

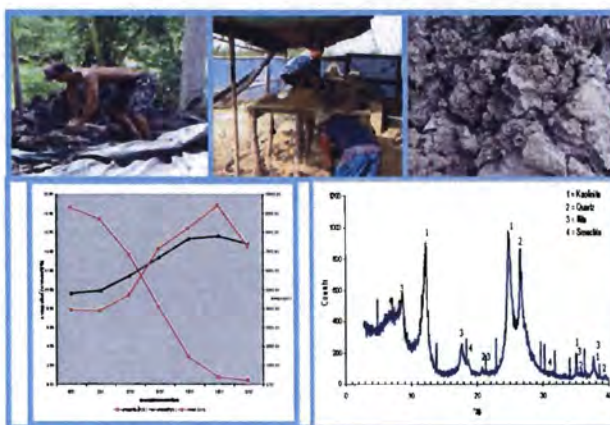
# รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก: ปีที่ 3 (ภาคกลาง)

Upgrading of Ceramic Raw Material and Products for Ceramic Industry: Year III (Central Part)

ฉบับที่ 3

การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียว



เสนอ

จพ  
ลว 15  
016436  
ล.3

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

โดย

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2553

## คณะผู้วิจัย

### คณะที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว  
คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ดร. ชาญ จรรยาวิชย์  
อดีตผู้เชี่ยวชาญ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม
3. รองศาสตราจารย์ ดนัย อารยะพงศ์  
อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นางปนัดดา มณีโรจน์  
เลขานุการสถาบัน สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### คณะผู้วิจัย

1. อาจารย์ ดร. สิริพรรณ นิลไพรัช  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 1 การบริหารและประสานงานโครงการ  
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 3 การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียว
2. ศาสตราจารย์ ดร. ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล  
อาจารย์ประจำภาควิชาธรณี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 2 การสำรวจปริมาณและคุณภาพของแหล่งดินเหนียว
3. อาจารย์ ดร. สรินทร ถิมปนาท  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 4 การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
4. รองศาสตราจารย์ ดร. อรพินท์ พานทอง  
อาจารย์ประจำภาควิชาการออกแบบอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 5 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

## คณะผู้วิจัย (ต่อ)

5. อาจารย์ ดร. ฉัญฉุตา ชวนเกริกกุล  
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 6 การปรับปรุงฐานข้อมูล
6. นางสาวปราณี รัตนวลิตโรจน์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 1)  
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. นางสาวกนกวรรณ แสงเกียรติชอุท (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 1)  
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. นางสาวสวลี เสนาพิทักษ์ (ผู้ช่วยนักวิจัย กลุ่มงานที่ 1 และ 4)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. นายศรีไฉล ขุนทน (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 2)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร วาสนาเพชรพงศ์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)  
อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. อาจารย์ ดร. กฤษณา ศิริเลิศมุกด (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)  
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. อาจารย์ ดร. รัฐพล รั้งภูพันธ์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)  
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. ดร. สุพิณ แสงสุข (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)  
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. นายอดิศักดิ์ ถือพลอย (ผู้ช่วยนักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)  
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. นางสาวปัญญสิริ รมชานนท์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 5)  
นักออกแบบอิสระ
16. นางสาวนัทธมน ตั้งตรงมิตร (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 5)  
นักออกแบบอิสระ

คณะผู้วิจัย (ต่อ)

17. นายฐาปยุทธ ถ้ำอุทก (ผู้ช่วยวิจัยในโครงการ)
18. นายเกรียงไกร ยอดชมภู (ผู้ช่วยวิจัยในโครงการ)
19. นางสาวสุธารัตน์ อัครมณีกาญจน์ (ผู้ช่วยวิจัยในโครงการ)
20. นางสาวนุชรดา โชติอุดมรัตน์ (ผู้ประสานงานโครงการ)
21. นางสาวสุดา อินทองแก้ว (ผู้ประสานงานโครงการ)

## รายงานการศึกษา

รายงานการศึกษาประกอบด้วยรายงานฉบับสมบูรณ์ จำนวน 6 ฉบับ คือ

- ฉบับที่ 1 การบริหารและประสานงานโครงการ  
สถานภาพและการประเมินการพัฒนาแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาป่าหมาก  
การติดตามผลการดำเนินโครงการ ปีที่ 1 (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) และปีที่ 2 (ภาคเหนือ)
- ฉบับที่ 2 การสำรวจปริมาณและคุณภาพของแหล่งดินเหนียว
- ฉบับที่ 3 การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียว
- ฉบับที่ 4 การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
- ฉบับที่ 5 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์
- ฉบับที่ 6 การปรับปรุงฐานข้อมูล และการอบรม ประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่ผลงานประจำปี

## บทคัดย่อ

ดินเหนียวจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนดาช้าง และดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โรงอิฐ ตำบลบางปลาจอก อำเภอป่าโมก และโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง และโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์ ได้นำมาตรวจสอบ โดยได้ศึกษาส่วนผสมทางเคมี แร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติการขึ้นรูปและสมบัติหลังเผา

ผลการตรวจสอบสมบัติต่างๆ สรุปได้ว่า ดินเหนียวของแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาป่าหมาย มีปริมาณ  $\text{SiO}_2$  ระหว่างร้อยละ 53.31-60.59 ในขณะที่มี  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ระหว่างร้อยละ 18.96-24.46 ดินหลังสวนสมโภชน์มี  $\text{SiO}_2$  สูง ร้อยละ 60.59 และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ต่ำ ร้อยละ 19.79 จึงมีซิลิกาอิสระมาก ดินจากทุกแหล่งมีปริมาณ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  สูง ระหว่างร้อยละ 5.64-7.24 จึงทำให้ดินมีสีแดงหลังเผา ดินโรงอิฐบางปลาจอก ดินบ้านหูกวาง และดินหลังสวนสมโภชน์ มีปริมาณสารช่วยลดอุณหภูมิการเผา (fluxing oxide) คือ  $\text{Na}_2\text{O}$   $\text{MgO}$   $\text{K}_2\text{O}$  และ  $\text{CaO}$  สูงร้อยละ 4.3-5.1 ทำให้สุกตัวที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับดินบ้านคอนดาช้างซึ่งทนไฟสูงกว่า 1,150 องศาเซลเซียส ดินทุกแหล่งประกอบด้วย แร่ควอร์ตซ์ แร่แคลไซต์ แร่โอลิไบต์ แร่อีลไลต์ และแร่สมกไทต์ ดินทุกแหล่งมีค่าดัชนีการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กลงกว่า 2 ไมโครเมตร ค่าเมทิลบลูอินดิคซ์และดัชนีความเหนียวโดยมีค่าเป็นร้อยละ 99.7, 23.83 meq/100 g และ 34.09 ตามลำดับ ทำให้เนื้อดินเหนียวละเอียดมาก ในขณะที่ดินเหนียวจากโรงอิฐบางปลาจอก ดินบ้านหูกวาง และดินหลังสวนสมโภชน์ มีสมบัติข้างต้นระหว่างร้อยละ 62.7-82.8, 8.26-19.08 meq/100 g และ 25.07-29.07 ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นเนื้อดินที่ค่อนข้างเหนียวละเอียดมาก เมื่อนำไปใช้ขึ้นรูปแบบพลาสติก จึงควรผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียวเพื่อลดความเหนียวของดินซึ่งทำลดปัญหาหลังตากแห้งและเผา ดินทุกแหล่งมีค่าความชื้นในแห้งดิน การหดตัวหลัง และความแข็งแรงหลังการอบแห้ง ระหว่างร้อยละ 23-26 ร้อยละ 8-9 และ 1,257-2,095 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ ดินทุกแหล่งหลังเผาทนไฟได้ 1,100 -1,150 องศาเซลเซียส มีช่วงการเผาแคบ มีสีเหลืองส้มถึงน้ำตาลแดง สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเครื่องปั้นดินเผาและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีธรรมชาติ

จพ  
เลขหมู่ ลว 15  
เลขทะเบียน 016436 ล.3  
วัน, เดือน, ปี 17 มี.ค. 58

## Abstract

The earthenware clays from Ban Don Ta Chang and Saun Sompot, tambon Phraya Banlue, Lat Bua Luang district, Phra Nakhon Si Ayutthaya province, Brick's factory, tambon Bang Pla Kot, Pa Mok district, Ban Pa, tambon Tri Narong, Chaiyo district, Ang Thong province and Ban Hu-Kwang, tambon Hu-Kwang, Banphot Phisai district, Nakhon Sawan province were investigated. The study covers their chemical and mineralogical composition as well as physical, forming, and fired properties. Result showed that all clays contained silica in the range of 53.31 % to 60.59 % whereas alumina was in the range of 18.96 % to 24.46 %. Clay Lat Bua Luang had high silica content of 60.59 % with low alumina content of 19.79. Therefore, this clay was free silica rich. All of the clays had comparatively high amount of iron oxide and titanium oxide from 5.64 % to 7.24 %, being responsible for the reddish color after firing. Comparing to clay Ban Don Ta Chang that could withstand temperature higher than 1,150 °C, clays Ban Pa Mok Ban Chawai, Ban Hu-Kwang and Lat Bua Luang had high amount of fluxing oxide ( $\text{NaO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  and  $\text{CaO}$ ) between 4.3-5.1 %, as a result, maturing temperature was lower. The mineralogical compositions found in all clays were quartz, kaolinite, illite and smectite. All of the clays displayed low amount of residue on 325 mesh sieve (<3%). Clay Ban Don Ta Chang had high values of fine particle, methylene blue index and plasticity index of 99.7%, 23.83 meq/100g and 34.09, respectively. This resulted in a very fine texture of the clay. On the other hand, clays from Ban Pa Mok, Ban Chawai, Ban Hu-Kwang and Lat Bua Luang had the above values in the range of 62.7-82.8 %, 8.26-19.08 meq/100g and 25.07-29.07, respectively. These could also be classified as fine texture clays. For this reason, when making products with plastic forming technique, non-plastic material was required to be added for reducing their high plasticity which could cause cracking for the period of drying and firing. All the clays had moisture content, shrinkage and strength in the range of 23-26 %, 8-9% and 1,257-2,095 psi, respectively. They could also withstand temperature at 1,100-1,150 °C and had narrowed of firing range. After firing, color of all clays was orange-yellow to red-brown. The clays possess all the properties required to be raw materials for local earthenware pottery and natural colored products.

## คำนำ

โครงการยกระดับคุณภาพวัดดูดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณปี พ.ศ. 2552 เพื่อดำเนินการวิจัยเสนอสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) มีระยะเวลาดำเนินโครงการ 1 ปี โดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ คือ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งทางสถาบันฯ ได้มอบหมายให้บุคลากรผู้มีประสบการณ์เป็นผู้ดำเนินการในโครงการฯ ดังกล่าว

รายงานฉบับสมบูรณ์ ฉบับที่ 3 ประกอบด้วย การรายงานผลการศึกษาค้นคว้าซึ่งใช้เป็นวัดดูดิบใน 4 แห่ง คือ 1) ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 2) ตำบลบางปลาหมอ อำเภอบางบาล จังหวัดอ่างทอง 3) ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง และ 4) ตำบลกุฎทอง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อนำเสนอต่อแหล่งทุนตามที่กำหนดไว้ในสัญญา

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2553



## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณท่านที่ปรึกษาทุกท่านสำหรับคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่ง ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อำพน วัฒนรังสรรค์ เป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำในการพัฒนาเครื่องไฟฟ้า (850 องศาเซลเซียส) และนายสมนึก อัมหิรัญ สำหรับข้อมูลที่นำมาใช้ในการคัดเลือกแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเข้าร่วมโครงการฯ ขอขอบพระคุณผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา โดยเฉพาะผู้มีรายชื่อต่อไปนี้

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1. นายสมโภชน์ ขันทองหล่อ
2. นางบุญชู อำนวย

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาโรงอิฐ ตำบลบางปลาจืด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

1. นายสุรพร ธรรมรักษ์
2. นายชาญเวช มุนินทร์นิมิตต์

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

1. นายภาณุภาคย์ ทรัพย์มาก
2. นายสมบัติ เกตุถาวร

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตำบลหูกวาง อำเภอพรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

1. นายฉลอง เปรมพลับ
2. นางจำปา ไพรบึง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือสำหรับทำการทดลอง และนายสมคิด ทองสีดา ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณบุคลากรสำนักงานเลขาธิการ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ในการช่วยเหลือด้านเอกสารต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้โครงการฯ สามารถดำเนินการลุล่วงและสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2553

## สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย	iii
รายงานการศึกษา	vii
บทคัดย่อ	ix
คำนำ	xiii
กิตติกรรมประกาศ	xv
สารบัญ	xvii
สารบัญตาราง	xix
สารบัญรูป	xxiii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับดินเหนียว	3
2.1 ปัจจัยที่ควบคุมสมบัติของดินเหนียว	4
2.2 สมบัติทางเซรามิกบางประการของดินเหนียว	5
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดิน	7
3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน	7
3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน	9
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ในดิน	9
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเซรามิกบางประการ	10
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	12
บทที่ 4 ผลการตรวจสอบสมบัติดินเหนียววัดดูดิบ	13
4.1 แหล่งดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนดาช้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	13
4.2 แหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	21
4.3 แหล่งดิน โรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 แหล่งคืนโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลตริณรังค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	36
4.5 แหล่งคืนโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	43
บทที่ 5 สรุป	51
บรรณานุกรม	55

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1	13
องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุคิบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.2	15
สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุคิบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.3	17
ปริมาณความชื้นในแห้งดินรีด การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุคิบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.4	18
ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.5	19
ค่าการวัดสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบ จาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.6	21
องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุคิบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.7	23
สมบัติกายภาพของดินเหนียววัตถุคิบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.8	24
ปริมาณความชื้นในแห้งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุคิบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.9	25
ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 4.10	ค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	27
ตารางที่ 4.11	องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	29
ตารางที่ 4.12	สมบัติกายภาพของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	31
ตารางที่ 4.13	ปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	32
ตารางที่ 4.14	ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผา ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	33
ตารางที่ 4.15	ค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบ จากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	34
ตารางที่ 4.16	องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	36
ตารางที่ 4.17	สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	38
ตารางที่ 4.18	ปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	39
ตารางที่ 4.19	ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผา ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	40
ตารางที่ 4.20	ค่าการวัดสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	41

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.21 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุคิบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	43
ตารางที่ 4.22 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	45
ตารางที่ 4.23 ปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	46
ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	47
ตารางที่ 4.25 ค่าการวัดสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบ จาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	48

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดินเหนียววัตถุบ	8
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนดาซ้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	14
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายอนุภาคของดินเหนียววัตถุบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนดาซ้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	16
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผา ที่อุณหภูมิของดินเหนียววัตถุบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านคอนดาซ้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	18
รูปที่ 4.4	ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนดาซ้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	20
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	22
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียววัตถุบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	23
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผา ที่อุณหภูมิของดินเหนียวจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	26
รูปที่ 4.8	ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ แหล่งดินเหนียววัตถุบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจืด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	30
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจืด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	31
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผาที่อุณหภูมิของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจืด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	33
รูปที่ 4.12	ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจืด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	35
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	37
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายของอนุภาคดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	38
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ หลังเผาที่อุณหภูมิของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	40
รูปที่ 4.16	ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง	42
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	44
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายอนุภาคของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	45
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ หลังเผาที่อุณหภูมิของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	47



## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคืบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์	49

## บทที่ 1

### บทนำ



ดินเหนียว (clay) เป็นวัตถุดิบหลักของเครื่องปั้นดินเผา คุณภาพของดินเหนียวจึงมีผลอย่างยิ่งต่อเครื่องปั้นดินเผาทั้งด้านคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากในธรรมชาติของดินเหนียว แต่ละแหล่งหรือแม้แต่ในแหล่งเดียวกันจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นกับวัตถุดิบกำเนิดและสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ดินเหนียวมีคุณภาพที่หลากหลาย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตทั้งขนาดครัวเรือนและขนาดใหญ่ควรทราบสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวที่สำคัญ อาทิ องค์ประกอบทางเคมี ชนิดแร่ องค์ประกอบ การกระจายตัวของขนาดอนุภาค สมบัติการขึ้นรูป สมบัติหลังการเผา เพื่อให้สามารถควบคุมการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามต้องการ

การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียวอาจใช้วิธีการแบบภูมิปัญญาชาวบ้านซึ่งทำได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถทดสอบได้ในภาคสนาม กับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีอุปกรณ์และขั้นตอนซับซ้อนแต่มีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่า เป็นที่ยอมรับของอุตสาหกรรมและวิชาการ ในวงการเซรามิก อย่างไรก็ตามการตรวจสอบสมบัติของดินไม่ว่าเป็นแบบใด ความสำคัญอยู่ที่สามารถนำผลการทดสอบมาสื่อได้ถึงคุณภาพของดินวัตถุดิบ เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

ในโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติและคุณภาพของดินเหนียววัตถุดิบจากแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา จำนวน 5 แหล่ง คือ

1. โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้าง  
ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. แหล่งดินหลังสวนสมโภชน์  
ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
3. โรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจืด อำเภอบางบาล จังหวัดอ่างทอง
4. โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า  
ตำบลศรีณรงค์ อำเภอลำลูกกา จังหวัดอ่างทอง
5. โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง  
ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

ซึ่งข้อมูลสมบัติดินที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นข้อมูลให้กับภาคอุตสาหกรรมเซรามิก หรือใช้อ้างอิงในเชิงวิชาการต่อไป



## บทที่ 2

### ข้อมูลเกี่ยวกับดินเหนียว

วัตถุดิบในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา สามารถจำแนกตามลักษณะทางกายภาพซึ่งต้องการนำไปใช้งาน ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มที่ช่วยในการขึ้นรูป ได้แก่ ดินเหนียวหรือวัตถุดิบที่มีความเหนียวซึ่งต้องสามารถเปลี่ยนรูปได้ง่าย และไม่แตกหัก (deform easily and without rupture) สามารถคงรูปร่างหลังการขึ้นรูป มีความแข็งแรงหลังแห้งเพียงพอที่นำสู่กระบวนการขึ้นตอนต่อไป 2) กลุ่มสารลดอุณหภูมิในการเผา (flux) ช่วยทำให้เกิดเนื้อแก้ว เมื่อทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ในขณะที่เผา ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ และ 3) กลุ่มวัสดุที่ไม่มีความเหนียว (non-reactive material) ช่วยเพิ่มความแข็งหรือการคงรูปร่างให้ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาจมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ อาทิ ความแข็งแรง [Allen Dinsdale, 1986] ในบรรดา สิ่งที่ถูกกล่าวมาแล้วข้างต้น ดินเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีส่วนผสมของเนื้อดิน โดยน้ำหนักตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป ดังนั้นคุณภาพของดินจึงมีบทบาทที่สำคัญในควบคุมคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้านต่างๆ อาทิ สี ความแข็งแรง เนื้อ ความละเอียดของผลิตภัณฑ์

ดินวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเนื้อดินปั้นในอุตสาหกรรมเซรามิก [ไพจิตร, 2541; พิภูตทอง, 2541; ปรีดา, 2540; อาวุธวัฒน์, 2543] ประกอบด้วย ดินขาว (kaolin, china clay) ดินเหนียว ดินบอลเคลย์ (ball clay) และ เบนทอนไนต์ (bentonite) อย่างไรก็ตามสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ต้องการสีธรรมชาติและเครื่องปั้นดินเผา พื้นบ้านดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักคือ ดินเหนียวและดินบอลเคลย์ สำหรับดินเหนียวเป็นดินเนื้อละเอียดที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูงไม่บริสุทธิ์เหมือนดินขาว เมื่อขุดพบมีสีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีเทา สีดำหรือสีส้มแดง หลังการเผาดินก็จะมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดง หรือ สีเหลือง ส่วนดินบอลเคลย์ เกิดจากการเคลื่อนย้ายของตะกอนดินหรือการพัดพาตะกอนดิน (sedimentary clay) ที่มีอนุภาคขนาดเล็กไปตกตะกอนสะสมในแหล่งใหม่ มีขนาดอนุภาคละเอียดมาก ซึ่เกาะกันได้ดี มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่สูง จึงช่วยให้ดินชนิดนี้มีความเหนียว และทำให้มีสีเปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิสูงเนื้อดินจะมีสีขาวหรือสีครีม เนื่องจากสารอินทรีย์ต่างๆ จะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน ดินบอลเคลย์จัดว่าเป็นดินเหนียวประเภทหนึ่งด้วย แต่แตกต่างจากดินเหนียวคือ มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในปริมาณต่ำค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่มีสารอินทรีย์เจือปน อยู่สูง บางชนิดมีความเหนียวน้อย บางชนิดเหนียวมาก ดินบอลเคลย์แต่ละแหล่งมีสัดส่วนของสารประกอบที่แตกต่างกัน [Ryan และคณะ, 1989]

ปกติดินบอลลเคลย์มีความละเอียดมาก มีความเหนียวดี เมื่อแห้งหรือเผาจะมีความแข็งแกร่ง ดินบอลลเคลย์ ที่ได้จากแหล่งที่มีซิลิกาสูงจะมีแร่ดินลดลง ค่าความเหนียว ค่าการหดตัวและความแข็งแรงก่อนเผาจึงน้อยกว่าดินบอลลเคลย์ที่มีอะลูมินาสูง ค่าการหดตัวที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาควรมีค่าการหดตัวเชิงเส้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ [Ryan และคณะ, 1989] ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวนอกจากอนุภาคนาขนาดละเอียดแล้ว ชนิดของแคลซิออนก็มีผลเช่นกัน โดยดินที่มี  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  และ  $\text{H}^+$  จะมีการหดตัวมากกว่าดินที่มี  $\text{Na}^+$  และ  $\text{K}^+$  นอกจากนี้แคลซิออนยังมีผลต่อความแข็งแรง คือ ดินที่มี  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  และ  $\text{H}^+$  จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าดินบอลลเคลย์ที่มี  $\text{Na}^+$  และ  $\text{K}^+$

## 2.1 ปัจจัยที่ควบคุมสมบัติของดินเหนียว

### 2.1.1 องค์ประกอบของแร่ดิน

แร่ดิน เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ดินมีความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้และทำให้ผลิตภัณฑ์ก่อนเผามีความแข็งแรงเพื่อนำไปผ่านขั้นตอนต่างๆ ระหว่างการขึ้นรูปและการเผาได้อย่างปลอดภัย แร่ดินที่พบในดินเหนียวส่วนใหญ่คือ แร่เคลโอลินไนต์ นอกจากนี้ก็มีแร่ดินอื่นๆ ได้แก่ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ แร่อิลไลต์ แร่คลอไรต์ แร่ดินแต่ละชนิดมีสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดินเหนียวที่มีชนิดและปริมาณแร่เหล่านี้แตกต่างกันก็มีสมบัติแตกต่างกัน อาทิ ดินเหนียวที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ผสม 15-25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้แห้งช้ามีการหดตัวมากจึงแตกได้ง่าย แร่อิลไลต์ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ และแร่คลอไรต์ ทำให้ช่วงการสุกตัวของดินเหนียวแคบกว่าแร่เคลโอลินไนต์ ในการเผาจึงต้องมีการควบคุมเตาอย่างระมัดระวัง เป็นต้น

### 2.1.2 องค์ประกอบของแร่ที่ไม่ใช่แร่ดิน

องค์ประกอบของแร่ที่ไม่ใช่แร่ดินมีความสำคัญในการนำดินเหนียวมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ปริมาณแคลไซต์ (calcite) และไพไรต์ (pyrite) เพียงเล็กน้อยอาจทำให้ลดคุณภาพดินเหนียวที่นำมาใช้งานด้านเซรามิก ดังนั้น การวิเคราะห์ให้ทราบชนิดและปริมาณของแร่ที่ไม่ใช่แร่ดิน จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง ก่อนที่จะทราบว่าดินเหนียวนั้นมีสมบัติการใช้งานอย่างไร

### 2.1.3 ปริมาณสารอินทรีย์

สารอินทรีย์พบได้เสมอในดิน โดยอาจเป็นเศษชิ้นส่วนหรือคูกับอยู่บนผิวของอนุภาค ปริมาณสารอินทรีย์สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีเคมี สารอินทรีย์เพียงเล็กน้อยสามารถทำให้เกิดสีในดิน และบางชนิดทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเบสมากขึ้น

#### 2.1.4 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและเกลือที่ละลายน้ำได้

การแลกเปลี่ยนไอออนหรือเกลือที่ละลายน้ำได้ในดินมีผลต่อสมบัติการใช้งานของดินอย่างมากเกลือบางชนิดทำให้ดินตกตะกอนและยากต่อการทำให้กระจายตัว ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในอุตสาหกรรมเซรามิกและเคมี สำหรับในอุตสาหกรรมเซรามิก การแลกเปลี่ยนไอออนส่งผลต่อสมบัติของดินหลายประการ เช่น ความเหนียว สมบัติหลังการอบแห้งและสมบัติหลังเผา

#### 2.1.5 เทกซ์เจอร์ (texture)

เทกซ์เจอร์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของดิน เทกซ์เจอร์กำหนดโดยความสัมพันธ์ระหว่างเกรนกับเกรนในดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะการกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) รูปร่างของอนุภาค และการเรียงตัวของอนุภาค ขนาดอนุภาคของดินเหนียวเป็นสมบัติที่สำคัญในการนำดินเหนียวไปใช้ประโยชน์ในด้านเซรามิก

ในบรรดาวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิก ดินนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมบัติที่แสดงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และสมบัติของดินใดๆ จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและสัดส่วนของสิ่งเจือปน ดังนั้นในการนำดินมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องศึกษาและเข้าใจถึงสมบัติของดินต่างๆ เพื่อให้เกิดความเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ และลดความเสียหายในกระบวนการผลิต [สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, 2545 และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, 2546]

### 2.2 สมบัติทางเซรามิกบางประการของดินเหนียว

ดินเหนียวแต่ละแหล่งมีสมบัติที่หลากหลาย ในการนำดินเหนียวมาใช้ในด้านเซรามิกนั้น มีสมบัติทางเซรามิกบางประการของดินเหนียวที่ควรคำนึงถึง [Gillson, 1960] ดังนี้

#### 2.2.1 ความแข็งแรง (strength)

ความแข็งแรงของดินและเนื้อดินปั้นในทางเซรามิกทั้งก่อนเผาและหลังเผา เป็นสมบัติที่สำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่อกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกและการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ อาทิ ผลิตภัณฑ์ดิบที่ไม่แข็งแรงอาจเกิดความเสียหายเนื่องจาก การแตกหักระหว่างการเคลื่อนย้ายหรือเผา ความแข็งแรงของดินเหนียวสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนอนุภาคที่มีขนาดเล็ก รูปร่างของอนุภาค และระดับการไฮเดรชัน (hydration) ของอนุภาคคอลลอยด์ และปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ความแข็งแรงวัดได้จากแรงดึง (tension) การกด (compression) หรือการวัดความต้านแรงขวาง (transverse)

### 2.2.2 การหดตัว (shrinkage)

การหดตัวของดินและผลิตภัณฑ์เซรามิกเกิดขึ้นทั้งระหว่างกระบวนการอบแห้งและการเผา การหดตัวนอกจากมีผลทั้งต่อขนาดของผลิตภัณฑ์สำเร็จแล้ว ยังมีอิทธิพลต่อการเกิดแตกร้าวหรือการบิดเบี้ยวของผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวมากหรือเกิดขึ้นเร็วเกินไป การหดตัวหลังการอบแห้งขึ้นกับปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้น ลักษณะเฉพาะของแร่ดินและปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ในดิน การหดตัวหลังการอบแห้งจะสูงในดินที่มีความเหนียวหรือดินที่มีการพองตัว ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกหรือโค้งงอตัว การหดตัว มีค่าต่ำในดินที่มีทรายมาก แต่ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งไม่แข็งแรงและมีรูพรุนมาก การหดตัวหลังการเผาขึ้นกับปริมาณสารที่สลายในขณะเผา นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการเปลี่ยนโครงสร้างของผลึกการขจัดน้ำในโครงสร้างของแร่ดินและสมบัติด้านความเหนียวหรือแรงดึงผิว

### 2.2.3 ช่วงอุณหภูมิการเกิดเนื้อแก้ว (temperature range of vitrification)

ในการเผาดินเหนียวหรือผลิตภัณฑ์เซรามิก สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงก็คือ ช่วงอุณหภูมิการเกิดเนื้อแก้ว ซึ่งเป็นผลจากแรงจลน์ประกอบในดินหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อนสูงเพียงพอ ดินเหนียวที่มีช่วงอุณหภูมิเกิดเนื้อแก้วสั้นต้องระมัดระวังในการเพิ่มอุณหภูมิ และเตาเผาต้องมีความแม่นยำสูง เพื่อลดความเสี่ยงของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจมีการบวมเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงเกินไป การเกิดเนื้อแก้วในดินจะขึ้นกับชนิดของแร่ดินและสารประกอบฟลักซ์ออกไซด์ (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 และระดับการเกิดเนื้อแก้ว ดินที่เผาแล้วให้สีขาวจะต้องมีเหล็กออกไซด์ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ สีเหลืองอ่อนมีเหล็กออกไซด์ 1-5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินที่เผาแล้วให้สีแดงต้องมีเหล็กออกไซด์มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

### บทที่ 3

#### การเตรียมตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดิน



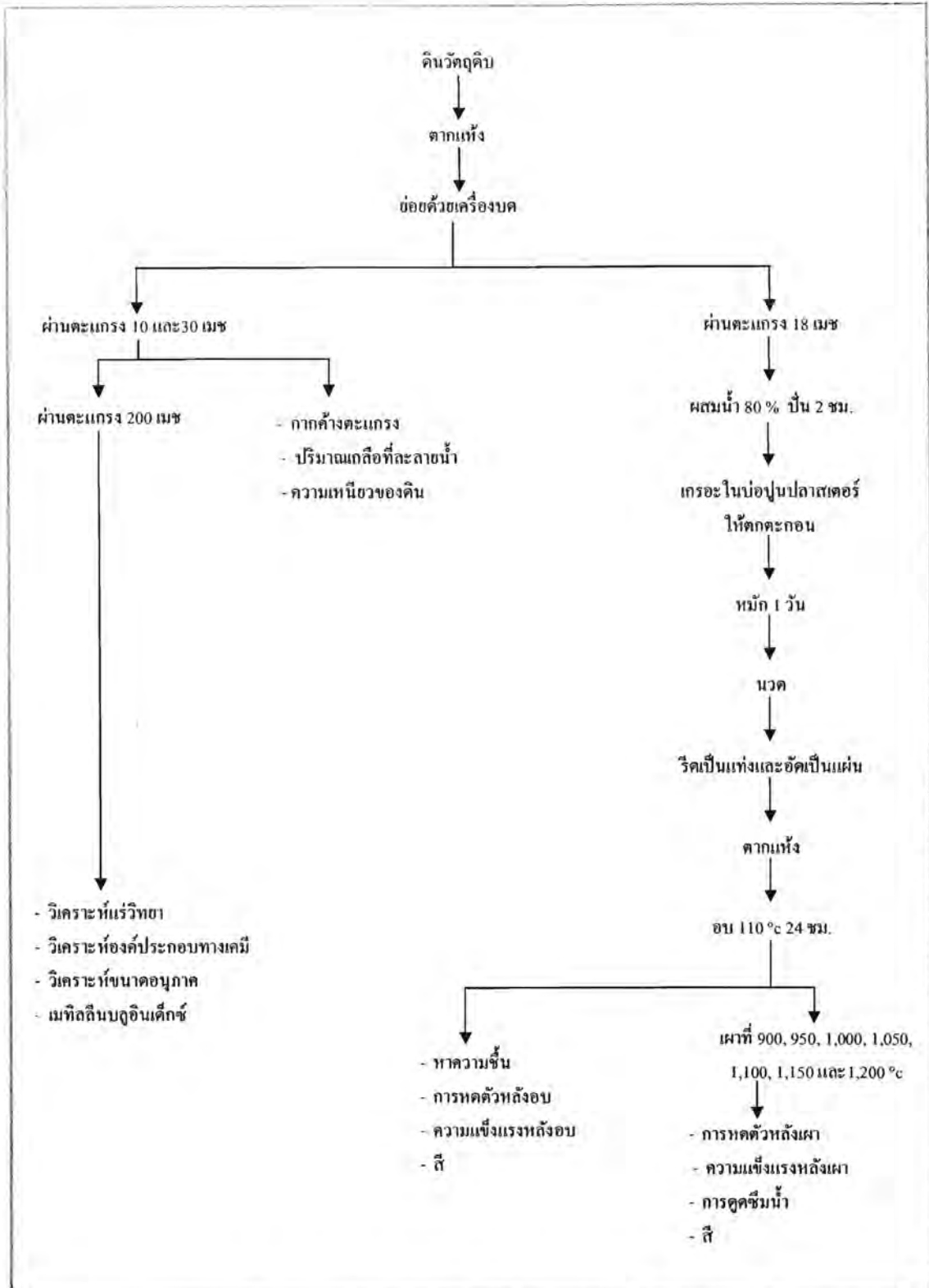
#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

3.1.1 เก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ทดสอบในแต่ละพื้นที่ในบริเวณที่กำหนด ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ชาวบ้านใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในปัจจุบัน ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดิน แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1.2 การเตรียมเนื้อดินปั้นเพื่อขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบ นำดินที่ผ่านการบดหยาบจากเครื่องบด Jaw crusher เตรียมน้ำดินโดยนำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 18 เมช มาผสมน้ำ โดยใช้อัตราส่วนน้ำร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ปั้นให้ดินกระจายตัวอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และเกรอะในบ่อปูนพลาสติกให้ตกตะกอนหมักดินทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน ทดสอบจับเนื้อดิน ถ้าเนื้อดินไม่ติดมือแสดงว่าสามารถนำไปนวดได้ เมื่อนำไปนวดจนดินมีความเหนียวและสามารถขึ้นรูปได้ นำไปรีดเป็นแท่งดินทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องรีด (Extruder) และขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4×4 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องอัดชิ้นงาน หลังตากแห้งนำไปอบแห้งที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแท่งดินมาศึกษาสมบัติต่างๆ คือ ความชื้นในแท่งดินรีด (moisture content) ความแข็งแรงหลังการอบแห้ง (dry strength) การหดตัวหลังการอบแห้ง (dry shrinkage) และวัดสีของดินดิบ

3.1.4 แท่งดินทดสอบหลังผ่านการอบแห้งนำมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 900, 950, 1,000, 1,050, 1,100, 1,150 และ 1,200 องศาเซลเซียส นำไปทดสอบสมบัติหลังเผาประกอบด้วย การหดตัวหลังการเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงหลังการเผาและการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการเผาที่ สำหรับการวัดสีด้วยเครื่อง Color Meter ต้องขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4×4 เซนติเมตร วัดสีหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เทียบกับสีมาตรฐานของเครื่องวัดสี





รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินและวิธีการวิเคราะห์ทดสอบดินเหนียววัตถุคืบ

### 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) โดยใช้วิธีการดูดซับสีของเมทิลีนบลูอินเด็กซ์ (methylene blue index) (ASTM C837-81)

3.2.3 การทดสอบปริมาณซัลเฟตในสารละลายโดยเทคนิค Turbidimetric Method โดยวัดความขุ่นของตะกอน  $BaSO_4$  ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer [ทัศนีย์ และจรงค์ย์, 2542]

### 3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ในดิน

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว (clay minerals) ที่มีขนาดอนุภาคของดินเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis) [ศรีไจล, 2546; Jackson, 1965; Whittig, 1965] วิธีการเตรียมตัวอย่างอนุภาคดินเหนียว มีขั้นตอนการทำดังนี้

3.3.1 นำตัวอย่างอนุภาคดินเหนียวที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคดินมาหยดบนแผ่นเซรามิก (ceramic plate) โดยการ suction จนอนุภาคดินเหนียวที่ตกตะกอนบนแผ่นเซรามิกมีความหนาพอ โดยทำ 2 แผ่น แผ่นที่หนึ่งทำให้อิ่มตัวในสารละลาย โดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มอลลิตี หยดบนแผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวประมาณ 3 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อล้างโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีมากเกินไปจนออกให้หมด (ล้างประมาณ 3 ครั้ง) แล้วจึงล้างด้วยสารละลายเอธานอลจำนวน 1 ครั้ง ส่วนแผ่นที่สองทำให้อิ่มตัวด้วยแมกนีเซียม โดยใช้แมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มอลลิตี โดยมีขั้นตอนการทำเหมือนแผ่นที่หนึ่ง

3.3.2 แผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวอิ่มตัวด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ หลังจากที่ทำชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่อุณหภูมิห้องแล้ว นำไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ อีกครั้งหนึ่ง

3.3.3 แผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวอิ่มตัวด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ หลังจากที่ทำชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่อุณหภูมิห้องแล้ว นำแผ่นเซรามิกที่มีอนุภาคดินเหนียวอิ่มตัวด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลายเอธานอล แล้วนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์อีกครั้งหนึ่ง

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 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเซรามิกบางประการ

3.4.1 การกระจายความละเอียดของอนุภาค วิเคราะห์ทดสอบด้วยเครื่อง Particle Size Analysis โดยเทคนิค Sedimentation Method (ASTM C1182-91) เพื่อศึกษาการกระจายความละเอียดของขนาดอนุภาค ผลที่ได้จากการทดสอบนำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน

#### 3.4.2 การทดสอบความเหนียวของเนื้อดิน ใช้วิธีดังนี้

##### 1) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำจำกัด ตามวิธี ASTM D-4318-00

- นำดินตัวอย่างทุบให้ละเอียดคัดขนาดผ่านตะแกรงร่อน ๒๐ ไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน
- ชั่งดินตัวอย่างปริมาณ 200 กรัม เติมน้ำลงไปทีละน้อยคอยกวนผสมให้เข้ากันด้วยมีดปาดสแตนเลส
- ตักดินที่ผสมเข้ากันดีแล้วใส่ลงในถ้วยทองเหลืองสำหรับทดสอบปาดหน้าให้สม่ำเสมอ โดยระดับของหน้าดินสูงจากกันถ้วย 1 เซนติเมตร
- ใช้อุปกรณ์มาตรฐานขีดให้ดินเป็นร่องตรงกลาง
- เริ่มหมุนให้กันถ้วยเกาะกับพื้นในอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อนาที ทำการหมุนและนับจำนวนเกาะไปเรื่อยๆ โดยสังเกตบริเวณร่อง เมื่อเนื้อดินเลื่อนลงมาชนกันมีความยาว 1 เซนติเมตร ให้หยุดหมุนและจดบันทึกจำนวนเกาะ (ถ้าหากจำนวนเกาะเกิน 55 ครั้ง ให้นำดินมาผสมน้ำใหม่ แล้วเริ่มการทดลองตามขั้นตอนที่ 3) ตักดินตัวอย่างบริเวณที่รอยขีดชนกันใส่ถ้วย แล้วชั่งน้ำหนักก่อนและหลัง นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน
  - นำดินตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 5 มาเติมน้ำเพิ่มแล้วเริ่มทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง ในขั้นตอนที่ 3 โดยให้จำนวนเกาะแต่ละครั้งลดลงอยู่ในช่วง 10-15 เกาะ
  - นำค่าปริมาณน้ำในดินมาพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่จำนวนเกาะ 25 ครั้ง

## 2) การวิเคราะห์หาค่าพลาสติกจำกัด ตามวิธี ASTM D-4318-00

- นำดินตัวอย่างมาผสมน้ำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเหนียวที่สามารถปั้นได้  
ไม่ติดมือ
- ดินที่ได้ในข้อ 1 นำมาคลึงบนแผ่นอะคริลิกเป็นเส้นให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  
1/8 นิ้ว คลึงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเส้นดินขนาดออกจากกัน
- นำดินที่ขาดจากกัน 2-3 ท่อน ใส่ถ้วยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 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

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

3.4.4 การทดสอบความแข็งแรงหลังอบแห้งและหลังเผาของแท่งดินทดสอบ (ASTM C689-93)  
โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ

## 3.4.5 การทดสอบการหดตัวหลังอบแห้งและหลังเผา (ASTM C362-82) โดยใช้วิธีดังนี้

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

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

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

โดยที่ Lp = ความยาวของแท่งดินรีดก่อนอบ

Lf = ความยาวของแท่งดินหลังเผา

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

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

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

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

- 1) ชั่งน้ำหนักดินดิบ 2 กรัม ใส่ถ้วยเผาสาร (W1)
- 2) เมาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (W2)
- 3) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังการเผา ตามสูตร

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

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

## 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ได้อาจการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางเคมี สมบัติทางแร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ และเซรามิกบางประการ และปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมลักษณะของดินเหนียวซึ่งมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา รวมถึงลักษณะของดินเหนียวที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในปัจจุบัน เพื่อนำมาประเมินหรือพิจารณาความเหมาะสมของดินเหนียวในการนำมาใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก หรือเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องใช้ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา

## บทที่ 4

### ผลการตรวจสอบสมบัติดินเหนียววัตถุดิบ

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี แร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติการขึ้นรูป และสมบัติหลังการเผาของดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาภาคกลางมีดังต่อไปนี้คือ

#### 4.1 แหล่งดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

##### 4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

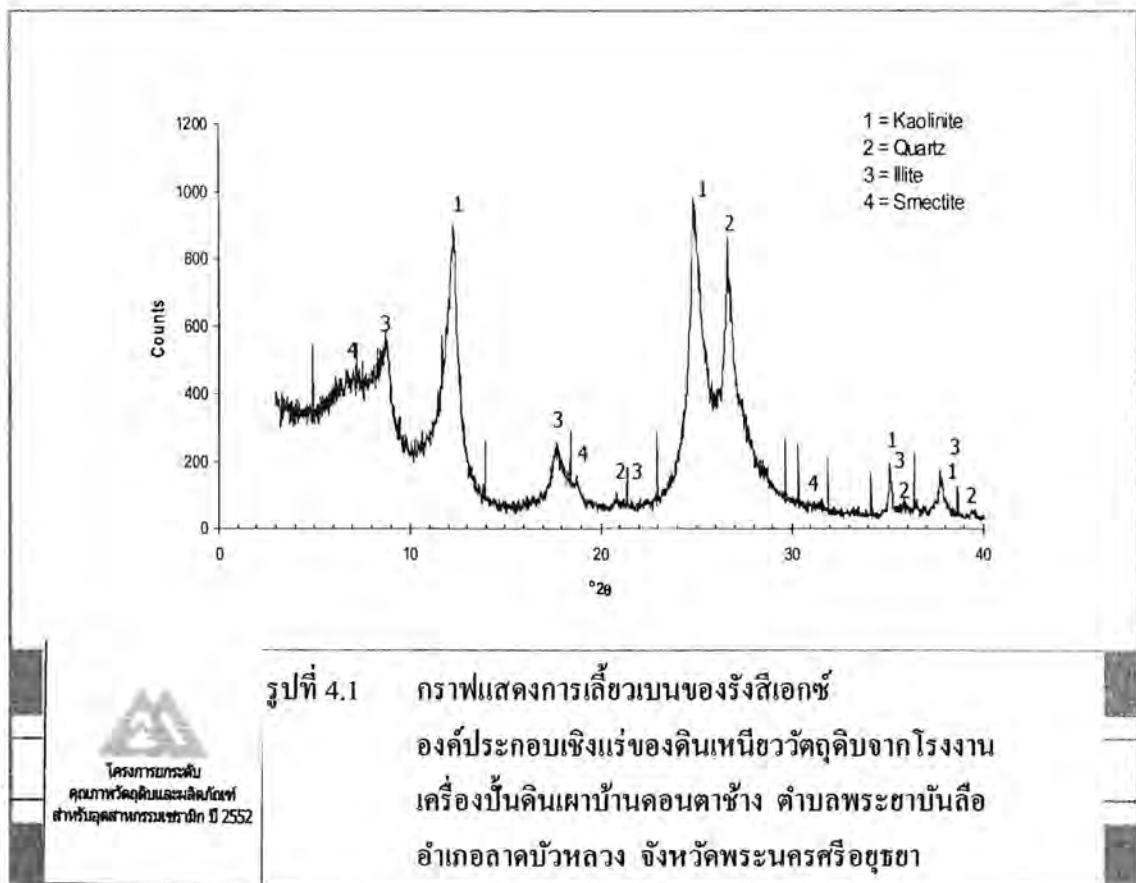
ดินเหนียววัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้างเป็นดินจากอำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดอ่างทอง มีองค์ประกอบทางเคมีคือ ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 55 อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ค่อนข้างสูง ร้อยละ 24 จึงมีเนื้อดินมาก มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันร้อยละ 7 ประกอบด้วยแอลคาไลน์ (alkaline) คือ โซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์และแอลคาไลน์เอิร์ธ (alkaline earth) คือแคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ มีปริมาณรวมกันไม่สูงนัก ร้อยละ 4 ปริมาณ  $\text{CaSO}_4$  2,541 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งค่อนข้างสูง ดินที่มีซัลเฟตอออนมากจะมักมีปัญหาการเกิดคราบขาว (scumming) หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า “ดินเป็นรา” การสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 10 ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียไอน้ำในแร่ดินเหนียวและสารประกอบคาร์บอนต่างๆ อาทิ ซากพืช ซากสัตว์ เนื่องจากค่าน้ำหนักหลังเผามีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงว่าดินนี้มีอินทรีย์วัตถุและแร่เลโอลีนในปะปนอยู่ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านคอนตาช้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
$\text{SiO}_2$	55.09	$\text{Na}_2\text{O}$	0.20	$\text{MnO}_2$	0.045
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23.64	$\text{K}_2\text{O}$	1.89	$\text{CaSO}_4$	2,541 ppm
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	6.38	$\text{MgO}$	0.93	$\text{P}_2\text{O}_5$	0.072
$\text{TiO}_2$	0.81	$\text{CaO}$	0.81	การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	10.137

#### 4.1.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ (ทราย) และแร่ดินเหนียวที่พบคือ แร่เคลโอไลต์ แร่อิลไลต์ และแร่สเมกไทต์ แร่เหล่านี้ปกติมีอยู่ในดินเหนียวโดยทั่วไป สำหรับแร่เคลโอไลต์ที่เป็น disorder kaolinite ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างผลึกถูกแทนที่ตำแหน่งของซิลิกอน (Si) ด้วยประจุบวกอื่นๆ อาทิ  $Al^{3+}$  จะมีความไม่เสถียร และมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าแร่เคลโอไลต์ที่ผลึกสมบูรณ์ (well order kaolinite) (0.001-0.1 มิลลิเมตร) สำหรับแร่อิลไลต์และแร่สเมกไทต์มีอนุภาคขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร) ดังนั้นดินที่แร่ดินเหนียวดังกล่าวปะปนจึงมักมีเนื้อเนียนละเอียดและเหนียวมาก ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์  
องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุบดจากโรงงาน  
เครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระชาบันลือ  
อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

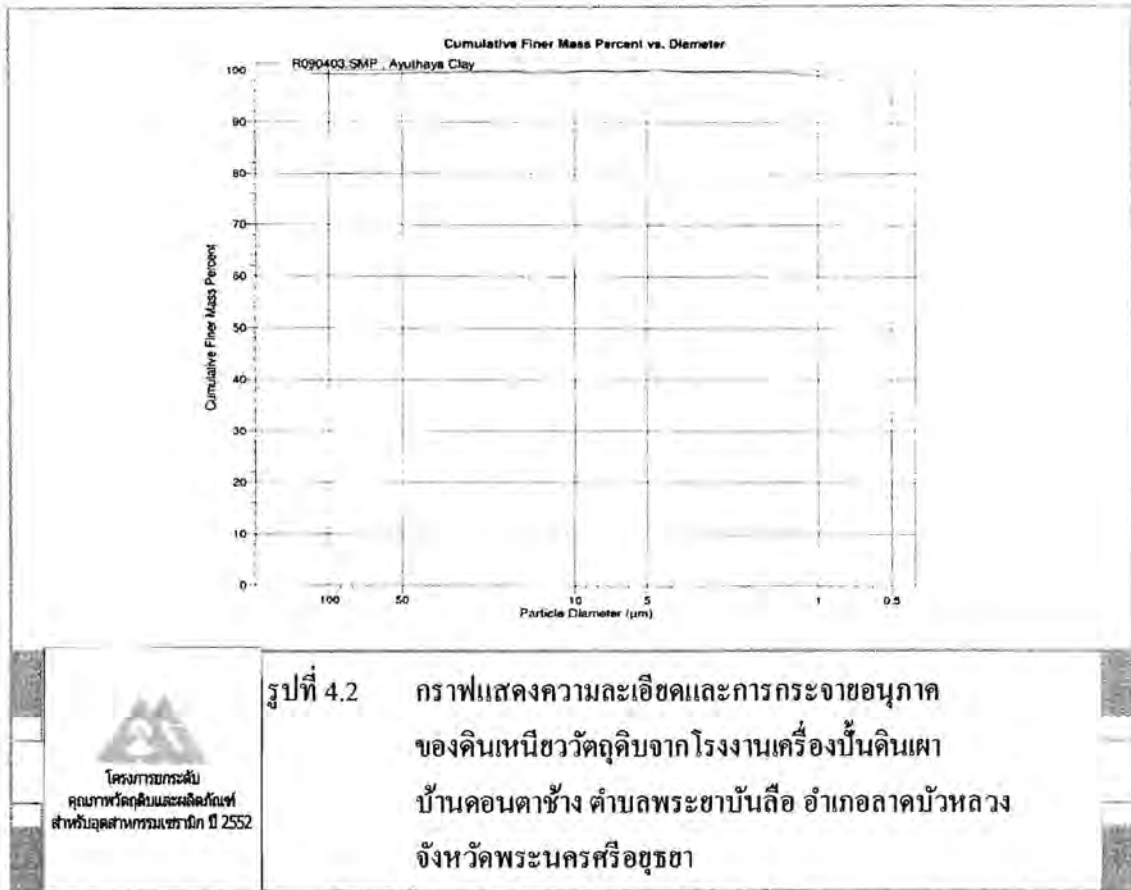
#### 4.1.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 แสดงค่ากาค้างตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลู อินเด็กซ์ ดัชนีความเหนียว (plasticity index) และความละเอียดของเนื้อดินเหนียวโรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านคอนตาซัง พบว่า เป็นดินที่เหนียวมาก มีปริมาณกากหยาบขนาดใหญ่กว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) ก่อนล้างต่ำคือ น้อยกว่าร้อยละ 2 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) ร้อยละ 99.7 ค่าเมทิลลีนบลู อินเด็กซ์ ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวของอนุภาคดินมีค่า  $23.83 \pm 0.14$  มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม จึงเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดมาก ซึ่งเป็นผลจากแร่วิธาตังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าดัชนีความเหนียวมีค่าสูงคือ 34.09 ดินที่มีค่านี้สูง จะมีความเหนียวมาก ค่าความเหนียวขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของดินซึ่งยังมีขนาดละเอียดก็ยังมีดัชนีความเหนียวมาก

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

กาค้างตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	$0.80 \pm 0.11$	200 เมช	$1.02 \pm 0.02$	325 เมช	$1.34 \pm 0.05$
การกระจายความละเอียด (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.30	<70 ไมโครเมตร	99.20	<53 ไมโครเมตร	99.30
<40 ไมโครเมตร	99.45	<20 ไมโครเมตร	99.70	<10 ไมโครเมตร	99.70
<5 ไมโครเมตร	99.90	<2 ไมโครเมตร	99.70	<1 ไมโครเมตร	99.00
<0.5 ไมโครเมตร	94.10				
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	$23.83 \pm 0.14$ มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	64.33	Plastic limit	30.49	Plasticity index	34.09





#### 4.1.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนดาช้างสามารถรีดขึ้นรูปได้โดยแห้งดินไม่แตกหักเสียหาย ใช้น้ำผสมเพื่อให้ขึ้นรูปได้มีค่าร้อยละ 23 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 9 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง 1,257 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งค่อนข้างสูง ค่าการหดตัวขึ้นกับหลายปัจจัย อาทิ ความละเอียดและรูปร่างของอนุภาคดิน ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในการขึ้นรูป ซึ่งยังใช้น้ำผสมมากก็ยิ่งมีการหดตัวมากจากผลิตภัณฑ์มีโอกาสที่จะหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอทุกทิศทางและจะเกิดความเครียดในเนื้อดินซึ่งถ้ามีค่าสูงเกินที่เนื้อดินจะทนได้ มักทำให้เกิดการแตกร้าวและเสียหาย นอกจากนี้ทำให้เสียรูปร่างและขนาดผลิตภัณฑ์มีความไม่สม่ำเสมอ ดินที่มีการหดตัวหลังแห้งเกินร้อยละ 10 ต้องใช้ช่างระมัดระวัง [Ryan, 1987] อย่างไรก็ตามดินบ้านคอนดาช้างเป็นดินที่มีการหดตัวสูงและกักหนาดำ ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงต้องผสมวัสดุที่ไม่มี ความเหนียวมากพอควร เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวหลังอบแห้งและหลังเผา ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุดิบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้าง ตำบลพระชาบันลือ อําเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

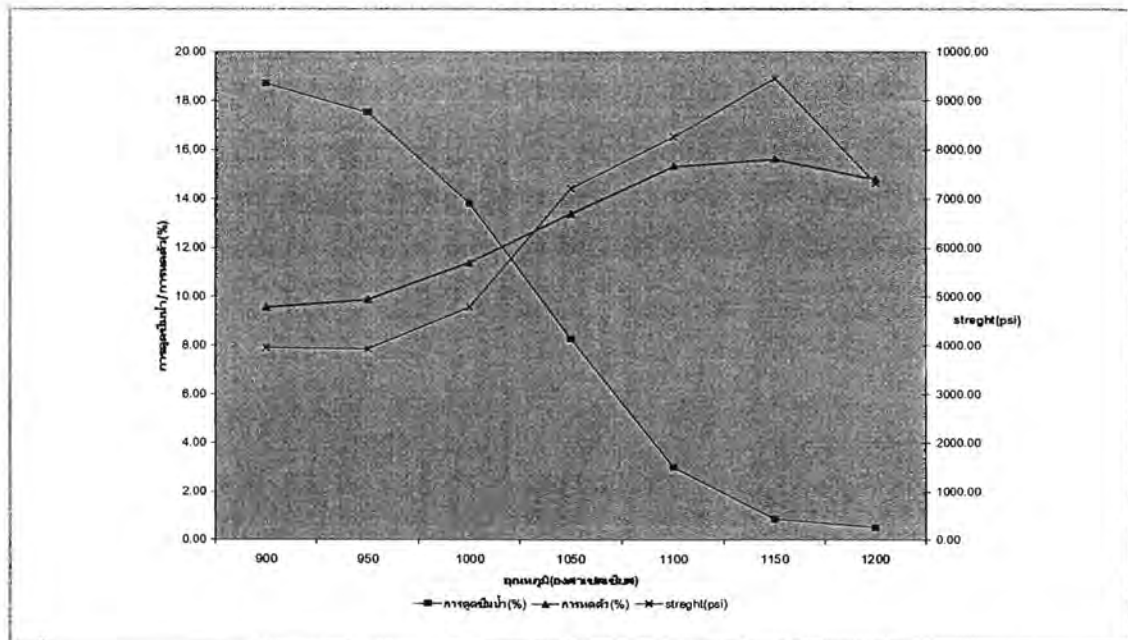
สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	23.38 ± 0.58
การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	8.83 ± 0.23
ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	1,257.05 ± 12.52

#### 4.1.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.4 และจากรูปที่ 4.3 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าดินมีการหดตัวร้อยละ 9-16 โดยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 19.0-0.50 สำหรับค่าความแข็งแรงมีค่าอยู่ในช่วง 3,942-9,452 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ยกเว้นการหดตัวและความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าลดลง แท่งดินเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวสูงสุด (ร้อยละ 16) การดูดซึมน้ำต่ำสุด (ร้อยละ 0.85) และความแข็งแรงสูงสุด (9,452 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วและลักษณะของแท่งดินรีดหรือชิ้นงานไม้พบบรรยากาศเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า สามารถที่จะเผาได้ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ดังนั้น ดินเหนียวโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้างจึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบไฟดำ 1,050-1,100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	9.57 ± 0.25	18.69 ± 0.80	3,942 ± 156.23
950	9.88 ± 0.28	17.51 ± 0.43	3,910 ± 271.79
1,000	11.40 ± 0.47	13.80 ± 1.17	4,769 ± 129.86
1,050	13.40 ± 0.45	8.26 ± 1.15	7,204 ± 38.21
1,100	15.33 ± 0.16	2.99 ± 0.76	8,256 ± 146.70
1,150	15.63 ± 0.34	0.85 ± 0.71	9,452 ± 394.95
1,200	14.81 ± 0.17	0.50 ± 0.38	7,304 ± 264.21



รูปที่ 4.3

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



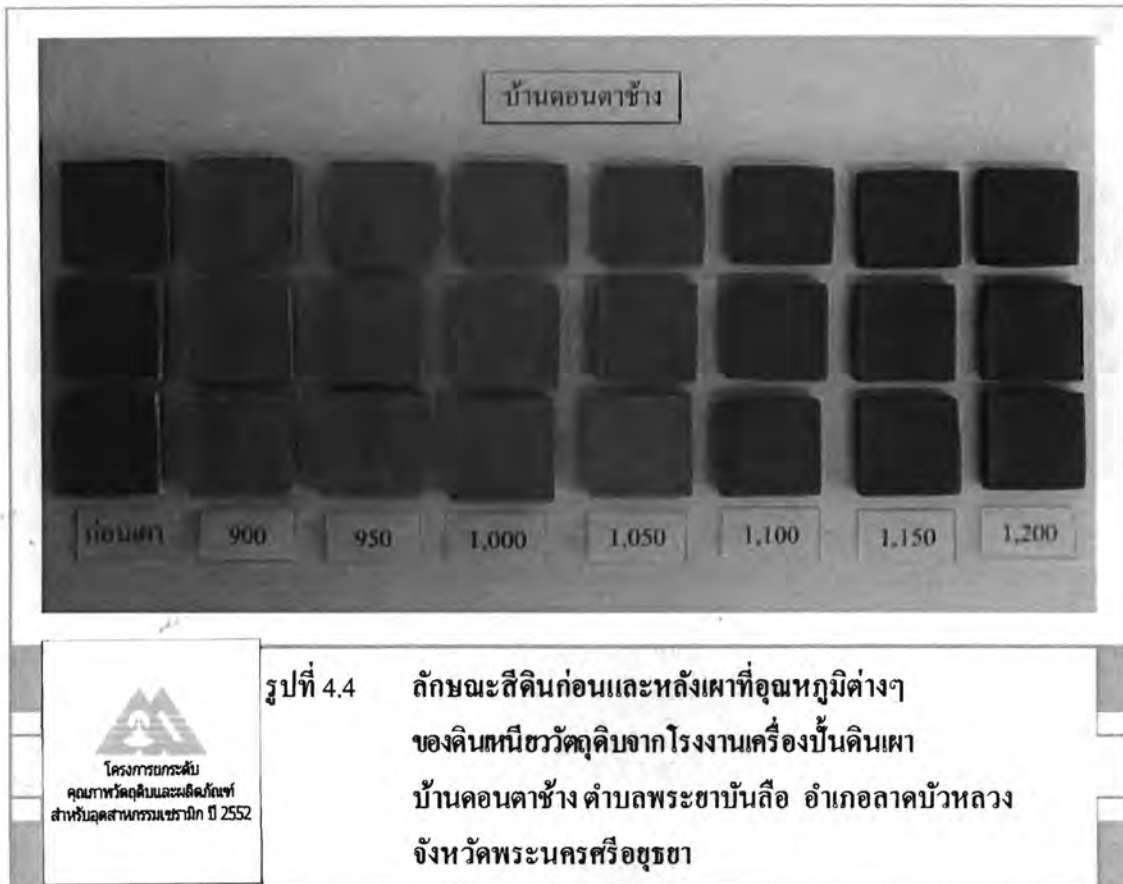
4.1.6 สีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี (CIE) ของตัวอย่างดินรูปสี่เหลี่ยมก่อนเผาและหลังเผา ในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง Color Meter และสังเกตพินิจด้วยตา พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าระหว่าง 41.98-62.13 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวก อยู่ระหว่าง 11.02-17.10 ยกเว้นดินดิบที่มีค่าติดลบ 3.96 ค่าแสดงสีน้ำเงินและสีเหลือง (b) มีค่าบวกอยู่ระหว่าง 10.70-32.53 ดินก่อนเผามีสีเทา สำหรับสีของดินหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะมีสีเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ โดยช่วงอุณหภูมิ 900-1,100 มีสีน้ำตาลส้มอ่อนถึงเหลืองแดง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 1,150-1,200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม การเปลี่ยนแปลงของสีเกิดจาก สารประกอบของแร่เหล็กในดินดิบเปลี่ยนจาก สารประกอบไฮดรอกไซด์ อาทิ เกอร์ไทต์ (FeOOH) ซึ่งมีสีเหลืองอ่อนเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบออกไซด์ อาทิ แมกนีไทต์ (FeO<sub>2</sub>) ซึ่งมีสีเข้มขึ้น ทำให้ค่า L มีค่าลดลง ค่า a และ b มีสีออกไปทางสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ ดังปรากฏในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ค่าการวัดสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัดดูดิบ จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนคาซัง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อุณหภูมิ	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	48.09	-3.96	+13.25	เทา
900 องศาเซลเซียส	61.04	+16.08	+30.17	น้ำตาลส้มอ่อน
950 องศาเซลเซียส	62.13	+16.49	+31.33	น้ำตาลส้มอ่อน
1,000 องศาเซลเซียส	60.53	+17.05	+32.53	เหลืองแดง
1,050 องศาเซลเซียส	57.37	+17.10	+30.80	เหลืองแดง
1,100 องศาเซลเซียส	46.62	+15.60	+22.90	เหลืองแดง
1,150 องศาเซลเซียส	42.96	+13.89	+17.74	น้ำตาลแดงเข้ม
1,200 องศาเซลเซียส	41.98	+11.02	+10.70	น้ำตาลแดงเข้ม

หมายเหตุ L ใช้กำหนดค่าความสว่าง L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์ L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์  
 a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว a ค่าเป็นบวก สีจะ ไปในทิศทางสีแดง a ค่าเป็นลบ สีจะ ไปในทิศทางสีเขียว  
 b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน b ค่าเป็นบวก สีจะ ไปในทิศทางสีเหลือง b ค่าเป็นลบสีจะ ไปในทิศทางสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.4 ลักษณะสวิตช์ดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียวตุ๋นจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา บ้านคอนตาช้าง ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

#### 4.1.7 สักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้างเป็นดินเหนียวปนทรายที่เนื้อละเอียดมาก มีความเหนียวดี ขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อแห้งแห้งดินมีความแข็งแรงสูงพอสมควร เผาแล้วจะให้สีน้ำตาลส้ม อ่อนถึงน้ำตาลแดงเข้ม ทนไฟได้ 1,150 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงหลังเผาไม่สูงนัก มีความเหมาะสม ในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยในครัวเรือนต่างๆ อาทิ หม้อน้ำ กระจาดดินไม้ หรือผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการเคลือบไฟดำ

## 4.2 แหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

### 4.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

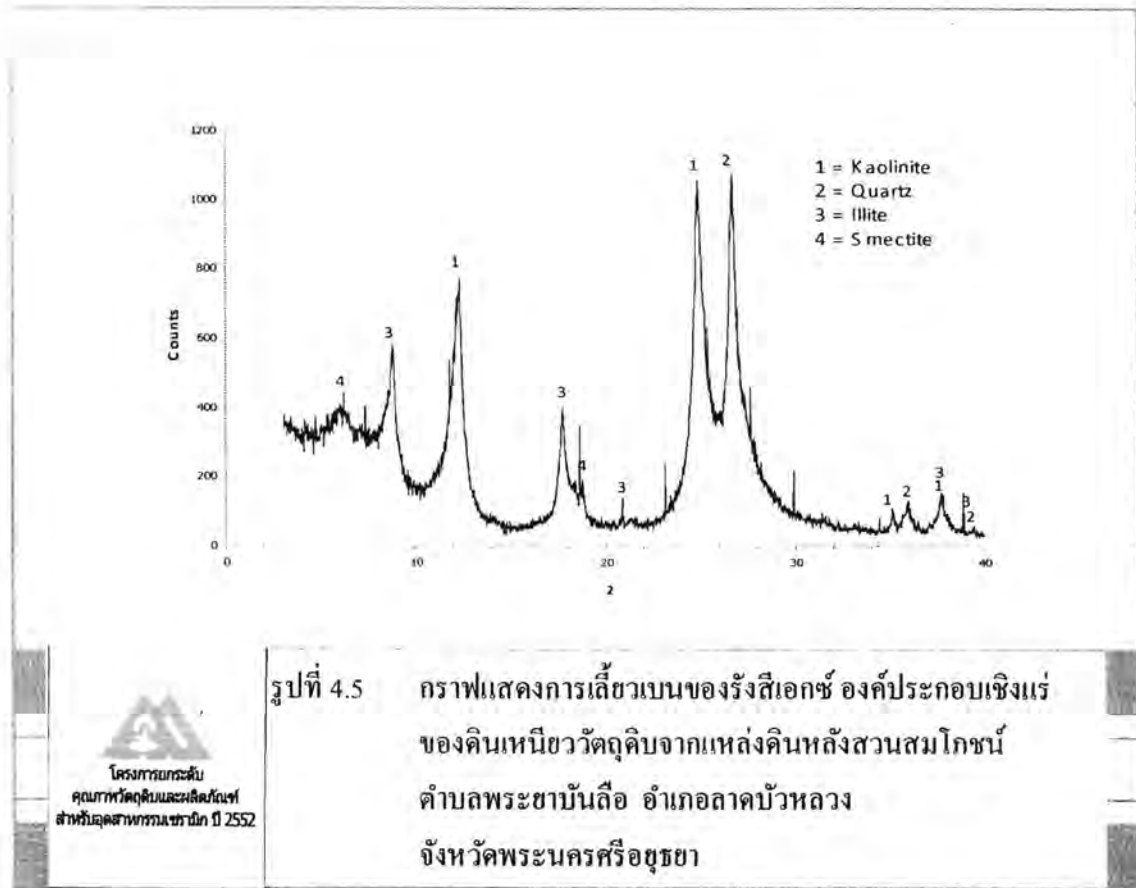
ดินเหนียวแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ มีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกาค่อนข้างสูง ร้อยละ 61 อะลูมินาต่ำ (ร้อยละ 20) เนื้อดินจึงมีทรายปนมาก จัดเป็นดินซิลิเซียสเคลย์ (siliceous clay) มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันร้อยละ 6 จึงทำให้ดินหลังเผามีสีส้มหรือแดง สารช่วยลดการสุกตัว (fluxing agent) ซึ่งทำให้ช่วยเกิดเนื้อแก้วในผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยแอลคาไลน์ คือ โซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ คือ แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณรวมกันไม่สูงนักร้อยละ 5 การสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 10 แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปนน้อย ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	60.59	Na <sub>2</sub> O	0.23	MnO <sub>2</sub>	0.013
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.79	K <sub>2</sub> O	1.77	CaSO <sub>4</sub>	1,224 ppm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.72	MgO	0.88	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03
TiO <sub>2</sub>	0.92	CaO	1.80	การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	10.374

### 4.2.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดินในรูปที่ 4.5 พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ (ทราย) และแร่ดินเหนียวที่พบคือ แร่เคลโอไลน์ต์ แร่อิลไลต์และแร่สเมกไทต์ แร่เหล่านี้ปกติมีอยู่ในดินเหนียวโดยทั่วไป สำหรับแร่เคลโอไลน์ต์ที่เป็น disorder kaolinite ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างผลึกถูกแทนที่ตำแหน่งของซิลิกอนด้วยประจุบวกอื่นๆ อาทิ Al<sup>+++</sup> จะมีความไม่เสถียร และมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าแร่ well order kaolinite ในขณะที่อิลไลต์และสเมกไทต์เป็นแร่ดินเหนียวที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร) ดังนั้น ดินที่แร่ดินเหนียวดังกล่าวจึงมักมีเนื้อเนียนละเอียด

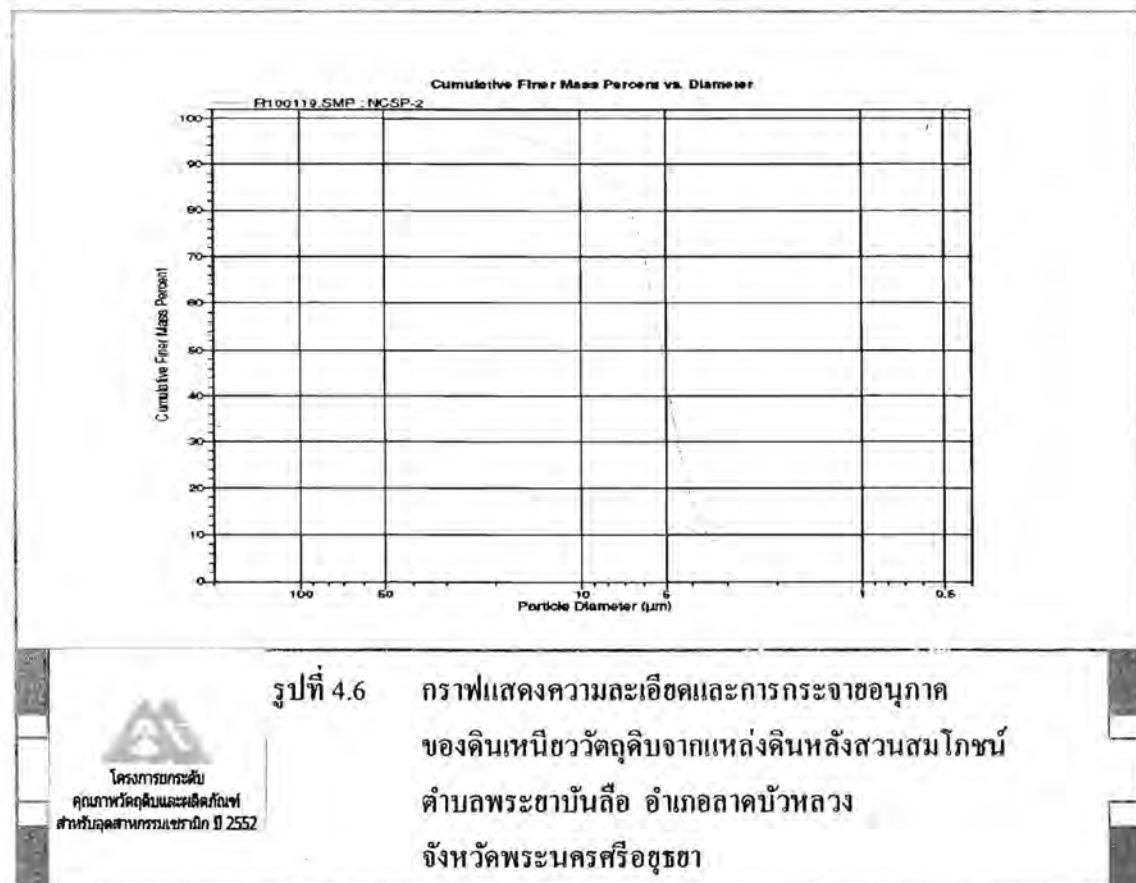


#### 4.2.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่ากาค้างตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลินบลูอินเด็กซ์ คำนีความเหนียวและความละเอียดของเนื้อดินเหนียวแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ พบว่า เป็นดินที่ค่อนข้างเหนียว มีปริมาณกาคหยาบขนาด โดกว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) ค่อนข้างต่ำ คือ น้อยกว่าร้อยละ 5 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) ร้อยละ 73 ค่าเมทิลลินบลูอินเด็กซ์ ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวของอนุภาคดินมีค่า  $15.67 \pm 0.76$  มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม จึงเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดพอควร ซึ่งเป็นผลจากแร่วิธา คังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าดัชนีความเหนียวมีค่าค่อนข้างสูงคือ 29.50 ดินที่มีค่านี้สูงจะมีความเหนียวมาก โดยขึ้นกับขนาดอนุภาคของดินซึ่งมีขนาดละเอียดก็ยังมีดัชนีความเหนียวมาก นอกจากนี้ยังเป็นผลจาก ชนิดของไอออนที่ละลายปะปนอยู่ โดยไอออนที่มีประจุบวกหนึ่ง อาทิ โซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) จะทำให้ดินเหนียวกว่า ไอออนที่มีประจุบวกสอง อาทิ แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{++}$ )

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุคืบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระชาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ภาคข้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	0.86	200 เมช	1.07	325 เมช	1.25
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	100.6	<70 ไมโครเมตร	100.4	<53 ไมโครเมตร	100.3
<40 ไมโครเมตร	99.8	<20 ไมโครเมตร	97.9	<10 ไมโครเมตร	91.6
<5 ไมโครเมตร	45.6	<2 ไมโครเมตร	7.5	<1 ไมโครเมตร	7.4
<0.5 ไมโครเมตร	8.2				
เมทิลลิบบลูอินเด็กซ์	15.67 ± 0.76 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	64.14	Plastic limit	34.64	Plasticity index	29.50





#### 4.2.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

ดินเหนียวแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ สามารถรีดขึ้นรูปได้โดยแห้งดินไม่แตกหักเสียหาย ใช้น้ำผสมเพื่อให้ขึ้นรูปได้มีค่าร้อยละ 26 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 8 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง 1,876 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (54 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอควร ค่าการหดตัวขึ้นกับหลายปัจจัย อาทิ ความละเอียดและรูปร่างของอนุภาคดิน ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในการขึ้นรูป ซึ่งยิ่งใช้น้ำผสมมากก็ยิ่งมีการหดตัวมาก ผลึกกันซ์ที่หดตัวมาก โดยเฉพาะการหดตัวที่แตกต่างกันในแต่ละส่วน ซึ่งอาจมีสาเหตุจากผลึกกันซ์มีการหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอในทุกทิศทาง กระบวนการขึ้นรูปหรืออื่นๆ จะเกิดความเครียดในเนื้อดินซึ่งถ้ามีค่าสูงเกินที่เนื้อดินจะทนได้ มักทำให้เกิดการแตกร้าวและเสียหายในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ทำให้เสียรูปร่างและขนาดผลึกกันซ์มีความไม่สม่ำเสมอ ดินที่มีการหดตัวหลังแห้งเกินร้อยละ 10 ต้องใช้อย่างระมัดระวัง [Ryan, 1987] อย่างไรก็ตาม ดินที่มีการหดตัวเล็กน้อยมีข้อดีคือ ทำให้ถอดแบบได้ง่าย สำหรับดินเหนียวบ้านลาดบัวหลวงควรนำไปผสมกับกากหยาบ อาทิ ทราย เพื่อช่วยลดการหดตัวและให้เนื้อดินโปร่งระบายน้ำได้สม่ำเสมอ และควรฝังในที่ร่มให้แห้งช้าๆ ก่อนนำไปตากแดดเพื่อช่วยลดปัญหาความแตกต่างของความชื้นที่มากเกินไปและการหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้ผลึกกันซ์โก่งงอ หรือแตกร้าว

**ตารางที่ 4.8** ปริมาณความชื้นในแห้งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียววัตถุดิบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระชาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

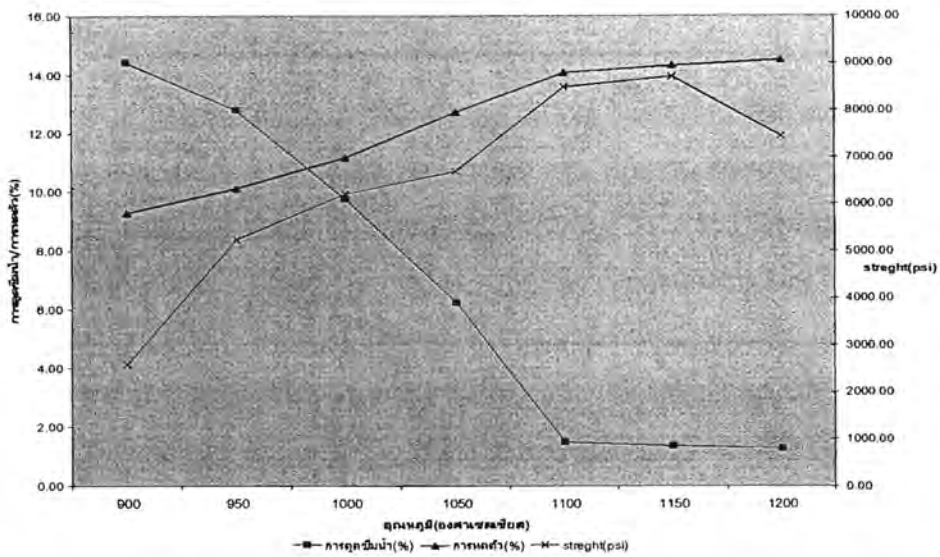
สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
ความชื้นในแห้งดินรีด (ร้อยละ)	25.78
การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	8.47
ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	1,876 ± 274

#### 4.2.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดิน หลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า ดินมีการหดตัวร้อยละ 9.27-14.50 โดยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.42-1.26 สำหรับค่าความแข็งแรงมีค่าอยู่ในช่วง 2,581-8,707 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 1,200 มีค่าความแข็งแรงลดลงแท่งดินเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวสูงสุด (ร้อยละ 14.31) การดูดซึมน้ำต่ำสุด (ร้อยละ 1.34) และความแข็งแรงสูงสุด (8,707 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วและลักษณะของแท่งดินรีดหรือชิ้นงานไม่มีการบวมหรือแตก จึงไม่ควรเผาเกินที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส จึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบไฟดำ 1,050-1,100 องศาเซลเซียส

**ตารางที่ 4.9** ค่าเฉลี่ยการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัดดูดิบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	9.27	14.42 ± 0.48	2,581 ± 191
950	10.11	12.80 ± 0.35	5,216 ± 422
1,000	11.17	9.73 ± 0.61	6,195 ± 821
1,050	12.73	6.23 ± 0.63	6,679 ± 592
1,100	14.07	1.40 ± 0.90	8,489 ± 1,029
1,150	14.31	1.34 ± 0.63	8,707 ± 975
1,200	14.50	1.26 ± 0.61	7,433 ± 1193



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคืบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

#### 4.2.6 สีดินก่อนและหลังเผา

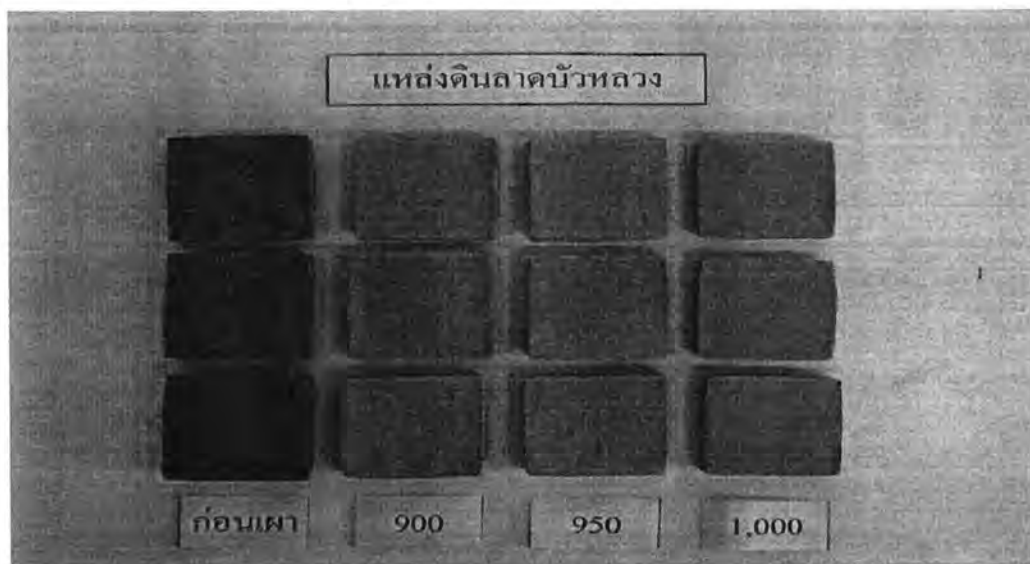
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าของสีในระบบซีไออีของตัวอย่างดินรูปสี่เหลี่ยมก่อนเผาและหลังเผา ในช่วงอุณหภูมิ 900-1,000 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง Color Meter และสังเกตพินิจด้วยตาพบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าระหว่าง 51.32-67.89 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวก อยู่ระหว่าง 12.15-12.83 ยกเว้นดินคืบก่อนเผามีค่าติดลบที่ 3.64 แสดงว่ามีค่าไปทางสีเขียว ค่าแสดงสีน้ำเงินและสีเหลือง (b) มีค่าบวกอยู่ระหว่าง 14.79-30.77 ดินก่อนเผามีสีน้ำตาลอ่อน สำหรับสีของดินหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1,000 องศาเซลเซียส เทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยช่วงอุณหภูมิ 900-1,000 มีสีเหลืองปนส้ม ดังรูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของสีเกิดจากสารประกอบของแร่เหล็กในดินคืบเปลี่ยนจากสารประกอบไฮดรอกไซด์ อาทิ เกอร์ไทต์ ซึ่งมีสีเหลืองอ่อนเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบออกไซด์ อาทิ แมกนีไทต์ ซึ่งมีสีเข้มขึ้น ทำให้ค่า L มีค่าลดลง ค่า a และ b มีสีออกไปทางสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ค่าการวัดสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัดฤติบ จากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระชาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



อุณหภูมิ	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	51.32	-3.64	14.79	น้ำตาลอ่อน
900 องศาเซลเซียส	67.13	+12.15	+28.08	เหลืองปนส้ม
950 องศาเซลเซียส	67.67	+12.52	+29.48	เหลืองปนส้ม
1,000 องศาเซลเซียส	67.89	+12.83	+30.77	เหลืองปนส้ม

หมายเหตุ L ใช้กำหนดค่าความสว่าง L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์ L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์  
 a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว a ค่าเป็นบวก ก็จะไปในทิศทางสีแดง a ค่าเป็นลบ ก็จะไปในทิศทางสีเขียว  
 b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน b ค่าเป็นบวก ก็จะไปในทิศทางสีเหลือง b ค่าเป็นลบก็จะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.8 ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัดฤติบจากแหล่งดินหลังสวนสมโภชน์ ตำบลพระชาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

#### 4.2.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินเหนียวเหนียวถึงดินเหนียวปนทรายถึงเนื้อละเอียดพอควร มีความเหนียวดี ขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อแห้งแข็งดินมีความแข็งแรงสูงพอสมควร เผาแล้วจะให้สีเหลืองปนส้ม ทนไฟได้ 1,150 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงหลังเผาไม่สูงนัก มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอย ในครัวเรือนต่างๆ อาทิ หม้อน้ำ กระจ่างดินไม้ หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบไฟดำ

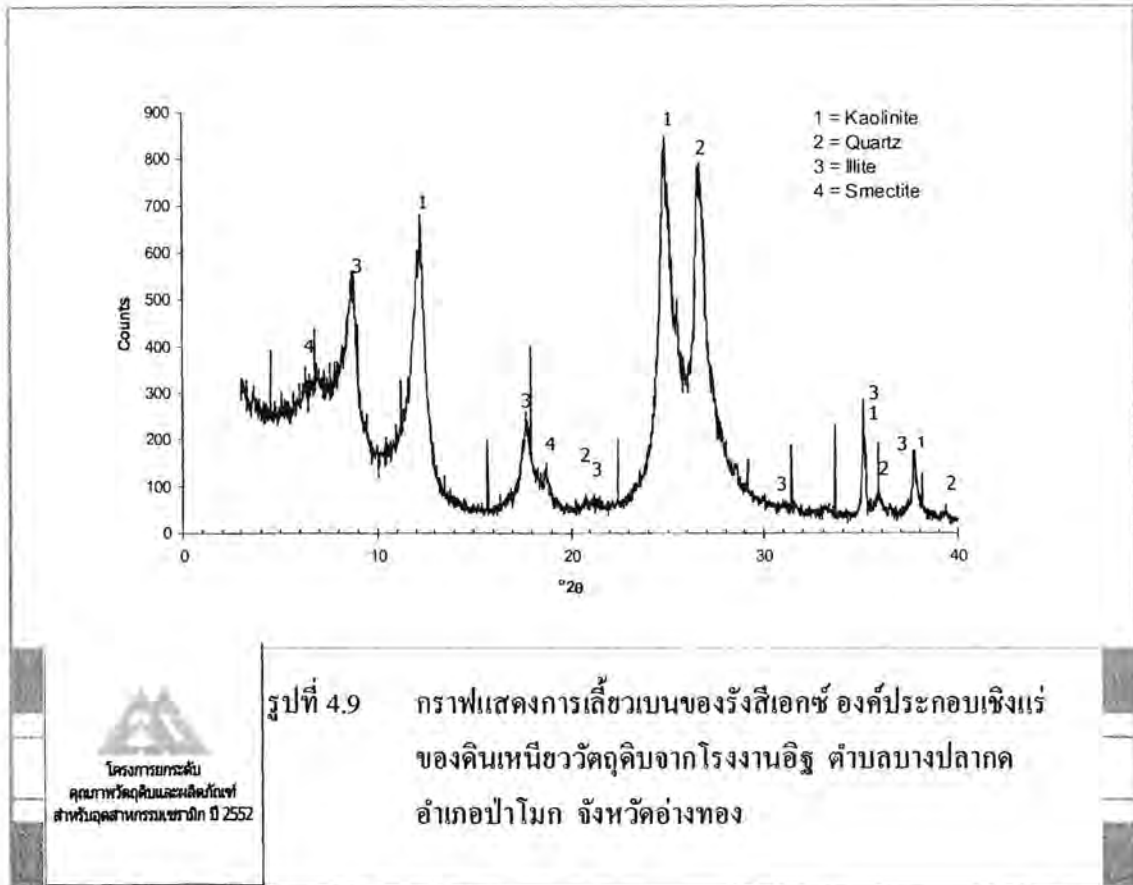
### 4.3 แหล่งดินโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

#### 4.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

ดินเหนียวที่นำมาศึกษาเป็นดินจากพื้นที่อำเภอป่าโมกซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานปัจจุบันมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกาค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 57) อะลูมินาสูง (ร้อยละ 24) จึงมีเนื้อดินมาก มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันสูงร้อยละ 6 ประกอบด้วยแอลคาไลน์คือ โซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ คือ แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณรวมกันสูงร้อยละ 5 ดินจึงไม่ทนไฟมากนัก ปริมาณ  $\text{CaSO}_4$  มีค่า 800 ส่วนในล้านส่วน อาจทำให้เกิดตำหนิคราบขาวบนผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อเผาและหลังเผากการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 8 ซึ่งค่อนข้างต่ำชันเดียวกับดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้าง แต่เนื่องจากดินโรงงานอิฐป่าโมกมีซิลิกาสูงกว่า (ร้อยละ 57) จึงน่าจะมีปริมาณซิลิกาอิสระสูงกว่าดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาช้าง ดังปรากฏในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
$\text{SiO}_2$	57.00	$\text{Na}_2\text{O}$	0.41	$\text{MnO}_2$	0.028
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23.76	$\text{K}_2\text{O}$	1.79	$\text{CaSO}_4$	800 ppm
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5.44	$\text{MgO}$	1.11	$\text{P}_2\text{O}_5$	0.052
$\text{TiO}_2$	0.87	$\text{CaO}$	1.52	การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	8.039

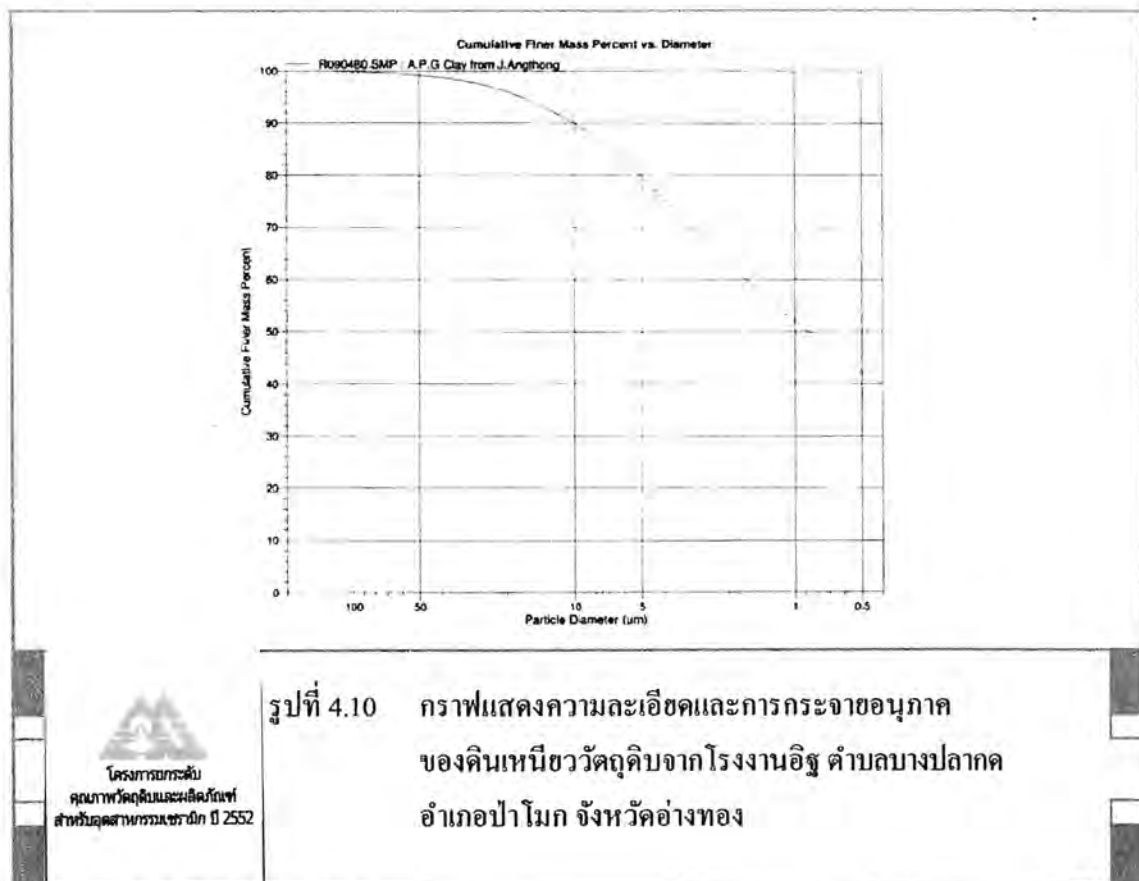


#### 4.3.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.12 แสดงค่ากาค้างตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ดัชนีความเหนียวและความละเอียดของเนื้อดินเหนียวโรงงานอิฐ พบว่าเป็นดินที่ค่อนข้างเหนียว มีปริมาณกาคหยาบขนาดโตกว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) ค่อนข้างต่ำคือ น้อยกว่าร้อยละ 2.5 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) ร้อยละ 62.7 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวของอนุภาคดินมีค่า  $15.25 \pm 0.25$  มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม จึงเป็นดินที่มีเนื้อละเอียด ค่าดัชนีความเหนียวมีค่าค่อนข้างสูงคือ 25.07

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุบิจากโรงงานอิฐ  
ตำบลบางปลาเกด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

กาก้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	0.67 ± 0.09	200 เมช	1.25 ± 0.11	325 เมช	2.09 ± 0.07
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.9	<70 ไมโครเมตร	99.6	<53 ไมโครเมตร	99.2
<40 ไมโครเมตร	98.8	<20 ไมโครเมตร	96.1	<10 ไมโครเมตร	90.0
<5 ไมโครเมตร	79.8	<2 ไมโครเมตร	62.7	<1 ไมโครเมตร	52.1
<0.5 ไมโครเมตร	42.3				
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	15.25 ± 0.25 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	49.96	Plastic limit	24.93	Plasticity index	25.07





#### 4.3.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

ดิน โรงงานอิฐสามารถขึ้นรูปได้โดยแท่งดินไม่แตกหักเสียหาย ใช้น้ำผสมเพื่อให้ขึ้นรูปได้ มีค่าร้อยละ 26 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 9 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง 1,540 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังปรากฏในตารางที่ 4.13 ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับดินบ้านคอนตาซัง ในการเตรียมเนื้อดินปั้นจึงต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียวอาทิทราย

**ตารางที่ 4.13** ปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจอก อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

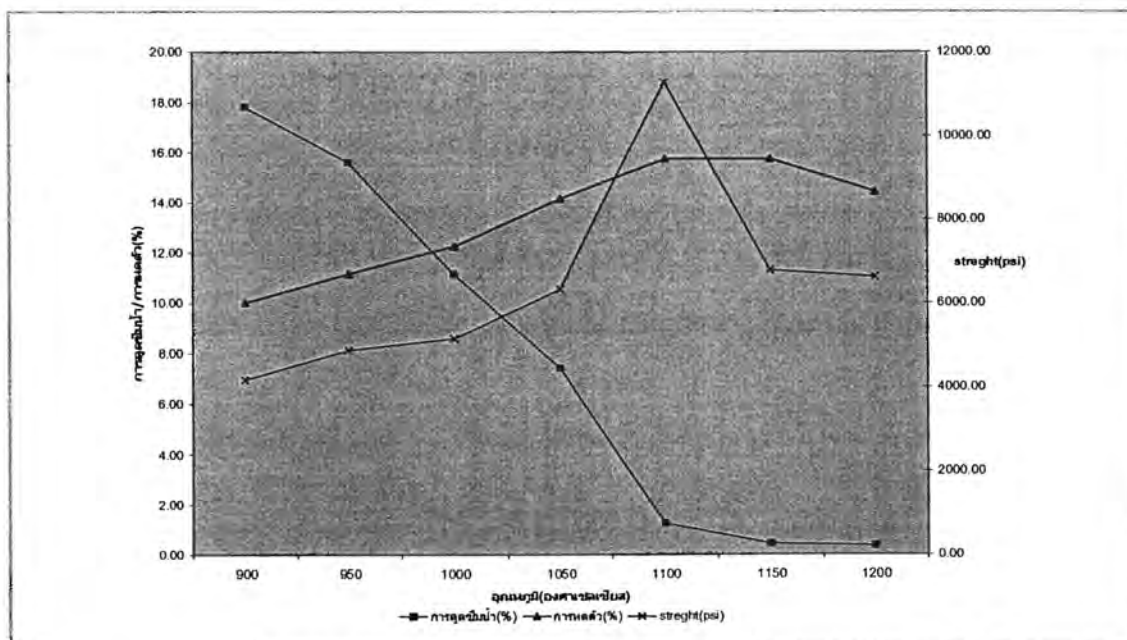
สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	25.55 ± 0.81
การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	9.08 ± 0.39
ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	1,540 ± 128.14

#### 4.3.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.11 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณร้อยละ 10-16 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 18-0.4 สำหรับค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีค่าในช่วง 4,193-11,280 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ยกเว้นการหดตัวและความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าลดลง ดินมีช่วงการเผาที่แคบ เมื่อเผาสูงขึ้นตั้งแต่ 1,050 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากมีเนื้อแก้วเกิดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การหดตัวและความแข็งแรงเริ่มคงที่ อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงเริ่มลดลงเล็กน้อย ดังนั้น ดินนี้จึงทนไฟได้ไม่เกิน 1,100-1,150 องศาเซลเซียส อนึ่งในกรณีที่ใช้ดิน โรงงานอิฐป่าโมก ผลิตภัณฑ์ที่ ต้องการเผาสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส การขึ้นไฟในช่วงอุณหภูมิการเกิดเนื้อแก้วต้องคอยระวังการให้ขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป (over fired)

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจก อำเภอบางบาล จังหวัดอ่างทอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	10.01 ± 0.30	17.84 ± 0.50	4,193 ± 126.79
950	11.62 ± 0.23	15.62 ± 0.46	4,897 ± 404.00
1,000	12.24 ± 0.34	11.16 ± 0.44	5,175 ± 159.86
1,050	14.16 ± 0.48	7.45 ± 0.63	6,332 ± 117.24
1,100	15.74 ± 0.79	1.24 ± 0.74	11,289 ± 873.03
1,150	15.74 ± 0.34	0.44 ± 0.18	6,780 ± 555.20
1,200	14.42 ± 0.51	0.36 ± 0.38	6,631 ± 276.70



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจก อำเภอบางบาล จังหวัดอ่างทอง

## 4.3.6 สีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี (CIE) และสังเกตพิกัดด้วยตาของดิน โรงอิฐก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่า 39.33-61.21 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวกประมาณ 10.81-18.83 ยกเว้นดินดิบที่มีค่าลบ 2.89 แสดงว่าดินมีสีไปทางสีเขียว สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) มีค่าบวกประมาณ 12.08-32.58 ดินก่อนเผามีสีน้ำตาลอ่อน สำหรับสีของดินหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะมีสีเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ โดยช่วงอุณหภูมิ 900-1,100 มีสีเหลืองแดงถึงแดง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,150-1,200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลแดง เนื่องจากการเปลี่ยนสภาวะออกซิเดชันของแร่เหล็กออกไซด์

ตารางที่ 4.15 ค่าการวัดสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลาจอก อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	52.65	-2.89	+17.06	น้ำตาลอ่อน
900	60.31	+16.23	+30.22	เหลืองแดง
950	61.21	+16.41	+31.44	เหลืองแดง
1,000	59.36	+17.30	+32.58	เหลืองแดง
1,050	52.35	+18.83	+30.29	แดงสว่าง
1,100	45.61	+16.34	+23.16	แดง
1,150	41.17	+12.48	+16.69	น้ำตาลแดง
1,200	39.33	+10.81	+12.08	น้ำตาลแดง

หมายเหตุ	L ใช้กำหนดค่าความสว่าง	L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์	L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์
	a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว	a ค่าเป็นบวก สีจะ ไปในทิศทางสีแดง	a ค่าเป็นลบ สีจะ ไปในทิศทางสีเขียว
	b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน	b ค่าเป็นบวก สีจะ ไปในทิศทางสีเหลือง	b ค่าเป็นลบ สีจะ ไปในทิศทางสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.12 ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ  
ของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานอิฐ ตำบลบางปลากรด  
อำเภอปากโมก จังหวัดอ่างทอง

#### 4.3.7 สักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินโรงงานอิฐเป็นดินเหนียวเนื้อเนียนละเอียด จึงความเหนียวสูง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปค่อนข้างสูง ในการเตรียมเนื้อดินปั้นต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มี ความเหนียว อาทิ ทราย เศษภาชนะ เครื่องปั้นดินเผาบด หลังเผาผลิตภัณฑ์จะมีสีเหลืองแดงถึงน้ำตาลแดง ทนไฟได้ไม่เกิน 1,150 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.12 มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยในครัวเรือนต่างๆ อาทิ หม้อน้ำ หม้อน้ำฝังเตาอ่างโล่ กระถางต้นไม้รวมทั้งอิฐและกระเบื้องด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผิวเนียนละเอียด อาทิ ของที่ระลึกของชำร่วย นอกจากนี้อาจนำไปใช้ผสมในเนื้อดินปั้นที่ต้องการเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความขาว

#### 4.4 แหล่งดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

##### 4.4.1 องค์ประกอบทางเคมี

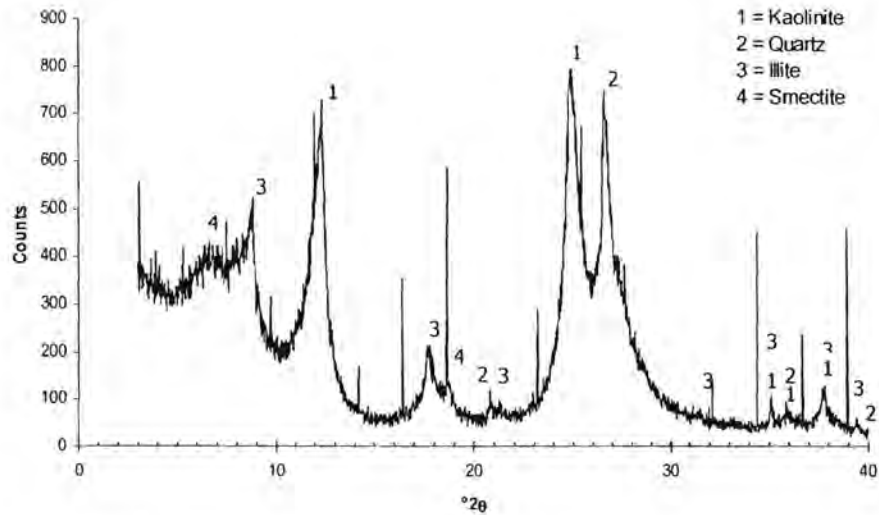
ดินเหนียวที่นำมาศึกษาเป็นดินจากบ้านป่า จากตารางที่ 4.16 ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า มีองค์ประกอบทางเคมีคือ ซิลิกาไม่สูงนัก (ร้อยละ 59) อะลูมินาต่ำ (ร้อยละ 19) เนื้อดินจึงมีทรายปนมาก มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกันร้อยละ 7 ประกอบด้วยแอลคาไลน์คือ โซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์ และแอลคาไลน์เอิร์ธคือ แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์มีปริมาณรวมกันไม่สูงนักร้อยละ 4 ดินจึงนำจะทนไฟได้ไม่สูงนัก การสูญเสียน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 10 ในเนื้อดินจึงมีซิลิกามาก จากปริมาณ  $\text{CaSO}_4$  ที่มีค่าสูง 7,760 ส่วนในล้านส่วน ดินนี้จึงน่าจะมีปัญหาคราบขาวเช่นเดียวกับดินแหล่งอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4.16 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
$\text{SiO}_2$	58.65	$\text{Na}_2\text{O}$	0.41	$\text{MnO}_2$	0.077
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18.96	$\text{K}_2\text{O}$	2.19	$\text{CaSO}_4$	7,760 ppm
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5.78	$\text{MgO}$	1.14	$\text{P}_2\text{O}_5$	0.11
$\text{TiO}_2$	0.88	$\text{CaO}$	0.56	การสูญเสียน้ำหนักแห้งเผา	10.293

##### 4.4.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ (ทราย) และแร่ดินเหนียวที่พบคือ เคโอลินไนต์ อิลไลต์ และสมกไทต์ แร่เหล่านี้ปกติมีอยู่ในดินเหนียวโดยทั่วไป สำหรับแร่เคโอลินไนต์ที่เป็น disorder kaolinite ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างผลึกถูกแทนที่ตำแหน่งของซิลิกอน (Si) ด้วยประจุบวกอื่นๆ อาทิ  $\text{Al}^{+++}$  จะมีความไม่เสถียร และมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าแร่ well order kaolinite ในขณะที่แร่อิลไลต์และแร่สมกไทต์เป็นแร่ดินเหนียวที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร) ดังนั้นดินที่แร่ดินเหนียวดังกล่าวจึงมักมีเนื้อนิ่มละเอียด



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเหนียววัตถุคืบจากแหล่งดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลตรีณรงค์ อำเภอ ไชโย จังหวัดอ่างทอง

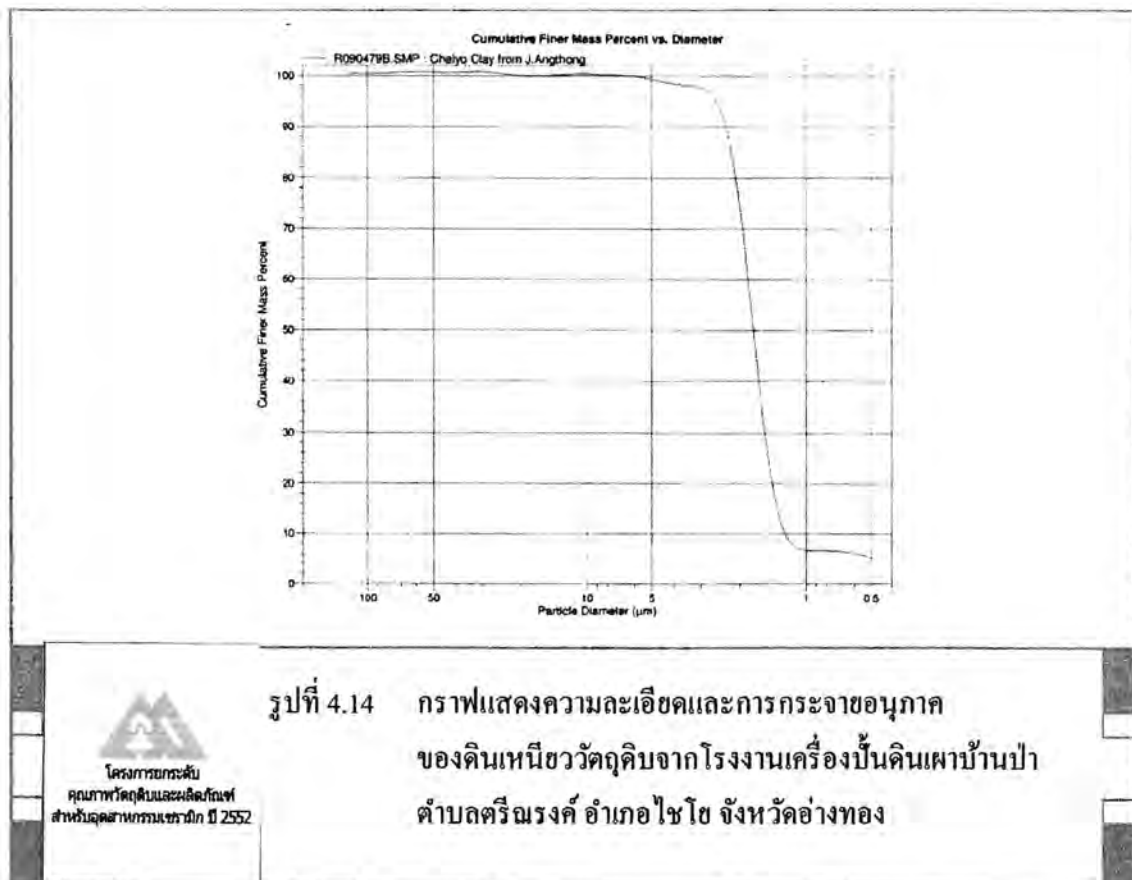


#### 4.4.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.17 แสดงค่ากำลังตะแกรง การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ค่าดัชนีความเหนียว และความละเอียดของเนื้อดินเหนียว โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า พบว่าเป็นดินที่มีเนื้อเหนียวละเอียดมาก มีปริมาณภาคหยาบขนาดโตกว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) ค่อนข้างต่ำ คือ น้อยกว่าร้อยละ 1 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) ร้อยละ 98.8 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวของอนุภาคดิน มีค่า  $8.26 \pm 0.08$  มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม ค่าดัชนีความเหนียวมีค่าค่อนข้างสูงคือ 38.60 จึงเป็นดินที่เหนียวมาก

ตารางที่ 4.17 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุคืบโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า  
ตำบลตรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

ภาคข้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	0.55 ± 0.14	200 เมช	0.68 ± 0.02	325 เมช	0.83 ± 0.04
การกระจายความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	100.5	<70 ไมโครเมตร	100.7	<53 ไมโครเมตร	100.7
<40 ไมโครเมตร	100.6	<20 ไมโครเมตร	100.2	<10 ไมโครเมตร	100.4
<5 ไมโครเมตร	99.3	<2 ไมโครเมตร	98.8	<1 ไมโครเมตร	6.7
<0.5 ไมโครเมตร	5.1				
เมทิลลิบวูอินดีกซ์	8.26 ± 0.08 มิลลิอิกวาเลนตต่อ 100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	70.58	Plastic limit	32.01	Plasticity index	38.60



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายอนุภาค  
ของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า  
ตำบลตรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

#### 4.4.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

จากตารางที่ 4.18 แสดงค่า ความชื้นในแห้งคิรริค การหดตัวและความแข็งแรงหลังอบแห้ง พบว่า ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า สามารถรีดขึ้นรูปได้โดยแห้งดินไม่แตกหักเสียหาย เมื่อใช้น้ำผสมร้อยละ 26 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 9 ค่าความแข็งแรงหลังแห้ง มีค่าสูง 2,095 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ตารางที่ 4.18 ปริมาณความชื้นในแห้งคิรริค การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุดิบจาก โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
ความชื้นในแห้งคิรริค (ร้อยละ)	26.61 ± 0.36
การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	9.35 ± 0.18
ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	2,095 ± 186

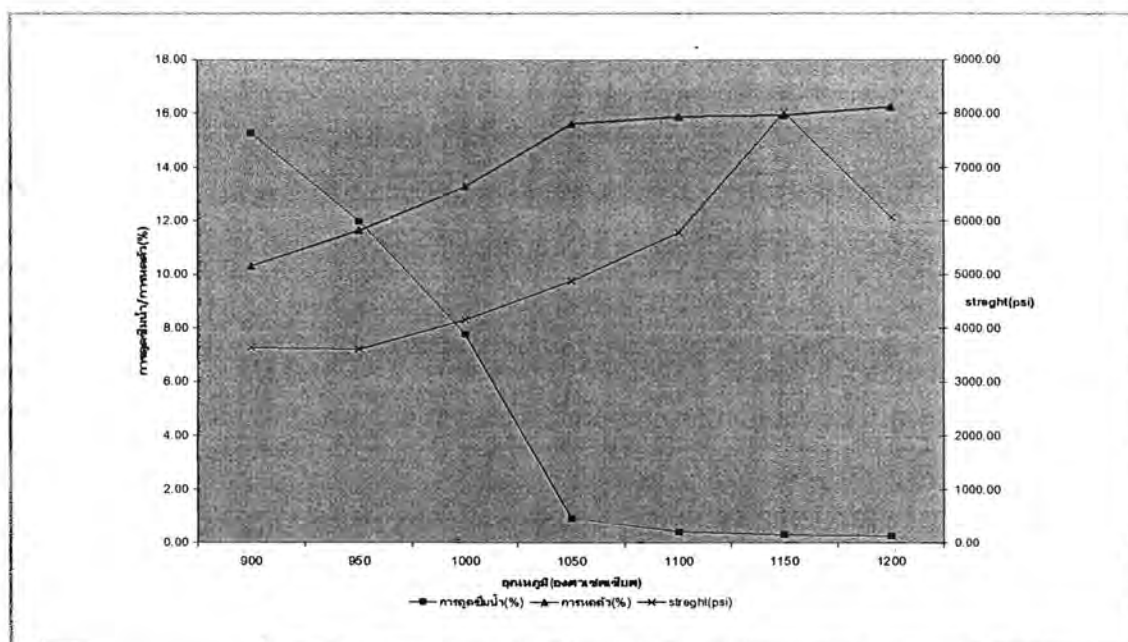
#### 4.4.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.15 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของ แ่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณร้อยละ 10-16 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.26-0.24 ความแข็งแรง มีค่าประมาณ 3,593-8,019 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และลดลงที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส โดยมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 1,050 องศาเซลเซียส ดินมีเนื้อแก้วมากขึ้นค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำลงเหลือร้อยละ 0.90 ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่ามีช่วงการเผาที่เผาทนไฟได้ไม่เกิน 1,150 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	10.32 ± 0.35	14.26 ± 0.67	3,620 ± 286.54
950	11.64 ± 0.36	11.96 ± 0.62	3,593 ± 159.69
1,000	13.28 ± 0.20	7.75 ± 1.01	4,147 ± 142.21
1,050	15.61 ± 0.20	0.90 ± 0.47	4,872 ± 113.29
1,100	15.89 ± 0.40	0.40 ± 0.31	5,774 ± 470.71
1,150	15.93 ± 0.13	0.30 ± 0.23	8,019 ± 449.95
1,200	16.24 ± 0.17	0.24 ± 0.29	6,056 ± 417.48



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

## 4.4.6 สีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.16 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี และสังเกตพินิจด้วยตาของดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่าก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าประมาณ 43.28-62.84 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวกประมาณ 12.44-17.12 ยกเว้นดินดิบที่มีค่าติดลบ 5.14 แสดงว่า ดินมีสีไปทางเขียว สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) มีค่าบวก ประมาณ 11.06-34.01 ดินก่อนเผามีสีเทาเข้ม สำหรับสีของดินหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิโดยช่วงอุณหภูมิ 900-1,100 มีสีแดงสว่างถึงน้ำตาลแดง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,150-1,200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลแดง

ตารางที่ 4.20 ค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัดดูคิบ  
โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า ตำบลศรีณรงค์ อ่างทอง ไซโย จังหวัดอ่างทอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	46.54	-5.14	+11.06	เทาเข้ม
900	61.81	+17.12	+32.20	แดงสว่าง
950	62.84	+16.74	+32.58	แดงสว่าง
1,000	61.85	+17.12	+34.01	แดงสว่าง
1,050	56.29	+16.23	+31.17	เหลืองแดง
1,100	50.09	+15.08	+26.05	น้ำตาลแดง
1,150	44.62	+14.42	+19.37	น้ำตาลแดง
1,200	43.28	+12.44	+13.79	น้ำตาลแดง

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



รูปที่ 4.16 ลักษณะสีดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ  
ของดินเหนียววัดอุทกจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา  
บ้านป่า ตำบลตรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง



#### 4.4.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่าเป็นดินเหนียวเนื้อเนียนมาก สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและไม่แตกหักเสียหาย หลังแห้งผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง เมื่อเผาแล้วผลิตภัณฑ์จะมีสีแดงสว่างถึงน้ำตาลแดงทนไฟได้ ประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาตกแต่งสวนทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ อาทิ ตุ๊กตาดอกแต่งสวน กระถาง กรณีที่ต้องการทำผลิตภัณฑ์ที่ผิวเนียนละเอียดต้องคัดกากหยาบออก นอกจากนี้ยังมีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาเคลือบไฟดำ

#### 4.5 แหล่งดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

##### 4.5.1 องค์ประกอบทางเคมี

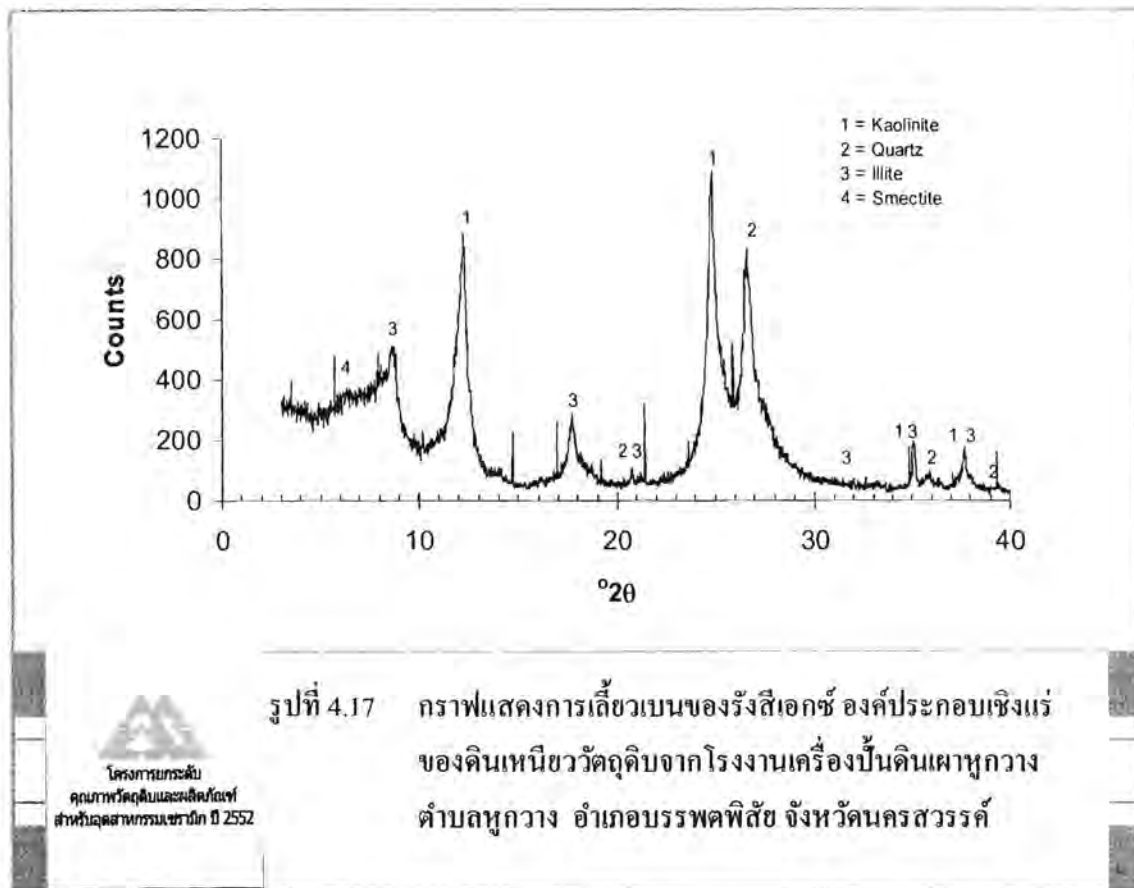
ดินเหนียววัตถุคิบ โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางส่วนใหญ่เป็นดินจากแหล่งดินบ้านตาหงาย อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์ จากตารางที่ 4.21 ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกาค่อนข้างต่ำร้อยละ 53 อะลูมินาสูง (ร้อยละ 24) มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์รวมกัน ร้อยละ 7 ประกอบด้วยแอลคาไลน์ คือ โซเดียมออกไซด์และโปแตสเซียมออกไซด์ และแอลคาไลน์เอิร์ธ คือ แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ มีปริมาณรวมกันสูงพอสมควร ร้อยละ 5 การสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 10 ซึ่งค่อนข้างต่ำแสดงว่ามีซิลิกาอิสระพอสมควรและมีอินทรีย์วัตถุปะปนอยู่น้อย

ตารางที่ 4.21 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO <sub>2</sub>	53.31	Na <sub>2</sub> O	0.29	MnO <sub>2</sub>	0.059
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.46	K <sub>2</sub> O	2.72	CaSO <sub>4</sub>	458 ppm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.33	MgO	1.31	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.099
TiO <sub>2</sub>	0.90	CaO	0.78	การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา	9.735

##### 4.5.2 สมบัติทางแร่วิทยา

จากการวิเคราะห์แร่ในขนาดอนุภาคดิน พบว่าประกอบด้วยควอร์ตซ์ (ทราย) และแร่ดินเหนียวที่พบคือ เคลอไลต์ ไนต์ อิลไลต์ และสมกไทต์ ดังรูปที่ 4.17 แร่เหล่านี้ปกติมีอยู่ในดินเหนียวโดยทั่วไป สำหรับแร่เคลอไลต์ไนต์ที่เป็น disorder kaolinite ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างผลึกถูกแทนที่ตำแหน่งของซิลิกอนด้วยประจุบวกอื่นๆ อาทิ Al<sup>+++</sup> จะมีความไม่เสถียร และมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าแร่ well order kaolinite ในขณะที่แร่ อิลไลต์และแร่สมกไทต์เป็นแร่ดินเหนียวที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร) ดังนั้น ดินเหนียวดังกล่าวจึงมักมีเนื้อเนียนละเอียด

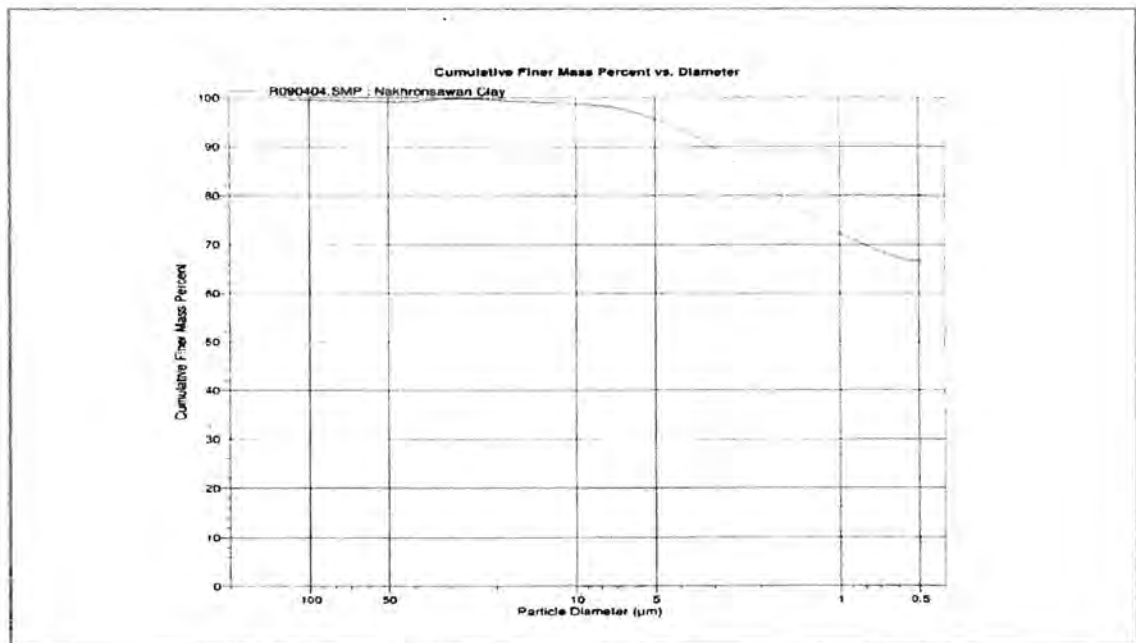


#### 4.5.3 สมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.22 แสดงค่าการคายน้ำ การกระจายความละเอียด เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ค่านี้ ความเหนียว และความละเอียดของเนื้อดินเหนียว โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง พบว่า เป็นดินที่ค่อนข้างเหนียว มีปริมาณการคายน้ำขนาดโตกว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) ค่อนข้างต่ำคือน้อยกว่าร้อยละ 3 มีอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) ร้อยละ 82.8 ค่าเมทิลลีนบลูอินเด็กซ์ ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวของอนุภาคดิน มีค่า  $19.08 \pm 0.14$  มิลลิกรัมควาเลนซ์ต่อ 100 กรัม จึงเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดมาก ค่าดัชนีความเหนียวมีค่าค่อนข้างสูงคือ 29.10

ตารางที่ 4.22 สมบัติทางกายภาพของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

กากข้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)					
100 เมช	2.13 ± 1.01	200 เมช	2.42 ± 0.04	325 เมช	2.55 ± 0.07
การกระจายความละเอียดผสม (ร้อยละ)					
<120 ไมโครเมตร	99.5	<70 ไมโครเมตร	99.3	<53 ไมโครเมตร	99.2
<40 ไมโครเมตร	99.3	<20 ไมโครเมตร	99.5	<10 ไมโครเมตร	98.7
<5 ไมโครเมตร	95.6	<2 ไมโครเมตร	82.8	<1 ไมโครเมตร	72.3
เมทิลลีนบลูอินเด็กซ์	8.26 ± 0.08 มิลลิอิกวาแลนต์ต่อ 100 กรัม (meq/100 g)				
Atterberg plasticity Test					
Liquid limit	58.60	Plastic limit	29.50	Plasticity index	29.10



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความละเอียดและการกระจายอนุภาคของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

#### 4.5.4 สมบัติทางการขึ้นรูป

จากตารางที่ 4.23 แสดงค่าความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัวและความแข็งแรงหลังอบแห้ง พบว่าดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางสามารถรีดขึ้นรูปได้เมื่อใช้น้ำผสมร้อยละ 26 เมื่อแห้งมีค่าการหดตัวเชิงเส้นร้อยละ 9 ค่าความแข็งแรงหลังแห้งมีค่า 1,680 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สำหรับความแข็งแรงหลังแห้งของดิน นอกจากเป็นผลจากความละเอียดและความหนาแน่นแล้ว ชนิดของอิออนที่ปะปนในเนื้อดินก็มีผลต่อความแข็งแรงหลังแห้งได้เช่นกัน โดยดินที่มีอิออนประจุบวกหนึ่ง อาทิ โซเดียม จะมีความแข็งแรงกว่าดินที่มีประจุบวกสอง อาทิ แคลเซียม

ตารางที่ 4.23 ปริมาณความชื้นในแท่งดินรีด การหดตัว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ของดินเหนียววัตถุคืบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอพรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

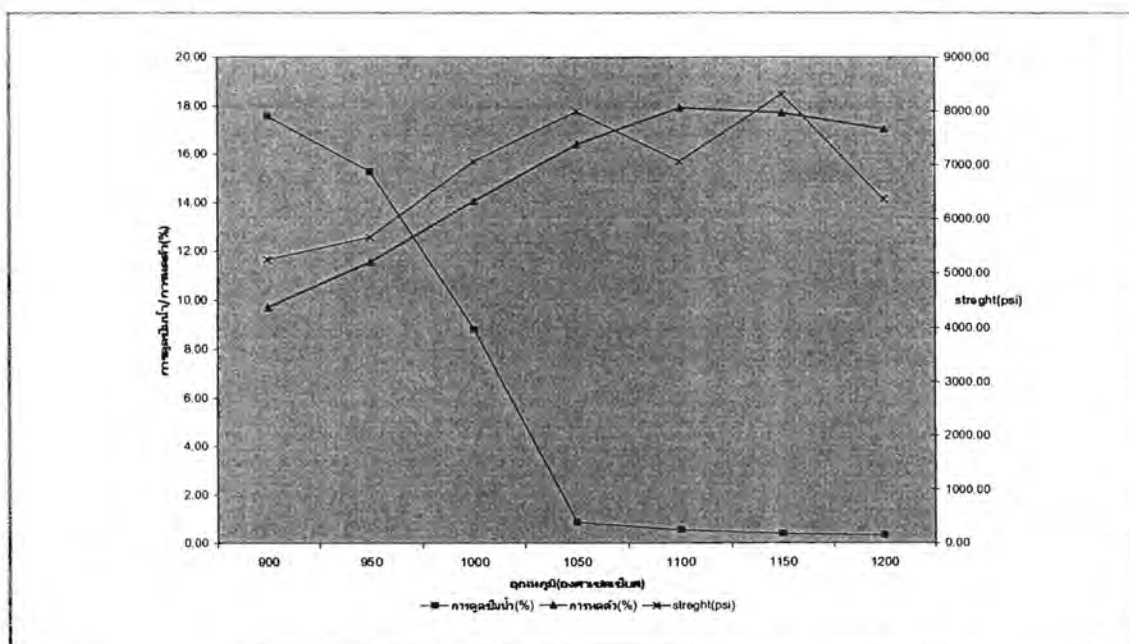
สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	25.98 ± 0.27
การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	9.15 ± 0.45
ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	1,680 ± 94.24

#### 4.5.5 สมบัติหลังการเผา

จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.19 แสดงค่าการหดตัวเชิงเส้น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของแท่งดินหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินมีการหดตัวประมาณร้อยละ 9.71-17.91 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในช่วง 900-1,100 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,150-1,200 องศาเซลเซียส ค่าการหดตัวลงและมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามอุณหภูมิ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 17.59-0.36 ความแข็งแรงมีค่าประมาณ 5,254-8,234 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และลดลงที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในขณะที่เมื่อเผาสูงขึ้นที่ 1,150 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาทางความร้อนทำให้มีเนื้อแก้วมากขึ้น ค่าความแข็งแรงจึงเพิ่มขึ้น ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางมีช่วงการเผาเคลบและทนไฟต่ำประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อเผาสูงขึ้นดินเริ่มขยายตัวและค่าความแข็งแรงลดลง

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยการหดตัวหลังเผา อัตราการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอพรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความแข็งแรงหลังเผา (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
900	9.71 ± 0.29	17.59 ± 0.39	5,254 ± 596.30
950	11.56 ± 0.28	15.28 ± 0.96	5,669 ± 123.69
1,000	14.07 ± 0.48	8.87 ± 1.01	7,070 ± 362.28
1,050	16.41 ± 0.58	0.88 ± 0.63	8,003 ± 492.50
1,100	17.91 ± 0.30	0.57 ± 0.52	7,66 ± 384.23
1,150	17.69 ± 0.18	0.41 ± 0.41	8,324 ± 1213.99
1,200	17.02 ± 0.26	0.36 ± 0.30	6,381 ± 652.35



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัตถุคิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอพรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์



## 4.5.6 สีดินก่อนและหลังเผา

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าของสีในระบบซีไออี (CIE) และสังเกตพิกัดด้วยตาของดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความสว่าง (L) มีค่าประมาณ 41.23-60.16 ค่าแสดงสีแดงและสีเขียว (a) มีค่าบวกประมาณ 11.89-18.75 ยกเว้นดินดิบที่มีค่าติดลบ 4.78 แสดงว่าดินมีสีไปทางเขียว สำหรับค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) มีค่าบวก ประมาณ 13.28-32.10 ดินก่อนเผามีสีเทาอ่อนปนน้ำตาล สำหรับสีของดินหลังเผาช่วงอุณหภูมิ 900-1,200 องศาเซลเซียส จะมีสีเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ โดยช่วงอุณหภูมิ 900-1,050 มีสีเหลืองแดงถึงแดง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1,100-1,200 องศาเซลเซียส ได้กลายเป็นสีน้ำตาลแดงและแดงเข้ม ตามการเปลี่ยนสภาวะออกซิเดชันของเหล็กออกไซด์ ดังรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.25 ค่าการวัดสีดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของดินเหนียววัดดูดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอพรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการวัดสีระบบซีไออี (L*a*b*)			สีที่สังเกตด้วยตา
	L	a	b	
ก่อนเผา	51.44	-4.78	+15.75	เทาอ่อนปนน้ำตาล
900	59.31	+15.93	+29.86	เหลืองแดง
950	60.16	+17.65	+32.10	เหลืองแดง
1,000	57.64	+18.75	+31.74	เหลืองแดง
1,050	50.15	+16.95	+26.32	แดง
1,100	44.43	+13.61	+19.33	น้ำตาลแดง
1,150	42.00	+11.89	+16.07	น้ำตาลแดง
1,200	41.23	+12.77	+13.28	แดงเข้ม

หมายเหตุ	L ใช้กำหนดค่าความสว่าง	L = 0 แสดงว่าตัวอย่างมีสีดำสมบูรณ์	L = 100 แสดงว่าตัวอย่างมีสีขาวสมบูรณ์
	a ใช้กำหนดสีแดงและสีเขียว	a ค่าเป็นบวก ก็จะไปในทิศทางสีแดง	a ค่าเป็นลบ ก็จะไปในทิศทางสีเขียว
	b ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน	b ค่าเป็นบวก ก็จะไปในทิศทางสีเหลือง	b ค่าเป็นลบ ก็จะไปในทิศทางสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.20 ลักษณะสวิตช์ก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ  
ของดินเหนียววัตถุดิบจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา  
บ้านหูกวาง ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย  
จังหวัดนครสวรรค์

#### 4.5.7 ศักยภาพในการใช้ประโยชน์

ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางเป็นดินเหนียวเนื้อเนียนละเอียด ความเหนียวสูง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปค่อนข้างสูง ในการเตรียมเนื้อดินปั้นต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ทราย เศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผาบาด หลังเผาผลิตภัณฑ์จะมีสีเหลืองแดงถึงแดงเข้ม ทนไฟได้ 1,100-1,150 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยในครัวเรือนต่างๆ อาทิ หม้อน้ำ หม้อน้ำเงี้ยว เตาอังโล่ กระจ่างต้นไม้ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผิวเนียนละเอียด อาทิ ของที่ระลึก ของชำร่วย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ผสมในเนื้อดินปั้นที่ต้องการเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความขาว



## บทที่ 5

### สรุป

ผลจากการตรวจสอบสมบัติของดินทั้ง 5 แห่ง สรุปได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์ดินทั้ง 5 แห่ง พบว่า เป็นดินเหนียวปนทรายทุกแห่ง มีเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมออกไซด์ค่อนข้างสูงในทุกแห่ง ในขณะที่มีปริมาณสารลดอุณหภูมิต่ำไม่สูงนักในดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง ดินหลังสวนสมโภชน์และมียาค่อนข้างสูงพอควรในดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่าและโรงงานอิฐ และโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง

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>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaSO <sub>4</sub> *	L.O.I
บ้านคอนตาซัง	55.09	23.64	6.38	0.81	0.20	1.26	0.93	0.81	0.045	0.072	2,541	10.137
หลังสวนสมโภชน์	60.59	19.79	4.72	0.92	0.23	1.77	0.88	1.80	0.013	0.030	1,224	10.374
โรงอิฐ	57.00	23.76	5.44	0.87	0.41	1.79	1.11	1.52	0.028	0.052	800	8.039
บ้านป่า	58.65	18.96	5.78	0.88	0.41	2.19	1.14	0.56	0.077	0.110	7,760	10.293
บ้านหูกวาง	53.31	24.46	6.33	0.91	0.29	2.72	1.31	0.78	0.059	0.099	458	9.735

\* หน่วยที่ใช้: ส่วนในล้านส่วน (ppm)

#### 5.2 แร่วิทยาของดินทั้ง 4 แห่ง

ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์ แร่เคโอลิไนต์ แร่อิลไลต์ และสมกไทต์

#### 5.3 ค่ากาค้างสะสมบนตะแกรง

ค่ากาค้างสะสมบนตะแกรง 325 เมช ของดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาซัง โรงงานอิฐ โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง และดินหลังสวนสมโภชน์มีค่าต่ำไม่เกินร้อยละ 3

แหล่งดิน	กากข้างสะสมบนตะแกรง (ร้อยละ)		
	100 เมช	200 เมช	325 เมช
บ้านคอนตาข้าง	0.80 ± 0.11	1.02 ± 0.02	1.34 ± 0.05
หลังสวนสมโภชน์	0.86 ± 0.62	1.07 ± 0.08	1.25 ± 0.02
โรงอิฐ	0.67 ± 0.09	1.25 ± 0.11	2.09 ± 0.07
บ้านป่า	0.55 ± 0.14	0.68 ± 0.02	0.83 ± 0.04
บ้านหูกวาง	2.23 ± 1.01	2.42 ± 0.04	2.55 ± 0.07

#### 5.4 การกระจายความละเอียด

การกระจายความละเอียด ดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาข้าง อนุภาคขนาดละเอียดสูง (<2 ไมโครเมตร) ในขณะที่ดิน โรงอิฐ โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง และดินหลังสวนสมโภชน์อนุภาคขนาดละเอียดมีปานกลาง

แหล่งดิน	การกระจายตัวความละเอียดสะสม (ร้อยละ)					
	<20 μm	<10 μm	<5 μm	<2 μm	<1 μm	<0.5 μm
บ้านคอนตาข้าง	99.7	99.7	99.9	99.7	99.0	94.1
หลังสวนสมโภชน์	97.9	91.1	45.6	7.5	7.4	8.2
โรงอิฐ	96.1	90.0	79.8	62.7	52.1	42.3
บ้านป่า	100.2	100.4	99.3	73.9	6.7	5.1
บ้านหูกวาง	99.5	98.7	95.6	82.8	72.3	66.7

#### 5.5 ค่าเมทิลลิบลูอินเด็กซ์

ดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนตาข้าง มีค่าเมทิลลิบลูอินเด็กซ์ค่อนข้างสูง คือ 23.83 มิลลิอิกวิวาแลนต์ ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ค่าดัชนีความเหนียวสูง 34.09 ดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ดินหลังสวนสมโภชน์ ดินโรงอิฐ และดิน โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า มีค่าไม่สูงนัก คือ 19.08, 15.67, 15.25 และ 8.26 มิลลิอิกวิวาแลนต์ ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าดัชนีความเหนียวไม่แตกต่างกันคือมีค่า 125.07-29.07

## 5.6 ค่าความชื้น

ดินทุกแหล่งมีความชื้นในแท่งดินรีระหว่างร้อยละ 23-26 การหาค่าร้อยละ 8-9 และมีความแข็งแรง 1,257-2,095 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนคาซังมีค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งค่อนข้างต่ำซึ่งมีผลทำให้ขึ้นรูปยาก และอาจมีรอยแตกร้าวในแท่งดินรี

## 5.7 ค่าการหดตัวหลังเผา

ดินหลังสวนสมโภชน์ มีค่าการหดตัวหลังเผาที่ 900-1,200 องศาเซลเซียส ต่ำสุดร้อยละ 9.27-14.50 ในขณะที่ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนคาซัง โรงงานอิฐ โรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่า และโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง มีค่าการหดตัวร้อยละ 9.57 -17.91 ดินทุกแหล่งมีช่วงการเผาแคบ ทนไฟได้ 1,100-1,150 องศาเซลเซียส และดินบ้านป่าทนไฟได้ต่ำสุด 1,100 องศาเซลเซียส

## 5.8 สีของดิน

สีของดินทุกแหล่งเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิการเผาโดยจะมีสีเหลืองส้มถึงน้ำตาลแดงเข้ม โดยเฉพาะดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวาง ซึ่งปริมาณเหล็กออกไซด์สูง

## 5.9 การใช้ประโยชน์

ดินทุกแหล่งเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียด มีความเหนียวดี มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้สอยในครัวเรือนต่างๆ อาทิ กระจ่าง หม้อน้ำ ดินบ้านหูกวางทนไฟได้สูงอาจสามารถทำอิฐทนไฟหรือพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบไฟฟ้า ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านคอนคาซัง มีความละเอียดมากสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผิวเนียนละเอียด อาทิ ของที่ระลึก ของชำร่วย นอกจากนี้อาจนำไปใช้ผสมในเนื้อดินปั้นที่ต้องการเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความขาว ในขณะที่ดินโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านป่าเหมาะที่จะใช้ผลิตเครื่องปั้นขนาดใหญ่





## บรรณานุกรม

- ชาญ จรรยาวิชัย และ ลดา พันธุ์สุขุมธนา. 2540. เทคโนโลยีสำหรับงานสุขภัณฑ์. บริษัท เคลย์แอนด์  
มินเออร์ริลส์ (ประเทศไทย) จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชา ปฐพีวิทยา,  
คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีดา พิมพ์ขาวน้ำ. 2540. เชรามิก. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พิกุลทอง ประเสริฐศักดิ์. 2541. คุณภาพของแร่ดินกับการวิเคราะห์ทางเคมี. ฝ่ายวิเคราะห์แร่และหิน,  
กองวิเคราะห์, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541. เนื้อดินปั้นเชรามิก. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. วิธีทดสอบกระเบื้องดินเผา (มอก.38-2531). กระทรวงอุตสาหกรรม,  
กรุงเทพฯ.
- ศรีไถล ขุนทน. 2546. สมบัติดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในแหล่งหัตถกรรมพื้นบ้านภาค  
ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. 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 เขียวรัตน์. 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.

Chulalinet



3 0021 01336891 5

