

โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้หินชาโตน

Development and Application of China Stone

รายงานฉบับที่ 2

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากหินชาโตนจังหวัดลำปาง

Application of Lampang China Stone in Ceramic Formulations

ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัย

วิจัย ทำางานพัฒนาวิทยาศาสตร์
666.3072 เทคโนโลยีแห่งชาติ
ท17
2537

กรมทรัพยากรธรณี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรกฎาคม 2537

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

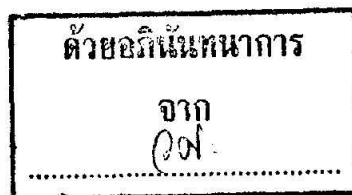
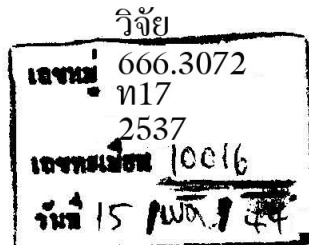
โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้หินาสโตน

Development and Application of China Stone

รายงานฉบับที่ 2

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากหินาสโตนจังหวัดลำปาง

Application of Lampang China Stones in Ceramic Formulations



ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัย
จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีแห่งชาติ

กรมทรัพยากรธรณี
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรกฎาคม 2537

รายนามผู้ร่วมเขียนรายงานฉบับนี้ประกอบด้วย

กรมทรัพยากรธรณี

นิภา	จุลละจาริตต์
ชานู	จรรยาวิชย์
ยุคล	มัททะจิตร์
ชั้นพงษ์	จวิงจิตร์
ฟูยศ	โชติคณาทิศ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

สุทธิชัย	ทีปประสาน
พิมพ์วัลค์	วัลโนภาส
เทพีวรรณ	จิตร์วัชรโกมล

บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากไสนาสโตนจังหวัดลำปาง

กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี ถนนพระรามที่ 6,
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กองการวิจัย
กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

ไสนาสโตนจาก จ.ลำปางชนิดที่มีจุดหลอมตัวต่ำ ทางวิทยาแร่จะมีแร่เฟลด์สปาร์ปนในปริมาณสูง แร่ดังกล่าวจากแหล่ง อ.เสริมงาม อ.แม่เมาะ อ.แจ้ห่ม และ อ.วังเหนือ จ.ลำปาง จึงถูกเลือกให้เป็นวัตถุดิบ เพื่อวิจัยทำผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทตุ้มน้ำเต้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออนุรักษ์แหล่งแร่ดินขาว ลดภาคดินทรายที่เกิดจากอุตสาหกรรมการล้างดิน ช่วยลดต้นทุนการใช้วัตถุดิบขณะเดียวกันช่วยเพิ่มทางเลือกการใช้แร่ของโรงงานเซรามิกให้คล่องตัวมากขึ้น การทดลองเริ่มจากการศึกษาการบดแร่ ด้วยเครื่องบดชนิดต่างๆ นำแร่ที่บดได้มาพัฒนาเป็นสูตรส่วนผสม ดำเนินการขึ้นรูป และทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยมีเป้าหมายพยายามใช้ไสนาสโตนเป็นเนื้อส่วนผสมให้มากที่สุด ผลการวิจัยในรายงานนี้สามารถนำไสนาสโตนมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการทำ ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ตุ้มเตาเซรามิก กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องโมเสก Hard Porcelain และเครื่องสุขภัณฑ์ชนิด Vitreous china ได้ในเชิงพาณิชย์ ข้อมูลที่ได้จากรายงานฉบับนี้ ประกอบด้วย 34 รูปภาพ และ 44 ตารางประกอบ

Abstract**Application of Lampang China Stones in Ceramic Formulations**

Industrial Minerals Research Group, Mineral Resource Analysis
Division, Department of Mineral Resources, Rama VI Rd.
Ceramic Research and Development Center, Research Division,
Department of Science Service, Rama VI Rd.
Bangkok 10400, Thailand, July 1994.

China stones containing high feldspar content from Serm Ngam, Mae Moh, Jae Hom and Wang Nua in Lampang province were selected as raw materials for vitreous ceramic applications. The objectives were to conserve china clay deposits, reduce waste material from clay processing plants and reduce the cost while increase the material procurement options for ceramic manufacturers.

China stones were first crushed and ground with different techniques and evaluated for their particle size distributions. The ground powders were then formulated, applied and tested in manufacturing of ceramic products. It was concluded that these china stones can be commercially used as the major ingredient in making stonewares, figurines, floor tiles, mosaics, hard porcelains and vitreous sanitarywares. The report includes 34 figures and 44 tables.

กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการกองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์ ผู้อำนวยการกองการเหมืองแร่ และผู้อำนวยการกองคลัง กรมทรัพยากรธรณี ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานโครงการวิจัยและพัฒนาการใช้ ไซนาสโตนมาโดยตลอด อีกทั้งเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรม เซรามิก และกองการเหมืองแร่ที่ได้ช่วยในการทดสอบ ทดลองผลิตและออกแบบ ผลิตภัณฑ์ในโครงการ และต้องขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนในการวิจัย และให้คำแนะนำในการปฏิบัติงาน รวมถึงคณะ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ร่วมประเมินผล ทั้งยังได้แนะแนวทางการดำเนินงาน

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคนิคของ บริษัท เครื่องสุญญากาศ อเมริกันสแตนดาร์ด (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการพัฒนาทำเนื้อสุญญากาศ และ บริษัท เคลย์ แอนด์ มิเนอร์ลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ช่วยบดแร่และทดสอบความละเอียดของอนุภาค ที่ยที่สุดขอขอบคุณผู้ประกอบการ เหมืองดินขาวและไซนาสโตน และสำนักงานทรัพยากรธรณี จ. ลำปาง ที่ได้ให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ของคณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2537

รายการรูปประกอบ

		หน้า
รูปที่ 1	แผนภูมิการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิจัย	14
รูปที่ 2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัยการแต่งแร่และการบดแร่	17
รูปที่ 3	แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์	18
รูปที่ 4	แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิก	19
รูปที่ 5	แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสก ..	20
รูปที่ 6	แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ Hard Porcelain	21
รูปที่ 7	แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาใช้ในเนื้อสุกภัณฑ์	22
รูปที่ 8	แสดงความละเอียดของไสนาสโตนที่บดด้วย Jar Mill แบบเปียกและแบบแห้ง	29
รูปที่ 9	เปรียบเทียบความละเอียดของไสนาสโตนเมื่อบดเปียกใน Ball Mill	30
รูปที่ 10	แสดงการกระจายความละเอียดของอนุภาคไสนาสโตนที่บดด้วย Ring & Roller Mill เปรียบเทียบกับอนุภาคของเฟลด์สปาร์	33
รูปที่ 11	แสดงการกระจายอนุภาคของไสนาสโตนแหล่งวังเหนือบดด้วย Ring & Roller Mill	34
รูปที่ 12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Population กับ Diameter ของไสนาสโตน อ.วังเหนือ บดด้วย Ring & Roller Mill	35
รูปที่ 13	การขยายตัวของไสนาสโตนหมายเลข C-1-4 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง ..	41
รูปที่ 14	การขยายตัวของไสนาสโตนหมายเลข C-11 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง ..	42
รูปที่ 15	การขยายตัวของไสนาสโตนหมายเลข C-13 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง ..	43
รูปที่ 16	การขยายตัวของไสนาสโตนหมายเลข C-17 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง ..	44
รูปที่ 17	แสดงบริเวณของส่วนผสมเนื้อดินที่ทำการศึกษา	47
รูปที่ 18	แสดง Thermal Expansion ของเนื้อดินสโตนแวร์ สูตร C 1-4-6	62
รูปที่ 19	แสดงภาพถ่าย(mug) เนื้อสโตนแวร์ที่ได้จากการวิจัย	64
รูปที่ 20	คุณสมบัติภายหลังการเผาตัวอย่างเนื้อดิน C17	68
รูปที่ 21	ความหนืดของน้ำดินที่ปริมาณ Deflocculent ต่างๆ	70
รูปที่ 22	แสดงผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิกที่ได้จากการวิจัย	72
รูปที่ 23	แสดงผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้น	79
รูปที่ 24	แสดงผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสก	79
รูปที่ 25	การหลอมตัวของไสนาสโตน บ้านป่าแห้ง อ.วังเหนือ	81

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 26	แสดงส่วนประกอบของ Triaxial Porcelain	82
รูปที่ 27	แสดงสีที่ได้หลังการเผาของสูตร Hard Porcelain	85
รูปที่ 28	แสดง Thermal Expansion Curve ของ Hard Porcelain	88
รูปที่ 29	แสดงค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่างๆกัน	90
รูปที่ 30	แสดงผลิตภัณฑ์ชุดถ้วยชามเนื้อดิน Hard Porcelain	91
รูปที่ 31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Absorption กับ Temperature ของสลิปที่ใช้โซนาสโตน	100
รูปที่ 32	แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคในสลิปที่มีโซนาสโตน 75%	102
รูปที่ 33	แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของสลิปที่ใช้โซนาสโตน 75% เปรียบเทียบกับสลิปในโรงงานอุตสาหกรรม	103
รูปที่ 34	Firing Properties ของโซนาสโตนแหล่ง อ.วังเหนือ	113

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ 1	ค่าความเข้มข้นมันตรังสีของหินชนิดต่างๆระวางจังหวัดลำปาง	4
ตารางที่ 2	รายชื่อผู้ถือประทานบัตรแหล่งดินขาว (ไซนาสโตน) ในจังหวัดลำปาง ..	7
ตารางที่ 3	Typical Whiteware Bodies	9
ตารางที่ 4	แสดงสูตรเนื้อเซรามิกทั่วไป	10
ตารางที่ 5	Sieve Analysis ของแร่หลังการบดด้วย Jaw Crusher	27
ตารางที่ 6	Sieve Analysis ของแร่หลังการบดด้วย Roll Crusher	28
ตารางที่ 7	Sieve Analysis ของแร่ป้อนขนาดต่างๆภายหลังการบดด้วย Hi-Speed Vibration Mill	31
ตารางที่ 8	แสดงการกระจายอนุภาคไซนาสโตน อ. วังเหนือหลังการบดด้วย Ring & Roller Mill	36
ตารางที่ 9	การหลอมตัว สีภายหลังการเผาของตัวอย่างไซนาสโตน	39
ตารางที่ 10	การหดตัวรวม การดูดซึมน้ำของตัวอย่างไซนาสโตน	45
ตารางที่ 11	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของไซนาสโตน	46
ตารางที่ 12	เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C1-4	49
ตารางที่ 13	คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไซนาสโตนหมายเลข C1-4 ..	50
ตารางที่ 14	เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C11	51
ตารางที่ 15	คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไซนาสโตนหมายเลข C11 ..	52
ตารางที่ 16	เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C13	53
ตารางที่ 17	คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไซนาสโตนหมายเลข C13 ..	54
ตารางที่ 18	เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C17	55
ตารางที่ 19	คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไซนาสโตนหมายเลข C17 ..	56
ตารางที่ 20	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ทำสโตนแวร์	58
ตารางที่ 21	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (COE) ของเนื้อดินสโตนแวร์สูตร C1-4-6	63
ตารางที่ 22	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ ที่ใช้ทำตุ๊กตาเซรามิก	66
ตารางที่ 23	ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำดินตุ๊กตาเซรามิก	69
ตารางที่ 24	แสดงคุณสมบัติการหดตัวและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้น เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150, 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส	75
ตารางที่ 25	แสดงส่วนผสมของสีสำเร็จรูปในเนื้อดินกระเบื้องโมเสก	77

รายการตารางประกอบ(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 26	แสดงคุณสมบัติการหดตัวและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องโมเสก เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150, 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส	78
ตารางที่ 27	แสดงร้อยละของวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำ Hard Porcelain	83
ตารางที่ 28	ผลการทดลองเนื้อดิน Hard Porcelain	84
ตารางที่ 29	แสดงส่วนประกอบของแร่ฟันม้าทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก	86
ตารางที่ 30	สูตร Hard Porcelain ใช้เฟลด์สปาร์ร่วมกับโซนาสโตน	86
ตารางที่ 31	เปรียบเทียบคุณสมบัติกายภาพของสูตร Porcelain	87
ตารางที่ 32	คุณสมบัติเซรามิกเมื่อเผาที่ Cone 5-6 ในเตาอุตสาหกรรม	92
ตารางที่ 33	คุณสมบัติเซรามิกของน้ำสลิปที่มีโซนาสโตน	93
ตารางที่ 34	คุณสมบัติเซรามิกของโซนาสโตนบดภายหลังการเผาด้วย เตา Gradient	94
ตารางที่ 35	คุณสมบัติเซรามิกของสลิปที่มีโซนาสโตนผสม 75 % เผาด้วยเตา Gradient	97
ตารางที่ 36	คุณสมบัติอื่นๆของสลิปโซนาสโตน 75 %	101
ตารางที่ 37	แสดงขนาดอนุภาคในสลิปโซนาสโตนแฉ่ม บดเปียกใช้ Ball Slip ต่อโซนาสโตน 25:75	104
ตารางที่ 38	แสดงขนาดอนุภาคในสลิปโซนาสโตนแม่เมาะ บดเปียกใช้ Ball Slip ต่อโซนาสโตน 25:75	105
ตารางที่ 39	แสดงขนาดอนุภาคในสลิปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	106
ตารางที่ 40	แสดงส่วนผสมโซนาสโตนแฉ่ม-Ball Slip-ดินขาว	107
ตารางที่ 41	คุณสมบัติการหล่อแบบ และคุณสมบัติหลังเผา Cone 8	108
ตารางที่ 42	คุณสมบัติเนื้อโซนาสโตนแฉ่มหลังเผาด้วยเตา Gradient	109
ตารางที่ 43	ส่วนผสมโซนาสโตนแม่เมาะ-Ball Slip-ดินขาว และคุณสมบัติทางกายภาพ	110
ตารางที่ 44	คุณสมบัติเนื้อโซนาสโตนแม่เมาะ หลังเผาด้วยเตา Gradient	111

สารบัญ

	หน้า
1 บทนำ	1
2 ข้อมูลจากเอกสารวิชาการ	2
2.1 ข้อมูลแหล่งแร่จากการบินสำรวจ	2
2.2 แหล่งหินปูนในประเทศไทย	5
2.3 การทำเหมืองและการแต่งแร่	6
2.4 คุณสมบัติของเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก	8
3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 การเตรียมตัวอย่าง	14
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	15
3.3 คุณสมบัติของหินปูนแหล่งที่ใช้ในการวิจัย	23
4 การแต่งแร่หินปูน	26
4.1 การบดด้วย Jaw Crusher และ Roll Crusher	27
4.2 การบดแร่ด้วย Porcelain Jar Mill และ Ball Mill	28
4.3 การบดแร่ด้วย Hi-Speed Vibration Mill	31
4.4 การบดละเอียดด้วย Ring and Roller Mill	32
5 การวิจัยเบื้องต้นเพื่อใช้หินปูนทำเซรามิก	37
5.1 บทนำและวัตถุประสงค์ที่ใช้	37
5.2 คุณสมบัติเซรามิกของหินปูนที่วิจัยเบื้องต้น	38
5.3 คุณสมบัติของ Triaxial Bodies จาก China Stone	47
6 การพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์หินปูน	57
6.1 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์หินปูน	57
6.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้	57
6.3 วิธีดำเนินการทดลอง	59
6.4 สรุปผลการทดลอง	61

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
7 การพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิก	65
7.1 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์	65
7.2 วัตถุดิบที่ใช้	65
7.3 การทดลอง	66
7.4 การตกแต่ง	71
7.5 สรุปผลการทดลอง	72
8 การพัฒนาทำผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสก	73
8.1 กระเบื้องปูพื้น	73
8.2 กระเบื้องโมเสก	76
9 การพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ Hard Porcelain	80
9.1 วิธีดำเนินการวิจัย	80
9.2 การใช้ไสนาสโตนใน Triaxial Porcelain	81
9.3 การใช้ไสนาสโตนร่วมกับแร่ฟันม้าใน Triaxial Porcelain	86
10 การใช้ทำเครื่องสุขภัณฑ์ชนิด Vitreous china	92
10.1 การทดสอบเนื้อสุกซ์ภัณฑ์เบื้องต้น	92
10.2 ส่วนผสมไสนาสโตนแจ้ห่ม-Ball Slip-ดินขาว	107
10.3 ส่วนผสมไสนาสโตนแม่เมาะ-Ball Slip-ดินขาว	110
10.4 ผลการทดลองจากโรงงานเซรามิก	112
10.5 สรุปการใช้ทำเนื้อสุกซ์ภัณฑ์	120
11 บทสรุป	121
12 เอกสารอ้างอิง	123

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากไชนาสโตน จ.ลำปาง*

1. บทนำ

ก้อนหินและกรวดสีขาวทึบ ซึ่งต้องคัดทิ้งในระหว่างการล้างดินขาว หรือ แนวหินแข็ง สีขาวที่เกิดข้างเคียงแร่ดินขาว ตามเหมืองดินขาวต่างๆของ จ.ลำปางนั้นมีคุณสมบัติเป็น ไชนาสโตน หรือเนื้อเซรามิกสำเร็จจากธรรมชาติ ในการทำเหมืองและแต่งแร่ ไชนาสโตน เหล่านี้มักจะถูกมองเสมือนแรมลทินที่จะต้องขนย้าย หรือนำไปทิ้ง การนำมาใช้งานคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ยังน้อยมาก ทั้งๆที่หากนำมาบดให้ละเอียดจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง ได้ทั้งหมด การวิจัยเพื่อให้ทราบคุณสมบัติของแร่ในแต่ละแหล่ง และการหาทางใช้ประโยชน์ ให้กว้างขวางขึ้น จะทำให้โรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกมีปริมาณแร่สำรองและทางเลือกมากขึ้นในการใช้วัตถุดิบ ทั้งจะช่วยอนุรักษ์แร่ดินขาว ลดมลภาวะในเรื่องฝุ่น น้ำขุ่นข้น และกากทรายซึ่งต้องทิ้งจากโรงแต่งแร่ดินขาวเพราะเราสามารถใช่วัตถุดิบในรูปไชนาสโตนโดยไม่ต้องผ่านการล้าง

รายงานการวิจัยฉบับนี้ เน้นที่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากไชนาสโตน จ.ลำปางโดยเฉพาะประเภทผลิตภัณฑ์ที่มีค่าดูดซึมน้ำต่ำ เป็นรายงานที่ต่อเนื่องกับฉบับแรกซึ่งกล่าวถึงข้อมูลธรณีวิทยา รายละเอียดของแหล่งไชนาสโตนและคุณสมบัติต่างๆเฉพาะแหล่ง ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวเสริมข้อมูลแหล่งแร่ ที่ได้จากการบินสำรวจ การทำเหมือง การแต่งแร่ และการเลือกไชนาสโตนแหล่งที่มีเฟลด์สปาร์ปนสูงมาพัฒนาทำเนื้อเซรามิก ชนิด สโตนแวร์ ตุ๊กตาเซรามิก กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องโมเสก Hard Porcelain และ เครื่องสุขภัณฑ์ ชนิด Vitreous China ซึ่งนอกจากจะบรรจุขั้นตอนการดำเนินการวิจัยวัตถุดิบ และ ผลิตภัณฑ์เซรามิกแล้ว ยังให้สูตรส่วนผสมและกรรมวิธีในการทดสอบซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจจะใช้ไชนาสโตนในเนื้อผลิตภัณฑ์ คณะผู้วิจัยเชื่อว่ารายงานฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อผู้อ่านพร้อมๆกับเน้นให้เห็นคุณค่าของไชนาสโตนในวงกว้างขึ้น

ผลงานวิจัยนี้เป็นโครงการที่ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(สว.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช) ระหว่างปี 2535-2536

* ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(สว.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช) ระหว่างปี 2535-2536

2. ข้อมูลจากเอกสารวิชาการ

2.1 ข้อมูลแหล่งแร่จากการบินสำรวจ⁽¹⁾

2.1.1 การบินสำรวจวัดกัมมันตรังสี

กรมทรัพยากรธรณีได้ทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเพื่อหาข้อมูลพื้นฐานทางด้านธรณีวิทยาและแหล่งแร่ โดยว่าจ้าง บริษัท Kenting Earth Science International Limited ประเทศแคนาดา (KESIL) เป็นผู้ทำการสำรวจตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2528 เสร็จสิ้นเมื่อเดือนธันวาคม 2532

การบินสำรวจวัดกัมมันตรังสีทั่วประเทศได้มีการกำหนดพื้นที่ในการบินสำรวจออกเป็น 2 บริเวณ คือ พื้นที่สำรวจ B เป็นพื้นที่ราบหรือภูเขาแต่ไม่สูงชัน ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกของประเทศ ทำการบินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกแข็ง Islander จำนวน 1 ลำ ทำการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก และความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปพร้อมกันที่ระดับความสูง 120 เมตรในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก โดยมีระยะห่าง 1, 2 และ 5 กิโลเมตร ตามพื้นที่ที่กำหนด รวมระยะทางบินสำรวจ 68,681 กิโลเมตร และพื้นที่สำรวจ C ซึ่งเป็นพื้นที่ภูเขาสูงชัน ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่เหนือจดใต้ ทำการสำรวจด้วยเครื่องบินเฮลิคอปเตอร์ชนิด Bell 412 จำนวน 2 ลำ วัดกัมมันตรังสีและธรณีฟิสิกส์อื่นๆ เป็นระยะทางบินสำรวจประมาณ 232,709 กิโลเมตร รวมระยะทางบินสำรวจทั้งหมด 2 พื้นที่ประมาณ 301,390 กิโลเมตร สำหรับพื้นที่ระหว่างจังหวัดลำปาง (NE 47-7) ซึ่งอยู่ในพื้นที่บินสำรวจ C-1NA และ C-1NB ทำการบินสำรวจโดยมีระยะห่าง 1 กิโลเมตร

2.1.2 แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี (Radiometric Contour Map)

เป็นแผนที่ที่ได้จากค่าความเข้มกัมมันตรังสีแต่ละชนิดมาทำข้อมูลกริด และเขียนเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีตามวิธีมาตรฐานการทำแผนที่ ประโยชน์ของแผนที่ชนิดนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่าบริเวณต่างๆ มีค่าความเข้มกัมมันตรังสีเป็นปริมาณเท่าใดซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีวิทยาในบริเวณนั้น แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีที่ได้รับจากบริษัทฯ เป็นแผนที่ในมาตราส่วน 1:250,000 ประกอบด้วยแผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีรวม โพแทสเซียม ยูเรเนียม ทอเรียม และกัมมันตรังสีเปรียบเทียบกับระหว่างทอเรียมต่อโพแทสเซียม

2.1.3 การแปรความหมายแผนที่กัมมันตรังสี

เนื่องจากหินแต่ละชนิดมีธาตุกัมมันตรังสีโพแทสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม ต่างกัน เช่นหินแกรนิตจะมีธาตุกัมมันตรังสีทั้ง 3 ธาตุอยู่ในปริมาณมาก แต่หินทรายจะมีน้อย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ทำให้สามารถใช้แผนที่กัมมันตรังสีช่วยในการทำแผนที่ธรณีวิทยา ได้อย่างคร่าวๆ ดังต่อไปนี้คือ

จากแผนที่กัมมันตรังสีโพแทสเซียม มาตรฐาน 1:1,000,000 และแผนที่ เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีโพแทสเซียมมาตรฐาน 1:250,000 แยกหินแกรนิตและหินที่มี ลักษณะคล้ายคลึงกันออกจากหินประเภทอื่นได้ เนื่องจากหินแกรนิตมีธาตุโพแทสเซียมสูง

จากแผนที่กัมมันตรังสียูเรเนียมและทอเรียม และแผนที่เส้นชั้นความเข้ม กัมมันตรังสียูเรเนียมและทอเรียมจำแนกหินแกรนิตออกเป็น หินไบโอไทต์แกรนิต มัสโคไวต์ แกรนิต และหินแกรนิตเนื้อดอกได้อย่างง่ายๆ เนื่องจากลักษณะธรณีเคมีของธาตุยูเรเนียมและ ทอเรียมที่แตกต่างกันกล่าวคือ ทอเรียมตกผลึกเป็นแร่หนักต่างๆก่อนยูเรเนียม แต่หินแกรนิต เนื้อดอกจะไม่ค่อยมียูเรเนียม ทอเรียมมากนัก

จากแผนที่กัมมันตรังสีและแผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีสามารถแยกหินทราย เช่นหินทรายชุดโคราชได้ เนื่องจากหินทรายมีค่ากัมมันตรังสี โพแทสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียมต่ำ

จากแผนที่กัมมันตรังสีรวมและแผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีรวม แยก หินอัลตราเมฟิกหรือหินเบสิก เช่นหินไพโรอกซิไนต์ได้ เนื่องจากหินดังกล่าวมีค่ากัมมันตรังสีต่ำ มาก

ค่าความเข้มกัมมันตรังสีของหินต่างๆในแผนที่ระวางจังหวัดลำปางได้สรุปไว้ใน ตารางที่ 1

จากผลการแปรความหมายแผนที่กัมมันตรังสีทำให้สามารถกำหนดพื้นที่เพื่อการ สืบสวนแร่ยูเรเนียม ทอเรียม และแร่อื่นๆที่มีความสัมพันธ์หรือเกิดร่วมอยู่ด้วยกัน เช่นแร่ดีบุก วุลแฟรม และแร่หนักต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดพื้นที่เพื่อการสำรวจแร่เศรษฐกิจ อื่นๆ เช่นทองคำ ดินขาว โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ หินประดับ ถ่านหินเป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นมาตรฐานของหินชนิดต่างๆระวางจังหวัดลำปาง

หมายเลข	ชนิดของหิน	สัญลักษณ์	ค่าภูมิหลัง				แผนที่ ธรณีวิทยา
			K(%)	eU(ppm)	eTh(ppm)	eTh/K	
1	ฟิลไลต์ ซีสต์	SD	1	1	8	8	1
2	ทราย ดินดาน กรวดมน	C, CP	2	2	14	8	1
3	ทราย ดินดาน	Trd, Trh, Trp	1.4	2	10	8	1
4	แกรนิต	Tr gr	2+, 3, 5+	9	20+, 30	10+	1
5	ไรโอไลต์	p Trv	2	4	10+	10+	1
6	ไดโอไรต์	Di	1	1	6		2
7	ทราย ดินดาน กรวดมน	T	0.8	2	10	10	1
8	บะซอลต์	bs	1	1	6	10	1

แผนที่ธรณีวิทยา

1 = 1:500,000

2 = 1:250,000

พื้นที่ K-1 บริเวณเทือกขุนตาล ดอยหลวง ซึ่งอยู่ระหว่าง อ.แม่ทะ จ.ลำปาง และ อ.ลอง จ.แพร่ ดอยแม่หลวง ซึ่งอยู่ระหว่างรอยต่อ จ.ลำปาง แพร่ เชียงราย กำหนดเป็นพื้นที่ เพื่อการสำรวจแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ดินขาวและหินประดับ

พื้นที่ Th/K-1 บริเวณบ้านหนองหอย อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ บ้านป่าตันช้าง บ้านปางแม่ฟ้า อ.แจ้ห่ม ดอยฝรั่ง อ.เมือง ดอยต้นจัน อ.แม่ทะ จ.ลำปาง บ้านปากงาว อ.สอง บริเวณใกล้สถานีรถไฟห้วยแม่ลาน จ.แพร่ บ้านต้นहन อ.เมือง จ.น่าน กำหนดพื้นที่ เพื่อการสำรวจแร่ทองคำ และแร่ที่เกิดจากการสะสมตัวของน้ำแร่ร้อน โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และดินขาวเป็นต้น

2.2 แหล่งไชนาสโตนในประเทศไทย

ไชนาสโตนที่นิยมใช้กันตามโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก ส่วนใหญ่มาจากแหล่งแร่ดินขาวในจังหวัดลำปาง โดยรู้จักกันในนามหินลำปาง เป็นที่นิยมในการใช้เป็นส่วนผสมของถ้วยชามตราไก่ที่ผลิตกันในโรงงานขนาดเล็กในจังหวัดลำปางเอง ขณะที่โรงงานขนาดใหญ่นิยมใช้ดินขาวลำปางที่ได้จากการล้างดินขาวดิบและหินลำปางร่วมกัน^(๒) อันที่จริงดินขาวล้างจากลำปางแตกต่างจากดินดิบและหินตรงที่มีความเหนียว อยู่ในสภาพพร้อมใช้ และระหว่างการล้างดินนั้นจะสามารถแยกส่วนหยาบ คอกรตซ์อิสระออกไปได้ส่วนหนึ่ง ได้มีการศึกษาการใช้ไชนาสโตนจังหวัดลำปางในการผลิตกระเบื้องปูพื้นและโมเสก^(๓) พบว่าสามารถใช้ไชนาสโตนเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในเนื้อได้ ทั้งๆที่ในปัจจุบันการผลิตกระเบื้องปูพื้นส่วนใหญ่จะใช้ดินล้างขนาดหยาบ(200 เมช) จากจังหวัดลำปางเป็นส่วนประกอบสำคัญ ทำให้มีภาคดิน ทราวยจากการล้างเหลือปริมาณมหาศาล นับว่าเป็นการใช้แร่ที่ยังไม่อนุรักษ์เท่าที่ควร

แหล่งไชนาสโตนในลำปางที่พบกันมีจาก อ. วังเหนือ แจ้ห่ม งาว แม่เกาะ อ. เมือง เสริมงามและสบปราบ^(๔-๕) ส่วนแร่จากแหล่งอื่นที่พบว่ามีคุณสมบัติเป็นไชนาสโตนก็พบในหลายจังหวัด ซึ่งแต่ละแหล่งนั้นบ้างก็มีคุณสมบัติคล้ายไชนาสโตนในจังหวัดลำปาง บ้างก็มีคุณสมบัติแตกต่างไป คือมีทั้งคุณสมบัติที่เป็นดินขาวล้วนไปจนกระทั่งที่มีคุณสมบัติแข็งเหมือนหิน โดยที่สามารถนำมาใช้ในงานในสภาพดินขาวของดินบางแหล่ง หรือนำมาบดใช้ในงานในสภาพของเฟลด์สปาร์ในแหล่งที่มีวิทยาแร่ เป็นเฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่ เช่นแหล่งไรโอไลต์ อ. ชัยบาดาล จ. ลพบุรี แหล่งดินขาว จ. อุดรดิตถ์^(๖) ดินขาวที่มีลักษณะก้อนแข็ง อ. เมือง จ. กาญจนบุรี อ. บ้านไร่ จ. อุทัยธานี อ. จอมบึง จ. ราชบุรี และอ. แก่งกระจาน จ. เพชรบุรี แหล่งดินขาวเหล่านี้เมื่อนำมาบดให้ละเอียดและเผาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นกระเบื้อง ถือได้ว่าเป็นไชนาสโตน

สำหรับแหล่งดิกโคด์ที่ จ. นครนายกและสระบุรีนั้นมีคุณสมบัติแบบไชนาสโตนที่นิยมใช้กันในประเทศญี่ปุ่น แม้ว่าจะมีความทนไฟสูง แต่เนื่องจากมีลักษณะเป็นหินแข็ง นิยมนำมาบดและใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อเซรามิก ที่ประเทศญี่ปุ่นจึงนิยมเรียกว่าเป็นไชนาสโตนเช่นเดียวกัน

2.3 การทำเหมืองและการแต่งแร่

รายงานการทำเหมืองโซนาสโตนนั้น อาจหาได้จากรายงานที่เกี่ยวกับแหล่งแร่ดินขาวทางภาคเหนือของประเทศไทยหรือของจังหวัดลำปาง⁽⁷⁻⁸⁾ ทั้งนี้เพราะในการทำเหมืองดินขาวจากแหล่งไรโอไลต์นั้น แร่ที่ได้จะมีทั้งประเภทผุ่วนและชนิดที่เป็นหินแข็ง สำหรับส่วนที่เป็นผุ่วน ในปัจจุบันจะมีการใช้เป็นดินขาวดิบหรือนำไปเข้าโรงล้างดินทำการแต่งจำหน่ายเป็นดินขาวล้าง ส่วนที่เป็นหินแข็งในบริเวณเหมืองนั้นจะมีการคัดเลือกเป็นเกรดต่างๆ เช่น ชนิดที่มีสีขาว หรือชนิดที่มีสนิมเหล็กปนซึ่งจะผลิตจำหน่าย ในลักษณะของหินหรือโซนาสโตน

ปกติการทำเหมืองดินขาวจะกระทำแบบเหมืองหาบโดยใช้รถแทรกเตอร์เปิดหน้าดินที่ปกคลุมถึงจนถึงบริเวณชั้นแร่ดินขาว หากแหล่งแร่เป็นดินร่วนไม่แข็งนักจะใช้รถชุด (Back hoe) ทำการตัดใส่รถบรรทุกได้เลย แต่ส่วนใหญ่แร่มักจะมี หินปนและแข็ง จำต้องมีการเจาะเพื่อบรจระเปิด ทำการระเบิดย่อย หลังจากนั้นจึงใช้รถตัดดินตะขาคัดแร่ใส่รถบรรทุก เพื่อขนไปยังลานเก็บแร่หรือโรงแต่งแร่ต่อไป⁽⁹⁾

ในการจำหน่ายนั้นดินขาวที่จำหน่ายในรูปของดินขาวดิบ⁽¹⁰⁾ จะถูกทำให้แห้งก่อนการบดด้วย Jaw crusher และ Hammer mill เพื่อให้ได้ขนาด -5 มิลลิเมตร ดินร่วนอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปล้างให้ได้ดินเกรดต่างๆโดยใช้ดินขาวก้อนจากหน้าเหมืองป้อนเข้าสู่เครื่องบดแบบ Hammer mill จากนั้นจึงส่งด้วยสายพานไปลงถึงกวนผสมน้ำ (Blunger) เพื่อกวนให้น้ำดินละเอียดแยกออกจากทรายหยาบ น้ำดินที่เหลือจะผ่านการคัดแยกทรายละเอียดออกด้วยรางซิกแซกเวย์หรือเครื่องไฮโดรไซโคลอน⁽¹¹⁾ น้ำดินละเอียดจะไหลลงสู่บ่อพักน้ำดิน เพื่อให้ดินขาวตกตะกอน ก่อนจะถูกสูบเข้าเครื่องกรองแบบอัด ได้ดินขาวออกมาเป็นแผ่นมีความชื้นประมาณ 30% นำมากองผึ่งให้แห้งเหลือความชื้นน้อยกว่า 15% เพื่อส่งจำหน่ายต่อไป ในการล้างดินนี้มักจะได้เนื้อดินประมาณ 30-70% ขึ้นกับแหล่งแร่ป้อนและกรรมวิธีในการล้างของผู้ผลิต ส่วนใหญ่แล้วกรรมวิธีที่ใช้กันอยู่ยังเก็บเนื้อดินละเอียดได้ไม่หมด⁽¹²⁾ ทำให้สูญเสียดินขาวไปกับส่วนที่เป็นทรายที่ต้องทิ้งมากมาย อีกทั้งกากดินทรายทั้งหยาบและละเอียดจากโรงล้างดินขาวในจังหวัดลำปางส่วนใหญ่มักคุณสมบัติเป็นโซนาสโตน คือมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับหินลำปางจึงน่าที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการนำไปทิ้งในปัจจุบัน รายละเอียดเรื่องค่าใช้จ่ายในการผลิตดินเกรดต่างๆและการตลาดได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว เช่นเดียวกับรายชื่อผู้ประกอบการเหมืองดินขาว โรงงานผู้ใช้แร่และแต่งแร่ในจังหวัดลำปาง ตารางที่ 2 แสดงรายชื่อผู้ถือประทานบัตรแหล่งแร่ซึ่งผลิตโซนาสโตนในปัจจุบัน

ตารางที่ 2 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรแหล่งดินขาว (ไซนาสโตน) ในจังหวัดลำปาง

ลำดับที่	ประทานบัตรที่	ชื่อผู้ถือประทานบัตร	ที่ตั้งของเหมือง
1.	12671/10969	บ.ถ่านหินไทยจำกัด (น.ส. เบลุจพร ศิริเมือง-รับช่วง)	ต.ทุ่งฮั่ว อ.วังเหนือ
2.	24226/13635	บ.เหมืองแร่ดินขาวเมืองงาว จก.	ต.บ้านหวด อ.งาว
3.	14935/10595	บ.ที.ไอ.ซี.1991 จำกัด	ต.เมืองมาย อ.แจ้ห่ม
4.	14934/10597	นายอายุส พัฒนพงศ์พานิช (บ.ที.ไอ.ซี.1991 จก.-รับช่วง)	ต.เมืองมาย อ.แจ้ห่ม
5.	12652/10800	นายสรีรัตน์ โปติดพันธ์ุ์	ต.บ้านสา อ.แจ้ห่ม
6.	16147/12060	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยเกาส์ (บ.ลำปางเกาส์ไมนิ่ง จก.-รับช่วง)	ต.บ้านสา อ.แจ้ห่ม
7.	16159/12816	นางยุพิน ตันบุญฤทธิ์ (บ.มณฑนา จก.-รับช่วง)	ต.เมืองมาย อ.แจ้ห่ม
8.	16103/13907	หจก.ศิลป์เสรี (นายอดุลย์ โปติดพันธ์ุ์-รับช่วง)	ต.บ้านสา อ.แจ้ห่ม
9.	24370/14235	นายเชิด ชุ่มแก้ว (บ.ไทย-เยอรมันเซรามิกอินดัสตรี จก.-รับช่วง)	ต.บ้านสา อ.แจ้ห่ม

* ข้อมูลเรียบเรียงจากสนง.ทรัพยากรธรณีจังหวัดลำปาง ธันวาคม 2536

2.4 คุณลักษณะของเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก

2.4.1 สูตรทางเซรามิก เน้นความสำคัญต่างกัน

สูตรเนื้อดินแต่ละชนิด มักจะเน้นคุณสมบัติพิเศษแตกต่างกัน ฉะนั้นการเตรียมสูตรจึงต้องพิจารณาลักษณะเฉพาะที่สำคัญของแต่ละเนื้อก่อน ดังตัวอย่างในตารางที่ 3 เครื่องหมาย * แสดงคุณสมบัติสำคัญ

กรณีเครื่องสุขภัณฑ์ ให้ความสนใจสิ่งซึ่งควบคุม คุณสมบัติการหล่อ Dry Strength การสูกัด และค่าการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

กรณี Hotel China สนใจเรื่องความขาวของเนื้อเป็นที่สุด ต้องเน้นพิจารณาปริมาณ Fe_2O_3 และ TiO_2 ให้ต่ำไว้ก่อน โดยที่ไม่สนใจเรื่องปริมาณไมกาเหมือนดังกรณีเครื่องสุขภัณฑ์

สำหรับลูกถ้วยไฟฟ้าชนิดทนแรงดันสูง ต้องการ Calcined Alumina เพื่อเพิ่ม Fired Modulus และค่า K_2O จากโพแทสเซียม เฟลด์สปาร์ หรือ มีสโคไวต์ไมกา เพื่อคุณสมบัติทาง Dielectric

เมื่อการคำนวณสูตรโดยอาศัยคุณสมบัติหลักเสร็จแล้ว จึงค่อยลงมือทำการทดลอง และปรับปรุงคุณสมบัติที่ต้องการ เมื่อได้เนื้อที่ต้องการแล้ว จะต้องทำการตรวจสอบคุณลักษณะต่างๆโดยละเอียด เพื่อที่จะได้เป็นมาตรฐานสำหรับการควบคุมคุณภาพในอนาคต

ตารางที่ 3 Typical Whiteware Bodies⁽¹³⁾

COMPOSITION	SANITARY CASTING	HIGH MOR PORCELAIN	HOTEL CHINA	WALL TILE
<u>CHEMICAL ANALYSIS</u>				
(wt%)				
SiO ₂	64.8*	46.2*	69.4*	57.2*
Al ₂ O ₃	22.3*	41.9*	20.1*	11.4*
Fe ₂ O ₃	0.43	0.31	0.28*	0.46
TiO ₂	0.67	0.62	0.26*	0.58
CaO	0.65	0.24	0.97*	7.89*
MgO	0.09	0.10	0.10	14.93*
K ₂ O	1.97*	3.92*	1.51*	0.10
Na ₂ O	2.33*	1.13	1.36*	0.04
Ignition	6.93	5.96	6.08	6.79
<u>MINERALS (wt%)</u>				
CLAY SUBSTANCE	35.2*	36.5*	35.9*	26.6*
FREE SILICA	30.7*	7.4*	36.2*	6.0*
MICA	5.2*	3.4*	5.5	1.3
ORGANIC	0.8*	0.7	0.3	0.5
FREE ALUMINA	-	20.0*	-	-
<u>PARTICLE SIZE</u>				
% - 1μm	23*	26*	20*	30*
<u>COLLOID INDEX</u>				
Meq Me Blue per 100g	3.1*	3.3*	2.2*	3.2*

* Key Indicators

ตารางที่ 4 สูตรเนื้อเซรามิกทั่วไป⁽¹⁴⁾

	Semivitreous Dinnerware	Hotel China	Electrical Porcelain	Sanitary ware
Total Claycontent	53.0	44.0	50.0	48.0
Ball Clay	26.0	8.5	32.0	30.0
Kaolin	27.0	35.5	18.0	18.0
Feldspar	13.5	21.0	30.0	32.0
Potter's Flint	33.5	35.0	20.0	20.0

สังเกตปริมาณแร่ฟันม้าค่อนข้างต่ำส่วนปริมาณ Flint ค่อนข้างสูงใน semivitreous Dinnerware และ Hotel china ขณะที่ปริมาณ Flint ต่ำ และแร่ฟันม้าสูงในลูกถ้วย ไฟฟ้าและเครื่องสุขภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สองชนิดแรกต้องเผาสองครั้งโดยที่ Glaze Fire เผาอุณหภูมิต่ำกว่า Bisque Fire น้ำยาเคลือบที่เผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าต้องใช้ Oxides ที่ทำให้น้ำยาเคลือบมี Higher Expansion ดังนั้นการเพิ่ม Flint และลดแร่ฟันม้าจะทำให้ได้ Higher expanding body สอดคล้องกับ Higher expanding glaze

ลูกถ้วยไฟฟ้าและเครื่องสุขภัณฑ์ปกติเผาครั้งเดียว น้ำยาเคลือบที่ใช้จึงมี lower expansion ดังนั้นปริมาณ Flint จึงต้องลดลงให้สอดคล้องกับ lower expanding glaze

Hotel China ใช้ปริมาณดินทั้งหมดน้อย โดยใช้แต่ดินขาวเป็นส่วนใหญ่เพราะว่า ความขาวเป็นสิ่งสำคัญที่สุด ชิ้นงานมักจะหนากว่า semivitreous เพื่อให้ทนต่อการเคลื่อนย้าย

สีหลังเผาของดินเหนียวที่ใช้ในงาน Semivitreous เป็นเรื่องสำคัญมากเพราะต้องการความเหนียวดี ให้สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องปั้นอัดในมิติความเร็วสูงได้และจะต้องมี Dry Strength สูง เพื่อการขนย้ายด้วย

ความขาวของเนื้อสุขภัณฑ์นั้น เป็นคุณสมบัติรองเพราะใช้เคลือบทับกับชิ้นงาน แต่ว่า น้ำดินจะต้องพองส่วนผสมที่เป็น non-plastic ได้เป็นเวลานาน โดยไม่ทำให้สลิบแยกตัว ส่วนการควบคุมเวลาที่ใช้ในการหล่อชิ้นงาน นิยมกระทำโดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่าง ดินเหนียวและดินขาว

2.4.2 คุณลักษณะหลักที่ควรรทราบ (Characterizing Features) ⁽¹³⁾

1. ผลวิเคราะห์ทางเคมี

สิ่งที่เราต้องการทราบคือ ปริมาณ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O และ LOI. การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และปริมาณการสูกตัวของวัตถุดิบแต่ละชนิด จะขึ้นกับปริมาณสัมพันธ์ของ SiO_2 และ Al_2O_3 กับปริมาณของ Fluxing Oxides K_2O , Na_2O , CaO และ MgO แต่ก็เป็นไปได้ที่ดินขาว low alkali 2 ชนิด มีผลวิเคราะห์เคมีเหมือนกัน แต่มีความละเอียดหยาบต่างกัน จะสูกตัวที่อุณหภูมิต่างกัน ดินขาวอังกฤษซึ่ง High alkali เผลแล้ว สูกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าดินขาว Georgia ซึ่งมี low alkali แต่มีความละเอียดเหมือนกัน สำหรับดินตัวเดียวกันการกระจายความละเอียดของไมกาในดินขาวอังกฤษ จะควบคุมการสูกตัวของดินนั้นๆ

ดินขาวจากแหล่งปฐมภูมิเช่น English China Clay และ North Carolina Kaolin ปกติจะมีปริมาณ Fe_2O_3 สูงกว่าดินขาวจากแหล่งทุติยภูมิ เช่น ดินขาวจากแหล่ง Georgia หรือ South Carolina แต่ว่าดินแหล่งทุติยภูมิเหล่านี้เผลแล้วให้สีคล้ำกว่า จากการศึกษผลวิเคราะห์พบว่า ดินขาวปฐมภูมิที่เผลขาวกว่านั้น มักจะมีปริมาณ TiO_2 ปนอยู่น้อยกว่าที่พบในดินทุติยภูมิมาก หากมีการเผล Fe_2O_3 ร่วมกับ TiO_2 แล้ว Fe^{+3} จะเปลี่ยนเป็น Fe^{+4} และเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของ TiO_2 ซึ่งจะทำให้มีสีเข้มขึ้น การแต่งดินขาวที่มี TiO_2 ปนด้วยการใช้เครื่องแยกแม่เหล็กแรงสูงนั้น สามารถลดปริมาณ TiO_2 ลงได้มากจะทำให้สีของดินหลังเผลดีขึ้น

กรณีไม่สะดวกที่จะวิเคราะห์เคมี อาจวัดคุณสมบัติอื่นที่เกี่ยวข้องกันทางอ้อมได้ กรณีดินเซรามิกทั่วไป การเปลี่ยนแปลงของ SiO_2 มักเกิดเนื่องจากปริมาณควอตซ์อิสระที่ปนอยู่ ถ้าเรามีน้ำยาเคลือบซึ่ง Fit กับเนื้อที่ทำจากดินที่มีอัตราส่วน $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ ปกติ หากมี SiO_2 เพิ่มขึ้น พอทำ Thermal Shock เคลือบจะร่อนแตก ขณะที่หาก SiO_2 ลดลง จะก่อให้เกิดการร่อนตัวของน้ำยาเคลือบ

การหลอมตัวของแร่ฟันน้ำก็ขึ้นกับอิทธิพลของ SiO_2 อิสระ โดยการเตรียมส่วนผสมของแร่ฟันน้ำกับ SiO_2 ที่ส่วนผสมต่างๆ เริ่มจากแร่ฟันน้ำบริสุทธิ์ แล้วนำมาเผลให้หลอมตัวที่อุณหภูมิหนึ่ง ครั้งได้แร่ unknown มาเผล แล้วเปรียบเทียบการหลอมตัว กับที่เรามีอยู่ก็จะสามารถประมาณเปอร์เซ็นต์ของ SiO_2 อิสระได้

2. ส่วนประกอบทางแร่

ในงานหล่อแบบดินขาวอังกฤษนำมาใช้ขึ้นรูปได้ดี และตกแต่งง่ายกว่า ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไมกาละเอียด ที่มีในดินขาวอังกฤษ ในอเมริกาซึ่งพยายามหาดินมาแทนดินขาวอังกฤษ นิยมใช้ดินเหนียวจากเทนเนสซีและเคนตักกี ซึ่งมีไมกาหยาบปนอยู่ เพื่อทด

แทนปริมาณไมกาที่เคยได้จากดินชาวอังกฤษ มีสโคไวต์ไมกาสามารถคูดน้ำมากกว่าแร่ดินขาวหลายเท่าตัว หากมีความละเอียดเท่ากันจึงเชื่อกันว่า ปริมาณไมกาในดินที่นำมาใช้เป็นตัวคอยคูดคั้งน้ำไว้

สำหรับคุณสมบัติภายหลังการเผาของดินขาวพบว่าดินจอร์เจียซึ่งมีไมกาปนอยู่น้อย เมื่อเผาที่ 1300 °C ได้ปริมาณคริสโตบาไลต์เกิดขึ้นมากกว่าดินที่มีไมกาปนมาก เช่นดินชาวอังกฤษและดินชาวออร์ทแคโรไลนา หากนำไมกาละเอียดมาปนประมาณ 20% ในดินขาวจอร์เจียจะพบว่า ภายหลังการเผาปริมาณคริสโตบาไลต์จะลดลงอย่างมาก

ผลวิเคราะห์ X-rays ของดินเหนียวเทนเนสซีที่ความละเอียดต่างๆพบว่า SiO_2 อีสาระส่วนใหญ่ปนอยู่ในช่วงขนาด 44-1 ไมโครเมตรในปริมาณ 10-35 % ในเนื้อดิน นอกจากจะมี SiO_2 อีสาระและไมกาปนแล้ว ในดินเซรามิกอาจมีแร่ Smectite หรือ มอนต์มอริลโลไนต์ปนอยู่ด้วย บางทีถึง 20 % กรณีนี้จะเพิ่มความเหนียวให้กับดินหลายเท่า เพราะว่า Smectite มีความละเอียดมาก มันจะไปเพิ่มทวิคูณให้พื้นที่ผิวและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องทั้งหลาย เช่น Water of Plasticity, Dry Shrinkage, Dry Modulus of Rupture, Dry Strength ค่า Dry Strength และค่าความเหนียวมีสาเหตุจากความละเอียดและการมีรูปร่างเป็นแผ่นของอนุภาคดิน ยิ่งอนุภาคดินมีขนาดเล็กลงเท่าใด ก็จะมี ความเหนียวเพิ่มขึ้นสำหรับประสานกับพวก Non-clay เช่น ทรายเป็นต้น

ส่วนประกอบทางแร่ของวัตถุดิบเซรามิกสามารถหาได้ด้วยวิธี X-ray Diffraction จากผงแร่ละเอียด ผู้ชำนาญสามารถหาปริมาณของส่วนผสมดินได้ สำหรับวิธีที่ประหยัดกว่าก็คือ การหาปริมาณแร่จากการคำนวณผลวิเคราะห์เคมี การใช้เครื่อง DTA และหรือ TG ร่วมกันเพื่อหาชนิดแร่ก็เป็นสิ่งที่ปฏิบัติกันกรณีไม่มีเครื่อง X-rays.

3. การกระจายความละเอียดของดินและพื้นที่ผิว

คุณสมบัติการไหลตัวของน้ำดิน (slip) การหล่อ และการกรองส่วนใหญ่ มีผลจาก (1)การกระจายความละเอียดระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่ และอนุภาคขนาดเล็กสุด (2)การกระจายของขนาดต่างๆนั้นเข้าใกล้ Optimum packing เพียงใด เนื้อดินปั้นจะมีคุณสมบัติขึ้นรูปยากง่าย ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคในช่วงตอนกลาง (intermediate Size Distribution) พื้นที่ผิวของดินเป็นผลจากขนาดใหญ่เล็กของอนุภาคที่มีอยู่

ได้มีการทดลองที่สรุปได้ว่า คุณสมบัติความเหนียวของดินนั้น ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความละเอียดในช่วง Colloidal dimensions คือส่วนที่เล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตร ขณะที่ความละเอียดของส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Refractory Filler) ในเนื้อกระเบื้องจะเป็นตัวกำหนดค่า Fired Mechanical Strength และพฤติกรรมการสุกตัว

ค่าการกระจายความละเอียดของแร่บดและดินนั้น สามารถหาได้จากการ

ประยุกต์สูตรของ Stoke's Law กับ Dispersed Suspension แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องเวลาตามโรงงานจึงนิยมหาความละเอียดโดยตะแกรงร่อน (Sieve-Size) และขนาดที่ใหญ่กว่า colloidal sizes ระยะเวลาการพิจารณาขนาดเล็กกว่า colloid นิยมทำด้วยกรรมวิธีดูดสีซึ่งค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า Modulus of Rupture (MOR) และค่าพื้นที่ผิว

รูปร่างของอนุภาคยังมีส่วนกำหนดสภาพการไหลของน้ำ slip ด้วย ปกติจะใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิด SEM หรือ TEM เมื่อใช้กับดิน สำหรับ nonplastic ที่มีขนาดโตกว่า อาจใช้ optical microscope ก็เพียงพอ

4. Colloid Modifiers

การเติม Humic acid Colloid ที่สกัดจากลิกไนต์แหล่งต่างๆ เพียงเล็กน้อย (ต่ำกว่า 1.0 %) ลงในดินที่ไม่มีอินทรีย์วัตถุ จะช่วยลดความชื้นของสลิปลงอย่างมากโดยที่ค่า pH ไม่เพิ่มขึ้น Effectiveness ของ Humic acid Colloid จากลิกไนต์แหล่งต่างๆ ต่างกันตามความสามารถ ในการลดความเหนียวของสลิป ปกติเมื่อเติม Organic Colloid ค่า Water of Plasticity จะลดลง ขณะที่ค่า Dry Strength จะเพิ่มขึ้น

ความชื้นของสลิปจะลดลงมากสำหรับดินที่เติม Organic เปรียบกับดินที่ไม่มี Organic หลังจากเติม NaOH เท่าๆกัน แต่ที่ว่าหากเติม Organic Colloid มากเกินไป ค่าความชื้นจะกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งเชื่อว่าเป็นเพราะโมเลกุลของน้ำบนด้านที่มีประจุของตัว Organic Colloid ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้

มีสารบางอย่างที่ช่วยทำให้ผงดินหรือผง non-clay กระจายตัวในน้ำได้ดี เกิด stable suspension สารเหล่านี้คือพวก Polycations, Polyanions, Inorganic Anions และ Inorganic Cations ซึ่งมักจะช่วยให้กระจายตัวดีขึ้น หรือกลับกันคือทำให้รวมตัวกันเป็นก้อน สารเหล่านี้อาจปะปนมากับดินโดยเฉพาะในดินเหนียว หรือมีปะปนอยู่ในน้ำซึ่งนำมาใช้งาน หรืออาจมีขึ้นเนื่องจากการตั้งใจเติมลงไปในช่วงการ

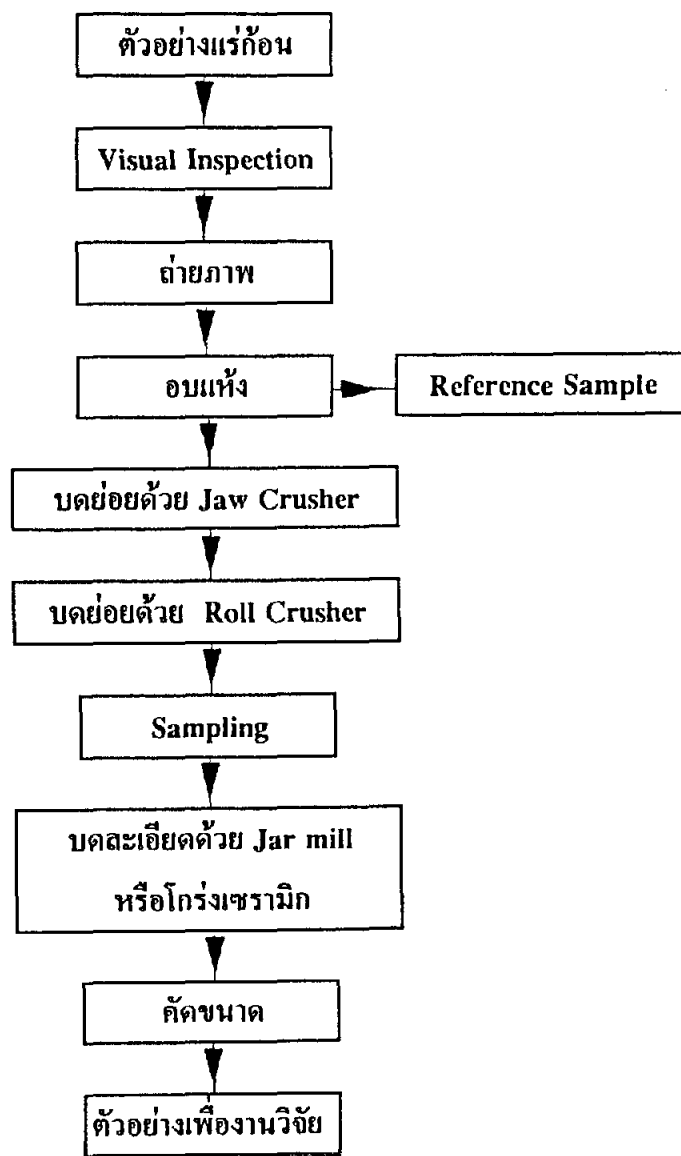
การทดสอบอินทรีย์วัตถุในธรรมชาติมักกระทำโดยการเติมสาร Oxidizing Agent เช่น Hydrogen Peroxide เพื่อเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุไปเป็น H_2O และ CO_2 ขณะเดียวกันอายุการเป็นถ่านหินของอินทรีย์วัตถุที่ปนในดินมีค่าต่างกัน ดินจึงมีปฏิกิริยากับ Alkali Hydroxide ต่างกันไปด้วย จากการทดลองพบว่า ค่า Methylene Blue Adsorption ที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากการย่อยสลายด้วยด่างแล้ว สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกสภาพของอินทรีย์วัตถุที่ปนอยู่ในดินได้

ส่วนเกลือแร่ต่างๆที่ละลายปนอยู่ในน้ำหรือที่ติดมากับดินนั้น ปกติแล้วนิยมวิเคราะห์หาปริมาณด้วยกรรมวิธีในการทดสอบน้ำทั่วไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

ได้ทำการเก็บตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติไชนาสโตนอีก 19 ตัวอย่างจาก 4 อำเภอ ในจังหวัดลำปาง โดยมีแผนภูมิการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิจัยดังรูปที่ 1 คุณสมบัติของตัวอย่างทั้งหลายได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ไว้แล้ว⁽⁴⁾



รูปที่ 1 แผนภูมิการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิจัย

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

ตัวอย่างแร่ ได้รับการบันทึกเกี่ยวกับ สี และลักษณะภายนอกแล้ว จะได้รับการถ่ายภาพแล้วจึงนำไปอบแห้งในเตาอบแร่ ส่วนหนึ่งจะถูกแยกเก็บไว้ เป็น Reference Sample และเพื่อการตรวจสอบทางศิลาวรรณนา แร่ส่วนที่เหลือจะถูกบดย่อยด้วย Jaw Crusher และ Roll Crusher ได้แร่ขนาดเป็นเกล็ดและผง เก็บใส่ถุงไว้ เมื่อจะทำการวิเคราะห์วิจัย ก็นำแร่เกล็ดเหล่านี้ มาทำการ Sampling ให้ได้ปริมาณเท่าที่ต้องการก่อนจะบดละเอียดด้วย โกร่งเซรามิก หรือ Jar mill คัดขนาดด้วยตะแกรงอีกครั้งหนึ่งก่อนใช้เป็นตัวอย่าง เพื่องานวิจัยต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย เริ่มจากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ (characterize) ตัวอย่างไซนาสโตน โดยเริ่มหาผลวิเคราะห์เคมี ส่วนใหญ่ หาด้วย Wet Chemical Analysis ทำการหาปริมาณของ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O และ Loss on Ignition โดยที่ SiO_2 , Al_2O_3 , Loss on Ignition วิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer TiO_2 วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง UV-Spectrophotometer ข้อมูลเสริมเพิ่มเติมของบางตัวอย่างได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence

ผลวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ได้จากการหาปริมาณธาตุคาร์บอนเป็น % ในตัวอย่างแร่ ด้วยเครื่อง CO_2 Coulometer แสดงผลเป็น % Inorganic Carbon, % Organic Carbon และ % Total Carbon วิธีการโดยละเอียดได้ตีพิมพ์ไว้แล้ว (15)

การศึกษาวิทยาแร่ ใช้เครื่อง X-ray Diffractometer หลอดที่ใช้เป็น $\text{Co K}\alpha$ ร่วมกับ Fe filter หาส่วนประกอบของแร่ชนิดต่างๆ ที่ 30 kV และ 30 mA

การศึกษาศิลาวรรณนา ได้ทำการจำแนก ชนิดหิน (Name) ลักษณะเนื้อหิน (Rock forming Minerals) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ชนิด โพลาริซ มีชื่อ Carlzeiss model 467058-9903

การศึกษา Soluble Salts ของไซนาสโตน บดละเอียด โดยนำมาผานในน้ำ นำ Filtrate มาหาค่า pH, Conductivity, ค่า Total Alkalinity, Total Hardness, ปริมาณ Chloride, Sulfate, Calcium และ Magnesium

การทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อนนั้น เตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นทรงกระบอกเล็กๆ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 2.0 เซนติเมตร ทำการวัดการขยายตัวด้วยเครื่อง Dilatometer มีชื่อ Adamel model DI20 ศึกษาระหว่างอุณหภูมิห้อง ถึง 1000°C plot ออกมาเป็น graph แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาว

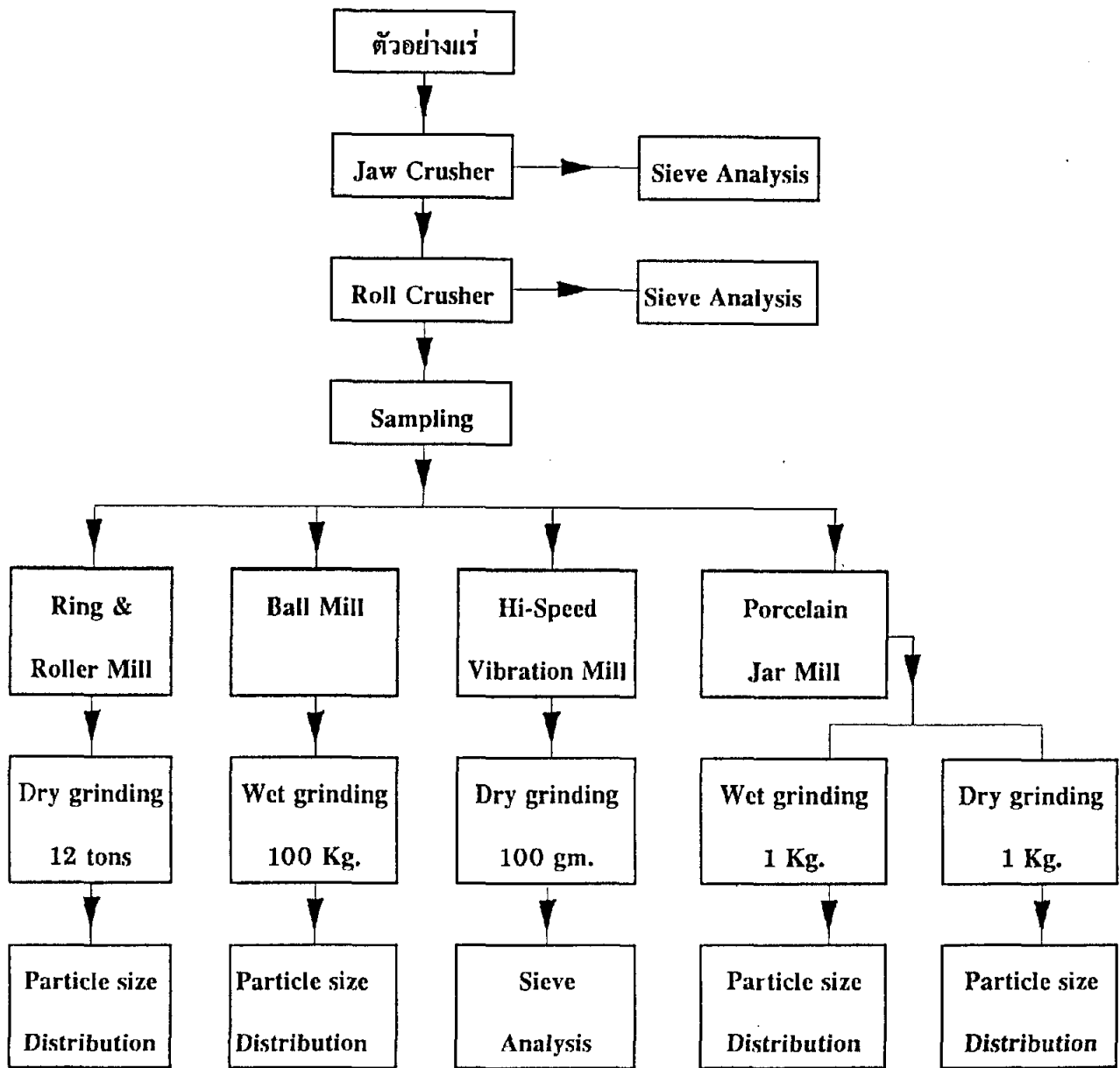
ของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเผา ณ อุณหภูมิต่างๆ

ในการหาคุณสมบัติเซรามิก ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติ การหล่อ (Casting) และ คุณสมบัติหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้โซนาสโตน ผง ขนาด-150 เมช ขึ้นรูปด้วยการอัด ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาดความดัน 200 Kg/cm^2 (3000 psi) เป็นระยะเวลา 10 วินาที ใช้ตัวอย่าง 28 กรัม ได้เป็นตัวอย่างขนาดศูนย์กลาง 5.72 เซนติเมตร หนา 0.74 เซนติเมตร เมื่ออบแห้งสนิทที่ 110°C แล้ว ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดเมื่อแห้ง ก่อนนำเข้าเตาเผาแบบ Gradient Furnace ซึ่งมี 6 ช่องเผาอุณหภูมิสูงสุด 1300°C เตาเป็นของบริษัท Kiln and Furnaces จำกัด Serial no.04235 ใช้ Controller Yamatake Honeywell เเผาเป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสูงสุด 1245°C ตัวอย่าง ที่ได้หลังการเผามีการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเพื่อหาการหดตัว (Shrinkage) การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และ ค่าน้ำหนักที่สูญหาย (Loss on Ignition) ที่อุณหภูมิต่างๆ นำ มา Plot อยู่ในกราฟแผ่นเดียวกัน หลังจากนั้นจึงทำการถ่ายภาพ

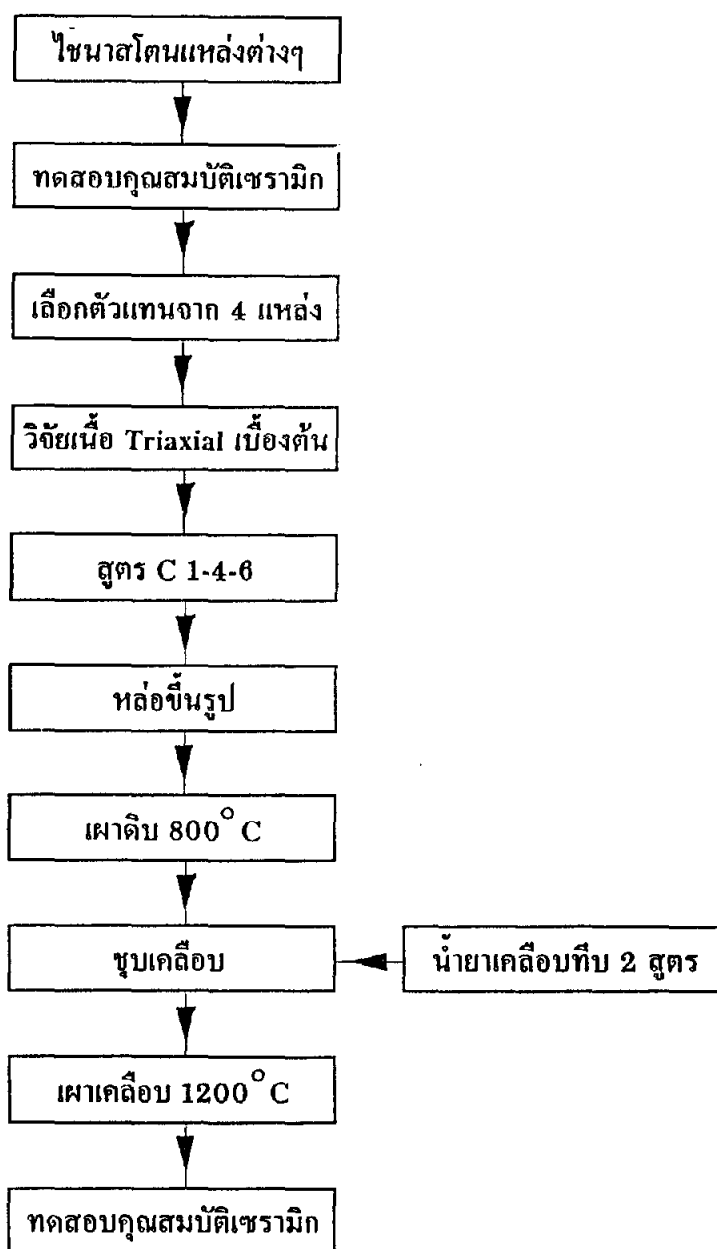
การวัดสีภายหลังเผา ทำโดยเครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter CR-200b วัดในระบบ $L^*a^*b^*$ Color System โดย L^* เป็นค่า Lightness variable a^* และ b^* เป็นค่า Chromaticity coordinates รายละเอียดทฤษฎีการวัดสี บรรจุอยู่ในภาคผนวกที่ 2⁽⁴⁾

ในด้านการแต่งแร่ ได้บรรจุผลการบดโซนาสโตน ทั้งการบดด้วยบอลมิล ทั้งแบบเปียก และแบบแห้ง ที่เวลาต่างกัน รวมทั้งการทดลองบดขนาดใหญ่ ด้วยเครื่องบด Raymond Roller Mill ผลการบด ตรวจสอบการกระจายความละเอียดของอนุภาคด้วยเครื่องหา Particle Size Distribution ชนิด Micromeritics Sedigraph 5000 D ทำการวัดค่า Median และ Modal diameters ปริมาณสารที่ช่วงขนาดต่างๆ ระหว่าง 0.5-125 ไมโครเมตร Plot เป็นกราฟ

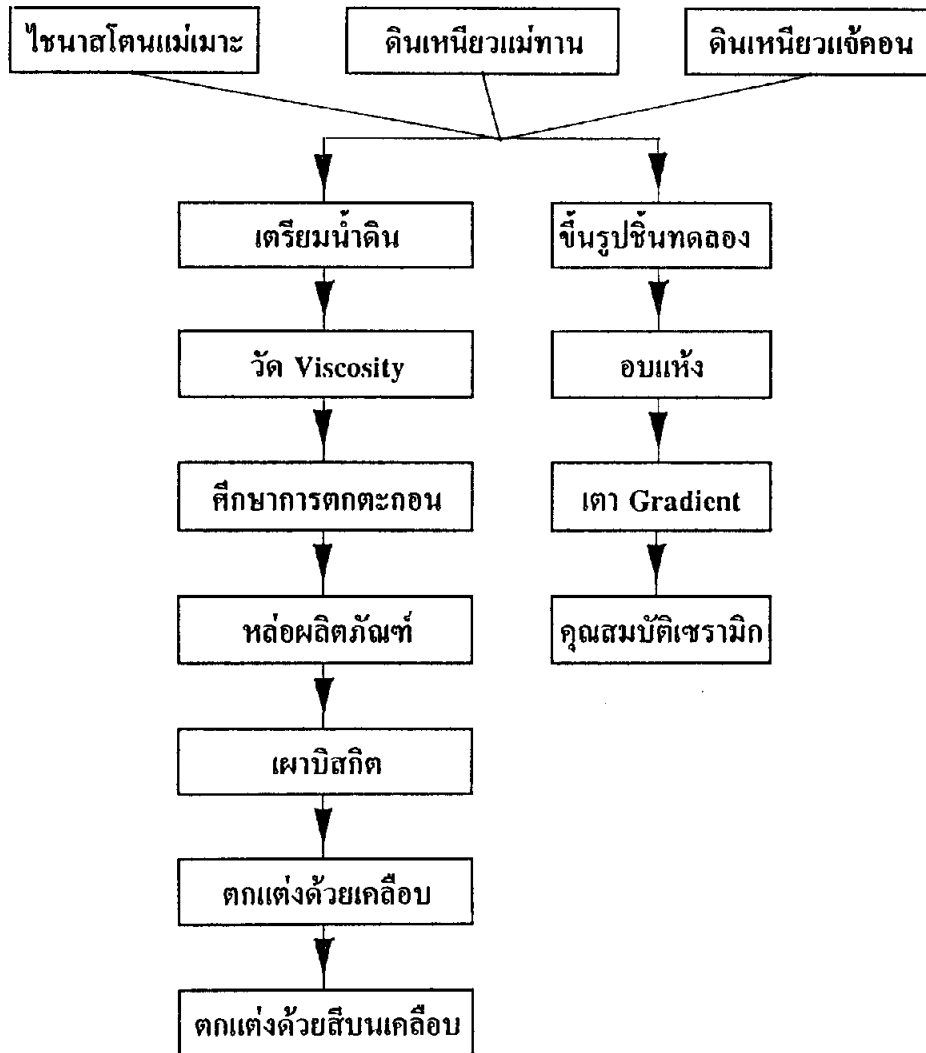
รูปที่ 2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการวิจัยการแต่งแร่และการบดแร่ โดยเริ่มศึกษาผลการบดแร่ที่ได้จากการย่อยด้วย Jaw Crusher และ Roll Crusher ด้วย sieve analysis การศึกษาความละเอียดของอนุภาคของแร่ที่บดด้วย Porcelain Jar Mill และ Ball Mill ชนิดแห้งและชนิดเปียก รวมทั้งความละเอียดที่ได้จาก Hi-Speed Vibration Mill รูปที่ 3 แสดงแผนภาพการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ ตุ๊กตาเซรามิก รูปที่ 5 เกี่ยวกับกระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสก รูปที่ 6 เป็นขั้นตอนของ Hard Porcelain ขณะที่รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการใช้โซนาสโตนในเนื้อสุกภัณฑ์



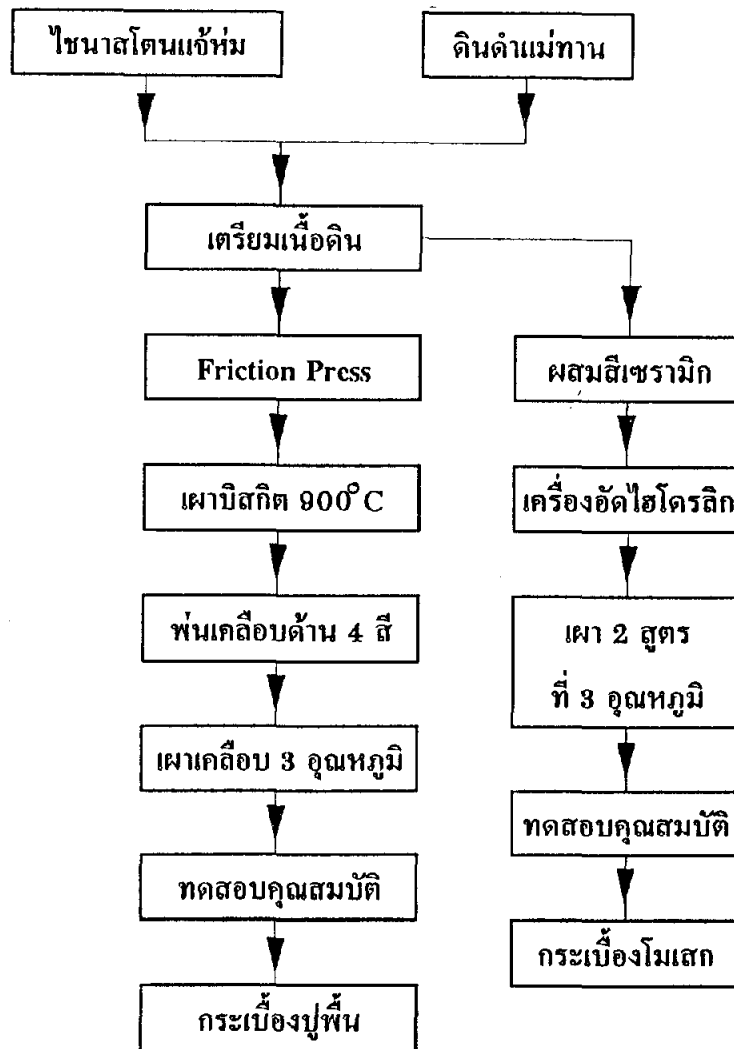
รูปที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัยการแต่งแร่และการบดแร่



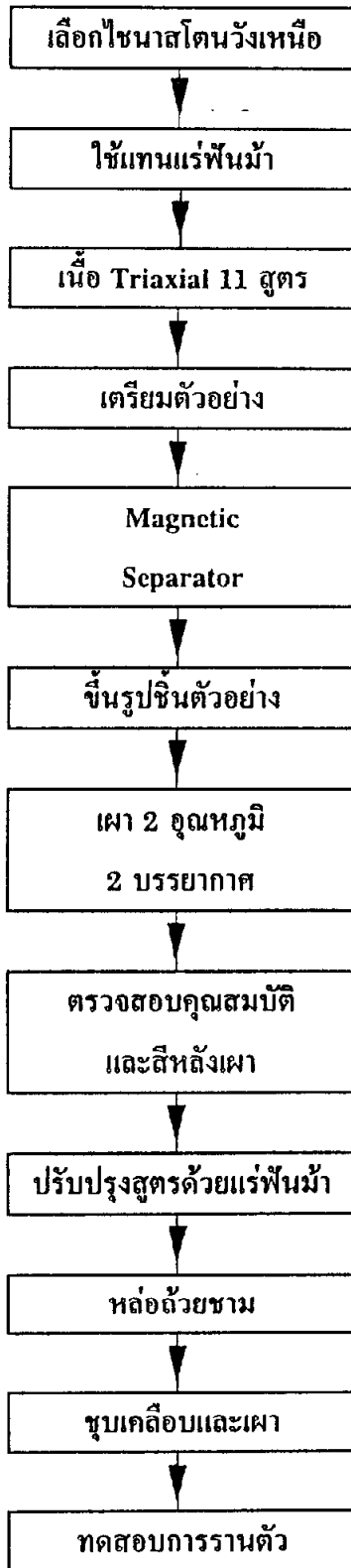
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์



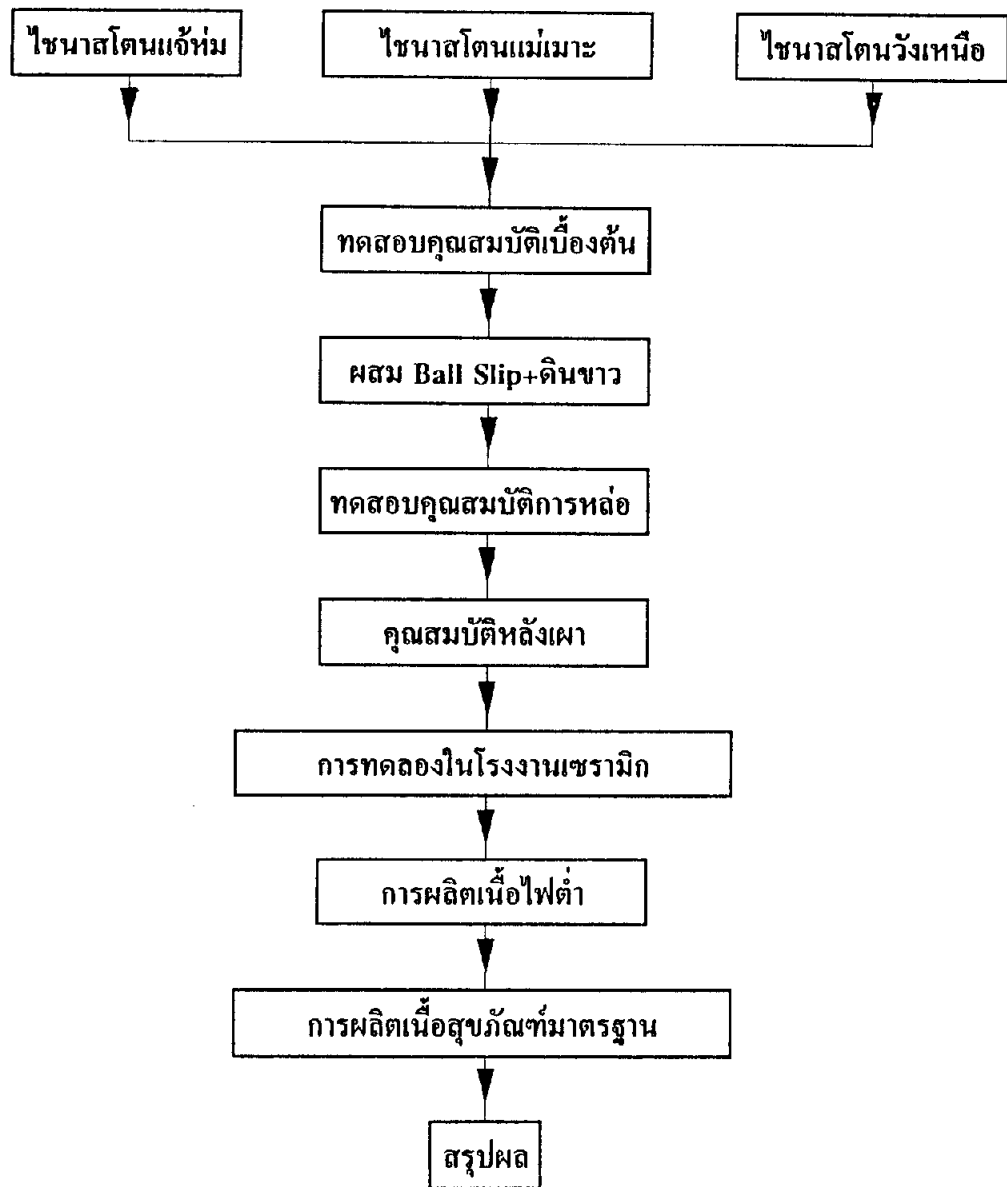
รูปที่ 4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิก



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสก



รูปที่ 8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ Hard Porcelain



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการพัฒนาใช้ในเนื้อสุกภัณฑ์

3.3 คุณสมบัติของไชนาสโตนแหล่งที่ใช้ในการวิจัย^(๔)

ไชนาสโตน หมายถึงวัตถุดิบในธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ผลิตเซรามิกเนื้อปอร์สเลนหรือสโตนแวร์ได้ ค่านิยามไม่มีข้อจำกัดด้านวิทยาแร่ แต่มักประกอบด้วย ควอร์ตซ์ ดินขาว แร่ฟันม้า และไมกา เป็นส่วนใหญ่ ในอังกฤษมีแร่เรียก Cornwall stone ซึ่งนิยมใช้แทนเฟลด์สปาร์ในการทำเนื้อและน้ำยาเคลือบ ในจีนและญี่ปุ่น ไชนาสโตนมีเฟลด์สปาร์ปนน้อย นิยมนำมาใช้ทำเนื้อปอร์สเลน ถ้วยชาม และสุขภัณฑ์ เป็นการใช้แทนดินขาวและทราย ไชนาสโตนที่พบในประเทศไทย หมายถึงแร่ธรรมชาติที่มีลักษณะคล้ายดิน มีสีขาวถึงน้ำตาลอ่อน เมื่อเผาถึงจุดสุกตัว (1200-1280 °C) จะจับตัวแน่น แข็งคล้ายกระเบื้อง สีหลังเผาที่ได้จะแตกต่างกันไปตั้งแต่สีอ่อนจนถึงสีเข้ม ขึ้นกับสิ่งเจือปน ทางเซรามิกนิยมใช้แร่ที่เผาแล้วให้สีอ่อน แหล่งแร่ที่มีคุณสมบัติเป็นไชนาสโตนในประเทศไทย ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมากที่สุดคือ แหล่งแร่ดินขาวปฐมภูมิต่างๆในจังหวัดลำปาง ทั้งชนิดที่เป็นหินแข็ง ดินขาวผุ่วนหรือดินขาวที่ผ่านการล้างและคัดขนาดแล้ว แหล่งแร่อื่นๆ คือ ดินขาว อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี ดินขาว จ.กาญจนบุรี ดินขาว อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี ไรโอไลต์ จ.ลพบุรี และดินขาว จ.อุดรดิตถ์ โดยภาพรวมแหล่งไชนาสโตนของ จ.ลำปาง มีกำเนิดจากหินไรโอไลต์แทรกซอน (Intrusive Rhyolite) ดินแทรกหินกลุ่มลำปางยุคไทรแอสซิกในบริเวณแอ่ง สบปราบ-ลำปาง-แจ้ห่มนั้น ชั้นหินของกลุ่มหินลำปางมีหินทรายแดงและหินปูนอยู่อย่างละ 2 ชุด เรียงลำดับจากล่างขึ้นไปบน คือหินทรายแดงชุดพระธาตุ หินปูนชุดผาก้าน หินโคลนชุดช่องหอย หินปูนชุดดอยหลวงและหินทรายแดงชุดผาแดงโดยมีอายุระหว่าง Early Triassic ถึง Early Late Triassic (middle Carnian) แหล่งไชนาสโตน พบหลายแห่ง ตั้งแต่ อ.เถิน อ.เสริมงาม อ.เกาะคา อ.เมือง อ.แม่เมาะ อ.แจ้ห่ม อ.งาว และ อ.วังเหนือ

1. ไชนาสโตน ในบริเวณบ้านแม่ต้า ต.เสริมชัย อ.เสริมงาม เป็นหินไรโอไลต์แทรกซอนแบบฉบับเขาปางค่า มีปริมาณสารองไม้น้อยกว่า 12 ล้านเมตริกตัน ตัวอย่างแร่ที่นำมาวิจัยมีทั้งชนิดเนื้อแน่นแข็ง (เนื้อหิน) และชนิดดินผุ ประกอบด้วยแร่ ควอร์ตซ์ แอลไบต์ และไมกา มีปริมาณคาร์บอนน้อยมาก แร่ชนิดก้อนแข็งมีจุดสุกตัวต่ำกว่าและมีสีคล้ำกว่าแร่ชนิดดินผุ สีที่ได้หลังการเผาอยู่ระหว่างสีฟางอ่อนถึงสีเทาเข้ม
2. ไชนาสโตน ในบริเวณบ้านป่าหนั่ง ต.ทุ่งฮั่ว อ.วังเหนือ เกิดจากหินไรโอไลต์แทรกซอนขึ้นมาตามแนวสัมผัสของหินดินดานและหินปูนของกลุ่มหินราชบุรี การผุเป็นดินขาวแสดงถึงอิทธิพลของกระบวนการแปรเปลี่ยนโดยก๊าซร้อนหรือน้ำร้อน

มีปริมาณสำรองดินขาว 130,000 เมตริกตัน ส่วนประกอบของไชนาสโตน คือ แอลไบต์ ควออร์ตซ์ ไมกา และ เคโอลิไนต์ มีบางตัวอย่างที่มีไมโครไคลน์แทน แอลไบต์ ปริมาณคาร์บอนพบน้อยมาก ส่วนที่เป็นดินผุมีการนำมาล้างคัดขนาด จำหน่ายเป็นดินขาวล้าง ส่วนที่เป็นหิน สามารถใช้แทนแร่ฟันม้าได้ เพราะมีจุดสุกตัวต่ำ ปัจจุบันมีการเปิดเหมือง 1 แห่ง และโรงล้างดิน 2 โรง

3. แหล่งบ้านสาพะ อ.แจ้ห่ม เป็นแหล่งหินไรโอไลต์ เช่นเดียวกัน มีทั้งส่วนที่เป็น หินแข็งและส่วนที่ผุร่วนมีการเปิดเหมืองและโรงล้างดิน 1 แห่ง แร่ก้อนแข็ง ประกอบด้วยแอลไบต์ ไมโครไคลน์ ควออร์ตซ์ ไมกา และเคโอลิไนต์เล็กน้อย ขณะที่แร่ผุจะมีเคโอลิไนต์เพิ่มขึ้น สามารถจำแนกชนิดของหินได้เป็น Micro-pegmatite (aplite) เมื่อนำมาเผา มีจุดสุกตัวที่ราว 1200° C สามารถนำมาใช้แทนแร่เฟลด์สปาร์ได้
4. แหล่ง ต.บ้านดง อ.แม่เมาะ ยังไม่มีการเปิดเหมือง แร่มีลักษณะเป็นก้อนแข็ง สามารถจำแนกชนิดหินได้เป็น Micro-pegmatite (aplite) เช่นเดียวกับแร่ ก้อนแข็งของแหล่งบ้านสาพะ อ.แจ้ห่ม แร่มีความสม่ำเสมอ เมื่อนำมาเผา มีจุดสุกตัวราว 1200° C และมีสีอ่อน สามารถนำมาใช้แทนแร่เฟลด์สปาร์ และใช้ทำ เฟอร์เรบรองได้

ผลการทดสอบ thermal expansion เบื้องต้น พบว่าในช่วงอุณหภูมิ $600-1000^{\circ}$ C ดินขาวล้างลำปางมีค่าการขยายตัวสูงกว่าไชนาสโตนจากแหล่งบ้านแม่ต้า ขณะที่ตัวอย่างแร่ จากบ้านสาพะ อ.แจ้ห่ม และบ้านดง อ.แม่เมาะ มีค่าการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ไล่เลี่ยกันและน้อยกว่าแหล่งบ้านแม่ต้า

สีภายหลังการเผาของตัวอย่างแร่จากทุกแหล่ง มีความแตกต่างกันขึ้นกับจุดที่มีสิ่งเจือปนเล็กน้อย แต่โดยทั่วไปแล้วแร่ใน จ.ลำปางให้สีอ่อนปานกลาง สามารถจำแนกในการทำเหมืองและสามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิกได้โดยไม่ยุ่งยาก

ได้มีการทดลองวัด Solubility ของแร่ละเอียดซึ่งเกิดจากการบดทั้งแบบเปียกและแบบแห้งพบว่าแร่จาก ต.สาพะอ.แจ้ห่ม มี Solubility มากกว่าแร่จากบ้านดง อ.แม่เมาะ เล็กน้อย และระดับ Soluble Salts ที่วัดได้นับว่าน้อยมากซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการนำแร่ละเอียดมาใช้งานแต่อย่างใด

ไชนาสโตนชนิดเป็นก้อนแข็งจากแหล่งต่างๆมักมี % SiO_2 สูง และ Al_2O_3 ต่ำ ส่วนผล การสุกตัวหากมี % K_2O และ Na_2O สูงจะมีอุณหภูมิสุกตัวต่ำ แร่เหล่านี้หากเป็นชนิดที่พุ่มาก

หรือล้างเป็นดินขาว จะมี $\times \text{Na}_2\text{O}$ และ SiO_2 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ขณะที่ Al_2O_3 จะมีเพิ่มขึ้น คือเฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่จะกลายเป็นดินขาวขณะที่ K_2O ที่ยังเหลืออยู่นั้นเป็นส่วนที่อยู่ในไมกา เมื่อเปรียบเทียบกับหินลำปางชนิดที่หลอมตัวดีกับเฟลด์สปาร์ชนิดโซเดียม พบว่าหินลำปางมีผลวิเคราะห์ SiO_2 สูงกว่า แต่มี Al_2O_3 และผลรวมของ $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ต่ำกว่าเฟลด์สปาร์ แสดงว่าแร่มีควอร์ตซ์อิสระปนมากกว่า ค่า LOI ของหินลำปางบ่งถึงมีแร่เคลโอลิไนต์ปนอยู่ด้วย ขณะที่ LOI ในเฟลด์สปาร์ปกติมีค่าน้อยมากและค่าที่มีมักแสดงถึงปริมาณของคาร์บอนเนตที่มีในแร่

4. การแต่งแร่ไชนาสโตน

ไชนาสโตนในประเทศไทยมีการทำเหมืองเช่นเดียวกับการผลิตดินขาว ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.3 เรื่องการทำเหมืองไชนาสโตน ปัจจุบันจะมีการเตรียมการแต่งแร่ก่อนส่งจำหน่ายเป็น 3 ลักษณะซึ่งอาจจะทำในบริเวณเหมือง หรือภายหลังจากการขนย้ายมายังโรงแต่งแร่ ดังนี้

1. สำหรับแร่ที่มีลักษณะเป็นหินค่อนข้างแข็งและคมเมื่อทำการระเบิดแร่แล้ว จะใช้รถตักไปกองไว้ แล้วใช้คนทุบด้วยฆ้อนปอนด์ แร่จะแตกตัวค่อนข้างง่าย ทำการคัดเลือกชั้นกับสีของแต่ละแหล่ง แยกออกมาเป็นแร่ที่มีเนื้อออกสีแดง แร่สีเทาอมเขียว แร่ค่อนข้างขาว แร่ลายผักชี และแร่ที่มีคราบสนิมติด เป็นต้น และให้มีขนาดต่ำกว่า 6" ตั้งกองไว้อาจแยกเป็นเกรด A, B หรือ C เพื่อขนขึ้นรถจำหน่ายในลักษณะแร่ก้อน ซึ่งผ่านการทุบคัดเลือก มีคุณภาพสม่ำเสมอ

2. สำหรับแร่จากแหล่งที่มีลักษณะผุ คือมีทั้งอยู่ในรูปของหินก้อนเล็กปนแร่ละเอียดหรือในรูปหินกรอบปนดินด้วยนั้นนิยมแยกคัดตามสีภายนอก นำมากองตากแดดไว้ ภายหลังจากนำเข้าโรงแต่งแร่ ซึ่งจะนำมาบดด้วย Jaw Crusher และหรือ Hammer Mill เพื่อให้ได้รามีขนาดละเอียด -5 มิลลิเมตร กองไว้เพื่อส่งจำหน่าย เป็นแร่บดพร้อมใช้สำหรับโรงงานเซรามิกต่างๆ

3. การบดละเอียดแร่จากข้อ 1 หรือ 2 ข้างบนโดยระบบแห้งให้มีขนาดละเอียด -200 เมช หรือ -325 เมช บรรจุกอง คล้ายเฟลด์สปาร์กองจำหน่าย ซึ่งโรงบดแร่ในปัจจุบันมักจะใช้เครื่อง Jaw Crusher, Roll Crusher ผ่านเครื่องจับเศษเหล็ก เข้าสู่ตะแกรง篩คัดขนาด แร่เล็กกว่า 4 เมช จะถูกป้อนด้วยเครื่อง篩เข้าสู่เครื่องบดชนิด Roller Mill ซึ่งมี whizzler blade เป็นใบพัดคัดขนาด ยอมให้อนภาคแร่ที่มีขนาดเล็กกว่ากำหนดเท่านั้นผ่านไปสู่ไซโคลนเก็บแร่ ขณะที่ส่วนละเอียดที่สุดจะถูกเก็บไว้ใน Bag filter โรงแต่งแร่ระบบแห้งเหล่านี้จะมีการติดตั้งเครื่องดูดฝุ่นแร่ละเอียดที่จุดต่างๆใน process ด้วยเสมอ

เนื่องจากการบดแร่และความละเอียดของไชนาสโตนเป็นหัวใจสำคัญของการแต่งแร่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยชุดนี้จึงได้ทำการศึกษา รูปแบบการบดชนิดต่างๆที่นิยมใช้กันกับตัวอย่างแร่จากแหล่งต่างๆซึ่งเห็นว่าเหมาะสม การวิจัยจึงได้ศึกษาผลการบดแร่กับเครื่อง Jaw Crusher, Roll Crusher, Jar mill แบบแห้งและแบบเปียก และ Hi-Speed

Vibration mill ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งผลการบดด้วย Roller Mill ในระดับอุตสาหกรรมด้วยซึ่งได้ผลดังนี้

4.1 การบดด้วย Jaw Crusher และ Roll Crusher

เครื่องมือที่ใช้เป็นขนาดที่นิยมสำหรับห้องปฏิบัติการทั่วไป เป็นเครื่องที่ผลิตในประเทศ จากโรงงานของ อาจารย์วรวุฒิ เกษไพบูลย์ ขนาดปากจอบ 8x8 นิ้ว และ Roll มีขนาด ลูกกลิ้ง 8x10 นิ้ว แร่ที่นำมาทดสอบ เป็นไซนาสโตนก้อนแข็งจากแหล่งแม่เมาะ ตัวอย่าง ม1 รายละเอียดของแหล่งอยู่ในรายงานฉบับที่ 1 นำแร่ก้อนขนาด 6" มาผ่าน Jaw Crusher 2 ครั้ง นำแร่ที่ย่อยแต่ละครั้งมาทำ Sieve Analysis เช่นเดียวกันนำแร่ที่ผ่าน Jaw Crusher 1 ครั้งมาผ่าน Roll Crusher 1 ครั้งและ 3 ครั้ง นำแร่ย่อยแล้วมาทำ Sieve Analysis ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5 Sieve Analysis ของแร่หลังการบดด้วย Jaw Crusher

ขนาดตะแกรง (เมช)	บดครั้งที่ 1 (%)	บดซ้ำครั้งที่ 2 (%)
+8	78.135	72.474
-8+40	13.578	16.970
-40+80	1.644	2.668
-80+100	0.508	0.781
-100+200	1.753	2.237
-200	4.382	4.870

ตารางที่ 6 Sieve Analysis ของแร่หลังการบดด้วย Roll Crusher

ขนาดตะแกรง (เมช)	บดครั้งที่ 1 (%)	บดซ้ำครั้งที่ 3 (%)
+8	45.176	18.034
-8+40	33.667	48.330
-40+80	5.705	9.256
-80+100	2.048	3.504
-100+200	4.206	6.394
-200	9.198	14.482

จากผล Sieve Analysis จะเห็นได้ว่าเครื่องบดทั้ง Jaw Crusher และ Roll Crusher ที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการสามารถบดแร่ได้ขนาดละเอียดมาก ขณะเดียวกันไชนาสโตนก็มีความกรอบและบดได้ง่าย การใช้ Jaw Crusher บดซ้ำจะทำให้แร่กรอบมากขึ้น และลดความสึกหรอของผิว Roll Crusher การบดซ้ำ 3 ครั้งใน Roll Crusher จะได้แร่ที่ละเอียดมากขึ้น สอดคล้องกับการจะป้อนเข้าสู่เครื่องบดละเอียดในขั้นตอนต่อไป

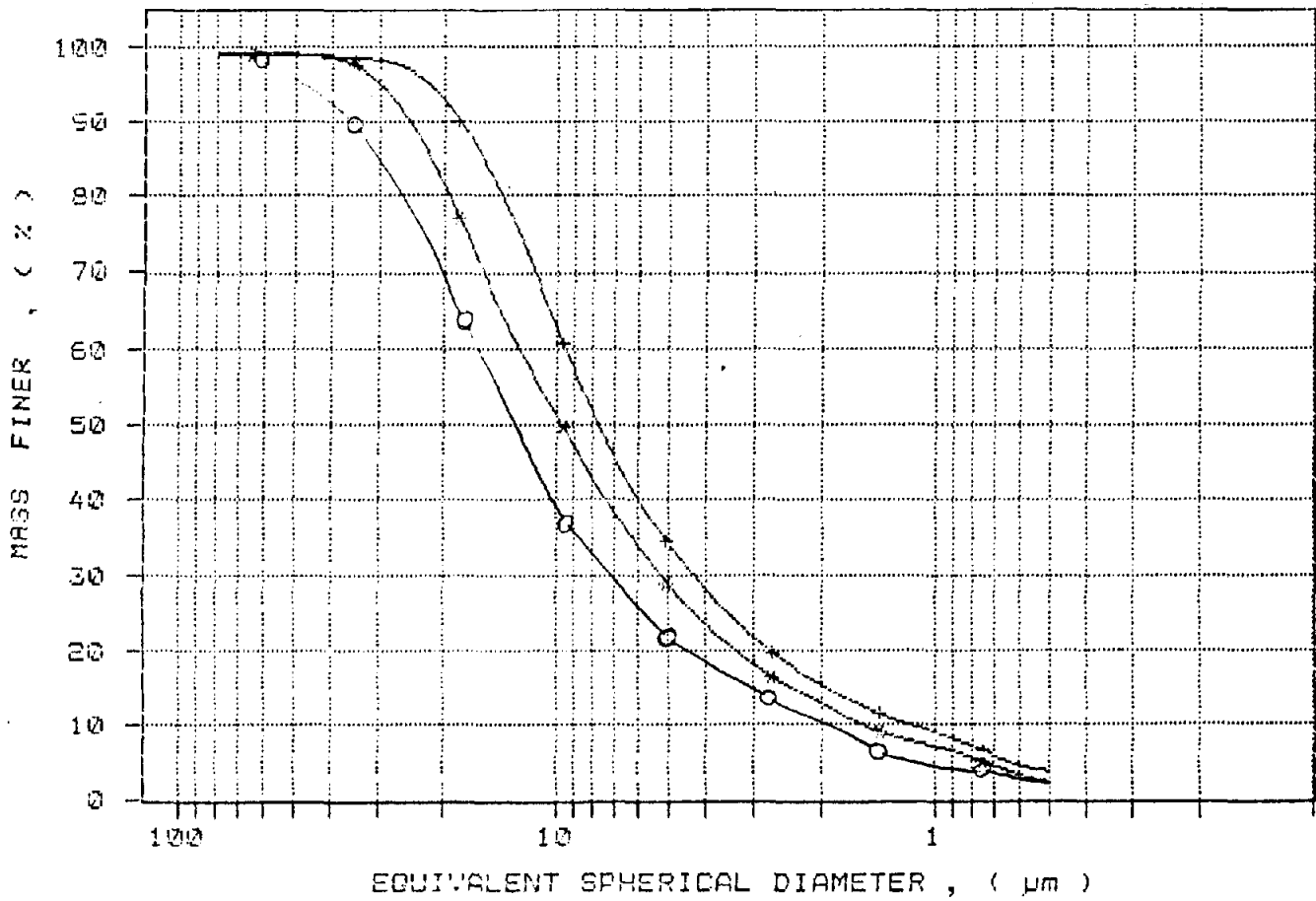
4.2 การบดแร่ด้วย Porcelain Jar Mill และ Ball Mill

ทำการบดละเอียดแร่ เพื่อนำไปใช้กับงานวิจัยเบื้องต้นในหัวข้อ 10 เรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ Vitreous China ด้วยการนำไชนาสโตนแหล่งแม่เมาะ (ม1) มาทำการบดแบบเปียกและแบบแห้ง และนำไชนาสโตนแหล่งแจ้ห่ม (จ2) มาบดแบบเปียก

การบดเปียกใน porcelain jar mill ใช้ลูกบดปอร์สเลนหนัก 2.5 กิโลกรัม วัสดุที่ต้องการบด 1 กิโลกรัม เติมน้ำ 1000 มิลลิลิตร ใช้เวลาบด 6 ชั่วโมง การบดแห้งใช้เวลาและวัสดุเช่นเดียวกัน หากแต่ไม่เติมน้ำ รูปที่ 8 กราฟแสดงความละเอียดของอนุภาคที่ได้จากการบด แร่บดเปียกมีความละเอียดกว่าแร่บดแห้งมาก ขณะที่แร่จากแหล่ง อ.แม่เมาะ บดเปียกได้ละเอียดกว่าแร่จากแหล่ง อ.แจ้ห่ม รูปที่ 9 เปรียบเทียบความละเอียดของอนุภาคไชนาสโตน อ.วังเหนือ บด 2 ชั่วโมง กับไชนาสโตน อ.แจ้ห่ม บด 3 ชั่วโมง ใน ball mill แบบเปียกขนาดบรรจุ 100 กิโลกรัม

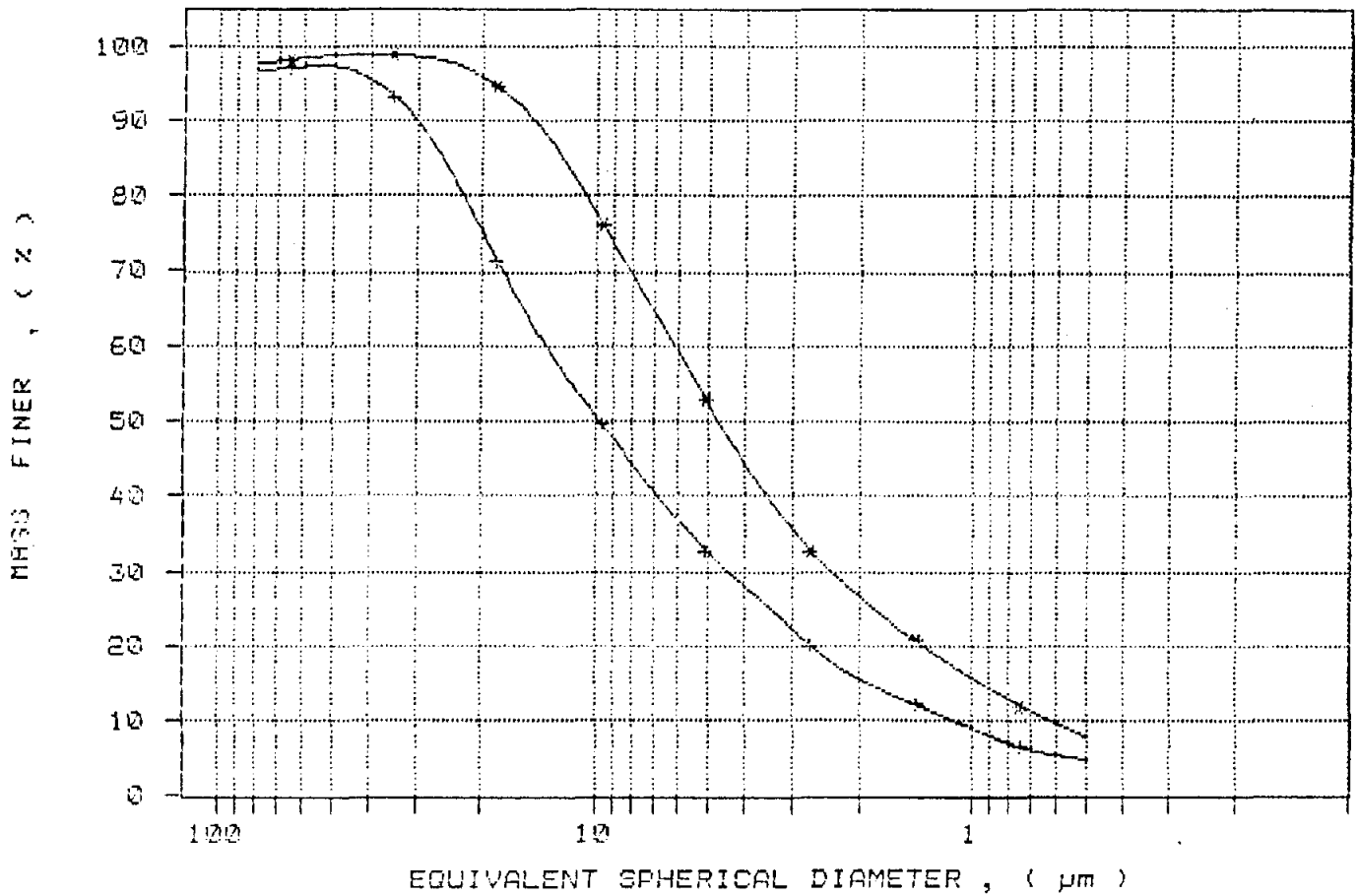
CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER

- + 137 C 17 (CHINA STONE-MAE MOA , WET MILLED)
 * 138 C 10 (CHINA STONE-KHUN CHOD , WET MILLED)
 O C 17 DRY MILLED



รูปที่ 8 แสดงความละเอียดของหินสโตนที่บดด้วย Jar Mill แบบเปียกและแบบแห้ง

CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER
 + 162 CHINA STONE (WANG NUA), WET MILL 2 HR.
 * 163 CHINA STONE (KHUN CHOD), WET MILL 3 HR.



รูปที่ 9 เปรียบเทียบความละเอียดของหินสโตนเมื่อบดเปียกใน Ball Mill

4.3 การบดแร่ด้วย Hi-Speed Vibration Mill

Hi-Speed Vibration Mill เป็นเครื่องบดละเอียดแร่ขนาดครึ่งละ 100 กรัม หม้อบดทำด้วยปอร์สเลนคล้ายกระปุกตั้งฉ่าย มีลูกบดอยู่ภายใน ตั้งอยู่บนแท่นซึ่งทำการบดด้วยการหมุนสายรอบแกนในแนวตั้งด้วยความเร็ว 240 รอบต่อนาที ใช้บดตัวอย่างแร่ต่างๆให้ละเอียดโดยใช้เวลาน้อย

ได้นำไซนาสโตน จาก อ.แม่เมาะ มาทำการบด ใช้เวลาบด 10 นาที แร่ที่บดผ่านการคัดขนาดหลังการบดด้วย Roll Crusher โดยแยกเป็น +40 เมช, -40+80 เมช, -80+120 เมช และแร่รวมที่มีได้แยกขนาดผล Sieve Analysis หลังทำการบดแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 Sieve Analysis ของแร่บดขนาดต่างๆภายหลังการบดด้วย Hi-Speed Vibration Mill

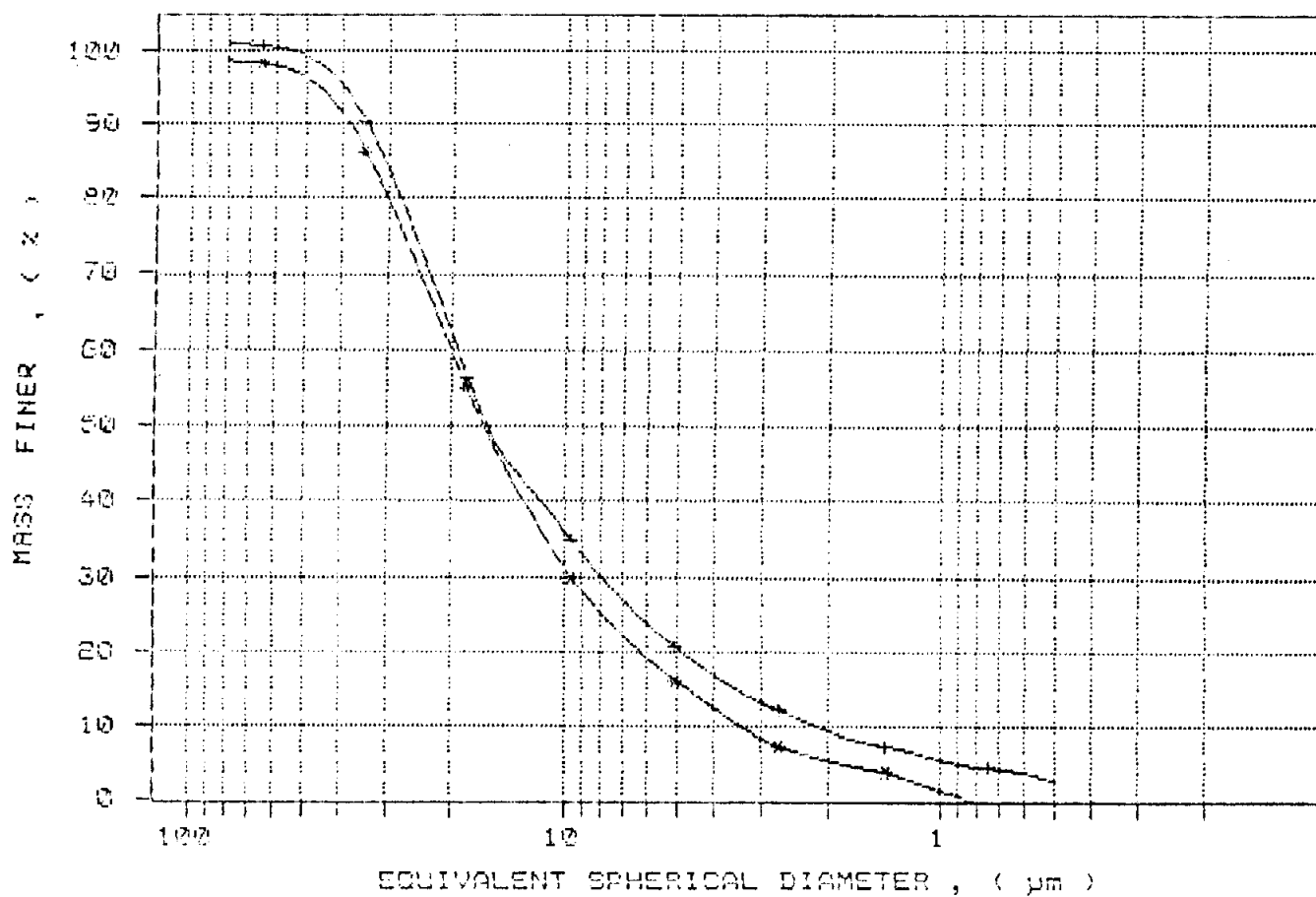
ตะแกรง (เมช)	แร่รวม %	+40 เมช %	-40+80 เมช %	-80+120 เมช %
+40	0.008	-	-	-
-40+80	0.020	0.003	0.005	-
-80+120	0.080	0.025	0.029	0.066
-120+200	0.290	0.085	0.097	0.108
-200+325	3.461	3.086	2.793	2.242
-325	96.133	96.801	97.076	97.584

จะเห็นได้ว่าการบดตัวอย่างด้วยเครื่อง Hi-Speed ชนิดนี้ ภายใน 10 นาที สามารถบดแร่เกรดรวมได้ เหลือกากค้างตะแกรง ขนาด +325 น้อยกว่า 4 % โดยแทบไม่จำเป็นต้องคัดขนาดแร่ด้วยตะแกรงระหว่าง 40 ถึง 120 เมช

4.4 การบดละเอียดด้วย Ring and Roller Mill

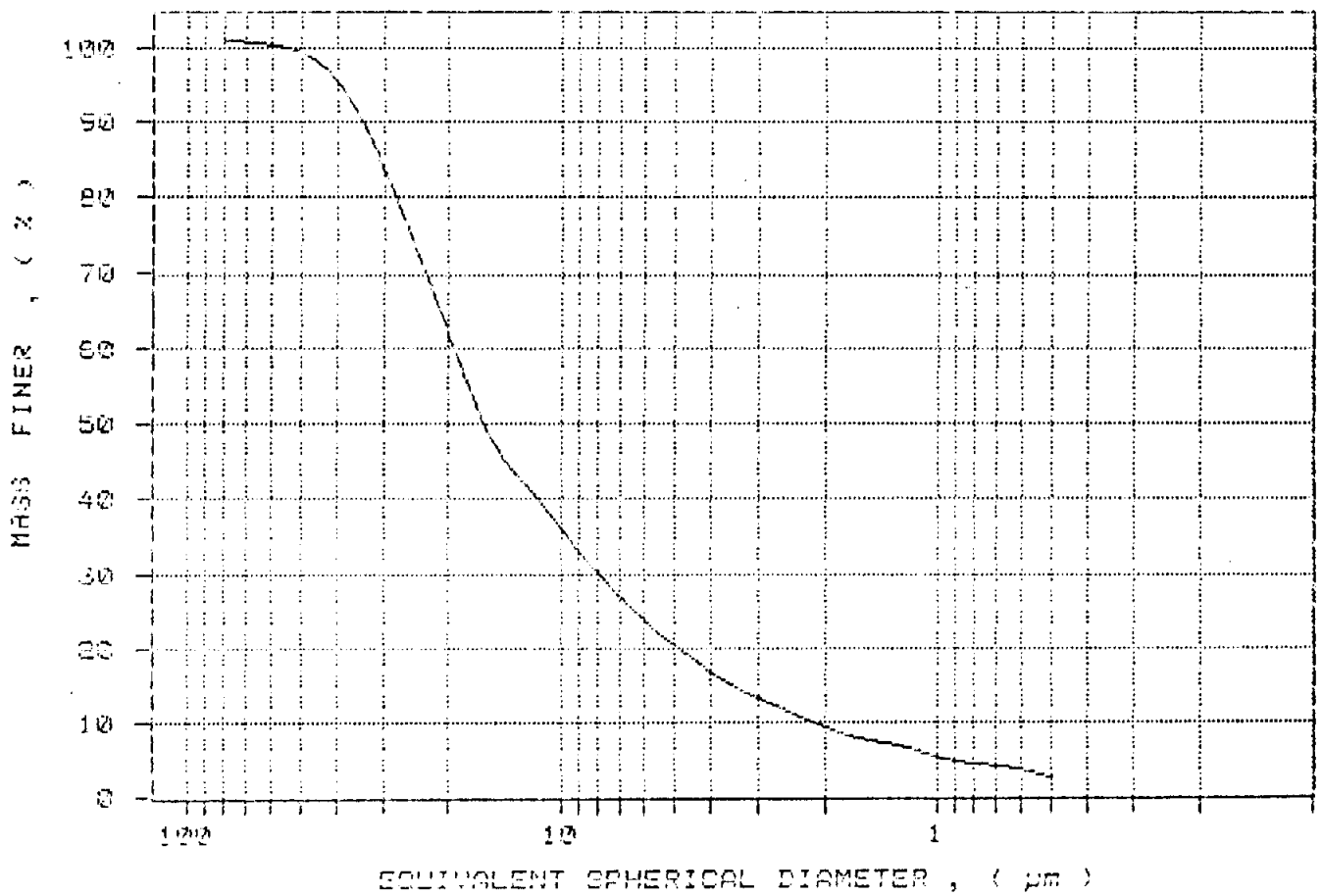
ตัวอย่างไชนาสโตนจากเหมืองแร่เบญจพร บ้านป่าแห้ง ต.วังแก้ว อ.วังเหนือ จ.ลำปาง ได้รับการทดสอบ บดละเอียดแบบแห้งด้วย เครื่องบดชนิด Ring and Roller Mill ที่ โรงบดของบริษัทเคลย์ แอนด์ มิเนอรัลส์(ประเทศไทย) ที่ อ.คอนคม จ.นครปฐม ทำการบดขนาด 20 ตัน โดยผ่าน Jaw Crusher, Roll Crusher และ Ring & Roller Mill แล้วผ่านการคัดขนาด และบรรจุในถุงพร้อมจำหน่าย รูปที่ 10 แสดงกราฟการกระจายความละเอียดของอนุภาคไชนาสโตนเปรียบเทียบกับเฟลด์สปาร์บดจากเครื่องบดชนิดเดียวกัน รูปที่ 11 แสดง % Mass Finer กับขนาดอนุภาคขณะที่รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Population กับ Diameter ไชนาสโตนที่บดในโรงแต่งแร่ครั้งนี้วัดขนาด Median diameter = 16.17 ไมโครเมตร และ Modal diameter มีขนาด 19.86 ไมโครเมตร ดังปรากฏในตารางที่ 8

CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER
 + 87 CERAFLUX - WL1 (DRY MILL IN BANGLÉN)
 * 73 STD. SPAR YT (POWDER) - BANGLÉN-ASTL 23/06



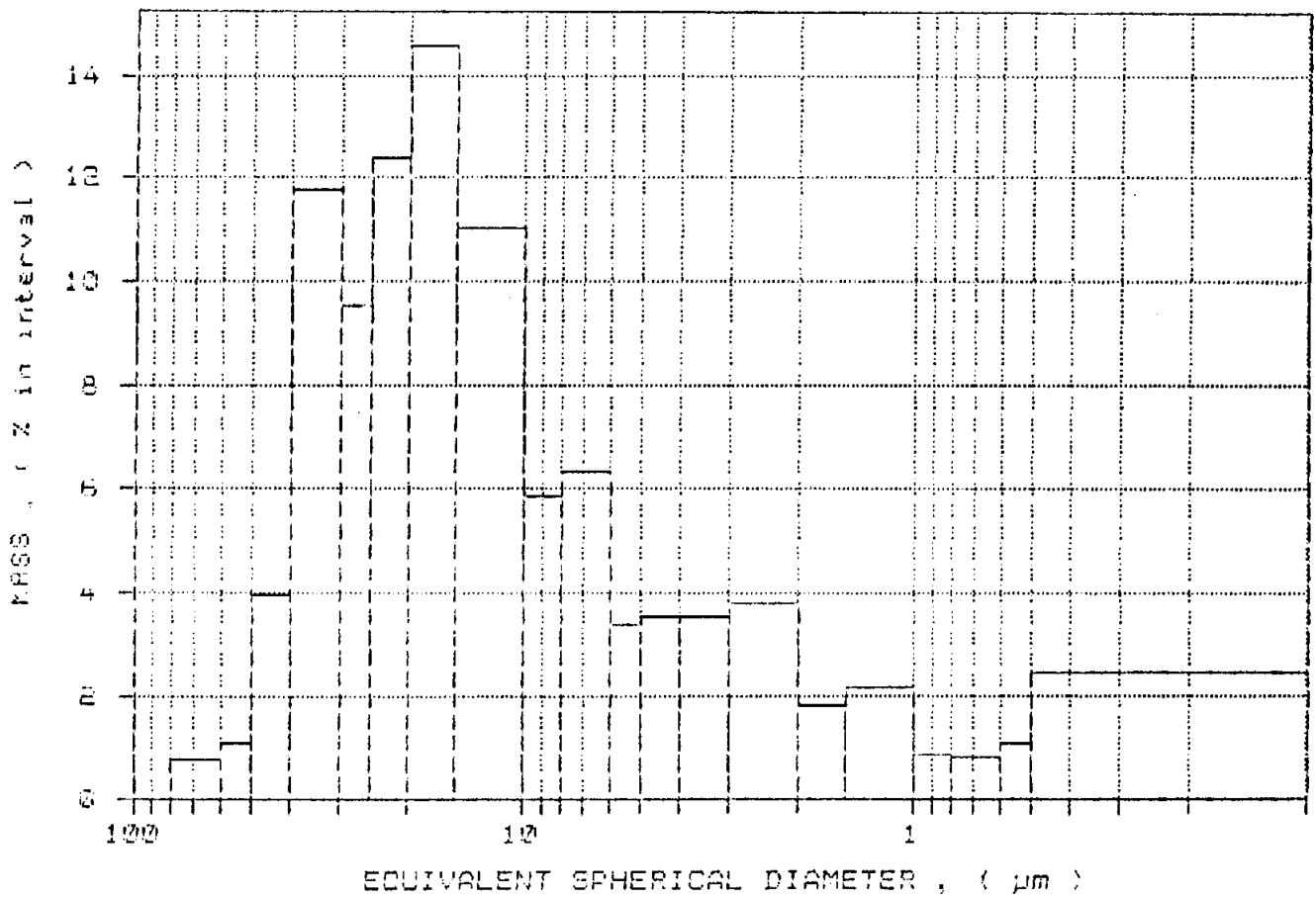
รูปที่ 10 แสดงการกระจายความละเอียดของอนุภาคไรนาสโตนที่บดด้วย
 Ring & Roller Mill เปรียบเทียบกับอนุภาคของเฟลด์สปาร์

CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER



รูปที่ 11 แสดงการกระจายอนุภาคของโซนาสโตนแหล่งวังเหนือบดด้วย Ring & Roller Mill

MASS POPULATION VS. DIAMETER



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mass Population กับ Diameter
ของไซนาสตัน อ.วังเหนือ บดด้วย Ring & Roller Mill

MASS DISTRIBUTION

MEDIAN DIAMETER: 16.17 μm MODAL DIAMETER: 19.86 μm

DIAMETER (μm)	CUMULATIVE	MASS
	MASS FINER (%)	IN INTERVAL (%)
80.00	101.0	-1.0
60.00	100.3	0.8
50.00	99.2	1.1
40.00	95.2	4.0
30.00	83.5	11.8
25.00	73.9	9.5
20.00	61.6	12.4
15.00	47.0	14.6
10.00	35.9	11.0
8.00	30.0	5.9
6.00	23.7	6.4
5.00	20.3	3.4
4.00	16.7	3.6
3.00	13.2	3.5
2.00	9.4	3.8
1.50	7.5	1.8
1.00	5.3	2.2
0.80	4.4	0.9
0.60	3.6	0.8
0.50	2.5	1.1

ตารางที่ 8 แสดงการกระจายอนุภาคไชนาสโตน อ.วังเหนือ
หลังการบดด้วย Ring & Roller Mill

5. การวิจัยเบื้องต้นเพื่อใช้ไชนาสโตนทำเซรามิก

5.1 บทนำและวัตถุดิบที่ใช้

ไชนาสโตน (China stone) คอร์นิชสโตน (Cornish stone) คอร์นวอลล์สโตน (Cornwall stone) หรือ TOSEKI ในภาษาญี่ปุ่นรวมหมายความถึง แร่ฟันม้า (Feldspathic rock) ซึ่งถูกแปรสภาพไปบางส่วน ให้เกิดแร่ ดินขาว (Kaolinite) ทำให้ส่วนประกอบ ทั้งหมดมีทั้ง แร่ฟันม้า ควอร์ตซ์ ดินขาว ไมกา และฟลูออไรสปาร์จำนวนเล็กน้อย^(๑๐)

ส่วนประกอบของไชนาสโตน ดังกล่าวมานี้ นับได้ว่า เป็นเนื้อดินเซรามิก (Ceramic body) อยู่ในตัวแล้ว แต่ผู้ใช้ก็ยังสามารถปรับส่วนผสม เพื่อให้ได้เนื้อดินที่มีคุณสมบัติ ตามต้องการได้อีก

ในประเทศจีน อังกฤษ หรือญี่ปุ่น มีการใช้ไชนาสโตนเป็นวัตถุดิบทำเซรามิกมานานแล้ว ดูรายละเอียดในหัวข้อนิยามและการใช้ประโยชน์ในรายงานฉบับที่ 1^(๔)

ในประเทศไทย การใช้ไชนาสโตนยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ไชนาสโตนถูกนำไปแต่งเพื่อแยกเอาดินขาวออก เพียงจะหันมามองเห็นว่าหากจากการล้างดินขาวนั้น นับวันจะกองตัวเป็นภูเขาสูงชันทุกที่ๆ (ดูแผนผังกรรมวิธีการล้างดินขาว ในรูปที่ 3 รายงานฉบับที่ 1) เกิดเป็นคำถามว่า ทำอย่างไรการใช้ไชนาสโตนจึงจะมีประสิทธิภาพมากกว่านี้

จังหวัดลำปาง นับเป็นแหล่งไชนาสโตนที่ใหญ่มาก (ดูรายละเอียดข้อ 4 ในรายงานฉบับที่ 1) แต่ความนิยมการใช้ไชนาสโตน ยังน้อยอยู่จึงเป็นเหตุจูงใจให้มีการวิจัย เพื่อพัฒนาการใช้ไชนาสโตน เพื่อส่งเสริมและสนับสนุน ให้เกิดความมั่นใจ ในการใช้เพื่อทำผลิตภัณฑ์เซรามิกต่อไป

ไชนาสโตน ที่ใช้ในการทดลอง มี 4 แหล่ง คือ

1. แหล่งบ้านแม่ต๋ำ ต. เสริมชัย อ. เสริมงาม จ. ลำปาง (รหัส C 1-4)
2. แหล่งกองดินขาวฝู บริเวณเสาประตานบัตรหลัก 6 ปทบ. ที่ 24370/14235
อ. แจ้ห่ม จ. ลำปาง (รหัส C 11)
3. แหล่งกองหินแข็งคม บริเวณเสาประตานบัตรหลัก 6 ปทบ. ที่ 24370/14235
อ. แจ้ห่ม จ. ลำปาง (รหัส C 13)
4. แหล่ง อ. แม่เมาะ จ. ลำปาง (รหัส C 17)

5.2 คุณสมบัติเซรามิกของโซนาสโตนที่วิจัยเบื้องต้น

1. สีภายหลังการเผา (FIRED COLOUR) สีภายหลังการเผาส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มี
คุณลักษณะเฉพาะตัวและมีชั้นคุณภาพแตกต่างกันไป

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสีภายหลังการเผา คือ ปริมาณของไทเทเนียมและเหล็ก
ออกไซด์ สภาวะออกซิเดชันหรือรีดักชันของเหล็กภายหลังการเผา และอุณหภูมิการเผา
เป็นต้น แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ยังมีส่วนช่วยในการฟอกสีของเหล็ก
ออกไซด์ให้จางลง

2. การหลอมตัว (VITRIFICATION)

การหลอมตัวของ china stone ขึ้นกับชนิดและปริมาณของอัลคาไลน์ที่มีอยู่
ซึ่งได้แก่ ออกไซด์ของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม

china stone ที่มีการหลอมตัวดี ก็จะช่วยให้น้ำ (BODY) มีการหลอมตัว
ที่อุณหภูมิไม่สูงจนเกินไป

ตัวอย่าง china stone หมายเลข C1-4 มีปริมาณเหล็กค่อนข้างมาก จึงทำ
ให้สีภายหลังการเผาเป็นสีเทาเข้มหมายเลข C13 มีสีเนื้อเข้ม ส่วนหมายเลข C11 และ
C17 มีสีขาวขุ่น

การสุกตัวของตัวอย่าง C11 C13 และ C17 ค่อนข้างดีมาก ที่ 1250°C.
การหลอมตัวทำให้เกิดเสีรูปรูทรวงของชิ้นตัวอย่าง ส่งผลให้ค่าการหดตัวของ C11 C13 และ
C17 น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ผลการหลอมตัวและสีภายหลังการเผาแสดงไว้ในตารางที่ 9

ตัวอย่าง	การหลอมตัว		สีภายหลังการเผา		หมายเหตุ
	1200 °ซ.	1250 °ซ.	1200 °ซ.	1250 °ซ.	
C1-4	ไม่หลอมตัว	ไม่หลอมตัว	สีชมพู มีจุดสีน้ำตาลจำนวนมาก	สีเทา มีจุดสีน้ำตาลจำนวนมาก	ตัวอย่างผ่าน แรง 16 เมช
C11	ไม่หลอมตัว	เริ่มหลอมตัวเล็กน้อย	สีเนื้อ มีจุดสีน้ำตาลอ่อน	สีขาวขุ่น มีจุดสีน้ำตาลดำเล็กน้อย	
C13	เริ่มหลอมตัวเล็กน้อย	หลอมตัว	สีน้ำตาลมีจุดสีน้ำตาลเข้ม	สีเทามีจุดสีดำ	
C17	เริ่มหลอมตัวเล็กน้อย	เริ่มหลอมตัวเล็กน้อย	สีเนื้อ มีจุดสีน้ำตาลจำนวนน้อย	สีเนื้อ มีสีน้ำตาลจำนวนน้อย	
C1-4	ไม่หลอมตัว	ไม่หลอมตัว	สีชมพู	สีเทา	ตัวอย่างผ่าน แรง 150 เมช
C11	ไม่หลอมตัว	หลอมตัวมาก	สีเนื้อ	สีขาวขุ่น	
C13	หลอมตัว	หลอมตัวมาก	สีน้ำตาล	สีเนื้อเข้ม	
C17	ไม่หลอมตัว	หลอมตัวมาก	สีเนื้อ	สีขาวขุ่น	

ตารางที่ 9 การหลอมตัว สีภายหลังการเผาของตัวอย่างโซนาสโตน

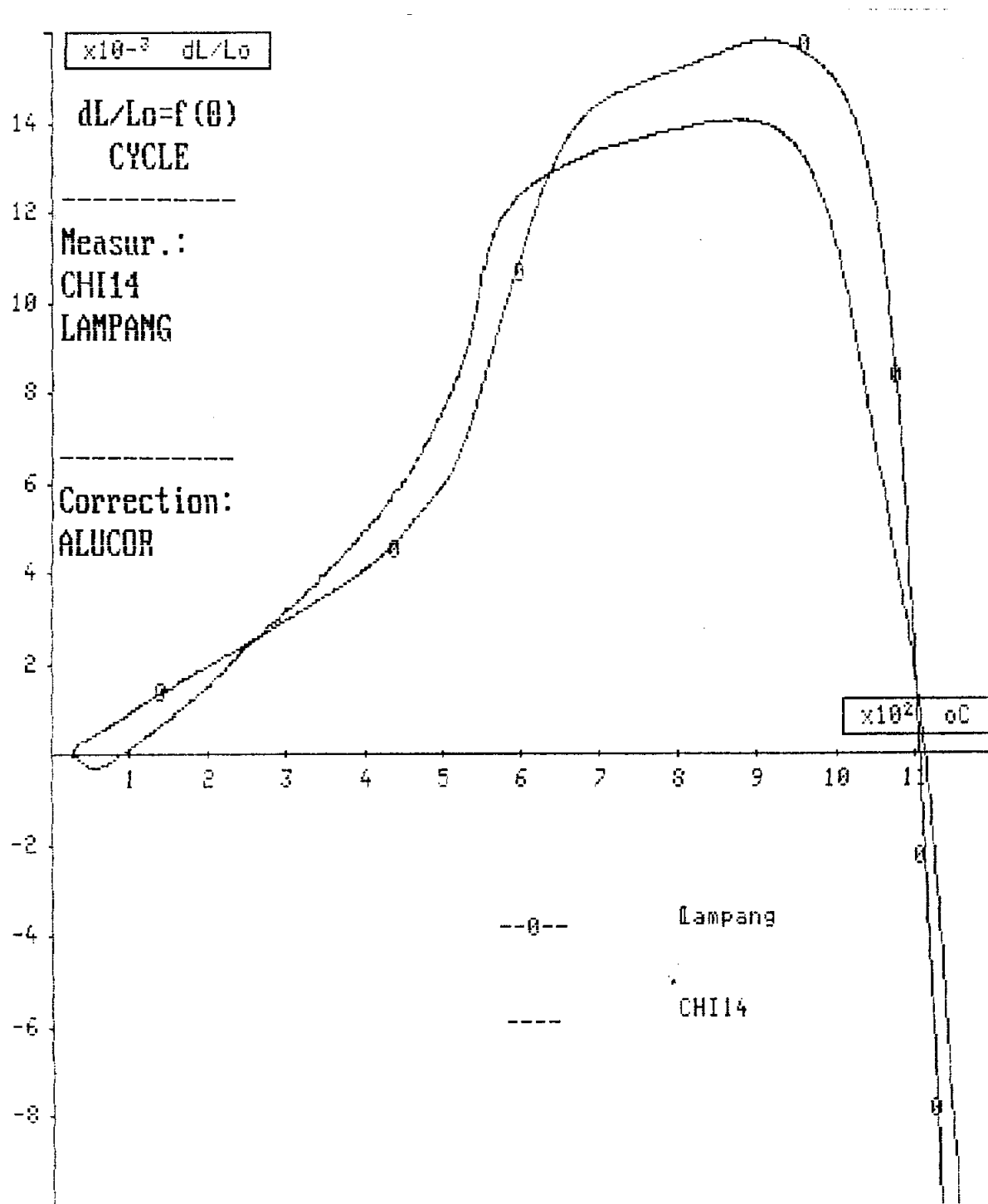
3. การขยายตัวเมื่อร้อน (THERMAL EXPANSION)

เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิดเมื่อได้รับความร้อน บางชนิดมีการขยายตัวมาก บางชนิดมีการขยายตัวน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างหรือไม่ และมากน้อยเพียงใด ทำให้รู้ถึงธรรมชาติและคุณลักษณะของวัตถุแต่ละชนิดก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

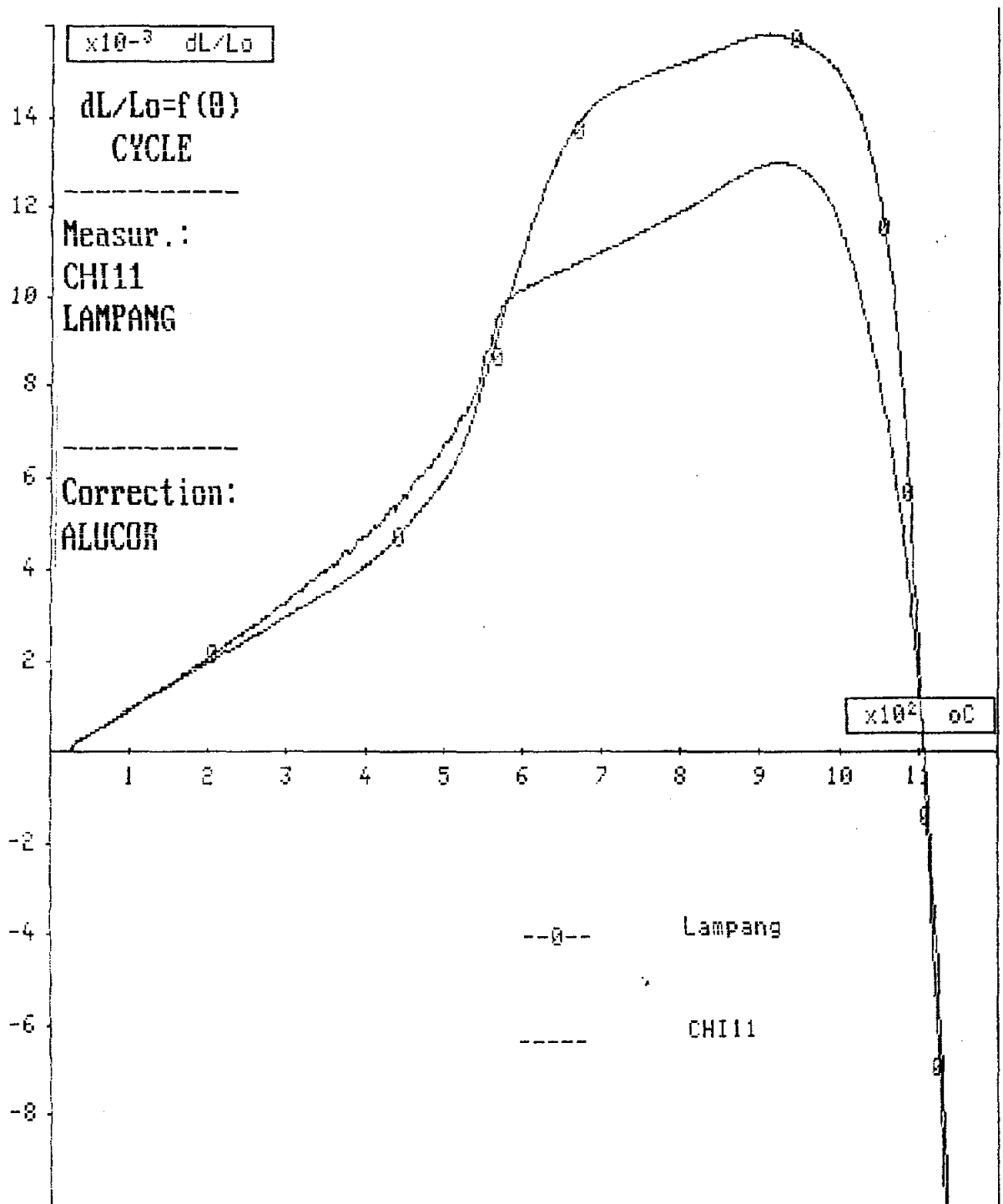
ในทางเซรามิก คุณสมบัตินี้มีผลต่อความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉียบพลัน (THERMAL SHOCK RESISTANCE) การปรับน้ำยาเคลือบ (GLAZE) กับเนื้อ (BODY) ให้เข้ากันเพื่อป้องกันการร้าว (CRAZING) เป็นต้น

china stone ทั้ง 4 ชนิด ถูกนำมาบดย่อยและทำเป็นชิ้นทดลองนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200°C และ 1250°C หลังจากการเผานำมาทดสอบเพื่อดูสีภายหลังการเผา การหดตัว และการดูดซึมน้ำ

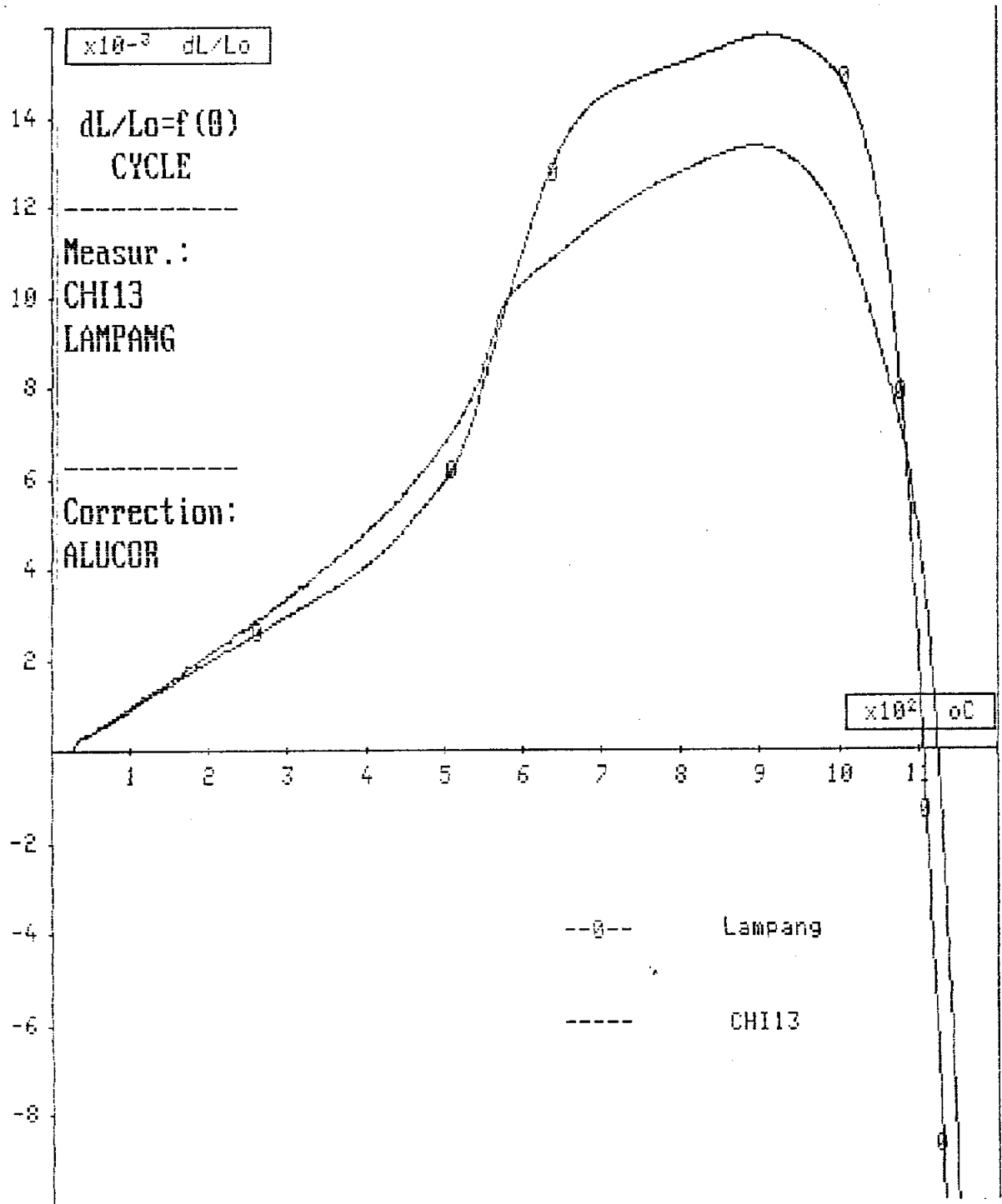
ส่วนการทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อนนั้น เตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นทรงกระบอกเล็กๆ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 2.0 เซนติเมตรหาการขยายตัวโดยเครื่อง DILATOMETER ศึกษาในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 1000°C. ดังรูปที่ 13 ถึงรูปที่ 16 ตารางที่ 10 แสดงค่า % การหดตัวรวม และ % การดูดซึมน้ำของตัวอย่างโซนาสโตน ตารางที่ 11 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของโซนาสโตนที่ใช้ในการวิจัยผลิตภัณฑ์



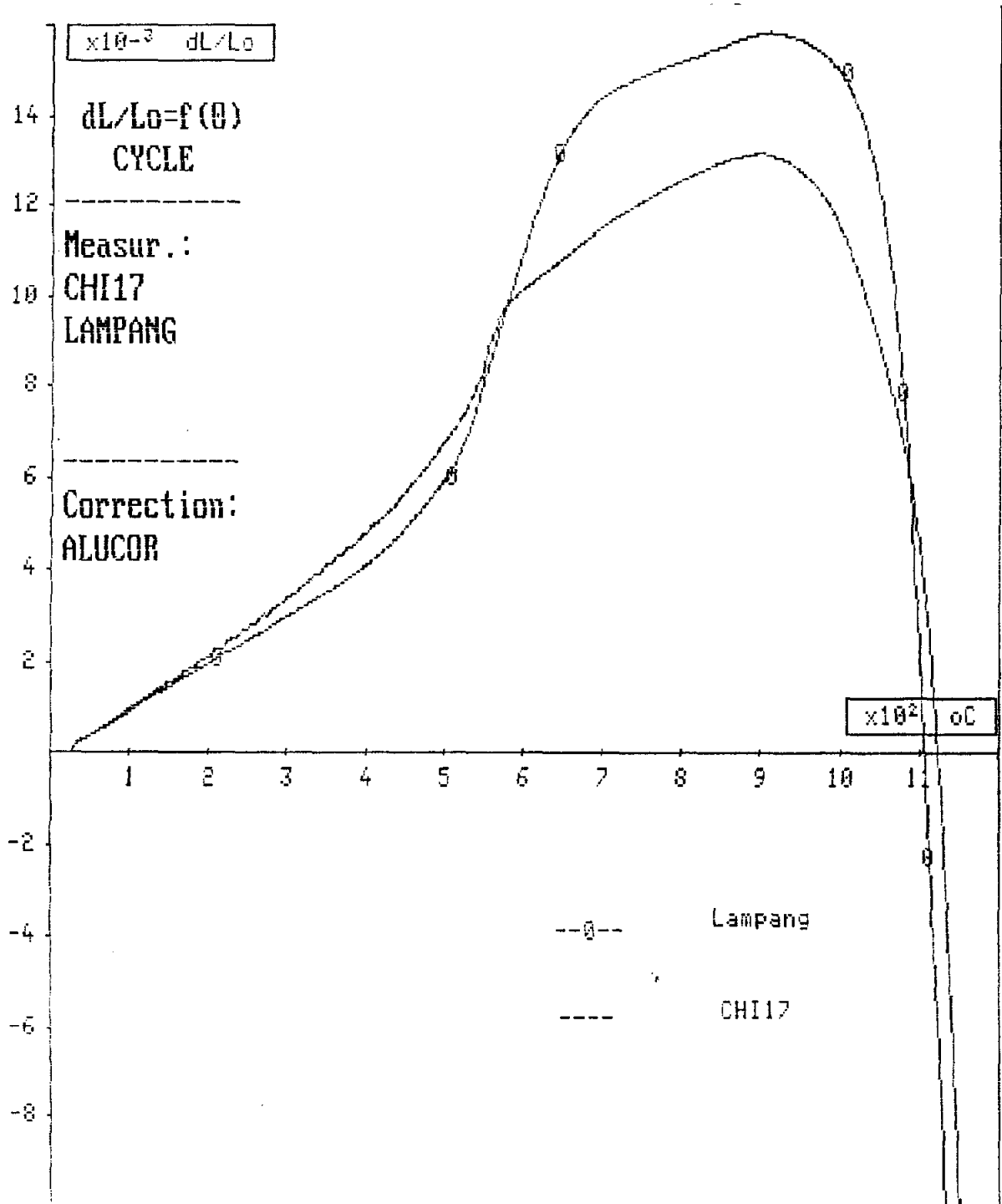
รูปที่ 13 การขยายตัวของโซนาสโตนหมายเลข C-1-4 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง



รูปที่ 14 การขยายตัวของไชนาสโตนหมายเลข C-11 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง



รูปที่ 15 การขยายตัวของไชนาสโตนหมายเลข C-13 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง



รูปที่ 16 การขยายตัวของโชนาสโตนหมายเลข C-17 เปรียบเทียบกับดินขาวลำปาง

ตัวอย่าง	การหดตัวรวม, %		การดูดซึมน้ำ, %	
	1200 °ซ.	1250 °ซ.	1200 °ซ.	1250 °ซ.
C1-4	8.56	15.00	1.45	1.16
C11	11.28	10.58	0.45	0.23
C13	13.24	9.70	0.13	0.04
C17	12.88	8.96	2.80	0.09

ตารางที่ 10 การหดตัวรวม การดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างไชนาสโตน

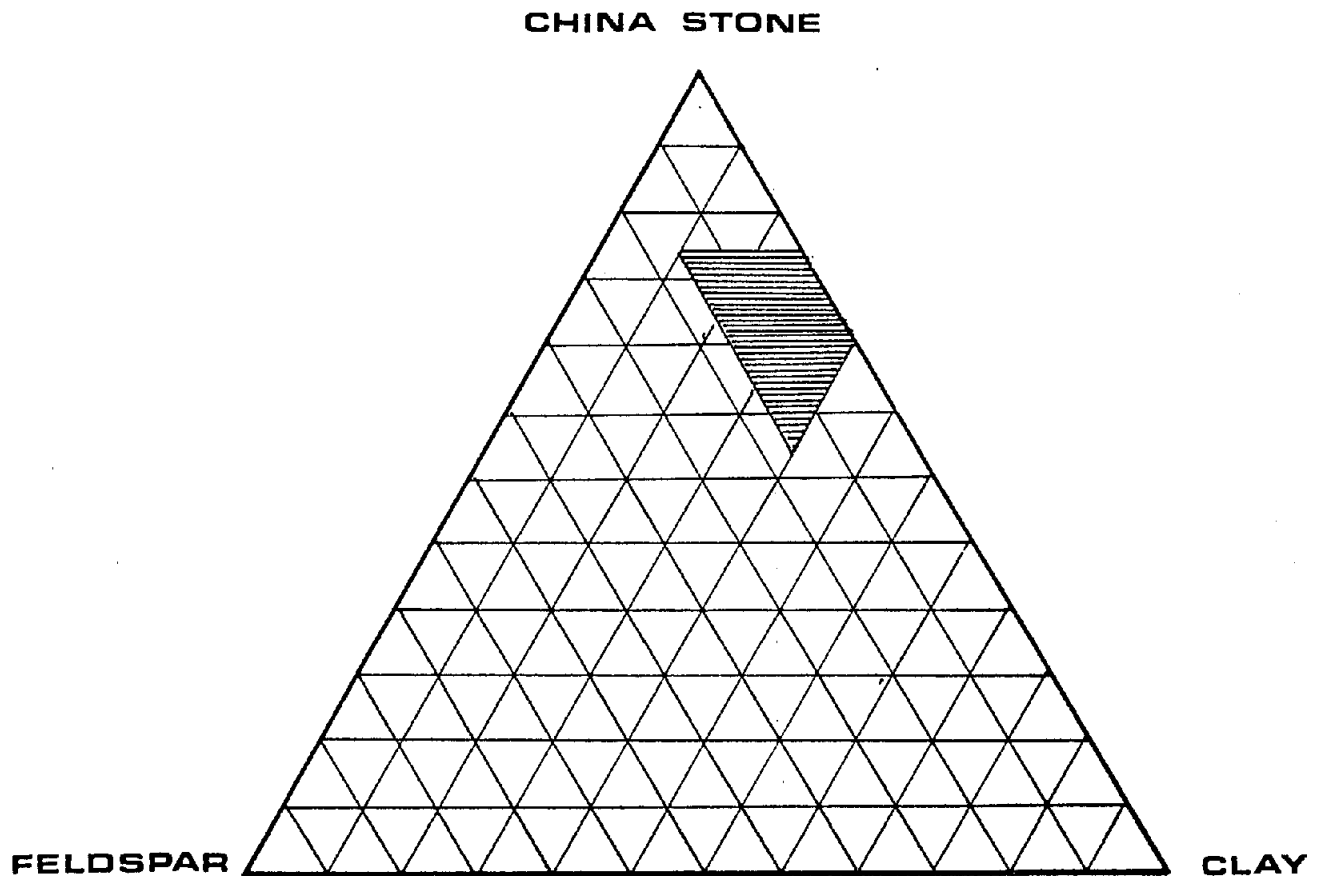
4. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของไชนาสโตนที่ใช้วิจัย

	C 1-4	C 11	C 13	C 17
SiO ₂	76.76	71.99	72.60	75.24
Al ₂ O ₃	13.89	17.00	16.59	16.28
Fe ₂ O ₃	1.33	0.45	0.39	0.30
TiO ₂	0.27	0.05	0.08	0.05
CaO	0.12	0.19	0.64	0.25
MgO	0.23	0.12	0.08	0.06
Na ₂ O	1.27	3.90	3.77	3.49
K ₂ O	2.65	4.09	4.58	2.13
MnO	0.06	0.01	0.01	0.06
H ₂ O	0.20	0.24	0.17	0.17
LOI	2.46	1.63	1.08	1.95

ตารางที่ 11 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของไชนาสโตน

5.3 คุณสมบัติของ triaxial bodies จาก china stone

เพื่อเป็นแนวทางอย่างกว้างๆ ในการนำไชนาสโตน มาใช้เป็นเนื้อดินเซรามิก จึงทดลองผสมไชนาสโตน กับแร่ฟันม้า ดินขาว และดินเหนียว ในระบบ triaxial composition โดยยึดหลักใช้ไชนาสโตนในปริมาณมาก ในมุมที่เป็น clay นั้น ประกอบด้วย ดินขาว และดินเหนียว ในอัตราส่วน 3:2 ดังที่ รูปที่ 17 แสดงบริเวณของส่วนผสมเนื้อดินที่ ทำการศึกษา



รูปที่ 17 แสดงบริเวณของส่วนผสมเนื้อดินที่ทำการศึกษา

บดผสมเนื้อดินตามสูตรต่างๆ ในตารางที่ 12, 14, 16, และ 18 ในหม้อบด ball mill เมื่อเกรอะเป็นดินเหนียวแล้วทำเป็นชิ้นทดลอง ขนาด กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ 3 ซม. x 6 ซม. x 1 ซม. เผาที่ 1200°C เพื่อดูแนวโน้มการสุกตัวของเนื้อดิน

นำชิ้นทดลองที่เผาแล้วมากดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น คือ การหดตัวรวม และการดูดซึมน้ำ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 13, 15, 17 และ 19 ตามลำดับ

เนื้อดินจากไชนาสโตน หมายเลข C1-4 ที่ 1200°C มีสีเนื้อออกชมพู เนื้อดินส่วนมากยังไม่สุกตัว โดยจะเห็นจากการดูดซึมน้ำยังมีค่าสูง อยู่ประมาณร้อยละ 0.5-3.8 การหดตัวประมาณร้อยละ 13-17

เนื้อดินจากไชนาสโตน หมายเลข C11 ที่ 1200°C เริ่มมีการสุกตัวในบริเวณที่มีปริมาณไชนาสโตน และแร่ฟีนมาสูงกว่าบริเวณอื่น การหดตัวประมาณร้อยละ 12-16 มีสีเนื้อ

เนื้อดินจากไชนาสโตน หมายเลข C13 ที่ 1200°C เริ่มมีการสุกตัวในบริเวณที่มีปริมาณไชนาสโตน และแร่ฟีนมาสูงกว่าบริเวณอื่น การหดตัวประมาณร้อยละ 11-16 มีสีเนื้อออกคล้ำๆ

เนื้อดินจากไชนาสโตน หมายเลข C17 ที่ 1200°C มีสีค่อนข้างขาว เนื้อดินเริ่มมีการสุกตัวบ้าง การหดตัวประมาณร้อยละ 15-17

จากคุณสมบัติเบื้องต้นดังกล่าวมาแล้ว พอจะสรุปในขั้นนี้ถึงแนวทางการใช้ประโยชน์ไชนาสโตนในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกดังนี้

1. ไชนาสโตน หมายเลข C1-4 นำไปพัฒนาเป็นสโตนแวร์
2. ไชนาสโตน หมายเลข C11 นำไปพัฒนาเป็นถ้วยชาม
3. ไชนาสโตน หมายเลข C13 นำไปพัฒนาเป็นกระเบื้อง
4. ไชนาสโตน หมายเลข C17 นำไปพัฒนาเป็นตุ๊กตาเซรามิก

หมายเลข	ไซนาสโตน C1-4	แร่ฟืนม้า	ดินขาว นราธิวาส	ดินเหนียว แจ้คอนขาว
C1-4 - 1	75	15	6	4
C1-4 - 2	75	10	9	6
C1-4 - 3	75	5	12	8
C1-4 - 4	75	-	15	10
C1-4 - 5	65	15	12	8
C1-4 - 6	65	10	15	10
C1-4 - 7	65	5	18	12
C1-4 - 8	65	-	21	14
C1-4 - 9	55	15	18	12
C1-4 - 10	55	10	21	14
C1-4 - 11	55	5	24	16
C1-4 - 12	45	15	24	16

ตารางที่ 12 เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C1-4

BODY	TOTAL SHRINKAGE, % 1200 °C	WATER ABSORPTION, % 1200 °C
1	13.20	2.46
2	13.60	3.98
3	14.58	2.11
4	16.00	3.85
5	16.00	0.66
6	15.56	0.59
7	17.19	1.41
8	16.05	3.69
9	15.83	0.84
10	16.29	1.17
11	17.79	1.46
12	17.15	0.58

ตารางที่ 13 คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไชนาสโตนหมายเลข C1-4

หมายเลข	ไซนาสโตน C11	แฉ่วพันม้า	ดินขาว นราธิวาส	ดินเหนียว แจ้คอนขาว
C11 - 1	75	15	6	4
C11 - 2	75	10	9	6
C11 - 3	75	5	12	8
C11 - 4	75	-	15	10
C11 - 5	65	15	12	8
C11 - 6	65	10	15	10
C11 - 7	65	5	18	12
C11 - 8	65	-	21	14
C11 - 9	55	15	18	12
C11 - 10	55	10	21	14
C11 - 11	55	5	24	16
C11 - 12	45	15	24	16

ตารางที่ 14 เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C11

BODY	TOTAL SHRINKAGE, % 1200°C	WATER ABSORPTION, % 1200°C
1	12.34	0.49
2	13.71	0.44
3	12.96	0.46
4	14.48	0.58
5	13.63	0.45
6	14.89	0.73
7	14.47	0.74
8	16.03	0.67
9	15.71	0.42
10	16.49	0.42
11	16.84	0.81
12	16.68	0.47

ตารางที่ 15 คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไชนาสโตนหมายเลข C11

หมายเลข	ไซนาสโตน C13	แร่ฟอสเฟต	ดินขาว นราธิวาส	ดินเหนียว แจ้คอนขาว
C13 - 1	75	15	6	4
C13 - 2	75	10	9	6
C13 - 3	75	5	12	8
C13 - 4	75	-	15	10
C13 - 5	65	15	12	8
C13 - 6	65	10	15	10
C13 - 7	65	5	18	12
C13 - 8	65	-	21	14
C13 - 9	55	15	18	12
C13 - 10	55	10	21	14
C13 - 11	55	5	24	16
C13 - 12	45	15	24	16

ตารางที่ 16 เนื้อดินผสมจากไซนาสโตน C13

BODY	TOTAL SHRINKAGE, % 1200 °C	WATER ABSORPTION, % 1200 °C
1	11.19	0.76
2	12.95	0.66
3	12.73	0.95
4	13.85	0.66
5	14.42	0.71
6	14.68	0.75
7	15.19	0.80
8	16.27	0.82
9	14.94	0.71
10	15.79	0.78
11	15.20	0.76
12	15.34	0.77

ตารางที่ 17 คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไชนาสโตนหมายเลข C13

หมายเลข	ไชนาสโตน C17	แร่ฟันม้า	ดินขาว นราธิวาส	ดินเหนียว แจ้คอนขาว
C17 - 1	75	15	6	4
C17 - 2	75	10	9	6
C17 - 3	75	5	12	8
C17 - 4	75	-	15	10
C17 - 5	65	15	12	8
C17 - 6	65	10	15	10
C17 - 7	65	5	18	12
C17 - 8	65	-	21	14
C17 - 9	55	15	18	12
C17 - 10	55	10	21	14
C17 - 11	55	5	24	16
C17 - 12	45	15	24	16

ตารางที่ 18 เนื้อดินผสมจากไชนาสโตน C17

BODY	TOTAL SHRINKAGE, % 1200 °C	WATER ABSORPTION, % 1200 °C
1	15.98	0.63
2	15.63	0.60
3	17.17	0.73
4	16.91	1.11
5	16.39	0.62
6	15.89	0.79
7	16.52	0.39
8	16.44	0.88
9	17.70	0.95
10	17.08	0.79
11	16.73	0.89
12	17.21	0.45

ตารางที่ 19 คุณสมบัติภายหลังการเผาของเนื้อดินจากไชนาสโตนหมายเลข C17

6. การพัฒนาทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ (STONEWARE)

6.1 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ หมายถึงผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดหนึ่งที่มีเนื้อแน่นแกร่งเนื่องจากถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจนเนื้อดินเกิดการหลอมตัว (vitrified) มีการดูดซึมน้ำ (water absorption) น้อย เนื้อดินเมื่อเผาแล้วมักมีสีอันเกิดเนื่องมาจากมลทินในวัตถุดิบ บางชนิดมีสีน้ำตาล สีน้ำตาล สีเทา ฯลฯ ผลิตภัณฑ์มักเป็นแบบที่มีความหนา จึงค่อนข้างหนักเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดอื่นๆ รูปแบบของผลิตภัณฑ์สโตนแวร์มีความเรียบง่าย เคลือบผิวด้วยเคลือบมันหรือด้าน ในบางกรณีจะปล่อยบางส่วนไม่เคลือบเพื่อโชว์สีและผิวสัมผัสของเนื้อดิน

เคลือบที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ stoneware มีหลายชนิด

เคลือบใส ใช้ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีการตกแต่งด้วยสีใต้เคลือบหรือต้องการให้สีของเนื้อดินปรากฏผสมผสานกับสีของเคลือบ เช่นเคลือบบนผิวโอ่งมังกร

เคลือบทึบ เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้สีของเนื้อดินปรากฏ ความทึบของเคลือบจะบังเนื้อดิน ทำให้สีเคลือบโดดเด่น ชัดอาหารจากสโตนแวร์มักเคลือบด้วยเคลือบทึบหรือกึ่งทึบ เพื่อให้ดูสะอาดตาน่าใช้ยิ่งขึ้น

เคลือบด้าน มีผิวสัมผัสด้าน ไม่นิยมใช้กับถ้วยชามนัก เนื่องจากผิวไม่ลื่น บางครั้งทำความสะอาดยาก เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ปูพื้น หรืองานศิลปะ

ในงานวิจัยนี้มุ่งจะทำสโตนแวร์สำหรับใช้ภายในบ้าน โดยทำถ้วย (cup) เป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้น

6.2 วัตถุดิบที่ใช้

- 1 ไซนาสโตน หมายเลข C1-4 แหล่งม่อนฟ้าผ่า ดอยแม่ต้า
 - อ. เสริมงาม จ. ลำปาง
- 2 แร่ฟันม้า
- 3 ดินขาวราชิวาส
- 4 ดินเหนียวแจ้คอน

ดังมีผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ แสดงในตารางที่ 20

รายการ	ไซนาสโตน C1-4	แร่ฟันม้า	ดินขาว	ดินเหนียว
SiO ₂	76.76	66.39	44.1	58.8
Al ₂ O ₃	13.89	18.55	38.6	23.6
Fe ₂ O ₃	1.33	0.05	1.4	5.6
CaO	0.12	0.22	0.3	0.3
TiO ₂	0.27	0.02	-	0.7
MgO	0.23	0.05	0.3	1.3
K ₂ O	2.65	11.42	1.9	2.4
Na ₂ O	1.27	3.06	0.7	0.8
Ig. loss	2.46	0.24	12.4	6.4

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ทำสโตนแวร์

6.3 วิธีดำเนินการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติของ triaxial body จากไชนาสโตนในหัวข้อ 5.3 ตารางที่ 13 ไชนาสโตน หมายเลข C1-4 เเผาที่ 1200° C สามารถนำไปทำ สโตนแวร์ได้นั้น

พิจารณาการดูดซึมน้ำ ยังก่อนข้างสูง (ร้อยละ 0.6-4.0) จึงนำมาเผาที่ อุณหภูมิ 1230° C เพื่อคุณสมบัติอีกครึ่งหนึ่ง ได้ค่าดูดซึมน้ำในช่วงร้อยละ 0.47-0.77 การหดตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 13-18 ลักษณะและคุณสมบัติของเนื้อดินส่วนใหญ่ นับว่าสามารถ นำไปใช้ทางเซรามิกได้ แต่ต้องการการปรับเพื่อให้เหมาะกับสภาพการผลิต และคุณลักษณะ ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ได้เลือกสูตรหมายเลข 6 ซึ่งมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.7 และหดตัว ร้อยละ 15 มาทำผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการหดตัวไม่มากเกินไปและมีปริมาณดินอยู่มากพอที่จะ ช่วยให้นเนื้อดินมีความเหนียว และขึ้นรูปได้ดี

สูตร C1-4-6

ไชนาสโตน C1-4	ร้อยละ	65
แร่ฟันม้า	"	10
ดินขาว	"	15
ดินเหนียว	"	10

6.3.1 การเตรียมเนื้อดิน

1. ชั่งวัตถุดิบตามสูตร
2. บดผสมในหม้อบด บอลมิลขนาด 2 กิโลกรัม โดยมีอัตราส่วน ของวัตถุดิบต่อน้ำ เท่ากับสองต่อหนึ่ง เติมนโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) ร้อยละ 0.2 บดเป็นเวลาาน 10 ชั่วโมง
3. น้ำดิน (Slip) ที่ได้นำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 150 เมช. พร้อมทั้งจะใช้งานต่อไป

6.3.2 การขึ้นรูป

1. เมื่อมีแบบปูนพลาสเตอร์ซึ่งทำตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ก็พร้อมที่จะหล่อผลิตภัณฑ์ได้
2. เทน้ำดินลงในแบบปูนพลาสเตอร์ให้เต็ม และคอยเติมน้ำดินให้เต็มอยู่เสมอ ทั้งไว้จนได้ความหนาของชั้นดินตามต้องการ จึงเทน้ำดินที่เหลือออกให้หมด
3. ทั้งให้ชิ้นงานในแบบปูนค่อยๆแห้งลง และร้อนจากแบบ จึงแกะชิ้นงานออกจากแบบ
4. นำมาตากแห้งให้เรียบร้อย แล้วตากให้แห้ง

6.3.3 เคลือบและการเคลือบ

ในการทดลองนี้ใช้เคลือบกับ 2 ชนิดคือ

เคลือบกับจากซีเมนต์ ดังสูตร

แร่ฟันม้า	ร้อยละ	25
ซีเมนต์ไฮดรอกซิด	"	50
ดินพานทอง	"	25
อุณหภูมิ	1200-1230 °C	

เคลือบกับจากเซอร์โคเนียมซิลิเกต ดังสูตร

แร่ฟันม้า	ร้อยละ	59.71
หินปูน	"	10.74
ควอร์ตซ์	"	22.09
ดินขาว	"	4.00
ซิงค์ออกไซด์	"	7.46
เซอร์โคเนียมซิลิเกต	"	12.00

อุณหภูมิ 1200 °C ให้สีขุ่นขาว

เมื่อเติมโคบอลต์ออกไซด์ ร้อยละ 1.00 ให้สีฟ้า

เมื่อเติมเฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 3.00 และโครมิกออกไซด์ ร้อยละ 1.00 ให้สีส้ม

เมื่ออบเคลือบในหม้ออบบอลมิลแล้ว นำมาปรับให้เคลือบมีความกว้างเฉพาะประมาณ 45 ไมครอน จึงเคลือบผลิตภัณฑ์ที่เผาติดแล้วโดยการจุ่ม

6.3.4 การเผา

1. ชิ้นงานที่แห้งดีแล้ว นำมาเผาติดที่อุณหภูมิประมาณ 700-800°C
2. ชิ้นงานที่เผาติดแล้ว นำมาตกแต่งและเคลือบผิว
3. ชิ้นสุดท้าย เผาเคลือบที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ได้ชิ้นงานสำเร็จ

6.4 สรุปผลการทดลอง

โซนาสโตน แหล่งม่อนฟ้าผ่า คอยแม่ต้า อ. เสริมงาม จ. ลำปางนี้สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก เนื้อสโตนแวร์ ได้ตามวัตถุประสงค์ ที่อุณหภูมิ 1200°C

มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.7

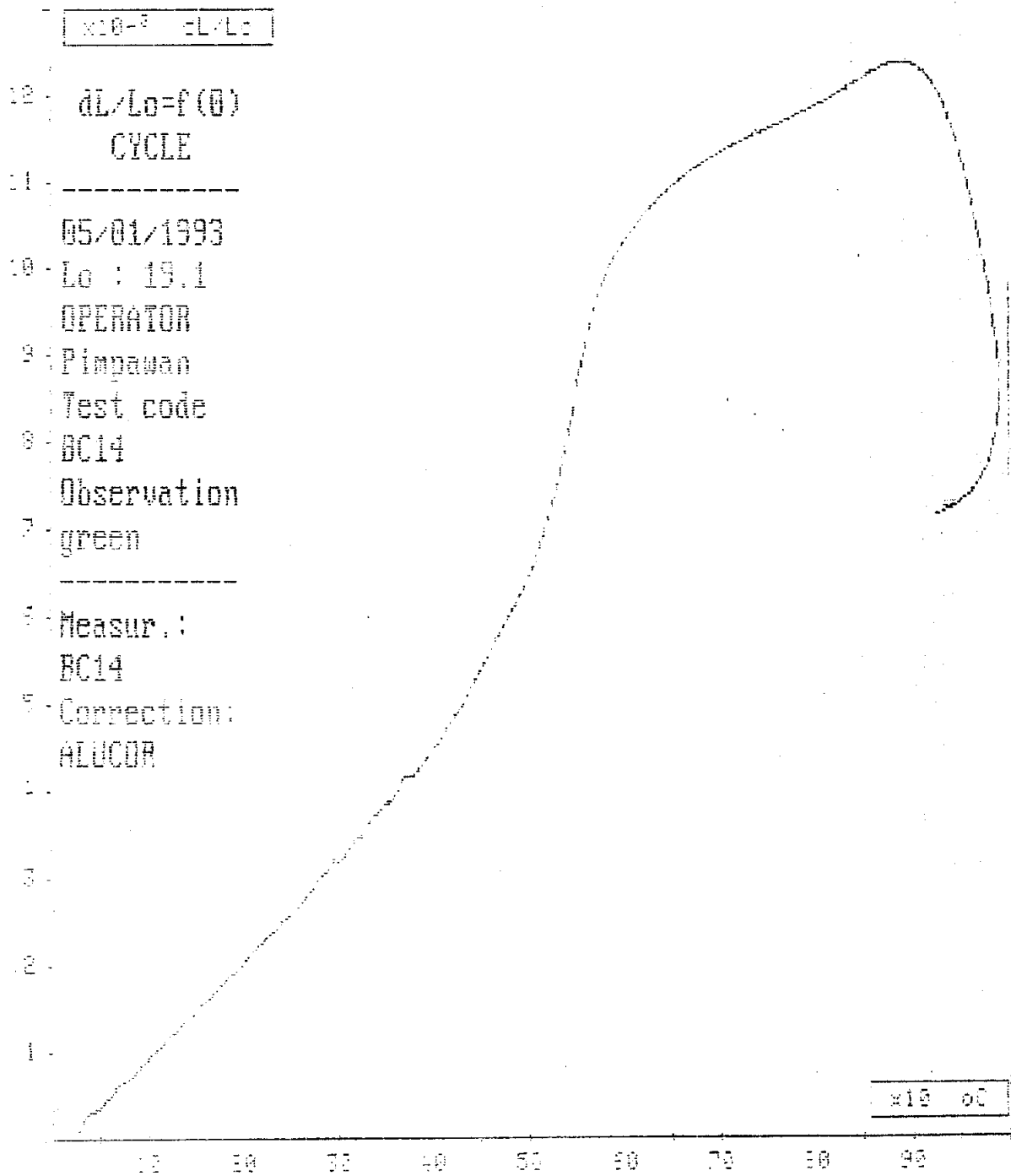
การหดตัวร้อยละ 15.0

สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของตัวอย่างดิบจากอุณหภูมิ

27-800°C = 1.53×10^{-5} ดังรูปที่ 18 และตารางที่ 21

โดยใช้โซนาสโตนถึงร้อยละ 65

รูปที่ 19 แสดงภาพถ้วย (mug) เนื้อสโตนแวร์ที่ได้จากการวิจัย



รูปที่ 18 แสดง Thermal Expansion ของเนื้อดินสโตนแวร์ สูตร(C 1-4-6)

MEASUR. FILE : BC14 OPERATOR : Pimpawan
 Date of test : 05/01/1993 Test code : BC14
 Lo : 19.1 Observation : green

Correction : ALUCOR

Segment number : 1

Ref. temperature: 20 oC

T (oC)	dL/Lo	True alpha	A alpha 27-T
50	0.0003761	9.775e-006	1.252e-005
100	0.0009193	1.167e-005	1.138e-005
150	0.001471	1.111e-005	1.124e-005
200	0.002027	1.167e-005	1.121e-005
250	0.002575	1.052e-005	1.115e-005
300	0.003193	9.912e-006	1.137e-005
350	0.003836	9.821e-006	1.16e-005
400	0.004454	1.538e-005	1.171e-005
450	0.005361	2.144e-005	1.246e-005
500	0.006443	2.521e-005	1.344e-005
550	0.008586	5.785e-005	1.625e-005
600	0.0103	1.718e-005	1.783e-005
650	0.01034	9.484e-006	1.742e-005
700	0.01104	6.429e-006	1.672e-005
750	0.01162	4.581e-006	1.594e-005
800	0.01188	5.504e-006	1.526e-005
850	0.0122	7.26e-006	1.472e-005
900	0.01236	-5.15e-006	1.405e-005
950	0.01137	-3.944e-005	1.222e-005

ตารางที่ 21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เมื่อได้รับความร้อน (COE)
 ของเนื้อสโตนแวร์ สูตร C 1-4-6



รูปที่ 19 แสดงภาพถ้วย(mug) เนื้อสโตนแวร์ที่ได้จากการวิจัย

7. การพัฒนาท่าผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิก

7.1 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์

ตุ๊กตาเซรามิก โดยทั่วไป อาจแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ

1. ตุ๊กตาดินเผาแบบเนื้อไม่แกร่ง (Earthenware) เช่นตุ๊กตาชาววัง ตุ๊กตาแฟนซีที่ทำจากโพลีไมต์
2. ตุ๊กตาดินเผาแบบเนื้อแกร่ง มีสีดินธรรมชาติ เช่นตุ๊กตาตาแป๊ะตงเบ็ด ของเมืองจีน มีเนื้อเนียน บางชนิดใช้เคลือบตกแต่งสีเสื้อผ้า
3. ตุ๊กตาดินเผาเนื้อแกร่ง มีการเผาเป็นพิเศษเพื่อให้เนื้อขาว (Porcelain) มักทำให้มีสีด้วยสีบนเคลือบ เช่นตุ๊กตาฮกกลีว
4. ตุ๊กตาดินเผาเนื้อแกร่ง ที่ทำจากดินผสมกระดูกวัว (Bone china) มีความขาววอลเนียนเป็นพิเศษ จึงมักใช้เนื้อดินโดยเคลือบผิวด้วยเคลือบใส มีการแต่งสีแต่เพียงเล็กน้อย

7.2 วัตถุดิบที่ใช้

1. ไชนาสโตน หมายเลข C17 แหล่งแม่เมาะ จ.ลำปาง
2. ดินปั้นแม่ทาน
3. ดินขาวแจ้คอน

ซึ่งมีผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบแสดงใน ตารางที่ 22

รายการ	ไซนาสโตน C17	ดินแม่ทาน*	ดินแจ้คอน*
SiO ₂	75.24	54.3	55.0
Al ₂ O ₃	16.28	27.4	30.3
Fe ₂ O ₃	0.30	1.4	1.5
CaO	0.25	0.4	0.3
TiO ₂	0.05	0.4	0.6
MgO	0.06	0.5	0.8
K ₂ O	2.13	2.5	3.0
Na ₂ O	3.49	0.3	1.1
Ig. loss	1.95	13.0	7.4

ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ทำตุ๊กตาเซรามิก

* วัตถุดิบซื้อจากบริษัทเคลย์แอนด์มิเนอรัล จำกัด

7.3 การทดลอง

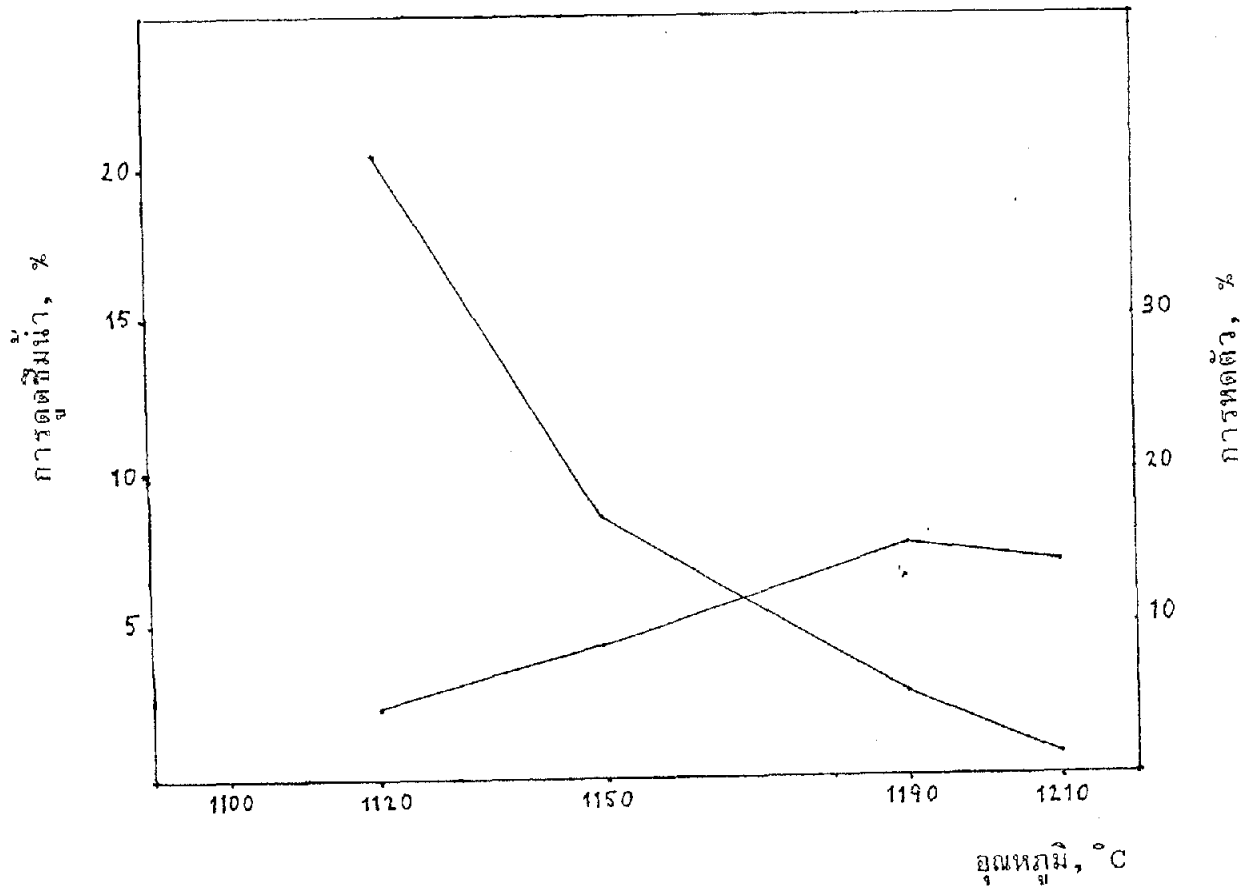
เนื้อดินจากไซนาสโตน หมายเลข C17 ปริมาณไซนาสโตน ร้อยละ 45-75 เริ่มมีการสุกตัว ที่อุณหภูมิประมาณ 1200 °C มีการดูดซึมน้ำในช่วงร้อยละ 0.39-1.11 ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 5.3 ตารางที่ 19

7.3.1 การดูดซึมน้ำและการหดตัว

เพื่อเพิ่มการสุกตัวของเนื้อดินให้มากขึ้น จึงได้ทำการทดลองเพิ่มปริมาณการใช้ไชนาสโตนอีกเป็นร้อยละ 85 และดินเหนียวร้อยละ 15

ทำเนื้อดินเป็นชั้นทดลองขนาดประมาณ 6 ซม. x 3 ซม. x 1 ซม. เเผาที่อุณหภูมิ 1120, 1150, 1190, และ 1210 องศาเซลเซียส ในเตาเผาแบบต่อเนื่อง (Gradient Furnace) แล้วนำมาหาค่าการหดตัวและการดูดซึมน้ำ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 20 เนื้อดินมีผิวมันเหมือนเป็นเคลือบในตัวเอง (SELF GLAZING)

คุณสมบัติภายหลังจากการเผา				
อุณหภูมิ, °C	1120	1150	1190	1210
การหดตัว, %	4.66	8.68	15.08	14.36
การดูดซึมน้ำ, %	20.54	9.36	2.76	0.70



รูปที่ 20 คุณสมบัติภายหลังจากการเผาด้วยอ่างน้ำร้อน C17

7.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำดิน

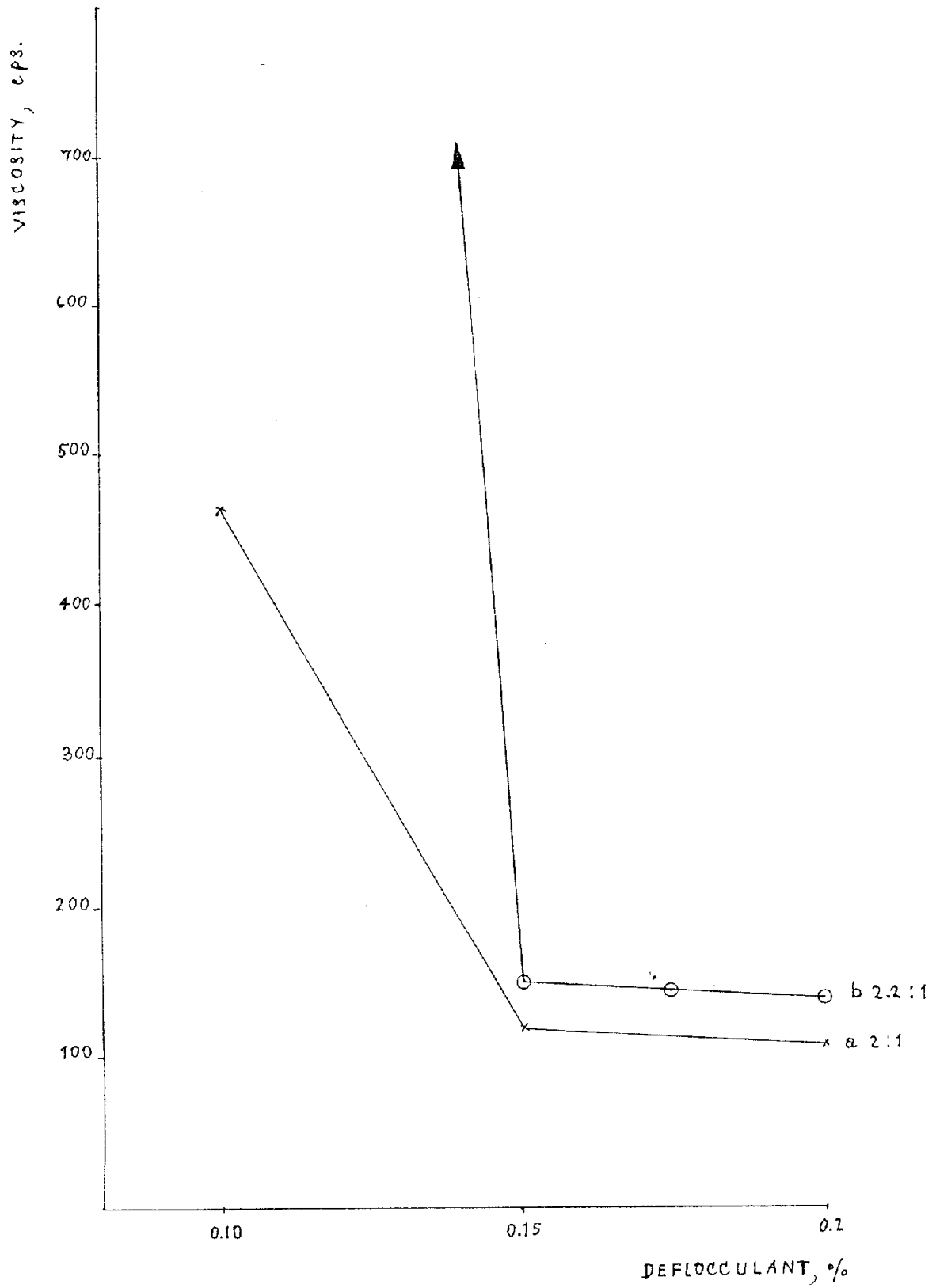
เนื่องจากเนื้อดินที่ใช้มีปริมาณโซนาสโตนมากถึงร้อยละ 85 และโซนาสโตนเป็นวัสดุ
ดิบที่ไม่มีความเหนียว (Nonplastic material) จึงต้องศึกษาทดลองคุณสมบัติของน้ำดิน
เพื่อหาส่วนผสมของน้ำดินที่เหมาะสมสำหรับการหล่อผลิตภัณฑ์

1. เตรียมน้ำดิน ในอัตราส่วน เนื้อดินแห้งต่อน้ำ = 2:1 ใช้ sodium silicate
ร้อยละ 0.10, 0.15, และ 0.20
2. เตรียมเนื้อดิน ในอัตราส่วน เนื้อดินแห้งต่อน้ำ = 2.2:1 ใช้ sodium
silicate ร้อยละ 0.12, 0.15, 0.175, และ 0.20

ปั่นน้ำดินในเครื่องปั่น ประมาณตัวอย่างละ 1 นาที นำมาหาความหนืด ด้วยเครื่อง
หาความหนืด Brookfield Viscometer ใช้ Spindle เบอร์ 1 ที่ speed 50 rpm.
ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 23 และรูปที่ 21

หมายเลข ของน้ำดิน	โซเดียมซิลิเกต ร้อยละ	เนื้อดิน/น้ำ	ความเร็ว rpm.	ความหนืด Centipoise	หมายเหตุ
1	0.10	2:1	50	466	ไม่ตกตะกอน
2	0.15	2:1	50	120	ตกตะกอน
3	0.20	2:1	50	109	ตกตะกอน
4	0.12	2.2:1	50	3,460	ไม่ตกตะกอน
5	0.15	2.2:1	50	152	ตกตะกอน
6	0.175	2.2:1	50	147	ตกตะกอน
7	0.20	2.2:1	50	142	ตกตะกอน

ตารางที่ 23 ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำดินตุ๊กตาเซรามิก



รูปที่ 21 ความหนืดของน้ำดินที่ปริมาณ Deflocculent ต่างๆ

จากการทดลองข้างต้นน้ำดินหมายเลข 2, 3, 5, 6 และ 7 ถึงแม้ความหนืดจะน้อย แต่มีการตกตะกอน น้ำดินหมายเลข 1 มีคุณสมบัติ กล่าวคือไม่ตกตะกอน ความหนืดพอสมควร จึงใช้น้ำดินนี้ในการหล่อผลิตภัณฑ์ต่อไป

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของเนื้อดิน ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเฉลี่ยจากอุณหภูมิ 26-950 °C เท่ากับ 1.23×10^{-5}

7.4 การตกแต่ง

ขั้นตอนการตกแต่งนับว่ามีความสำคัญมากในการทดลองนี้ใช้ 2 วิธีคือ

7.4.1 ตกแต่งด้วยเคลือบ

หลังจากเผาดิบแล้ว นำผลิตภัณฑ์มาปิดส่วนที่จะใช้ผิวเนื้อด้วยเทปกระดาษ จากนั้นจึงนำไปพ่นเคลือบส่วนตัวเสื้อ กางเกง รองเท้า ฯลฯ ด้วยเคลือบ ในที่นี้ใช้เคลือบกึ่งทึบ (Semi opaque) ซึ่งมีสูตรส่วนผสมดังนี้

แร่ฟันม้า	52	กรัม
หินปูน	15	"
ZnO	8	"
ดินขาว	3	"
ควอร์ตซ์	18	"
TiO ₂	4	"
ฟรี้ด TR1002	10	"

เคลือบนี้ให้สีขุ่นขาว เมื่อต้องการทำให้เกิดสี เดิมสารให้สีดังตัวอย่าง

สีเขียวอ่อน	CuO	ร้อยละ	2.0
	NiO	"	2.0
สีน้ำเงิน	CoO	"	0.5
	CuO	"	2.0

7.4.2 การตกแต่งด้วยสีบนเคลือบ

สีบนเคลือบเป็นสีเซรามิก มีสีสด จึงนิยมใช้ตกแต่งตุ๊กตา โดยระบายสีนั้นบนผิวผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมาแล้ว หรือบนผิวแท้ของผลิตภัณฑ์ที่เผาแกร่งแล้ว แล้วจึงนำมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 ถึง 900 องศาเซลเซียส

ในการทดลองนี้ใช้สีอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ผสมกับ water medium ตกแต่งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 22 แสดงผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิกที่ได้จากการวิจัย

7.5 สรุปผลการทดลอง

ไชนาสโตนแหล่ง อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง พัฒนาเป็นเนื้อดินสำหรับทำตุ๊กตาได้ผลดีมากสามารถใช้ไชนาสโตนถึง 85 % แต่ในการวิจัยนี้ยังมีข้อที่ควรศึกษาและปรับปรุงเพิ่มเติม เช่นการเผามีส่วนช่วยในการปรับสีของเนื้อดิน แต่เนื่องด้วยมีเหตุขัดข้องในเรื่องเตาเผา งานส่วนนี้จึงยังไม่ได้ดำเนินการ

8. การพัฒนาการผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสก

ในปัจจุบัน การก่อสร้างที่อยู่อาศัยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกอบกับไม่มีราคาแพงมาก กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสก จึงเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น

กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องโมเสก รวมถึงกระเบื้องบุผนัง ประเทศไทยจัดว่าเป็นประเทศผลิตเพื่อส่งออกประเทศหนึ่งของโลกและมีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี

อุตสาหกรรมกระเบื้องในประเทศไทย เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีโรงงานที่มีกำลังผลิตสูงอยู่หลายโรงงาน ใช้วัตถุดิบในการผลิตมากถึงวันละหลายพันตัน วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องให้ได้มาตรฐาน จึงมีความจำเป็นมากที่จะต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอและเป็นแหล่งใหญ่

ไชนาสโตนนับเป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอในแต่ละแหล่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น ดิน และประเทศไทยเรามีแหล่งใหญ่ๆหลายแห่ง แต่ละแห่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบทำเซรามิกได้นับเป็นสิบปี จึงเป็นที่น่าสนใจมากที่จะนำเอาไชนาสโตนมาทำการทดลองทำผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทกระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องโมเสกด้วย

8.1 กระเบื้องปูพื้น

กระเบื้องปูพื้นหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (pressing) ดินและส่วนผสมอื่นๆ เช่น หิน ทรายและสี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่น แต่ละแผ่นมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 90 ตารางเซนติเมตร มีสีและรูปร่างใดๆก็ได้ มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ

8.1.1 การทดลอง

ไชนาสโตนที่ใช้ในการทดลองทำกระเบื้องปูพื้น คือ แหล่งกองหินแข็งคม เสาประธาน บัตรหลัก 6 อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง (รหัส C13) เพราะว่าเป็นแหล่งใหญ่ มีปริมาณมากสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์เซรามิกในเชิงพาณิชย์ได้

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเซรามิกพบว่าส่วนประกอบของไชนาสโตนเป็นเนื้อดินเซรามิก (ceramic body) อยู่แล้วในตัว คือมีส่วนประกอบของแร่ฟันม้า ควอร์ตซ์ และดินขาวเป็นส่วนใหญ่

นำไชนาสโตนมาทดลองผลิตกระเบื้องปูพื้น โดยพยายามใช้ส่วนผสมเป็นไชนาสโตนมากที่สุดผสมกับดินแม่ทาน (Mae Vit W) เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับเนื้อดินกระเบื้อง ทำให้ขึ้นรูปง่าย

1. ส่วนผสม

ได้ทดลองทำกระเบื้องปูพื้น จากส่วนผสม

โซนาสโตน(C13) ร้อยละ 90

ดินดำแม่ทาน(Mae Vit W) ร้อยละ 10

2. การเตรียมเนื้อดิน

บดผสมเนื้อโซนาสโตน และดินดำแม่ทาน ตามส่วนผสมในหม้อบด(ball mill) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำไปเกรอะแล้วอบแห้ง นำมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่อง pulverizer ผสมน้ำให้เนื้อดินมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช หมักทิ้งไว้ 1 วันเพื่อเพิ่มความเหนียว

3. การขึ้นรูป

นำเนื้อดินที่เตรียมไว้ ตามข้อ 2 มาอัดเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4"x4" ด้วยเครื่องฟริกชันเพรส(friction press) ผึ่งให้แห้งแล้วนำไปเผา

4. การผลิตบิสกิต

เผาบิสกิตกระเบื้องที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

5. การเคลือบ

บิสกิตกระเบื้อง นำมาเคลือบด้วยเคลือบด้านสีต่างๆ 4 สี โดยวิธีพ่น

ส่วนผสมของน้ำเคลือบ ประกอบด้วย

แรว์พั้นม้า	ร้อยละ	32.1
ควออร์ทซ์	"	25.9
ดินขาว	"	10.0
หินปูน	"	12.4
ซิงค์ออกไซด์	"	6.2
ทัลคัม	"	4.3
อลูมินา	"	9.1
	รวม	<u>100.0</u>

- 1) สีขาว ผสม Zirconium silicate ร้อยละ 12
- 2) สีน้ำเงิน ผสม สีน้ำเงิน 22484(Degussa) " 10
- 3) สีเหลือง ผสม สีเหลือง 23533(Degussa) " 10
- 4) สีม่วงแดง

เคลือบสีม่วงแดง มีส่วนผสมเฉพาะ ประกอบด้วย

แร่ฟันม้า	ร้อยละ	36.7
ควอร์ตซ์	"	20.9
ดินขาว	"	11.4
หินปูน	"	11.8
แบเรียมคาร์บอเนต	"	7.0
ลิเทียมคาร์บอเนต	"	2.2
แมกนีเซียมคาร์บอเนต	"	0.9
อลูมินา	"	<u>9.1</u>
	รวม	<u>100.0</u>

ผสม สีม่วงแดง 27066 (Degussa) ร้อยละ 10

8.1.2 การเผาเคลือบ

กระเบื้องปัสกิตที่เคลือบแล้ว นำไปเผาเคลือบที่ 3 อุณหภูมิคือ 1150, 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส ได้กระเบื้องปูพื้นที่มีคุณสมบัติต่างกัน ดังแสดงไว้ตามตาราง ที่ 24

FIRING TEMPERATURE (°C)	TOTAL SHRINKAGE (%)	WATER ABSORPTION (%)
1150	10.92	6.96
1180	13.04	1.39
1200	13.60	1.17

ตาราง 24 แสดงคุณสมบัติการหดตัวและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้น เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150 , 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส

ผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียสกระเบื้องมีการหดตัวน้อยร้อยละ 10.92 การดูดซึมน้ำสูงร้อยละ 6.96 และลักษณะของเคลือบไม่สึกตัว

เมื่อเผาที่ 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส มีผลใกล้เคียงกันมากกระเบื้องมีการหดตัวร้อยละ 13.04 และ 13.60 มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.39 และ 1.17 และเคลือบมีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้านเช่นเดียวกัน จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การทำกระเบื้องปูพื้นประเภทดูดซึมน้ำต่ำ(การดูดซึมน้ำไม่เกิน ร้อยละ 3 ตาม มอก.37-2529)ที่อุณหภูมิ 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส

8.2 กระเบื้องโมเสก

กระเบื้องโมเสกหมายถึงผลิตภัณฑ์ซึ่งมีลักษณะเป็นหินหรือแผ่น มีรูปร่างและสีใดๆก็ได้ มีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ แต่ละชิ้นมีพื้นที่ไม่เกิน 90 ตารางเซนติเมตร ทำโดยอัดดินหรือส่วนผสมของดินกับหินหรือทราย และส่วนผสมอื่นๆ ลงในแม่พิมพ์(die)ด้วยแรงอัดสูง แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1000 องศาเซลเซียส

8.2.1 การทดลอง

ไซนาสโตนที่ใช้ในการทดลองทำกระเบื้องโมเสก คือแหล่ง กองหินแข็งคม เสาประธานหลัก 6 อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง(รหัส C13) ซึ่งเป็นแหล่งเดียวกันกับที่ใช้ทดลองทำกระเบื้องปูพื้น

1. ส่วนผสม

ได้ทดลองทำกระเบื้องโมเสกเป็นลักษณะแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จากเนื้อ 2 สูตร คือ

สูตร	ส่วนผสม	ไซนาสโตน(C13) %	ดินดำแม่ทาน (Maé Vit W) %
1		100	-
2		90	10

2. การเตรียมเนื้อดิน

บดผสมเนื้อดินตามส่วนผสมในหม้อบด (ball mill) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช นำไปเกรอะแล้วอบแห้ง ย่อยเป็นผงด้วยเครื่อง pulverizer ผสมเนื้อดินผงกับสีสำเร็จรูปเซรามิกในอัตราส่วนต่างๆกัน เพื่อให้เนื้อดินมีสีหลากหลาย โดยใช้เครื่องปั่น blender ในการผสม แล้วปรับให้เนื้อดินมีความชื้นเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 5

ส่วนผสมสี สำเร็จรูป สูตร	น้ำเงิน 223319 (Degussa) %	น้ำตาล 26487 (Degussa) %	เหลือง 40 (Nitto Sangyo) %	ขาว Zirconium silicate %
1	0.5	1.0	-	-
2	1.0	2.0	1.0	10

ตารางที่ 25 แสดงส่วนผสมของสีสำเร็จรูปในเนื้อดินกระเบื้องโมเสก

3. การขึ้นรูป

นำเนื้อดินที่เตรียมไว้ตามข้อ 2 มาอัดเป็นแผ่นกระเบื้องโมเสกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร หนักแผ่นละ 10 กรัมด้วยเครื่องไฮดรอลิก ใช้แรงอัด 13.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4. การเผา

นำแผ่นกระเบื้องโมเสกที่อัดได้ไปเผาที่ 3 อุณหภูมิ คือ 1150, 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส จะได้กระเบื้องโมเสกที่มีคุณสมบัติต่างๆกัน ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 26

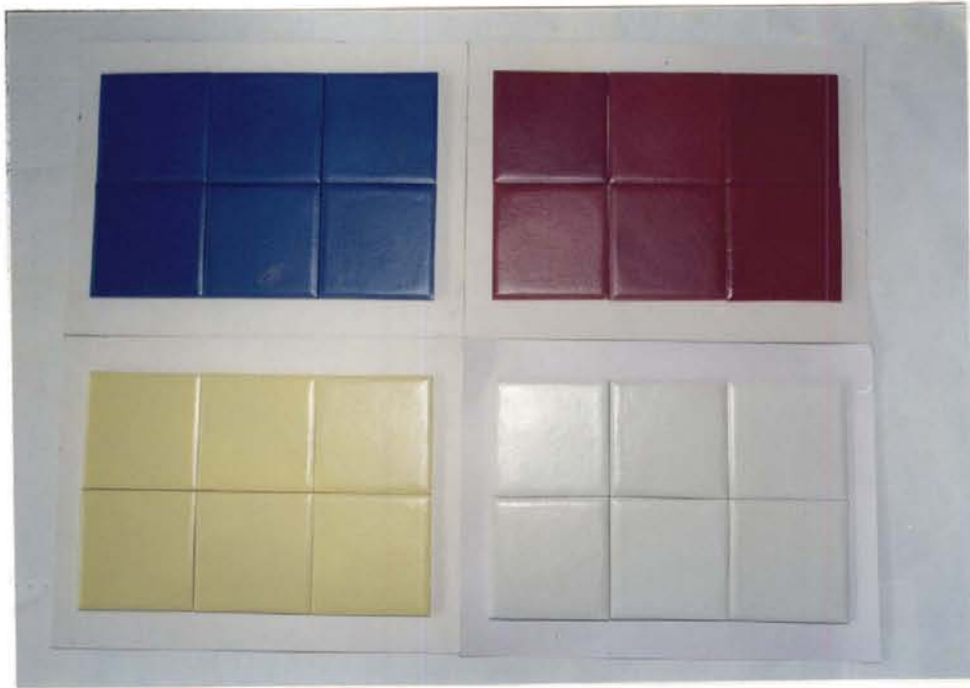
BODY COMPOSITION	FIRING TEMPERATURE (°C)	TOTAL SHRINKAGE (%)	WATER ABSORPTION (%)
สูตร 1 CHINA STONE 100%	1150	4.88	8.45
	1180	11.28	0.19
	1200	9.41	0.23
สูตร 2 CHINA STONE 90% BALL CLAY 10% (Mae Vit W)	1180	9.46	0.14

ตารางที่ 26 แสดงคุณสมบัติการหดตัวและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องโมเสก
เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150, 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส

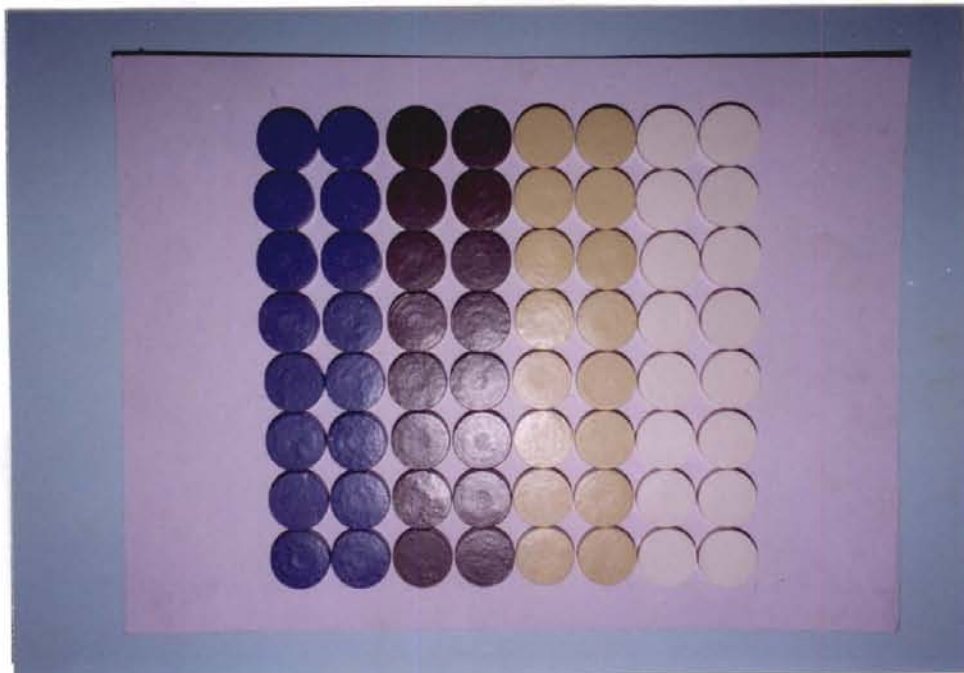
ผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อเผากระเบื้องโมเสกที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส การดูดซึมน้ำร้อยละ 8.45 มากเกินไป(การดูดซึมน้ำของกระเบื้องโมเสกไม่เกินร้อยละ 1 ตาม มอก.38-2531)

เมื่อเผาที่ 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส การดูดซึมน้ำของกระเบื้องโมเสก น้อยกว่าร้อยละ 1 ได้กระเบื้องโมเสกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในส่วนสมบัติของ การดูดซึมน้ำ

สรุปผลการทดลอง ไซนาสโตนแหล่ง C13 นี้ สามารถนำไปผสมทำกระเบื้องปูพื้น ประเภทดูดซึมน้ำต่ำ การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 3 และกระเบื้องโมเสกการดูดซึมน้ำไม่เกิน ร้อยละ 1 ได้ที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส(Cone 3) ดังรูปที่ 23 และรูปที่ 24



รูปที่ 23 แสดงผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้น



รูปที่ 24 แสดงผลิตภัณฑ์กระเบื้องโมเสก

9. การพัฒนาท่าผลิตภัณ์ Hard Porcelain

เนื้อดินปั้นที่นิยมในการทำถ้วยชาม (tableware) มักเป็น Porcelain หรือ Hard Porcelain เพราะมีความแข็งแรงแรงดีมีความโปร่งแสงและผ่านการเผาจนกระทั่งถึงจุดสุกตัว ไม่ดูดซึมน้ำ หลักใหญ่ของวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำเนื้อดินปั้น จะต้องประกอบด้วย แร่ฟันม้า ดิน และแร่ควอร์ตซ์ ช่วงอุณหภูมิการเผาของ Hard Porcelain จะอยู่ระหว่าง 1280° - 1460° ซ ในประเทศญี่ปุ่นและอังกฤษนิยมใช้ไชนาสโตน แทนบางส่วนหรือทั้งหมดของแร่ฟันม้า การผลิต Hard Porcelain ต้องมีความพิถีพิถันในการเลือกวัตถุดิบ โดยเลือกแหล่งที่มีมลทินน้อยที่สุด และหลีกเลี่ยงการใช้ดินเหนียวที่มีมลทิน เพราะจะทำให้สีของผลิตภัณ์ไม่ขาว และยังทำให้การโปร่งแสงในเนื้อดินน้อยลง

ตามปกติ Hard Porcelain มีส่วนผสมดังนี้

ดิน	ร้อยละ	50
แร่ฟันม้า	"	25
ควอร์ตซ์	"	25

9.1 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเริ่มด้วยการคัดเลือกไชนาสโตนแหล่งที่มีมลทินน้อยที่สุด จากหัวข้อ 3.3 จากนั้นจึงนำไปใช้ เป็นวัตถุดิบในส่วนประกอบแบบ Triaxial โดยใช้ไชนาสโตนแทนในส่วน of แร่ฟันม้า ทำการทดลองสูตรเนื้อ Porcelain รวม 11 สูตร มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติ เซรามิกต่างๆ เช่น การหดตัวรวม การดูดซึมน้ำ สีหลังการเผาแบบ Oxidation สีหลังเผาแบบ Reduction ที่อุณหภูมิ 1280 และ 1300° ซ หลังจากนั้นจึงได้ทดลองลดปริมาณไชนาสโตนลงจากการใช้ 40 % ในเนื้อ body โดยเพิ่มแร่ฟันม้าเข้ามาแทนและทำการทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบทั้งก่อนเผาและหลังเผา ในช่วงสุดท้ายของการวิจัยได้นำเนื้อดินที่พัฒนาแล้วมาขึ้นรูปด้วยการหล่อเป็นชุดถ้วยชามลายใบตอง ทำการชุบเคลือบ เเผา และทดสอบการรานตัวตามมาตรฐาน ซึ่งการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

9.2 การใช้ไชนาสโตนใน Triaxial porcelain

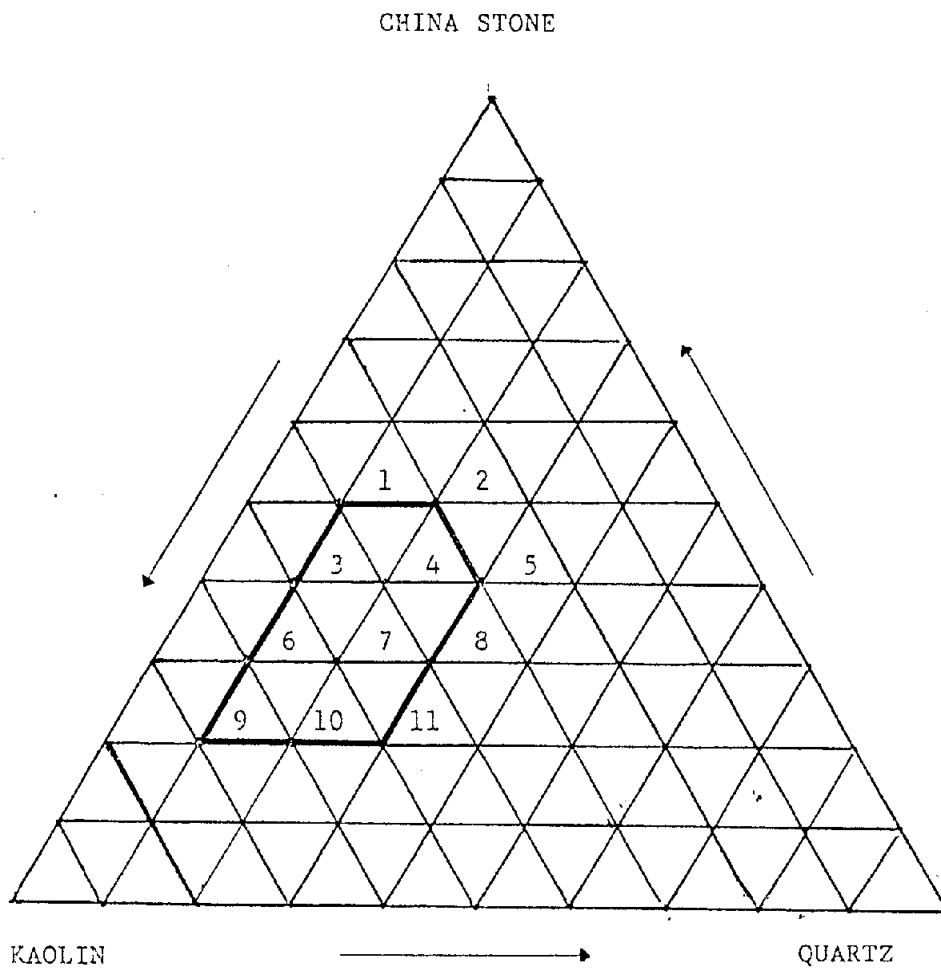
นำไชนาสโตนจากแหล่งที่มีมลทินน้อยคือจากบ้านป่าแห้ง ต.ทุ่งฮั่ว อ.วังเหนือ จ.ลำปาง รายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.3 ทำเป็นชิ้นตัวอย่าง ทำการเผาดูการสุกตัว และสีหลังเผาด้วย Gradient furnace พบว่าไชนาสโตนเริ่มสุกตัวที่อุณหภูมิ 1220 °C ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 การหลอมตัวของไชนาสโตน บ้านป่าแห้ง อ.วังเหนือ

ผสมวัตถุดิบในสัดส่วนต่างๆ กันแบบ Triaxial composition ในช่วงส่วนผสมคือ

ดินขาว	ร้อยละ	30-70
ไซนาสโตน	"	20-50
ควอร์ตซ์	"	10-30



รูปที่ 26 แสดงส่วนประกอบของ Triaxial Porcelain

ซึ่งคิดเป็นร้อยละของวัตถุดิบเพื่อซึ่งตามส่วนผสมได้ ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 แสดงร้อยละของวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำ Hard Porcelain

สูตร วัตถุดิบ	ดินขาว	ไซนาสโตน	ควออตซ์
1	40	50	10
2	30	50	20
3	50	40	10
4	40	40	20
5	30	40	30
6	60	30	10
7	50	30	20
8	40	30	30
9	70	20	10
10	60	20	20
11	50	20	30

ซึ่งส่วนผสมของแต่ละสูตรนำมาบดผสมใน ball mill สูตรละ 1.5 กิโลกรัม เรียกแต่ละสูตรว่า WN1-WN11 ทำการบดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 120 เมช ผ่านเครื่องแยกเหล็ก (magnetic separator) ขึ้นรูปเป็นชิ้นตัวอย่าง ทำการทดลองเผาที่ 2 อุณหภูมิ ทั้งแบบ Oxidation และแบบ Reduction ข้อมูลการทดสอบ การดูดซึมน้ำ และสีภายหลังการเผาปรากฏอยู่ในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 : ผลการทดลองเนื้อดิน Hard porcelain

ผล สูตร	การหดตัวรวม (ร้อยละ)		การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)		สีหลังการเผาแบบ oxidation		แบบ reduction
	1280° ซ	1300° ซ	1280° ซ	1300° ซ	1280° ซ	1300° ซ	1300° ซ
WN 1	18.68	18.48	0.49	0.30	คล้ำ	คล้ำ	ขาวอมฟ้า
WN 2	17.28	17.27	0.12	0.20	คล้ำ	คล้ำ	"
WN 3	18.18	19.27	3.93	0.26	นวล	นวล	"
WN 4	17.24	18.97	2.63	0.30	นวล	นวล	"
WN 5	17.30	18.17	0.15	0.30	คล้ำ	คล้ำ	"
WN 6	18.28	22.23	8.43	0.31	นวล	นวล	"
WN 7	17.70	20.64	5.08	0.31	นวล	นวล	"
WN 8	16.74	18.75	4.08	0.23	นวล	คล้ำ	"
WN 9	17.60	21.00	15.06	6.18	ขาว	ขาว	นวล
WN 10	17.68	20.80	11.20	2.20	ขาว	นวล	นวล
WN 11	15.12	18.64	13.60	6.95	ขาว	ขาว	นวล

จากผลการทดลองหลังเผาและสีที่ได้ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 1300° ซ เนื้อดินที่ได้ส่วนมาก จะสึกตัวมากกว่าที่ 1280° ซ จึงได้เผาเนื้อดินทดลองแบบ reduction ที่อุณหภูมิ 1300° ซ เพื่อสังเกตสีของเนื้อดิน ได้สีของตัวอย่างดังรูปที่ 27 ได้เลือกสูตร WN 4 มาทดลองต่อไป เนื่องจากคุณสมบัติกายภาพที่ได้ค่อนข้างดี

No	TEMP	oxidation		reduction
		1280 °C	1300 °C	1300 °C
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

รูปที่ 27 แสดงสีที่ได้หลังการเผาของสูตร Hard Porcelain

9.3 การใช้ไชนาสโตนร่วมกับแร่ฟันม้าใน Triaxial Porcelain

จากรูปจะเห็นว่าเนื้อดินสูตร WN 4 ยังมีสีที่ไม่ขาวเท่าที่ porcelain ควรจะเป็น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใช้ china stone ในปริมาณมาก จึงทำให้ contaminate จาก china stone ปนเปื้อนเข้ามา ได้ทดลองใช้แร่ฟันม้า ซึ่งมีผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 29 มาเสริมในสูตรโดยแทนที่ china stone บางส่วน เรียกตัวอย่างว่า WNF 1, WNF 2 ในตารางที่ 30

ตารางที่ 29 ส่วนประกอบของแร่ฟันม้าทางเคมี, ร้อยละโดยน้ำหนัก

K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	LOI
13 ± 0.3	1 ± 0.5	0.05 ± 0.1	16 ± 0.5	65 ± 0.5	2.0

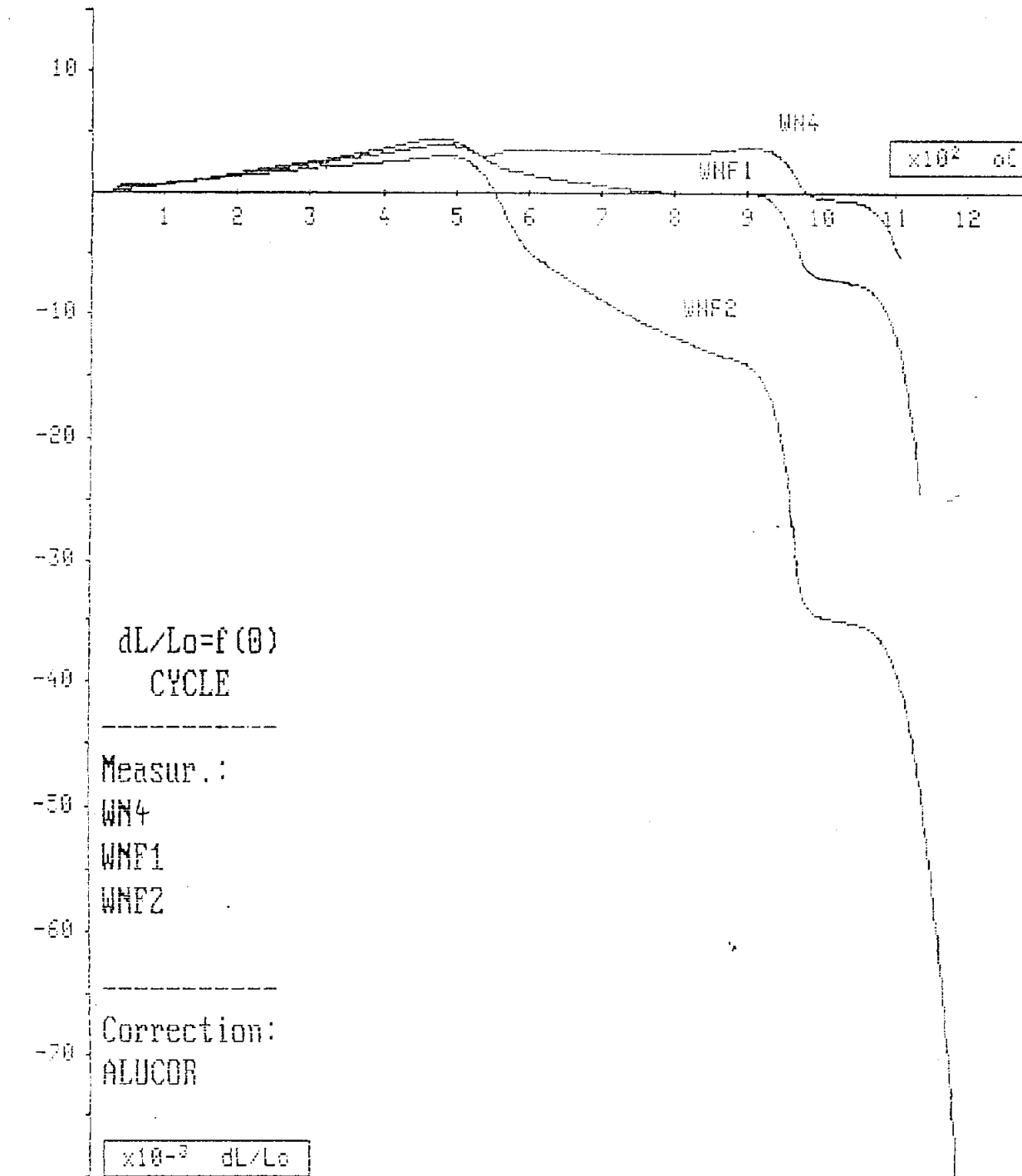
ตารางที่ 30 สูตร Hard Porcelain ใช้เฟลด์สปาร์ร่วมกับไชนาสโตน

สูตร	ส่วนผสม	ดินขาว	ควอร์ตซ์	ไชนาสโตน	แร่ฟันม้า
WN 4		40	20	40	-
WNF 1		40	20	30	10
WNF 2		40	20	20	20

แต่ละสูตรได้ทำเป็นชิ้นตัวอย่างและทดสอบสมบัติกายภาพเปรียบเทียบกัน เมื่อเผาแบบ reduction ที่ $1300^{\circ}C$ ในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบคุณสมบัติกายภาพของสูตร Porcelain

	WN 4	WNF 1	WNF 2
การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.30	0.36	0.24
ความพรุนปรากฏ, ร้อยละ	0.4	0.8	0.6
ความหนาแน่น	2.40	2.39	2.41
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.41	2.42	2.42
การหดตัวรวม, ร้อยละ	18.97	19.83	20.29
ความขาว, ร้อยละ	55.1	55.6	55.5



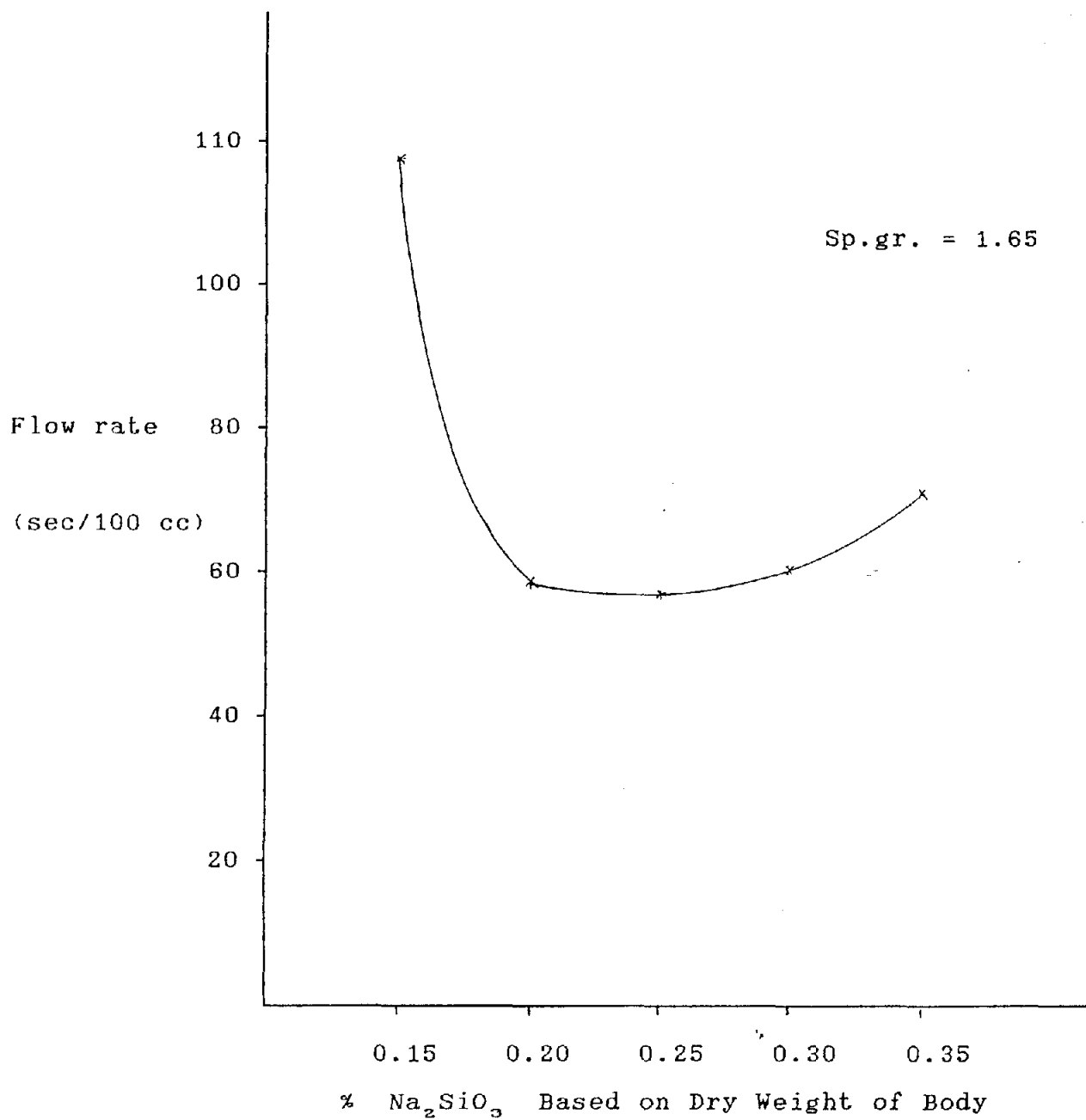
รูปที่ 28 แสดง Thermal Expansion Curve ของ Hard Porcelain

จาก Thermal Expansion Curve (รูปที่ 28) จะเห็นว่า WNF 2 มีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่ำกว่า WNF1 และ WN4 ทั้งยังมีการหดตัวสูงกว่าสูตรอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวและสมบัติกายภาพอื่นๆ จึงเลือก WNF1 นำมาทำเป็นน้ำสลิบ เพื่อทดลองขึ้นรูปแบบ slip casting โดยทดลองหาปริมาณ deflocculant ที่เหมาะสม ผลการทดลองได้ตามรูปที่ 29

ได้ทำเป็นน้ำสลิบขึ้นรูปเป็นชุดถ้วยชามลายใบตอง เลือกใช้เคลือบของ Hard Porcelain ตามสูตร

Feldspar	ร้อยละ	51.1
Ranong Kaolin	"	9.5
Quartz	"	22.9
Zinc Oxide	"	7.8
Talcum	"	2.9
Calcium Carbonate	"	1.9
Dolomite	"	3.9

ทำ WNF 2 เป็นชิ้นตัวอย่าง เคลือบแล้วเผาที่ 1300° ซ และทดสอบการรานตัวด้วย Autoclave ตาม ASTM C424-60 ปรากฏว่า ไม่เกิดการรานตัวทุกหน่วยความดัน



รูปที่ 29 แสดงค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่างๆ กัน



รูปที่ 30 แสดงผลิตภัณฑ์ชุดถ้วยชามเนื้อดิน Hard Porcelain

สรุปผลการทดลอง

สามารถนำ china stone มาทำเป็น tableware เนื้อ Hard Porcelain ได้ตามวัตถุประสงค์แต่สีของผลิตภัณฑ์ซึ่งควรจะเป็นสีขาวอมฟ้ากลับคล้ำไปเล็กน้อย (รูปที่ 30) ทั้งนี้ อาจเกิดจากปริมาณ Fe_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งปนเปื้อนมากับวัตถุดิบมีมากเกินไป

ปัญหาอีกประการที่พบเสมอคือการบิดเบี้ยวของขอบจานชาม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีการเผาเคลือบและเนื้อดินปั้นสูงจนถึงจุดสุกตัว ทำให้โอกาสที่จะเกิดการบิดเบี้ยวหรือยุบตัวเป็นไปได้ง่าย อย่างไรก็ตาม เราสามารถนำ china stone แหล่งที่คุณภาพดี และราคาถูก ทดแทนแร่ฟันม้าในการผลิตผลิตภัณฑ์ Hard Porcelain ได้

10. การใช้ทำเครื่องสุกัณฑ์ ชนิด Vitreous China

ตามมาตรฐาน มอก.791-2531 เครื่องสุกัณฑ์ที่เตรียมมีเนื้อและน้ำยาเคลือบแข็งแกร่งมีค่าดูดซึมน้ำน้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก สุกัณฑ์ชนิด Vitreous China เป็นชนิดที่นิยมใช้ตามที่ทำงาน โรงแรม และบ้านสมัยใหม่ทั่วไปรวมทั้งที่ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ

10.1 การทดสอบเนื้อสุกัณฑ์เบื้องต้น

จากรายงานเรื่องคุณสมบัติโซนาสโตน จากจ.ลำปาง⁴ คณะผู้วิจัยได้เลือกโซนาสโตนที่มีคุณสมบัติวิทยาแร่ประกอบด้วยเฟลด์สปาร์เป็นส่วนใหญ่ มาใช้ในการทำเนื้อเซรามิกประเภทต่างๆ เพราะจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แข็งแกร่ง ไม่ซึมน้ำและใช้ไฟต่ำโดยไม่จำเป็นต้องใช้เฟลด์สปาร์ในสูตรอีก โซนาสโตนดังกล่าวสามารถพบได้จากแหล่งใน อ.แม่เมาะ อ.แจ้ห่ม และ อ.วังเหนือ ดังที่ได้รายงานไว้แล้ว

การทดลองเริ่มจากการพิจารณาคูสมบัติเซรามิกของโซนาสโตน ที่ผ่านการบดเปียกและบดแห้งด้วย jar mill ซึ่งได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4.2 การบดแร่ด้วย porcelain jar Mill นำผงแร่มาอัดเป็นแผ่นกลม นำเข้าไปเผาในเตาอุตสาหกรรม ทำการเผาที่ cone 5-6 ใช้เวลานาน 30 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 คุณสมบัติเซรามิกเมื่อเผาที่ cone 5-6 ในเตาอุตสาหกรรม ใช้เวลาทั้งสิ้น 30 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	% Shrinkage	% LOI	% Water Absorption
จ2 บดเปียก	14.596	2.093	0.029
ม1 บดเปียก	13.553	3.230	0.197
ม1 บดแห้ง	11.861	2.090	2.306

ต่อจากนั้นจึงนำโซนาสโตนที่บดแล้วดังกล่าวมาผสมกับดินเหนียวซึ่งอยู่ในรูปของ Ball Slip เริ่มต้นโดยใช้ Ball Slip 25 % ผสมกับโซนาสโตน 75 % และตรวจดูคุณสมบัติ

เซรามิก โดยการเผาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบกับเนื้อสุกซ์ภัณฑ์ในท้องตลาด โดยทำการเผาในเตาอุตสาหกรรมนาน 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการเผาระดับ cone 5-6 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 คุณสมบัติเซรามิกของน้ำสลิปที่มีโซนาสโตน

ตัวอย่างน้ำสลิป	% Shrinkage	% LOI	% Water Absorption
สลิป cone 8	7.93	5.89	5.02
75 % แห้ง ม1	10.68	3.66	0.04
75 % แห้ง จ2	12.30	3.07	0.03

การใช้โซนาสโตนจากทั้ง 2 แห้ง ปริมาณ 75% ทำน้ำสลิปสุกซ์ภัณฑ์ ได้ค่าดูดซึมน้ำต่ำมาก ที่การเผา cone 5-6 ขณะที่สลิปในท้องตลาด ต้องทำการเผาสูงถึง cone 8 ตารางที่ 34 แสดงคุณสมบัติเซรามิกของโซนาสโตนแม่เผาเขตแห้งและเขตเปียก เปรียบเทียบกับโซนาสโตนแฉ่หมบดเปียก ระหว่างอุณหภูมิ 1070-1251°C เผาด้วยเตา gradient ตารางที่ 35 แสดงคุณสมบัติเซรามิกของน้ำสลิปที่มีส่วนผสมโซนาสโตน 75 % เปรียบเทียบกับน้ำสลิปที่ใช้ในโรงงานเซรามิกปัจจุบัน เผาด้วยเตา gradient รูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Absorption กับ Temperature ที่ได้จากสลิปทั้งสาม

Slip blank หมายถึง Slip ที่ใช้ในโรงงานเซรามิก

C 17 หมายถึง Slip ที่มีโซนาสโตนแม่เผา 75 %

C 10 หมายถึง Slip ที่มีโซนาสโตนแฉ่หมบด 75 %

จากรูปจะเห็นได้ว่าเนื้อดินที่ใช้โซนาสโตนเป็นส่วนผสมทั้ง 2 สูตร จะเริ่มมีค่าดูดซึมน้ำใกล้ 0 ที่ 1180°C ขณะที่เนื้อดินปกติที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ค่าดูดซึมน้ำเริ่มใกล้ 0 ที่ 1250°C การนำโซนาสโตนมาใช้ในงานเซรามิกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการค่าดูดซึมน้ำต่ำ จึงมีโอกาเป็นไปได้และจะช่วยประหยัดค่าพลังงานได้มาก เพราะสามารถทำการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติถึง 70°C

ตารางที่ 34 คุณสมบัติเซรามิกของโซนาสโตนบดภายหลังจากเผาด้วยเตา gradient

SAMPLE	TEMPERATURE					
	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
แม่เมาะ(ม1)บดแห้ง	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
Dried length	5.70	5.73	5.72	5.735	5.715	5.71
Fired length	5.23	5.10	5.06	5.035	5.210	5.66
% Shrinkage	8.245	10.995	11.538	12.206	8.836	0.875
Dried wt.	42.334	33.754	34.937	35.530	36.487	34.060
Fired wt.	41.136	32.784	33.942	34.558	35.454	33.102
% LOI	2.829	2.874	2.848	2.813	2.831	2.812
Wet wt.	41.164	32.810	33.954	34.658	37.741	-
% Absorption	0.068	0.079	0.035	0.289	6.451	-

ตารางที่ 34 (ต่อ)

SAMPLE	TEMPERATURE					
	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
แม่เมาะ(ม1)บดเปียก	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
Dried length	5.725	5.74	5.745	5.73	5.775	5.74
Fired length	5.090	5.14	5.040	5.025	5.085	5.615
% Shrinkage	11.092	10.453	12.271	12.303	11.948	2.177
Dried wt.	34.632	32.118	36.364	38.779	37.415	43.131
Fired wt.	33.137	30.779	34.701	36.799	35.312	41.796
% LOI	4.317	4.169	4.573	5.106	5.620	3.095
Wet wt.	33.208	30.852	34.717	37.059	36.843	-
% Absorption	0.214	0.237	0.046	0.706	4.335	-

ตารางที่ 34 (ต่อ)

SAMPLE	TEMPERATURE					
	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
น้ำหนัก(จ2)บดเปียก	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
Dried length	5.72	5.720	5.700	5.715	5.725	5.740
Fired length	4.83	4.825	4.835	4.840	4.875	5.665
% Shrinkage	15.559	15.646	15.175	15.310	14.847	1.307
Dried wt.	31.790	31.609	31.366	32.029	28.887	36.316
Fired wt.	30.516	30.306	30.331	30.913	27.866	35.583
% LOI	4.007	4.122	3.219	3.464	3.532	2.018
Wet wt.	30.611	30.377	30.371	30.929	29.497	-
% Absorption	0.311	0.234	0.131	0.052	5.853	-

ตารางที่ 35 คุณสมบัติเซรามิกของสลิปที่มีโซนาสโตนผสม 75 % เผาด้วยเตา gradient

SAMPLE	TEMPERATURE					
สลิป cone8	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
Dried length	3.48					
Fired length	3.11	3.105	3.15	3.19	3.315	3.45
% Shrinkage	10.632	10.776	9.483	8.333	4.741	0.862
Dried wt.	9.693	9.795	9.771	9.837	9.835	9.944
Fired wt.	9.09	9.191	9.163	9.230	9.236	9.345
% LOI	6.221	6.166	6.222	6.171	6.010	6.024

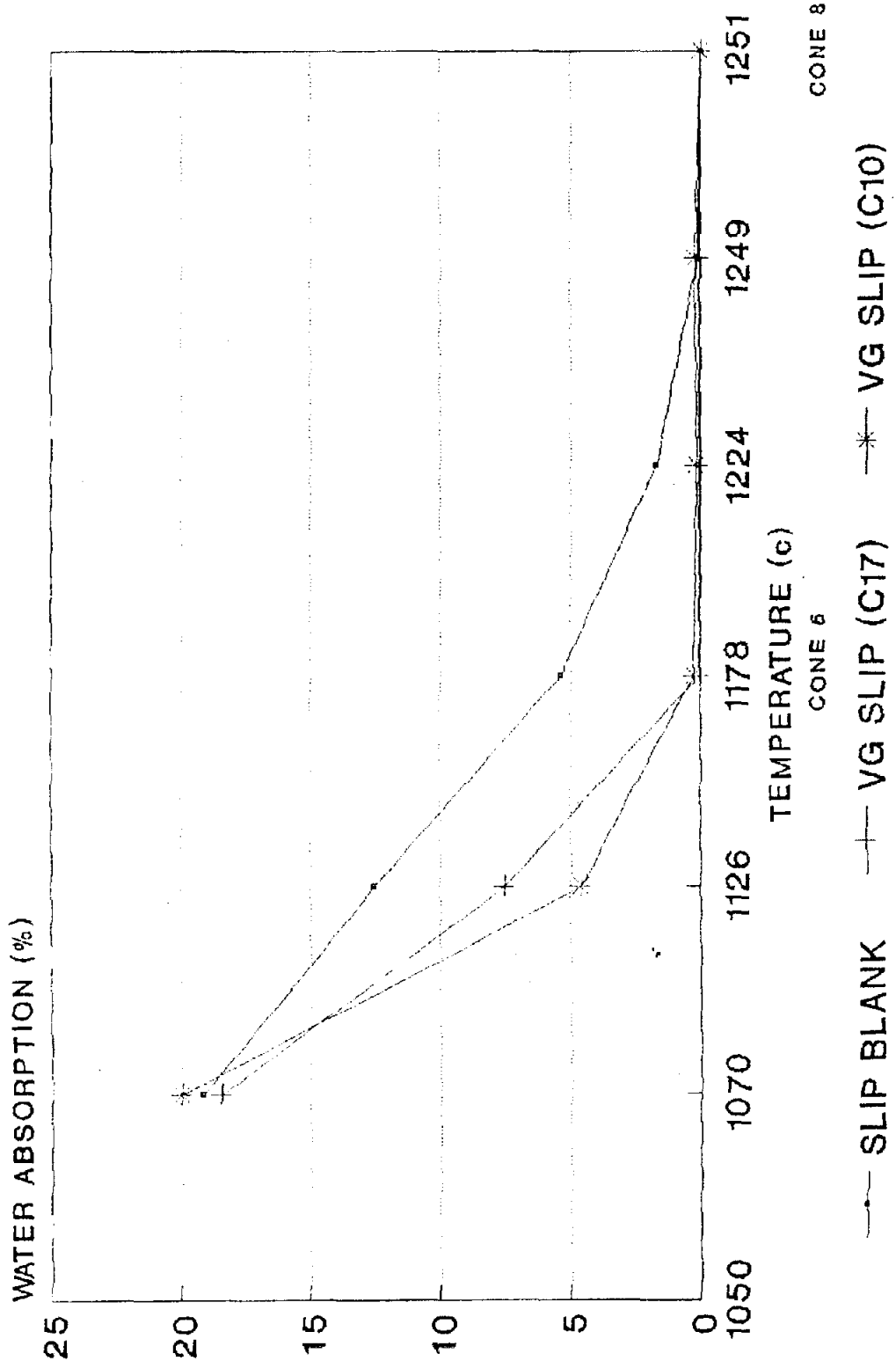
ตารางที่ 35 (ต่อ)

SAMPLE	TEMPERATURE					
สลิปมี แห้ง ม1 75%	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°	1070°
Dried length	3.48					
Fired length	3.24	3.195	3.13	3.1	3.22	3.44
% Shrinkage	6.896	8.189	10.054	10.919	7.471	1.141
Dried wt.	10.016	9.996	10.201	9.852	9.868	9.961
Fired wt.	9.601	9.581	9.779	9.445	9.462	9.565
% LOI	4.143	4.152	4.137	4.131	4.114	3.975

ตารางที่ 35 (ต่อ)

SAMPLE	TEMPERATURE					
	สลิปี่ แหล่ง จ2 75%	1251°	1249°	1224°	1178°	1126°
Dried length	3.48					
Fired length	3.22	3.2	3.155	3.10	3.17	3.46
% Shrinkage	7.471	8.046	9.339	10.911	8.908	0.574
Dried wt.	10.557	9.786	9.907	10.084	9.821	10.171
Fired wt.	10.195	9.504	0.575	9.737	9.488	9.842
% LOI	3.429	2.882	3.351	3.441	3.391	3.234

WATER ABSORPTION & TEMPERATURE



รูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Absorption กับ Temperature ของสลิปที่ใช้ชามาส์โดน

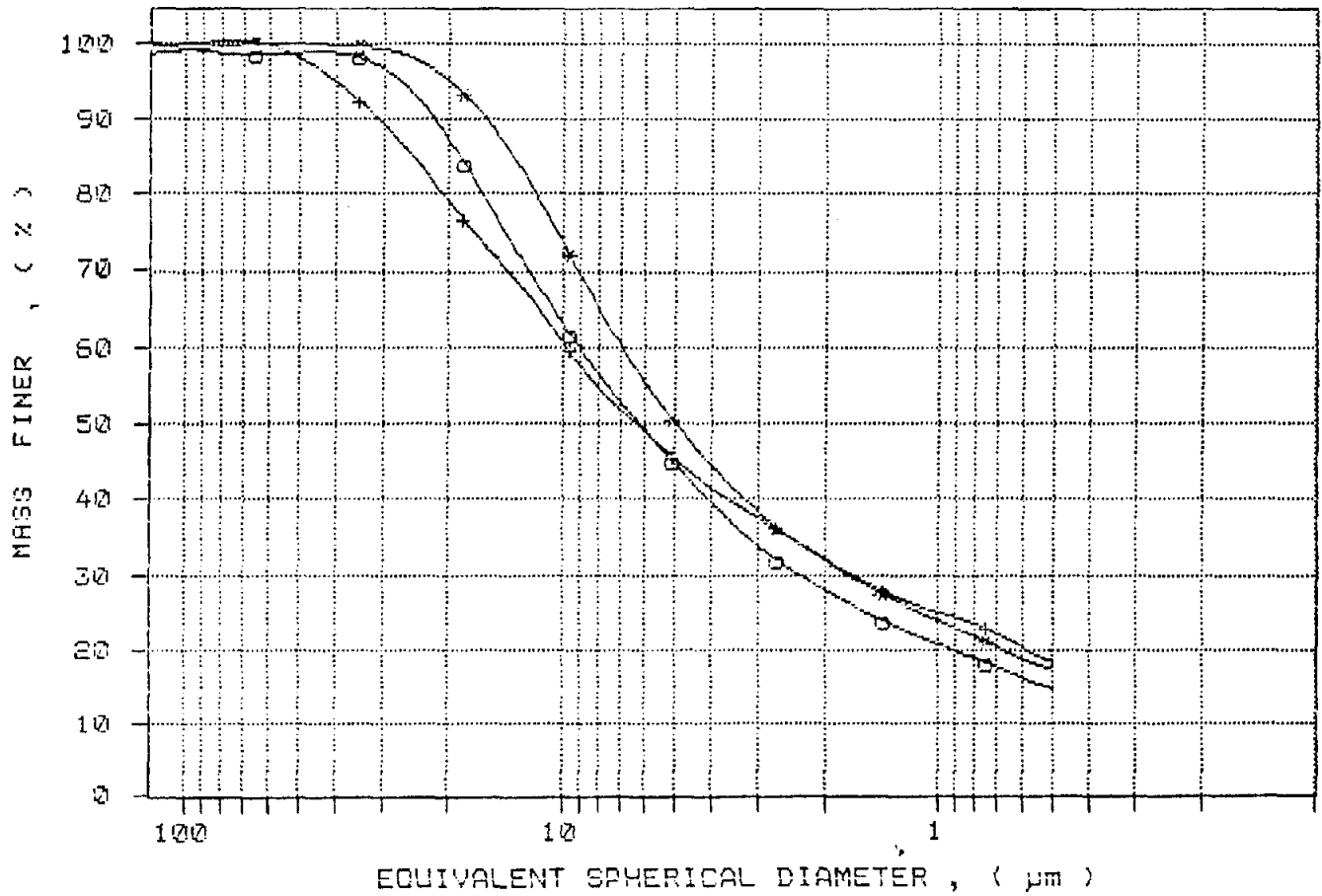
รูปที่ 32 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคในสลิปที่มีไชนาสโตน 75% จะเห็นได้ว่าอนุภาคของไชนาสโตนแม่เมอะที่ผ่านการบดเปียก มีความละเอียดที่สุด รูปที่ 33 แสดงขนาดอนุภาคของสลิปที่ใช้ไชนาสโตนบดเปียก 2 แหล่ง 75% เปรียบเทียบกับสลิปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จะเห็นว่า การกระจายของขนาดอนุภาคในสลิปโรงงานอยู่ระหว่างกลางคือมีการกระจายของอนุภาคกว้างกว่าสลิปที่ใช้ไชนาสโตน ตารางที่ 36 เปรียบเทียบคุณสมบัติอื่นๆของสลิปไชนาสโตน 75% กับสลิปของโรงงานอุตสาหกรรม ตารางที่ 37 และตารางที่ 38 แสดงขนาดอนุภาคในสลิปไชนาสโตนแหล่งแจ้ห่มและแหล่งแม่เมอะที่ผ่านการบดเปียก และใช้ร่วมกับ Ball slip โดยใช้ Ball slip 25% ตารางที่ 39 แสดงขนาดอนุภาคในสลิปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 36 คุณสมบัติอื่นๆของสลิปไชนาสโตน 75%

แหล่งไชนาสโตน	ถ.พ.	OVERSWING	THIXOTROPY	Cast Rate mm./ชั่วโมง
แม่เมอะบดแห้ง	-	-	-	11.6
แม่เมอะบดเปียก	1.77	300	120	13.5
แจ้ห่มบดเปียก	1.80	310	120	11.5
สลิปในโรงงาน	1.81	290	110	9.0

CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER

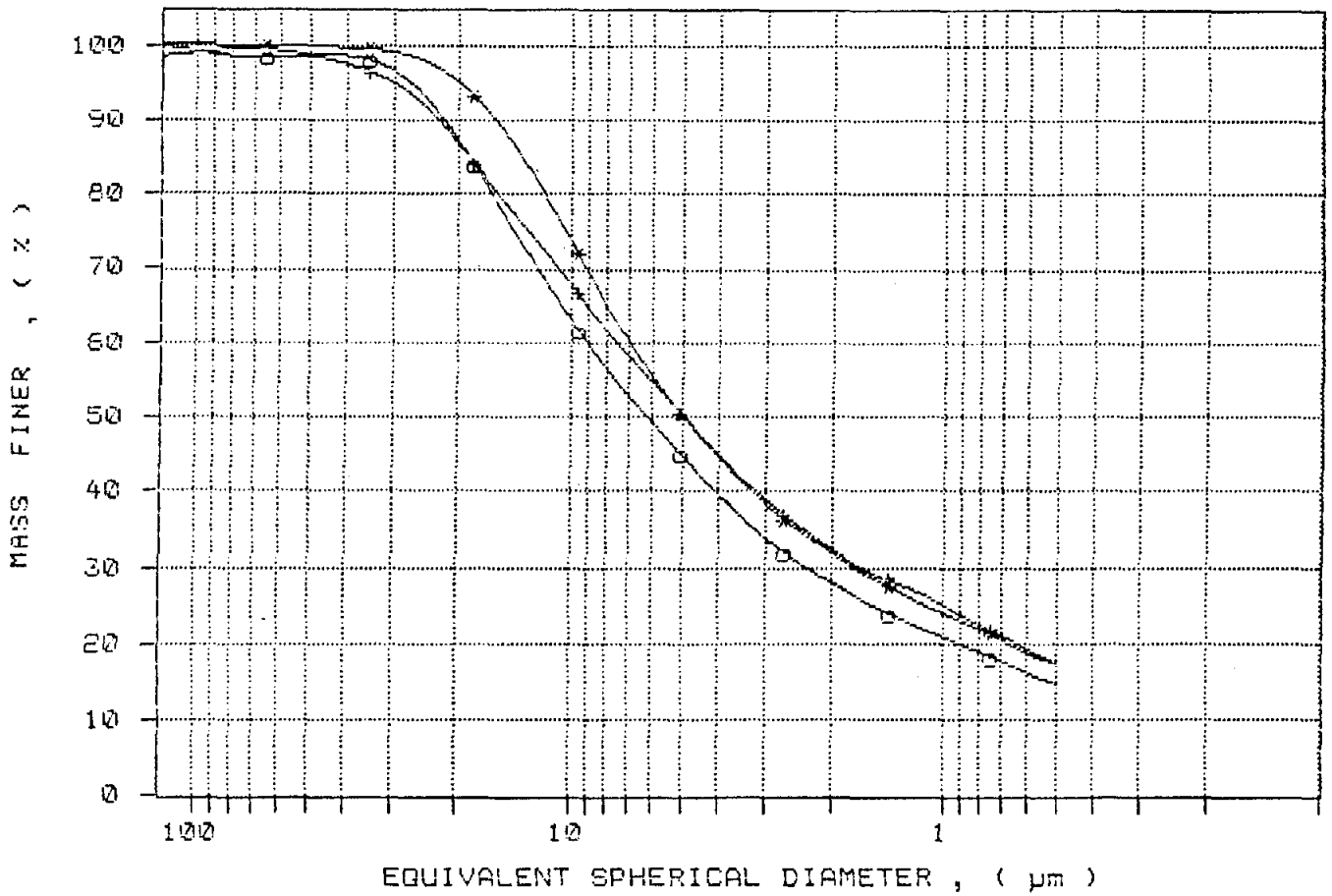
- + 203 VG SLIP (TEST), B.S. : C 17 (DRY MILLED) = 25:75 CR. = 11.6 m
 * 210 VG SLIP (TEST), B.S. : C 17 (WET MILL) = 25:75 CR. = 12.5
 o 211 VG SLIP (TEST), B.S. : C 10 (WET MILL) = 25:75 CR. = 11.5



รูปที่ 32 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคในสลิปที่มีไซนาสตัน 75%

CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER

- + 209 CAST SLIP 18/01/92 , (SLIP LINE) . CR = 7.0 m
- * 210 VG SLIP (TEST), B. S. : C 17 (WET MILL) = 25:75 . CR = 13.5 m
- o 211 VG SLIP (TEST), B. S. : C 10 (WET MILL) = 25:75 CR = 17.5 m



รูปที่ 33 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของสลิปที่ใช้ไซนาสโตน 75%
เปรียบเทียบกับสลิปในโรงงานอุตสาหกรรม

DIAMETER (μm)	CUMULATIVE MASS FINER (%)	MASS IN INTERVAL (%)
100.00	99.1	0.9
80.00	98.6	0.6
60.00	98.4	0.2
50.00	98.6	-0.2
40.00	98.6	0.0
30.00	96.5	2.1
25.00	93.3	3.2
20.00	86.9	6.3
15.00	76.8	10.2
10.00	63.0	13.8
8.00	56.3	6.6
6.00	49.0	7.3
5.00	44.6	4.4
4.00	39.5	5.1
3.00	33.8	5.6
2.00	28.0	5.9
1.50	24.6	3.4
1.00	20.7	3.9
0.80	18.9	1.8
0.60	16.2	2.6
0.50	14.7	1.6

MEDIAN DIAMETER: 6.26 μm

MODAL DIAMETER : 15.46 μm

ตารางที่ 37 แสดงขนาดอนุภาคในสลิปไชนาสโตนแห้งห่มบดเปียกใช้ Ball Slip ต่อ
ไชนาสโตน 25:75

DIAMETER (μm)	CUMULATIVE MASS FINER (%)	MASS IN INTERVAL (%)
100.00	99.1	0.9
80.00	99.5	-0.4
60.00	99.9	-0.4
50.00	99.9	0.0
40.00	99.6	0.3
30.00	99.1	0.5
25.00	98.0	1.2
20.00	94.9	3.1
15.00	88.1	6.8
10.00	73.4	14.6
8.00	64.9	8.6
6.00	55.1	9.7
5.00	49.9	5.2
4.00	44.3	5.6
3.00	38.3	6.1
2.00	31.8	6.4
1.50	28.1	3.7
1.00	23.8	4.3
0.80	21.7	2.1
0.60	18.8	3.0
0.50	17.3	1.5

MEDIAN DIAMETER: 5.02 μm

MODAL DIAMETER : 9.84 μm

ตารางที่ 38 แสดงขนาดอนุภาคในสลิปไชนาสโตนแม่เมาะขนาดเปียกใช้ Ball Slip ต่อ
ไชนาสโตน 25:75

DIAMETER (μm)	CUMULATIVE MASS FINER (%)	MASS IN INTERVAL (%)
100.00	100.1	-0.1
80.00	99.9	0.3
60.00	99.3	0.6
50.00	98.6	0.6
40.00	97.4	1.2
30.00	94.9	2.5
25.00	92.0	2.9
20.00	86.5	5.5
15.00	78.6	7.9
10.00	67.6	11.0
8.00	61.5	6.2
6.00	54.5	7.0
5.00	50.1	4.4
4.00	44.6	5.4
3.00	38.8	5.8
2.00	32.3	6.5
1.50	28.8	3.5
1.00	24.9	3.9
0.80	22.3	2.6
0.60	19.3	3.1
0.50	17.4	1.9

MEDIAN DIAMETER: 4.99 μm

MODAL DIAMETER : 9.78 μm

ตารางที่ 39 แสดงขนาดอนุภาคในสลิปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

10.2 ส่วนผสมไชนาสโตนแฉ้ห่ม- Ball Slip-ดินขาว

วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเนื้อสุกักทำให้มีคุณสมบัติการทำน้ำสลิปและการขึ้นรูปด้วยการหล่อให้ดีขึ้น โดยการเติมดินขาวล้างจากลำปางและดินขาว จ.ระนอง กับไชนาสโตน อ.แฉ้ห่ม ตามสูตรตารางที่ 40 ในส่วนผสมขนาด 3 กิโลกรัม ทดลองในห้องปฏิบัติการได้ผลดังตารางที่ 41 และ 42

ตารางที่ 40 ส่วนผสมไชนาสโตนแฉ้ห่ม-Ball Slip-ดินขาว

วัตถุดิบ	ส่วนผสมน้ำดิน					
	1	2	3	4	5	6
Ball Slip	21	21	25	25	25	25
ไชนาสโตนแฉ้ห่ม	74	74	60	60	60	60
ดินขาวปางค่าเปียก	-	5	-	-	15	-
ดินขาวปางค่าแห้ง	-	-	-	-	-	15
ดินขาววังเหนือ	5	-	-	-	-	-
ดินขาวระนองเปียก	-	-	15	-	-	-
ดินขาวระนองแห้ง	-	-	-	15	-	-

ตารางที่ 41 คุณสมบัติการหล่อแบบ และคุณสมบัติหลังเผา Cone 8

คุณสมบัติ	สูตรผสมน้ำดิน					
	1	2	3	4	5	6
ความถ่วงจำเพาะ	1.81	1.81	1.80	1.80	1.80	1.80
OVER SWING	295	290	300	295	290	265
THIXOTROPY	85	80	100	85	90	85
Cast Rate(mm)	6.5	7.5	7.5	7.0	7.0	6.5
Drain	ไม่ดี	ไม่ดี	OK	OK	OK	OK
Feel	4	4	8	8	7	8
Dry Shrinkage	2.35	1.95	5.20	5.5	5.5	5.4
Total Shrinkage	12.10	11.85	17.80	19.20	18.20	17.80
Dry MOR	585	543	541	538	666	630
Fired MOR	8650	8155				
Warping(mm)	28.5	28.5				
Absorption	0.087	0.056				

ตารางที่ 42 คุณสมบัติเนื้อโซนาสโตนแห้งหลังเผาด้วยเตา Gradient

คุณสมบัติ	สูตรผสมน้ำดิน					
	1	2	3	4	5	6
Warpage						
1180°C	6.5	4.8	3.0	2.5	3.0	1.8
1165	3.5	3.0	2.5	2.0	3.0	1.5
1130	2.2	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
1090	0.5	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5
1035	-	-	-	-	-	-
985	-	-	-	-	-	-
Fired MOR						
1180°C	NA	NA	10606	9690	9563	7584
1165			10617	11662	10444	9436
1130			11434	13348	11659	9867
1090			9745	9841	9555	9713
1035			4343	3825	5589	5060
985			2741	2425	3547	3390
H ₂ O Absorption						
1180°C			0.01	0.03	0.01	0.02
1165	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.02
1130	0.01	0.01	0.06	0.02	0.04	0.01
1090	5.66	4.60	0.10	0.05	0.04	0.05
1035	18.79	18.69	13.44	13.11	15.63	12.70
985	22.82	23.67	22.72	22.57	21.75	21.34

10.3 ส่วนผสมไชนาสโตนแม่เมาะ-Ball Slip-ดินขาว

วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณสมบัติของน้ำสลิปที่ใช้ไชนาสโตนแหล่ง อ.แม่เมาะบดแห้ง -200 เมช. ร่วมกับดินขาวลำปางจากเขาปางค่า และทรายแก้ว

ตารางที่ 43 ส่วนผสมไชนาสโตนแม่เมาะ-Ball Slip-ดินขาว และคุณสมบัติทางกายภาพ

วัตถุดิบ	ส่วนผสมน้ำดิน	
	1	2
ไชนาสโตนแม่เมาะ	60	60
Ball Slip	25	25
ดินขาวปางค่า	15	10
ทรายแก้ว	-	5

คุณสมบัติ	สูตรผสมน้ำดิน	
	1	2
ความถ่วงจำเพาะ	1.81	1.81
Over Swing	290	315
Thixotropy	95	85
Cast Rate	9.5	9.0
Feel	5	5
Dry Shrinkage	4.20	4.10
Total Shrinkage	13.60	13.00
Dry MOR	534	475

ตารางที่ 44 คุณสมบัติเนื้อโชนาสโตนแม่เมาะ หลังการเผาด้วยเตา Gradient

คุณสมบัติ	สูตรผสมน้ำดิน	
	1	2
Warpage		
1178 °C	5.0	5.5
1160	4.0	4.5
1125	2.5	2.0
1080	0.8	0.8
1030	0.5	0.2
980	0.5	0.2
Fired MOR		
1178 °C	12550	11975
1160	10069	9277
1125	7615	8485
1080	5327	5007
1030	3140	2850
980	2140	1870
H ₂ O Absorption		
1178 °C	0.01	0.02
1160	0.04	0.02
1125	0.85	1.03
1080	7.09	7.93
1030	13.47	16.48
980	19.90	19.93

10.4 ผลการทดลองจากโรงงานเซรามิก

โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้ไชนาสโตน ได้รับความร่วมมือและช่วยเหลือจาก บ. เคลย์แอนด์มิเนอรัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ในการบดละเอียดแร่ ด้วยเครื่อง Ring and Roller Mill ซึ่งได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4.4 และจากบริษัทเครื่องสุขภัณฑ์อเมริกันสแตนดาร์ด (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ในการทดลองใช้ผสมทำเนื้อสุขภัณฑ์และทดสอบคุณสมบัติ ซึ่งได้แยกผลการทดลองออกเป็นสองแนวทาง และมีผลสำหรับเผยแพร่ ดังนี้

10.4.1 การใช้ปริมาณมากเพื่อผลิตเนื้อไฟดำ

ไชนาสโตนที่ใช้เป็นแร่ผงละเอียดจากแหล่งอ.วังเหนือเหมืองแร่เบญจพรจำกัด มีข้อมูลดังนี้

CHEMICAL ANALYSIS

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
75.00	0.04	16.10	0.51	0.15	0.21	2.21	4.60	1.17

MINERALOGY

32% QUARTZ, 40% ALBITE, 20% MODERATELY CRYSTALLINE MICA, 5% SMECTITE

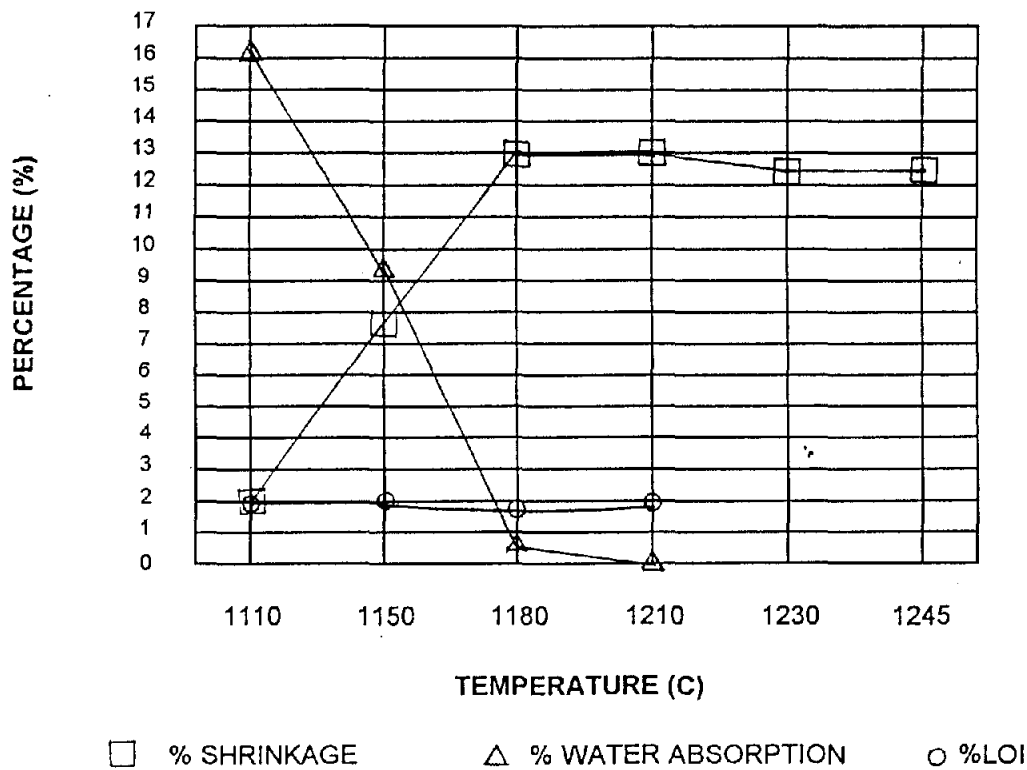
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

20	10	5	2	1	0.5	μm
62	36	20	9	5	3	%

FIRING PROPERTIES

PROPERTIES	TEMPERATURE (C)					
	1110	1150	1180	1210	1230	1245
% SHRINKAGE	1.983	7.649	13.031	13.031	12.465	12.465
% LOI	1.914	1.943	1.830	1.979	1.984	1.975
% ABSORPTION	16.204	9.378	0.690	0.065	0.075	0.065

FIRING PROPERTIES



รูปที่ 34 Firing Properties ของไซนาสโตนแหล่ง อ.วังเหนือ

ส่วนผสมที่ใช้

	<u>สูตร LTB-12</u>	<u>สูตร LTB-13</u>
	%	%
Ball Clay	25	30
China Clay	15	10
โซนาสโตนวังเหนียว	<u>60</u>	<u>60</u>
Total	100	100
Sod. Carbonate %	0.003	0.004
Sod. Silicate %	0.156	0.172
<u>Mineral Content %</u>		
Kaolinite	19.60	20.70
Quartz	27.80	27.90
Mica	24.70	23.10
Organic	0.30	0.40
Feldspar	<u>24.00</u>	<u>24.00</u>
Total	96.40	96.10

	<u>LTB-12</u>	<u>LTB-13</u>
<u>Chemical Composition %</u>		
SiO ₂	65.64	65.95
Al ₂ O ₃	21.72	21.42
Fe ₂ O ₃	0.59	0.62
TiO ₂	0.29	0.32
CaO	0.66	0.67
MgO	0.23	0.24
K ₂ O	1.59	1.40
Na ₂ O	6.08	6.07
LOI	<u>3.21</u>	<u>3.33</u>
Total	100.01	100.02
Batch Size(Kg)	3	3
<u>Testing Properties</u>		
Sp.Gravity	1.80	1.80
Over Swing	250	265
Thixotropy	90	85
Cast Rate	8.5	7.5
Drain	OK	OK
Feel	5	6
<u>Baroid Test</u>		
Humid Weight(gm)	73.60	64.10
Dry Weight	58.30	50.90
Wt.of Filtrate	8.40	-
% Moisture of Cake	26.20	26.00

	<u>LTB-12</u>	<u>LTB-13</u>
Shrinkage		
Dried	3.5	3.0
C-6 Total	12.2	12.0
MOR(psi)		
Dried	495	547
C-8 Fired	10556	10171
C-6 Fired	8635	6591
Warpage		
Cone 8	18.0	20.0
Cone 6	9.8	8.3
Disc Absorption		
Cone 8	0.024	0.009
Cone 6	1.078	0.507
PSD (Hydrometer)		
-20 micrometer	70.0	70.0
-10	51.0	52.0
-5	36.0	37.0
-2	26.1	22.1
-1	18.1	14.1
-0.5	12.1	11.1
-0.2	8.1	3.1

	<u>LTB-12</u>	<u>LTB-13</u>
<u>Gradient kiln</u>		
Fired Shrinkage		
945°C	-1.71	-1.49
1010	-0.57	-0.57
1160	2.29	2.29
1185	9.14	9.14
1215	10.00	10.00
1230	10.29	9.43
Absorption		
945°C	22.93	22.11
1010	21.80	21.94
1160	13.80	14.83
1185	1.71	2.02
1215	0.04	0.02
1230	0.18	0.03

ผลการผลิตสลิปขนาด 3 กิโลกรัม ใช้ไซนาสโตนแหล่งวังเหนือถึง 60 % ร่วมกับดินขาวและดินเหนียวในอุตสาหกรรมเซรามิก สามารถหล่อขึ้นทดลองได้ดี เนื้อชิ้นงานมีความแข็งแกร่งปานกลางและมีค่าดูดซึมน้ำเข้าใกล้ 0 ที่อุณหภูมิ 1200°C ทั้งนี้คุณสมบัติของการขึ้นรูป นอกจากจะขึ้นกับส่วนผสมแล้วยังขึ้นกับแหล่งไซนาสโตนที่นำมาใช้ รวมทั้งความละเอียดของอนุภาคที่ผ่านการบดด้วย อนึ่งการทดลองดังกล่าวยังมีได้มีกำรพัฒนาน้ำยาเคลือบ

10.4.2 การใช้ผลิตเนื้อสุกภัณฑ์มาตรฐาน

นำโซนาสโตนที่บดละเอียดแล้วมาใช้ผสมในเนื้อสุกภัณฑ์โดยการคำนวณส่วนประกอบทางเคมีและวิทยาแร่ นำโซนาสโตนมาใช้ 10 % และ 20 % ในสูตร PSB-12 และ PSB-13 ตามลำดับ ผลสำหรับเผยแพร่มีดังนี้

<u>ส่วนผสมที่ใช้</u>	<u>PSB-12</u>	<u>PSB-13</u>
Ball Clay	35	35
China Clay	23	19
Nonplastics	<u>50</u>	<u>54</u>
Total	<u>108</u>	<u>108</u>
Sod. Carbonate %	0.004	0.004
Sod. Silicate %	0.492	0.559
Batch Size (Kg)	1500	1500
<u>Testing Properties</u>		
Sp. Gravity	1.80	1.80
Over Swing	300	285
Thixotropy	85	85
Cast Rate	8.2	7.0
Drain	OK	OK
Feel	7	6
Water Retention	25.3	24.5

	<u>PSB-12</u>	<u>PSB-13</u>
<u>Baroid Test</u>		
Humid Weight(gm)	71.32	70.30
Dried Weight	56.56	55.78
% Moisture of Cake	26.10	26.65
Weight of Filtrate(gm)	7.33	5.76
Thickness of Cake(mm)	10.00	10.50
Shrinkage		
Dried	3.4	3.0
Total	13.4	12.8
MOR		
Dried	579	560
Fired	14762	12040
Warpage(mm)	7.0	4.0
Disc Absorption	0.037	0.021
Firing Results		
Fired "A" pcs.	3	3
Dimension Difference from Production		
Width	+0.29	0.00
Length/Depth	0.00	-0.22
Height	+1.18	+1.47

ผลการทดสอบการผลิตสุชภัณฑ์ชิ้นใหญ่ที่ 1500 kg batch สามารถหล่อขึ้นงานได้ดี ผ่านการเคลือบ เเผา และวัดขนาด การทดลองดังกล่าวได้ทำซ้ำอีก 2 ครั้งๆละ 1500 กิโลกรัม รวมทดลอง batch ใหญ่ทั้งสิ้น 3 ครั้งๆละ 1500 กิโลกรัม เป็นการยืนยันว่า ไซนาสโตนแหล่งวังเหนือ สามารถนำมาใช้ร่วมในสูตรการผลิตสุชภัณฑ์เนื้อ Vitreous china ได้

10.5 สรุปการใช้ทำเนื้อสุชภัณฑ์

การวิจัยเริ่มด้วยการทดสอบคุณสมบัติเซรามิกของไชนาสโตนแหล่งแจ้ห่ม และแหล่งแม่เมาะ ที่ผ่านการบดเปียกและบดแห้ง จากนั้นจึงศึกษาการผลิตน้ำสลิปโดยใช้ไชนาสโตน 75 % เปรียบเทียบคุณสมบัติ กับสลิปที่ใช้ในโรงงานเซรามิก การเผาในเตา Gradient ทำให้ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเนื้อส่วนผสม จากนั้นจึงทำการศึกษา การกระจายความละเอียดของอนุภาคในน้ำสลิดังกล่าว ความรู้ที่สะสมได้นั้นนำไปสู่การทดลองใช้ส่วนผสมที่มีวัตถุดิบตัวอื่นมาร่วมด้วย คือการใช้ Ball Slip ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง และทรายแก้ว มาร่วมในสูตรกับไชนาสโตนทั้งแหล่งแม่เมาะและแหล่งแจ้ห่ม

ผลการทดลองร่วมกับโรงงานเซรามิกที่ผลิตเครื่องสุชภัณฑ์ได้กระทำในหลายลักษณะ คือ ขนาดห้องปฏิบัติการ เริ่มจากขนาดทดลอง 3 กก. ไปถึง 60 กก. และ 1500 กก. ในที่สุด โดยมีการนำไปใช้หล่อในโรงงานเหมือนสลิปปกติ วัตถุประสงค์แรกคือการผลิตเนื้อสุชภัณฑ์ไฟต่ำ และมีการใช้ไชนาสโตนในส่วนผสมถึง 60 % อีกวัตถุประสงค์หนึ่งคือการใช้ไชนาสโตนเพื่อผลิตสุชภัณฑ์เนื้อมาตรฐาน ผลการทดลองได้เนื้อเซรามิกไฟต่ำ Cone 6 สามารถใช้ไชนาสโตน 60 % ขณะที่เนื้อมาตรฐานได้ใช้ไชนาสโตนแหล่งวังเหนือ 10 และ 20 % โดยสามารถผลิตขึ้นสุชภัณฑ์ขนาดใหญ่ได้ เช่นเดียวกับสูตรที่ใช้ในโรงงานปัจจุบัน

11. บทสรุป

1. แผนทีเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี และการแปลความหมายแผนที่กัมมันตรังสี ที่ได้จากการบินสำรวจวัดกัมมันตรังสีของกรมทรัพยากรธรณีสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อกำหนดพื้นที่เพื่อการสำรวจหาแหล่งโซนาสโตน ดินขาว เฟลด์สปาร์ และแร่เศรษฐกิจอื่นๆได้

2. แหล่งโซนาสโตนใน จ.ลำปางพบหลายแห่งเกิดร่วมกับดินขาวที่อำเภอวังเหนือ แจ้ห่ม งาว แม่เมาะ อ.เมือง เสริมงาม และสับปราบ คุณสมบัติเฉพาะของแต่ละแหล่งได้พิมพ์เผยแพร่แยกต่างหากแล้ว⁽⁴⁾

3. โซนาสโตน จ.ลำปางแหล่งที่มีแร่เฟลด์สปาร์ปนค่อนข้างสูงเหมาะที่จะใช้ผสมทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เนื้อแกร่งไม่ซึมน้ำ สามารถเผาที่อุณหภูมิต่ำได้แก่แหล่งจาก อ.แม่เมาะ อ.วังเหนือ อ.แจ้ห่ม และ อ.งาว

4. การแต่งแร่โซนาสโตนที่สำคัญที่สุดเริ่มด้วยการคัดเลือกแร่จากแหล่งให้มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ จากนั้นจึงทำการย่อย บดหยาบ และ บดละเอียด เป็นผงขนาด -200 เมช บรรจุลงเพื่อการจำหน่าย และการใช้งาน เครื่องบดละเอียดที่นิยมใช้บดแร่นี้คือ Ring and Roller Mill

5. การนำโซนาสโตนมาใช้ผสมทำผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทต่างๆนั้นจะต้องคำนึงถึงผลวิเคราะห์ทางเคมี วิชยาแร่ การกระจายความละเอียดของอนุภาค ขั้นตอนการเตรียมเนื้อ การขึ้นรูป และคุณสมบัติต่างๆภายหลังการเผา เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีในท้องตลาด

6. การพัฒนาทำผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ โดยใช้โซนาสโตนจากบ้านแม่ต้า อ.เสริมงาม ในเนื้อถึง 65 % ร่วมกับดินขาว ดินเหนียว และแร่ฟันม้า วิจัยได้เนื้อสโตนแวร์ พร้อมน้ำยาเคลือบคุณภาพดี 2 ชนิด ที่ 1200°C มีค่าดูดซึมน้ำเพียง 0.7 %

7. การพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิก โดยใช้โซนาสโตน แหล่ง ต.บ้านดง อ.แม่เมาะ ในเนื้อถึง 85 % วิจัยการขึ้นรูปด้วยการทำสลีปร่วมกับดินเหนียวแม่ทานและดินเหนียวแจ้คอน ขึ้นรูปเป็นตุ๊กตา นำมาตกแต่งด้วยเคลือบกึ่งทึบ และการใช้สีบนเคลือบได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

8. การพัฒนาทำกระเบื้องปูพื้นโดยใช้ไชนาสโตนจาก อ.แจ้ห่ม มากถึง 90 % ร่วมกับดินดำแม่ทาน ขึ้นรูปด้วยการอัดเผาบิสกิตที่ 900°C นำมาทำการเคลือบสีเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ใช้เคลือบชนิดผิวด้านทั้ง 4 สี ผลทดลอง กระเบื้องปูพื้นที่ได้มีการหดตัวน้อยและค่าดูดซึมน้ำต่ำ ผ่านมาตรฐาน มอก.37-2529 ที่อุณหภูมิ 1180°C

9. การพัฒนาทำกระเบื้องโมเสกจากไชนาสโตน อ.แจ้ห่มสามารถใช้ไชนาสโตนล้วนๆ (100%) และ 90 % ผลิตกระเบื้องโมเสก มีค่าดูดซึมน้ำต่ำไม่เกินร้อยละ 1 ตาม มอก.38-2531 ที่อุณหภูมิ 1180°C

10. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ Hard Porcelain เลือกใช้ไชนาสโตนบ้านป่าแห่ง อ.วังเหนือ ในอัตราส่วน 20-50 % ร่วมกับดินขาว และควอร์ตซ์ ทำการทดสอบคุณสมบัติและสีภายหลังการเผาระบบ Oxidation และ Reduction ที่ 1280 และ 1300°C ต่อมาได้ปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นโดยใช้แร่ฟันม้ามาเสริมอีก 10 % ชิ้นงานที่ได้ นำมาเคลือบและเผาที่ 1300°C ทดสอบการรานตัวตามมาตรฐาน ASTM C 424-60 ไม่เกิดการรานตัวทุกหน่วยความดัน

11. การพัฒนาเนื้อสุกัณฑ์ ไฟต่าสามารถใช้ไชนาสโตนแหล่ง อ.แจ้ห่ม อ.แม่เมาะ และแหล่ง อ.วังเหนือ ระหว่าง 60-75% ร่วมกับ Ball Clay และดินขาว ทำน้ำสลิปที่มีคุณสมบัติการหล่อที่ดี และมีจุดสุกตัวที่ประมาณ Cone 6

12. การพัฒนาการใช้ไชนาสโตนจากแหล่งวังเหนือในปริมาณ 10-20 % ร่วมกับดินเหนียว ดินขาวและส่วนผสมอื่นๆ ในส่วนผสมของเนื้อสุกัณฑ์ สามารถหล่อขึ้นรูปได้ดี ผลิตสุกัณฑ์ขนาดใหญ่มีคุณสมบัติได้มาตรฐานเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ชนิด Vitreous china ในท้องตลาด

13. ผลงานการวิจัยผลิตภัณฑ์เซรามิกจากไชนาสโตนในรายงานฉบับนี้นอกจากจะบรรจุสูตรที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆสำหรับผู้สนใจ ที่จะทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการวิจัยทดสอบขั้นต่อไป ยังเป็นการยืนยันถึงประโยชน์และความสำคัญของไชนาสโตนในฐานะเป็นวัตถุดิบ สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย และภูมิภาคแถบนี้อีกด้วย

12. เอกสารอ้างอิง

- 1 พุยศ ไซติคณาภิศ, การแปลความหมายแผนที่กัมมันตรังสีระวางจังหวัดลำปาง (NE 47-7) จากการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศของบริษัท KENTING EARTH SCIENCE INTERNATIONAL LIMITED , ฝ่ายสำรวจแร่กัมมันตรังสี กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, มกราคม 2534
- 2 ช่างู จรรยาวนิชย์, วัตถุบิเชรามิกที่สำคัญของภาคเหนือ, วารสารเชรามิกส์ไทย ปีที่ 4 ฉบับที่ 2, พฤศจิกายน 2530
- 3 ลัดดา ลือเดชกุล และ มานะ บรรณกุลพิพัฒน์, การทำกระเบื้องปูพื้นด้วยกากลิกไนต์ และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมล้างดิน, Senior Project ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มีนาคม 2532
- 4 กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม, โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้ China Stone, รายงานการวิจัยและพัฒนาเรื่องคุณสมบัติของ China Stone จากจังหวัดลำปาง, กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี, เมษายน 2536
- 5 อุดุย์ ใจตาบุตร, แหล่งดินขาวชนิดปฐมภูมิจังหวัดลำปาง, กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี , กรกฎาคม 2535
- 6 สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 (เชียงใหม่), ธรณีวิทยาแหล่งแร่ของเหมืองต่างๆในภาคเหนือ, มิถุนายน 2531
- 7 ช่างู จรรยาวนิชย์, รายงานผลงานวิจัยเรื่อง คุณสมบัติเชรามิกของดินขาวจันทัมและความเหมาะสมของ Rutgers' Model of Material Characterization ฝ่ายแต่งแร่และใช้ประโยชน์แร่ กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี, สิงหาคม 2530
- 8 สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 (เชียงใหม่), เอกสารประกอบการประชุมและสัมมนาทางวิชาการเรื่อง แร่ดินขาวและเฟลด์สปาร์กับงานอุตสาหกรรมของภาคเหนือ, มกราคม 2532
- 9 ชลอ ต้นขงค์ และ สมพร อติศักดิ์พานิชกิจ, การรวบรวมข้อมูลดินขาว จ.ลำปาง, ฝ่ายพัฒนาการเหมืองแร่และเหมืองหิน กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี, มกราคม 2527
- 10 ช่างู จรรยาวนิชย์, สถานการณ์แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเชรามิกปี 2535 , ข่าวสารการธรณี, มกราคม 2536
- 11 สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 (เชียงใหม่), ดินขาวและดินเหนียวดำสำหรับงานอุตสาหกรรมของภาคเหนือ, ตุลาคม 2529

- 12 พัทธ์ชัย หาญจวนิช และ จรัญ สอนสวัสดิ์, การแต่งแร่ดินขาวจากโรงล้างดิน
จังหวัดลำปาง, ฝ่ายแต่งแร่-ใช้ประโยชน์แร่ กองการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2530
- 13 G.W.Phelps etals, Rheology and Rheometry of Clay-Water Systems,
Cyprus Industrial Minerals Co., Sandersville, GA, U.S.A., 1982
- 14 W.G.Lawrence and R.R.West, Ceramic Science for the Potter, 2nd
Edition, Chilton Book Co., Radnor, PA, U.S.A., 1982.
- 15 ธีรณี โชติกไกร, การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุคาร์บอนในแร่และหินโดยใช้เครื่อง
Carbon Dioxide Coulometer, ข่าวสารการธรณี Vol 32 No.7, กรกฎาคม 2530
- 16 F.Singer and S.S.Singer, Industrial Ceramics, Chapman and Hall,
London, 1979