

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก: ปีที่ 3 (ภาคกลาง)

Upgrading of Ceramic Raw Material and Products for Ceramic Industry: year III (Central part)

ฉบับที่ 4

การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา



เสนอ

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 คณิศ 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. สรินทร์ ลืมปนาท
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 4 การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
4. รองศาสตราจารย์ ดร. อรพินท์ พานทอง
อาจารย์ประจำภาควิชาการออกแบบอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 5 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

คณะผู้วิจัย (ต่อ)

5. อาจารย์ ดร. ฌัญฐิตา ชวนเกริกกุล
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มงานที่ 6 การปรับปรุงฐานข้อมูล
6. นางสาวปราณี รัตนวลิตโรจน์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 1)
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. นางสาวกนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 1)
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. นางสาวสวลี เสนาพิทักษ์ (ผู้ช่วยนักวิจัย กลุ่มงานที่ 1 และ 4)
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. นายศรีไศล 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 รั้งกุพันธ์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. ดร. สุพิน แสงสุข (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. นายอดิศักดิ์ ถี้อพลอย (ผู้ช่วยนักวิจัย กลุ่มงานที่ 4)
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. นางสาวปัญญาสิริ รมยานนท์ (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 5)
นักออกแบบอิสระ
16. นางสาวนัทธมน ตั้งตรงมิตร (นักวิจัย กลุ่มงานที่ 5)
นักออกแบบอิสระ

คณะผู้วิจัย (ต่อ)

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

รายงานการศึกษา

รายงานการศึกษาประกอบด้วยรายงานฉบับสมบูรณ์ จำนวน 6 ฉบับ คือ

- ฉบับที่ 1 การบริหารและประสานงานโครงการ
สถานภาพและการประเมินการพัฒนาแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาป่าหมาฮ
การติดตามผลการดำเนินงาน โครงการ 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

รายงานฉบับที่ 4 นี้ ประกอบด้วยเนื้อหา 7 หัวข้อ คือ การศึกษาสาเหตุและแก้ไขปัญหาราบบชาวนบนผลิตภัณฑ์ดินแดง การศึกษาผลของการผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาในเนื้อดินสำหรับการผลิตอิฐงานพัฒนาการขั้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน การศึกษาองค์ประกอบของเตาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนาน การพัฒนาเคลือบไฟฟ้าไร้สารตะกั่ว การชุบเคลือบสารหอมระเหยในผลิตภัณฑ์ดินแดง และการศึกษาผลของวิธีการตากแห้งต่อการลดความชื้นและความเสียหายของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา

หัวข้อที่ 1 การศึกษาสาเหตุและแก้ไขปัญหาราบบชาวนบนผลิตภัณฑ์ดินแดง เป็นกระบวนการแก้ปัญหาหลักจากวัตถุประสงค์ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและอ่างทอง ซึ่งมีปริมาณเกลือซัลเฟตที่ละลายน้ำสูง โดยใช้สารประกอบแบเรียมทำปฏิกิริยากับซัลเฟต เกิดเป็นสารประกอบแบเรียมซัลเฟตที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ทำให้ไม่เกิดการแพร่มาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองสรุปได้ว่าควรใช้เกลือแบเรียมคาร์บอเนตร่วมกับเกลือแบเรียมคลอไรด์ในสัดส่วน 2:1 ปริมาตรร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของดินดิบจะช่วยลดปริมาณราบบชาวนได้ดี

หัวข้อที่ 2 การศึกษาผลของการผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาในเนื้อดินสำหรับการผลิตอิฐเป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการใช้ตะกอนดินน้ำประปาในเนื้อดินปั้น โดยนำตะกอนดินน้ำประปามาพ่นแห้งและเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ได้อนุภาคกลมแล้วผสมกับดินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบาขึ้นและมีความพรุนตัวสูง แต่ความแข็งแรงก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900-1,100 องศาเซลเซียสลดลง หากจะนำมาใช้ควรปรับปรุงกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

หัวข้อที่ 3 งานพัฒนาการขั้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน เพื่อเป็นทางเลือกในการลดปริมาณการใช้ดินและสร้างผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ของผู้ผลิตที่มีศักยภาพและความพร้อม จากการศึกษาปริมาณสารละลายโซเดียมซลิเกตที่มีต่อพฤติกรรมความหนืดและการไหลตัวของน้ำดินที่บ้านทั้ง 4 แห่ง พบว่าปริมาณโซเดียมซลิเกตในช่วงระหว่างร้อยละ 0.80-1.20 โดยมีความหนืดประมาณ 450-500 เซนติพ้อยท์ ที่เหมาะสมต่อการหล่อแบบ ชิ้นงานหลังอบแห้งหดตัวร้อยละ 8-10 เนื้อดินจากโรงอิฐอำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง และโรงงานเครื่องปั้นดินเผาบ้านหูกวางจังหวัดนครสวรรค์สามารถขึ้นรูปได้ดีไม่ต้องใช้ปริมาณโซเดียมซลิเกตช่วยในการกระจายตัวมาก

หัวข้อที่ 4 การศึกษาองค์ประกอบของเตาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนาน ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะเตาเผา เทคนิคการเผา และกระจายความร้อนภายในเตาเผาด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ทราบว่าในแต่ละครั้ง การเผาผลิตภัณฑ์ 3.3-3.6 ตัน ต้องใช้พื้นที่ 1.9 ตัน และใช้เวลาเผา 30 ชั่วโมง เริ่มนับตั้งแต่อุ่นเตา อุณหภูมิการเผาตำแหน่งด้านหน้าเตาไม่สูง โดยเฉพาะบริเวณ

ใกล้พื้นเตา สำหรับระยะหลังจากคาไฟที่ 2 จนถึงท้ายเตา มีการกระจายความร้อนค่อนข้างสม่ำเสมอ อุณหภูมิ การเผาสูงสุดประมาณ 860-915 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาใช้ในการอธิบายสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ แล้วนำ ข้อมูลนี้ไปปรับปรุงกระบวนการเผาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

หัวข้อที่ 5 การพัฒนาเคลือบไฟดำไร้สารตะกั่ว เพื่อเพิ่มรูปแบบการใช้งานผลิตภัณฑ์ดินแดง โดยใช้ โบรอนออกไซด์เป็นหลักในการลดอุณหภูมิสุดตัวของเคลือบ และเตรียมให้อยู่ในรูปของ ฟริตสำเร็จรูป พบว่าเคลือบฟริต FL และ F4 ที่มีโบรอนออกไซด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 18.74 และ 19.74 โดยน้ำหนัก จะสุดตัวที่อุณหภูมิ 900-950 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเติมลิเทียมออกไซด์ (Li_2O) ช่วงอุณหภูมิการสุดตัวของ เคลือบจะลดลงเป็น 800-850 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งานในเตาพื้น

หัวข้อที่ 6 การชุบเคลือบสารหอมระเหยไถ่ขุลงในผลิตภัณฑ์ดินแดง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ดินแดงนี้ ทำโดยการใช้ไคโตซานแคปซูลบรรจุน้ำมันเจอร์รานีโอลซึ่งเป็นสารสกัดจากตะไคร้หอมชุบเคลือบ ผลิตภัณฑ์ดินแดง พบว่า เนื้อดินปั้นที่มีความพรุนตัวสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กจะช่วยจับยึดโมโครแคปซูล ได้ดี โดยเฉพาะเนื้อดินปั้นที่ผสมตะกอนดินน้ำประปา สามารถควบคุมการปล่อยกลิ่นหอมได้อย่างต่อเนื่อง นานกว่า 15 วัน ในสภาพบรรยากาศเปิดที่อุณหภูมิประมาณ 25-27 องศาเซลเซียสอัตราการปลดปล่อยน้ำมัน หอมระเหยขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ในการเชื่อมขวางโมเลกุลไคโตซาน โดยการใช้สารไทโรพอลิฟอสเฟต ในการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางจะสามารถกักเก็บปริมาณน้ำมันเจอร์รานีโอลได้มากกว่าการใช้สารไซโคลเด็กทรีน

หัวข้อที่ 7 การศึกษาผลของการตากแห้งต่อการลดปริมาณความชื้นและการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ ก่อนเผา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการตากแห้ง โดยใช้เตาอบ แสงอินฟราเรด การตากแห้งกลางแดด และการ ตากแห้งในร่มต่อการลดปริมาณความชื้นและการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา โดยการวัดค่าปริมาณ ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงและตรวจการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ด้วยสายตา จากการทดลองพบว่า การตากแห้งโดยใช้ เตาอบสามารถลดปริมาณความชื้นได้สูงสุดร้อยละ 23-24 แต่ผลิตภัณฑ์มีความเสียหายมากที่สุด ในขณะที่ ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งโดยใช้แสงอินฟราเรดมีความเสียหายน้อยที่สุดร้อยละ 20 และลดปริมาณความชื้นลง ร้อยละ 12-16 สำหรับการศึกษาค่าควรจะทำคือการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตากแห้งเพื่อให้ได้มาซึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นและการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง

Abstract

This 4th report consists of 7 parts: studying and solving on the scumming on the surface of pottery, utilization of water treatment plant sediment (from water treatment plant) mixing on the brick production. The product development of pottery by Slip casting, Studying on the construction and firing process of horizontal draft kiln, Lead-free and low temperature glazes for earthenware development, perfume coated earthenware, and Studying of drying method on greenbody's cracking and humidity.

Item 1: Studying and solving on the scumming on the surface of pottery: High sulphate salts in the clay body is a dominants problem in Ayuthaya and Ang Thong Provinces. Scumming on the surface was removed when adding 5%wt of mix solution (barium carbonate and barium chloride ratio 2:1) into clay body.

Item 2: Effects of sediment (from water treatment plant) mixing on the brick production. This study was referring form the mixing sediment in clay body. The sediment was calcined at 700°C before mixing in the clay body. It show that 30%wt of sediment mixing can be got lighter and high porous brick. On the other hand, both green and firing strength (below 1100°C) were decreased. There the process should be improved to increase strength of product.

Item 3: The product development of pottery by Slip casting was investigated, as an alternative for producers who have readiness. All clays from 4 pottery sources have been selected. The effect of sodium silicate concentrations on viscosity and flow ability of clay slip was studied. Properties of dry and fire products have been evaluated. The results show that the addition of 0.80-1.20 wt% sodium silicate is suitable to control the viscosity around 450-500 cP. The dry shrinkages are 8-10 %. Clays from Amphoe Pa Mok, Ang Thong province and Amphoe Banphot Phisai Nakorn Sawan province are suitable for slip casing, using a little amount of sodium silicate.

Item 4: Firing process and temperature distribution inside horizontal draft kiln at Amphoe Lat Bua Luang, Ayuthaya province was studied to evaluate energy consumption and spatial temperature distribution- product quality of the kiln. The measurement were carried out by strategically positioned type-S thermocouples connected to data logger for real time measurement, self supporting Orton cone and testing specimens throughout the kiln cavity. Typically, one firing cycle lasted about 30 hours, and consumed about 1.9 tons of woods for 3.3-3.6 tons of fired products.

Temperature of the kiln front section (before the 2nd side firing slot), especially at ground level, was significantly lower than the temperature of other sections. Maximum temperatures of the kiln at roof height were in the range of 860-915 °C. The result was used to improve firing process and overall product quality.

Item 5: Lead-free and low temperature glazes for earthenware development : Boron oxide as the dominant composition of fritz to decrease the firing temperature. The maturing temperature of FL and F4 which containing boron oxide 18.74 and 19.74 %wt, respectively, were in the range of 900-950 °C. The firing temperature was decreased to 800-850 °C and suitable for kiln when Lithium oxide (Li₂O) was added.

Item 6: The development of earthenware products with the insect repelling had been carried out by coating chitosan microcapsule that containing geranial oil. It is found that higher content of geranial oil could be stored in high porous clay body, especially sediment mixing in clay body. The microcapsule can be fixed in smaller pore than that in larger. Microcapsules allow the release of geranial oil in the open atmosphere at 25-27 °C for more than 15 days. The crosslinking agent (Triphosphosphate) can be store geranial oil more than cycrodextrin.

Item 7: The objective of this study is to examine the influence of drying with an oven, infrared, indoor and outdoor atmospheres on drying on the reduction of humidity and cracking of pre-fired products. The change of humidity and generation of cracks can be observed visually. From the study, it is found that drying with an oven can reduce the humidity the most (23-24%), but the products show the highest rate of cracking. For drying with infrared, the products have minimal amount of cracks (20%), and the humidity can be reduced by 12-16%. Further study is required to determine a suitable condition for drying for attaining both low humidity decrementing rate and low cracking rate.

คำนำ

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

รายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับที่ 4 ประกอบด้วย การศึกษาสาเหตุและแก้ไขปัญหาคาบขาวบนผลิตภัณฑ์ดินแดง การศึกษาผลของการผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาในเนื้อดินสำหรับการผลิตอิฐงานพัฒนาการขั้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน การศึกษาองค์ประกอบของเตาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนาน การพัฒนาเคลือบไฟฟ้าไร้สารตะกั่ว การตกแต่งเคลือบผิวดินเผาเพื่อตกแต่งกลิ่นตะไคร้หอม และการศึกษาผลของวิธีการตากแห้งต่อการลดความชื้นและความเสียหายของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา เพื่อนำเสนอต่อแหล่งทุนตามที่กำหนดไว้ในสัญญา

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2553

กิตติกรรมประกาศ

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

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1. นายสมโภชน์ ชันทองหล่อ
2. นางบุญชู อำนวย

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาโรงอิฐ ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

1. นายสุรพร ธารารักษ์
2. นายชาญเวช มุนินทร์นิมิตต์

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตำบลศรีณรงค์ อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง

1. นายภาณุภาคย์ ทรัพย์มาก
2. นายสมบัติ เกตุถาวร

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตำบลหูกวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

1. นายฉลอง เปรมพลับ
2. นางจำปา ไพรบึง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือสำหรับทำการทดลอง และนายสมคิด ทองศิลา ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองเป็นอย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณบุคลากรสำนักงานเลขานุการ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ในการช่วยเหลือด้านเอกสารต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้โครงการฯ สามารถดำเนินการคล่องและสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย	iii
รายงานการศึกษา	vii
บทคัดย่อ	ix
คำนำ	xiii
กิตติกรรมประกาศ	xv
สารบัญ	xvii
สารบัญตาราง	xxi
สารบัญรูป	xxiii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การศึกษาสาเหตุและแก้ไขปัญหาราบขาวบนผลิตภัณฑ์ดินแดง	3
2.1 วัตถุประสงค์	4
2.2 วิธีการทดลอง	4
2.3 ผลการทดลอง	5
2.4 สรุปผลการแก้ปัญหา	
บทที่ 3 การศึกษาผลของการผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาในเนื้อดินสำหรับการผลิตอิฐ	15
3.1 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	15
3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตะกอนน้ำประปาในการทำอิฐ	17
3.3 วัตถุประสงค์	18
3.4 วิธีการทดลอง	18
3.5 ผลการทดลอง	18
3.6 สรุปผลการทดลอง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 งานพัฒนาการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน	27
4.1 ขอบเขตของงาน	27
4.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ	27
4.3 ผลการทดลอง	28
4.4 การถ่ายทอดเทคนิคการผลิตด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน	29
4.5 สรุปผลการทดลองและการถ่ายทอด	33
บทที่ 5 การศึกษาองค์ประกอบของเตาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนาน	35
5.1 วัตถุประสงค์	36
5.2 วิธีศึกษา	36
5.3 ผลการศึกษา	37
5.4 สรุปผลการศึกษา	46
บทที่ 6 การพัฒนาเครื่องไฟฟ้าไร้สารตะกั่ว	47
6.1 วัตถุประสงค์	47
6.2 วัตถุประสงค์	47
6.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	48
6.4 วิธีการทดลอง	48
6.5 ผลการทดลอง	50
6.6 สรุปผลการทดลอง	53
บทที่ 7 การตกแต่งเคลือบผิวดินเผาเพื่อตกแต่งกลิ่นตะไคร้หอม	55
7.1 วัตถุประสงค์	55
7.2 การทดลอง	55
7.3 สรุปผลการทดลอง	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 8 การศึกษาผลของวิธีการตากแห้งต่อการลดความชื้นและความเสียหาย ของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา	59
8.1 วัตถุประสงค์	60
8.2 ขอบเขตของการศึกษา	60
8.3 วิธีดำเนินงานวิจัย	61
8.4 ผลการดำเนินงาน	62
8.5 สรุปผลการดำเนินงาน	76
8.6 ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	77

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินดิบ	6
ตารางที่ 2.2	ปริมาณแคตไอออนในเนื้อดินดิบ	6
ตารางที่ 2.3	ลักษณะและบริเวณที่เกิดคราบขาวของชั้นงานดินแต่ละแหล่ง	8
ตารางที่ 2.4	ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินดิบก่อนและหลังการหมักด้วยสารเคมี	11
ตารางที่ 2.5	ค่าสีของชั้นงานที่สภาวะต่างๆ	12
ตารางที่ 2.6	ค่าความเหนียวของเนื้อดินดิบในตัวอย่างทดสอบก่อนและหลังผสมสารเคมี	12
ตารางที่ 2.7	ปริมาณซัลเฟตในเนื้อดินดิบ ในตัวอย่างทดสอบก่อนและหลังผสมสารเคมี	13
ตารางที่ 3.1	สมบัติของแท่งดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	20
ตารางที่ 4.1	ปริมาณน้ำที่ใช้และสมบัติต่างๆ ในการทดลองเตรียมน้ำดินจากแหล่งดินภาคกลาง	29
ตารางที่ 4.2	สูตรส่วนผสมน้ำดินสำหรับการหล่อแบบทดลองในโรงงาน จากดินเหนียวท้องถิ่นภาคกลาง	30
ตารางที่ 5.1	กระบวนการเผาเครื่องปั้นดินเผาในโรงงานสม โกชน์เครื่องปั้นดินเผา	40
ตารางที่ 5.2	สมบัติหลังเผาของชั้นงานทดสอบ	44
ตารางที่ 5.3	ปริมาณพื้นที่ใช้ในการเผา	45
ตารางที่ 5.4	สรุปการใช้พลังงานของเตา	46
ตารางที่ 6.1	องค์ประกอบตามสัดส่วนโดยน้ำหนักของฟritเคลือบไฟต่ำสูตรต่างๆ	49
ตารางที่ 6.2	องค์ประกอบทางเคมีของฟritก่อนเผาและหลังเผา	51
ตารางที่ 7.1	สมบัติทางกายภาพของชั้นงานภาชนะดินเผาที่เตรียมได้ หลังเผาที่ 900 องศาเซลเซียส	55
ตารางที่ 7.2	ปริมาณน้ำมันเจอร์านีออกไซด์ที่เหลือจากแคลซูลสูตรต่างๆ ที่เตรียมได้	56
ตารางที่ 8.1	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังเผา	60
ตารางที่ 8.2	ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการอบแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที	61
ตารางที่ 8.3	ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการตากแห้ง โดยใช้แสงอินฟราเรด เป็นเวลา 5 วัน	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 8.4 ผลិតภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการตากแห้งกลางแดดเป็นเวลา 5 วัน	66
ตารางที่ 8.5 ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการตากแห้งในร่มเป็นเวลา 5 วัน	70

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม่ชุคผิวและชุคผิวที่ความลึกต่างๆ ของดินคิบลาดบัวหลวง	9
รูปที่ 2.2	การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม่ชุคผิวและชุคผิวที่ความลึกต่างๆ ของดินคิบ โรงงานอิฐ อ.ป.ก.	9
รูปที่ 2.3	การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม่ชุคผิวและชุคผิวที่ความลึกต่างๆ ของดินคิบ ไชโย	10
รูปที่ 2.4	การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม่ชุคผิวและชุคผิวที่ความลึกต่างๆ ของดินคิบบรรพตพิสัย	10
รูปที่ 2.5	ชิ้นงานที่ไม่ผสมสารเคมีและผสมสารเคมีหลังเผา	13
รูปที่ 3.1	แผนผังการผลิตน้ำประปา	16
รูปที่ 3.2	บ่อดกตะกอนที่โรงผลิตน้ำประปาบางขน	19
รูปที่ 3.3	การเก็บน้ำตะกอนจากการผลิตน้ำประปาจากบ่อดกตะกอน	19
รูปที่ 3.4	กราฟแสดงการหดตัวของตัวอย่างแท่งดินหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	21
รูปที่ 3.5	กราฟแสดงค่าการดูดซึ่มของตัวอย่างแท่งดินหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	22
รูปที่ 3.6	กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแท่งดินหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	23
รูปที่ 3.7	กราฟแสดงค่าความแข็งแรงของตัวอย่างแท่งดินหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	24
รูปที่ 4.1	เครื่องปั้นกวนน้ำดิน และวิธีการปั้นกวนน้ำดิน	30
รูปที่ 4.2	แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และขั้นตอนการเทแบบ	31
รูปที่ 4.3	บรรยากาศการสาธิตเทคนิคการหล่อน้ำดินที่โรงงานอิฐ อปก. ดาวคู่ (1988) จำกัด ตำบลบางปลากรด อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง	32
รูปที่ 4.4	ตัวอย่างผลงานชิ้นงานดินหล่อแบบ และตัวอย่างหลังเผา	32
รูปที่ 5.1	รูปเตาเผาที่ใช้ศึกษาที่โรงงานสม โภชน์เครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	37
รูปที่ 5.2	แบบร่างมิติภายใน ตำแหน่งประตูเตา และตำแหน่งของดาไฟของเตาเผาที่ใช้ศึกษา รวมถึงตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตำแหน่งวาง โคนวัดอุณหภูมิ และชิ้นงานทดสอบตามแนวด้านบนกลางและด้านล่างของเตา	38

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.3	รูปแบบการจัดเรียงชิ้นงานในเตาเผาของโรงงานสม โภชน์เครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	32
รูปที่ 5.4	อุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งบน TM ตามแนวยาวของเตา จากหัววัดอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ กัน	39
รูปที่ 5.5	แบบร่างตำแหน่งวาง โคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ ตามหน้าตัดของเตา	41
รูปที่ 5.6	การวาง โคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่ง CBL CBM และ CBR	42
รูปที่ 5.7	โคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่ง CBR ก่อนและหลังการเผา	42
รูปที่ 5.8	โคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบหลังการเผาที่ตำแหน่ง C	43
รูปที่ 6.1	ทดสอบการหลอมตัว โดยวิธีอัด โคนของเคลือบสูตรต่างๆ ที่อุณหภูมิ 750 – 1000 องศาเซลเซียส	51
รูปที่ 6.2	ทดสอบการหลอมตัวของเคลือบสูตรต่างๆ ที่อุณหภูมิ 800 – 950 องศาเซลเซียส	52
รูปที่ 6.3	ชิ้นงานเคลือบ F4 ผสมกับ FL ในสัดส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 800 – 950 องศาเซลเซียส	52
รูปที่ 6.4	เคลือบสารประกอบออกไซด์ที่ทำให้เกิดสี เเผาที่อุณหภูมิ 800 – 950 องศาเซลเซียส	53
รูปที่ 6.5	ชิ้นงานเคลือบ (ก) FL3 เเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส (ข) F4:FL (1:1) เเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (ค) FL เเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	53
รูปที่ 7.1	ขั้นตอนการชุบเคลือบชิ้นงานตัวอย่างด้วยนาโนแคลซูลโคโตซาน บรรจุน้ำมันเจอร์รานีโอล	54
รูปที่ 7.2	นาโนแคลซูลโคโตซานบรรจุน้ำมันเจอร์รานีโอล	55
รูปที่ 7.3	ตัวอย่างชิ้นงานดินเผา ก่อนและหลังเคลือบด้วยไมโครแคลซูลพอลิเมอร์	56
รูปที่ 8.1	ลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที	62
รูปที่ 8.2	กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังตากแห้ง โดยใช้แสงอินฟราเรด เป็นเวลา 5 วัน	64
รูปที่ 8.3	ลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการตากแห้ง โดยใช้แสงอินฟราเรด	65

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 8.4	กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังตากแห้งกลางแจ้งเป็นเวลา 5 วัน	68
รูปที่ 8.5	ลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการตากแห้งกลางแจ้งเป็นเวลา 5 วัน	69
รูปที่ 8.6	กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังตากแห้งในร่มเป็นเวลา 5 วัน	72
รูปที่ 8.7	ลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการตากแห้งในร่มเป็นเวลา 5 วัน	73

บทที่ 1

บทนำ

การพัฒนากระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเป้าหมายภาคกลางทั้ง 4 แหล่ง ซึ่งประกอบด้วย

1. ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. ตำบลบางปลาгод อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง
3. ตำบลศรีธรรมรงค์ และหมู่ 2 ตำบลจรเข้ร้อง อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง
4. ตำบลหูขวาง อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์

ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ของแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเป้าหมาย 4 แหล่ง นี้ ได้แก่ กระจ่าง อ่างบัว ของตกแต่งสวน อิฐก่อสร้าง อิฐโชว์แนว เป็นต้น

ขอบเขตงานในส่วนการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาภาคกลาง จากการสำรวจข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์แล้ว สามารถแบ่งหัวข้องานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เดิม
2. การศึกษาองค์ประกอบเตาและกระบวนการเผาด้วยเตาพื้น
3. การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่

แนวทางการแก้ปัญหาและพัฒนา

การปรับปรุงส่วนผสมเนื้อดินปั้น เพื่อลดคราบขาวบนผิวผลิตภัณฑ์และลดปริมาณการใช้ดินเหนียววัตถุดิบ

- 4.1.1 การพัฒนารูปแบบการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน
- 4.1.2 ศึกษาเตาเผารวมทั้งกระบวนการเผา
- 4.1.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยการเคลือบ
- 4.1.4 การสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีสมบัติเฉพาะ

บทที่ 2

การศึกษสาเหตุและแก้ไขปัญหาคราบขาวบนผลิตภัณฑ์ดินแดง

คราบเกลือขาวบนผิวผลิตภัณฑ์ เป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่ทำให้ผิวของดินเผาเกิดการเพี้ยนสีไปจากเดิมหรือสีซีดจางลง ซึ่งมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ดินเผาคือทำให้ลดความสวยงามของผลิตภัณฑ์ที่เน้นความสวยงามตามธรรมชาติ อาทิ อิฐ ไซซ์ ผนว นอกจากนี้ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการเคลือบในกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ดินเผาเคลือบ

จากข้อมูลการสำรวจในแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาในโครงการฯ ทั้ง 4 แหล่ง พบว่า มีปัญหาคราบขาวบนผลิตภัณฑ์ทุกแหล่ง เนื่องจากเกลือซัลเฟตที่ปะปนอยู่ในเนื้อดินดิบ ซึ่งในบางแหล่งผู้ผลิตดำเนินการจะแก้ปัญหาโดยใช้สารแบเรียมคาร์บอเนตและแบเรียมคลอไรด์ ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ผสมในชั้นตอนต่างๆ ของการผลิต อาทิ การหมักดิน การรีดดิน และผสมในน้ำดินที่นำไปใช้เป็นแอน โทป ผลิตภัณฑ์หลังแห้ง อย่างไรก็ตาม ในแหล่งเครื่องปั้นดินเผาตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง แม้ว่าได้พยายามแก้ไขปัญหาคราบขาวโดยการแอน โทปผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำดินที่ไม่มีปัญหาคราบขาว อาทิ ดินสามโคก แต่ปัญหาคราบขาวก็ยังคงมีอยู่ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ราคาตกต่ำ โดยราคาจะลดลงถึงร้อยละ 20-30 และกรณีที่ส่งไปจำหน่ายในต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่มีคราบขาวจะไม่เป็นที่ต้องการของลูกค้าและมีการส่งกลับมา สร้างความเสียหายให้กับผู้ผลิตอย่างมาก นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตเองก็ทำให้เพิ่มขึ้นตอนในการทำงานเนื่องจากต้องใช้คนและเวลาเพิ่มในการชุปน้ำดินบนผลิตภัณฑ์เพื่อลดคราบขาว และปัญหาอีกประการหนึ่งคือผลิตภัณฑ์ที่แอน โทปน้ำดินแล้วไม่สามารถเผาได้ทันที เมื่อปล่อยทิ้งไว้ 2-3 วัน จะมีการแตกร้าวไม่สามารถนำไปเผาได้ ต้องนำดิน ไปขึ้นรูปใหม่ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่แอน โทปน้ำดินหลังเผาแล้ว เมื่อนำไปใช้ระยะหนึ่งก็จะมีคราบขาวเกิดขึ้นเนื่องจากการละลายของเกลือซัลเฟตในผลิตภัณฑ์ เมื่อมีความชื้นก็จะสามารถละลายน้ำและมาสะสมที่ผิวของผลิตภัณฑ์ จากปัญหาดังกล่าวผู้ผลิตในแหล่งนี้จึงต้องการความช่วยเหลือโดยต้องการแก้ปัญหาตั้งแต่เนื้อดินปั้น ดังนั้นทางทีมผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำสารแบเรียมคาร์บอเนตและแบเรียมคลอไรด์มาใช้ในการเตรียมเนื้อดินปั้น โดยศึกษาใช้ผสมในเนื้อดินในชั้นตอนการหมัก หรือการรีดดิน หลังจากนั้นตรวจสอบปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ สภาพพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ และวัดการเปลี่ยนแปลงของสี

2.1 วัตถุประสงค์

2.1.1 หาความเข้มข้นของแบเรียมคาร์บอเนต และแบเรียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการลดการเกิดคราบขาว

2.1.2 หาปริมาณของซัลเฟตไอออนและแคทไอออนที่ละลายน้ำได้ เมื่อใช้สารแบเรียมคาร์บอเนตและแบเรียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

2.1.3 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตไอออนและแคทไอออนที่ละลายน้ำได้กับการเปลี่ยนแปลงคราบขาวบนพื้นผิวและสีของผลิตภัณฑ์

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 นำเนื้อดินดิบมาหาปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ตามวิธีการใน ASTM C867-94 และวัดปริมาณแคทไอออนด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma (ICP)

2.2.2 นำเนื้อดินดิบมาอัดขึ้นรูป ตากแห้ง และตรวจสอบความลึกของพื้นผิวที่มีคราบขาวของชิ้นงาน และตรวจลักษณะคราบขาวบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยใช้สายตา

2.2.3 นำดินหลังหมักด้วยสารแบเรียมคาร์บอเนต และแบเรียมคลอไรด์ สักส่วนและความเข้มข้นที่ผันแปรความเข้มข้นของสารแบเรียมคาร์บอเนต และแบเรียมคลอไรด์ ระหว่างร้อยละ 0-1 มาตรวจสอบปริมาณซัลเฟตไอออน ปริมาณแคทไอออน วัดความเหนียวด้วยเครื่อง Pfeifferkon วัดสีด้วยเครื่อง Color Meter และตรวจคราบขาวบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยใช้สายตา

2.2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสาร ปริมาณซัลเฟต ความเหนียว สี และลักษณะคราบขาวบนผิวผลิตภัณฑ์

2.2.5 นำสัดส่วนที่เหมาะสมไปขยายผลในพื้นที่ โดยทดสอบการหมักเนื้อดินขึ้นรูปปริมาณมากในโรงงาน โดยการนำดินไปหมักด้วยสารแบเรียมคาร์บอเนต และแบเรียมคลอไรด์ ตามวิธีการเตรียมเนื้อดินดังนี้

1) วิธีการเตรียมเนื้อดินขึ้นรูป

▪ คำนวณน้ำหนักสารที่จะใช้ต่อน้ำหนักดิน ใช้สารเคมี BaCO_3 : BaCl_2 สูตร 2:1 จำนวนที่ใส่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยในการเตรียมดินจะเตรียมครั้งละ 1 ตัน ซึ่งต้องใช้ BaCO_3 3.33 กิโลกรัม และ BaCl_2 1.66 กิโลกรัม

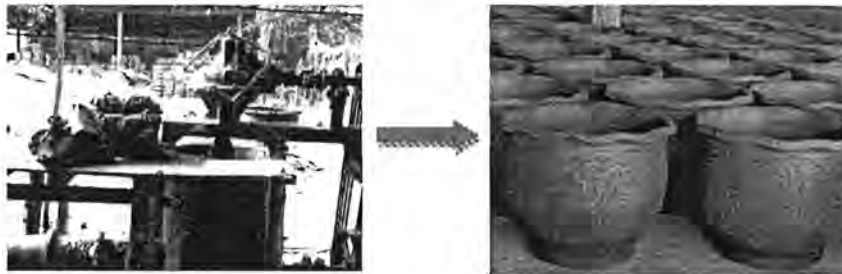


▪ สารที่คำนวณไว้มาควนกับน้ำในถังขนาด 20 แกลลอน จากนั้นนำดินลงมาเทในบ่อหมักจำนวน 1 ตัน ทำการสับลดขนาดให้เล็กลง แล้วเกลี่ยให้ทั่วทั้งบ่อ ตามด้วยรดน้ำที่ควนกับสารเคมีให้ทั่วทั้ง บ่อเช่นกัน

- เติมน้ำให้ท่วมดินเล็กน้อย หมักทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน



- หลังจากหมักครบตามเวลาเรียบร้อยแล้วนำดินที่ได้มาเข้าเครื่องรีดดินและนำไปขึ้นรูปต่างๆ ทำการติดตามผลต่อไป



- นำเนื้อดินหลังหมักสารเคมีมาตรวจสอบปริมาณซัลเฟตไอออน หลังเผาชิ้นงานสังเกตสีและลักษณะคราบขาวของผลิตภัณฑ์
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสาร ปริมาณซัลเฟต สี และลักษณะคราบขาวบนผิวผลิตภัณฑ์ ก่อนและหลังหมักเนื้อดินกับสารเคมี

2.3 ผลการทดลอง

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือซัลเฟตที่ละลายน้ำ

จากการวิเคราะห์ปริมาณเกลือซัลเฟตของดินดิบทั้ง 4 แห่ง คือ โรงงานสมโภชน์ดินเผา (ดินดิบลาดบัวหลวง) อำเภอลาดบัวหลวง โรงงานอิฐ อ.ป.ก ดาวคู่ (1988) จำกัด (ดินดิบ โรงงานอิฐ อ.ป.ก) อำเภอป่าโมก โรงงานไชโยดินเผา อำเภอไชโย และ โรงงานสนิทดินเผา อำเภอบรรพพิสัย พบว่า มีค่าระหว่าง 193-1,251 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งมากกว่าดินราชบุรี (135 ppm) ซึ่งเป็นแหล่งผลิตผลิตภัณฑ์ดินแดงที่มีปัญหาคราบขาวเช่นเดียวกัน แสดงว่าซัลเฟตไอออนขาวเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดคราบขาวบนผลิตภัณฑ์ และปริมาณซัลเฟตไอออนที่พบมีปริมาณที่สูงกว่ามากนั้นจะส่งผลให้ปริมาณคราบขาวที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณที่สูงกว่าด้วย

ตารางที่ 2.1 ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินดิบ

แหล่งดิน	ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดิน (ppm)
ดินดิบลาดบัวหลวง	1,224
ดินดิบโรงงานอิฐ อ.ป.ก.	193
ดินดิบไชโย	1,251
ดินดิบบรรพตพิสัย	467

จากผลการทดสอบหาปริมาณแคทไอออนพบว่า แคทไอออนส่วนใหญ่ที่มีในเนื้อดินคือ Ca, Na และ Mg โดยแหล่งดินที่มีปริมาณแคทไอออนมากที่สุดคือ แหล่งดินดิบอำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง โดยมีปริมาณ Ca และ Na มากถึง 358 และ 354 ppm ตามลำดับ และแหล่งดินที่มีปริมาณแคทไอออนรองลงมาได้แก่ ดินดิบลาดบัวหลวง สอดคล้องกับตารางที่ 2.1 ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินดิบ ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณซัลเฟตของดินดิบอำเภอไชโย จะมีปริมาณซัลเฟตมากที่สุด และดินดิบอำเภอลาดบัวหลวงมีปริมาณซัลเฟตรองลงมา

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแคทไอออนในเนื้อดินดิบ

แหล่งดิน	ปริมาณแคทไอออนในเนื้อดิน (ppm)						
	K	Na	Mg	Ca	Al	Fe	Ba
ดินดิบลาดบัวหลวง	1.059	2.977	0.133	5.094	0.005	0.005	0.006
ดินดิบโรงงานอิฐ อ.ป.ก.	0.569	4.569	0.121	4.620	0.012	0.007	0.012
ดินดิบไชโย	3.290	354.433	103.672	358.867	0.012	-	0.380
ดินดิบบรรพตพิสัย	0.117	2.711	0.016	0.898	0.009	0.005	0.006

2.3.2 ระดับความลึกของการเกิดคราบขาว

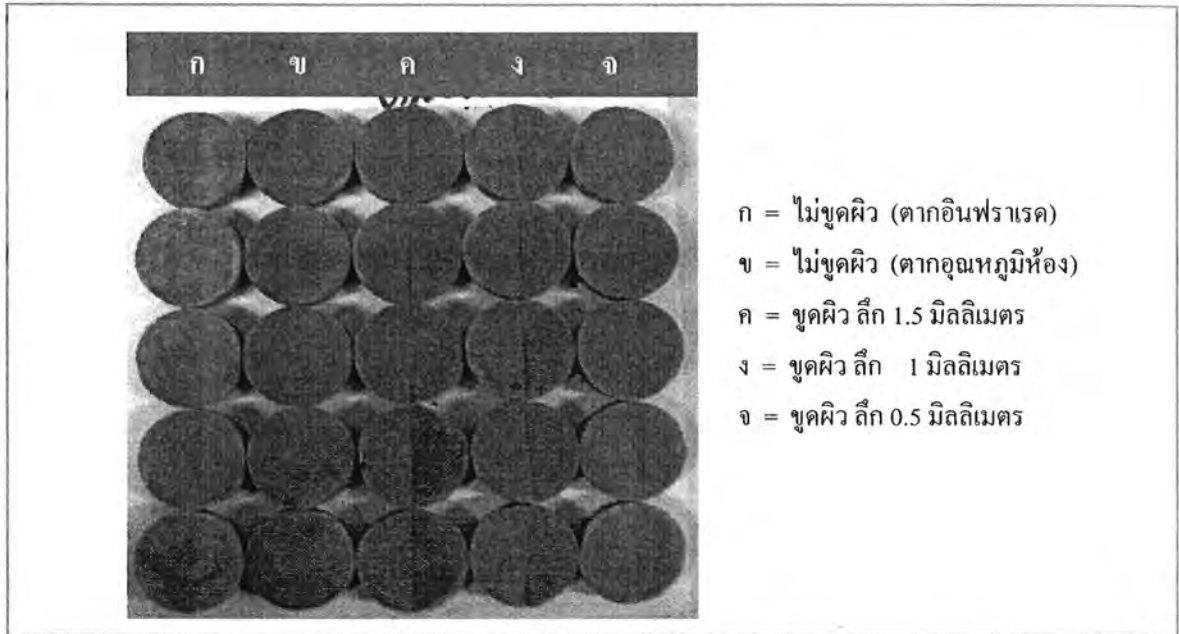
จากการทดสอบระดับความลึกของการเกิดคราบขาว โดยการขูดผิวชั้นงานของดินที่ไม่ผ่านการหมักด้วยสารเคมีของดินดิบแหล่งต่างๆ โดยการแบ่งผิวชั้นงานเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งไม่ขูดผิวและส่วนที่สอง ขูดผิวออก โดยแบ่งระดับความลึกของการขูดผิวมี 3 ระดับ คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบระหว่างส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สองพบว่า บริเวณที่ไม่ขูดมีคราบขาวทั้งที่พื้นผิวและที่ขอบของชั้นงาน ในขณะที่บริเวณที่ขูดผิวทุกตัวอย่างและทุกระดับความลึกที่ขูดผิวไม่มีพบคราบขาวที่ผิว แต่จะปรากฏคราบขาวที่ขอบของชั้น แต่เป็นที่สังเกตได้ปริมาณของคราบขาวที่ปรากฏบนส่วนที่สองจะขึ้นกับความลึกของผิวที่ขูดออก คือ ในตัวอย่างที่ขูดผิวลึก 1.5 มิลลิเมตร จะสังเกตเห็นคราบขาวในส่วนที่ไม่ได้ขูดผิวได้ชัดเจนกว่าที่ 1.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากปริมาณคราบขาวที่ปรากฏจะลดลงบนผิวส่วนที่ขูดที่ระดับความลึก 1

มิลลิเมตร และจะปรากฏน้อยมากบนผิวส่วนที่ขูดที่ระดับความลึก 1.5 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าการสะสมของเกลือซัลเฟตนั้นจะมีมากในระดับความลึก 0.5 มิลลิเมตรจากพื้นผิว

จากการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่ขูดผิว ซึ่งตากแห้งด้วยแสงอินฟราเรดและตากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ชีงงานที่ตากแห้งด้วยแสงอินฟราเรดนั้นจะมีปริมาณคราบขาวมากกว่าชีงงานที่ตากแห้งไว้ในอุณหภูมิห้องอย่างชัดเจน เนื่องจากชีงงานที่ตากแห้งด้วยแสงอินฟราเรดนั้นจะได้รับความร้อนที่สูงกว่า 80 องศาเซลเซียส และด้วยความร้อนที่ได้รับนั้นจะส่งผลให้เกลือซัลเฟตในเนื้อดินสามารถละลายได้มากขึ้นในสภาพที่เนื้อดินยังมีความชื้นอยู่ และเมื่อน้ำในเนื้อดินเคลื่อนที่ไปสู่ผิวเพื่อระเหยออกจากชีงงาน จึงส่งผลให้มีเกลือซัลเฟตเหลือสะสมที่อยู่ผิว ในขณะที่การตากแห้งที่อุณหภูมิห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิเท่านี้ไม่ได้ส่งผลต่อการละลายของเกลือซัลเฟต และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคราบขาวที่เกิดขึ้นที่ผิวของชีงงานของดินแต่ละแหล่งจะพบว่าแหล่งดินดิบไซโย อำเภอไซโยเป็นแหล่งดินดิบที่มีปริมาณคราบขาวมากกว่าแหล่งอื่นๆ โดยผลที่ได้สอดคล้องกับตารางที่ 2.1 ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินดิบ จากตารางจะเห็นว่าดินดิบไซโยนั้น เป็นแหล่งดินที่มีปริมาณซัลเฟตมากที่สุด

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและบริเวณที่เกิดคราบขาวของหินงานดินแต่ละแหล่ง

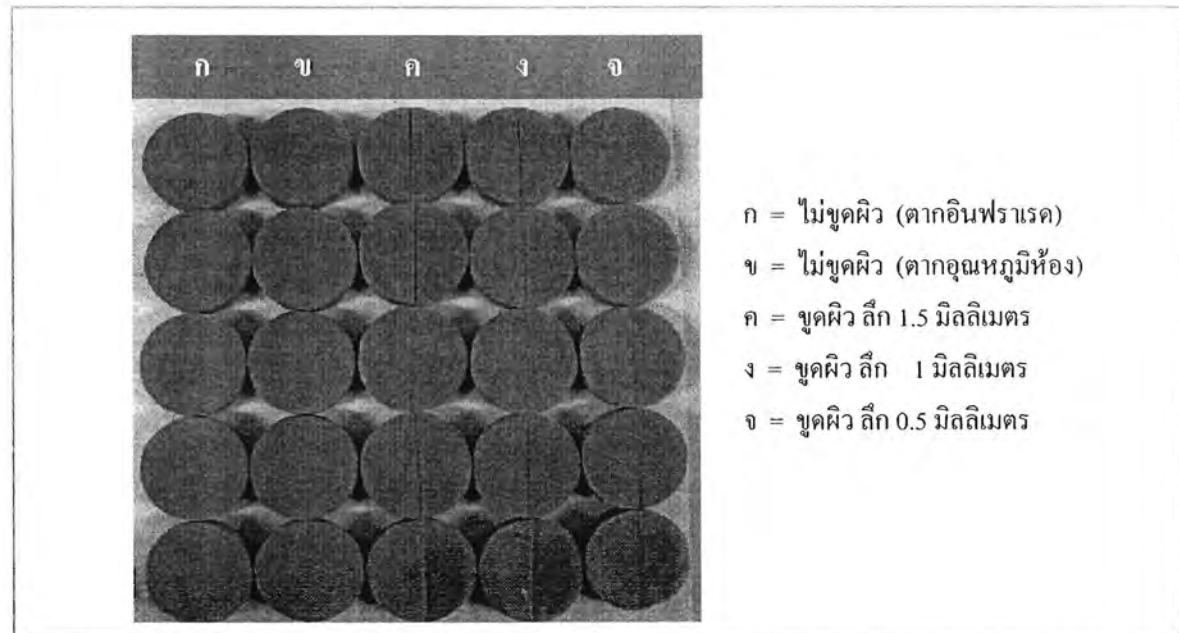
แหล่งวัตถุดิบ	ตากอุณหภูมิปกติ			ตากอินฟราเรด	
	ชูด 0.5 มม.	ชูด 1.0 มม.	ชูด 1.5 มม.	ไม่ชูดผิว	ไม่ชูดผิว
ดินดิบลาดบัวหลวง 1	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบลาดบัวหลวง 2	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบลาดบัวหลวง 3	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบลาดบัวหลวง 4	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบลาดบัวหลวง 5	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขาวที่ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบ โรงอิฐ อ.ป.ก 1	-	-	-	-	-
ดินดิบ โรงอิฐ อ.ป.ก 2	-	-	-	-	-
ดินดิบ โรงอิฐ อ.ป.ก 3	-	-	-	-	-
ดินดิบ โรงอิฐ อ.ป.ก 4	-	-	-	-	-
ดินดิบ โรงอิฐ อ.ป.ก 5	-	-	-	-	-
ดินดิบ ไชโย 1	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบ ไชโย 2	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบ ไชโย 3	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบ ไชโย 4	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบ ไชโย 5	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ที่ไม่ชูด / ขอบ	ขอบและผิวหน้า
ดินดิบบรรพตพิสัย 1	ที่ไม่ชูด	-	ที่ไม่ชูด	ที่ไม่ชูด	เยอะเกือบเต็ม
ดินดิบบรรพตพิสัย 2	-	ที่ไม่ชูด	ที่ไม่ชูด	-	เยอะเกือบเต็ม
ดินดิบบรรพตพิสัย 3	-	ที่ไม่ชูด	ที่ไม่ชูด	เยอะเกือบเต็ม	เยอะเกือบเต็ม
ดินดิบบรรพตพิสัย 4	-	-	-	เยอะเกือบเต็ม	เยอะเกือบเต็ม
ดินดิบบรรพตพิสัย 5	-	-	-	เยอะเกือบเต็ม	เยอะเกือบเต็ม



- ก = ไม่ขูดผิว (ตากอินฟราเรด)
- ข = ไม่ขูดผิว (ตากอุณหภูมิห้อง)
- ค = ขูดผิว ลึก 1.5 มิลลิเมตร
- ง = ขูดผิว ลึก 1 มิลลิเมตร
- จ = ขูดผิว ลึก 0.5 มิลลิเมตร



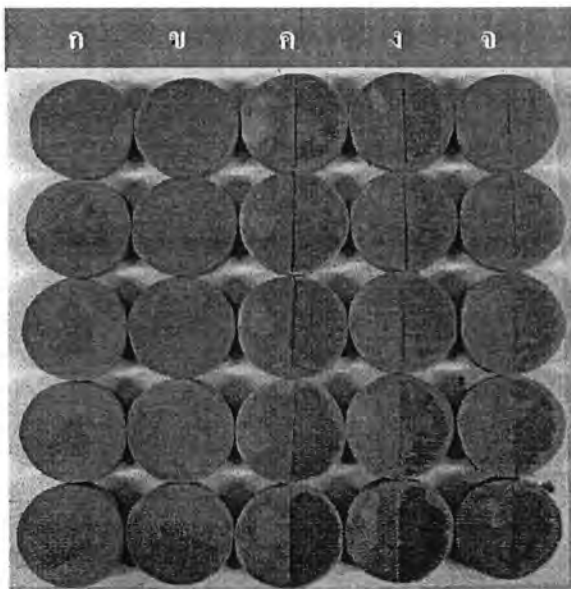
รูปที่ 2.1 การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม่ขูดผิวและขูดผิว ที่ความลึกต่างๆของดินดิบลาดบัวหลวง



- ก = ไม่ขูดผิว (ตากอินฟราเรด)
- ข = ไม่ขูดผิว (ตากอุณหภูมิห้อง)
- ค = ขูดผิว ลึก 1.5 มิลลิเมตร
- ง = ขูดผิว ลึก 1 มิลลิเมตร
- จ = ขูดผิว ลึก 0.5 มิลลิเมตร



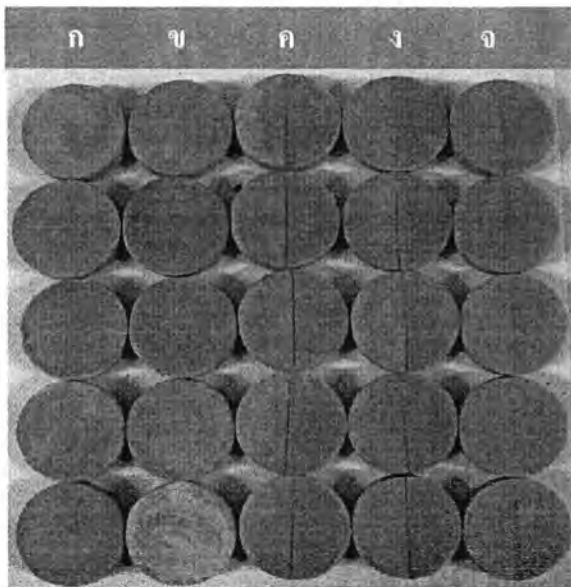
รูปที่ 2.2 การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม่ขูดผิวและขูดผิว ที่ความลึกต่างๆของดินดิบโรงงานอิฐ อ.ป.ก.



- ก = ไม้ขูดผิว (ตากอินฟราเรด)
- ข = ไม้ขูดผิว (ตากอุณหภูมิห้อง)
- ค = ขูดผิว ลึก 1.5 มิลลิเมตร
- ง = ขูดผิว ลึก 1 มิลลิเมตร
- จ = ขูดผิว ลึก 0.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3 การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม้ขูดผิวและขูดผิว
ที่ความลึกต่างๆของดินดิบไซโย



- ก = ไม้ขูดผิว (ตากอินฟราเรด)
- ข = ไม้ขูดผิว (ตากอุณหภูมิห้อง)
- ค = ขูดผิว ลึก 1.5 มิลลิเมตร
- ง = ขูดผิว ลึก 1 มิลลิเมตร
- จ = ขูดผิว ลึก 0.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.4 การเกิดคราบขาวของชิ้นงานที่ไม้ขูดผิวและขูดผิว
ที่ความลึกต่างๆของดินดิบบรรพตพิสัย

2.3.3 ปริมาณซัลเฟตไอออนก่อนและหลังหมักดินด้วยสารเคมี

จากการทดสอบปริมาณซัลเฟตไอออนพบว่าหลังหมักดินด้วยสารเคมี จะสามารถลดปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินลงได้ โดยในแหล่งดินปั้นตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา หลังผสมสารเคมี สามารถลดปริมาณซัลเฟตลงจาก 257 ส่วนในล้านส่วน เหลือเพียง 51 ส่วนในล้านส่วนเท่านั้น และในส่วนของกระถางดินดิบจากแหล่งเดียวกัน หลังจากหมักดินด้วยสารเคมี สามารถลดปริมาณซัลเฟตไอออนลงจาก 2235 ส่วนในล้านส่วนเหลือเพียง 172 ส่วนในล้านส่วนเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการหมักดินด้วยสาร $BaCl_2$ และ $BaCO_3$ นั้นสามารถลดปริมาณการเกิดคราบขาวได้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินดิบก่อนและหลังการหมักด้วยสารเคมี

แหล่งดินและลักษณะการหมัก	ปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดิน (ppm)
ดินดิบโรงงานคุณสนิท แหล่งที่ 1 ก่อนหมักสารเคมี	2556.99
ดินดิบโรงงานคุณสนิท แหล่งที่ 1 + ทราาย 30 % (โดยใช้ดิน 200 กิโลกรัม ผสม $BaCl_2$: $BaCO_3$ (1.87 : 1.33 กิโลกรัม))	2555.86
ดินปั้นโรงงานคุณสนิท แหล่งที่ 2 ก่อนหมักสารเคมี	257.38
ดินปั้นโรงงานคุณสนิท แหล่งที่ 2 + ทราาย 20 % (โดยใช้ดิน 200 กิโลกรัม ผสม $BaCl_2$: $BaCO_3$ (1.87 : 1.33 กิโลกรัม))	51.29
กระถางดินดิบโรงงานคุณวิไล (ก่อนหมักสารเคมี)	2235.43
กระถางดินดิบโรงงานคุณวิไล (หลังผสมหมัก $BaCl_2$: $BaCO_3$ สัดส่วน 1:1)	172.11

2.3.4 ค่าสีที่วัดได้ด้วยเครื่อง Color Meter

จากการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Meter พบว่าสีของเนื้อดินดิบที่หมักและไม่ได้หมักด้วยสารเคมีทั้งก่อนเผาและหลังเผานั้น มีสีที่ใกล้เคียงกัน คือก่อนเผามีสี Grayish Brown และหลังเผามีสี Reddish yellow

ตารางที่ 2.5 ค่าสีของชิ้นงานที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่างดิน	สี			สี
	L	a	b	
ดินดิบก่อนหมักด้วยสารเคมี (ก่อนเผา)	50.98	1.42	9.11	Grayish Brown
ดินดิบก่อนหมักด้วยสารเคมี (หลังเผา)	63.77	13.98	28.78	Reddish yellow
ดินดิบหลังหมักด้วยสารเคมี (ก่อนเผา)	51.00	1.65	9.62	Grayish Brown
ดินดิบหลังหมักด้วยสารเคมี (หลังเผา)	63.40	14.09	29.63	Reddish Yellow

2.3.5 ค่าความเหนียวของชิ้นงาน

หลังจากนำชิ้นงานที่ไม่ได้หมักสารเคมีและชิ้นงานที่ผ่านการหมักด้วย $BaCO_3$ และ $BaCl_2$ ไปทดสอบค่าความเหนียวของเนื้อดินด้วยเครื่อง Pfefferkon ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าความเหนียวของเนื้อดินดิบในตัวอย่างทดสอบก่อนผสมและหลังผสมสารเคมี

ตัวอย่าง	ค่าความเหนียว
ก่อนผสมสารเคมี	2.91
หลังผสมสารเคมี 0.5 %	2.67
หลังผสมสารเคมี 1.0 %	2.67

จากตารางที่ 2.6 พบว่า การหมักเนื้อดินด้วย $BaCO_3$ และ $BaCl_2$ นั้น ไม่ได้ส่งผลต่อความเหนียวของเนื้อดินมากนักจะเห็นว่าหลังหมักดินนั้น ค่าความเหนียวจะลดลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อดินที่ผ่านการหมักด้วยสารเคมีนั้น ยังคงมีสมบัติด้านความเหนียวที่เหมาะสมแก่การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากเนื้อดินเดิม

2.3.6 ปริมาณซัลเฟตไอออนและลักษณะชิ้นงานหลังเผาของดินที่ผ่านการหมักด้วยสารเคมีแล้ว

ในการทดสอบหาปริมาณซัลเฟตไอออนในเนื้อดินหลังจากผ่านการหมักด้วยสารเคมี ได้เลือกตัวอย่างดินจากแหล่งดินโรงงานคูมวิไล และ โรงงานคูณสนิท ในตัวอย่างจากผลการทดสอบ พบว่า หลังจากมีการหมักดินด้วย $BaCO_3$ และ $BaCl_2$ แล้วจะสามารถลดปริมาณของซัลเฟตไอออนในเนื้อดินลงได้ โดยสามารถลดปริมาณซัลเฟตไอออนลงไปได้ร้อยละ 92.30-97.55 ส่งผลให้คราบขาวที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์นั้นเกิดลดลงด้วย

ตารางที่ 2.7 ปริมาณซัลเฟตในเนื้อดินดิบในตัวอย่างทดสอบก่อนและหลังผสมสารเคมี

ตัวอย่าง	ปริมาณซัลเฟตไอออน (ส่วนในล้านส่วน)	
	โรงงานคูมวิไล	โรงงานคูณสนิท
ก่อนผสมสารเคมี	2,235.434	3,408.233
หลังผสมสารเคมี	172.1064	83.3449



โครงการพัฒนา
คุณภาพผลิตภัณฑ์
สำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ ปี 2552

รูปที่ 2.5

ชิ้นงานที่ไม่ผสมสารเคมีและผสมสารเคมีหลังเผา

ผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับภาพที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าคราบขาวที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หลังเผา นั้นมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับชิ้นงานหลังเผาของเนื้อดินก่อนการผสมสารเคมี

การเติม BaCO_3 และ BaCl_2 นั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติการขึ้นรูปและความแข็งแรงมากนัก โดยหลังเติมสารเคมีจะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดต่ำลงเล็กน้อยและส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์หลังเผามีสีสดขึ้น

2.4 สรุปผลการแก้ปัญหา

การใช้สารแบเรียมคาร์บอเนตและแบเรียมคลอไรด์สามารถลดคราบขาวที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ดินเผาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตต้องคำนึงถึงต้นทุนและการหาวิธีการประยุกต์ในการนำสารไปใช้ให้เหมาะสมกับเนื้อดินในแต่ละโรงงาน

บทที่ 3

การศึกษาผลของการผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาในเนื้อดินสำหรับการอิฐ

อิฐเป็นวัสดุที่สำคัญสำหรับการก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิฐที่ทำจากดินเหนียว หรือที่มักนิยมเรียกว่า อิฐมอญ ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ราคาไม่สูง หาได้ง่ายเนื่องจากการผลิตในหลายพื้นที่ของประเทศ โดยอย่างยิ่งในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง เช่น จังหวัดอ่างทอง ซึ่งการผลิตอิฐเป็นอุตสาหกรรมหลักของจังหวัดนี้ วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตอิฐส่วนใหญ่เป็นการใช้ดินจากที่นาของพื้นที่ในจังหวัดอ่างทองเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิต เมื่อพิจารณาในแง่ของการใช้ทรัพยากรแร่ดินเหนียวการขุดดินเพื่อนำมาผลิตอิฐ โดยไม่มีการวางแผนการใช้ทรัพยากรดังกล่าวอย่างเหมาะสม อาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนทรัพยากรแร่ดินเหนียวในอนาคต ดังนั้นการหาวัสดุทดแทน จึงเป็นเรื่องที่ควรดำเนินการเพื่อรองรับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรแร่ดินเหนียว

การผสมวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม เช่น ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณการใช้แร่ดินเหนียว จากผลการทดลองในอดีตเกี่ยวกับการผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา ที่ผ่านการพ่นแห้งและเผาแล้วในเนื้อดินปั้นสำหรับการทำเครื่องปั้นดินเผา พบว่าแท่งดินตัวอย่างที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนตัวสูงกว่าแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีน้ำหนักเบากว่า อย่างไรก็ตามความพรุนตัวของชิ้นงานตัวอย่างมิได้ทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่มีตะกอนดินเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตะกอนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการนำตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปามาเป็นองค์ประกอบในการผลิตอิฐจึงเป็นแนวทางสำหรับการผลิตอิฐจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม

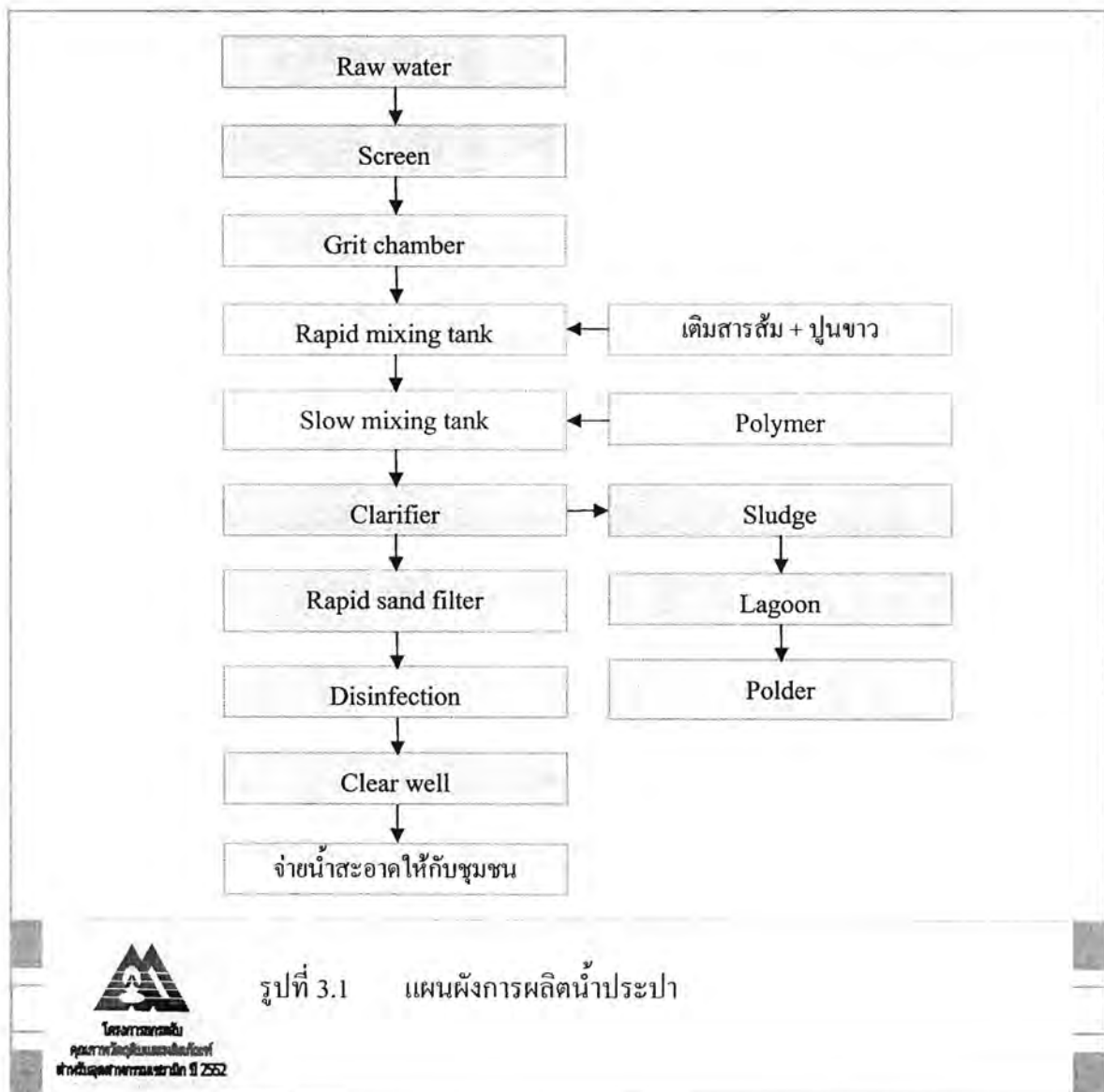
3.1 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตน้ำประปา

การผลิตน้ำประปาประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ เป็นการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำ เช่น เศษ ไม้ ถูงพลาสติก ด้วยตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด
2. การเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมี โดยอัตราส่วนของการเติมสารเคมีขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล ซึ่งสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เป็นต้น

3. การตกตะกอน โดยให้สารเคมีที่เติมทำปฏิกิริยากับตะกอนจับตัวเป็นก้อนจากขนาดเล็กจน โตขึ้น และตกลงสู่พื้นล่างของถัง
 4. การกรองน้ำดิบที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะไหลไปยังบ่อกรองน้ำซึ่งประกอบด้วยผงถ่านแอนทราไซด์ และทรายละเอียด
 5. การฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีน
 6. การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา โดยการเติมปูนขาวเล็กน้อย เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง ของน้ำ
 7. การสูบน้ำจ่ายน้ำประปา น้ำประปาที่ได้มาตรฐานแล้วจะถูกสูบน้ำจ่ายเข้าเส้นท่อประธานและเส้นจ่ายน้ำ เพื่อทำการจ่ายน้ำให้ประชาชนที่อยู่ตามชุมชนต่างๆ
- สำหรับลำดับขั้นตอนกระบวนการการผลิตน้ำประปาแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการผลิตน้ำประปา

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตะกอนน้ำประปาในการทำอิฐ

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปามาใช้ประโยชน์สำหรับการทำอิฐ มีดังต่อไปนี้

กฤษฎา นุ่มนวล (2540) ได้ศึกษาการนำตะกอนที่ได้จากระบบการผลิตน้ำประปามาใช้แทนดินเหนียว ในการผลิตอิฐมอญ โดยแบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 6 สูตร มีอัตราส่วนผสมของดินเหนียว : ตะกอน : ซีเมนต์ : น้ำ โดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1 คือ 10 : 0 : 3 : 1 สูตรที่ 2 คือ 8 : 2 : 3 : 1 สูตรที่ 3 คือ 6 : 4 : 3 : 1 สูตรที่ 4 คือ 4 : 6 : 3 : 1 สูตรที่ 5 คือ 2 : 8 : 3 : 1 และสูตรที่ 6 คือ 0 : 10 : 3 : 1 พิจารณาอัตราส่วนของตะกอนสูตรที่ 1 ถึง 6 นั้น มีการเพิ่มปริมาณตะกอนตามลำดับดังนี้คือ ร้อยละ 0, 20, 40, 80 และ 100 ของน้ำหนักดิน จากการศึกษาสมบัติของอิฐในแต่ละสูตร โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2531 ซึ่งประกอบด้วยทดสอบดังนี้คือการทดสอบการดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และความคลาดเคลื่อนตามยาว กว้าง และหนา พบว่าอิฐที่มีการผสมตะกอนไม่เกินร้อยละ 40 คือสูตรที่ 1-3 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทุกการทดสอบ แต่สูตรที่มีปริมาณตะกอนมากกว่าร้อยละ 40 สูตรที่ 4-6 นั้น ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และความคลาดเคลื่อนตามความยาว กว้าง และหนา ไม่ผ่านค่ามาตรฐานตามที่ มอก.77-2531 กำหนด และเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐจากดินเหนียวจะมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 33 ของน้ำหนัก

สมเกียรติ รอดยั้งดี (2541) ศึกษาการเพิ่มคุณภาพของอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปาโดยใช้สารเคมีเพิ่มเติม ได้แก่ เถ้าลอย หินภูเขาไฟเนื้อแก้ว และปูนขาว จากการทดลองพบว่า เถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มที่สามารถทำให้ลูกดินสามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุด จึงพิจารณาเถ้าลอยมาเป็นสารผสมเพิ่มในการผลิตอิฐมอญ โดยแบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 2 สูตร ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบเป็นดินเหนียว : ตะกอน : เถ้าลอย ใช้อัตราส่วนผสม โดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1 คือ 27.5 : 70 : 10 ผสมซีเมนต์กลบร้อยละ 10 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2531 ได้ผลดังนี้ ปริมาณเถ้าลอยที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 10 ทำให้อิฐสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าที่ มอก.77-2531 กำหนดไว้โดยอิฐที่ผลิตได้จากการผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 10 มีน้ำหนักเบากว่าอิฐที่ผลิตได้ทั่วไปร้อยละ 16-20 และสามารถใส่ตะกอนน้ำประปาได้สูงถึงร้อยละ 70 ทำให้อิฐสามารถผ่าน มอก. 77-2531 ซึ่งสามารถทำให้ปริมาณตะกอนที่มีอยู่มากให้มีน้อยลงได้

ชาติ เขียมไชยศรี และคณะ (2547) ศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์ตะกอนจากระบบในอุตสาหกรรมก่อสร้าง พบว่า ดินตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมีสมบัติเป็นตะกอนทรายที่มีความเหนียวสูง สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แต่มีการหดตัวสูง มีซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีในปริมาณ 63.38 และ 23.66 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเป็นของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ตะกอนดินสามารถใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐมอญได้เป็นอย่างดี แต่ต้องผสมทรายเพื่อลดการหดตัว ซึ่งการผสมทรายร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดภายใต้การเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ได้ผลิตอิฐที่มีกำลังอัดสูงกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 25 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.77-

2531 ซึ่งการผลิตอิฐมอญที่สัดส่วนดังกล่าว ด้วยแบบที่มีขนาด 15.0x7.0x4.5 เซนติเมตร ให้ขนาดที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน มอก. เช่นกัน นอกจากนี้อิฐมอญดังกล่าวมีคุณภาพไม่แตกต่างไปจากอิฐมอญทั่วไปมากนัก

3.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลการใช้ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นส่วนผสมในเนื้อดินสำหรับการทำอิฐ ซึ่งเป็น การนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์และให้อิฐที่มีสมบัติที่แตกต่างไปจากอิฐทั่วไป เช่น น้ำหนักที่เบากว่า ความเป็นฉนวนกันความร้อน เป็นต้น

3.4 วิธีการทดลอง

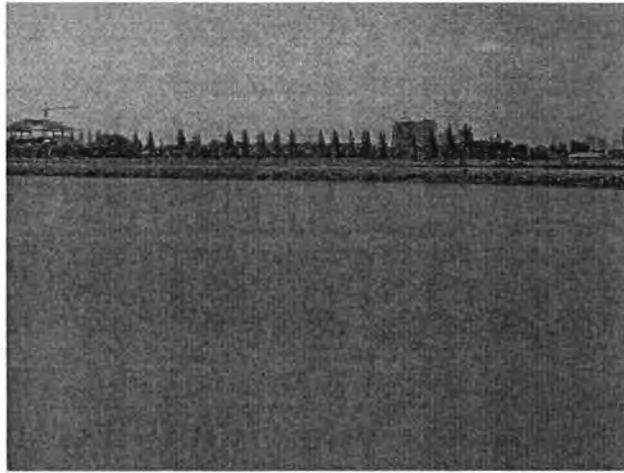
2.4.1 เก็บน้ำตะกอนจากการผลิตน้ำประปาโดยเก็บจากบ่อตกตะกอน ที่ โรงผลิตน้ำประปา บางเขน

2.4.2 ทดลองผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปากับเนื้อดินทำอิฐจากอำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง โดยใช้ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาที่ผ่านการพ่นแห้งและเผาแล้วที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในปริมาณร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงหมักกับน้ำ หลังจาก หมักดินแล้วนำไป นวดรีดเป็นแท่งดิน ตากแท่งดินให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำแท่งดินรีดที่แห้งแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราเร็วในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ระดับ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที และทดสอบสำหรับของแท่งดินที่เผาแล้ว ได้แก่ การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำและความแข็งแรงหลังเผา

3.5 ผลการทดลอง

3.5.1 การเก็บน้ำตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา

จากขั้นตอนการผลิตน้ำประปาซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 และจากข้อมูลของคณะทำงานศึกษาและ วิจัยระบบ (2548) พบว่า ขั้นตอนแรกที่มีน้ำตะกอน (sludge) เกิดขึ้นคือขั้นตอนการระบายน้ำตะกอนออกจาก ถังตกตะกอนซึ่งมีความเข้มข้นของตะกอนประมาณร้อยละ 4 ถึง 8 สู้ออกกักตะกอน (Lagoon) จากนั้นจึงมีการ สูบตะกอนเหลวออกจากบ่อกักตะกอน ซึ่งน้ำตะกอนเหลวนั้นมีความเข้มข้นของตะกอนประมาณร้อยละ 15 ไปสู่อ่างตกตะกอน (Polder) สำหรับบ่อตกตะกอนนั้นจะมีการระบายน้ำออกจากบ่อ เพื่อให้ได้ตะกอนที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 30 หรือมากกว่า จึงจะมีการคัดตะกอนออกจากบ่อตกตะกอนไปสู่ลานตาก ตะกอน สำหรับการทดลองนี้เลือกเก็บน้ำตะกอนจากบ่อกักตะกอน เนื่องจากน้ำตะกอนมีความเข้มข้นของ ตะกอนสูงกว่าน้ำตะกอนที่ระบายออกจากถังตกตะกอน การเก็บตะกอนน้ำประปาจากบ่อกักตะกอนที่ โรงผลิต น้ำประปา บางเขน กรุงเทพฯ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 บ่อตะกอนที่โรงผลิตน้ำประปาบางเขน



รูปที่ 3.3 การเก็บน้ำตะกอนจากการผลิตน้ำประปาจากบ่อตากตะกอน

3.5.2 การทดลองผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปากับเนื้อดินทำอิฐ

1) สมบัติของแท่งดินก่อนเผา

ตัวอย่างแท่งดินก่อนเผาที่นำมาทดสอบเป็นแท่งดินที่ขึ้นรูปจากดินที่ใช้ทำอิฐ โดยมีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งผลการตรวจสอบสมบัติสมบัติของแท่งดินทั้ง 3 ชนิด ได้แก่

1. ตัวอย่างแท่งดินที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ (0% SD-PM)
2. ตัวอย่างแท่งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาร้อยละ 30 เป็นองค์ประกอบ (30 % SD-PM)
3. ตัวอย่างแท่งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาร้อยละ 40 เป็นองค์ประกอบ (40 % SD-PM)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของแท่งดินหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

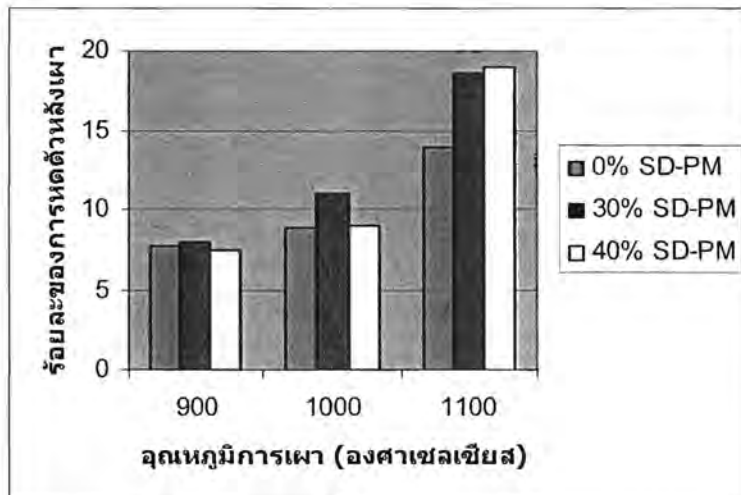
ตัวอย่าง	สมบัติของแท่งดินก่อนเผา		
	ร้อยละของความชื้น	ร้อยละของการหดตัว	ความแข็งแรง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
0 % SD-PM	26.66	6.68	791
30% SD-PM	32.68	7.93	318
40% SD-PM	32.51	6.39	209

จากตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแท่งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ตัวอย่าง 30% SD-PM และ 40 % SD-PM มีค่าความชื้นสูงกว่าตัวอย่างแท่งดินที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาที่ผ่านการเผาแล้วมีรูพรุนทำให้ตัวอย่างแท่งดังกล่าวอุ้มน้ำไว้ได้มากกว่าเนื้อดินทำอิฐส่งผลให้ค่าร้อยละของความชื้นของแท่งดินตัวอย่างจึงสูงกว่า ส่วนร้อยละของการหดตัวหลังตากของตัวอย่างชิ้นงานทั้งสองชนิดอยู่ระหว่างร้อยละ 6-7 ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากองค์ประกอบหลักของตัวอย่างแท่งดินเป็นเนื้อดินทำอิฐ

ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานพบว่าตัวอย่างแท่งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งแรงลดประมาณ 2-3 เท่า ทั้งนี้ เนื่องจากดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปาหลังเผาแล้วไม่มีสารอินทรีย์ที่ทำให้ดินมีความเหนียวขึ้นรูปได้เหลืออยู่ ทำให้การยึดเกาะกันของเนื้อดินในตัวอย่างแท่งดินลดลง ซึ่งผลที่ตามมาคือความแข็งแรงที่ลดลงด้วย

2) สมบัติของแท่งดินหลังเผา

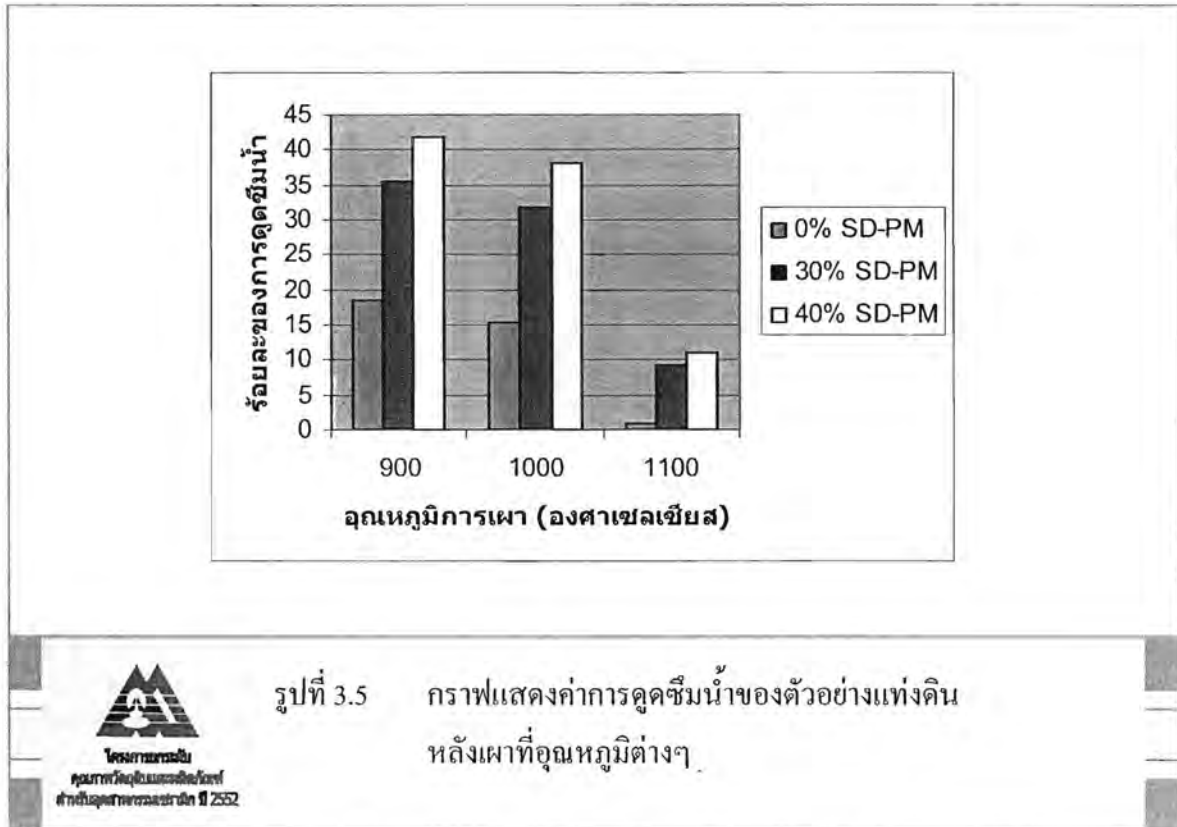
■ การหดตัวของแท่งดินหลังเผา



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงการหดตัวของตัวอย่างแท่งดิน
หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มการหดตัวที่เหมือนกันคือการหดตัวสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น โดยร้อยละของการหดตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 7-8 เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งการหดตัวมากกว่าร้อยละ 10 เมื่อเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างแท่งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีค่าการหดตัวที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีตะกอนน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนน้ำประปาที่ผ่านการพ่นแห้งและเผาแล้วมีลักษณะพรุนตัวทำให้ตัวอย่างเกิดการหดตัวที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ

■ การดูดซึมน้ำ

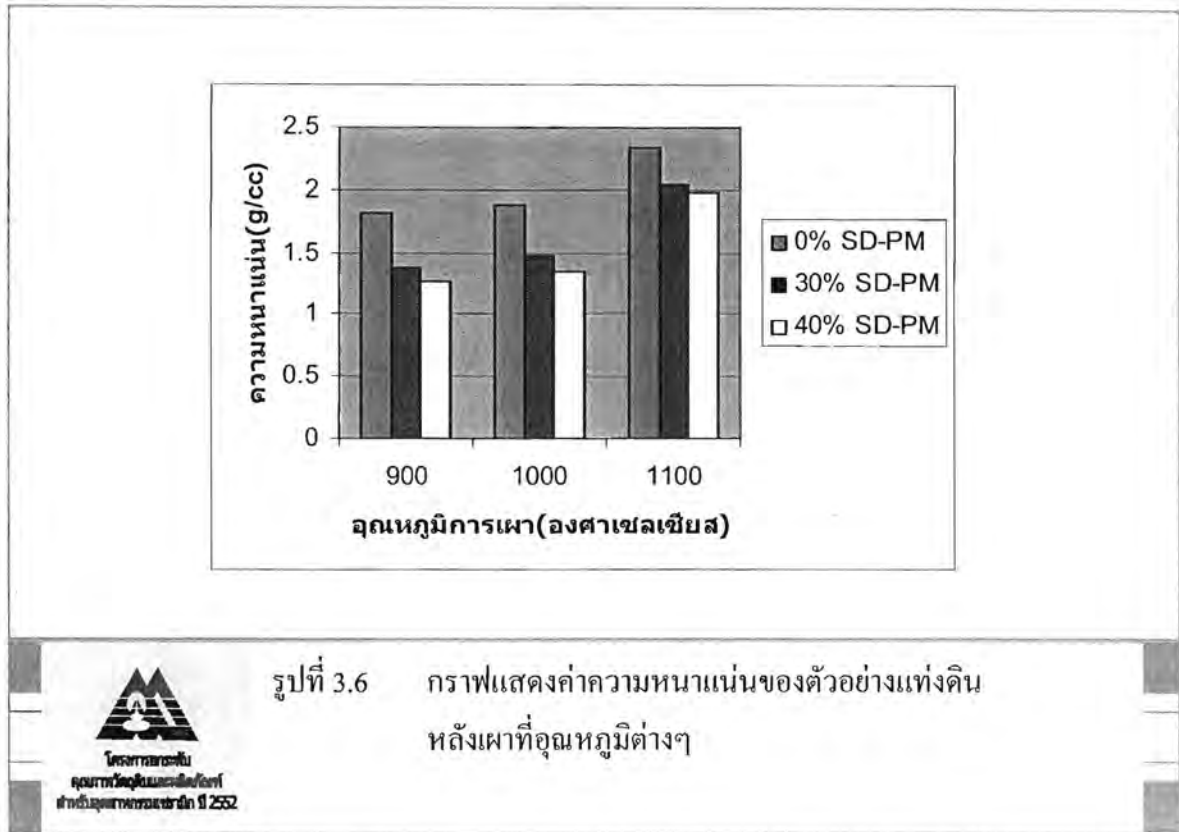


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแห้งดิน
หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ



ค่าการดูดซึมน้ำดังรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างชิ้นงานลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น แต่การดูดซึมน้ำของตัวอย่างแห้งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบถึง 2 เท่า เนื่องจากความพรุนตัวของตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา

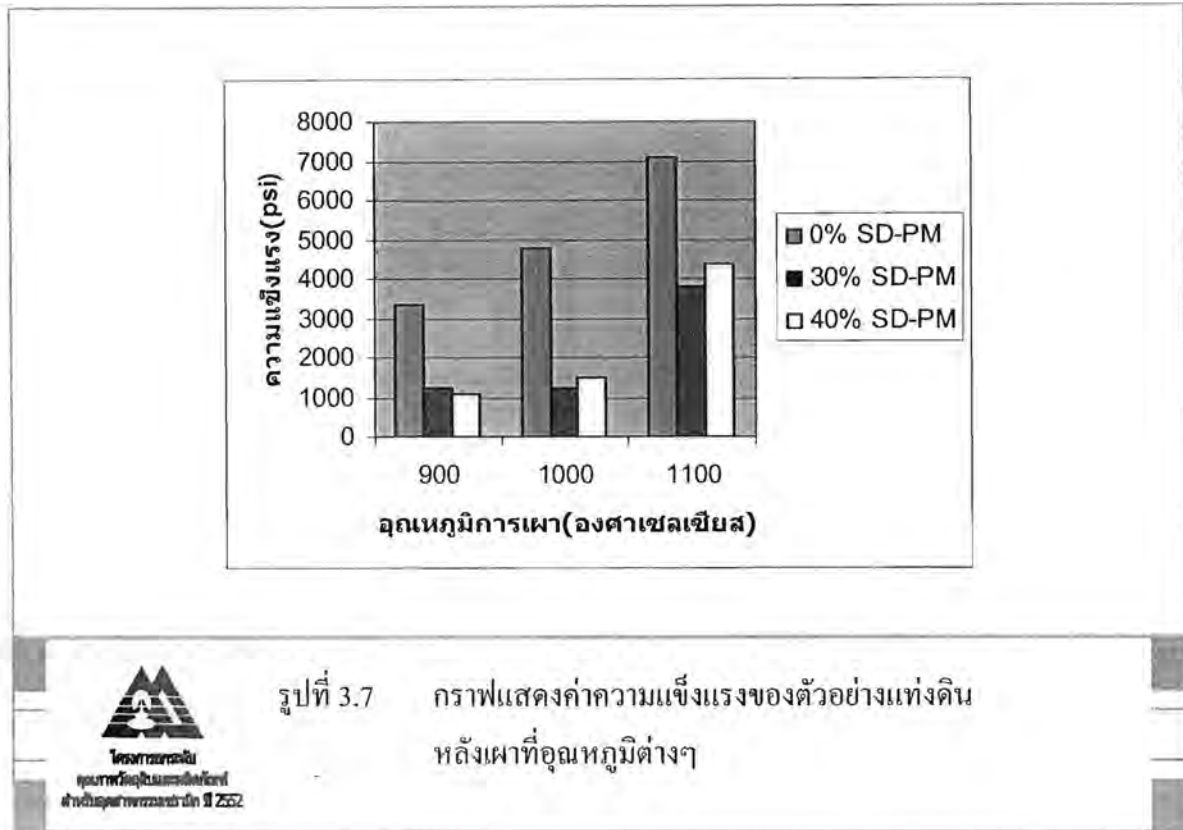
■ ความหนาแน่น



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแห้งดิน
หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากกราฟแสดงความหนาแน่นของตัวอย่าง (รูปที่ 3.6) พบว่าแนวโน้มความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับค่าการหดตัวหลังเผา และความหนาแน่นที่ต่ำกว่าของตัวอย่าง 30 % SD-PM และ 40 % SD-PM มีผลมาจากความพรุนตัวของชั้นงาน

■ ความแข็งแรง



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงของตัวอย่างแท่งดินหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 3.7 ค่าความแข็งแรงของตัวอย่างแท่งดินหลังเผาที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงของตัวอย่างแท่งดินหลังตากแห้งคือ ตัวอย่างแท่งดินที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีค่าสูงกว่าแท่งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา เพราะการยึดเกาะกันที่ดีกว่าของเนื้อดินสำหรับดินที่ไม่มีตะกอนน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ

เมื่อพิจารณาสมบัติต่างๆของแท่งดินหลังเผา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหดตัวของแท่งดินที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า แท่งดินตัวอย่างที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบมีค่าการหดตัวที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบ แต่กลับให้ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าค่าความหนาแน่นต่ำกว่าและค่าความแข็งแรงต่ำกว่า ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของดินเผาทั่วไปคือ การหดตัวที่สูงขึ้นมักให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการดูดซึมน้ำต่ำ ความหนาแน่นสูงขึ้นและความแข็งแรงสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวของตัวอย่างที่มีตะกอนดินเป็นองค์ประกอบ เป็นการหดตัวของเม็ดตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา เพราะเม็ดดินดังกล่าวเกิดจากอนุภาคตะกอนดินเกาะกันอย่างหลวมๆ ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงถึง 1,100 องศาเซลเซียส เม็ดดินนั้นเกิดการผลึกตัวมากขึ้น เป็นผลให้เกิดการหดตัวอย่างมากในชิ้นงานตัวอย่างซึ่งการหดตัวนี้มีได้เกิดจากการหลอมตัวของอนุภาคดินจนเป็นเนื้อแก้ว

3.6 สรุปผลการทดลอง

ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาที่ผ่านการพ่นแห้งและเผาแล้วผสมในเนื้อดินสำหรับทำอิฐ และขึ้นรูปเป็นแท่งดิน เมื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า ตัวอย่างแท่งดินที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบให้ค่าความแข็งแรงหลังตากแห้งที่สูงกว่า ค่าการหดตัวหลังตากแห้งต่ำกว่า ส่วนตัวอย่างหลังเผา พบว่า ค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า ในขณะที่ความหนาแน่นและความแข็งแรงสูงกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ตัวอย่างแท่งดินที่ไม่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบให้สมบัติโดยรวมที่ดีกว่า ดังนั้นการนำตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปามาผสมกับเนื้อดินทำอิฐยังไม่เหมาะสำหรับการทำอิฐ เนื่องจากค่าความแข็งแรงของชิ้นงานตัวอย่างลดลง

บทที่ 4

งานพัฒนาการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน

เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านในพื้นที่ภาคกลาง มักมีการผลิตโดยการนำดินเหนียว หรือดินแดงในท้องที่ มาขนาดให้เนื้อดินมีความเหนียวและมีความสม่ำเสมอ บางครั้งจะมีการเติมทรายแม่น้ำเพื่อช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่าย ลดการหดตัว และไม่แตกเสียหายเมื่อแห้งตัว โดยเกือบทั้งหมดจะเป็นการขึ้นรูปด้วยการปั้น ด้วยมือ หรือใช้แป้นหมุน รวมถึงการใช้เครื่องอัดรีดสำหรับการผลิตอิฐก่อสร้าง โดยเนื้อดินป็นนี้จะมีน้ำอยู่ที่ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ แต่ยากต่อการผลิตชิ้นงานบางชนิดที่มีโพรงภายใน ได้แก่ แจกกัน ดอกไม้ กระปุกออมสิน ฯลฯ แม้ว่าจะมีโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกที่ใช้เนื้อดินผสม ทั้งผสมเองและที่มีจำหน่ายสำเร็จรูป แต่ผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่โครงการฯ เข้ามาทำการศึกษา ไม่พบว่ามีการผลิตด้วยวิธีการหล่อน้ำดินด้วยดินเหนียวท้องถิ่น

หากมีการศึกษาการเตรียมน้ำดินจากวัตถุดิบดินเหล่านี้ให้สามารถขึ้นรูปได้ด้วยการหล่อแบบ จะช่วยให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่จะเป็นการขยายตลาดให้กับเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านเหล่านี้ แต่เนื่องจากการศึกษาการเตรียมน้ำดินจากดินแดงท้องที่ภาคกลางยังมีอยู่น้อย และไม่ค่อยมีประสิทธิภาพในการผลิต จึงเป็นที่สนใจที่จะศึกษาดังกล่าว

4.1 ขอบเขตของงาน

4.1.1 เตรียมน้ำดินเพื่อใช้ในการทดสอบการหล่อแบบจากแหล่งดินทั้งสี่แหล่งในท้องที่ภาคกลาง

4.1.2 ทำการหล่อแบบและทดสอบสมบัติต่างๆ ทั้งก่อนและหลังเผา

4.1.3 แนะนำและสาธิตเทคนิคในการเตรียมน้ำดิน และแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์อย่างง่ายให้กับผู้ผลิตที่สนใจและมีศักยภาพ

4.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ได้ทำการทดลองเตรียมน้ำดินจากแหล่งทั้งสี่ ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาเงื่อนไขต่างๆ ก่อนที่จะตัดสินใจนำไปถ่ายทอดให้ผู้ผลิตต่อไป โดยขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

- 4.2.1 เก็บตัวอย่างดินดิบจากแหล่งนำมาอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส
- 4.2.2 บดดินย่อยดินแห้งด้วยโกร่งให้มีขนาดเล็กกว่า 1-2 เซนติเมตร
- 4.2.3 เตรียมน้ำดินโดยใช้ดินแห้ง 500 กรัม น้ำสะอาด 300 มล. (38 % water)
- 4.2.4 ผสมน้ำกับสารละลายโซเดียมซลิเกต 2.5 กรัม แล้วเทดินที่เตรียมไว้ลงในน้ำ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หรือข้ามคืน) เพื่อให้เนื้อดินเปื่อยปั่นผสมได้ง่าย
- 4.2.5 ปั่นกวนส่วนผสมด้วยเครื่องปั่นให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว โดยใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที
- 4.2.6 ปรับความหนืดและการไหลตัวด้วยการเติมสารละลายโซเดียมซลิเกตและน้ำ
- 4.2.7 กรองผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมช (150 μ m) แล้วนำน้ำดินที่ได้มาปั่นอีกครั้ง
- 4.2.8 วัดค่าความหนืด โดยความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการหล่อแบบจะอยู่ที่ประมาณ 500 เซ็นติพอยต์ หากความหนืดสูง ให้เติมโซเดียมซลิเกต และน้ำกลับ
- 4.2.9 เมื่อได้ความหนืดที่เหมาะสมแล้ว ให้วัดค่าความหนาแน่น โดยความหนาแน่นของน้ำดินจะอยู่ที่ประมาณ 1.4-1.6 กรัมต่อมิลลิเมตร
- 4.2.10 ทำการหล่อขึ้นรูปแบบกลวงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วเทออก
- 4.2.11 ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วแกะออกจากแบบ ได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
- 4.2.12 ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งในห้องทดลอง 1 วัน
- 4.2.13 อบชิ้นงานให้แห้งสนิท ที่ 105 องศา
- 4.2.14 เผาชิ้นงาน ที่ 950 องศา เป็นเวลา 30 นาที อัตรา 5 องศาต่อนาที
- 4.2.15 ได้ชิ้นงานดินเผาที่ผลิตโดยเทคนิคการหล่อน้ำดิน

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 การศึกษาพฤติกรรมความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเติมสารช่วยกระจายลอยตัว (deflocculant) เพื่อลดความหนืด จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสาร โซเดียมซลิเกตที่ต้องการสำหรับการปรับค่าความหนืดให้เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 0.81.20 เปอร์เซ็นต์ ได้ค่าความหนืดประมาณ 450-500 เซ็นติพอยต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.3.2 เมื่อนำน้ำดินที่เตรียมได้มาหล่อขึ้นรูปแบบกลวง โดยใช้เวลาในการหล่อ 30 นาที (ชิ้นงานรูปตุ๊กตาหมู และหนู ขนาดประมาณ 2-4 นิ้ว) แล้วจึงเทน้ำดินออกจากแบบ พบว่าการไหลตัวพอใช้ จะ ได้ความหนาของชิ้นงานแห้งประมาณ 3 มิลลิเมตร การหดตัวเมื่อแห้งประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์

4.3.3 เมื่อทำการเผาที่ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ชิ้นงานสีแดงอิฐสีอ่อน ล่อนข้างแข็งแรง ไม่มีการแตกร้าว การหดตัวหลังเผาต่ำ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำที่ใช้และสมบัติต่างๆ ในการทดลองเตรียมน้ำดินจากแหล่งดินภาคกลาง

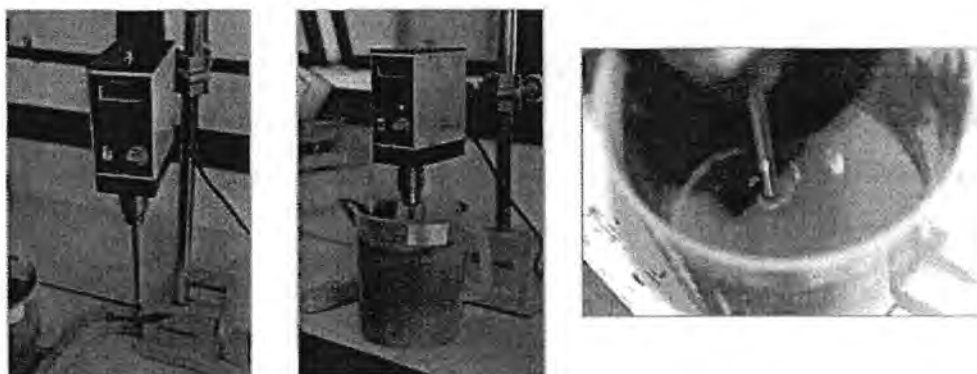
แหล่งดิน	ความหนาแน่น (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโซเดียมซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	ความหนืด (เซนติพอยต์)
ป่าโมก	1.56	41	0.86	434
บรรพตพิสัย	1.52	42	0.80	466
ไชโย	1.42	44	1.20	448
ลาดบัวหลวง	1.40	46	0.96	469

4.4 การถ่ายทอดเทคนิคการผลิตด้วยวิธีการหล่อแบบน้ำดิน

การถ่ายทอดเทคโนโลยี และเทคนิคในการผลิตด้วยการหล่อน้ำดิน ได้ทำการสาธิตและสอนเชิงปฏิบัติการ ตั้งแต่ การผสมน้ำดิน และการหล่อแบบน้ำดินจากแม่พิมพ์และน้ำดินที่เตรียมได้ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.1 การเตรียมน้ำดินสำหรับการหล่อแบบ

- 1) ชั่งน้ำหนักโซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต และเบเรียมคาร์บอเนต ลงในถังขนาด 15 ลิตร
- 2) เติมน้ำ 7 ลิตร (หรือตามสูตร ในตารางที่ 4.2) แล้วกวนให้ละลายเข้ากัน
- 3) คัดแยกดินแห้ง (หากดินเปียก ควรลดปริมาณน้ำลง) เอาเศษหิน เศษไม้ และสิ่งสกปรกออกจากดิน และชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กิโลกรัม (หากต้องการผลิตมากกว่านี้ ให้เทียบปริมาณตามสัดส่วนได้)
- 4) เทดินลงไปจนหมดทั้ง 10 กิโลกรัม แล้วแช่ทิ้งไว้ข้ามคืน (เพิ่มปริมาณได้ตามสัดส่วนเพื่อการผลิตปริมาณที่มากขึ้น)
- 5) ปั่นกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลาไม่เกิน 30 นาที เติมน้ำโซเดียมซัลเฟตเล็กน้อย หากความหนืดยังสูงอยู่
- 6) เมื่อปั่นกวนผสมเข้ากันดีแล้ว ทำการกรองผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (หรือหยาบกว่า หากต้องการเนื้อดินที่มีผิวขรุขระบ้าง)
- 7) ปั่นกวนอีกครั้งให้เข้ากันหลังจากกรอง แล้ววัดค่าความถ่วงจำเพาะ และสังเกตความหนืด แล้วปรับค่าความถ่วงจำเพาะให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 4.2 และมีการไหลตัวดี (หากความถ่วงจำเพาะสูงเกินไป ให้เติมน้ำลงไปเล็กน้อย แล้วทำการปั่นกวนต่อจนเข้ากันดี) ก็จะได้น้ำดินที่เหมาะสมกับการใช้งานหล่อแบบ



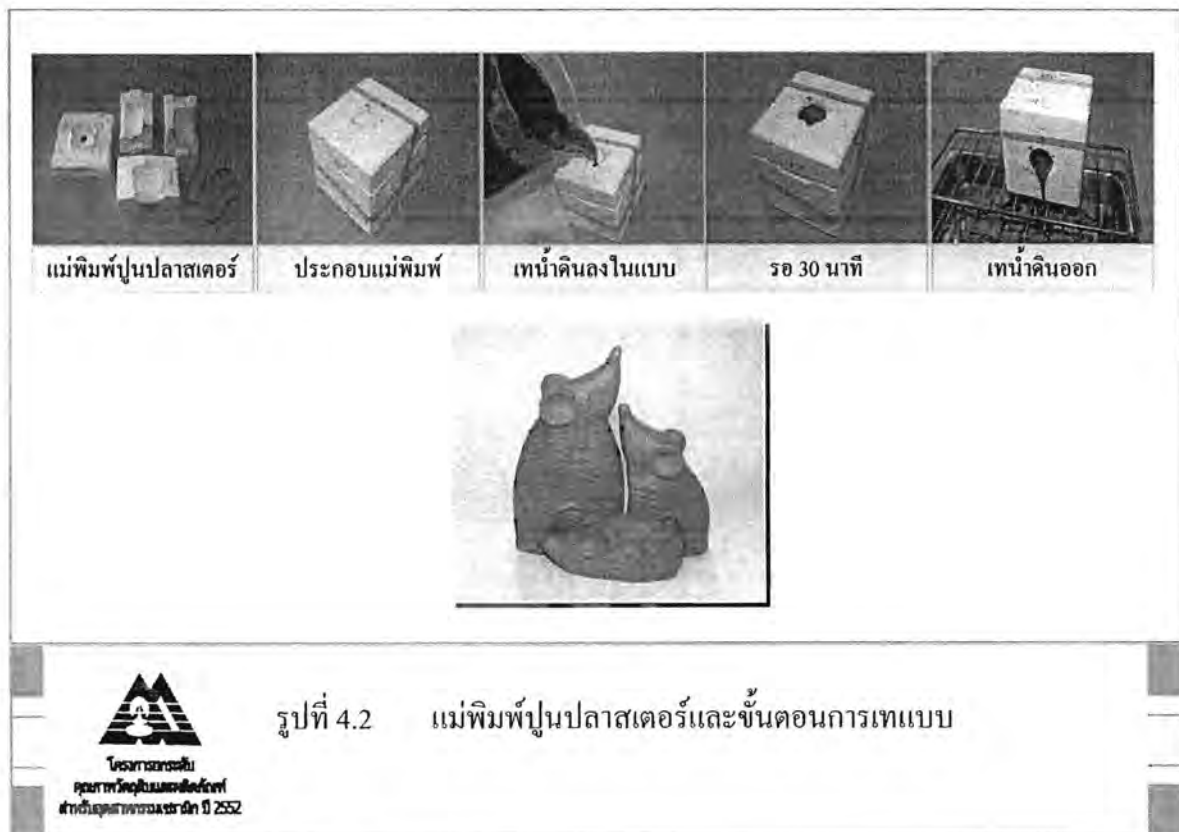
รูปที่ 4.1 เครื่องปั้นกวนน้ำดิน และวิธีการปั้นกวนน้ำดิน

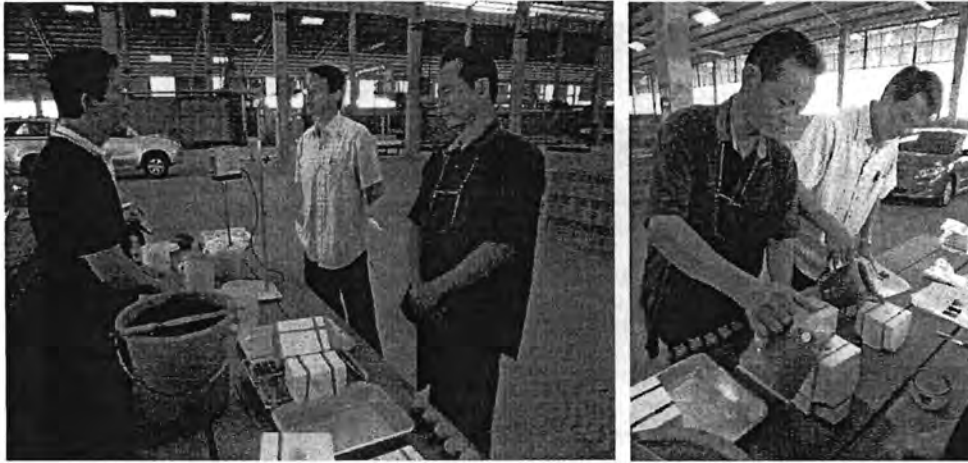
ตารางที่ 4.2 สูตรส่วนผสมน้ำดินสำหรับการหล่อแบบทดลองในโรงงาน จากดินเหนียวในท้องถิ่นภาคกลาง

ส่วนผสมน้ำดิน	หน่วย	สูตรส่วนผสมน้ำดิน	
		ป่าโมก (โรงงานอิฐ)	บรรพตพิสัย
ดินแห้ง	กิโลกรัม	10	10
น้ำ	ลิตร	7	7.2
แบเรียมคาร์บอเนต	กรัม	100	-
โซเดียมคาร์บอเนต	กรัม	50	50
โซเดียมซิลิเกต (น้ำหนักเปียก)	กรัม	100	100
สัดส่วนน้ำ	เปอร์เซ็นต์	41%	42%
ความถ่วงจำเพาะ	กิโลกรัมต่อลิตร	1.56	1.52

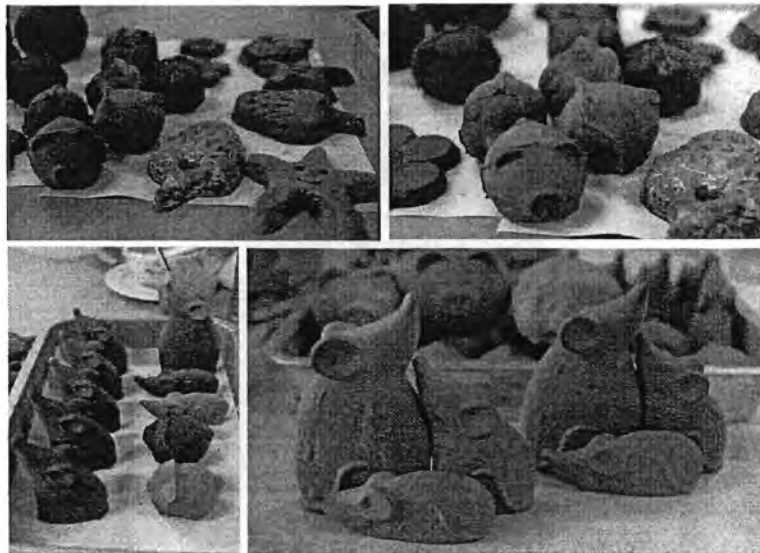
4.4.2 เทคนิคการหล่อน้ำดิน

- 1) นำน้ำดินที่ผลิตได้จากขั้นตอนก่อนหน้า และแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ มาใช้ในการหล่อแบบขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ตามต้องการ (อาจมีการทาแป้งทาลัม หรือแป้งเด็กทาตัว เพื่อให้แกะเนื้อดินออกจากแบบพิมพ์ได้ง่ายขึ้น)
- 2) เทน้ำดินลงในแม่พิมพ์ แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 15-30 นาที ขึ้นอยู่กับความชื้นของแม่พิมพ์ และสภาพของน้ำดินเอง แต่จะสังเกตได้จากความหนาของเนื้อดินที่พอกตัวบริเวณปากที่หยอดน้ำดิน
- 3) เทน้ำดินส่วนเกินออก (ในกรณีที่ต้องการหล่อให้เป็นชิ้นงานกลวง) แล้วคว่ำทิ้งไว้เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง แล้วจึงทำการแกะแม่พิมพ์
- 4) หลังจากแกะออกจากแบบแล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งในที่ร่ม 1 วัน
- 5) นำไปผึ่งแดด หรืออบแห้ง หรือผึ่งไว้ในที่ร่มให้แห้งสนิท ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย แล้วจึงนำเข้าเตาเผาตามปรกติ





รูปที่ 4.3 บรรยากาศการสาธิตเทคนิคการหล่อน้ำดินที่โรงงานอิฐ อปก. คาวคู (1988) จำกัด ตำบลบางปลาหมอ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลงานชิ้นงานดินหล่อแบบ และตัวอย่างหลังเผา

4.5 สรุปผลการทดลองและการถ่ายทอด

จากการทดลองเบื้องต้นดังกล่าว พอสรุปได้ว่า เนื้อดินจากโรงงานอิฐป่าโมก และโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่อำเภอบรรพตพิสัย สามารถนำมาเตรียมชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดินได้ค่อนข้างดี ผู้ผลิตให้ความสนใจทดลองทำการผลิตชิ้นงาน แต่เนื่องจากค่าการหดตัวเมื่อแห้งที่ค่อนข้างสูง อาจจะมีปัญหาสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ หรือซับซ้อน ซึ่งจะต้องมีการทดลองในลำดับต่อไป ส่วนดินจากแหล่งอำเภอลาดบัวหลวงและอำเภอไชโยไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการหล่อน้ำดิน เพราะจะต้องเตรียมน้ำดินที่มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีการหดตัวสูงและผลิตภัณฑ์ที่หล่อได้จะแตกหักเสียหายเป็นจำนวนมาก ยากต่อการนำไปผลิตจริง

บทที่ 5

การศึกษาองค์ประกอบของเตาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์

ด้วยเตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนาน

เตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนาน (Horizontal draught kiln) เป็นเตาเผาที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานเครื่องปั้นดินเผา ที่ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดใกล้เคียง เป็นเตาลักษณะเดียวกับเตามังกรที่นิยมใช้ในการเผาโถ่งและเครื่องปั้นดินเผาในแถบจังหวัดราชบุรี แต่มีขนาดเล็กกว่า จัดเป็นเตาพื้นแบบเดี่ยวที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง โดยปกติกระบวนการเผาประกอบด้วยกรรมไฟเพื่ออบไอน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ออกไปแห้ง การไล่ระดับความร้อนของเตาตามด้วยการขึ้นไฟใหญ่หรือการเร่งไฟหน้าเตาเพื่อให้ชิ้นงานบริเวณด้านหน้าเตาสุกตัวและมีความร้อนสะสมเพียงพอที่จะถ่ายเทความร้อนให้กับชิ้นงานในส่วนถัดไป การเร่งไฟดำเนินจากหัวเตาจนถึงท้ายเตาเพื่อให้ชิ้นงานทุกส่วนสุกตัวอย่างสม่ำเสมอ ตามด้วยการปิดเตา ขึ้นตอนต่างๆ ดังกล่าวเป็นขั้นตอนตามปกติของการเผาชิ้นงานเซรามิก ไม่ว่าจะเป็นเตาแบบโคหรือใช้เชื้อเพลิงชนิดใดก็ตาม แต่ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของเตาแต่ละชนิดในแต่ละห้องที่ ต้องมีการปรับให้เข้ากับลักษณะเตา ลักษณะผลิตภัณฑ์ ชนิดของเชื้อเพลิง คุณภาพของชิ้นงานที่ต้องการและสภาพอากาศ โดยมากแล้วสำหรับโรงงานที่ใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิงการควบคุมระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาจะอาศัยทักษะและความชำนาญของผู้ที่ควบคุมกระบวนการเผา (หรือในที่นี่อาจเรียกว่า "คนขึ้นไฟ" เป็นหลัก) ซึ่งช่างแต่ละคนอาจมีเทคนิคการขึ้นไฟแตกต่างกัน นอกจากนี้งานของคนขึ้นไฟมักจะรวมถึงการควบคุมการเรียงผลิตภัณฑ์ภายในเตาเพื่อให้บรรจุใส่เตาได้มากที่สุด โดยไม่รบกวนการไหลเวียนของลมร้อนในเตาอีกด้วย เทคนิคการขึ้นไฟและการบรรจุผลิตภัณฑ์นี้มีผลต่อการสุกตัวและความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ในส่วนต่างๆ ของเตา รวมถึงการแตกหักเสียหายระหว่างการเผา อันมีผลต่อราคาขายและต้นทุนการผลิตอย่างมาก

แม้ว่าเทคนิคการเผาจะมีการถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่นผ่านประสบการณ์ทำงานจริง คนขึ้นไฟโดยมากจะไม่ทราบข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของขั้นตอนต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาภูมิปัญญาพื้นถิ่นทั้งลักษณะพื้นฐานของเตา การกระจายความร้อนภายในเตา รูปแบบ และเทคนิคการเผา ด้วยกระบวนการและเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและเพิ่มความเข้าใจสำหรับการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพการผลิตด้วยเตาชนิดนี้ ได้ดียิ่งขึ้น โดยในการศึกษารั้งนี้ ได้เลือกเตาเผาที่ โรงงานสมโภชน์เครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นแหล่งศึกษา

5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของรูปแบบและเทคนิคการเผาต่อการกระจายความร้อนภายในเตาพื้นชนิดทางเดินลมร้อนขนานและสมบัติของชิ้นงานที่ได้

5.2 วิธีศึกษา

5.2.1 ทำการวัดมิติและศึกษาโครงสร้างเตา รวมถึงศึกษาเทคนิคการขึ้นไฟที่ทาง โรงงานใช้

5.2.2 ศึกษาการกระจายความร้อนภายในเตาโดยทำการวัดอุณหภูมิที่ระดับเพดานเตาตามตำแหน่งตามยาวต่างๆ รวม 8 ตำแหน่ง ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด S (ตามรูปที่ 5.2) ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล วัดและบันทึกอุณหภูมิทุก 1-15 วินาที การกระจายความร้อนภายในเตาประเมินจากโคนวัดอุณหภูมิ (Pyrometric cone) ที่ติดตั้งในตำแหน่งต่างๆ ของเตารวม 38 ตำแหน่ง (ตามรูปที่ 5.5) ทั้งนี้การวางโคนจะวางร่วมกับการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ตามปกติของผู้ผลิตเพื่อให้ได้ข้อมูลตามลักษณะการทำงานจริง

5.2.3 วัดค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความแข็งแรงและค่าการหดตัวหลังเผาของชิ้นงานทดสอบที่จัดเรียงในเตาที่ตำแหน่งเดียวกับโคนวัดอุณหภูมิ แท่งดินและชิ้นงานทดสอบเตรียมขึ้น โดยใช้เนื้อดินชนิดเดียวกับที่โรงงานใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

5.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตา โดยการชั่งน้ำหนักพินก่อนและหลังใช้งานเทียบกับน้ำหนักรวมผลิตภัณฑ์หลังเผาที่หาจากน้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงานหลังเผาแต่ละชนิด

5.2.5 วิเคราะห์ผลที่ได้รับ เพื่อทำแผนที่การกระจายความร้อนและรูปแบบการเผา

5.3 ผลการศึกษา

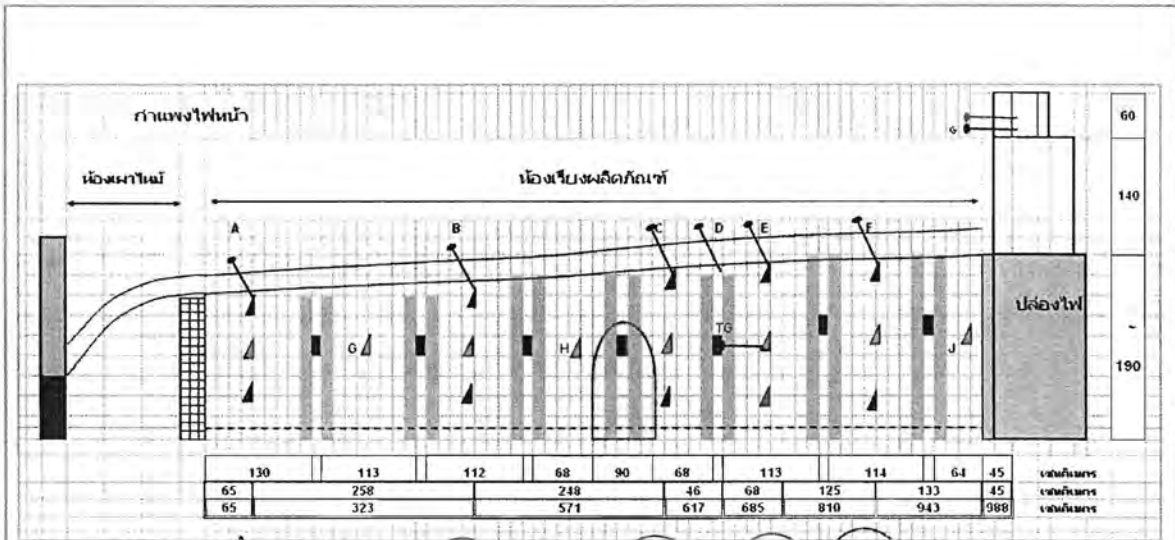
5.3.1 ลักษณะและโครงสร้างของเตาเผา

รูปที่ 5.1 และ 5.2 แสดงภาพและแผนภาพมิติภายในของเตาเผาที่โรงงานสมโภชน์เครื่องปั้นดินเผา ซึ่งเป็นเตาพื้นทางดินลมร้อนขนาดกลาง ตัวเตาก่อด้วยอิฐก่อสร้างที่ด้านนอกฉาบด้วยดินเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน มีความยาวจากหน้าเตาถึงปล่องประมาณ 13 เมตร ห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงไข่พื้นลาดยาวประมาณ 2 เมตร ด้านหน้ามีช่องไฟขนาดประมาณ 30 x 35 เซนติเมตร เรียงซ้อนกัน 2 ช่อง ห้องเผาไหม้ต่อกับห้องเรียงผลิตภัณฑ์โดยมีกำแพงไฟแบบรังผึ้งกั้นห้องเรียงชิ้นงานกว้างประมาณ 1.2-1.5 เมตร สูง 1.7-1.9 เมตร ยาวประมาณ 9.4 เมตร ผนังเตาหนาประมาณ 40 เซนติเมตร ต่อกับเพดานโค้งซึ่งมีความหนาประมาณ 25 เซนติเมตร พื้นลาดขึ้นจากหน้าเตาไปท้ายเตาเล็กน้อย มีประตูเตาอยู่ตรงกลาง มีตาไฟขนาดประมาณ 15 x 20 เซนติเมตร จำนวน 7 ตา แต่ละตาห่างกันประมาณ 1.2 เมตร กำแพงไฟด้านหลังเป็นแบบรังผึ้งมีช่องเปิดทางด้านล่างต่ำกว่าด้านบน โดยปกติการเรียงผลิตภัณฑ์จะวางบนขารับ เว้นระยะสูงจากพื้นเตาประมาณ 10-15 เซนติเมตร ซ้อนสลับเป็นชั้นจนเต็ม จากนั้นเรียงผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กตามรอยช่องว่างกับผนังและเพดานเตาจนเต็ม (ดังแสดงในภาพที่ 5.3) เว้นระยะผลิตภัณฑ์กับช่องตาไฟเพื่อป้องกันพื้นกระแทกชิ้นงานขณะใส่ไฟแรงไฟที่ตาข้าง



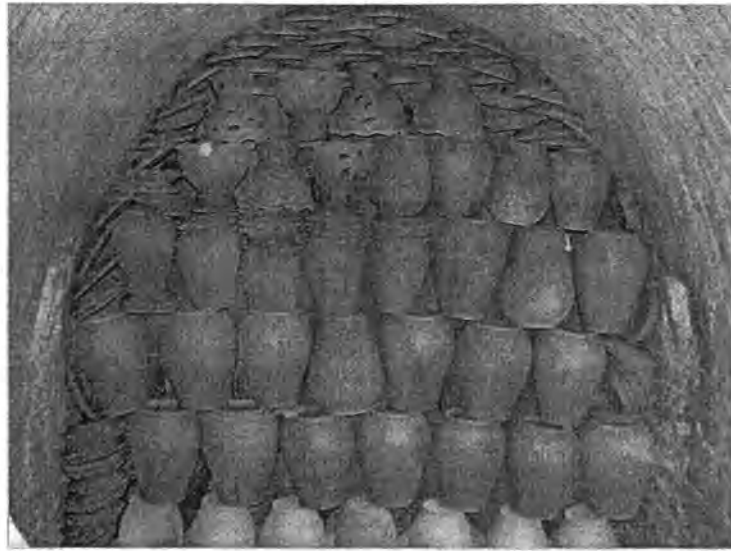
รูปที่ 5.1

รูปเตาเผาที่ใช้ศึกษาที่โรงงานสมโภชน์เครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

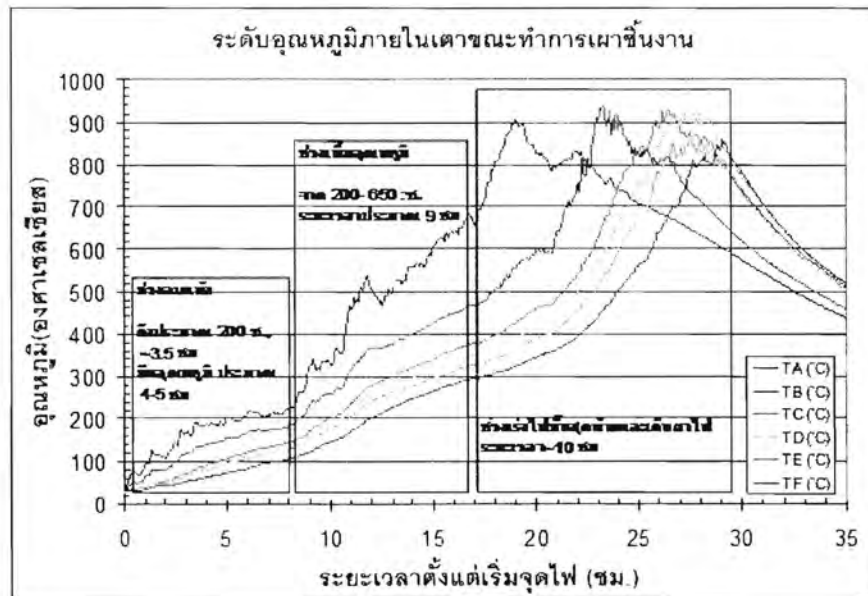


รูปที่ 5.2 แบบร่างมิตติภายใน ตำแหน่งประตูเตา และตำแหน่งของตาไฟ (สี่เหลี่ยมสีแดง) ของเตาเผาที่ใช้ศึกษา รวมถึงตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (แท่งสีน้ำเงินที่ตำแหน่ง A, B, C, D, E และ F) ตำแหน่งวางโคนวัดอุณหภูมิ และชิ้นงานทดสอบ ตามแนวด้านบน กลางและด้านล่างของเตา (สามเหลี่ยมสีน้ำตาล เขียวและส้ม ตามลำดับ)





รูปที่ 5.3 รูปแบบการจัดเรียงชิ้นงานในเตาเผา
โรงงานสมโภชน์เครื่องปั้นดินเผา ตำบลพระยาบันลือ
อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



รูปที่ 5.4 อุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งบน TM ตามแนวยาวของเตา
จากหัววัดอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ กัน

5.3.2 ขั้นตอนการเผาชิ้นงานและ การกระจายความร้อนภายในเตาเผา

ผลการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ระดับเพดานเตาที่เวลาต่าง ๆ จากเทอร์โมคัปเปิลสามารถสรุปได้ตามรูปที่ 5.4

ขั้นตอนการเผาโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงคือ

1) การรวมไฟเพื่ออบไล่น้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ออกไปแห้ง เริ่มจากการจุด วางฟืนขนาดใหญ่ไว้ที่ช่องไฟด้านล่าง (ปากล่าง) ของห้องเผา ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิโดยการเลื่อนฟืนเข้าไปในเตา จนลึกลงประมาณ 50 ซม. (อุณหภูมิที่วัดได้ประมาณ 200 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาประมาณ 3.5-4 ชั่วโมง จากนั้นย่นฟืนไว้ใช้นานประมาณ 4-5 ชั่วโมง

2) เมื่อได้ที่ทำกาไรระดับความร้อนของเตา โดยการเพิ่มจำนวนฟืนและเลื่อนระยะของฟืนเข้าห้องเผาให้ลึกขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิที่วัดได้ในช่วงนี้ เพิ่มจากประมาณ 200 เป็นประมาณ 650 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 9 ชั่วโมง

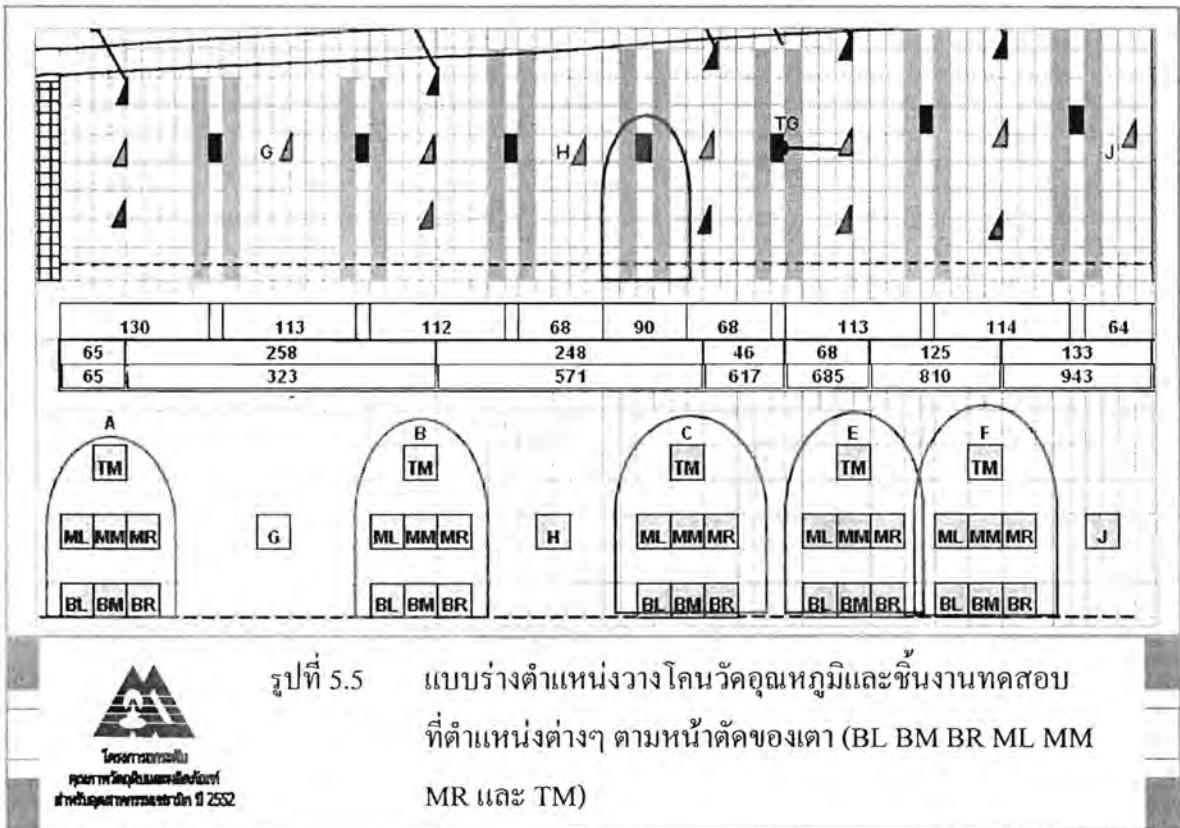
3) ขึ้นไฟใหญ่หรือการเร่งไฟหน้าเตาโดยการเติมฟืนกลางที่ปากบนของห้องเผา เลื่อนฟืนเข้าจนสุด และต้องเติมฟืนสม่ำเสมอ อุณหภูมิที่วัดได้เพิ่มจากประมาณ 650 เป็นประมาณ 900 องศา ใช้เวลาประมาณ 3.5-4 ชั่วโมง โดยมีการสังเกตสีของชิ้นงานที่ด้านหน้าเตาเป็นระยะๆ

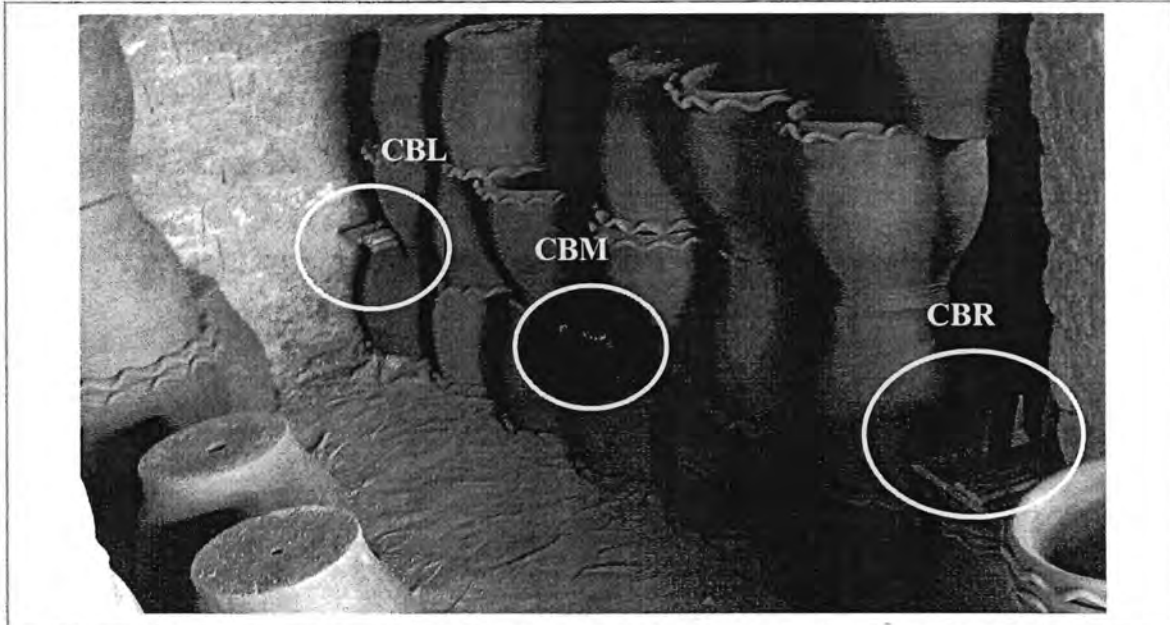
4) เมื่อชิ้นงานด้านหน้าเตาสุกตัว และชิ้นงานที่ตาไฟที่ 1 เริ่มปลั่งสีแดงเข้ม เริ่มเดินตาไฟข้าง โดยใช้ขนาดกลางถึงเล็กที่ยาวประมาณ 3 เมตร นานดลละประมาณ 1 ชั่วโมง การเดินตาไฟตาถัดไปต้องมีการดูสีผลิตภัณฑ์ก่อนทุกครั้ง ระหว่างที่เดินตาไฟข้างตาที่ 1 ถึง 3 ยังคงเลี้ยงไฟที่ห้องเผาเพื่อให้มีความร้อนเพียงพอ เมื่อสิ้นสุดการไฟตาข้าง พบว่าระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 850-915 องศาเซลเซียส รวมระยะเวลาที่ใช้ในการเดินไฟตาข้างประมาณ การเร่งไฟตาข้างก่อนทำการการปิดเตา รวมระยะเวลาการเผาประมาณ 28-30 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงประมาณ 12-24 ชั่วโมง ขึ้นกับความเร่งด่วนของการทำงาน

ตารางที่ 5.1 กระบวนการเผาเครื่องปั้นดินเผาที่ โรงงานสม โภชน์เครื่องปั้นดินเผา

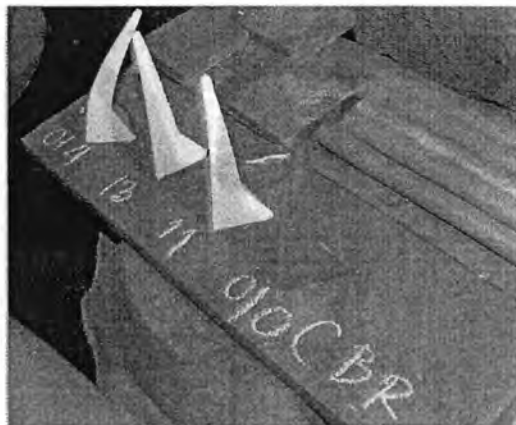
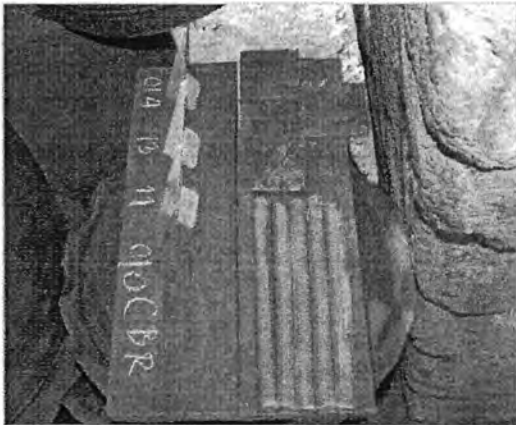
กิจกรรม	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A (องศาเซลเซียส)	หมายเหตุ
การรวมไฟเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์	8.5	200 - 220	ย่นไฟที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 4.5 ชั่วโมง
การขึ้นไฟหน้าเตา	9	ประมาณ 650	
การเร่งไฟหน้าเตา	3.5 - 4	ประมาณ 900	
การเร่งไฟตาข้าง	8	ประมาณ 820	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้น ตามแผนภาพ รูปที่ 5.3

สำหรับการศึกษาการกระจายความร้อนที่ชั้นงานที่ได้รับตามจุดต่างๆ ของเตา คณะผู้วิจัยทำการประเมินระดับความร้อนด้วยโคนวัดและจัดทำเป็นแผนภูมิอุณหภูมิของเตา โดยจัดวางโคนไว้ตามโซนของเตารวม 8 โซน คือ A, B, C, E, F, G, H และ J รวมทั้งสิ้น 38 จุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.5 โคนที่ใช้ประกอบด้วยโคนหมายเลข 015, 014, 013, 012, 011 และ 010 ซึ่งมีจะลิ่มที่อุณหภูมิ 818, 838, 861, 882, 894 และ 915 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้แต่ละตำแหน่งจะเลือกใช้โคน 4-5 หมายเลข โคนและชั้นงานทดสอบจะวางอยู่บนแผ่นรับวางขนานตามแนวการไหลของอากาศร้อนและความยาวเตา (ตามรูปที่ 5.6 และ 5.7) ระดับความร้อนของแต่ละตำแหน่งประเมินจากลักษณะของโคนที่ปรากฏภายหลังการเผา (ตามรูปที่ 5.8)

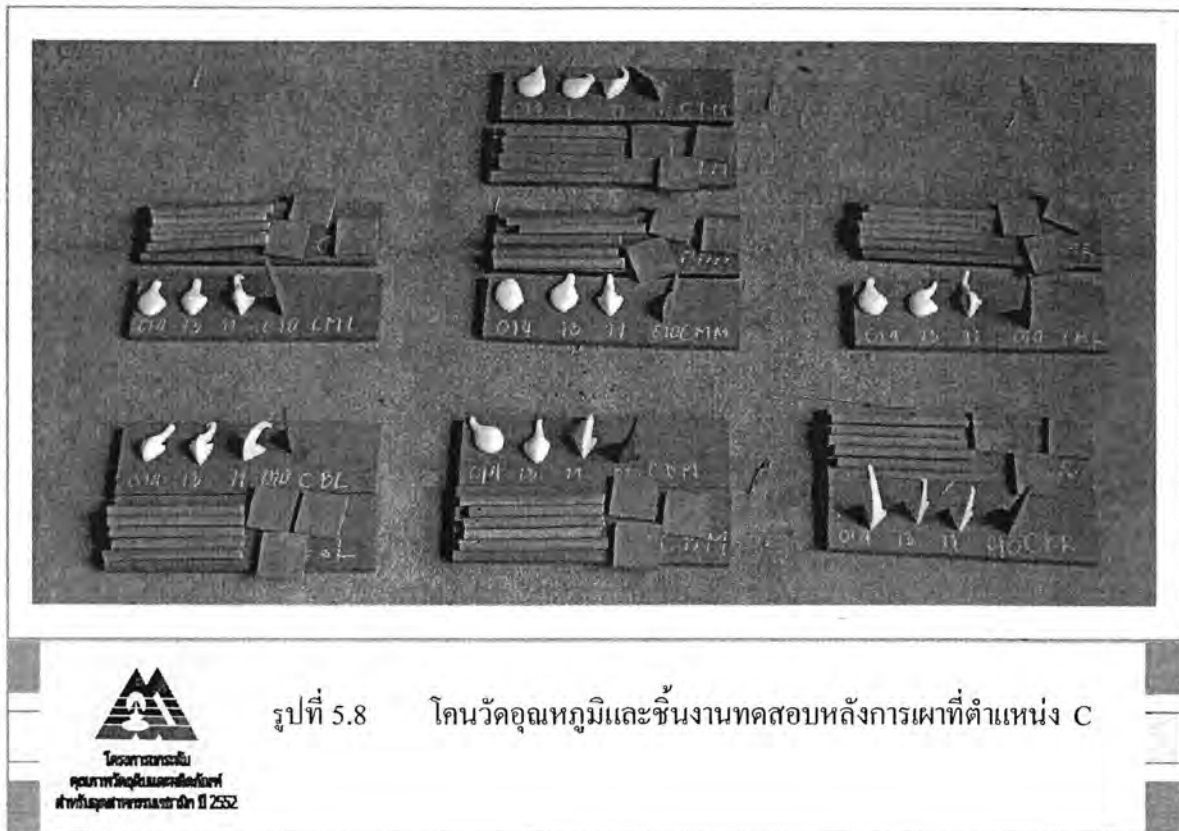




รูปที่ 5.6 การวางโคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่ง CBL
CBM และ CBR



รูปที่ 5.7 โคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่ง CBR
ก่อนเผา (ซ้าย) และเผา (ขวา)



รูปที่ 5.8 โคนวัดอุณหภูมิและชิ้นงานทดสอบหลังการเผาที่ตำแหน่ง C

จากการประเมินลักษณะการล้าของ โคนหลังการเผาสามารถสรุปเป็นแผนภาพระดับอุณหภูมิภายในเตาได้ตามภาพที่ 5.9 และ 5.10 ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นว่าที่โซน A บริเวณทางด้านล่างของเตา โดยเฉพาะด้านข้าง (อุณหภูมิต่ำกว่า 818 ถึงไม่เกิน 838 องศาเซลเซียส) มีระดับอุณหภูมิต่ำกว่าตำแหน่งอื่นของเตาอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเกิดจากที่อากาศร้อนจากห้องเผาใหม่ไหลสู่ด้านเพดานเตามากกว่าที่ด้านล่าง และบ่งชี้ว่า ชิ้นงานบริเวณนี้อาจไม่สุกตัวและน่าจะมีคุณภาพต่ำกว่าบริเวณอื่นของเตา

ระดับความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับใน โซน B, C, E, F, G และ J (ยกเว้นบริเวณด้านล่างของ โซน E และ F) ของเตาอยู่ในระดับใกล้เคียงกันและค่อนข้างสม่ำเสมอ ช่วงอุณหภูมิอยู่ประมาณ 894 ถึงมากกว่า 915 องศาเซลเซียส และบ่งชี้ว่าคุณภาพชิ้นงานในบริเวณนี้มีคุณภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดสมบัติชิ้นงานทดสอบ (ตารางที่ 5.2) โดยค่าการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาที่อยู่ในตำแหน่งได้รับความร้อนใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานที่ได้รับความร้อนสูงกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะ โซน E และ F จะมีค่าความแข็งแรงสูงขึ้น ขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.2 สมบัติหลังเผาของชิ้นงานทดสอบ

ตำแหน่งชิ้นงาน	การหดตัวหลังเผา (เปอร์เซ็นต์)	การดูดซึมน้ำหลังเผา (เปอร์เซ็นต์)	ความแข็งแรง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
CBL	8.14	16.06	3,325
EBL	8.55	15.64	3,648
FBL	8.71	16.26	4,141
CBM	8.18	14.91	4,150
EBM	8.14	7.84	5,101
FBM	8.87	11.53	5,319
CBR	7.88	14.72	2,047
EBR	8.79	12.47	4,414
FBR	8.73	11.94	3,967
CML	7.44	15.46	4,383
EML	8.57	15.23	4,831
FML	7.83	14.39	4,312
CMM	9.46	15.05	3,558
EMM	8.21	12.80	4,642
FMM	7.96	14.21	4,097
CMR	9.19	15.40	4,495
EMR	8.26	15.28	3,570
FMR	8.53	14.63	4,214
CTM	9.59	15.07	4,364
ETM	8.39	13.87	4,694
FTM	ไม่มีข้อมูล	12.24	3,461

อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่ง E และ F อยู่ที่ประมาณ 870 และ 860 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่โคนวัดบ่งชี้ (ประมาณ 894 ถึงมากกว่า 915) และต่ำกว่าอุณหภูมิจากเทอร์คัปเปิลที่โซน C (935 องศาเซลเซียส) ซึ่งบ่งชี้ว่าแนวการไหลของอากาศร้อนที่บริเวณด้านท้ายของเตาจะไหลลงจากเพดานเตาลงสู่ด้านล่าง ตามช่องเปิดของกำแพงไฟด้านหลังซึ่งมีพื้นที่เปิดทางด้านล่างมากกว่าด้านบน นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากลักษณะการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ที่มีการจัดวางชิ้นงานขนาดเล็กเรียงจนเต็มถึงผนังเตา (ตามภาพที่ 5.3) อีกด้วย

โซนที่มีระดับอุณหภูมิสูงที่สุดของเตาอยู่ที่ด้านล่างของโซน E และ F โดยพบว่าโซนหมายเลข 010 (ลุ่มตัวที่ 915 องศาเซลเซียส) หลอมละลายกลายเป็นหยดขนาดใหญ่ การประเมินระดับความร้อนของบริเวณดังกล่าวโดยการเปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานทดสอบที่เผาจากเตาในโรงงานกับชิ้นงานทดสอบที่เผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ บ่งชี้ว่าอุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวอาจสูงได้ถึงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงและค่าการดูดซึมน้ำแตกต่างจากชิ้นงานบริเวณอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ระดับความร้อนที่สูงในบริเวณนี้สันนิษฐานว่ามีสาเหตุจากความร้อนสะสมของผลิตภัณฑ์ การไหลของอากาศร้อนช่วงท้ายเตาและความร้อนสะสมจากเศษฟืนระหว่างการเผาจนถึงปิดเตา

ในภาพรวมระดับความร้อนที่ชิ้นงานได้รับในตำแหน่งต่างๆ อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยตามแนวกลางของเตาตั้งแต่ชั้นกลางถึงเพดานเตาจะมีระดับความร้อนสูงกว่าด้านข้าง และระดับความร้อนมีแนวโน้มจะเพิ่มจากด้านหน้าเตาไปทางท้ายเตา

5.3.3 การใช้พลังงานของเตา

ตารางที่ 5.3 และ 5.4 แสดงปริมาณฟืนที่ใช้เผาและการสรุปข้อมูลการใช้พลังงานของเตาในการเผาหนึ่งครั้งต้องใช้ฟืนประมาณ 1,900-2,000 กิโลกรัม คือน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังเผาประมาณ 3,300-3,600 กิโลกรัม หรือต้องใช้พลังงานประมาณ 5.59-6.10 เมกะจูลส์ต่อชิ้นงานหลังเผา 1 กิโลกรัม โดยในการเผา 1 ครั้งจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณ 3,100 กิโลกรัม

ตารางที่ 5.3 ปริมาณฟืนที่ใช้ในการเผา

ตำแหน่งช่องไฟ	น้ำหนักฟืนที่ใช้ (กิโลกรัม)
ปากเตา	893
ตาที่ 1	167
ตาที่ 2	177
ตาที่ 3	160
ตาที่ 4	164
ตาที่ 5	171
ตาที่ 6	143
ตาที่ 7	59
น้ำหนักฟืนที่ใช้รวม (กก.)	1,934

ตารางที่ 5.4 สรุปการใช้พลังงานของเตา

ปริมาณพลังงานในการใช้เตาเผา 1 ครั้ง	
น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังเผา (กิโลกรัม)	3,300-3,600
พลังงานจากฟืน (เมกะจูลส์ต่อกิโลกรัมชิ้นงานหลังเผา) *	20,113
พลังงานที่ใช้ในการเผาชิ้นงาน (เมกะจูลส์ต่อกิโลกรัมชิ้นงานหลังเผา)	5.59-6.10
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (กิโลกรัม)**	3,123.41

* Estimated energy content in hard wood at 14.89 MJoules / kg at 70% energy recoverable. (2)

** Estimated from 1.9 kg CO₂ produced per 1 kg dried wood and 15% moisture content in wood used in the experiment. (3)

5.4 สรุปผลการศึกษา

กระบวนการเผาโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 29-30 ชั่วโมงต่อรอบ ใช้ฟืนประมาณ 1,900 กิโลกรัมต่อการเผาผลิตภัณฑ์ประมาณ 3,300-3,600 กิโลกรัม การกระจายความร้อนภายในเตาเผาค่อนข้างสม่ำเสมอตั้งแต่ช่วงตาไฟที่ 2 ถึงท้ายเตา โดยอุณหภูมิในส่วนกลางเตาอยู่ในช่วง 860 ถึงมากกว่า 915 องศาเซลเซียส ที่ตำแหน่งการเผาทางด้านหน้าเตาโดยเฉพาะที่ส่วนพื้นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอื่นอันเป็นผลมาจากทิศทางการไหลของอากาศร้อน ขณะที่ส่วนพื้นที่โชนด้านหลังของเตาจะมีระดับความร้อนสูงกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้ระดับความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับในแต่ละตำแหน่ง มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังเผา

บทที่ 6

การพัฒนาเคลือบไฟฟ้าไร้สารตะกั่ว

การเคลือบผลิตภัณฑ์ดินเผาจะต้องใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก อยู่ในช่วงต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่พยายามศึกษาการเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส โดยมุ่งหวังการลดใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ในอดีตการเคลือบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส จะต้องอาศัยตะกั่วออกไซด์เป็นองค์ประกอบในเคลือบ แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารที่มีอันตรายร้ายกาจ ดังนั้นความนิยมใช้จึงลดลงแม้เคลือบที่ได้จะให้ผิวเคลือบเรียบและมีความมันวาวก็ตาม นอกจากนี้การนำเคลือบดิบไปหลอมให้เป็นแก้วหรือที่เรียกว่าการทำฟritก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนา มาใช้กับผลิตภัณฑ์เคลือบตะกั่วเพื่อช่วยลดความเป็นพิษของสารตะกั่ว

นอกจากตะกั่วออกไซด์ที่ใช้เป็นฟลักซ์ในการลดอุณหภูมิสุกตัวของเคลือบแล้ว โบรอน (B) และ ลิเทียม (Li) ก็จัดอยู่ในประเภทสารช่วยลดจุดสุกตัวของเคลือบได้ดีเช่นกัน ดังนั้นการพัฒนาเคลือบไฟฟ้าไร้สารตะกั่วในโครงการนี้จึงมีเป้าหมายในการใช้โบรอนและลิเทียมเป็นฟลักซ์ทั้งในเคลือบใสและเคลือบทึบ

6.1 วัตถุประสงค์

ศึกษาปริมาณของ โบรอนและลิเทียมที่ใช้เป็นฟลักซ์ในการผลิตเคลือบฟrit ที่มีจุดสุกตัวในช่วงอุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ในแหล่งเป้าหมายภาคกลาง

6.2 วัสดุดิบ

- 1) บอแรกซ์
- 2) โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์
- 3) แคลไซต์
- 4) โซเดียมคาร์บอเนต
- 5) ลิเทียมคาร์บอเนต
- 6) ดินขาว
- 7) ซิงค์ออกไซด์
- 8) ฟลินต์

6.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ตะแกรง ขนาด 80 เมช
- 2) ถังน้ำ หรืออ่างน้ำ
- 3) ถุงมือและหน้ากากกันความร้อน
- 4) ถ้วยครุชชีเบิล
- 5) ที่ตักถ้วยครุชชีเบิล (ทนความร้อน)
- 6) หม้ออบค พร้อมลูกอบค
- 7) โกร่ง
- 8) กระจกตวง
- 9) บีกเกอร์
- 10) เครื่องบดความเร็วสูง
- 11) ฟองน้ำ

6.4 วิธีการทดลอง

6.4.1 การเตรียมฟريت

- 1) กำหนดสูตรฟريتเคลือบไฟฟ้าโดยแปรเปลี่ยนสัดส่วนของตัวช่วยหลอม (Flux) ตามตารางที่ 6.1 แล้วคำนวณหาปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้
- 2) นำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช
- 3) หลอมฟريتตามสูตรฟريتที่อุณหภูมิ 1,200-1,500 องศาเซลเซียส ในเตาแก๊ส
- 4) เทฟريتที่หลอมลงในอ่างน้ำ
- 5) กรองคัดแยกฟريتออกจากน้ำ แล้วนำไปอบแห้ง
- 6) นำฟريتที่ได้ไปผ่านกระบวนการบดด้วยเครื่องบด Ball mill
- 7) ร้อนฟريتผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการเคลือบ

ตารางที่ 6.1 องค์ประกอบตามสัดส่วนโดยน้ำหนักของฟริตเคลือบไฟคำสูตรต่างๆ

สูตร	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	CaO	BaO	ZnO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂	ZrO ₂	TiO ₂	F
F1/3-1	7.00	n.a.	n.a.	8.11	n.a.	2.58	4.87	16.62	60.81	n.a.	n.a.	n.a.
F1	6.50	n.a.	n.a.	7.52	n.a.	2.39	3.29	15.42	54.97	9.91	n.a.	n.a.
F2	7.62	n.a.	n.a.	8.82	n.a.	2.81	3.86	18.09	58.80	n.a.	n.a.	n.a.
F3	8.03	1.07	n.a.	13.44	n.a.	n.a.	3.50	17.06	56.90	n.a.	n.a.	n.a.
F4	8.74	3.61	n.a.	13.88	n.a.	n.a.	6.10	19.74	47.93	n.a.	n.a.	n.a.
F5	7.51	n.a.	n.a.	8.70	n.a.	n.a.	3.17	17.83	62.80	n.a.	n.a.	n.a.
F6	7.61	n.a.	n.a.	8.82	n.a.	n.a.	2.57	18.08	62.92	n.a.	n.a.	n.a.
F7	7.95	n.a.	n.a.	9.21	n.a.	n.a.	3.36	18.88	60.60	n.a.	n.a.	n.a.
F8	7.84	n.a.	n.a.	9.08	n.a.	2.89	2.65	18.61	58.94	n.a.	n.a.	n.a.
F9	5.64	5.61	n.a.	2.01	6.20	28.51	2.54	22.53	26.96	n.a.	n.a.	n.a.
F10	8.74	4.53	n.a.	n.a.	11.35	7.51	3.78	n.a.	64.09	n.a.	n.a.	n.a.
F11	5.46	7.80	n.a.	11.06	n.a.	n.a.	8.50	12.33	54.85	n.a.	n.a.	n.a.
F12	17.50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5.47	n.a.	77.04	n.a.	n.a.	n.a.
F13	9.17	n.a.	n.a.	1.91	6.089	28.09	2.32	20.70	31.73	n.a.	n.a.	n.a.
F14	14.77	n.a.	n.a.	3.33	n.a.	n.a.	1.52	n.a.	80.38	n.a.	n.a.	n.a.
F15	4.16	4.52	n.a.	6.43	n.a.	2.44	8.39	11.11	54.95	8.00	n.a.	n.a.
F16	19.10	n.a.	n.a.	2.07	n.a.	21.96	2.51	n.a.	35.12	n.a.	19.23	n.a.
F17	19.06	n.a.	n.a.	2.07	n.a.	21.91	2.51	n.a.	35.04	n.a.	19.18	0.23
F18	6.33	n.a.	n.a.	7.33	n.a.	2.33	4.40	15.02	54.94	9.65	n.a.	n.a.
FA	17.45	15.88	n.a.	6.31	n.a.	n.a.	5.74	3.94	50.68	n.a.	n.a.	n.a.
FL	1.86	2.82	n.a.	11.93	n.a.	n.a.	14.49	18.74	50.15	n.a.	n.a.	n.a.
FLH	11.70	6.00	11.00	n.a.	n.a.	n.a.	6.30	13.20	51.80	n.a.	n.a.	n.a.
FL1	21.51	5.67	5.36	n.a.	n.a.	n.a.	5.96	12.49	49.01	n.a.	n.a.	n.a.
FL2	9.80	28.87	1.60	n.a.	n.a.	n.a.	5.28	11.06	43.39	n.a.	n.a.	n.a.
FL3	10.08	29.72	1.65	n.a.	n.a.	n.a.	4.08	11.38	43.08	n.a.	n.a.	n.a.

6.4.2 การเตรียมน้ำเคลือบ

- 1) นำส่วนผสมของเคลือบใส่ในหม้ออบแล้วเติมน้ำในสัดส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก
- 2) บดส่วนผสมเคลือบด้วยเครื่องบดความเร็วสูง เป็นเวลานาน 15 นาที
- 3) ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบและปรับให้อยู่ในช่วง 1.4-1.5 กรัมต่อลูกบาศก์

เซนติเมตร

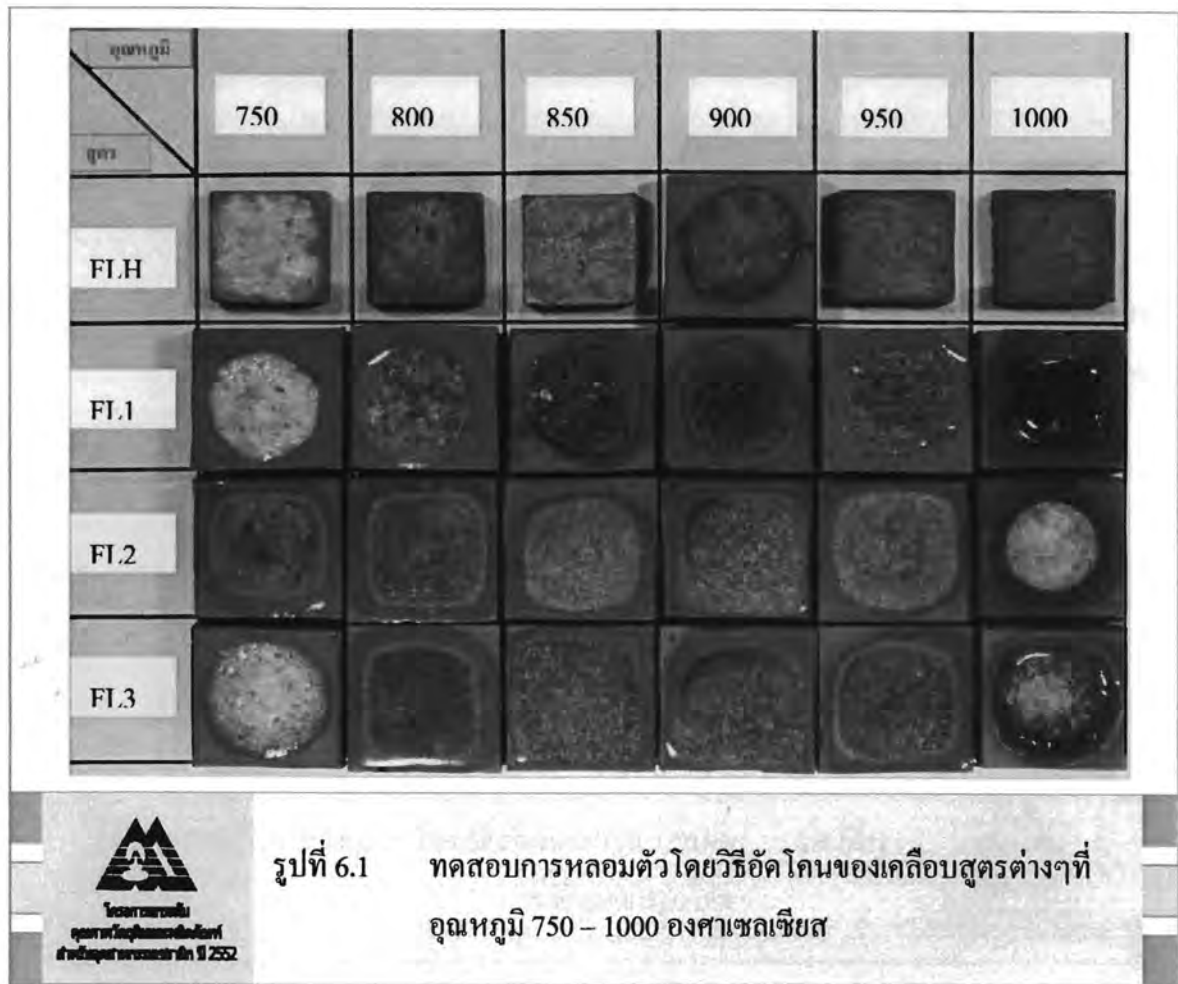
6.4.3 การชุบเคลือบและเผา

- 1) เตรียมแผ่นทดสอบจากเนื้อดินปั้น ขนาด 4x4 เซนติเมตร เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส
- 2) นำแผ่นชิ้นงานที่ผ่านการเผาบิสกิตมาทำความสะอาดโดยเช็ดด้วยฟองน้ำเปียกหมาด
- 3) นำแผ่นชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วชุบเคลือบโดยวิธีการจุ่มในน้ำเคลือบ
- 4) นำแผ่นที่ชุบเคลือบที่แห้งแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 5) เผาแผ่นเคลือบที่อุณหภูมิ 750, 800, 850, 900, 950 องศาเซลเซียส โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาต่อนาที และเซไว้ที่อุณหภูมิเผานาน 30 และ 45 นาที

6.5 ผลการทดลอง

6.5.1 การหลอมฟrit

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เช่น บอแรกซ์ โซเดียมคาร์บอเนต เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงต้องนำวัตถุดิบเหล่านี้มาทำการหลอมให้เป็นฟritเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จากการทดลองหลอมฟritสูตรต่างๆ ในเตาแก๊ส ที่อุณหภูมิ 1,200-1,500 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 1,200-1,300 องศาเซลเซียส และมีลักษณะเป็นแก้วใส แต่สำหรับฟrit FL หลอมตัวได้ที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจาก Al_2O_3 ซึ่งมีความทนไฟสูง ปริมาณมากถึงร้อยละ 14.49 แต่ในการทดลองหลอมฟrit แต่ละสูตรต้องใช้เวลามาก ดังนั้นในการคัดเลือกสูตรฟritจึงทำการทดสอบการหลอมตัวของฟrit โดยการอัดเป็นโคนแล้วเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ในเตาเผาไฟฟ้า พบว่า ฟrit FLH ไม่ให้ความเป็นมันวาวของแก้วในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาดังแต่ 750-1,000 องศาเซลเซียส (รูปที่ 6.1) จึงไม่ได้คัดเลือกมาหลอมเป็นฟritเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการเคลือบ ส่วนฟrit FL1, FL2 และ FL3 จะหลอมได้ที่อุณหภูมิประมาณ 750-1,000 องศาเซลเซียส ให้ความเป็นมันวาวของแก้ว โดย FL1 จะหลอมตัวและไหลได้ดีที่อุณหภูมิ 950-1,000 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เนื้อแก้วมีการไหลตัวได้น้อยกว่า FL2 และ FL3 ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะสูตร FL2 และ FL3 มาทำการศึกษาการเคลือบผลิตภัณฑ์



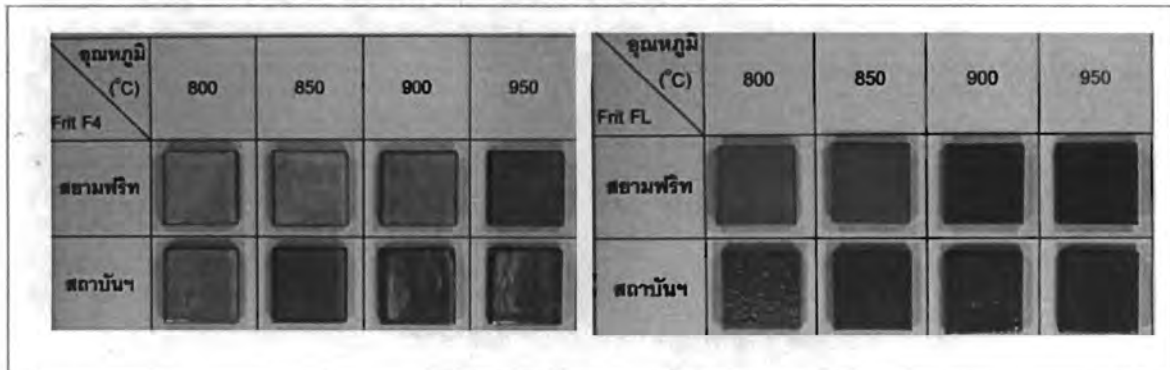
ตารางที่ 6.2 พบว่า ปริมาณธาตุองค์ประกอบในฟritบางส่วนเกิดการระเหยไปในระหว่างการหลอม โดยเฉพาะ โพแทสเซียม (K_2O) และ โบรอน (B_2O_3) ในกรณีของ MgO , BaO , ZnO , ZrO_2 , TiO_2 ปรากฏเพิ่มเติมเป็นผลมาจากการปนเปื้อนมาจากดินและเฟลด์สปาร์

ตารางที่ 6.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟritก่อนเผาและหลังเผา (F)

สูตร	Na_2O	K_2O	Li_2O	CaO	MgO	BaO	ZnO	Al_2O_3	B_2O_3	SiO_2	ZrO_2	TiO_2
F4	8.74	3.61	n.a.	13.88	n.a.	n.a.	n.a.	6.10	19.74	47.93	n.a.	n.a.
F4 (F)	9.79	2.69	n.a.	14.67	0.14	0.05	0.004	6.52	16.80	49.54	0.01	0.02
FL	1.86	2.82	n.a.	11.93	n.a.	n.a.	n.a.	14.49	18.74	50.15	n.a.	n.a.
FL (F)	2.55	2.20	n.a.	12.42	0.67	0.04	0.002	14.80	14.93	53.09	0.01	0.03
FL3	10.08	29.72	1.64	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4.08	11.38	43.08	n.a.	n.a.
FL3 (F)	15.47	23.38	6.51-y	0.193	n.a.	0.01	n.a.	6.77	6.51-x	47.87	0.01	0.04

6.5.2 การเคลือบดินแดงด้วยฟrit ไฟต่ำ

เมื่อนำฟrit ที่ได้มาเติมดินขาวในปริมาณร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนัก ทำการบดและชุบเคลือบบนแผ่นตัวอย่าง แล้วเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 800 -950 องศาเซลเซียส พบว่า เคลือบฟrit F4 และ FL จะสุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสและเซไ้ไว้นาน 45 นาที ดังรูปที่ 6.2 และเมื่อนำฟrit F4 ผสมกับ FL ในสัดส่วนต่างๆ จะพบว่า เมื่อผสม F4 1 ส่วน กับ FL 1 ส่วน โดยน้ำหนักจะได้เคลือบที่บวมและสุกตัวที่อุณหภูมิ 900-950 องศาเซลเซียส และเมื่อสัดส่วน FL มากขึ้นเป็น 9 ส่วน ต่อ F4 1ส่วน โดยน้ำหนัก จะได้เคลือบที่มีลักษณะเป็นมันวาว เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900-950 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 6.3และ6.4



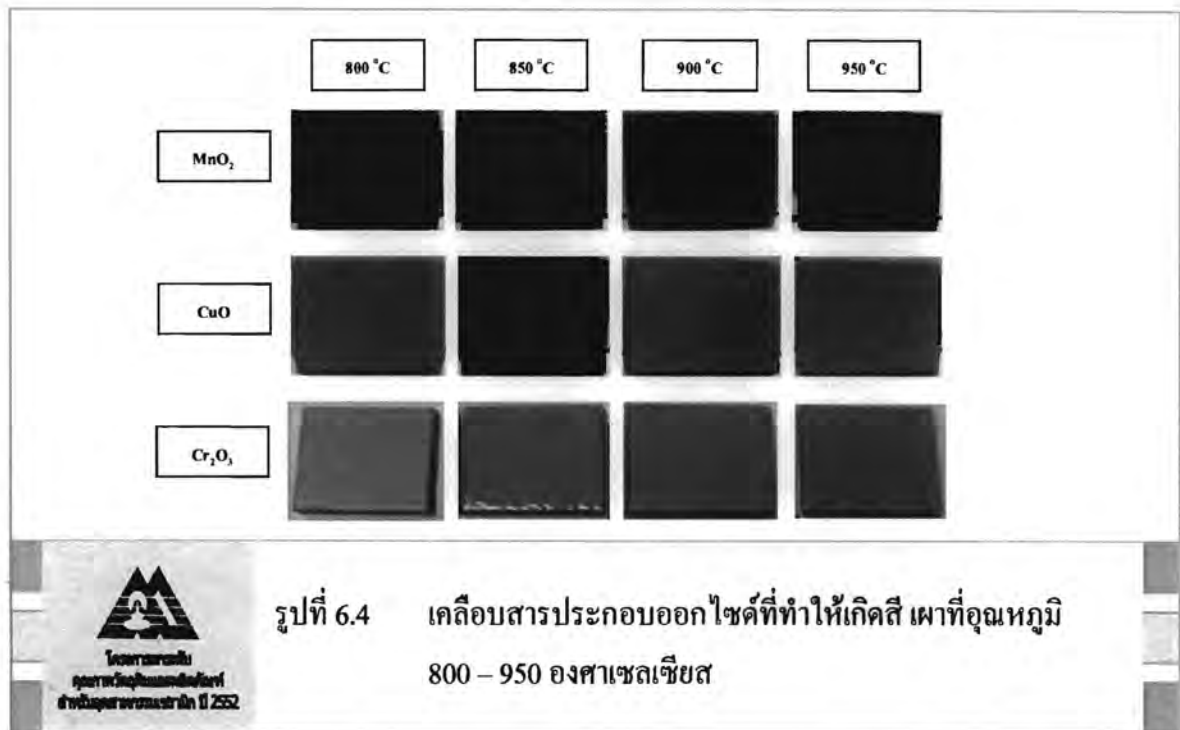
โครงการพัฒนา
คุณภาพผลิตภัณฑ์
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2552

รูปที่ 6.2 ทดสอบการหลอมตัวของเคลือบสูตรต่างๆที่อุณหภูมิ 800 – 950 องศาเซลเซียส

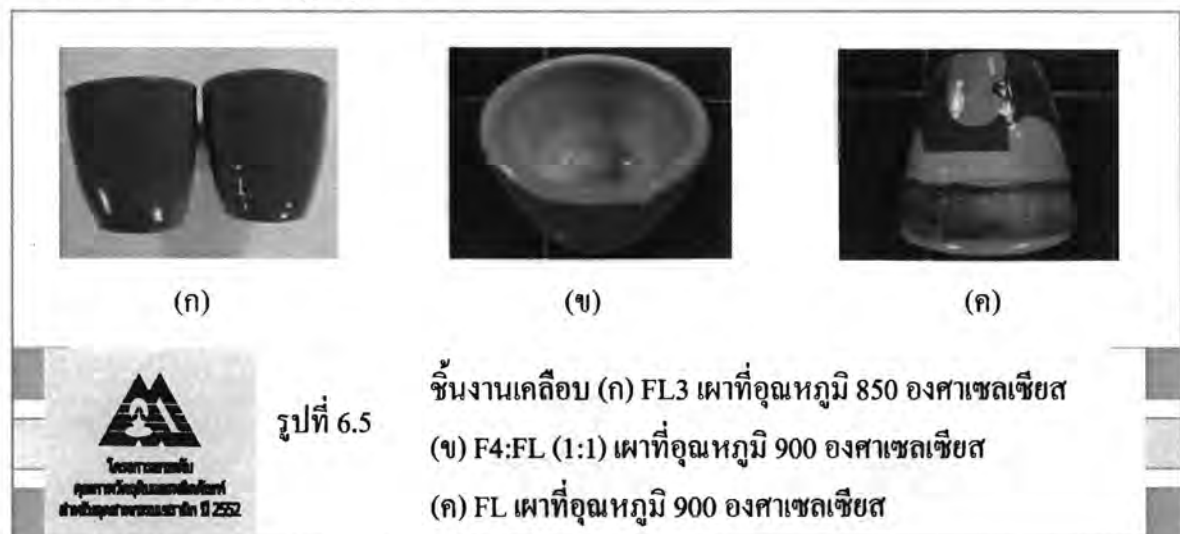


โครงการพัฒนา
คุณภาพผลิตภัณฑ์
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2552

รูปที่ 6.3 ชิ้นงานเคลือบ F4 ผสมกับ FL ในสัดส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 800 – 950 องศาเซลเซียส



ส่วนเคลือบฟrit FL1, FL2 และ FL3 จะสุกตัวที่อุณหภูมิ 800-850 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ฟrit FL1 และ FL2 จะพบปัญหาในเรื่องของการไหลตัวของเคลือบไม่สม่ำเสมอ ในที่นี้จึงเลือกใช้ฟrit FL3 มาเคลือบชิ้นทดสอบ ดังปรากฏในรูปที่ 6.5



6.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพัฒนาเคลือบฟrit ไฟดำที่ปราศจากสารตะกั่วสามารถใช้ บรอนออกไซด์ทดแทนได้ และต้องเติมลิเทียมออกไซด์ช่วยลดจุดสุกตัวของเคลือบ ทำให้เคลือบสุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 800-850 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ในการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ดินแดงจะต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมในการลดปัญหาการแตกรานของเคลือบชนิดนี้

บทที่ 7

การตกแต่งเคลือบผิวดินเผาเพื่อตกแต่งกลิ่นตะไคร้หอม

แนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์ดินเผาอุณหภูมิต่ำ ซึ่งโดยปกติจะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หรือภาชนะใช้สอยในครัวเรือนที่มีมูลค่าไม่สูงมาก ราคาต่อชิ้นไม่เกิน 20-30 บาท มาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทของที่ระลึกหรือของขวัญระดับตกแต่ง ที่นอกจากจะมีรูปลักษณะที่สวยงามน่าซื้อและขายได้ราคาดีกว่า โดยการเพิ่มสมบัติพิเศษ ในการมีกลิ่นหอม อาทิ กลิ่นของตะไคร้หอมที่ช่วยไล่แมลง ยุง หรือ กลิ่นมะลิ เป็นต้น โดยอาศัยเทคนิคการเคลือบด้วยแคลเซียมพอลิเมอร์ระดับนาโนที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยที่ช่วยกักเก็บกลิ่นให้คงอยู่ที่ภาชนะทั้งภายในและภายนอกได้ยาวนานกว่าปกติ โดยเมื่อเทียบกับกับการใส่เครื่องหอมโดยทั่วไป กลิ่นจะคงอยู่ที่ผิวและส่งกลิ่นในช่วงระยะเวลาที่ใส่เครื่องหอม (ดอกไม้หอม, บุหงารำไป) ซึ่งโดยธรรมชาติของภาชนะดินเผาเองสามารถกักเก็บกลิ่นหอมได้อยู่แล้ว จากกลไกการดูดซับที่ผิวหรือโครงสร้างที่มีรูพรุน แต่กลิ่นจะคงอยู่ได้ในระยะเวลาจำกัดเนื่องจากไม่มีกลไกการยึดกักเก็บกลิ่นที่ดีเมื่อเทียบกับการใช้แคลเซียมพอลิเมอร์ระดับนาโนที่สามารถกักเก็บได้ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า

ชิ้นงานตัวอย่างที่เลือกศึกษา ได้จากแหล่งดินตัวอย่าง (อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง และอำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์) ที่มีการผสมดินตะกอนน้ำประปาในสัดส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเตรียมขึ้นรูปด้วยวิธีเป็นหมุน ทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยประมาณ

7.1 วัตถุประสงค์

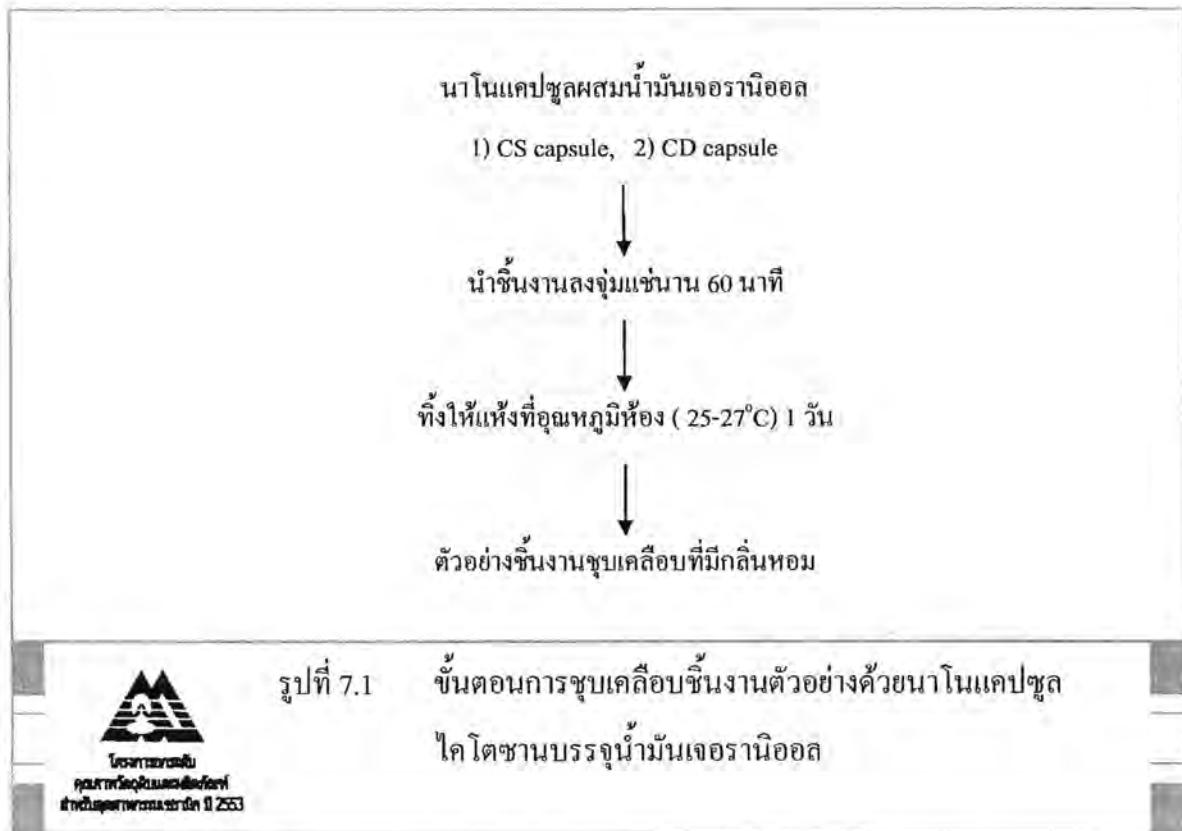
เพื่อต้องการเตรียมนาโนแคลเซียมจากไคโตซานบรรจุน้ำมันเจอร์านีโอล ซุปเคลือบภาชนะดินเผาเพื่อยืดระยะเวลาการคงอยู่ของกลิ่นหอมได้นานเกินกว่า 15 วัน

7.2 การทดลอง

7.2.1 เตรียมนาโนแคลเซียมไคโตซานที่บรรจุน้ำมันเจอร์านีโอลจากตะไคร้หอม ด้วยกระบวนการอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

7.2.2 ซุปเคลือบชิ้นงานตัวอย่างภาชนะดินเผา (ตามรูปที่ 7.1)

7.2.3 ทดสอบประสิทธิภาพการคงอยู่ของกลิ่นในสภาวะปกติ อุณหภูมิห้อง



7.3 สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัย ได้ทำการนำนาโนแคปซูลของโกลโดซานที่บรรจุน้ำมันเจอร์รานีโอลจากตะไคร้หอม ซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 200 นาโนเมตร ที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) และทำการเคลือบภาชนะดินเผาตัวอย่าง ทั้ง 3 แห่ง ซึ่งมีการผสมดินตะกอนน้ำประปา ซึ่งได้จากโครงการเพิ่มมูลค่าตะกอนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปา มาผ่านการพ่นแห้ง (spray dry) เพื่อให้ได้เม็ดดินที่ละเอียด จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาเซรามิก แล้วใช้เป็นส่วนผสมในดินเหนียวสำหรับทำเครื่องปั้นดินเผาในอัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลิตภัณฑ์ดินเผาที่มีความทนทาน แข็งแรง และกักเก็บความชื้นได้ดีกว่าดินเผาทั่วไป โดยมีแหล่งดินที่เตรียมภาชนะดินเผาเพื่อการตกแต่งเคลือบกลิ่นหอมในที่นี้คือ

1. อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (BL)
2. อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง (CY)
3. อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์ (BP)

ตารางที่ 7.1 สมบัติทางกายภาพของชิ้นงานภาชนะดินเผาที่เตรียมได้หลังเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

ชนิดดินตัวอย่าง	ค่าการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก (ตารางเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
ไม่ผสมดินตะกอนนาโน			
ไซโย, CY	15.26	10.02	35.21
บรรพตพิสัย, BP	18.04	10.57	33.54
หลังผสมดินตะกอนน้ำประปา			
ไซโย, CY	28.21	16.94	45.5
บรรพตพิสัย, BP	33.23	18.45	43.8

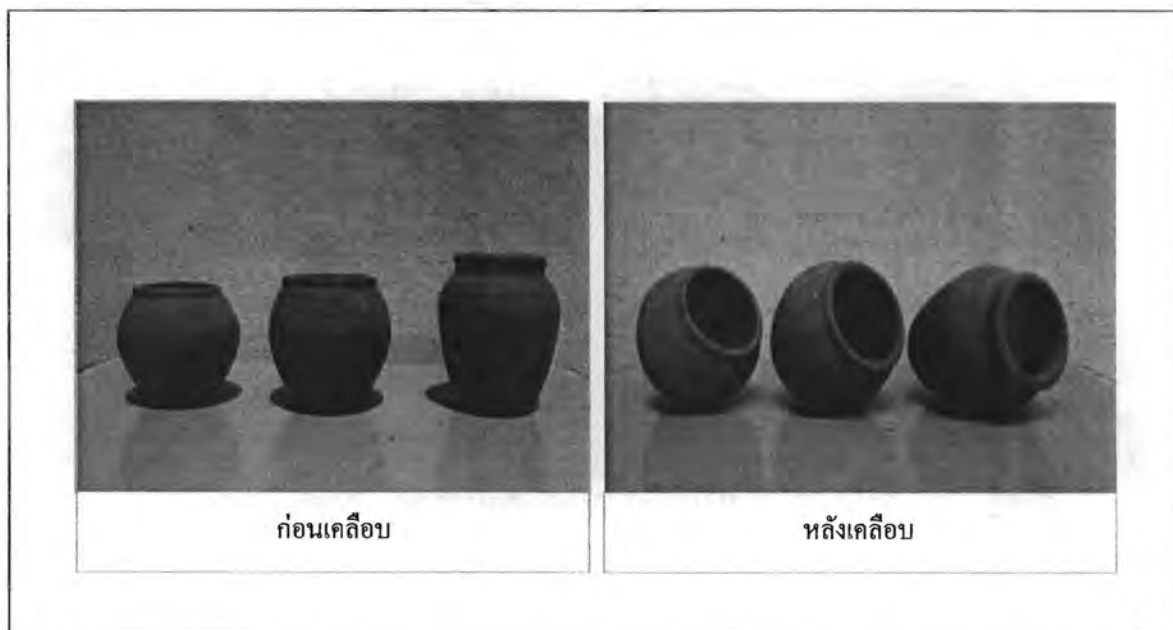


ในการทดลองนี้ได้พัฒนาสูตรในการเตรียมนาโนอิมัลชันที่มีโคโคซานเป็นส่วนประกอบหลักและปรับในส่วนของการช่วยความคงตัวให้แคปซูลพอลิเมอร์เพื่อสรุปเป็นส่วนผสมที่เหมาะสม และพิจารณาเลือกจากสูตรที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือสูงสุดที่เวลาทดสอบ 15 วัน ได้ผลดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ปริมาณน้ำมันเจอร์รานีออกคงเหลือจากแคปซูลสูตรต่างๆที่เตรียมได้

สูตรผสม	ประสิทธิภาพการกักเก็บ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณน้ำมันเจอร์รานีออกคงเหลือ ในสภาวะบรรยากาศเปิด ที่อุณหภูมิห้อง หลังผ่านไป 15 วัน(เปอร์เซ็นต์)
โคโคซาน	35	25.8
โคโคซาน / CD	33	18.4
โคโคซาน / TPP	40	26.7

จากการทดลองพบว่า นาโนแคปซูลจากโคโคซานที่ผ่านการเชื่อมขวางด้วย ไทรพอลิฟอสเฟต หรือ TPP สามารถกักเก็บน้ำมันเจอร์รานีออกได้ในปริมาณร้อยละ 40 และสามารถควบคุมการปล่อยกลิ่นหอมอย่างต่อเนื่องได้นานถึง 15 วัน ในสภาพตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศเปิดที่อุณหภูมิประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำมันคงเหลือ สูงกว่าสูตรอื่นๆ และนอกจากนี้การเคลือบผิวด้วย นาอิมัลชันดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ ดังจะพบได้ว่าสีไม่เปลี่ยนแปลงไปไป ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 ตัวอย่างชิ้นงานดินเผาก่อนและหลังเคลือบ
ด้วยไมโครแคปซูลพอลิเมอร์

บทที่ 8

การศึกษาผลของวิธีการตากแห้งต่อการลดความชื้นและความเสียหายของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา

การตากแห้ง เป็นวิธีการไล่น้ำออกจากผลิตภัณฑ์หลังขึ้นรูปเสร็จแล้ว ซึ่งการตากแห้งที่ดีควรทำให้น้ำระเหยออกไปอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการแตกร้าว โดยทั่วไปการตากแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ มักทำการป็นในที่ที่ไม่มีลมโกรก หรือไม่ให้อุณหภูมิมากเกินไป หลังป็นเสร็จสิ่งในที่มีระยะเวลาหนึ่งก่อนเอาออกตากแดด นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์การหดตัวของผลิตภัณฑ์ในทิศทางต่างๆ ด้วย หากผลิตภัณฑ์มีรูปทรงซับซ้อนความหนาแน่นในแต่ละบริเวณอาจมีค่าแตกต่างกัน เมื่อเริ่มหดตัวจะทำให้มีค่าที่แตกต่างกันไป ทำให้เกิดการดึงกันจนเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาการร้าวได้

กระบวนการตากแห้งของผลิตภัณฑ์

หลังจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ปริมาณน้ำในเนื้อดินมีค่ามากใกล้ถึงจุดอิ่มตัว เมื่อนำมาตากแห้งน้ำที่อยู่ผิวของผลิตภัณฑ์จะระเหยออกไปก่อน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวบริเวณผิวชั้นนอก เมื่อปริมาณน้ำมีมากการหดตัวจะเกิดขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ต้องควบคุมสภาวะการตากแห้งให้อุณหภูมิไม่สูงขึ้นเร็วเกินไป และถ้าเป็นไปได้ควรควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้ต่ำมากเกินไป เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างของปริมาณน้ำ ในอากาศกับปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ ถ้าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวผลิตภัณฑ์มาก อัตราการหดตัว บริเวณผิวผลิตภัณฑ์จะมากกว่าภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดแรงเครียด ส่งผลให้มีการดึงซึ่งกันและกันระหว่างอนุภาคของเนื้อดิน ถ้าแรงเครียดในเนื้อดินมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลของดินจะเกิดการแตกร้าวในที่สุด

การแตกร้าวในผลิตภัณฑ์สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งกระบวนการผลิต ตั้งแต่การเตรียมเนื้อดิน การขึ้นรูป การตากแห้ง หรือในช่วง pre-heating ของการเผา การแตกร้าวที่เกิดขึ้นไม่ว่าก่อนเผาหรือหลังเผาแล้วแต่เกิดจากความเครียดที่เกิดขึ้นในเนื้อดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดิน ความชื้นภายในเนื้อดินขณะตากแห้ง การหดตัวและการขยายตัวในช่วงอุณหภูมิต่างๆ หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ฯลฯ จึงทำให้ลักษณะการแตกร้าวที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน

สาเหตุของการแตกร้าว

การแตกร้าวส่วนใหญ่เกิดจากแรงเครียด (strain force) ภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสาเหตุหนึ่งมาจากขั้นตอนการตากแห้ง ดังนั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนนี้ ได้แก่ ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิในการตากแห้ง เวลาในการตากแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การหดตัวในตำแหน่งต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เหลืออยู่หลังการตากแห้ง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลอย่างมากกับอัตราการตากแห้ง ดังนี้

1) การตากแห้งที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง อัตราการตากแห้งจะมีค่าต่ำ ความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังตากแห้งมีค่าการกระจายที่ดี แต่ใช้เวลาในการตากแห้งนาน

2) การตากแห้งที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ความชื้นที่ผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์จะมีค่าต่ำกว่าภายใน ลักษณะการตากแห้งแบบนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายได้ เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวมีสูง ขณะที่อัตราการแพร่ของน้ำภายในสู่วิธีมีค่าต่ำ

3) การตากแห้งที่อุณหภูมิสูงและความชื้นในอากาศสูง อัตราการตากแห้งมีค่าสูงและการกระจายตัวของความชื้นมีค่าสม่ำเสมอ ทำให้ไม่เกิดความเสียหาย

จากการสำรวจสถานภาพเบื้องต้นของ โรงงาน ตำบลพระยาบันลือ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า ดินปั้นเป็นดินที่มีเนื้อเนียนละเอียดมากมีอนุภาคที่เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร (2 ไมโครเมตร) ร้อยละ 99.7 มีปริมาณกากหยาบขนาดโตกว่า 0.045 มิลลิเมตร (325 เมช) ร้อยละ 2 หลังจากเผาแล้วพบว่า มีผลิตภัณฑ์เสียหายเนื่องจากการแตกร้าวอยู่พอสมควร (20-30 เปอร์เซ็นต์) ลักษณะการแตกร้าวส่วนใหญ่ มักเกิดขึ้นที่บริเวณปากและก้นของผลิตภัณฑ์ สาเหตุส่วนหนึ่งของการแตกร้าวแบบนี้มักเกิดจากการหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ที่อาจเกิดจากการใช้ระยะเวลาในการตากแห้งน้อยไปหรือไม่เหมาะสม จึงทำให้ดินยังมีความชื้นในปริมาณสูง ซึ่งปัญหาการแตกร้าวเป็นปัญหาใหญ่สำหรับผู้ผลิต เพราะนอกจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีราคาแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมตามมาอีกด้วย หรือในบางครั้งสามารถซ่อมรอยร้าวของผลิตภัณฑ์ได้ แต่ต้องเพิ่มขั้นตอนการทำงาน อีกทั้งยังไม่สามารถจำหน่ายได้ตามราคาที่ต้องการ ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นการศึกษาปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ โดยใช้สภาวะการตากแห้งที่ต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ของความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อความเสียหายของผลิตภัณฑ์หลังเผา อันจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ต่อไป

8.1 วัตถุประสงค์

- 8.1.1 ศึกษาผลของวิธีการตากแห้งต่อการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนาดต่างๆ ก่อนเผา
- 8.1.2 ศึกษาผลของวิธีการตากแห้งต่อความเสียหายของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา

8.2 ขอบเขตของการศึกษา

- 8.2.1 รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการเป็นผลิตภัณฑ์กระถางทรงถ่าง
- 8.2.2 สภาวะที่ใช้ในการตากแห้งมี 4 สภาวะ คือ การอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาต่อนาที การตากแห้งโดยใช้แสงอินฟราเรด การตากแห้งกลางแดด และการตากแห้งในร่ม

8.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

8.3.1 นำดินปืนที่นวดผสมแล้วจากโรงงาน ไปขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการเป็นผลิตภัณฑ์ คือ 1) กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร 2) กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร และ 3) กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร

8.3.2 ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปตากแห้งในสภาวะต่างๆ จำนวน 5 ใบ

8.3.3 นำผลิตภัณฑ์ไปตากแห้งในสภาวะต่างๆ ดังนี้

1) อบแห้ง ด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาต่อนาที

2) ตากแห้งโดยใช้แสงอินฟราเรด (ดวงไฟสปอร์ตไลท์ จำนวน 4 ดวงๆ ละ 250 วัตต์) โดยวางผลิตภัณฑ์ห่างจากดวงไฟเป็นระยะ 1 ฟุต ทำการปิดบริเวณที่วางผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ด้านเพื่อรักษาอุณหภูมิ และเปิดไฟในช่วงกลางวัน (8.00 น.-18.00 น.) และทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง โดยทำการทดลองบริเวณห้องปฏิบัติการ ชั้น 14 สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ตากแห้งกลางแจ้ง โดยวางผลิตภัณฑ์ในบริเวณที่สัมผัสแดดได้ตลอดวัน ในเวลากลางวัน และทิ้งไว้ที่บริเวณเดิมในเวลากลางคืนหรือเวลาไม่มีแดด มีลมพัดผ่าน ได้สะดวกทั้งกลางวันกลางคืน โดยทำการทดลองบริเวณคาเฟ่ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) ตากแห้งในที่ร่ม โดยวางผลิตภัณฑ์ไว้บริเวณที่ไม่สัมผัสกับแดดโดยตรง แต่มีลมพัดผ่าน สะดวกทั้งกลางวันและกลางคืน โดยทำการทดลองบริเวณคาเฟ่ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.3.4 บันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน

8.3.5 บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวัน

8.3.6 ตรวจสอบการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ในแต่ละวัน

8.3.7 คำนวณหาร้อยละของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์หลังตากแห้งในสภาวะต่างๆ

$$\text{ร้อยละของน้ำที่หายไ้} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนตากแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังตากแห้ง}}{\text{น้ำหนักก่อนตากแห้ง}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนตากแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังตากแห้ง}}{\text{น้ำหนักก่อนตากแห้ง}} \times 100$$

8.4 ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาขั้นตอนการตากแห้งของโรงงานสม โภชน์ดินเผา หลังจากขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว (ช่วงเช้า) จะนำไปตากกลางแจ้งประมาณ 2 ชั่วโมง โดยทำการหมุนผลิตภัณฑ์ให้สัมผัสแดดทุกด้านทั่วถึงกัน พอหมด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อยู่ตรง ไม่บิดเบี้ยว แล้วจึงนำไปตากในที่ร่ม (ใต้ถุนโรงงาน) ประมาณ 1 วัน หลังจากนั้นนำไปตากในที่ร่มที่มีลมพัดผ่านสะดวกประมาณ 2-3 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม แล้วจึงนำเข้าเตาเผา โดยสังเกตจากสีของผลิตภัณฑ์ที่มีสีเทาขาวทั่วทั้งใบ และทาน้ำดิน เพื่อป้องกันคราบขาว ที่งัวให้แห้ง ก่อนนำเข้าเตาเผา พบว่า ผลิตภัณฑ์หลังเผาส่วนใหญ่ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กระถางเกิดการแตกร้าวบริเวณปาก และก้น ซึ่งลักษณะการแตกร้าวเช่นนี้มักเกิดจากการหดตัวของผลิตภัณฑ์ในตำแหน่งต่างๆ ไม่เท่ากัน บริเวณก้น กระถางจะหดตัวน้อยกว่าหรือมีอัตราการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ช้ากว่าบริเวณปากกระถาง เนื่องจากก้น กระถางมีความหนาแน่นที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปสูงกว่าบริเวณปากกระถาง เมื่อเกิดความแตกต่างของอัตราการหดตัวจึงทำให้เกิด แรงดึงซึ่งกันและกัน

เมื่อศึกษาปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังเผาของกระถางทรงถั่วที่เกิดความเสียหายค่อนข้างมาก พบว่า ผลิตภัณฑ์กระถางรูปทรงเดียวกันแต่มีขนาดต่างกันมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์แตกต่างกันร้อยละ 3 น้ำหนักที่หายไปของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก (12x11 นิ้ว) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 17.52 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ (15x13 นิ้ว) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 14.47 ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อ่างบัวปากจีบที่มีรูปทรงคล้ายกันแต่มีขนาดต่างกัน (17x8 นิ้ว) โดยมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์แตกต่างกันร้อยละ 0.5 เนื่องจากมีอัตราการระเหยของน้ำ ในผลิตภัณฑ์มากกว่าและเร็วกว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการตากแห้งเท่ากันและเผาในสภาวะเดียวกัน ดังแสดงใน ตารางที่ 8.1

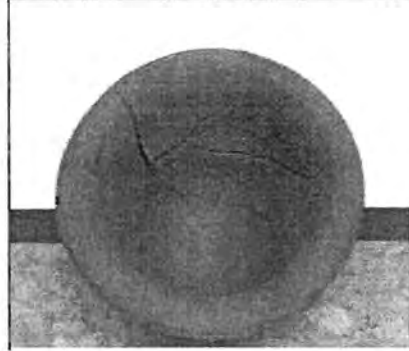
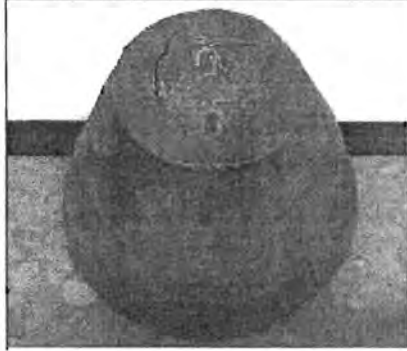
ตารางที่ 8.1 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังเผา

ผลิตภัณฑ์	น้ำหนักก่อนเผา (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กิโลกรัม)	ค่าเฉลี่ยร้อยละ ของน้ำหนักที่หายไป
กระถางทรงถั่ว ขนาด 12x11 นิ้ว	6.62	5.46	17.52
กระถางทรงถั่ว ขนาด 15x13 นิ้ว	10.57	9.04	14.47
อ่างบัว (ปากจีบ) ขนาด 17x8 นิ้ว	8.67	7.46	13.96

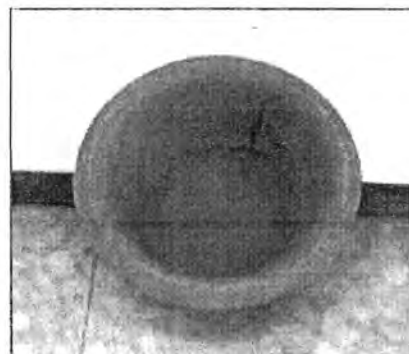
จากการศึกษาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนเผาในห้องปฏิบัติการ โดยการอบแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาต่อนาที พบว่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าร้อยละ 23-24 และลักษณะของความเสียหายของผลิตภัณฑ์กระถางทุกขนาดเกิดการแตกร้าวเป็นวงกลมบริเวณก้นด้านนอกและด้านในตรงบริเวณรอยต่อระหว่างก้นกับตัวผลิตภัณฑ์แตกร้าวขึ้นข้างบน 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 8.2 และรูปที่ 8.1

ตารางที่ 8.2 ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการอบแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

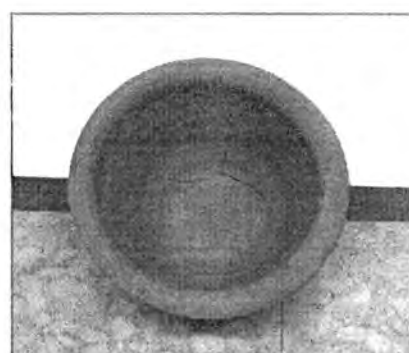
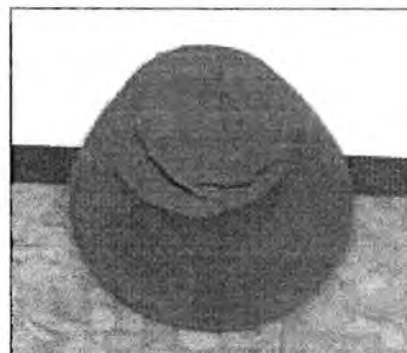
ผลการทดสอบ	ร้อยละของน้ำหนัก ที่หายไป	ร้อยละของ ความเสียหาย	ลักษณะ ความเสียหาย
หลังอบแห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง			
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	24.81	100	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านนอกและใน แตกร้าวขึ้นด้านบน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	24.54	100	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านนอกและใน แตกร้าวขึ้นด้านบน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	23.79	100	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านนอกและใน แตกร้าวขึ้นด้านบน



กระถาง ขนาด 5 x 4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระถาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระถาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร

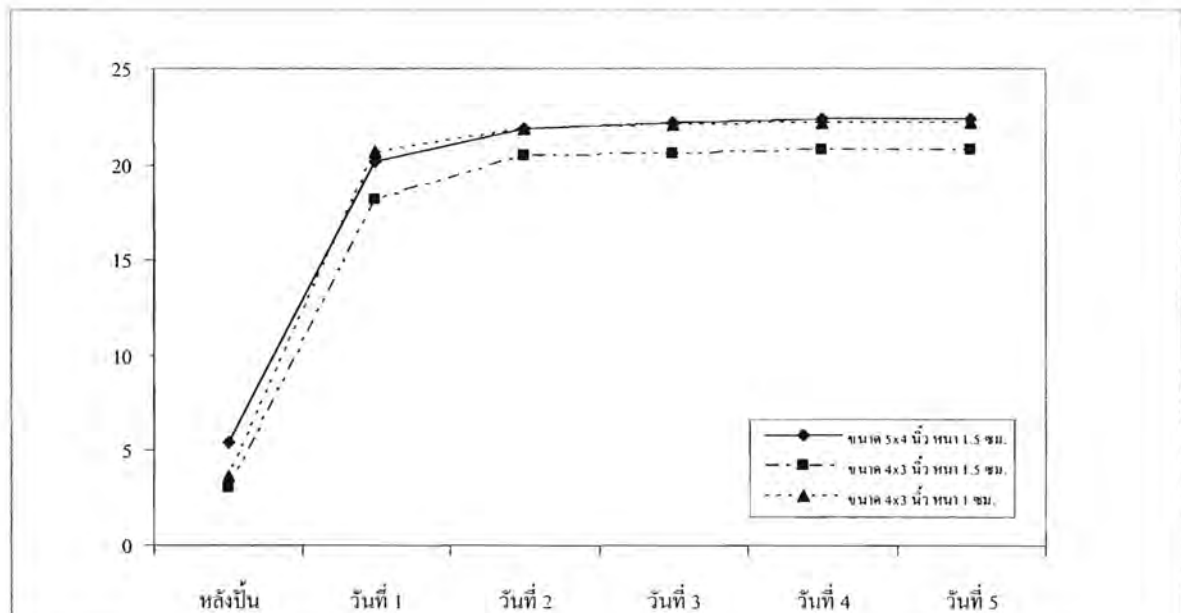
เมื่อนำผลิตภัณฑ์กระถางไปตากแห้งโดยใช้แสงอินฟราเรด พบว่า หลังตากแห้งเป็นวันที่ 2 ผลิตภัณฑ์กระถางขนาด 4x3 นิ้ว ที่ความหนา 1 เซนติเมตร เริ่มแตกร้าวเมื่อมีการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว อยู่ที่ร้อยละ 21.89 โดยอัตราการสูญเสียน้ำในแต่ละวันมีค่าร้อยละ 4.84 เป็นผลให้เกิดการแตกร้าวเป็นเส้นตรงจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งบริเวณก้นด้านนอกและด้านใน มีปริมาณความเสียหาย 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลิตภัณฑ์กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว และขนาด 4x3 นิ้ว ที่ความหนา 1.5 เซนติเมตร ไม่พบการแตกร้าว ดังแสดงในตารางที่ 8.3 รูปที่ 8.2 และรูปที่ 8.3

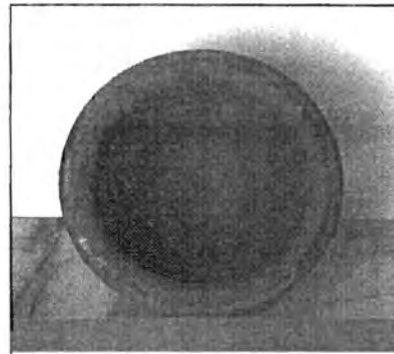
ตารางที่ 8.3 ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการตากแห้งโดยใช้แสงอินฟราเรด เป็นเวลา 5 วัน

ผลการทดสอบ	ร้อยละของ น้ำหนักที่หายไป	ร้อยละของ ความชื้นที่ลดลง ในแต่ละวัน	ร้อยละของ ความเสียหาย	ลักษณะ ความเสียหาย
หลังปั่น เป็นเวลา 20 ชั่วโมง				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	5.48	5.48	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	3.00	3.00	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	3.59	3.59	0	-
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 1 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.13	14.65	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	18.15	15.15	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	20.64	17.05	0	-
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 2 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	21.85	7.20	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.47	5.32	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	21.89	4.84	40	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านนอกและใน
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 3 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 77)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	22.21	0.36	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.52	0.06	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	22.11	0.22	40	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านนอกและใน

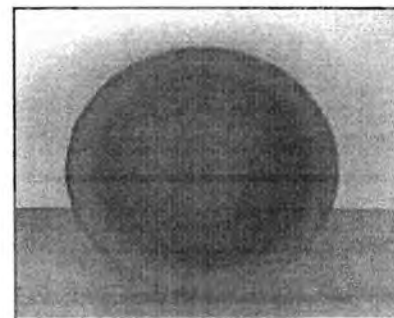
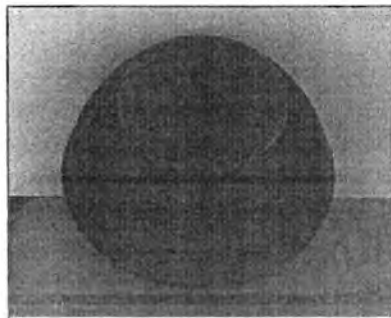
ตารางที่ 8.3 (ต่อ)

ผลการทดสอบ	ร้อยละของ น้ำหนักรั่วที่หายไป	ร้อยละของ ความชื้นที่ลดลง	ร้อยละของ ความเสียหาย	ลักษณะ ความเสียหาย
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 4 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 74)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	22.38	0.17	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.72	0.20	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	22.19	0.08	40	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 5 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	22.39	0.02	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.73	0.01	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	22.20	0.01	40	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน

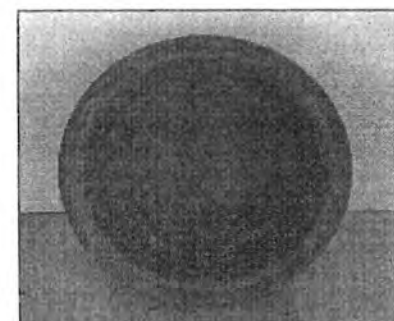
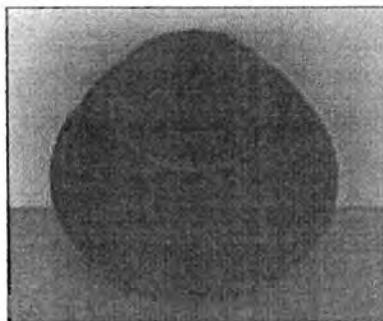




กระดาง ขนาด 5 x 4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระดาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระดาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร



โครงการสนับสนุน
คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม
สำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ ปี 2552

รูปที่ 8.3

ลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการตากแห้ง
โดยใช้แสงอินฟราเรด เป็นเวลา 5 วัน

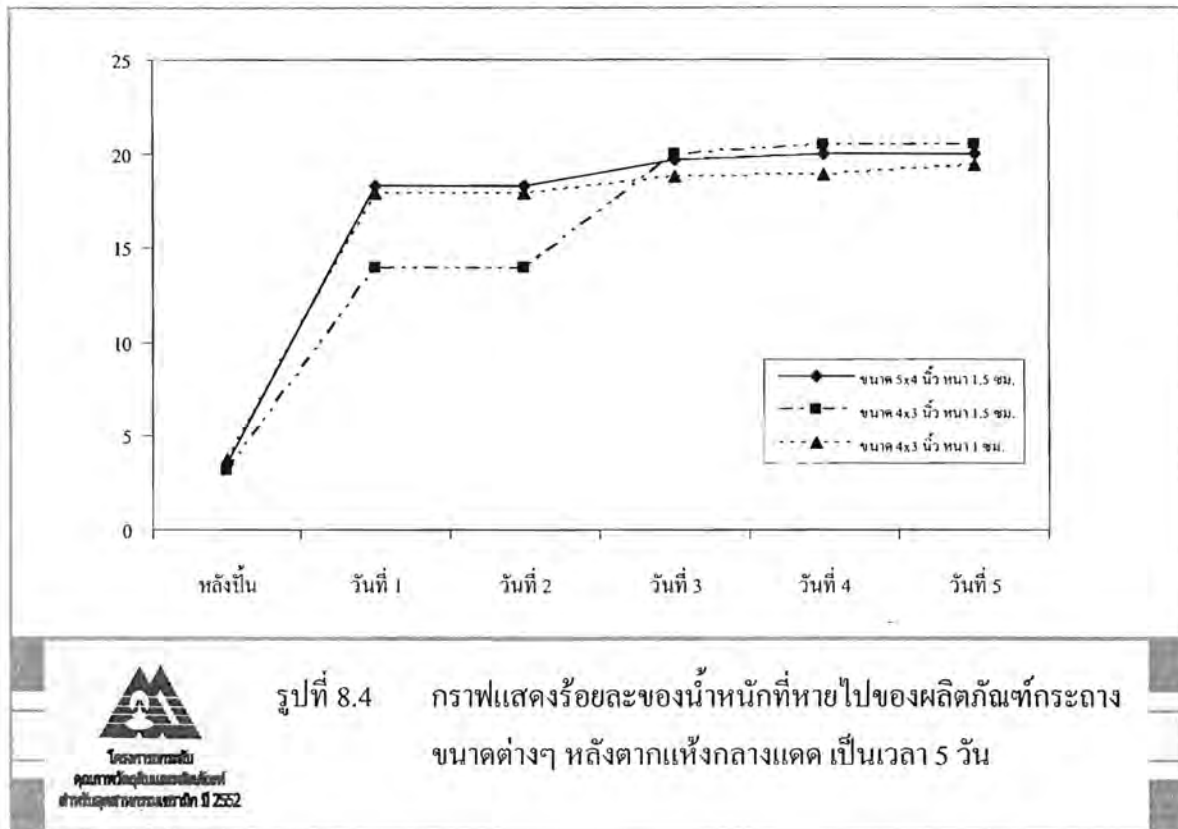
จากการตากแห้งกลางแจ้ง พบว่า เมื่อผลิตภัณฑ์กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร และขนาด 4x3 หน้า 1 เซนติเมตร ได้รับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวผลิตภัณฑ์กับเนื้อผลิตภัณฑ์ภายใน น้ำภายในผลิตภัณฑ์จึงระเหยสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว ประกอบมีลมพัดผ่านสะดวกตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน ทำให้ผิวผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดการแตกร้าว โดยมีการสูญเสียน้ำไปร้อยละ 19.70 และ 18.44 และมีปริมาณความเสียหายร้อยละ 20 และ 40 ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร ไม่เกิดการแตกร้าว เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวผลิตภัณฑ์กับภายในเนื้อดิน ไม่สูงมาก เนื่องจากการนำความร้อนของดินและการสูญเสียพลังงานความร้อนไปเนื่องจากความร้อนเฉพาะของน้ำบริเวณใกล้กับผิวผลิตภัณฑ์ ทำให้อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วดังแสดงในตารางที่ 8.4 และรูปที่ 8.4 และรูปที่ 8.5

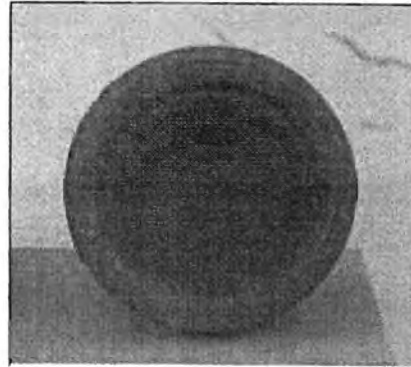
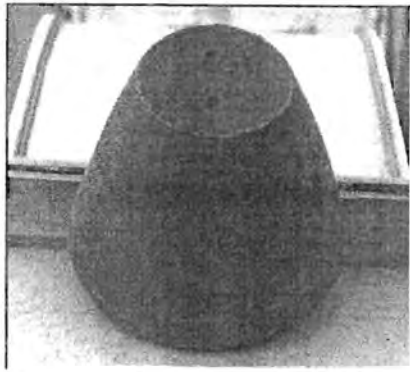
ตารางที่ 8.4 ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการตากแห้งกลางแจ้ง เป็นเวลา 5 วัน

ผลการทดสอบ	ร้อยละของ	ร้อยละของ	ร้อยละของ	ลักษณะ
	น้ำหนักที่หายไป	ความชื้นที่ลดลง	ความเสียหาย	
	ในแต่ละวัน			
<u>หลังปั่น เป็นเวลา 20 ชั่วโมง</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	3.56	3.56	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	3.16	3.16	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	3.75	3.75	0	-
<u>หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 1 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75)</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	18.30	14.73	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	13.98	10.81	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	17.88	14.13	0	-
<u>หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 2 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75)</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	19.68	4.94	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	19.53	8.71	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	18.44	4.32	20	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านนอกและใน

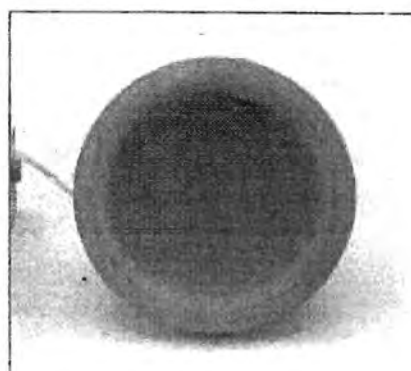
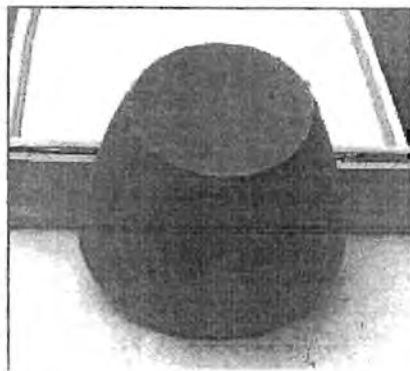
ตารางที่ 8.4 (ต่อ)

ผลการทดสอบ	ร้อยละของ น้ำหนักที่หายไป	ร้อยละของ ความชื้นที่ลดลง ในแต่ละวัน	ร้อยละของ ความเสียหาย	ลักษณะ ความเสียหาย
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 3 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 77)				
กระดาษ ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.70	0.02	20	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน
กระดาษ ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.97	0.44	0	-
กระดาษ ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	18.79	0.35	20	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 4 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 74)				
กระดาษ ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.92	0.22	20	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน
กระดาษ ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.50	0.53	0	-
กระดาษ ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	18.85	0.06	20	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 5 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73)				
กระดาษ ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.00	0.08	20	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน
กระดาษ ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	20.50	0.00	0	-
กระดาษ ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	19.41	0.55	40	เกิดรอยร้าวบริเวณก้น ด้านบนและใน

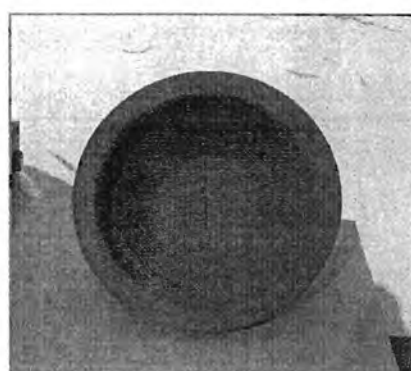
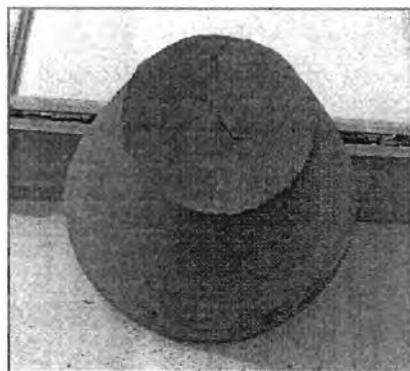




กระถาง ขนาด 5 x 4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระถาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระถาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร



โครงการวิจัย
คุณภาพวัสดุและผลิตภัณฑ์
สำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ ปี 2552

รูปที่ 8.5

ลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการตากแห้งกลางแจ้ง
เป็นเวลา 5 วัน

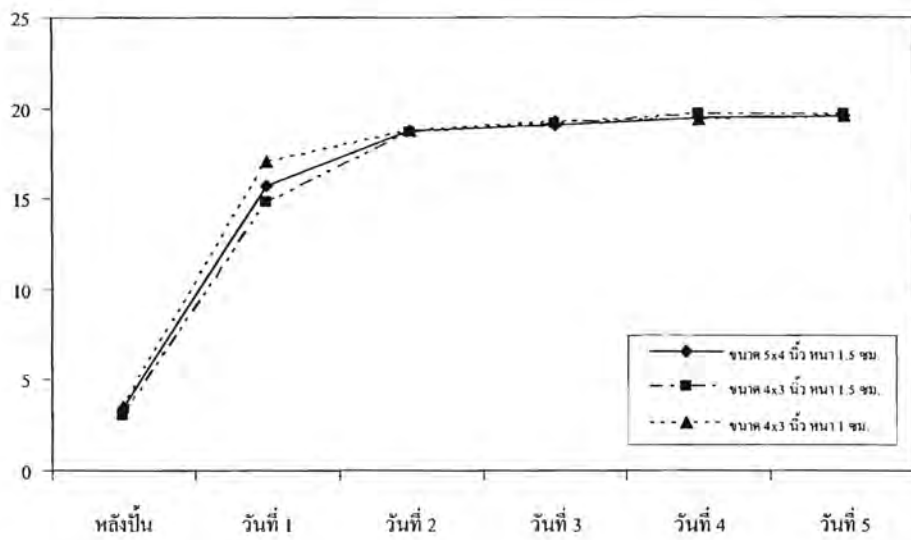
จากการตากแห้งในร่ม พบว่า ผลผลิตกัณฑ์กระถางทุกขนาดมีการแตกร้าวเล็กน้อยไม่ชัดเจนบริเวณก้น ด้านนอกและด้านใน โดยผลผลิตกัณฑ์กระถางขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร เริ่มเกิดรอยร้าวหลังการตากแห้ง เป็นวันที่ 4 ส่วนผลผลิตกัณฑ์กระถางขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 และ 1 เซนติเมตร เริ่มเกิดรอยร้าวหลังการตากแห้ง เป็นวันที่ 3 และ 2 ผลผลิตกัณฑ์ทุกขนาดมีปริมาณการเสียหายที่ร้อยละ 40, 20 และ 40 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง ที่ 8.5 และรูปที่ 8.6 และรูปที่ 8.7

ตารางที่ 8.5 ผลผลิตกัณฑ์กระถางขนาดต่างๆ หลังการตากแห้งในร่ม เป็นเวลา 5 วัน

ผลการทดสอบ	ร้อยละของ น้ำหนักที่หายไป	ร้อยละของ ความชื้นที่ลดลง ในแต่ละวัน	ร้อยละของ ความเสียหาย	ลักษณะ ความเสียหาย
<u>หลังป็น เป็นเวลา 20 ชั่วโมง</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	3.44	3.44	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	3.02	3.02	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	3.49	3.49	0	-
<u>หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 1 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75)</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	15.76	12.32	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	14.85	11.83	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	17.02	13.53	0	-
<u>หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 2 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75)</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	18.76	6.44	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	18.62	6.78	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	18.70	5.17	40	เกิดรอยร้าวต่างๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านนอกและใน
<u>หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 3 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 77)</u>				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	19.10	0.34	0	-
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1.5 เซนติเมตร	19.19	0.57	20	เกิดรอยร้าวต่างๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านนอกและใน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หน้า 1 เซนติเมตร	19.21	0.51	40	เกิดรอยร้าวต่างๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านนอกและใน

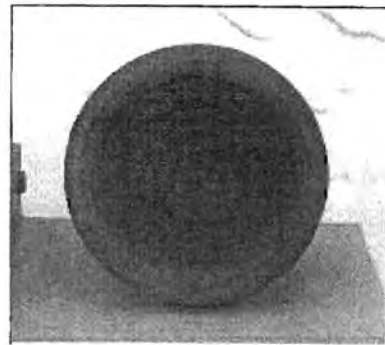
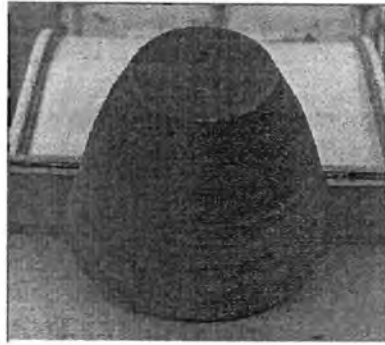
ตารางที่ 8.5 (ต่อ)

ผลการทดสอบ	ร้อยละของ น้ำหนักที่หายไป	ร้อยละของ ความชื้นที่ลดลง ในแต่ละวัน	ร้อยละของ ความเสียหาย	ลักษณะ ความเสียหาย
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 4 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 74)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.43	0.33	40	เกิดรอยร้าวบางๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านบนและใน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.62	0.43	20	เกิดรอยร้าวบางๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านบนและใน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	19.34	0.13	40	เกิดรอยร้าวบางๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านบนและใน
หลังตากแห้ง เป็นวันที่ 5 (ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73)				
กระถาง ขนาด 5x4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.55	0.12	40	เกิดรอยร้าวบางๆ เป็นวง บริเวณก้น ด้านบนและใน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร	19.62	0.01	20	เกิดรอยร้าวบางๆ เป็นวงบริเวณก้น ด้านบนและใน
กระถาง ขนาด 4x3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร	19.60	0.26	40	เกิดรอยร้าวบางๆ เป็นวง บริเวณก้น ด้านบนและใน

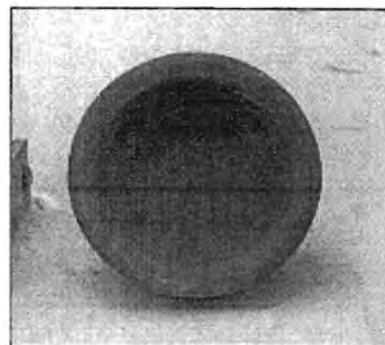
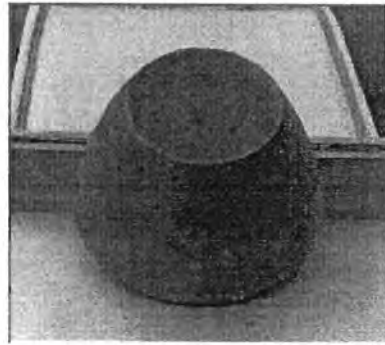


โครงการสถาบัน
 วิชาการวิจัยและสิ่งแวดล้อม
 สำหรับบุคลากรกรมอนามัย ปี 2552

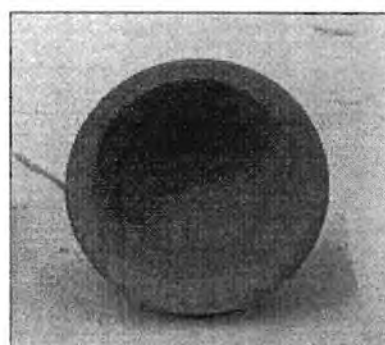
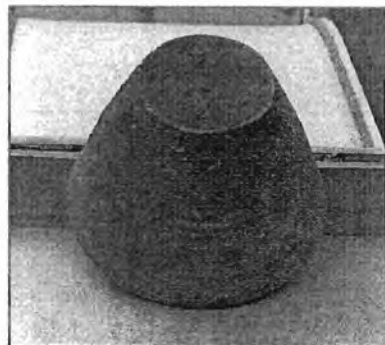
รูปที่ 8.6 กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของผลิตภัณฑ์กระถาง
 ขนาดต่างๆ หลังตากแห้งในร่ม เป็นเวลา 5 วัน



กระถาง ขนาด 5 x 4 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระถาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1.5 เซนติเมตร



กระถาง ขนาด 4 x 3 นิ้ว หนา 1 เซนติเมตร

8.5 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินการข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

8.5.1 ก่อนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทุกขนาดมีความชื้นร้อยละ 27-28 เมื่อนำไปตากแห้งด้วยวิธีการต่างๆ เป็นเวลานาน 1 วัน พบว่า การอบด้วยเตาอบมีความชื้นลดลงมากที่สุด คือร้อยละ 23-24 ในขณะที่การตากแห้งด้วยแสงอินฟราเรด ตากกลางแดด และตากในร่ม ความชื้นมีแนวโน้มลดลงรองลงมาตามลำดับ โดยความชื้นลดลงร้อยละ 16.26, 13.71 และ 12.99

8.5.2 การตากแห้งโดยใช้เตาอบจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวมากที่สุด ตั้งแต่วันที่ 1 ในขณะที่การตากแห้งด้วยแสงอินฟราเรด ตากกลางแดด และตากในร่ม ความเสียหายจะปรากฏหลังการตากแห้งในวันที่ 2

8.5.3 แนวโน้มการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ทุกขนาดเมื่อเพิ่มเวลาการตากแห้งเป็น 5 วัน พบว่าการตากแห้งในที่ร่มและการตากแห้งกลางแดดมีความเสียหายเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 20-40 ในขณะที่การตากแห้งด้วยแสงอินฟราเรด การแตกร้าวของผลิตภัณฑ์มีค่าร้อยละ 20 และไม่เพิ่มขึ้นตามเวลาการตากแห้ง

8.6 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ เพื่อเป็นการลดตัวแปรต่างๆ ควรควบคุมตัวแปรดังนี้

- 1) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ต้องมีความสม่ำเสมอ เช่น ขนาด และความหนา
- 2) ควรใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบและขนาดเดียวกับที่ใช้ในโรงงาน
- 3) สถานที่ที่ใช้ควรควบคุมให้ใกล้เคียงมากที่สุด หรือเป็นสภาวะเดียวกับที่โรงงาน เช่น ทิศทางลม

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

บรรณานุกรม

- กฤษดา นุ่มนวล. 2540. การใช้ตะกอนจากระบบประปาแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ. ปรินิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- กิตติพันธ์ ตันตระกูลโรจน์. การพัฒนาตัวรับยาต้านยุงจากสมุนไพร. รวมบทคัดย่องานวิจัยการแพทย์แผนไทยและ
ทิศทางการวิจัยในอนาคต สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2543.
- คณะทำงานศึกษาและวิจัยระบบกำจัดตะกอน. 2548. การศึกษาวิจัยระบบกำจัดตะกอน. กรุงเทพฯ : การประปานครหลวง
ชาติ เจียมไชยศรี, ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา, วิไล เจียมไชยศรี, ปิยะพานิชปฐม, เพิ่มพล กาญจนามัย และมณฑยา
เซ่งศรี. 2547. การใช้ประโยชน์ตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและการหมัก
ปุ๋ย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสตันต์ วิจิตอมรพันธ์ และ วรรณนะ เรืองสำเร็จ. 2547. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจาก
น้ำประปา. กรุงเทพฯ : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
- ปรีดาพิมพ์ขาวขำเชรามิกส์, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 5, พ.ศ. 2547.
- ปรีดาพิมพ์ขาวขำเคลือบเชรามิกส์, สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2530.
- สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับ
อุตสาหกรรมขนาดย่อมในภูมิภาค ปีที่ 1-2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
กรุงเทพฯ. 2545 - 2546.
- สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โครงการวิจัยดินเพื่อการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ดินเผา. กรุงเทพฯ. 2548
- สมเกียรติ รอดยิ่งดี. 2541. การพัฒนาคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปา ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- สมภพ พงษ์พานิชกุล, มานะ ชิวชื่น, การสังเคราะห์เบต้า-ฮีมไฮดรตจากยิปซัมเกลือหิน, โครงการเรียนการสอนเพื่อ
เสริมประสบการณ์, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544.
- สิริพรรณ นิลไพรัช และคณะ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนดินจากน้ำประปาเพื่ออุตสาหกรรม
รายงาน ฉบับสมบูรณ์ โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก
2551.

บรรณานุกรม (ต่อ)

สิริพรรณ นิลไพรัช และคณะ. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ฉบับที่ 4 การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 2551.

สิริพรรณ นิลไพรัช และคณะ. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ฉบับที่ 4 การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 2552

สุพิน ต่างวิวัฒน์. 2548. การแก้ปัญหาคราบเกลือสีขาวบนผิวอิฐด้วยวิธีทางกายภาพ โครงการวิจัยดินเพื่อการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมดินเผา

Alfred B. Searle, Kilns and Kiln Building The Clayworker Press (1915)

A.L. Johnson and George B. Hughes, Effect of the sulfate ion on the plasticity of brick clays, J. Amer. Ceram. Soc. Vol. 31, No. 7, pp.194-200 (1948).

Amuel J. McDowell, The effect of various sodium silicates and other electrolytes on clay slips, J. Amer. Ceram. Soc. Vol. 10, No. 4, pp.225-237 (1927).

Andres A., Diaz M.C., Coz A., Abellan M.J. and Viguri J.R. J.Eur.Ceram.Soc 29, pp1869-1877(2009)

Chomchalow, N. Essential oil and their role on human bodies and mind. AU J.T.(4) pp.197-202(2001)

F. Wirsching, Calcium sulphate, Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 4, pp. 437-448(1985)

Gordon N., Application of microcapsulation in textiles., International Journal of Pharmaceutics 242, 55-62(2002).

http://enghome.eng.psu.ac.th/mne/staff/lek_files/ceramic/u7-1.htm

http://enghome.eng.psu.ac.th/mne/staff/lek_files/ceramic/u98-6.htm

http://patimakum.site90.com/vagina/index.php?option=com_content&task=category§ionid=5&id=26&Itemid=86

<http://pongtrang.com/web/data/a4/04/revival.snru.ac.th/Hutakom/HUT1.HTM>

บรรณานุกรม (ต่อ)

<http://www.culture-ns.go.th/maying.html>

<http://www.dalzell.net/ceramics/moldmaking/moldmaking.html>

<http://www.dankwian.com/thai/decoration.php>

<http://www.dankwian.com/thai/manufacture.php>

http://www.dankwian.com/thai/the_way_molds.php

<http://www.school.net.th/library/create-web/10000/arts/10000-4280.html>

<http://www.nmt.or.th/songkhla/singhanakhon/Lists/List32/AllItems.aspx>

http://www.thaiceramicsociety.com/ts_mark_broken.php

http://www.thaiceramicsociety.com/rm_soil_usage.php

<http://transitionculture.org/2008/05/19/is-burning-wood-really-a-long-term-energy-descent-strategy/>

<http://www.wikipedia.com>

M.C. Ball, Effects of Dehydration and Rehydration on Porosity in Calcium sulfate and its Hydrates,
Ceram. Trans. Journal, 88, pp. 79-82(1989)

Richard, S.J. Encapsulation of Volatile Liquids. United States Patent, 4(19), pp. 576 – 737(1986)

W.P.Cullen, Soluble salts and clay wares J.Am Ceram. Soc 5 (8), pp. 538 – 553(1922)