รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาดินแหล่งวัดตาปะขาวหาย
เพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผา

นายนิวัตร พัฒนะ

พ.ศ. 2545

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ปัญหาการวิจัย การพัฒนาดินแหล่งวัดตาปะขาวหายเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผา

ชื่อผู้วิจัย นายนิวัตร พัฒนะ

Mr. NIWAT PATTANA

สาขาวิชาที่ทำการวิจัย วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ปีที่ทำวิจัยสำเร็จเรียบร้อย 2545

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินจากแหล่งดินวัดตาปะขาวหาย จังหวัดพิษณุโลก เพื่อทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินวัดตาปะขาวหายกับดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1200 และ 1250 องศาเซลเซียส และเพื่อทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากเนื้อดินปั้นที่อัตราส่วนผสมเหมาะสมที่สุด เผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100, 1200 หรือ 1250 องศาเซลเซียส กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นที่เกิดจากส่วนผสมของดินวัดตาปะขาวหายและดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์ จำนวน 10 ส่วนผสม โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

ผลการวิจัยพบว่าสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายก่อนการเผาค่าความหดตัวร้อยละ 5 ค่าความแข็งแรง 25.50 kg/cm^2 ภายหลังการเผาค่าความหดตัว 800°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 6.00 และที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 13.00 ที่อุณหภูมิ 800°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.50 ที่อุณหภูมิ 1250°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.10 ที่อุณหภูมิ 800°C ค่าความแข็งแรง 30.30 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความแข็งแรง 165.40 kg/cm^2 สีภายหลังการเผา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสีของเนื้อดินปั้นจะเข้มขึ้นโดยการเกิดสีตั้งแต่ น้ำตาลส้ม-น้ำตาลดำ และ สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา ปรากฏว่าในที่อุณหภูมิ 800°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 6.00-7.00 ที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 14.80-15.00 ความดูดที่อุณหภูมิ 800°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 18.30-20.40 ที่อุณหภูมิ 1250°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00-0.06 ค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 800°C 32.92-37.38 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ1250°C มีค่าความแข็งแรง190-214 kg/cm^2 สีภายหลังการเผา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสีของเนื้อดินปั้นจะเข้มขึ้นโดยการเกิดสีตั้งแต่ น้ำตาลส้ม-น้ำตาลดำ ความเหมาะสมกับการขึ้นรูปทั้งวิธีการหล่อและแป้นหมุนอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

กิตติกรรมประกาศ

ขอมอบความดีทั้งหมดของงานวิจัยครั้งนี้แด่คุณพ่อคุณแม่และครูอาจารย์อันเป็นที่เคารพสูงสุดของผู้วิจัย

ขอขอบคุณสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้ทำให้ผู้วิจัยสามารถปฏิบัติราชการตามภารกิจของอาจารย์สถาบันอุดมศึกษาได้อย่างสมภาคภูมิ ขอขอบคุณ ขอขอบคุณ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านห้องปฏิบัติการ และเครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณ อาจารย์รัชฎาภรณ์ พัฒนะ ที่ช่วยตรวจทานรายงานการวิจัยและให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์นงคราญ กาญจนประเสริฐ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งขอบคุณสำนักวิจัยและบริการวิชาการสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามที่อำนวยความสะดวกและกรุณาช่วยเสนอแนะและตรวจทานรายงานการวิจัยในขั้นสุดท้าย ทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ได้อย่างสมบรณ์

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดประสงค์ของงานวิจัย	2
	ความสำคัญของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ข้อตกลงเบื้องต้น	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน	5
	เนื้อดินปั้น	43
	การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ	46
	การขึ้นรูปแบบแป้นหมุน	51
	เตาเผาและการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา	51
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	55
3	วิธีดำเนินการวิจัย	58
	กลุ่มตัวอย่าง	59
	ตัวแปร	60
	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	60
	สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง	61
	การดำเนินการวิจัย	61
	การวิเคราะห์ข้อมูล	62
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	64
	จุดประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 1	64
	จุดประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 2	64
	จุดประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 3	69
5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	71

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

จุดประสงค์ของงานวิจัย.....71

ประโยชน์ของการวิจัย.....71

ขอบเขตของการวิจัย.....72

การดำเนินการวิจัย.....72

ผลการวิจัย.....73

อภิปรายผล.....75

ข้อเสนอแนะ.....76

บรรณานุกรม 77

ภาคผนวก 79

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า

1 แสดงชื่อแร่ดินชนิดต่างๆ......12

2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาคของวัสดุ...... 18

3 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินจากแหล่งภายในและต่างประเทศ...... 20

4 แสดงลักษณะของแร่ดินขาว ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาตามมาตรฐาน.... 31
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ประเทศไทย

5 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของดินขาวแหล่งดินจากประเทศต่างๆ...... 32

6 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประเกอบทางเคมีของหินลำปาง...... 33

7 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวลำปางที่ผ่านการ...... 34
ล้างแล้วของแต่ละบริษัทที่จัดจำหน่าย

8 เปรียบเทียบการสลายตัวของสารเจือปนต่างๆ ที่มักปะปนอยู่ในบอลเคลย์...... 37

9 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของบอลเคลย์ที่ผลิตได้ในประเทศอังกฤษ.... 39

10 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียวที่ผลิตได้ใน...... 40
สหรัฐอเมริกา

11 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินบอลเคลย์แม่ทาน.. 41
ทั้ง 3 เกรด

12 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ ของบอลเคลย์แม่ทาน...... 41

13 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของบอลเคลย์ของบ้านแจ้คอน...... 42

14 แสดงตัวอย่างของผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินชนิดต่างๆ...... 43

15 ผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายก่อนการเผา...... 58

16 ผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายหลังการเผา...... 58

17 แสดงสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น...... 59

18 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของดินวัดตาปะขาวหาย...... 64

19 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของกลุ่มตัวอย่าง......65

20 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 800 °C...... 65

21 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 900 °C...... 66

22 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 1000 °C...... 67

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
23	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 1100 °C........	67
24	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 1200 °C........	68
25	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 1250 °C........	69
26	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 1100 °C........	70

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	แสดงโครงสร้างของซิลิกาและยิบบ์ไซต์	6
2	แสดงโครงสร้างของเคโอลินทั้งด้านบนและด้านข้าง	7
3	โครงสร้างของแร่ดิน เนไครต์ ดิกไคต์ และเคโอลิไนต์	8
4	แสดงโครงสร้างของแร่ดินฮอลลอยไซต์	8
5	แสดงลักษณะโครงสร้างของแร่ดินเคโอลิไนต์ $4\{(HO)_4 Al_2O_2 O_5\}$	9
6	แสดงโครงสร้างของไพโรฟิลไลต์ และทัลก์	10
7	แสดงโครงสร้างทั่วๆ ไปของแร่ดินกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ $2[(Al_{1.67} Mg_{0.33}) Si_4O_{10} (OH)_2]$	11
8	แสดงโครงสร้างของมัสโคไวต์	13
9	แสดงโครงสร้างและการเรียงตัวของธาตุต่างๆ ในมัสโคไวต์ $2[Al_4K_2 (Si_6Al_2) O_{20} n(OH)_4]$	14
10	แสดงลักษณะโครงสร้างของอิลไลต์	15
11	แสดงผลึกของแร่เคโอลิไนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.7 ไมครอน	16
12	แสดงผลึกรูปร่างหลอดของฮอลลอยไซต์จาก Electron micrograph ขยาย 84,300 เท่า	17
13	แสดงตัวอย่างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์จาก จาก Electron micrograph ขยาย 20,225 เท่า	17
14	ตัวอย่างกราฟแสดงขนาดของอนุภาคและปริมาณของดินบางแหล่งใน สหรัฐอเมริกา	19
15	แสดงหลักการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของดิน	26
16	แสดงการหล่อสลิปแบบกลวงและการหล่อสลิปแบบตัน	47
17	ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่ขึ้นรูปด้วยวิธีแป้นหมุน	80
18	ส่วนบนของผลิตภัณฑ์ ภายหลังการเผา	81
19	ส่วนล่างของผลิตภัณฑ์ ภายหลังการเผา	81
20	ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบพิมพ์	82
21	ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่เคลือบแล้ว	83

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
22	ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่เคลือบบางส่วน	83
23	แจกันมีหู จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายภายหลังการเผา	84

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องปั้นดินเผาเป็นศิลปะโบราณวัตถุอย่างหนึ่งอยู่ในทุกชาติทุกภาษา เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงศิลปวัฒนธรรมของแต่ละชาติ เครื่องปั้นดินเผาเกิดขึ้นพร้อมกับการเรียนรู้จากการหุงต้มอาหารเป็นต้นมา โดยมนุษย์รู้จักนำเอาภาชนะซึ่งทำด้วยหินเผาอย่างหยาบๆ ง่ายๆ ซึ่งได้ขุดพบในประเทศไทยหลายแห่ง เป็นต้นว่าบ้านเชียง อำเภอหนองหาร จังหวัดอุดรธานี การขุดค้นในครั้งนี้ได้พบสิ่งของต่างๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งอายุระหว่าง 7,069-6,079 รองลงมา ได้แก่ เครื่องสังคโลกในสมัยสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย เครื่องปั้นดินเผาบ้านดอนตาล อำเภอดอนตาล จังหวัดนครพนม (นิคม มุสิกะคามะ. 2515 : 291)

จังหวัดพิษณุโลก ในอดีตเป็นแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาทั้งที่เป็นเนื้อธรรมดา (Earthenware) และเนื้อแกร่ง (Stoneware) การขุดค้นทางโบราณคดีของกรม ศิลปากรที่ 3 แหล่งเตาวัดตาปะขาวหาย พบว่ามีอายุประมาณ 500-600 ปี เป็นการผลิตเพื่อใช้ในท้องถิ่นและส่งขายต่างประเทศ เพราะจากหลักฐานเครื่องถ้วยที่ค้นพบโบราณคดีใต้น้ำ ได้พบเครื่องถ้วยจากแหล่งเตาวัดตาปะขาวหายด้วย (ปราณี แจ่มขุนเทียน. 2536 : 74) วัดตาปะขาวหายเดิมชื่อวัดเตาไห มีหลักฐานปรากฏชื่อในแผนที่เมืองพิษณุโลกฉบับหอสมุดแห่งชาติ ร.ศ. 111 ตามชื่อของที่ตั้งวัดเดิม ซึ่งเป็นที่ตั้งของเตาทำเครื่องปั้นดินเผาประเภทไห ภายหลังคงจะเปลี่ยนชื่อมาเป็น วัดตาปะขาวหาย ตั้งอยู่ใน ตำบลหัวรอ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก อยู่ห่างจากตัวเมืองไปทางทิศเหนือประมาณ 2 กิโลเมตร เป็นวัดเก่าแก่เริ่มสร้างตั้งแต่สมัยใดไม่ปรากฏหลักฐานแน่นอน จากการศึกษาสำรวจพบว่าหลักฐานทางโบราณคดีสำคัญในวัดนี้คือ เตาเผาเครื่องถ้วยที่วัดตาปะขาวหายที่ติดต่อกับบริเวณริมฝั่งแม่น้ำน่านในแนวเดียวกันไปทางทิศเหนือ และทางทิศใต้ของริมฝั่งแม่น้ำน่าน เป็นระยะความยาวประมาณ 1 กิโลเมตร บริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งเตาเครื่องถ้วยขนาดใหญ่มีจำนวนประมาณ 40-50 เตา หรืออาจถึง 100 เตา จากหลักฐานเตาเผาและเครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหายซึ่งมีความสำคัญต่อการศึกษาประวัติศาสตร์และโบราณคดี (สุภาภรณ์ สงวนให้ อ้างอิงมาจาก ประโชติ สังขนุกิจ. 2530 : 294)

ดินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยเฉพาะภาชนะรองรับอาหาร สุขภัณฑ์ กระเบื้อง และอื่นๆ ดินมีหลายชนิดแตกต่างกันไป อาจจะแตกต่างกันไปในเรื่องสี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

หรือต่างกันในเรื่องโครงสร้าง รวมทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เป็นต้นว่า มีความเหนียวต่างกัน มีปริมาณ SiO_2 ต่างกัน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 40)

ปัจจุบันดินถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในงานเซรามิกส์มากขึ้น ดังนั้นการสำรวจแหล่งดินใหม่จากเดิมที่มีอยู่จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะวัตถุดิบประเภทดินเมื่อใช้แล้วก็จะหมดไป การแปรสภาพของแร่ธาตุต่างๆ ที่จะกลับมาเป็นดินได้อีกต้องใช้เวลานาน ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวอุตสาหกรรมเซรามิกส์และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ใช้ดินเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตสินค้าก็อาจประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบได้ ฉะนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการสำรวจวัตถุดิบแหล่งใหม่อยู่เสมอ เพื่อป้องกันและลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำดินแหล่งวัดตาปะขาวหายมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาซึ่งนอกจากเป็นการทดลองเพื่อความรู้แล้วยังเป็นโอกาสในสร้างการประโยชน์ในเชิงธุรกิจชุมชนด้วยวัตถุดิบในท้องถิ่นและการฟื้นฟูผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหายซึ่งขาดการสืบสานมาเป็นเวลานาน

จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินจากแหล่งวัดตาปะขาวหาย อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

2. เพื่อทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินวัดตาปะขาวหาย กับ ดินขาวลำปางและเฟลด์สปาร์ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900. 1000, 1100. 1200 และ 1250 องศาเซลเซียส

3. เพื่อทดลองขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อและแป้นหมุนเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากเนื้อดินปั้น ที่อัตราส่วนผสมเหมาะสมที่สุด

ความสำคัญของการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้มีประโยชน์โดยตรงต่อหน่วยงานบุคคลและสังคมดังนี้

1. ชาวบ้านตาปะขาวหาย อำเภอเมือง จังหวัด พิษณุโลก มีโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้เป็นผลิตภัณฑ์ประจำหมู่บ้านได้ต่อไป

2. ชาวบ้านตาปะขาวหาย มีช่องทางในการประกอบอาชีพเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

3. หน่วยงานด้านการพัฒนาชุมชนมีข้อมูลในการส่งเสริมอาชีพเพื่อเพิ่มพูนรายได้ให้ประชาชน

4. หน่วยงานด้านส่งเสริมอุตสาหกรรมได้ข้อมูลในการส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดย่อมสำหรับประชาชน

6. หน่วยงานด้านส่งเสริมการท่องเที่ยวมีข้อมูลในการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวอาชีพท้องถิ่น

7. หน่วยงานทางการศึกษาสาขาเซรามิกส์ได้ข้อมูลและแนวทางในการศึกษาพัฒนาแหล่งดินเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผา

8. สังคมทั่วไปจะได้ตระหนักถึงการพัฒนามูลค่าเพิ่มของแหล่งวัตถุดิบต่างๆ ทำให้ศักยภาพการแข่งขันของประเทศสูงขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้จากวิธีการสุ่มแบบเจาะจง จากส่วนผสมของดินวัดตาปะขาวหาย ดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์ ระหว่าง จำนวน 10 ส่วนผสม

ตัวแปร ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1.1 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นได้จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหาย ดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์

1.2 อุณหภูมิการเผา ได้แก่ อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100, 1200 และ 1250 องศาเซลเซียส

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา ได้แก่

2.1.1 ความหดตัว

2.1.2 ความแข็งแรง

2.2 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา ได้แก่

2.2.1 ความหดตัว

2.2.2 ความดูดซึมน้ำ

2.2.3 ความแข็งแรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.3 ความเหมาะสมในการขึ้นรูป ได้แก่

2.3.1 การขึ้นรูปด้วยการหล่อ

2.3.2 การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม ได้แก่

   1.1 ดินเหนียวจาก วัดตาปะขาวหาย อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

   1.2 ดินขาวลำปาง

2. ชั่งวัตถุดิบด้วยเครื่องชั่งระบบ Digital ความละเอียด 0.001 g
3. บดผสมด้วยเครื่องบด Centrifugal ใช้ความเร็ว 300 รอบ/นาที ใช้เวลาบด 3 นาที
4. เผาด้วยเตาไฟฟ้า ในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บรรยากาศแบบออกซิเดชัน (Oxidation Atmosphere) หมายถึง บรรยากาศการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ปราศจากควัน เนื่องจากเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์

2. ความหดตัว (Shrinkage) หมายถึง ค่าความหดตัวของเนื้อดินปั้น ความหดตัวเมื่อแห้งก่อนเผา ความหดตัวหลังเผา เป็นต้น

3. ความดูดซึมน้ำ (Water Absorbtion) หมายถึง ปริมาณของน้ำที่สามารถแทรกซึมอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100, 1200 และ 1250 องศาเซลเซียส

4. เนื้อดินปั้นที่มีอัตราส่วนผสมเหมาะสมที่สุด หมายถึง เนื้อดินปั้นที่เกิดจากส่วนผสมที่มีดินวัดตาปะขาวหายมากที่สุด ซึ่งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ในสูตรส่วนผสมตามอัตราส่วนต่างๆ กันที่มีส่วนผสมที่มีสมบัติทางกายภาพหลังเผาเหมาะสมที่สุด และสามารถนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ และขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้ดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา และงานวิจัย โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่อไปนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน
2. เนื้อดินปั้น
3. การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน
4. การขึ้นรูปด้วยหล่อ
5. เตาเผาและการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน

ดิน (Clays) เป็นแร่ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งตามปกติไม่ค่อยบริสุทธิ์ เพราะมักจะมีแร่ธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วยเสมอ แต่ด้วยสมบัติเฉพาะที่สำคัญ คือ ความเหนียวเมื่อผสมกับน้ำ ทำให้สามารถนำมาปั้นขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ตามต้องการ ดินจะมีความแข็งแรงเมื่อแห้งช่วยให้การหยิบจับเพื่อการตกแต่งสะดวก จึงทำให้ดินเป็นวัตถุดิบที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตลอดมา อีกทั้งปริมาณของดินที่มีอยู่มากมายนั้น ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ต้องเลือกใช้ดินเป็นวัตถุดิบหลักในงานเซรามิกส์ เนื่องจากดินแต่ละแหล่งทั่วโลก มีลักษณะการเกิดระยะเวลาในการทับถมและสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมาก ทำให้มีความแตกต่างกันทั้งในสมบัติทางด้านเคมี และด้านฟิสิกส์ นักเซรามิกส์ทุกคนจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้และทำความเข้าใจในสมบัติด้านต่างๆ ของดินอย่างละเอียดที่สุด เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างเพียงพอในการเลือกใช้ดินแต่ละแหล่งให้เหมาะสม สามารถวิเคราะห์ และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากดินได้อย่างถูกต้องต่อไป ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยให้การศึกษาสมบัติของดินเป็นไปได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น

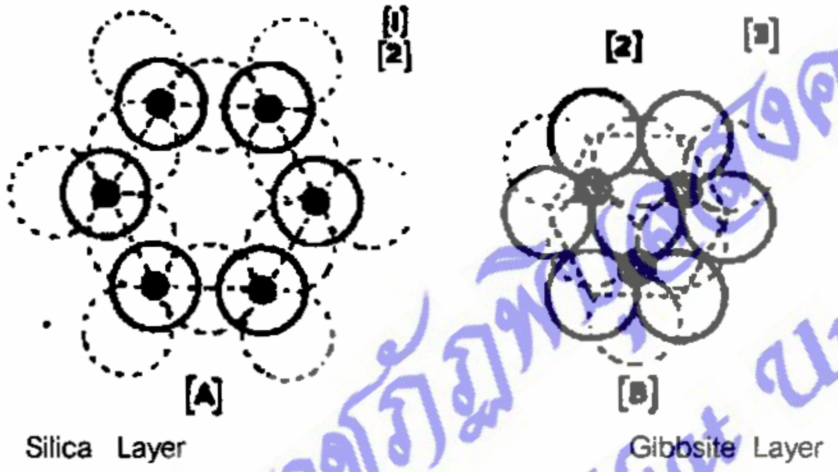
โครงสร้างของแร่ดิน (Structure of the Clay Minerals)

โดยทั่วไปดินบริสุทธิ์จะเกิดจากการจับตัวกันระหว่าง Al_2O_3 , SiO_2 และ H_2O เป็นโครงสร้างหลัก แต่การจับตัวกันของสารประกอบทั้งสามชนิดอาจมีลักษณะการจัดเรียงที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ออกไปตามกระบวนการเกิดดินในแต่ละแหล่ง และเพื่อสะดวกในการศึกษา นักเซรามิกส์ได้แบ่งโครงสร้างของดินออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือกลุ่มเคโอลิน และกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันดังต่อไปนี้

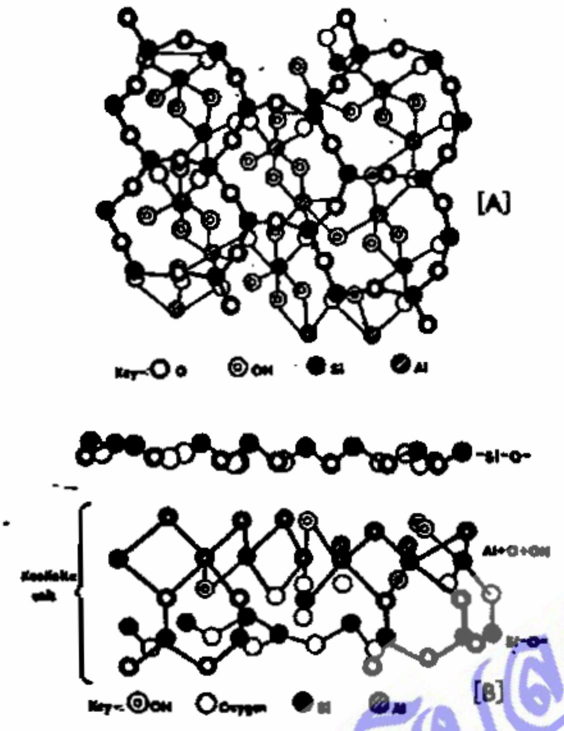
1. กลุ่มเคโอลิน (Kaolin Group) เป็นโครงสร้างของดินที่พบอยู่มากบนผิวโลก ประกอบด้วย $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$ มีพื้นฐานทางโครงสร้างโดยการจับตัวกัน ระหว่าง ซิลิกา-เตตระฮีดรอล (Silica Tetrahedral) กับอะลูมินาหรือยิบบ์ไซต์ในรูปออกตะ-ฮีดรอล (Octahedral)



ภาพประกอบ 1 แสดงโครงสร้างของซิลิกาและยิบบ์ไซต์ (W.E. Worrall. 1964 :17)

ซิลิกาที่อยู่ในโครงสร้างของดินกลุ่มเคโอลินนี้จะมีลักษณะเป็นวงแหวนเช่นเดียวกับ คริสโตบาไลต์หรือไตรไดไมต์ ส่วนยิบบ์ไซต์จะอยู่ในรูปวงแหวนแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) หรือหกเหลี่ยมคล้ายกับซิลิกา เมื่อนำวงแหวนทั้ง 2 แบบมาวางซ้อนกัน โดยจะใช้ออกซิเจนเป็นอะตอมร่วม ทำให้เกิดเป็นรูปแบบใหม่ คือ Si_2O_3 และ $Al_2(OH)_4O_2$ ถ้าวงแหวนนี้ใช้ออกซิเจนร่วมกัน 2 อะตอม จะได้สูตร คือ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐานของแร่เคโอลิน โครงสร้างของดินในกลุ่มเคโอลินนี้จะเป็นโครงสร้างหลัก ของแร่ดินขาวที่พบอยู่ทั่วไปในแหล่งที่สำคัญๆ และเชื่อว่าเป็นลักษณะโครงสร้างที่มีอยู่มากกว่าโครงสร้างของดินในกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ โดยสามารถแสดงโครงสร้างเป็นภาพ 3 มิติ ได้ดังภาพประกอบ 2

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างของเคโอลินทั้งด้านบนและด้านข้าง (W.E. Worrall. 1994 :18)

จะเห็นได้ว่าเมื่อซิลิกาเตตระฮีดรอลกับอะลูมินาออกตะฮีดรอล จับตัวกันอย่างเหมาะสม จะกลายเป็นเนื้อเยื่อพื้นฐานของแร่เคโอลิน ซึ่งการเรียงซ้อนกันนี้มีโอกาสเกิดความผิดเพี้ยนไป ทำให้เกิดเป็นเคโอลินที่มีสมบัติทางกายภาพต่างกันด้วย การเรียกชื่อของแร่ดินในโครงสร้างกลุ่มนี้จึงแตกต่างกันออกไปบ้าง เช่น

1.1 เคโอลิไนต์ (Kaolinite) เป็นแร่ดินที่พบมากที่สุดในกลุ่ม ภายในเซลล์แต่ละเซลล์จะเกิดการจับตัวกันของซิลิกาและอลูมินาเป็นแบบไตรคลินิก (Triclinic)

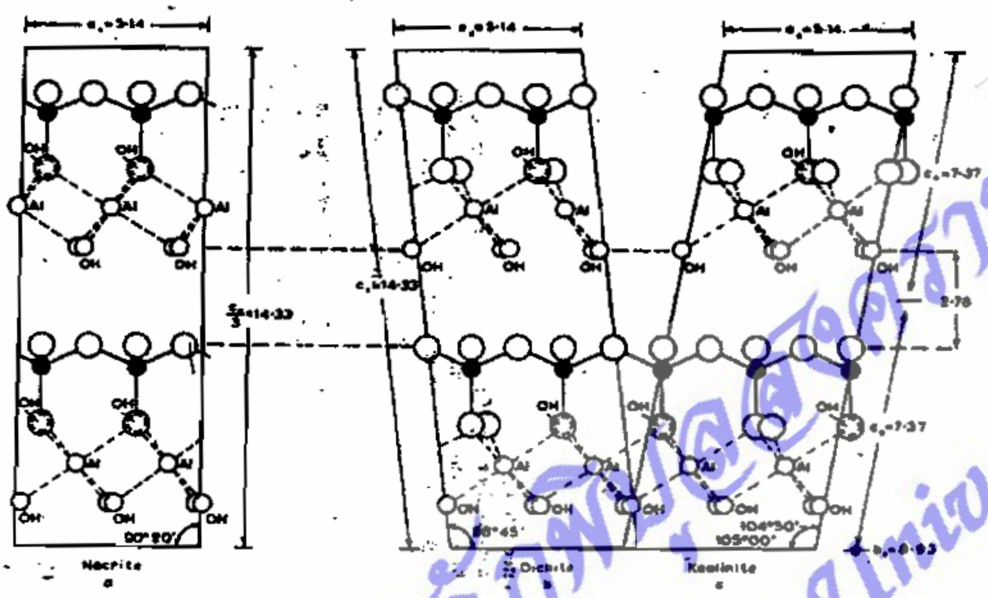
1.2 เนไครต์ (Nacrite) เป็นแร่ดินที่หายากมาก ในหนึ่งเซลล์จะมีถึง 6 Layer มีโครงสร้างแบบออร์โทร์โฮมบิก (Orthorhombic)

1.3 ดิกไคต์ (Dickite) เป็นแร่ดินที่พบว่ามีน้อยเช่นกัน ลักษณะโครงสร้างเป็นแบบโม-โนคลีนิก (Monoclinic) ใน 1 เซลล์จะมี 2 Layer

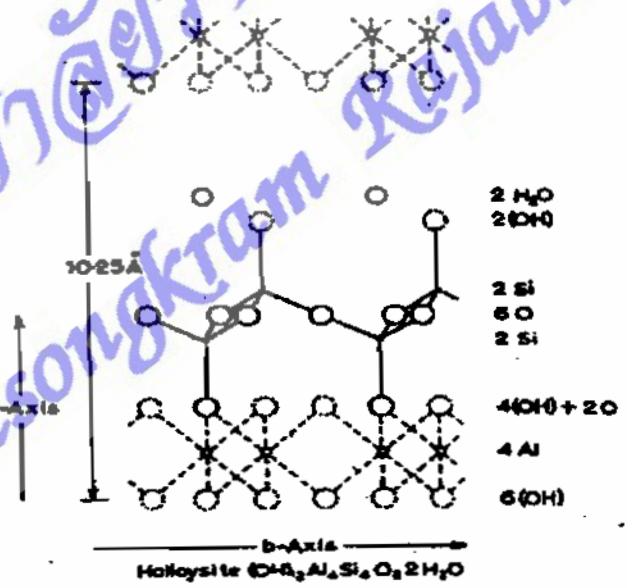
1.4 ฮอลลอยไซต์ (Halloysite) เป็นแร่ดินที่มีโครงสร้างค่อนข้างอ่อนแอ เพราะมีโมเลกุลของน้ำแทรกซึมอยู่ และโดยธรรมชาติของฮอลลอยไซต์ จะอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) สูตรเคมี คือ $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$ เป็นแร่ดินที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากมีความขาวมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

1.5 แอนนอไซต์ (Anauxite) มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับเคโอลิไนต์มากแต่อัตราส่วนระหว่าง SiO_2: Al_2O_3 จะมากกว่า 2 แสดงว่าแอนนอไซต์อาจเกิดจากการที่ SiO_2 แทรกเข้าไประหว่าง Layer หรือการที่ Si^{4+} เข้าแทนที่ Al^{3+} ในเคโอลิไนต์ก็ได้

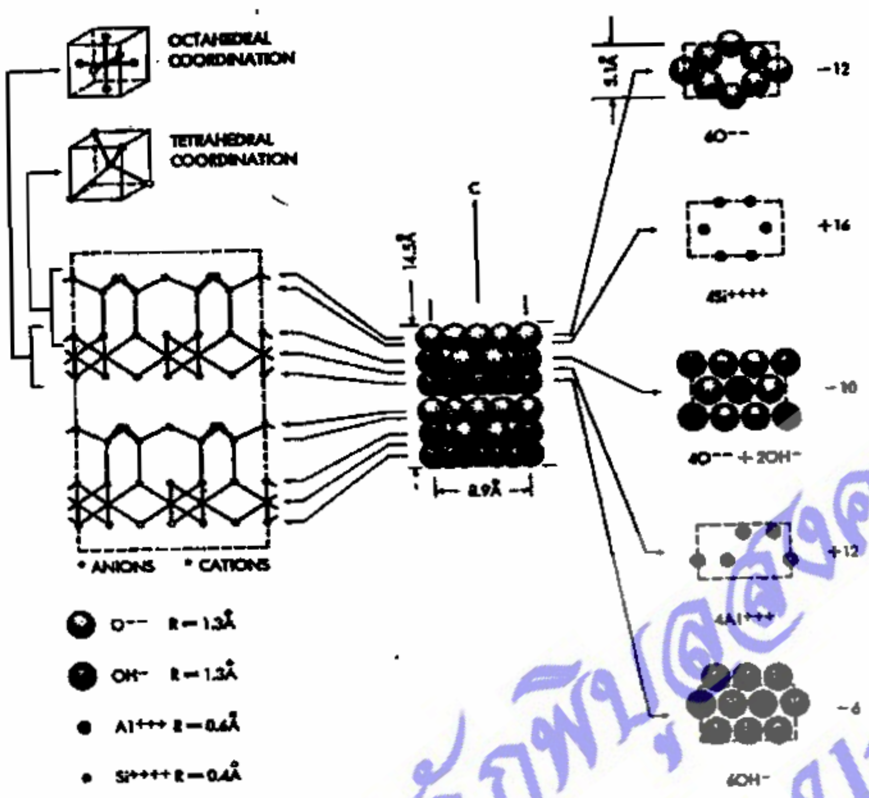


ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของแร่ดิน เนไครต์ ดิกไคต์ และเคโอลิไนต์ (Singer. 1960 :13)



ภาพประกอบ 4 แสดงโครงสร้างของแร่ดินฮอลลอยไซต์ (Singer. 1960 :16)

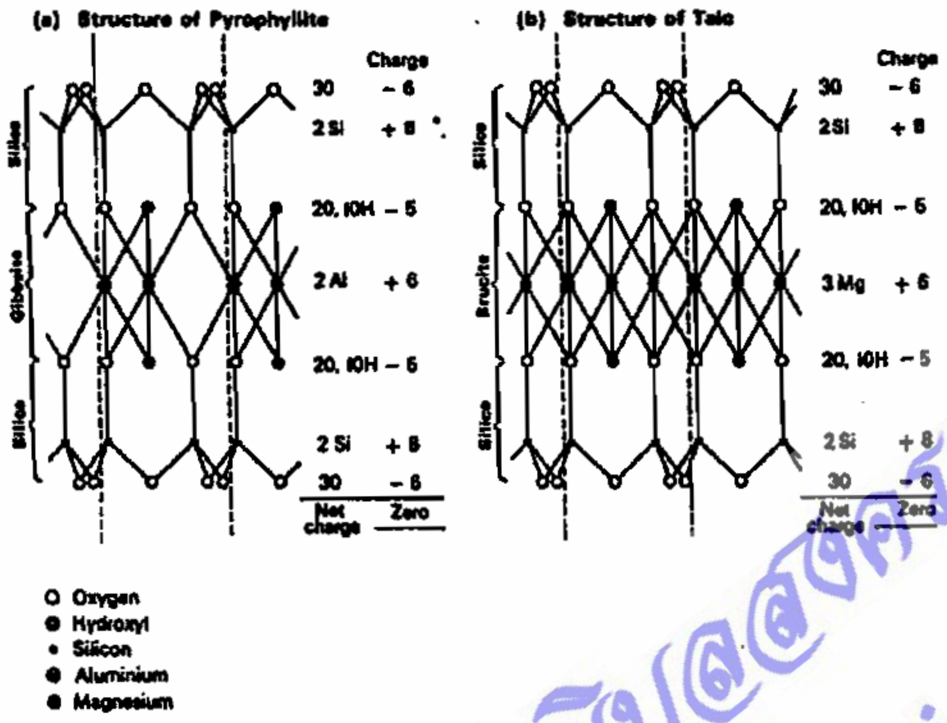
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะโครงสร้างของแร่ดินเคโอลิไนต์ $4\{(OH)_4\ Al_2O_2\ O_5\}$ (F.H. Norton. 1957 : 9)

2. **กลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)** แร่ดินกลุ่มนี้เกิดจากการรวมตัวระหว่างซิลิกาเตตระฮีดรอล 2 Layer กับอะลูมินาออกตะโกนอล 1 Layer ทำให้เกิดการสูญเสียไฮดรอกไซด์ (OH) ในระบบ เกิดเป็นสารประกอบใหม่คือ $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ หรือที่เรียกว่า แร่ไพโรฟิลไลต์ (Pyrophyllite) ซึ่งกระบวนการนี้มีลักษณะคล้ายกับการที่แมกนีเซีย (Magnesia) หรือบรูไซต์ (Brucite) Mg $(OH)_2$ รวมตัวกับซิลิกาได้ $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ หรือที่เรียกว่า แร่ทัลก์ (Talc) บางครั้งอาจมีผู้เรียกไพโรฟิลไลต์ และทัลก์ว่า "หินสบู่" (Soap Stone) เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกันดังกล่าว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 6 **แสดงโครงสร้างของไพโรฟิลไลต์ และทัลก์** (W. Ryan and other. 1978 : 54)

ไพโรฟิลไลต์และทัลก์ สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นแร่ต่างๆ ในกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ โดยเมื่อ Mg เข้าแทนที่ Al ในไพโรฟิลไลต์ จาก $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ปริมาณ 1 ใน 6 จะได้เป็น $(Al_{1.67}.Mg_{0.33})\ Si_4O_{10}(OH)_2$ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยังไม่สมบูรณ์จำเป็นต้องมีไอออนบวกจากภายนอกช่วยให้เกิดการแทนที่อย่างสมบูรณ์ และ ธาตุที่มีไอออนบวก 1 หรือ 2 เช่น Na, Ca จะเป็นตัวที่ช่วยให้การแทนที่ของ Mg ในมอนต์มอริลโลไนต์เป็นไปอย่างสมบูรณ์จึงเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Na_{0.33}(Al^{3+}{}_{1.67}\ Mg^{2+}{}_{0.33})\ Si^{4+}{}_{4}\ O^{2-}{}_{10}\ (OH)^{-}{}_{2}$$

$$0.33 + 5.0 + 0.67 + 16 - 20 - 2 = 0$$

นอกจาก Mg แล้ว พวก Fe, Li และ Ca ก็สามารถแทนที่ Al ในไพโรฟิลไลต์ได้เช่นเดียวกัน ทำให้มีความแตกต่างกันในกลุ่มแร่มอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆ ดังนี้ (W.E. Worrall. 1964: 22)

2.1 **มอนต์มอริลโลไนต์** (Montmorillonite) $Na_{0.33}\ (Al_{1.67}\ Mg_{0.33})\ Si_4O_{10}\ (OH)_2$

2.2 **นอนโทรไนต์** (Nontronite) $Na_{0.33}\ Fe(Al_{0.33}\ Si_{3.67})O_{10}(OH)_2$

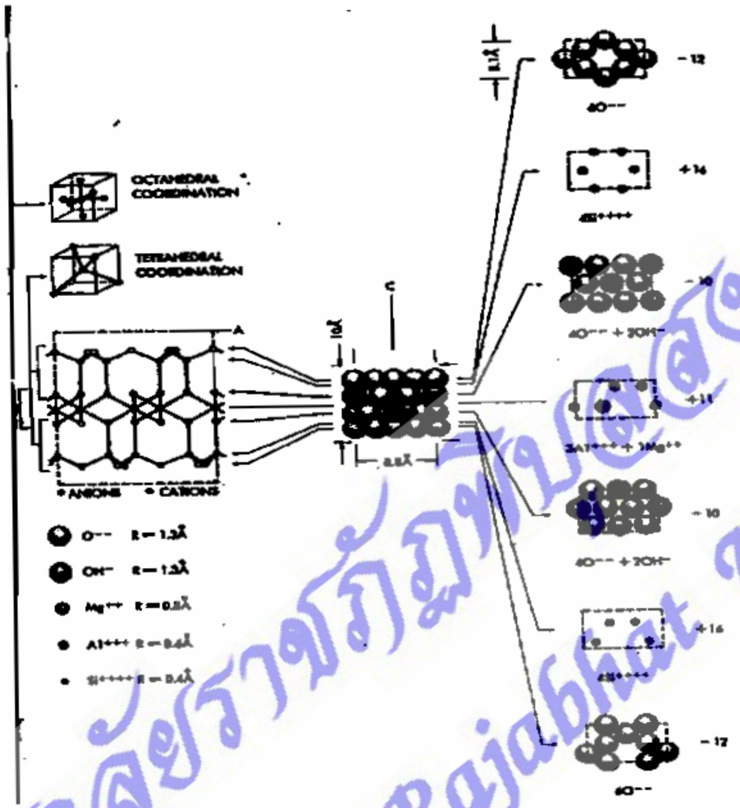
2.3 **เบนเดลไลต์** (Bendellite) $Na_{0.33}\ Al_{2.22}\ (Si_3Al)\ O_{10}(OH)_2$

2.4 **เฮกโตไรต์** (Hectorite) $Na_{0.33}\ (Li_{0.33}\ Mg_{2.67})\ Si_4O_{10}(OH)_2$

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

2.5 เซปอไนต์ (Seponite) $Na_{0.33} Mg_3 (Si_{3.67} Al_{0.33}) O_{10}(OH)_2$

ซิงเกอร์ (Singer. 1960 : 17) ได้สรุปว่า มอนต์มอริลโลไนต์อาจเขียนเป็นสูตร Al_2O_3. $4SiO_2$. H_2O + Ag หรือ (MgCa)O. Al_2O_3. $5SiO_2$. nH_2O และในกลุ่มนี้ยังรวมแร่บีเดลไลต์ (Beidellite) (Mg, Ca)O. Al_2O_3. $4SiO_2$. nH_2O หรือ Al_2O_3. $3SiO_2$. nH_2O อยู่ด้วย



ภาพประกอบ 7 แสดงโครงสร้างทั่วๆ ไป ของแร่ดินกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ $2[(Al_{1.67}Mg_{0.33}) Si_4O_{10} (OH)_2]$ (F.H. Norton. 1957 : 11)

โดยสรุปแล้วโครงสร้างของแร่ดินนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ เคโอลิน และมอนต์มอริลโลไนต์ โดยแต่ละกลุ่มจะเกิดเป็นแร่ดินหลายๆ ชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสัดส่วนระหว่าง $Al_2O_3 : SiO_2 : H_2O$ ดังตาราง 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 1 แสดงชื่อแร่ดินชนิดต่างๆ (Singer. 1960 : 18)

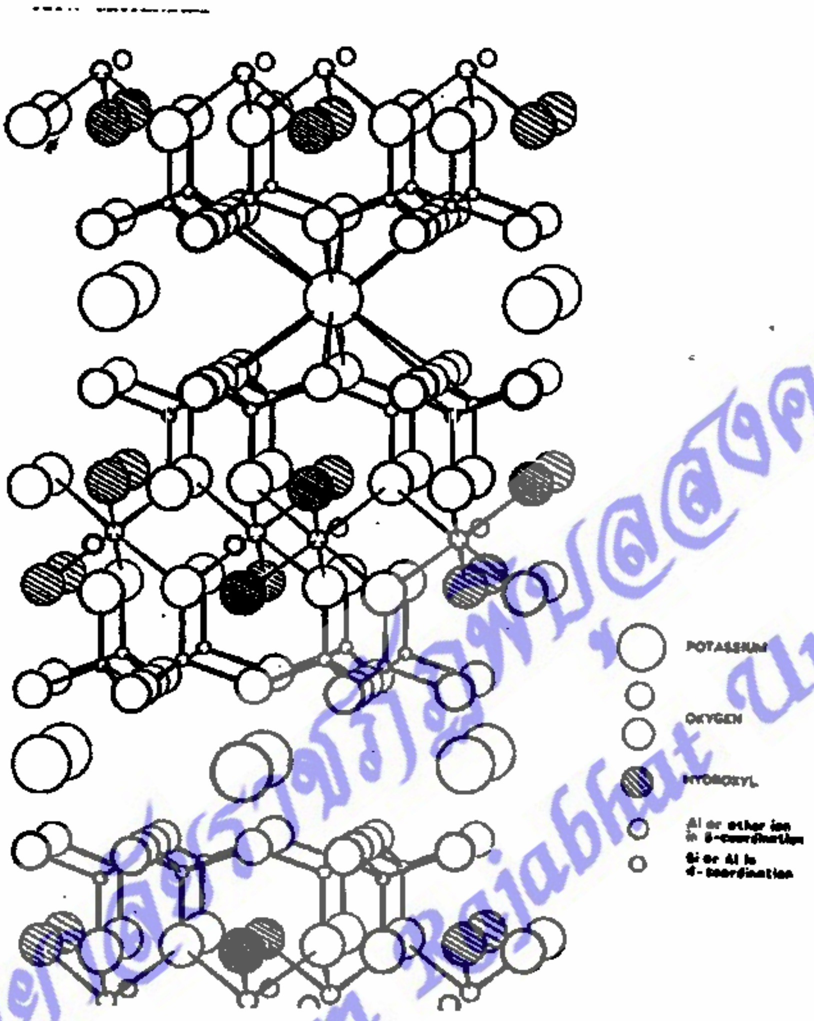
Mineral	Formula			$Al_2O_3 : SiO_2$
Schroetterite	$8Al_2O_3$	$3SiO_2$	$30H_2O$	1 : 0.38
Collyrite	2	1	9	1 : 0.5
Allophane	1	1	5	1 : 1
Kochite	2	3	5	1 : 1.5
Kaolinite	1	2	2	1 : 2
Clayite	1	2	2	1 : 2
Nacrite	1	2	2	1 : 2
Dickite	1	2	2	1 : 2
Halloysite	1	2	2+ Aq	1 : 2
Newtonite	1	2	5	1 : 2
Anauxite	1	3	2	1 : 3
Leverrierite	1	3	3	1 : 3
Pholerite	1	3	4	1 : 3
Beidellite	1	3	5	1 : 3
Montmorillonite	1	4	1+Aq	1 : 4
Pyrophyllite	1	4	1	1 : 4
Cimolite	2	9	6	1 : 4.5

นอกจากนี้ยังมีแร่บางอย่างที่ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่แร่ดิน แต่ก็มีโครงสร้างและส่วนประกอบที่มีความสัมพันธ์กับแร่ดินอยู่เสมอ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของดินทั้งก่อนการเผาและหลังการเผา แร่เหล่านี้ได้แก่ ไมกา คลอไรต์ และอิลไลต์

ไมกา (The Micas) เป็นแร่ที่มักเกิดปะปนอยู่ในแร่ดินเสมอๆ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของ ทัลก์ และไพโรฟิลไลต์ ด้วยการแทนที่ของผลึกชนิดเดียวกันกล่าวคือ เมื่อ Al เข้าแทนที่ Si ในไพโรฟิลไลต์ 1 ต่อ 4 อะตอม จะได้ $[Al_2 (Si_3Al) O_{10} (OH)_2]^{1-}$ เกิดเป็นโครงสร้างที่ไม่สมดุลเหลือประจุ -1 และถ้าโพแตสเซียมไอออน (K^+) เข้ามาแทนที่จะทำให้โครงสร้างเกิดความสมดุล เขียนสูตรได้คือ $K^+Al_2 (Si_3Al)^- O_{10} (OH)_2$ หรือ $KAl_3 Si_3O_{10} (OH)_2$ ซึ่งก็คือแร่ไมกา

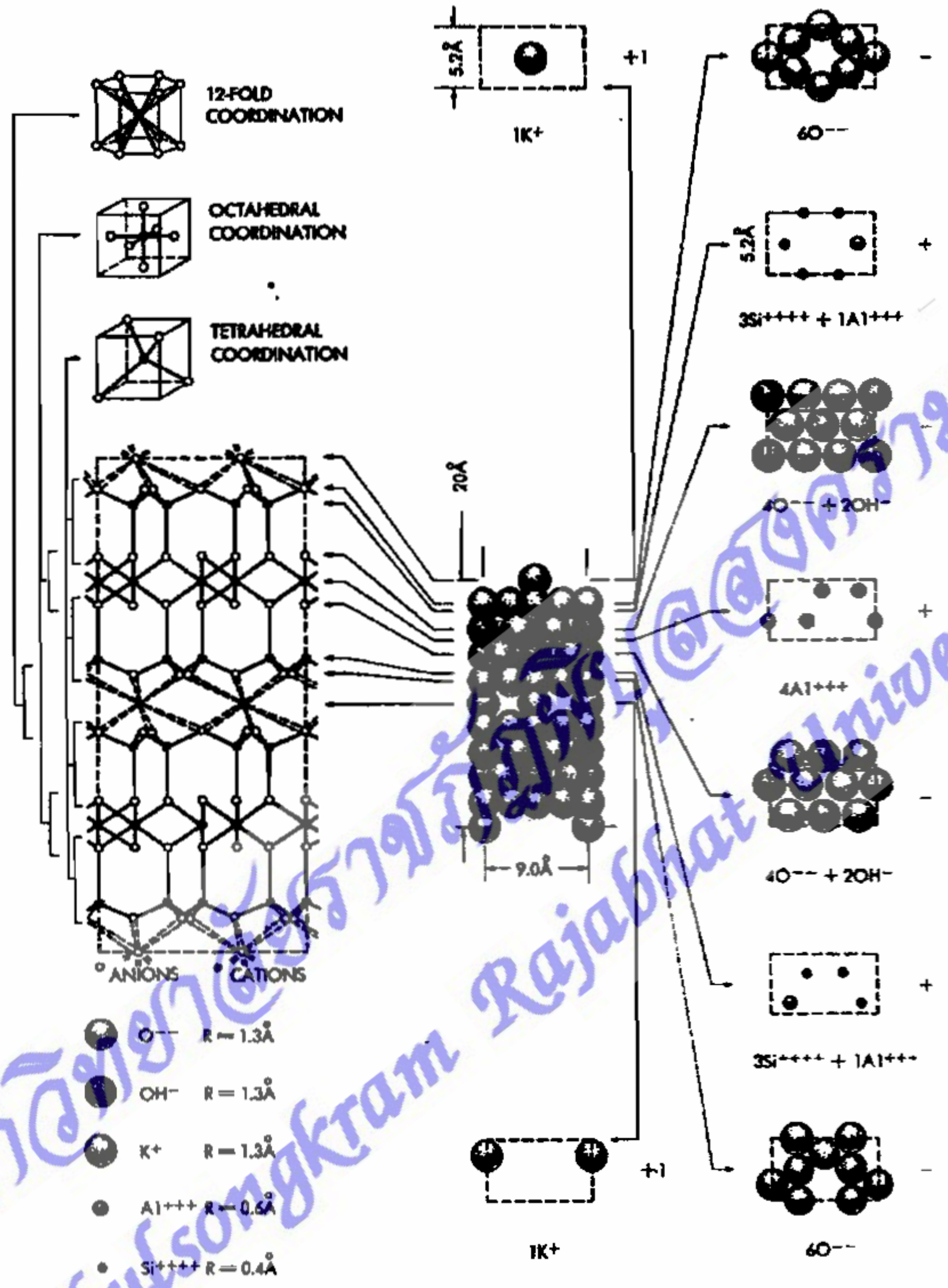
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ชนิดโปแตส (Potash mica) หรือ มัสโคไวต์ (Muscovite) หรือเรียกว่า "ไมกาขาว" และเป็นชนิดที่พบปะปนอยู่ในแร่ดินมากที่สุด



ภาพประกอบ 8 แสดงโครงสร้างของมัสโคไวต์ (W.E. Worrall. 1964 : 23)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 9 แสดงโครงสร้างและการเรียงตัวของธาตุต่างๆ ในมัสโคไวต์ $2[Al_4K_2\ (Si_6\ Al_2)\ O_{20}\ n(OH)_4]$ (F.H. Norton. 1957 :12)

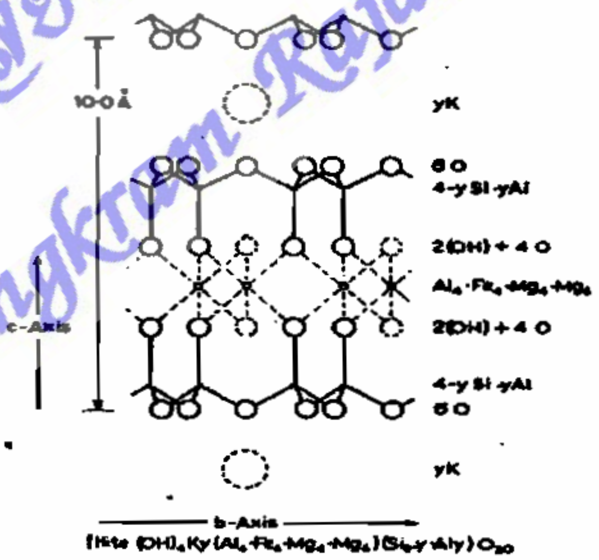
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

นอกจาก K^+ แล้ว Na^+ ก็สามารถเข้ามาเป็นตัวที่ทำให้เกิดความสมดุลทางโครงสร้างได้ เกิดเป็นไมกาอีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า โซดาไมกา (Soda mica) หรือ พาราโกไนต์ (Paragonite) และถ้า Al เข้าแทนที่ Si 2 อะตอม จะได้ $Al_2(Si_2Al_2)^{2-} O_{10}(OH)_2$ และเกิดประจุ -2 ซึ่งไม่สมดุลทางโครงสร้างทำให้ Ca^{+2} สามารถเข้ามาทำให้เกิดสมดุล คือ $Ca^{2+}Al_2 (Si_2Al_2) O_{10}(OH)_2$ เรียกว่าแคลเซียมไมกา (Calsium mica) หรือ มาร์กาไรต์ (Margarite)

ส่วนไมกาที่เกิดจากทัลก์ได้แก่ โฟลโกไพต์ (Phlogopite) $KMg_3 (Si_3Al) O_{10}(OH)_2$ และเลพิโดไลต์ (Lepidolite) $K (AlLi_2) Si_4O_{10}(OH)_2$

คลอไรต์ (The Chlorite) เป็นแร่ที่มีความสัมพันธ์กับไมกา ซึ่งเกิดจากลักษณะของการแทนที่ในทัลก์ จากสูตร $Mg_3 Si_4O_{10}(OH)_2$ กลายเป็น $Mg_3 (Si_3Al) O_{10}(OH)_2$ แต่ตัวที่เข้ามาทำให้โครงสร้างสมบูรณ์คือแร่บรูไซต์หรือแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ $Mg_2 Al^+ (OH)_6$ สูตรของคลอไรต์จึงเป็น $Mg_5 Al_2 Si_3 O_{10}(OH)_8$

อิลไลต์ (The Illites) เป็นแร่ที่มีโครงสร้างคล้ายกับไมกา แต่มีโปแตสเซียมน้อยกว่าและรวมตัวกับน้ำได้ดี บางครั้งเรียกว่า ไฮโดรไมกา (Hydromica) มีโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเกิดจากการแทนที่ของ K, Na หรือ Ca โดยการไฮ-เดรต ไฮโดรเจนไอออน (OH^-_3) ซึ่งเป็นสูตรที่ไม่แน่นอนนัก แต่อาจเขียนโดยทั่วๆ ไปได้ว่า $(OH)_4K_y(Al_4.Fe_4.Mg_4.Mg_6) Si_{8-y}.Al_2O_{20}$

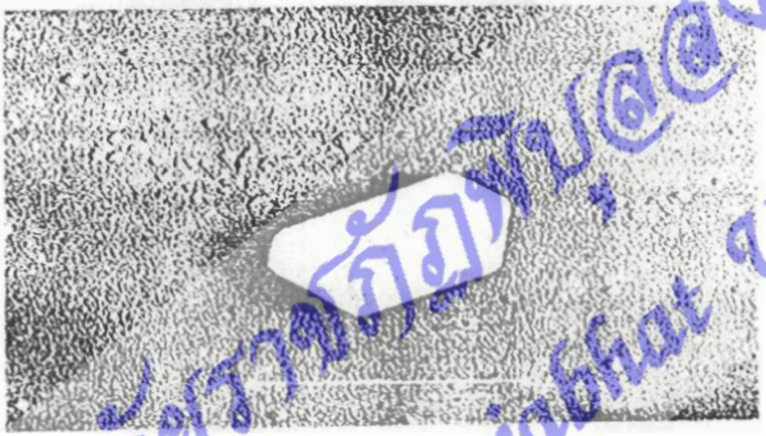


ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะโครงสร้างของอิลไลต์ (Singer. 1960 : 21)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

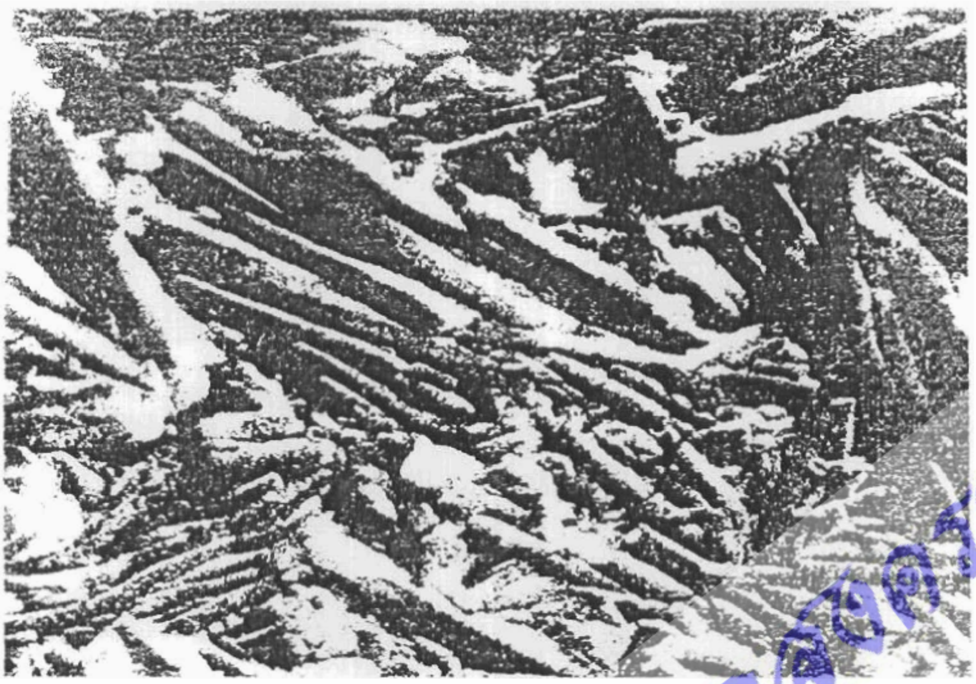
ขนาดและรูปร่างของดิน (Particle Size and Shape of Clays)

ขนาดและรูปร่างของดิน หมายถึง ขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่เล็กที่สุด โดยทั่วไป การตรวจสอบขนาด และลักษณะรูปร่างอนุภาคของดินนั้นจะใช้เครื่อง **SEM (Scanning** Electron Microscope) เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบ ซึ่งพบว่าแร่ดินชนิด เนไครต์ ดิกไคต์ และเคโอลิไนต์ จะมีขนาดอนุภาคเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1-0.2 **ไมครอน** (Micron) และบางครั้งอาจมีขนาดใหญ่ถึง 20 ไมครอน โดยอนุภาคจะมีลักษณะรูปร่างเป็นผลึกแผ่นบางๆ แบบเฮกซะโกนอล (Hexagonally-Shaped) หรือผลึกรูปหกเหลี่ยม **ฮอลลอยไซต์**จะมีรูปร่างของผลึกเป็นหลอด ส่วนมอนท์มอริลโลไนต์ลักษณะของผลึกเป็นแผ่นเล็กๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.01-2 ไมครอน สำหรับอิลไลต์ ขนาดของอนุภาคจะเล็กมาก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05 ไมครอน



ภาพประกอบ 11 แสดงผลึกของเคโอลิไนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ *0.7* ไมครอน (Norton. **1957 : 8** อ้างอิงจาก Dr. Walter East)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 12 แสดงผลึกรูปร่างหลอดของฮอลลอยด์ไซต์จาก Electron micrograph ขยาย 84,300เท่า (Singer, 1960 : 17)

ภาพประกอบ 13 แสดงตัวอย่างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์จาก Electron micrograph ขยาย 20,225 เท่า (Singer. 1960 : 18)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

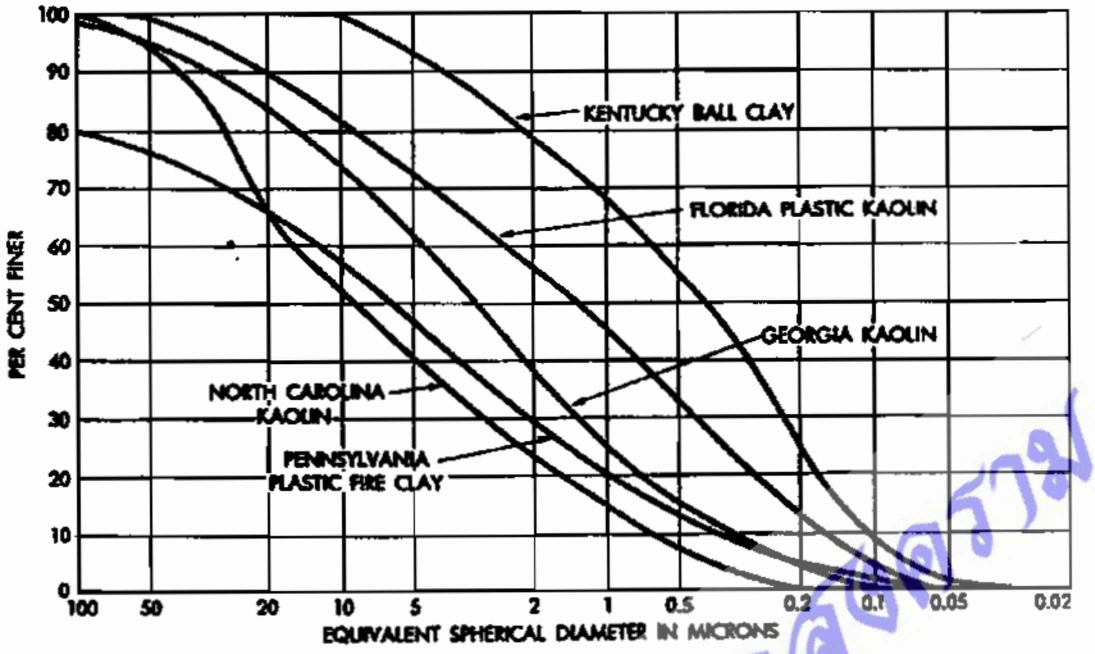
การศึกษาเกี่ยวกับขนาดของเม็ดดินนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากความละเอียดของดินจะสัมพันธ์กับความเหนียว ความแข็งแรงเมื่อแห้ง การหดตัวเมื่อแห้ง และการขึ้นรูป เป็นต้น การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analysis) มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน เช่น ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่วัดขนาดได้เล็กสุดถึง 0.001 ไมครอน การใช้กล้องจุลทรรศน์โดยต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลทางภาพ และแสดงผลการกระจายของอนุภาคออกมาเป็นกราฟได้ ในปัจจุบันนิยมใช้เครื่อง Centrifugal Particle Size Analyzer

ส่วนการวิเคราะห์ขนาดอย่างง่าย คือ ใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) โดยตะแกรงที่ใช้ต้องได้มาตรฐาน เช่น ASTM 11, ASTM 161 ของอเมริกา หรือ DIN 4188 ของเยอรมันเป็นอุปกรณ์ในการแยกขนาด ส่วนที่ละเอียดมากไม่สามารถหาขนาดได้ด้วยตะแกรง ก็ใช้วิธีการตกตะกอน (Sedimentation Method) โดยอาศัยการวัดอัตราการตกตะกอนของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในสารแขวนลอย แล้วใช้สมการสโตคส์ (Stokes Equation) ส่วนขนาดที่เป็นคอลลอยด์ (Colloid) ซึ่งมีขนาด 0.2-0.001 ไมครอน อาจใช้วิธี Methylene Blue Absorption Technique หาค่าพื้นที่ผิวของอนุภาคของดิน และสามารถอธิบายถึงความละเอียดของดินนั้นๆ ได้ กล่าวคือ ถ้าดินที่มีขนาดพื้นที่ผิวมากย่อมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าดินที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า ดังตัวอย่างในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาคของวัสดุ (Singer. 1960 : 54)

Length of edge	Number of cubes	Total surface
1 cm = 0.3937 in.	1	6 cm^2 = 0.93 in^2
1 mm = 0.0394 in.	1 000	60 cm^2 = 9.3 in^2
0.1 mm = 0.0039 in.	1 000 000	600 cm^2 = 93 in^2
0.1mm = 0.0004 in.	1 000 000 000	6000 cm^2 = 6.46 ft^2
1.0 μ = 0.001 mm	1 000 000 000 000	6 m^2 = 64.58 ft^2
0.1 μ = 0.0001 mm	1 000 000 000 000 000	60 m^2 = 645.83 ft^2

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 14 **ตัวอย่างกราฟแสดงขนาดของอนุภาคและปริมาณของดินบางแหล่งในสหรัฐอเมริกา** (F.H. Norton. 1957 : 28)

ส่วนประกอบของดิน (Compositions of clays)

โดยทั่วไปในการศึกษาส่วนประกอบของดินแหล่งต่างๆ นั้นจะศึกษา 2 ลักษณะคือ ส่วนประกอบทางเคมี และส่วนประกอบทางแร่

1. ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical composition) ดินที่ได้จากแร่เคโอลิไนต์บริสุทธิ์จะมีส่วนประกอบทางเคมี คือ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ หรือ $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ และอาจเขียนในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

Al_2O_3	39.8 %
SiO_2	46.3 %
H_2O	13.9 %

แต่โดยธรรมชาติแล้วจะมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ในโครงสร้างของดิน ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของธาตุโลหะที่มีประจุเป็นบวก (Cation Exchange) ได้แก่ Li^+ และ Na^+ (ประเภท Deflocculants), K^+, Rb^+, NH^+_4 และ Cs^+ (ประเภท Intermediate) และ Ca^{+2}, Mg^{+2}, Zn^{2+}, Cu^{2-}, Fe^{3+}, Al^{3+} และ H^+ (ประเภท Flocculants) (Sonja S. Singer. 1960 : 55) หรือเกิดจากการที่มีแร่อื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ รูไทล์ มัสโคไวต์ เซอร์คอน และแร่เหล็ก เป็นต้น ซึ่งการ

ศึกษาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินนี้จะใช้ X-Ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งชนิดและปริมาณของสารประกอบที่มีอยู่ในดินแต่ละแหล่งได้เป็นอย่างดี

ตาราง 3 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินจากแหล่งภายในและต่างประเทศ

แหล่งดิน	เปอร์เซ็นต์สารประกอบ								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	LOI
ดินขาวระนอง	47.0		36.6	0.8	0.25	0.51	1.94		12.0
ดินขาวลำปาง	71.7		20.2	1.0	0.25	1.20	2.55		4.2
	(กรมวิทยาศาสตร์กระทรวงอุตสาหกรรม : 2513)								
Cronish Clay	47.17	0.01	38.90	0.25	0.15	0.17	0.04	1.09	12.37
N. Carolina Kaolin	48.46	0.06	36.53	0.15	0.03	0.13	0.21	1.37	13.03
	(Singer. 1960 : 34-35)								

2. ส่วนประกอบเกี่ยวกับแร่ (Mineralogical Composition) โดยปกติแล้วตามธรรมชาตินั้น แร่ดินทั้งกลุ่มเคโอลินและกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์มีโอกาสที่จะเกิดอยู่ร่วมกัน เนื่องจากมีพื้นฐานมาจากแหล่งเดียวกัน คือ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแร่เฟลด์สปาร์แล้วกลายสภาพเป็นแร่ดิน ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า "Kaolinitezation" มีกระบวนการเกิดดังนี้ (Singer. 1960 : 12)

1. Hydrolysis $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2 + 2H_2O \dashrightarrow Al_2O_3.6SiO_2.H_2O + 2KOH$
   Feldspar

2. Desilication $Al_2O_3.6SiO_2.H_2O \dashrightarrow Al_2O_3.4SiO_2.H_2O+2SiO_2$
   Pyrophyllite

3. Desilicate $Al_2O_3.6SiO_2.H_2O \dashrightarrow Al_2O_3.2SiO_2.H_2O+4SiO_2$

4. Hydration $Al_2O_3.2SiO_2.H_2O \dashrightarrow Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$
   Kaolinite

5. Desilication $Al_2O_3.2SiO_2.H_2O \dashrightarrow Al_2O_3.H_2O+2SiO_2$
   Diaspore

6. Hydration $Al_2O_3.H_2O+2H_2O \dashrightarrow Al_2O_3.3H_2O$
   Gibbsite

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ปฏิกิริยาดังกล่าวนั้น แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของแร่เฟลด์สปาร์กลายเป็นแร่เคโอลิไนต์จนกระทั่งเป็นยิบบีไซต์ในที่สุด ดังนั้นดินในแต่ละแหล่งจะมีโอกาสพบแร่อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องปะปนอยู่ด้วยเสมอ เช่น ไมกา คลอไรต์ อิลไลต์ ยิบบีไซต์ เฟลด์สปาร์ ไพโรฟิลไลต์ ไดอะสปอร์ และซิลิกาอิสระ (Free Silica) เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ดินแต่ละแหล่งนั้นมีความแตกต่างกันทั้งส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

ตามปกติ การวิเคราะห์ชนิดของแร่ที่มีอยู่ในดินจะใช้เครื่อง Differial Thermal Analysis (DTA) หรือ X-Ray Diffration (XRD) แต่ไม่สามารถบอกปริมาณของแร่แต่ละชนิดได้ จำเป็นต้องนำมาคำนวณหาปริมาณของแร่จากผลวิเคราะห์ทางเคมี และถ้าไม่มีการวิเคราะห์ด้วย DTA จะไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนถึงชนิดและปริมาณของแร่ ดังนั้นจึงอาจใช้การสันนิษฐานจากข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดดินร่วมกับผลวิเคราะห์ทางเคมีจาก XRF

แร่ต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของเนื้อดินปั้น เช่น มัสโคไวต์ จะลดการเกิดคริสโตบาไลต์ในดินขาว รวมทั้งมีส่วนช่วยให้การขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ (Casting) มีประสิทธิภาพดียิ่ง ปัจจุบันผู้ที่ผลิตดินจากแหล่งต่างๆ เพื่อจำหน่ายแก่อุตสาหกรรมเซรามิกส์จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะของแหล่งดินนั้นๆ เพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้งาน และข้อมูลที่นำเสนอ ได้แก่ ส่วนประกอบทางเคมี ส่วนประกอบของแร่ การกระจายขนาดของอนุภาค ซึ่งก็เพียงพอต่อการพิจารณาเลือกใช้งาน ดังตัวอย่าง

ดินขาวระนอง (Clays and Minerals (Thailand) Ltd.)

ผลวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Alalysis) (%)

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	LOI
47.06	0.05	37.30	0.88	0.04	0.05	1.42	0.08	13.06

ส่วนประกอบของแร่ (Mineralogy)

Meduem odaed kaolinite	85 %
Moderately Crystalline Mica	2 %
Gibbsite	2 %
Quartz	1 %

การกระจายของขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution)

µm	-20	-10	-5	-2	-1	-0.5
%	19	71	54	36	28	17

666.73
ห374ภ
ฉ.2
146241

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity of Clays)

โดยทั่วไปดินจะมีความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) อยู่ในช่วง 2.6 แต่ในดินแต่ละแหล่งนั้นจะมีค่า ถ.พ. แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแร่ที่ปะปนอยู่ในดินนั่นเอง กล่าวคือถ้ามีแร่ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เช่น มอนต์มอริลโลไนต์หากมีมากจะมีค่า ถ.พ. มากขึ้น เป็นต้น

อิทธิพลความร้อนที่มีต่อแร่ดิน (Effect of Heat on the Clay Mineral)

แร่ทุกชนิดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ จะเกิดการสูญเสียน้ำเมื่อได้รับความร้อน และเกิดการหดตัว ในแร่เคโอลิไนต์ เนไครต์ หรือดิกไคต์ก็เช่นเดียวกัน น้ำในโครงสร้างจะสูญหายไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

$$\underset{\text{Kaolinite}}{Al_2Si_2O_5(OH)_4} \xrightarrow{450\,^{\circ}C} \underset{\text{Meta-Kaolin}}{Al_2Si_2O_7} + 2H_2O$$

เมื่อน้ำระเหยออกไปแล้วจะยังคงสภาพของผลึกโครงสร้างแร่ดินเหมือนเดิม เรียกว่า "Meta-Kaolin" แต่ถ้าเผาสูงถึง 1000 องศาเซลเซียส จะได้มูลไลต์ (Mullite) และซิลิกาอิสระ (Free Silica) ดังสมการ

$$\underset{\text{Meta-Kaolin}}{3Al_2Si_2O_7} \xrightarrow{1000\,^{\circ}C} \underset{\text{Mullite}}{Al_6Si_2O_{13}} + \underset{\text{Silica}}{4SiO_2}$$

ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์เมื่อได้รับความร้อน ซิลิกาเลเยอร์จะดูดซึมน้ำไว้ในชั้นแรกที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส และในช่วงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะแตกตัวโดยน้ำระเหยออกหมดทำให้ซิลิกามีรูปร่างไม่แน่นอน อะลูมินาและแมกนีเซียมก็เช่นเดียวกัน ซึ่งคล้ายกับ Meta-Kaolin เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 1200 องศาเซลเซียส จะอยู่ในรูปของมูลไลต์ (Mullite) คริสโตบาไลต์ (Cristobalite) คอร์เดียไรต์ (Cordiarite) และสไปเนล (Spinel)

ดินทุกชนิดเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการหลอมเหลว (Melting) ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารประกอบประเภทที่ช่วยลดจุดหลอมละลาย (Fluxing Oxide) ที่ปะปนอยู่ในดินแต่ละแหล่ง และเมื่อเย็นตัวลงของเหลวนั้นจะเกิดเป็นของแข็งที่มีผลึกไม่สมบูรณ์อยู่ในรูปของแก้ว ในระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิจนดินเกิดมีของเหลวจาก Fluxing Oxide นั้น จะมีผลต่อรูปร่าง โดยของเหลวจะไหลเข้าไปในช่องว่างของดินทำให้เกิดการหดตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

(Shrinkage) ทำให้รูพรุนต่างๆ ลดลงจนกลายเป็นเนื้อเดียวกันที่เรียกว่าจุดสุกตัว หรือกระบวนการกลายเป็นแก้ว (Vitrification) นั่นเอง

การทดสอบสมบัติทางกายภาพบางประการของดิน

ก่อนที่จะนำดินมาใช้ประโยชน์ควรมีการทดสอบณสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นต่อการสร้างผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่เราต้องการเสียก่อน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วงคือ ก่อนการเผาและหลังการเผา ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. การทดสอบสมบัติของดินก่อนเผา

1.1 **ค่าความชื้น (Moisture Content)** มีความสำคัญต่อการเติมน้ำลงไปในเนื้อดินปั้นเพื่อการขึ้นรูป เนื่องจากดินแต่ละแหล่งในธรรมชาตินั้นมีค่าความชื้นแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ การจัดเก็บและการขนส่ง เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดในการผสมน้ำเพื่อเตรียมเนื้อดินปั้นให้มีค่าความหนาแน่นตามต้องการ จึงต้องทำการหาค่าความชื้นของดินด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างดินมาชั่งน้ำหนักแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักที่หายไปมาคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ วิธีการนี้สามารถนำไปใช้กับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ได้

ตัวอย่าง ดินแหล่งหนึ่ง เมื่อสุ่มตัวอย่างมา 100 กรัม นำมาอบแห้งแล้วน้ำหนักเหลือ 82 กรัม ต้องการทราบว่าดินแหล่งนี้มีความชื้นกี่เปอร์เซ็นต์ จะได้

น้ำหนักของความชื้น = 100 - 82 = 18 กรัม

เมื่อยึดน้ำหนักก่อนอบแห้งเป็นหลัก ค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้นจะได้

$$\frac{\text{น้ำหนักของความชื้น} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}}$$

ดังนั้นดินแหล่งนี้จึงมีความชื้น $= \frac{18 \times 100}{100} = 18\%$

ถ้ายึดน้ำหนักเมื่อแห้งก่อนจะมีความชื้นเข้ามาในดิน ค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้นจะได้จาก

$$\frac{\text{น้ำหนักของความชื้น} \times 100}{\text{น้ำหนักเมื่อแห้ง}}$$

ดังนั้นดินแหล่งนี้จึงมีความชื้น $= \frac{18 \times 100}{82} = 21.95$

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

1.2 ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดความเหนียว (Water of Plasticity) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ผสมเพิ่มเติมลงไปในดินจนกระทั่งเกิดความเหนียวที่สามารถใช้งานได้ ตามปกติดินแต่ละแหล่งจะต้องใช้น้ำในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งปริมาณน้ำนี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าความเหนียวของดินด้วย กล่าวคือ ดินที่ใช้น้ำปริมาณมากกว่าแสดงว่ามีเนื้อละเอียดกว่า หรือมีปริมาณของแร่ประเภทไมกาและมอนต์มอริลโลไนต์มากนั่นเอง ซึ่งจะส่งผลถึงสมบัติด้านอื่นๆ เมื่อแห้ง เช่น ความหดตัว (Shrinkage) ความแข็งแรง (Strength) โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

ขั้นแรก นำตัวอย่างดินผสมน้ำจนเกิดความเหนียวที่สามารถใช้งานปั้นได้ มาทำเป็นแท่งทดลองที่มีปริมาตรและความยาวชัดเจน แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ

ขั้นที่สอง นำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

ขั้นที่สาม นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ทำให้เกิดความเหนียว โดยใช้สูตร

$$T = \frac{Wp - Wd}{Wd} \times 100$$

โดย T = เปอร์เซ็นต์น้ำที่ทำให้เกิดความเหนียว

Wp = น้ำหนักเมื่อมีความเหนียว

Wd = น้ำหนักเมื่อแห้ง

1.3 การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) หมายถึงค่าของขนาดที่เล็กลงจากเดิมของดินที่เปียกจนถึงแห้งสนิท ปกติจะใช้ความร้อนประมาณอุณหภูมิ 64-76 องศาเซลเซียส ช่วยทำให้แห้ง แต่ตัวอย่างของดินที่สุ่มมาจะต้องมีขนาดที่แน่นอน โดยทั่วไปจะวัดการหดตัวตามเส้น (Liner Shrinkage) และหดตัวตามปริมาตร (Volume Shrinkage) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นแรก สุ่มตัวอย่างดินมาผสมน้ำให้สามารถปั้นขึ้นรูปได้ แล้วสร้างเป็นชิ้นทดลอง (Test Pieces) ขนาด 30 × 30 × 45 มิลลิเมตร (1 1/8 × 1 1/8 × 1 7/8 นิ้ว) ซึ่งจะได้ปริมาตรของดินเหนียว (Vp)

ขั้นที่สอง อบแห้งแล้วหาปริมาตรเป็นปริมาตรเมื่อแห้ง (Vd) แล้วนำมาคำนวณตามสูตร

$$b = \frac{Vp - Vd}{Vd} \times 100$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

โดย b = เปอร์เซ็นต์การหดตัวตามปริมาตร

Vp = ปริมาตรเมื่ออยู่ในสภาพดินเหนียว (Plastic Volume)

Vd = ปริมาตรเมื่อดินแห้ง (Dry Volume)

ขั้นที่สาม นำค่าความหดตัวตามปริมาตรมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวตามเส้น (a) โดยใช้สูตรดังนี้

$$a = \frac{\left[1-\sqrt[3]{1-b}\right]\times 100}{100}$$

โดย a = เปอร์เซ็นต์การหดตัวตามเส้น

b = เปอร์เซ็นต์การหดตัวตามปริมาตร

โดยทั่วไปในทางปฏิบัติจะนิยมหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวตามเส้นเพียงอย่างเดียว โดยใช้การวัดขนาดความยาวของดินเมื่อเปียกเปรียบเทียบกับความยาวเมื่อแห้งของแท่งทดลอง ใช้สูตร

$$\text{การหดตัว} = \frac{\text{ความยาวเปียก} - \text{ความยาวแห้ง} \times 100}{\text{ความยาวเปียก}}$$

การหาค่าความหดตัวเมื่อแห้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ดินให้เหมาะสมกับรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาวิธีที่เหมาะสมในการป้องกันปัญหาต่างๆ อันเนื่องมาจากการหดตัวของดิน เช่น การแตกร้าว การบิดตัวหรือโค้งงอ เป็นต้น

1.4 ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Dry Stength) เป็นการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงที่มากระทำดินเมื่ออยู่ในสภาพแห้งสนิท โดยทั่วไปจะทำการทดสอบด้วยแรงกด (Compressive Strength) และแรงกระแทก (Impact Strength) ซึ่งการทดสอบนี้จะช่วยให้เราสามารถวางแผนกระบวนการผลิตและการกำหนดขนาดของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมได้ กล่าวคือ ถ้าดินมีความแข็งแรงน้อย ไม่ควรนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ หรือไม่ควรให้มีการยกเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์นั้นในกระบวนการผลิตมากเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดการแตกหักเสียหาย และถ้ามีความจำเป็นต้องใช้ดินในแหล่งที่เราทราบว่ามีความแข็งแรงน้อยนี้เราก็จะสามารถหาวิธีปรับปรุง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ดินให้มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ สำหรับการคำนวณหาค่าความแข็งแรงหรือค่าความต้านทานต่อแรงกดของดินแห้งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นแรก สุ่มตัวอย่างดินมาทำการขึ้นรูปเป็นแท่งที่มีขนาด กว้าง ยาวและหนาชัดเจน เช่น กว้าง ½ นิ้ว ยาว 3 นิ้วและหนา ½ นิ้ว หรือขนาดอื่นตามความเหมาะสม แต่ไม่ควรเล็กเกินไป เพราะอาจเกิดการคลาดเคลื่อนในการวัดขนาดและการโค้งงอเมื่อแห้งได้

ขั้นที่สอง นำแท่งตัวอย่างมาอบให้แห้งสนิท แล้วนำมาทดสอบความต้านทานต่อแรงกดด้วยเครื่อง "Modulus Of Rupture (MOR) Machine" โดยวางแท่งทดลองบนคานทั้งสองข้าง แล้วใช้แรงกดลงตรงกึ่งกลางที่ยึดเอาระยะห่างระหว่างคานทั้งสองเป็นหลัก จนกระทั่งแท่งทดลองนั้นหักลง พร้อมทั้งทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่ทำให้แท่งทดลองหัก ซึ่งอาจใช้หน่วย กิโลกรัม (kg.) หรือ ปอนด์ (lbs.) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับประเภทของมาตราที่เราใช้เป็นหลักในการวัดขนาดของแท่งทดลอง

ขั้นที่สาม คำนวณหาค่าความแข็งแรงตามสูตร

$$m = \frac{3pl}{2bd^2}$$

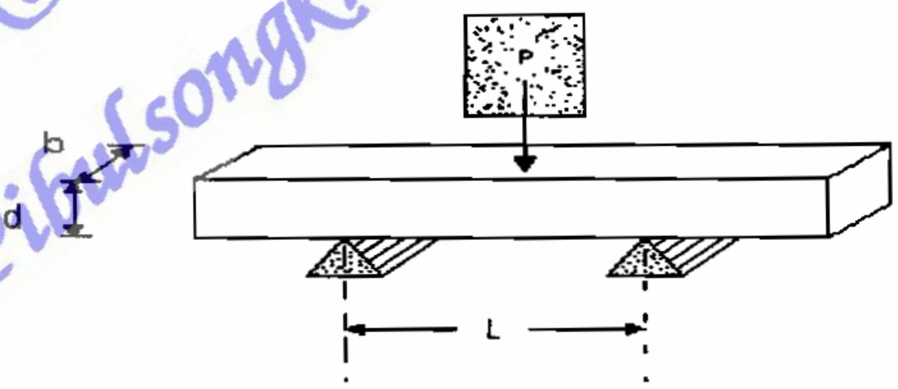
m = ค่าความแข็งแรง (MOR) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ($kg./cm^2$) หรือ ปอนด์/ตารางนิ้ว (lbs/in^2)

p = น้ำหนักที่ทำให้แท่งทดลองหัก

l = ความยาวระหว่างคานทั้งสอง

b = ความกว้างของแท่งทดลอง

d = ความหนาของแท่งทดลอง



ภาพประกอบ 15 แสดงหลักการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของดิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2. การทดสอบสมบัติของดินหลังการเผา เป็นการทดสอบสมบัติภายหลังจากการนำดินแต่ละแหล่งเข้าเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของสมบัติในหลายๆ ด้าน ในปัจจุบันนี้มีเตาเผาชนิด "Gradient Furnace" ซึ่งสามารถเผาชิ้นทดลองได้พร้อมกันหลายอุณหภูมิในครั้งเดียว นับว่าสะดวกและรวดเร็วในการศึกษาสมบัติของดินหลังจากเผาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยทั่วไปแล้วควรมีการทดสอบในหัวข้อต่อไปนี้

2.1 **สิ่งที่สูญหายไปหลังจากการเผา** (Loss on Ignition) หรือ LOI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของน้ำ สารอินทรีย์ และก๊าซต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในดิน ซึ่งส่งผลต่อขนาดและน้ำหนักของเนื้อดินปั้นหรือผลิตภัณฑ์หลังจากเผา โดยใช้การสุ่มตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงถึงจุดสุกตัว เมื่อออกจากเตาเผาแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งจึงใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกับการหาความชื้น กล่าวคือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของ LOI} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการเผา}}{\text{น้ำหนักก่อนการเผา}} \times 100$$

2.2 **การหดตัวหลังจากเผา** (Firing Shrinkage or Burning Shrinkage) ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการหาค่าความหดตัวเมื่อแห้ง ทั้งหดตัวตามปริมาตรและหดตัวตามเส้น เป็นวิธีที่จะช่วยให้เราทราบว่าควรจะสร้างต้นแบบของผลิตภัณฑ์เท่าใด จึงจะได้ขนาดหลังเผาตามต้องการ โดยใช้สูตรดังนี้

$$\%\,\text{การหดตัวตามเส้น} = \frac{\text{ความยาวก่อนเผา} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวก่อนเผา}} \times 100$$

$$\%\,\text{การหดตัวตามปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรก่อนเผา} - \text{ปริมาตรหลังเผา}}{\text{ปริมาตรก่อนเผา}} \times 100$$

หรือ

$$\%\,\text{การหดตัวตามเส้น} = \frac{\left[1 - \sqrt[3]{\%\,\text{การหดตัวตามปริมาตรหลังเผา}}\right]}{100} \times 100$$

2.3 **การดูดซึมน้ำ** (Water Absorption) ภายหลังจากเผาที่อุณหภูมิต่างๆ แล้ว ควรมีการทดสอบการดูดซึมน้ำซึ่งช่วยให้ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมกับการชุบเคลือบ หรือทราบว่าถึงจุดสุกตัวหรือไม่ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำดินนั้นมาใช้งาน ทดสอบด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

การนำแท่งทดลองที่ผ่านการเผาแล้วมาชั่งน้ำหนักแล้วแช่น้ำให้อิ่มตัว บางครั้งอาจใช้การต้มด้วยหม้อต้มแรงดัน (Autoclave) เพื่อให้น้ำแทรกเข้าไปอยู่ตามช่องว่างหรือรูพรุนได้อย่างทั่วถึง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งก่อนนำไปคำนวณตามสูตร

$$\%\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{(sf - wf)}{wf} \times 100$$

sf = น้ำหนักของแท่งทดลองที่อิ่มน้ำ

wf = น้ำหนักของแท่งทดลองหลังเผา

2.4 สีหลังเผา (Fired Colour) โดยทั่วไปดินมักจะไม่บริสุทธิ์ สีของดินหลังเผาจึงแตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณของสารที่ปะปนอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Fe_2O_3 และ TiO_2 จะเป็นตัวลดความขาวของดินลงอย่างชัดเจน ดังนั้นการทดสอบสีของดินหลังเผาจะช่วยในการพิจารณาเลือกใช้ดินได้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ ถ้าต้องการลักษณะสีขาวจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ ปกติสามารถเปรียบเทียบสีของดินจากแหล่งต่างๆ ได้ด้วยตาเปล่าแต่ถ้าสีใกล้เคียงกันมากอาจใช้เครื่อง "Spectro Photometer" เป็นอุปกรณ์ในการเปรียบเทียบสีก็ได้

2.5 ความแข็งแรงหลังเผา (Firing Strength) ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบการหาค่าความแข็งแรงเมื่อแห้ง ซึ่งช่วยให้ทราบถึงขีดความสามารถในการรับน้ำหนักของดินหลังจากเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ทำให้การวางแผนการใช้งานของดินแต่ละแหล่งมีความเหมาะสมกับงานที่รับน้ำหนักได้ดียิ่งขึ้น

2.6 ความแข็ง (Hardness) เป็นการทดสอบความทนทานต่อการขัดสีภายหลังจากการเผาดินที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งจะเป็นหลักการสำคัญในการนำดินมาเป็นส่วนผสมในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อการขัดสี เช่น โกร่งบด วัสดุบุผนังหม้อบด หรือวัสดุขัดถู (Abrasive) เป็นต้น ในปัจจุบันสามารถใช้วิธีการทดสอบแบบ "Hardness Testing Techniques" ซึ่งเป็นการทดสอบ โดยใช้วัสดุประเภท เพชร (Diamond) หรือทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide) ที่มีรูปร่างขนาดต่างๆ กดลงบนวัสดุที่ต้องการวัดค่าความแข็ง แต่โดยทั่วไปจะใช้วิธีเปรียบเทียบวัสดุมาตรฐานที่มีระดับความแข็งต่างกันตามทฤษฎีของ "Moh' s scale" ซึ่งกำหนดว่าความแข็งของวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 10 ระดับจากอ่อนที่สุดไปถึงระดับแข็งที่สุดคือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

Mohs' Scale Of Hardness	
1 Talc	6 Feldspar
2 Gypsum	7 Quartz
3 Calsite	8 Topaz
4 Fluorspar	9 Corundum
5 Apatite	10 Diamond

การทดสอบสมบัติบางประการของดินทั้งก่อนและหลังเผาดังกล่าวควรใช้วิธีการที่มีความเชื่อมั่นอยู่ในระดับสูงเพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการอธิบายถึงสมบัติของดินแต่ละแหล่ง ดังนั้นในการทดสอบดินทุกครั้งจึงควรยึดหลักการสำคัญ 3 ประการ คือ

1. ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบควรได้มาจากการสุ่มที่ถูกวิธี
2. การทดสอบในทุกด้านควรกระทำหลายๆ ครั้ง แล้วนำผลการทดสอบนั้นมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance)
3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะต้องมีความเที่ยงตรง และได้มาตรฐาน

การแบ่งประเภทของดิน (Classification of Clays)

ดินที่ใช้ในงานด้านเซรามิกส์นั้นมีอยู่หลายชนิด และเพื่อความสะดวกในการศึกษาได้มีผู้แบ่งดินออกเป็นประเภทไว้หลายลักษณะ เช่น

วอร์นรล (W.E. Worrall. 1964 : 55) ได้แบ่งประเภทของดินตามหลักธรณีวิทยาไว้ 2 ประเภท ซึ่งเป็นการแสดงถึงดินที่พบอยู่ในแหล่งหรือบริเวณที่แตกต่างกัน ได้แก่

1. ดินแหล่งต้นกำเนิด (Residual Clays) เป็นดินที่ปรากฏอยู่ในบริเวณต้นกำเนิดของดินภายหลังจากที่หินแกรนิต เช่น เฟลด์สปาร์ ได้ผุพังแปรสภาพเป็นดินและยังไม่ถูกการพัดพาเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น มักพบตามภูเขาหรือที่ราบสูง ดินประเภทนี้จึงมีลักษณะเป็นหินแข็งเนื่องจากยังคงมีหินต่างๆ ปะปนอยู่ ดังนั้นก่อนนำมาใช้งานจะต้องทำการบดย่อยและล้างเพื่อแยกเอาเนื้อดินออกมาให้ได้ปริมาณมากที่สุด เนื้อดินจึงค่อนข้างหยาบและมีความเหนียวไม่มาก ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดดินขาว (Kaolin)

2. ดินแหล่งที่ถูกพัดพามาตกตะกอน (Sedimentary Clays) เป็นดินที่พบอยู่ในบริเวณที่ดินจากแหล่งต้นกำเนิดถูกพัดพาด้วยกระแสน้ำหรือการละลายของภูเขาน้ำแข็งมาตกตะกอนสะสมอยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นที่ราบลุ่ม ลักษณะของเนื้อดินจะมีความละเอียดและ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เหนียวกว่าดินแหล่งต้นกำเนิด แต่จะมีสิ่งเจือปนมากกว่า สีจึงไม่ขาว เช่น ดินเหนียว (Ball Clays) ดินทนไฟ (Fire Clays) เป็นต้น

นอร์ตัน (H.F. Norton. 1952 : 20) ได้แบ่งประเภทของดินไว้ 6 ประเภทตามลักษณะคุณสมบัติเฉพาะเพื่อการนำมาใช้งานดังนี้

1. ดินที่มีสีขาวภายหลังการเผา (White-Burning Clays) เหมาะสำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์สีขาว (White Ware) ได้แก่

1.1 ดินขาว (Kaolin)

1.2 ดินเหนียว (Ball Clays)

2. ดินที่ทนความร้อนอุณหภูมิสูง (Refractory Clays) หมายถึงดินที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 1600 องศาเซลเซียส ได้แก่

2.1 ดินขาว

2.2 ดินทนไฟ

2.3 ดินไฮอะลูมินา (High Alumina Clays)

3. ดินที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง (Heavy Clays or Product Clays) ส่วนมากจะเป็นดินที่มีความเหนียวน้อย แต่จะมีสารช่วยหลอมเหลว (Fluxs) ในปริมาณมาก ใช้ผลิตอิฐปูพื้น (Paving Brick) ท่อน้ำ (Sewer-pipe)

4. ดินสโตนแวร์ (Stoneware Clays) เป็นดินที่มีความเหนียวมากและมีสารช่วยหลอมเหลวอยู่ปริมาณมาก จุดสุกตัวจึงต่ำ สามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ซึ่งมีการปรับปรุงเนื้อดินเพียงเล็กน้อย

5. ดินที่ทำอิฐ (Brick Clays) ดินประเภทนี้จะมีความเหนียวมากและมี Fe_2O_3 ผสมอยู่มาก นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์เทอรา-คอตตา (Terra-cotta) และอิฐมอญ (Common Bricks)

6. ดินสลิป (Slip Clays) ได้แก่ ดินที่สะสมอยู่ในแหล่งที่มีน้ำขังตลอดปี มักจะมี Fe_2O_3 ปะปนอยู่มาก บางครั้งนำมาใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเอ็นโกบ (Engobe)

ดินขาว (Kaolin or China Clay)

ดินขาวหรือที่เรียกว่า "เคโอลิน" (Kaolin) ซึ่งเป็นคำที่มาจากภาษาจีนว่า "เกาลิง" (Kauling) หมายถึง ภูเขามียอดแหลม และเป็นแหล่งของดินขาวที่นำมาใช้ในการทำเครื่องปั้นดินเผาประเภทสีขาวในยุคแรกๆ บางครั้งจะเรียกดินประเภทเดียวกันนี้ว่า "ไชน่าเคลย์"(China clay) เพื่อเป็นการให้เกียรติแก่ประเทศจีนที่เป็นผู้นำดินขาวมาใช้เป็นชาติแรก ดินขาวที่พบในธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

จะมีลักษณะเป็นก้อนแร่สีขาวหรือสีครีม ประกอบด้วยผลึกเล็กๆ ของแร่เคโอลิไนต์เป็นสำคัญ ร่วมกับแร่อื่นๆ เช่น ไมกาและ ควอตซ์ เป็นต้น โดยทั่วไปดินขาวจะมีความแข็ง 2.0-2.5 ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.6 จุดหลอมเหลวประมาณ 1700 องศาเซลเซียส ดินขาวที่บริสุทธิ์จะมีสูตรทางเคมีคือ $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$

ดินขาวนับเป็นวัตถุดิบหลักที่ต้องใช้ในปริมาณมากสำหรับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาชนิดสีขาว และนอกจากจะใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาแล้ว ในอุตสาหกรรมอื่นเช่น สี กระดาษ ยาปราบศัตรูพืช และอุตสาหกรรมปุ๋ยก็มีความจำเป็นต้องใช้ดินขาวเป็นวัตถุดิบหลักด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป ซึ่งแต่ละประเทศได้มีการกำหนดสมบัติของดินขาวเป็นมาตรฐานสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม

สมบัติมาตรฐานของดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ของประเทศอังกฤษ (อุบลศรี ชัยสาม และ เยาวลักษณ์ นิสสภา. 2537 : 146)

Al_2O_3	37–39	%
SiO_2	46–47	%
Fe_2O_3	0.4–1	%
TiO_2	1	%
K_2O	1–2	%
LOI	12.5	%

ตาราง 4 แสดงลักษณะของแร่ดินขาว ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ประเทศไทย (มอก. 485-2526)
(อุบลศรี ชัยสาม และ เยาวลักษณ์ นิสสภา. 2537 : 148)

: เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะ	คุณภาพที่ 1	คุณภาพที่ 2	คุณภาพที่ 3
1. กากที่ค้างบนตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร มีปริมาณร้อยละของ น้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	1.0	2.0	5.0
2. LOI ไม่น้อยกว่า	12.0	10.5	10.5
3. ปริมาณ Al_2O_3 โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่น้อยกว่า	36.0	30.0	30.0
4. ปริมาณ SiO_2 โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่น้อยกว่า	45.0	50.0	50.0
5. ปริมาณ Fe_2O_3 โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	1.0	1.5	2.0
6. ปริมาณ TiO_2 โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	0.7	1.5	1.5

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 4 (ต่อ)

: เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะ	คุณภาพที่ 1	คุณภาพที่ 2	คุณภาพที่ 3
7. ปริมาณ Fe_2O_3 และ TiO_2 รวมกันโดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	1.5	2.75	3.0
8. การหดตัวเชิงเส้นร้อยละไม่เกิน			
8.1 หลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C	7.5	7.5	7.5
8.2 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C	12.0	12.0	12.0
8.3 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,350°C	15.5	15.5	15.5
1. กากที่ค้างบนตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร มีปริมาณร้อยละของ น้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	1.0	2.0	5.0

หมายเหตุ การทดสอบการหดตัวหลังเผาอาจเลือกทดสอบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส หรือ ที่อุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส หรือทั้งสองอุณหภูมิก็ได้

ตาราง 5 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของดินขาวแหล่งดินจากประเทศต่างๆ (Singer. 1960 : 32-35)

ชื่อแหล่งดิน	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	LOI
M. Cornish china clay (Brit)	45.45	0.34	38.33	0.55	0.12	0.06	0.43	2.22	12.44
S.C. Devon china clay (Brit)	46.96	0.13	38.78	0.86	0.04	0.09	0.34	0.78	12.51
Kemmlitz kaolin (Germ)	58.30	-	29.31	0.87	-	0.51	1.20		10.62
Zetklitz kaolin (Czechoslovakia)	46.09	-	39.28	0.76	-	0.15	0.03	0.12	13.58
Sergeant china clay (U.S.A.)	44.96	1.32	38.90	0.40	0.10	0.06	0.22	0.20	14.20
N. Carolina kaolin (U.S.A.)	48.46	0.06	36.53	0.15	0.03	0.13	0.21	1.34	13.03

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

แหล่งดินขาวที่สำคัญภายในประเทศไทย

ดินขาวในประเทศไทยมีอยู่หลายแหล่งทั่วทุกภูมิภาคเช่น เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง ตาก สุโขทัย อุตรดิตถ์ พิจิตร ชลบุรี ระนอง พังงา ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี และนราธิวาส เป็นต้น แต่แหล่งที่มีการผลิตจำหน่ายเพื่องานอุตสาหกรรมเซรามิกส์อย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 แหล่งที่สำคัญคือ ดินขาวจังหวัดลำปาง และดินขาวจังหวัดระนอง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

ดินขาวลำปาง เป็นดินขาวที่อยู่ในแหล่งหินบริเวณเขาปางค่า อำเภอแจ้ห่ม เป็นแร่ประกอบของหินกลุ่มไรโอไลต์ (Rhyolite) ที่มีแร่ควอทซ์ ไมกา หินฟันม้า และเคโอลิไนต์ในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งเคโอลิไนต์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการผุพังเพิ่มขึ้น มีผู้กล่าวว่าดินขาวลำปางนี้ควรจะเรียกว่า "ลำปางไชนาสโตน" (Lampang China Stone) หรือหินลำปางมากกว่า เนื่องจากมีลักษณะเป็นหินมากกว่าดิน ดังนั้นกระบวนการนำดินขาวจากหินลำปางไชนาสโตนมาใช้งานจะต้องมีขั้นตอนมาก แต่เนื่องจากปริมาณของหินชนิดนี้มีมากมายมหาศาล ดินขาวที่ได้จากจังหวัดลำปางจึงมีการใช้งานมากกว่าแหล่งอื่นๆ จนมีคำกล่าวที่ว่า หากไม่มีดินขาวลำปางอุตสาหกรรมเซรามิกส์บ้านเราคงไม่มีโอกาสได้เติบโตเท่าที่เห็นในปัจจุบันนี้ จุดสังเกตที่แสดงให้เห็นความสำคัญของดินขาวในพื้นที่จังหวัดลำปาง คือ มีโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาจำนวนมาก

ตาราง 6 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหินลำปาง (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาภาคเหนือ. 2538 : 22)

ตัวอย่างที่	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	LOI
1	76.76	0.24	13.89	1.33	0.12	0.23	2.65	1.27	2.46
2	71.99	0.05	17.00	0.45	0.19	0.12	4.09	3.90	1.63
3	72.60	0.08	16.59	0.39	0.64	0.08	4.58	3.77	1.08
4	75.24	0.05	16.28	0.30	0.25	0.06	2.13	3.49	1.95

จากผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหินลำปางจะเห็นได้ว่ามีปริมาณของ SiO_2 อยู่ค่อนข้างมากในขณะที่มี Al_2O_3 อยู่ไม่มากนัก จึงแสดงว่ามีแร่ดินขาวอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ต่างๆ ที่ปะปนกันอยู่ในหินลำปางพอสรุปได้ดังนี้

1. โปแตสไมกา ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์
2. โซดาไมกา ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์
3. เคโอลิไนต์ ประมาณ 18-20 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4. ควอตซ์ ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจึงต้องนำหินลำปางนี้มาผ่านกระบวนการล้างเพื่อให้ได้ปริมาณของดินขาวมากที่สุด จะได้ดินขาวที่มีผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างไปจากเดิม และสามารถแบ่งเกรดตามความละเอียดของดินเพื่อจำหน่าย และนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาต่อไป ดังตัวอย่างในตาราง 7

ตาราง 7 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวลำปางที่ผ่านการล้างแล้วของแต่ละบริษัทที่จัดจำหน่าย

ผู้จัดจำหน่าย	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	LOI
หจก. ไทยเกาลีน									
เกรด B	61.1	-	25.8	1.5	0.73	0.64	4.38	0.8	4.31
เกรด A	53.9	-	29.9	1.5	0.62	0.72	5.49	1.27	6.23
เกรด AA	51.0	-	32.1	1.5	0.95	0.36	5.73	1.16	6.56
บริษัท เคลย์ แอนด์ มิเนอรัลประเทศไทย จำกัด	59.7	0.1	27.6	0.8	0.1	0.3	5.9	0.2	5.4
บริษัท ภัทรารัตน์ เคลย์ แอนด์ มิเนอรัล (1992) จำกัด									
ดินล้าง 325 เมช	60.3	0.3	27.4	0.6	0.2	0.3	5.3	0.5	4.8
ดินล้าง 200 เมช	69.3	0.3	19.3	0.6	0.1	0.2	4.2	0.3	3.7

บอลเคลย์ (Ball Clays)

บอลเคลย์ หรือบางครั้งอาจเรียกว่า ดินเหนียวหรือดินดำ เป็นดินที่เกิดจากการพัดพามาตกตะกอนสะสมอยู่ในที่ลุ่มในระยะเวลาหลายสิบปี จึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและสิ่งเจือปนมาก จึงมีสีออกคล้ำถึงดำเป็นส่วนใหญ่ มีเม็ดดินละเอียด ความหนาแน่นมากกว่าดินขาว เมื่อขุดขึ้นมาจากพื้นดินจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็งหรือก้อนกลม (Balls) ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า "บอลเคลย์" ในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีความจำเป็นต้องอาศัยสมบัติบางประการของบอลเคลย์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ต้องใช้บอลเคลย์ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ คือ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 53)

1. บอลเคลย์จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2. บอลเคลย์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงก่อนเผา ทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์

3. ความละเอียดของบอลเคลย์ช่วยให้การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

4. บอลเคลย์ช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาของมวลสารระหว่างทำการเผาดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน

แม้ว่าบอลเคลย์จะมีพบเห็นอยู่ทั่วไป แต่ปัญหาและข้อจำกัดของบอลเคลย์ก็คือ สิ่งเจือปนที่ลดความขาวของดิน เช่น ปริมาณของ Fe_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งในบอลเคลย์ส่วนใหญ่จะมีสิ่งเจือปนเหล่านี้อยู่มาก จึงทำให้ไม่สามารถนำดินเหนียวทุกแหล่งมาใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาสีขาวได้ ดังนั้นจึงมีบอลเคลย์เพียงไม่กี่แหล่งในโลกซึ่งมีสมบัติทั้งด้านความเหนียวและความขาวหลังการเผา

ปัญหาที่สำคัญในการนำบอลเคลย์มาใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินโดยทั่วๆ ไปก็คือ

1. มี Fe_2O_3 และ TiO_2 ผสมอยู่มากทำให้ความขาวของเนื้อดินลดลง โดยเฉพาะถ้ามี TiO_2 อยู่มากจะไม่สามารถขจัดออกไปได้โดยง่าย

2. ในกรณีที่จะทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโปร่งแสง ดินเหนียวจะเป็นตัวลดความโปร่งแสง

3. ดินเหนียวมีความละเอียดมากจึงต้องใช้ปริมาณน้ำมากในการผสมขึ้นรูป ส่งผลให้มีการหดตัวมาก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์

4. ดินเหนียวมักจะมีส่วนประกอบไม่คงที่ จึงมีปัญหาต่อการควบคุมคุณภาพของเนื้อดินที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์

วอร์แรล (W.E. Worrall. 1964 : 58) ได้สรุปส่วนประกอบทางเคมีของบอลเคลย์โดยทั่วไป ดังนี้

SiO_2	40–60	%
Al_2O_3	25–40	%
Fe_2O_3	0.5–4.0	%
Na_2O	0–0.75	%
K_2O	0.5–4.0	%

สำหรับส่วนประกอบทางแร่นั้นบอลเคลย์จะมีปริมาณของแร่เคโอลิไนต์ ไมกาและควอตซ์อยู่มาก มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ อิลไลต์ คาร์บอเนตต่างๆ เล็กน้อย นอกจากนั้นจะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เป็นพวกสารอินทรีย์ เช่น ลิกไนต์ (Lignite) ไขมัน (Waxes) เรซิน (Rasins) และฮิวมัส (Humus) รวมทั้งพวกเกลือซัลเฟต และเกลือคลอไรด์ของ Al, Fe, Ca, Mg, K และ Na เป็นต้น

บอลเคลย์ที่มีคุณภาพดีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติทนไฟที่อุณหภูมิสูง มีความหดตัวน้อย มีทรายหรือสิ่งเจือปนน้อย มีความเหนียวดี ด้านความละเอียดควรมีการผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช ไม่เกินร้อยละ 5 และที่สำคัญภายหลังการเผาควรมีสีขาวถึงสีครีม แต่ถ้าบอลเคลย์ที่มีคุณภาพด้อยกว่านี้ ซึ่งมีอยู่ทั่วๆ ไปในปริมาณมากมักจะเรียกรวมๆ ว่า ดินเหนียว (Plastic Clays)

สารอินทรีย์ในบอลเคลย์ สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปละเอียด (Organic Colloid) มักมีปะปนอยู่ในบอลเคลย์ นอกจากจะทำให้มีสีดำหรือคล้ำ ยังเป็นสารที่มีทั้งผลดีและผลเสียต่อเนื้อดินปั้นดังนี้

ข้อดีของสารอินทรีย์

1. ช่วยเพิ่มความเหนียวในการขึ้นรูป
2. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเมื่อแห้ง
3. ถ้ามีปริมาณพอเหมาะจะช่วยให้น้ำดิน (Slip) หล่อได้ง่าย

ข้อเสียของสารอินทรีย์

1. บอลเคลย์มักเกิดร่วมกับลิกไนต์ซึ่งมีกำมะถัน (Sulphur) ปะปนอยู่ เมื่อถูก Oxidise เป็น ซัลเฟต (Sulphate) ซึ่งถ้ามีมากเกินไปจะทำให้น้ำดิน (Slip) ขึ้นรูปได้ลำบาก หรือขึ้นรูปไม่ได้เลย
2. บอลเคลย์ที่มีซัลเฟตมาก เมื่อเผาจะมีตำหนิที่ผิวผลิตภัณฑ์
3. ถ้าเป็นสารอินทรีย์ ที่มีสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กปะปนอยู่ เมื่อเผาแล้วจะทำให้เกิดเป็นจุดสีดำ
4. ถ้ามีสารอินทรีย์อยู่มาก อาจจะเผาไล่คาร์บอน ไม่หมด ทำให้เกิดแกนดำ หรือที่เรียกว่า อาการไส้ดำ (Black Core) ในเนื้อผลิตภัณฑ์ เกิดอาการปูดบวม หรือระเบิด บางครั้งทำให้บรรยากาศในการเผาเป็นแบบรีดักชันได้

ดังนั้นการเลือกใช้บอลเคลย์แหล่งต่างๆ ควรให้ความสำคัญต่อปริมาณของสารอินทรีย์และมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารอินทรีย์แต่ละชนิดที่มีขนาดเป็นคอลลอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บอลเคลย์ที่ได้จากแหล่งที่มีลิกไนต์ปะปนอยู่

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 8 **เปรียบเทียบการสลายตัวของสารเจือปนต่างๆ ที่มักปะปนอยู่ในบอลเคลย์**

(F.H. Norton. 1957 : 131)

ปฏิกิริยา	อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา (°C)
$FeS_2 + O_2 \rightarrow FeS + SO_2$	350 – 450
$4FeS + 7O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4SO_2$	500 – 800
$Fe_2(SO_4)_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 3SO_3$	560 – 775
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	350 →
$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	600 – 1,050
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	250 – 920
$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$	400 – 900
$4FeCO_3 + O \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4CO_2$	800 →
$CaSO_4 \rightarrow CaO + SO_3$	1250 – 1300

วิธีการหาปริมาณของสารอินทรีย์ในบอลเคลย์ สามารถกระทำได้หลายวิธี ทั้งทางด้านเคมีและด้านฟิสิกส์ เช่น

1. การสันดาปของคาร์บอน (Carbon Train) โดยการ Oxidation สารอินทรีย์ด้วย Potassium Dichromate ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น แต่วิธีการนี้ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นคาร์บอนที่เกิดจากสารอนินทรีย์ หรือสารอินทรีย์

2. การหาปริมาณอินทรีย์สารโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่ง ปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2539 : 111) ได้เสนอการหาปริมาณอินทรีย์สารด้วยกระบวนการดังนี้

2.1 ใช้ดินแห้ง 100 กรัม บดละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 80 เมซ

2.2 แบ่งด้านเป็น 4 ส่วน จนเหลือตัวอย่าง 10 กรัม

2.3 ใส่ตัวอย่างใน Flask ขนาด 150 ml. และชั่งน้ำหนัก

2.4 เติมน้ำกลั่น 25 ml. เขย่าเบาๆ

2.5 เติม H_2O_2 เข้มข้น 30 % 5 ml. อุ่นที่อุณหภูมิ 50–60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

2.6 เติม H_2O_2 เข้มข้น 30 % 5 ml. อุ่นที่อุณหภูมิเดิมต่อจนหมดฟองอากาศ

2.7 อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.8 ปล่อยให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก

2.9 นำมาเข้าสู่การคำนวณ

$$P = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_1 - W_3)} \times 100$$

โดยให้

P = เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ในดิน

W_1 = น้ำหนักของ flask + ดิน

W_2 = น้ำหนักของ flask + ดินที่ขจัดสารอินทรีย์แล้ว

W_3 = น้ำหนักของ flask

3. ใช้เครื่อง "Carbon dioxide Coulometer" เป็นวิธีที่สามารถรู้ได้อย่างรวดเร็วว่าเป็นคาร์บอนของสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ และปริมาณเท่าใด ตั้งแต่น้อยกว่าร้อยละ 0.01 ขึ้นไปจนถึงร้อยละ 99.9 โดยน้ำหนักของคาร์บอน ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ปัจจุบันการผลิตบอลเคลย์ออกจำหน่ายนั้นมักใช้วิธีการนี้ในการควบคุมคุณภาพเกี่ยวกับชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ให้มีความสม่ำเสมอได้

ถ้าจะเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างดินขาวและดินเหนียว สามารถสรุปเพื่อสะดวกในการศึกษาและใช้งานเป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

1. ดินเหนียวมีเนื้อดินละเอียดกว่าดินขาว
2. ดินเหนียวมีความเหนียวมากกว่าดินขาว
3. ดินเหนียวมีการหดตัวหลังเผามากกว่าดินขาว
4. ดินเหนียวมีความแข็งแรงก่อนเผามากกว่าดินขาว
5. ดินเหนียวมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าดินขาว
6. ดินเหนียวมักมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าดินขาว
7. ดินเหนียวมีการยุ่ยตัวเมื่อผสมน้ำยากกว่าดินขาว

การนำบอลเคลย์มาใช้งาน ตามปกติการทำเหมืองบอลเคลย์จะมีกระบวนการไม่ยุ่งยากมากถ้าไม่มีการล้าง ซึ่งการขุดบอลเคลย์ขึ้นมาใช้งานมี 2 แบบ คือ เปิดบริเวณผิวหน้านำสิ่งสกปรกที่ปกคลุมออกแล้วจึงขุดเข้าโรงงานล้างดิน หรือจำหน่ายได้เลย อีกวิธีคือการขุดเป็นลักษณะอุโมงค์สั้นๆ ในทิศทางต่างๆ กัน และถ้ามีการล้างดินจะนิยมใช้วิธีอาศัยลมทำให้เกิดการลอยตัว (Air – float) ด้วยการผ่านก้อนดินไปยังเครื่องแยกสลายแบบหมุน ทำการหมุนเม็ดดินที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ละเอียดจะถูกลมร้อนพัดออกไป วิธีการนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องของสหรัฐอเมริกา สำหรับดินเหนียวในประเทศไทยไม่นิยมล้าง เนื่องจากดินเหนียวมีความละเอียดมากทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

แหล่งบอลเคลย์ ที่สำคัญในต่างประเทศทั่วโลกมีดินเหนียวอยู่มากมายหลายแหล่ง ซึ่งในแต่ละแหล่งจะมีส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างในตาราง 10

บอลเคลย์ที่ผลิตได้ในประเทศอังกฤษ ในอังกฤษมีบริษัทผู้ผลิตใหญ่ๆ อยู่ 2 บริษัท คือ "ECC Ball Clays Ltd." และ Watts Blaske Beame & Co. PLC (W.B.B.) ซึ่งทั้ง 2 บริษัทใช้ดินเหนียวบริเวณ "South Davon และ North Devon สมบัติเฉพาะของบอลเคลย์ก็มีการแบ่งเกรดตามความเหมาะสมกับการใช้งานแตกต่างกันไป ดังแสดงการเปรียบเทียบตามตาราง 8

ตาราง 9 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของบอลเคลย์ที่ผลิตได้ในประเทศอังกฤษ

ส่วนประกอบทางเคมี	บริษัท ECC Ball Clays Ltd.			บริษัท Watts Blake Beame & Co. PLC		
	1	2	3	1	2	3
SiO_2	46.0	54.0	70.0	61.9	52.0	53.4
TiO_2	0.9	1.2	1.6	1.3	1.0	1.2
Al_2O_3	31.0	30.0	19.0	25.0	31.3	29.8
Fe_2O_3	1.1	1.4	0.8	1.3	1.0	1.0
CaO	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
K_2O	2.1	3.1	1.9	1.8	2.1	2.1
Na_2O	0.3	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3
LOI	18.0	8.7	5.4	8.0	11.6	11.7

บอลเคลย์ที่ผลิตได้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในอเมริกามีบริษัทผู้ผลิตบอลเคลย์จำหน่ายอยู่ 2 บริษัทใหญ่ๆ คือ H.C. Spinks & Gillespic Inc. (ผู้ผลิตดินเหนียว Albany Slip) ซึ่งมีความแตกต่างกันดังแสดงในตาราง 9

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 10 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียวที่ผลิตได้ในสหรัฐอเมริกา (กรมทรัพยากรธรณี. 2537 : 12)

ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	ดินเหนียว		
	HC 5	HC 52	Albany Slip
SiO_2	60.72	59.16	57.64
TiO_2	1.40	1.52	0.8
Al_2O_3	25.96	27.17	14.66
Fe_2O_3	1.31	1.15	5.20
CaO	0.08	0.22	5.78
MgO	0.24	0.27	2.68
K_2O	0.16	0.28	3.29
Na_2O	0.17	0.14	0.80
LOI	10.02	10.16	9.46

แหล่งบอลเคลย์ที่สำคัญในประเทศไทย

บอลเคลย์บ้านแม่ทาน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง เป็นบอลเคลย์ที่ได้รับความสนใจและนิยมเป็นอย่างมากในการนำมาผสมเนื้อดินปั้นของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดที่ต้องการความเหนียวสำหรับการขึ้นรูป และมีสีขาวหลังการเผา ชาญ จรรญาวณิชย์ (วารสารเซรามิกส์ไทย ฉบับที่ 2. 2530 : 4-5) ได้กล่าวว่าบอลเคลย์แม่ทานเริ่มมีการนำมาใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517 และได้รับการพัฒนาการผลิตดินจากต่างประเทศ ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของดินให้มีความสม่ำเสมอ ในปี พ.ศ. 2530 บริเวณแหล่งแม่ทานนี้ มีผู้ประกอบการ 4 ราย เข้าทำการผลิตและทำการจัดจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งกลุ่มบริษัท Watt Blake Beame & Co. PLC (W.B.B. Group) ของประเทศอังกฤษ ซึ่งทำการผลิตโดยบริษัท Clay & Minerals (Thailand) Ltd. หรือที่รู้จักกันในนาม เคลย์มิน (Claymin) ซึ่งผู้ผลิตได้นำเทคโนโลยีชั้นสูง เพื่อให้สามารถแยกดิน ได้เหมาะสมกับงานแต่ละ ประเภท โดยแบ่งเป็น 3 เกรด ดังตาราง 10

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 11 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินบอลเคลย์แม่ทาน ทั้ง 3 เกรด (ชาญ จรรยาวณิชย์. 2530 : 6-8)

เกรด	ผลวิเคราะห์								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	LOI
ดินดำปั้น	54.3	0.4	27.4	1.4	0.4	0.5	0.3	2.5	13.0
ดินหล่อ	60.4	0.5	25.4	1.2	0.3	0.5	0.3	2.4	9.0
ดินกระเบื้อง	67.5	0.6	21.1	0.4	0.2	0.4	0.3	2.2	6.3

ตาราง 12 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ ของบอลเคลย์แม่ทาน (ชาญ จรรยาวณิชย์. 2530 : 6-8)

เกรด	แร่					ความแข็งแรงเมื่อแห้ง ($ก.ก./cm^2$)
	เคโอลิไนต์	โปแตส ไมกา	โซดาไมกา	ควอตซ์	อินทรีย์วัตถุ	
ดินดำปั้น	45	21	4	15	5.5	65
ดินหล่อ	41	21	3	25	2	50
ดินกระเบื้อง	32	19	4	36	1	27

บอลเคลย์ บ้านแจ้คอน อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง เป็นดินบอลเคลย์ที่มีความละเอียด มีความเหนียว และลื่นเนียนกว่าดินแหล่งอื่นๆ เมื่อแห้งจะมีสีเทาอ่อน หลังเผาจะมีสีขาว ใช้เป็นตัวเพิ่มความเหนียวในการขึ้นรูป นิยมใช้กับงานปอร์สเลน สโตนแวร์ สุขภัณฑ์ ลูกถ้วยไฟฟ้า วัสดุทนไฟ มีความแข็งแรงเมื่อแห้งถึง 160 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร ประกอบด้วยแร่ต่างๆ ดังนี้

เคโอลิไนต์	39	%
โปแตสไมกา	26	%
โซดาไมกา	13	%
ควอตซ์	19	%
อินทรีย์วัตถุ	-	%

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 13 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของบอลเคลย์ของบ้านแจ้คอน (ชาญ จรรยาวณิชย์. 2530 : 10)

ลักษณะดิน	ผลวิเคราะห์ทางเคมี								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	LOI
ก่อนเผา	55.0	0.6	30.3	1.5	0.3	0.8	1.1	3.0	7.4
หลังเผา	59.4	0.6	32.7	1.6	0.3	0.9	1.2	3.2	-

นอกจากนี้ยังมีบอลเคลย์อีกหลายแห่งที่สำคัญ ซึ่งนิยมนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เช่น ดินเหนียวพลุพลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี หรือที่รู้จักกันในชื่อ "ดินดำสุราษฎร์" ดินเหนียวปากพลี และดินเหนียวโคกไม้ลาย จังหวัดปราจีนบุรี ดินขาวเหนียวบางละมุง จังหวัดชลบุรี ดินเหนียวจังหวัดเชียงใหม่ ดินเหนียวจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นต้น

ยังมีดินชนิดต่างๆ ที่ถูกนำมาใช้งานและเรียกชื่อแตกต่างกันไปตามประโยชน์ใช้สอยหรือตามส่วนประกอบทางแร่ บางครั้งเรียกรวมๆ ว่าเป็นดินพวก "Special Clays" เช่น

1. Brick Clays or Building Clays เป็นดินที่นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอิฐสำหรับงานก่อสร้างทั่วๆ ไป ซึ่งตามปกติจะมีอุณหภูมิในการสุกตัวไม่สูงนัก และมีสิ่งเจือปนอยู่มาก เช่น สารอินทรีย์ ซัลเฟต ไมกา เหล็กออกไซด์ และฟลักซ์ต่างๆ เป็นต้น

2. เบนโทไนต์ (Bentonite) เป็นดินที่เกิดมาจากขี้เถ้าภูเขาไฟ (Valcanic ash) มีแร่มอนท์มอริลโลไนต์ เป็นแร่ประกอบหลัก จึงทำให้มีความเหนียวมาก กล่าวกันว่าถ้าผสมเบนโทไนต์ลงไปในเนื้อดินปั้นเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถให้ความเหนียวแทนบอลเคลย์ 10 เปอร์เซ็นต์ นิยมใช้ผสมเพิ่มความเหนียวให้แก่วัตถุทนไฟ เนื้อดินปั้น เอ็นโกบ (Engobe) หรือในเคลือบตามความเหมาะสม แต่เบนโทไนต์มักจะมี Fe_2O_3 ปะปนอยู่มาก จึงไม่นิยมนำมาผสมเพิ่มความเหนียวให้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว

3. Stoneware Clays เป็นดินที่ค่อนข้างเหนียวเนื้อละเอียด คล้ายกับบอลเคลย์ เพียงแต่มีปริมาณฟลักซ์อยู่มาก ทำให้จุดสุกตัวต่ำ รวมทั้งพวกเหล็กออกไซด์ จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์สีขาว ดินสโตนแวร์ชั้นดีบางแหล่งสามารถนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ได้เลยโดยไม่ต้องผสมวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

4. Slip Clays ในธรรมชาติจะมีดินบางแหล่งที่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำ มักมีปริมาณฟลักซ์อยู่มาก จุดสุกตัวทั่วๆ ไปจะต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียส สามารถนำมาใช้เป็นเอ็นโกบ หรือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เคลือบได้เลย หรือจะนำมาใช้ผสมเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ Slip Clays ที่มีชื่อเสียงรู้จักกันแพร่หลาย คือแหล่ง แอลบานี (Albany) ในประเทศสหรัฐอเมริกา

นอกจากนี้ยังมี Special Clays อื่นอีกมาก เช่น Allophone, Halloysite, Calcareous and Ferrogeneous Clays, Red Clays, Sagger Clays และ Casting Clays เป็นต้น

ตาราง 14 แสดงตัวอย่างผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินชนิดต่างๆ (Singer. 1960 : 39–49)

ชื่อแหล่งดิน	เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	LOI
Westerwald Casting Clay (Geramany)	74.42	0.96	15.17	0.64	0.17	0.4	2.08	1.39	4.70
B.S. Dorset Ferringinous Clay (Brit)	48.19	0.95	31.94	5.02	0.92	0.02	0.27	2.59	9.90
Tombach Ved Clay (Geramany)	58.85	0.86	21.17	7.86	0.69	1.43	1.47		7.78
Odenwald Red Slip Clay (Geramany)	58.8	-	18.7	8.1	0.2	0.9	1.8	7.9	4.5
Briesen Stoneware Clay (Germany)	42.10	-	39.48	2.65	0.27	0.15	0.18		14.90
Zinzendorf Best Stoneware clay (Geramany)	47.64	-	36.82	1.84	0.03	-	0.10	0.19	13.44
Normandy Fire clay (French)	58.00	-	30.85	1.55	0.8	-	-	-	9.70

เนื้อดินปั้น (Bodies)

เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์อาจแยกเป็นสองประเภท คือ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนประกอบกับเนื้อดินที่ไม่มีดินเป็นส่วนประกอบ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนผสม อาจมีดินล้วนๆ หรือดินร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนมากแล้วจะมีวัตถุดิบตัวอื่นผสมอยู่ด้วย เช่นเดียวกับเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนประกอบ อาจมีเนื้อวัตถุดิบชนิดเดียวหรือมีวัตถุดิบหลายชนิดผสมอยู่ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 83) ในสมัยก่อนการทำเนื้อดินปั้นจะทำมาจากดินธรรมชาติที่มีความเหนียวพอ มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ตามความต้องการ เริ่มทำจากการทำเครื่องปั้นดินเผาชนิดไม่มีการเคลือบนับเป็นเวลาพันๆ ปี (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 126)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เนื้อดินปั้นมีความหมายครอบคลุมถึงสองอย่าง คือหมายถึง การเตรียมวัตถุดิบ เพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง และหมายถึงส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องไปเกี่ยวข้องกับเคลือบ เนื้อดินปั้นอาจจะใช้ดินล้วนๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรือเตรียมขึ้นจากส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 อย่าง คือ ดิน หินฟันม้า และหินเขี้ยวหนุมาน โดยใช้สัดส่วนจากตารางสามเหลี่ยม แล้วนำไปทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับทำผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง (Singer. 1963 : 393)

การกำหนดส่วนผสมของเนื้อดินปั้น อาจกำหนดได้ 4 วิธี (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2532 : 84-86) ดังนี้

1. ค่า ร้อยละของวัตถุดิบ เช่น

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

2. ค่าร้อยละของออกไซด์ต่างๆ เช่น

SiO_2	ร้อยละ	66.7
Al_2O_3	ร้อยละ	21.6
Fe_2O_3	ร้อยละ	0.5
CaO	ร้อยละ	0.6
MgO	ร้อยละ	0.4
$K_2O.Na_2O$	ร้อยละ	4.5
L.O.I.	ร้อยละ	5.7

3. ค่าร้อยละของแร่ เช่น

แร่ดิน	ร้อยละ	50
Quartz	ร้อยละ	25
Feldspar	ร้อยละ	25

4. การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นสูตรเอ็มไพริคัล เช่น

RO, R_2O	R_2O_3	RO_2
0.36	1	5.24

RO, R_2O หมายถึง ออกไซด์ของโลหะ เช่น CaO, MgO, K_2O, Na_2O เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

R_2O_3 หมายถึง ออกไซด์ของโลหะ เช่น Al_2O_3, Fe_2O_3 เป็นต้น

RO_2 หมายถึง ออกไซด์ของโลหะ เช่น SiO_2, SnO_2, TiO_2 เป็นต้น

เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Stoneware Bodies)

ผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เผาถึงจุดสุกตัว ส่วนมากสีเนื้อดินเกิดจากสีธรรมชาติของดิน เช่น สีเทา สีน้ำตาล เผาในอุณหภูมิค่อนข้างสูง (1190–1390 องศาเซลเซียส, Cone 6–14) การที่เรียกว่า สโตนแวร์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เนื้อหยาบ เนื้อแน่นและมีความแข็งแกร่งมาก น้ำและของเหลวไม่สามารถไหลซึมผ่านได้

เนื้อดินปั้นแบบสโตนแวร์ มีลักษณะคล้ายเอิทเทนแวร์ แต่ว่าเผาในอุณหภูมิสูง เคาะเสียงกังวานกว่า วัตถุดิบที่ใช้ต้องมีความทนไฟสูง และมีความเหนียว สีของวัตถุดิบเมื่อเผาแล้วจะเป็นสีอะไรก็ได้ไม่สำคัญแต่มีความแข็งแกร่ง ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ชนิดที่เตรียมดินจากธรรมชาตินำมาปั้นโดยตรงก็มี เช่น ผลิตภัณฑ์โอ่งราชบุรี ศิลาดอนเชียงใหม่

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ นิยมทำภาชนะใส่อาหาร จาน ชาม ถ้วยกาแฟ เหยือกน้ำ แจกัน ที่เขี่ยบุหรี่ เครื่องประดับ นอกจากนี้ยังนิยมทำภาชนะบรรจุประเภท พวกกรด ด่าง เป็นภาชนะค่อนข้างหนา เนื้อแน่น ทึบแสง มีลักษณะเนื้อหยาบ มีความแข็งแรงทนทานได้ดีมาก (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 17) เนื้อดินปั้นสโตนแวร์จะต้องเผาในอุณหภูมิสูง เนื้อดินทึบแสง (Opaque Bodies) อาจจะมีสีต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม เนื้อดินปั้นมีความเหนียวสูง ขณะที่สูงโดยปกติเนื้อดินปั้นชนิดนี้จะหดตัวก่อนเผา และหลังจากการเผาแล้วมีโอกาสบิดเบี้ยวได้ง่าย มีความจำเป็นจะต้องใช้ดินเชื้อ (Grog) หรือทรายเป็นส่วนผสม เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง และป้องกันการบิดเบี้ยว ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้ RO 0.33-7.0, Al_2O_3, 4.0-4.4 SiO_2 (โกมล รักษ์วงศ์. 2530 : 147)

สมศักดิ์ วังศิริกุล (2534 : 17-19) ได้สรุปลักษณะของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ดังต่อไปนี้

1. เป็นเนื้อดินปั้นที่อาจจะได้จากดินธรรมชาติ หรือได้จากการเตรียมขึ้นใหม่ด้วยส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดิน หินฟันม้า และหินเขี้ยวหนุมาน ในอัตราส่วนที่เหมาะสม
2. สามารถทนความร้อนได้สูง อุณหภูมิตั้งแต่ 1200 องศาเซลเซียส ขึ้นไป
3. ความหดตัวก่อนเผาอยู่ระหว่าง ร้อยละ 5-10 และความหดตัวหลังการเผาอยู่ระหว่าง ร้อยละ 8-15
4. การดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 1-5

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

5. เนื้อผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการเผาถึงจุดสุกตัว จะมีเนื้อแน่น แข็งแกร่ง ทึบแสง น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ เมื่อเคาะฟังเสียงจะดังกังวาน

6. สีของเนื้อผลิตภัณฑ์จะไม่ขาว แต่จะมีสีแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับแร่ธาตุที่ผสมอยู่ในเนื้อดิน และบรรยากาศในการเผาผลิตภัณฑ์

การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Slip Casting)

การขึ้นรูป คือการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของดิน จากที่เป็นผงหรือเป็นก้อน ให้เป็นรูปทรงต่างๆ ตามความต้องการของผู้ผลิต (อรพินท์ พานทอง. 2531 : 36) โดยที่ผู้ผลิตจะต้องมีความชำนาญ มีความรู้ความเข้าใจตลอดจนเทคนิคต่างๆ อย่างพอเพียง รวมถึงการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยในการผลิต โดยมีการขึ้นรูปในหลายวิธีด้วยกันคือ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 20) เช่น การขึ้นรูปแบบวิธีกด (Press Method) การขึ้นรูปแบบวิธีรีด (Extrusion Method) การขึ้นรูปทรงต่างๆ (Shaping Method) และการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (Casting Method) ซึ่งในแต่ละวิธีของการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะมีกระบวนการผลิตแตกต่างกันออกไป ได้แก่

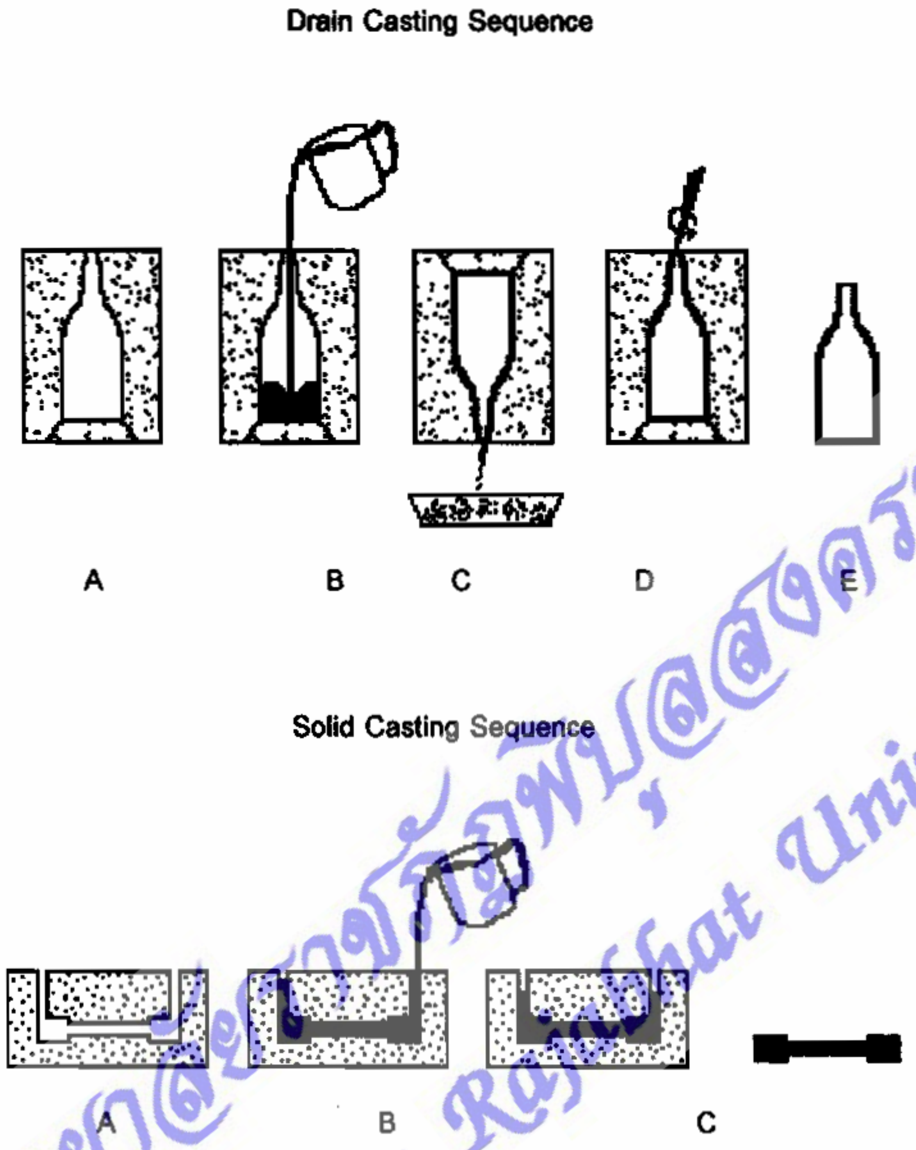
1. การขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ในการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ต้องอาศัยพิมพ์ซึ่งทำขึ้นจากปูนปลาสเตอร์ (Plaster Mold) ซึ่งพิมพ์ปลาสเตอร์จะเป็นตัวดูดซึมน้ำในเนื้อสลิปให้แห้งและคงรูปได้ตามแบบพิมพ์ (จีรพันธ์ สมประสงค์. 2525 : 71) โดยเทน้ำสลิปลงในแบบซึ่งเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ความหนาของผลิตภัณฑ์จะค่อยๆ ก่อตัวขึ้น และเมื่อแบบที่ใช้เริ่มดูดของเหลวเข้าสู่เนื้อแบบพิมพ์ เนื้อผลิตภัณฑ์เริ่มด้วยมีความเหนียวเกาะกันและเริ่มแข็งขึ้นเรื่อยๆ หลังจากปล่อยให้แห้งแล้วจึงแกะออกจากแบบ (ดังแสดงในภาพประกอบ) หลังจากนั้นจึงนำมาอบแห้งสนิท แล้วจึงนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 110)

การหล่อแบบพิมพ์มี 2 วิธีด้วยกัน คือ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2533 : 43)

1. การหล่อสลิปแบบกลวง (Drain Casting) หมายถึง การหล่อน้ำดินลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เมื่อได้ความหนาของผลิตภัณฑ์พอสมควรแล้วจึงเทน้ำสลิปที่เหลือออกจากแบบพิมพ์

2. การหล่อสลิปแบบตัน (Solid Casting) หมายถึง การหล่อสลิปลงในแบบพิมพ์ให้แห้งเป็นแท่งตัน โดยการเทน้ำดินลงไปในแบบพิมพ์ ให้น้ำดินทั้งหมดแห้งเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์ภายในแบบพิมพ์ ซึ่งพิมพ์แบบนี้จำกัดความหนาของผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 16 แสดงการหล่อสลิปแบบกลวงและการหล่อสลิปแบบตัน

2. การเตรียมน้ำดินสำหรับหล่อแบบพิมพ์ ในขั้นตอนการเตรียมน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบสามารถเตรียมได้หลายวิธีด้วยกัน (ดนัย อารยะพงษ์. 2538 : 41-42)

2.1 วิธีการเตรียมน้ำดินทางอ้อม (Indirect) เป็นการกวนผสมเนื้อดินปั้นที่เตรียมมาเรียบร้อยแล้ว กับสารละลายระหว่างน้ำกับสารที่ช่วยให้เกิดการกระจายลอยตัว และลอยตัวในน้ำในปริมาณที่เหมาะสม วิธีการนี้ช่วยลดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำทั้งหมดที่ติดมากับพวกวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำน้ำดินปั้น นอกจากนี้การร่อนน้ำดินผ่านตะแกรงสะดวกขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.2 วิธีเตรียมน้ำดินทางตรง (Direct) เป็นวิธีการเตรียมน้ำดินที่ใช้กันมากภายในโรงงานสุขภัณฑ์ จะใช้วิธีการเตรียมน้ำดินสำหรับเทแบบ โดยผสมวัตถุดิบที่จะใช้เป็นเนื้อดินปั้นกับสารละลายระหว่างน้ำกับสารที่ช่วยทำให้เกิดการกระจายลอยตัว และลอยตัวในน้ำในปริมาณที่เหมาะสม โดยทำให้น้ำดินมีความถ่วงจำเพาะ 1.80 แล้วร่อนน้ำดินผ่านตะแกรงร่อน และผ่านน้ำดินไปยังเครื่องแยกสารแม่เหล็ก เพื่อแยกเอาสารประกอบของเหล็กออกจากการเตรียมน้ำดิน โดยวิธีนี้ประหยัดเพราะว่าไม่ต้องเตรียมเนื้อดินปั้นมาก่อน แต่การควบคุมน้ำดินค่อนข้างลำบาก

3. สารช่วยกระจายลอยตัว สารแขวนลอยในน้ำดิน (Deflocculant) โดยทั่วๆ ไปมัก Sodium Silicate, Soda Ash (Sodium Carbonate) สารสังเคราะห์อื่นๆ

Sodium Silicate นิยมใช้ชนิด Alkali ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ C140 (17.8 Na_2O, 35.7 SiO_2, 46.5 H_2O) และ C100 (14 Na_2O, 28.1 SiO_2, 57.9 H_2O)

C140 คือ Sodium Silicate ที่วัดค่าตามหน่วย Degrees Twaddell ซึ่งเท่ากับ degree Banme 59/60° Be วัดเป็น ถ.พ. ได้เท่ากับ 1.70 ที่ 20/20° C ทำนองเดียวกัน C100 จะเท่ากับ 48° Be และมี ถ.พ. เท่ากับ 1.50

C140 จะส่งผลกับน้ำดินในแง่การไหลตัวได้ไวกว่า C100 ในการเก็บ Sodium Silicate จะต้องเก็บไว้ในถังปิดมิดชิด มิฉะนั้นแล้ว Sodium Silicate จะดูด Carbon dioxide ในอากาศ ทำให้เกิด Silica แข็ง ไม่ละลายน้ำ ที่ผิวจะเป็นวุ้นขาว

Sodium Carbonate (Soda Ash) ใช้เกรด Dense Ash ซึ่งมี Na_2O 58 เปอร์เซ็นต์ จะมีความเป็นด่างสูง ทำให้น้ำดินอ่อนนิ่มเหมาะแก่การหล่อ ข้อควรระวังในการใช้ Soda Ash เพราะ Soda Ash จะทำให้เนื้อดินนิ่ม การทรงตัวของชิ้นงานจะไม่ดีพอ ฉะนั้นมักนิยมใช้ร่วมกันระหว่าง Sodium Silicate และ Soda Ash ในปริมาณที่น้อยมาก แล้วปรับน้ำดินด้วย Sodium Silicate ให้ได้การไหลตัวของน้ำดินตามความต้องการ

สารสังเคราะห์อื่นๆ เช่น Polyacrylates สารสังเคราะห์นี้ให้ผลกับน้ำหล่อได้ดีกว่า Sodium Silicate คือ ส่งผลต่อน้ำดินได้เร็วและไม่ทำให้น้ำดินเปลี่ยนแปลงการไหลตัวมากนัก สารสังเคราะห์นี้เหมาะนำมาปรับน้ำดินครั้งสุดท้าย แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากเพราะราคาแพง

4. ขั้นตอนการหล่อแบบ ขั้นตอนการหล่อแบบพิมพ์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 136)

4.1 การเทน้ำดินลงในแบบ ถ้าแบบขนาดเล็กจะใช้เหยือกหรือขันตักน้ำดินเทลงในแบบอย่างรวดเร็ว ถ้าแบบขนาดใหญ่ การเทน้ำดินลงในแบบใช้หัวสูบ ในขั้นนี้ปัญหาที่พบคือ การ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เทน้ำดินลงในแบบเร็วไป อากาศจะแทรกเข้าไปในน้ำดิน และแทรกตัวอยู่ในเนื้อดินนั้น ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดรูเล็กๆ บนผิวผลิตภัณฑ์

4.2 การเทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบ ในกรณีแบบขนาดเล็ก คว่ำแบบลงอาจใช้ไม้ระแนงรองรับแบบเอาไว้ ช่วยเขย่าหรือเคาะแบบให้น้ำดินไหลออกมาได้เร็ว การที่เราจะเทน้ำดินออกเมื่อใด ขึ้นกับความหนาของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการ ปริมาณน้ำในแบบ และอายุการใช้งานของแบบ ในกรณีแบบใหญ่มาก การเทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบจะทำโดยวิธีคว่ำแบบไม่ได้ เพราะจะเกิดสุญญากาศขึ้นระหว่างที่น้ำดินไหลลง ซึ่งจะเกิดแรงดึงผลิตภัณฑ์ให้หลุดตามออกมาด้วยหรือไม่ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เองก็ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างได้ ฉะนั้นการเทแบบขนาดใหญ่ต้องเทน้ำดินเข้าทางส่วนล่างของแบบ และการเทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบก็ให้ไหลออกทางส่วนล่างของแบบเช่นกัน

4.3 การตกแต่งผลิตภัณฑ์ การตกแต่งผลิตภัณฑ์จะกระทำได้ง่ายถ้าแบบพิมพ์มีการออกแบบไว้ดี การตกแต่งควรกระทำในขณะผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในแบบ เพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวจนเสียรูปร่างไป และการตกแต่งจะต้องกระทำในเวลาที่เหมาะสม คือ ถ้าตกแต่งเร็วไปผลิตภัณฑ์ยังอ่อนนิ่มไม่แข็งแรงพอ จะทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวเสียรูปร่าง และถ้าแข็งเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะเป็นเหตุทำให้แตกหักได้ง่าย

4.4 การตากผลิตภัณฑ์ให้แห้ง ผลิตภัณฑ์เล็กๆ ไม่ค่อยมีปัญหา ผลิตภัณฑ์ใหญ่ต้องกระทำในห้อง ซึ่งมีการควบคุมความชื้น การตากแบบให้แห้งเป็นปัญหาใหญ่จะต้องควบคุมอย่างดี เพื่อจะได้มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ

5. ทฤษฎีการหล่อแบบ เนื้อดินสำหรับการหล่อที่ดีนั้น จะต้องมีลักษณะการไหลของน้ำดินเป็นสาย (Flued Suspension) ดินนั้นจะต้องไม่ตกตะกอนง่ายในขณะที่ทำการหล่อโดยเฉพาะพิมพ์ที่ทำด้วยปลาสเตอร์ต้องแห้งสนิท และเนื้อดินไม่หดตัวมากนัก (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 85) สำหรับน้ำดินที่ใช้ในการเทลงในแบบพิมพ์ จะใช้ปริมาณน้ำระหว่าง 25-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 1.76-1.86 (ดนัย อารยะพงษ์. 2538 : 44) น้ำดินจะถูกแบบของปูนปลาสเตอร์ดูดด้วยแรงที่เกิดจากรูพรุนในแบบ น้ำดินบริเวณผิวแบบจะเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดก็จะเหลือแต่เนื้อดินสะสมที่ผิวแบบกลายเป็นผนังของผลิตภัณฑ์ ผนังของผลิตภัณฑ์จะหนามากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป แบบก็จะชื้นมากขึ้นเช่นกัน อัตราเร็วในการเทแบบ หรืออัตราการเพิ่มความหนาของผนังผลิตภัณฑ์ เริ่มลดลงตามเวลาผ่านไปด้วยเหตุผล 2 ประการคือ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2539 : 133)

5.1 น้ำจะซึมผ่านเข้าแบบได้ยากขึ้น เพราะว่าผนังของผลิตภัณฑ์ต้านเอาไว้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

5.2 แบบชื้นมาก อัตราการดูดซึมก็ย่อมลดลง

นอกจากนี้ความละเอียดของเนื้อดินปั้นยังมีส่วนช่วยเร่งอัตราเร็วในการเทแบบ คือ เนื้อดินปั้นยิ่งหยาบ อัตราการเทแบบจะเร็วขึ้น

6. การเทแบบปูนปลาสเตอร์ การทำแบบปูนปลาสเตอร์ ใช้น้ำผสมลงในปูนปลาสเตอร์ประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กวนให้เข้ากันพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดฟองอากาศในขณะกวนได้ เนื่องจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะทำให้แบบที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นในโรงงานบางแห่งจะผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำในเครื่องกวนที่เป็นสุญญากาศโดยผสมในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

ปูนปลาสเตอร์ : น้ำ

60 : 36 ได้แบบปูนปลาสเตอร์ที่แข็ง

50 : 42 ได้แบบปูนปลาสเตอร์มาตรฐาน

50 : 50 ได้แบบปูนปลาสเตอร์อ่อน

40 : 56 ได้แบบปูนปลาสเตอร์อ่อนมาก

ซึ่งในระหว่างการผสมน้ำกับปูนปลาสเตอร์นั้น ควรหลีกเลี่ยงหรือไล่ฟองอากาศออกให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ นอกจากนี้อาจมีการปรับเวลาของการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์โดยการเติมสารเคมีบางอย่างลงไป ทำให้ปูนปลาสเตอร์แข็งตัวช้าหรือเร็วได้ตามความต้องการ กล่าวคือถ้าต้องการเร่งการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์ก็เติมเกลือแกง หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จำนวนเล็กน้อยลงไป แต่ถ้าต้องการให้แข็งตัวเร็วก็เติมสารส้มหรือน้ำส้มสายชูจำนวนเล็น้อยลงไป (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2530 : 74)

น้ำดินสำหรับการหล่อ (Casting Slip) น้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบควรจะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความสามารถในการไหลลื่น และแทรกเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของแบบหล่อ (Casting Mold) ได้ทั่วถึง (อรพินท์ พานทอง. 2531 : 65) โดยที่น้ำดินมีลักษณะเป็นสาย (Fluid Suspension) และไม่ตกตะกอนง่าย ในขณะที่ทำการหล่อ โดยเฉพาะพิมพ์ที่ทำด้วยปลาสเตอร์ต้องแห้งสนิท และเนื้อดินไม่หดตัวมากนัก ตามธรรมดา การผสมดินกับน้ำเท่านั้นไม่ถือว่าเป็นสลิปที่ดี น้ำสลิปที่ดีจะขึ้นอยู่กับจำนวนที่พอเหมาะ เนื้อดินลอยตัวได้ดี แต่ถ้าใส่น้ำมากจนเกินไปดินนั้นจะเหลวมาก เมื่อเทลงแบบพิมพ์จะทำให้ช่วงการหล่อช้า ดินตกตะกอน โอกาสแตกมีมากขึ้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 85)

การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ ผู้ผลิตต้องคำนึงถึงส่วนประกอบและกรรมวิธีต่างๆ ในการขึ้นรูป ทั้งนี้จะมีผลต่อชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ที่ออกมา ไม่ว่าจะเป็นแบบพิมพ์ กระบวนการเตรียมน้ำดิน ตลอดจนกรรมวิธีการหล่อแบบ จะมีความสัมพันธ์กันโดยตลอด เป็นต้นว่าการเตรียมความ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

หนาแน่นของน้ำดิน ความถ่วงจำเพาะในการหล่อแบบต่ำเกินไปก็จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบบพิมพ์ หรือการเทน้ำสลิปเข้าไปในแบบเร็วเกินไปจะก่อให้เกิดฟองอากาศทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดตำหนิได้ ทั้งนี้ผู้ผลิตจำเป็นต้องให้ความสำคัญในทุกๆ ขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมามีคุณภาพดี

การขึ้นรูปแบบแป้นหมุน (Throwing Method)

การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เป็นการขึ้นรูปแบบทรงกลมโดยอาศัยเครื่องมือแป้นหมุนในสมัยโบราณเป็นชนิดแป้นหมุนใช้แรงคนถีบ (Kick Wheel) แต่ต่อมาได้วิวัฒนาการ ใช้กำลังไฟฟ้า (Electric Wheel) มีทั้งชนิดแบบยืน แบบนั่ง ความเร็วที่ใช้ 2-3 จังหวะ ความเร็วรอบของแป้นหมุนที่เป็นมาตรฐานประมาณ 80 รอบต่อนาที โดยเฉพาะดินที่นำมาปั้นต้องเป็นดินชนิดที่มีความเหนียวจึงจะช่วยให้การขึ้นรูปได้ผลดี การขึ้นรูปแบบแป้นหมุนต้องอาศัยการฝึกฝนและทักษะพอสมควร จึงจะสามารถขึ้นรูปได้ดีซึ่งมีหลักการขึ้นรูปดังนี้ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 30)

1. การตั้งดินให้ได้ศูนย์ (Centering) นับว่าสำคัญมาก แล้วใช้มือทั้งสองกดและดึงดินขึ้นหลายๆ ครั้ง เพื่อให้ดินเกาะกินแป้นหมุน ข้อศอกและแขนจะต้องไม่แกว่ง ความเร็วของแป้นหมุนช่วงนี้จะต้องใช้ความเร็วสูง ใช้น้ำผสมเข้าช่วยในการตั้งศูนย์

2. เมื่อตั้งดินได้ศูนย์ดีแล้ว ใช้หัวแม่มือกดดินให้ลึกลงไปเป็นรูกลวง แต่อย่าให้ลึกถึงแป้นหมุน

3. การดึงดินขึ้น (Raising) เทคนิคและวิธีการตอนนี้สำคัญมาก โดยใช้มือข้างซ้ายและข้างขวาดึงดินขึ้น ให้ได้ความสูงตามต้องการ ในขณะที่ดึงดินขึ้นต้องให้อยู่ในแนวดิ่ง อย่าให้เอียงทางหนึ่งทางใด ความเร็วที่ใช้ในระดับปานกลาง

4. การทำรูปทรงต่างๆ (Shaping) ใช้นิ้วมือกดและดันให้ได้รูปทรงตามต้องการ หรือจะใช้เครื่องมือที่เตรียมไว้ก็ได้ ตอนปากรูปทรงไม่สม่ำเสมอควรใช้เครื่องมือตัดทิ้งเสียก่อน แล้วจึงค่อยขึ้นรูปใหม่

5. ขั้นตกแต่งหรือขั้นสำเร็จ (Finishing) ขั้นนี้ต้องรอให้ดินที่ปั้นภาชนะหมาดเสียก่อน แล้วใช้เครื่องมือขูดผิวให้เรียบร้อย ใช้ฟองน้ำลูบให้เรียบอีกครั้ง จึงจะใช้ได้

เตาเผาและการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ปัจจุบันการทำอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผากำลังเป็นที่สนใจและนิยมกันแพร่หลายนับวันแต่จะเจริญก้าวหน้า และเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เตาเผา (Klins) เป็นเครื่องมือที่ให้ความร้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ควบคุมความร้อน สามารถเผาให้อุณหภูมิสูง รวมทั้งประหยัดและปลอดภัย ตลอดจนวัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาต้องมีคุณภาพดี เหมาะสม จะเป็นเตาแก๊ส เตาน้ำมัน เตาหิน หรือเตาไฟฟ้า (ทวี พรหมพฤกษ์. 2524 : บทนำ)

เตาเผาที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีมากมายหลายชนิด ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแต่ละประเภท ควรเลือกใช้เตาเผาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดีและตรงตามความต้องการ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทดลองด้วยเตาไฟฟ้าและเตาแก๊ส เนื่องจากเป็นเตาเผาชนิดที่นิยมใช้ในสถานศึกษาและในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาทั่วไป จึงขอกล่าวรายละเอียดของเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สไว้พอสังเขป ดังนี้

เตาไฟฟ้า

เป็นเตาเผาผลิตภัณฑ์ที่มีผู้สนใจกันมาก โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากผู้ใช้มีความสะดวกสบายคุมค่าได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง ค่าใช้จ่ายไม่สิ้นเปลืองมากนักและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เตาไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบและหลายขนาด สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง มักนิยมสร้างเป็นเตาแบบกลม แบบหกเหลี่ยม แบบสี่เหลี่ยม ซึ่งมีทั้งชนิดเปิดบน เปิดหน้า มีความจุตั้งแต่หนึ่งลูกบาศก์ฟุตจนถึงหลายลูกบาศก์ฟุต ใช้ไฟฟ้าทั้งชนิด 1 ยก (Single Phase) และ 3 ยก (Three Phase) ใช้กระแสไฟฟ้าชนิด 220 และ 380 โวลต์ เตาไฟฟ้าใช้เผาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การเผาดิบ การเผาเคลือบ และยังใช้สำหรับเผาสีชนิดบนเคลือบได้อีกด้วย (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 63)

การทำงานของเตาไฟฟ้าจะใช้พลังงานความร้อน ภายหลังจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดความต้านทาน (Heating Element) ที่ติดตั้งอยู่รอบผนังภายในเตา ซึ่งทำด้วยอิฐทนไฟและฉนวนกันความร้อน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดความต้านทานยิ่งนานหลายชั่วโมงความร้อนก็จะสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดตามความต้องการ การควบคุมอุณหภูมิจะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Pyrometer) ที่ติดตั้งไว้กับตัวเตา หรืออาจใช้ทุ่นวัดไฟ (Pyrometric Cone) วางไว้ด้านในเตาขณะเผาก็ได้เช่นเดียวกัน บรรยากาศในเตาเผาไฟฟ้านี้จะเป็นแบบออกซิเดชันเพียงอย่างเดียว

เตาแก๊ส

ปัจจุบันเตาแก๊สนับว่าเป็นเตาที่นิยมในหมู่บรรดาผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา สามารถเผาในอุณหภูมิสูง มีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย นอกจากนี้ยังสามารถ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เผาได้ทั้งบรรยากาศแบบออกซิเดชัน และแบบรีดักชัน แบบของเตาแก๊สที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบ ดังนี้ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 33)

1. เตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น (Up Draft Klin) เป็นเตาแก๊สที่ไม่มีปล่องไฟ แต่มีช่องระบายความร้อน ทำหน้าที่แทนปล่องไฟอยู่ที่ตอนบนของเตา ความร้อนจะผ่านแผ่นรองชนิดทนไฟสูงโดยไม่สัมผัสผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี และช่วยเฉลี่ยความร้อนให้แผ่ไปทั่วทั้งเตาอย่างสม่ำเสมอ เตาชนิดนี้นิยมออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีทั้งชนิดเปิดด้านหน้าและเปิดด้านบน เป็นเตาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก จึงเหมาะสำหรับงานทดลองและงานวิจัยต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2. เตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนลง (Down Draft Klin) เป็นเตาแก๊สที่ออกแบบสร้างให้มีขนาดใหญ่ สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมากๆ การบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาจะใช้รถเข็น ซึ่งทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็จะเพิ่มรถไว้สำรองอีก สามารถเผาติดต่อกันได้ เตาชนิดนี้จะต้องสร้างให้มีปล่องเตา ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้หรือสันดาปได้ดียิ่งขึ้น เตาแบบทางเดินลมร้อนลงนี้จะให้อุณหภูมิในการเผาสูงมาก และสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ แต่การลงทุนในการก่อสร้างค่อนข้างสูง ซึ่งผู้วิจัยจะใช้เผาผลิตภัณฑ์ทดลองในการวิจัยครั้งนี้

การเผาผลิตภัณฑ์ (Firing)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินดินเผาที่สำเร็จสวยงามจะมีคุณค่านั้น จะเป็นด้วยการออกแบบหรือการตกแต่งลวดลายก็ดี จะต้องผ่านกระบวนการเผา (Firing Process) การเผาครั้งแรก เรียกว่า การเผาดิบ (Bistcuit Firing) การเผาครั้งที่สองเรียกว่า การเผาเคลือบ (Glost Firing) ส่วนการเผาครั้งที่สามเป็นการเผาเพื่อตกแต่งลวดลายให้สวยงาม (Decorating Firing) โดยใช้สีบนเคลือบ (On Glaze) (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 152)

การเผาดิบเป็นการให้ความร้อนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนทีละน้อย ไม่ว่าจะเป็นเตาแก๊ส เตาน้ำมัน เตาฟืน และเตาไฟฟ้าก็ตาม ควรให้ระยะการเผาเป็นไปอย่างช้าๆ (Slow Rate) สม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการเผาอย่าให้เร็วเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้โดยง่าย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ควรใช้เวลาในการเผาดิบให้ยาวนานขึ้น เพื่อความปลอดภัยและไม่ให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหายได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาดิบโดยทั่วไปประมาณ 750 ถึง 850 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 8 ถึง 10 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของผลิต

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ภัณฑ์และขนาดของเตา การให้เตาเย็นลงภายหลังจากการเผา ควรระมัดระวังเช่นกัน ควรใช้เวลานานๆ ไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 102)

การเผาเคลือบ หมายถึง การเผาน้ำเคลือบที่ฉาบบนผลิตภัณฑ์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน มีความมันแวววาว (Glassy) บางชนิดเป็นเคลือบด้านผิวเรียบ มีความแข็ง สามารถต้านทานต่อกรดและด่างได้อย่างดี การเผาเคลือบไม่ว่าจะเป็นเคลือบชนิดไฟต่ำหรือไฟสูงก็ตาม จะต้องเผาให้อุณหภูมิตามข้อกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นการเผาจะเกิดการเสียหายได้ เช่น การเผาที่ไฟเกิน (Over Fire) ย่อมทำให้น้ำเคลือบไหลมากอาจจะติดพื้นเตา หรือชั้นรอง ยากแก่การเอาออก ทำให้เสียหายได้ และการเผาที่อุณหภูมิไม่ถึง (Under Fire) ทำให้เคลือบไม่เป็นมันเท่าที่ควร (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 155)

บรรยากาศในการเผา

ในการเผาเครื่องปั้นดินเผาจะมีการเผา 2 แบบ คือ การเผาแบบรีดักชั่น (Reduction) และออกซิเดชั่น (Oxidation)

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือที่จำเป็นที่ใช้วัดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เพื่อให้คุณภาพดี ถูกต้อง ในสมัยโบราณใช้การสังเกตสีของความร้อน เช่น ชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ โดยการคาดคะเนด้วยสายตาซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญพิเศษ แต่ในปัจจุบันได้มีผู้คิดอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ หลายแบบ หลายชนิดที่ใช้วัดอุณหภูมิอย่างถูกต้อง แน่นอนซึ่ง ทวี พรหมพฤกษ์ (2525 : 107-108)

1. ***เทอร์โมคัพเปิลไพโรมิเตอร์ (Thermocouple Pyrometer)*** อาศัยหลักการการเกิดกระแสไฟฟ้าจากความร้อน (Thermo Electric Pyrometer) โดยนำเอาโลหะ 2 ชนิด มาเชื่อมปลายติดกันเรียกว่า "Hot Junction" แต่โลหะทั้ง 2 ชนิด จะต้องมีคุณสมบัติแตกต่างกันใส่ในเตาให้ได้รับความร้อน (Thermocouple) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Indicator) แล้วเข็มจะชี้บอกอัตราความร้อนตามความมากน้อยของกระแสไฟฟ้า จะมีตัวเลขเทียบอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ ปลายของโลหะที่ต่อไปยังหน้าปัดเรียกว่า "Cold Junction Thermo Couple" ที่วัดอุณหภูมิสูงๆ จะมีเครื่องป้องกัน (Protecture) ทำด้วยวัตถุทนไฟป้องกันอีกชั้นหนึ่ง

2. ***ทุ่นวัดไฟ (Pyrometric Cone)*** ทุ่นทนไฟหรือเรียกสั้นๆ ว่า Cone เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตา การใช้ก็ง่ายและสะดวก ผู้ที่คิดทำทุ่นทนความร้อนเป็นครั้งแรก ได้แก่ ชาว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

เยอรมัน ชื่อ Segger และตั้งชื่อว่า Segger Cone โดยนำเอาวัตถุดิบผสมกับสารละลายตามสัดส่วนต่างๆ มาทำเป็นแท่งสามเหลี่ยมให้ปลายแหลม (Pyramid Shape) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 585 องศาเซลเซียส (1085 องศาฟาเรนไฮต์) ขึ้นไปจนถึง 1015 องศาเซลเซียส (3659 องศาฟาเรนไฮต์) และแบ่งออกเป็นนัมเบอร์ต่างๆ ถึง 42 นัมเบอร์ ระบบการจัดนัมเบอร์อุณหภูมิต่ำจะให้ตัวเลขศูนย์นำหน้า เช่น อุณหภูมิที่ต่ำสุด No. 022 อุณหภูมิสูงสุด No. 42 เป็นต้น ทุ่นวัดไฟที่ใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบันคือ Segger Cone (S.K.) กับ Ortan Cone (P.C.E.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บัญชา ชื่นจิต (บทคัดย่อ : 2541) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาดินสุรินทร์เพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดินสุรินทร์แหล่งบ้านใหม่ และดินสุรินทร์แหล่งบ้านน้ำคล้ำ ทดสอบส่วนผสมของเนื้อดินสโตนแวร์ โดยการทดสอบทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า ใช้วัตถุดิบคือดินสุรินทร์แหล่งบ้านใหม่ ดินขาวระนอง และหินฟันม้า จำนวน 36 ตัวอย่าง และดินสุรินทร์แหล่งบ้านน้ำคล้ำ ดินขาวระนอง และหินฟันม้า จำนวน 36 ตัวอย่าง โดยเผาในอุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส จากนั้นคัดเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของส่วนผสมเนื้อดินในแต่ละแหล่ง นำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ พบว่า เนื้อดินทั้งสองแหล่งมีการหดตัวก่อนเผาจะอยู่ในช่วงร้อยละ 6-7 มีความแข็งแรงระหว่าง 23.37–25.58 Kg/cm^2 หลังการเผาเนื้อดินมีการหดตัวมากและมีความทนไฟสูง เนื่องจากเนื้อดินมีปริมาณอะลูมิน่าผสมอยู่มาก ซึ่งผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินสุรินทร์แหล่งบ้านใหม่มีดังนี้ SiO_2 60.0, Al_2O_3 19.0, Fe_2O_3 6.8, CaO 0.6, MgO 0.5, K_2O 1.4, Na_2O 0.3 และ LOI 9.0 ส่วนดินสุรินทร์แหล่งบ้านน้ำคล้ำมีผลวิเคราะห์ทางเคมีดังนี้ SiO_2 57.0, Al_2O_3 24.4, Fe_2O_3 4.3, CaO 0.4, MgO 0.5, K_2O 0.5, Na_2O 0.4 และ LOI 12.5 และพบว่า ดินสุรินทร์แหล่งบ้านใหม่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบมีส่วนผสมดังนี้ ดินสุรินทร์แหล่งบ้านใหม่ ร้อยละ 30 ดินขาวระนองร้อยละ 50 หินฟันม้า ร้อยละ 20 โดยที่เนื้อผลิตภัณฑ์มีการทรงตัวที่ดีในขณะทำการขึ้นรูป ซึ่งภายหลังจากการเผาเนื้อผลิตภัณฑ์มีความแกร่ง มีสีน้ำตาลแดง และเหมาะสมกับเคลือบเฟลสปาร์ พบว่าดินสุรินทร์แหล่งบ้านน้ำคล้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ มีส่วนผสมดังนี้ ดินสุรินทร์แหล่งบ้านน้ำคล้ำ ร้อยละ 40 ดินขาวระนอง ร้อยละ 30 หินฟันม้า ร้อยละ 30 ซึ่งภายหลังจากการเผาเนื้อผลิตภัณฑ์มีความแกร่ง และมีสีเทานวล และมีความเหมาะสมกับเคลือบเฟลด์สปาร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สมบูรณ์ สารสิทธิ์ (2539) ทำการทดลองเนื้อดินปั้นจากดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ และน้ำเคลือบที่เหมาะสม ในการทดลองผู้วิจัยใช้วัตถุดิบดังนี้ ดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช ดินขาวจังหวัดระนอง หินฟันม้าจังหวัดนครศรีธรรมราช และทรายขาวจังหวัดสงขลา โดยทำการเผาเนื้อดินปั้นในอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส พบว่าส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วย

ดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช	ร้อยละ 40
ดินขาวจังหวัดระนอง	ร้อยละ 15
หินฟันม้าจังหวัดนครศรีธรรมราช	ร้อยละ 10
ทรายขาวจังหวัดสงขลา	ร้อยละ 35

โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. คุณสมบัติในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ จะใช้น้ำผสมในเนื้อดินปั้นร้อยละ 37.50 สารช่วยกระจายลอยตัวร้อยละ 0.22 ความถ่วงจำเพาะ 1.69 ความหนืด 3.8 พอยซ์

2. คุณสมบัติก่อนและหลังเผา พบว่าในด้านการหดตัวก่อนเผามีการหดตัวร้อยละ 6.00 หลังเผามีการหดตัวร้อยละ 6.17 ความแข็งแรงก่อนเผาร้อยละ 13.18 การดูดซึมน้ำร้อยละ 14.49 และความสามารถในการทนไฟสามารถทนไฟได้ดี

ในส่วนการทดลองเคลือบดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้วัตถุดิบในการทดลองดังนี้ หินฟันม้าจังหวัดนครศรีธรรมราช ดินขาวระนอง ดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช หินสบู่ที่ใช้ในการค้าทั่วไป และสังกะสีออกไซด์ โดยเผาในอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น พบว่าเคลือบที่เหมาะสมกับเนื้อดินปั้น จากดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราชจะประกอบไปด้วย

หินฟันม้านครศรีธรรมราช	ร้อยละ 30
ดินแดงนครศรีธรรมราช	ร้อยละ 15
หินสบู่นครศรีธรรมราช	ร้อยละ 20
ทรายขาวสงขลา	ร้อยละ 35
หินสบู่	ร้อยละ 3
สังกะสีออกไซด์	ร้อยละ 6

สุรพินโญ พลาพล (บทคัดย่อ : 2543) ทำการวิจัยเรื่องการอนุรักษ์และการสืบสานวัฒนธรรมเครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

จุดมุ่งหมายเพื่อศึกษารูปแบบและการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหาย และทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการปั้นด้วยแป้นหมุน การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์และการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเพื่อศึกษารูปแบบและการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย คือ ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย ในพิพิธภัณฑ์แห่งชาติรามคำแหง จังหวัดสุโขทัย และพิพิธภัณฑ์บ้านจ่าทวี จังหวัดพิษณุโลก และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหาย และบริเวณริมแม่น้ำน่านในแนวเดียวกันไปทางทิศเหนือ และทางด้านทิศใต้ของริมฝั่งแม่น้ำน่าน

ผลการศึกษา 1) จากการศึกษารูปแบบและการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย พบว่า รูปแบบเครื่องปั้นดินเผาแห่งนี้คือ ไห ครก อ่าง กระปุก ขวด ชามและถ้วย หม้อปากกว้าง ฝาปิดภาชนะ และกี๋ และยังพบอีกว่าเครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหายแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องปั้นดินเผาเนื้อธรรมดา เผาในอุณหภูมิต่ำ และเนื้อแกร่งเผาอุณหภูมิสูง ส่วนผลการศึกษาการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย พบว่า มีการตกแต่งลวดลายผลิตภัณฑ์โดยการติดหู ลายปั้นแปะ ลายกดประทับ ลายขูดขีด ยังพบสัญลักษณ์ของช่างปั้นด้วย 2) จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหาย พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพก่อนเผามีดังนี้ ความแข็งแรง 25.37 kg/cm^2 ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดความเหนียวร้อยละ 25.40 และการหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 4.70 ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900, 1000, 1100, 1200, 1250 องศาเซลเซียส คือความแข็งแรง 32.98, 47.84, 75.92, 131.42 และ 164.36 kg/cm^2 ตามลำดับ หดตัวหลังการเผาร้อยละ 0.32, 1.37, 4.51, 7.86 และ 8.71 ตามลำดับ การดูดซึมน้ำร้อยละ 18.05, 12.23, 8.54, 4.65 และ 0.94 ตามลำดับ น้ำหนักที่หายไปหลังการเผาร้อยละ 9.50, 9.91, 10.60, 11.01 และ 14.38 ตามลำดับ สีหลังการเผาคือ น้ำตาลแดง น้ำตาลแดง น้ำตาลแดงเข้ม น้ำตาลเข้ม และน้ำตาล ตามลำดับ จุดหลอมละลาย 1300 องศาเซลเซียส 3) จากการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน พบว่า ดินสามารถขึ้นรูปได้ดี การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยแป้นหมุนจะต้องอาศัยความชำนาญของช่างปั้นด้วย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยเชิงทดลอง ทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหาย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายในห้องทดลองปฏิบัติการ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมีดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทดลองคุณสมบัติทางกายภาพก่อนการเผาของดินวัดตาปะขาวหาย ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 15 ผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายก่อนการเผา

คุณสมบัติทางกายภาพก่อนการเผา	ค่าที่ได้
ความแข็งแรง	25.37 kg/cm^2
ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดความเหนียว	ร้อยละ 25.40
การหดตัวเมื่อแห้ง	ร้อยละ 4.70

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทดลองคุณสมบัติทางกายภาพหลังการเผาของดินวัดตาปะขาวหาย ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

ตาราง 16 ผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายหลังการเผา

คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้ในอุณหภูมิต่าง ๆ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส					
	900	1000	1100	1200	1250	1300
ความแข็งแรง หน่วยเป็น kg/cm^2	32.98	47.84	75.92	131.42	164.36	-
การหดตัว หน่วยเป็น ร้อยละ	5	6	9	12.2	13.1	-
การดูดซึมน้ำ หน่วยเป็น ร้อยละ	18.05	12.23	8.54	4.65	0.94	-
น้ำหนักที่หายไป หน่วยเป็น ร้อยละ	9.50	9.91	10.60	11.01	14.38	-
สี	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดงเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	-
จุดหลอมละลาย หน่วยเป็นองศาเซลเซียส	-	-	-	-	-	1300

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังรายละเอียดเป็นข้อๆ ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง
2. ตัวแปร
3. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง
4. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง
5. การดำเนินการวิจัย
6. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นที่เกิดจากส่วนผสมของดินวัดตาประขาวหายดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์จำนวน 10 ส่วนผสม โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง ดังตาราง 16

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 17 แสดงสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น

ส่วนผสมที่	ดินวัดตาประขาวหาย	ดินขาวลำปาง	เฟลด์สปาร์
1	90	5	5
2	85	10	5
3	80	15	5
4	75	20	5
5	70	25	5
6	65	30	5
7	60	35	5
8	55	40	5
9	50	45	5
10	45	50	5

2. ตัวแปร

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ศึกษาไว้ต่อไปนี้

2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

2.1.1 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นได้จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายดินขาวลำปางและเฟลด์สปาร์

2.1.2 อุณหภูมิการเผา ได้แก่ อุณหภูมิ 800,900,1000,1100,1200,1250 องศาเซลเซียส

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา ได้แก่

2.2.1.1 ความหดตัว

2.2.1.2 ความแข็งแรง

2.2.2 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา ได้แก่

2.2.2.1 ความหดตัว

2.2.2.2 ความดูดซึมน้ำ

2.2.2.3 ความแข็งแรง

2.2.2.4 ความทนไฟ

2.2.2.5 สี

2.2.3 ความเหมาะสมในการขึ้นรูป ได้แก่

2.2.3.1 การขึ้นรูปด้วยใบมีด

2.2.3.2 การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยวิธีการทดลอง ซึ่งใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเซรามิกส์ของศูนย์วิทยาศาสตร์ (พวส.) ดังนี้

1. เครื่องชั่งระบบ Digital (0.001 g.)
2. หม้อบดความเร็วสูง (Ball Mill ; Centrifugal)
3. ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช
4. เตาไฟฟ้า (Front Loading Kiln, 1300° C)
5. เครื่องมือทดสอบความแข็งแรง (Modulus of Rupture Machine)
6. เครื่องขึ้นรูปด้วยใบมีด (Jigger)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

7. แป้นหมุน (Throwing Wheel)
8. หม้อบด 50 kg. (Ball Mill)

4. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

สถานที่ ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองที่โรงฝึกปฏิบัติงานเซรามิกส์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

ระยะเวลา ที่ใช้ในการทดลอง ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เวลาทดลองตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม 2543 ถึง เดือนกรกฎาคม 2544 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 1 ปี

5. การดำเนินการวิจัย

ในการวิธีวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบสมบัติของดินบ้านดงดินทองผู้วิจัยได้ลำดับขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. บดดิน
2. นำเนื้อดินขึ้นรูปเป็นแท่งทดลอง
3. ทดสอบความแข็งแรงเมื่อแห้ง
4. นำแท่งดินที่แห้งสนิทแล้วเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800,900,1000,1100,1200,1250 องศาเซลเซียส
5. ทดสอบการหดตัวหลังเผา
6. ทดสอบความแข็งแรงหลังเผา
7. ทดสอบความดูดซึมน้ำ
8. ทดสอบสีและความทนไฟของเนื้อดินปั้น
9. เพื่อทดสอบสีและความทนไฟของเนื้อดิน

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติของเนื้อดินปั้นกลุ่มตัวอย่างผู้วิจัยได้ลำดับขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ชั่งส่วนผสมของวัตถุดิบตามสัดส่วนที่ได้จากการสุ่มตัว
2. นำส่วนผสมเนื้อดินปั้นที่ผสมไว้ในแต่ละสูตรแล้วนำมาบด
3. นำเนื้อดินปั้นมาขึ้นรูปเป็นแท่งทดลอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4. ทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง

5. ทดสอบความแข็งแรงเมื่อแห้ง

6. นำแท่งทดลองที่แห้งสนิทแล้วเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100, 1200 และ 1250 องศาเซลเซียส

7. ทดสอบการหดตัวหลังเผา

8. ทดสอบความแข็งแรงหลังเผา

9. ทดสอบความดูดซึมน้ำ

10. ทดสอบสีและความทนไฟของเนื้อดินปั้น

ขั้นตอนที่ 3 **ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยการหล่อและแป้นหมุน** ผู้วิจัยได้ลำดับขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. คัดเลือกเนื้อดินจากกลุ่มตัวอย่างมาหนึ่งส่วนผสม
2. ชั่งส่วนผสมของวัตถุดิบ
3. บดผสม
4. ได้น้ำดินและดินปั้น
5. ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. **การหาค่าความหดตัวของเนื้อดิน** ใช้วิธีการคำนวณหาความหดตัวของดิน (Daniel Rhoder. 1972 : 200)

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

2. **การหาค่าความดูดซึมน้ำ** ใช้วิธีการคำนวณหาค่าความดูดซึมน้ำ (Daniel Rhoder. 1972 : 200)

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

โดย A = ร้อยละของการดูดซึมน้ำ

W = น้ำหนักดินที่อิ่มตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

D = น้ำหนักดินที่แห้ง

3. การหาค่าความแข็งแรง ใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งแรง (Modulus of Rupture)

4. ความทนไฟ ใช้วิธีการสังเกตการหลอมเหลวของเนื้อดิน

5. สี ใช้วิธีการสังเกตด้วยตาเปล่า

6. ความเหมาะสมในการขึ้นรูป ใช้การพิจารณาค่าเฉลี่ยจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จุดประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 1

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินจากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายจังหวัดพิษณุโลก จากการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังกระบวนการทดสอบสมบัติทางกายภาพทั้งก่อนเผาและหลังเผา สามารถสรุปได้ดังตาราง 16

ตาราง 18 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของดินบ้านตาปะขาวหาย

อุณหภูมิ	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
ก่อนเผา	5.00	-	25.50	-	-
800	6.00	20.50	30.30	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
900	7.00	18.30	33.20	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
1000	7.50	12.40	47.60	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
1100	9.00	8.60	76.10	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
1200	12.00	4.50	132.20	ทนไฟได้	น้ำตาลดำ
1250	13.00	0.10	165.40	ทนไฟได้	น้ำตาลดำ

จุดประสงค์ข้อที่ 2

เพื่อทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินวัดตาปะขาวหายดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800,900,1000,1100,1200,1250 องศาเซลเซียส

1. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งทำการวิเคราะห์ ค่าความหดตัว และค่าความแข็งแรงดังแสดงในตาราง 18

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 19 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของกลุ่มตัวอย่าง

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)
1	5.00	25.20
2	5.50	24.50
3	5.50	24.30
4	6.00	24.00
5	6.00	23.80
6	6.00	23.40
7	6.50	22.60
8	6.50	21.80
9	6.00	20.70
10	6.00	20.10

จากการที่ผสมดินขาวลำปางในปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามที่กำหนดในกลุ่มตัวอย่าง ปรากฏว่าค่าความหดตัวก่อนการเผายังคงอยู่ในระดับต่ำและค่าความแข็งแรงลดลงเป็นส่วนใหญ่

2. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 800°C แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง 8

ตาราง 20 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 800° C

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
1	6.00	19.20	32.98	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
2	6.00	19.30	33.42	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง น้ำตาลแดง
3	6.00	19.20	35.89	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
4	7.00	18.30	36.10	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
5	7.00	19.30	34.82	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 20 (ต่อ)

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
6	7.00	20.40	37.38	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
7	7.00	19.20	32.92	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
8	7.00	19.6	34.97	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
9	7.00	20.10	34.36	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง
10	7.00	19.40	35.25	ทนไฟได้	น้ำตาลแดง

3. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 900°C แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง 19

ตาราง 21 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 900° C

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
1	7.00	18.70	38.52	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
2	7.00	18.50	38.22	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
3	7.00	18.10	38.59	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
4	7.00	18.70	38.55	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
5	7.50	18.30	39.32	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
6	7.50	18.90	39.21	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
7	7.50	18.90	39.09	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
8	7.50	18.40	38.67	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
9	7.50	19.00	38.72	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
10	7.50	18.80	39.54	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1000°C แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง 20

ตาราง 22 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่าง อุณหภูมิ 1000° C

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
1	7.50	12.00	49.38	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
2	7.50	12.00	49.54	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
3	7.50	12.00	49.53	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
4	8.00	11.50	49.26	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
5	8.00	12.00	50.15	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
6	8.00	11.00.	50.28	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
7	8.00	11.00	49.66	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
8	8.00	11.00	49.98	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
9	8.00	11.00	50.48	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม
10	8.00	11.00	50.15	ทนไฟได้	น้ำตาลส้ม

5. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1100°C แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง 21

ตาราง 23 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผาของกลุ่มตัวอย่าง 1100° C

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
1	10.00	6.50	86.52	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
2	10.5	6.50	88.65	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
3	10.5.	6.50	85.06	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
4	10.50	6.50	88.85	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
5	10.50	6.00	86.19	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 23 (ต่อ)

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
6	10.50	6.00	86.62	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
7	10.00	6.00	82.92	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
8	10.00	6.00	88.54	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
9	10.00	6.00	89.64	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
10	9.50	6.00	84.12	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม

6. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200°C แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง 22

ตาราง 24 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่างอุณหภูมิ 1200° C

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
1	13.00	3.50	150.60	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
2	13.00	3.10	151.39	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
3	13.00	3.40	155.62	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
4	14.00	3.30	150.61	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
5	14.00	3.10	155.24	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
6	14.00	3.20	151.81	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
7	13.00	3.00	154.05	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
8	14.00	3.000	150.97	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
9	14.00	3.50	155.61	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม
10	14.00	3.00	158.31	ทนไฟได้	น้ำตาลเข้ม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 25 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผากลุ่มตัวอย่างอุณหภูมิ 1250° C

สูตรที่	ค่าความหดตัว (%)	ค่าความดูดซึมน้ำ (%)	ค่าความแข็งแรง (kg/cm^2)	ความทนไฟ	สี
1	15.50	0.04	190.05	ทนไฟได้	น้ำตาลดำ
2	15.60	0.02	195.21	ทนไฟได้	น้ำตาลดำ
3	15.20	0.04	189.15	ทนไฟได้	น้ำตาลดำ
4	15.00	0.06	196.57	ทนไฟได้	น้ำตาลดำ
5	15.00	0.00	204.54	ทนไฟได้	น้ำตาลเทา
6	14.80	0.00	208.65	ทนไฟได้	น้ำตาลเทา
7	14.90	0.00	198.23	ทนไฟได้	น้ำตาลเทา
8	15.00	0.00	210.78	ทนไฟได้	น้ำตาลเทา
9	14.80	0.00	205.53	ทนไฟได้	น้ำตาลเทา
10	15.20	0.00	198.36	ทนไฟได้	น้ำตาลเทา

จุดประสงค์ของการวิจัยข้อที่ 3

เพื่อทดลองผลิต ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด เผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100, 1200 หรือ 1250 องศาเซลเซียส

เนื้อดินปั้นที่มีอัตราส่วนผสมเหมาะสมที่สุดนั้นได้คัดเลือกส่วนผสมที่ 5 ประกอบด้วยดินวัดตาปะขาวหายร้อยละ 70 ดินขาวลำปางร้อยละ 25 และเฟลด์สปาร์ร้อยละ 5 ซึ่งมีข้อมูลดังตาราง 23

ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการขึ้นรูป

จากการทดสอบการขึ้นรูปด้วยการหล่อและขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการขึ้นรูป 5 ท่านดังแสดงในตาราง 24 ปรากฏว่าเนื้อดินปั้นส่วนผสมที่ 8 มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมในการขึ้นรูปทั้งสองวิธีอยู่ในระดับมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 26 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการขึ้นรูป

วิธีการขึ้นรูป	ค่าเฉลี่ยความเหมาะสม	ระดับความเหมาะสม
ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ	4.8	มากที่สุด
ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน	4.7	มากที่สุด

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินจากแหล่งดินวัดตาปะขาวหาย จังหวัดพิษณุโลก

2. เพื่อทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินวัดตาปะขาวหายกับดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1200, 1250 องศาเซลเซียส

3. เพื่อทดลองขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากเนื้อดินปั้นที่อัตราส่วนผสมเหมาะสมที่สุด เผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100, 1200หรือ1250 องศาเซลเซียส

ประโยชน์ของการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้มีประโยชน์โดยตรงต่อหน่วยงานบุคคลและสังคมดังนี้

1. องค์การบริหารส่วนตำบลวัดตาปะขาวหาย อำเภอเมืองจังหวัด พิษณุโลก มีโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้เป็นผลิตภัณฑ์ประจำหมู่บ้านได้ต่อไป

2. หน่วยงานด้านการพัฒนาชุมชนมีข้อมูลในการส่งเสริมอาชีพเพื่อเพิ่มพูนรายได้ให้ประชาชน

3. หน่วยงานด้านส่งเสริมอุตสาหกรรมได้ข้อมูลในการส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดย่อมสำหรับประชาชน

4. หน่วยงานด้านส่งเสริมการท่องเที่ยวมีข้อมูลในการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวอาชีพท้องถิ่น

5. ชาวบ้านวัดตาปะขาวหายมีช่องทางในการประกอบอาชีพเพิ่มขึ้น

6. หน่วยงานทางการศึกษาสาขา เซรามิกส์ได้ข้อมูลและแนวทางในการศึกษาพัฒนาแหล่งดินเพื่อผลิตเครื่องปั้นดินเผา

7. สังคมทั่วไปจะได้ตระหนักถึงการพัฒนามูลค่าเพิ่มของแหล่งวัตถุดิบต่างๆ ทำให้ศักยภาพการแข่งขันของประเทศสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นที่เกิดจากส่วนผสมของดินวัดตาปะขาวหายและดินขาวลำปาง และเฟลด์สปาร์ จำนวน 10 ส่วนผสม โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

ตัวแปร ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1.1 ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นได้จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหาย ดินขาวลำปางและเฟลด์สปาร์

1.2 อุณหภูมิการเผา ได้แก่ อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100 1200 และ1250 องศาเซลเซียส

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนการเผา ได้แก่

2.1.1 ความหดตัว

2.1.2 ความแข็งแรง

2.2 สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา ได้แก่

2.2.1 ความหดตัว

2.2.2 ความดูดซึมน้ำ

2.2.3 ความแข็งแรง

2.2.4 ความทนไฟ

2.2.5 สี

2.3 ความเหมาะสมในการขึ้นรูป ได้แก่

2.3.1 การขึ้นรูปด้วยการหล่อ

2.3.2 การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน

ขั้นตอนการวิจัย ในการวิธีวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบสมบัติของดินวัดตาปะขาวหาย

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติของเนื้อดินปั้นกลุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 3 ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยด้วยใบมีดและแป้นหมุน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การหาค่าความหดตัวของเนื้อดิน ใช้วิธีการคำนวณหาความหดตัวของดิน (Daniel Rhoder. 1972 : 200)

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

2. การหาค่าความดูดซึมน้ำ ใช้วิธีการคำนวณหาค่าความดูดซึมน้ำ (Daniel Rhoder. 1972 : 200)

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

โดย A = ร้อยละของการดูดซึมน้ำ

W = น้ำหนักดินที่อิ่มตัว

D = น้ำหนักดินที่แห้ง

3. การหาค่าความแข็งแรง ใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งแรง (Modulus of rupture)

4. ความทนไฟ ใช้วิธีการสังเกตการหลอมเหลวของเนื้อดิน

5. สี ใช้วิธีการเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน Fan 4 The royal Horticltural Society London

6. ความเหมาะสมในการขึ้นรูป ใช้การพิจารณาค่าเฉลี่ยจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการการทดสอบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหาย

1.1 สมบัติทางกายก่อนการเผาค่าความหดตัวร้อยละ 5 ค่าความแข็งแรง 25.50 kg/cm^2

1.2 สมบัติทางกายภาพหลังการเผา

1.2.1 ค่าความหดตัว ปรากฏว่าในที่อุณหภูมิ 800°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 6.00 และ ที่อุณหภูมิ 900°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 7.00 ที่อุณหภูมิ 1000°C มีค่าความหดตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ร้อยละ 7.50 ที่อุณหภูมิ 1100°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 9.00 ที่อุณหภูมิ 1200°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 12.00 และที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 13.00

1.2.2 ค่าความดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิ 800°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.50 ที่อุณหภูมิ 900°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 18.30 ที่อุณหภูมิ 1000 °C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 12.40 ที่อุณหภูมิ 1100 °C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 8.60 ที่อุณหภูมิ 1200°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 4.50 และที่อุณหภูมิ 1250°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.10

1.2.3 ค่าความแข็งแรง ที่อุณหภูมิ 800°C ค่าความแข็งแรง 30.30 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 900°C ค่าความแข็งแรง 33.20 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1000°C ค่าความแข็งแรง 47.60 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1100°C ค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 76.10 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1200°C มีค่าความแข็งแรง 132.20 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความแข็งแรง 165.40 kg/cm^2

1.2.4 สีภายหลังการเผา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสีของเนื้อดินปั้นจะเข้มขึ้นโดยการเกิดสีตั้งแต่ น้ำตาลส้ม-น้ำตาลดำ

2. สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

2.1 ค่าความหดตัว ปรากฏว่าในที่อุณหภูมิ 800°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 6.00-7.00 และที่อุณหภูมิ 900°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 7.00-7.50 ค่าความหดตัวไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง ที่อุณหภูมิ 1000°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 7.50-8.00 ที่อุณหภูมิ 1100°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 9.50-10.50 ที่อุณหภูมิ 1200°C มีค่าความหดตัวร้อยละ13.00-14.00 และที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความหดตัวร้อยละ 14.80-15.00

2.2 ค่าความดูดที่อุณหภูมิ 800°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 18.30-20.40 ที่อุณหภูมิ 900°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 18.10-19.00 ที่อุณหภูมิ 1000 °C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 11.00-12.00 ที่อุณหภูมิ 1100 °C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 6.00-6.50 ที่อุณหภูมิ 1200°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 3.00-3.50 และที่อุณหภูมิ 1250°C ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00-0.06

2.3 ค่าความแข็งแรง ที่อุณหภูมิ 800°C ค่าความแข็งแรง 32.92-37.38 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 900°C ค่าความแข็งแรง 38.22-39.54 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1000°C ค่าความแข็งแรง 49.26-50.48 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1100°C ค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 82-89 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1200°C มีค่าความแข็งแรง 150-155 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ1250°C มีค่าความแข็งแรง190-214 kg/cm^2

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.4 สีภายหลังการเผา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสีของเนื้อดินปั้นจะเข้มขึ้นโดยการเกิดสีตั้งแต่ น้ำตาลส้ม-น้ำตาลดำ

3.ความเหมาะสมกับการขึ้นรูปทั้งวิธีการหล่อและแป้นหมุนอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก

อภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้มีหัวข้อที่น่าสนใจสมควรอภิปรายตามหัวข้อจุดประสงค์ของการวิจัยได้ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของดินวัดตาปะขาวหายจากการศึกษาตามตัวแปรต่างๆ มีจุดที่น่าสนใจคือ สมบัติภายหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก มีความเหมาะแก่การปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาต่อไป

2. สมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นภายหลังการเผา

2.1 ค่าความหดตัว ปรากฏว่าในที่อุณหภูมิ 800°C และ 900°C ค่าความหดตัวไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1000°C, 1100°C, 1200°C และ1250°C ในทุกส่วนผสมจะมีค่าความหดตัวสูงขึ้นตามลำดับอย่างเห็นได้ชัด

2.2 ค่าความดูดซึมน้ำ ส่วนใหญ่จะมีความสอดคล้องกับค่าความหดตัว นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการดูดซึมน้ำจะลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 1250°C ต่ำสุดถึง 0.00% ในส่วนผสมที่ 5-10 ซึ่งมีดินขาวลำปาง 25-45 %

2.3 ค่าความแข็งแรง ที่อุณหภูมิ 800°C, 900°C และ 1000°C มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกันระหว่าง 32-49 kg/cm^2 แต่เมื่ออุณหภูมิ 1100°C ค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 82-89 kg/cm^2 ในขณะที่อุณหภูมิ 1200°C มีค่าความแข็งแรง150-155 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าความแข็งแรง 190-214 kg/cm^2 แสดงว่าค่าความแข็งแรง เป็นไปตามปกตินั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื้อดินปั้นจะพยายามหลอมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นส่งผลให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

2.4 สีภายหลังการเผา ถือว่ามีความเป็นปกติคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสีของเนื้อดินปั้นจะเข้มขึ้นโดยการเกิดสีตั้งแต่ น้ำตาลส้ม-น้ำตาลดำ อันเกิดจากปริมาณของ Fe_2O_3 ที่มีอยู่ในดินวัดตาปะขาวหายในปริมาณค่อนข้างมาก

3. ความเหมาะสมกับการขึ้นรูปทั้งวิธีการหล่อและแป้นหมุนจะเห็นว่ามีความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากดินแหล่งวัดตาปะขาวหายมีคุณสมบัติความเหนียว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ที่พอเหมาะจึงมีความหดตัวที่ดีนั่นคือไม่มากเกินไป ประกอบกับการผสมดินขาวลำปางซึ่งเหมาะกับการขึ้นรูปทั้งสองวิธีอยู่แล้ว

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเผยแพร่ผลการวิจัยนี้ และส่งเสริมให้นำไปสู่การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประจำหมู่บ้านวัดตาปะขาวหายด้วยกระบวนการฝึกอบรมโดยเริ่มต้นจากการพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมที่มีประสิทธิผลและประสิทธิภาพ และจัดการฝึกอบรมแก่ประชากรกลุ่มเป้าหมาย

2. ควรมีการศึกษาวิจัยแหล่งดินอื่นๆ ในทำนองเดียวกันโดยยึดหลักความความเป็นไปได้ในการนำดินแหล่งนั้นมาใช้ประโยชน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บรรณานุกรม

โกมล รักษ์วงศ์. **วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น.** วิทยาลัยครูพระนคร : กรุงเทพฯ, 2531.

กรมวิทยาศาสตร์. **เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผาครั้งที่ 1.** กระทรวงอุตสาหกรรม : กรุงเทพฯ, 2513.

ทวี พรหมพฤกษ์. **เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ : กรุงเทพฯ, 2523.

ทวี พรหมพฤกษ์. **เตาและการเผา.** หน่วยศึกษานิเทศก์กรมการฝึกหัดครู, 2525.

บัญชา ชื่นจิต. **การพัฒนาดินดำจังหวัดสุรินทร์เพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อสำหรับสร้างผลิตภัณฑ์สโตนแวร์** .ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2541.

ปราณี แจ่มขุนเทียน. **แนวทางอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมเมืองพิษณุโลก**.ม.ป.ท.2536.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. **เซรามิกส์.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพฯ ครั้งที่ 4, 2539.

สมศักดิ์ วังศิริกุล. **การพัฒนาดินเหนียวจังหวัดกำแพงเพชรเพื่อการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อสำหรับสร้างผลิตภัณฑ์สโตนแวร์.** ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, 2534.

สมบูรณ์ สารสิทธ์. **การทดลองเนื้อดินปั้นจากดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อและมีการเคลือบที่เหมาะสม.** ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, 2539.

สุภาภรณ์ สงวนให้ .**เอกสารประกอบการเรียนสังคมศึกษา รายวิชาส071ท้องถิ่นของเรา1. จังหวัดพิษณุโลก**.ม.ป.ท.2537.

สุรภิญโญ พลาพล. การอนุรักษ์และสืบสาน**วัฒนธรรมเครื่องปั้นดินเผาวัดตาปะขาวหาย อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก**.ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต :มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.2543

ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซรามิกส์** ม.ป.ท., 2538.

อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิสภา. **คุณลักษณะของแร่.** โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด : กรุงเทพฯ. 2537.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

Fournier, Robert. **Illustrated Dictionary of Practical Pottery.** Newyork ; Van Vastrand Reenhold Company, 1977.

Frank and Janet Hamer. **The Pottery's Dictionary of Materials and Techniques.** London ; A & C Black (publisher) Limited, 1997.

Norton F.H. **Element of ceramics.** United stated of America ; Addison wesley Publishing Company Inc., 1952.

Rhodes, Danial. **Stoneware and porcelain the Art of High – Fired Pottery.** Pennsylvania ; Chilton Book Company, 1959.

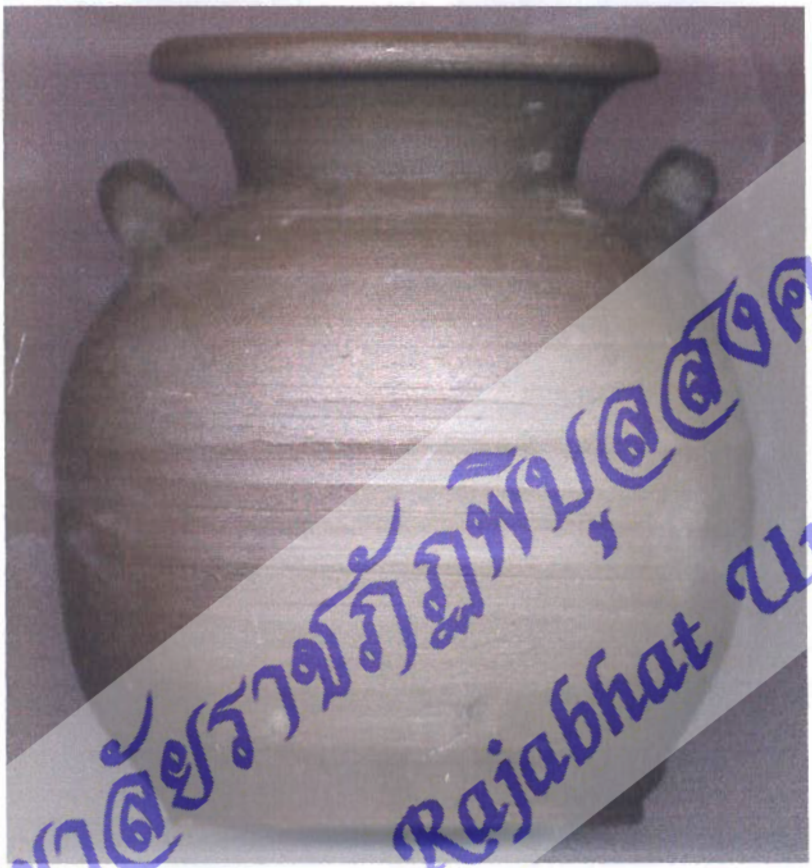
Singer S. Sonja. **Industrial Ceramics.** London; Chapmen and hall LTD., 1960.

W. E. Worrall. **Materials.** London; Maclaven and Son LTD., 1964.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

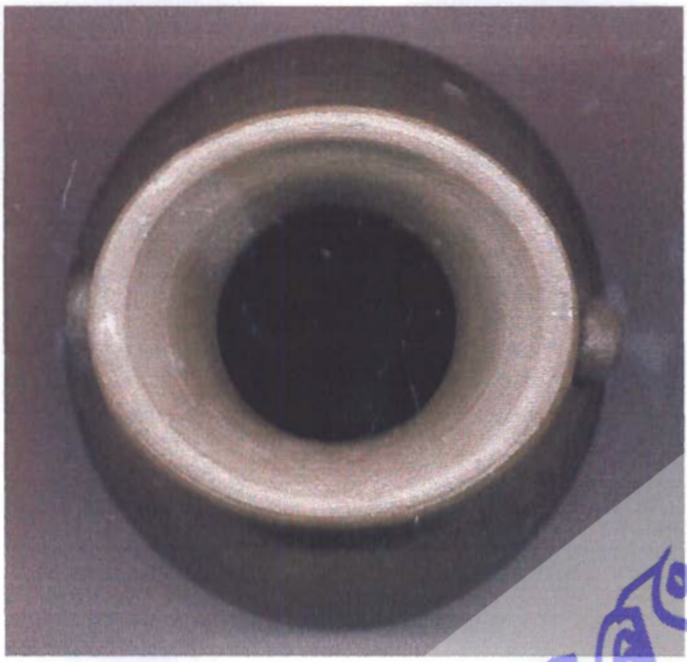
ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 17 ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่ขึ้นรูปด้วยวิธีแป้นหมุน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



ภาพประกอบ 18 ส่วนบนของผลิตภัณฑ์ ภายหลังการเผา

ภาพประกอบ 19 ส่วนล่างของผลิตภัณฑ์ ภายหลังการเผา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาพประกอบ 20 ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบพิมพ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาพประกอบ 21 ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่เคลือบแล้ว

ภาพประกอบ 22 ผลิตภัณฑ์จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายที่เคลือบบางส่วน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาพประกอบ 23 แจกันมีหู จากแหล่งดินวัดตาปะขาวหายภายหลังการเผา

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายนิวัตร พัฒนะ

ประวัติการศึกษา

2519	ประถมศึกษาจากโรงเรียนวัดโชติเขมาราม อ.บางประหัน จ.พระนครศรีอยุธยา
2523	มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย
2528	คบ.อุตสาหกรรมศิลป์ (เครื่องปั้นดินเผา) จากวิทยาลัยครูพระนคร
2534	กศ.ม.อุตสาหกรรมศิลป์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
2542	กำลังศึกษาระดับปริญญาเอก ครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาการบริหารอาชีวศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

2528	อาจารย์ 1 ระดับ 3 วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม จ.พิษณุโลก
2535-2540	หัวหน้าภาควิชาหัตถศึกษาและอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม จ.พิษณุโลก
2540-ปัจจุบัน	ประธานโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ และรักษาการรองคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University