

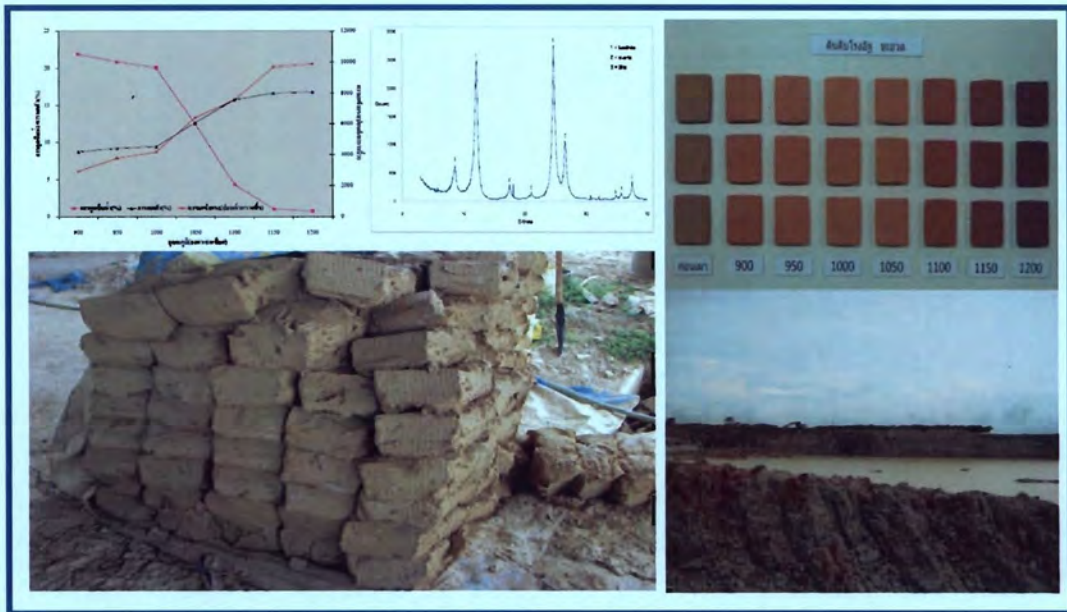
# รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก: ปีที่ 4 (ภาคใต้)

Upgrading of Ceramic Raw Material and Products for Ceramic Industry: Year IV (Southern Part)

ฉบับที่ 3

การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียว



เสนอ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

โดย

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2554

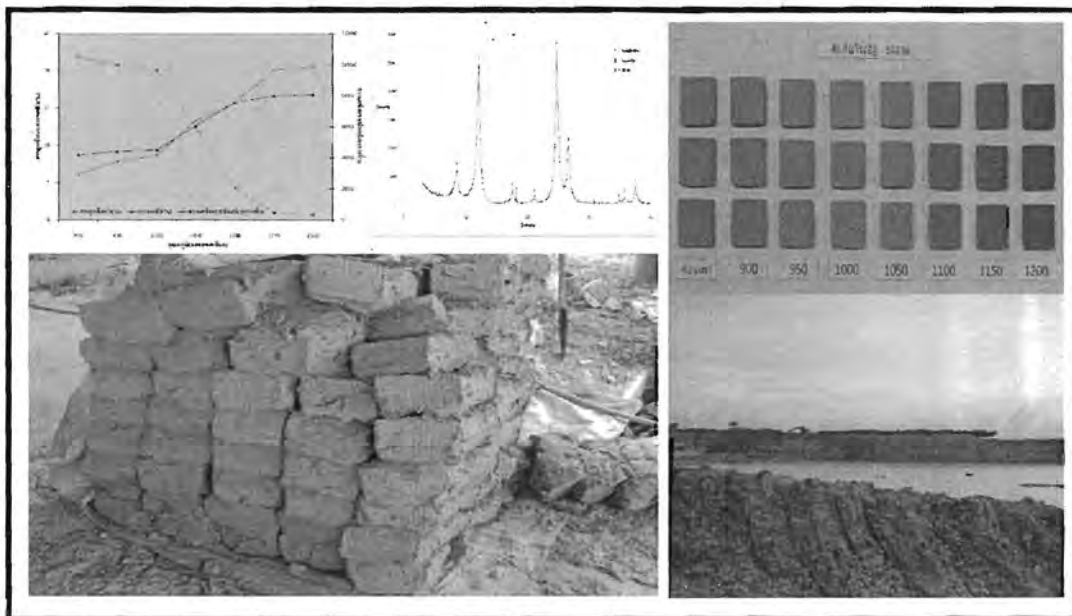
# รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก: ปีที่ 4 (ภาคใต้)

Upgrading of Ceramic Raw Material and Products for Ceramic Industry: Year IV (Southern Part)

ฉบับที่ 3

การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียว



เสนอ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

โดย

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2554

i 27966641

คณะผู้วิจัย

เลขหมู่  
เลขทะเบียน 017737  
วัน เดือน ปี 6 มี.ค. 61

คณะที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ดร. ชานู จรรย์วนิชย์  
อดีตผู้เชี่ยวชาญ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม
3. รองศาสตราจารย์ คณิศ อารยะพงศ์  
อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นางปนัดดา มณีโรจน์  
เลขานุการสถาบัน สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัย

1. อาจารย์ ดร. สิริพรรณ นิสไพรัช (หัวหน้าโครงการ)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มที่ 1 การบริหารและประสานงานโครงการ  
หัวหน้ากลุ่มที่ 3 การทดสอบสมบัติดินเหนียว
2. ศาสตราจารย์ ดร. ธนวัฒน์ จารุพงษ์  
อาจารย์ประจำภาควิชาธรณี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มที่ 2 การสำรวจปริมาณและคุณภาพของดินเหนียว
3. อาจารย์ ดร. สรินทร์ ลิ้มปนาท  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มที่ 4 การพัฒนาปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์
4. รองศาสตราจารย์ ดร. อรพินท์ พานทอง  
อาจารย์ประจำภาควิชาการออกแบบอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มที่ 5 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์
5. อาจารย์ ดร. ณีฎฐิตา ชวนเกริกกุล  
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มที่ 6 การจัดทำฐานข้อมูล
6. นางสาวปราณี รัตนวลิตโรจน์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 1)  
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. นางสาวกนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ (นักวิจัยกลุ่มที่ 1)  
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. นางสาวสวลี เสนาพิทักษ์ (ผู้้นักวิจัยกลุ่มที่ 1)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัย

9. นายศรีไฉล ขุนทน (นักวิจัยกลุ่มที่ 2)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)  
อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. อาจารย์ ดร. กฤษณา ทิรเลิศมุกด (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)  
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. อาจารย์ ดร. รัฐพล รั้งกฤษณ์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)  
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. ดร. สุพิน แสงสุข (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. นายอดิศักดิ์ ถือพลอย (ผู้ช่วยวิจัยกลุ่มที่ 4)  
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16. นางสาวนุชรดา โชติอุดมรัตน์  
ผู้ประสานงานโครงการ
17. นายเกรียงไกร ยอดชมภู  
ผู้ช่วยวิจัย
18. นางสาวสุชาวีศน์ อัครมณีกาญจน์  
ผู้ช่วยวิจัย

## รายงานการศึกษา

รายงานการศึกษาประกอบด้วยรายงานฉบับสมบูรณ์ จำนวน 6 ฉบับ คือ

- ฉบับที่ 1 ข้อมูลโครงการและการจัดการ  
การคัดเลือกแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเป้าหมาย  
สถานภาพและการประเมินการพัฒนาหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเป้าหมาย
- ฉบับที่ 2 การสำรวจปริมาณสำรองดินเหนียววัตถุดิบ
- ฉบับที่ 3 การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียว
- ฉบับที่ 4 การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
- ฉบับที่ 5 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์
- ฉบับที่ 6 การอบรม ประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่ผลงานประจำปี  
การจัดทำฐานข้อมูลแหล่งดิน

## บทคัดย่อ

การตรวจสอบสมบัติดินเหนียว ได้ใช้ดินเหนียวตัวอย่างของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งได้จากแหล่งต่างๆ คือ ดินเหนียวชั้นบน และดินเหนียวชั้นล่าง อำเภอท่าศาลา ดินเหนียวโมคลาน (เนื้อดินปั้น) อำเภอท่าศาลา ดินเหนียวบ้านท่าเตียน อำเภอเมือง ดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ ดินเหนียว ตำบลท่าประจะ และ ดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้นำมาวิเคราะห์และตรวจสอบบัติต่างๆ คือ องค์ประกอบทางเคมี แร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติการขึ้นรูป และสมบัติหลังการเผา เพื่อให้ได้ทราบสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความลักษณะของดินเหนียวที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

ผลการตรวจสอบสมบัติต่างๆ สรุปได้ว่า ดินทุกแหล่งมีปริมาณซิลิกา และอลูมินา ระหว่าง 57.15-74.5% และ 14.82-27.37% ตามลำดับ และมีปริมาณรวมของ  $Fe_2O_3$  และ  $TiO_2$  ระหว่าง 3.14-7.29% ดินจึงมีสีเข้มหลังเผา ในขณะที่ปริมาณรวมของสารช่วยลดอุณหภูมิการเผา ค่อนข้างต่ำ 2.27-3.48% ยกเว้น ดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ที่มีค่าสูง 5.20% และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลัง 4.68-8.99% ดินจากทุกแหล่งมีแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ ยกเว้น เนื้อดินปั้น โมคลาน ดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ และดินเหนียวประจะ อำเภอชะอวด ที่มีแร่สมกไทต์ ดินส่วนใหญ่มีค่าการคายน้ำประมาณ 325 เมช สูง 7.22-27.27 ยกเว้นดินเหนียวท่าประจะและดินเหนียวท่าเสม็ดที่มีค่าต่ำ (< 5%) ดินเกือบทุกแหล่ง มีปริมาณอนุภาคดินขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน สูงกว่า 50 % ยกเว้น ดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ ที่มีค่าต่ำ (43.6%) นอกจากนี้ค่าเมทิลีนบลูอินเด็กซ์และดัชนีพลาสติกของดินทุกแหล่งมีค่า 5.33-11.29 มิลลิอิกวิวาเลนซ์/100กรัม และ 18-34 ตามลำดับ ดินส่วนใหญ่ต้องการน้ำที่ใช้ผสมเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ 21.03- 24 % ยกเว้นดินเหนียวชั้นบน อำเภอท่าศาลา ที่ต้องการน้ำผสมสูง 31 % เนื่องจากมีอนุภาคขนาดละเอียดมาก สำหรับค่าการหดตัวและความแข็งแรงของดินทุกแหล่ง มีค่า 5.48-8.12% และ 335.25-1,357 psi ตามลำดับ ดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์มีเหล่านี้ต่ำเพราะมีปริมาณอนุภาคขนาดคอลลอยด์ (< 2 ไมครอน) น้อย ดินทุกแหล่งมีช่วงการเผาที่ไม่กว้างนักและทนไฟได้สูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส ยกเว้นดินเหนียวชั้นบนท่าศาลา และดินเหนียวบ้านท่าเตียนที่ทนไฟได้ต่ำกว่านี้ ดินหลังเผามีสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลแดงเข้ม และมีสมบัติทั้งที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือส่วนผสมในการผลิตงานหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน

### ABSTRACT

Clay of pottery factory in Nakhon Si Thammarat Province from different location i.e. *Top and under* clay in Thasala (TT and UT ,respectively ) Mo-Ka-Lan clay body (MB) , Ban Ta Tien clay (BT) in Mueang, Ron Phibun clay (RP) in Ron Phibun ,Tha Pa Ja and Tha Sa Met clay (TJ and TM, respectively) in Cha-uat were investigated. In this study chemical and mineralogical composition, physical, forming, and fired properties were carried out in order to determine their specification for application in ceramic industry.

Result showed that in most clays contented silica and alumina in the range of 57.15 -74% and 20.62- 27.37 %, respectively,. Clays had amount of iron oxide and titanium oxide from 3.14 % to 7.29 % resulted in reddish after firing. The amount of fluxing oxide alkaline ( $\text{NaO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) and alkaline earth (MgO and CaO) of all samples were quite low (2.27-3.48%), except in BT clay (5.20%) .Clays presented the loss of ignition in the rang of 4.68% to 8.99% .The mineralogical composition found in the most of clays was kaolinite, quartz, and illite ,except for MB clay body , TJ and TM clay also had smectite. Most of clays displayed high amount of residue on 325 mesh sieve (7 -27 %), except these of TJ and TM clay (<5%). Clays contain high amount of particle less than 2 micron in diameter (>50 %), except for RP clay (42 %). All clays had methylene blue index and plastic index in the range of 5.33-11.29 meq./100 g and 20-34 ,respectively. Most of clays displayed moisture in the range of 21 % to 24 %, except this of TT clay (30.73%), due to high contain of colloid particle (< 2 micron). Clays presented green shrinkage and strength in the range of 5% to 8 % and 591-1344 psi, respectively which RP had low value in both properties because of small amount of colloid particle. Most of clays displayed not wide in the firing range and could withstand temperature higher than 1200 °C, except these of TT clay and BT clay ( $\leq$  1200°C). After firing, color of all clays was light yellow to dark brown. The clays possess all the properties required to be raw materials for local earthenware products.



## คำนำ

เอกสารเล่มนี้ได้จากการรวบรวมผลงานวิจัยในโครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปีที่ 4 โดยดำเนินงานในแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาภาคใต้ 3 แห่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภออ่อนพิบูลย์ และอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ดินวัตถุดิบจากทั้งหมด 7 แหล่ง คือ 1) ดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา 2) ดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา 3) บ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง 4) เนื้อดินปั้น ตำบลโมคลาน อำเภอท่าศาลา 5) ดินเหนียว ตำบลอ่อนพิบูลย์ อำเภออ่อนพิบูลย์ 6) ดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด 7) ดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด ซึ่งการจัดทำเอกสารมีวัตถุประสงค์เพื่อสรุปผลงานวิจัยและเผยแพร่ให้แก่ผู้ประกอบการ เจ้าหน้าที่ และผู้ที่สนใจทั่วไป เนื้อหาในเล่มได้กล่าวถึง การวิจัยพัฒนาด้านต่างๆ มีทั้งกระบวนการเตรียมดินวัตถุดิบและเนื้อดินปั้น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การแก้ไขปัญหาความเสียหายของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ความรู้ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดินแดงของประเทศไทยสืบไป

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2554.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณท่านที่ปรึกษาทุกท่านสำหรับคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่ง ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อำพน วัฒนรังสรรค์ เป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำในการพัฒนาเคลือบไฟฟ้า (850 องศาเซลเซียส) และขอขอบพระคุณผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกแห่งที่คัดกรองเครื่องปั้นดินเผา โดยเฉพาะผู้มีรายชื่อต่อไปนี้

แหล่งคัดกรองเครื่องปั้นดินเผาโรงอิฐ ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

1. นางไกรรวรา เข้มแดง
2. นางชนพร นพรัตน์
3. นายศักดิ์ เข้มทอง

แหล่งคัดกรองเครื่องปั้นดินเผา บ้านสามร้อยยกกล้า ตำบลหินตก อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

1. นายบุญมา พานันัส

แหล่งคัดกรองเครื่องปั้นดินเผาโรงอิฐ ตำบลชะอวด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

1. นางบุญให้ ลิ้มปานันท์
2. นายสมใจ ทักสิน

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือสำหรับทำการทดลองและนายสมคิด ทองศิลา ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณบุคลากรสำนักงานเลขานุการ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ในการช่วยเหลือด้านเอกสารต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้โครงการฯ สามารถดำเนินการลุล่วงและสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2554



## สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย	II
รายงานการศึกษา	IV
บทคัดย่อ	V
Abstract	VI
คำนำ	VII
กิตติกรรมประกาศ	VIII
สารบัญ	X
สารบัญตาราง	XII
สารบัญรูป	XVI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับดินเหนียว	3
2.1 ปัจจัยที่ควบคุมสมบัติของดินเหนียว	4
2.2 สมบัติทางเซรามิกบางประการของดินเหนียว	5
บทที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมดินและวิธีการ	7
3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน	7
3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน	9
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ในดิน	9
3.4 สมบัติทางกายภาพและเซรามิกบางประการ	10
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	13
บทที่ 4 ผลการศึกษาสมบัติของดินเหนียววัตถุดิบ	15
4.1 ดินเหนียวชั้นบนจากแหล่งดินอำเภอนาทอง จังหวัดนครศรีธรรมราช	15
4.2 ดินเหนียวชั้นล่างจากแหล่งดินอำเภอนาทอง จังหวัดนครศรีธรรมราช	24
4.3 ดินเหนียวบ้านท่าเตียนตำบลปากพูนอำเภอมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช	31
4.4 เนื้อดินปั้น โมกลาน อำเภอนาทอง จังหวัดนครศรีธรรมราช	39
4.5 ดินเหนียว ตำบลร้อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช	46
4.6 ดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอลำดวน จังหวัดนครศรีธรรมราช	53
4.7 ดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอลำดวน จังหวัดนครศรีธรรมราช	60

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุป  
บรรณานุกรม

หน้า

67

71

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 4.1	แสดงผลวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุบจากดินเหนียวชั้นบนจากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	16
ตารางที่ 4.2	แสดงสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	18
ตารางที่ 4.3	แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	19
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	20
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	22
ตารางที่ 4.6	แสดงผลวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุบจากดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	24
ตารางที่ 4.7	แสดงสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	26
ตารางที่ 4.8	แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	27
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	28
ตารางที่ 4.10	แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวชั้นล่างจากแหล่งดิน อำเภอบ้านดง จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)	29

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 4.11	แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูนอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช(กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	32
ตารางที่ 4.12	แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช(กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	34
ตารางที่ 4.13	แสดงปริมาณความชื้นในแห้งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช(กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	35
ตารางที่ 4.14	แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	36
ตารางที่ 4.15	แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	37
ตารางที่ 4.16	แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัดฤทธิจากเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	39
ตารางที่ 4.17	แสดงสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	41
ตารางที่ 4.18	แสดงปริมาณความชื้นในแห้งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	42
ตารางที่ 4.19	แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	43
ตารางที่ 4.20	แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	44
ตารางที่ 4.21	แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	46
ตารางที่ 4.22	แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	48

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.23 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	49
ตารางที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	50
ตารางที่ 4.25 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	51
ตารางที่ 4.26 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัดดูดิบจากดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงอิฐรุ่งโรจน์)	53
ตารางที่ 4.27 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงอิฐรุ่งโรจน์)	55
ตารางที่ 4.28 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงอิฐรุ่งโรจน์)	56
ตารางที่ 4.29 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงอิฐรุ่งโรจน์)	57
ตารางที่ 4.30 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงอิฐรุ่งโรจน์)	58
ตารางที่ 4.31 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงงานชะอวดดินทอง)	60
ตารางที่ 4.32 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา (โรงงานชะอวดดินทอง)	62



## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.33 แสดงปริมาณความชื้นในแห้งดินรัด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานชะอวดดินทอง)	63
ตารางที่ 4.34 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานชะอวดดินทอง)	64
ตารางที่ 4.35 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)	65

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดินเหนียววัตถุบ	8
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว ชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	17
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียวชั้นบน จาก แหล่งดิน อำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	18
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ หลังเผากับอุณหภูมิของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดินอำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	21
รูปที่ 4.4	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวชั้นบน จาก แหล่งดิน อำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	23
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว ชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	25
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียวชั้นล่าง จาก แหล่งดิน อำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	26
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ หลังเผากับอุณหภูมิของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดินอำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	28
รูปที่ 4.8	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวชั้นล่าง จาก แหล่งดิน อำเภอนาทาสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)	30
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว บ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอมืองจังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	33

	สารบัญรูป (ต่อ)	หน้า
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	34
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผากับอุณหภูมิของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช(กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	36
รูปที่ 4.12	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆของดินเหนียว บ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)	38
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	40
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	41
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผา กับอุณหภูมิของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	43
รูปที่ 4.16	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช	45
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	47
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	48
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวหลังเผา ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานจอกน้ำยางบ้านสามร้อยกล้า)	50
รูปที่ 4.20	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)	52

สารบัญรูป (ต่อ)		หน้า
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว ตำบลท่าประจักษ์ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงอิฐรุ่งโรจน์)	54
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียว ตำบลท่าประจักษ์ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงอิฐรุ่งโรจน์)	55
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผาที่อุณหภูมิของแหล่งดินเหนียว ตำบลท่าประจักษ์ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงอิฐรุ่งโรจน์)	57
รูปที่ 4.24	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ แหล่งดินเหนียว ตำบลท่าประจักษ์ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงอิฐรุ่งโรจน์)	59
รูปที่ 4.25	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวดจังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)	61
รูปที่ 4.26	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)	62
รูปที่ 4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผา กับอุณหภูมิของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)	64
รูปที่ 4.28	ลักษณะสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ แหล่งดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)	66



## บทที่ 1

### บทนำ

ดินเหนียว (clay) เป็นวัตถุดิบหลักของเครื่องปั้นดินเผา คุณภาพของดินเหนียวจึงมีผลอย่างยิ่งต่อเครื่องปั้นดินเผาทั้งด้านคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากในธรรมชาติของดินเหนียวแต่ละแหล่งหรือแม้แต่ในแหล่งเดียวกัน จะมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นกับวัตถุดิบกำเนิดและสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ดินเหนียวมีคุณภาพที่หลากหลาย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ควรทราบสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวที่สำคัญ อาทิ องค์ประกอบทางเคมี ชนิดแร่องค์ประกอบ การกระจายตัวของขนาดอนุภาค สมบัติการขึ้นรูป สมบัติหลังการเผา เพื่อให้สามารถควบคุมการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามต้องการ

การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียวอาจใช้วิธีการแบบภูมิปัญญาชาวบ้านซึ่งทำได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถทดสอบได้ในภาคสนาม กับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีอุปกรณ์และขั้นตอนซับซ้อนแต่มีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่า เป็นที่ยอมรับของอุตสาหกรรมและวิชาการในวงการเซรามิก อย่างไรก็ตามการตรวจสอบสมบัติของดินไม่ว่าเป็นแบบใด ความสำคัญอยู่ที่สามารถนำผลการทดสอบมาสื่อได้ถึงคุณภาพของดินวัตถุดิบ เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

ในโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติและคุณภาพของดินเหนียววัตถุดิบทั้ง 7 แหล่ง คือ

1. ดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช
2. ดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช
3. ดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
4. เนื้อดินปั้นโมคลาน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช
5. ดินเหนียว ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
6. ดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช
7. ดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

ซึ่งข้อมูลสมบัติดินที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นข้อมูลให้กับภาคอุตสาหกรรมเซรามิก หรือใช้อ้างอิงในเชิงวิชาการต่อไป



## บทที่ 2

### ข้อมูลเกี่ยวกับดินเหนียว

วัตถุดิบในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาสามารถจำแนกตามลักษณะทางกายภาพซึ่งต้องการนำไปใช้งาน ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ช่วยในการขึ้นรูป ได้แก่ ดินเหนียวหรือวัตถุดิบที่มีความเหนียว ซึ่งต้องสามารถเปลี่ยนรูปได้ง่าย และไม่แตกหัก (deform easily and without rupture) สามารถคงรูปร่างหลังการขึ้นรูป มีความแข็งแรงหลังแห้งเพียงพอที่นำสู่กระบวนการขึ้นตอนต่อไป กลุ่มสารลดอุณหภูมิในการเผา (flux) ช่วยทำให้เกิดเนื้อแก้ว เมื่อทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ในขณะที่เผา ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ และกลุ่มวัสดุที่ไม่มีความเหนียว (non-plastic materials) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงหรือการคงรูปร่างให้ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาจมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ อาทิ ความแข็งแรง (Allen Dinsdale, 1986) ในบรรดาสิ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดินเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีส่วนผสมของเนื้อดิน โดยน้ำหนักตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป ดังนั้นคุณภาพของดินจึงมีบทบาทที่สำคัญในควบคุมคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ ด้านต่างๆ อาทิ สี ความแข็งแรง เนื้อ ความละเอียดของผลิตภัณฑ์

ดินวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเนื้อดินปั้นในอุตสาหกรรมเซรามิก (ไพจิตร, 2541; พิกุลทอง, 2541; ปรีดา, 2540; อายุวัฒน์, 2543) ประกอบด้วย ดินขาว (kaolin, china clay) ดินเหนียว (clay) ดินบอลเคลย์ (ball clay) และดินเบนทอไนต์ (bentonite) อย่างไรก็ตามสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ต้องการสีธรรมชาติและเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักคือ ดินเหนียว และดินบอลเคลย์ สำหรับดินเหนียวเป็นดินเนื้อละเอียดที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูงไม่บริสุทธิ์เหมือนดินขาวเมื่อขุดพบมีสีต่าง ๆ เช่น สีเหลือง สีเทา สีดำ หรือสีส้มแดงหลังการเผาดินก็จะมีสีต่าง ๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดง หรือสีเหลือง ส่วนดินบอลเคลย์ เกิดจากการเคลื่อนย้ายของตะกอนดินหรือการพัดพาตะกอนดิน (sedimentary clay) ที่มีอนุภาคขนาดเล็กไปตกตะกอนสะสมในแหล่งใหม่ ดินบอลเคลย์เป็นดินที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากจะยึดเกาะกันได้ดี มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่สูงจึงช่วยให้ดินชนิดนี้มีความเหนียวและทำให้มีสีเปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิสูงเนื้อดินจะมี สีขาวหรือสีครีม เนื่องจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ จะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน ดินบอลเคลย์จัดว่าเป็นดินเหนียวประเภทหนึ่งด้วยแต่ดินบอลเคลย์แตกต่างจากดินเหนียวคือ ดินบอลเคลย์มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในปริมาณต่ำค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่ดินเหนียวทั่วไปมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่สูง ดินบอลเคลย์บางชนิดมีความเหนียวน้อย บางชนิดเหนียวมาก ดินบอลเคลย์แต่ละแหล่งมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน (Ryan และคณะ, 1989)



ปกติดินบดเคลย์มีความละเอียดมาก มีความเหนียวดี เมื่อแห้งหรือเผาจะมีความแข็งแกร่ง ดินบดเคลย์ที่ได้จากแหล่งที่มีซิลิกาสูงจะมีแร่ดินลดลง ค่าความเหนียว การหดตัวและความแข็งแรงก่อนเผาน้อยกว่าดินบดเคลย์ที่มีอลูมินาสูง ค่าการหดตัวของดินบดเคลย์ที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาควรมีค่าการหดตัวเชิงเส้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (Ryan และคณะ, 1989) ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวนอกจากอนุภาคขนาดละเอียดแล้ว ชนิดของแคลทอออนก็มีผลเช่นกัน โดยดินที่มี  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $H^+$  จะมีการหดตัวมากกว่าดินที่มี  $Na^+$  และ  $K^+$  นอกจากนี้แคลทอออนยังมีผลต่อความแข็งแรง คือ ดินที่มี  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $H^+$  จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าดินบดเคลย์ที่มี  $Na^+$  และ  $K^+$

## 2.1 ปัจจัยที่ควบคุมสมบัติของดินเหนียว

### 2.1.1 องค์ประกอบของแร่ดิน

แร่ดินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ดินมีความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้และทำให้ผลิตภัณฑ์ก่อนเผามีความแข็งแรงเพื่อนำไปผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างการขึ้นรูปและการเผาได้อย่างปลอดภัย แร่ดินที่พบในดินเหนียวส่วนใหญ่คือ แร่เคลโอสิไนต์ นอกจากนี้ก็มีแร่ดินอื่น ๆ ได้แก่ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ แร่อีลไลต์ แร่คลอไรต์ แร่ดินแต่ละชนิดมีสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดินเหนียวที่มีชนิดและปริมาณแร่เหล่านี้แตกต่างกันก็มีสมบัติแตกต่างกัน อาทิ ดินเหนียวที่มี มอนต์มอริลโลไนต์ ผสม 15-25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้แห้งช้า มีการหดตัวมากจึงแตกได้ง่าย แร่อีลไลต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และแร่คลอไรต์ ทำให้ช่วงการสุกตัวของดินเหนียวแคบกว่าแร่เคลโอสิไนต์ ในการเผายังต้องมีการควบคุมเตาอย่างระมัดระวัง เป็นต้น

### 2.1.2 องค์ประกอบของแร่ที่ไม่ใช่แร่ดิน

องค์ประกอบของแร่ที่ไม่ใช่แร่ดินมีความสำคัญในการนำดินเหนียวมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ปริมาณแคลไซต์ (calcite) และไพไรต์ (pyrite) เพียงเล็กน้อยอาจทำให้ลดคุณภาพดินเหนียวที่นำมาใช้งานด้านเซรามิก ดังนั้นการวิเคราะห์ให้ทราบชนิดและปริมาณของแร่ที่ไม่ใช่แร่ดิน จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง ก่อนที่จะทราบว่าดินเหนียวนั้นมีสมบัติการใช้งานอย่างไร

### 2.1.3 ปริมาณสารอินทรีย์

สารอินทรีย์พบได้เสมอในดิน โดยอาจเป็นเศษชิ้นส่วนหรือดูดซับอยู่บนผิวของอนุภาค ปริมาณสารอินทรีย์สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีเคมี สารอินทรีย์เพียงเล็กน้อยสามารถทำให้เกิดสีในดินและบางชนิดทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเบสมากขึ้น

### 2.1.4 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและเกลือที่ละลายน้ำได้

การแลกเปลี่ยนไอออนหรือเกลือที่ละลายน้ำได้ในดินมีผลต่อสมบัติการใช้งานของดินอย่างมาก เกลือบางชนิดทำให้ดินตกตะกอนและยากต่อการทำให้กระจายตัว ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในอุตสาหกรรมเซรามิกและเคมี สำหรับในอุตสาหกรรมเซรามิก การแลกเปลี่ยนไอออนส่งผลต่อสมบัติของดินหลายประการ เช่น ความเหนียว สมบัติหลังการอบแห้งและสมบัติหลังเผา

### 2.1.5 เทกซ์เจอร์ (texture)

เทกซ์เจอร์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของดิน เทกซ์เจอร์กำหนดโดยความสัมพันธ์ระหว่างเกรนกับเกรนในดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะการกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) รูปร่างของอนุภาค และการเรียงตัวของอนุภาคขนาดอนุภาคของดินเหนียวเป็นสมบัติที่สำคัญในการนำดินเหนียวไปใช้ประโยชน์ในด้านเซรามิก

ในบรรดาวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิก ดินนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมบัติ ที่แสดงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และสมบัติของดินใด ๆ จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและสัดส่วนของสิ่งเจือปน ดังนั้นในการนำดินมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องศึกษาและเข้าใจถึงสมบัติของดินต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพตามต้องการ และลดความเสียหายในกระบวนการผลิต (สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, 2545 และ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, 2546)

## 2.2 สมบัติทางเซรามิกบางประการของดินเหนียว

ดินเหนียวแต่ละแหล่งมีสมบัติที่หลากหลาย ในการนำดินเหนียวมาใช้ในด้านเซรามิกนั้น มีสมบัติทางเซรามิกบางประการของดินเหนียวที่ควรคำนึงถึง (Gillson, 1960) ดังนี้

### 2.2.1 ความแข็งแรง (strength)

ความแข็งแรงของดินและเนื้อดินปั้นในทางเซรามิกทั้งก่อนเผาและหลังเผา เป็นสมบัติที่สำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่อกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกและการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ อาทิ ผลิตภัณฑ์ดิบที่ไม่แข็งแรงอาจเกิดความเสียหายเนื่องจาก การแตกหักระหว่างการเคลื่อนย้ายหรือเผา ความแข็งแรงของดินเหนียวสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนอนุภาคที่มีขนาดเล็ก รูปร่างของอนุภาค และระดับของการไฮเดรชัน (hydration) ของอนุภาคคอลลอยด์และปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ความแข็งแรงวัด ได้จากการดึง (tension) การกด (compression) หรือการวัดความต้านแรงขวาง (transverse)

### 2.2.2 การหดตัว (shrinkage)

การหดตัวของดินและผลิตภัณฑ์เซรามิกเกิดขึ้นทั้งระหว่างกระบวนการอบแห้งและการเผา การหดตัวนอกจากมีผลทั้งต่อขนาดของผลิตภัณฑ์สำเร็จแล้วยังมีอิทธิพลต่อการเกิดแตกร้าวหรือการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวมากหรือเกิดขึ้นเร็วเกินไป การหดตัว หลังการอบแห้งขึ้นกับปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้น ลักษณะเฉพาะของแร่ดินและปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ในดิน การหดตัวหลังการอบแห้งจะสูงในดินที่มีความเหนียวหรือดินที่มีการพองตัวซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกหรือโค้งงอตัว การหดตัวมีค่าต่ำในดินที่มีทรายมาก แต่ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งไม่แข็งแรงและมีรูพรุนมาก การหดตัวหลังการเผาขึ้นกับปริมาณสารที่สลายในขณะเผา นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึก การขจัดน้ำในโครงสร้างของแร่ดินและสมบัติด้านความหนืดหรือแรงดึงผิว

### 2.2.3 ช่วงอุณหภูมิการเกิดเนื้อแก้ว (temperature range of vitrification)

ในการเผาดินเหนียวหรือผลิตภัณฑ์เซรามิก สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงก็คือ ช่วงอุณหภูมิการเกิดเนื้อแก้ว ซึ่งเป็นผลจากแรงค์ประกอบในดินหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อนสูงเพียงพอ ดินเหนียวที่มีช่วงอุณหภูมิเกิดเนื้อแก้วสั้น ต้องระมัดระวังในการเพิ่มอุณหภูมิ และเตาเผา ต้องมีความแม่นยำสูง เพื่อลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจมีการบวมเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงเกินไป การเกิดเนื้อแก้วในดินจะขึ้นกับชนิดของแร่ดินและสารประกอบฟลักซ์ซึ่งออกไซด์ (Fluxing oxide) อาทิ โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) และแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ )

### 2.2.4 สี (color)

สีเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงเมื่อจะเลือกดินมาใช้งานด้านเซรามิก สำหรับการเกิดสีของดินทั้งก่อนและหลังเผานั้นเกิดจากอิทธิพลหลายประการ แต่เหล็กออกไซด์เป็นสารประกอบที่มีผลเด่นชัดที่สุด สีของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับขั้นตอนออกซิไดซ์เหล็ก อาทิ อุณหภูมิการเผา และระดับ การเกิดเนื้อแก้ว ดินที่เผาแล้วให้สีขาวจะต้องมีเหล็กออกไซด์ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ สีเหลืองอ่อน มีเหล็กออกไซด์ 1-5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินที่เผาแล้วให้สีแดงต้องมีเหล็กออกไซด์มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 3

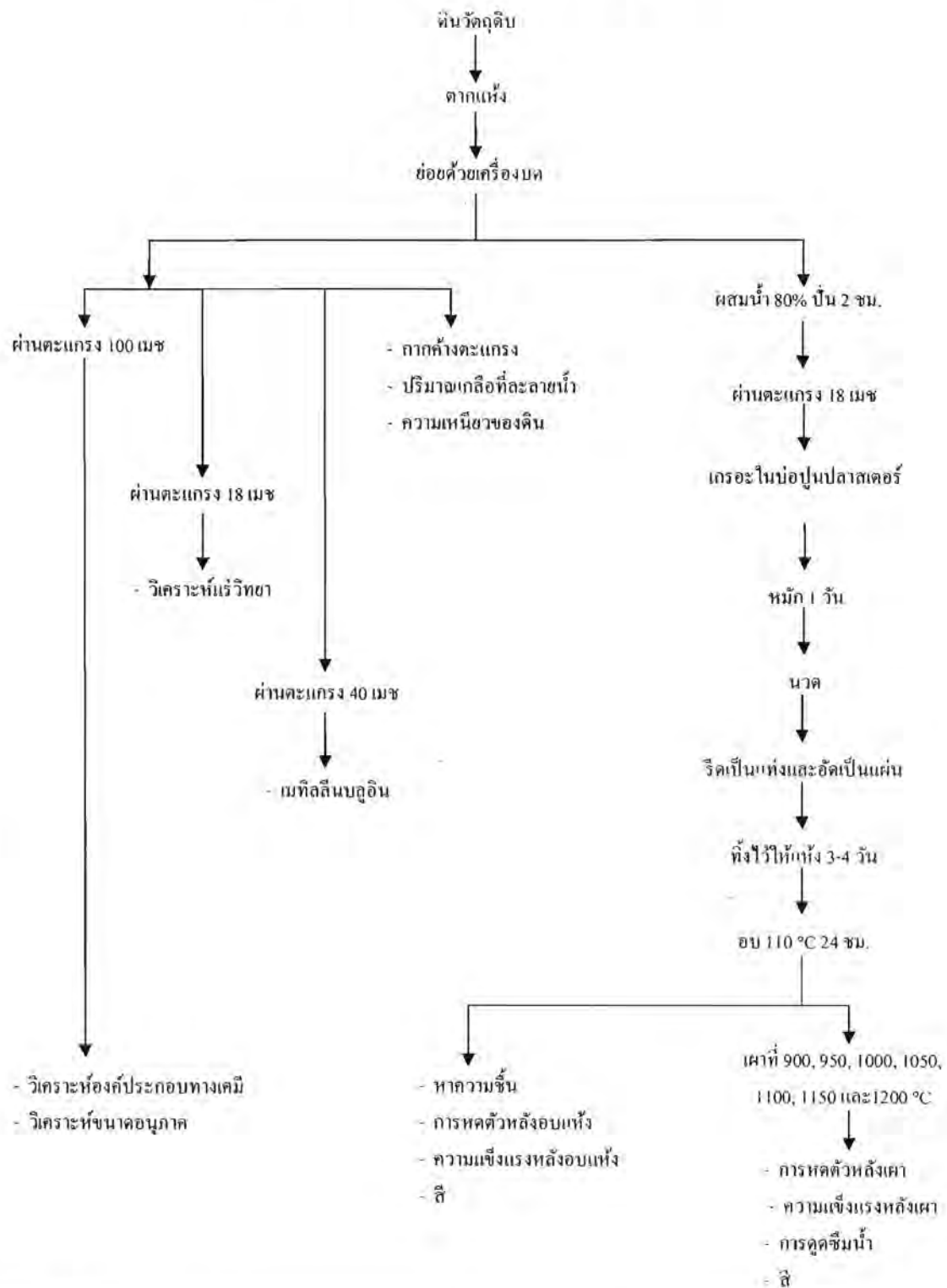
### ขั้นตอนการเตรียมดินและวิธีการ

#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

3.1.1 เก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ทดสอบในแต่ละพื้นที่ในบริเวณที่กำหนด ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ชาวบ้านใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในปัจจุบัน ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดิน แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1.2 การเตรียมเนื้อดินปั้นเพื่อขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบ นำดินที่ผ่านการบดหยาบจากเครื่องบด jaw crusher เตรียมน้ำดิน โดยนำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 18 เมชมาผสมน้ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ปั้นให้ดินกระจายตัวอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และเกรอะในบ่อปูนพลาสติกเพื่อให้ปูนพลาสติกดูดน้ำจากน้ำดิน หมักเนื้อดินปั้นที่ได้จากการเกรอะทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน ทดสอบจับเนื้อดิน ถ้าเนื้อดินไม่ติดมือแสดงว่าสามารถนำไปนวดได้ เมื่อนำไปนวดจนดินมีความเหนียวและสามารถขึ้นรูปได้ นำไปรีดเป็นแท่งดินทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องรีด (extruder) และขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4×4 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องอัดขึ้นงาน หลังตากแห้งนำไปอบแห้งที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแท่งดินมาศึกษาสมบัติต่าง ๆ คือความชื้นในแท่งดินรีด (moisture content) ความแข็งแรงหลังการอบแห้ง (dry strength) การหดตัวหลังการอบแห้ง (dry shrinkage) และวัดสีของดินดิบ

### ขั้นตอนการเตรียมดินและวิธีการวิเคราะห์ดิน



3.1.3 แท่งดินทดสอบหลังผ่านการอบแห้งนำมาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 900, 950, 1,000, 1050, 1100, 1150 และ 1,200 องศาเซลเซียส นำไปทดสอบสมบัติหลังเผา ประกอบด้วย การหัดตัวหลังการเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงหลังการเผาและการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการเผาที่ สำหรับการวัดสี ด้วย เครื่อง colorimeter ต้องขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4x4 เซนติเมตร วัดสีหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เทียบกับสีมาตรฐานของเครื่องวัดสี

### 3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

3.2.1 ปริมาณธาตุรวม (total analysis) ของธาตุ Si, Al, Fe, Ti, Na, Mg, K, Ca, S และ Cl ในดิน โดยวิธี X-ray fluorescence spectrometry (Jones, 1987)

3.2.2 ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity) โดยใช้วิธีการดูดซับสีของ เมทิลีนบลูอินเด็กซ์ (methylene blue index) (ASTM C837-81)

3.2.3 การทดสอบปริมาณซัลเฟตในสารละลายโดยเทคนิค turbid metric method โดยวัดความขุ่นของตะกอน BaSO<sub>4</sub> ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง spectrophotometer (ทัตสันย์ และ จงรักย์, 2542)

### 3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ในดิน

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว (clay minerals) ที่มีขนาดอนุภาคของดินเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis) (ศรี โฉม, 2546; Jackson, 1965; Whittig, 1965) วิธีการเตรียมตัวอย่างอนุภาคดินเหนียว มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 นำตัวอย่างอนุภาคดินเหนียวที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคดินมา หยดบนแผ่นเซรามิก (ceramic plate) โดยการ suction จนอนุภาคดินเหนียวที่ตกตะกอนบนแผ่นเซรามิก มีความหนาพอ โดยทำ 2 แผ่น แผ่นที่หนึ่งทำให้อิ่มตัวในสารละลายโดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 N หยดบนแผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวประมาณ 3 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อล้างโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีมากเกินไปให้หมด (ล้างประมาณ 3 ครั้ง) แล้วจึงล้างด้วย ethyl alcohol จำนวน 1 ครั้ง ส่วนแผ่นที่สองทำให้อิ่มตัวด้วยแมกนีเซียม โดยใช้แมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 N โดยมีขั้นตอนการทำเหมือนแผ่นที่หนึ่ง

3.3.2 แผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวอัดตัวด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ หลังจากที่ทำชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นใน desiccator แล้วนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ อีกครั้งหนึ่ง

3.3.3 แผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวอัดตัวด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ หลังจากที่ทำชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำแผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวอัดตัวด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ ไปทำให้อัดตัวด้วย ethylene glycol แล้วนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ อีกครั้งหนึ่ง

3.3.4 หลังจากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับชนิดของแร่มาตรฐาน (standard minerals) (Whittig, 1965) และประเมินหาปริมาณของแร่ชนิดต่างๆ โดยวิธี relative peak height และ relative peak area (Jackson, 1965; Brindley and Brown, 1980)

### 3.4 สมบัติทางกายภาพและเซรามิกบางประการ

3.4.1 การกระจายความละเอียดของอนุภาค (particle size distribution) วิเคราะห์ทดสอบด้วยเครื่อง particle size analyzer โดยเทคนิค sedimentation method (ASTM C1182-91) เพื่อศึกษาการกระจายความละเอียดของขนาดอนุภาค ผลที่ได้จากการทดสอบนำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน

3.4.2 ทดสอบความเหนียวของเนื้อดิน ใช้วิธีดังนี้

การวิเคราะห์หาค่าพลาสติกจำกัด(Attenberg method)ตามวิธี ASTM D-4318-00

1) นำดินตัวอย่างหุบให้ละเอียดคัดขนาดผ่านตะแกรงร่อนขนาด อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน

2) ชั่งดินตัวอย่างปริมาณ 200 กรัม เติมน้ำลงไปทีละน้อยคอยกวนผสมให้เข้ากันด้วยมีดปาดสแตนเลส

3) ตักดินที่ผสมเข้ากันดีแล้วใส่ลงในถ้วยทองเหลืองสำหรับทดสอบปาดหน้าให้สม่ำเสมอ โดยระดับของหน้าดินสูงจากกันถ้วย 1 เซนติเมตร

4) ใช้อุปกรณ์มาตรฐานขีดให้ดินเป็นร่องตรงกลาง

5) เริ่มหมุนให้ก้านถ้วยเคาะกับพื้นในอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อนาที ทำการหมุนและนับจำนวนเคาะไปเรื่อยๆ โดยสังเกตบริเวณร่อง เมื่อเนื้อดินเลื่อนลงมาชนกันมีความยาว 1 เซนติเมตร ให้หยุดหมุนและจดบันทึกจำนวนเคาะ (ถ้าหากจำนวนเคาะเกิน 55 ครั้งให้นำดินมาผสมน้ำใหม่แล้วเริ่มการทดลองตามขั้นตอนที่ 3) ตักดินตัวอย่างบริเวณที่รอยขีดชนกันใส่ถ้วยแล้วชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน

6) นำดินตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 5 มาเติมน้ำเพิ่มแล้วเริ่มทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง ในขั้นตอนที่ 3 โดยให้จำนวนเคาะแต่ละครั้งลดลงอยู่ในช่วง 10-15 เคาะ

7) นำค่าปริมาณน้ำในดินมาพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่จำนวนเคาะ 25 ครั้ง

#### การวิเคราะห์ปริมาณน้ำจำกัด(Pfferkorn method) ตามวิธี ASTM D-4318-00

1) นำดินตัวอย่างมาผสมน้ำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเหนียวที่สามารถปั้นได้ไม่ติดมือ

2) ดินที่ได้ในข้อ 1 นำมาคลึงบนแผ่นอะคริลิกเป็นเส้นให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว คลึงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเส้นดินขนาดออกจากกัน

3) นำดินที่ขาดจากกัน 2-3 ท่อนใส่ถ้วยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบที่ 110 องศาเซลเซียส เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน ทำซ้ำ 3 ครั้ง

#### 3.4.3 การทดสอบความชื้นในแท่งดินรีด (มอก.38-2531) ใช้วิธีดังนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักของแท่งดินรีด (W1)
- 2) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง (W2)
- 3) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในแท่งดินรีด ตามสูตร

$$\% \text{ ความชื้นในแท่งดินรีด} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

W1

3.4.4 การทดสอบความแข็งแรง (strength) หลังอบแห้งและหลังเผาของแท่งดินทดสอบ (ASTM C689-93) โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ



### 3.4.5 การทดสอบการหดตัว (shrinkage) หลังอบแห้งและหลังเผา (ASTM C362-82) โดยใช้วิธีดังนี้

- 1) วัดความยาวของแท่งดินรีดก่อนอบแห้ง (L1)
- 2) วัดความยาวของแท่งดินหลังอบแห้ง (L2)
- 3) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้งหรือหลังเผา ตามสูตร

$$\% \text{ การหดตัวหลังอบแห้ง} = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100$$

$$\% \text{ การหดตัวรวมหลังเผา} = \frac{Lp - Lf}{Lp} \times 100$$

โดยที่: Lp = ความยาวของแท่งดินรีดก่อนอบ  
Lf = ความยาวของแท่งดินหลังเผา

### 3.4.6 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ (water absorption) (มอก.38-2531) ใช้วิธีการดังนี้

- 1) นำชิ้นงานหลังเผาไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
- 2) ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น
- 3) ชั่งน้ำหนัก (W1)
- 4) นำชิ้นงานไปต้มในน้ำร้อน นานอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
- 5) ซับแห้งหมาด ๆ ด้วยผ้าสำลี
- 6) ชั่งน้ำหนัก (W2)
- 7) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ตามสูตร

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100$$

### 3.4.7 การทดสอบน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา (loss on ignition) (ASTM C2773-94) ใช้วิธีการดังต่อไปนี้ คือ

- 1) ชั่งน้ำหนักดินดิบ 2 กรัม ใส่น้ำด้วยเผาสาร (W1)
- 2) เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (W2)
- 3) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังการเผา ตามสูตร

$$\% \text{ น้ำหนักที่หายไปหลังการเผา} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

3.4.8 การทดสอบการเปลี่ยนสีหลังเผา (ASTM E805-94) โดยใช้เครื่อง colormeter วัดสีการเปลี่ยนแปลงหลังการเผา สำหรับสีของแท่งดินทดสอบที่สังเกตด้วยตาเปล่าวัดโดยใช้วิธีเทียบกับสมุดเทียบสีดินมันเชลล์ (munsell soil color book) (Soil Survey Division Staff, 1993)

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางเคมี สมบัติทางแร่วิทยา สมบัติทางกายภาพและเซรามิกบางประการ และปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมลักษณะของดินเหนียวซึ่งมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา รวมถึงลักษณะของดินเหนียวที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในปัจจุบัน เพื่อนำมาประเมินหรือพิจารณาความเหมาะสมของดินเหนียว ในการนำมาใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกหรือเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ต้องใช้ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา



## บทที่ 4

### ผลการตรวจสอบสมบัติดินเหนียววัตถุดิบ

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี แร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติการขึ้นรูป และสมบัติหลังการเผาของดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาภาคใต้ทั้ง 7 แหล่ง จากพื้นที่ต่างๆ คือ ดินเหนียวชั้นบน ดินเหนียวชั้นล่าง ดินเหนียวบ้านท่าเตียน เนื้อดินปั้น โมคลาน ดินเหนียวร้อนพิบูลย์ ดินเหนียวท่าประจะ และดินเหนียวท่าเสม็ด จังหวัดนครศรีธรรมราช มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

(โรงงานเครื่องปั้นดินเผาลูกศักดิ์)

##### 4.1.1 สมบัติทางเคมี

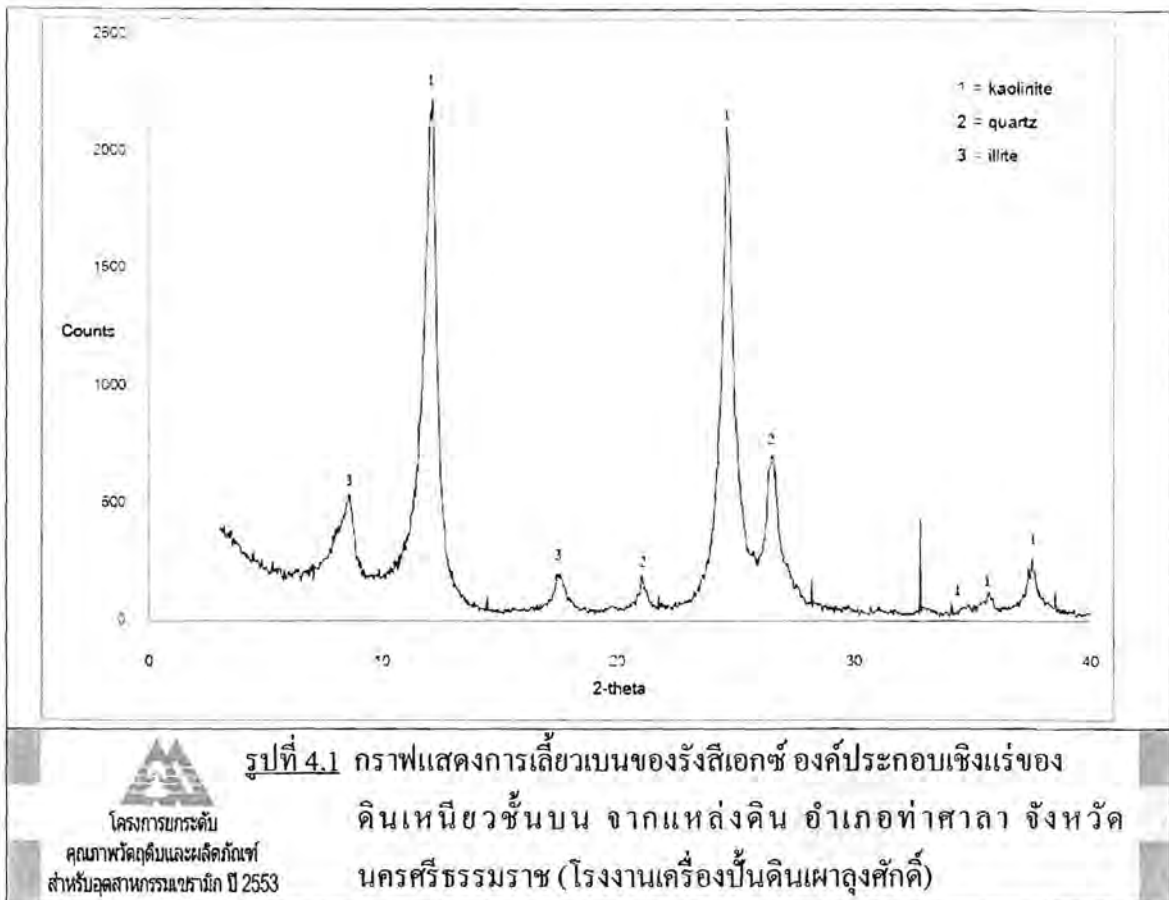
ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวชั้นบนเป็นดินที่มาจากแหล่งดินในอำเภอท่าศาลา พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) (บ่งบอกถึงปริมาณทราย) ค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 57.14 อลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (บ่งบอกถึงปริมาณเนื้อดิน) สูง ร้อยละ 27.37 จึงมีเนื้อดินมากและมีทรายนพอสสมควร มีปริมาณสารที่ทำให้เกิดสีคือ เหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันค่อนข้างสูง ร้อยละ 4.28 หลังเผาจึงมีสีแต่ไม่เข้มนัก สารช่วยลดการสุกตัว แอลคาไลน์ (Alkaline) คือ โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) และโปแตสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) และแอลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth) คือ แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) และแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ) มีปริมาณรวมกัน ร้อยละ 3.01 ซึ่งไม่สูงนัก สารเหล่านี้ทำให้เกิดเนื้อแก้วในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ถ้าต้องการเพิ่มความแข็งแรงให้สูงและไม่เปื่อยยุ่ยง่ายต้องเติมสารลดการสุกตัวของเนื้อดินหรือเพิ่มอุณหภูมิการเผาให้สูงกว่าเดิม นอกจากนั้นเมื่อผ่านการเผามีการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา (Loss on ignition) ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 8.99 ซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแร่และสารประกอบคาร์บอน (carbonaceous) ดินยังมีค่านี้น้อยก็จะมีแร่ดินเหนียวน้อย และมีทรายนมาก ในขณะที่ถ้ามีค่านี้นี้สูงจะมีสารประกอบคาร์บอน อาทิ อินทรีย์วัตถุมาก ดินที่มีสารอินทรีย์ปะปนมาก จะเหนียวมาก และต้องระวังในขั้นตอนการเผา ซึ่งการขึ้นไฟอย่างรวดเร็ว หรือการเย็นไฟน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดไส้สีดำในผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอน้ำหนาว จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	57.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.58
TiO <sub>2</sub>	0.70
Na <sub>2</sub> O	-
K <sub>2</sub> O	1.57
MgO	0.39
CaO	0.05
CaSO <sub>4</sub>	-
MnO <sub>2</sub>	0.013
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	8.99

#### 4.1.2 สมบัติทางแร่วิทยา

รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ (ทราย) และแร่ดินเหนียวที่พบคือ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ แร่เหล่านี้ปกติมีอยู่ในดินเหนียว โดยทั่วไป สำหรับแร่เคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียวมักมีผลึกไม่สมบูรณ์ ( Disorder kaolinite ) ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างผลึกถูกแทนที่ตำแหน่งของซิลิกอน (Si) ด้วยประจุบวกอื่นๆ อาทิ Al<sup>+++</sup> จะมีความไม่เสถียร และมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าแร่เคโอลิไนต์ที่ผลึกสมบูรณ์ ( Well order kaolinite ) สำหรับแร่ดินเหนียวกลุ่มอิลไลต์เป็นแร่ดินเหนียวที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร) ดังนั้นดินที่มีแร่ดินเหนียวดังกล่าวปะปนจึงมักมีเนื้อเนียนละเอียดและเหนียวมาก



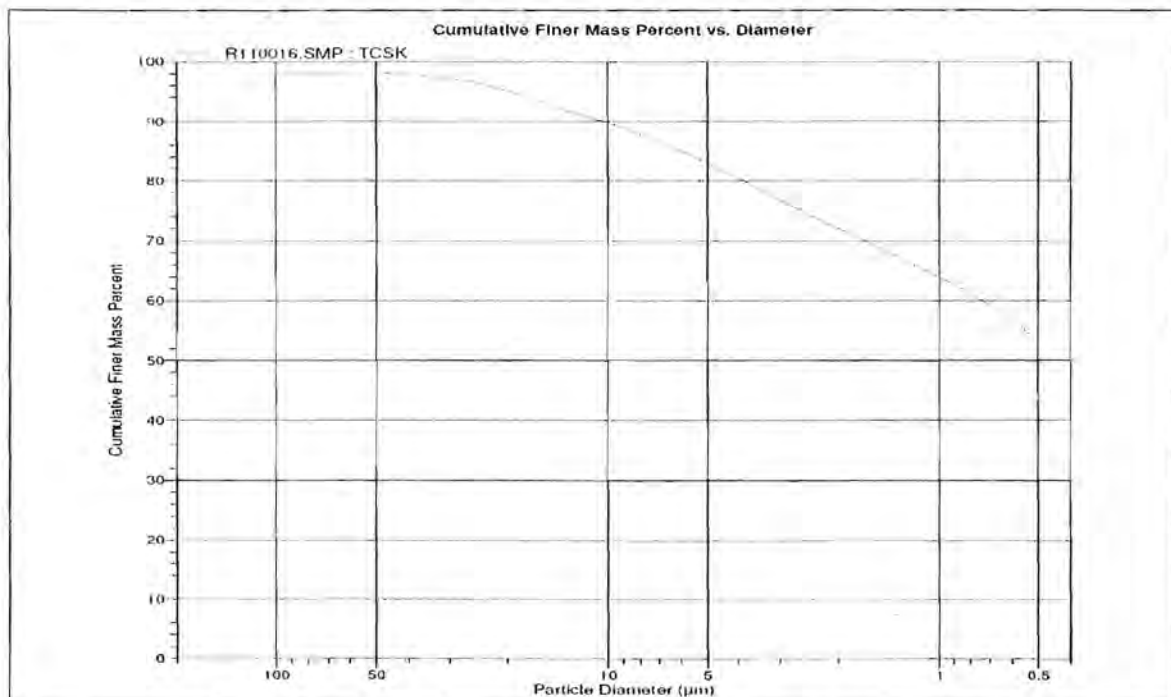
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา จังหวัด นครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

#### 4.1.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าการคายน้ำ การกระจายความละเอียดเมทิลีนบลูอินเด็กซ์ ดัชนีความเหนียว (Plasticity index) พบว่า มีปริมาณกากหยาบขนาดโตกว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) มีปริมาณพอสคัวร์ ร้อยละ 7.22 มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) สูงถึง ร้อยละ 72 มีค่าเมทิลีนบลูอินเด็กซ์ (Methylene blue index) ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวของอนุภาคดิน มีค่า 9.00 มิลลิกรัมวอลูเมนต์/100 กรัม จึงนับว่าสูงพอสคัวร์ ค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity index) มีค่าค่อนข้างสูงคือ 29.2 จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นชี้ให้เห็นว่าดินเหนียวชั้นบนเป็นดินที่มีเนื้อเนียนละเอียดมาก ซึ่งจะทำให้ดินมีความเหนียว ขึ้นรูปได้ง่าย และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเผา นอกจากนี้ยังช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวของดินเนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาตกลงกว่าดินที่มีอนุภาคหยาบ

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอบ้านคา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

ภาคั่งงสะสมบนตะแคง (ร้อยละ)					
100 เมฆ	2.27	200 เมฆ	4.90	325 เมฆ	7.22
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	98.1	<70 ไมโครเมตร	98.1	<53 ไมโครเมตร	98.1
<40 ไมโครเมตร	97.9	<20 ไมโครเมตร	95.1	<10 ไมโครเมตร	89.8
<5 ไมโครเมตร	83.1	<2 ไมโครเมตร	72.0	<1 ไมโครเมตร	63.9
<0.5 ไมโครเมตร	53.8				
เมทิลลีนบลูอินเด็กส์	9.00 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	51.1	Plastic limit	21.9	Plasticity index	29.2



#### 4.1.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่า ความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวและความแข็งแรงหลังอบแห้ง พบว่า ดินเหนียวชั้นบน สามารถรีดขึ้นรูปได้เมื่อใช้น้ำผสมร้อยละ 30.73 ซึ่งค่อนข้างสูง เมื่อแห้งมีค่า การหดตัวเชิงเส้นสูงพอสมควร ร้อยละ 8.12 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง มีค่า 681 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (47.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) สำหรับ ค่าการหดตัวขึ้นกับหลายปัจจัย อาทิ ความละเอียดและ รูปร่างของอนุภาคดิน ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในการขึ้นรูปซึ่งยังใช้น้ำผสมมากก็ยังมี การหดตัวมาก ผลัดกันซึ่งมีโอกาสที่จะหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอทุกทิศทางและจะเกิดความเครียดในเนื้อดินซึ่งถ้ามีค่า สูงเกินที่เนื้อดินจะทนได้ มักทำให้เกิดการแตกร้าวและเสียหาย เมื่อพิจารณาจากความแข็งแรงของดิน หลังอบแห้งจะเห็นได้ว่าไม่สูงนัก จึงอาจมีรอยร้าวที่มองไม่เห็นเกิดภายในแท่งดิน จึงส่งผลให้ค่าความ แข็งแรงลดลงจากสาเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับ ดินที่มีการหดตัวหลังแห้งเกินร้อยละ 10 ไม่ควร นำมาใช้เป็นวัสดุดิบ (Ryan, 1987) ดังนั้นในการนำดินนี้มาใช้โดยการปั้นอิสระหรือใช้เป็นหมุนจึงควร เพิ่มกากหยาบ อาทิ ทราย เพื่อลดการหดตัว รวมทั้งเพื่อให้เนื้อดินโปร่งและระบายน้ำได้สม่ำเสมอทำให้ ลดการสูญเสียเนื่องจากการแตกร้าว แต่ต้องระวังไม่ให้กากหยาบสูงเกินไปจนให้ค่าความแข็งแรงลดลง

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของ ดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอน้ำหนาว จังหวัดนครราชสีมา (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)

แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
ดินเหนียวชั้นบน	30.73±0.35	8.12±0.13	680.97±94.21

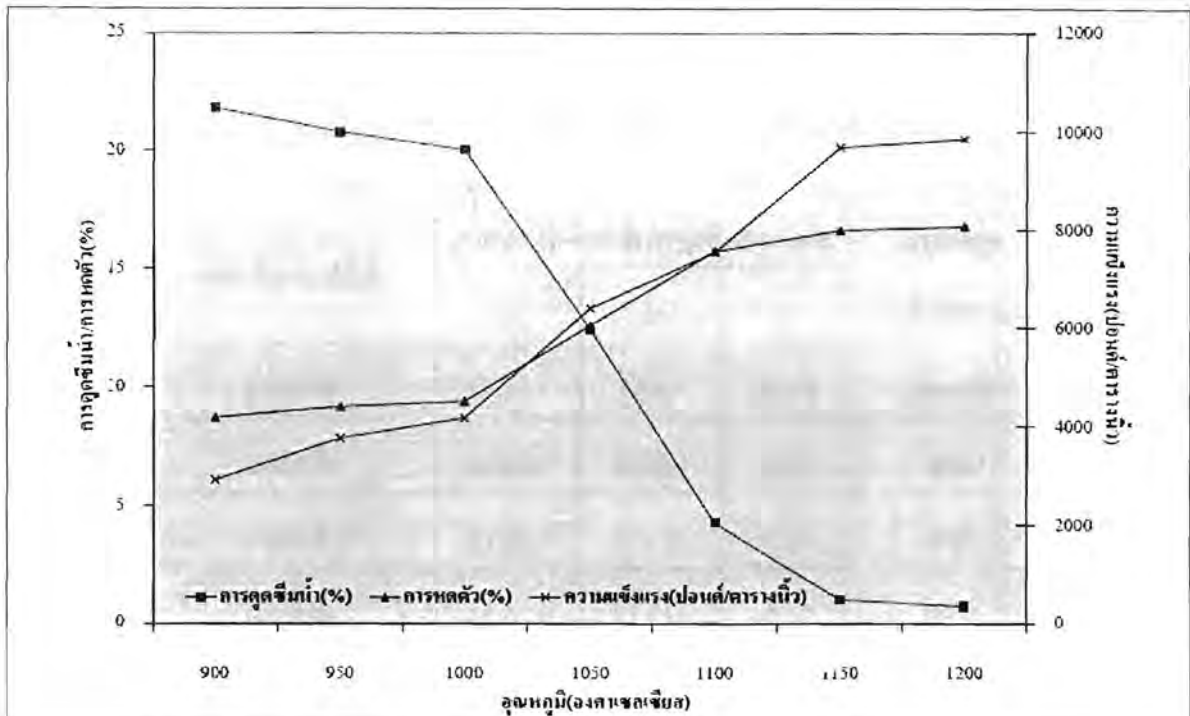
#### 4.1.5 สมบัติหลังเผา

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของ แท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณ ร้อยละ 8.70- 16.81 ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 21.83-0.70 ความแข็งแรงมี ค่าประมาณ 2,917-9,850 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นผลจากปฏิกิริยา ของแร่ใน ดินเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดเนื้อแก้ว ซึ่งช่วยเชื่อมยึดให้อนุภาคใกล้ชิดกันหรือปิดช่องว่าง ระหว่างอนุภาคดิน ดินจึงหดตัว และความพรุนตัวลดลง ค่าการดูดซึมน้ำจึงลดลง ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากสมบัติหลังเผาพบว่า ดินนี้มีช่วงการเผาแคบและทนไฟได้ 1100-1200 องศาเซลเซียส ถ้าเผาสูงกว่านี้อาจทำให้เกิดการบวมของผลิตภัณฑ์ได้



ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	8.70±0.16	21.83±0.62	2,917.58±562.24
950	9.16±0.15	20.81±0.49	3,755.52±443.14
1000	9.39±0.22	20.05±0.40	4,165.70±492.70
1,050	12.61±0.26	12.42±0.47	6,396.90±738.70
1100	15.76±0.26	4.27±0.49	7,541.99±657.26
1,150	16.65±0.23	0.98±0.34	9,676.89±1,074.06
1200	16.81±0.28	0.70±0.32	9,849.60±529.78



  
 โครงการยกระดับ  
 คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม  
 สำหรับอุตสาหกรรมชาวมก ปี 2553

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผากับอุณหภูมิของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดินอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสุศักดิ์)

#### 4.1.6 สมบัติสีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี (CIE) และสังเกตพินิจด้วยตาของดินเหนียวชั้นบนก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีค่าประมาณ 65.86-71.52 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว ( $a^*$ ) มีค่าบวกประมาณ 8.26-13.81 สำหรับค่าสีน้ำเงินสีเหลือง ( $b^*$ ) มีค่าบวกประมาณ 23.75-26.37 ซึ่งค่าตัวแปรจากการวัดนี้สอดคล้องกับสีที่ตรวจพินิจที่อยู่ในช่วงส้มถึงน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของสีหลังเผาเป็นผลจากปฏิกิริยาของสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาทำให้ดินสุกตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นไอออนของเหล็กพร้อมกับเนื้อแก้วมากขึ้นหรือเกิดเป็นสารใหม่ทำให้ดินหลังเผาเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดออกไซด์ของเหล็ก อาทิ เฮมาไทต์ ( $Fe_2O_3$ ) จะมีสีแดงหรือเหลือง ในขณะที่ เฮมาไทต์ ( $Fe_3O_4$ ) มีสีน้ำตาลเข้ม แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสีหลังเผา นอกจากเป็นผลจากที่กล่าวมาแล้ว ยังเป็นผลจากไอออนที่เกิดร่วมในดินด้วย อาทิ ไอออนของแคลเซียมก็จะทำให้สีดินหลังเผาอ่อนลง หรือ อลูมินา มีผลทำให้มีในดินที่มีเหล็กออกไซด์ต่ำ (ประมาณร้อยละ 1-3) มีสีน้ำตาลอมเหลือง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวชั้นบน จากแหล่งดิน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี ( $L^*a^*b^*$ )			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	68.66	+3.83	+14.62	เทาอ่อน
900	67.87	+13.81	+24.52	ส้มอ่อน
950	70.71	+13.15	+26.12	ส้มอ่อน
1000	71.54	+12.72	+26.33	ส้มอ่อน
1,050	71.45	+10.66	+24.43	ส้มอ่อน
1100	71.52	+9.90	+24.87	ส้มอ่อน
1,150	67.54	+11.64	+26.37	ส้มอ่อน
1200	65.86	+8.26	+23.75	น้ำตาลอ่อน

#### หมายเหตุ

L ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์

L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์

a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว

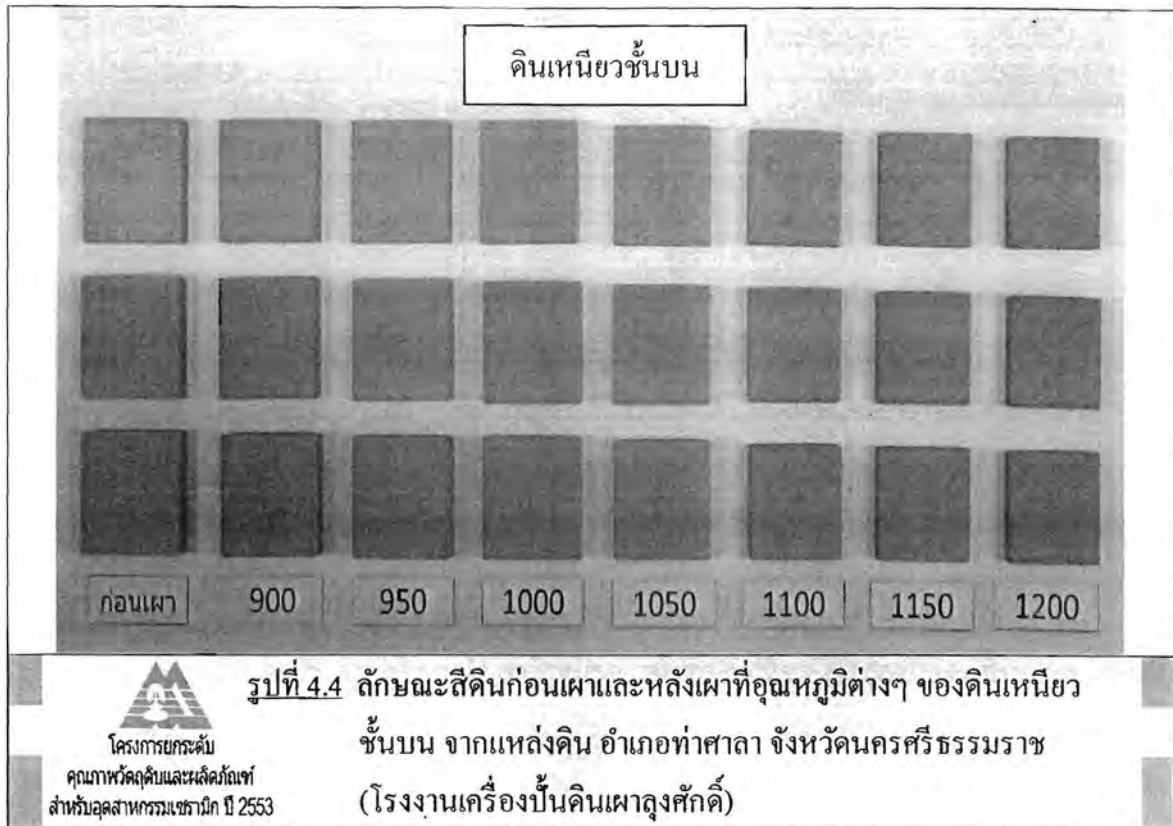
a ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีแดง

a ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีเขียว

b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีเหลือง

b ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



#### 4.1.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวชั้นบนเป็นดินเหนียวเนื้อเนียนละเอียด ความเหนียวสูง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปค่อนข้างสูงในการเตรียมเนื้อดินปั้นต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ทราย เศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผาสด หลังเผาผลิตภัณฑ์จะมีสีส้มอ่อนถึงน้ำตาลอ่อน ทนไฟได้ไม่เกิน 1100-1200 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ไว้ใช้สอยหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ ผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวน กระเบื้องปูพื้น ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผิวเนียนละเอียด อาทิ ขອງที่ระลึก ของชำร่วย รวมทั้งสามารถนำไปเตรียมน้ำดินเพื่อขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อได้ นอกจากนี้อาจนำไปใช้ผสมในเนื้อดินปั้นที่ต้องการเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์

#### 4.2 ดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอบ้านลาด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)

##### 4.2.1 สมบัติทางเคมี

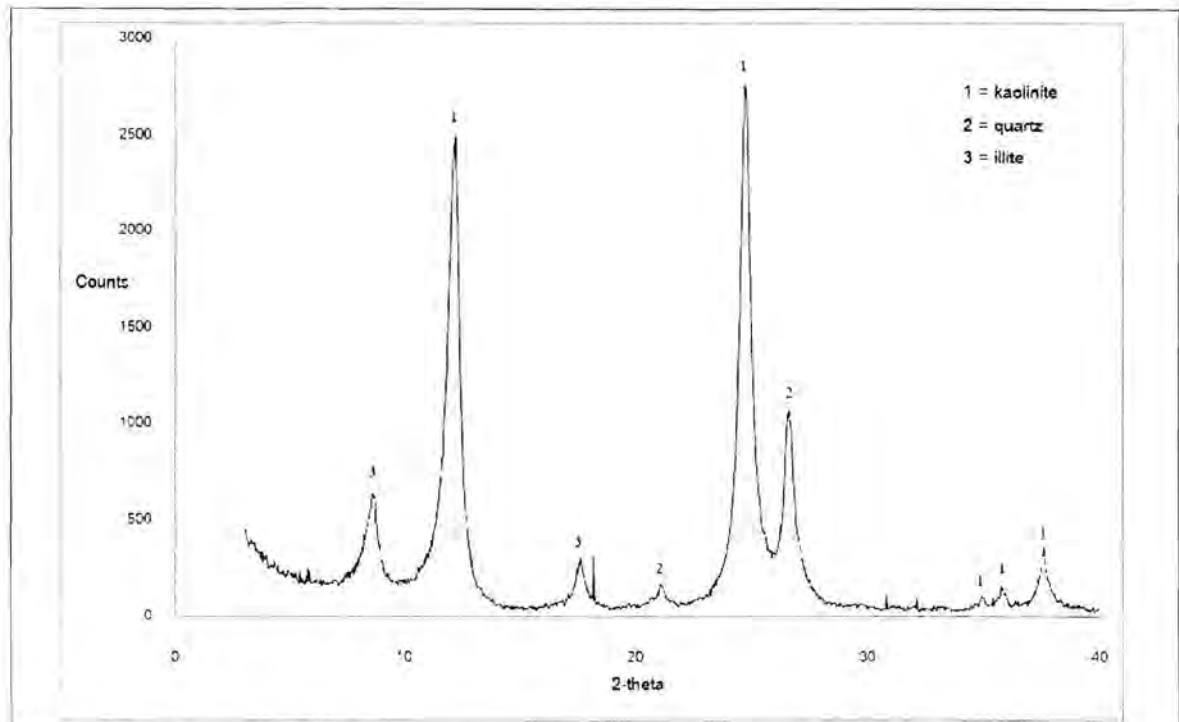
ดินเหนียวชั้นล่างเป็นดินที่ขุดจากชั้นถัดจากดินเหนียวชั้นบนของ อำเภอบ้านลาด จากผลการวิเคราะห์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.6 คือ ซิลิกา ร้อยละ 67.86 อลูมินา ร้อยละ 20.62 จึงเป็นดินที่ปนทรายสูง มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกัน ร้อยละ 3 มีสารช่วยลดอุณหภูมิการเผา คือ แอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ ปริมาณรวมกัน ร้อยละ 2.32 ซึ่งต่ำกว่าดินเหนียวชั้นบน การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา มีค่าร้อยละ 6.07 แสดงว่ามีทรายปนมากกว่าดินชั้นบน ในขณะที่มีแร่ดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุปะปนอยู่น้อยกว่า

ตารางที่ 4.6 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากดินเหนียวชั้นล่าง แหล่งดิน อำเภอบ้านลาด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	67.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.49
TiO <sub>2</sub>	0.70
Na <sub>2</sub> O	-
K <sub>2</sub> O	1.93
MgO	0.33
CaO	0.06
CaSO <sub>4</sub>	-
MnO <sub>2</sub>	0.013
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	6.07

#### 4.2.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน ดังรูปที่ 4.5 พบว่ามีแร่คล้ายกับดินเหนียวชั้นบน ประกอบด้วย ควอร์ตซ์ เกโอลิไนต์ และอิลไลต์



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอบ้านไร่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

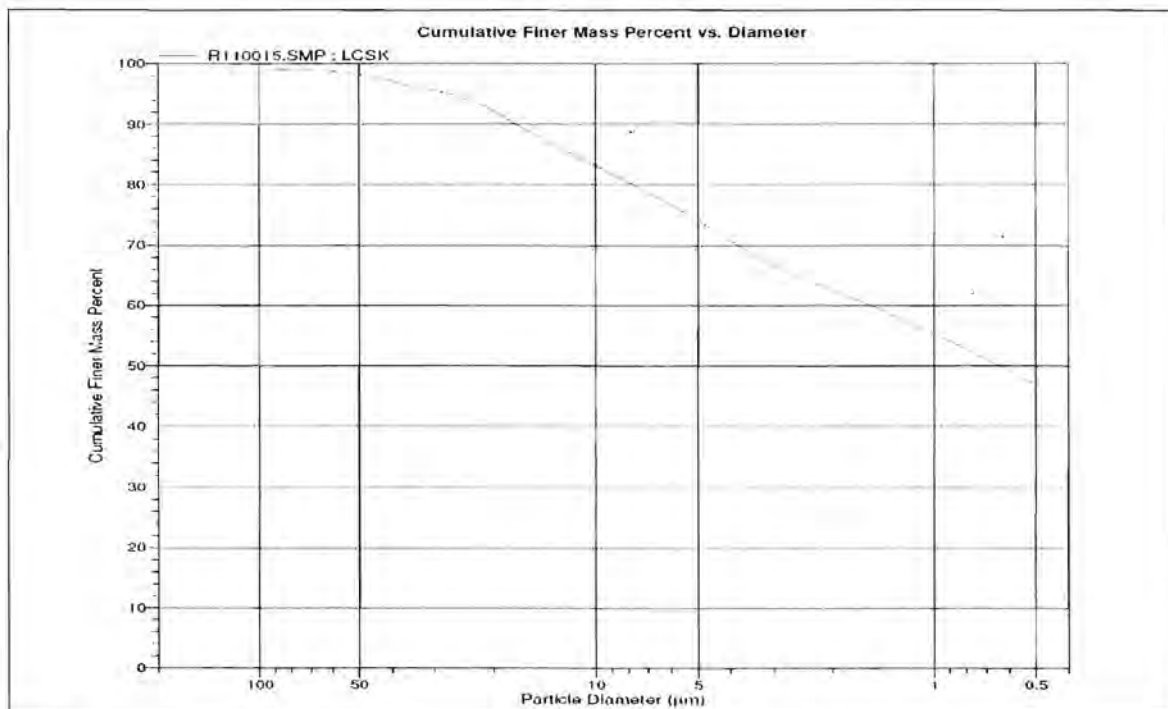
โครงการยกระดับ  
คุณภาพท้องถิ่นและผลิตภัณฑ์  
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2553

#### 4.2.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าการคายน้ำ การกระจายความละเอียดเมทิลีนบลูอินเด็กซ์ ดัชนีความเหนียว พบว่า มีปริมาณกาหยาบขนาดโตกว่า 325 เมช ค่อนข้างสูง ร้อยละ 17.10 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละ 62.6 เมทิลีนบลูอินเด็กซ์ มีค่า 8.33 มิลลิอิกวาเลนต์/100 กรัม ค่าดัชนีความเหนียว มีค่าค่อนข้างสูงคือ 34 เมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวชั้นล่างและชั้นเหนียวชั้นบนจะเห็นได้ว่าดินชั้นล่างมีปริมาณกาหยาบขณะที่ขนาดอนุภาคละเอียดน้อยกว่าดินเหนียวชั้นบน เนื้อดินจึงหยาบกว่าดินเหนียวชั้นบน

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอน้ำสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)

กากข้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	6.73	200 เมช	12.84	325 เมช	17.10
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.2	<70 ไมโครเมตร	99.0	<53 ไมโครเมตร	98.4
<40 ไมโครเมตร	97.0	<20 ไมโครเมตร	92.1	<10 ไมโครเมตร	83.1
<5 ไมโครเมตร	74.1	<2 ไมโครเมตร	62.6	<1 ไมโครเมตร	55.3
<0.5 ไมโครเมตร	47.2				
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	8.33 มิลลิอิกวาเลนต์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	59.5	Plastic limit	25.5	Plasticity index	34.0



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียว ชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอน้ำสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)

#### 4.2.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

จากตารางที่ 4.8 แสดงค่า ความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวและความแข็งแรงหลังอบแห้ง พบว่า ดินเหนียวชั้นล่าง สามารถรีดขึ้นรูปได้เมื่อนำน้ำผสมร้อยละ 24.41 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของดินเหนียวทั่วไป เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้น ร้อยละ 6.21 ค่าความแข็งแรงหลังแห้งไม่สูงนัก มีค่า 592 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งน่าจะเป็นผลจากดินมีกากหยาบปนมาก สำหรับความแข็งแรงหลังแห้งของดินนอกจากเป็นผลจากความละเอียดและความเหนียวแล้ว ชนิดของอิออนที่ปะปนในเนื้อดินก็มีผลต่อความแข็งแรงหลังแห้งได้เช่นกัน โดยดินที่มีอิออนประจุบวกหนึ่ง อาทิ โซเดียม จะมีความแข็งแรงกว่าดินที่มีประจุบวกสอง อาทิ แคลเซียม สำหรับดินเหนียวชั้นล่างสามารถเพิ่มความแข็งแรงโดยการคัดอนุภาคหยาบออกบ้าง ซึ่งอาจใช้วิธีร่อนดินผ่านมุ้งลวดหรือตาข่ายไนลอนที่มีขนาดรูเท่ารูมุ้งลวด

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณความชื้น ในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
ดินเหนียวชั้นล่าง	24.41±0.20	6.21±0.20	591.88±123.32

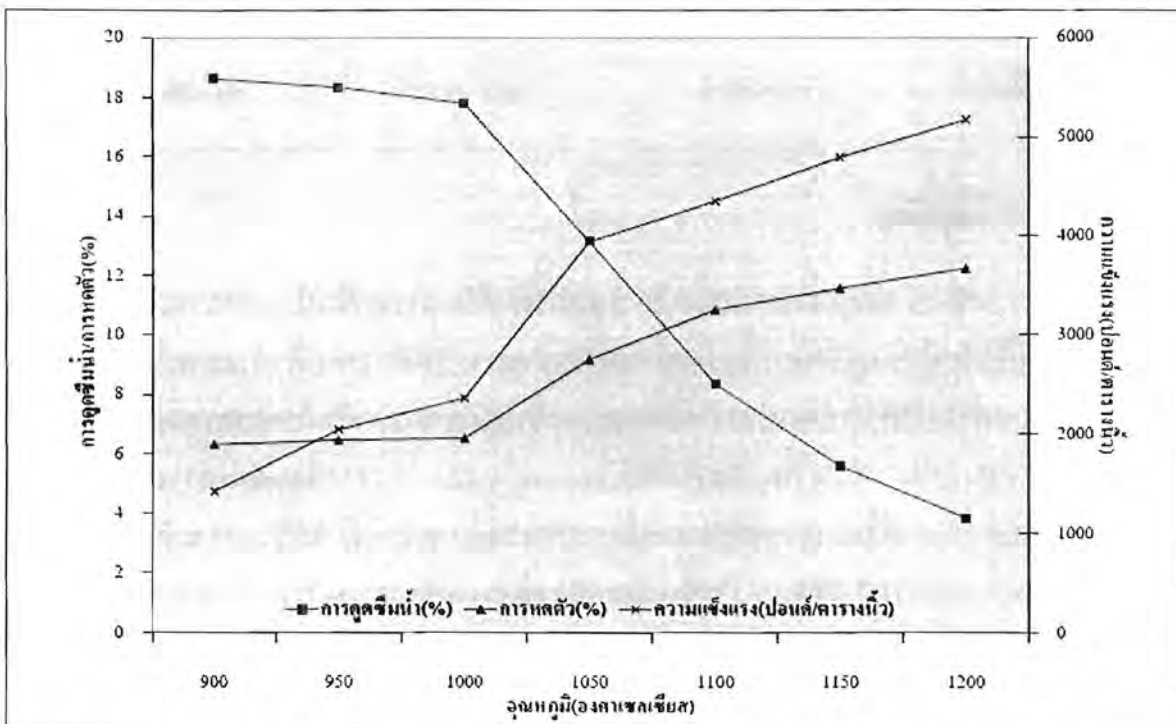
#### 4.2.5 สมบัติหลังเผา

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณร้อยละ 6.32-12.23 ซึ่งน้อยกว่าดินเหนียวชั้นบน เนื่องจากมีทรายค่อนข้างสูง ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 18.64-3.84 ความแข็งแรงมีค่าประมาณ 1,422 - 5,175 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่ง มีค่าน้อยกว่าดินเหนียวชั้นบน ซึ่งนอกจากเป็นผลจากมีกากหยาบที่สูงกว่าแล้ว ยังเป็นเพราะ ดินเหนียวชั้นล่างจากมีทรายนมากกว่า ทำให้ดินทนไฟขึ้น ดินเหนียวชั้นล่างมีช่วงการเผาไม่กว้างนักและทนไฟได้สูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามถ้าต้องการเผาสูงกว่าอาจจะเป็นไปได้แต่ต้องขึ้นไฟอย่างระมัดระวังเพราะผลิตภัณฑ์อาจจะบวมได้



ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียวชั้นล่าง จากแหล่งดิน อำเภอน้ำสาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาทุ่งศักดิ์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	6.32±0.20	18.64±0.44	1,421.91±196.42
950	6.46±0.18	18.35±0.34	2,044.45±329.13
1,000	6.52±0.15	17.81±0.22	2,364.22±508.18
1,050	9.17±0.37	13.15±0.48	3,940.25±501.56
1,100	10.84±0.15	8.35±0.40	4,350.97±735.37
1,150	11.56±0.22	5.59±0.40	4,796.36±579.36
1,200	12.23±0.20	3.84±0.11	5,175.39±793.26



#### 4.2.6 สมบัติสีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี และสังเกตพินิจด้วยตาของดินเหนียวชั้นล่างก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีค่าประมาณ 62.81-71.21 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว ( $a^*$ ) มีค่าบวกประมาณ 10.09-15.56 สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง ( $b^*$ ) มีค่าบวกประมาณ 20.01-24.02 จากการสังเกตสีด้วยสายตา จะเห็นได้ว่า ดินก่อนเผามีสีเหลืองอ่อน หลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะมีสีส้มอ่อน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,100-1,200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลอ่อนและน้ำตาลที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งสีที่ปรากฏสอดคล้องกับค่าที่วัดได้ในระบบซีไออี

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวชั้นล่างจากแหล่งดิน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานเครื่องปั้นดินเผาสูงศักดิ์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี ( $L^*a^*b^*$ )			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	72.75	+4.71	+19.36	เหลืองอ่อน
900	66.75	+15.56	+23.68	ส้มอ่อน
950	68.51	+14.35	+23.80	ส้มอ่อน
1,000	69.61	+14.04	+24.02	ส้มอ่อน
1,050	71.21	+12.85	+21.90	ส้มอ่อน
1,100	69.46	+12.33	+22.28	น้ำตาลอ่อน
1,150	65.63	+12.98	+23.96	น้ำตาลอ่อน
1,200	62.81	+10.09	+20.01	น้ำตาล

หมายเหตุ

L ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์

L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์

a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว

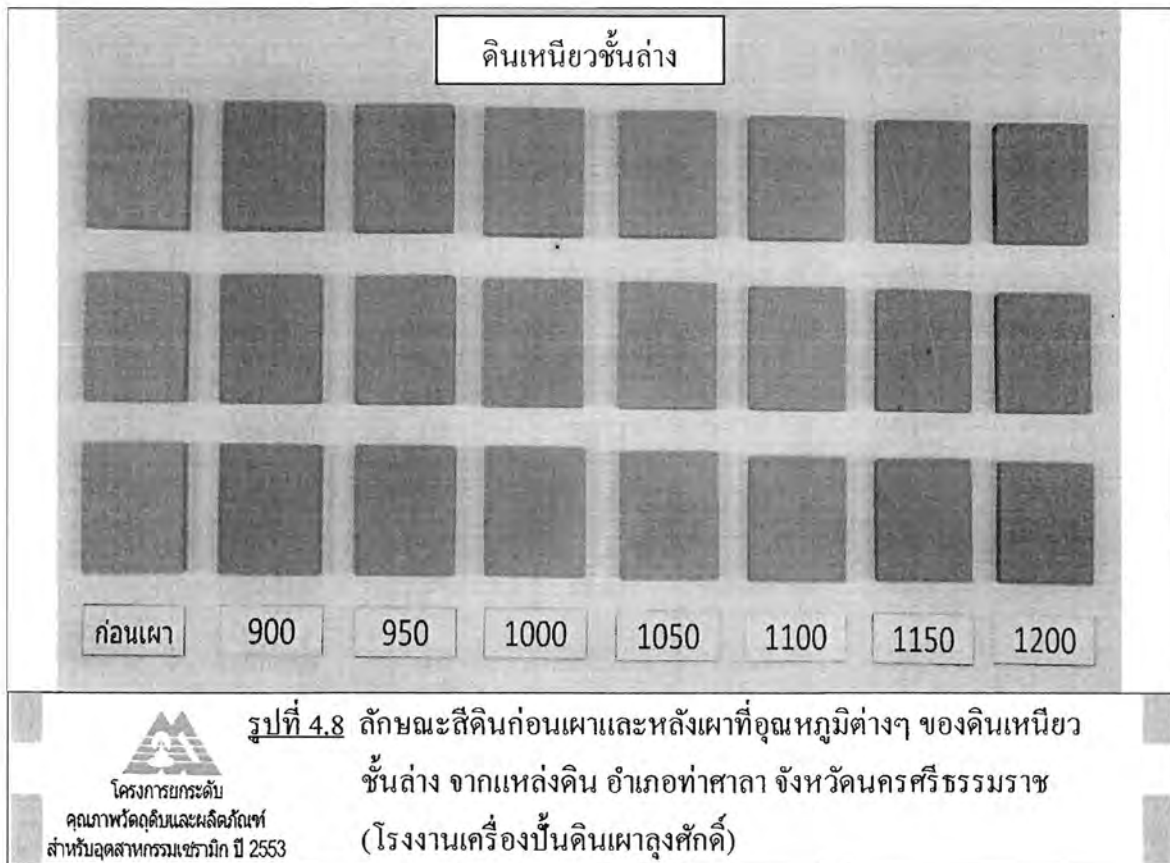
a ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีแดง

a ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีเขียว

b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีเหลือง

b ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



#### 4.2.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวชั้นล่างเป็นดินเหนียวเนื้อเนียนละเอียดความเหนียวพอควรมีศักยภาพในการนำไปใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาได้เช่นเดียวกับดินเหนียวชั้นบน ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ในเกณฑ์ปกติในการเตรียมเนื้อดินปั้นอาจต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ทราย เศษภาชนะ เครื่องปั้นดินเผาขาด หลังเผาผลิตภัณฑ์จะมีสัมบูรณ์ถึงน้ำตาล ทนไฟได้ 1,100-1,200 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาไว้ใช้สอยหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ กระจาดต้นไม้ อัญjar กระเบื้อง แต่มีความเหมาะสมนำไปผลิตอิฐมากกว่าดินเหนียวชั้นบน เนื่องจากก้อนอิฐค่อนข้างหนา ต้องการเนื้อดินที่โปร่ง ระบายน้ำได้ดี เพื่อลดการแตกร้าว อย่างไรก็ตามอาจต้องมีการคัดขนาดอนุภาค ออกบ้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรง นอกจากนี้กรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก หรือของขวัญ การคัดขนาดอนุภาคหยาบออกจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีผิวเนียนละเอียดและสวยงามยิ่งขึ้น

### 4.3 ดินเหนียวบ้านท่าเตียน ต.ปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

#### (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

##### 4.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

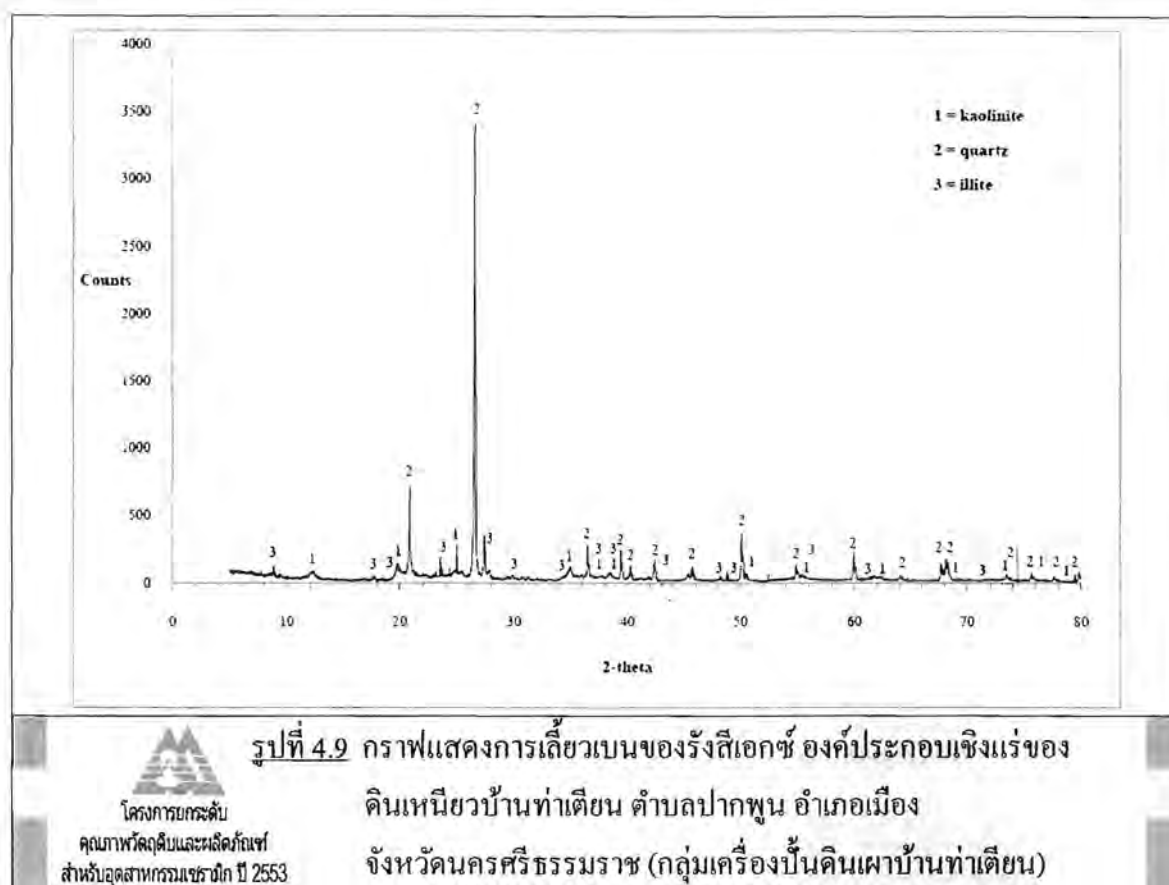
ดินเหนียวบ้านท่าเตียนใช้ดินท้องถิ่นที่ชาวบ้านเรียกว่า “ทุ่งลิ่หลิน” จากตารางที่ 4.11 แสดงองค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณซิลิกา สูง ร้อยละ 60.59 อลูมินา สูง ร้อยละ 21.84 จัดเป็นดินเหนียวปนทราย มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันค่อนข้างสูง ร้อยละ 5.52 หลังเผาจึงมีสีดินเข้มกว่าดินจาก อำเภอท่าศาลา ปริมาณรวมของสาร แอลคาไลน์และแอลคาไลน์เอิร์ธ มีค่าใกล้เคียงดินเหนียวจาก อำเภอท่าศาลา คือ ร้อยละ 3.08 การสูญเสียน้ำหนักหลังเผามีค่า ร้อยละ 8.52 เนื้อดินจึงน่าจะมีทรายในปริมาณน้อยเช่นเดียวกับดินเหนียวชั้นบน อำเภอท่าศาลา ดินเหนียวบ้านท่าเตียน สำหรับปริมาณ  $\text{CaSO}_4$  มีค่าสูงพอสมควร 561 ppm ดังนั้นผลิตภัณฑ์หลังเผาจึงอาจเกิดคราบขาวที่เรียกกันว่า เป็น “รา” ได้ นอกจากถ้านำดินนี้ไปผลิตเครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบจะมีปัญหาการหลุดร่อนของเคลือบได้ ดังนั้นผู้ผลิตที่จะใช้ดิน ในแหล่งนี้จึงควรเลือกชนิดผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหาที่ตามมาภายหลัง

ตารางที่ 4.11 แสดงผลวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน  
อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	60.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.61
TiO <sub>2</sub>	0.91
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	2.16
MgO	0.74
CaO	0.09
CaSO <sub>4</sub>	561 ppm
MnO <sub>2</sub>	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.045
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	8.52

#### 4.3.2 องค์ประกอบทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ ซึ่งคล้ายกับดินเหนียวชั้นบนและดินเหนียวชั้นล่างของ อำเภอท่าศาลา

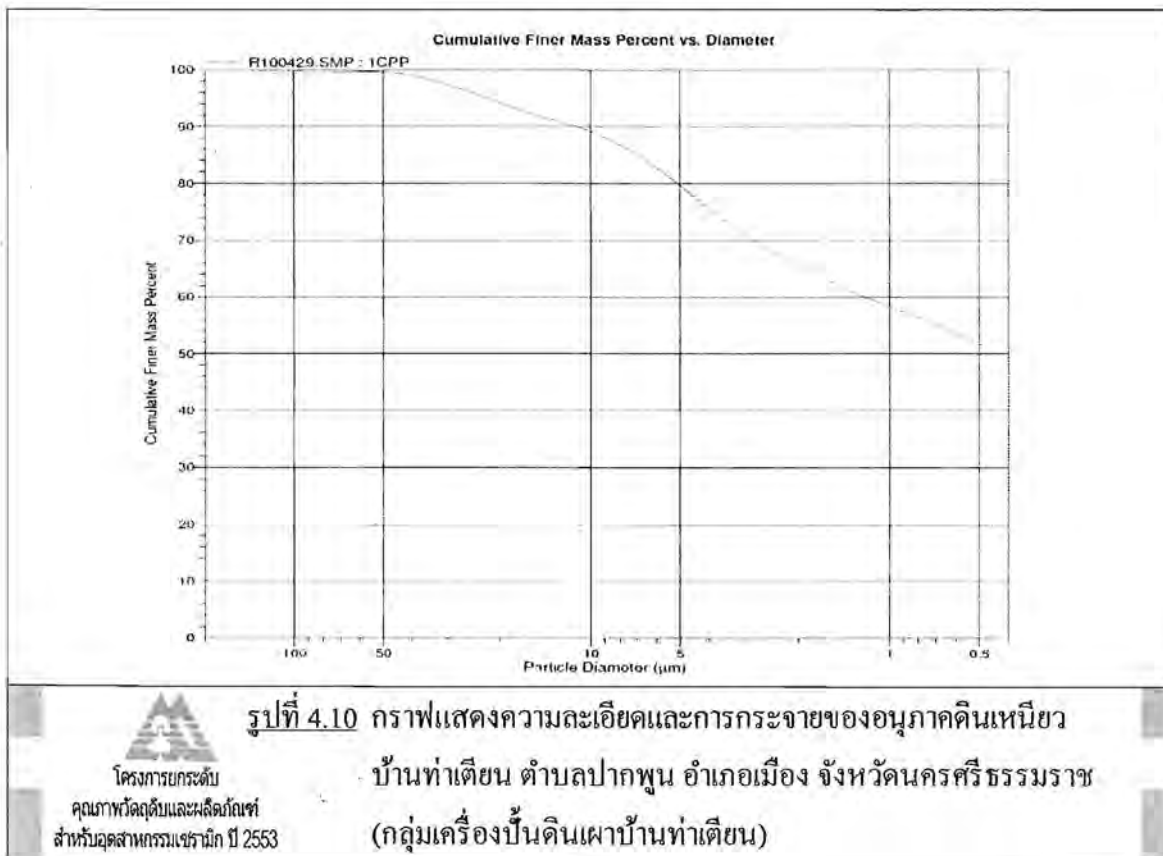


#### 4.3.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.12 แสดงค่ากาค้างตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ค่าดัชนีความเหนียว พบว่า มีปริมาณกากหยาบขนาดโตกว่า 325 เมช ปะปนอยู่พอสมควร ร้อยละ 7.94 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 02 ไมโครเมตร ร้อยละ 65.6 เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์มีค่าค่อนข้างต่ำ 5.25 มิลลิอิควิวเลนต์/100 กรัม ซึ่งน่าจะเป็นผลจากหยาบและจากอิออนของเกลือแคลเซียม ทำให้ดินเกิดการเกาะกันเป็นก้อนทำให้พื้นที่ผิวลดลงจึงทำให้ค่านี้ต่ำลง สำหรับค่าดัชนีความเหนียว มีค่าค่อนข้างสูงคือ 29.2 ดังนั้นจึงเป็นดินที่มีเนื้อเหนียวละเอียดพอสมควร

ตารางที่ 4.12 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง  
จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

กาก้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	1.58	200 เมช	4.42	325 เมช	7.94
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.5	<70 ไมโครเมตร	99.6	<53 ไมโครเมตร	99.7
<40 ไมโครเมตร	99.1	<20 ไมโครเมตร	94.2	<10 ไมโครเมตร	89.2
<5 ไมโครเมตร	79.7	<2 ไมโครเมตร	65.6	<1 ไมโครเมตร	58.4
<0.5 ไมโครเมตร	51.7				
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	5.25 มิลลิอิกวาเลนต์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	53.8	Plastic limit	24.6	Plasticity index	29.2



#### 4.3.4 สมบัติทางกรขึ้นรูป

จากตารางที่ 4.13 แสดงค่า ความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวและความแข็งแรงหลังอบแห้ง พบว่าดินเหนียวบ้านท่าเตียน สามารถรีดขึ้นรูปได้โดยแท่งดินไม่แตกหักเสียหาย เมื่อใช้น้ำผสมร้อยละ 24.71 ซึ่งใกล้เคียงกับดินเหนียวชั้นล่าง เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้น ร้อยละ 6.39 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง 1,357 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งมีค่าสูงกว่าดินจากดินเหนียวชั้นบนและชั้นล่าง อำเภอท่าศาลา จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าดินที่มีความแข็งแรงหลังอบแห้งสูง ต้องมีส่วนส่วนของอนุภาคละเอียดและอนุภาคหยาบที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของ ดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
ดินเหนียวบ้านท่าเตียน	24.71±0.28	6.39±0.30	1,357.00±102.11

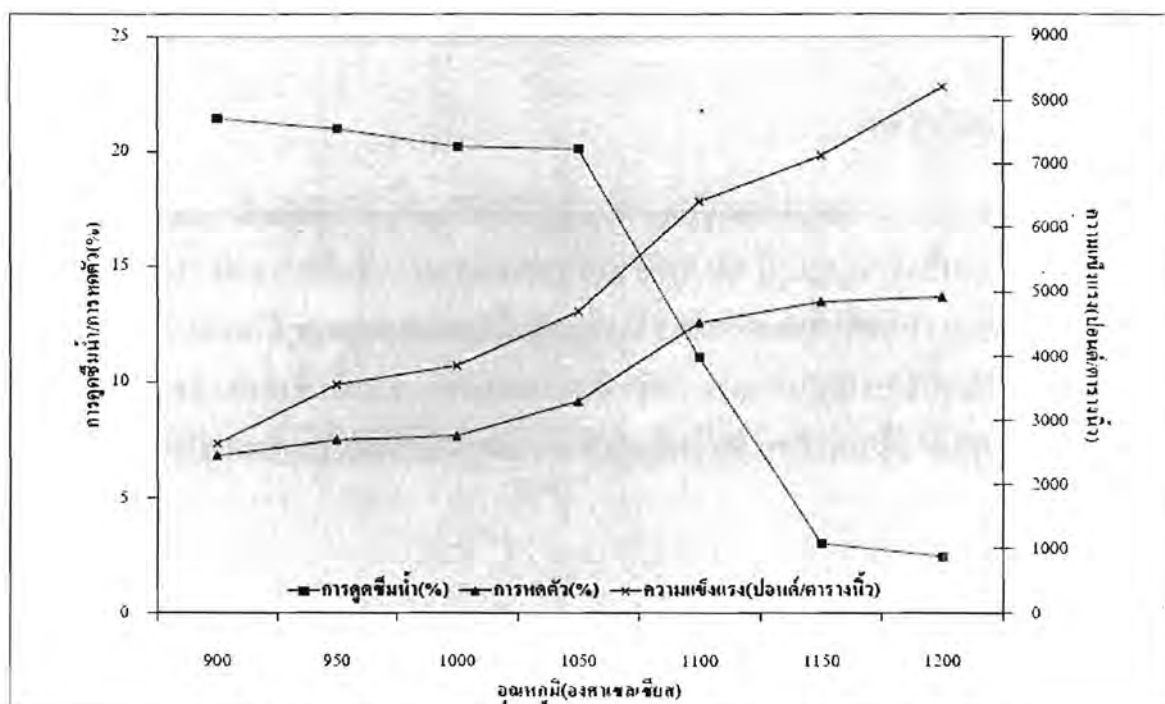
#### 4.3.5 สมบัติหลังเผา

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.11 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณร้อยละ 6.81-13.66 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.44-2.47 ความแข็งแรงมีค่าประมาณ 2,643 -8,212 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำลง ดินเหนียวบ้านท่าเตียน จัดเป็นดินที่มีช่วงการเผาไม่กว้างนัก สามารถทนไฟได้ 1200 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	6.81±0.33	21.44±0.39	2,643.14±241.46
950	7.49±0.13	21.00±0.63	3,553.59±269.42
1,000	7.66±0.45	20.23±0.52	3,851.23±277.84
1,050	9.17±0.90	20.12±0.79	4,699.35±659.70
1,100	12.55±0.24	11.05±0.80	6,417.69±463.59
1,150	13.47±0.21	3.02±1.18	7,137.72±772.43
1,200	13.66±0.29	2.47±0.48	8,212.29±979.76



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำหลังเผากับอุณหภูมิของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

#### 4.3.6 สมบัติสีดินก่อนและหลังเผา

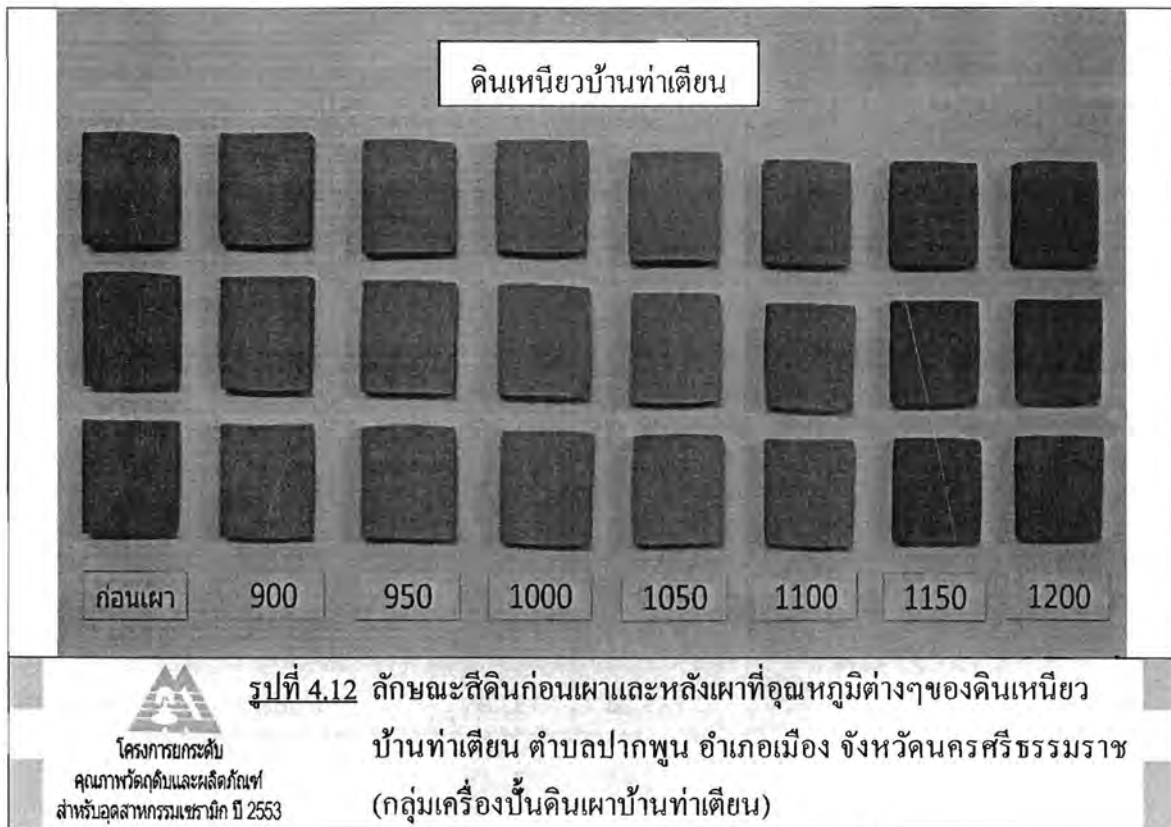
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี และสังเกตพินิจด้วยตาของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าประมาณ 49.43-67.57 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวกประมาณ 13.70-19.43 สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) มีค่าบวก ประมาณ 22.20-31.6 จากรูปที่ 4.12 แสดงสีดินก่อนเผามีสีเทาเข้ม และหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิโดยช่วงอุณหภูมิ 900-950 องศาเซลเซียส มีสีส้มเข้มและ 1000-1100 องศาเซลเซียส มีสีส้มอ่อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1150-1200 องศาเซลเซียส กลายเป็นสีน้ำตาลอ่อนและน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับค่าตัวแปรของสีที่วัดในระบบซีไออี สำหรับสีดินหลังเผาของดินเหนียวบ้านท่าเตียนจะมีเหลืองปนกว่าสีดินเหนียวชั้นบนและล่างของดินเหนียว อำเภอท่าศาลา

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆของดินเหนียวบ้านท่าเตียน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (กลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าเตียน)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	52.15	+2.39	+12.09	เทาเข้ม
900	63.02	+14.42	+26.88	ส้มเข้ม
950	65.22	+14.65	+28.73	ส้มเข้ม
1,000	66.93	+15.15	+30.04	ส้มอ่อน
1,050	67.57	+14.19	+30.87	ส้มอ่อน
1,100	64.43	+15.26	+32.65	ส้มอ่อน
1,150	55.55	+19.43	+31.18	น้ำตาลอ่อน
1,200	49.43	+13.70	+22.20	น้ำตาล

### หมายเหตุ

- L ใช้กำหนดค่าความสว่าง      L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์  
 L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์
- a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว
- a ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีแดง  
 a ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีเขียว
- b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
- b ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีเหลือง  
 b ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



#### 4.3.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวบ้านท่าเตียนเป็นดินเหนียวเนื้อเนียน สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและไม่แตกหักเสียหาย หลังแห้งผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง เมื่อเผาแล้วผลิตภัณฑ์จะมีสีเข้มเข้มถึงน้ำตาล ทนไฟได้ประมาณ

1200 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาตกแต่งสวนทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ อาทิ ตุ๊กตาดอกแต่งสวน กระถาง นอกจากนี้ยังมีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาเคลือบไฟสูง

#### 4.4 เนื้อดินปั้นโมคลาน อำเภอท่าเสา จังหวัดนครศรีธรรมราช

##### 4.4.1 สมบัติทางเคมี

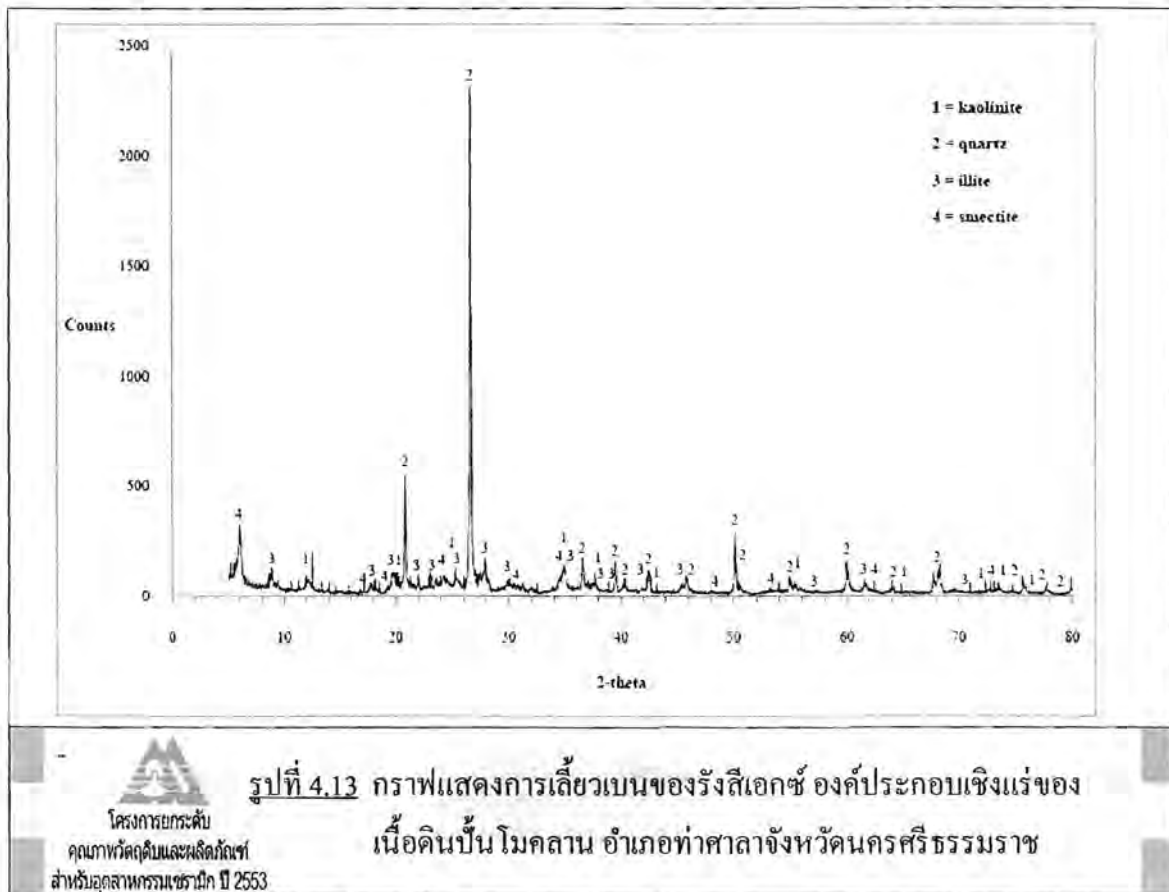
ดินที่นำมาศึกษา คือ เนื้อดินปั้น โมคลาน จ.นครศรีธรรมราช จากตารางที่ 4.16 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินปั้น โมคลาน พบว่า มีซิลิกา สูง มาก ร้อยละ 74.50 อลูมินา ค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 14.82 ดินจึงมีทรายปนสูงมาก ซึ่งน่าจะเป็นทรายที่นำมาผสมในเนื้อดินปั้น ปริมาณ เหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกัน ร้อยละ 3.14 สารลดอุณหภูมิการเผา ทั้ง แอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ มีปริมาณรวมกันไม่สูงนัก ร้อยละ 3.33 การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา มีค่าร้อยละ 4.68 ซึ่งค่อนข้างต่ำ แสดงมีทรายปนมาก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณซิลิกาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้มีปริมาณ  $\text{CaSO}_4$  ที่มีค่า 210 ppm ซึ่งก็อาจมีปัญหาคราบขาวบนผิวของผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับดินเหนียวบ้านท่าเดียน

ตารางที่ 4.16 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของเนื้อดินปั้น โมคลาน  
จังหวัดนครศรีธรรมราช

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
$\text{SiO}_2$	74.50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14.82
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.50
$\text{TiO}_2$	0.64
$\text{Na}_2\text{O}$	0.39
$\text{K}_2\text{O}$	2.31
$\text{MgO}$	0.52
$\text{CaO}$	0.11
$\text{CaSO}_4$	210 ppm
$\text{MnO}_2$	0.009
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.022
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	4.68

#### 4.4.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ นอกจากนี้มีแร่สมกไทต์ ซึ่งแร่ชนิดนี้จะมีอนุภาคขนาดเล็กมาก ดังนั้นเนื้อดินที่มีแร่นี้ปะปนจึงมักมีเนื้อเนียนละเอียดและมีความเหนียวสูง



โครงการยกระดับ  
คุณภาพบัณฑิตและผลิตบัณฑิต  
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2553

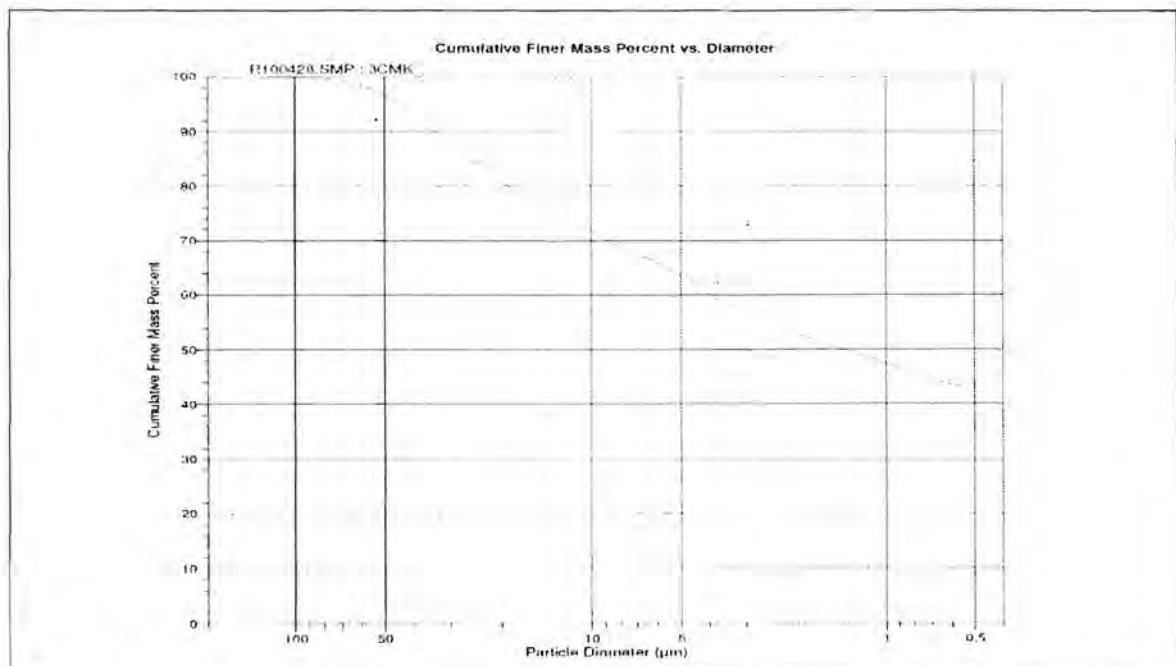
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของ  
เนื้อดินปั้น โมคสถาน อำเภอท่าศาลาจังหวัดนครศรีธรรมราช

#### 4.4.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.17 แสดงค่าการก้ำกึ่งตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ค่าดัชนีความเหนียว พบว่าเป็นดินที่ไม่ละเอียดมาก มีปริมาณกากหยาบขนาด โคกว่า 325 เมช ค่อนข้างสูง ร้อยละ 27.27 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละ 52.8 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ มีค่า 9.25 มิลลิกรัม วิวาเลนซ์/100 กรัม ค่าดัชนีความเหนียว มีค่าพอควร คือ 20.4 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเนื้อดินปั้น โมคสถานนี้มีเนื้อหยาบ ซึ่งน่าจะเนื่องจากการผสมทรายเพื่อช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินอันจะช่วยให้  
ความเสียหายของผลิตภัณฑ์หลังการตากแห้ง

ตารางที่ 4.17 แสดงสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น โมคลาน อำเภอท่าศาลาจังหวัดนครศรีธรรมราช

กาก้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	13.75	200 เมช	19.47	325 เมช	27.27
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.8	<70 ไมโครเมตร	99.2	<53 ไมโครเมตร	97.3
<40 ไมโครเมตร	93.2	<20 ไมโครเมตร	80.9	<10 ไมโครเมตร	71.6
<5 ไมโครเมตร	63.5	<2 ไมโครเมตร	52.8	<1 ไมโครเมตร	47.5
<0.5 ไมโครเมตร	43.0				
เมทิลีนบลูอินเด็กซ์	9.25 มิลลิอิกวิวาเลนต์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	36.5	Plastic limit	16.1	Plasticity index	20.4



#### 4.4.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

จากตารางที่ 4.18 แสดงค่า ความชื้น ในแท่งดินรีด การหดตัวและความแข็งแรงหลังอบแห้ง พบว่า เนื้อดินปั้น โมคลาน สามารถรีดขึ้นรูปได้เมื่อใช้น้ำผสมร้อยละ 21.03 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นค่อนข้างสูง ร้อยละ 7.32 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง มีค่า 1,345 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นผลจากการมีแร่สเมกไทต์ที่มีเนื้อละเอียดช่วยยึดอนุภาคดินให้เชื่อมติดกัน จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงสูงทั้งที่มีสภาพเปียกสูง

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช

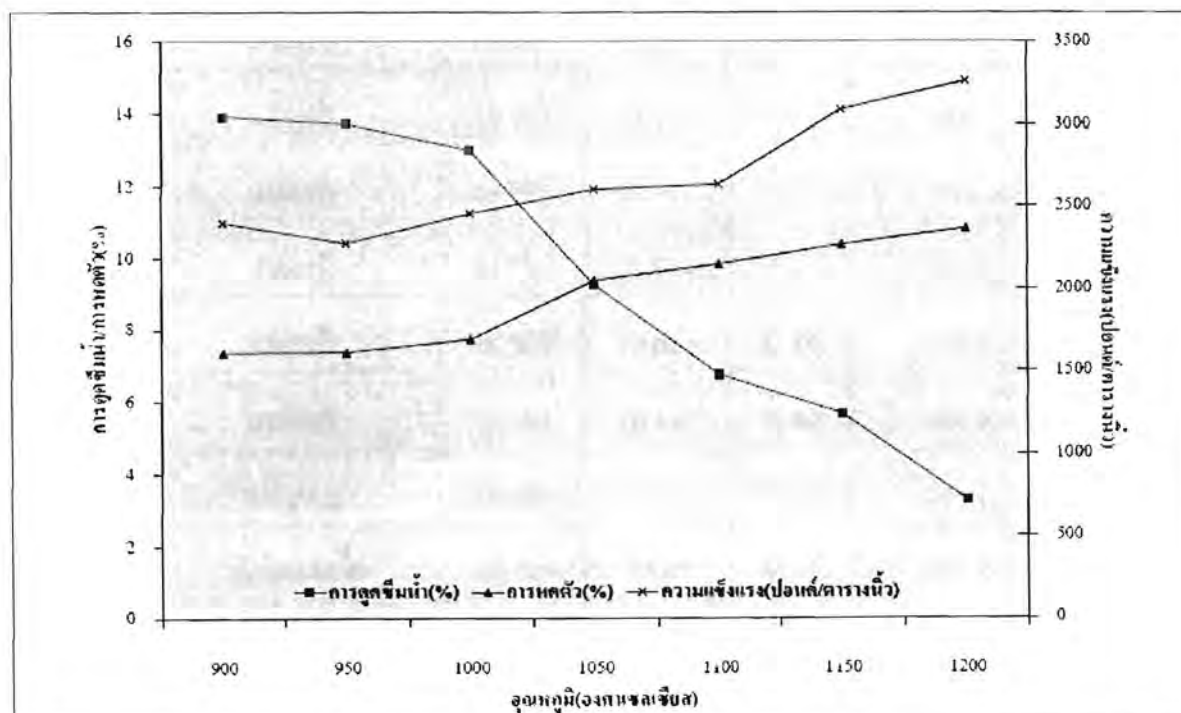
แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
เนื้อดินปั้น โมคลาน	21.03±0.43	7.32±0.14	1,344.57±129.14

#### 4.4.5 สมบัติหลังเผา

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.15 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณ ร้อยละ 7.35-10.81 มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 13.92-3.26 ความแข็งแรงมีค่าประมาณ 2,400 -3,258 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงนักและต่ำกว่าดินเหนียว อ.ท่าศาลา ทั้งที่มีความแข็งแรงหลังอบแห้งสูงกว่า ซึ่งเป็นผลจากเนื้อดินปั้นมีทรายปนมากทำให้เนื้อดินทนไฟกว่าในช่วงอุณหภูมิการเผา ที่ใช้ในการศึกษานี้ สำหรับเนื้อดินปั้น โมคลานนับเป็นดินที่มีช่วงการเผาที่กว้างพอสมควร เนื้อดินปั้น โมคลานมีความทนไฟได้สูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาของ  
เนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	7.35±0.16	13.92±0.28	2,399.89±183.91
950	7.37±0.16	13.72±0.09	2,276.99±260.34
1,000	7.73±0.41	12.99±0.49	2,457.44±212.12
1,050	9.37±0.13	9.24±1.02	2,605.39±146.37
1,100	9.82±0.16	6.74±0.39	2,634.52±536.97
1,150	10.36±0.32	5.66±0.31	3,086.80±510.66
1,200	10.81±0.12	3.26±0.57	3,258.52±485.11



โครงการยกระดับ  
คุณภาพบัณฑิตและผลิตบัณฑิต  
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2553

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการ  
ดูดซึมน้ำหลังเผา กับอุณหภูมิของเนื้อดินปั้น โมคลาน  
จังหวัดนครศรีธรรมราช



#### 4.4.6 สมบัติสีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี (CIE) และสังเกตพิกัดด้วยตาของเนื้อดินปั้น โมคลาน ก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าประมาณ 60.40-70.73 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวกประมาณ 6.01-17.21 สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) มีค่าบวก ประมาณ 22.82-29.59 ดินก่อนเผามีสีเทาอ่อน สำหรับสีของดินหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส จะมีสีเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ โดยช่วงอุณหภูมิ 900-1100 มีสีอ่อนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1150-1200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นชมพูเข้มและน้ำตาลอ่อนตามลำดับ ตามการเปลี่ยนสภาวะออกซิเดชันของเหล็กออกไซด์ ดังรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของเนื้อดินปั้น โมคลาน จังหวัดนครศรีธรรมราช

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	60.40	+3.00	+14.14	เทาอ่อน
900	68.70	+11.27	+25.59	สีอ่อน
950	70.07	+11.22	+27.15	สีอ่อน
1,000	70.73	+17.21	+27.82	สีอ่อน
1,050	69.76	+10.67	+29.59	สีอ่อน
1,100	64.09	+14.02	+31.92	สีอ่อน
1,150	60.49	+13.60	+28.37	ชมพูเข้ม
1,200	61.36	+6.01	+22.82	น้ำตาลอ่อน

#### หมายเหตุ

L ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์

L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์

a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว

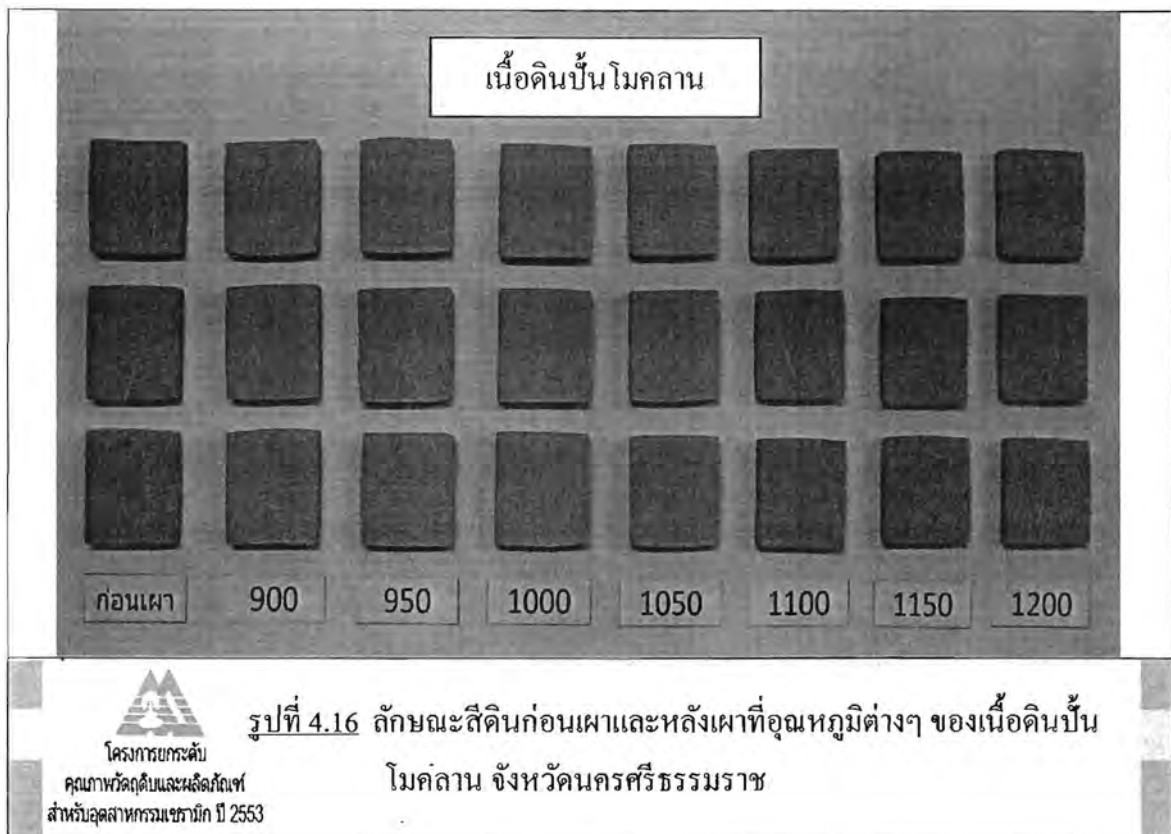
a ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีแดง

a ค่าเป็นลบ สึจะไปในทิศทางสี่เขียว

b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b ค่าเป็นบวก สึจะไปในทิศทางสี่เหลือง

b ค่าเป็นลบ สึจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



#### 4.4.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

เนื้อดินปั้น โมคกลาน เป็นเนื้อดินที่ไม่เนียนละเอียดนัก ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ในเกณฑ์ของดินเหนียวทั่วไป หลังเผาผลิตภัณฑ์จะมีสีส้มอ่อนถึงน้ำตาลอ่อน ทนไฟได้เกิน 1,200 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ กระจ่างดินไม้ ผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวน

#### 4.5 ดินเหนียวอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

##### 4.5.1 องค์ประกอบทางเคมี

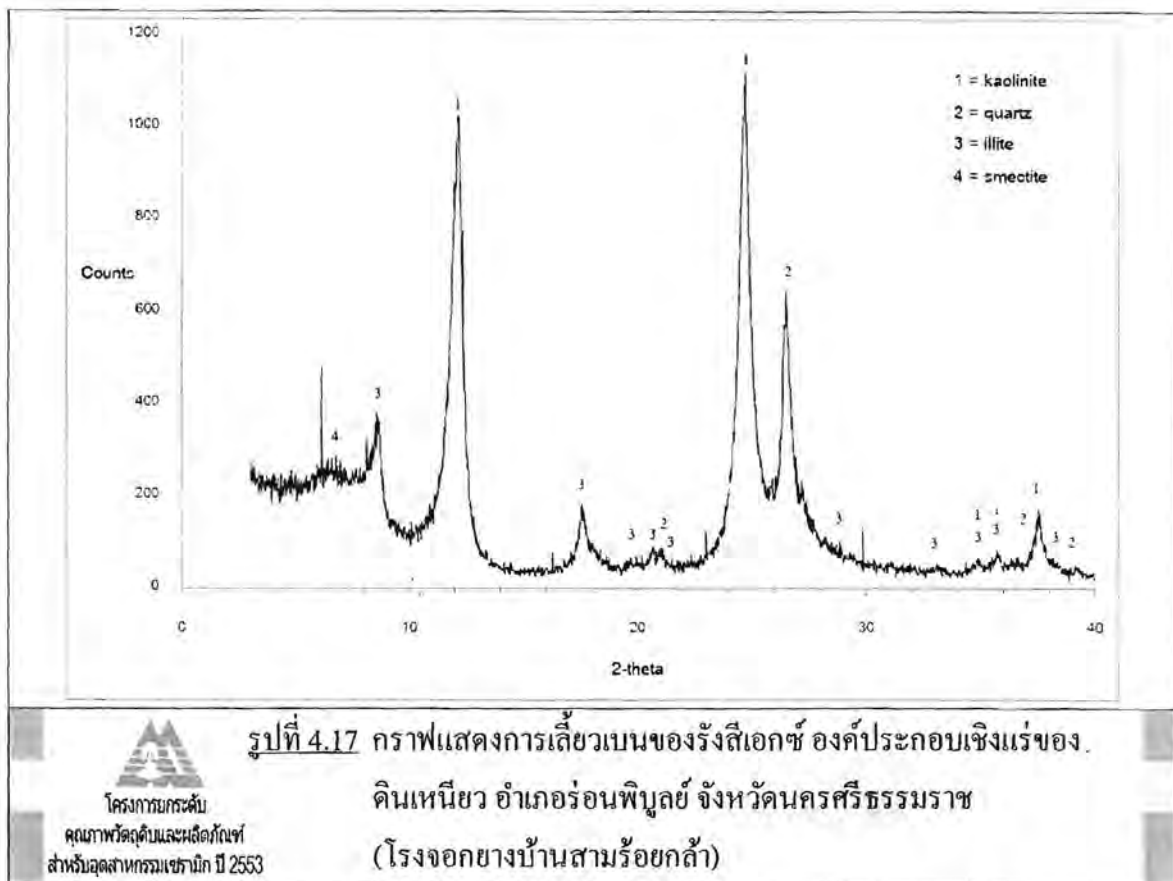
ดินเหนียวร่อนพิบูลย์ที่นำมาศึกษาเป็นดินอำเภอร่อนพิบูลย์ จากโรงงานจอกน้ำยางพาราบ้านสามร้อยกล้า จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.21 พบว่าประกอบด้วย ซิลิกา ซึ่งมีค่าไม่สูงนัก ร้อยละ 57.15 อลูมินา สูง ร้อยละ 26.29 จึงมีแร่ดินเหนียวปนมากพอควร นอกจากนั้นก็ทรายละเอียดปนบ้าง ปริมาณรวมของเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์ มีค่าไม่สูงนัก ร้อยละ 4.02 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีสีไม่เข้มมาก ประกอบด้วย แอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ มีปริมาณรวมกันค่อนข้างสูง ร้อยละ 5.20 ดินจึงไม่ทนไฟมากนัก หลังเผามีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา พอสมควร ร้อยละ 7 เมื่อดินจึงน่าจะทรายปนน้อยเช่นเดียวกับดินเหนียวชั้นบนอำเภอบ้านท้าวและ ดินเหนียวบ้านท่าเตียน

ตารางที่ 4.21 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์  
จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	57.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.62
TiO <sub>2</sub>	0.40
Na <sub>2</sub> O	0.52
K <sub>2</sub> O	4.26
MgO	0.34
CaO	0.08
CaSO <sub>4</sub>	<87 ppm
MnO <sub>2</sub>	0.031
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.043
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	7.31

#### 4.5.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยแร่เคลโอติไนต์ ควอตซ์ อิลไลต์ และสมกไทต์ ดังรูปที่ 4.17

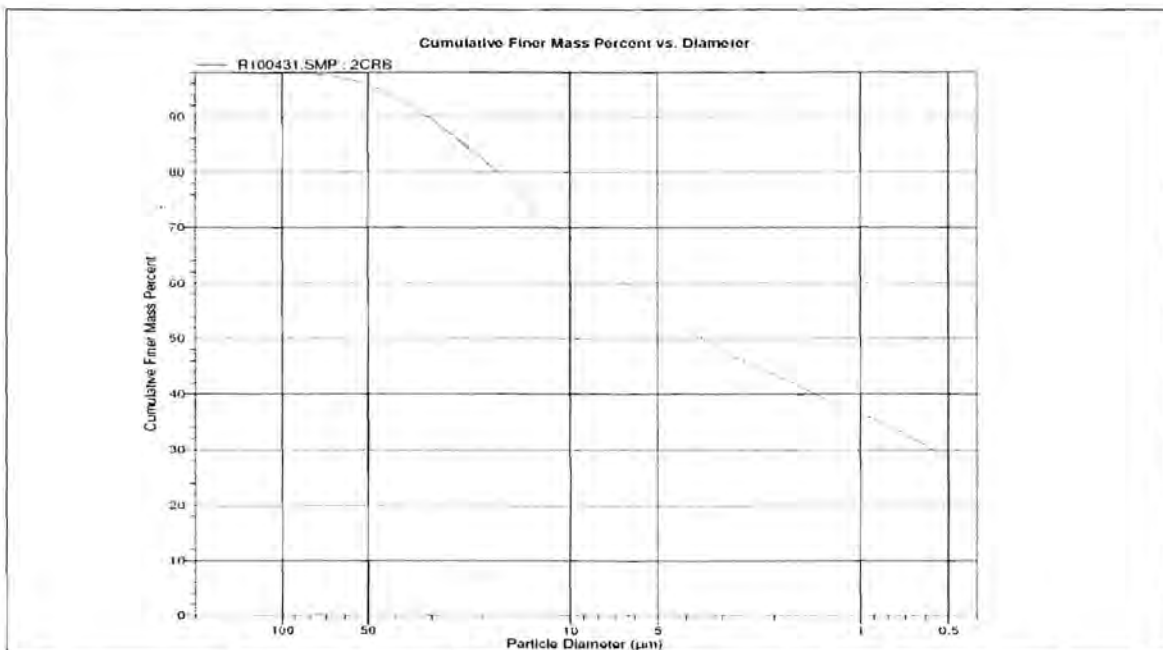


#### 4.5.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.22 แสดงค่ากาค้างตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ค่าดัชนีความเหนียว พบว่า มีปริมาณกากหยาบขนาดโตกว่า 325 เมช ค่อนข้างสูงคือ ร้อยละ 20.90 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 43.6 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ มีค่า 5.23 มิลลิอิควิวเลนต์/100 กรัม ค่าดัชนีความเหนียว มีค่าปานกลางคือ 18.7 จากผลดังที่กล่าวมาแล้วนี้ทำให้ดินนี้ไม่เหนียวละเอียดนักและมีเนื้อหยาบกว่าดินแหล่งอื่น ยกเว้นดินปั้น โมคสถาน

ตารางที่ 4.22 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์  
จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

กาก้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	5.04	200 เมช	14.58	325 เมช	20.90
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	97.8	<70 ไมโครเมตร	97.5	<53 ไมโครเมตร	96.2
<40 ไมโครเมตร	93.6	<20 ไมโครเมตร	82.2	<10 ไมโครเมตร	68.2
<5 ไมโครเมตร	56.0	<2 ไมโครเมตร	43.6	<1 ไมโครเมตร	36.4
<0.5 ไมโครเมตร	28.3				
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	5.23 มิลลิอิกวิวาเลนซ์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	38.6	Plastic limit	19.9	Plasticity index	18.7



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียว  
อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช  
(โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

#### 4.5.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าความชื้นในแท่งดิน การหดตัว และความแข็งแรงหลังอบแห้ง ของดินอำเภอร่อนพิบูลย์ พบว่า สามารถรีดขึ้นรูปได้โดยแท่งดินไม่แตกหักเสียหาย ใช้น้ำผสมเพื่อให้ขึ้นรูปได้มีค่าร้อยละ 23.55 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 5.48 ค่าความแข็งแรงหลังแห้งมีค่าไม่สูง 335 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นผลจากการที่มีขนาดอนุภาคเล็กค้ำและมีกาหยาบปะปนอยู่ค่อนข้างสูง ถ้าต้องการเพิ่มความแข็งแรงควรมีการคัดขนาดอนุภาคออกบ้าง

ตารางที่ 4.23 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

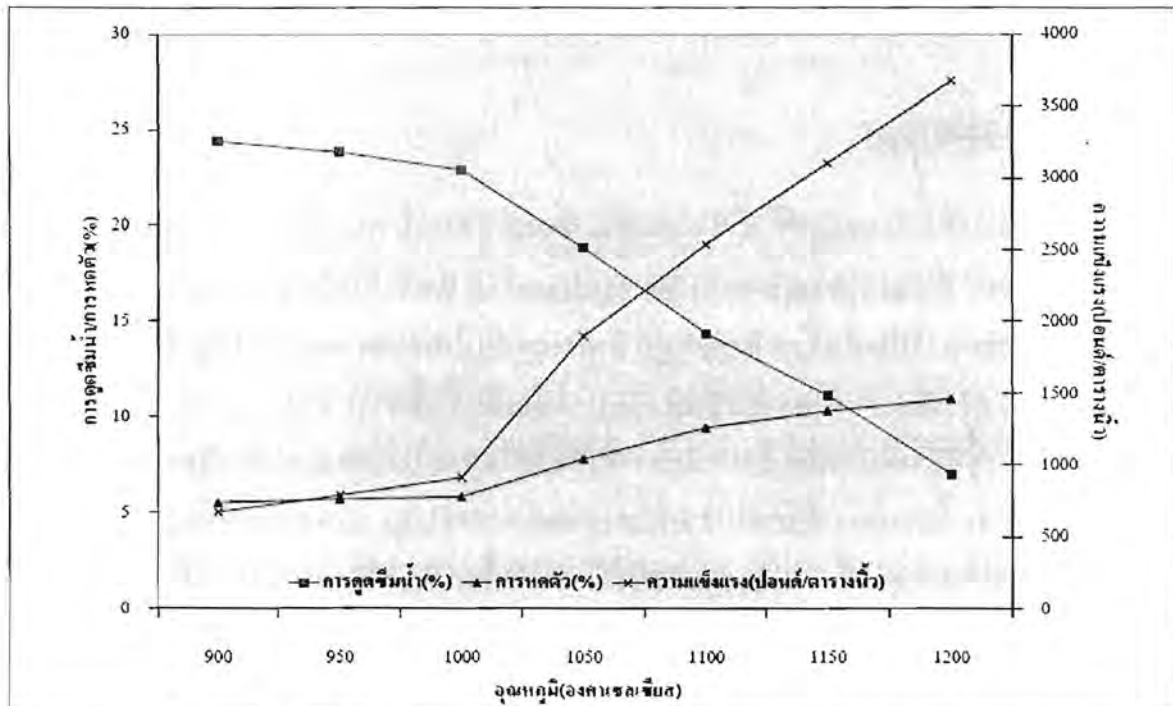
แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
ดินเหนียวร่อนพิบูลย์	23.55±0.22	5.48±0.19	335.25±71.54

#### 4.5.5 สมบัติหลังเผา

จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.19 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณร้อยละ 5.51-10.93 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24.42-7.01 สำหรับค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีค่าในช่วง 672.-3,673 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื้อดินนี้มีช่วงการเผาที่กว้างพอสมควรจึงทนไฟได้สูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส จากค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าแหล่งดินอื่นๆ เป็นผลมาจากที่มีกาหยาบค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิก่อนข้างสูงทำให้เกิดจึงมีเนื้อแก้วเกิดน้อยในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา ดังนั้นส่งผลให้มีความแข็งแรงจึงต่ำ ดินเหนียวร่อนพิบูลย์จึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบไฟสูง 1100-1200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	5.51±0.19	24.42±0.23	672.25±39.14
950	5.70±0.16	23.85±0.66	788.42±51.66
1,000	5.82±0.23	22.92±1.31	909.91±129.28
1,050	7.80±0.16	18.84±0.76	1,895.29±201.86
1,100	9.42±0.27	14.36±0.31	2,536.77±273.98
1,150	10.29±0.23	11.12±0.84	3,101.74±360.30
1,200	10.93±0.53	7.01±0.63	3,673.06±339.85



#### 4.5.6 สมบัติสีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี และสังเกตพินิจด้วยตาของดินเหนียวร้อนพิบูลย์ ก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่า 73.30-57.53 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวกประมาณ 11.72-15.51 สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) มีค่าบวกประมาณ 23.20-27.07 จากรูปที่ 4.20 แสดงสีของ ดินก่อนเผามีสีเหลืองอ่อน และหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1050 องศาเซลเซียส มีสีส้มอ่อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1100-1200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลอ่อนจนสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่วัดได้ในระบบซีไออี ลักษณะสีดินหลังเผาสีเข้มใกล้เคียงกับดินเหนียวบ้านท่าเตียน

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานจอกยางบ้านสามร้อยกล้า)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี ( $L^*a^*b^*$ )			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	68.47	+2.36	+18.77	เหลืองอ่อน
900	68.54	+12.24	+26.84	ส้มอ่อน
950	70.57	+12.25	+27.07	ส้มอ่อน
1,000	72.42	+12.36	+26.90	ส้มอ่อน
1,050	73.30	+11.72	+25.25	ส้มอ่อน
1,100	67.04	+13.76	+27.06	น้ำตาลอ่อน
1,150	61.27	+15.51	+25.78	น้ำตาลอ่อน
1,200	57.53	+14.08	+23.20	น้ำตาลเข้ม

#### หมายเหตุ

L ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์

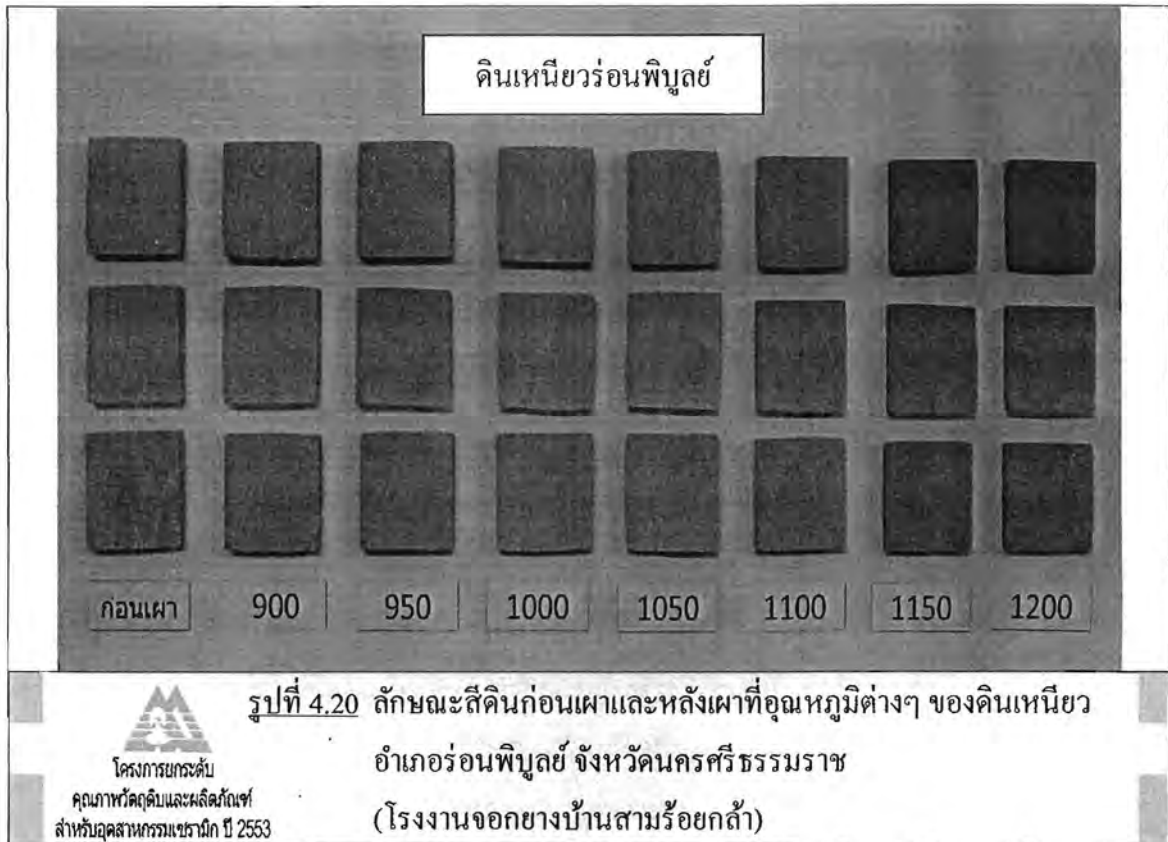
L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์

a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว

a ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีแดง



- a ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีเขียว
- b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
- b ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีเหลือง
- b ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



#### 4.5.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวอำเภอรอนพิบูลย์เป็นดินเหนียวไม่เหนียวละเอียดมากนัก ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่สูงในการเตรียมเนื้อดินปั้นแทบจะไม่ต้องมีการผสมวัสดุเพื่อลดความเหนียว หลังเผาผลิตภัณฑ์จะมีสัมบูรณ์ถึงน้ำตาลเข้ม ทนไฟได้สูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ กระจ่าง จอกน้ำยางพารา และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผิวเหนียวละเอียด อาทิ ของที่ระลึก ของชำร่วย แต่ต้องคัดขนาดอนุภาคดินเสียก่อน นอกจากนี้อาจนำไปเตรียมน้ำดินด้วยวิธีการหล่อได้อย่างดียิ่ง

#### 4.6 ดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงอิฐรุ่งโรจน์)

##### 4.6.1 องค์ประกอบทางเคมี

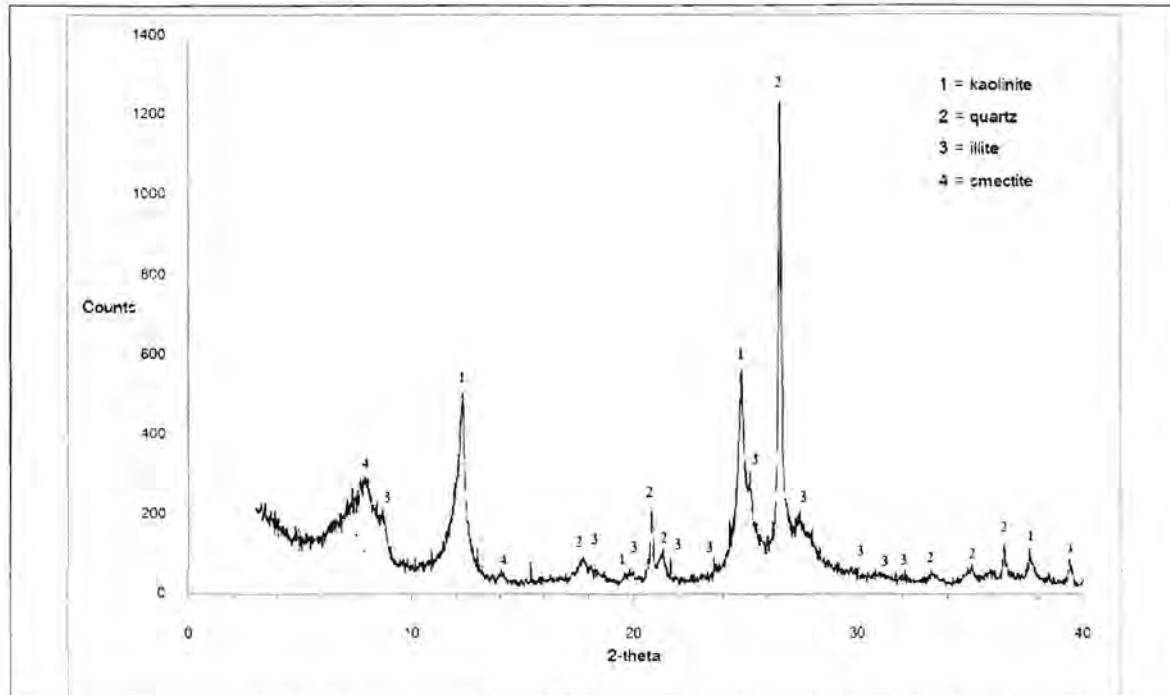
ตารางที่ 4.26 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวท่าประจะ พบว่า มีปริมาณซิลิกา ค่อนข้างสูง ร้อยละ 69.70 อลูมินา ค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 15.59 จึงจัดเป็นดินเหนียวที่มีทรายปนมากเหลือ ออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันร้อยละ 7.29 ทำให้มีสีหลังเผาเข้มมาก ปริมาณรวมของสาร ช่วยลดอุณหภูมิการเผา คือ แอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ มีปริมาณรวมกันไม่สูงนัก ร้อยละ 3.85 การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา มีค่าร้อยละ 5 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของดินนี้ใกล้เคียงกับเนื้อดินปั้น โมคลาน ยกเว้นที่สารให้สีสูงกว่าซึ่งทำให้ดินหลังเผามีสีแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.26 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงอิฐรุ่งโรจน์)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	69.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.08
TiO <sub>2</sub>	1.21
Na <sub>2</sub> O	0.21
K <sub>2</sub> O	1.53
MgO	0.72
CaO	0.18
MnO <sub>2</sub>	0.014
CaSO <sub>4</sub>	93 ppm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.055
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	4.89

#### 4.6.2 สมบัติทางแร่วิทยา

รูปที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วย ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ และสมกไทต์ ซึ่งลักษณะแร่ที่พบในดินนี้จะเหมือนกับเนื้อดินปั้น โมคลาน



โครงการยกระดับ  
คุณภาพท้องถิ่นและผลิตภัณ์  
สำหรับอุตสาหกรรมเชิงรุก ปี 2553

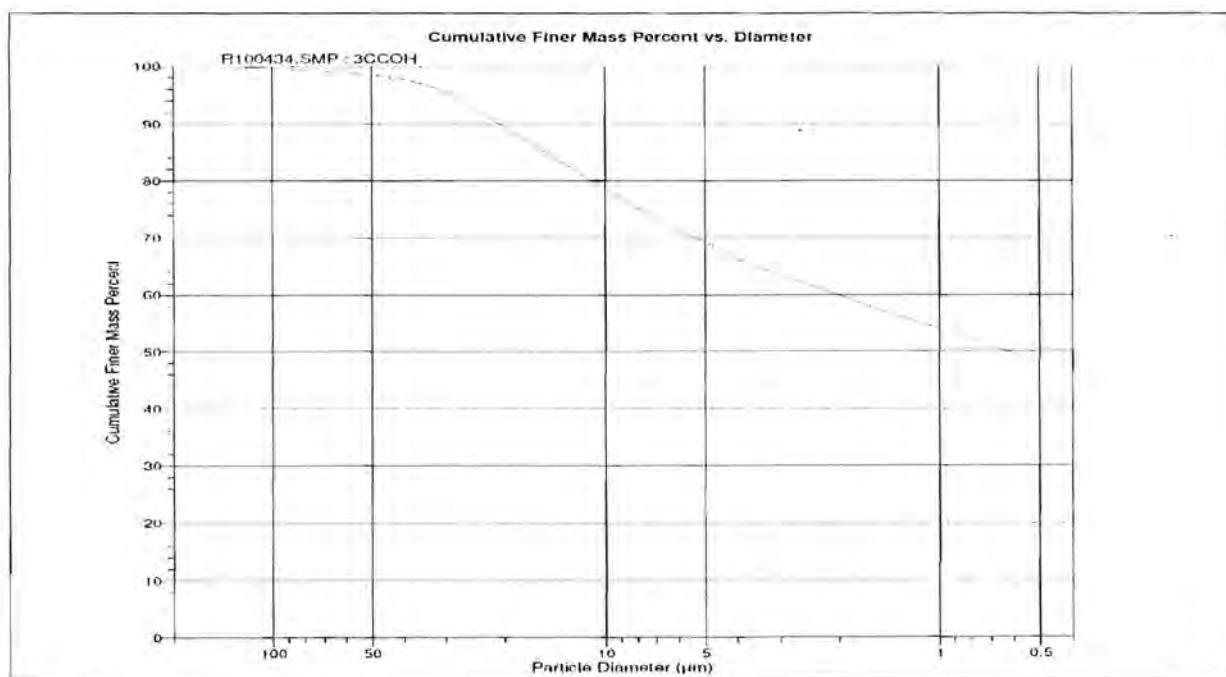
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงอิฐรุ่งโรจน์)

#### 4.6.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.22 แสดงค่าการคายน้ำ การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ดัชนีความเหนียว พบว่า มีปริมาณกาทกหยาบขนาดโตกว่า 325 เมช ค่อนข้างต่ำคือ น้อยกว่าร้อยละ 4.32 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร สูงพอสมควร ร้อยละ 59.8 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ มีค่า 8.14 มิลลิลิตร/100 กรัม ค่าดัชนีความเหนียว มีค่าสูงคือ 26.9 น่าจะเป็นผลจากแร่สมกไทต์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อพิจารณาผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่า ดินนี้มีเนื้อเนียนละเอียดพอสมควร

ตารางที่ 4.27 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียว ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด  
จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงอิฐรุ่งโรจน์)

กาก้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	0.75	200 เมช	1.25	325 เมช	4.32
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.8	<70 ไมโครเมตร	99.1	<53 ไมโครเมตร	98.6
<40 ไมโครเมตร	97.7	<20 ไมโครเมตร	89.5	<10 ไมโครเมตร	78.5
<5 ไมโครเมตร	69.2	<2 ไมโครเมตร	59.8	<1 ไมโครเมตร	54.0
<0.5 ไมโครเมตร	48.3				
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	8.14 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	47.2	Plastic limit	20.2	Plasticity index	26.9



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียว  
ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช  
(โรงอิฐรุ่งโรจน์)

#### 4.6.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

ตารางที่ 4.28 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียวท่าประจะสามารรถขึ้นรูปได้โดยแท่งดินไม่แตกหักเสียหาย ใช้น้ำผสมเพื่อให้ขึ้นรูปได้มีค่าร้อยละ 23 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้น ร้อยละ 7 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง 1,160 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับเนื้อดินปั้น โมคลาน

ตารางที่ 4.28 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียว ต่ำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงอิฐรุ่งโรจน์)

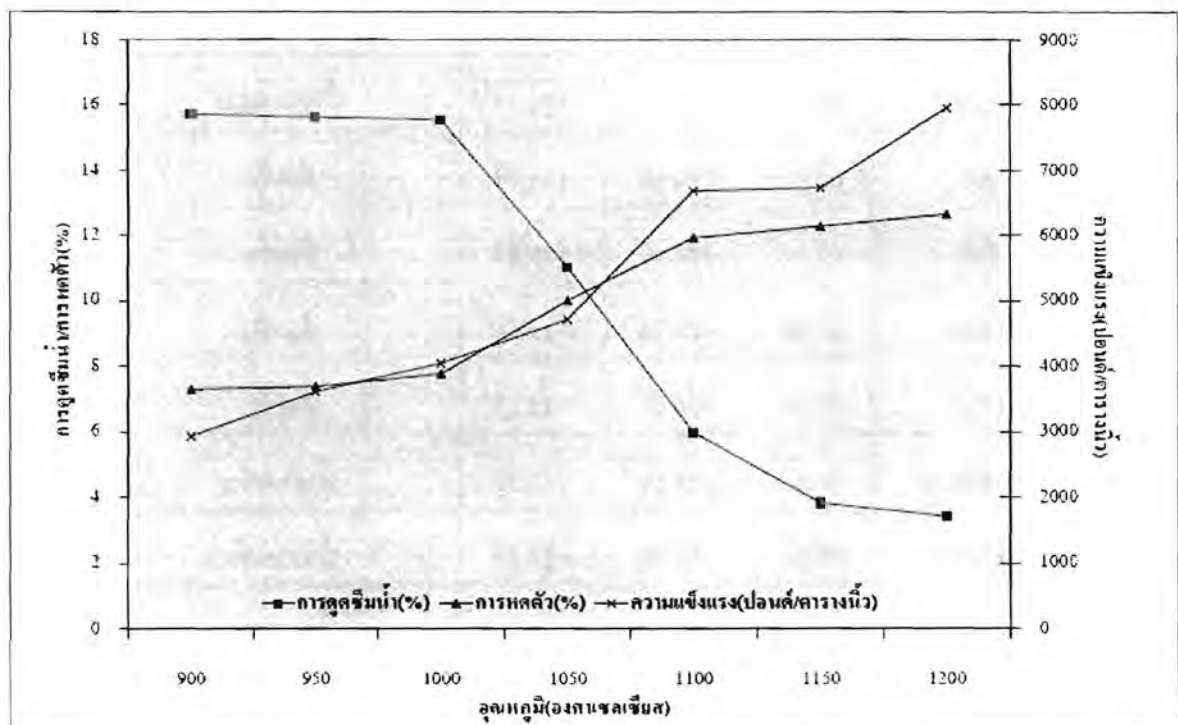
แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
ดินเหนียวท่าประจะ	22.68±0.31	6.95±0.41	1,160.07±30.20

#### 4.6.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.29 และจากรูปที่ 4.23 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของแท่งดิน หลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1200 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าดินมีการหดตัวร้อยละ 7.28-12.64 โดยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 15.68-3.40 สำหรับค่าความแข็งแรงมีค่าอยู่ในช่วง 2,924 -6,326 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วและลักษณะของแท่งดินรีดหรือชิ้นงานไม่พบรอยบวมเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า สามารถที่จะเผาสูงกว่าอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียว ตำบลท่าประจักษ์ อำเภอลำดวน จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงอิฐรุ่งโรจน์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	7.28±0.40	15.68±0.57	2,924.64±392.08
950	7.37±0.13	15.59±0.34	3,604.71±402.45
1,000	7.76±0.40	15.52±0.44	4,037.58±451.33
1,050	10.00±0.19	11.02±0.88	4,709.89±646.11
1,100	11.92±0.27	5.97±0.45	6,080.52±157.20
1,150	12.27±0.25	3.81±1.10	6,121.57±335.92
1,200	12.64±0.22	3.40±0.81	6,326.12±766.15



#### 4.6.6 สีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี ของตัวอย่างดินรูปสี่เหลี่ยมก่อนเผาและหลังเผา ในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส และสังเกตพินิจด้วยตาพบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าระหว่าง 62.92-45.43 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวก อยู่ระหว่าง 22.16-14.37 ค่าแสดงสีน้ำเงินและสีเหลือง (b) มีค่าบวกอยู่ระหว่าง 36.15-18.96 ดินก่อนเผามีสีน้ำตาลอ่อน จากรูปที่ 4.24 แสดงสีจากการสังเกตด้วยสายตาสีของดินหลังเผาจะมีเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ โดยช่วงอุณหภูมิ 900-1050 องศาเซลเซียส มีสีส้มเข้ม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1100-1200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่วัดในระบบซีไออี สำหรับสีของดินในแหล่งนี้จะมีสีเข้มกว่าแหล่งอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็นผลจากมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูง

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของดินเหนียว  
ตำบลท่าประจะ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงอิฐรุ่งโรจน์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี ( $L^*a^*b^*$ )			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	61.17	+6.15	+24.83	น้ำตาลอ่อน
900	62.92	+20.09	+33.79	ส้มเข้ม
950	62.48	+19.81	+35.64	ส้มเข้ม
1000	63.68	+19.16	+35.66	ส้มเข้ม
1050	63.58	+18.37	+36.15	ส้มเข้ม
1100	55.86	+22.16	+33.79	น้ำตาลเข้ม
1150	50.25	+20.46	+27.57	น้ำตาลเข้ม
1200	45.43	+14.37	+18.96	น้ำตาลเข้ม

#### หมายเหตุ

L ใช้กำหนดค่าความสว่าง

L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์

L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์

a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว

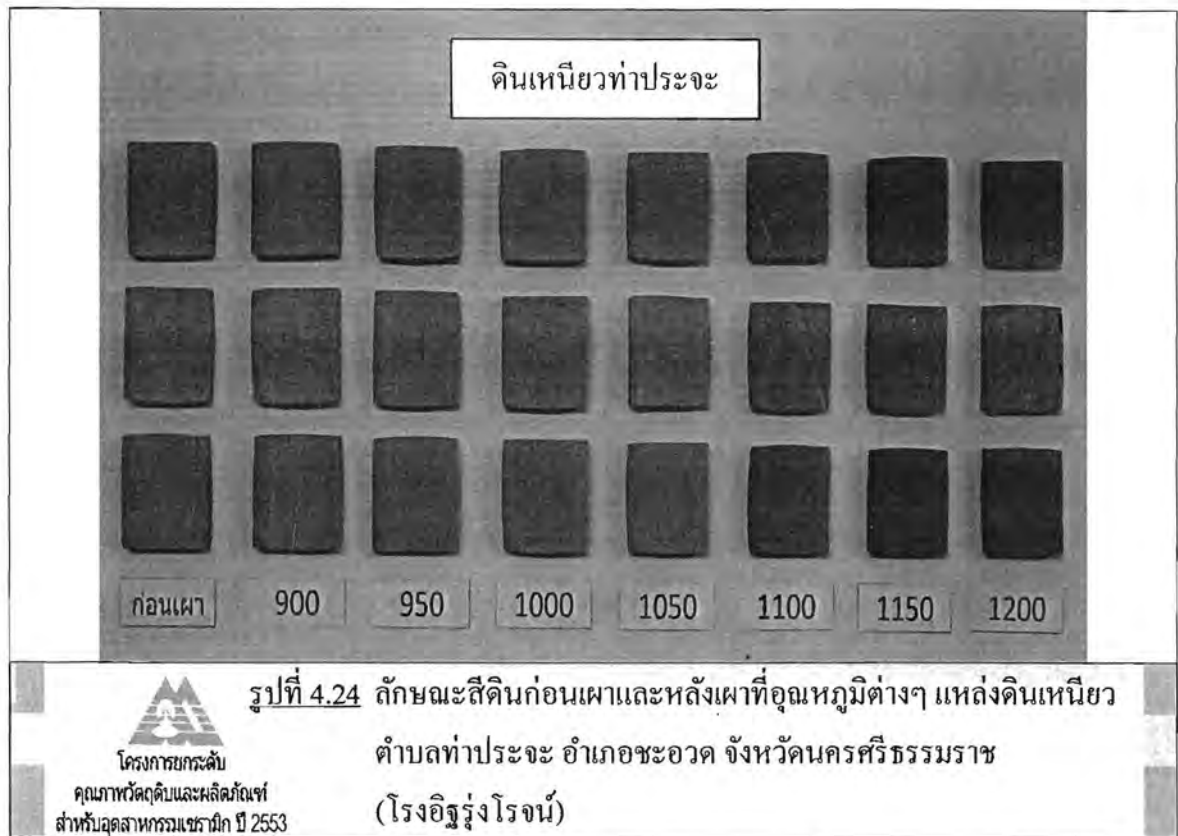
a ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีแดง

a ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีเขียว

b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือน้ำเงิน

b ค่าเป็นบวก สีจะไปในทิศทางสีเหลือง

b ค่าเป็นลบ สีจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



#### 4.6.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวทำประจะเป็นดินเหนียวปนทรายที่เนื้อละเอียดค่อนข้างสูง มีความเหนียวขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อแห้งแข็งดินมีความแข็งแรงสูงพอสมควร เผาแล้วจะให้สีส้มเข้มถึงน้ำตาลเข้ม ทนไฟได้เกิน 1,200 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ กระจาดต้นไม้ อิฐ กระเบื้อง หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบไฟสูง รวมทั้งการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ



#### 4.7 ดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานชะอวดดินทอง)

##### 4.7.1 องค์ประกอบทางเคมี

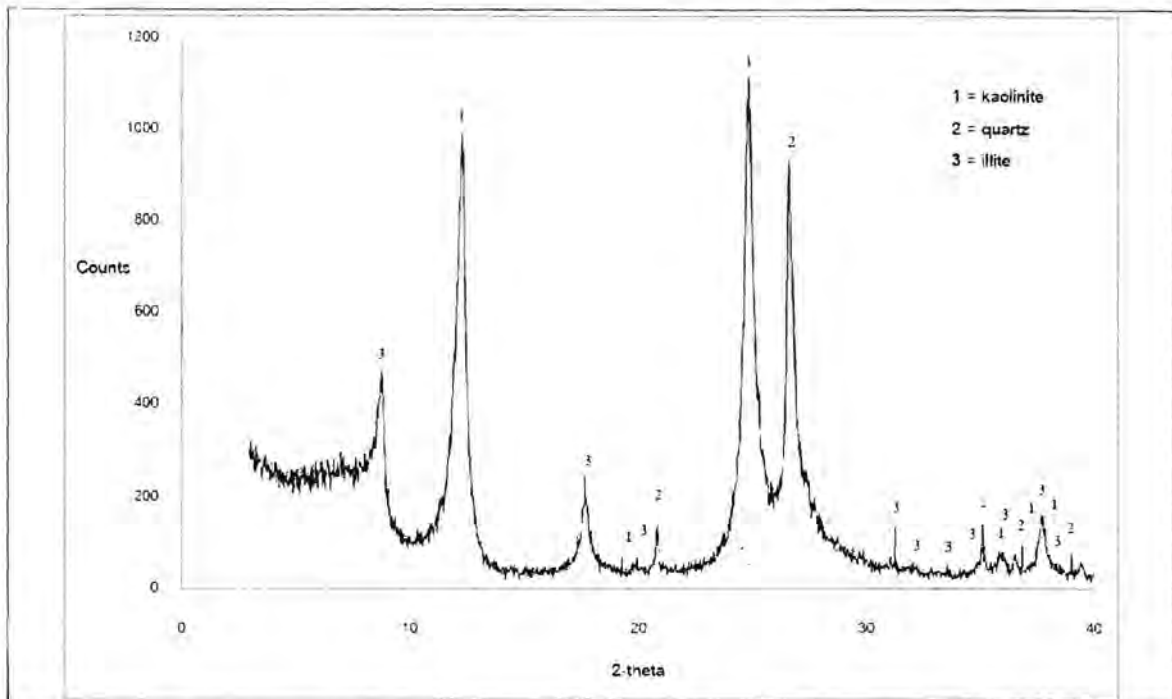
ตารางที่ 4.31 แสดงองค์ประกอบทางเคมีดินเหนียวท่าเสม็ด พบว่า มีปริมาณซิลิกา ค่อนข้างสูง ร้อยละ 67.71 อลูมินา ต่ำ ร้อยละ 18.07 เนื้อดินมีทรายปนอยู่มาก มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันสูง ร้อยละ 7.24 จึงทำให้ดินหลังเผามีสีเข้ม ปริมาณรวมของสารช่วยลดการสูกตัวคือ แอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ มีค่าค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 2.27 การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา มีค่าร้อยละ 5.55 ใกล้เคียงกับเนื้อดินท่าประจะ

ตารางที่ 4.31 แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	67.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.07
TiO <sub>2</sub>	1.17
Na <sub>2</sub> O	0.19
K <sub>2</sub> O	1.36
MgO	0.55
CaO	0.17
MnO <sub>2</sub>	0.008
CaSO <sub>4</sub>	121 ppm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.021
การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	5.55

#### 4.7.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดินในรูปที่ 4.25 พบว่าประกอบด้วย เคโอลิไนต์ ควอตซ์ และอิลไลต์



  
 โครงการยกระดับ  
 คุณภาพชีวิตและผลิตภัณ์  
 สำหรับอุตสาหกรรมชาวมก ปี 2553

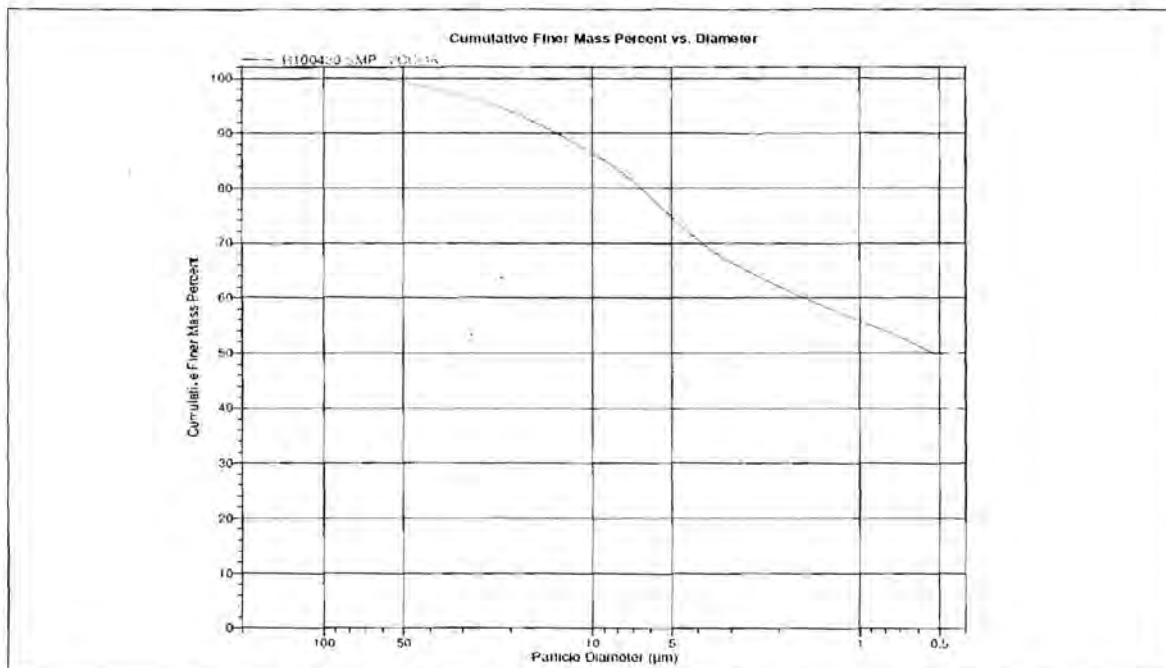
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของ  
 ดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด  
 จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานชะอวดดินทอง)

#### 4.7.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.32 แสดงค่าการก้ำกึ่งตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ค่าดัชนีความเหนียว พบว่า มีปริมาณกากหยาบขนาดโตกว่า 325 เมช ค่อนข้างต่ำคือ น้อยกว่าร้อยละ 4.70 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละ 62.2 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ มีค่า 11.29 มิลลิอิควิวเลนต์/100 กรัม ค่าดัชนีความเหนียว มีค่าค่อนข้างสูงคือ 29.4 จึงเป็นดินที่มีเนื้อเนียนละเอียด สำหรับดินเหนียวท่าเสม็ดเป็นดินที่เนื้อเนียนละเอียดมากกว่าดินเหนียวท่าประจะ อาจจะเป็นเพราะมีอนุภาคขนาดเล็กมากกว่า

ตารางที่ 4.32 แสดงสมบัติกายภาพของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานชะอวดดินทอง)

ภาคข้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	1.97	200 เมช	2.86	325 เมช	4.70
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	100.1	<70 ไมโครเมตร	99.9	<53 ไมโครเมตร	99.4
<40 ไมโครเมตร	98.3	<20 ไมโครเมตร	93.9	<10 ไมโครเมตร	86.4
<5 ไมโครเมตร	74.7	<2 ไมโครเมตร	62.2	<1 ไมโครเมตร	55.9
<0.5 ไมโครเมตร	49.7				
เมทิลีนบลูอินเด็กซ์	11.29 มิลลิกรัมวาเลนซ์/100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	48.6	Plastic limit	19.2	Plasticity index	29.4



#### 4.7.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

ตารางที่ 4.33 แสดงสมบัติการขึ้นรูปของดินเหนียวท่าเสม็ดซึ่งสามารถรีดขึ้นรูปได้โดยแท่งดินไม่แตกหักเสียหาย ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมเพื่อให้ขึ้นรูปได้มีค่าร้อยละ 22.79 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 7.58 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง 1,103 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอควร

ตารางที่ 4.33 แสดงปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดดินทอง)

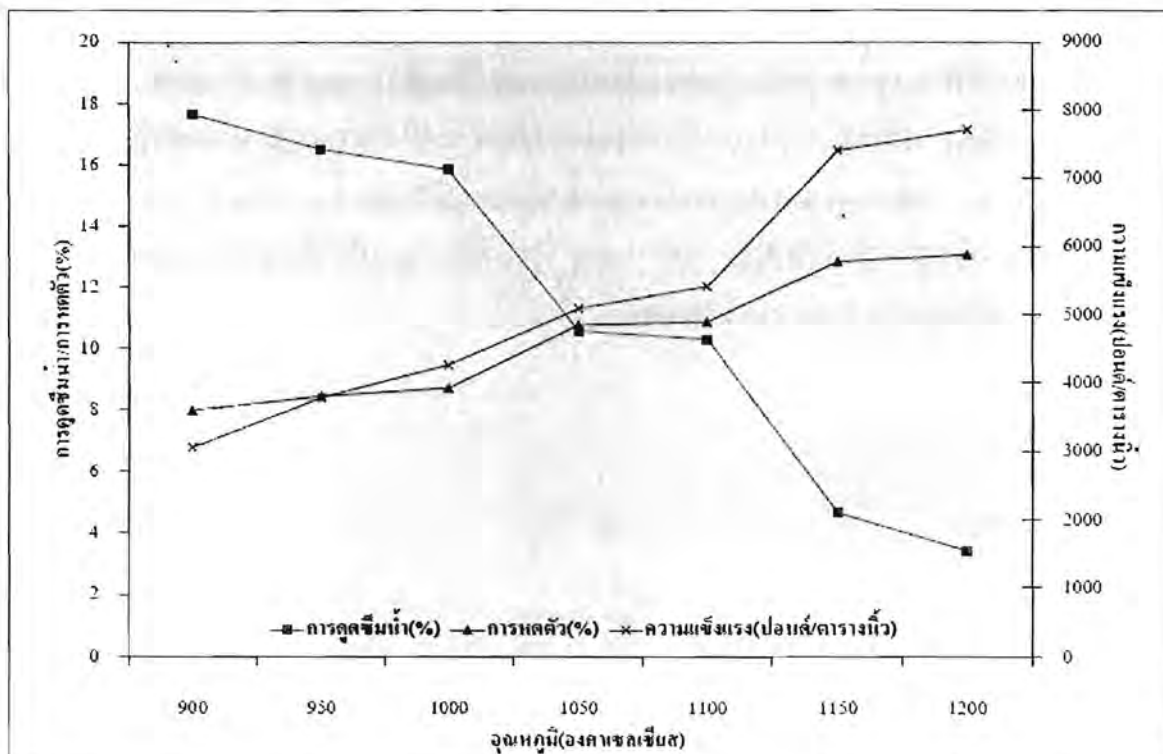
แหล่งดิน	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
ดินเหนียวท่าเสม็ด	22.79±0.36	7.56±0.16	1,103.57±73.76

#### 4.7.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.34 และรูปที่ 4.27 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดิน หลังเผา ในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าดินมีการหดตัวร้อยละ 7.99-13.06 โดยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 17.65-3.43 สำหรับค่าความแข็งแรงมีค่าอยู่ในช่วง 3,058 -7,672 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื้อดินมีช่วงการเผาที่กว้างพอสมควรทนไฟได้สูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (โรงงานชะอวดดินทอง)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	7.99±0.14	17.65±1.45	3,058.58±280.14
950	8.45±0.25	16.51±0.71	3,784.00±195.80
1,000	8.71±0.32	15.85±0.73	4,260.08±342.83
1,050	10.77±0.14	10.58±0.31	5,088.97±348.42
1,100	10.87±0.63	10.32±0.21	5,414.52±665.85
1,150	12.84±0.17	4.67±0.47	7,409.94±417.84
1,200	13.06±0.31	3.43±0.37	7,672.54±373.09



## 4.7.6 สีดินก่อนและหลังเผา

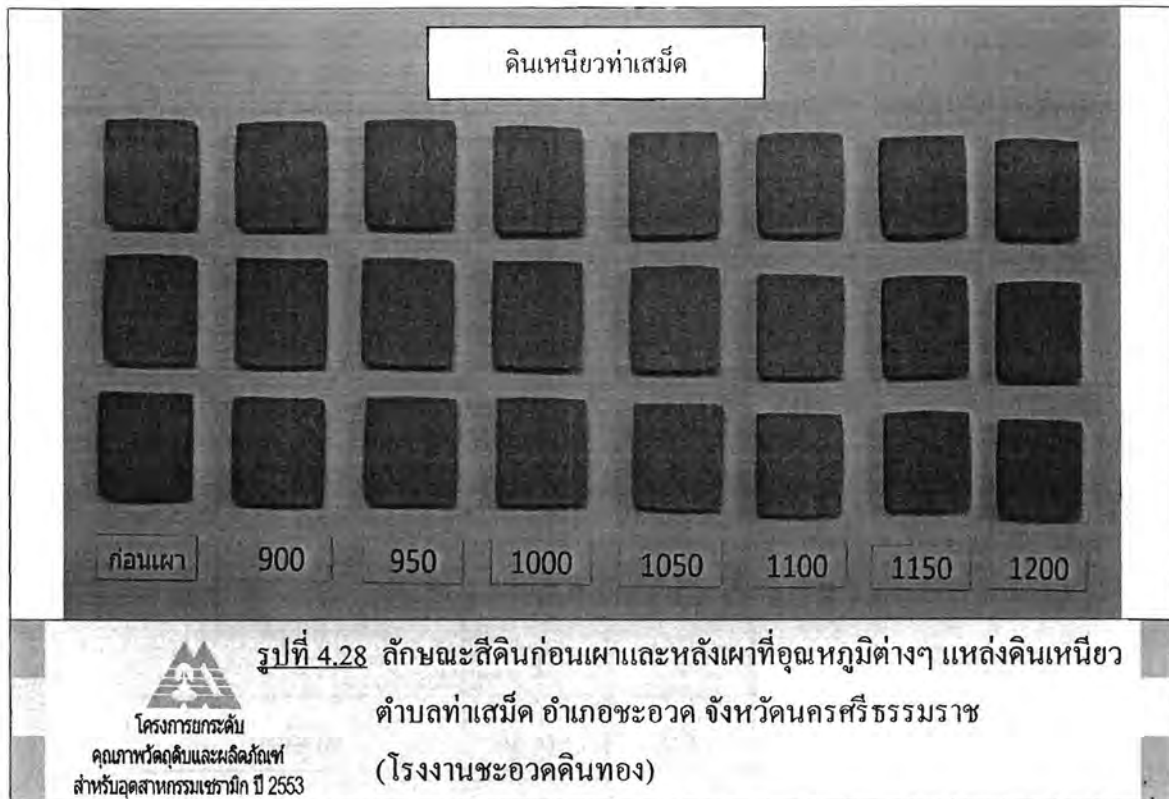
ตารางที่ 4.35 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี ของตัวอย่างดินรูปสี่เหลี่ยมก่อนเผาและหลังเผา ในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าระหว่าง 65.87-53.88 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวก อยู่ระหว่าง 15.03-8.96 ค่าแสดงสีน้ำเงินและสีเหลือง (b) มีค่าบวกอยู่ระหว่าง 28.05-21.11 รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะของสีดินก่อนเผามีสีเทาอ่อน สีดินหลังเผาเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ โดยช่วง 900-1,000 องศาเซลเซียส มีสีน้ำตาลอ่อน และช่วงอุณหภูมิ 1,050-1,200 มีสีน้ำตาลเข้ม ไปจนน้ำตาลเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่วัดในระบบซีไออี

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของดินเหนียว ตำบลท่าเสม็ด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช(โรงงานชะอวดคินทอง)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	58.51	+6.02	+16.46	เทาอ่อน
900	60.14	+14.95	+24.76	น้ำตาลอ่อน
950	62.75	+14.31	+26.44	น้ำตาลอ่อน
1,000	63.87	+14.01	+27.26	น้ำตาลอ่อน
1,050	65.87	+12.34	+26.32	น้ำตาลเข้ม
1,100	64.30	+12.18	+28.05	น้ำตาลปนส้ม
1,150	57.27	+15.03	+27.58	น้ำตาลเข้ม
1,200	53.88	+8.96	+21.11	น้ำตาลปนเหลือง

## หมายเหตุ

- |                                 |                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| L ใช้กำหนดค่าความสว่าง          | L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์    |
|                                 | L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์ |
| a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว       | a ค่าเป็นบวก สีจะไปทิศทางสีแดง        |
|                                 | a ค่าเป็นลบ สีจะไปทิศทางสีเขียว       |
| b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน | b ค่าเป็นบวก สีจะไปทิศทางสีเหลือง     |
|                                 | b ค่าเป็นลบ สีจะไปทิศทางสีน้ำเงิน     |



#### 4.7.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวท่าเสม็ดเป็นดินเหนียวปนทรายที่เนื้อละเอียดพอควร มีความเหนียวดีขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อแห้งแข็งดินมีความแข็งแรงสูงพอสมควร เผาแล้วจะให้สีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้มและเหลือง ทนไฟสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงหลังเผาไม่สูงนัก มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ กระถางต้นไม้ จอกน้ำยาง หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบไฟสูง รวมทั้งการเตรียมด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน

## บทที่ 5

### สรุป

#### 5.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์ดินทั้ง 7 แห่ง พบว่า ดินส่วนใหญ่มีปริมาณซิลิกาและอลูมินาสูงโดยมีค่า(57.15-74.5%)และ(20.62-27.37%) ตามลำดับ ยกเว้น เนื้อดินปั้น โมคลาน ดินเหนียว ต.ท่าประจะ และดินเหนียว ต.ท่าเสม็ด ที่มีอลูมินาต่ำ(14.82-18.07%)ดินทุกแห่งมีปริมาณรวมของเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์(3.14-7.29%)โดยดินเหนียวท่าประจะและดินเหนียวท่าเสม็ด อำเภอลำทะเมนชัยมีค่านี้ค่อนข้างสูงทำให้ดินมีสีเข้มกว่าดินแห่งอื่นๆ ในขณะที่ปริมาณรวมของสารแอลคาไลน์ (โซเดียมและโพแทสเซียมออกไซด์) และแอลคาไลน์เอิร์ธ (แคลเซียมและแมกนีเซียมออกไซด์)มีค่าค่อนข้างต่ำ (2.27-3.48%) ยกเว้นดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ที่มีค่าสูง 5.20 % สำหรับการสูญเสียน้ำหนักหลังการเผาของดินทุกแห่งมีค่า (4.68-8.99%)

องค์ประกอบทางเคมี(ร้อยละ)												
แหล่งดิน	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*CaSO <sub>4</sub>	LOI
ชั้นบนท่าศาลา	57.41	27.37	3.58	0.70	0.05	0.39	1.57	-	0.010	-	-	8.990
ชั้นล่างท่าศาลา	67.86	20.62	2.49	0.70	0.06	0.33	1.93	-	0.013	-	-	6.070
บ้านท่าเตียน	60.59	21.84	4.61	0.91	0.09	0.74	2.16	0.49	0.010	0.040	561	8.520
โมคลาน	74.50	14.82	2.50	0.64	0.11	0.52	2.31	0.39	0.009	0.022	210	4.679
ร่อนพิบูลย์	57.15	26.29	3.62	0.40	0.08	0.34	4.26	0.52	0.031	0.043	-	7.310
ท่าประจะ	69.70	15.59	6.08	1.21	0.18	0.72	1.53	0.21	0.014	0.055	93	4.893
ท่าเสม็ด	67.71	18.07	6.07	1.17	0.17	0.55	1.36	0.19	0.010	0.020	-	5.550

\* หน่วยที่ใช้: หนึ่งส่วนในล้านส่วน (ppm)



## 5.2 แร่วิทยา

ผลการวิเคราะห์แร่ในอนุภาคดินจากแหล่งต่างๆพบว่าประกอบด้วยแร่ ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ ยกเว้น เนื้อดินปั้น โมคลาน ดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ และดินเหนียวท่าประจะ อำเภอลำทะเมนชัย ที่มี แร่สเมกไทต์ ปะปนอยู่ด้วย

## 5.3 ค่ากาค้างสะสมบนตะแกรง

ดินส่วนใหญ่มีค่ากาค้างสะสมบนตะแกรง 325 เมช ก่อนข้างสูง (7.22-27.27 %) ยกเว้น ดินเหนียวท่าประจะและดินเหนียวท่าเสม็ดที่มีค่าต่ำกว่า 5%

กาค้างสะสมบนตะแกรง(ร้อยละ)			
แหล่งดิน	100 เมช	200 เมช	325 เมช
ชั้นบนท่าศาลา	2.27	4.90	7.22
ชั้นล่างท่าศาลา	6.73	12.84	17.10
บ้านท่าเตียน	1.58	4.42	7.94
ดินปั้น โมคลาน	13.75	19.47	27.27
ร่อนพิบูลย์	5.04	14.58	20.90
ท่าประจะ	0.75	1.25	4.32
ท่าเสม็ด	1.97	2.86	4.70

## 5.4 การกระจายความละเอียด

ในขณะที่ปริมาณอนุภาคขนาดละเอียด (<2  $\mu\text{m}$ ) สูงกว่า 60 % ในดินเกือบทุกแหล่ง ยกเว้น เนื้อดินปั้น โมคลานและดินเหนียว อำเภอร่อนพิบูลย์ ที่มีค่าต่ำกว่า 50 % เนื่องจากมีกากหยาบมาก

การกระจายตัวความละเอียดสะสม(ร้อยละ)						
แหล่งดิน	<20 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$	<5 $\mu\text{m}$	<2 $\mu\text{m}$	<1 $\mu\text{m}$	<0.5 $\mu\text{m}$
ชั้นบนท่าศาลา	95.1	89.8	83.1	72.0	63.9	53.8
ชั้นล่างท่าศาลา	92.1	83.1	74.1	62.6	55.3	47.2
บ้านท่าเตียน	94.2	89.2	79.7	65.6	58.4	51.7
โมคลาน	80.9	71.6	63.5	52.8	47.5	43.0
ร่อนพิบูลย์	82.2	68.2	56.0	43.6	36.4	28.3
ท่าประจะ	89.5	78.5	69.2	59.8	54.0	48.3
ท่าเสม็ด	93.9	86.4	74.7	62.2	55.9	48.7

### 5.5 ค่าเมทิลลิโนบูลอินเด็กซ์และดัชนีพลาสติก

ดินทุกแหล่งมีค่าเมทิลลิโนบูลอินเด็กซ์และดัชนีพลาสติกที่มีค่า (5.33-11.29 meq/100 g) และ (18-34) ตามลำดับ โดยดัชนีพลาสติกจะมีค่ามากในดินเหนียวที่มีปริมาณขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมครอน มาก

### 5.6 ค่าความชื้น

ดินส่วนใหญ่ต้องการน้ำผสมเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ (21.03-24.74 %) ยกเว้นดินเหนียวชั้นบน อำเภอน้ำสาขลา ที่มีค่าสูง 30.73 % เนื่องจากมีอนุภาคขนาดละเอียดมาก สำหรับการหัดตัวและความแข็งแรงของดินทุกแหล่งมีค่า (5.48-8.12 %) และ (335.25-1,357 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ตามลำดับ โดยดินบ้านท่าเตียนมีค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งสูงสุด

### 5.7 ค่าการหัดตัวหลังเผา

หลังจากเผาที่ 900-1200 องศาเซลเซียส ดินทุกแหล่งมีค่าการหัดตัวและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและการดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ดินเหนียวชั้นบน อำเภอน้ำสาขลา เป็นดินที่มีค่าการหัดตัวหลังเผา 16.81% และความแข็งแรงสูงสุด 9,849 ปอนด์/ตารางนิ้ว และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด 0.70 % ดินส่วนใหญ่มีช่วงการเผาไม่กว้างนักและทนไฟได้สูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส ยกเว้นดินเหนียวชั้นบน อำเภอน้ำสาขลา และดินเหนียวบ้านท่าเตียนทนไฟได้ต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียส

### 5.8 สีของดิน

สีของดินเหนียวทุกแหล่งเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิการเผาโดยจะมีสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลแดงเข้ม โดยเฉพาะดินเหนียวท่าประจะและดินเหนียวท่าเสม็ดซึ่งมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูง

### 5.9 การใช้ประโยชน์

ดินเหนียวทุกแหล่งเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียด มีความเหนียวดี มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยในครัวเรือนหรือตกแต่งต่างๆ อาทิ กระจาง กระเบื้อง อิฐ จอกน้ำ ขางพารา เป็นต้น ดินเกือบทุกแหล่งสามารถทนไฟได้ถึง 1200 องศาเซลเซียสอาจจะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบไฟต่ำไปจนถึงไฟสูงได้ ดินเหนียวชั้นบนท่าสาขลาและดินเหนียวร่อนพิบูลย์เป็นดินที่ปริมาณดินมากกว่าแหล่งอื่นสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผิวเนียนละเอียด อาทิ ขອງที่ระลีก ของชำร่วย



## บรรณานุกรม

- ชาญ จรรย์วานิชย์ และ สดา พันธุ์สุขุมธนา. 2540. เทคโนโลยีสำหรับงานสุขภัณฑ์. บริษัท เคลย์แอนด์  
มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักย์ จันทร์เจริญสุข. 2542. การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชา ปฐพีวิทยา,  
คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2540. เชรามิก. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พิกุลทอง ประเสริฐศักดิ์. 2541. คุณภาพของแร่ดินกับการวิเคราะห์ทางเคมี. ฝ่ายวิเคราะห์แร่และหิน,  
กองวิเคราะห์, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. 2541. เนื้อดินปั้นเชรามิก. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. วิธีทดสอบกระเบื้องดินเผา (มอก.38-2531). กระทรวง  
อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- ศรีไฉล ขุนทน. 2546. สมบัติดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในแหล่งหัตถกรรมพื้นบ้าน  
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2529. เทคโนโลยีเชรามิกเบื้องต้น. กอง  
การวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,  
กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545. โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและ  
ผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในภูมิภาค ปีที่ 1. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546. โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและ  
ผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในภูมิภาค ปีที่ 2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- อายุวัฒน์ สว่างผล. 2543. **วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิก**. ภาควิชาหัตถศึกษาและอุตสาหกรรมศิลป์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร, กรุงเทพฯ.
- อัญชลี สุทธิประการ.. 2534. **แร่ในดินเล่มที่ 1, 2**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2542. **การสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- American Society for Testing and Materials. 1981. **Standard Test Method for Methylene blue index of Clays**. ASTM C837-81.
- American Society for Testing and Materials. 1982. **Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkage of Ceramic Whiteware Clays**. ASTM C362-82.
- American Society for Testing and Materials. 1991. **Determining the Particle Size Distribution of Alumina by Centrifugal Photosedimentation**. ASTM C1182-91.
- American Society for Testing and Materials. 1993. **Standard Test Method for Strength of Ceramic Whiteware Clays**. ASTM C689-93.
- American Society for Testing and Materials. 1994. **Standard Practice for Identification of Instrumental Methods of Color or Color-Difference Measurement of Materials**. ASTM E805-94.
- American Society for Testing and Materials. 1994. **Standard Test Method for Loss on Electrical Grade Magnesium Oxide**. ASTM C2773-94.
- Bear, F.E. 1967. **Chemistry of the Soil**. 2nd ed. New York, Reinhold Publishing Corporation.
- Buckman, H.O. and N.C. Brady. 1969. **The Nature and Properties of Soils**. The MacMillan Company, New York
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken. 1989. **Soil Genesis and Classification**. 3rd ed. Iowa State University Press, Ames.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Brindley, G.W. and G. Brown. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification, pp. 305-359. *In* G.W. Brindley and G. Brown, eds. **Crystal Structure of Clay Minerals and Their X-ray Identification Mineralogical Society**. Monograph. No. 5. Spottiswoode Ballantyne Ltd., London.
- Gillson, J.L., 1960. **Industrial Mineral and Rocks**. The Am Inst of Mining Metal and Petro. Eng New York.
- Jackson, M. L. 1965. **Soil Chemical Analysis Advance Course**. Dept of Soil Sci. Univ. of Wisconsin.
- Jenny, H. 1980. **The Soil Resource-Origin and Behavior**. Springer-Verlag, New York.
- Jepson, B. 1984. Kaolins: their properties and uses. **Philos. Trans. Roy. Soc.** 311: 411-432.
- Jones, A.A. 1987. X-ray fluorescence spectrometry, pp. 85-121. *In* A.L. Page, ed. **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Agron. Monograph No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Ryan. W and Radford. C, 1989. **Whiteware Production, Testing and Quality Control**. Pergamon Press.
- Whittig, L.D. 1965. X-ray Diffraction technique for minerals identification and mineralogical composition, pp. 671-698. *In* C.A. Black, ed. **Methods of soil Analysis**. Part I. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.