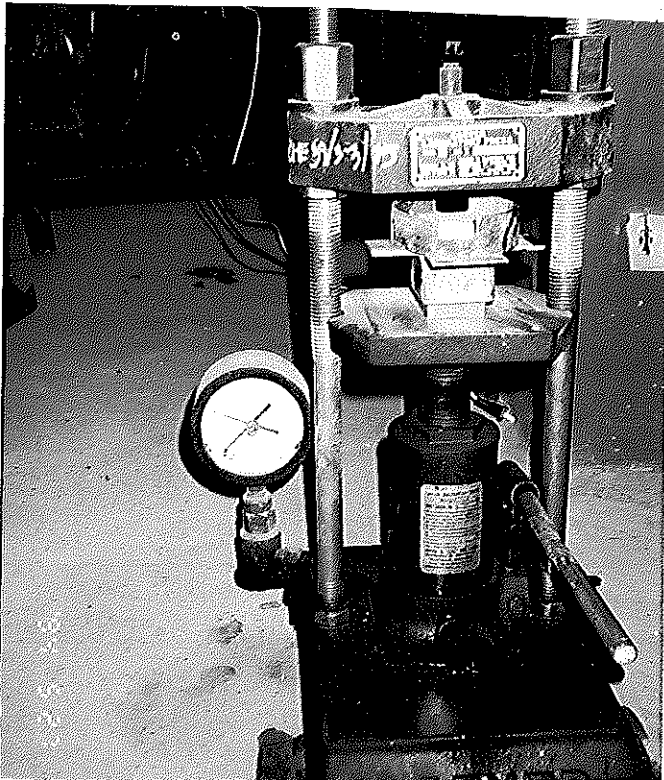
ภาพประกอบ ก 1 เครื่องอัดไฮดรอลิก



ภาพประกอบ ก 2 ส่วนประกอบของแบบขึ้นรูป



ภาพประกอบ ก 3 การใส่ตัวอัดลงในแบบขึ้นรูป



ภาพประกอบ ก 4 การนำเนื้อดินปั้นออกจากแบบขึ้นรูป

การคำนวณหาสูตรน้ำเคลือบ สามารถคำนวณโดยวิธีต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1 การคำนวณสูตรเคมีพีริคัลเป็นน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบ
- 2 การคำนวณจากน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบเป็นสูตรเคมีพีริคัล
- 3 การคำนวณสูตรเคลือบจากแผนภาพ 3 ภูมิภาคของ โซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและซิลิกา (ภาพประกอบ 2.6)
- 4 การหาสูตรเคลือบจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า ของ โซเดียมเฟลด์สปาร์ ดิน และทราย (ภาพประกอบ ก 5)

ในการวิจัยใช้วิธีที่ 3 และ 4 โดยมีวิธีการคิดดังนี้

- จากแผนภาพ 3 ภูมิภาคของ โซเดียมออกไซด์ อะลูมินาและซิลิกา จุดที่เกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1250°C. โดยมีโซเดียมต่ำสุด คือ จุด A ประกอบด้วย โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 6 อะลูมินาร้อยละ 12 และซิลิการ้อยละ 82

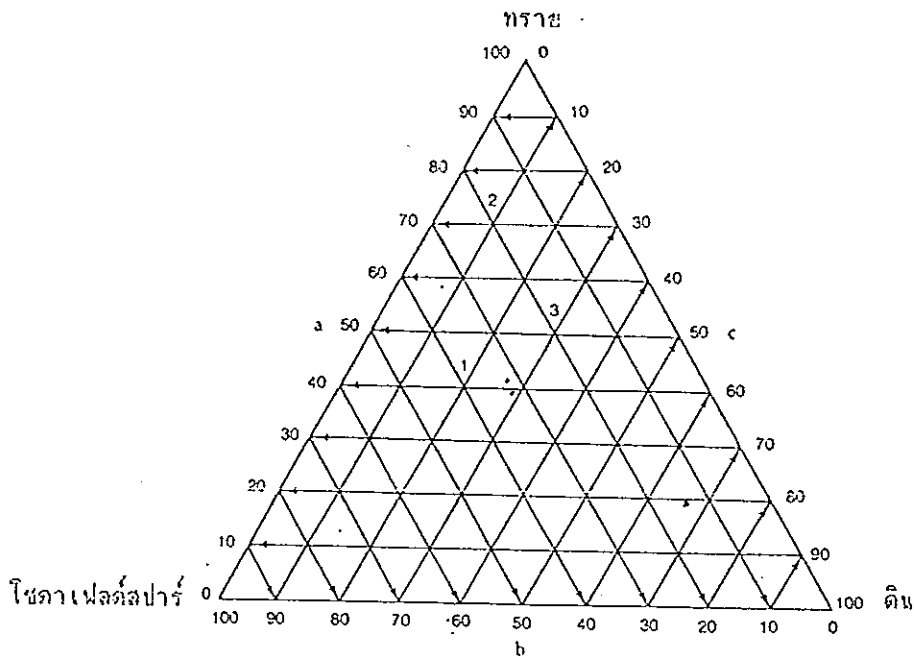
- จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ เปลี่ยนจากออกไซด์ของสารบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ดังนี้

- : โซเดียมเฟลด์สปาร์ประกอบด้วย โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 8.35 อะลูมินาร้อยละ 15.30 ซิลิการ้อยละ 70.30 โดยน้ำหนัก
- : ดินขาวประกอบด้วย อะลูมินาร้อยละ 30.70 ซิลิการ้อยละ 53.00 โดยน้ำหนัก
- : ดินดำเหนียวประกอบด้วย อะลูมินาร้อยละ 27.40 ซิลิการ้อยละ 51.00 โดยน้ำหนัก
- : ทรายแก้วประกอบด้วย ซิลิการ้อยละ 98.30 โดยน้ำหนัก

โซเดียมออกไซด์	อะลูมินา	ซิลิกา		
6.00	10.99	50.52	โซเดียมเฟลด์สปาร์	71.86
-	0.76	1.31	ดินขาว	2.48
-	0.25	0.46	ดินดำเหนียว	0.91
-	-	29.71	ทรายแก้ว	30.22
6.00	12.00	82.00		105.47

เมื่อเปลี่ยนสูตรเคลือบที่ใช้ออกไซด์ของสารบริสุทธิ์มาเป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ จะประกอบด้วย โซเดียมเฟลด์สปาร์ร้อยละ 68.13 ดินผสมร้อยละ 3.22 และทรายแก้วร้อยละ 28.65

- เลือกสูตรเคลือบจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าของโซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสมและทรายแก้ว โดยเลือกสูตรเคลือบที่ประกอบด้วยโซเดียมเฟลด์สปาร์ในช่วงร้อยละ 68

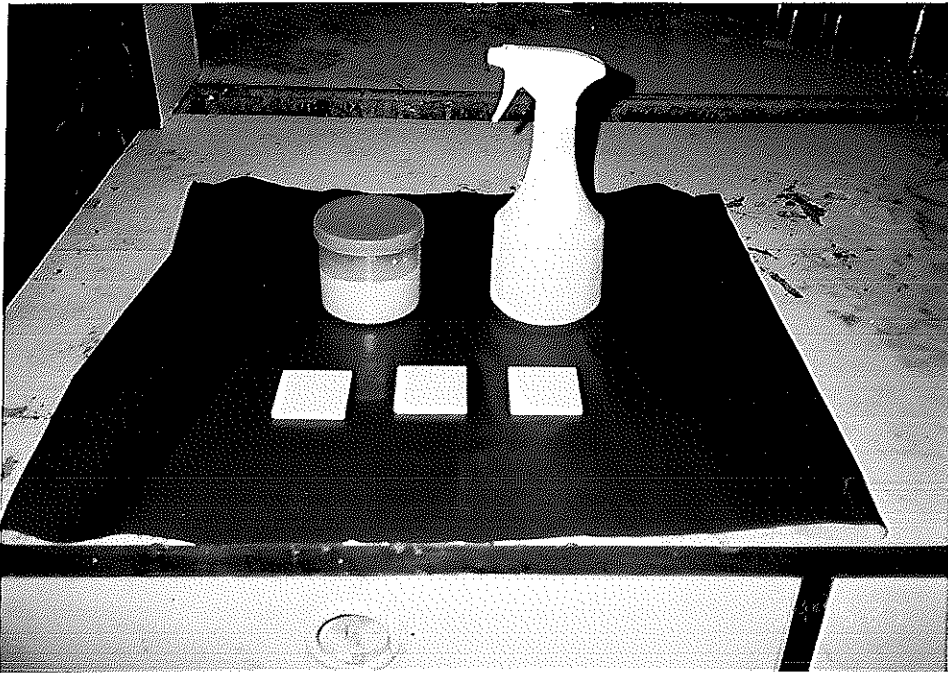


ภาพประกอบ ก 5 แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าของโซเดียมเฟลด์สปาร์ ดินผสมและทรายแก้ว

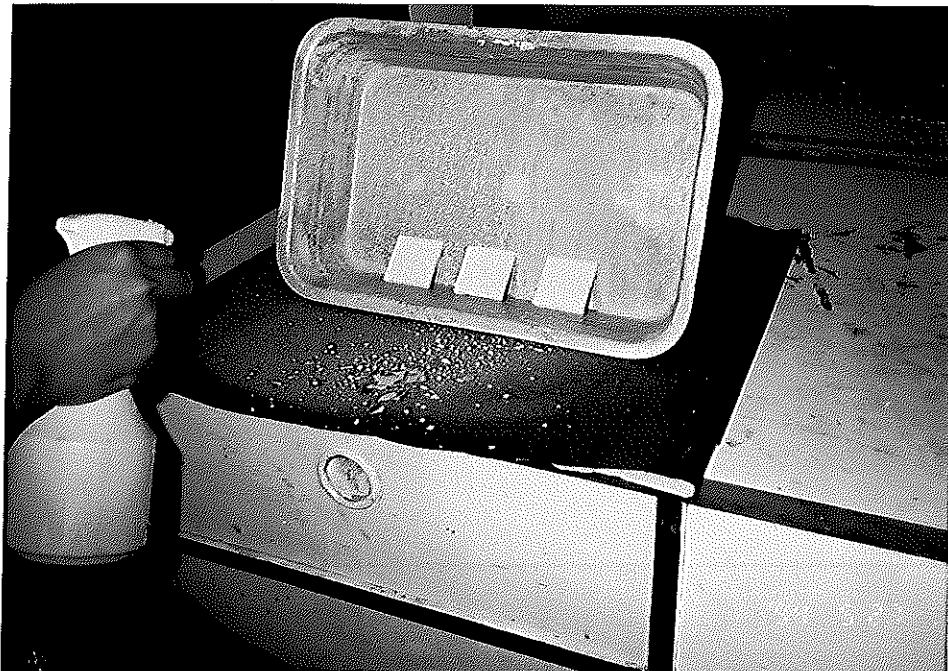
ที่มา : สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2534 : หน้า 65

การเคลือบ

- 1 การเคลือบชิ้นงานโดยวิธีทาด้วยพู่กัน
 - เตรียมน้ำเคลือบให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 50
 - ทำความสะอาดชิ้นงานที่ใช้เคลือบโดยใช้ผ้าชุบน้ำพอนมาดเช็ดผิวชิ้นงานให้สะอาด
 - ใช้พู่กันจุ่มน้ำเคลือบให้ชุ่ม ทาบนชิ้นงาน (พยายามทำให้เรียบ และมีความหนาสม่ำเสมอ) ให้มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร
 - ใช้ฟองน้ำชุบน้ำพอนมาดเช็ดขอบชิ้นงานให้สะอาด
 - ตากชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
 - เก็บชิ้นงานไว้ในที่แห้งและสะอาด
- 2 การเคลือบชิ้นงานโดยวิธีการพ่น (ภาพประกอบ ก 6 และ ก 7)
 - เตรียมน้ำเคลือบให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 50
 - บรรจุน้ำเคลือบลงในกระบอกพ่น
 - ทำความสะอาดชิ้นงานที่ใช้เคลือบโดยใช้ผ้าชุบน้ำพอนมาดเช็ดผิวชิ้นงานให้สะอาด
 - จัดวางชิ้นงานบนฐานรองรับน้ำเคลือบ
 - ฉีดพ่นชิ้นงาน ระยะห่างประมาณ 30 ซม. ให้ชิ้นงานมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร
 - ใช้ฟองน้ำชุบน้ำพอนมาดเช็ดขอบชิ้นงานให้สะอาด
 - ตากชิ้นงานไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
 - เก็บชิ้นงานไว้ในที่แห้งและสะอาด



ภาพประกอบ ก 6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบแบบพ่น



ภาพประกอบ ก 7 การพ่นชิ้นงาน

ภาคผนวก ข

การเผาชิ้นงาน

การจัดเรียงชิ้นงานในเตาเผา

- 1 การจัดเรียงชิ้นงานในเตาเผา กรณีชิ้นงานไม่เคลือบผิว

จัดวางชิ้นงานในเตาเผาให้เป็นแถว โดยวางชิ้นงานซ้อนกันประมาณ

7 ชั้น¹

- 2 การจัดเรียงชิ้นงานในเตาเผา กรณีชิ้นงานเคลือบผิว

จัดวางชิ้นงานในเตาเผาให้เป็นแถว โดยชิ้นงานต้องไม่ซ้อน ไม่ชิดติด

กันและไม่ติดกับผนังเตา (เคลือบอาจเี่ยมมาโดนเตาหรือชิ้นงานเสียหายได้)

การเผาชิ้นงาน โดยใช้เตาเผาไฟฟ้า (ภาพประกอบ ข 8 และ ข 9)

- 1 การเผาเนื้อดินปั้นที่อุณหภูมิ 800°ซ. เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่ที่ 2°ซ./นาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 800°ซ. คงไฟไว้ 1 ชั่วโมง
- 2 การเผาที่อุณหภูมิ 1,250°ซ. มีอัตราการเผาดังตาราง ข 1
- 3 การเผาที่อุณหภูมิ 1,270°ซ. มีอัตราการเผาดังตาราง ข 2
- 4 การเผาที่อุณหภูมิ 1,300°ซ. มีอัตราการเผาดังตาราง ข 3
- 5 การเผาที่อุณหภูมิ 1,310°ซ. มีอัตราการเผาดังตาราง ข 4
- 6 การเผาที่อุณหภูมิ 1,330°ซ. มีอัตราการเผาดังตาราง ข 5

¹ ผลจากการทดลองพบว่าถ้าจัดเรียงชิ้นงานมากกว่า 7 ชั้น ชิ้นงานด้านล่างมัก จะเกิดการร้าว เนื่องจากชิ้นงานรับน้ำหนักมากเกินไป



ภาพประกอบ ข 8 เตาเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 800°ซ



ภาพประกอบ ข 9 เตาเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,250°C

ตาราง ข 1 การเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C.

เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (°ซ.)	เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (°ซ.)
0	1	20	20	210	3	0	730
15	1	20	90	225	3	20	880
30	1	40	120	240	3	20	980
45	1	60	150	255	3	40	1,050
60	1	80	180	270	3	40	1,110
75	1	100	200	285	3	60	1,150
90	2	0	220	300	3	60	1,170
105	2	20	390	315	3	80	1,230
120	2	20	470	330	3	100	1,250
135	2	40	550	345	3	100	1,250
150	2	60	590	360	3	100	1,250
165	2	60	650	375	3	100	1,250
180	2	80	680	390	3	100	1,250
195	2	100	700				

ตาราง ข 2 การเผาที่อุณหภูมิ 1,270°C.

เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (°ซ.)
0	1	20	20	300	3	0	835
15	1	30	120	315	3	10	970
30	1	40	150	330	3	20	1,050
45	1	50	180	345	3	30	1,120
60	1	60	200	360	3	40	1,160
75	1	70	220	375	3	50	1,200
90	1	80	240	390	3	60	1,250
105	1	90	260	405	3	70	1,270
120	1	100	270	420	3	80	1,270
135	2	0	280	435	3	90	1,270
150	2	10	450	450	3	100	1,270
165	2	20	530	465	3	100	1,270
180	2	30	580	480	3	100	1,270
195	2	40	620				
210	2	50	670				
225	2	60	700				
240	2	70	730				
255	2	80	760				
270	2	90	790				
285	2	100	815				

ตาราง ข 3 การเผาที่อุณหภูมิ 1,300°C.

เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (°ซ.)	เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (°ซ.)
0	1	20	20	270	3	0	820
15	1	40	110	285	3	10	980
30	1	50	150	300	3	20	1,030
45	1	60	170	315	3	30	1,090
60	1	70	190	330	3	40	1,150
75	1	100	210	345	3	50	1,180
90	2	0	230	360	3	60	1,215
105	2	10	390	375	3	70	1,250
120	2	20	470	390	3	80	1,280
135	2	30	540	405	3	90	1,300
150	2	40	590	420	3	100	1,300
165	2	50	640	435	3	100	1,300
180	2	60	680	450	3	100	1,300
195	2	70	700	465	3	100	1,300
210	2	80	740				
225	2	90	760				
240	2	100	800				
255	2	100	830				

ตาราง ข 4 การเผาที่อุณหภูมิ 1,310⁰ซ.

เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (⁰ ซ.)	เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (⁰ ซ.)
0	1	10	20	270	3	0	800
15	1	20	70	285	3	10	930
30	1	40	120	300	3	20	1,025
45	1	60	150	315	3	30	1,080
60	1	80	170	330	3	40	1,140
75	1	100	190	345	3	50	1,180
90	2	0	210	360	3	60	1,220
105	2	10	370	375	3	70	1,250
120	2	20	450	390	3	80	1,280
135	2	30	530	405	3	90	1,310
150	2	40	570	420	3	100	1,310
165	2	50	620	435	3	100	1,310
180	2	60	660	450	3	100	1,310
195	2	70	690	465	3	100	1,310
210	2	80	720				
225	2	90	750				
240	2	100	775				
255	2	100	790				

ตาราง ข 5 การเผาที่อุณหภูมิ 1,310^oซ.

เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (^o ซ.)	เวลา (นาที)	สวิตช์ใหญ่	สวิตช์เล็ก	อุณหภูมิ (^o ซ.)
0	1	10	20	270	3	0	770
15	1	20	80	285	3	10	900
30	1	40	110	300	3	20	980
45	1	60	130	315	3	30	1,055
60	1	80	150	330	3	40	1,110
75	1	100	170	345	3	50	1,150
90	2	0	190	360	3	60	1,190
105	2	10	330	375	3	70	1,220
120	2	20	420	390	3	80	1,245
135	2	30	480	405	3	90	1,265
150	2	40	530	420	3	100	1,290
165	2	50	580	435	3	100	1,310
180	2	60	620	450	3	100	1,330
195	2	70	660	465	3	100	1,330
210	2	80	690	480	3	100	1,330
225	2	90	720	495	3	100	1,330
240	2	100	750				
255	2	100	760				

ภาคผนวก ค

การทดสอบผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม¹

จำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ และจำนวนชิ้นตัวอย่างที่ยอมรับให้เสียได้

ตาราง ค 6 รายการทดสอบ จำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนที่ยอมรับให้เสีย

รายการทดสอบ	จำนวนชิ้นตัวอย่าง	จำนวนที่ยอมรับให้เสีย
การดูดซึมน้ำ	13	1
การราน (ออโตเคิร์ฟ)	13	1
การทนทานต่อสารเคมี	13	1
การขัดสี	13	1

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม. 2536

ขั้นตอนการทดสอบ

1 ทดสอบการดูดซึมน้ำ ทำเครื่องหมายไว้บนชิ้นงานแต่ละชิ้น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105^oซ. จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำมาแยกชิ้นทีละชิ้นอย่างรวดเร็ว ให้ได้ค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม น้ำหนักที่ชั่งได้ถือเป็นน้ำหนักชิ้นงานแห้ง (W_d) แะชิ้นงานเหล่านี้ให้จมอยู่ในน้ำกลั่น ต้มให้เดือดอย่างน้อย 2 ชั่วโมง (ระวังให้น้ำกลั่นท่วมตลอดเวลา) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เอาชิ้นชั่งน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าสะอาด พอนมาดๆแล้วชั่งทันที ทีละชิ้นให้ได้ค่าที่แน่นอน น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งได้ถือเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ (W_w) คำนวณค่าการดูดซึมน้ำ

1 กระทรวงอุตสาหกรรม. 2536. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาโมเสก (มอก. 38).

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100$$

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมค่าการดูดซึมน้ำทุกชั้นต้องไม่เกินร้อยละ 1

2 การรอน ใส่ลงในหม้อนึ่งอัด (autoclave) ให้มากพอที่จะใช้ได้ตลอดการทดสอบนี้ วางชิ้นงานบนขาตั้ง (supporter) ที่ยกสูงพ้นระดับน้ำ ปิดฝาให้แน่น แล้วเริ่มต้ม พยายามรักษาระดับความดันไอในหม้อนึ่งให้คงที่ โดยเปิดลิ้นท้อไอน้ำออกจนกระทั่งน้ำเดือด เพื่อให้ไอน้ำไล่อากาศภายในหม้อนึ่งอัดออกหมดแล้ว จึงปิด ปล่องให้น้ำเดือดต่อไป ความดันไอจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจนความดันประมาณ 100 กิโลปาสคาลในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ปรับความร้อนให้พอเพียง เพื่อรักษาความดันไอน้ำให้คงที่ที่ 102±2 KPa รักษาความดันนี้ไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงดับไฟ และค่อยๆ ระบายความดันออกทีละน้อยจนหมด หลังจากนั้นชิ้นงานเย็นในหม้อนึ่งอัดจนถึงอุณหภูมิห้อง ให้นำชิ้นงานมาเช็ดให้แห้ง ทาน้ำหมักลงไป สังเกตการรอนตัว มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทุกชั้นต้องไม่เกิดการรอนตัว

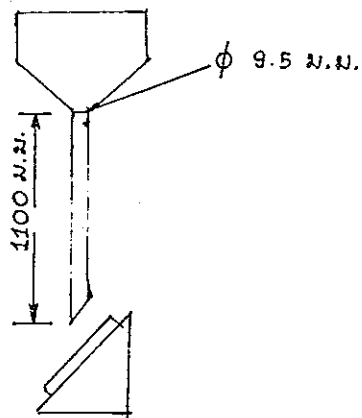
3 การทนทานต่อสารเคมี

3.1 การทนทานต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 1.18) จำนวน 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทดสอบโดยนำชิ้นงานมาเช็ดให้สะอาด ตั้งชิ้นงานให้ครึ่งหนึ่งของชิ้นงานแช่ในสารละลาย เป็นเวลา 7 วัน ยกขึ้น แล้วตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่ผิวด้วยตาเปล่าโดยเปรียบเทียบกับผิวชิ้นงานส่วนบน

3.2 การทนทานต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เจือจาง สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยใช้จำนวน 30 กรัม เดิม น้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทดสอบเช่นเดียวกับ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทุกชั้นต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

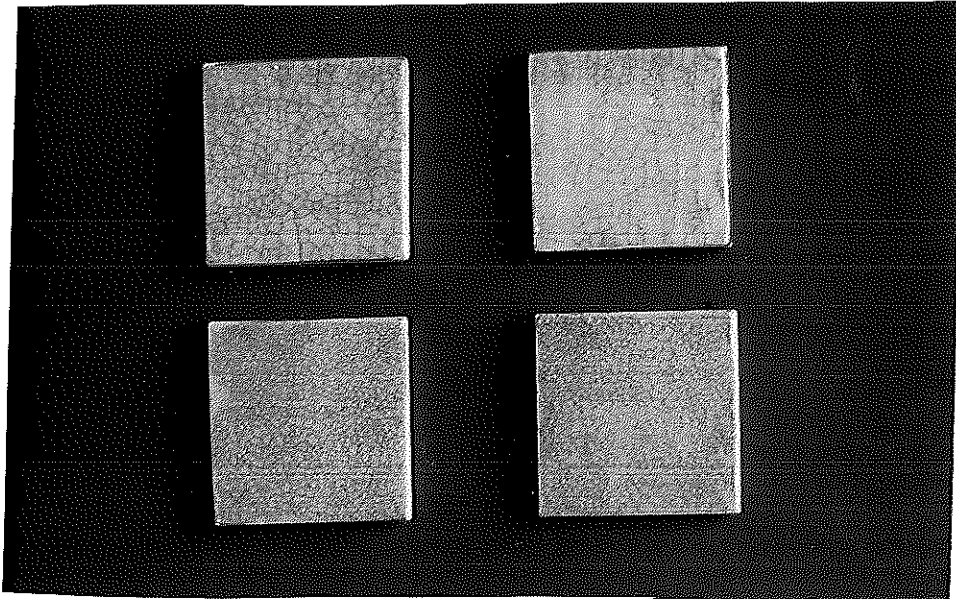
4 การขัดสี ใช้เครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบทิ้งทราย (drop sand abrasion tester) ตาม JIS H 0411 หรือเทียบเท่า ซึ่งหาน้ำหนักของชิ้นงาน ปรับชิ้นงานทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ บนแท่งวางชิ้นตัวอย่าง ปล่องผงขัดซิลิคอนคาร์ไบด์เบอร์ 20 ตาม JIS R 6111 จากความสูง 1,100 มิลลิเมตร ให้ตกลงบนชิ้นงาน

อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที เช็ดผงขัดออกจากชิ้นงาน แล้วชั่งน้ำหนักของชิ้นงานหลังการขัดสี หาค่าต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการขัดสี มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทุกชิ้นน้ำหนักต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลง

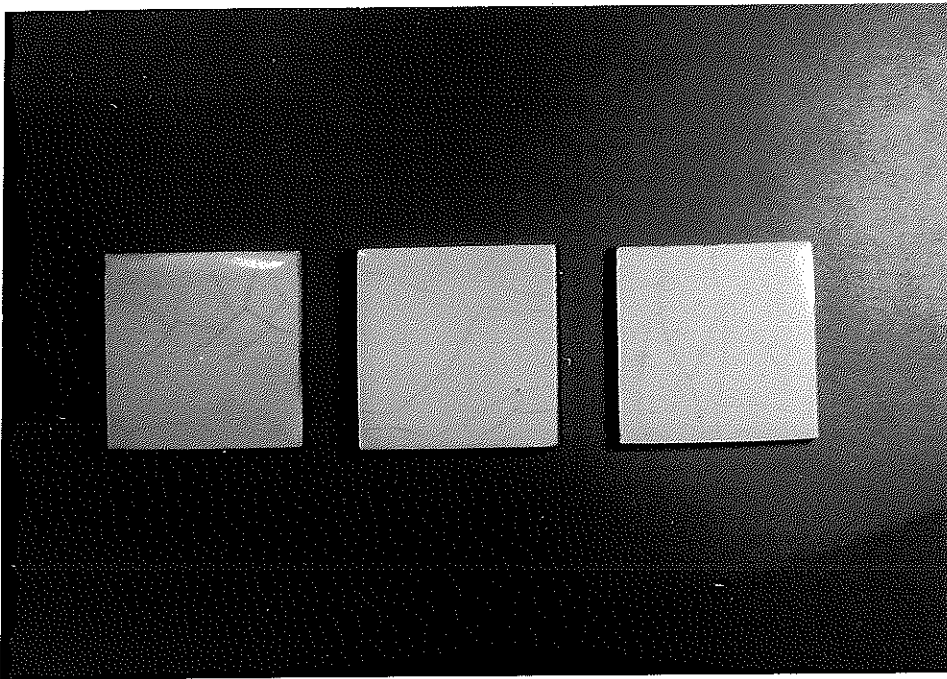


ภาพประกอบ ค 10 เครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบทิ้งทราย

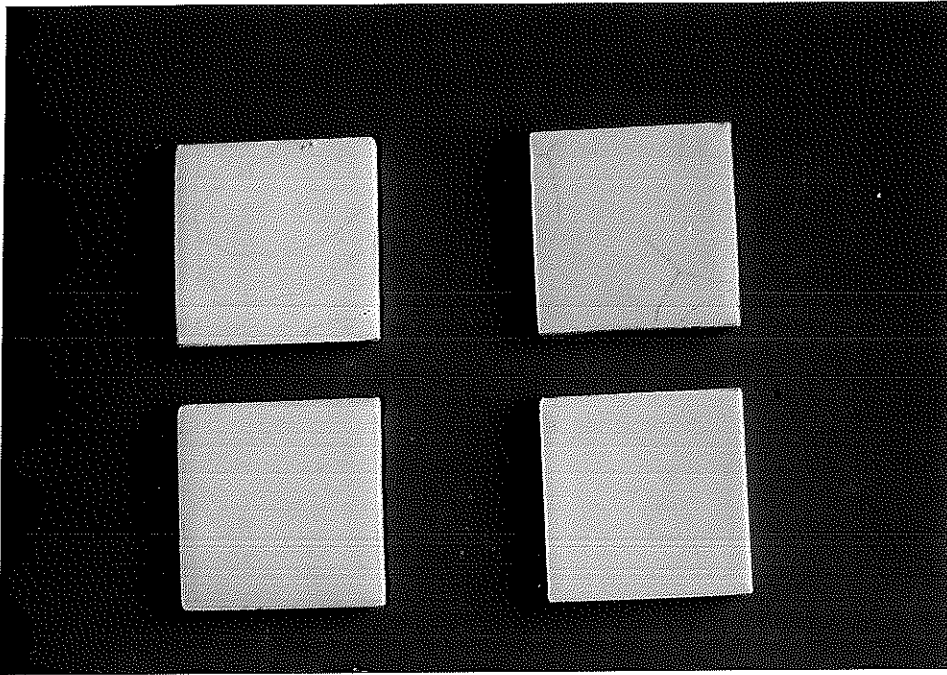
ภาคผนวก ง



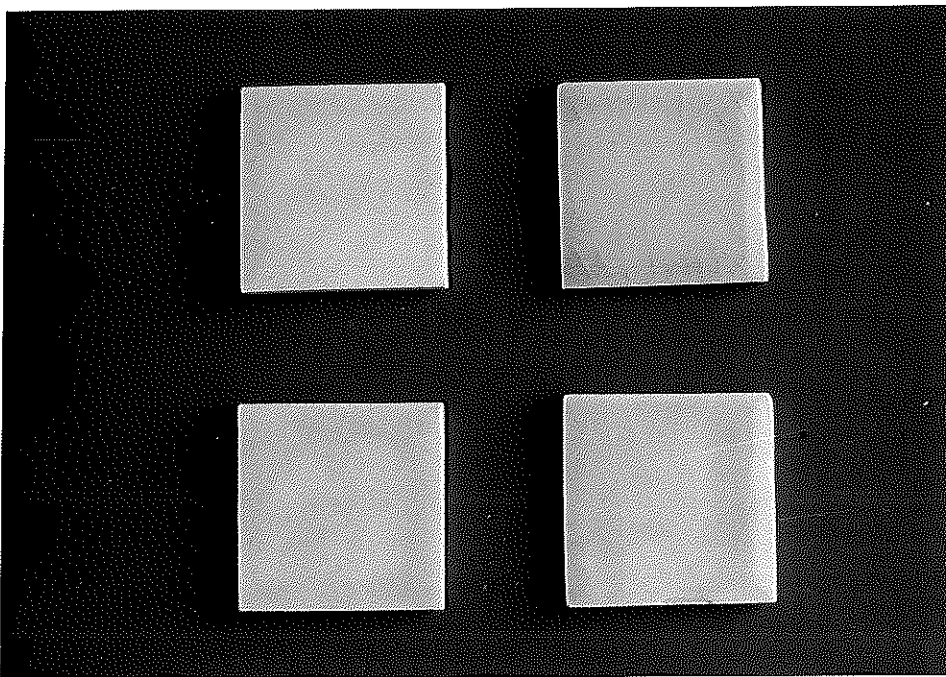
ภาพประกอบ ง 11 การรاندัวของชิ้นงานที่เกิดขึ้นมาก



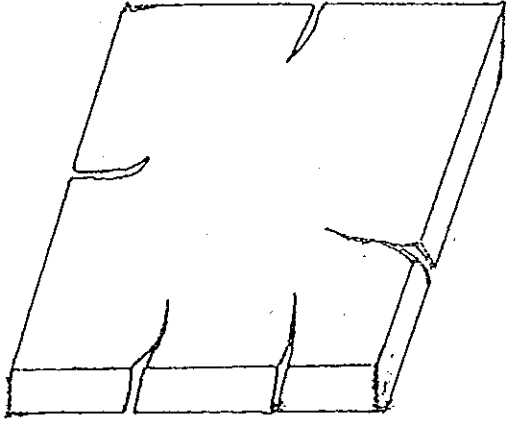
ภาพประกอบ ง 12 การรاندัวของชิ้นงานที่เกิดขึ้นน้อย



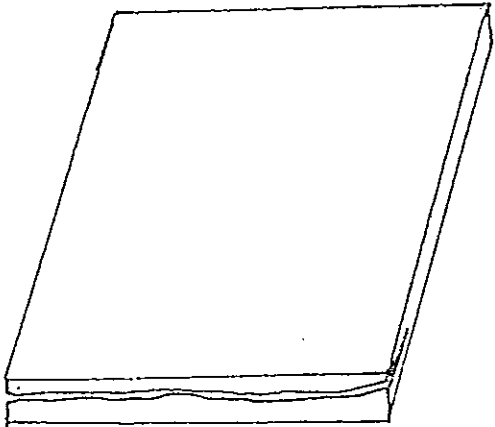
ภาพประกอบ ง 13 การรงานตัวของชิ้นงานที่เกิดขึ้นน้อยมาก



ภาพประกอบ ง 14 การรงานตัวที่กว้างและลึก



ภาพประกอบ ง 15 ชิ้นงานร้าว



ภาพประกอบ ง 16 ชิ้นงานแยกชั้น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวพจนา ไสอินทร์

วัน เดือน ปีเกิด 4 มีนาคม 2508

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วศบ. สาขาวิศวกรรมเคมี

ม.สงขลานครินทร์

2532

ทุนการศึกษา

ทุนผู้ช่วยสอน ปี พ.ศ. 2535- 2537