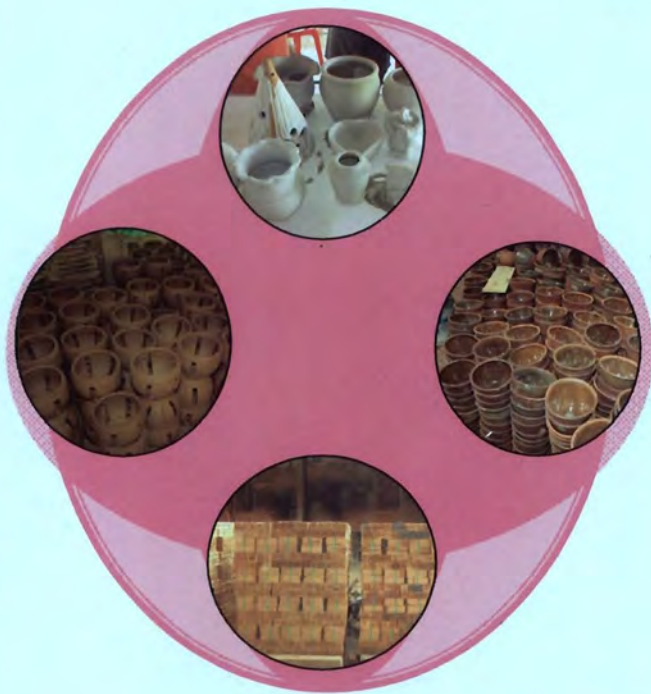


รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก: ปีที่ 4 (ภาคใต้)

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

ฉบับที่ 4



การพัฒนากระบวนการผลิตและปรับปรุงผลิตภัณฑ์
เครื่องปั้นดินเผา

เสนอ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

โดย

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2554

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก: ปีที่ 4 (ภาคใต้)

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

ฉบับที่ 4



การพัฒนากระบวนการผลิตและปรับปรุงผลิตภัณฑ์
เครื่องปั้นดินเผา

เสนอ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

โดย

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2554

คณะผู้วิจัย

เลขที่

เลขทะเบียน 017738

วัน เดือน ปี 6 มี.ย. 61

คณะที่ปรึกษา

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

คณะผู้วิจัย

1. อาจารย์ ดร. สิริพรรณ นิลไพรัช (หัวหน้าโครงการ)
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มที่ 1 การบริหารและประสานงานโครงการ
หัวหน้ากลุ่มที่ 3 การทดสอบสมบัติดินเหนียว
2. ศาสตราจารย์ ดร.ธนวัฒน์ จารุพงษ์
อาจารย์ประจำภาควิชาธรณี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มที่ 2 การสำรวจปริมาณและคุณภาพของดินเหนียว
3. อาจารย์ ดร. สรินทร์ ลิ้มปนาท
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มที่ 4 การพัฒนาปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์
4. รองศาสตราจารย์ ดร.อรพินท์ พานทอง
อาจารย์ประจำภาควิชาการออกแบบอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มที่ 5 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์
5. อาจารย์ ดร. ญัฐिता ชวนเกริกกุล
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
หัวหน้ากลุ่มที่ 6 การจัดทำฐานข้อมูล

คณะผู้วิจัย (ต่อ)

6. นางสาวปราณี รัตนวลิตโรจน์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 1)
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. นางสาวกนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ (นักวิจัยกลุ่มที่ 1)
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. นางสาวสวลี เสนาพิทักษ์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 1)
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. นายศรีไฉล ขุนทน (นักวิจัยกลุ่มที่ 2)
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)
อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. อาจารย์ ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. อาจารย์ ดร.รัฐพล รั้งกูพันธ์ (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)
ฝ่ายวัสดุพอลิเมอร์ สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. ดร.สุพิน แสงสุข (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)
ฝ่ายวัสดุเซรามิก สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. นายอดิศักดิ์ ถิ่นพลอย (นักวิจัยกลุ่มที่ 4)
ฝ่ายโลหกรรม สถาบันวิจัย โลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัย (ต่อ)

15. นางสาวนัทธมน ตั้งตรงมิตร (นักวิจัยกลุ่มที่ 5)

ผู้ช่วยวิจัย

16. นางสาวพนิตทิชาส์ เขาวกุลพัฒนา

ผู้ช่วยวิจัย

17. นางสาวเฉลิมขวัญ มกรพันธุ์

ผู้ช่วยวิจัย

18. นายยุทธนา แก้วตาบุตร

ผู้ช่วยวิจัย

20. นางสาววิไลรัตน์ โกสุพรรณ

ผู้ช่วยวิจัย

21. นายเกรียงไกร ขอดชมภู

ผู้ช่วยวิจัย

22. นางสาวนุชรดา โชติอุดมรัตน์

ผู้ประสานงานโครงการ

รายงานการศึกษา

รายงานการศึกษาประกอบด้วยรายงานฉบับสมบูรณ์ จำนวน 6 ฉบับ คือ

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

บทคัดย่อ

รายงานฉบับที่ 4 นี้ ประกอบด้วยเนื้อหา 2 ส่วน คือ 1. การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม และ 2. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

ส่วนที่ 1 การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม ซึ่งประกอบด้วยอิฐและจอกยาง ทางโครงการได้ศึกษาการลดอุณหภูมิการสุกตัวของเนื้อดินปั้น การเพิ่มความแข็งแรงของอิฐด้วยการเติมสารเสริมแรงได้แก่ ไลม์มีด ดินเผาเศษอิฐบด การศึกษาและปรับปรุงกระบวนการเผา ซึ่งจากการศึกษาพบว่า คัลเลต โซเดียมคาร์บอเนตและบอแรกซ์สามารถลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดินปั้นได้ โดยเฉพาะโซเดียมคาร์บอเนตเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม กรณีการผสมไลม์มีดหรือเศษอิฐผสมดินเผาในผลิตภัณฑ์อิฐในปริมาณร้อยละ 10 ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของอิฐได้อย่างมีนัยสำคัญแต่หากนำมาใช้เพื่อลดปริมาณการใช้ดินจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต แต่การปรับปรุงการจัดเรียงอิฐในกระบวนการเผาจะช่วยเพิ่มคุณภาพของอิฐให้มีความสม่ำเสมอทั้งเตาและลดปริมาณการใช้พลังงานได้ สำหรับผลิตภัณฑ์จอกยางได้ศึกษาการนำขี้เถ้าไม้ยางมาทดแทนปริมาณการใช้ถ่านขี้เถ้าผสมเคลือบที่สุกตัวที่อุณหภูมิ 1150-1180 องศาเซลเซียสได้

ส่วนที่ 2 การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ ประกอบด้วยการนำดินในพื้นที่เป้าหมายมาศึกษาการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อ การนำไมโครแคลซูลบบรรจุสารหอมระเหยซุบเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การใช้สาร โพลีเมทิลไฮโดรเจนไซโลเซนและโคโคซานเคลือบจอกยางทดแทนการเคลือบดั้งเดิม ผลจากการศึกษาวิจัยได้ว่า ดินตัวอย่างจากแหล่งเป้าหมายสามารถขึ้นรูปได้ด้วยเทคนิคการหล่อแบบโดยการปรับใช้สาร โซเดียมซิลิเกตให้เหมาะสม เทคนิคการซุบเคลือบไมโครแคลซูลของโคโคซานและไซโคลเต็คตรินที่บรรจุน้ำมันเจอร์รานีออล สามารถควบคุมการปล่อยกลิ่นหอมได้อย่างต่อเนื่องนาน 5 วัน ถ้าหากต้องการเพิ่มระยะเวลาการควบคุมกลิ่นเป็น 15 วัน จะต้องใช้ดินปั้นผสมดินตะกอนนาโนที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่า ในการใช้สาร โพลีเมทิลไฮโดรเจนไซโลเซนและโคโคซานเคลือบจอกยางจะลดค่าการดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเมื่อปริมาณ โพลีเมทิลไฮโดรเจนไซโลเซนเพิ่มขึ้น

Abstract

This is the 4th report consisting of 2 sections: 1) development and improvement of traditional products and 2) development of alternative products.

Section 1: 4 topics were studied to development and improvement of traditional products as construction bricks and natural latex cups. The first was to decrease sintering temperature of products. The result showed that the addition of cullet, sodium carbonate or borax could reduce sintering temperature and sodium carbonate is the most suitable flux for industrial production. The second topic was to improve strength of construction brick by using lime mud or grog as reinforcements. In case of lime mud and grog up to 10 % by weight did not improve mechanical strength of bricks significantly. However it's useful to reduce the amount of clay. The third was improved the firing process. We found that by constructing secondary air inlet, at strategic location, to supply fresh air to firing logs combined with an improved bricks lay out in the kiln, the firing temperature at various part of the kiln could be increased up to 100 °C, improve overall quality of bricks while using smaller or same amount of wood. For natural latex cups, rubber wood ashes, as waste from firing process, have been used instead of rice husk ash and limestone in glaze formulation. This ash glaze could fire at 1150-1180 °C

Section 2: The alternative products developments consist of 3 subprojects. The first project was to develop slurry formulation for slip casting technique using red clay, in local area. The adjusting sodium silicate is an important point. These clays could be fabricated by slip casting technique, and thus open a new possibility for local manufacturer. The second project was to develop and impregnate microcapsule, containing geraniol oil, on pottery surface. Using this technique, ordinary pottery could release the scent for up to 5 days, while the pottery made by ordinary clay mixing with nano-clay could be prolong the scent release up to 15 days. The last project was to investigate the possibility of using poly(methyl hydrogen siloxane) and chitosan as a coating for natural latex cup. we found that the water absorption of the pot was lowered with higher amount of poly(methyl hydrogen siloxane).

คำนำ

โครงการยกระดับคุณภาพชีวิตและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมชาวมิก ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณปี พ.ศ. 2553 เพื่อดำเนินการวิจัยเสนอสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) มีระยะเวลาดำเนินโครงการ 1 ปี โดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ คือ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งทางสถาบันฯ ได้มอบหมายให้บุคลากรผู้มีประสบการณ์เป็นผู้ดำเนินการในโครงการดังกล่าว

รายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับที่ 4 ประกอบด้วย เนื้อหา 2 ส่วน คือ 1. การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม และ 2. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อนำเสนอต่อแหล่งทุนตามที่กำหนดไว้ในสัญญา

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

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

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา โรงอิฐ ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

- นางไกรวรา เข้มแดง

- นางชนพร นพรัตน์

- นายศักดิ์ เข้มทอง

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา บ้านสามร้อยยก ตำบลหินตก อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

- นายบุญมา พานันท์

แหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา โรงอิฐ ตำบลชะอวด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

- นางบุญไ้ ลิ้มปากินันท์

- นายสมใจ ทักสิน

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

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย.....	III
รายงานการศึกษา.....	VII
บทคัดย่อ.....	IX
Abstract.....	XI
คำนำ.....	XIII
กิตติกรรมประกาศ.....	XV
สารบัญ.....	XVII
สารบัญตาราง.....	XXI
สารบัญภาพ.....	XXIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 การศึกษาการลดจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นโดยใช้ คัลเล็ด โซเดียมคาร์บอเนต และสารบอแรกซ์.....	3
2.1 วัตถุประสงค์.....	3
2.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	4
2.2.1 การศึกษาผลของปริมาณและขนาดของคัลเล็ดต่อสมบัติหลังเผาในดินดิบทำ ประจะและเนื้อดินปั้น (ดินล่าง) ทำศาลา.....	4
2.2.2 การทดลองที่ 1. 2 การศึกษาผลของโซเดียมคาร์บอเนต และสารบอแรกซ์ ที่มี ผลต่อสมบัติหลังเผาของเนื้อดิน โรงปั้น (เนื้อดินทำศาลา) และดินทำประจะ (ชะอวด).....	15
2.3 การขยายผลจากห้องปฏิบัติการสู่พื้นที่ปฏิบัติงานจริง.....	20
2.3.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน.....	21
2.3.2 ผลการดำเนินการในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน.....	22
2.3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานในโรงอิฐ.....	23
2.3.4 ผลการดำเนินการในโรงงานผลิตอิฐ.....	23
2.3.5 สรุปผลการดำเนินการ.....	24
บทที่ 3 การศึกษาผลของการผสมเศษอิฐและผงดินเผาในเนื้อดินสำหรับการทำอิฐ จากแหล่งดิน ภาคใต้.....	25
3.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	25
3.2 วัตถุประสงค์.....	26

3.3	วิธีการทดลอง.....	26
3.4	ผลการทดลอง.....	27
3.5	สรุปผลการทดลอง.....	29
บทที่ 4	การศึกษาผลของการผสมไลม์มีด (lime mud) ในเนื้อดินสำหรับการอิฐจากแหล่งดิน ภาคใต้.....	31
4.1	เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	31
4.2	วัตถุประสงค์.....	32
4.3	วิธีการทดลอง.....	32
4.4	ผลการทดลอง.....	33
4.5	สรุปผลการทดลอง.....	41
บทที่ 5	การพัฒนาการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน.....	43
5.1	ขอบเขตของงาน.....	43
5.2	การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	43
5.2.1	การเตรียมน้ำดินสำหรับการหล่อแบบ.....	43
5.2.2	ผลการทดลอง.....	44
5.3	การถ่ายทอดเทคนิคการผลิตด้วยวิธีการหล่อน้ำดิน.....	46
5.3.1	เทคนิคการหล่อน้ำดิน.....	46
5.4	สรุปผลการทดลองและการถ่ายทอด.....	48
บทที่ 6	การปรับปรุงเตาเผาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์อิฐ.....	49
6.1	ข้อมูลพื้นฐานของแหล่งผลิตและ โรงงานตัวอย่าง.....	49
6.2	เป้าหมายของการดำเนินงาน.....	50
6.3	วิธีการทดลอง.....	50
6.4	ผลการศึกษา.....	51
6.4.1	ข้อมูลพื้นฐานของเตาเผาอิฐและเทคนิคการเผาเดิม.....	51
6.4.2	สรุปปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	57
6.4.3	การปรับปรุงเตาเผาและเทคนิคการเรียงอิฐ.....	57
6.4.1	การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน.....	61
6.5	สรุปผลการดำเนินงาน.....	66
6.6	ข้อเสนอแนะ.....	66
บทที่ 7	การพัฒนาเคลือบซีเมนต์ขาวสำหรับผลิตภัณฑ์ดินเผา.....	69
7.1	วัตถุประสงค์.....	70

7.1.1	วัตถุคิบ.....	70
7.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	70
7.2	วิธีการทดลอง	71
7.3	ผลการทดลอง.....	74
7.4	สรุปผลการทดลอง	84
บทที่ 8	การพัฒนาสารเคลือบด้านการซึมน้ำบนจอกยาง	85
8.1	สารพอลิเมอร์เคลือบที่ใช้ในการวิจัย	85
8.2	วัตถุประสงค์.....	87
8.3	การทดลอง.....	88
8.4	ผลการทดลอง.....	89
8.5	สรุปผลการทดลอง	89
บทที่ 9	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดินเผาให้มีกลิ่นหอม โดยการเคลือบด้วยแคปซูลไคโตซาน บรรจุน้ำมัน หอมระเหย	91
9.1	เอกสารที่เกี่ยวข้อง	91
9.1.1	ไคโตซาน พอลิเมอร์ใช้เป็นไมโครแคปซูล	91
9.1.2	น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella oil).....	93
9.2	วัตถุประสงค์.....	93
9.3	วิธีการทดลอง	93
9.4	ผลการทดลอง.....	94
9.5	สรุปผลการทดลอง	96
บรรณานุกรม.....		99

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของคัลเล็ด	4
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมระหว่างดินดิบทำประจะ (ชะอวด) และคัลเล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ	8
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมระหว่างของดิน โรงปั้น (เนื้อดินทำศาลา) และคัลเล็ด ที่อุณหภูมิต่างๆ	10
ตารางที่ 2.4 ผลความแตกต่างของขนาดคัลเล็ดและปริมาณที่ใช้ในชั้นงานจากเนื้อดินปั้นทำศาลาต่อสมบัติหลังเผา	12
ตารางที่ 2.5 ผลของขนาดคัลเล็ด 0.074 ไมโครเมตร ต่อสมบัติหลังเผาของดินทำศาลา (บน)	13
ตารางที่ 2.6 ผลของการขึ้นไฟต่อสมบัติหลังเผาของดิน โรงปั้น (เนื้อดินทำศาลา)	14
ตารางที่ 2.7 สูตรที่ใช้ในการทดลองโดยการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์	16
ตารางที่ 2.8 ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานด้วยการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์	17
ตารางที่ 2.9 ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ	19
ตารางที่ 2.10 ค่าการดูดซึมน้ำของดิน โรงปั้น (เนื้อดินทำศาลา) และ ดินทำประจะ (ชะอวด)	19
ตารางที่ 2.11 ขั้นตอนการเตรียมและเผาผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน 2 โรงงาน	21
ตารางที่ 2.12 ค่าการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน 2 โรงงาน	23
ตารางที่ 2.13 ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานอิฐทดสอบจาก โรงอิฐ	24
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ โลมัมขัดด้วยเครื่อง XRF	33
ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติของแท่งดินรีดก่อนเผา	36
ตารางที่ 4.3 แสดงความหนาแน่น โดยรวมของตัวอย่างแท่งดินเผาที่ไม่มีโลมัมขัดและมีโลมัมขัดเป็นองค์ประกอบ	40
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการกด	40
ตารางที่ 5.1 การทดลองเตรียมน้ำดินจากแหล่งภาคใต้แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ และสมบัติต่างๆ	46
ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานและปริมาณฟีนของวิธีการเผาแบบเดิมและแบบใหม่	61
ตารางที่ 6.2 ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการกระบวนการเผาอิฐดิบเป็นอิฐสุกที่อุณหภูมิต่างๆ	62
ตารางที่ 6.3 แสดงค่าประมาณการของพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐหนึ่งเตา (น้ำหนักอิฐสุกประมาณ 50 ตัน) ด้วยวิธีการเผาตามปกติ	62

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าประมาณการของพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐหนึ่งเตา (น้ำหนักอิฐสุกประมาณ 47 ตัน) ด้วยวิธีการเรียงอิฐแบบใหม่พร้อมทั้งการใช้ช่องเดิมอากาศ.....	63
ตารางที่ 6.5 พลังงานทั้งหมดที่ได้จากพื้นที่ใช้ในการเผาแบบต่างๆ ในการศึกษา.....	64
ตารางที่ 6.6 แสดงอัตราพลังงานที่ใช้จริงในกระบวนการเผาอิฐต่อปริมาณอิฐ.....	64
ตารางที่ 7.1 องค์ประกอบตามสูตรอิมพีริคัลของเคลือบสูตรต่างๆ.....	72
ตารางที่ 7.2 ร้อยละ โดยน้ำหนักขององค์ประกอบของวัตถุดิบของเคลือบที่มีแก้วไม่ยางเป็นองค์ประกอบ.....	73
ตารางที่ 7.3 ร้อยละ โดยน้ำหนักขององค์ประกอบของวัตถุดิบของเคลือบที่ไม่มีแก้วไม่ยางเป็นองค์ประกอบ.....	73
ตารางที่ 7.4 องค์ประกอบ (mole ratio) ของวัตถุดิบและเคลือบจากโรงงานต่างๆ.....	75
ตารางที่ 7.5 องค์ประกอบ (mole ratio) ของวัตถุดิบและเคลือบจากโรงงานต่างๆ (ต่อ).....	75
ตารางที่ 8.1 แสดงค่ามุมสัมผัส air-water contact angle และ ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่าง.....	89
ตารางที่ 9.1 สมบัติทางกายภาพของชิ้นงานดินเผาตัวอย่าง (เผาที่ 900 องศาเซลเซียส).....	95
ตารางที่ 9.2 แสดงปริมาณน้ำมันเจอร์รานีออกคงเหลือในไมโครแคปซูลที่เวลา 15 วัน หรือ 360 ชั่วโมง.....	96

สารบัญญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 เฟสไดอะแกรมของสารในระบบอะลูมิโนซิลิเกต	5
รูปที่ 2.2 เครื่องบด plenary mill.....	6
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสม	9
รูปที่ 2.4 กราฟค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสม ระหว่างดินท่าสาลา (โรงป่น) และ คัลเล็ด.....	11
รูปที่ 2.5 เฟสไดอะแกรมของสารในระบบบอโรอะลูมิโนซิลิเกต	18
รูปที่ 2.6 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป โรงงานผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน ตำบลปากพูน อำเภอ เมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช	22
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่าการหดตัว การดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของแท่งดินตัวอย่างที่มีเศษอิฐเป็น องค์ประกอบ เมื่อเผาชิ้นงานที่ 900 องศาเซลเซียส	27
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าการหดตัว การดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของแท่งดินตัวอย่างที่มีผงดินเผา เป็นองค์ประกอบเมื่อเผาชิ้นงานที่ 900 องศาเซลเซียส.....	28
รูปที่ 4.1 XRD pattern ของโลมัมด์ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด (lime mud) และที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยกรดแล้ว (treated lime mud) (C = Calcite และ P = Portlandite)	34
รูปที่ 4.2 แสดงค่าการกระจายตัวของอนุภาคโลมัมด์.....	35
รูปที่ 4.3 XRD pattern ของดินทำอิฐจาก อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช (G = Goethite, I = Illite, K=Kaolinite และ Q = Quartz).....	36
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการหดตัวหลังเผาของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีโลมัมด์เป็นองค์ประกอบ (CA) และที่มีโลมัมด์เป็นองค์ประกอบ (LM)	37
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการดูดซึมน้ำของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีโลมัมด์เป็นองค์ประกอบ (CA) และที่ มีโลมัมด์เป็นองค์ประกอบ (LM).....	38
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความแข็งแรงของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีโลมัมด์เป็นองค์ประกอบ (CA) และที่ มีโลมัมด์เป็นองค์ประกอบ (LM).....	39
รูปที่ 4.7 ลักษณะแท่งดินตัวอย่างที่มีโลมัมด์องค์ประกอบและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส หลัง แช่น้ำ 1 เดือน.....	41
รูปที่ 5.1 เครื่องปั้นกวนน้ำดิน และวิธีการปั้นกวนน้ำดิน	45
รูปที่ 5.2 แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และขั้นตอนการเทแบบ.....	47
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลงานชิ้นงานแม่พิมพ์ และตัวอย่างชิ้นงานจากการหล่อแบบหลังเผา.....	47

รูปที่ 6.1 ลักษณะพื้นฐานของเตาเผาอิฐที่นิยมใช้ที่ตำบลปากพูน อำเภอเมือง (ก) และอำเภอชะอวด (ข)	50
รูปที่ 6.2 แบบจำลองลักษณะและมิติของเตาเผาอิฐที่ใช้ในการศึกษา ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช	51
รูปที่ 6.3 การเรียงอิฐเป็นช่องไฟ การเรียงอิฐแบบพื้นปลา และการเรียงอิฐของหลังคาเตา ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช.....	52
รูปที่ 6.4 ภาพวาดแสดงลักษณะการเรียงอิฐในเตาดั้งแต่ระดับเหนือกลานเตาขึ้นไป	52
รูปที่ 6.5 ภาพวาดแสดงตำแหน่งที่วาง โคนวัดอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตาเผาอิฐ ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช	53
รูปที่ 6.6 ภาพวาดแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล	54
รูปที่ 6.7 กราฟแสดงระดับอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตา น้ำหนักพื้นที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา และน้ำหนักพื้นที่ผสมที่ใช้ในกระบวนการเผา	55
รูปที่ 6.8 แสดงระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาอิฐที่ตำแหน่งต่างๆ ที่วัดด้วย โคนวัดอุณหภูมิ.....	56
รูปที่ 6.9 ภาพวาดแสดงช่องอากาศที่สร้างเพิ่มล่างพื้นเตา	58
รูปที่ 6.10 ภาพวาดแสดงลักษณะการเรียงอิฐแบบใหม่ตั้งแต่ระดับเหนือกลานเตาขึ้นไป	58
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงระดับอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตา น้ำหนักพื้นที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลาและน้ำหนักพื้นที่ผสมที่ใช้ในกระบวนการเผา	59
รูปที่ 6.12 แสดงระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาอิฐที่ตำแหน่งต่างๆ ที่วัดด้วย โคนวัดอุณหภูมิ (เทียบกับการเผาแบบเดิมด้วย)	60
รูปที่ 7.1 ชั้นงานชุบน้ำเคลือบจากโรงงานเผาเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส	76
รูปที่ 7.2 เคลือบ P11.5 และ P11.5Ti ₄ ผสมด้วยการปั่นกวาน เเผาที่อุณหภูมิ 1050, 1100, 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	77
รูปที่ 7.3 เคลือบ P11.5 และ P11.5Ti ₄ ผสมด้วยเครื่องบดความเร็วสูง เเผาที่อุณหภูมิ 1050, 1100, 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	78
รูปที่ 7.4 เคลือบสูตรที่มีแก้วไม่ขางเป็นองค์ประกอบ P11.5 เเผาที่อุณหภูมิต่างๆด้วยเตา gradient....	79
รูปที่ 7.5 เคลือบสูตร X9 และ X ₀₃ b ₁ บดผสมด้วยเครื่องบดความเร็วสูง เเผาที่อุณหภูมิ 1050 , 1100, 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	80
รูปที่ 7.6 ถ้วยชุบเคลือบขี้เถ้าไม่ขาง สูตร P11.5 และ P11.5Ti ₄ เเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส.81	
รูปที่ 7.7 เคลือบสูตร X9 ที่เคลือบบนเนื้อดินปั้น F ₀ , F ₅ , F ₁₀ และ F ₁₅ เเผาที่อุณหภูมิ 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	82

รูปที่ 7.8	เคลือบสูตร P11.5 ที่เคลือบบนเนื้อดินปั้น F_0 , F_5 , F_{10} และ F_{15} เเผาที่อุณหภูมิ 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	83
รูปที่ 7.9	เคลือบสูตร P11.5B ₁ ที่เคลือบบนเนื้อดินปั้น F_0 , F_5 , F_{10} และ F_{15} เเผาที่อุณหภูมิ 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	83
รูปที่ 7.10	เคลือบสูตร P11.5Ti ₄ ที่เคลือบบนเนื้อดินปั้น F_0 , F_5 , F_{10} และ F_{15} เเผาที่อุณหภูมิ 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส.....	84
รูปที่ 8.1	แสดงโครงสร้างโคโคซาน.....	86
รูปที่ 8.2	แสดงโครงสร้าง siloxane	87
รูปที่ 8.3	ขั้นตอนการเคลือบสารด้านการดูดซึมน้ำลงบนตัวอย่าง	88
รูปที่ 9.1	โคโคซานสกัดจากเปลือกกุ้ง.....	92
รูปที่ 9.2	ขั้นตอนการแช่ชิ้นงานตัวอย่าง.....	94
รูปที่ 9.3	แสดงไมโครแคปซูลในสภาพตะกอนแขวนลอย และ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงรูปร่างไมโครแคปซูลโคโคซาน.....	95
รูปที่ 9.4	แสดงตัวอย่างชิ้นงานดินเผาก่อนและหลังเคลือบด้วยไมโครแคปซูลพอลิเมอร์.....	97

บทที่ 1

บทนำ

ขอบเขตงานในส่วนการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแหล่งภาคใต้ เริ่มตั้งแต่การสำรวจและวิเคราะห์ปัญหาตลอดจนความต้องการในการพัฒนาการผลิตของแต่ละชุมชนรวมทั้งการหาแนวทางในการดำเนินการเพื่อแก้ปัญหาและยกระดับการผลิตให้เหมาะสมกับปัจจัยในแต่ละท้องถิ่น ตั้งแต่เตรียมวัตถุดิบให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ แก้ไขปัญหากระบวนการผลิตโดยผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีสมัยใหม่กับภูมิปัญญาของท้องถิ่น โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

1. การสำรวจข้อมูลปัญหาและความต้องการ
2. การปรับปรุงและพัฒนาตามแนวทางในห้องปฏิบัติการ
3. การนำผลทดลองบางหัวข้อ ไปใช้ในชุมชน

จากการสำรวจข้อมูลปัญหาและความต้องการ ทั้งจากการบอกเล่าของกลุ่มผู้ประกอบการเป้าหมายและจากการสังเกตขั้นตอนการผลิตในพื้นที่ สามารถ สรุปปัญหาและแนวทางการแก้ไข ได้ดังนี้

ปัญหา

- ผลิตภัณฑ์อิฐและจอกยาง ในเตามีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ
- ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาขาดความแข็งแรง
- กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมต้องอาศัยแรงงานที่มีฝีมือและใช้เวลานาน
- กระบวนการเผายังขาดประสิทธิภาพเกินไปเนื่องเชื้อเพลิง เกิดควันมาก ผลิตภัณฑ์ไม่สุกตัว

แนวทางการแก้ปัญหาและพัฒนา

- การลดอุณหภูมิสุดตัวของผลิตภัณฑ์
- การปรับปรุงเทคนิคการขึ้นรูปที่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้
- ศึกษาและปรับปรุงการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ในเตาเผา
- การสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่

จากปัญหาและแนวทางดังกล่าวข้างต้น กลุ่มงานพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จึงได้ดำเนินงานวิจัยเป็นส่วนๆ ประกอบด้วย

1. การศึกษาการลดจุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาและอิฐ
2. การศึกษาผลของการผสมเศษอิฐและดินนาโน หรือ โกลม์มัด ในอิฐ
3. การศึกษาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินเผาด้วยการหล่อน้ำดิน
4. การปรับปรุงเตาเผาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์อิฐ
5. การพัฒนาเคลือบสีเข้าไม้สำหรับผลิตภัณฑ์ดินเผา
6. การพัฒนาสารเคลือบด้านการขึ้นน้ำบนจอกยาง
7. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดินเผาให้มีกลิ่นหอม โดยการเคลือบด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดซานบรอน้ำมัน

หอมระเหย

โดยในการศึกษาข้างต้นนี้เป็นกรณีศึกษาจากแหล่งหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาจากภาคใต้ 3 แห่ง ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ประกอบด้วย ตำบลปากพูน อำเภอเมือง, ตำบลหินตก อำเภอร่อนพิบูลย์ และตำบลชะอวด อำเภอชะอวด ซึ่งรายละเอียดการศึกษาจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 2

การศึกษาการลดจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นโดยใช้ คัลเล็ต โซเดียมคาร์บอเนต และสารบอแรกซ์

ในปัจจุบันเครื่องปั้นดินเผาชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นภาชนะหรือเครื่องใช้ อาทิ จาน กระจาด ตกแต่ง หรือผลิตภัณฑ์ตกแต่งในรูปแบบต่างๆ รวมถึงอิฐที่ใช้งานด้านการก่อสร้าง ออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นงานที่มีคุณภาพค่อนข้างหลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นกับหลายปัจจัย อาทิ แหล่งและสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตซึ่งรวมถึงการขึ้นรูป การเผา และการตกแต่งต่างๆ ก่อนนำสินค้าออกจำหน่าย ซึ่งเครื่องปั้นดินเผาหลายแหล่งยังผลิตแบบไม่คำนึงถึงคุณภาพ อาทิ เผาไม่สุก ทำให้ใช้งานไม่ทนเปื่อยยุ่ยง่าย เนื่องจากผู้ประกอบการเน้นขายสินค้าราคาไม่แพงนักแต่ขายในปริมาณมาก รวมทั้งลูกค้ายังไม่ค่อยคำนึงถึงคุณภาพสินค้ามากนัก แต่อย่างไรก็ตามจากต้นทุนวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มอาจขาดแคลนได้ทั้งดินและไม้ฟืน ทำให้การผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่มีต้นทุนมากขึ้น การขายในราคาถูกลงอาจเป็นไปได้ยาก และเพื่อความอยู่รอดผู้ประกอบการอาจจำเป็นต้องเพิ่มราคาผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มราคาผลิตภัณฑ์ ผู้ซื้อย่อมต้องคำนึงถึงคุณภาพของเครื่องปั้นดินเผามากขึ้น ดังนั้นจำเป็นที่ผู้ประกอบการต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตที่จะให้ได้คุณภาพมากขึ้น โดยเฉพาะความแข็งแรง

การเพิ่มความแข็งแรงอาจทำได้หลายวิธี อาทิ การเพิ่มอุณหภูมิในการเผาทำได้โดยการเผาให้นานขึ้นซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงมาก แต่จากปัญหาเชื้อเพลิงทั้งเรื่องการขาดแคลนฟืนและราคาก๊าซที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้อาจต้องมองหาแนวทางเลือกอื่นๆ ควบคู่ไปด้วย ซึ่งในบรรดาวิธีการดังกล่าวก็รวมถึงการใช้สารช่วยลดการสุกตัวของเนื้อดิน ซึ่งอาจช่วยดินสุกตัวมากขึ้นในอุณหภูมิเผาเดิม หรือช่วยลดให้อุณหภูมิการเผาให้ต่ำกว่าเดิม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สนใจนำคัลเล็ต(cullet) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในโรงงานผลิตแก้ว และสารเคมี โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมคลอไรด์ และสารบอแรกซ์ ซึ่งเป็นสารที่ราคาไม่แพงและหาง่ายมาใช้ ทดลองผสมกับดินดิบทำประจະ จากโรงงานอิฐชะอวด ตำบลชะอวด อำเภอลำปำ และเนื้อดินปั้นทำสาตา จากโรงงานผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง

2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของเนื้อผลิตภัณฑ์ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และสุกตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิเดิม

2.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

2.2.1 การศึกษาผลของปริมาณและขนาดของคัลเล็ดต่อสมบัติหลังเผาในดินดิบทำประจะและเนื้อดินปั้น (ดินล่าง) ทำศาลา

ในอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งรวมทั้งในอุตสาหกรรมแก้วด้วย โดยของเสียที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงแก้วที่ต้องนำมารีไซเคิลใหม่ แก้วมีหลายประเภท บางประเภทสามารถทำความสะอาดและนำกลับมาใช้ได้เลย บางประเภทต้องนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลโดยการหลอมใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแก้วประเภทโซเดียมแคลเซียมซิลิเกตหรือในกลุ่มโซดาไลม์ ในกระบวนการรีไซเคิลจะเกิดเศษแก้วที่ได้หลังจากการบดก่อนนำไปหลอมใหม่เรียกว่า คัลเล็ด ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคัลเล็ดดังตารางที่ 2.1 พบว่ามีโซเดียมเป็นส่วนประกอบค่อนข้างสูงซึ่งสามารถใช้เป็นฟลักซ์ (Flux) ได้ ซึ่งจากเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 พบว่าปริมาณของโซเดียมสารในระบบโซเดียมอะลูมิโนซิลิเกตจะทำให้สามารถหลอมตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำลงและเพิ่มความหนาแน่นให้ชิ้นงานได้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของคัลเล็ด

องค์ประกอบทางเคมี	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	BaO	ZrO ₂	LOI
คัลเล็ด	71.48	0.06	1.32	0.18	9.22	3.06	0.26	13.21	0.18	0.05	0.06	0.92

5) จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อใช้ คัลเล็ดปริมาณ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ น่าจะสามารถพัฒนาไปขยายผลต่อในภาคปฏิบัติได้ จึงทำการทดลองเพิ่มเติม โดยจะทำการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแท่งให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ด้วยเครื่องรีด (Extrusion) ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปที่ใกล้เคียงกับการขึ้นรูปในโรงอิฐและคัลเล็ดที่ใช้ในการทดลองมีสองขนาดคือ 420 ไมโครเมตร (-40 เมช) และ 74 ไมโครเมตร (-200 เมช) ซึ่งได้จากการใช้เครื่อง Plenary mill บดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของขนาดคัลเล็ด ที่มีต่อสมบัติของชิ้นงานหลังเผา

6) อบแห้ง และ เผาชิ้นงานเช่นเดียวกับการทดลองในเบื้องต้น

7) นำชิ้นงานบางส่วน โดยเลือกตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้คัลเล็ด 74 ไมโครเมตร เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส อัตราการขึ้นของอุณหภูมิ 5 องศาต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบกับเวลา 1 ชั่วโมง

8) ทดลองใช้ดินทำเสา (บน) ผสมกับคัลเล็ด ขนาด 74 ไมโครเมตร เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับดินทำเสา (โรงปั้น)

9) นำส่วนผสมทุกสูตรผสมกับน้ำเพื่อเตรียมเนื้อดินปั้นก่อนขึ้นรูปเป็นแท่งชิ้นงานด้วยเครื่องรีดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ก่อนนำไปอบแห้งและเผา ดังเช่นการทดลองที่ผ่านมา ก่อนนำไปศึกษาค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำ



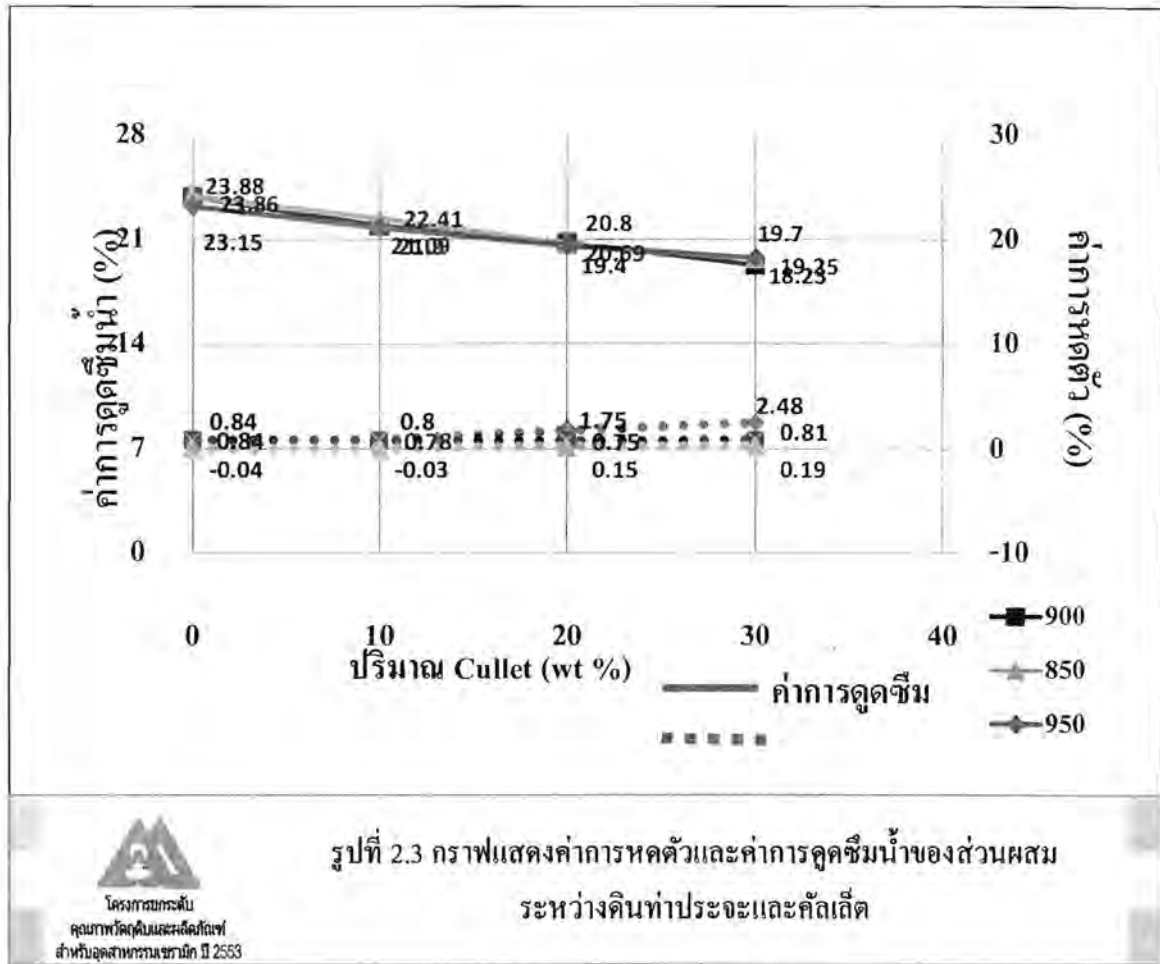
ผลการทดลองที่ 1

จากตารางที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3 แสดงค่าการหดตัวและดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่ได้จากดินดิบทำ ประจจะที่ไม่ผสมและผสมคัลเล็ด เมาในช่วง 850-950 องศาเซลเซียส พบว่า ชิ้นงานที่ได้คัลเล็ด หดตัวสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้คัลเล็ด ทั้งในแนวตามความหนาและตามความยาว ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานลดลง เมื่อกำลังที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีการขยายตัวเล็กน้อย ซึ่งดูได้จากค่าการหดตัวที่มีค่าเป็นลบ เนื่องจากที่อุณหภูมิ ดังกล่าว สารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในดินคั้นตัวออก โดยที่อุณหภูมินี้ การเกิดเนื้อแก้ว (glassy phase) ยังไม่เพียงพอที่จะเชื่อมอนุภาคดินที่อยู่ใกล้ให้ชิดกันจนเกิดการหดตัวได้ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา การหดตัวก็มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าการหดตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน และผลจากการเพิ่มปริมาณคัลเล็ดที่ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าให้ค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกันในอุณหภูมิที่ 850 และ 900 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่ คัลเล็ดปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ โซเดียมและฟลักซ์ ที่อยู่ในคัลเล็ด เมื่อเทียบสัดส่วนยังค่อนข้าง น้อย เมื่อรวมกับโซเดียมและฟลักซ์ตัวอื่นๆ ซึ่งอยู่ในดิน ประมาณ 5.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่อนข้างน้อยเมื่อ ดูจากเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 ทำให้ยากในการเชื่อมติดกันของอนุภาค

ในขณะที่เมื่อเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ค่าการหดตัวของชิ้นงานเริ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มปริมาณ คัลเล็ด 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณ โซเดียมและฟลักซ์มีถึง 10.40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ ชิ้นงานมีค่าการหดตัวสูงและค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าชิ้นงานทดสอบอื่นๆ ที่ใช้ปริมาณคัลเล็ดน้อยกว่า

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมระหว่างดินคืบทำประจะ (ชะอวด) และคัลเล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สูตร	ตามความ หนา (ร้อยละ)	ตามยาว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
950 องศาเซลเซียส	ดินทำประจะ (ชะอวด)	0.84±0.33	0.62±0.03	23.15±0.34
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 10 เปอร์เซ็นต์ cullet	0.80±0.16	0.62±0.07	21.09±0.01
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 20 เปอร์เซ็นต์ cullet	1.75±0.27	0.85±0.10	19.40±0.28
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 30 เปอร์เซ็นต์ cullet	2.48±0.58	0.82±0.14	18.23±0.61
900 องศาเซลเซียส	ดินทำประจะ (ชะอวด)	0.84±0.36	0.77±0.10	23.88±0.45
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 10 เปอร์เซ็นต์ cullet	0.78±0.16	0.88±0.07	21.90±0.32
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 20 เปอร์เซ็นต์ cullet	0.75±0.30	0.99±0.01	20.80±0.59
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 30 เปอร์เซ็นต์ cullet	0.81±0.11	1.00±0.01	19.25±0.39
850 องศาเซลเซียส	ดินทำประจะ (ชะอวด)	-0.04±0.11	0.01±0.03	23.86±0.58
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 10 เปอร์เซ็นต์ cullet	-0.03±0.20	0.06±0.03	22.41±0.39
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 20 เปอร์เซ็นต์ cullet	0.15±0.26	0.14±0.00	20.69±0.50
	ดินทำประจะ (ชะอวด)+ 30 เปอร์เซ็นต์ cullet	0.19±0.21	0.16±0.02	19.70±0.66

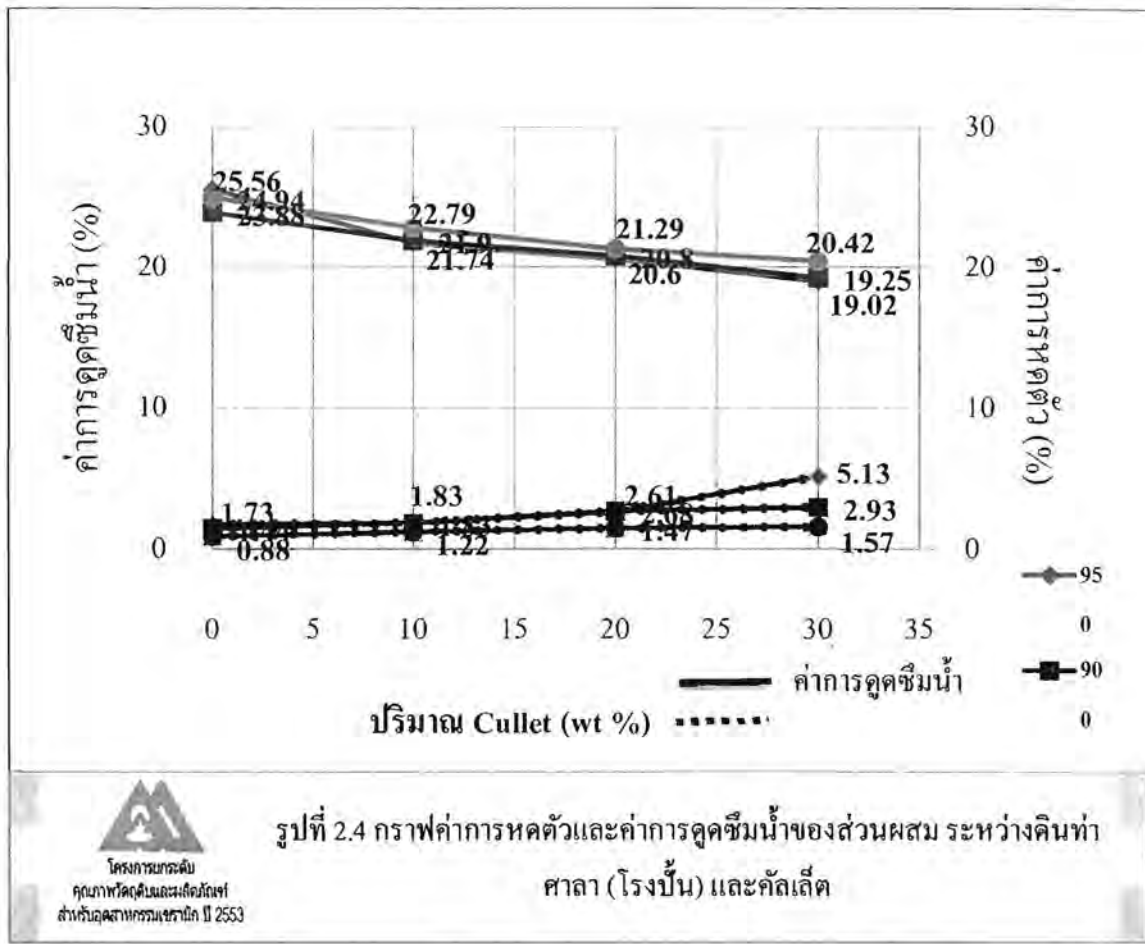


จากตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 แสดงค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่ได้จากการผสมระหว่าง ดินโรบิ้น (เนื้อดินท่าศาลา) และคัลลิต พบว่าชิ้นงานที่ไม่ใส่คัลลิตมีค่าการหดตัวไม่ต่างจากชิ้นงานที่ใส่คัลลิตปริมาณน้อย เช่นเดียวกับชิ้นงานที่เตรียมจากดินท่าประจวบ (ชะอวด) ซึ่งเกิดจากปริมาณคัลลิตที่ใช้ยังไม่เพียงพอ ในการเพิ่มเฟสแก้วในชิ้นงาน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคัลลิต มีผลทำให้เพิ่มฟลักซ์ในชิ้นงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานลดลงเช่นกัน ผลจากการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการหดตัวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงและปริมาณคัลลิตสูงขึ้นเช่นเดียวกับดินท่าประจวบ (ชะอวด) โดยค่าการหดตัวของชิ้นงานส่วนใหญ่จะเกิดในทิศทางเดียวกับทิศทางที่ชิ้นงาน โคนแรงกระทำ กล่าวคือ ชิ้นงานจะหดตัวตามความหนา มากกว่าตามยาว เนื่องจากเป็นทิศทางที่ได้รับแรงกระทำมากกว่า การหดตัวที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากปริมาณของสารออกไซด์ ในสารกลุ่มแอลคาไลน์ซึ่งมีหน้าที่เป็นฟลักซ์ในชิ้นงาน ซึ่งมีอยู่ในคัลลิตและเนื้อดิน ทำให้เกิดการหดตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น การหดตัวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานลดลง แต่จากการทดลองพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานในแต่ละอุณหภูมิมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักถึงแม้ว่าการหดตัวจะมีค่าแตกต่างกันในช่วงอุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส เนื่องจากอนุภาคเริ่มต้นของ

ดินท่าศาลา (เนื้อดิน ไร่บั้ง) เป็นดินที่ค่อนข้างมีอนุภาคขนาดเล็ก (< 2 ไมโครเมตร) สูง เนื่องจากเป็นเนื้อดินเหนียวที่ได้จากชั้นบนและชั้นล่างผสมกัน ดินที่มีขนาดเล็กมากจะหดตัวหลังเพาะมากกว่าดินที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากอนุภาคมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาสูง

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสมระหว่างของดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) และคัลเล็ด ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	สูตร	ตามความหนา (ร้อยละ)	ตามยาว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
950 องศาเซลเซียส	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา)	1.73±0.06	1.30±0.04	25.56±0.50
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 10 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	1.83±0.57	1.86±0.21	21.74±0.34
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 20 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	2.61±0.14	2.46±0.17	20.60±0.27
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 30 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	5.13±0.46	2.61±0.15	19.02±0.45
900 องศาเซลเซียส	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา)	1.44±0.21	0.81±0.10	21.63±0.37
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 10 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	1.83±0.23	1.27±0.21	21.87±0.54
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 20 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	2.68±0.03	1.47±0.17	19.91±0.04
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 30 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	2.93±0.03	1.90±0.15	19.34±0.34
850 องศาเซลเซียส	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา)	0.88±0.01	0.59±0.07	24.94±0.15
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 10 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	1.22±0.01	0.88±0.07	22.79±0.34
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 20 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	1.47±0.01	1.07±0.10	21.29±0.34
	ดินไร่บั้ง (เนื้อดินท่าศาลา) + 30 เปอร์เซนต์คัลเล็ด	1.57±0.02	1.15±0.47	20.42±0.52



รูปที่ 2.4 กราฟค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของส่วนผสม ระหว่างดินทำ
 ศาลา (โรงปั้น) และคัลเล็ด



ดินโรงปั้น (เนื้อดินทำศาลา) มีค่าการหดตัวสูงกว่าดินทำประจะ (ชะอวด) เนื่องจากอนุภาคของดินมีค่าละเอียดประกอบกับคัลเล็ดอาจไปแทรกตัวระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่ และเกิดปฏิกิริยาของเนื้อดินทำศาลา (โรงปั้น) มากกว่าทำให้ชิ้นงานมีค่าการหดตัวสูงกว่าชิ้นงานจากดินทำประจะ (ชะอวด) แม้จะไม่ใส่คัลเล็ด ในขณะที่การเพิ่มปริมาณคัลเล็ด และอุณหภูมิการเผาจะช่วยให้การการหดตัวของชิ้นงานจากดินทำศาลา (โรงปั้น) สูงกว่าชิ้นงานจากดินทำประจะ (ชะอวด) เช่นกัน ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานจากดินทั้งสองแหล่งมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ไม่ใส่คัลเล็ด

ตารางที่ 2.4 ผลความแตกต่างของขนาดคัลเลตและปริมาณที่ใช้ในชั้นงานจากเนื้อดินปั้นท่าศาลาคือ สมบัติหลังเผา

สูตร	ปริมาณดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) (ร้อยละ)	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) และขนาดคัลเลต (ไมโครเมตร)	ค่าการหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
T0	100	-	0.37±0.14	20.96±0.41
T1	85	15 /0.420	0.71±0.39	17.56±0.63
T2	80	20/0.420	0.80±0.18	16.66±0.22
T3	85	15 /0.074	1.10±0.11	15.92±0.33
T4	80	20 /0.074	1.45±0.14	14.78±0.54

เนื่องจากคัลเลตเป็นวัสดุคิบที่ไม่มี ความเหนียว การเพิ่มปริมาณเข้าไปในดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) จะช่วยลดความเหนียวของเนื้อดินเนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็ก จะมีโอกาสเกิดการแตกตัวของผลิตภัณฑ์มากกว่าอนุภาคใหญ่ซึ่งดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) เป็นดินที่มีขนาดละเอียดกว่า 2 ไมโครเมตรมากจึงมีโอกาสแตกง่ายได้ง่าย จากเหตุผลเรื่องขนาดอนุภาค จึงมีการศึกษาเรื่องขนาดและปริมาณของสารที่ใช้เพิ่มเติมเพื่อคุณสมบัติหลังเผาของชั้นงาน โดยจะเปรียบเทียบขนาดของคัลเลต 0.420 และ 0.074 ไมโครเมตร ปริมาณ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 2.4 พบว่าค่าการหดตัวของชั้นงานที่ใช้คัลเลตขนาดเล็กกว่า 74 ไมโครเมตร ในการผสม มีค่าการหดตัวสูงกว่าชั้นงานที่ใช้คัลเลตขนาด 420 ไมโครเมตร เนื่องจากขณะที่มีอนุภาคเริ่มต้นมีขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวสูงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการทางความร้อนมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของเนื้อดินได้มากกว่า ในขณะที่ปริมาณของคัลเลตที่ใช้ ก็ส่งผลต่อค่าการหดตัวของชั้นงานเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดและปริมาณพบว่า ปริมาณการใช้คัลเลตยังส่งผลน้อยกว่าเรื่องขนาด โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชั้นงานที่ได้มีค่าต่ำสุด (14.78 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นผลมาจากคัลเลตขนาดเล็กเช่นเดียวกับค่าการหดตัวที่มีค่าสูงสุด (1.45 เปอร์เซ็นต์)

จากผลการทดลองข้างต้นทำให้สามารถทราบได้ว่าขนาดของสารที่ใช้ผสมในเนื้อดินมีผลกับสมบัติหลังเผาของดินจากโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) ซึ่งเกิดจากการผสมของแหล่งดินบนและดินล่าง ด้วยเหตุนี้จึงทำการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้ดินท่าศาลาบน ที่มีเนื้อค่อนข้างละเอียดมาผสมกับคัลเล็ด 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดิมโดยคัลเล็ดที่ใช้มีขนาด 74 ไมโครเมตร เพื่อดูค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงาน โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.4 พบว่าค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานจากดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) เมื่อเผาชั้นงานที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส อัตราการขึ้นของอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง พบว่า ชั้นงานให้ค่าการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูง จะสังเกตได้จากตารางที่ 2.5 ว่าสูตร TC0 ถึง TC15 ซึ่งเป็นชั้นงานจากแหล่งดินท่าศาลา (บน) มีค่าการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำสูง และจะมีการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อใช้คัลเล็ดทั้ง 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานต่ำ นั่นแสดงให้เห็นคัลเล็ดที่ใช้มีทำให้ชั้นงานมีความหนาแน่นขึ้น (Densifications) ซึ่งจะเห็นได้จากการหดตัวและค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงาน ในขณะที่สูตร T3 และ T4 จากตารางที่ 2.4 ซึ่งเตรียมชั้นงานจากดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) ให้ค่าการหดตัวค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ และถึงแม้ว่าค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานจะสูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากดินท่าศาลาบน แต่ก็มีย่าน้อยกว่าดินท่าศาลาที่ไม่มีการผสมคัลเล็ด

ตารางที่ 2.5 ผลของขนาดคัลเล็ด 0.074 ไมโครเมตร ต่อสมบัติหลังเผาของดินท่าศาลา (บน)

สูตร	ปริมาณดิน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ cullet (เปอร์เซ็นต์)	ค่าการหดตัว (ร้อยละ)	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
TC0	100(ดินท่าศาลา (บน))	-	2.84±0.29	19.96±0.59
TC15	85(ดินท่าศาลา (บน))	15	3.64±0.20	14.01±0.35
TC20	80 (ดินท่าศาลา (บน))	20	3.76±0.45	12.67±0.70

จากตารางที่ 2.6 ซึ่งเป็นผลมาจากการนำตัวอย่างจากสูตร T3 และ T4 นำมาทดลองเพิ่มเวลาในการขึ้นไฟจาก 1 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมง พบว่า ชั้นงานที่เผา 3 ชั่วโมงให้ค่าการหดตัวสูงกว่า 1 ชั่วโมงเล็กน้อยในสูตร T3 คือ จาก 1.10 เป็น 1.56 เปอร์เซ็นต์ และให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตร T4 ซึ่งมีปริมาณคัลเล็ดสูงกว่า ให้ค่าการหดตัวสูงขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์และค่าการดูดซึมน้ำลดลงถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำสามารถลดลงได้ถึง 12.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ จากผลการทดลองที่ได้ทำให้ผู้ประกอบการมีทางเลือกในการผลิตมากขึ้นกล่าวคือ หากผู้ประกอบการสามารถหาแหล่งวัตถุดิบที่ราคาถูกได้ ก็สามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมได้กล่าวคือ หากมีแหล่งพื้นซึ่งราคาถูก ก็สามารถเผาขึ้นไฟให้หนาขึ้น ในขณะที่ใช้คัลเล็ดเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ ในทาง

ตรงข้ามหากมีโรงงานหรืออุตสาหกรรมแก้วที่สามารถป้อนเศษแก้วหรือคัลเล็ดในราคาข่อมเขาและเพียงพอก็สามารถใช้คัลเล็ดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ และ สามารถเผาได้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานและต้นทุนได้

ตารางที่ 2.6 ผลของการขึ้นไฟต่อสมบัติหลังเผาของดินโรงป็น (เนื้อดินท่าศาลา)

สูตร	ค่าการหดตัว (ร้อยละ)		การดูด ซึมน้ำ (ร้อยละ)	
	ขึ้นไฟ 1 ชั่วโมง	ขึ้นไฟ 3 ชั่วโมง	ขึ้นไฟ 1 ชั่วโมง	ขึ้นไฟ 3 ชั่วโมง
T3	1.10±0.11	1.56±0.16	15.92±0.33	14.75±0.25
T4	1.45±0.14	2.14±0.05	14.78±0.54	12.71±0.23

สรุปผลการทดลองที่ 1

- 1.1) ดินท่าประจะ (ชะอวด)และดินท่าศาลา (โรงป็น) ที่ผสมคัลเล็ด มีค่าการหดตัวสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ ในขณะที่ ค่าการดูดซึมน้ำของดินทั้งสองแหล่ง ค่อยๆ ลดลง พร้อมกับค่าหดตัวที่เพิ่มขึ้น
- 1.2) ปริมาณคัลเล็ดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าการหดตัวสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำลดลง ในดินทั้งสองแหล่ง
- 1.3) คัลเล็ดขนาดเล็ก สามารถทำให้ค่าการหดตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาได้ดี และสามารถเข้าไปแทรกในอนุภาคหยาบของเนื้อดินได้
- 1.4) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะแปรผันตรงกับค่าการหดตัวของชิ้นงาน แต่จะแปรผกผันกับค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานทั้งสองแหล่ง
- 1.5) เมื่อเพิ่มเวลาในการขึ้นไฟของชิ้นงานเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมง พบว่าการหดตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นและค่าการดูดซึมน้ำลดลง

2.2.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของโซเดียมคาร์บอเนต และสารบอแรกซ์ ที่มีผลต่อสมบัติหลังเผาของเนื้อดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) และดินท่าประจ๊ะ (ชะอวด)

จากการทดลองนำคัลเล่ต์มาใช้เพื่อลดจุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์ ก่อนข้างได้ผลดี แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญอีกประการคือ การหาซื้อในท้องถิ่นภาคใต้ ซึ่งมีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตแก้วค่อนข้างน้อย และปริมาณที่นำมาใช้งานค่อนข้างสูงคือ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ อาจมีปริมาณไม่เพียงพอในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม หากจำเป็นต้องเพิ่มการขนส่งคัลเล่ต์อาจส่งผลต่อการเพิ่มต้นทุนได้ ดังนั้นหากมีสารที่น่าจะมีสมบัติใกล้เคียงกับคัลเล่ต์คือสามารถลดจุดสุกตัวของชิ้นงานและใช้ในปริมาณน้อยกว่า ก็น่าจะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึง ได้เตรียมเนื้อดินผสมกับสารหลายชนิด อาทิ โซเดียมคาร์บอเนต (โซดาแอช) และสารบอแรกซ์ (น้ำประสานทอง ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายขึ้นอยู่กับปริมาณที่สะสมในร่างกาย ตรวจพบบ่อยในลูกชิ้น เพื่อทำให้ลักษณะแข็ง กรูบกรอบ) การใช้โซเดียมคาร์บอเนตผสมในเนื้อดินปั้น จะทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์ มีความแกร่ง และเผาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวลดจุดสุกตัวที่มีผลอย่างแรง โดยมีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำเพียง 851 องศาเซลเซียส ในขณะที่สารบอแรกซ์มีโบรอนเป็นองค์ประกอบเคมี ซึ่งมีจุดหลอมตัวต่ำเช่นกันคือ 577 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเป็นที่คาดว่าสารทั้งสองชนิดอาจเพิ่มความแกร่งให้ชิ้นงาน และเผาได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของโซเดียมคาร์บอเนต และสารบอแรกซ์ ที่มีผลต่อสมบัติหลังเผา

ขั้นตอนในการทดลอง

- 1) ทำการบดเพื่อลดขนาดของดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) ดังเช่นการทดลองที่ผ่านมา
- 2) เตรียมชิ้นงาน โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตและสารบอแรกซ์ โดยเพิ่มปริมาณของสารทั้งสองอย่างละ 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 2.7 ผสมสูตรแต่ละสูตรกับน้ำประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นรูปด้วยมือ โดยใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์เป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและเผาที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำในเบื้องต้น
- 3) ในส่วนของดินท่าประจ๊ะ (ชะอวด) จะขึ้นรูปด้วยการอัดเช่นกัน เพื่อให้มีรูปร่างลักษณะคล้ายอิฐ โดยทำการหมักผสมดินท่าประจ๊ะ (ชะอวด) กับน้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปผสมกับโซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นหมักดินที่ผสมแล้วไว้อีก 24 ชั่วโมง ก่อนการขึ้นรูป

4) นำเนื้อดินทำประจະ (ชะอวด) ที่หมักแล้ว ไปขึ้นรูปอิฐ ด้วยเครื่องอัด ขนาด 5.5x11x2.5 เซนติเมตร อบแห้งชิ้นงานที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหาค่าการดูดซึมน้ำของอิฐตั้งเฝ้าการทดลองที่ผ่านมา

ตารางที่ 2.7 สูตรที่ใช้ในการทดลองโดยการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

สูตร	ส่วนผสม
T	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา)
Tb1	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 1เปอร์เซ็นต์ borax
Tb2	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 2เปอร์เซ็นต์ borax
Tb3	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 3เปอร์เซ็นต์ borax
Tb4	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 4เปอร์เซ็นต์ borax
Tb5	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 5เปอร์เซ็นต์ borax
Tn1	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 1เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3
Tn2	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 2เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3
Tn3	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 3เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3
Tn4	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 4เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3
Tn5	ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าศาลา) + 5เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3

ผลการทดลองที่ 1.2

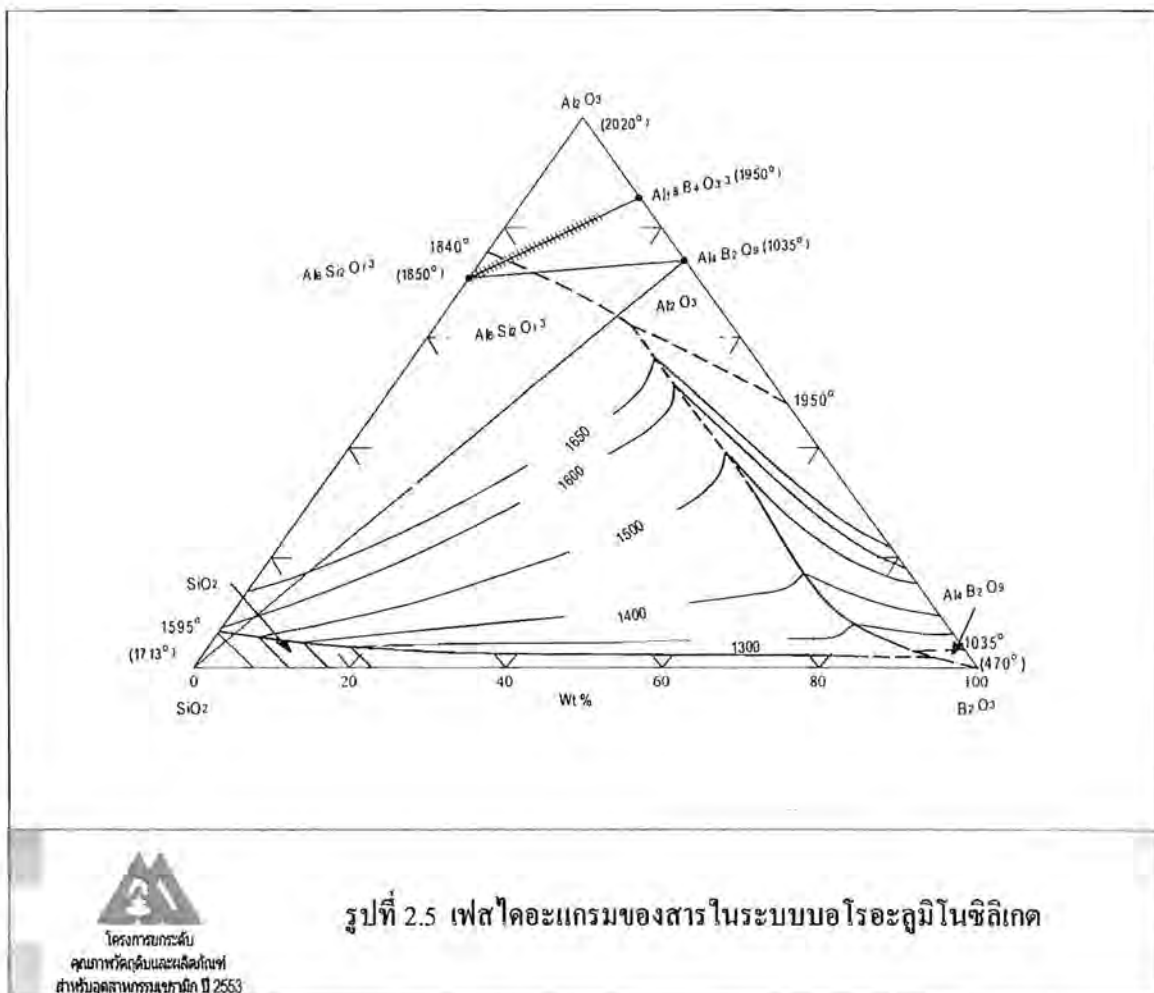
จากตารางที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อผสม โซเดียมคาร์บอเนตหรือสารบอแรกซ์ในเนื้อดิน สามารถลดค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผสม และค่าการดูดซึมน้ำลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณสารเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ โดยชั้นงานที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนต ให้ค่าการดูดซึมน้ำค่อนข้างต่ำคือ อยู่ในช่วง 8.69 ถึง 14.31 เปอร์เซ็นต์ และชั้นงานที่ใช้สารบอแรกซ์ให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 10.29 ถึง 14.94 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ หากดูจากเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 2.5 จะพบว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ของโบรอนออกไซด์จะสามารถหลอมเหลวที่อุณหภูมิแค่ 470 องศาเซลเซียส แต่เมื่อรวมตัวกับอะลูมินาและซิลิกาซึ่งมีจุดหลอมตัวค่อนข้างสูง ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานมีค่าสูงกว่าชั้นงานที่ผสมโซเดียมคาร์บอเนตเล็กน้อย แต่สารทั้งสองตัวก็ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์อย่างแรงในการลดจุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 2.8 ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานด้วยการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

สูตร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	850	900	950
T	14.95±0.28	14.72±0.28	14.07±0.21
Tb1	14.04±0.04	13.91±0.10	13.31±0.38
Tb2	13.47±0.30	12.78±0.46	12.44±0.32
Tb3	13.03±0.08	12.07±0.51	11.43±1.00
Tb4*	12.39±0.13	11.47±0.30	11.09±0.65
Tb5	12.19±0.05	10.69±0.23	10.29±0.83
Tn1	14.31±0.19	13.99±0.11	11.55±2.19
Tn2	13.52±0.08	12.89±0.73	9.54±0.70
Tn3*	13.19±0.31	12.41±0.29	8.69±0.45
Tn4	13.35±0.30	11.90±0.60	7.62±0.48
Tn5*	13.89±0.81	11.95±0.26	8.16±0.82

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา พบว่าชั้นงานที่ผสมสารทั้งสองชนิด มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา คือ เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น จะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา ทำให้ชั้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและอาจมีผลให้ชั้นงานมีความแกร่งขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าสูตรที่คาดว่าจะนำไปใช้ปฏิบัติงานได้จริงคือ $Tb4^*$ (สารบอแรกซ์ 4 เปอร์เซ็นต์) $Tn3^*$ และ $Tn5^*$ (3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โซเดียมคาร์บอเนต) จึงนำสูตรดังกล่าวมาทดลองเพิ่มเติม โดยเผาที่อุณหภูมิที่ต่ำลงคือ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาค่าการดูดซึมน้ำที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจากการทดลองพบว่าทั้งสามสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าเผาที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่า อัตราการทำปฏิกิริยาของสารข้อมเกิดน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ทำให้ค่าความหนาแน่นของชั้นงานที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่า ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานต่ำกว่าชั้นงานที่อุณหภูมิต่ำดังตารางที่ 2.9



สูตร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	700	800	850	900	950
Tb4*	14.40±0.18	14.05±0.25	12.39±0.13	11.47±0.30	11.09±0.65
Tn3*	14.34±0.18	13.75±0.28	13.19±0.31	12.41±0.29	8.69±0.45
Tn5*	15.24±0.28	15.05±0.48	13.89±0.81	11.95±0.26	8.16±0.82

ตารางที่ 2.9 ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ

นอกจากผลการทดลองที่ผ่านมา ที่ได้จากการใช้ดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าสาลา) และดินท่าประจะ (ชะอวด) ในการทดลอง ซึ่งใช้การขึ้นรูปโดยการอัด และใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์แล้ว ยังมีการทดลองใช้การขึ้นรูปโดยการอัดชิ้นงานให้มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงอิฐ ขนาด 5.5x11x2.5 เซนติเมตร เพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน พบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา คือ เมื่อผสมโซเดียมคาร์บอเนต ชิ้นงานจะให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.10 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจากดินท่าสาลา (โรงปั้น) พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเป็นที่คาดว่า สามารถนำโซเดียมคาร์บอเนตไปใช้งานกับเนื้อดินที่มีองค์ทางเคมีไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 2.10 ค่าการดูดซึมน้ำของดิน โรงปั้น (เนื้อดินท่าสาลา) และ ดินท่าประจะ (ชะอวด)

สูตร	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
ดินท่าประจะ (ชะอวด) ผสมโซเดียม ฯ	12.47 ±0.82
ดินท่าประจะ (ชะอวด)	15.71±0.12
ดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าสาลา)ผสม โซเดียม ฯ	12.41±0.29
ดินโรงปั้น (เนื้อดินท่าสาลา)	14.72±0.28

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า สารที่ใช้ส่วนใหญ่สามารถลดค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ ชิ้นงานที่ผสมคลิเอร์ให้ผลการทดลองค่อนข้างดี แต่ขนาดที่ใช้ในการทดลองค่อนข้างละเอียดและใช้ในปริมาณค่อนข้างสูงอาจจะเพิ่มต้นทุนในการผลิตให้กับกลุ่มผู้ผลิตและผู้อุปโภคได้ ในขณะที่ โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารที่คาดว่าจะสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากสามารถลดค่าการดูดซึมน้ำ ได้ทั้งชิ้นงานอิฐ และกระถางตกแต่งสวน ซึ่งคาดว่าจะทำให้ชิ้นงานมีความแกร่งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผู้ประกอบการควรศึกษาต้นทุนในการผลิต เพราะถึงแม้ว่าราคาของโซเดียมคาร์บอเนตจะมีราคาไม่สูงนัก (ประมาณ 3 บาทต่อกิโลกรัม) แต่อาจส่งผลกระทบต่อกิจการที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองส่วนใหญ่ จะใช้ค่าการดูดซึมน้ำเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าความแกร่งของชิ้นงาน เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเวลา ดังนั้นหากต้องการค่าความแข็งแรงหรือความแกร่งของชิ้นงาน อาจทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อระบุข้อมูลทางสถิติเพิ่มเติม

2.3 การขยายผลจากห้องปฏิบัติการสู่พื้นที่ปฏิบัติงานจริง

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า มีบางสูตรที่คาดว่าจะสามารถนำไปใช้งานได้จริงในกลุ่มผู้ผลิตคือ การเติมโซเดียมคาร์บอเนต 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดอุณหภูมิการเผาและเพิ่มความแกร่งให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์โดยกลุ่มผู้ผลิตที่ทางโครงการฯ ได้นำผลการทดลองไปปฏิบัติงานจริงที่ ตำบลปากพูน อำเภอเมือง ประกอบด้วยกลุ่มผู้ผลิต 2 กลุ่ม ได้แก่

1. โรงงานผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน
2. โรงอิฐ

2.3.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน

ตารางที่ 2.11 ขั้นตอนการเตรียมและเผาผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน 2 โรงงาน

ขั้นตอนการเตรียม	โรงงาน 1	โรงงาน 2
การเตรียมดิน	ใช้ดินดิบผสมน้ำและทราย	ใช้ดินที่หมักทิ้งไว้
การผสมโซเดียมคาร์บอเนต	ผสมด้วยเครื่องรีด วน 3 รอบ	นวดด้วยมือ
การตากแห้ง	ตากในร่ม	ตากในร่ม
ลักษณะชิ้นงานหลังแห้ง	ชิ้นงานยุบตัวประมาณ 0.5-1 นิ้ว	ไม่ยุบตัว ไม่แตก

ในการเตรียมเนื้อดินในโรงงานที่ 1 จะทำการนวดทั้งหมด 3 รอบ โดยรอบแรกจะผสมดินกับทรายในอัตราส่วน 7:3 และเติมน้ำเล็กน้อยลงในเครื่องรีด แ่งเนื้อดินที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8 นิ้ว และตัดให้มีขนาดแท่งละ 6 กิโลกรัม โดยมีความยาวแท่งละ 12.5 เซนติเมตร แ่งดินแต่ละแท่งจะใช้โซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 150 กรัม ผสมกับเนื้อดินในการรีดผสมรอบที่สอง จากนั้นนำดินที่ผสมแล้วเข้าเครื่องรีดอีกครั้ง ตัวอย่างกระถางที่ขึ้นรูปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 เซนติเมตร โดยจะตากกระถางไว้ในร่มเนื่องจากการนำไปผึ่งแดดอาจจะทำให้ชิ้นงานแตกได้ ก่อนจะนำชิ้นงานเข้าเตาเผาและหาค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้เติมโซเดียมคาร์บอเนต

เนื่องจากโรงงานที่ 2 ใช้เครื่องรีดดินที่ค่อนข้างใหญ่และเครื่องประกอบด้วยใบพัดสลับแกนทำให้ยากในการคำนวณปริมาณดินที่แท้จริงได้ เนื่องจากเนื้อดินที่ผสมจะติดอยู่ในเครื่องค่อนข้างมาก ดังนั้นในการทดลองผสมดินกับโซเดียมคาร์บอเนต จึงทดลองนำดินที่รีดแล้ว มาผสมกับโซเดียมคาร์บอเนตแทน แล้วใช้มือขนาดโดยใช้นิ้ว 15 กิโลกรัมจะใช้โซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 350 กรัม ชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้แสดงดังรูปที่ 2.6




 โครงการยกระดับ
 คุณภาพระดับและผลิตภัณฑ์
 สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2553

รูปที่ 2.6 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป โรงงานผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

2.3.2 ผลการดำเนินการในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์กระถางตกแต่งสวน

จากการนำโซเดียมคาร์บอเนตมาผสมกับเนื้อดินเพื่อขึ้นรูปในโรงงานที่ 1 พบว่าในระหว่างการขึ้นรูปด้วยมือ เกิดความร้อนขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของสารกับเนื้อดิน และเนื้อดินมีความเหนียวขึ้นเล็กน้อย หลังจากการขึ้นรูป ชิ้นงานกระถางไม่คงรูปโดยจะยุบตัว ประมาณ 1-2 เซนติเมตร ในขณะที่โรงงานที่ 2 ชิ้นงานไม่ยุบตัว ทั้งนี้อาจจะเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง อาทิ การหมักดินก่อนการผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต ขั้นตอนการผสมและความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อดินกับสาร รวมถึงระยะเวลาในการหมักดินหลังการผสมโซเดียมคาร์บอเนต และธรรมชาติของเนื้อดินในแต่ละแหล่ง ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน

จากผลการดูชิมน้ำแสดงดังตารางที่ 2.12 พบว่า โรงงาน 1 มีค่าการดูชิมต่ำกว่าโรงงาน 2 โดยค่าที่ได้ทั้งแบบผสมโซเดียมคาร์บอเนตและไม่ผสมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการเผาในเตาถึงจุดสูงสุดตัวของผลิตภัณฑ์แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารในการเผาที่อุณหภูมิดังกล่าว แต่หากวางชิ้นงานในตำแหน่งอื่นๆ ในเตา อาจจะพบว่าค่าที่ได้อาจจะไม่เท่ากัน เนื่องจากเตาที่ใช้เผาเป็นเตาพื้น ดังนั้นปัญหาเรื่องความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในก็ย่อมส่งผลต่อสมบัติของชิ้นงานได้

ในขณะที่โรงงาน 2 ชิ้นงานที่ผสมโซเดียมคาร์บอเนตให้ค่าการดูชิมน้ำต่ำกว่าชิ้นงานปกติคือ 15.30 และ 17.00 แสดงให้เห็นว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่นำมาใช้สามารถลดค่าการดูชิมน้ำของชิ้นงานได้จริง อาจจะทำให้ชิ้นงานแกร่งขึ้นได้

ตารางที่ 2.12 ค่าการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์กระดาษตกแต่งสวน 2 โรงงาน

ชั้นงาน	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
B1	15.84±0.28
N1	15.85±0.18
B2	17.00±0.25
N2	15.34±0.18

หมายเหตุ

N= ชั้นงานผสมโซเดียมคาร์บอเนต

B = ชั้นงานไม่ผสมโซเดียมคาร์บอเนต

1= ชั้นงานจากโรงงานที่ 1

2 = ชั้นงานจากโรงงานที่ 2

2.3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานในโรงอิฐ

เนื่องจากโรงอิฐ เป็นกลุ่มผู้ผลิตที่ค่อนข้างใหญ่ มีกำลังการผลิตในแต่ละวันค่อนข้างสูง ดังนั้นในการทดลองจึงไม่สามารถรีดดินหลายๆ รอบได้ โดยในการรีดอิฐ 8 รู ในเวลา 20 วินาที ใช้เนื้อดินประมาณ 25 กิโลกรัม ผสมกับ โซเดียมคาร์บอเนต 600 กรัม ใส่บริเวณปากเครื่องรีด โดยจะใช้ใบพัดในเครื่องรีดเป็นตัวผสมเนื้อดินและโซเดียมคาร์บอเนต

นำอิฐไปเผาในเตาพื้นของกุ่มผู้ผลิต โดยการวางชั้นงานจะวางเป็นระดับชั้น โดยชั้นที่ 1 จะได้รับความร้อนสูงสุดเนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนจากเตาไฟโดยตรง

หาค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานในตำแหน่งต่างๆ ดังเช่นการทดลองในห้องปฏิบัติการ

2.3.4 ผลการดำเนินการในโรงงานผลิตอิฐ

จากการทดลองนำชั้นงานไปทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำพบว่า อิฐที่อยู่ใกล้เตาไฟ ซึ่งได้รับพลังงานความร้อนโดยตรงคือชั้นที่ 1 ให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดร้อยละ 9.08 และ 9.49 ในตัวอย่างอิฐที่เต็มและไม่เต็มโซเดียมคาร์บอเนตตามดับ และค่าการดูดซึมน้ำจะค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างอิฐและเตาไฟเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะที่อิฐโดนความร้อนค่อยๆ ห่างออกไป ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอตลอดแนวของการวางชั้นงาน ส่งผลให้คุณภาพของอิฐแต่ละจุดมีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานอิฐทดสอบจากโรงอิฐ

ชั้นงาน	ตำแหน่งการวาง	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
N	ชั้นที่ 1	9.08±0.76
B		9.49±0.39
N	ชั้นที่ 5	16.51±0.56
B		17.27±0.44
N	ชั้นที่ 9	17.09±0.30
B		17.29±0.22
N	ชั้นที่ 15	17.29±1.29
B		15.88±0.03

หมายเหตุ N= ชั้นงานอิฐผสมโซเดียมคาร์บอเนต B = ชั้นงานอิฐไม่ผสมโซเดียมคาร์บอเนต

2.3.5 สรุปผลการดำเนินการ

จากการศึกษาการนำโซเดียมคาร์บอเนตมาใช้ในการลดจุดดูดตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และเพิ่มความแกร่งให้เนื้อผลิตภัณฑ์พบว่า โซเดียมคาร์บอเนตสามารถช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานได้เมื่อเผาชั้นงานที่อุณหภูมิเดิมหรือต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแกร่งของชั้นงานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่องว่างที่อยู่ในชั้นงานที่ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำไว้น้อยลงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานลดลง และเมื่อปริมาณรูพรุนต่ำ ความแข็งแรงของชั้นงานก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

บทที่ 3

การศึกษาผลของการผสมเศษอิฐและผงดินเผาในเนื้อดินสำหรับการทำอิฐ จากแหล่งดินภาคใต้

การผลิตอิฐในพื้นที่ภาคใต้มีลักษณะที่แตกต่างไปจากการผลิตอิฐในพื้นที่ภาคกลางตั้งแต่วิธีการขึ้นรูป รูปแบบของอิฐ และเตาเผาอิฐ ซึ่ง โรงงานอิฐในภาคกลางมีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดลงแบบ (hydraulic press) เป็นก้อนอิฐแบบตัน และมีการเผาอิฐด้วยเตาแกสสำหรับโรงงานอิฐขนาดใหญ่ ซึ่งความเสียหายของอิฐหลังเผาก็มีไม่มากนัก ในขณะที่การขึ้นรูปอิฐใน โรงงานพื้นที่ภาคใต้นั้น ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการรีดเป็นแท่งดินสี่เหลี่ยมมีรูกลวง 4 รู และตัดเป็นก้อนตามขนาดที่ต้องการ ส่วนวิธีการเผานั้นเป็นการเผาด้วยเตาฟืน โดยเตาเผาที่มีลักษณะเป็นเหมือนห้องที่มีผนัง 4 ด้าน ก่อด้วยอิฐ โดยมีความสูงประมาณ 3 เมตร ข้างผนังมีตาไฟสำหรับใส่ฟืน ไม่มีหลังคา อิฐที่ขึ้นรูปถูกนำมาเรียงจนเต็มพื้นที่เตา มีการเว้นช่องว่างระหว่างอิฐตามความเหมาะสมเพื่อให้ไฟกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในเตา อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเตามีขนาดใหญ่และอิฐถูกจัดเรียงจนเต็มประมาณ 50,000 ก้อน ในการเผาแต่ละครั้ง ทำให้การเผาอิฐในแต่ละระดับความสูงได้รับพลังงานความร้อนจากฟืนไม่สม่ำเสมอทั้งเตา อิฐบางก้อนได้รับความร้อนมากเกินไปก็เกิดการแตกเสียหายได้ ในขณะที่อิฐบางก้อนได้รับพลังงานความร้อนน้อยกว่าก็ควรจะเป็นทำให้อิฐไม่แข็งแรงและแตกหักง่ายได้เช่นกันระหว่างกระบวนการขนย้าย อิฐที่เกิดความเสียหายหลังการเผาจึงเป็นของเสียหลักของโรงงานผลิตอิฐ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากนักนอกจากใช้เพื่อการถมที่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากทรัพยากรดินมีโอกาสน้อยและหมดไปในที่สุดหากไม่ระมัดระวังในการใช้ ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการลดการใช้ดินคือการเติมวัสดุอื่นที่หาได้ง่ายในพื้นที่ เช่น เศษอิฐที่ได้จากก้อนอิฐที่เสียหายหลังการเผา ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้และผลต่อสมบัติของอิฐหลังเผามือเติมเศษอิฐเพื่อเป็นส่วนประกอบในเนื้อดินสำหรับการทำอิฐ

3.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Ismail Dermir และ Mehmet Orhan เป็นการศึกษาถึงการเติมเศษอิฐในกระบวนการผลิตอิฐ และผลของเศษอิฐที่เติมต่อความทนทานและสมบัติเชิงกลของอิฐที่ได้ ซึ่งอิฐที่เกิดความเสียหายนั้นเกิดขึ้นได้ในหลายขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิต เช่น การเผาและการขนส่ง โดยที่ผ่านมาเศษอิฐส่วนใหญ่ถูกนำไปเพื่อการถมที่เป็นหลัก ดังนั้นการทดลองผสมเศษอิฐในเนื้อดินทำอิฐจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมอิฐ โดยเริ่มจากการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ของเศษอิฐ หลังจากบดเศษอิฐแล้วตัวอย่างถูกแบ่งเป็น

2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม A ซึ่งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มิลลิเมตร (หยาบ) และ กลุ่ม B ซึ่งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 600 ไมโครเมตร (ละเอียด) และนำมาเป็นส่วนผสมในเนื้อดินด้วยสัดส่วนของเศษอิฐร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการวิจัยพบว่า เมื่อเติมเศษอิฐ ชนิดละเอียดในปริมาณร้อยละ 30 ในเนื้อดิน หลังขึ้นรูปเป็นชิ้นงานและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ตัวอย่างที่มีความแข็งแรงเพียงพอ

3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงผลของการเติมเศษอิฐและผงดินเผาในเนื้อดินสำหรับการทำอิฐต่อสมบัติทางกายภาพของแห้งดินตัวอย่าง ได้แก่ การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรง

3.3 วิธีการทดลอง

1. การเตรียมแห้งดินทดสอบผสมเศษอิฐ

1.1 บดเศษอิฐและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร

1.2 ผสมเศษอิฐที่ผ่านการร่อนแล้วกับดินสำหรับทำอิฐ โดยใช้เศษอิฐ 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนัก

1.3 หนักส่วนผสมของดินและเศษอิฐด้วยน้ำเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนวดและขึ้นรูปเป็นแห้งดิน

1.4 วัดขนาด ชั่งน้ำหนัก และทดสอบความแข็งแรงของแห้งดินก่อนเผา

1.5 เผาแห้งดินที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. การเตรียมแห้งดินทดสอบผสมผงดินเผา

2.1 บดตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา

2.2 ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร และเผาผงดินที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

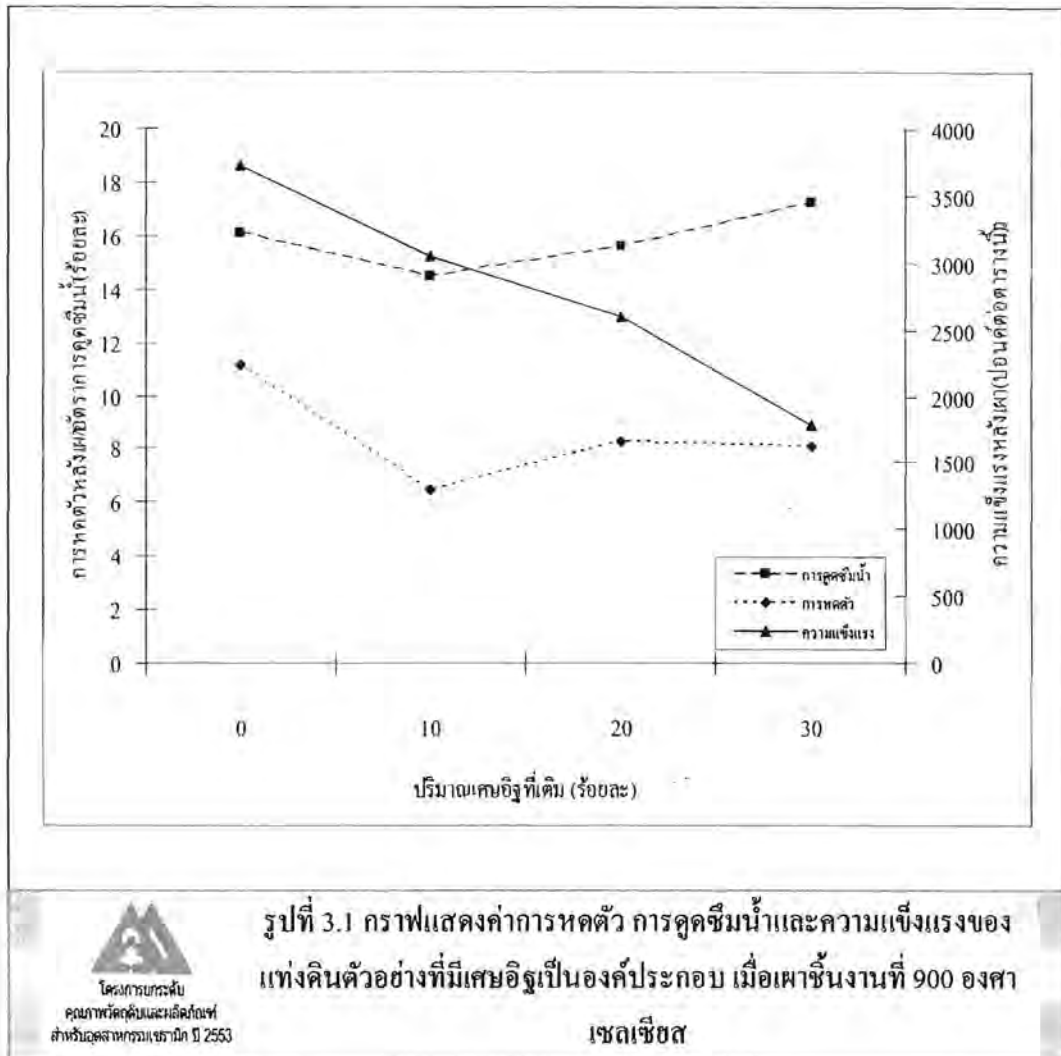
2.3 ผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาที่ผ่านการร่อนและเผาแล้วแล้วกับดินเหนียว โดยใช้ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนัก

2.4 หนักส่วนผสมของดินและผงดินเผาด้วยน้ำเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนวดและขึ้นรูปเป็นแห้งดิน

2.5 วัดขนาด ชั่งน้ำหนัก และทดสอบความแข็งแรงของแห้งดินก่อนเผา

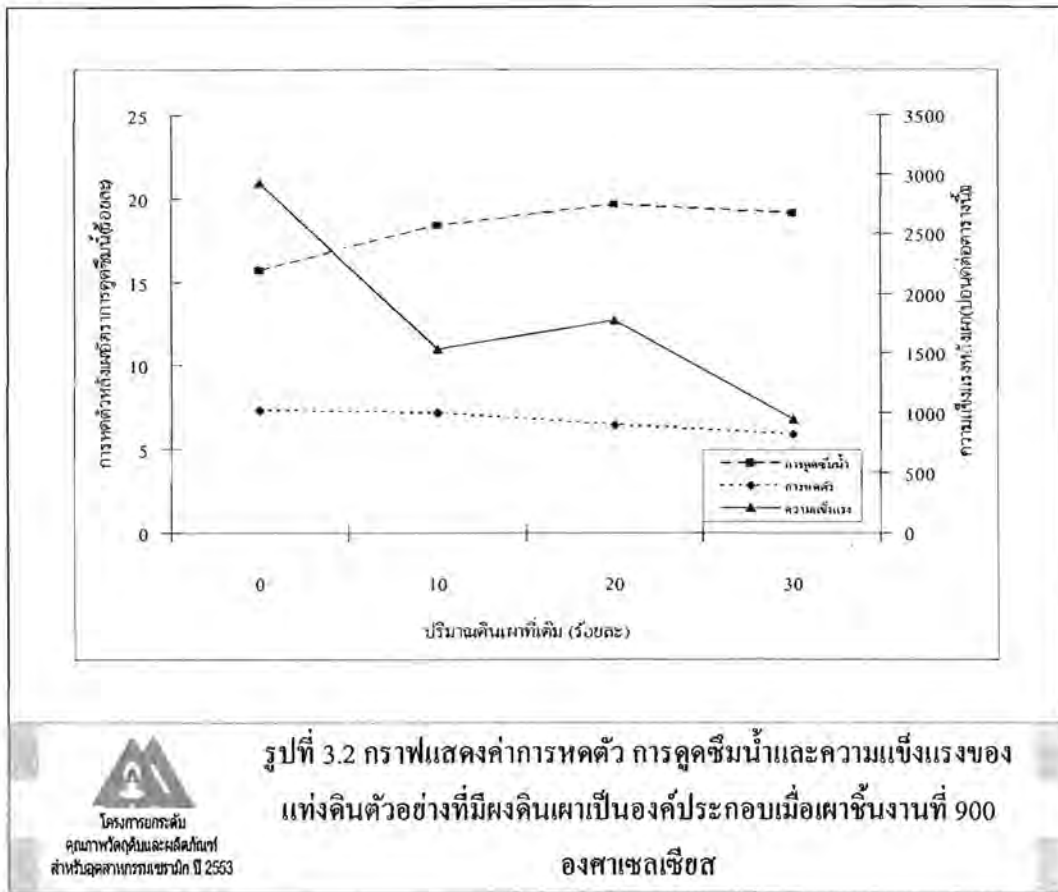
2.6 เผาแห้งดินที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4 ผลการทดลอง



จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงผลการทดสอบสมบัติต่างๆของแท่งดินตัวอย่างที่มีเศษอิฐเป็นองค์ประกอบหลังการเผา ได้แก่ การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเศษอิฐจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ ส่งผลให้การหดตัวลดลง เนื่องจากเศษอิฐจัดได้ว่าเป็นวัสดุที่ไม่หดตัวหลังเผา (non shrinkage material) ทำให้ช่วยลดเรื่องการหดตัวของแท่งดินหลังเผาได้ แม้ว่าเศษอิฐจะเป็นวัสดุที่ไม่หดตัวหลังเผาหรือหดตัวได้น้อย แต่เศษอิฐมีความพรุนตัวจึงทำให้ความแข็งแรงของแท่งดินตัวอย่างลดลงและการดูดซึมน้ำมากขึ้นเมื่อปริมาณเศษอิฐในองค์ประกอบสูงขึ้น ดังนั้นการใช้เศษอิฐเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินสำหรับทำอิฐควรใช้เพียงร้อยละ 10 เพื่อไม่ให้ความแข็งแรงลดลงมาก ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่ผสมเศษอิฐมีค่าประมาณ 3,700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่แท่งดินตัวอย่างที่มีเศษอิฐเป็นองค์ประกอบ

ร้อยละ 10 มีค่าความแข็งแรงประมาณ 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือค่าความแข็งแรงลดลงประมาณ ร้อยละ 20



ผลการทดสอบสมบัติของแท่งดินตัวอย่างที่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบ ดังรูปที่ 3.2 พบว่าการเติมผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินสำหรับทำอิฐให้ผลที่มีแนวโน้มดีเกี่ยวกับการใช้เศษอิฐเป็นองค์ประกอบ คือค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น การหดตัวลดลง และความแข็งแรงลดลง อย่างไรก็ตามการหดตัวของแท่งดินที่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบมีค่าต่ำกว่าแท่งดินที่ไม่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ความแข็งแรงของแท่งดินที่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบมีค่าต่ำกว่าแท่งดินที่ไม่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบมากคือลดลงมากกว่าห้าตัว คือ 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สำหรับแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบ เหลือเพียง 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือต่ำกว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น สำหรับแท่งดินตัวอย่างที่มีผงดินเถ้าเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นผงดินเถ้าจึงไม่เหมาะสำหรับเป็นองค์ประกอบในดินทำอิฐ

3.5 สรุปผลการทดลอง

การเติมเศษอิฐหรือผงดินเผาเป็นองค์ประกอบในดินทำอิฐทำให้สมบัติต่างๆ โดยรวมของแท่งดินตัวอย่างคือยลกว่าแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีเศษอิฐหรือผงดินเผาเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงที่ลดลงหรือการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างที่มีผงดินเผาเป็นองค์ประกอบค่าความแข็งแรงลดลง อย่างไรก็ตาม การเติมเศษอิฐร้อยละ 10 ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมเศษอิฐร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ ดังนั้นการผสมเศษอิฐในเนื้อดินสำหรับทำอิฐไม่ควรเกินร้อยละ 10



บทที่ 4

การศึกษาผลของการผสมไลม์มัด (lime mud) ในเนื้อดินสำหรับการอิฐ จากแหล่งดินภาคใต้

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาไม่แพง สามารถผลิตได้ในหลายพื้นที่ของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่มีดินเหนียวสำหรับพื้นที่ภาคใต้แหล่งผลิตอิฐที่สำคัญ ได้แก่ อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งการผลิตอิฐในพื้นที่ดังกล่าวยังเป็นการใช้เนื้อดินอย่างเคียวเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิต เมื่อพิจารณาในแง่ของการใช้ทรัพยากรแร่ดินเหนียวการขุดดินเพื่อนำมาผลิตอิฐ โดยไม่มีการวางแผนการใช้ทรัพยากรดังกล่าวอย่างเหมาะสม อาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนทรัพยากรแร่ดินเหนียวในอนาคต ดังนั้นการหาวัสดุทดแทน จึงเป็นเรื่องที่ควรดำเนินการเพื่อรองรับปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรแร่ดินเหนียว

ไลม์มัดเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากโรงงานกระดาษซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ปัจจุบันยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของไลม์มัดพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจากข้อมูลการวิจัยหลายงานวิจัยพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในเนื้อดินสำหรับเครื่องปั้นดินเผาได้ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ไลม์มัดเป็นสารเติมแต่งในเนื้อดินทำอิฐจากแหล่งดินของภาคใต้

4.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ไลม์มัด (lime mud) เป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งอยู่ในกระบวนการเปลี่ยนไม้ชั้นเล็กๆ ให้เป็นเชื้อสำหรับการทำกระดาษ โรงงานเยื่อกระดาษทำการผสมไม้ชั้นเล็กๆกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อแยกเส้นใยไม้สำหรับใช้ในการทำกระดาษออกจากลิกนินซึ่งเชื่อมอยู่ด้วยกันในเนื้อไม้ ระหว่างกระบวนการนี้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมคาร์บอเนต หลังจากนั้นโรงงานเยื่อกระดาษจะเติมแคลเซียมออกไซด์ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าควิกไลม์ (quick lime) เพื่อเปลี่ยนโซเดียมคาร์บอเนตให้กลับเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อนำกลับมาใช้อีกครั้ง ในกระบวนการนี้จะเกิดแคลเซียมคาร์บอเนตขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในเครื่องปั้นดินเผา พบว่าในอดีตแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในเครื่องปั้นดินเผา เช่น ในช่วง Late Woodland period (ค.ศ. 400-900) ใน American Bottom ของ Illinois ระหว่างช่วง Emergent Mississippian period (ค.ศ. 750-1000) และ Iron Age ที่ Tel Hader บนชายฝั่งด้านตะวันออกของทะเล Galilee การทดสอบ

แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่มีหินปูนเป็นองค์ประกอบและเผาที่ 600 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานต่อความเครียดเชิงกล (mechanical stress) มากกว่าตัวอย่างที่ได้ grog ในขณะที่อ็อกงานวิจัยหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าช่างปั้นใช้วัตถุดิบที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบเตรียมเป็นเหยือก ทำให้ลดอุณหภูมิการซินเทอร์ริงได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้วัตถุดิบอื่น เช่น ฝุ่นจากการเลื่อย หินอ่อนและหินแกรนิต เพื่อให้ทำหน้าที่เป็น refluxing agent ในดิน เพื่อลดอุณหภูมิการซินเทอร์ริง

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผสมโลม้มัดในเนื้อดินสำหรับทำอิฐ โดยใช้จากอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.3 วิธีการทดลอง

1. การตรวจสอบสมบัติของวัตถุดิบ

1.1 ตรวจสอบสมบัติของโลม้มัด ได้แก่ องค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่อง XRD ของ Philips PW3710 diffractometer (CuK α radiation) องค์ประกอบเคมีด้วยเครื่อง XRF ของ Oxford ED2000 และการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเครื่อง Particle size analyzer ของ Malvern Mastersizer S

1.2 ตรวจสอบสมบัติของดินทำอิฐจาก อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แก่ องค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่อง XRD องค์ประกอบเคมีด้วยเครื่อง XRF

2. การปรับสภาพของโลม้มัดก่อนใช้ผสมในเนื้อดินทำอิฐ

2.1 ใช้โลม้มัด 500 กรัม ผสมกับน้ำ 500 มิลลิลิตร และกวนของผสมด้วยเครื่องกวนเป็นเวลา 30 นาที

2.2 ปรับของผสมด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร จนสารละลายเป็นกลาง

2.3 กรองโลม้มัดที่ผ่านการปรับสภาพให้เป็นกลางแล้ว และนำไปอบให้แห้ง

3. การเตรียมแท่งดินทดสอบผสมโลม้มัด

3.1 ผสมโลม้มัดที่ผ่านการทำให้เป็นกลางแล้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในเนื้อดินสำหรับทำอิฐ

3.2 หมักส่วนผสมด้วยน้ำ

3.3 นวดดิน และรีดแท่งดิน

- 3.4 ดากแท่งดินให้แห้ง
- 3.5 ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดแท่งดิน และทดสอบความแข็งแรง
- 3.6 เผาแท่งดินที่ 700 800 900 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. การเตรียมแผ่นชิ้นงานทดสอบผสมโลม์มัด
 - 4.1 ผสมโลม์มัดที่ผ่านการทำให้เป็นกลางแล้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในเนื้อดินสำหรับทำอิฐ
 - 4.2 หมักส่วนผสมด้วยน้ำ
 - 4.3 นวดดิน และขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยการกด ซึ่งชิ้นงานมีขนาด 4x4x4 เซนติเมตร
 - 4.4 ดากแท่งดินให้แห้ง
 - 4.5 ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดแท่งดิน และทดสอบความแข็งแรง
 - 4.6 เผาแท่งดินที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.4 ผลการทดลอง

1. การตรวจสอบสมบัติของโลม์มัดและดินทำอิฐ

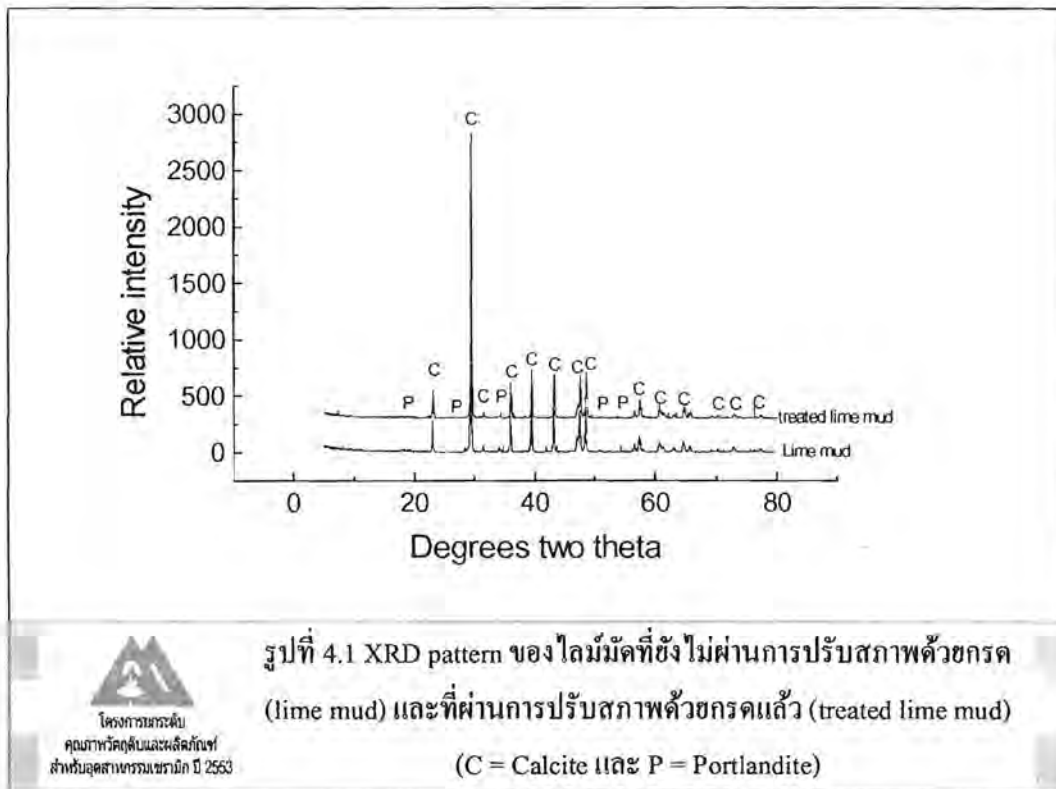
1.1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของโลม์มัด

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของโลม์มัดด้วยเครื่อง XRF

ปริมาณธาตุ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)									
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃
0.64	0.68	0.03	0.27	0.38	0.16	2.67	0.07	95.03	0.05

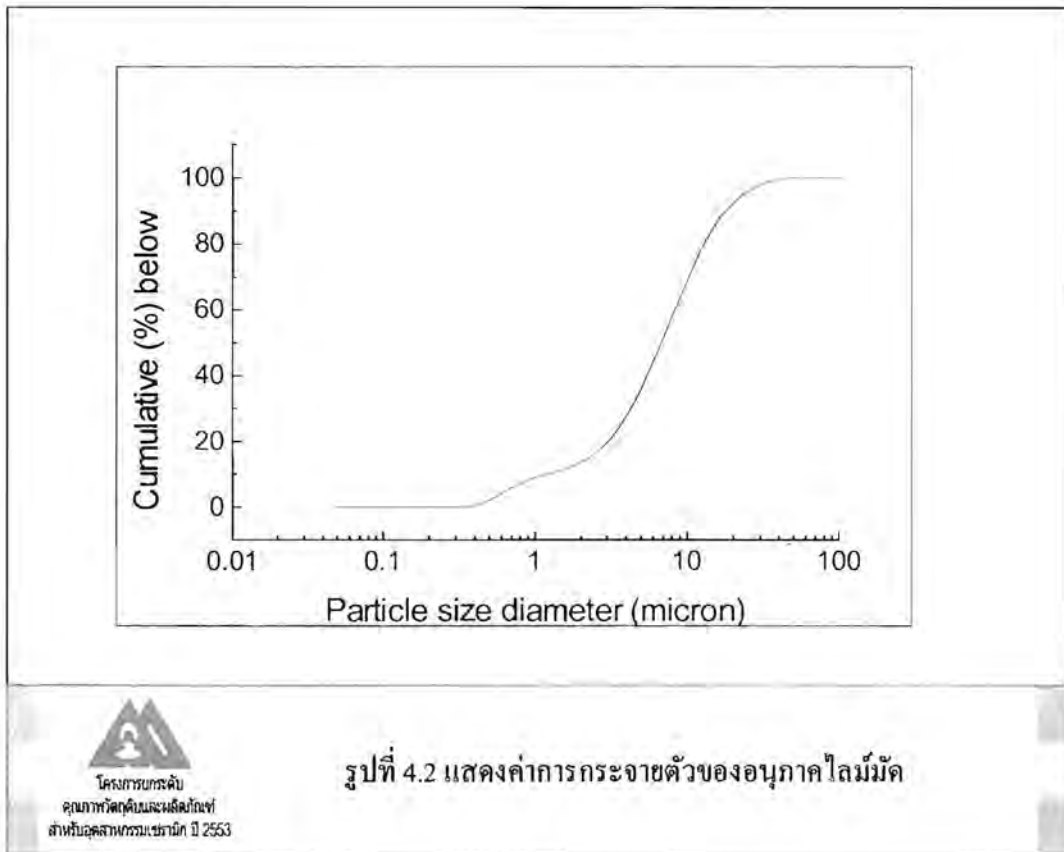
จากผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางของโลม์มัดพบว่าประมาณร้อยละ 95 เป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ส่วนองค์ประกอบอื่นๆเป็นออกไซด์ของโลหะ ได้แก่ Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O และ Fe₂O₃ ดังตารางที่ 4.1

1.2 การตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่ของโลม้มัด



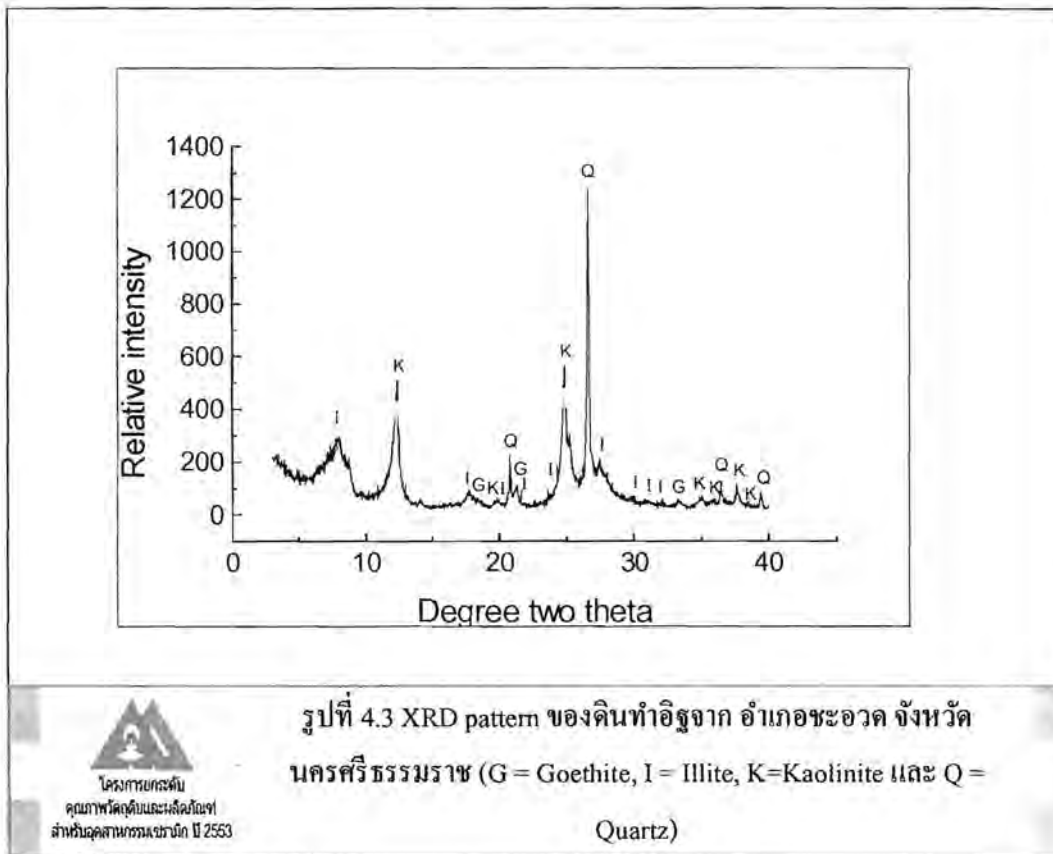
ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่ของโลม้มัดด้วยเครื่อง XRD แสดงให้เห็นถึง XRD pattern ดังรูปที่ 4.1 ว่าเฟสของโลม้มัดมี Calcite และ Portlandite ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโลม้มัดด้วยเครื่อง XRF พบว่ามีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบทางแร่ของโลม้มัดที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดแล้วไม่ให้ผลขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน

1.3 การกระจายตัวของอนุภาค ไลม์มัด



เมื่อวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคไลม์มัดด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาคตั้งรูปที่ 4.2 พบว่าไลม์มัดมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 20 ไมโครเมตร และค่า d_{50} ประมาณ 8 ไมโครเมตร

1.4 การตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่ของดินทำอิฐ



ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดินทำอิฐจาก อำเภอชะอวด จังหวัด นครศรีธรรมราช พบว่าดินดังกล่าวมีแร่ Quartz, Kaolinite, Illite และ Goethite เป็นองค์ประกอบ ดัง แสดงในรูปที่ 4.3

2. การตรวจสอบสมบัติของแท่งดินรีดก่อนเผา

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติของแท่งดินรีดก่อนเผา

ตัวอย่าง	ความชื้นในแท่งดินรีด (ร้อยละ)	การหดตัวเมื่อแห้ง (ร้อยละ)	ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
0% LM	22.55	6.82	655
10% LM	20.77	6.48	487

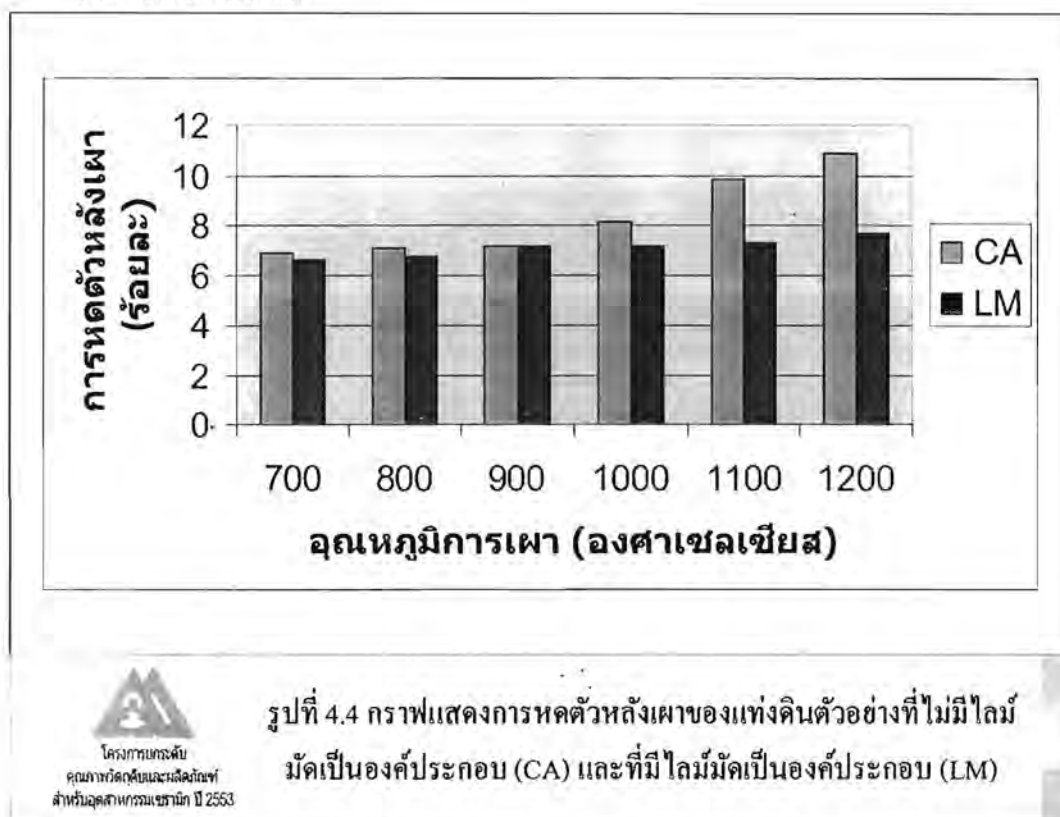
หมายเหตุ 0% LM = แท่งดินที่ไม่ผสมไลม์มัต

10% LM = แท่งดินที่ผสมไลม์มัต

สมบัติของแท่งดินตัวอย่างก่อนเผาทั้งที่ผสมโลมัมคและไม่ได้ผสมโลมัมคมีค่าใกล้เคียงกันคือ มีค่าความชื้นในแท่งดินประมาณร้อยละ 20-22 และมีค่าการหดตัวเมื่อแห้งประมาณร้อยละ 6 ส่วนค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งของตัวอย่างแท่งดินที่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของแท่งดินที่ไม่มีโลมัมคเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเติมโลมัมคเป็นส่วนผสมในเนื้อดินทำให้อุณหภูมิการยัดเกาะของเนื้อดินอุณหภูมิลดลง

3. การตรวจสอบสมบัติของแท่งดินหลังเผา

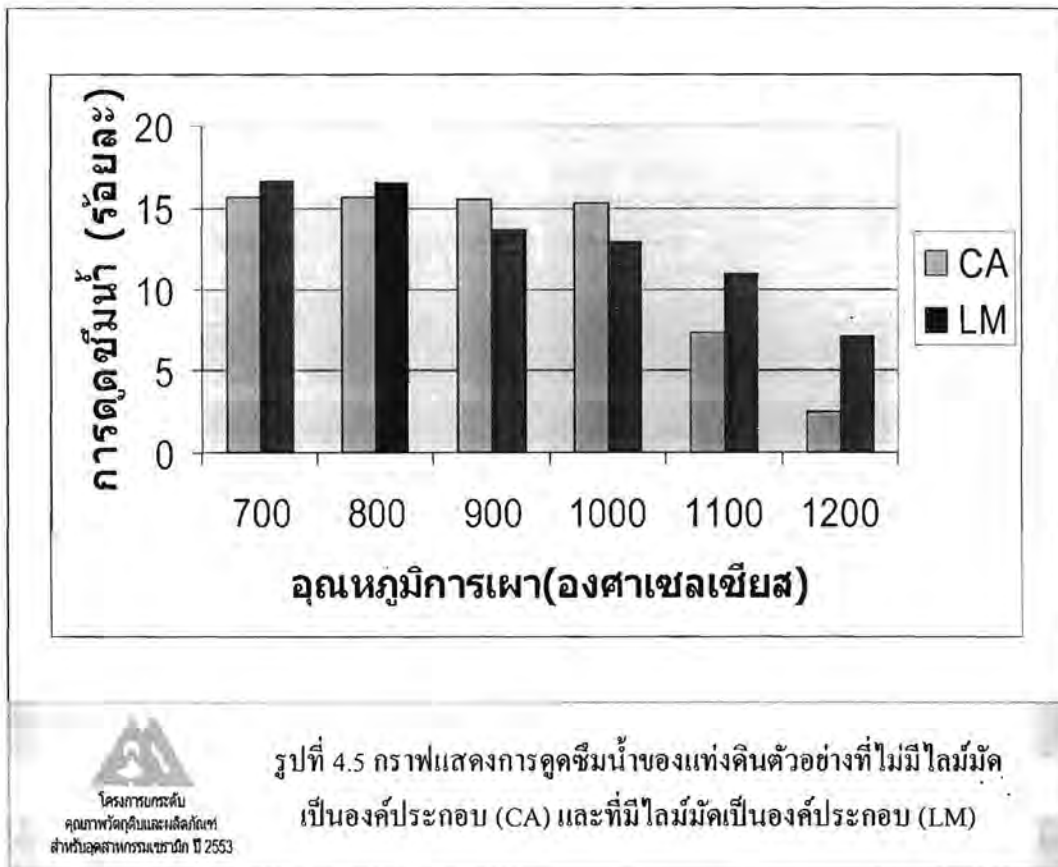
3.1 การหดตัวหลังเผา



จากผลการวัดค่าการหดตัวหลังเผาของแท่งดินตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ดังกราฟรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการเผาที่ต่ำคือที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส แท่งดินตัวอย่างที่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบมีการหดตัวหลังเผาที่ใกล้เคียงกับแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากอุณหภูมิการเผาที่ต่ำทำให้เนื้อดินมีผนึกตัวน้อย แต่เมื่อใช้อุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้นตั้งแต่ 1,000 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ค่าการหดตัวของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบสูงกว่าแท่งดินตัวอย่างที่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวเนื้อดินเกิดการผนึกตัวได้มากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการหดตัวมากขึ้น แต่แท่งดินตัวอย่างที่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบมีการหดตัวน้อยกว่าเนื่องจากโลมัมคเป็นวัสดุที่ไม่หดตัวหลังเผา

(non shrinkage materials) ทำให้การหดตัวหลังเผาต่ำกว่า อย่างไรก็ตามจากค่าการหดตัวหลังเผา แสดงให้เห็นว่าการผสมไลม์มีคเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินทำอิฐไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวของแท่งดินตัวอย่างมากนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิการเผาต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส

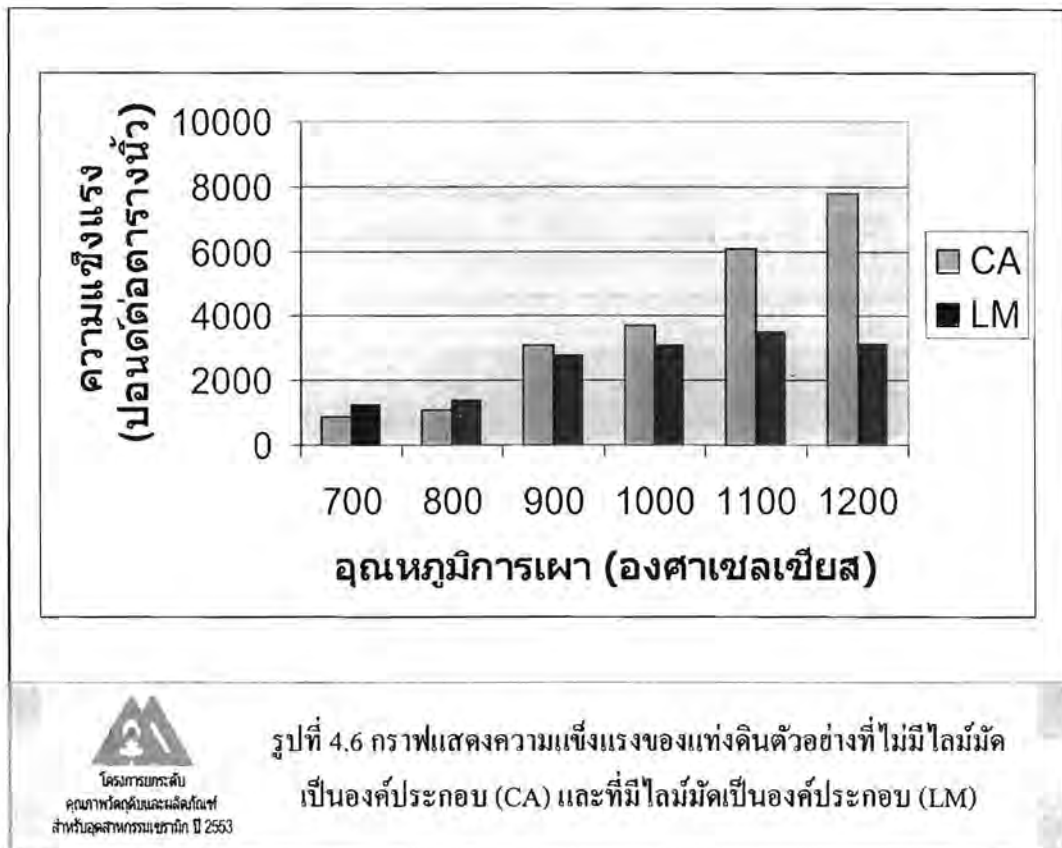
3.2 การดูดซึมน้ำ



กราฟรูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีไลม์มีคและที่มีไลม์มีคเป็นองค์ประกอบ ซึ่งพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีไลม์มีคเป็นองค์ประกอบมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเผาอุณหภูมิ 700 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส คือมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าร้อยละ 15 เล็กน้อย และเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นถึง 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมน้ำลดลงต่ำกว่าร้อยละ 10 และร้อยละ 5 ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของแท่งดินตัวอย่างที่มีไลม์มีคเป็นองค์ประกอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าการดูดซึมน้ำของแท่งดินตัวอย่างที่ไม่มีไลม์มีคเป็นองค์ประกอบคือมีค่าประมาณร้อยละ 15 หรือต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิการเผาอยู่ในช่วง 700 ถึง 1000 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของแท่งดินตัวอย่างที่มีไลม์มีคเป็นองค์ประกอบมีค่าสูง

กว่าค่าการดัดขึ้นน้ำของแท่งคันท่ออย่างที่ไม่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบเกือบเท่าตัว ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับค่าการหดตัวหลังเผาที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส

3.3 ความแข็งแรงต่อการแตกหัก (Flexural strength)



แนวโน้มความแข็งแรงของแท่งคันท่ออย่างหลังเผาพบว่า ความแข็งแรงของแท่งคันท่อสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.6 โดยอย่างยิ่งแท่งคันท่ออย่างที่ไม่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบ มีค่าความแข็งแรงสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงกว่าแท่งคันท่ออย่างที่ไม่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบเมื่อใช้อุณหภูมิการเผาตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ทั้งนี้เป็นผลมาจากโลมัมคซึ่งส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส เปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความแข็งแรงของแท่งคันท่ออย่างลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อุณหภูมิการเผาที่ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าแท่งคันท่ออย่างที่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าแท่งคันท่ออย่างที่ไม่มีโลมัมคเป็นองค์ประกอบ

3.4 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density)

ตารางที่ 4.3 แสดงความหนาแน่น โดยรวมของตัวอย่างแท่งดินเผาที่ไม่มีโลมมัดและมีโลมมัดเป็นองค์ประกอบ

อุณหภูมิการเผา (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นโดยรวม (g cm ⁻³)	
	ตัวอย่างที่ไม่มีโลมมัด	ตัวอย่างที่มีโลมมัด
700	1.87	1.84
800	1.88	1.81
900	1.89	1.84
1000	1.92	1.89
1100	2.19	1.88
1200	2.33	1.90

ผลจากการวัดค่าความหนาแน่นโดยรวมดังตารางที่ 4.3 พบว่าชิ้นงานตัวอย่างที่มีโลมมัดเป็นองค์ประกอบมีค่าความหนาแน่นโดยรวมต่ำกว่าชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีโลมมัดเป็นองค์ประกอบเล็กน้อย ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการผสมโลมมัดเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินทำอิฐไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นโดยรวม

3.5 ความแข็งแรงต่อการกด (Compression)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการกด

ตัวอย่าง	ความแข็งแรง (MPa)		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	110	700	900
ตัวอย่างที่ไม่มีโลมมัด	1.48	13.87	14.03
ตัวอย่างที่มีโลมมัด	1.47	13.21	16.45

การทดสอบความแข็งแรงต่อการกดของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ดังตารางที่ 4.4 พบว่า ชิ้นงานตัวอย่างทั้งก่อนเผาและหลังเผามีค่าความแข็งแรงต่อการกดใกล้เคียงกัน และค่าความแข็งแรงสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดสอบความแข็งแรงของแท่งดินรีดที่ทดสอบความแข็งแรงต่อการแตกหัก

3.6 การทดสอบการเปื่อยยุ่ยของแท่งดินตัวอย่าง

จากผลการแช่ชิ้นงานแท่งดินตัวอย่างที่มีโลมัมค้ดเป็นองค์ประกอบและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อแช่น้ำไว้ที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่วันที่ 29 ธันวาคม 2553 ถึง 15 กุมภาพันธ์ 2554 ยังไม่พบการเปื่อยยุ่ยของชิ้นงานดังรูปที่ 4.7



4.5 สรุปผลการทดลอง

การใช้โลมัมค้ดเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินทำอิฐประมาณร้อยละ 10 ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิการเผาที่ต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส สังเกตได้จากค่าที่ได้การทดสอบสมบัติต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ได้แก่ การหดหลังเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงต่อการแตกหักของแท่งดินรีด ความหนาแน่น โดยรวม และความแข็งแรงต่อการกดของชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นการใช้โลมัมค้ดเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินทำอิฐเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดปริมาณการดินได้ และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์



บทที่ 5

การพัฒนาการขึ้นรูปด้วยการหล่อหน้าดิน

เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านในพื้นที่ภาคใต้ มักมีการผลิตโดยการนำดินเหนียว หรือดินแดงในท้องถิ่นมาวดคให้เนื้อดินมีความเหนียวและมีความสม่ำเสมอ บางครั้งจะมีการเติมดินที่มีความละเอียดน้อยหรือทรายแม่น้ำ เพื่อช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่าย ลดการหดตัว และไม่แตกเสียหายเมื่อแห้งตัว โดยเกือบทั้งหมดจะเป็นการขึ้นรูปด้วยการปั้นด้วยมือ หรือ ใช้เป็นหมุน รวมถึงการใช้เครื่องอัดรีดสำหรับการผลิตอิฐก่อสร้าง โดยเนื้อดินปั้นนี้จะมีปริมาณน้ำอยู่ที่ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ แต่ยากต่อการผลิตชิ้นงานบางชนิดที่มีโพรงภายใน ได้แก่ แจกกันดอกไม้ กระจุกออกมลิน ฯลฯ แม้ว่าจะมีโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกที่ใช้เนื้อดินผสม ทั้งผสมเองและที่มีจำหน่ายสำเร็จรูปแต่ผู้ประกอบการผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่โครงการฯ เข้ามาทำการศึกษา ไม่พบว่ามีการผลิตด้วยวิธีการหล่อหน้าดินด้วยดินเหนียวท้องถิ่น

หากมีการศึกษาการเตรียมหน้าดินจากวัตถุดิบดินเหล่านี้ให้สามารถขึ้นรูปได้ด้วยการหล่อแบบ จะช่วยให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่จะเป็นการขยายตลาดให้กับเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านเหล่านี้ แต่เนื่องจากการศึกษาการเตรียมหน้าดินจากดินแดงท้องถิ่นยังมีอยู่บ้าง และไม่ค่อยมีประสิทธิภาพในการผลิต จึงเป็นที่สนใจที่จะศึกษาดังกล่าว

5.1 ขอบเขตของงาน

1. เตรียมหน้าดินเพื่อใช้ในการทดสอบการหล่อแบบจากแหล่งดินทั้ง 3 แหล่งในท้องถิ่นภาคใต้
2. ทำการหล่อแบบและทดสอบสมบัติต่างๆ ทั้งก่อนและหลังเผา
3. แนะนำและสาธิตเทคนิคในการเตรียมหน้าดิน และแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์อย่างง่ายให้กับผู้ประกอบการที่สนใจและมีศักยภาพ

5.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ได้ทำการทดลองเตรียมหน้าดินจากแหล่งเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดนครศรีธรรมราชจำนวน 4 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาเงื่อนไขต่างๆ ก่อนที่จะตัดสินใจนำไปถ่ายทอดให้ผู้ประกอบการต่อไป โดยขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

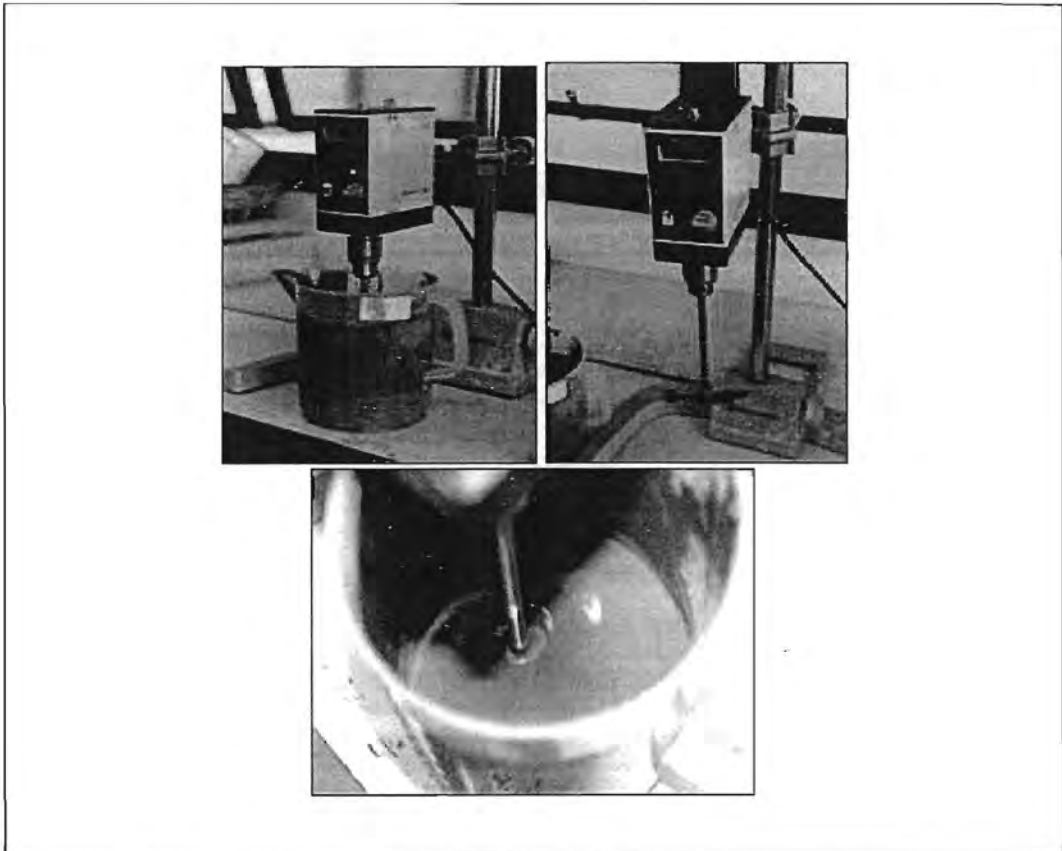
5.2.1 การเตรียมหน้าดินสำหรับการหล่อแบบ

1. เก็บตัวอย่างดินดิบจากแหล่งนำมาอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส
2. บดดินย่อยดินแห้งด้วยโกร่งให้มีขนาดเล็กกว่า 1-2 เซนติเมตร
3. เตรียมหน้าดินโดยใช้ดินแห้ง 1,000 กรัม น้ำ 600 มล. (38 % water)

4. ผสมน้ำกับสารละลาย โซเดียมซัลเฟต 5 กรัม แล้วเทดินที่เตรียมไว้ลงในน้ำ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หรือข้ามคืน) เพื่อให้เนื้อดินเปื่อย ปั่นผสมได้ง่าย
5. ปั่นกวนส่วนผสมด้วยเครื่องปั่นให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว โดยใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที
6. ปรับความหนืดและการไหลตัวด้วยการเติมสารละลาย โซเดียมซัลเฟตและน้ำ
7. กรองผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมช (150 μ m) แล้วนำน้ำดินที่ได้มาปั่นอีกครั้ง
8. วัดค่าความหนืด โดยความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการหล่อแบบจะอยู่ที่ประมาณ 500 cP หากความหนืดสูงให้เติมโซเดียมซัลเฟต และน้ำ
9. เมื่อได้ความหนืดที่เหมาะสมแล้ว ให้วัดค่าความหนาแน่น โดยความหนาแน่นของน้ำดินจะอยู่ที่ประมาณ 1.6-1.7 กรัมต่อมิลลิกรัม
10. ทำการหล่อขึ้นรูปแบบกลวงในแม่พิมพ์ปูนพลาสติก เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วเทออก
11. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วแกะออกจากแบบ ได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
12. ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งในห้องทดลอง 1 วัน
13. อบชิ้นงานให้แห้งสนิท ที่ 105 องศาเซลเซียส
14. เผาชิ้นงาน ที่ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อัตราการขึ้นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที
15. ได้ชิ้นงานดินเผาที่ผลิตโดยเทคนิคการหล่อน้ำดิน

5.2.2 ผลการทดลอง

1. การศึกษาพฤติกรรมความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเติมสารช่วยกระจายลอยตัว (deflocculant) เพื่อลดความหนืด จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสาร โซเดียมซัลเฟตที่ต้องการสำหรับการปรับค่าความหนืดให้เหมาะสม อยู่ที่ประมาณ 0.95-1.85 เปอร์เซ็นต์ ได้ค่าความหนืดประมาณ 400-500 cP ดังแสดงในตารางที่ 5.1
2. เมื่อนำน้ำดินที่เตรียมได้มาหล่อขึ้นรูปแบบกลวง โดยใช้เวลาในการหล่อ 30 นาที (ชิ้นงานรูปตุ๊กตาหมู และหนู ขนาดประมาณ 2-4 นิ้ว) แล้วจึงเทน้ำดินออกจากแบบ พบว่าการไหลตัวของโพไซ จะได้ความหนาของชิ้นงานแห้งประมาณ 3 มิลลิเมตร การหดตัวเมื่อแห้งประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์
3. เมื่อทำการเผาที่ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ได้ชิ้นงานสีแดงอิฐสีอ่อน ค่อนข้างแข็งแรง ไม่มีการแตกร้าว การหดตัวหลังเผาต่ำ



โครงการบกรดิน
คุณภาพวัสดุดินและหินอัดแน่น
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ปี 2553

รูปที่ 5.1 เครื่องปั้นกวนน้ำดิน และวิธีการปั้นกวนน้ำดิน

ตารางที่ 5.1 การทดลองเตรียมน้ำดินจากแหล่งภาคใต้แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ และสมบัติต่างๆ

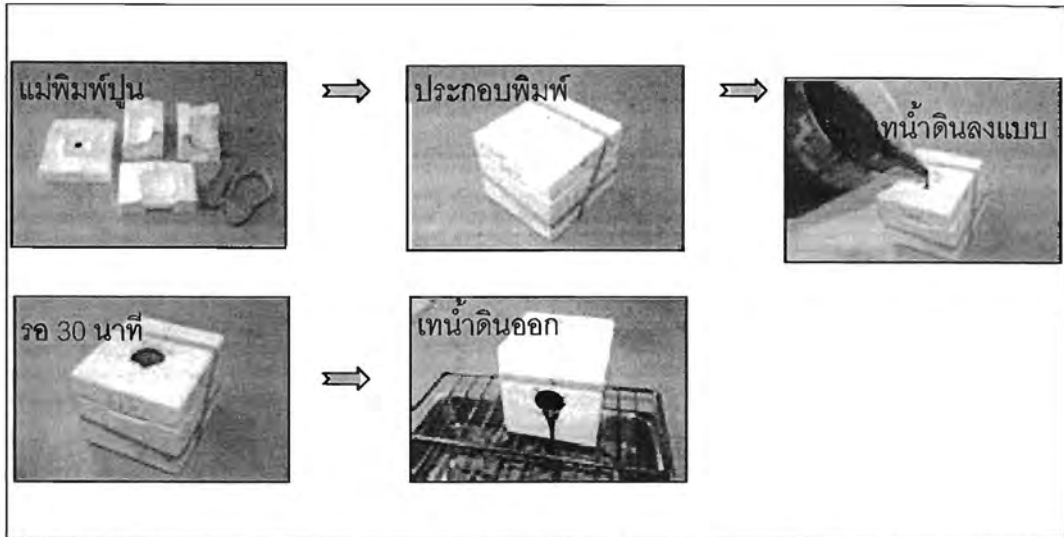
แหล่งดิน	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ปริมาณน้ำ (wt%)	ปริมาณโซเดียมซิติ เกต (wt%)	ความหนืด (cP)
ท่าศาลา	1.65	32	1.25	475
ชะอวด	1.65	32	1.70	450
โมคคลาน	1.56	39	1.85	405
ร่อนพิบูลย์	1.65	32	0.95	495

5.3 การถ่ายทอดเทคนิคการผลิตด้วยวิธีการหล่อแบบน้ำดิน

การถ่ายทอดเทคโนโลยี และเทคนิคในการผลิตด้วยการหล่อน้ำดิน ได้ทำการสาธิตและสอนเชิงปฏิบัติการ ตั้งแต่การผสมน้ำดิน และการหล่อแบบน้ำดินจากแม่พิมพ์และน้ำดินที่เตรียมได้ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.3.1 เทคนิคการหล่อน้ำดิน

1. นำน้ำดินที่ผลิตได้ตามกระบวนการเตรียมน้ำดินที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และแม่พิมพ์ปูนพลาสติก มาใช้ในการหล่อแบบขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกในแม่พิมพ์ปูนพลาสติกตามต้องการ (อาจมีการทาแป้งทัลคัมหรือแป้งเด็กทาตัว เพื่อให้แกะเนื้อดินออกจากแบบพิมพ์ได้ง่ายขึ้น)
2. เทน้ำดินลงในแม่พิมพ์ แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30-15 นาที ขึ้นอยู่กับความชื้นของแม่พิมพ์ และสภาพของน้ำดินเอง แต่จะสังเกตได้จากความหนาของเนื้อดินที่พอกตัวบริเวณปากที่หยอดน้ำดิน
3. เทน้ำดินส่วนเกินออก (ในกรณีที่ต้องการหล่อให้เป็นชิ้นงานกลวง) แล้วคว่ำทิ้งไว้เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแม่พิมพ์
4. หลังจากแกะออกจากแบบแล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งในที่ร่ม 1 วัน
5. นำไปผึ่งแดด หรืออบแห้ง หรือผึ่งไว้ในที่ร่มให้แห้งสนิท ตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย แล้วจึงนำเข้าเตาเผาตามปกติ



โครงการยกระดับ
คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม
สำหรับอุตสาหกรรมชาวนา ปี 2553

รูปที่ 5.2 แม่พิมพ์ปูนพลาสติกและขั้นตอนการเทแบบ



โครงการยกระดับ
คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม
สำหรับอุตสาหกรรมชาวนา ปี 2553

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลงานชิ้นงานแม่พิมพ์ และตัวอย่างชิ้นงานจากการ
หล่อแบบหลังเผา

5.4 สรุปผลการทดลองและการถ่ายทอด

จากการทดลองเบื้องต้นดังกล่าวพอสรุปได้ว่า เนื้อดินทั้ง 4 ตัวอย่าง สามารถนำมาเตรียมชั้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดินได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะดินตัวอย่างจากอำเภอท่าศาลา ซึ่งจากการสาธิตและสอนเชิงปฏิบัติการที่ ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผู้ประกอบการให้ความสนใจและทดลองทำการผลิตชิ้นงานเป็นอย่างดี

บทที่ 6

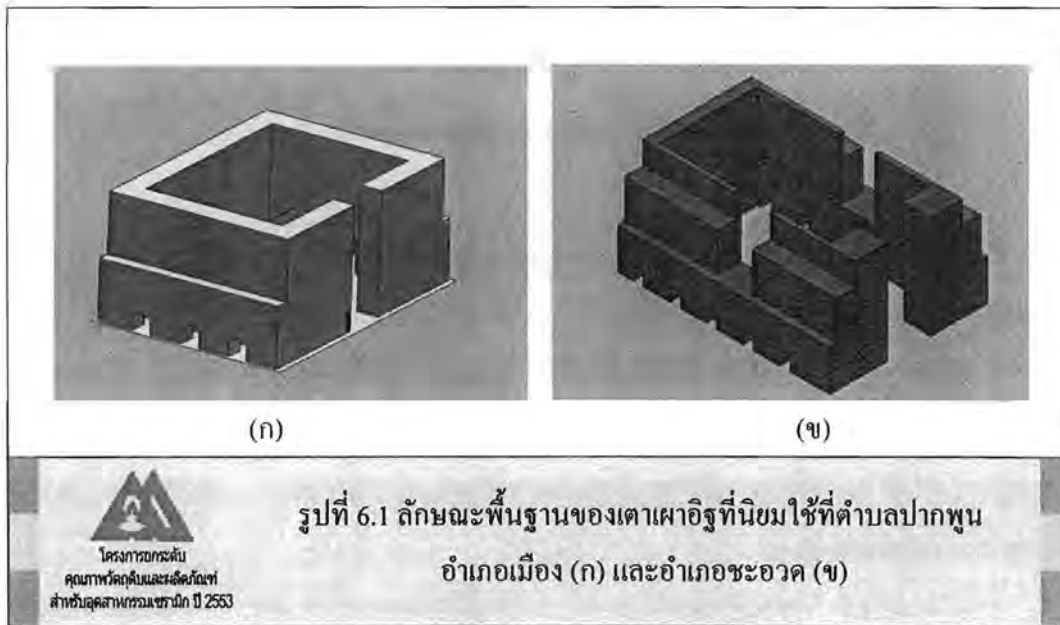
การปรับปรุงเตาเผาและกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์อิฐ

ตำบลปากพูน อำเภอเมือง และอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นแหล่งผลิตอิฐก่อสร้างที่สำคัญในเขตพื้นที่ภาคใต้มาช้านาน มีโรงงานผลิตอิฐรวมกันมากกว่า 80 โรง จำนวนเตาเผารวมมากกว่า 200 เตา มีขอบเขตการจัดส่งสินค้าครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จนถึงชายแดนภาคใต้ อิฐที่ผลิตโดยส่วนใหญ่คืออิฐสี่รู (ขนาดประมาณ 18X6X6 เซนติเมตร น้ำหนักอิฐประมาณ 0.8 กิโลกรัมต่อก้อน) และอิฐแปดรู (ขนาดประมาณ 25X13X6 เซนติเมตร น้ำหนักอิฐประมาณ 2.2 กิโลกรัมต่อก้อน)

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลของโครงการฯ พบว่าผู้ประกอบการประสบปัญหาต้นทุนการผลิตสูง และต้องการลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าฟืน (ประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิต) ซึ่งมีแนวโน้มราคาสูงขึ้นและอาจมีปัญหาขาดแคลนในอนาคต เนื่องจากความต้องการใช้ไม้ยางพาราในกิจกรรมอื่นๆ อาทิ พลังงานชีวมวล ในขณะที่ราคาขายของอิฐคงที่ (ข้อมูลการสัมภาษณ์ขณะเริ่มต้นโครงการแต่หลังจากเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เมื่อปลายปี 2553 และต้นปี 2554 ราคาอิฐปัจจุบันมีการปรับตัวสูงขึ้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ อาทิ ความพร้อมของผู้ประกอบการ เวลา และงบประมาณ ในการดำเนินงานครั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้เลือกดำเนินการในพื้นที่ตำบลปากพูนเพียงแหล่งเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการศึกษาและแนวทางการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น ทางคณะผู้วิจัยเชื่อว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเตาเผาอิฐที่อำเภอชะอวดได้เช่นกัน

6.1 ข้อมูลพื้นฐานของแหล่งผลิตและโรงงานตัวอย่าง

จากการลงสำรวจของโครงการฯพบว่า เตาเผาอิฐที่ตำบลปากพูนและอำเภอชะอวด มีลักษณะพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน คือตัวเตาเผาเป็นแบบสก๊อต (Scotch kiln) มีทางเดินลมร้อนขึ้น ไม่มีหลังคาผนังก่อด้วยอิฐหลายชั้น ส่วนประตูเตาเป็นช่องเปิดขนาดใหญ่เพื่อความสะดวกในการขนย้ายอิฐ ทั้งนี้ความแตกต่างที่สำคัญของเตาทั้งสองแหล่งจะอยู่ที่จำนวน และการจัดเรียงตำแหน่งของช่องไฟรวมไปถึงขนาดของเตา โดยเตาเผาที่ตำบลปากพูนมีช่องไฟหลักที่ระดับพื้นเพียงชั้นเดียว แต่เตาเผาที่อำเภอชะอวดจะมีช่องไฟชั้นที่ 2 สูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร เรียงสลับหว่างกับช่องไฟหลักชั้นล่าง และนอกจากนั้นขนาดภายในและความจุของเตาเผาอิฐที่อำเภอชะอวดจะมีขนาดใหญ่กว่าที่ตำบลปากพูน



6.2 เป้าหมายของการดำเนินงาน

เป้าหมายหลักของส่วนงานนี้คือการหาแนวทางลดต้นทุนการผลิตอิฐก่อสร้างในโรงงาน ตัวอย่าง และเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยคำนึงถึงว่าผู้ประกอบการสามารถทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่ต้องมีการลงทุนเพิ่มเติมหรือมีการลงทุนเพิ่มต่ำ รวมถึงต้องมีผลกระทบต่อรูปแบบการทำงานเดิมของโรงงานน้อย

กรณีศึกษาที่นำเสนอในเอกสารนี้เป็นข้อมูลการปรับปรุงเตาเผาและกระบวนการเผาอิฐ ที่โรงงานของคุณ ไกรวรา เข้มแดง ตั้งอยู่ที่ หมู่ 10 บ้านศาลาบางปู ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานอื่นที่ใช้เตาและวิธีการเผาคล้ายกัน อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแบบเดียวกันนี้ที่โรงงานต้นแบบอื่น อาจจะให้ผลที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของการเรียงอิฐ วิธีการเผา ตลอดจนเนื้อดินและปัจจัยการผลิตของแต่ละโรงงาน

6.3 วิธีการทดลอง

1. ศึกษากระบวนการเผาของโรงงาน โดยการศึกษาการกระจายความร้อนภายในเตาเผาที่ตำแหน่งต่างๆ ของกระบวนการผลิตตามปกติของโรงงาน จากนั้นตรวจสอบสมบัติอิฐที่ได้ ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และระบบการทำงาน

2. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหา

3. ทดสอบแนวทางการแก้ปัญหาที่นำเสนอ โดยทำการเปรียบเทียบการกระจายความร้อนภายในเตา ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และสมบัติของอิฐสุกที่ได้กับข้อมูลนั้นๆ จากกระบวนการผลิตตามปกติของโรงงาน

6.4 ผลการศึกษา

6.4.1 ข้อมูลพื้นฐานของเตาเผาอิฐและเทคนิคการเผาเดิม

1. ลักษณะทั่วไปของเตาเผาอิฐปากพูนเป็นแบบทางเดินลมร้อนขึ้น(Up draft) โดยมีขนาด ความกว้าง 3.6 ม. ความยาว 5 ม. ความสูง 3 ม. และมีประตูตรงกลางเตา เป็นเตาที่สร้างด้วยการใช้อิฐขนาด 6X6X18 เซนติเมตร ที่ผ่านการเผาแล้วนำมาสร้างเป็นผนังเตา ความหนาของผนังเตาด้านข้างหนา 90 เซนติเมตร ส่วนด้านหน้าและด้านหลังของเตาหนา 50 เซนติเมตร ความสูงของเตา 2.8 เมตร ด้านข้างของเตามีช่องใส่ฟืนด้านละ 3 ช่อง มีลักษณะห้าเหลี่ยมด้านบนเป็นจั่วขนาด 45X70 เซนติเมตร ประตูเตากว้าง 1.1 เมตรตลอดความสูงของเตา เพื่อให้สะดวกสำหรับการนำก้อนอิฐเข้าเตา ตามรูปที่ 6.2

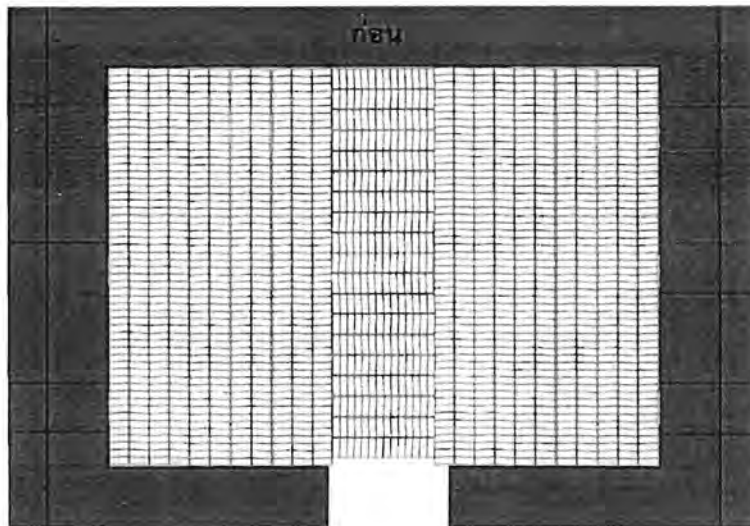


2. การขึ้นอิฐ หรือ การเรียงอิฐในเตาเผาจะใช้การก่ออิฐคิปลให้เป็นโพรงเชื่อมตาไฟทั้ง 2 ฝั่ง โดยจะเรียงสูงขึ้นมาจากพื้นประมาณ 90 เซนติเมตร ซึ่งในชั้นนี้จะเรียกว่า "ชั้นกลาน" ซึ่งหลังจากชั้นกลานไปแล้วจะเป็นรูปแบบการเรียงอิฐในลักษณะของพื้นปลา โดยมีการสลับพื้นปลาไป-มา โดยจะเรียงเป็นแถวตั้งฉากกับแนวตาไฟทั้งสองด้านเข้ามา จนถึงขอบประตูเตาจึงเรียงอิฐสลับทางขวางเช่นนี้สูงขึ้น ไปจนเต็มถึงขอบเตา แล้วเรียงอิฐทับให้สนิทอีกหนึ่งถึงสองชั้นให้เป็นหลังคาเตาชั่วคราว ดังรูปที่ 6.3



โครงการยกระดับ
คุณภาพชีวิตคืนและผลผลิต
สำหรับอุตสาหกรรมชาวมัก ปี 2553

รูปที่ 6.3 การเรียงอิฐเป็นช่องไฟ การเรียงอิฐแบบพื้นปลา และการเรียง
อิฐของหลังคาเตา ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

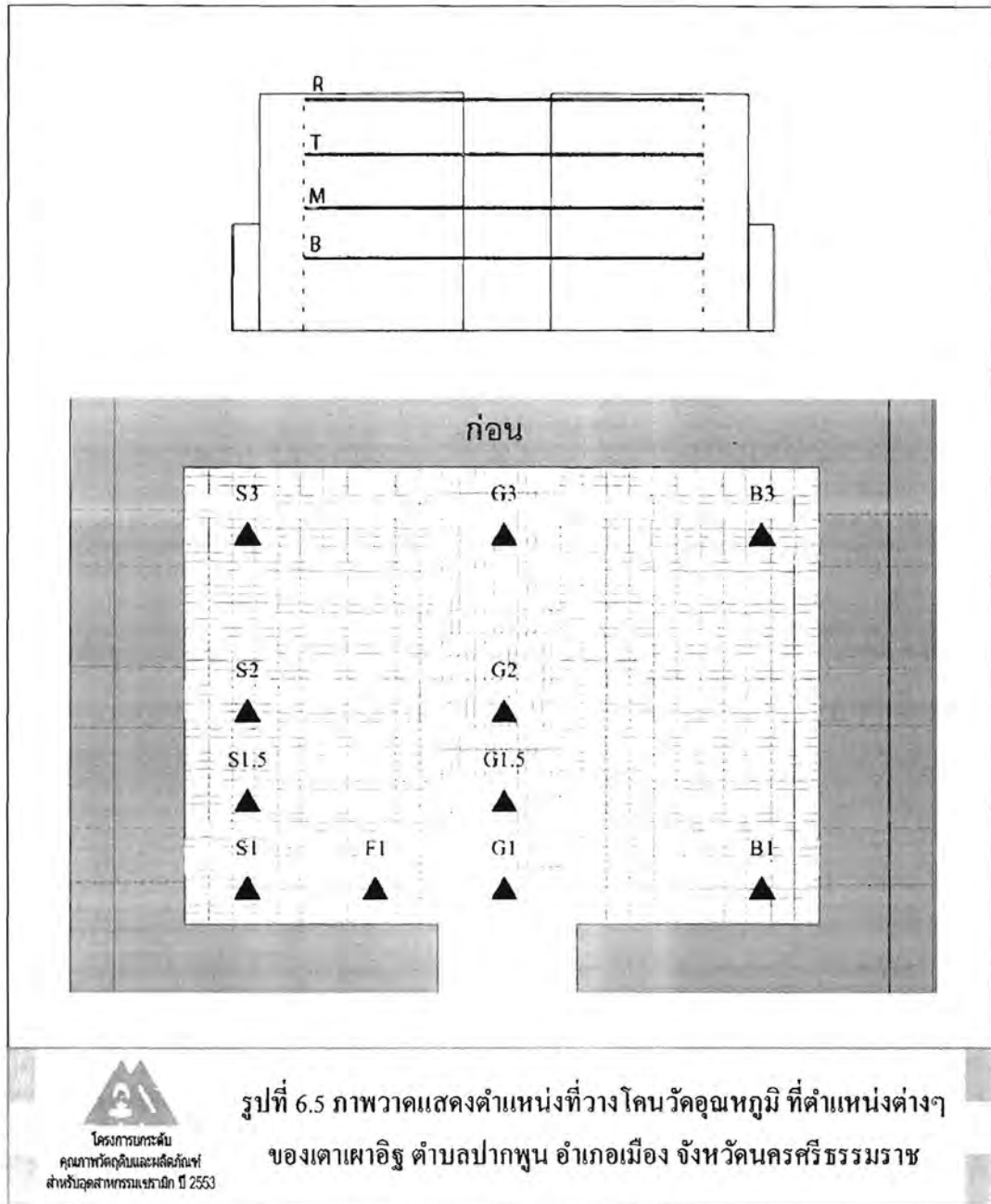


โครงการยกระดับ
คุณภาพชีวิตคืนและผลผลิต
สำหรับอุตสาหกรรมชาวมัก ปี 2553

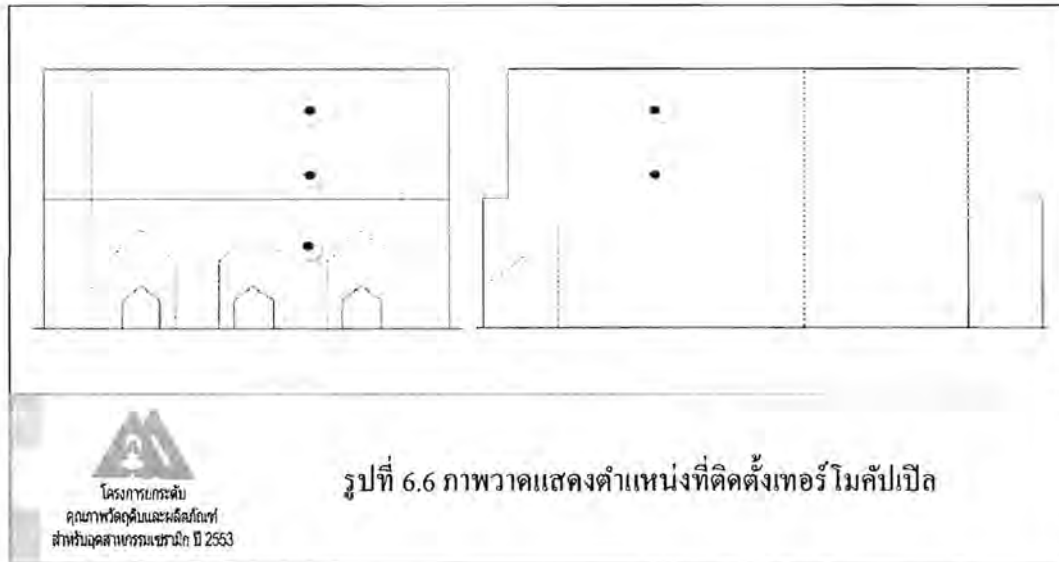
รูปที่ 6.4 ภาพวาดแสดงลักษณะการเรียงอิฐในเตาตั้งแต่ระดับเหนือ
กลานเตาขึ้นไป

ซึ่งในขั้นตอนของการเรียงอิฐทางคณะผู้วิจัยได้วาง โคนทดสอบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆตาม
ระดับความสูงของอิฐ โดยใช้ระดับกลานเตาเป็นฐาน คือ B เป็นอิฐชั้นที่ 1(0 เซนติเมตรจากกลานเตา) M
เป็นอิฐชั้นที่ 11(70 เซนติเมตรจากกลานเตา) T เป็นอิฐชั้นที่ 21(140 เซนติเมตรจากกลานเตา) R เป็นอิฐ
ชั้นที่ 31(210 เซนติเมตรจากกลานเตา) ส่วนตำแหน่งที่วางโคนทดสอบนั้น ในแต่ละชั้นวางกระจายไว้

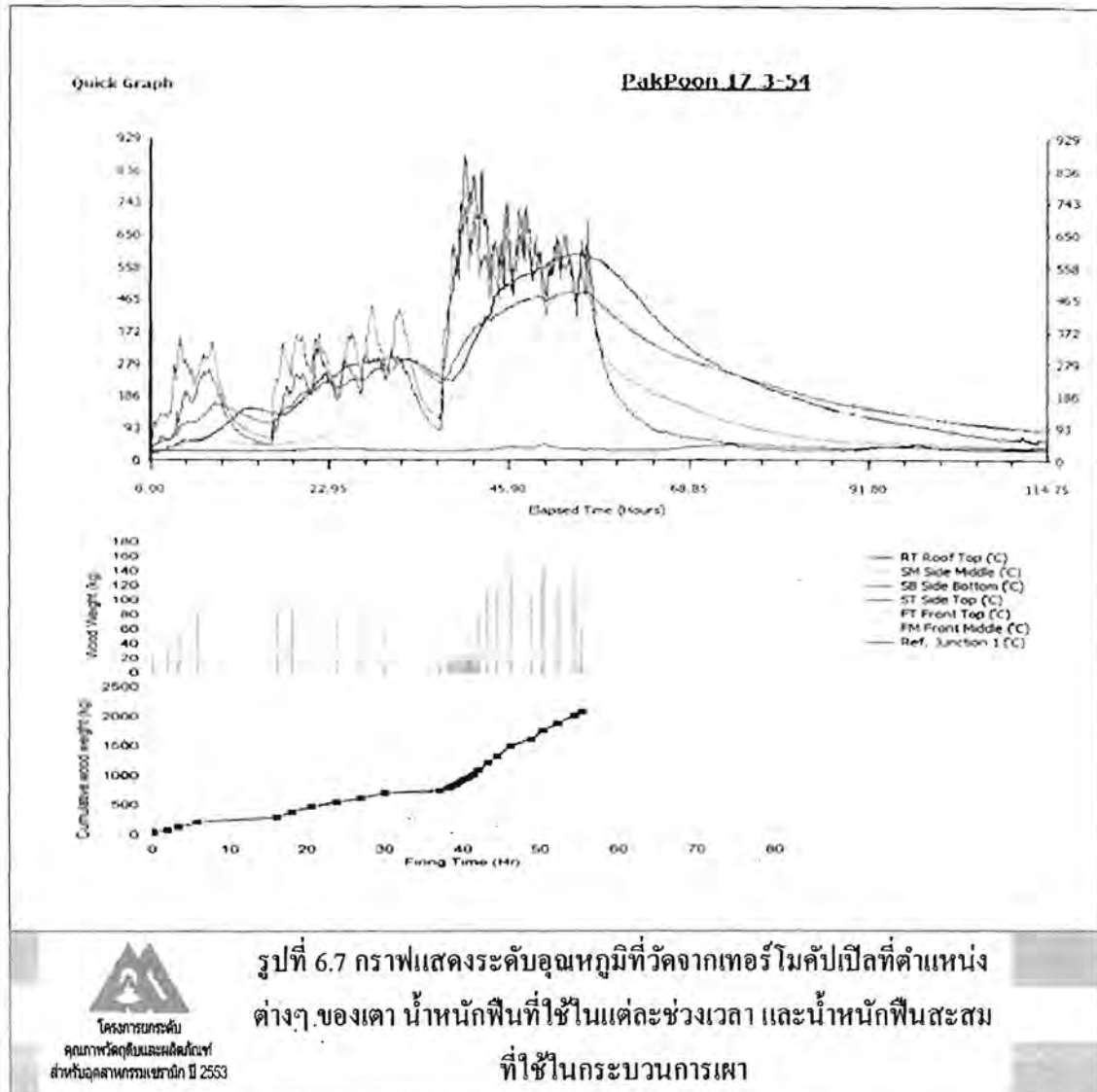
ทั้งสิ้น 11 จุด คือ S1, S1.5, S21, S3, F1, G1, G1.5, G2, G3, B1 และ B3 ตามแผนผังที่แสดงในรูปที่ 6.5



และนอกจากนั้นยังได้มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล(Thermocouple) ตามตำแหน่งด้านข้างเตา 3 จุด เรียงตามลำดับความสูง และด้านหน้าเตาอีก 2 จุดดังรูปรูปที่ 6.6



3. การเผาอิฐหรือการขึ้นไฟตามขั้นตอนปกติ จะเริ่มจากการสูมไฟบริเวณหัวเตาโดยจะสูมไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 36 ชั่วโมง จึงเริ่มใส่ฟืนจำนวนมากและถ้ขึ้น เรียกว่า "ขึ้นไฟใหญ่" เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยดูจากควันขาวที่เกิดขึ้น เมื่อควันขาวเริ่มจางๆ จากนั้นจะ โชนฟืนเข้ากลางเตาหรือเรียกว่าการแทงร่อง โดยจะใส่ไฟไปอีกประมาณ 12 ชั่วโมง จนกระทั่ง อิฐได้หลังคาเตาเปล่งแสงสีส้มแดงออกมาอย่างสม่ำเสมอ จึงหยุดการเผา และทิ้งอิฐให้เย็นตัวอีก 2-3 วันจึงเอาอิฐออกจากเตาได้ ซึ่งตลอดระยะเวลาการเผาได้มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล และยังมีกรชั่งน้ำหนักฟืนที่ใช้เทียบกับระยะเวลาการเผา(ชั่งน้ำหนัก 1 ตาไฟ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล) ด้วยดังแสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงระดับอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตา น้ำหนักพินที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา และน้ำหนักพินสะสมที่ใช้ในกระบวนการเผา

และเมื่ออุณหภูมิเย็นตัวลง จึงได้อ่านค่าอุณหภูมิจากการวาง โคนทดสอบในแต่ละตำแหน่งจะได้ค่าอุณหภูมิโดยประมาณตามรูปที่ 6.8

S3		G3		B3	
<617		<617		<617	
<617		<617		<617	
<750		~750		<750	
~900		~980		~900	
S2		G2			
<617		<617			
<617		<617			
<750		~800			
~970		~980			
S1.5		G1.5			
<617		-			
<617		<617			
<750		~850			
~870		~930			
S1	F1	G1	B1		
<617	~617	<617		<617	
<617	~617	<617		<617	
~750	~770	~830		~870	
~970	~1010	>1100		~970	



โครงการยกระดับ
คุณภาพท้องถิ่นและผลิตภัณ์
สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง ปี 2553

รูปที่ 6.8 แสดงระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาอิฐที่ตำแหน่งต่างๆ ที่วัดด้วย

โคนวัดอุณหภูมิ

6.4.2 สรุปปัญหาและแนวทางการแก้ไข

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปัญหาหลักของเตาคือ

- ความร้อนมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากเนื่องจากเป็นเตาเปิดไม่มีหลังคา จึงไม่สามารถป้องกันความร้อนไว้ได้

- การถ่ายเทความร้อนจากแต่ละชั้นอิฐได้ไม่ดีเท่าที่ควร เกิดความร้อนสะสมในช่วงฐานเตา ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมากในการส่งผ่านความร้อนถึงหลังคาเตา อันจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอิฐไม่สม่ำเสมอ ส่วนชั้นล่างของเตาอุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้อิฐที่ได้ฉาบปูนติดยาก ขณะที่อิฐส่วนบนของเตาอุณหภูมิต่ำเกินไป อิฐที่ได้จึงไม่แข็งแรง

- ประสิทธิภาพในการเผาไหม้มีน้อย เกิดเขม่าเกาะตามอิฐ ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

- ทิศทางการไหลของกระแสลมเข้ากลางเตา การกระจายความร้อนออกด้านข้างตามีน้อย ทำให้อิฐสุกเฉพาะส่วนกลางเตา

- บริเวณประตูของเตาไม่มีการฉาบดินเหนียวปิดรูอิฐ จึงเป็นช่องทางการสูญเสียความร้อน และบางครั้งยังเป็นช่องทางการไหลของอากาศทำให้อิฐบริเวณประตูเตาได้รับความร้อนต่ำ

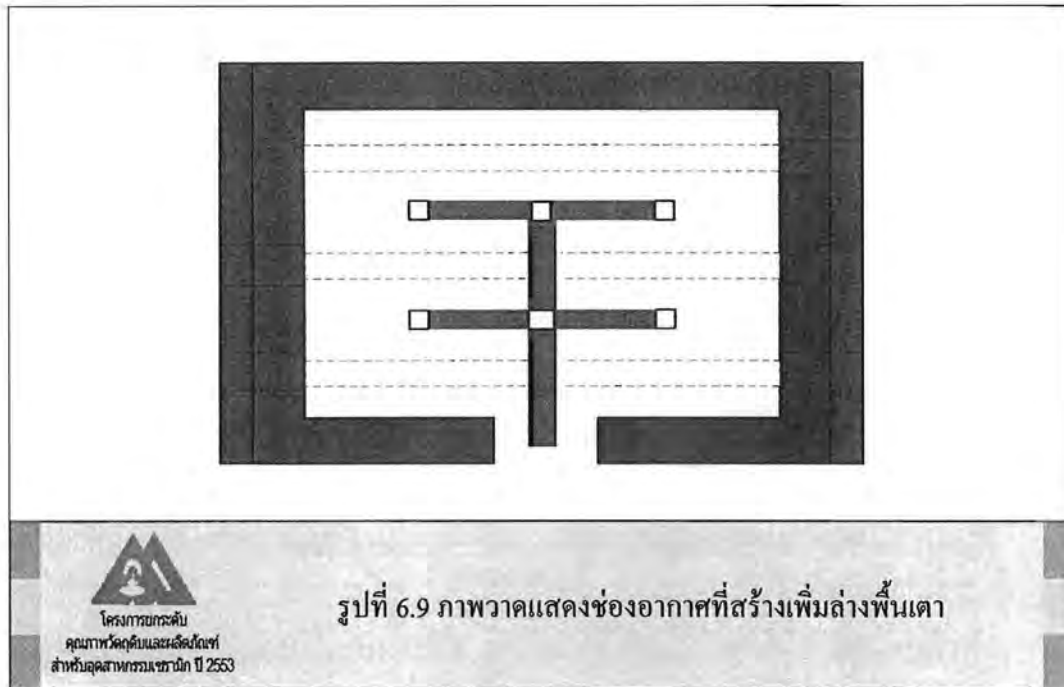
จึงได้เป็นแนวทางการแก้ปัญหา ดังนี้

1. เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยการทำช่องเติมอากาศสำหรับพื้นที่อยู่ด้านในของช่องเผา

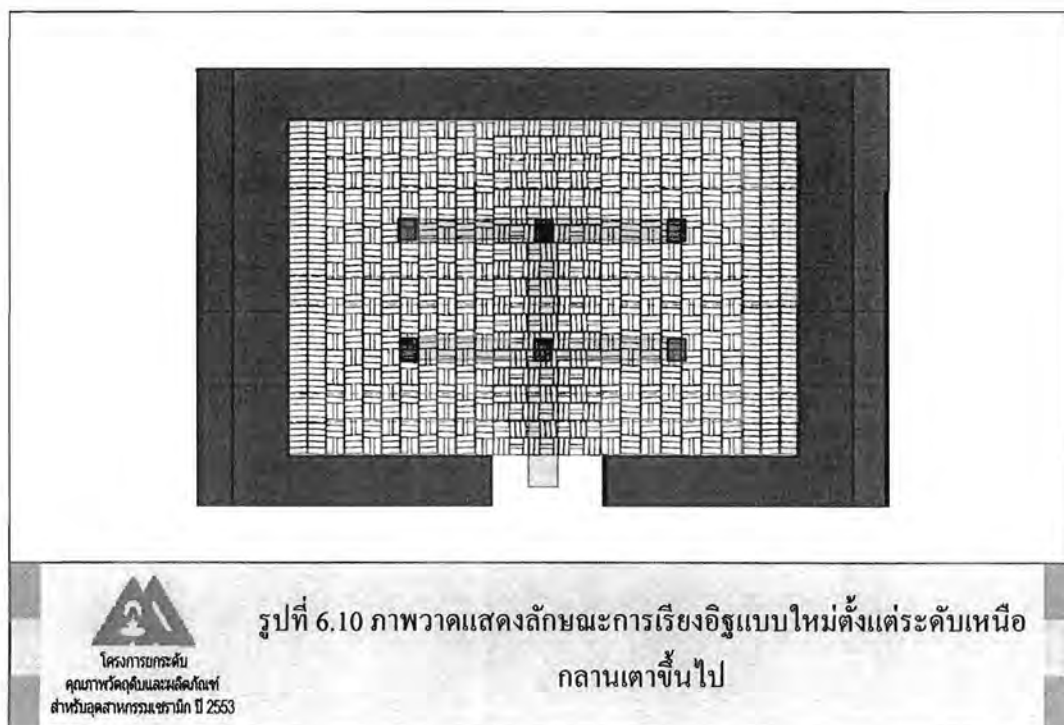
2. ปรับวิธีการเรียงอิฐให้โปร่งขึ้น และมีทางเดินอากาศร้อนระหว่างชั้นและแถวอิฐ เพื่อให้มีการกระจายความร้อนไปยังจุดที่มีความร้อนต่ำได้มากขึ้น

6.4.3 การปรับปรุงเตาเผาและเทคนิคการเรียงอิฐ

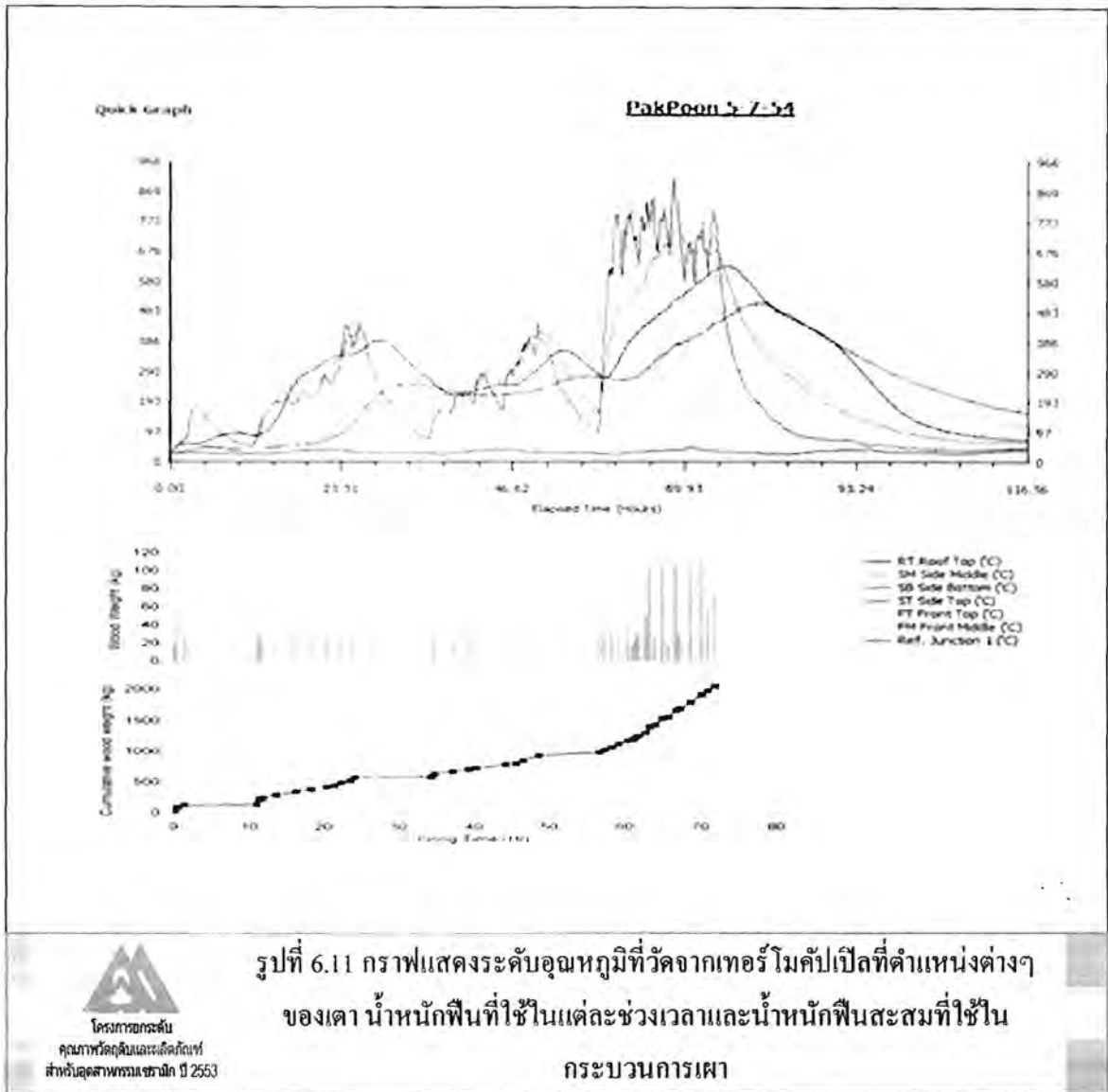
จากที่ได้วางแนวทางการแก้ปัญหาไว้ จึงได้นำมาซึ่งการปฏิบัติ โดยการอุดช่องอากาศ จากด้านหน้าของประตูเตา โดยมีขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร ใช้อิฐที่เผาแล้วเรียงเป็นพื้นและขอบข้าง จากนั้นปิดด้านบนของช่องอากาศ โดยจะให้ภายในเป็นโพรงยาวโดยให้มีร่องในแนวฐานอิฐทั้งสอง ซึ่งจะมีช่องระบายอากาศจำนวน 6 ช่อง ขนาดประมาณ 7X7 เซนติเมตร ซึ่งนอกจากเพื่อที่จะให้อากาศสามารถไหลออกสู่แนวตาไฟทั้ง 2 ด้าน เพื่อที่จะได้ช่วยให้เผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้ว อากาศยังเป็นตัวพาความร้อนให้ไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนได้ง่าย



การจัดเรียงอิฐได้มีการจัดวางแบบใหม่โดยปรับให้ช่องว่างระหว่างอิฐมีมากขึ้น และการวางอิฐในชั้นที่สูงขึ้นได้ทำการวางอิฐแบบไขว้ไว้เพื่อเป็นการกระจายความร้อนที่มากขึ้นในขณะที่ด้านข้างเตาไฟจะเรียงอิฐแบบทึบ(แบบเดิม)ไว้ 2 แถว เพื่อช่วยลดการเกิดการแตกร้าวของอิฐอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้การหดตัวไม่เท่ากัน อิฐอาจจะแตกร้าวเสียหายได้



ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองเผาอีกครั้งหนึ่งในเตาทดสอบจะพบว่า การเพิ่มช่องอากาศ การเปลี่ยนแปลงการเรียงอิฐ ช่วยให้อุณหภูมิในการเผา ณ ตำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 กราฟแสดงระดับอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตา น้ำหนักพื้นที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลาและน้ำหนักพื้นที่สะสมที่ใช้ใน

กระบวนการเผา

S3		G3		B3			
<617 (<617)		>763 (<617)		<617 (<617)			
>763 (<617)		>763 (<617)		<617 (<617)			
~870(<750)		>1013(~750)		<796 (<750)			
~1000(~900)		~1100(~980)		~965(~900)			
S2		G2					
<617 (<617)		>763(<617)					
>763(<617)		>763(<617)					
~800(<750)		>1013(~800)					
~970(~970)		>1104(~980)					
S1.5		G1.5					
<617(<617)		>763(-)					
>763(<617)		>763(<617)					
~861(<750)		~1000(-850)					
~956(~870)		>1104(~930)					
S1		F1		G1		B1	
<617(<617)	~734(<617)	>763(<617)				<617(<617)	
>763(<617)	>763(<617)	>763(<617)				<617(<617)	
~894(~750)	~956(~770)	~960(~830)				<796(~870)	
~1113(~970)	~1100(~1010)	>1104(>1100)				~985(~970)	



โครงการยกระดับ
คุณภาพผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์
สำหรับอุตสาหกรรมขนาดปี 2553

รูปที่ 6.12 แสดงระดับอุณหภูมิภายในเตาเผาอิฐที่ตำแหน่งต่างๆ ที่วัดด้วย โคน
วัดอุณหภูมิ (เทียบกับการเผาแบบเดิมด้วย)

ซึ่งเมื่อดูจากกราฟในรูปที่ 6.11 จะสังเกตเห็นว่าการเผาในช่วงชั่วโมงที่ 32-55 จะเป็นการเผาที่ไม่จำเป็นเนื่องจากเป็นการอุ่นอิฐหรือช่วงไถ่ไอน้ำ และอุณหภูมิได้สูงเกินกว่า 100 องศาเซลเซียสมาแล้ว ซึ่งถ้าตัดช่วงเวลาดังกล่าวออกไปก็จะช่วยลดการใช้ปริมาณฟืนลง อีกทั้งช่วยประหยัดเวลาในการทำงานลง ดังแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานและปริมาณฟืนของวิธีการเผาแบบเดิมและแบบใหม่

รายการ	แบบเดิม	แบบใหม่	
		ตามที่ทดลองจริง	ลดเวลาการอุ่นอิฐลง
เวลาเรียงอิฐ (ประมาณการ)	1.5 วัน	2.5 วัน	
จำนวนอิฐ 4 รู (ก้อน)	60,000	56,700	
นน.ฟืน (กก.) ที่ใช้ต่อเตา	2,093	2,059.5	1,706
นน.ฟืน (กก.) ที่ใช้ต่อเตา	12,555	12,357	10,233
เวลาที่ใช้ในการเผา (ชม.)	56 ชม.	74 ชม.	51 ชม.

6.4.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

ทั้งนี้เพื่อให้สามารถอธิบายถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการเผาอิฐได้ดียิ่งขึ้นคณะผู้วิจัยได้ทำการประมาณการค่าพลังงานที่ได้จากฟืน และพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการเผาอิฐ ดังแสดงในตารางที่ 6.2 ซึ่งค่าที่แสดงในตารางต่างๆ เป็นค่าประมาณการที่ได้จากการคำนวณภายใต้สมมติฐานร่วมกันกับข้อมูลจากการทดลอง ถึงแม้ว่าค่าดังกล่าวอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงแต่ก็ยังสามารถนำไปใช้ทำความเข้าใจและอธิบายกระบวนการเผาที่เกิดขึ้น

ในลำดับแรกคือการประเมินพลังงานขั้นต่ำที่จำเป็นต้องใช้ในการกระบวนการเผาเพื่อเปลี่ยนอิฐดิบเป็นอิฐสุก การคำนวณนี้ใช้ค่าพลังงานความร้อนตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 6.3 โดยแบ่งอิฐเป็นกลุ่มตามระดับชั้นความสูงของอิฐเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วยอิฐในกลุ่ม R ซึ่งจะมีความหนาของอิฐประมาณ 35 เซ็นติเมตร นับจากอิฐชั้นบนสุดที่ทำหน้าที่เป็นหลังคาชั่วคราว ลงมาที่กลุ่ม T ซึ่งจะมีความหนาของอิฐประมาณ 70 เซ็นติเมตร ชั้นกลุ่ม M ซึ่งจะมีความหนาของอิฐประมาณ 70 เซ็นติเมตร จนถึงกลุ่ม B ซึ่งจะมีความหนาของอิฐประมาณ 35 เซ็นติเมตร รวมกับอิฐที่ใช้ก่อเป็นฐานเตา และใช้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จริงจาก โคนวัดอุณหภูมิเป็นแนวทางในการ กำหนดอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละชั้นอิฐและคำนวณเป็นพลังงานที่ต้องใช้สำหรับแต่ละกลุ่มเพื่อรวมเป็นพลังงานรวมในท้ายที่สุด

จากการคำนวณ (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.3 และตารางที่ 6.4) ระดับพลังงานขั้นต่ำที่ต้องใช้ในการเผาอิฐในแต่ละโซนให้ได้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด (หรือที่วัดได้จากการทดลองในกรณีนี้) ทั้งนี้พบว่าการเผาอิฐตามกระบวนการดั้งเดิมที่โรงงานใช้อยู่ต้องใช้พลังงานประมาณ 40,300 MJ ต่ออิฐสุกจำนวน 50,000 กิโลกรัม ขณะที่กระบวนการเผาที่พัฒนาขึ้นจะใช้พลังงานประมาณ 41,700 MJ ต่ออิฐสุกจำนวน 47,120 กิโลกรัม ซึ่งจะสูงกว่าแบบเดิมประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอุณหภูมิการเผาสูงกว่าแบบเดิมประมาณ 80-150 องศาเซลเซียส ซึ่งพลังงานดังกล่าวคือพลังงานขั้นต่ำที่จำเป็นต้องใส่เข้าไปในระบบเพื่อเปลี่ยนอิฐดิบ (หรือดินเหนียว) ให้กลายเป็นอิฐสุก

ตารางที่ 6.2 ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการกระบวนการเผาอิฐดิบเป็นอิฐสุกที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิเผา(องศาเซลเซียส)	พลังงานที่ต้องใช้(kJ/kg)
600	569
700	706
800	843
900	966
1,000	1,096

Source: Lebbing, 1999

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าประมาณการของพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐหนึ่งเตา (น้ำหนักอิฐสุกประมาณ 50 ตัน) ด้วยวิธีการเผาตามปกติ

ตำแหน่ง กลุ่มอิฐ	ช่วงอุณหภูมิ การเผา (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิที่ ใช้คำนวณ (องศา เซลเซียส)	Specific transformation energy (KJ/kg)	น้ำหนัก อิฐสุก (kg)	พลังงานที่ ต้องใช้ในการ เผา (MJ)
R	< 617	NA	600	569	9,600	5,462
T	< 617	NA	600	569	12,000	6,828
M	750-870	784	800	843	12,000	10,116
B+ฐานเตา	870-1,100	962	1,000	1,096	16,400	17,974
				รวม	50,000	40,381

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าประมาณการของพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐหนึ่งเตา (น้ำหนักอิฐสุกประมาณ 47 ตัน) ด้วยวิธีการเรียงอิฐแบบใหม่พร้อมทั้งการใช้ช่องเดิมอากาศ

ตำแหน่ง กลุ่มอิฐ	ช่วงอุณหภูมิ การเผา (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิที่ ใช้คำนวณ (องศา เซลเซียส)	Specific transformation energy (KJ/kg)	น้ำหนัก อิฐสุก (kg)	พลังงานที่ ต้องใช้ใน การเผา (MJ)
R	< 617 - 762	680	650	637	9,120	5,809
T	< 617 - 763	736	700	706	11,040	7,794
M	800-1013	905	900	966	11,040	10,665
B+ฐานเตา	956-1110	1,044	1,000	1,096	15,920	17,448
				รวม	47,120	41,717

ในลำดับต่อมาคือการประเมินพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเผาทั้งหมด โดยอาศัยผลจากการทดลอง ทั้งนี้ในการเผาอิฐตัว 1 เตา (จำนวนอิฐประมาณ 60,000 ก้อน น้ำหนักอิฐสุกประมาณ 50,000 กิโลกรัม) โดยปกติจะใช้ฟืนประมาณ 12,500 กิโลกรัม ในขณะการเผาโดยใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นด้วยการเรียงอิฐให้โปร่งขึ้นพร้อมกับการใช้ช่องเดิมอากาศสำหรับช่วยเผาใหม่จะใช้ฟืนในปริมาณใกล้เคียงกันคือประมาณ 12,400 กิโลกรัม ต่อการเผาอิฐ 1 เตา (จำนวนอิฐประมาณ 56,700 ก้อน น้ำหนักอิฐสุกประมาณ 47,000 กิโลกรัม) อย่างไรก็ตามหากใช้เทคนิคการเผาที่พัฒนาขึ้นโดยลดระยะเวลาการเผาที่ไม่จำเป็นออก (ตามเหตุผลที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น) น่าจะต้องใช้ฟืนเพียงประมาณ 10,300 กิโลกรัม เท่านั้น ซึ่งจำนวนฟืนดังกล่าวจะให้ค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดประมาณ 144,000, 142,000 และ 118,000 MJ ตามลำดับ (คิดจากค่าพลังงานจากไม้ 13,500 kJ/kg ที่ระดับความชื้นในเนื้อไม้ 15 เปอร์เซ็นต์ และมีการเผาไหม้สมบูรณ์) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานขั้นต่ำที่ต้องใช้ในการเผาอิฐจะพบว่า พลังงานที่ได้จากฟืนทั้งหมดจะถูกใช้ไปในกระบวนการเผาอิฐเพียงประมาณ 28-35 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น สำหรับพลังงานส่วนที่เหลือ ส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการไล่ความชื้นออกจากเนื้ออิฐและฟืน ส่วนหนึ่งสะสมอยู่ในอิฐและเตาเผาและสูญเสียไประหว่างการเย็นตัวลง ส่วนหนึ่งเกิดการสูญเสียและสะสมที่ผนังและโครงสร้างเตา โดยพลังงานส่วนมากน่าจะเกิดการสูญเสียไปกับไอเสียและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 6.5 พลังงานทั้งหมดที่ได้จากพื้นที่ใช้ในการเผาแบบต่าง ๆ ในการศึกษา

	วิธีเผาแบบ ดั้งเดิม	เรียงอิฐแบบใหม่ พร้อมช่องอากาศ (ตามผลการทดลองที่ ได้จริง)	เรียงอิฐแบบใหม่ พร้อมช่องอากาศ (เมื่อลดเวลาการเผา ส่วนเกินออก)
ปริมาณพื้น (kg)	12,550	12,350	10,300
ระดับความชื้น (%)	15	15	15
น้ำหนักไม้แห้ง (kg)	10,668	10,498	8,755
ค่าพลังงานของไม้ (kJ/kg)	พลังงานทั้งหมด (MJ)		
13,500	144,011	141,716	118,193
น้ำหนักอิฐสุก (kg)	50,000	47,120	47,120
อัตราส่วนพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ต่อน้ำหนักอิฐสุก (MJ/kg bricks)	2.88	3.01	2.51

หมายเหตุ: ค่าพลังงานความร้อนของไม้ยังมีค่าประมาณ ประมาณ 12,500-15,000 kJ/kg (Buchanan Renewables, 2010) ในที่นี้เลือกใช้ ค่าพลังงานความร้อนที่ 13,500 kJ/kg

ตารางที่ 6.6 แสดงอัตราพลังงานที่ใช้จริงในกระบวนการเผาอิฐต่อปริมาณอิฐ

กระบวนการ/โรงงาน	อัตราส่วนพลังงานจากพื้นที่ใช้/ น้ำหนักอิฐสุกที่ได้ (MJ/kg)
กระบวนการเผาแบบดั้งเดิม	2.88
กระบวนการเผาที่พัฒนาขึ้น	3.01/2.51
ข้อมูลเปรียบเทียบ (Lebbing, 1999)	
อชุธยา	4.63
ร้อยเอ็ด (No.2)	5.45
ชัยภูมิ (No. 11)	8.17
อุบลราชธานี (No. 13)	7.12
อุบลราชธานี (No. 14)	4.90

หมายเหตุ: ข้อมูลการเผาอิฐจากรายงานของ Lebbing ได้มาจากสำรวจโรงงานในพื้นที่ต่างๆ โดยกระบวนการเผาที่ใช้ จะเป็นการเผาโดยใช้เตาชั่วคราว ที่สร้างขึ้นโดยการก่ออิฐดิบเป็นตั่งๆ และคลุมทับด้วยแกลบ ไม่มีหลังคาแต่และอาจมีหรือไม่มีผนังชั่วคราวร่วมด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเผาทั้งหมดต่อน้ำหนักอิฐสุกที่ได้ของการเผาแบบเดิม แบบที่พัฒนาขึ้น และแบบที่พัฒนาขึ้นพร้อมกับลดเวลาการเผาส่วนเกินออก จะอยู่ที่ 2.88, 3.01 และ 2.51 MJ/kg bricks ตามลำดับ (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.5) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเผาอิฐโดยวิธีดั้งเดิมของโรงงานตัวอย่างกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเผาอิฐที่ใช้เตาเผาชั่วคราว (ดังแสดงในตารางที่ 6.6) จะพบว่ากระบวนการเผาที่ใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการเผาด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับวิธีเผาแบบดั้งเดิม จะเห็นว่า การเผาอิฐด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น (ตามผลการทดลองที่ได้จริง) ต้องใช้พลังงานมากกว่าเดิมเล็กน้อย (ประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์) แต่มีคุณภาพอิฐโดยรวมสูงขึ้น อุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ในทางทฤษฎี วิธีดังกล่าวจะใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีดั้งเดิมประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดเวลาการเผาได้ถึง 5 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการได้ทั้งในการลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิง ช่วยเพิ่มคุณภาพอิฐที่ได้ให้สูงขึ้น เพิ่มกำลังการผลิตต่อหน่วยเวลา พร้อมกับช่วยลดการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก ไอน้ำ และเขม่า ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบในเชิงกำลังการผลิตต่อหนึ่งรอบการทำงาน หรือจำนวนอิฐสุกที่ได้ต่อเตาพบว่าวิธีเผาแบบดั้งเดิม จะมีกำลังการผลิตมากกว่าประมาณ 3,300 ก้อนต่อรอบ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 3,300-5,000 บาท ซึ่งอาจจะมากกว่าต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดลงได้ และดูเหมือนว่าวิธีการเดิมจะคุ้มค่ามากกว่าในเชิงกำไร แต่ในกระบวนการทำงานจริง โรงงานจะมีการคัดอิฐที่ไม่สุกตัวออกไว้เผื่ออีกครั้ง สำหรับการคำนวณแบบหยาบๆ โดยให้อิฐราคาก้อนละ 1 บาท ฝุ่นราคา กิโลกรัมละ 1 บาท วิธีการเผาที่พัฒนาขึ้นจะมีมูลค่าเทียบเท่ากับวิธีดั้งเดิมเมื่อวิธีเผาแบบดั้งเดิมต้องมีอิฐที่ต้องเผาซ้ำประมาณ 1,500-2,000 ก้อนขึ้นไป อย่างไรก็ตามจำนวนอิฐที่ต้องเผาใหม่นี้ไม่แน่นอนขึ้นกับการเผาในแต่ละเตา และวิธีการเลือกของคองงานระหว่างขนอิฐออกจากเตา (ซึ่งใช้วิธีสังเกตจากสีอิฐและลักษณะภายนอกเป็นหลัก) ทำให้การประเมินดังกล่าวอาจไม่สะท้อนกับคุณภาพอิฐจริงๆ และจากข้อมูลอุณหภูมิการเผาที่ได้จะเห็นว่าในการเผาแบบดั้งเดิม อิฐด้านบนส่วนมากน่าจะยังไม่สุกตัวเพราะอุณหภูมิเผาต่ำกว่า 617 องศาเซลเซียส) รวมถึงผู้ประกอบการเองไม่มีการเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้มีเพียงตัวเลขประมาณการจากความทรงจำ จึงทำให้การประเมินเปรียบเทียบความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจให้ถูกต้องทำได้ค่อนข้างยาก

6.5 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการฯ ได้เข้าไปศึกษากระบวนการเผาอิฐที่โรงงานตัวอย่างที่ บ้านปากพูน จังหวัด นครศรีธรรมราช พบว่าปัญหาสำคัญในกระบวนการเผาคือ มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงค่อนข้างสูง เนื่องจากข้อจำกัดของแบบเตาที่ใช้ รวมถึงความแตกต่างของคุณภาพผลิตภัณฑ์ภายในเตาเนื่องจากการ กระจายความร้อนไม่ทั่วถึง การทดสอบแก้ปัญหาโดยการเพิ่มช่องเดิมอากาศและจัดเรียงอิฐใหม่สามารถ ช่วยเพิ่มการกระจายความร้อนในเตาให้ดียิ่งขึ้น โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 80-150 องศาเซลเซียส (ขึ้นกับตำแหน่งของอิฐในเตาเผา) ส่งผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยรวมสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมี สักยภาพในการลดปริมาณฝุ่นและระยะเวลาการเผาที่ใช้ลงได้

6.6 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองครั้งนี้ทาง โครงการทำการศึกษาโดยใช้อิฐที่ได้จากโรงงานเป็นหลักจึงทำให้ทำให้ การศึกษาเปรียบเทียบผลบางอย่าง ในเชิงปริมาณทำได้ยาก เช่น การศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำของอิฐที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาแต่ละครั้ง เนื่องจากเนื้อดินที่ใช้ในการเผาแต่ละ ครั้งอาจไม่เหมือนกันขึ้นกับบ่อดินและชั้นดินที่ใช้ อุณหภูมิในการเผาแต่ละครั้ง (ในแต่ละตาของเตา) และปริมาณฝุ่นที่ใช้เองก็มีความแตกต่างกัน ขึ้นกับการเติมฝุ่นและการดูแลไฟของคนใส่ฝุ่น ตำแหน่งที่ตั้ง ของตาไฟและทิศทางการพัดของลม ความชื้นของอิฐขณะเอาเข้าเตา ตลอดจนสภาพอากาศการศึกษาใน ลักษณะเดียวกันนี้ในอนาคต ควรมีการศึกษาจากชิ้นงานทดสอบที่จัดทำขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อให้สามารถ ควบคุมสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานให้มีความคล้ายคลึงกัน ให้ได้มากที่สุด เพื่อลดความผันผวนที่จะเกิดขึ้น จากกระบวนการผลิตจริง

2. ค่าที่ได้มาจากการศึกษาที่โรงงานตัวอย่างเพียงแห่งเดียว ซึ่งอาจมีความแตกต่างๆ จากโรงงาน อื่นๆ ที่ใช้เตาแบบเดียวกัน ขึ้นกับการควบคุมกระบวนการผลิตและวิธีการทำงานของแต่ละ โรงงาน

3. เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา ตารางการทำงานของทั้งผู้วิจัยและ โรงงานตัวอย่าง และปัญหาน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่ทดลอง ทำให้ผู้วิจัยสามารถทดสอบประสิทธิภาพการเผาของเตาที่ปรับปรุงขึ้นได้ เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ถึงแม้ว่าค่าที่ได้จากทดลองจริงและจากการประมาณการจะบ่งชี้ว่าแนวทาง แก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นจะสามารถลดปริมาณฝุ่นที่ใช้ลงและช่วยเพิ่มคุณภาพอิฐได้จริง ในอนาคตควรมี การเพิ่มจำนวนครั้งในการศึกษาและขยายผลการทดสอบไปยัง โรงงานอื่นเพิ่มเติมต่อไป

4. การปรับปรุงเพื่อเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ ผู้ประกอบการส่วนหนึ่งยังไม่ให้ความสำคัญเท่าที่ควร ซึ่งน่าจะมีเหตุผลมาจากหนึ่งหรือหลายสาเหตุประกอบกัน อาทิ

ก) มั่นใจว่าตนเองผลิตอัฐที่มีคุณภาพสูงอยู่แล้ว และมีกระบวนการทำงานที่ดีอยู่แล้ว

ข) ราคาอัฐไม่ได้ขายตามคุณภาพแต่จะขายตามขนาด ทำให้อัฐที่แกร่งและสุกตัวกว่ากับอัฐที่สุกตัวไม่มากขายได้ในราคาเท่ากัน จึงไม่มีประโยชน์จะเพิ่มต้นทุนหรือขั้นตอนการผลิตให้มากขึ้น

ค) มีกลุ่มลูกค้าประจำที่มักจะซื้ออัฐกับโรงงานใดโรงงานหนึ่งเฉพาะ

ง) ผู้ซื้อส่วนหนึ่งเน้นการเลือกซื้ออัฐจากราคาโดยไม่สนใจกับคุณภาพอัฐมากนัก

5. ในมุมมองของสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมนี้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมาก และก็มี การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศจำนวนมาก จึงควรมีการให้ความรู้และทำความเข้าใจกับผู้ประกอบการเกี่ยวกับการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ สร้างความตระหนักถึงความสำคัญของการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่า และผลกระทบของอุตสาหกรรมของตนต่อระบบนิเวศน์ รวมถึงควรมีมาตรการกระตุ้น ช่วยเหลือให้ผู้ประกอบการมีการพัฒนาและเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น



บทที่ 7

การพัฒนาเคลือบซีเมนต์ไว้ยงสำหรับผลิตภัณฑ์ดินเผา

เคลือบเซรามิกคือ วัสดุที่มีลักษณะเป็นแก้วบางๆ ซึ่งเกิดจากการหลอมตัวของสารประกอบ เช่น ซิลิกา และสารประกอบออกไซด์ของโลหะ ฉาบอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยวัตถุประสงค์หลักของการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์เซรามิก ได้แก่

- ป้องกันการซึมผ่านของของเหลวหรือก๊าซ
- ความสวยงามและทำความสะอาดง่าย
- ป้องกันการขีดข่วนบนพื้นผิวเซรามิก
- ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ทางไฟฟ้า แสง เหม

ชนิดของเคลือบจะแบ่งได้เป็นหลายวิธีเช่น แบ่งตามลักษณะของผิวเคลือบ ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ ตามอุณหภูมิการเคลือบ โดยในงานวิจัยนี้จะมีเคลือบสองชนิดคือ เคลือบที่มีซีเมนต์เป็นองค์ประกอบและไม่มีซีเมนต์เป็นองค์ประกอบ

การเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกสามารถกระทำได้ 4 วิธี ได้แก่ การจุ่มเคลือบ การเทราด การทา และการพ่น

1. การจุ่มเคลือบหรือชุบเคลือบ คือการนำผลิตภัณฑ์จุ่มลงไปในภาชนะที่บรรจุน้ำเคลือบไว้ วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก กรณีที่มีจำนวนผลิตภัณฑ์มาก มีค่าใช้จ่ายต่ำเนื่องจากไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือจะต้องเตรียมน้ำเคลือบปริมาณมาก และไม่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่

2. การเทราด คือวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ โดยจะวางผลิตภัณฑ์บนแท่นที่มีช่องว่างให้น้ำเคลือบไหลผ่านได้สะดวก โดยที่มีภาชนะรองรับน้ำเคลือบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

3. การทา วิธีการนี้จะเตรียมน้ำเคลือบในปริมาณน้อย แต่ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญ เพื่อให้ได้เคลือบที่มีความเรียบและหนาสม่ำเสมอ

4. การพ่น เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตระดับถึงอุตสาหกรรมจนถึงระดับอุตสาหกรรม เพราะต้องมีการลงทุนในเครื่องมือและอุปกรณ์ค่อนข้างมาก

5. จากการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตถ้วยรองน้ำยางหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า จอกยางในอำเภอรัตนบุรี และอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ากระบวนการดั้งเดิมใช้ดินดานและปูนขาวผสมแกลบเป็นวัตถุดิบหลัก และในกระบวนการเผาจะใช้ไม้ยางเป็นเชื้อเพลิงหลัก ดังนั้นในการศึกษาทดลองนี้ จึงได้นำเอาไม้ยางซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการเผาจอกยางมา

เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนปูนขาวผสมแกลบ และศึกษาการลดอุณหภูมิของเคลือบซีเมนต์โดยการเติมสารลดจุดสุกตัวในปริมาณที่เหมาะสม

7.1 วัตถุดิบ

เพื่อเตรียมน้ำเคลือบชนิด One firing glaze ให้เหมาะสมสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์ดินเผาและถ้วยรองน้ำยาอาหาร

7.1.1 วัตถุดิบ

- ดินดาน
- เนฟลิน โซดาไฟ
- เถ้าไม้จากโรงจอกยางสามร้อยกล้า
- แคลไซต์โคเลมาไนต์
- ซิงค์ออกไซด์
- โซเดียมเฟลด์สปาร์
- ไททานเนียมไดออกไซด์
- แบเรียมคาร์บอเนต
- ฟลินต์
- ดินขาว
- แคลเซียมออกไซด์
- เหล็กออกไซด์

7.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ตะแกรงขนาด 80 เมช
- ถ้วยครุฑเปิด
- หม้ออบพร้อมลูกบิด
- เครื่องกวนผสมสาร
- โกร่ง
- กระบอกตวง
- บีกเกอร์
- เครื่องวัดความเร็วสูง
- ฟองน้ำ

7.2 วิธีการทดลอง

1) การศึกษาสมบัติของน้ำเคลือบ วัตถุประสงค์หลักของโรงงาน และซีเมนต์

ในเบื้องต้นทางโครงการ ได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่อง XRF ของน้ำเคลือบ จากโรงงานเป้าหมายของโครงการรวม 3 โรงงานประกอบด้วยโรงงานในอำเภอรัตนพิบูลย์ 1 โรงงาน และโรงงานในอำเภอชะอวด 2 โรงงานดินคานและปูนขาวผสมแกลบเผา จากโรงงานในอำเภอรัตนพิบูลย์ได้ไม่ียง จากโรงงานในอำเภอรัตนพิบูลย์

2) การเตรียมวัตถุดิบเคลือบ

การเตรียมได้ไม่ียง

- นำได้ไม่ียงมาคัดแยกสิ่งเจือปน เช่น เศษไม้ ก้อนหิน ก่อนไปแช่น้ำทิ้งค้างคืน (ซีเมนต์ 5 กิโลกรัมต่อน้ำ 50 ลิตร)
- เทน้ำล้างซีเมนต์ทิ้ง แล้วเติมน้ำลงไปล้างใหม่ รวม 3 ครั้ง
- กรอง (แบบเปียก) ซีเมนต์ผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช
- กวนน้ำซีเมนต์ให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแล้วแบ่งตัวอย่างไปวัดค่าความถ่วงจำเพาะและ ร้อยละของน้ำหนักแห้งซีเมนต์ (เปอร์เซ็นต์ solid)

การเตรียมแคลไซต์โคเลมาไนต์

- นำแร่โคเลมาไนต์ใส่ในครูซิเบิลปริมาตร 1/3 ของปริมาตรถ้วย
- นำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ใช้นาน 1 ชั่วโมง
- นำก้อนโคเลมาไนต์ที่ผ่านการเผาแคลไซต์มาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

3) การเตรียมน้ำเคลือบ

- วัตถุประสงค์ทั้งหมดที่ใช้จะร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช
- กำหนดสูตรเคลือบดังแสดงในตารางที่ 7.1 แล้วคำนวณหาน้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 7.2
- นำส่วนผสมของเคลือบใส่ในหม้อบดแล้วเติมน้ำโดยใช้สัดส่วน น้ำ : สาร ในสัดส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก
- ผสมสูตรเคลือบสองวิธี ด้วยเครื่องบดความเร็วสูงเป็นเวลานาน 5 นาที และกวนผสมกันเป็นเวลา 30 นาที
- ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบและปรับให้อยู่ในช่วง 1.3-1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 7.1 องค์ประกอบตามสูตรอิมพีริคัลของเคลือบสูตรต่างๆ

สูตร	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	ZnO	SrO	BaO	CuO	Mn ₃ O ₄
P11.5	0.3572	0.1485	0.0795	0.2435	0.1679	0.0021	0.0003	0.00002	0.0009
P11.5Ti ₄	0.3572	0.1485	0.0794	0.2436	0.1680	0.0021	0.0003	0.00002	0.0009
X ₉	0.1622	0.1485	0.4454	n/a	0.2169	n/a	0.0270	n/a	n/a
X ₀₃ b ₃	0.1589	0.1490	0.4471	n/a	0.2177	n/a	0.0272	n/a	n/a

สูตร	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	P ₂ O ₅
P11.5	0.0846	0.0827	0.0004	0.5274	0.00478	0.0007	0.0130
P11.5Ti ₄	0.0813	0.07942	0.00036	0.5068	0.05279	0.00067	0.0125
X9	0.0354	0.4389	n/a	1.2359	n/a	n/a	n/a
X ₀₃ b ₃	0.0318	0.3902	0.0854	1.1410	0.0482	n/a	n/a

4) ขั้นตอนการเตรียมน้ำเคลือบที่ไม่มีเถ้าไม้ยางเป็นองค์ประกอบ

- วัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้จะร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช

- กำหนดสูตรเคลือบที่ต้องการศึกษา ดังตารางที่ 7.1

- นำส่วนผสมของเคลือบ (ตารางที่ 7.2 และ ตารางที่ 7.3) ใส่ในหม้อบดแล้วเติมน้ำ โดยใช้

สัดส่วนน้ำ : ส่วนผสมทั้งหมด ในสัดส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก

- บดส่วนผสมเคลือบด้วยเครื่องบดความเร็วสูง เป็นเวลานาน 5 นาที

- ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะของน้ำเคลือบและปรับให้อยู่ในช่วง 1.3-1.5 กรัมต่อลูกบาศก์

เซนติเมตร

ตารางที่ 7.2 ร้อยละ โดยน้ำหนักองค์ประกอบของวัตถุดิบของเคลือบที่มีแก้วไม้อย่างเป็นองค์ประกอบ

วัตถุดิบ	P11.5	P11.5Ti ₄	P11.5B ₁
คันทาน	51.66	49.67	51.14
Calcined Colemanite	9.08	8.73	8.99
แก้วไม้อย่าง	17.45	16.78	16.93
Sodium Feldspar	11.35	10.91	10.15
ZnO	10.46	10.06	11.01
TiO ₂	-	3.85	-
Borax	-	-	1
รวม	100	100	100

ตารางที่ 7.3 ร้อยละ โดยน้ำหนักองค์ประกอบของวัตถุดิบของเคลือบที่ไม่มีแก้วไม้อย่างเป็นองค์ประกอบ

วัตถุดิบ	X9	X ₀ b ₃
Nepheline Syenite	49.02	45.26
Calcined Colemanite	3.79	3.42
Whiting	8.87	8.00
ZnO	12.17	11.23
BaCO ₃	3.69	3.41
Kaolinite	7.15	2.73
Flint	15.32	15.94
Fe ₂ O ₃	-	7.5
TiO ₂	-	2.5
รวม	100	100

5) การชุบเคลือบและเผา

- เตรียมแผ่นทดสอบจากเนื้อดินปั้น ขนาด 4 x 4 เซนติเมตร
- นำแผ่นชิ้นงานมาทำความสะอาดโดยเช็ดด้วยฟองน้ำเปียกหมาด
- นำแผ่นชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วชุบเคลือบโดยวิธีการจุ่มในน้ำเคลือบ
- นำแผ่นที่ชุบเคลือบสิ่งลมนจนแห้งจากนั้น ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24

ชั่วโมง

- เเผ่นเคลือบที่อุณหภูมิ 1050, 1100, 1150, 1180 องศาเซลเซียส โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเผาเซวไว้ที่อุณหภูมิเผานาน 60 นาที

6) การปรับปรุงการเกาะติดของเคลือบโดยการปรับความละเอียดของเนื้อดิน

- นำดินปั้นชะอวดซึ่งเป็นดินวัตถุดิบที่ใช้สำหรับปั้นถ้วยรองน้ำยาผสมน้ำแล้วร้อนผ่านตะแกรง 100 เมช

- นำน้ำดินที่ร้อนผ่านตะแกรงแล้วไปกรองเพื่อเตรียมเนื้อดินสำหรับปั้น

- เตรียมเนื้อดินปั้น 4 แบบ โดยเนื้อดินแบบแรกเป็นเนื้อดินที่ไม่ผสมฟลิต (F_0) ตัวอย่างที่ 2-4 เตรียมโดยผสมฟลิตลงในเนื้อดิน โดยใช้ฟลิต ในปริมาณร้อยละ 5(F_5), 10(F_{10}) และ 15(F_{15}) ตามลำดับ

- นำดินที่ผสมด้วยฟลิตแล้วไปขึ้นรูปเป็นถ้วย เพื่อเตรียมสำหรับเคลือบ ชุบเคลือบถ้วยด้วยเคลือบสูตร P11.5, P11.5Ti, P11.5B, และ X9 ตามวิธีการชุบเคลือบและเผาในขั้นตอนที่ 5

7.3 ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของเคลือบและวัตถุดิบ

ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ (ดินดาน ขี้เถ้าปูนขาว ขี้เถ้าไม้ยางพารา) และน้ำเคลือบจากโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 3 โรง ประกอบด้วยโรงงานที่อำเภอรัตนพิบูลย์จำนวน 1 โรง และโรงงานที่อำเภอชะอวดจำนวน 2 โรง ส่งตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence spectroscopy (XRF) ได้ผลดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 องค์ประกอบ (mole ratio) ของวัตถุดิบและเคลือบจากโรงงานต่างๆ

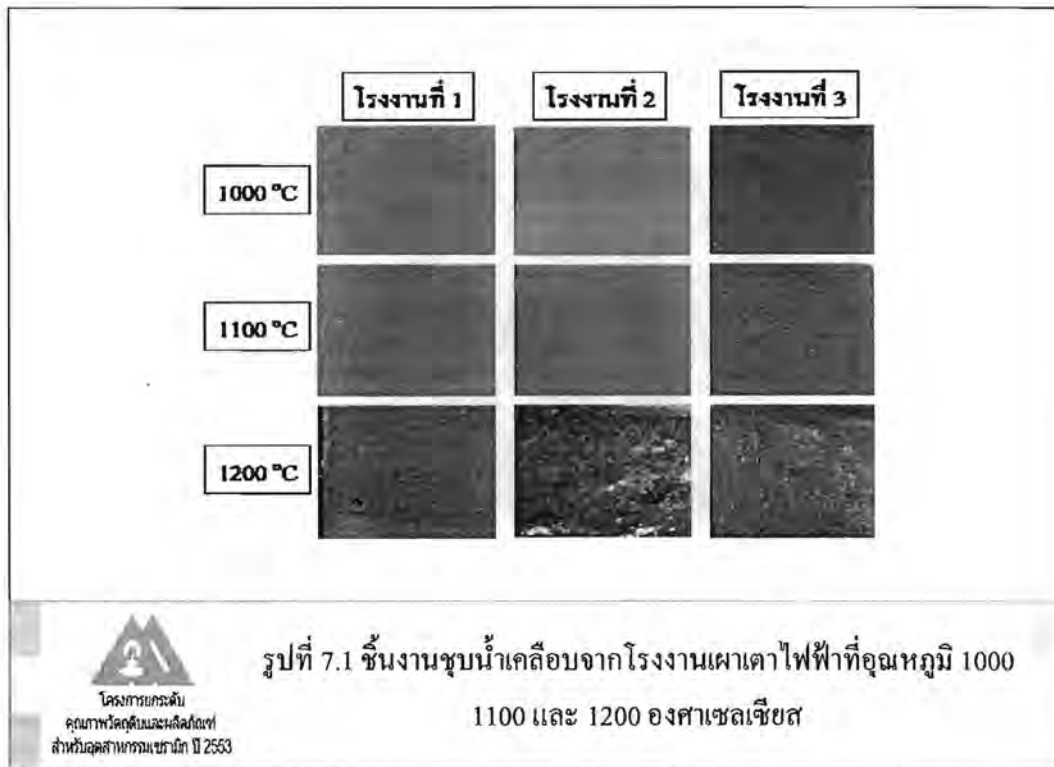
สูตร	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	ZnO	SrO	BaO	CuO	Mn ₂ O ₄
ดินดาน	0.0088	0.0245	0.0098	0.0364	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
เถ้าปูนขาว	0.2531	0.0000	0.0002	0.0289	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
เถ้าไม้ยาง	0.2581	0.0556	0.0000	0.0438	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0015
เคลือบโรงงานที่ 1	0.1434	0.0095	0.0023	0.0273	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
เคลือบโรงงานที่ 2	0.1209	0.0080	0.0030	0.0142	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0001
เคลือบโรงงานที่ 3	0.1460	0.0099	0.0037	0.0266	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0002

ตารางที่ 7.5 องค์ประกอบ (mole ratio) ของวัตถุดิบและเคลือบจากโรงงานต่างๆ (ต่อ)

สูตร	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	P ₂ O ₅
ดินดาน	n/a	0.1028	0.0268	0.6623	0.0067	0.0000	n/a
เถ้าปูนขาว	n/a	0.0000	0.0011	0.1371	0.0000	0.0001	n/a
เถ้าไม้ยาง	n/a	0.0000	0.0004	0.0212	0.0000	0.0000	n/a
เคลือบโรงงานที่ 1	n/a	0.0341	0.0082	0.3387	0.0020	0.0001	n/a
เคลือบโรงงานที่ 2	n/a	0.0362	0.0097	0.3600	0.0022	0.0001	n/a
เคลือบโรงงานที่ 3	n/a	0.0397	0.0098	0.3230	0.0025	0.0001	n/a

จากองค์ประกอบเคมีแสดงให้เห็นถึงส่วนผสมของน้ำเคลือบในแต่ละ โรงงานมีองค์ประกอบเคมีที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้องค์ประกอบในซีเมนต์ยางใกล้เคียงกับองค์ประกอบของเถ้าปูนขาวคือ ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และโพแทสเซียมออกไซด์เป็นหลัก แต่ปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งจากผลดังกล่าวนี้จึงสามารถนำไปคำนวณสัดส่วนทดแทนเถ้าปูนขาวดังตารางที่

จากการทดลองเผาตัวอย่างเคลือบจาก โรงงานทั้ง 3 โรง ในเตาเผาไฟฟ้า พบว่า เคลือบจะสุกตัวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 7.1

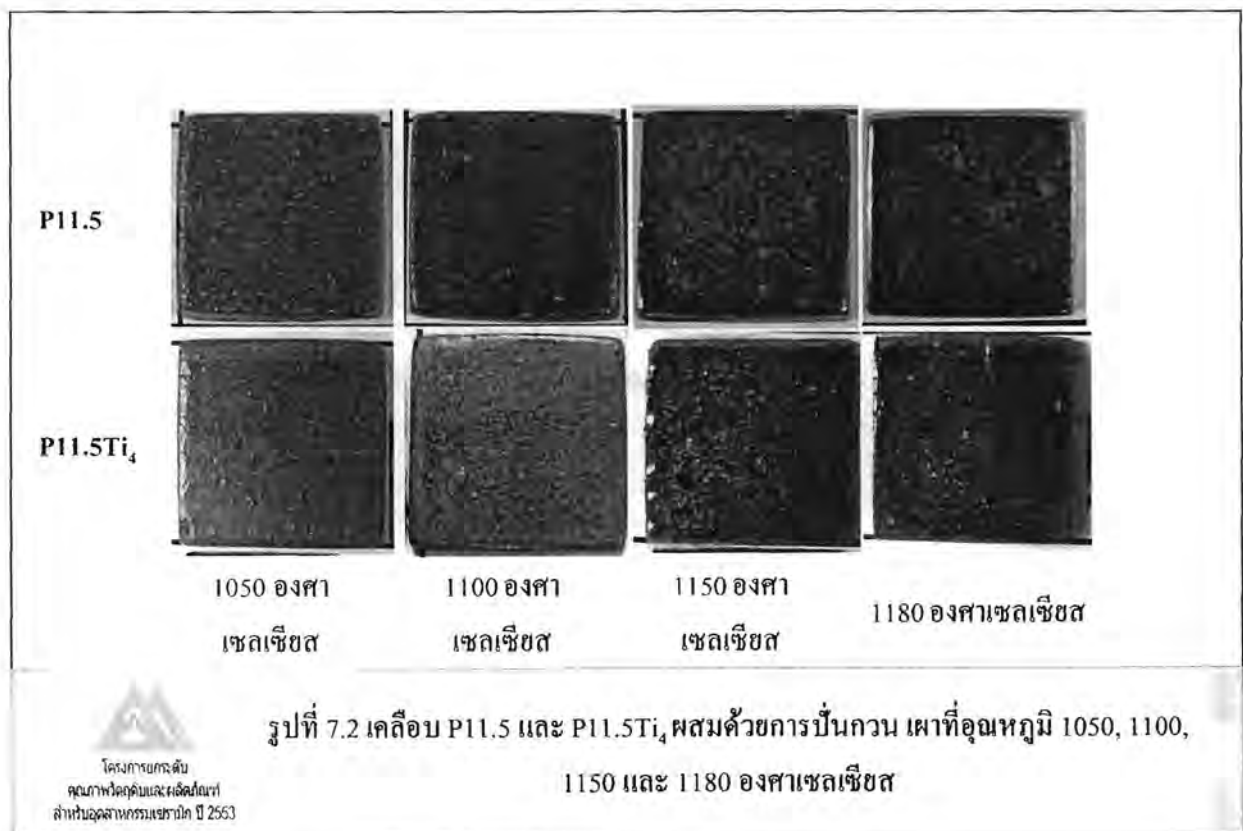


เมื่อทำการศึกษาการผสมเคลือบระหว่างน้ำดินคานและน้ำซีเมนต์อย่างพาราที่สัดส่วน 1:3, 1:1 และ 3:1 โดยน้ำหนัก แล้วเคลือบบนแผ่นดินและเผาที่อุณหภูมิ 1050, 1100, 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส จะได้ว่า สัดส่วนดินคานต่อซีเมนต์ 1:3 เคลือบบางส่วนจะเริ่มสุกหลอมตัวติดกับแผ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส และจะสุกตัวสม่ำเสมอทั้งชิ้นงานผิวเริ่มเป็นมันที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส ในกรณีที่เติมสารบอแรกซ์หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในส่วนร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้งของน้ำเคลือบ เคลือบจะสุกตัวและมีลักษณะเป็นมันวาวได้ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส และเพื่อให้เคลือบมีจุดสุกตัวลดลงจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในการเติมสารช่วยลดจุดสุกตัวประเภทเฟลด์สปาร์ โคลมาไนต์ และซิงค์ออกไซด์ในส่วนต่างๆ ดังกล่าวไว้ในตารางที่ 7.5

เคลือบที่มีเงาไม่อย่างเป็นองค์ประกอบ

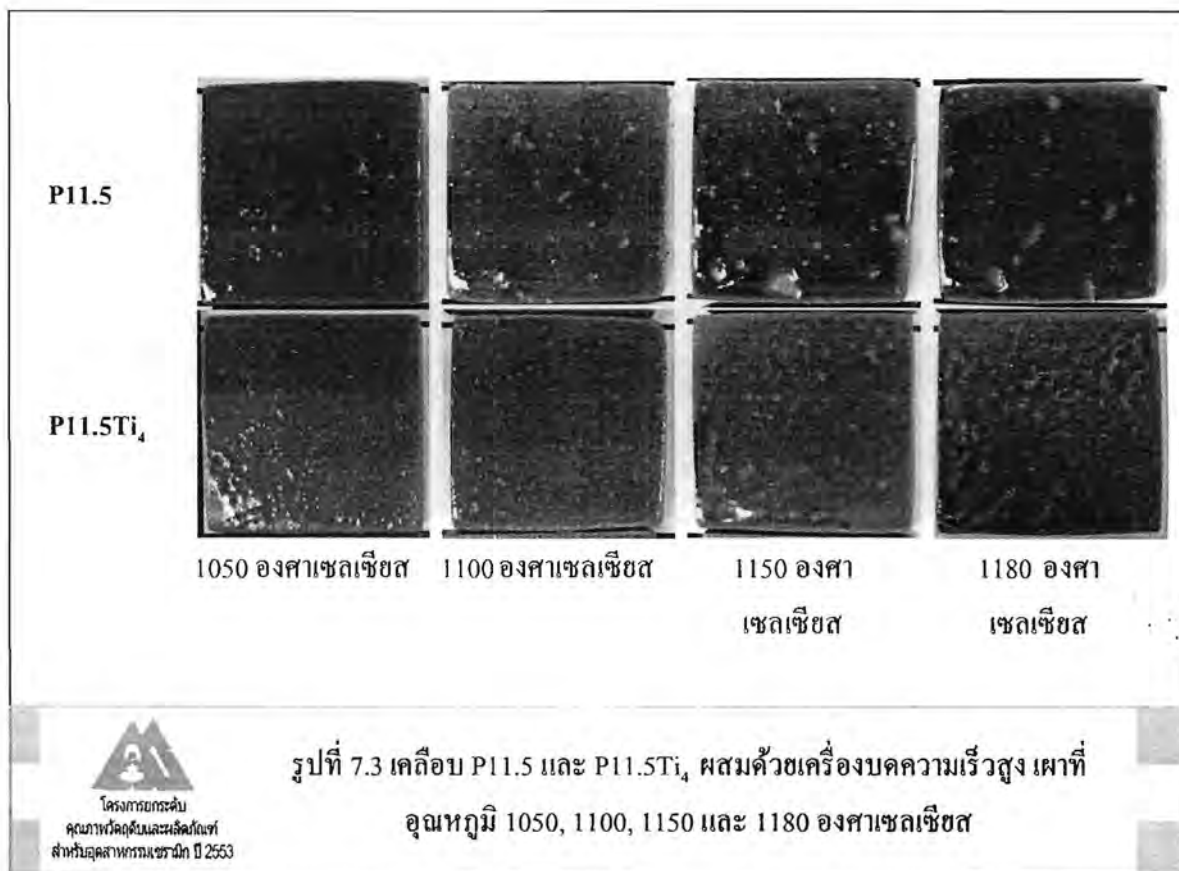
เคลือบ P11.5

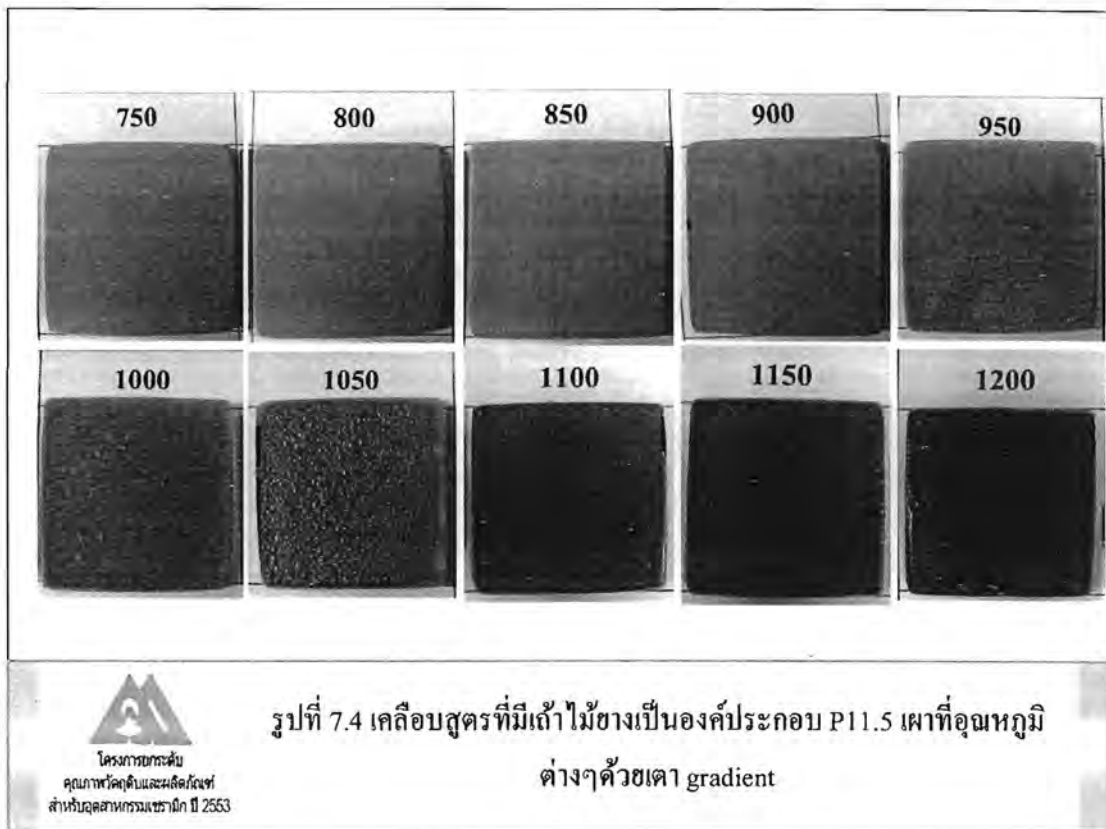
จากการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เคลือบสูตร P11.5 ที่บ่มที่ 30 นาที (รูปที่ 7.2) จะเริ่มสุกตัวที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส โดยมีลักษณะเหมือนเคลือบด้านและมีชิ้นงานบางจุดที่ไม่มีเคลือบไหลไปเคลือบ แต่ตอนนี้จะค่อยๆหายไป และมีลักษณะความมันวาวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเผาเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อถึงอุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้จะมีความมัน และเคลือบไหลติดทั่วทั้งแผ่น แต่ยังคงมี pitting hole บนผิวชิ้นงานอยู่บ้าง ในขณะที่เคลือบสูตรเดียวกันแต่ผสมด้วยเครื่องบดความเร็วสูงเป็นเวลา 5 นาที เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้มีความมันวาวมากกว่าการผสมด้วยวิธีการบ่ม (รูปที่ 7.3) เนื่องจากการบดผสมทำให้ขนาดอนุภาคสารตั้งต้นเล็กลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาของเคลือบง่ายกว่าสารตั้งต้นที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ แต่เคลือบที่ได้จะมี defect บนผิวชิ้นงานมากกว่า และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการรานตัวได้ผิวเคลือบอีกด้วย จากผลการศึกษาข้างต้นเมื่อนำเคลือบไปศึกษาพฤติกรรมการสุกตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 750-1200 องศาเซลเซียส (รูปที่ 7.4) พบว่าเคลือบเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส ผิวเคลือบจะเริ่มเกิดการหลอมตัว มีฟองอากาศเกิดขึ้นมาก เคลือบเริ่มมีความมันเกิดขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสและความมันจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มสูงเป็น 1150 และ 1200 องศาเซลเซียส เคลือบเกิดการไหลตัวทำให้ผิวเคลือบมีลักษณะเป็นแก้วเรียบและมันวาว



เคลือบ P11.5 Ti4

เคลือบสูตร P11.5Ti₄ ที่ปั่นกวน 30 นาที (รูปที่ 7.2) จะมีลักษณะเหมือนเคลือบด้านที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานจะมีฟองอากาศอยู่ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสต่อๆ มีลักษณะเป็นเคลือบที่มีความมันเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงอุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้จะมีความมันและเคลือบไหลติดทั่วทั้งแผ่น มีผลึกของเคลือบเกิดขึ้นใต้ผิวเคลือบ แต่ยังคงมี pitting hole บนผิวชิ้นงานอยู่บ้าง เคลือบสูตรเดียวกันเมื่ออบคสมด้วยเครื่องอบความเร็วสูง เป็นเวลา 5 นาที เคลือบที่ได้มีความมันมากกว่าการปั่นกวนเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิการเผาเดียวกัน แต่เคลือบที่ได้จะมี defect บนผิวชิ้นงานมากกว่าอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 7.3





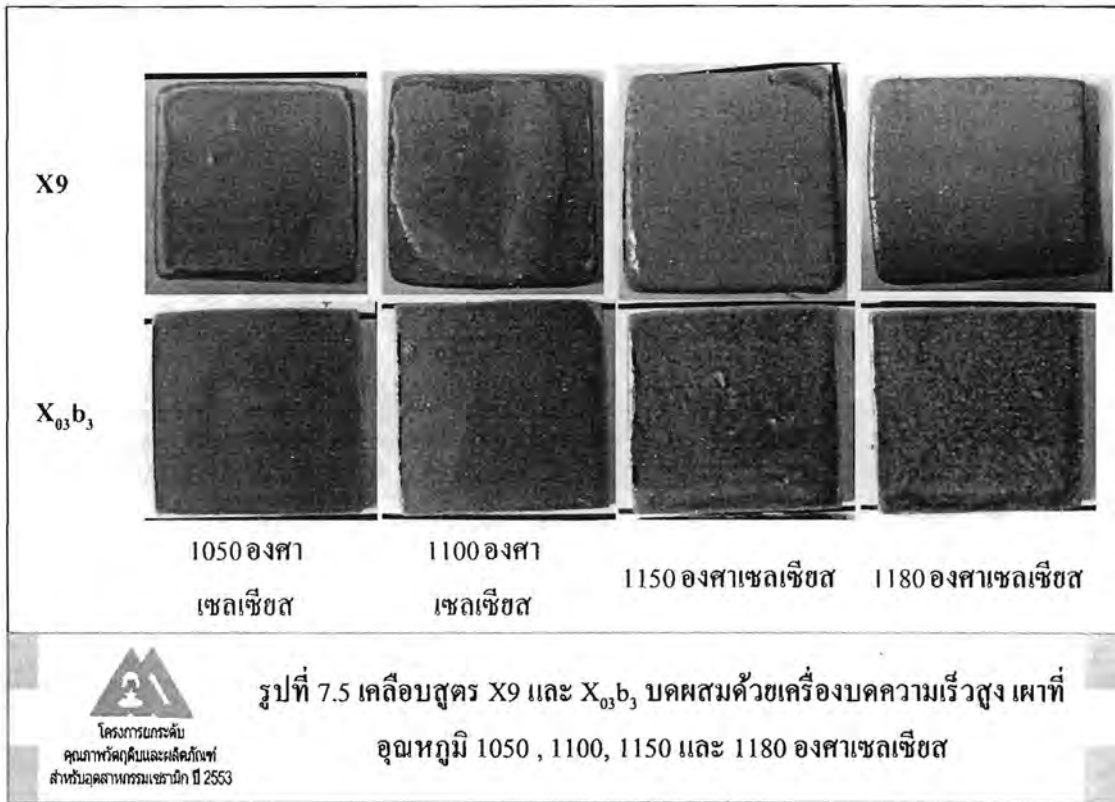
เคลือบที่ไม่มีเด้าไม้ยางเป็นองค์ประกอบ

เคลือบ X9

ในรูปที่ 7.5 เคลือบสูตร X9 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้ยังไม่สุกจึงมีลักษณะด้านๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาให้สูงขึ้นเป็น 1100 องศาเซลเซียส เคลือบเกิดการหลอมตัวและหด (coring) มาอยู่ตรงกลางแผ่นชิ้นงาน แต่ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส เคลือบสุกตัว เกิดการแผ่เคลือบไปทั่วแผ่นชิ้นงานและมีความมันเพิ่มขึ้น และเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียสความมันของเคลือบจะเพิ่มสูงขึ้น

เคลือบ X03b3

เคลือบสูตร X_{03b3} หลังเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้จะมีลักษณะด้านๆ เนื่องจากยังไม่สุกตัว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาให้สูงขึ้น พบว่าที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้จะเริ่มมีความมันของเคลือบเกิดขึ้น และเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียสเคลือบสุกตัวดี เกิดการไหลตัวแผ่ปิดชิ้นงานทำให้ผิวชิ้นงานเรียบและมีความมันวาว



การทดลองเคลือบซีเมนต์ไม้ยางบนภาชนะดินแดง

เมื่อนำเคลือบซีเมนต์ไม้ยาง สูตร P11.5 และ P11.5Ti₄ มาชุบเคลือบบนถ้วย แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส เคลือบสูตร P11.5 จะสุกตัวดีแต่ยังคงมีตำหนิเช่น รูอากาศบนเคลือบบ้างเล็กน้อย ในขณะที่เคลือบสูตร P11.5Ti₄ เคลือบไหลตัวดีกว่าแต่จะมีผลึกสีขาวเกิดขึ้น (รูปที่ 7.6)

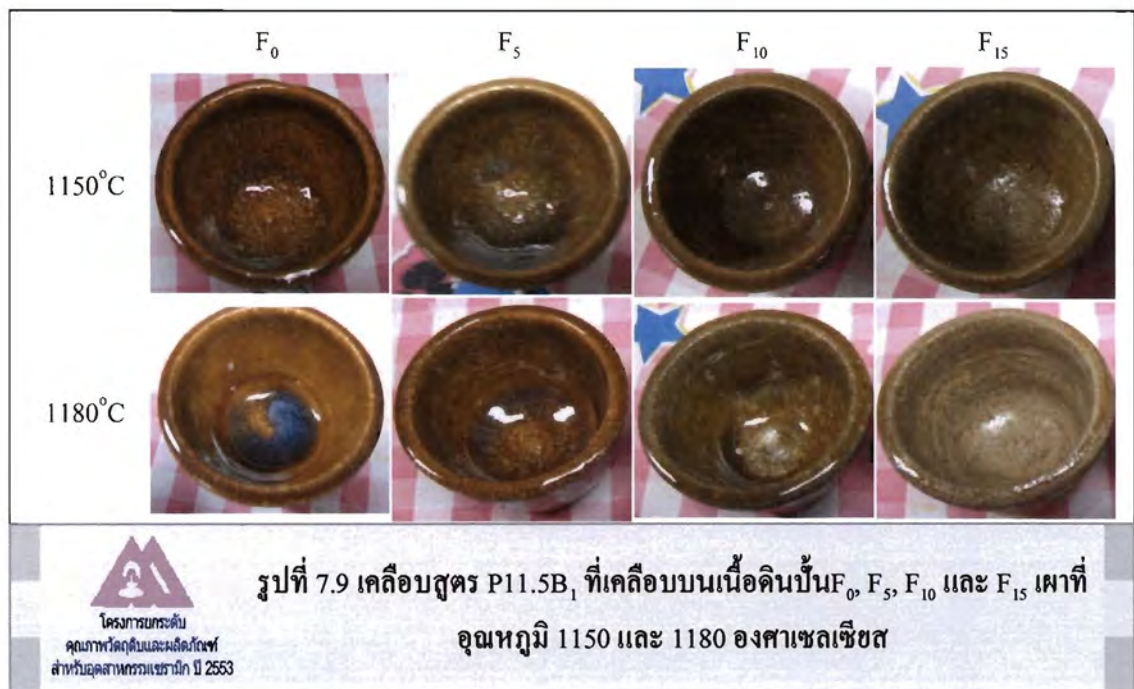
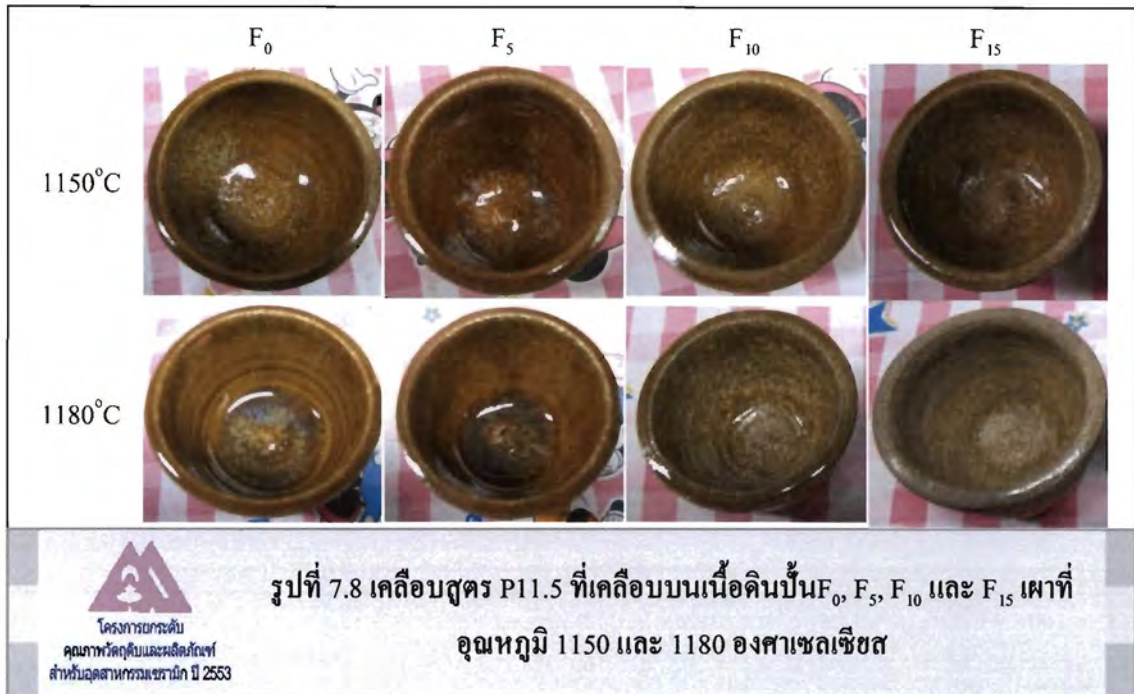


การปรับปรุงการเกาะติดของเคลือบ โดยการปรับความละเอียดของเนื้อดิน

จากการทดลองพบว่า เคลือบสูตร X9 หลังเผาที่ 1150 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในรูปที่ 7.7) จะ
 สุกตัวดี และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นเคลือบก็จะสุกตัวดีขึ้น มีความมันวาวของเคลือบมากขึ้น และเมื่อ
 สังเกตลักษณะการเกาะติดของเคลือบ พบว่า เคลือบที่ได้มีการเกาะติดกับผิวชิ้นงานเป็นอย่างดี ไม่มีการ
 peeling ของเคลือบ แต่จะสังเกตได้ว่าในชิ้นงานที่มีการผสม ฟลิตลงไปเนื้อดินด้วยปริมาณ 15
 เปอร์เซ็นต์ เเผาที่ 1180 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้จะมีลักษณะด้าน



หลังจากเผาชิ้นงานที่หุบเคลือบสูตร P11.5, P11.5B₁ และ P11.5Ti₄ ซึ่งมีแก้วไม่ขางเป็นองค์ประกอบ (รูปที่ 7.8 รูปที่ 7.9 และรูปที่ 7.10 ตามลำดับ) ที่อุณหภูมิ 1150 และ 1180 องศาเซลเซียส ทุกสูตรเคลือบติดกับผิวชิ้นงานเป็นอย่างดีไม่มีการหลุดร่อน (peeling) ของเคลือบ แต่ยังคงมีการรานตัวได้ผิวเคลือบอยู่บ้างเล็กน้อย เคลือบซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส จะมีความมันวาวมากกว่าเคลือบที่เผาอุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบเคลือบบนชิ้นงานที่เติมฟลิตซ์ พบว่า เมื่อเติมฟลิตซ์ลงไปเนื้อดินมากขึ้นที่ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์เคลือบที่ได้มีลักษณะด้าน ในขณะที่เคลือบบนชิ้นงานที่มีไม่เติมฟลิตซ์และเติมฟลิตซ์ 5 เปอร์เซ็นต์จะมีความมันวาวมากกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากฟลิตซ์ที่เติมลงไปเนื้อดินจะไปให้เนื้อดินมีการเชื่อมต่อของเนื้อดินน้อยลง ทำให้เคลือบส่วนที่เป็น soluble ถูกดูดลงไปเนื้อของชิ้นงาน ทำให้เคลือบที่ได้ด้านไม่มันวาว





7.4 สรุปผลการทดลอง

เคลือบ สูตร P11.5 ที่มีแก้วไม่ยางเป็นส่วนผสมถึงร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก ผสม โดยการปั่นกวน 30 นาที เป็นสูตรที่ให้ผิวหน้าเคลือบเรียบ มีความมันวาว และมีตำหนิน้อยกว่าสูตรอื่นๆ เมื่อเผาเคลือบแบบครั้งเดียวที่อุณหภูมิ 1150 - 1200 องศาเซลเซียส

หลังการปรับเนื้อดินเคลือบที่ได้มีการเกาะติดของเคลือบกับผิวชิ้นงานที่ดี ไม่มีการ peeling ของเคลือบ แต่ยังคงมีการรานตัวใต้ผิวเคลือบอยู่บ้าง ชิ้นงานที่มีการเติมฟลิตต์ในปริมาณ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์เคลือบหลังเผาจะมีลักษณะด้านไม่มันวาว ในขณะที่ลักษณะของเคลือบที่เคลือบอยู่บนชิ้นงานที่ไม่เติมฟลิตต์และมีการเติมฟลิตต์ 5 เปอร์เซ็นต์ จะยังคงมีความมันวาวของเคลือบอยู่

บทที่ 8

การพัฒนาสารเคลือบด้านการซึมซับน้ำบนจอกยาง

การใช้สารเคลือบกันซึมน้ำทางการค้าที่นิยมในงานเซรามิกส์ จะเป็นจำพวกสารซิลิโคน ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มี ซิลิโคน ไดออกไซด์ และคาร์บอน เป็นองค์ประกอบ มีสถานะหลากหลาย ทั้งเป็นเจล เป็นน้ำ เป็นของกึ่งแข็ง และเป็นของแข็ง ประโยชน์ของซิลิโคน เป็นสารด้านการดูดซับน้ำ ในผลิตภัณฑ์ดินเผาที่ไม่ได้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังใช้ในในงานเคลือบผิวกระเบื้องที่ใช้ก้อกำแพง เคลือบไม้ในงานของประดับตกแต่ง เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการใช้สูตรสารเคลือบผสมระหว่างซิลอกเซน (siloxane) กับไคโตซาน (chitosan) ทำให้ผิววัสดุที่เคลือบ สามารถด้านการดูดซับน้ำ และไม่เกิดเชื้อรา เหมาะสำหรับเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง

กระบวนการชุบเคลือบในจอกยาง

น้ำยางพาราที่กรีตจากต้น ไหลลงถ้วยรองรับน้ำยาง โดยทั่วไปจะใช้ถ้วยที่ทำจากดินเผาเคลือบ ซึ่งโดยธรรมชาติ น้ำยางมันจะเกาะติดภาชนะ หากกวาดไม่หมดก็ติดแห้ง ขึ้นราสีดำ ชาวสวนลอกออก ขายเป็นขี้ยาง โดยหลักการทางประจุไฟฟ้า น้ำยางมีประจุลบ ดังนั้นการเคลือบถ้วยรับน้ำยางด้วยสารมีประจุลบหรือประจุบวกเพื่อช่วยให้พื้นผิวภาชนะเป็นประจุเป็นกลาง เช่น การใช้สารประเภทซิลิโคน เป็นแนวทางในการวิจัยที่สามารถใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

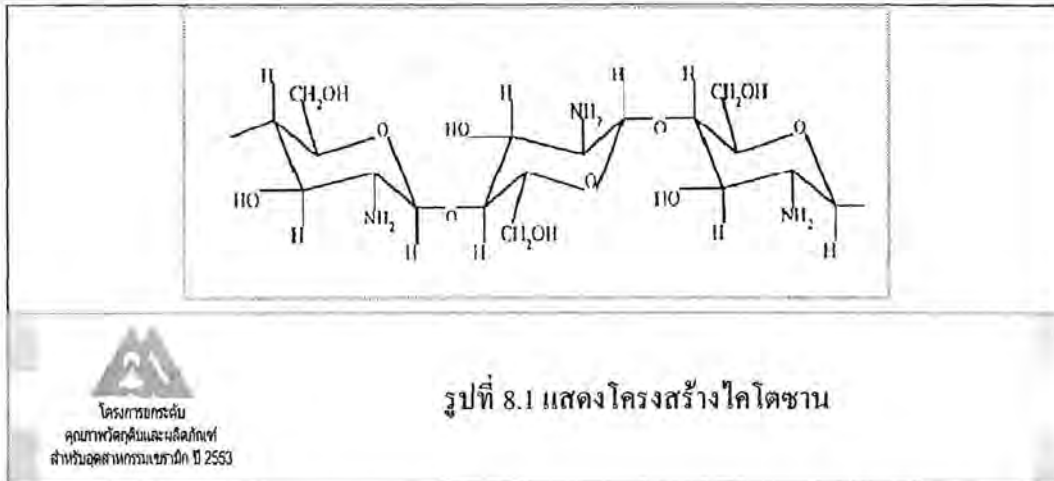
ดังนั้นในการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้สารซิลิโคนจำพวกซิลอกเซนร่วมกับไคโตซานเป็นสารผสมในการเตรียมสารเคลือบผิวจอกยางดินเผาประเภทดินแดงเพื่อลดการดูดซับน้ำและป้องกันการเกิดเชื้อราที่ผิวจอกยางเนื่องมาจากน้ำยาง

8.1 สารพอลิเมอร์เคลือบที่ใช้ในการวิจัย

ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซาน (Poly-2-amino-2-deoxy-D-glucose) เป็นอนุพันธ์ของไคติน (Poly-N-acetyl-D-Glucosamine) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์พบมากในธรรมชาติเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดย จะพบมากในเปลือกแข็งของสัตว์จำพวกกุ้ง ปลาหมึก ปู ฯลฯ (ไคตินไม่สามารถละลายได้ในตัว ทำละลายทั่วไป แต่สามารถละลายได้บ้างในกรดแก่หรือด่างแก่ ส่วนไคโตซานซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ ไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยา Deacetylation มีสมบัติความเป็น Polycationic เพิ่มขึ้นเนื่องจากมี Amine group (-

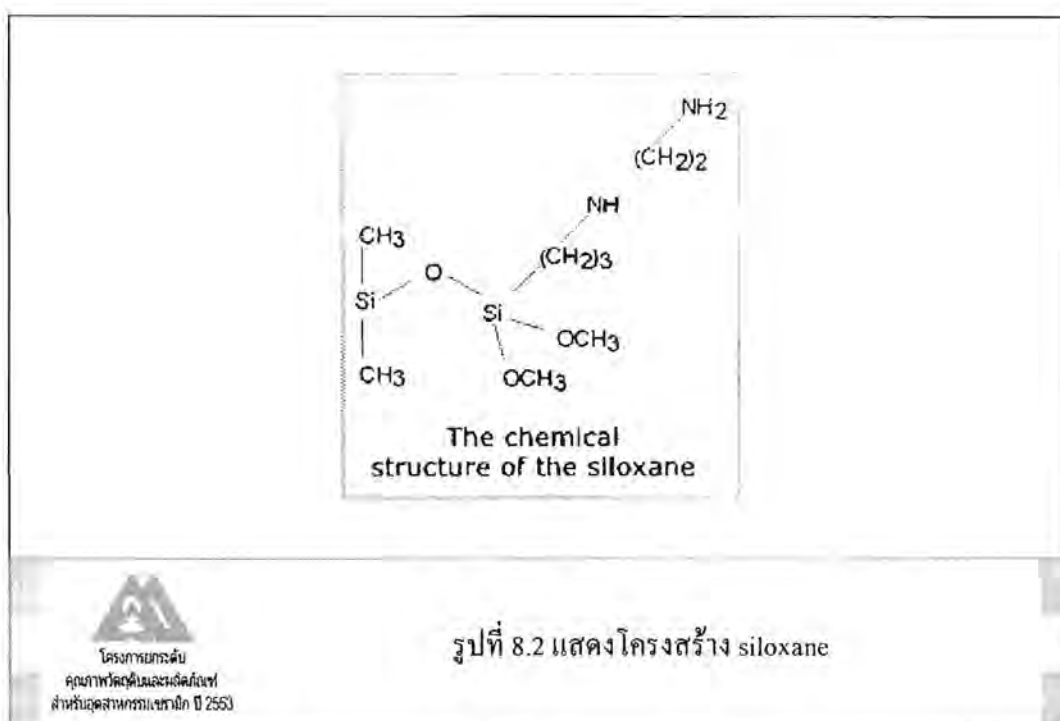
NH_2) และ Hydroxyl group (-OH) ในสาขามากกว่า Acetyl group (-CO-CH₃) ทำให้สามารถละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์หลายชนิดแต่ไม่ละลายในสารละลายค่า่าง



ไคโตซานเป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในหลายวงการ อาทิ เช่น ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็น Binder ช่วยการติดสีข้อม เป็นสารตัวเคลดในการดักจับโลหะหนักต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย หรือใช้เป็นสารเติมแต่ง ในอุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น ไคโตซานเป็นสายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่สภาวะเป็นกรด มีค่า pKa เท่ากับ 6.5 เมื่ออยู่ในสารละลายมีประจุเป็นบวก และ การที่ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จึงมีความหนาแน่นของประจุบวกสูง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน ที่ปกติใช้สารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) โมเลกุลสูง ที่ส่วนใหญ่จะไม่มีประจุหรือมีประจุเป็นลบ (Polyanionic) ด้วยสมบัติความเป็น Hydrophobic สูงของไคโตซาน และการที่ ไคโตซานสามารถเตรียมขึ้นรูปต่างๆ ได้ง่าย เช่น ในรูปฟิล์ม เส้นใย ใต้ง่าย และมีสมบัติสำคัญในการต้านทานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี (Luyen & Rossbach, 1992; Shahidi, Arachchi, & Jeon, 1999) ทำให้ มีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการนำไคโตซานมาใช้ในบรรจุภัณฑ์ทางอาหาร เพื่อลดการดูดซึมน้ำและป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่จะทำให้อาหารเน่าเสีย (Begin & Van Calsteren, 1996; Coma, Deschamps, & Martial-Gros, 2003; Ham-Pichavant et al., 2005.) ทั้งนี้ด้วยไคโตซานฟิล์มมีสมบัติเด่นในด้านที่เป็น Gas-barrier โดยเฉพาะ Oxygen-barrier เนื่องจากมีความเป็นผลึกสูงในโครงสร้างและการเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ (Gallstedt, 2001; Kittur, Kumar, & Tharanathan, 1998) ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมองเห็นศักยภาพของไคโตซานในการนำมาใช้เป็น สารเคลือบในการตกแต่งหลังเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเพื่อลดการดูดซึมน้ำ โดยการพัฒนาเทคนิคการจุ่มเคลือบ ร่วมกับการใช้ สาร Coupling agent ที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้ไคโตซานสามารถเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ได้อย่างอยู่ตัวและคงตัวได้

ซิลิโคน (Silicone)

ซิลิโคน เป็นพอลิเมอร์ของธาตุซิลิคอน (Si) หรือออร์กาโนพอลิไซโลเซน (Organopoly siloxane) มีสถานะหลากหลาย ตั้งแต่ เจล ของเหลว ของแข็งกึ่งเหลวและของแข็ง ซิลิโคนมีประโยชน์ ตั้งแต่ในงานด้านการแพทย์ (ศัลยกรรม) งานก่อสร้าง เป็นตัวเชื่อมกระจกกับกระจกหรือกระจกกับวัสดุอื่นๆ ใช้อุดรอยต่อของแผ่นหินแกรนิต หินอ่อน หรือแม้แต่ทางอุตสาหกรรม เช่น การผลิต น้ำมันหล่อลื่น แวกซ์ และ ไซ สารกันความชื้นสำหรับการทอผ้า ใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ เป็นสารเคลือบผิว วัสดุทำฉนวน สีย้อม เป็นต้น ซิลิโคนมีข้อดี ที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้มากและไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี



รูปที่ 8.2 แสดงโครงสร้าง siloxane

8.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเคลือบตกแต่งจอกยางคินเผา โดยการทาเคลือบและจุ่มเคลือบด้วยพอลิเมอร์ผสมไคโตซาน- พอลิไซโลเซน โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคในการตกแต่งหลังการเผาด้วยการเคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำ

8.3 การทดลอง

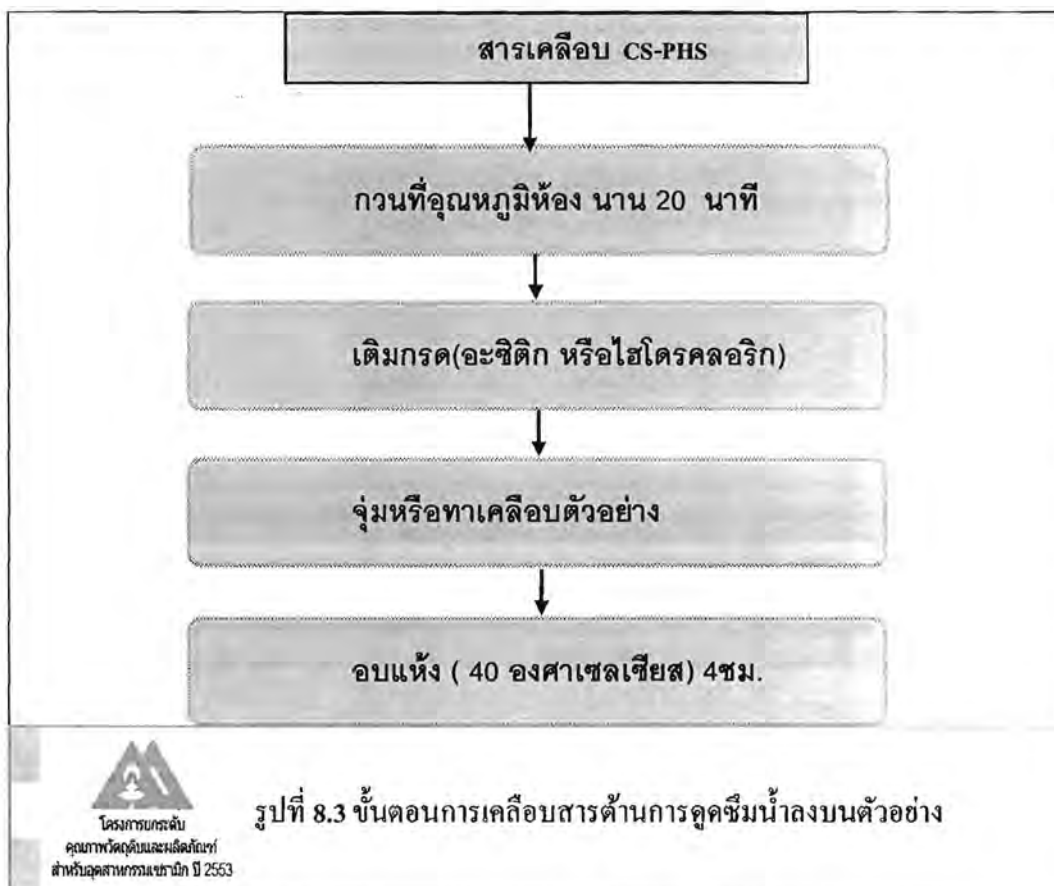
สารเคมีและอุปกรณ์

- ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง ที่ขนาดน้ำหนักโมเลกุล 650,000 คาลตัน ระดับการกำจัดหมู่-อะซิทิล ร้อยละ 80 เกรดการค้า จากบริษัท อีเบส จำกัด
- โพลีเมทิลไฮโดรเจนไซโลเซน (Poly(methylhydrogensiloxane)) จากบริษัท Dow Corning
- สารละลายกรดอะซิติก ไฮโดรคลอริก สารละลายด่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารตัวทำละลาย อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเกรดทางการค้า

การเตรียมสารเคลือบ

สารเคลือบที่ใช้ในการทดลองคือสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและโพลีเมทิลไฮโดรเจนไซโลเซน, CS-PHS โดยใช้สารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.5 % และสารละลายโพลีเมทิลไฮโดรเจนไซโลเซนเข้มข้น 10% ที่อัตราส่วนผสม CS : PHS เป็น 1:9, 1:5, และ 1:1 ตามลำดับ

มีขั้นตอนการทดลองตามลำดับในแผนผังการทดลองดังข้างล่าง



8.4 ผลการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการวัดและวิเคราะห์ประกอบด้วย

1. การวัดค่าความสามารถในการต้านการซึมผ่านน้ำ (การวัดความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวตัวอย่าง) ด้วยวิธีวัดมุมสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ (air-water contact angle)
2. ค่าการซึมผ่านน้ำอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเครื่องปั้นดินเผาที่ มพข. 46/2549

โดยในการทดลอง ได้ใช้การทาเคลือบและการจุ่มเคลือบชิ้นงานตัวอย่างจากดินอำเภอบ้านนา (ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส) ด้วยสารต้านการดูดซึมน้ำ CS-PHS และวัดค่าการต้านการซึมผ่านของน้ำ โดยวิธีวัดมุมสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ (air-water contact angle) ที่เวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 แสดงค่ามุมสัมผัส air-water contact angle และ ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่าง

สูตร	อัตราส่วนผสม CS:PHS	ค่ามุมสัมผัส air-water contact angle (degree)	ค่าการดูดซึมน้ำ(%)
1	control	>20	22
2	1:1	80	15.4
3	1:3	97	13.3
4	1:5	115	10.7
5	1:9	148	8.5

8.5 สรุปผลการทดลอง

ความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวตัวอย่าง (air-water contact angle) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิไซโลเซน หรือ PHS ซึ่งสอดคล้องกับการวัดค่าการดูดซึมน้ำ ซึ่งพบว่ามียาลดลงที่ความเข้มข้นของสาร PHS ที่เพิ่มขึ้น



บทที่ 9

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดินเผาให้มีกลิ่นหอมโดยการเคลือบด้วยแคลปซูลไคโตซาน

บรรจุน้ำมันหอมระเหย

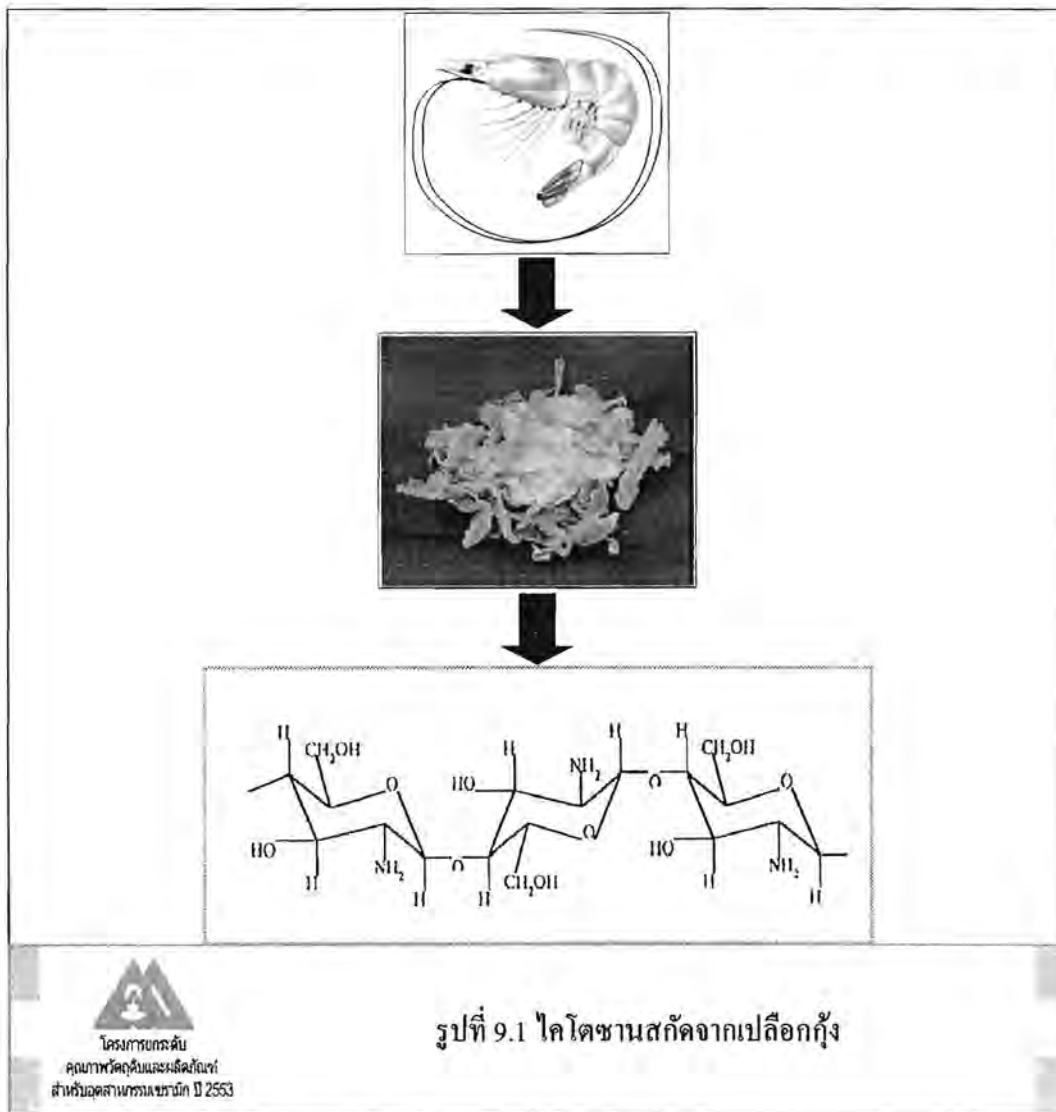
โดยปกติผลิตภัณฑ์ดินเผาชนิดดินแดง ที่ผลิตในรูปแบบของที่ระลีกหรือของใช้ประดับตกแต่ง มักจำหน่ายได้ในมูลค่าไม่สูงมากนักต่อชิ้น แรงจูงใจในการซื้อจะอยู่ที่ความสวยงามและวัตถุประสงค์ในการนำไปเป็นของที่ระลีก ซึ่งถ้ามีขนาดเล็กมีราคาซื้อขายต่อชิ้นไม่เกิน 10-30 บาท แนวทางในการเพิ่มมูลค่าด้วยการเพิ่มสมบัติพิเศษด้วยการเคลือบให้มีกลิ่นหอมของน้ำมันหอมระเหย อาทิ กลิ่นตะไคร้หอม กลิ่นดอกปีบ มะลิ เป็นต้นด้วยการเคลือบด้วยไมโครแคลปซูลพอลิเมอร์ช่วยในการกักเก็บกลิ่นหอมให้คงอยู่ที่ผิวภาชนะทั้งภายในและภายนอกผ่านรูพรุนของภาชนะให้ได้นานกว่าปกติ จะช่วยเพิ่มมูลค่าสินค้าให้ขายได้ในราคาที่สูงกว่าเดิมได้ โดยธรรมชาติของภาชนะดินเผาเองสามารถกักเก็บกลิ่นหอมได้โดยอาศัยกลไกการดูดซับที่ผิวหรือ โครงสร้างที่มีรูพรุน แต่กลิ่นจะคงอยู่ได้ในระยะเวลาจำกัดเนื่องจากไม่มีกลไกการยึดกักกลิ่นที่ดีเมื่อเทียบกับการใช้ไมโครแคลปซูลที่สามารถกักเก็บได้ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยนำเทคนิคการเตรียมไมโครแคลปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยมาประยุกต์กับภาชนะดินเผาเพื่อยึดระยะเวลาการคงอยู่ของกลิ่นหอมได้นานยิ่งขึ้น โดยไม่ต้องบรรจุเครื่องหอมลงในภาชนะอันเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าเครื่องปั้นดินเผา

9.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

9.1.1 ไคโตซาน พอลิเมอร์ใช้เป็นไมโครแคลปซูล

ไคโตซาน (chitosan, Poly-2-amino-2-deoxy-D-glucose) เป็นอนุพันธ์ของไคติน (Poly-N-acetyl-D-Glucosamine) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ พบมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลสโดยพบเป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกแข็งของสัตว์จำพวกกุ้ง ปลาหมึก ปู ฯลฯ เนื่องจากไคตินไม่สามารถละลายได้ในตัว ทำละลายทั่วไป แต่สามารถละลายได้บ้างในกรดแก่หรือด่างแก่ ในขณะที่ไคโตซานซึ่งเป็นสารอนุพันธ์หลักของไคติน ได้จากการทำปฏิกิริยา Deacetylation ในการกำจัดหมู่อะซิทิล Acetyl group (-CO-CH₃) จากไคติน ได้เป็นหมู่เอมิโนแทน ทำให้มีสมบัติความเป็น Polycationic เพิ่มขึ้นเนื่องจาก Amine group (-NH₂) และ Hydroxyl group (-OH) ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอ่อนของกรดอินทรีย์หลายชนิด (อาทิ กรดอะซิติก, ซิตริก และ ไฮโดรคลอริก) แต่ไม่ละลายในสารละลายด่าง



ไคโตซานเป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในหลายวงการ อาทิ เช่น ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็น Binder ช่วยการติดสีย้อม เป็นสารตัวเคลตในการดักจับโลหะหนักต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย หรือใช้เป็นสารเติมแต่ง ในอุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น ไคโตซานเป็นสายพอลิอิเล็กโทรไลต์เมื่ออยู่ในสารละลายที่สภาวะเป็นกรดจะมีประจุเป็นบวก และการที่ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จึงมีความหนาแน่นของประจุบวกสูงทำให้เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน ที่ปกติใช้สารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) โมเลกุลสูงด้วยสมบัติความเป็น Hydrophobic สูงของไคโตซาน และสามารถเตรียมขึ้นรูปต่างๆ ได้ง่าย เช่น ฟิล์ม เส้นใย บีด และมีสมบัติสำคัญในการต้านทานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการนำไคโตซานมาใช้ในบรรจุภัณฑ์ทางอาหาร เพื่อลดการดูดซึมน้ำและป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมไคโตซานในรูปแบบไมโครแคปซูล เพื่อใช้ในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหย เพื่อให้สามารถยืดระยะเวลาในการปลดปล่อยกลิ่นหอมได้ยาวนานยิ่งขึ้น

9.1.2 น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella oil)

ต้นตะไคร้ (*Cymbopogon nardus*) และต้น *P. citrosum* หรือ *mozzie buster* เป็นพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย geraniol และ citronellol เป็นส่วนประกอบในใบและกาบใบ มีฤทธิ์ในการไล่แมลง โดยมีผลไล่แมลงได้ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของฤทธิ์การไล่ของ DEET ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ไล่ยุงและแมลงทางการค้า

น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella oil) เป็นน้ำมันหอมระเหยสกัดจากต้นตะไคร้หอม มีประสิทธิภาพในการไล่แมลงได้ดี ผลิตภัณฑ์ป้องกันยุงที่มีน้ำมันตะไคร้หอมเป็นส่วนประกอบในท้องถิ่น มีหลากหลายประเภท อาทิในรูปแบบที่มีความเข้มข้นน้ำมันตะไคร้หอมสูงๆ ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันยุงได้นาน 4-6 ชั่วโมง ส่วนในรูปแบบสารละลายผสมเอทานอลเข้มข้นประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันยุงได้นานประมาณ 6-8 ชั่วโมง และยังมีฤทธิ์ไล่ยุงที่เสื่อกลางคืน และพวกแมลงบินต่างๆ ได้

9.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมไมโครแคปซูลโคโคซานบรรจุน้ำมันตะไคร้หอมซุบเคลือบภาชนะดินเผาและทดสอบระยะเวลาการคงอยู่ของกลิ่นหอม

9.3 วิธีการทดลอง

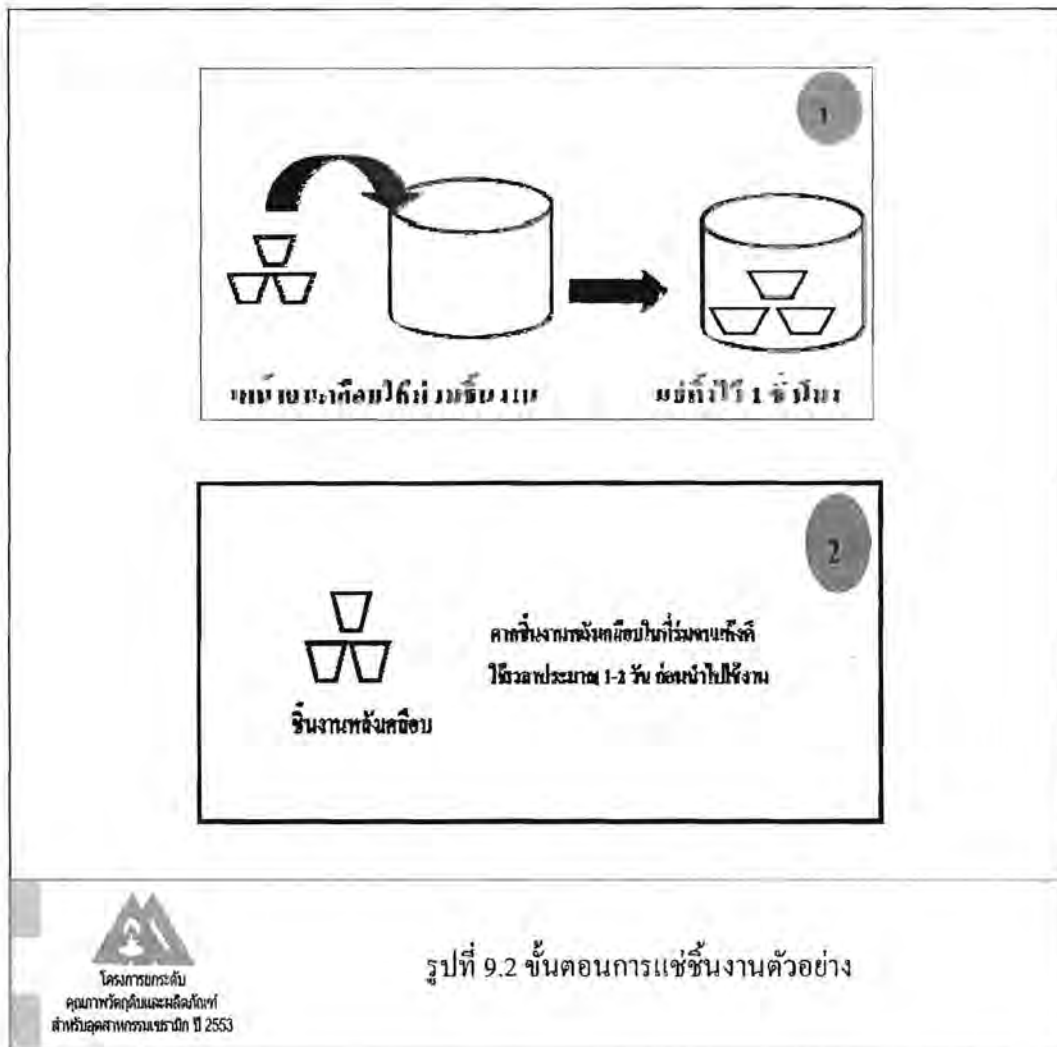
1. เตรียมไมโครแคปซูลโคโคซานที่บรรจุน้ำมันตะไคร้หอมด้วยเทคนิคอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

2. ซุบเคลือบชิ้นงานตัวอย่างภาชนะดินเผา

3. ทดสอบประสิทธิภาพการคงอยู่ของกลิ่น ในสภาวะปกติ อุณหภูมิห้อง

การเตรียมไมโครแคปซูลโคโคซานเชื่อมขวางด้วยไทรพอลิฟอสเฟต บรรจุน้ำมันตะไคร้หอม

โดยการผสมสารละลายโคโคซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันซิโตรเนลล่าในอัตราส่วน 9 : 1 และกวนผสมโดยใช้เครื่องให้คลื่นอัลตราโซนิคความถี่สูง (ultrasonic processor) ที่ช่วยกระจายขนาดไมโครแคปซูลให้มีขนาดเล็กกระจัดไมครอนและมีความคงตัวของไมโครแคปซูลด้วยการเชื่อมขวางกับสารไทรพอลิฟอสเฟต โดยในการเตรียมไมโครแคปซูลหนึ่งครั้งที่มีปริมาตรของผสมจำนวน 3 ลิตร สามารถใช้ได้กับกระถางดินเผาขนาดเล็ก (กxขxส) 6 x 6 x 6 เซนติเมตร จำนวน 25-30 กระถาง มีขั้นตอนการทดลองตามรูปที่ 9.2



9.4 ผลการทดลอง

1) สมบัติการดูดซึมน้ำของภาชนะดินเผา

ในการวิจัย ได้ทำการเคลือบชิ้นงานดินเผาตัวอย่างจาก 2 แหล่งคือ

- จากอำเภอท่าเสา
- จากอำเภอชะอวด

โดยมีภาชนะดินเผาที่ใช้เป็นตัวแปรควบคุมคือ ภาชนะดินเผาผสมดินนาโนที่ใช้เนื้อดินตัวอย่างจากแหล่ง อำเภอท่าเสา เป็นเนื้อดินหลัก และทำการผสมดินตะกอนน้ำประปา ซึ่งได้จากโครงการเพิ่มมูลค่าตะกอนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปา มาผ่านการพ่นแห้ง (spray dry) เพื่อให้ได้เม็ดดินที่ละเอียด จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาเซรามิก แล้วใช้เป็นส่วนผสมในดินเหนียวสำหรับทำเครื่องปั้นดินเผาในอัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลิตภัณฑ์ดินเผาที่มีความทนทาน แข็งแรง และกักเก็บ

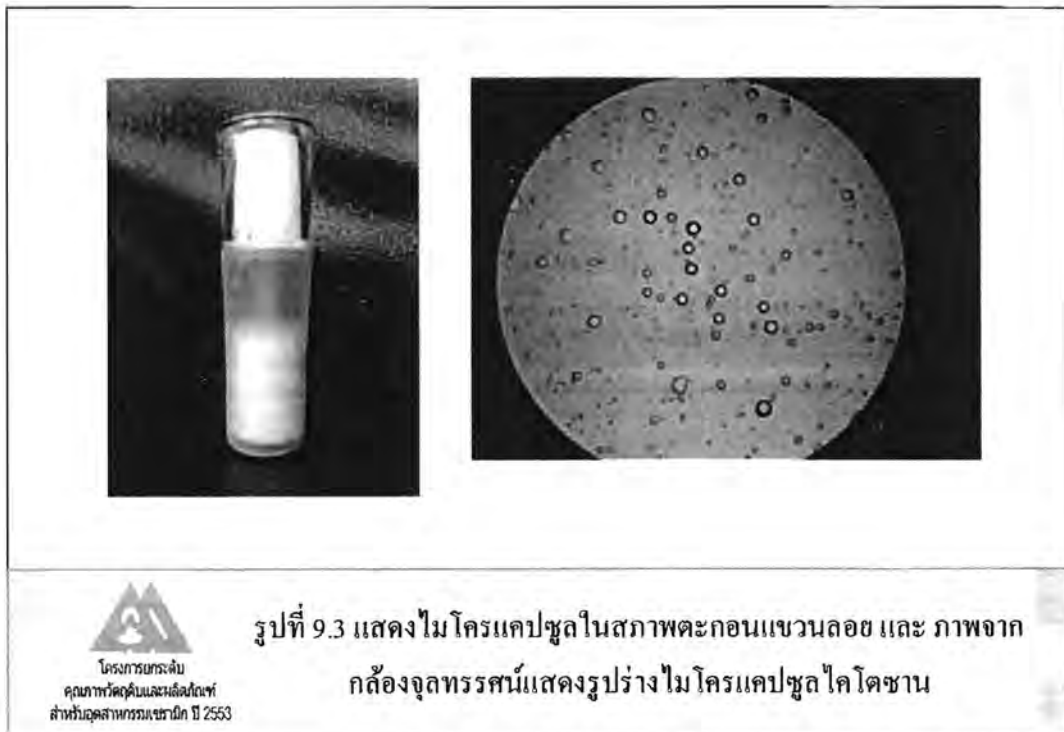
ความชื้นได้ต่ำกว่าดินเผาทั่วไป และได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ได้ผลดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 สมบัติทางกายภาพของชิ้นงานดินเผาตัวอย่าง (เผาที่ 900 องศาเซลเซียส)

ชนิดดินตัวอย่าง	ค่าการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
ไม่ผสมดินตะกอนนาโน	
อำเภอชะอวด	17.65
อำเภอท่าศาลา	16.34
ภาชนะดินเผา (อำเภอท่าศาลา) ผสมดินนาโน	32.10

2) ไมโครแคปซูล

จากการทดลองสามารถเตรียมไมโครแคปซูลของไคโตซาน และไซโคลเด็กทรีนที่บรรจุน้ำมันซีโตรเนลล่า ภายจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100-500 เท่า พบว่าไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 3-5 ไมครอน



3) การเคลือบผิวภาชนะดินเผา

ในการทดลองนี้ได้เตรียมไมโครแคปซูลโคโคซานที่มีการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมมาแล้วจากการวิจัยในปีที่ผ่านมา โดยการเลือกจากสูตรที่สามารถคงกลิ่นหอมไว้ได้นานกว่า 15 วัน เมื่อได้ทำการเคลือบบนภาชนะดินเผาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส และมีดินเผานาโนเป็นส่วนประกอบมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือสูงสุดที่เวลาทดสอบ 15 วัน เทียบกับตัวอย่างชิ้นงานดินเผาที่ได้จากอำเภอท่าศาลา อำเภอชะอวด ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ได้ผลดังตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 แสดงปริมาณน้ำมันเจอรานีออกคงเหลือในไมโครแคปซูลที่เวลา 15 วัน หรือ 360 ชั่วโมง

ชิ้นงานตัวอย่าง	ปริมาณซิโตรเนลลาล้างเหลือ (เปอร์เซ็นต์) ในสภาพบรรยากาศเปิดที่อุณหภูมิห้อง (27 องศา เซลเซียส)	
	ภาชนะดินเผาผสมดินตะกอนนาโน	15.6
ชิ้นงานดินเผา อำเภอท่าศาลา	n.a.	
ชิ้นงานดินเผา อำเภอชะอวด	n.a.	
หมายเหตุ n.a. ไม่สามารถตรวจวัดได้		

9.5 สรุปผลการทดลอง

ภาชนะดินเผาผสมดินตะกอนนาโนเคลือบไมโครแคปซูลโคโคซาน สามารถกักเก็บน้ำมันตะไคร้หอมได้ในปริมาณนานกว่าและปล่อยกลิ่นหอมออกมาได้อย่างต่อเนื่องได้นานถึง 15 วัน ในสภาพตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศเปิดที่อุณหภูมิประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับภาชนะดินเผาตัวอย่างที่เตรียมจากดิน อำเภอท่าศาลา และ อำเภอชะอวด ซึ่งไม่มีการผสมดินตะกอนนาโนซึ่งไม่สามารถกักเก็บกลิ่นได้นานเกินกว่า 5 วัน

ไมโครแคปซูลที่ได้ซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 0.5 ไมครอน เมื่อนำมาเคลือบผิวภาชนะดินเผา ไม่ทำให้สีผิวของชิ้นงานตัวอย่างเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 9.4





บรรณานุกรม

-ชนากร วาสนาเพียรพงศ์และคณะ. 2552. ผลของการเติมโซเดียมคาร์บอเนตต่ออุณหภูมิการเผาของเนื้อดินปั้นทำไห ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-ศุภวรรณ ถิระ โสภณและคณะ การผลิตและลักษณะสมบัติของแก้วที่ได้จากส่วนผสมของเศษแก้วรีไซเคิลและไททานเนียมไดออกไซด์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551. โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ฉบับที่ 3 การศึกษาสมบัติดินเหนียววัตถุดิบ. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- A.M. Segadaes, M.A. Carvalho and W. Acchar : Applied Clay Science, Vol. 30 (2005), p.42-52.

- A.U. Elinwa : Civil Engineering and Environmental Systems, Vol. 23 (2006), p. 263-270.

- Bas Lebbing, Energy Use in Small-Scale Brick Makings Industries in Northeast Thailand, MS. Thesis, Faculty of Technology Management, Eindhoven University of Technology, Netherlands, 1999

- Daniel Rhodes, Kilns: Design, Construction, and Operation, Chilton Book Company, 1st Edition, 1968

-F. Matteucci, M. Dondi and G. Guarini, Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tile, J. ceramics international. Vol.28, No. 8 (2002) , pp.873-880.

- Fraser, Harry. Glazes for the Craft Potter. Westerville: Ohio, 1998.

- Gallstedt, M., Tornqvist, J., & Hedqvist, M.S. (2001). Packaging related properties of uncoated, coated and laminated whey protein and chitosan films. Journal of Polymer Science part B: Polymer Physics 39(10), p 985-992.

- Goerke, O., Feike, E., Heine, T., Trampert, A., and Schubert, H., (2004) Ceramic coatings processed by spraying of siloxane precursors Journal of the European Ceramic Society , 24: p 2141-2147.

- Ham-Pichavant, F., Sebe, G., Pardon, P., & Coma, V. (2005). Fat resistance properties of chitosan-base paper packaging for food application. Carbohydrate Polymers, 61, p 259-265.



- <http://www.buchananrenewables.com/about.php> (10 August, 2010)
- http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html (10 August 2010)
- K.Traoré, T.S. Kabré and P. Blanchart : Applied Clay Science, Vol. 17 (2000), p.279-292.
- R.J. Hoard, M.J. O'Brien, M.G. Khorasgany and V.S. Gopalaratnam : J. Archaeological Science, Vol. 22 (1995), p. 823-832.
- S. Shoal : Optical Materials, Vol. 24 (2003), P.117-122.
- W. Acchar, F.A. Vieira and D. Hotza : Materials Science and Engineering, Vol. A419 (2006), p. 303-309.
- Yu. K. Shchipalov, A. K. Osokin, A. M. Gusarov and S. E. Tumanova, The effect of cullet grinding in impact-repulsion mills on the properties of glass powders, Ivanovo State Chemical Engineering Academy, Ivanovo, Russia, Vol.55, No.11-12 (1998) , pp 15-19.