

16 ก.ค. 2545



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี

โดยนางพิมพ์วัลค์ วัฒนภาส และคณะ
(ส่วนที่ 1)

ตุลาคม 2545

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดราชบุรี

คณะผู้วิจัย

1.	นางพิมพ์วัลค์	วิฒโนภาส	หัวหน้าโครงการ
2.	น.ส.ลดา	พันธ์สุขมธนา	ผู้ร่วมวิจัย
3.	นางวรรณา	ต.แสงจันทร์	ผู้ร่วมวิจัย
4.	น.ส.สุมาลี	ลิขิตวนิชกุล	ผู้ร่วมวิจัย
5.	นางเทพีวรรณ	จิตรวัชรโกมล	ผู้ร่วมวิจัย
6.	นางสุมาลี	เต็มใจ	ผู้ร่วมวิจัย
7.	นางชลัย	ศรีสุข	ผู้ร่วมวิจัย
8.	น.ส.อรุณศรี	เตปิน	ผู้ร่วมวิจัย

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี
ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1

1. หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)
2. บทคัดย่อ
 - 2.1 ภาษาไทย
 - 2.2 ภาษาอังกฤษ
3. เนื้อหางานวิจัย
 - 3.1 การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อดินปั้นราชบุรี
 - 3.2 การควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตในดินราชบุรี
 - 3.3 การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่
 - 3.4 การวิจัยและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่
 - 3.5 เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์

ส่วนที่ 2

3. เนื้อหางานวิจัย (ต่อ)
 - 3.6 การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาราชบุรี
 - 3.7 การพัฒนาเอปโบเพื่อผลิตภัณฑ์ราชบุรี
 - 3.8 การปรับปรุงกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตามังกร
4. ภาคผนวก
 - 4.1 บทความสำหรับการเผยแพร่โครงการ
 - 4.2 ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ
 - 4.3 รายงานสรุปการใช้จ่ายเงินในรอบ 9 เดือน

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

ทุนวิจัยฝ่ายสนับสนุนการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม

- ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี
Rachaburi Ceramic Product Development
- ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ชื่อ – สกุล นางพิมพ์วัลค์ วังมโนภาส
Ms. Pimpawan Wattanopas

หน่วยงาน ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ที่อยู่ 75/7 ถนนโยธี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0-2201-7367

โทรสาร 0-2245-8124

E-mail Pimpawan@mail.dss.go.th
- สาขาที่ทำการวิจัย สาขาวัสดุศาสตร์

7. ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา

ปัญหาที่ทำการวิจัยคือ ผลผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของจังหวัดราชบุรีมีคุณภาพต่ำ มีการสูญเสียในการผลิตมาก ขาดการพัฒนาในรูปแบบ สีล้น และสินค้าใหม่ ๆ ที่เป็นที่ต้องการของผู้ซื้อ ปัญหาเหล่านี้มีมานาน ประกอบกับสภาวะชลดตัวของเศรษฐกิจ ทำให้กำลังซื้อลดลง สินค้าขายไม่ออก ต้องแข่งกันลดราคา และโรงงานไม่สามารถแก้ไขด้วยตนเองได้ ดังนั้น หากปัญหาเหล่านี้ไม่ได้รับการแก้ไข จะส่งผลกระทบต่อรายได้ของจังหวัดและแรงงานที่เกี่ยวข้อง นำไปสู่ปัญหาของสังคมได้

การวิจัยพัฒนาตามแนวทางของโครงการนี้จะทำให้ผู้ประกอบการซึ่งมีอยู่ 40 โรงงาน และผู้ใช้แรงงาน ประมาณ 2,000 คน พัฒนาการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพิ่มศักยภาพ การแข่งขัน บุคลากรได้รับการถ่ายทอดความรู้และทักษะการผลิต

8. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. พัฒนาลิขสิทธิ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรีด้วยเทคโนโลยีการผลิตเนื้อดินและเคลือบที่เหมาะสม มีมาตรฐานการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น ลดความเสียหายจากกระบวนการผลิต มีรูปแบบลวดลายและเทคนิคการตกแต่งที่หลากหลาย รวมถึงมีประโยชน์ใช้สอยมากขึ้น

2. อนุรักษ์ศิลปะการทำเครื่องปั้นดินเผาราชบุรี ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดราชบุรี

9. ระเบียบวิธีวิจัย

1. รวบรวมข้อมูล ศึกษา วิเคราะห์ปัญหา

2. ศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

3. วิจัยและพัฒนาลิขสิทธิ์เชิงอนุรักษ์

- แก้ปัญหาการหลุดล่อนของเคลือบ
- เพิ่มความหลากหลายของเคลือบ
- พัฒนาและเพิ่มประโยชน์ใช้สอยของเ็นโกบ
- พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์
- ลดความเสียหายในกระบวนการผลิต

4. วิจัยและพัฒนาลิขสิทธิ์ใหม่

- พัฒนาเนื้อดินใหม่สำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องและการหล่อในแบบพิมพ์
- พัฒนาเคลือบใหม่
- พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์

5. ปฏิบัติงานร่วมกับตัวแทนสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี 5 โรงงาน
6. การจัดสัมมนา และ Work shop เพื่อถ่ายทอดความรู้ให้สมาชิกสมาคม และพัฒนาบุคลากรโดยการฝึกอบรมภาคปฏิบัติ

10. สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยบรรลุเป้าหมายและเป็นไปตามวัตถุประสงค์อย่างน่าพอใจ สรุปเป็นด้านต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ด้านเทคโนโลยี

- มีข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบท้องถิ่น
- ค้นพบสาเหตุของการหลุดล่อนของเคลือบและสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้พัฒนาเคลือบหลากหลายได้มากกว่า 500 สูตร
- พัฒนาเนื้อดินสำหรับการหล่อแบบและปั้นด้วยเครื่องจักรเกอร์
- ปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดิน เพื่อลดการสูญเสียในการผลิต

2. ด้านพัฒนาผลิตภัณฑ์

- ออกแบบของที่ระลึก ของประดับตกแต่ง และชุดอาหารมากกว่า 100 แบบ
- ออกแบบลวดลายและเทคนิคการตกแต่งผลิตภัณฑ์
- พัฒนาด้านแบบ โดยใช้เนื้อดินและเคลือบจากการวิจัยกว่า 60 แบบ

3. ด้านพัฒนาศักยภาพของผู้ผลิต

- ถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีแก่โรงงานร่วมโครงการ 5 โรงงานตลอดระยะเวลาของโครงการฯ
- ถ่ายทอดความรู้สู่สมาชิกของสมาคม (40 โรงงาน) โดยการสัมมนา 2 ครั้ง และการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง พร้อมเอกสารข้อมูลต่าง ๆ มีผู้เข้าร่วมกิจกรรมกว่า 200 คน
- จัดนิทรรศการถาวร แสดงผลงานโครงการฯ ที่อาคารสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี พร้อมให้บริการข้อมูลตลอดระยะเวลาของโครงการฯ และต่อเนื่องต่อไป
- ให้คำปรึกษา แนะนำกับสมาชิกของสมาคมในเรื่องที่เกี่ยวข้อง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการปฏิบัติงานร่วมกันระหว่างกรมวิทยาศาสตร์บริการกับสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรีเป็นโอ่งและกระถางขนาดใหญ่ ทำขึ้นจากวัตถุดิบในท้องถิ่น และกรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม ประสบปัญหาการสูญเสียในการผลิต ต้องการปรับปรุงคุณภาพและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ

การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น การวิจัยและพัฒนาของโครงการนำไปสู่การแก้ปัญหา ได้แก่การปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดิน โดยบดด้วย Roller crusher คัดขนาดด้วยตะแกรง 16 เมช ทำให้ลดตำหนิที่เกิดจากเนื้อดิน เช่น การแตกร้าว รั่วซึม ลงไปอย่างเห็นได้ชัด ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น

ได้พัฒนาเทคโนโลยีการทำเนื้อดินหล่อและเนื้อดินปั้นที่มีความละเอียด สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดอาหาร ของประดับตกแต่ง และของที่ระลึก

ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเคลือบมาตรฐานที่มีสีสันทากหลาย สามารถใช้กับเนื้อดินราชบุรีได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าเพิ่ม

การพัฒนารูปแบบและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยเอนโกบ และเคลือบหลากสีสร้างมิติใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์

สมาชิกของสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี 40 โรงงาน ได้รับการถ่ายทอดความรู้โดยการสัมมนาและฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

Abstract

The project is a collaboration between The Department of Science Service and The Rachaburi Ceramic Association, supported by Thailand Research Fund. Five representative factories were chosen to join the project as prototype of production development.

Ceramic products in to Rachaburi province are big water jars and flower pots made from local raw materials. The main problem manufacture facing are high production loss and inadequate design development. Thus quality improvement and new product development are required.

Roller crusher was used to improve the fineness and the homogeneity of raw clay, The body prepared had better texture and significantly reduced defects such as cracks, glaze defect.

Bodies for casting and plastic forming with fine texture were studied for new products such as decorative items, plates and bowls.

More than 500 glaze formulas, fit for Rachaburi clay body were made.

Design of products, engobe decoration technique, various coloured glazes gave new dimensions to Rachaburi products.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณท่านอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี และอนุญาตให้ใช้เครื่องมือและบุคลากรของทางราชการ ขอขอบคุณที่ปรึกษาโครงการคือ ดร.สุจินดา โชติพานิช รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ คุณสุรพันธ์ บริสุทธิ์ คุณชัยนรินทร์ หุตะสิงห์ ศิลปินอิสระ และผู้ประสานงานโครงการ รศ.ตะวัน สุจริตกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานโดยตลอด ขอขอบคุณสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี และโรงงานร่วมโครงการทั้ง 5 โรงงาน ที่ให้ข้อมูลและความร่วมมือปฏิบัติงานร่วมกันด้วยความกระตือรือร้น จนเกิดผลงานที่น่าพอใจ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนงบประมาณ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้อำนวยการฝ่ายสนับสนุนการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม ดร.จรรยา คำนวนตา ที่สนับสนุนและผลักดันให้โครงการฯ นี้เกิดขึ้น ตลอดจนได้ติดตามและให้กำลังใจอย่างต่อเนื่อง

ในที่สุดนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของฝ่าย 5 ที่ช่วยประสานงานโครงการ เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกทุกท่านที่มีส่วนช่วยงานทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2544

3.1 การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อดินปั้นราชบุรี

การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อดินปั้นราชบุรี

พิมพ์วิไลค์ วัฒนภาส

สุมาลี ลิขิตวินิชกุล

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นโองราชบุรี โดยการบดดินด้วยเครื่องบด Jaw crusher, Roller crusher คัดขนาดด้วยตะแกรง 6 เมช และคัดขนาดทรายด้วยตะแกรง 16 เมช ผสมกันในอัตราส่วนดิน 9 ส่วน ทราย 1 ส่วน โดยน้ำหนัก ความชื้นร้อยละ 30 เนื้อดินที่ผ่านการโม่และรีดแล้วใช้ปั้นโองได้ง่าย ผลผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแล้วมีคุณสมบัติดีขึ้น การแตกร้าว ตำหนิต่าง ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด คุณภาพโดยรวมดีขึ้น

1. บทนำ

เนื้อดินปั้นราชบุรีโดยส่วนใหญ่จะเตรียมขึ้นสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น โอง หรือ กระถาง ดังนั้นวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นที่ผ่านมาจึงเป็นการเตรียมด้วยวิธีที่ไม่ซับซ้อน กล่าวคือนำดินจากแหล่งมาใส่บ่อหมักสลับกับทรายแม่น้ำ ผสมน้ำ หมักทิ้งไว้ โม่ผสม และรีดเป็นเนื้อดินเพื่อใช้ในการเตรียมเนื้อดินปั้นด้วยวิธีดังกล่าว ทำให้การผลิตเครื่องปั้นดินเผาราชบุรีในปัจจุบันประสบปัญหาเนื้อดินปั้นที่ไม่มีความสม่ำเสมอ เนื้อดินหยาบ หลังผ่านการเผามักพบตำหนิจุดขาว ตุ่มสีน้ำตาลเข้ม บนผิวผลิตภัณฑ์ และบางครั้งผลิตภัณฑ์มีรอยต่าง แตกร้าว และน้ำรั่วซึม ปัญหาเหล่านี้ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง ไม่มีมาตรฐาน และมีการสูญเสียสูง

ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการเตรียมเนื้อดินปั้นให้ได้เนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอ มีความละเอียดมากขึ้น และลดปัญหาตำหนิต่าง ๆ ลง โดยการศึกษาสาเหตุตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ และพัฒนาวิธีเตรียมวัตถุดิบและเนื้อดินปั้น

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การศึกษาสาเหตุตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์

- ก. เพื่อศึกษาที่มาของตำหนิ
- ข. เพื่อศึกษาดำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์

วิธีการศึกษา

เริ่มด้วยการศึกษาขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้นของโรงโองราชบุรีและศึกษาเนื้อดินปั้นและผลิตภัณฑ์

ก. การศึกษาขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้น

จากการสำรวจ และรวบรวมข้อมูลกระบวนการเตรียมเนื้อดินปั้นของโรงโองราชบุรี พบว่ามีขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้นดังแสดงในภาพที่ 1 โดยใส่ดินเหนียวลงในบ่อเกรอะขนาดประมาณ 3 เมตร X 5 เมตร X 1.5 เมตร สลับกับทรายละเอียดในสัดส่วนดิน 9 ส่วน ทราย 1 ส่วน โดยประมาณ เติมน้ำให้ท่วมดิน ทิ้งไว้ราว 2 – 3 วัน จึงสูบน้ำออก แะดินขึ้นจากบ่อเข้าเครื่องโมเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน จากนั้นนำเข้าเครื่องรีดอีกครั้งหนึ่ง จึงนำไปขึ้นรูป



ภาพที่ 1 แผนภูมิขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้นของโรงโองราชบุรี

จะเห็นได้ว่าเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ไม่มีการเตรียมวัตถุดิบหรือคัดขนาดวัตถุดิบ นอกจากนั้นยังใช้น้ำในการหมักค่อนข้างมากและมักเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกลือที่ละลายน้ำได้ในดินละลายออกมา

ข. การศึกษาเนื้อดินปั้นและผลิตภัณฑ์

เนื้อดินปั้นที่เตรียมจากโรงโองราชบุรี ยังคงมีเม็ดหิน กรวด หินปูน ขนาดต่าง ๆ อยู่มาก จากตัวอย่างฝาไหที่นำมาลองขูดตกแต่งพบว่ามีเม็ดหินเหล่านี้ขนาดตั้งแต่ 3 ถึง 10 มม. อยู่ประมาณ 30 เม็ด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เม็ดหิน กรวด เหล็ก ฯลฯ ในเนื้อดินปั้นจากโรงโม่ราชบุรี

บนผิวผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแล้ว จะพบรอยแตกร้าวและตำหนิในลักษณะเม็ดหิน จุดสีน้ำตาล หรือคล้ำ จุดขาวหรือเม็ดสีขาวที่แตกออก ดังแสดงในภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3 ตำหนิเม็ดกรวดในผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4 ดำหนิหินปูนบนผิวผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 5 ดำหนิจุดเหล็กในผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 6 รอยแตกจ้าวบนผลิตภัณฑ์ในบริเวณที่มีดำหนิ



ภาพที่ 7 เอ็นโกบ



ภาพที่ 8 ผิวหยาบมาก



ภาพที่ 9 แตกปาก
เนื่องจากเม็ดกรวดค้ำใน



ภาพที่ 10



ภาพที่ 11

จากการศึกษานี้ สามารถอนุมานได้ว่าตำหนิต่าง ๆ ที่เห็นนี้ เกิดจากเนื้อดินปั้นที่ไม่มีความสม่ำเสมอ มีเม็ดหยาบปนมาก ทำให้เกิดความแตกต่างของการหดตัวในบริเวณที่เป็นเม็ดหิน กรวด ฯลฯ และบริเวณที่เป็นเนื้อดินขณะเนื้อดินแห้ง จึงทำให้เกิดรอยแตกขึ้น และเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง การแตกร้าจะชัดเจนและรุนแรงยิ่งขึ้น นอกจากรอยแตกร้าแล้วเม็ดหินและกรวดเหล่านี้ยังทำให้เกิดตำหนิขนาดใหญ่บนผิวผลิตภัณฑ์

ในส่วนของรอยต่างที่มักจะเห็นได้ชัดบนผิวผลิตภัณฑ์ที่เผาต่ำประมาณ 800°C นั้น เกิดจากการใช้น้ำปริมาณมากในการหมัก ทำให้เกลือที่ละลายน้ำได้ในเนื้อดิน เช่น เกลือซัลเฟต ละลายออกมาสะสมที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่าการเตรียมเนื้อดินปั้นโดยวิธีดั้งเดิมนั้นยังขาดกระบวนการที่จะทำให้ได้เนื้อดินที่มีคุณภาพดี จึงควรมีการปรับปรุงการเตรียมวัตถุดิบและพัฒนาการเตรียมเนื้อดินปั้น เพื่อให้ได้เนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอของสมบัติต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

2.2 การพัฒนาวิธีเตรียมเนื้อดินปั้น

- วัตถุประสงค์ ก. เพื่อปรับปรุงการเตรียมวัตถุดิบ
ข. เพื่อพัฒนาการเตรียมเนื้อดินปั้น

วิธีการทดลอง

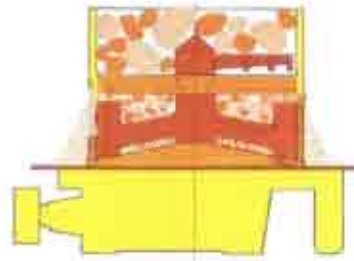
เริ่มด้วยการศึกษาหาปริมาณและการกระจายตัวของทรายในวัตถุดิบทั้งก่อนและหลังการบดย่อย และการแปรปริมาณทรายในดินราชบุรีและขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้น

ก. การศึกษาหาปริมาณและการกระจายตัวของทรายในวัตถุดิบ

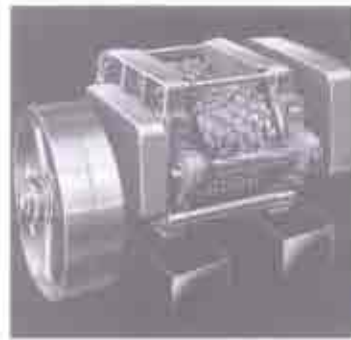
จากการศึกษาในบทที่ 1 จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การบดย่อยดิน จะเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนแรกที่จะทำให้ได้เนื้อดินปั้นที่มีความสม่ำเสมอขึ้น ในการบดย่อยดินนั้นสามารถใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ตามแต่ลักษณะของวัตถุดิบ เช่น สำหรับดินก้อนใหญ่ สามารถใช้เครื่องย่อยแบบ Jaw crusher, Screening and mixing crusher หรือ Roller crusher สำหรับดินก้อนเล็ก สามารถย่อยให้เป็นฝุ่น โดยใช้เครื่องบดย่อยแบบ Pulverizer หรือ Edge runner ดังแสดงในภาพที่ 12-16



ภาพที่ 12 เครื่องสำหรับย่อยดินก้อนใหญ่ (Jaw crusher)



ภาพที่ 13 เครื่องสำหรับย่อยดินก้อนใหญ่ (Screening and mixing crusher)



ภาพที่ 14 เครื่องสำหรับย่อยดินก้อนใหญ่ (Roller crusher)



ภาพที่ 15 เครื่องสำหรับย่อยดินก้อนเล็ก (Pulverizer)



ภาพที่ 16 เครื่องสำหรับบดดิน (Edge runner)

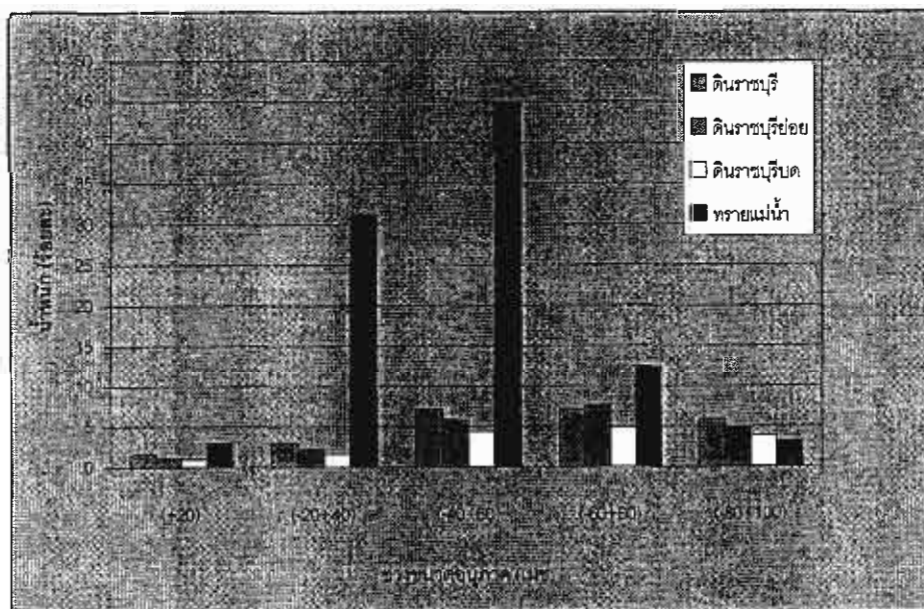
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยดินราชบุรี และทรายแม่น้ำ โดยนำวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด มาอบแห้งก่อน สำหรับดินราชบุรีนั้นเตรียมเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ดินราชบุรีย่อย โดยนำดินมาย่อยด้วยเครื่อง pulverizer และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช
2. ดินราชบุรีบด โดยนำดินมาบดด้วยเครื่อง edge runner และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช

ทำการศึกษาหาปริมาณและการกระจายตัวของทรายในดินราชบุรี ดินราชบุรีย่อย ดินราชบุรีบด และทรายแม่น้ำ โดยนำวัตถุดิบแต่ละชนิดจำนวน 100 กรัม มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20, 40, 60, 80 และ 100 เมช แล้วชั่งน้ำหนักของทรายที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 17

ตารางที่ 1 ปริมาณและการกระจายตัวของทรายในดินราชบุรี ดินราชบุรีย่อย ดินราชบุรีบด และทรายแม่น้ำ

ขนาด (เมช)	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	ดินราชบุรี	ดินราชบุรีย่อย	ดินราชบุรีบด	ทรายแม่น้ำ
(+20)	1.54	1.04	0.98	2.99
(-20+40)	3.03	2.14	1.61	31.22
(-40+60)	7.07	5.79	4.40	45.02
(-60+80)	7.13	7.61	4.90	12.43
(-80+100)	5.91	4.84	3.81	3.13



ภาพที่ 17 กราฟเปรียบเทียบปริมาณและการกระจายตัวของทรายในดินราชบุรี ดินราชบุรีย่อย ดินราชบุรีบด และทรายแม่น้ำ

จะเห็นได้ว่าดินราชบุรี มีทรายที่มีขนาดหยาบกว่า 100 เมช อยู่ประมาณ 24.68 % เมื่อผ่านการย่อยด้วย pulverizer หิน กรวด และทรายในดินราชบุรีจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลง จนเหลือทรายที่มีขนาดหยาบกว่า 100 เมช อยู่ประมาณ 21.42 % ส่วนการบดด้วย edge runner จะมีผลต่อการทำให้ทรายในดินละเอียดขึ้น โดยทำให้ทรายที่มีขนาดหยาบกว่า 100 เมช เหลืออยู่ประมาณ 15.7% ส่วนทรายแม่น้ำนั้นค่อนข้างหยาบมีปริมาณที่ค้างตะแกรงขนาด 40 และ 60 เมช มาก และรวมมีปริมาณทรายที่หยาบกว่า 100 เมช อยู่ถึง 94.79 %

จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การบดย่อย หรือ การคัดเลือกขนาดวัตถุดิบโดยการร่อนผ่านตะแกรง จะทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบตั้งต้นได้ และจะส่งผลให้สามารถควบคุมคุณภาพของเนื้อดินผสมที่เตรียมในขั้นตอนต่อไปได้ดียิ่งขึ้น

ข. การแปรปริมาณทรายในดินราชบุรี และขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้น

จากการศึกษาเนื้อดินปั้นของโรงโอบราชบุรี พบว่ามีปริมาณทรายแม่น้ำประมาณ 10 % จึงได้ทำการทดลองเตรียมเนื้อดินเพื่อเปรียบเทียบกับเนื้อดินปั้นราชบุรี (RP) โดยใช้ดินราชบุรีย่อย ดินราชบุรีบด ทรายแม่น้ำไม่ร่อนและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 และ 60 เมช โดยแปรปริมาณทราย 5, 10, และ 15 % ดังนี้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของเนื้อดินทดลอง

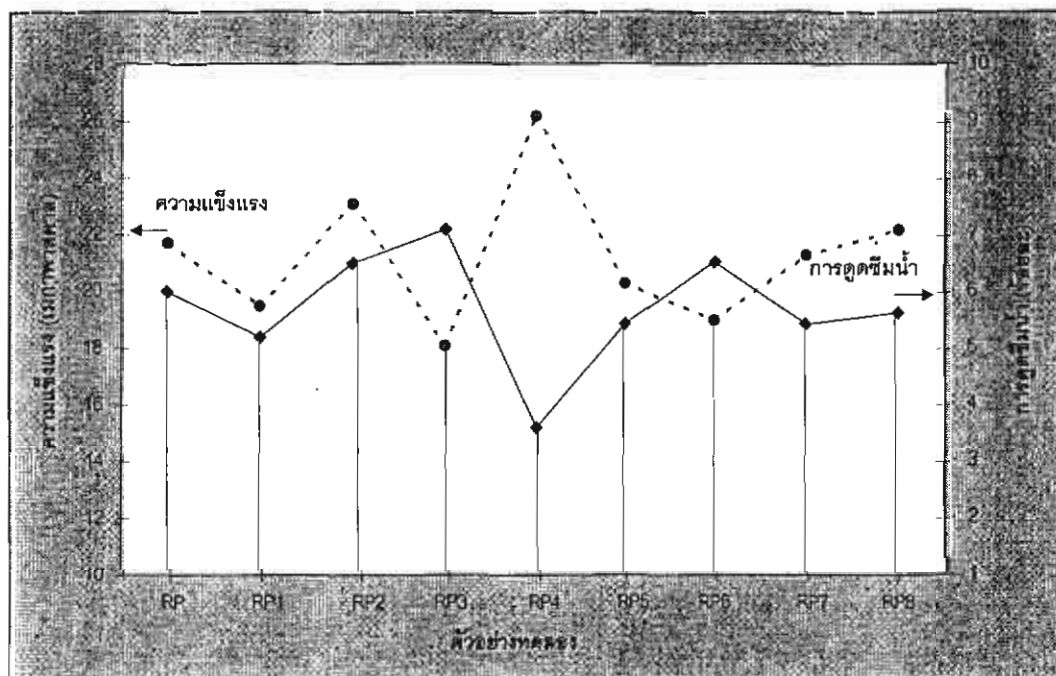
ตัวอย่างทดลอง	ดินราชบุรี (กรัม)			ทรายแม่น้ำ (กรัม)		
	จากแหล่ง	ย่อย	บด	จากแหล่ง	-40 เมช	-60 เมช
RP	100			10		
RPI		100		5		
RP2		100		10		
RP3		100		15		
RP4			100	5		
RP5			100	10		
RP6			100	15		
RP7			100		10	
RP8			100			10

ผสมดินและทรายแบบผสมแห้ง แล้วจึงนำแต่ละส่วนผสมมาคลุกผสมน้ำ 28-30% หมัก 1 คืน นำเข้าเครื่องรีดสุญญากาศ 3 รอบ

นำเนื้อดินทดลองมาทำเป็นแท่งทดสอบ เพื่อใช้หาค่าความแข็งแรงก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1180°C และเพื่อใช้หาค่าการดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 18

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ
ของเนื้อดินปั้นจากโรงงาน และเนื้อดินทดลอง

ตัวอย่างทดลอง	ความแข็งแรง (เมกะพาสคาล)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
RP	21.7	6.0
RP1	19.5	5.2
RP2	23.1	6.5
RP3	18.1	7.1
RP4	26.2	3.6
RP5	20.3	5.4
RP6	19.0	6.5
RP7	21.3	5.4
RP8	22.2	5.6



ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ
ของเนื้อดินปั้นจากโรงงานและเนื้อดินทดลอง

จากผลการทดสอบความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำจะเห็นได้ว่า ในกลุ่มของดินราชบุรีย่อย (RP1-3) การเติมทรายแม่น้ำประมาณ 10% ของตัวอย่าง RP2 ทำให้ได้เนื้อดินที่มีความแข็งแรงสูงสุด (23.1 เมกะพาสคาล) เมื่อเทียบกับอีก 2 ตัวอย่างที่เติมทรายแม่น้ำ 5 และ 10% และแข็งแรงกว่าเนื้อดินปั้น (RP) ที่เตรียมโดยโรงงาน (21.7 เมกะพาสคาล) แต่มีค่าการดูดซึมน้ำประมาณเท่ากับค่าของเนื้อดินปั้น RP 6 - 6.5%

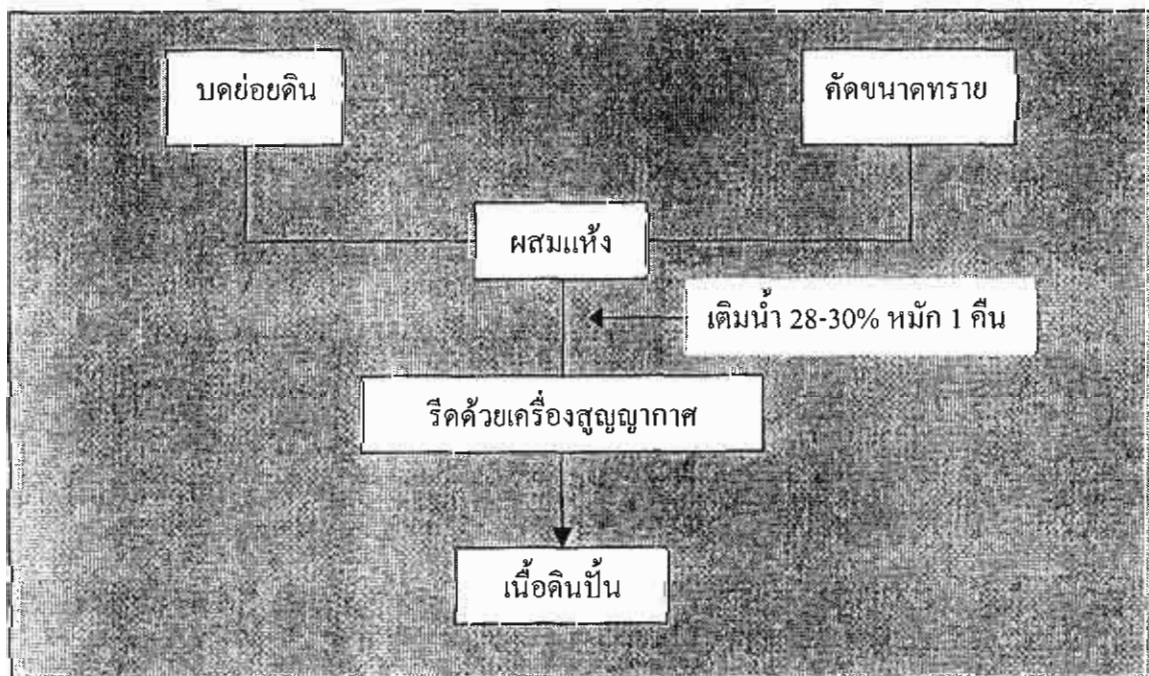
ในกลุ่มของดินราชบุรีบด (RP4-6) การเติมทรายแม่น้ำประมาณ 5% ของตัวอย่าง RP4 ทำให้ได้เนื้อดินที่มีความแข็งแรงสูงสุด (26.2 เมกะพาสคาล) และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด (3.6%) เมื่อเทียบกับอีก 2 ตัวอย่างในกลุ่มเดียวกัน และตัวอย่างอื่น ๆ ในรายงานนี้

ในกลุ่มของดินราชบุรีบด (RP7 และ 8) ที่เติมทรายแม่น้ำที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 และ 60 เมช ประมาณ 10% จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ทรายที่ละเอียดขึ้น ความแข็งแรงของเนื้อดินมีค่าสูงขึ้น (21.3 และ 22.2 เมกะพาสคาล ตามลำดับ) และแข็งแรงกว่าตัวอย่าง RP5 (มีค่า = 20.3 เมกะพาสคาล) ที่เติมทรายแม่น้ำจากแหล่งในปริมาณเดียวกัน ตัวอย่าง RP7 และ 8 มีค่าของการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน (ประมาณ 5.5%) แต่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่าง RP5 (5.9%)

ในส่วนของตำหนิ เช่น รอยต่างขาว การแตกร้าว จุดตามด จุดหลอมสีน้ำตาลเข้ม ฯลฯ ที่ปรากฏในเนื้อดินปั้นที่เตรียมโดยโรงงาน ไม่ปรากฏในดินทดลอง

นอกจากนี้การบดย่อยดิน ยังทำให้ได้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น เนื่องจากแร่เหล็กที่เป็นเม็ดขนาดใหญ่ได้ถูกบดย่อยลง

การเตรียมเนื้อดินที่พัฒนาขึ้นมีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินที่พัฒนาใหม่

3. ผลการศึกษาวิจัย

3.1 การทดลองใช้งานที่โรงงาน

ได้เตรียมเนื้อดินทดลองส่วนผสม RP5 และ RP7 ให้โรงงานทดลองปั้นเป็นผลิตภัณฑ์ปรากฏว่าได้ผลิตภัณฑ์กระถางขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพดีขึ้นอย่างมาก สามารถปั้นได้บางลง มีเนื้อละเอียดขึ้น ไม่มีตำหนิต่าง ๆ เช่น จุดขาว ตุ่มสีน้ำตาลเข้ม หรือรอยแตก ภาพที่ 20 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ทักขึ้นจากเนื้อดินทดลอง จะเห็นได้ว่ามีเนื้อละเอียด เนื้อดินมีความสม่ำเสมอ และมีสีสวยงามยิ่งขึ้น



ภาพที่ 20 ผลิตภัณฑ์ที่ปั้นจากเนื้อดินทดลอง RP5 และ RP7 (ไม่เคลือบ)

สรุปได้ว่าการบดย่อยดิน การคัดขนาดทราย การลดปริมาณน้ำและเวลาในการหมัก และการผสมด้วยเครื่องรีด ช่วยทำให้ได้เนื้อดินปั้นที่มีความสม่ำเสมอในส่วนผสม มีความแน่นของเนื้อดิน เนื้อดินมีความละเอียดขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงมากขึ้น มีค่าของการดูดซึมน้ำต่ำลง ลดปัญหาของคั่วหนี และมีสีที่สวยงามมากขึ้น

3.2 การนำผลการวิจัยไปสู่การทดลองผลิตในโรงงาน

วัตถุประสงค์

- นำผลจากการศึกษาทดลองไปขยายผลโดยทดลองผลิตเนื้อดินจำนวนมากขึ้นที่โรงงานร่วมโครงการ
- เพื่อลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ในโรงงาน

3.2.1 การเตรียมเนื้อดินปั้น

เนื่องจากการเตรียมเนื้อดินในโรงงานทำเป็นแบบดั้งเดิมดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และทางโรงงานไม่มีเครื่องย่อยที่ต้องการ จึงได้ขอความอนุเคราะห์จากกองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี ใช้เครื่องมือในการบดย่อยสำหรับการทดลองเตรียมดินปั้น

บดดินดิบแห้งจำนวน 1,000 กิโลกรัม โดยการบดหยาบด้วย jaw crusher เพื่อย่อยให้ดินก้อนใหญ่มีขนาดเล็กลง แล้วจึงบดละเอียดด้วย roller crusher ซึ่งมีระยะห่างของลูกกลิ้งในช่วง 0-1.5 เซนติเมตร ผ่านร่อน 6 เมช ผสมกับทรายซึ่งผ่านร่อน 16 เมช ในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 โดยน้ำหนักในเครื่องผสมซีเมนต์ แล้วนำมาเติมน้ำให้มีความชื้น 30% เข้าผสมด้วยไม้ผสมดิน เข้าเครื่องรีดดิน ได้ดินปั้นสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังแผนภูมิที่แสดงในภาพที่ 21

เนื้อดินที่เตรียมได้ใช้ปั้นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีเนื้อละเอียดขึ้น

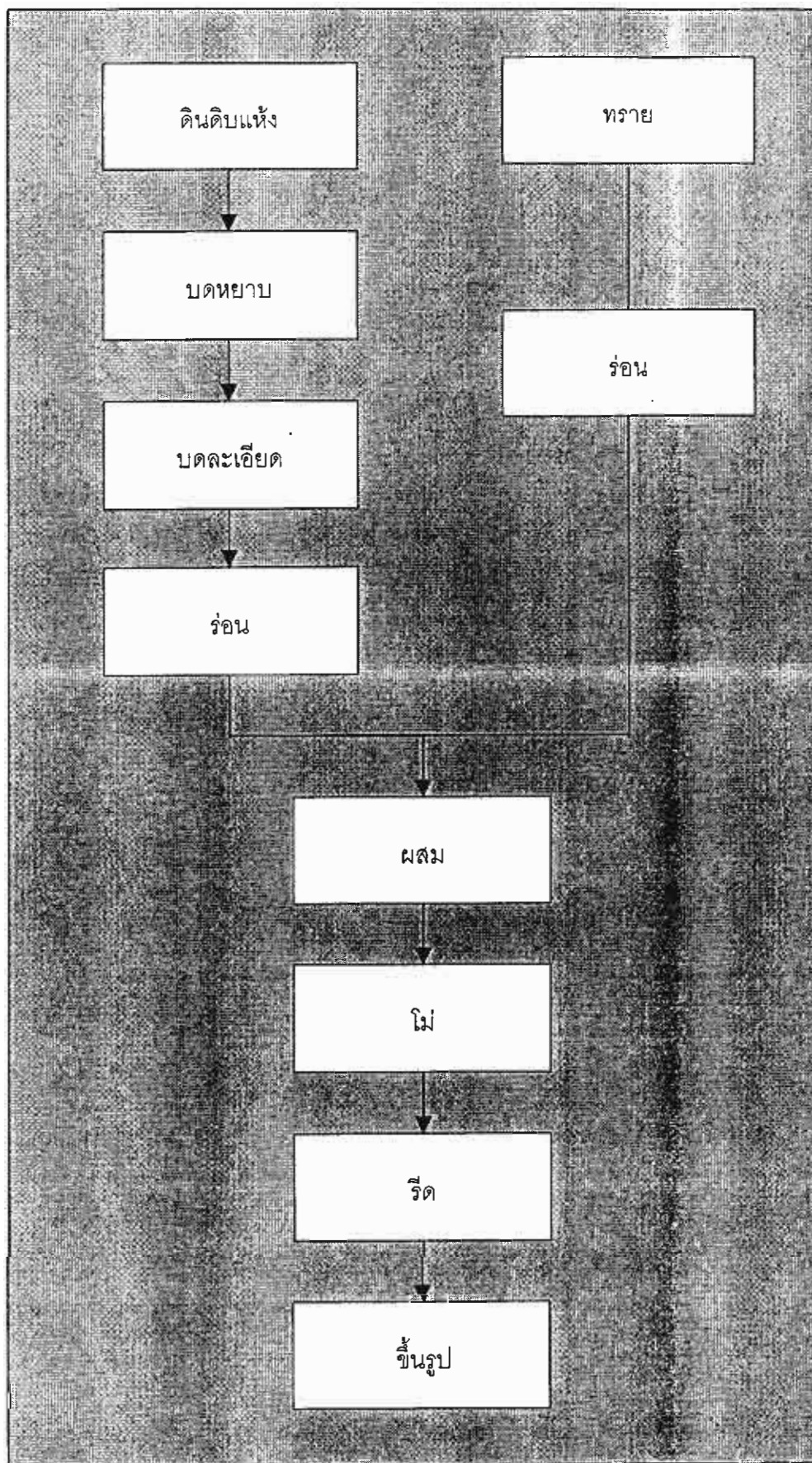
ดินสำเร็จที่เตรียมได้ใช้ปั้นไหน้ำปลาได้ประมาณ 60 ใบ

3.2.2 การเก็บข้อมูลของตำหนิที่มีในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

จากการเก็บข้อมูลที่โรงงานร่วมโครงการฯ พบตำหนิของผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ตำหนิที่เกี่ยวกับเคลือบ ได้แก่ เคลือบด้าน เคลือบมีตำหนิเนื่องจากเอ็นโกบหลุดล่อน เป็นต้น
- ตำหนิที่เกี่ยวกับเนื้อดิน ได้แก่ เม็ดกรวด เม็ดหินปูน การแตก ร้าว รั่ว ซึม เป็นต้น

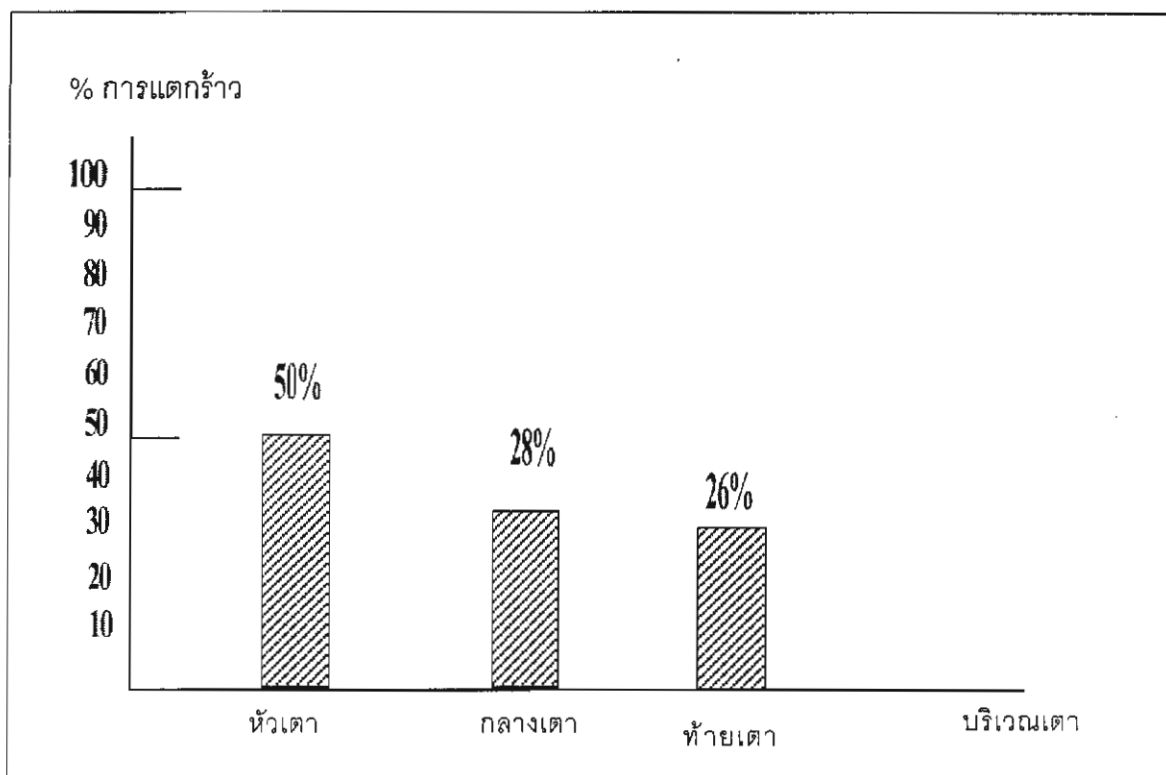


ภาพที่ 21 แผนภูมิแสดงการเตรียมเนื้อดินบ้านโองด้วยวิธีที่ปรับปรุง

ในขั้นแรกได้สำรวจดูความเสียหายของผลิตภัณฑ์โดยวิธีที่ทางโรงงานปฏิบัติกันอยู่ได้แก่ เมื่อของออกจากเตาจะตรวจดูว่ามีการแตกร้าวหรือไม่ โดยเคาะเพื่อฟังเสียง เสียงดังกังวานหมายถึงไม่แตก เสียงแป้งหมายถึงมีการแตก

นอกจากนี้ก็มีการตรวจดูการร้าวซึมโดยกดโองลงในอ่างน้ำ หมุนไปมาเพื่อดูการร้าวซึม โดยสังเกตจากฟองอากาศที่ปุดขึ้นมาจากได้น้ำ ผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิถูกซ่อม ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์เป็นไปตามเกรดของผลิตภัณฑ์

ผลการสำรวจดูการแตกร้าวจากผลิตภัณฑ์ 250 ใบ ในการเผาคั้งเดียวกันพบว่า บริเวณหัวเตามีการแตกร้าวสูง เนื่องจากเป็นส่วนต่อจากห้องเผาด้านหน้า อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากการสูบลูไฟพื้นที่ไม่สม่ำเสมอและอุณหภูมิสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ของเตาจึงทำให้ความเสียหายมีมาก ส่วนกลางเตาและท้ายเตามีการแตกร้าวลดลงตามลำดับ ผลการสำรวจแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กราฟแสดงปริมาณการแตกโดยการเคาะฟังเสียง

เก็บข้อมูลตำหนิผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาเผาก่อนทำการทดลองใช้ดินที่ปรับปรุงเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยเก็บตัวอย่างบริเวณละ 20 ตัวอย่าง ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4

ด้านนี้ บริเวณ	หัวเตา	กลางเตา	ท้ายเตา
1. เคลือบล่อน เคลือบด้าน	8	13	4
2. แตกปาก แตกกัน	10	10	7
3. เม็ดกรวด เม็ดหินปูน	5	5	8
4. ตามด	3	4	5

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนด้านของผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง

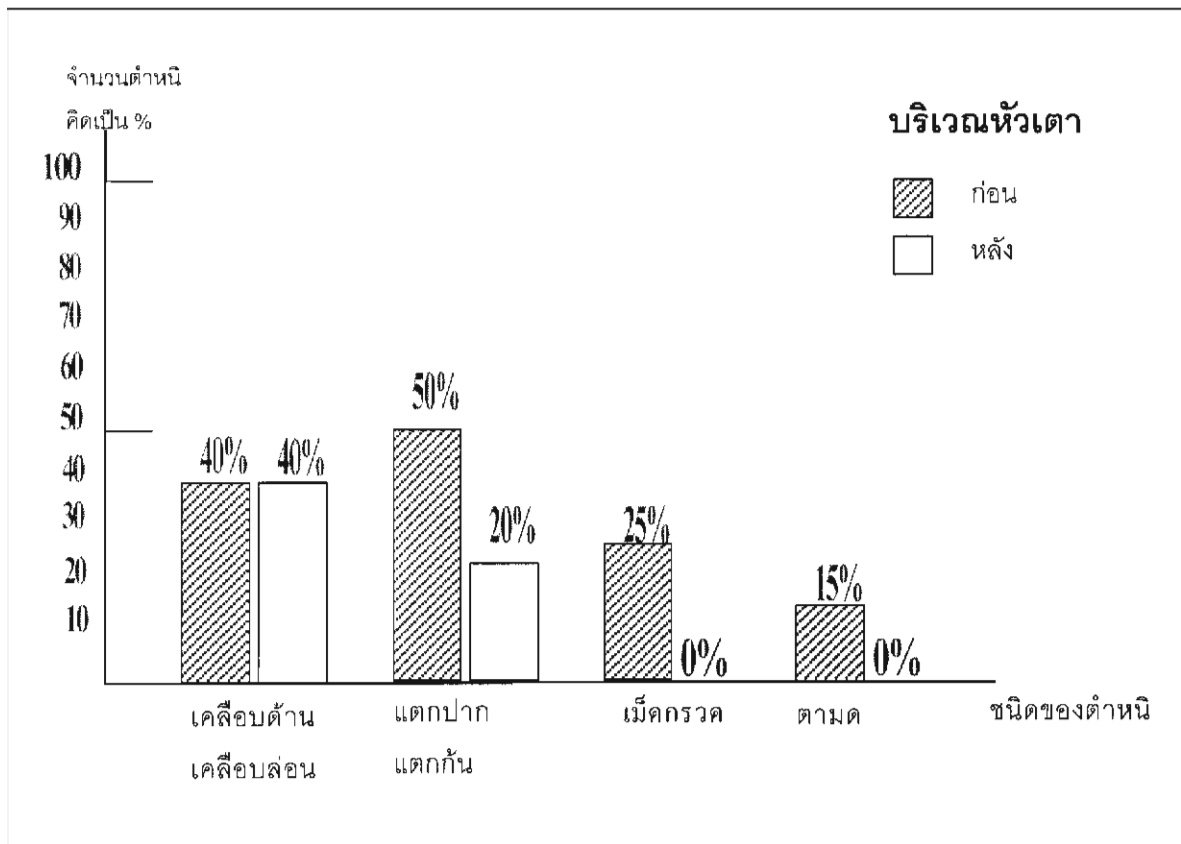
3.2.3 ผลิตภัณฑ์จากการทดลอง

เก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดินที่เตรียมขึ้นใหม่ ตรวจดูด้านโดยเจ้าหน้าที่ร่วมกับเจ้าของโรงงาน ปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีด้านลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 5

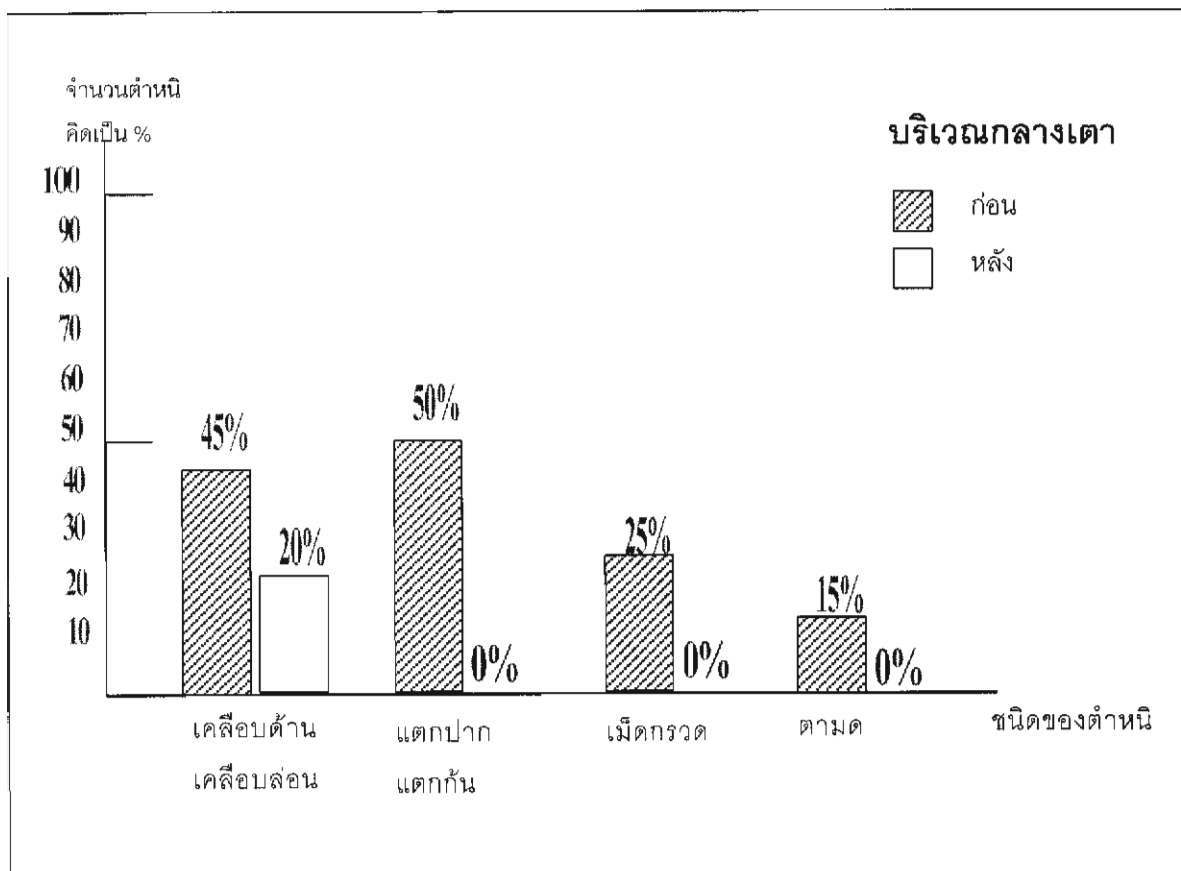
จากข้อมูลที่ได้นำมาทำเป็นกราฟแท่ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนด้านที่บริเวณ หัวเตา กลางเตา และท้ายเตา เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงวิธีเตรียมเนื้อดินนั้น แสดงไว้ในภาพที่ 23

ด้านนี้ บริเวณ	หัวเตา	กลางเตา	ท้ายเตา
1. เคลือบล่อน เคลือบด้าน	8	4	2
2. แตกปาก แตกกัน	4	0	0
3. เม็ดกรวด เม็ดหินปูน	0	0	0
4. ตามด	0	0	0

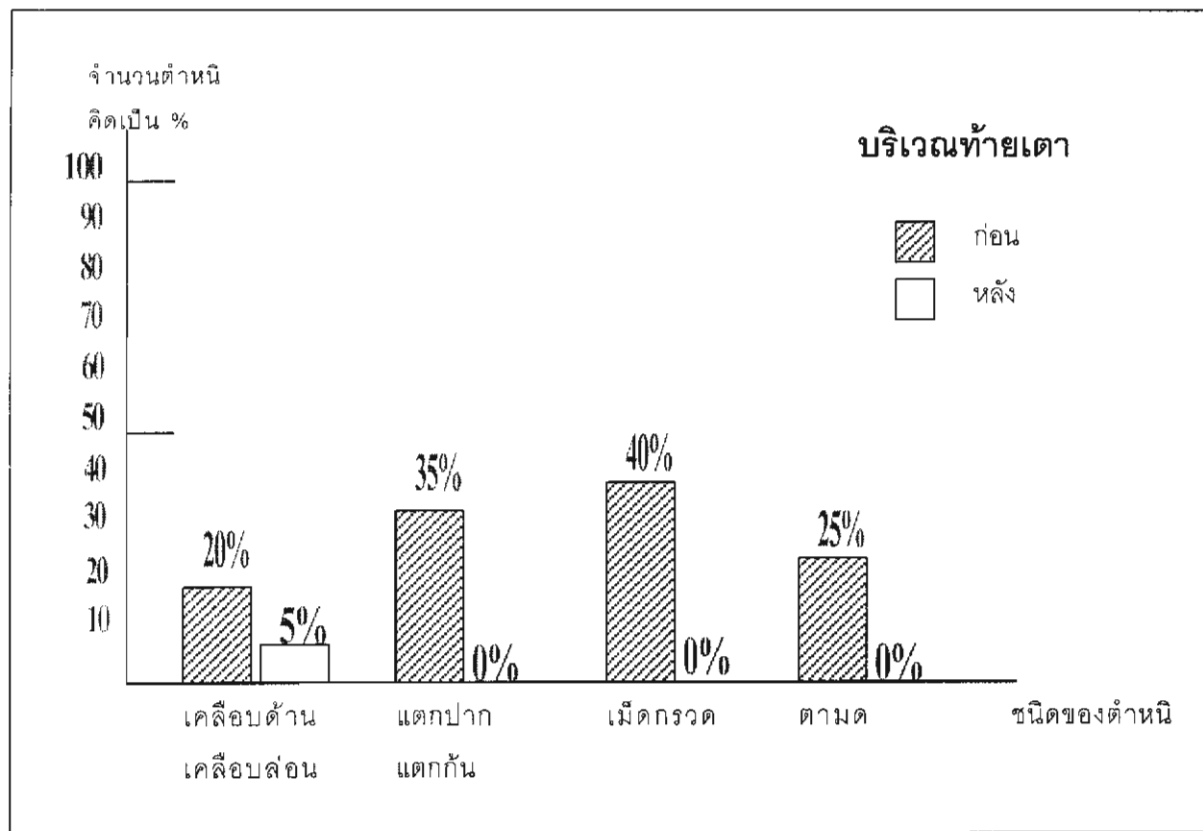
ตารางที่ 5 แสดงจำนวนด้านของผลิตภัณฑ์ภายหลังการปรับปรุง



(a)



(b)



(C)

ภาพที่ 23 แสดงตำหนิของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุง

(a) = บริเวณหัวเตา (b) = บริเวณกลางเตา (c) = บริเวณท้ายเตา

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปผลการทดลอง

4.1.1 การทดลองใช้ดินที่ได้ปรับปรุงวิธีการเตรียม สามารถลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากเนื้อดินลงได้อย่างเห็นได้ชัด

ต้นทุนของเคลือบ ทั้งเคลือบด้าน เคลือบที่หลุดเนื่องจากเอ็นโกลอนลดลง

ต้นทุนจากเม็ดกรวด ซึ่งเป็นสาเหตุของการแตกร้าวลดลง

ต้นทุนตามด ซึ่งเป็นจุดรั่วซึมลดลง

4.1.2 ผลิตรภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น การรั่วซึมลดลง ทำให้การกักเก็บของเหลว เช่น น้ำปลา ซีอิ๊ว มีสุขอนามัยดีขึ้น

4.1.3 จากการที่ผลิตรภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น จะทำให้ผลิตรภัณฑ์เป็นที่ต้องการของผู้ซื้อ นำไปสู่ราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพ ปัจจุบันโถ้งขนาด 7 ปี๊บ เกรดหนึ่งราคาใบละ 180 บาท เกรดสองใบละ 130 บาท

4.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

การปฏิบัติงานในแนวทางของโครงการฯ เพื่อปรับปรุงเนื้อดินปั้นราชบุรีนี้ ข้อมูลที่ได้ทำให้ผู้ประกอบการเห็นประโยชน์ในการปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดินว่าสามารถลดการสูญเสียของผลิตรภัณฑ์ได้มาก

เครื่องจักรครบชุดที่ใช้สำหรับเตรียมเนื้อดินราว 2.5 ตัน/ชม. นั้น หากจะลงทุน จะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 2 ล้านบาท ผู้ประกอบการจะต้องศึกษาข้อมูลให้ดีกว่าตัดสินใจลงทุน เช่น ศักยภาพของการผลิต ด้านตลาด ด้านรูปแบบผลิตรภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการ แนวทางหนึ่งที่จะลดต้นทุนด้านเครื่องจักร คือการลงทุนร่วมกันระหว่างผู้ประกอบการเพื่อสร้างโรงผลิตเนื้อดินกลางขึ้น

อย่างไรก็ตามผลการวิจัยทำให้ผู้ประกอบการเห็นแนวทางในการลดการสูญเสียอย่างชัดเจนแล้ว ในขั้นต้นจึงได้ดัดแปลงเครื่องรีดดินที่ใช้โดยเพิ่มตะแกรงกรองกรวด หิน ตรงบริเวณหัวรีด สามารถลดการสูญเสียได้ในระดับที่น่าพอใจ ผู้ประกอบการจึงสร้างเครื่องรีดดินใหม่อีก 3 เครื่อง

ผลิตรภัณฑ์ที่ทำขึ้นจากดินที่ได้ปรับปรุงวิธีการเตรียมมีคุณภาพ ต้นทุน การแตก การรั่วซึมต่าง ๆ ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 24 เครื่องรีดดินที่ปรับปรุงไส้ตะแกรง



ภาพที่ 25 โอ่งและไหน้ำปลาทำจากเนื้อดินที่ปรับปรุงแล้ว

5. เอกสารอ้างอิง

1. W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann,
Introduction to Ceramics, 2 nd. Ed., John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 1976.
2. F.H. Norton, *Fine Ceramics*, McGraw – Hill Book Company, New York, 1970.
3. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม, **เนื้อดินปั้นจากโรงงานโอ่งมังกรราชบุรี**, กองการเหมืองแร่
กรมทรัพยากรธรณี, 2540.

3.2 การควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตในดินราชบุรี

การควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตในดินราชบุรี

ชลัย ศรีสุข

1. บทนำ

จากการที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกได้เข้าไปช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิตของโรงโองราชบุรีตามโครงการพัฒนาเครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรีนั้น พบว่าปัญหาสำคัญที่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โรงโองราชบุรีประสบการสูญเสียของผลิตภัณฑ์นั้น สาเหตุหนึ่งมาจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตซึ่งก็คือดินเหนียว จากการเก็บตัวอย่างดินจากโรงงานที่เข้าร่วมโครงการมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบของโรงงานโองราชบุรีนั้นมีปริมาณซัลเฟตอยู่ค่อนข้างสูง

สารประกอบซัลเฟตที่ปะปนมาในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์เซรามิกเป็นอย่างมาก สารประกอบซัลเฟตที่ปะปนมาในวัตถุดิบนั้นมาจากสองแหล่ง แหล่งแรกคือ ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบ แหล่งที่สองคือน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ดิน ดินเหนียวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกนั้นมักจะมีสารประกอบซัลเฟตที่อาจอยู่ในรูปของ organic sulphur หรือ inorganic sulphur แต่ส่วนใหญ่ที่พบในดินมักจะอยู่ใน รูปของ inorganic sulphur เช่น FeS_2 , CaSO_4 , MgSO_4 เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะสลายให้ออกไซด์ของโลหะนั้นกับก๊าซต่าง ๆ (ตารางที่ 1) ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดตำหนิต่าง ๆ บนเคลือบ



ตารางที่ 1 Decomposition Temperatures of Sulphates⁽⁵⁾

Sulphate	Decomposition begins at	Rapid decomposition	Product of decomposition	Colour of product
	° C	° C		
FeS ₂	167	480	Fe ₂ O ₃ .2SO ₃	yellow brown
Fe ₂ O ₃ .2SiO ₃	492	560	Fe ₂ O ₃	red
Al ₂ (SO ₄) ₃	590	639	Al ₂ O ₃	white
CuSO ₄	653	670	2CuO.SO ₃	black
MnSO ₄	699	790	Mn ₃ O ₄	green
ZnSO ₄	702	720	3ZnO.2SO ₃	brown
2CuO.SO ₃	702	736	CuO	white
NiSO ₄	702	764	NiO	white
CoSO ₄	720	770	CoO	white
3ZnO. 2SO ₃	755	767	ZnO	white
MgSO ₄	890	972	MgO	white
CaSO ₄	1200	-	CaO	white
BaSO ₄	1510	-	BaO	white

ในกรณีของเกลือซัลเฟตของแคลเซียมและแมกนีเซียม สารประกอบซัลเฟตเหล่านี้สามารถละลายน้ำได้ดี ปริมาณซัลเฟตที่ละลายออกมาจากเนื้อดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความรุนแรงของการกร่อน ระยะเวลาที่ซัลเฟตสามารถละลายออกมา คุณสมบัติของน้ำที่เป็นส่วนผสม

น้ำ น้ำเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากเช่นกันในกระบวนการผลิตเซรามิก น้ำที่ใช้อาจเป็นน้ำบาดาล น้ำจากแม่น้ำ ทะเลสาบ แหล่งน้ำบาดาลจะมีปริมาณเกลือละลายน้ำที่ค่อนข้างคงที่ และไม่ค่อยพบสารแขวนลอยอยู่เนื่องจากแนวทางการไหลของน้ำไปยังลำธารใต้ดินไม่ถูกผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมบนดิน น้ำจากบ่อตื้น แม่น้ำ จะมีปริมาณแร่ธาตุที่พบไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล และมีสารแขวนลอยปนอยู่ด้วยเสมอ การนำน้ำมาใช้ในการอุตสาหกรรมเซรามิก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากคือความกระด้าง (hardness) ความกระด้างของน้ำมาจากแมกนีเซียมหรือแคลเซียม ซัลเฟต คลอไรด์ หรือไบคาร์บอเนต การที่น้ำมีอิออนของแคลเซียมและซัลเฟตสูงจะมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์เซรามิกเป็นอย่างมากเช่นกัน

ผลกระทบของปริมาณเกลือซัลเฟตในวัตถุดิบที่มีต่อผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นมีมากมาย ถ้าในวัตถุดิบมีปริมาณของเกลือซัลเฟตละลายน้ำปะปนอยู่ หลังจากขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และผ่านการอบแห้ง น้ำจะเคลื่อนที่ไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์โดย capillary action จะมีการสะสมของเกลือซัลเฟตที่ผิวของผลิตภัณฑ์ขณะที่น้ำระเหยออกไปทำให้เกิดคราบสีขาวบนผิวผลิตภัณฑ์ซึ่งจะเกิดขึ้นมากบริเวณมุมและขอบของผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการเผา (biscuit firing) ที่ผิวของผลิตภัณฑ์บริเวณนี้จะหลอมตัวได้ง่ายขึ้น ทำให้รูพรุนหายไป การเคลือบบริเวณนี้เคลือบจะไม่ค่อยติด หรือผลิตภัณฑ์ที่เคลือบหลังจาก อบแห้งและเผาผลิตภัณฑ์พร้อมเคลือบ (one firing) จะพบฟองอากาศเล็ก ๆ และตุ่มแผลมากมายใต้เคลือบของผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้ว เหตุที่เกิดเช่นนี้เนื่องจากการสะสมของเกลือละลายน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ขณะเผามีการแตกสลายตัวของเกลือทำให้เกิดก๊าซจากพวกคาร์บอเนตและอื่น ๆ ประกอบกับการยึดตัวที่ผิวที่กำหนด ทำให้ก๊าซออกไม่ได้

นอกจากนี้ปริมาณซัลเฟตที่มีอยู่ในเนื้อดินยังมีผลต่อการเกาะตัวของอนุภาคในน้ำดิน ซึ่งขึ้นกับชนิดของ cation ที่อยู่ใกล้ซัลเฟตไอออน ถ้า cation ที่จับกับซัลเฟตไอออนเป็น divalent cation จะมีกำลังทำให้เกิดการเกาะตัวกันมากกว่า monovalent cation เช่น ถ้าในน้ำดินมีปริมาณไอออนของแคลเซียมและซัลเฟตอยู่สูง จะทำให้น้ำดินนั้นตกตะกอนเร็ว (flocculation) ทำให้เกิดความลำบากในการควบคุมคุณสมบัติของน้ำดิน ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ดินโดยใช้เครื่องกรองดิน (filter press) เมื่อนำ filter pressed body มาเตรียมน้ำดิน ถ้ามีปริมาณเกลือซัลเฟตอยู่ในวัตถุดิบมาก จะทำให้เกิด sodium sulfate ขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง โซเดียมซัลเฟต ที่ใช้เป็น deflocculant กับไอออนของซัลเฟตในน้ำดิน ทำให้ส่วนบนผิวทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้งมีปริมาณ sodium sulphate สูง ทำให้การ engobe และเคลือบไม่ดี

จากข้อมูลผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินจากราชบุรีที่ทางศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกนำไปศึกษาวิเคราะห์พบว่าเนื้อดินจากโรงงานที่เข้าร่วมโครงการมีปริมาณซัลเฟตปะปนอยู่ ค่อนข้างสูง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์เคมีของเนื้อดินจากราชบุรี

วัตถุดิบ	% W/W									
	LOI.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄ ⁼⁼
ดินดิบเรืองศิลป์ 2	8.0	64.1	19.6	4.8	1.1	0.5	0.4	0.1	1.0	0.4
ดินปั้นเรืองศิลป์ 2	7.5	65.3	18.8	4.6	1.0	0.4	0.5	0.1	1.3	0.3
ดินปั้นสหศิลป์	6.7	68.1	16.0	4.8	1.0	0.6	0.6	0.1	1.4	0.5
ดินดิบรุ่งศิลป์	8.6	61.5	22.1	4.2	1.1	0.6	0.4	0.4	0.7	0.4

ประกอบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ทดลองขึ้นรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งนำไปทดลองที่ศูนย์ฯ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากอบแห้งหรือหลังจากเผามีคราบเกลือสีขาวเกาะเป็นฝ้าตามผิวของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างมาก ซึ่งคราบเกลือเหล่านี้เป็นผลมาจากเกลือละลายน้ำต่าง ๆ ที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้และจากข้อมูลตารางที่ 3 ที่ได้จากเอกสารเรื่องคุณสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ทำโอ่งราชบุรีโดยกลุ่มวิจัยแร่ อุตสาหกรรม กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ปริมาณเกลือละลายน้ำ (Soluble salts) ของจุดชี้เกลือบนผิวโอ่ง⁽¹⁾

จุดชี้เกลือบนผิวโอ่ง	Mg/Kg	% W/W
โซเดียม (Na)	0	0.00
โปแตสเซียม (K)	6,800	0.70
แคลเซียม (Ca)	27,000	2.70
แมกนีเซียม (Mg)	85,000	8.50
คลอไรด์ (Cl)	3,000	0.30
ซัลเฟต (SO ₄)	4 x 10 ⁵	40
ไนเตรต (NO ₃)	0	0.00
ไนไตรต์ (NO ₂)	120	0.01
Total Hardness as CaCO ₃	42 x 10 ⁴	42
Mg/kg = มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม		
% W/W = น้ำหนักเป็นกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม		

พบว่าคราบเกลือหรือจุดชี้เกลือที่พบบนผิวโอ่งราชบุรีส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลเฟตของแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเกลือซัลเฟตเหล่านี้เองที่เป็นตัวปัญหาทำให้เกิดตำหนิที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ของราชบุรี ดังนั้นทางศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก จึงทำการศึกษาทดลองควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟต (Soluble sulphate) ในเนื้อดินราชบุรี ซึ่งเป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการของศูนย์ฯ

2. วิธีดำเนินการศึกษาทดลอง

การศึกษาทดลองควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตในดินราชบุรีนั้น ได้ดำเนินการศึกษาทดลอง โดยเก็บวัตถุติดจากโรงงานเรืองศิลป์ 2 มาทดลองหาปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำและทดลองใส่สารควบคุมปริมาณซัลเฟต โดยเลือกทดลองใช้สารแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และสารแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) ผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แล้วนำมาทดลองหาค่าปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟต อีกครั้งพบว่าสามารถควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตได้อย่างดี

2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำออกมาจากดินนั้นสามารถทำได้โดยวิธี Turbidimetric method โดยวัดความขุ่นของสารละลาย ซึ่งเกิดจากการเติม BaCl_2 (excess) ลงไปในสารละลายที่ได้จากการกรองน้ำดินซึ่งจะมีซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) อยู่ BaCl_2 ซึ่งละลายน้ำได้ดีจะแตกตัวให้ Ba^{2+} และ Cl^- ซึ่ง Ba^{2+} จะทำปฏิกิริยากับ SO_4^{2-} ให้ BaSO_4 ซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่จะแขวนลอยอยู่ในสารละลายซึ่งความขุ่นที่ได้จะขึ้นกับปริมาณของ BaSO_4 ที่เกิดขึ้นและสามารถวัดได้โดยใช้ UV/VIS Spectrophotometer วัด % Transmission ของแสงที่สามารถผ่านสารละลายไปได้ที่ความยาวคลื่น 420 nm โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ทำขึ้นระหว่างปริมาณ BaSO_4 ในสารละลายที่ทราบความเข้มข้นกับ % Transmission ที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer

1. เครื่องมือ

- เครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
- เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer
- นาฬิกาจับเวลาเพื่อจับเวลาที่ใช้ในการกวนด้วยเครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก
- ช้อนตวง BaCl_2 ขนาดความจุ 0.2 - 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. สารเคมีและสารละลาย

- สารละลายบัฟเฟอร์ (conditioning reagent)
ผสม แมกนีเซียมคลอไรด์ ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 30 กรัม โซเดียมอะซิเตรต ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) 1 กรัม กรดอะซิติก (CH_3COOH 99 %) 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาณทั้งหมด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ผลึกแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2)

- สารละลายมาตรฐานซัลเฟต (standard sulphate solution) ละลายอินไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) 0.1479 กรัม ในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีปริมาณซัลเฟต 0.10 มิลลิกรัม

3. การเตรียมดิน

- อบดินตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- บดให้ละเอียด
- ชั่งตัวอย่างดินที่อบแล้ว 100 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำเข้าเครื่องปั่น high speed เป็นเวลา 15 นาที
- นำดินเหลวใส่เครื่อง filter – press อัดที่ความดัน 100 psi นำสารละลาย 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรแรกทิ้ง สารละลายที่เหลือเก็บไว้วิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟต

4. วิธีวิเคราะห์

- นำตัวอย่างมา 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือปริมาณอื่น ๆ ที่เหมาะสมแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดกันแบนขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนให้มีความเร็วคงที่ ขณะที่กวนอยู่เติมแบเรียมคลอไรด์ 1 ช้อน แล้วกวนต่ออีก 1 นาที ปล่ยทิ้งไว้ 5 นาทีก่อนวัดค่าปริมาณซัลเฟต
- หาค่าปริมาณซัลเฟตในตัวอย่างได้โดยเปรียบเทียบค่าความขุ่นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐานซึ่งได้จากสารละลายมาตรฐานซัลเฟตในช่วงของซัลเฟต 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าความเข้มข้นของซัลเฟตมากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะทำให้ความแม่นยำของการวัดวิธีนี้ลดลง ดังนั้นควรลดปริมาณน้ำตัวอย่างลงตามความเหมาะสม
- ค่าความขุ่นที่อ่านได้จากตัวอย่างควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง โดยเทียบกับแบบโค้งซึ่งไม่ได้เติมแบเรียมคลอไรด์
- ค่าปริมาณซัลเฟตที่วัดได้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2 การควบคุมปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำ(soluble sulphate)

การควบคุมปริมาณหรือลดปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่ละลายน้ำออกมานั้น สามารถควบคุมหรือลดปริมาณได้โดยการเติมแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) , แบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) หรือแบเรียมไฮดรอกไซด์ (Ba(OH)_2) ลงในดิน เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ สารทั้ง

สามตัวนี้เมื่อละลายน้ำจะให้ Ba^{2+} ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ $SO_4^{=}$ ที่มีอยู่ในน้ำดินให้ $BaSO_4$ ที่ไม่ละลายน้ำ $Ba(OH)_2$ จะทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า $BaCl_2$ และ $BaCO_3$ ตามลำดับ การจะเลือกใช้สารละลายตัวใดขึ้นอยู่กับโรงงาน ถ้าหลังจากกวนผสมเนื้อดินแล้วสามารถเข้า filter press ได้เลยก็ควรใช้ $Ba(OH)_2$ เพราะทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า แต่ถ้าโรงงานที่ทำการผสมเนื้อดินแล้วต้องพักเก็บรอไว้ใช้ต่อไปก็ควรเลือกใช้ $BaCl_2$ หรือ $BaCO_3$ ก็เพียงพอที่จะตกตะกอนซัลเฟตออกมาได้

การที่เติม $BaCl_2$ หรือ $BaCO_3$ ในปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้น พิจารณาได้จากปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำจากเนื้อดินนั้นแล้วคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสม

จากสมการ



$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ } BaCO_3 \text{ ที่ต้องใช้} &= \frac{197}{96} \text{ ของปริมาณ } SO_4^{=} \text{ ในเนื้อดิน} \\ &= 2.05 \text{ ของปริมาณ } SO_4^{=} \text{ ในเนื้อดิน} \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันถ้าใช้ $BaCl_2$ เป็นตัวควบคุมปริมาณซัลเฟต ก็สามารถคิดคำนวณได้เช่นกัน

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากราชนบุรี โรงงานเรืองศิลป์ 2 พบว่ามีปริมาณ soluble suphate อยู่ประมาณ 0.5 %

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ควรใช้ } BaCO_3 &= 2.05 \times 0.5 \\ &= 1.025 \text{ กรัม ต่อเนื้อดิน 100 กรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำจากเนื้อดินโรงงานเรืองศิลป์ 2

วัตถุดิบ	% SO_4			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
ดินปั้น	0.4886	0.4785	0.4655	0.4689
ดินดิบ	0.5429	0.5673	0.5122	0.5199

ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ดินตัวอย่างจากโรงงานเรืองศิลป์ 2 ปริมาณ 100 กรัม เติม $BaCO_3$ และ $BaCl_2$ เป็นตัวควบคุมปริมาณซัลเฟตในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน วัดค่าปริมาณซัลเฟตเปรียบเทียบกัน

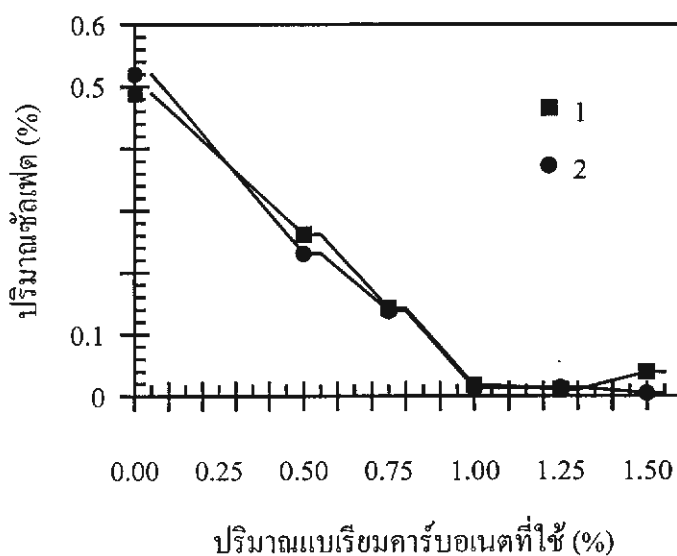
3. ผลการศึกษาดทดลอง

ผลการศึกษาดทดลองใส่สารควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตในห้องปฏิบัติการ โดยการเติมสารแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และสารแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) เป็นตัวควบคุมปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตในดิน ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตหลังจากเติม BaCO_3

ปริมาณ BaCO_3 (%)	ปริมาณ $\text{SO}_4^{=}$ (%)	
	I	II
0	0.4886	0.5199
0.5	0.2616	0.2308
0.75	0.1421	0.1377
1.0	0.0177 *	0.0127*
1.25	0.0102	0.0138
1.5	0.0388	0.0049

ข้อมูลจากตารางที่ 5 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ BaCO_3 และ ปริมาณ $\text{SO}_4^{=}$



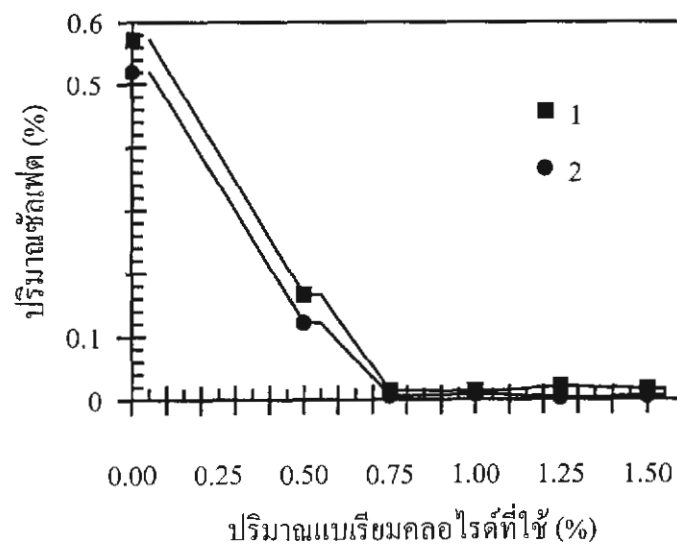
จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่า BaCO_3 ที่ใส่ลงไปบนเนื้อดินสามารถควบคุมปริมาณ Soluble sulphate ในเนื้อดินได้ และปริมาณ BaCO_3 ที่ใส่ลงไปนั้นอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.25 % ของปริมาณเนื้อดินที่ใช้ทดลองก็สามารถลดปริมาณ ซัลเฟตที่ละลายน้ำได้เกือบหมด

ดำเนินการทดลองโดยเปลี่ยนจาก BaCO_3 มาเป็น BaCl_2 เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตหลังจากเติม BaCl_2

ปริมาณ BaCl_2 (%)	ปริมาณ SO_4^{2-} (%)	
	I	II
0	0.5718	0.5199
0.5	0.1661	0.1220
0.75	0.0145 *	0.0063*
1.0	0.0139	0.0085
1.25	0.0208	0.0031
1.5	0.0164	0.0056

ข้อมูลจากตารางที่ 6 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ BaCl_2 และ ปริมาณ SO_4^{2-}



ดำเนินการทดลองต่อโดยทดลองนำดินที่ควบคุมปริมาณซัลเฟตได้แล้วนั้นขึ้นรูปทำขึ้น ตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิที่ 1180°C พบว่าขึ้นทดลองไม่พบคราบสีขาวของเกลือซัลเฟต

4. สรุปผลการศึกษาทดลอง

จากการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก พบว่าสามารถใช้สารแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และสารแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) เป็นตัวควบคุมเกลือละลายน้ำซัลเฟตในดินราชบุรีได้เป็นอย่างดี ส่วนการที่จะใช้สารควบคุมในปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้น ให้พิจารณาได้จาก ปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำที่วิเคราะห์ได้จากเนื้อดินนั้น แล้วคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสม การหาปริมาณเกลือละลายน้ำซัลเฟตนั้นสมควรที่จะต้องหาปริมาณทุกครั้ง ที่มีการเปลี่ยนวัตถุดิบใหม่

ผลการศึกษาทดลองที่ได้ ทางศูนย์ฯ จะขยายผลการทดลองไปสู่การทดลองในโรงงานต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

1. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม, คุณสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ทำโอ่งราชบุรี, กองเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี.
2. จาคินี เอี่ยมศิริ , ผลของปริมาณคาร์บอน และสารประกอบซัลเฟตต่อคุณสมบัติของดิน การสัมมนาวิชาการเซรามิกเพื่ออุตสาหกรรม Clay Min. Teeh 15 พฤศจิกายน 2537 หน้า 1 – 15.
3. ชาญ จรรย์วณิชย์ , วัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนผ้าวิฤตสีโอกาส ฝ่ายแต่งแร่ให้ประโยชน์แร่ กองเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี.
4. ดนัย อารยะพงษ์, เกลือละลายน้ำซัลเฟต ผลกระทบในน้ำดินหล่อแบบ ,วารสารเซรามิกส์ หน้า 87-91 ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 เดือน มีนาคม - มิถุนายน 2539 .
5. Felix , Singes and Sonja , S. Singer. Industrial Ceramics. London: Chapman and Hall , 1979.
6. Standard Test method for Soluble Sulfate in Ceremin Whitewaer Clays. (Photometric method). Annual Book of ASTM Standards , Section 15 , Designation C 867-77 (reapproved 1988)
7. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA , AWWA , WEE , 20 th edit. 1998.

3.3 การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

วรรณมา ต.แสงจันทร์
เทพีวรรณ จิตวัชรโกมล

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทโถ่งมังกร อ่างบัว กระถาง และไห ประเภทต่าง ๆ ซึ่งทำมาจากดินเหนียวและเคลือบสีได้ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะผิวเนื้อหยาบ สีน้ำตาล เนื่องจากดินเหนียวที่นำมาปั้นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มีปริมาณแร่เหล็กสูงและมักจะมีก้อนกรวด หิน และหินปูน ปนมาทำให้ผลิตภัณฑ์มีปัญหาการแตกร้าวและร้าวซึมเกิดขึ้น เป็นข้อจำกัดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินใหม่ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และทำให้เนื้อดินมีความละเอียดมากขึ้น สีอ่อนลง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ เช่น ภาชนะบนโต๊ะอาหาร ของประดับ ของใช้ และของที่ระลึกและเคลือบให้มีสีสันสวยงามได้ นอกจากนี้ยังสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ เช่น การปั้นด้วยเครื่องปั้นจิกเกอร์ การปั้นอิสระ การปั้นแป้นหมุน และการหล่อแบบ

การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินปั้นและส่วนที่ 2 เป็นการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อ การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินใหม่ ทำให้สามารถพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี ให้มีความหลากหลายมากขึ้น เป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้เนื้อดินปั้นที่สามารถขึ้นรูปโดยวิธีปั้นด้วยเครื่องปั้นจิกเกอร์ ปั้นอิสระ และปั้นแป้นหมุน และเนื้อดินหล่อ เนื้อดินทั้งสองสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีรูปแบบต่าง ๆ เช่น ภาชนะบนโต๊ะอาหาร ของประดับ ของใช้ และของที่ระลึก

2. การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

เนื้อดินโถ่งจัดเป็นสโตนแวร์จากดินธรรมชาติ คำว่าสโตนแวร์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์เซรามิกเคลือบผิวที่มีความพรุนตัวต่ำ (0-5%) ทึบแสง โดยทั่วไปไม่เป็นสีขาว แต่เนื้อมีความแข็งแกร่ง เนื้อดินปั้นนี้อาจมาจากดินธรรมชาติชนิดเดียวหรือดินผสมหิน⁽¹⁾ เนื้อดินปั้นโถ่งทำมาจากดินแดงซึ่งเป็นดินเหนียวในเขต จ.ราชบุรี ซึ่งเป็นตะกอนที่สะสมตัวโดยทางน้ำบนแผ่นดินผสมกับทรายแม่น้ำเพื่อให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและคงทนขึ้น รวมทั้งช่วยลดการหดตัวของเนื้อดิน สัดส่วนประมาณ 10 : 1 ปริมาตร จากนั้นนำมาหมักและนวดเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำไปขึ้นรูป ปัญหาที่พบ คือ ดินที่นำมาใช้มีสิ่งเจือปนอยู่มาก บางครั้งเป็นขนาดใหญ่ โดยเฉพาะหินเกร็ด ทำให้เกิดการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หรือเกิดจุดตามดก่อให้เกิดการร่วซึมในภายหลัง จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเนื้อดินปั้นใหม่ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว และให้มีสีของเนื้อดินอ่อนลง สามารถเคลือบให้มีสีสันท่าง ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพัฒนารูปแบบหลากหลายมากยิ่งขึ้น

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

2.1.1 การศึกษาสมบัติของเนื้อดินปั้นโถ่ง

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อดินปั้นโถ่ง⁽²⁾ มีดังนี้

ออกไซด์	เนื้อดินปั้นโถ่ง (เฉลี่ย) , %
SiO ₂	69.90
Al ₂ O ₃	14.37
Fe ₂ O ₃	4.64
CaO	0.41
MgO	0.48
Na ₂ O	<0.10
K ₂ O	1.73
TiO ₂	0.76

สมบัติกายภาพอื่นของเนื้อดินปั้นโถ่ง มีดังต่อไปนี้⁽²⁾

- ค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาที่ 1150° ซ. มีค่าเฉลี่ย 4.40%
- ค่าการหดตัวรวมหลังการเผาที่ 1150 °ซ. มีค่าเฉลี่ย 12%
- ค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งของเนื้อดิน (Dry strength) มีค่าเฉลี่ย 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 10.35 เมกะปาสกาล (ความชื้นแฉ่งดินประมาณ 19-20%)

2.1.2 การเตรียมเนื้อดินใหม่

เลือกดินขาวจากแหล่งต่าง ๆ 4 แหล่ง เพื่อนำไปผสมกับดินราชบุรี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความขาวขึ้น คือดินขาวลำปาง ดินขาวปราจีนบุรี (ปากพลีขาว) ดินขาวระนอง และดินขาวนราธิวาส โดยมีอัตราส่วน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : แสดงอัตราส่วนเนื้อดินทดลอง

ดินขาวราชบุรี	ดินขาว
90	10
80	20
70	30
60	40

2.1.3 การนำแร่ฟันม้ามาทดลองใช้

แร่ฟันม้าเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว ในธรรมชาติด้วยกันหลายชนิด ในการทำเนื้อดินนิยมใช้ชนิดโปแตสสปาร์ (K-feldspar) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 1150° ซ. ในสโตนแวร์นิยมใช้ใน ปริมาณ 5-20% เพื่อลดจุดสุกตัวของเนื้อดิน เพิ่มความหนาแน่นและความโปร่งแสงจากเนื้อแก้วที่เพิ่มขึ้น⁽³⁾

เลือกเนื้อดินทดลองที่เป็นดินผสมราชบุรีกับนราธิวาส มาทดลองใส่แร่ฟันม้า ทดลอง 2 สูตร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : สูตรเนื้อดินทดลองแร่ฟันม้า

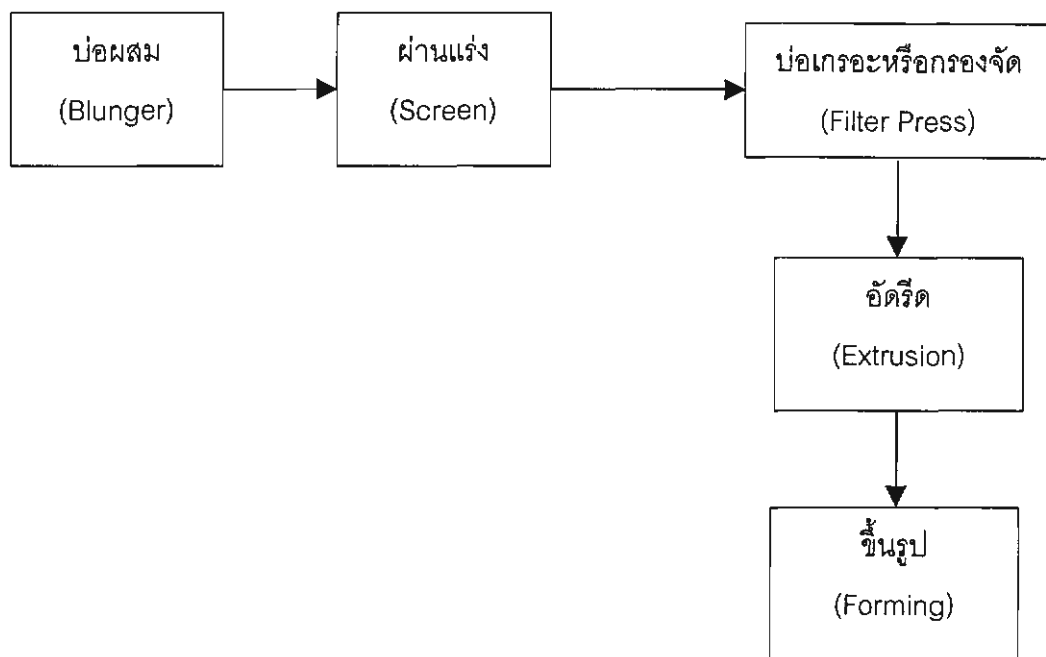
วัตถุดิบ	สูตร 1	สูตร 2
ดินราชบุรี	70	75
ดินขาวนราธิวาส	20	25
แร่ฟันม้า	10	5

2.1.4 วิธีการเตรียมเนื้อดิน มีขั้นตอนดังนี้

1. นำดินราชบุรีมาตี-ร่อน ผ่านตะแกรง 40 เมช โดยใช้เครื่อง pulverizer เพื่อแยกพวกหินเกร็ด และหินที่มีขนาดใหญ่ออก
2. ชั่งตามอัตราส่วน ตีรวมกัน
3. ใส่น้ำพอเหมาะ หมัก 1-2 วัน จากนั้นนำไปกระชอนบนแผ่นปูนพลาสติก
4. นวดให้เข้ากัน อานวดบนแผ่นปูน
5. อัดเป็นชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปอบแห้ง
6. เผาในเตา gradient แต่ละอุณหภูมิต่างกัน 20° ซ. อุณหภูมิสูงสุด 1240° ซ.
7. นำชิ้นตัวอย่างที่ได้หลังเผาไปทดสอบสมบัติกายภาพเบื้องต้น และดูสี

2.1.5 การเตรียมเนื้อดินละเอียด

เนื่องจากเนื้อดินที่เตรียมโดยวิธีข้างต้น เมื่อนำมาทดลองขึ้นรูป พบว่าขึ้นรูปได้ดีพอสมควร แต่เนื้อดินค่อนข้างหยาบ ไม่เหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร (tableware) จึงได้เปลี่ยนแนวทางการเตรียมเนื้อดินผสมเพื่อให้เนื้อดินมีความละเอียดขึ้น เรียกว่า สโตนแวร์เนื้อละเอียด (Fine stoneware) กระบวนการเตรียมเนื้อดินต้องเตรียมดินราชบุรี ซึ่งมักเป็นก้อนแข็ง ๆ นำมาย่อยด้วย Edge Runner ก่อน จากนั้นนำมาผสมกับดินขาวนราธิวาส โดยมีสัดส่วน ดินราชบุรี : ดินขาว 7:3 วิธีการผสมอาจผสมแห้งก่อนโดยใช้ Edge Runner หรือ Pulverizer ตีบดผสมหรืออาจใช้การหมัก หลังจากนั้นนำมาเข้ากระบวนการผลิตตาม แผนภาพรูปที่ 1 เนื้อดินที่ได้นำไปอัดเป็นชิ้นตัวอย่างและเผาทดสอบสมบัติ กายภาพและการเข้ากันได้กับเคลือบ



รูปที่ 1 : แสดงการเตรียมเนื้อดินละเอียด

2.1.6 การทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

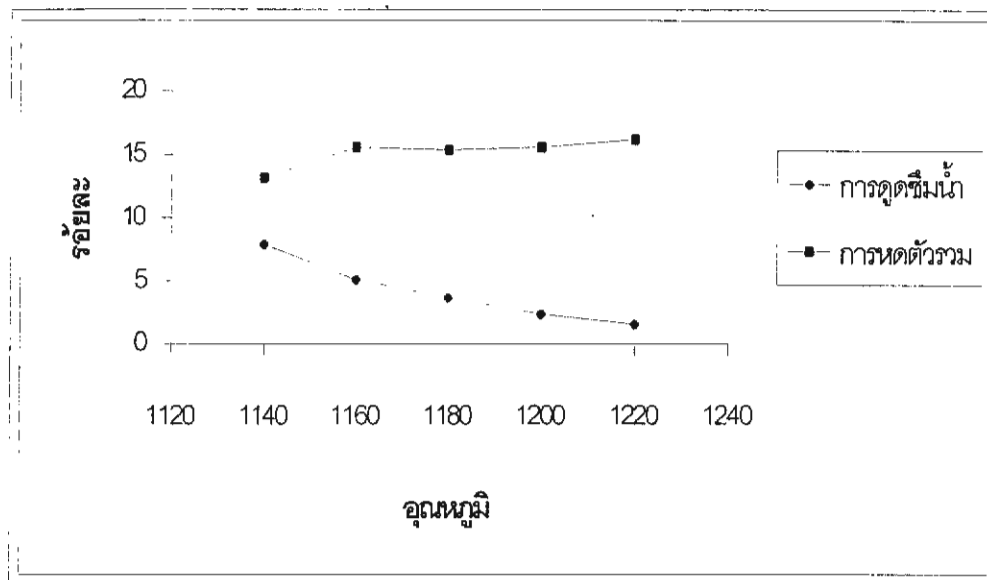
การขึ้นรูปเนื้อดินโดยอาศัยความเหนียวมีหลายแบบการเตรียมเนื้อดินหากการนวดผสมดีไม่มีฟองอากาศ เนื้อดินปั้นผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี การหกดัวเมื่อแห้งมีความสม่ำเสมอ ช่วยลดการเสียรูปทรงหรือการบิดเบี้ยวได้⁽⁴⁾ ได้ทดลองนำเนื้อดินละเอียดไปขึ้นรูปโดยปั้นหมุน เครื่องปั้นจิกเกอร์ และปั้นอิสระเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะบนโต๊ะอาหาร

2.2 ผลการทดลอง

2.2.1 ผลการเตรียมเนื้อดินใหม่ เนื้อดินผสมดินขาวลำปางจะได้เนื้อดินที่มีสีค่อนข้างแดง ดินผสมดินขาวปราจีน ๓ อุณหภูมิสูงสีจะคล้ำลง เนื่องจากเนื้อดินสุกตัวมาก กลุ่มดินขาวระนอง สีค่อนข้างขาว กลุ่มดินขาวนราธิวาส สีค่อนข้างขาวเช่นกัน

2.2.2 ผลการนำแร่พื้นมาทดสอบใช้ ได้เนื้อดินที่มีสีคล้ำ และเนื้อดินเริ่มเกิดการบวมตัว เนื่องจากการสุกตัวมากเกินไป

2.2.3 ผลการทดลองเนื้อดินละเอียด สมบัติกายภาพของเนื้อดิน แสดงดังรูปที่ 2



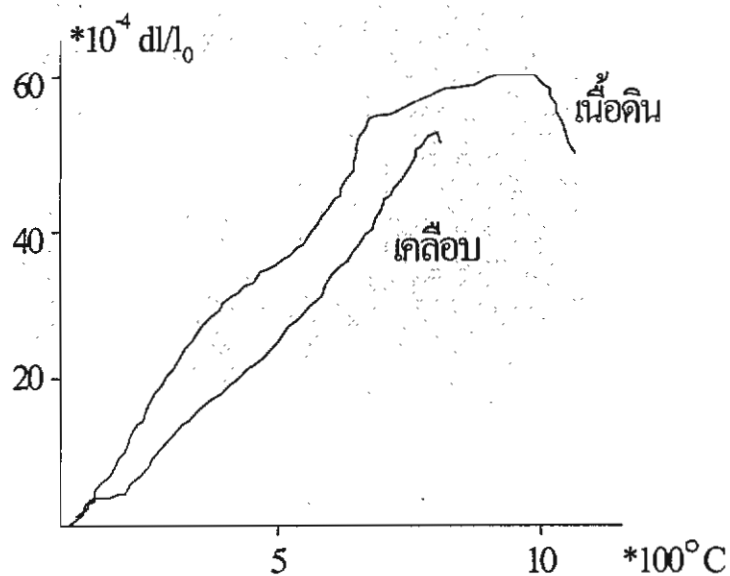
รูปที่ 2 : แสดงสมบัติกายภาพเนื้อดินเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

- การหดตัวรวมหลังเผาที่ 1180°C. = 15.36% , 1200°C. = 15.56% → ค่าการหดตัวค่อนข้างสูง เนื่องจากมีปริมาณดินอยู่มาก แต่น่าจะยังอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้
- การดูดซึมน้ำหลังเผาที่ 1180°C. = 3.67% , 1200°C. = 2.36% → เนื้อดินมีความแกร่ง ทำให้มีความแข็งแรงสูงและจัดอยู่ในกลุ่มสโตนแวร์ได้
- ค่าความแข็งแรงเนื้อดิน ค่าเฉลี่ยได้ 948 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือ 6.54 เมกะปาสกาล (ความชื้นของแห้งดินประมาณ 26%)
ความเหนียวของแห้งดินค่าเฉลี่ยของโรงงาน ประมาณ 10.35 เมกะปาสกาล ความชื้นแห้งดินประมาณ 20%
ถ้าความชื้นแห้งดินมาก หดตัวมาก และอาจนำมาซึ่งการร้าวของชิ้นงาน จึงวัดค่าความแข็งแรงเนื้อดินได้ค่อนข้างน้อย

- การเข้ากันได้กับเคลือบ ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Dilatometer วัดการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน เปรียบเทียบระหว่างเนื้อดิน N3 กับเคลือบ เบอร์ 16.40 ซึ่งมีสูตร คือ

ดินราชนบุรี	20%
เบนโตไนต์	5%
แร่ฟันม้า	20%
ฟริต XM-133	20%
หินปูน	10%
ควอร์ตซ์	20%
ลิเทียมคาร์บอเนต	2%
ทัลคัม	3%
เซอร์คอน	4%

ผลตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบ dilatometric curve ระหว่างเนื้อดินกับเคลือบ 16.40

ผลคือเข้ากันได้ดี เคลือบอยู่ในสภาวะแรงอัด (compression) คือมีการขยายตัวน้อยกว่าเนื้อดิน ซึ่งทำให้ไม่เกิดการร้าว

2.2.4 ผลการทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

เนื้อดินสามารถนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะบนโต๊ะอาหารโดยวิธีปั้นด้วยเครื่องจักรเกอร์ ปั้นอิสระ โดยการขด สาน และทำดินเป็นแผ่น นอกจากนั้นยังสามารถปั้นบนแป้นหมุนเป็น ผลิตภัณฑ์ชาม จาน และถ้วย รูปแบบต่าง ๆ



รูปภาพแสดงผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อดินปั้น

2.3 สรุปผลการทดลอง

1. ในการทดลองเบื้องต้น จากสีหลังเผาพบว่าเนื้อดินผสมดินขาวลำปางจะได้เนื้อดินที่มีสีค่อนข้างแดง ดินผสมดินขาวปราจีนบุรี แดง ค่อนข้างคล้ำลง เนื่องจากสุกตัวมากกลุ่มดินขาวระนองและดินขาวนราธิวาส สีค่อนข้างขาว
2. เนื้อดินผสมราชบุรีกับดินขาวนราธิวาส อัตราส่วน 7:3 มีสมบัติจัดเป็นสโตนแวร์เนื้อละเอียด มีความขาวเพิ่มขึ้นตามต้องการ และมีสมบัติกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี การหดตัวรวมหลังเผาที่ 1180°C = 15.36%, 1200°C = 15.56% การดูดซึมน้ำหลังเผาที่ 1180°C = 3.67%, 1200°C = 2.36% .
3. ใช้กระบวนการผลิตเนื้อดินผสมเป็นแบบ wet process ได้ yield ประมาณ 60-70%
4. ขึ้นรูปได้ดีในวิธีการต่าง ๆ แต่ ณ ขณะนี้ยังต้องศึกษาเพิ่มเติมเมื่อต้องการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

1. สุทธิชัย ทีปประสาน, "กระบวนการผลิตเซรามิก", วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 47 ฉบับที่ 151 กันยายน 2542, หน้า 36.
2. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม, กรมทรัพยากรธรณี, "เนื้อดินปั้น จากโรงงานโถ่งมังกรราชบุรี", ธันวาคม 2540, หน้า 169-171.
3. สุพัตรา จินาวัฒน์, "Raw Material", เอกสารประกอบการอบรมเชิงวิชาการ, เซรามิกเบื้องต้น, ภาควิชาวัสดุศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดวันที่ 17-19 กุมภาพันธ์ 2540, หน้า 14-15.
4. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม, กรมทรัพยากรธรณี, "คุณสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ทำโถ่งราชบุรี", กุมภาพันธ์ 2540, หน้า 142.
5. สุมาลี ลิขิตวนิชกุล, "ความรู้พื้นฐานการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากดินที่มีความเหนียว", เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ, ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก จัดวันที่ 21-22 ตุลาคม 2542.

3. การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

การหล่อเป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกวิธีหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทของที่ระลึกของชำร่วย ของใช้ ของประดับตกแต่ง ฯลฯ วิธีหล่อมีข้อดีคือ สามารถทำผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนและมีรายละเอียดได้ดี สามารถทำผลิตภัณฑ์ซ้ำ ๆ กันได้ จำนวนมากโดยใช้เพียงแรงงานฝีมือธรรมดา การศึกษาวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อ ได้ทำการศึกษาวิจัยเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ได้ศึกษาทดลองเตรียมเนื้อดินหล่อ โดยใช้ดินขาวด้านทับตะโก ซึ่งเป็นแหล่งดินที่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้กันในงานเครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี และดินเหนียวแหล่งสมณะที่ใช้ทำโอ่ง มาทำเป็นเนื้อดินสำหรับใช้หล่อผลิตภัณฑ์และตอนที่ 2 ได้ศึกษาทดลองเตรียมเนื้อดินหล่อจากดินเหนียวแหล่งสมณะ และวัตถุดิบมาตรฐานที่สามารถหาซื้อได้ง่าย เช่น แร่ฟันม้า ดินขาวนาทิวาส และดินขาวระนอง การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินให้ขึ้นรูปได้โดยวิธีการหล่อ ทำให้สามารถพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของจังหวัดราชบุรีได้ หลากหลายมากยิ่งขึ้น

3.1 การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อจากดินขาวด้านทับตะโกและดินเหนียวสมณะ

3.1.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1.1 การศึกษาสมบัติของดินขาวและดินเหนียว

ก. ผลวิเคราะห์หยาบแร่

- ดินขาว ประกอบด้วย แร่เคโอลินไนต์, ควอร์ตซ์ และไมกา
- ดินเหนียว ประกอบด้วย แร่เคโอลินไนต์ ควอร์ตซ์ และอิลไลต์

ข. ผลวิเคราะห์เคมีของดินขาวและดินเหนียว แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลวิเคราะห์เคมีของดินขาวและดินเหนียว

	LOI %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
ดินขาว	3.5	71.0	16.6	1.7	0.9	0.3	0.9	0.1	4.7
ดินเหนียว	8.0	64.1	19.6	4.8	1.1	0.5	0.4	0.1	1.0

ค. % การกระจายความละเอียดของดินขาวและดินเหนียวแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดง % การกระจายความละเอียดของดินขาวและดินเหนียว

	-40 μm	-20 μm	-10 μm	- 5 μm	- 2 μm
ดินขาว	99.5	90.7	75.8	64.9	44.0
ดินเหนียว	98.8	95.3	84.0	70.5	57.2

ง. สมบัติกายภาพของดินขาวและดินเหนียว แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติกายภาพของดินขาวและดินเหนียว

	ดินขาว		ดินเหนียว	
	1150 $^{\circ}\text{ซ.}$	1200 $^{\circ}\text{ซ.}$	1150 $^{\circ}\text{ซ.}$	1200 $^{\circ}\text{ซ.}$
สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาลคล้ำ	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดงคล้ำ
การหดตัว, ร้อยละ	11.95	12.05	12.74	13.26
การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.42	0.18	3.68	3.45

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าดินขาวด้านทับตะโกเป็นดินเคโอลินที่มีความเหนียวน้อยเมื่อเผาแล้ว มีสีน้ำตาล มีความทนไฟต่ำ คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 1150 $^{\circ}\text{ซ.}$ มีการดูดซึมน้ำต่ำเข้าใกล้ศูนย์ เหมาะที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์เนื้อสโตนแวร์ชนิดเคลือบและไม่เคลือบด้วยวิธีการหล่อ

3.1.1.2 การเตรียมน้ำดิน

ในการทดลองได้ใช้ดินขาวด้านทับตะโก เตรียมเป็นน้ำดิน 100% และใช้ดินเหนียวผสมด้วยในปริมาณ 20 และ 40% ทดลองหาปริมาณน้ำและสารช่วยกระจายลอยตัว (Na_2SiO_3) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำดินที่มีสมบัติ คือ มีการไหลตัวดี ไม่ตกตะกอนเร็ว หล่อได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอและใช้เวลาหล่อน้อย ได้สูตรดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงสูตรเนื้อดิน

	NWR 1	NWR 3	NWR 5
ดินขาว, %	100	80	60
ดินเหนียว, %	-	20	40
น้ำ, %	30	40	45
Na_2SiO_3 , %	0.13	0.22	0.63

บดในหม้อบดเป็นเวลา 8 ชม. แล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 วันก่อนนำมาใช้งาน

3.1.1.3 การทดสอบสมบัติของน้ำดิน

นำน้ำดินมาวัดค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด อัตราการหล่อแบบ และปริมาณน้ำของที่หล่อ

3.1.1.4 การทดสอบสมบัติกายภาพ

นำน้ำดินมาหล่อเป็นแท่งทดสอบ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180°C. เพื่อทดสอบค่าการหดตัว การดูดซึมน้ำและค่าความแข็งแรง

3.1.1.5 การทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

ก. การหล่อ

- เทน้ำดินลงในแบบปูนปลาสเตอร์ให้เต็ม คอยเติมน้ำดินให้เต็มอยู่เสมอ ทิ้งไว้จนได้ความหนาของชั้นดินตามต้องการ จึงเทน้ำดินที่เหลือออก
- ทิ้งให้ชิ้นงานในแบบปูนค่อย ๆ แห้งและร้อนออกจากแบบ จึงแกะชิ้นงานออกจากแบบ
- นำมาตกแต่งให้เรียบร้อย แล้วนำไปเคลือบหรือเผาที่อุณหภูมิ 750°C. แล้วจึงนำไปเคลือบ

ข. การเคลือบ

เคลือบที่นำมาทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์หล่อ มีสูตรดังนี้

แร่ฟันม้า	41.11 %
หินปูน	18.48 %
ซิงค์ออกไซด์	9.02 %
ดินขาว	4.77 %
ควอร์ตซ์	26.63 %
เบนโตไนต์	5 %

บดส่วนผสมในหม้อบดเป็นเวลา 6 ชม.

ในกรณีต้องการเคลือบทึบให้เต็มเซอร์โคเนียมซิลิเกต 8%

ในกรณีต้องการเคลือบสีต่าง ๆ ให้ใส่สีส้ตะเอนหรือออกไซด์ เช่น Co_3O_4 , Fe_2O_3 และ CuO เป็นต้น การเคลือบอาจใช้วิธีจุ่มหรือพ่น แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180°C.

3.1.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1.2.1 ผลการทดสอบสมบัติของน้ำดินแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติของน้ำดิน

รายการ	NWR1	NWR3	NWR5
ความถ่วงจำเพาะ	1.71	1.54	1.38
ความหนืด, เซนติพอยส์	104	411	1310
อัตราการหล่อแบบ, มม./ 20 นาที	7.3	5.9	3.3
ปริมาณน้ำของที่หล่อ, ร้อยละ	20.3	21.4	27.6

เนื้อดินที่มีปริมาณดินเหนียวมากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง เนื่องจากดินเหนียวเป็นดินที่มีความละเอียดสูงต้องใช้ปริมาณน้ำมากในการเตรียมน้ำดินและให้อัตราการหล่อแบบช้า นอกจากนั้นแล้วปริมาณน้ำของที่หล่อก็จะสูงด้วย

3.1.2.2 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพ แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงสมบัติกายภาพ

รายการ	NWR1	NWR3	NWR5
สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาลแดง	น้ำตาลแดง
ความแข็งแรงก่อนเผา, เมกะพาสคัล	0.36	1.11	1.95
การหดตัว, ร้อยละ	13.58	14.59	14.87
การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.31	0.76	0.94
ความแข็งแรง, เมกะพาสคัล	7.60	5.11	3.96

เนื้อดินทุกตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำเข้าใกล้ศูนย์ที่อุณหภูมิ 1180^oซ. แสดงว่าเนื้อดินสุกตัวแล้ว เนื้อดินที่มีดินเหนียวผสม จะมีค่าความแข็งแรงก่อนเผาเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเหนียวเพิ่มขึ้น และมีสีหลังเผาเป็นสีน้ำตาลแดง ค่าการหดตัวและการดูดซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าความแข็งแรงหลังเผาจะลดลง

3.1.2.3 ผลการทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

เนื้อดินทั้ง 3 สูตร สามารถนำมาหล่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ได้ โดยสูตร NWR1 จะใช้เวลาในการหล่อน้อยที่สุด ชิ้นงานที่หล่อได้จะแห้งและตากแห้งได้เร็ว ส่วนเนื้อดินสูตร NWR3 และ NWR 5 ใช้เวลาในการหล่อมามากขึ้น ชิ้นงานที่หล่อได้แห้งช้าแต่มีความแข็งแรงกว่า ตากแห้งได้ง่าย เมื่อนำมาเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1180°C จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแกร่ง เคลือบสีสวยงาม แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อดินหล่อ

3.1.3 สรุปผลการทดลอง

ดินขาวดานทับตะโกสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสโตนแวร์สีน้ำตาลด้วยวิธีการหล่อเผาหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1180°C จะเคลือบหรือไม่เคลือบก็ได้ การผสมดินเหนียวลงไปจะช่วยให้ชิ้นงานหลอมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถลดการแตกเสียหายขณะตากแห้งได้ และทำให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีสีน้ำตาลแดงสวยงาม นอกจากนั้นยังช่วยลดต้นทุนของวัตถุดิบอีกด้วย

3.2 การวิจัยและพัฒนาเนื้อดินหล่อจากดินเหนียวสมถะและวัตถุดิบมาตรฐาน ได้แก่ ดินขาวนราธิวาส ดินขาวระนอง และแร่ฟันม้า

3.2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1.1 การศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

ก. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

รายการ วัตถุดิบ	LOI (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
ดินขาวนราธิวาส	12.80	47.5	36.7	1.01	0.11	0.08	1.34	0.07
ดินขาวระนอง	12.20	47.6	36.6	1.22	0.11	0.10	1.92	0.15
ดินเหนียวราชบุรี	8.0	64.0	19.6	4.8	0.5	0.4	0.1	1.0
แร่ฟันม้า	0.36	66.7	17.2	0.17	0.19	-	11.80	3.8

ข. % การกระจายความละเอียดของวัตถุดิบ แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดง % การกระจายของวัตถุดิบความละเอียดของวัตถุดิบ

ความละเอียด วัตถุดิบ	<20µm	<10µm	<5µm	<2µm	<1µm	<0.5µm
ดินขาวนราธิวาส	98.0	93.0	83.0	60.0	43.0	27.0
ดินขาวระนอง	95.0	73.0	46.0	26.0	20.0	16.0
ดินเหนียวราชบุรี	95.3	84.0	70.5	57.2	55.0	50.4
แร่ฟันม้า	73.0	51.0	33.0	18.0	11.0	7.0

ค. สมบัติกายภาพของดินขาวนราธิวาสและดินขาวระนองแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงสมบัติกายภาพของดินขาวนราธิวาส และดินขาวระนอง

รายการ วัตถุดิบ	การหดตัว, %		การดูดซึมน้ำ, %	
	1150°ซ	1220°ซ	1150°ซ	1220°ซ
ดินขาวนราธิวาส	6.8	9.7	17.9	12.7
ดินขาวระนอง	7.5	9.6	15.9	12.1

3.2.1.2 การเตรียมเนื้อดินหล่อ

ได้ทดลองเตรียมเนื้อดินหล่อจากส่วนผสมของดินเหนียวราชบุรี ดินขาวนราธิวาส ดินขาวระนองและแร่ฟันม้า มีสูตรดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สูตรเนื้อดินหล่อ

วัตถุดิบ สูตร	ดินเหนียวราชบุรี (%)	ดินขาวนราธิวาส (%)	ดินขาวระนอง (%)	แร่ฟันม้า (%)
RN 1	30	40	-	30
RN 2	40	40	-	20
RN 3	50	30	-	20
RN 4	50	20	-	30
RR 1	30	-	40	30
RR 2	40	-	40	20
RR 3	50	-	30	20
RR 4	50	-	20	30

บดวัตถุดิบในหม้อบดเป็นเวลา 8 ชม. โดยใส่น้ำ 50% และสารช่วยกระจายลอยตัว (Na_2SiO_3) 0.6 % เพื่อให้ได้น้ำดินที่มีสมบัติดี คือ มีการไหลตัวดี ไม่ตกตะกอนเร็ว หล่อได้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่นสม่ำเสมอและใช้เวลาหล่อน้อย ร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 วัน ก่อนนำไปใช้งาน

3.2.1.3 การทดสอบสมบัติกายภาพ

นำน้ำดินมาหล่อเป็นแท่งทดสอบแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1160°, 1180° และ 1200° ซ. เพื่อทดสอบค่าการหดตัว และการดูดซึมน้ำ

3.2.1.4 การทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

ก. การหล่อ

- เทน้ำดินลงในแบบปูนปลาสเตอร์ให้เต็ม คอยเติมน้ำดินให้เต็มอยู่เสมอ ทิ้งไว้จนได้ความหนาของชั้นดินตามต้องการ จึงเทน้ำดินที่เหลือออก
- ทิ้งให้ชั้นงานในแบบค่อย ๆ แห้ง และล่อนออกจากแบบจึงแกะชั้นงานออกจากแบบ
- นำมาตากแห้งให้เรียบร้อย แล้วนำไปเคลือบหรือเผาที่อุณหภูมิ 750° ซ. ก่อนนำไปเคลือบ

ข. การเคลือบ

เคลือบที่นำมาทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์หล่อ มีสูตรดังนี้

แร่ฟันม้า	41.11 %
หินปูน	18.48 %
ซิงค์ออกไซด์	9.02 %
ดินขาว	4.77 %
ควอร์ตซ์	26.63 %
เบนโตไนต์	5 %

บดส่วนผสมในหม้อบดเป็นเวลา 6 ชม.

ถ้าต้องการเคลือบที่บดเต็มเซอร์โคเนียมซิลิเกต 8 % ลงในสูตร

ถ้าต้องการเคลือบสีต่าง ๆ ให้ใส่สีส้เตน หรือ ออกไซด์ เช่น Co_3O_4 , Fe_2O_3 และ CuO

การเคลือบอาจใช้วิธีจุ่มหรือพ่น แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180° ซ

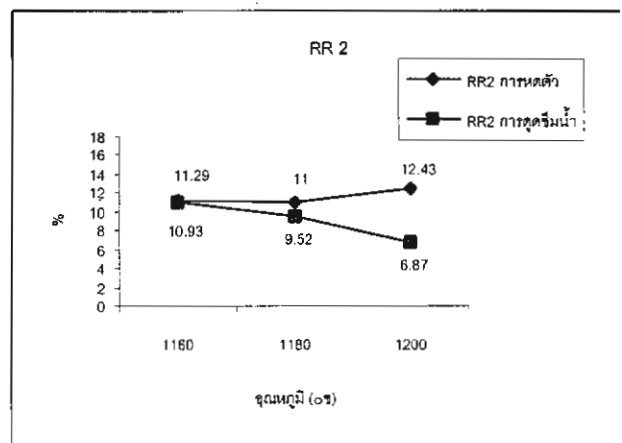
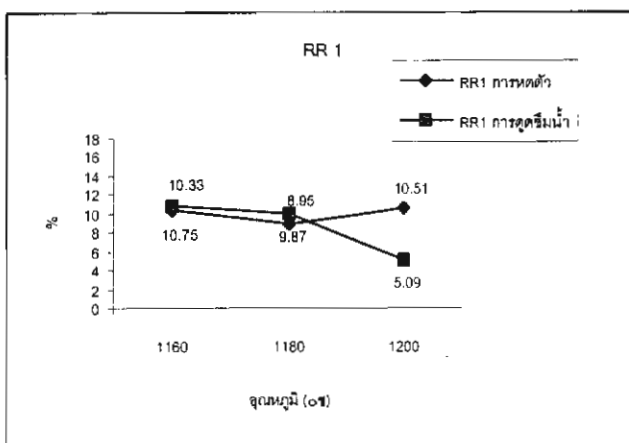
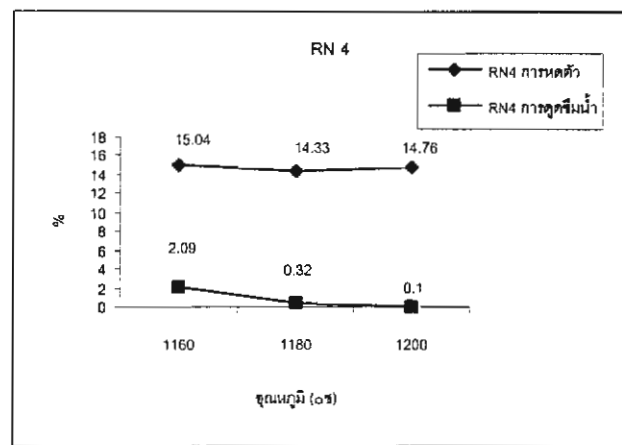
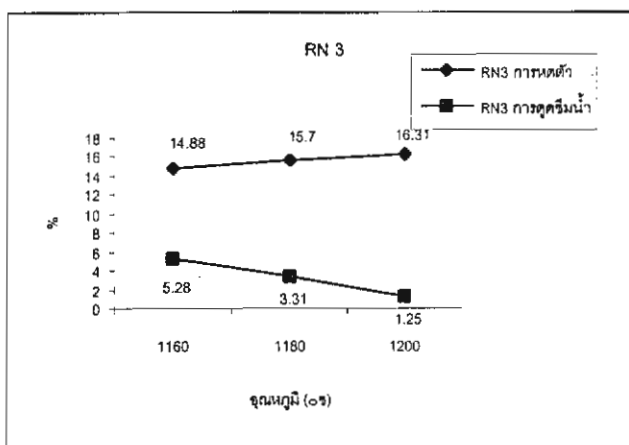
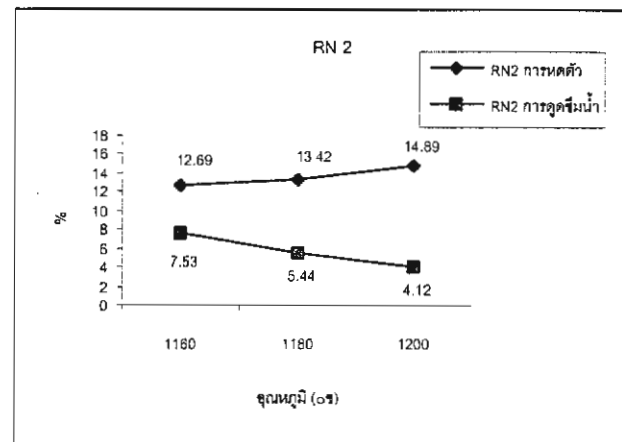
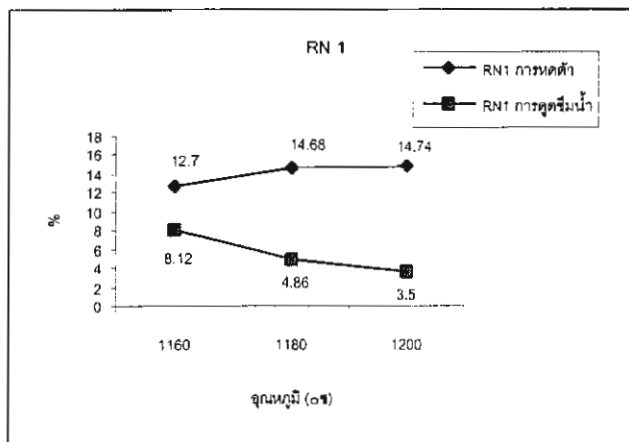
3.2.2 ผลการทดลอง

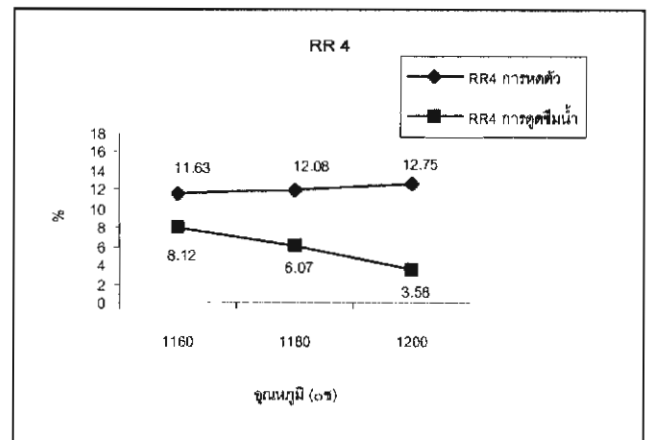
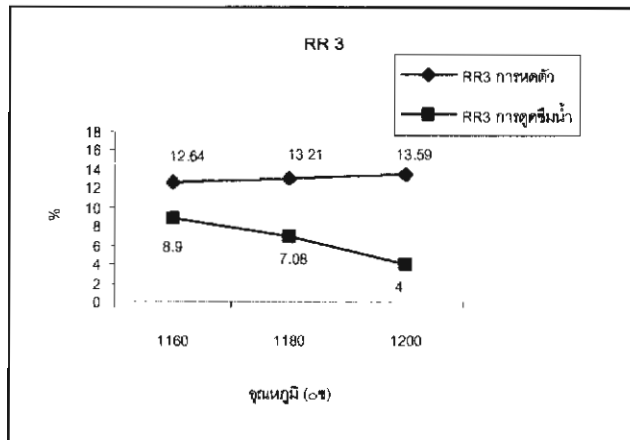
3.2.2.1 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพของเนื้อดิน RN1 - 4 และ RR1 - 4 แสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 2

ตารางที่ 11 แสดงสมบัติกายภาพของเนื้อดิน RN1-4 และ RR1-4

ตัวอย่าง	รายการ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
		1160	1180	1200
RN1	สีหลังเผา	เนื้อ	เนื้อ	เนื้อ
	การหดตัว %	12.70	14.68	14.74
	การดูดซึมน้ำ	8.12	4.86	3.50
RN2	สีหลังเผา	เนื้อ	เนื้อ	เนื้อ
	การหดตัว %	12.69	13.42	14.89
	การดูดซึมน้ำ	7.53	5.44	4.12
RN3	สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล
	การหดตัว %	14.88	15.70	16.31
	การดูดซึมน้ำ	5.28	3.31	1.25
RN4	สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล
	การหดตัว %	15.04	14.33	14.76
	การดูดซึมน้ำ	2.09	0.32	0.10
RR1	สีหลังเผา	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน
	การหดตัว %	10.33	8.95	10.51
	การดูดซึมน้ำ	10.75	9.87	5.09
RR2	สีหลังเผา	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน
	การหดตัว %	11.29	11.00	12.43
	การดูดซึมน้ำ	10.93	9.52	6.87
RR3	สีหลังเผา	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน
	การหดตัว %	12.64	13.21	13.59
	การดูดซึมน้ำ	8.90	7.08	4.00
RR4	สีหลังเผา	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาล
	การหดตัว %	11.63	12.08	12.75
	การดูดซึมน้ำ	8.12	6.07	3.58

ภาพที่ 2 แสดงสมบัติกายภาพของเนื้อดิน RN1-4 และ RR1-4

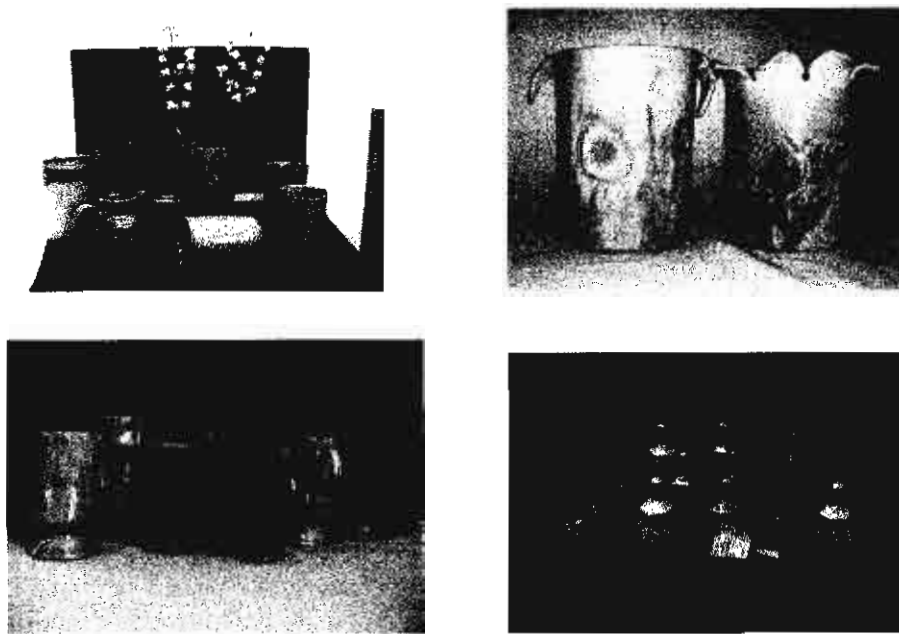




จากผลการทดสอบสมบัติกายภาพพบว่าเนื้อดินสูตร RN 1-4, และ RR1-4 มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และเนื้อดินสูตร RN 4 มีค่าดูดซึมน้ำเข้าใกล้ศูนย์ที่อุณหภูมิ 1180° ซ. แสดงว่าเนื้อดินมีการหลอมตัวแล้ว ส่วนเนื้อดิน RN3 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 5 % ที่อุณหภูมิ 1180° ซ. จึงได้ใช้เนื้อดินสูตร RN 3 และ RN 4 มาทดลองหล่อเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสโตนแวร์

3.2.2.2 ผลการทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์

เนื้อดินทั้ง 2 สูตร สามารถนำมาหล่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ เช่น ขອງที่ระลึก ของใช้ ได้ง่ายเมื่อนำไปเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1180° ซ. จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแกร่ง เคลือบสีสวยงาม แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงผลิตภัณฑ์ใหม่จากเนื้อดินหล่อ

3.2.3 สรุปผลการทดลอง

ดินเหนียวราชบุรีแหล่งสมณะ สามารถนำมาทำเป็นเนื้อดินหล่อได้โดยการผสมกับดินขาว นราธิวาสและแร่ฟันม้า เนื้อดินหล่อดังกล่าวมีคุณสมบัติ สามารถนำมาหล่อเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบ ต่าง ๆ ได้ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1180°C จะได้ผลิตภัณฑ์เนื้อสโตนแวร์สีน้ำตาล ซึ่งสามารถนำมาตกแต่งด้วยเคลือบหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นเคลือบใส เคลือบทึบ หรือเคลือบด้าน ทำให้ผลิตภัณฑ์ราชบุรีมีความหลากหลาย

การนำดินเหนียวราชบุรี แหล่งสมณะซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกมาใช้ประโยชน์ทำ ผลิตภัณฑ์ใหม่ได้และยังช่วยลดต้นทุนของเนื้อดินหล่อ ลงได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. วรณา ต.แสงจันทร์, "การหล่อดินราชบุรี", เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง เครื่องปั้นดินเผาราชบุรีปี 2000, กรมวิทยาศาสตร์บริการ 17 ธันวาคม 2542.
2. ลดา พันธุ์สุขุมธนา และวรณา ต.แสงจันทร์, "การหล่อน้ำดิน", เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ, ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ 21-22 ตุลาคม 2542.
3. ดนัย ตระยะพงษ์, "ทฤษฎีของน้ำดินและกระบวนการหล่อแบบ", การฝึกอบรมเซรามิก ณ ห้อง 305 อาคารศศปารศาลา สถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 27 สิงหาคม 2540.
4. F.H. Norton, Fine Ceramics Technology and Application, McGraw-Hill Book Company, 1970.

3.4 การวิจัยและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

การวิจัยและพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

วรรณา ต.แสงจันทร์

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี ได้แก่ผลิตภัณฑ์ประเภทโอ่งมังกร อ่างบัว กระถาง และไห ชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำมาจากดินเหนียวราชบุรี และเคลือบด้วยเคลือบซีเก้ดำ โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี ได้พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ให้มีรูปแบบแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์เดิมที่โรงงานทำการผลิตอยู่ และพัฒนาเนื้อดินใหม่ โดยการปรับส่วนผสม เพื่อปรับสีและสมบัติของเนื้อดินใหม่ให้สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น ๆ ได้นอกจากการปั้นบนแป้นหมุนซึ่งเป็นวิธีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตผลิตภัณฑ์ราชบุรี ให้มีเทคโนโลยีที่ครอบคลุมรูปแบบอื่นที่ไม่อาจผลิตได้ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบเชิงอนุรักษ์ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อให้มีสมบัติเข้ากันได้กับเนื้อดินใหม่

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จ.ราชบุรี เผาที่อุณหภูมิประมาณ 1180°C . ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ทั้งชนิดซิงค์ออกไซด์และไม่มีซิงค์ออกไซด์ ให้ได้เคลือบสี หลอมตัวดี และมันวาวที่อุณหภูมิ 1180°C . และนำไปพัฒนาเป็นเคลือบสีและเคลือบทึบ เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้เคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์และไม่มีซิงค์ออกไซด์ หลอมตัวดีและมันวาว ที่อุณหภูมิ 1180°C . สามารถใช้ได้กับเนื้อดินใหม่ สำหรับผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ในเบื้องต้นได้ทำการวิจัยและพัฒนาเคลือบสีพื้นฐาน เพื่อให้ได้เคลือบสี มีลักษณะมันวาว หลอมตัวดีที่อุณหภูมิ 1180°C . และนำเคลือบไปทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ จากนั้นจึงนำเคลือบสีที่ได้ไปพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ โดยใส่ออกไซด์ให้สีหรือสีสำเร็จรูปเซรามิกและเคลือบหีบโดยใส่ตัวทำหีบ

2.1 การทดลองเคลือบสีพื้นฐาน

ได้ทำการทดลองเคลือบสีพื้นฐานจากสูตรเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์และไม่มีซิงค์ออกไซด์ โดยเริ่มจากสูตรเอมไพริคัลของเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์ 2 กลุ่ม และไม่มีซิงค์ออกไซด์ 3 กลุ่ม มีสูตรเคลือบดังนี้

สูตรเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์

0.2 KNaO

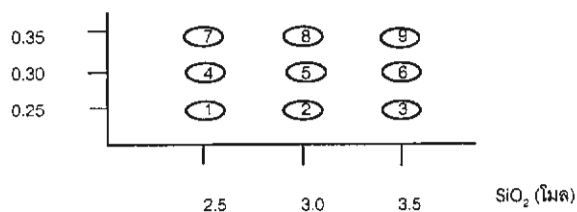
0.5 CaO

0.25 – 0.35 Al_2O_3

2.5 – 3.5 SiO_2

0.3 ZnO

Al_2O_3 (โมล)



0.2 KNaO

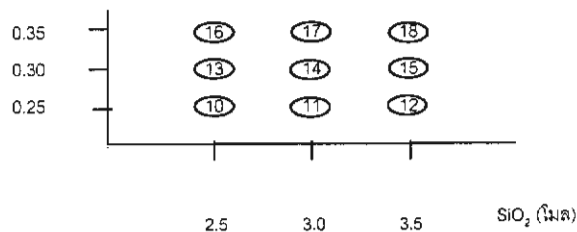
0.4 CaO

0.25 – 0.35 Al_2O_3

2.5 – 3.5 SiO_2

0.4 ZnO

Al_2O_3 (โมล)



คำนวณเป็นสูตรวัตถุดิบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรวัตถุดิบของเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์

วัตถุดิบ หมายเลข	แร่ฟันม้า	หินปูน	ซิงค์ออกไซด์	ดินขาว	ควอร์ตซ์
1	41.11	18.48	9.02	4.77	26.63
2	37.01	16.63	8.12	4.29	33.95
3	33.65	15.12	7.38	3.90	39.95
4	40.09	18.02	8.79	9.29	23.80
5	36.18	16.26	7.93	8.39	31.24
6	32.96	14.81	7.23	7.64	37.36
7	39.12	17.58	8.58	13.60	21.11
8	35.39	15.90	7.76	12.30	28.65
9	32.30	14.52	7.08	11.23	34.87
10	41.40	14.89	12.10	4.80	26.81
11	37.24	13.39	10.89	4.32	34.16
12	33.84	12.17	9.89	3.92	40.18
13	40.37	14.51	11.80	9.36	23.96
14	36.40	13.09	10.64	8.44	31.43
15	33.14	11.92	9.69	7.68	37.56
16	39.38	14.16	11.51	13.69	21.25
17	35.60	12.80	10.41	12.38	28.82
18	32.48	11.68	9.50	11.29	35.06

สูตรเคลือบชนิดไม่มีซิงค์ออกไซด์

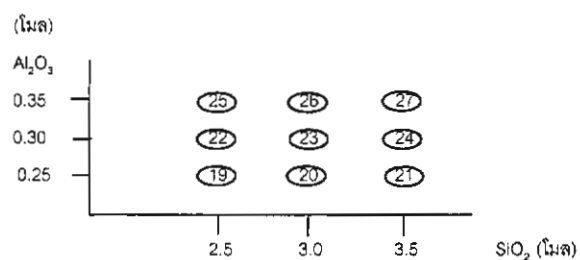
0.2 KNaO

0.5 CaO

0.25 – 0.35 Al_2O_3

2.5 – 3.5 SiO_2

0.3 MgO



0.2 KNaO

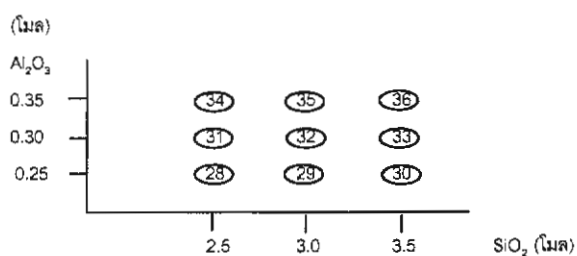
0.5 CaO

0.25 – 0.35 Al_2O_3

2.5 – 3.5 SiO_2

0.1 BaO

0.2 MgO



0.2 KNaO

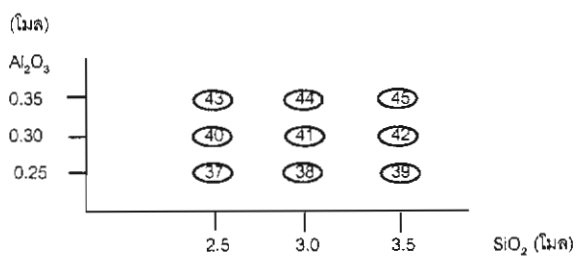
0.5 CaO

0.25 – 0.35 Al_2O_3

2.5 – 3.5 SiO_2

0.2 BaO

0.1 MgO



คำนวณเป็นสูตรวัตถุดิบได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรวัตถุดิบของเคลือบชนิดไม่มีซิงค์ออกไซด์

วัตถุดิบ หมายเลข	แร่ฟันม้า	หินปูน	แบเรียม คาร์บอเนต	ทัลก์	ดินขาว	ควอร์ตซ์
19	42.78	19.22	-	14.57	4.96	18.47
20	38.35	17.24	-	13.06	4.44	26.91
21	34.75	15.62	-	11.84	4.03	33.76
22	41.68	18.73	-	14.19	9.66	15.74
23	37.46	16.84	-	12.79	8.68	24.26
24	34.02	15.29	-	11.59	7.88	31.22
25	40.63	18.26	-	13.83	14.12	13.16
26	36.61	16.46	-	12.47	12.72	21.74
27	33.32	14.98	-	11.35	11.58	28.77
28	40.44	18.18	7.17	9.23	4.69	20.30
29	36.46	16.39	6.46	8.32	4.23	28.14
30	33.20	14.92	5.88	7.57	3.85	34.58
31	39.45	17.73	6.99	9.00	9.14	17.67
32	35.66	16.03	6.32	8.14	8.26	25.59
33	35.32	15.87	6.26	8.06	8.19	26.30
34	38.51	17.31	6.83	8.79	13.39	15.17
35	34.89	15.68	6.18	7.96	12.13	23.16
36	31.89	14.33	5.65	7.28	11.09	29.77
37	38.35	17.23	13.60	4.44	4.45	21.94
38	34.75	15.62	12.62	4.02	4.03	29.26
39	31.77	14.28	11.26	3.68	3.68	35.32
40	37.46	16.84	13.28	4.34	8.68	19.41
41	34.02	15.29	12.06	3.94	7.88	26.81
42	31.16	14.00	11.05	3.61	7.22	32.96
43	36.61	16.45	12.98	4.24	12.73	16.99
44	33.32	14.95	11.81	3.86	11.58	24.46
45	30.57	13.74	10.84	3.54	10.63	30.69

จากการทดสอบกับชั้นทดลองซึ่งเป็นเนื้อดินใหม่ (NWR 3, N3 และ RT) ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 750° ซ. พบว่าสูตรเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์หมายเลข 1 มีการหลอมตัวและมันวาวดี ที่อุณหภูมิ 1180° ซ. ส่วนเคลือบชนิดไม่มีซิงค์ออกไซด์ หมายเลข 44 มีการหลอมตัวดี แต่ยังไม่มันวาวมากนักจึงได้นำมาปรับความมันวาวเพิ่มขึ้น โดยใส่ฟrit (xm-133) ลงไป 10% เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1180° ซ. ได้เคลือบที่มีการหลอมตัวดีและมันวาวจึงได้นำไปทดสอบว่าเข้ากันได้กับเนื้อดินหรือไม่

2.2 ทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ

นำชิ้นงานมาทดสอบการรานตัวภายใต้ความดันของไอน้ำและวัดการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินกับเคลือบเปรียบเทียบกัน ซึ่งเคลือบจะต้องมีการขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดินจึงจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์และไม่ทำให้เคลือบเกิดการรานตัว

2.3 การพัฒนาสูตรเคลือบสีให้เป็นเคลือบสีต่าง ๆ

ได้นำสูตรเคลือบพื้นฐานหมายเลข 1 และหมายเลข 44 มาพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ โดยใส่ออกไซด์ให้สี เช่น โคบอลต์ออกไซด์ ร้อยละ 0.25-5 คอปเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 1-5 และเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 4-12 หรือใส่สีสำเร็จรูปเซรามิก ในปริมาณต่าง ๆ หรืออาจนำออกไซด์ หรือสีสำเร็จรูปเซรามิกมากกว่า 1 สี มาผสมกันเพื่อให้เกิดสีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณของโคบอลต์, คอปเปอร์และเหล็กออกไซด์ ในการเตรียมเคลือบสีต่าง ๆ

จุด	โคบอลต์ออกไซด์	คอปเปอร์คาร์บอนเนต	เหล็กออกไซด์
1.	-	3	-
2.	0.33	2	-
3.	-	2	2
4.	0.66	1	-
5.	0.33	1	2
6.	-	1	4
7.	1.0	-	-
8.	0.66	-	2
9.	0.33	-	4
10.	-	-	6

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณของสีสำเร็จรูปเซรามิก สีฟ้า, เหลืองและแดง ในการเตรียมเคลือบสีต่าง ๆ

จุด	สีฟ้า	สีเหลือง	สีแดง
1.	6	-	-
2.	4	2	-
3.	4	-	2
4.	2	4	-
5.	2	2	2
6.	2	-	4
7.	-	6	-
8.	-	4	2
9.	-	2	4
10.	-	-	6

2.4 การพัฒนาสูตรเคลือบสีให้เป็นเคลือบทึบ

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ราชบุรีมีสีน้ำตาล ในกรณีที่ต้องการปิดบังสีของเนื้อดิน จะต้องใช้เคลือบทึบ โดยนำเคลือบสีหรือเคลือบสีมาใส่ตัวทำทึบ เช่น เซอร์โคเนียมซิลิเกต 8% หรือทินออกไซด์ 5% หรือทิเทเนียม ไดออกไซด์ 6% หรือถ้ำกระดุก 6%

2.5 วิธีการทดลองเคลือบ เตรียมเคลือบตัวอย่างละ 100 กรัม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งวัตถุดิบ
2. บดเปียกในหม้อบดความเร็วสูง โดยใช้ น้ำ : วัตถุดิบ 1:1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที
3. เคลือบบนชิ้นทดลองที่เผาที่อุณหภูมิ 750 °ซ.
4. นำชิ้นทดลองไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1180° ซ. โดยมีอัตราเร่ง 200° ซ. ต่อชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 30 นาที

2.6 การทดลองนำเคลือบไปใช้กับผลิตภัณฑ์

โดยเตรียมเคลือบสีและสีต่าง ๆ ตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม ทดลองเคลือบกับผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ ที่ใช้เนื้อดินใหม่และเนื้อดินที่มีการปรับกระบวนการเตรียม เช่น ผลิตภัณฑ์ชุดอาหาร กระถาง, แจกัน รูปแบบต่าง ๆ และของที่ระลึก ที่ผ่านการเผาดิบแล้ว นำไปเผาในเตาไฟฟ้าและเตาแก๊สที่อุณหภูมิ 1180° ซ.

3. ผลการศึกษาวิจัย

3.1 ผลการทดลองเคลือบสีพื้นฐาน

ผลการทดลองเคลือบสีชนิดมีซิงค์ออกไซด์และไม่มีซิงค์ออกไซด์ แสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเคลือบสีชนิดมีซิงค์ออกไซด์

หมายเลข	ลักษณะทั่วไป		
1.	ใส	มันวาวมาก	หลออมตัวดี
2.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
3.	ใส	ด้าน	หลออมตัว
4.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
5.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
6.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
7.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
8.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
9.	ใส	มันวาว	หลออมตัว
10.	ใส	มันวาว	หลออมตัว
11.	ใส	มันวาว	หลออมตัว
12.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัวเล็กน้อย
13.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
14.	ใส	มันวาว	หลออมตัว
15.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
16.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัว
17.	ใส	มันวาว	หลออมตัว
18.	ใส	มันวาว	หลออมตัว

ตารางที่ 6 ผลการทดลองเคลือบโชนิตไม่มีซิงค์ออกไซด์

หมายเลข	ลักษณะทั่วไป		
19.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
20.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
21.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
22.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
23.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
24.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
25.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
26.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัว
27.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
28.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
29.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
30.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
31.	สีขาว	ด้าน	หลออมตัว
32.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
33.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
34.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
35.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
36.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
37.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
38.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
39.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
40.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
41.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
42.	สีขาว	มัน	หลออมตัวดี
43.	สีขาว	กึ่งด้าน	หลออมตัวดี
44.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี
45.	ใส	มันวาว	หลออมตัวดี

เคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์ หมายเลข 1 ได้เคลือบมีลักษณะใส มันวาวมาก หลอมตัวดี เนื่องจากสูตรเคลือบมีปริมาณของอะลูมินาและซิลิกาต่ำ คือ 0.25 โมล และ 2.5 โมล ทำให้เคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1200°C . และการที่มีซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวยังช่วยให้เคลือบหลอมตัวได้ง่ายขึ้น เนื่องจากซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวที่แรง จึงได้เลือกเคลือบหมายเลข 1 ไปทดสอบ ว่าเข้ากันได้กับเนื้อดินหรือไม่

ส่วนเคลือบชนิดไม่มีซิงค์ออกไซด์ หมายเลข 44 ได้เคลือบมีลักษณะใส หลอมตัวดี แต่ยังไม่มันวาวมากนักจึงต้องใส่ฟritช่วย 10 % เพื่อให้เคลือบมีความมันวาวเพิ่มขึ้นเนื่องจากแบเรียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าซิงค์ออกไซด์ จึงเลือกเคลือบหมายเลข 44 ไปทดสอบ ว่าเข้ากันได้กับเนื้อดินหรือไม่

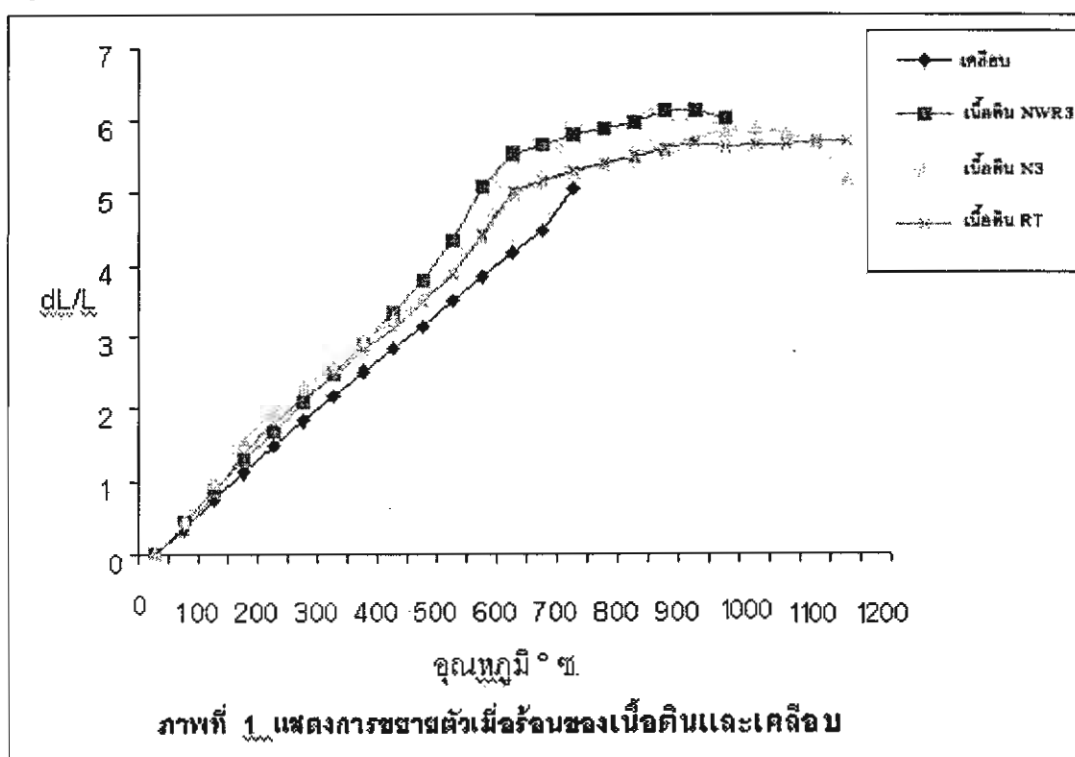
3.2 ผลทดสอบการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ

การราน

ผลทดสอบ การรานตัวภายใต้ความดันของไอน้ำปรากฏว่า เคลือบสามารถทนความดันไอน้ำที่มากกว่า 0.5 เมกาปาสกาล โดยไม่ปรากฏรอยราน แสดงว่าเคลือบกับเนื้อดินเข้ากันได้ดี (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะรับประทานอาหาร : สโตนแวร์ มอก. 602 - 2529)

การขยายตัวเมื่อร้อน

ผลทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบปรากฏว่าเคลือบมีการขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดิน ดังแสดงในภาพที่ 1 แสดงว่า เนื้อดินและเคลือบเข้ากันได้ดี และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเคลือบอยู่ในภาวะแรงอัด



3.3 ผลการทดลองเคลือบสีต่าง ๆ

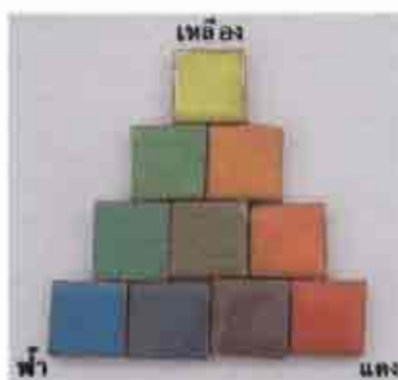
ผลการทดลองเคลือบสีต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 2 และ 3 แสดงเคลือบสีจากการใช้ออกไซด์โพสและสีสำเร็จรูปเซรามิก มากกว่า 1 ตัว

ตารางที่ 7 ผลของการทดลองเคลือบสีจากออกไซด์ของโคบอลต์, คอปเปอร์ และเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

โคบอลต์,%	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5
สีที่ได้	น้ำเงินอ่อน	น้ำเงิน	น้ำเงิน	น้ำเงินเข้ม	น้ำเงินเข้ม
คอปเปอร์,%	1	2	3	4	5
สีที่ได้	เขียวอ่อน	เขียว	เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม
เหล็ก,%	4	6	8	10	12
สีที่ได้	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาล	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม



ภาพที่ 2 แสดงเคลือบสีต่าง ๆ จากออกไซด์ของโคบอลต์, คอปเปอร์ และเหล็ก



ภาพที่ 3 แสดงเคลือบสีจากสีสำเร็จรูปเซรามิก สีเหลือง, สีฟ้าและสีแดง

3.4 ผลการทดลองเคลือบทึบ

ผลการทดลองนำเคลือบใสและเคลือบสีไปพัฒนาเป็นเคลือบทึบและเคลือบทึบสี แสดงในภาพที่ 4

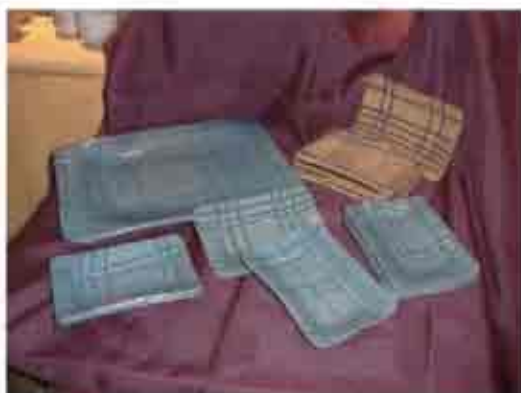
เคลือบ / $\% \text{ CuCO}_3$	Cu1	Cu2	Cu3	Cu4	Cu5
LZ11					
LZ11 Zr					
LZ11 TiO_2 6%					
LZ11 Bone ash 6%					

เคลือบ / $\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$	Fe_2O_3 4%	Fe_2O_3 6%	Fe_2O_3 8%	Fe_2O_3 10%	Fe_2O_3 12%
LZ11					
LZ11 Zr					
LZ11 TiO_2 6%					
LZ11 Bone ash 6%					

เคลือบ / $\% \text{ Co}_2\text{O}_3$	Co.25	Co.5	Co.75	Co.1	Co1.5
LZ11					
LZ11 Zr					
LZ11 TiO_2 6%					
LZ11 Bone ash 6%					

ภาพที่ 4 แสดงเคลือบทึบสีต่าง ๆ จากตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกต ทิตาเนียมออกไซด์ และถั่วกระดูก

3.5 ผลการทดลองนำเคลือบไปใช้กับผลิตภัณฑ์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเคลือบสีต่าง ๆ หลอมตัวดี และมันวาว สวยงาม ดังแสดงในภาพที่ 5.



ภาพที่ 5 แสดงภาพผลิตภัณฑ์ใหม่เคลือบด้วยเคลือบสีต่าง ๆ

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยและพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ เคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์ และไม่มีซิงค์ออกไซด์ ที่สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้เนื้อดินหล่อหรือเนื้อดินปั้น เเผาที่อุณหภูมิ 1180 °ซ. ได้เคลือบใสมันวาวและหลอมตัวดี สรุปสูตรได้ดังนี้

สูตรเคลือบชนิดมีซิงค์ออกไซด์		สูตรเคลือบชนิดไม่มีซิงค์ออกไซด์	
	(ร้อยละ)		(ร้อยละ)
แร่ฟันม้า	41.11		33.32
หินปูน	18.48		14.95
ซิงค์ออกไซด์	9.02		-
แบเรียมคาร์บอเนต	-		11.81
ทัลก์	-		3.86
ดินขาว	4.77		11.58
ควอร์ตซ์	26.63		24.46

สูตรเคลือบดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาเป็นเคลือบสีต่าง ๆ โดยใส่สีย้อมให้สีในปริมาณร้อยละ 0.25-12 หรือสีสำเร็จรูปเซรามิกในปริมาณร้อยละ 1-10 หรือใส่สีย้อมหรือสีสำเร็จรูปเซรามิกมากกว่า 1 ตัว ส่วนเคลือบทึบหรือเคลือบทึบสีสามารถเตรียมได้โดยใส่ตัวทำทึบเซอร์โคเนียมซิลิเกตร้อยละ 8 หรือทินออกไซด์ ร้อยละ 5 หรือทิตเนียมออกไซด์หรือถ้ำกระดูกร้อยละ 6

เอกสารอ้างอิง

1. Robin Hopper, The Ceramic Spectrum, A Simplified Approach to Glaze & Color Development, 2 nd edition, Krause publication 2001.
2. Danie Rhodes, Clay and Glazes for the Potter, Third Edition, Krause publications 2000.
3. Jeff Zamele, What Every Potter Should Know, Krause publication 1999.
4. Parmelee, C.W., Ceramic Glaze, Massachuseets, CBI Publishing Company Inc. 1975.
5. ลดา พันธุ์สุนมธนา และ วรณา ต.แสงจันทร์, "เคลือบสำหรับโอ่งราชบุรี" เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง เครื่องปั้นดินเผาราชบุรี ปี 2000 กรมวิทยาศาสตร์บริการ 17 ธันวาคม 2542.

3.5 เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์

เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์

ลดา พันธุ์สุนมธนา

วรรณนา ต. แสงจันทร์

ชลัย ศรีสุข

1. บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรีในปัจจุบันประสบปัญหาการไม่สามารถพัฒนาเคลือบสีที่ได้มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินราชบุรีเป็นส่วนผสมหลัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้น ขอบเคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาด และเผาครั้งเดียวในเตามังกรได้ เนื่องจากเคลือบจะหลุดล่อนก่อนนำไปเผา ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกจึงได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเคลือบมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ราชบุรีที่เผาครั้งเดียว เพื่อเป็นแนวทาง แก่ผู้ประกอบการเครื่องเคลือบดินเผา จ.ราชบุรี ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมที่โรงงานผลิตอยู่

1.2. วัตถุประสงค์

พัฒนาเคลือบที่ได้มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินราชบุรีเป็นส่วนผสมหลัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้น ขอบเคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาด และเผาครั้งเดียวในเตามังกรได้

1.3. ขอบเขตการวิจัย

1.3.1. พัฒนาสูตรเคลือบที่ได้มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินราชบุรีเป็นส่วนผสมหลัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้น ขอบเคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาด และเผาครั้งเดียวในเตามังกรได้

1.3.2. ประเมินต้นทุนในการผลิตโดยใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1. วัสดุดิบ และอุปกรณ์ที่ใช้

2.1.1. วัสดุดิบที่ใช้มีดังนี้

ดินแดง แหล่งสมณะ จ.ราชบุรี จากผู้ผลิตเครื่องเคลือบดินเผา จ. ราชบุรี

ดินดำ แหล่งลานสกา จากบริษัท สยามไฟน์เคลย์ จำกัด

ดินขาว จ.ระนอง จากบริษัท เคลย์เอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

แร่ฟันม้า เกรด Spar Glaze จากบริษัท เคลย์เอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

หินปูน ประเทศญี่ปุ่น จากบริษัท เคลย์เอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

ทราย เกรด Mill sand No.2 จากบริษัท เคลย์เอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

ซิงก์ออกไซด์ จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

ลิเทียมคาร์บอเนต จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

ทัลก์ จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

ฟริต เกรด XM133 จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

CMC จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

สารกันบูด (โซเดียมเบนโซเอต) จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

1.1.2. อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

เครื่องชั่ง

หม้ออบความเร็วสูงขนาด 200 มล.

หม้ออบขนาด 20 กิโลกรัม

เวอร์เนีย

เตาเผาไฟฟ้า

แบบอัดปูนพลาสติกเตอร์

2.2 โรงงานร่วมวิจัย

โรงงานเครื่องศิลป์ 2 จ.ราชบุรี

โรงงานสหศิลป์ จ.ราชบุรี

โรงงานถ้ำย่งใหญ่ จ.ราชบุรี

โรงงานถ้ำแซ่ใต้ จ.ราชบุรี

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบที่โรงงาน การทดสอบสมบัติวัสดุที่ใช้ในการทดลอง การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินบ้านของโรงงาน การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ และการทดลองเคลือบในโรงงาน

2.2.1 เก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบที่โรงงาน ได้แก่การเยี่ยมชมโรงงาน เก็บข้อมูลและแลกเปลี่ยนข้อมูลกับผู้ประกอบการ เนื่องจากการพัฒนาเคลือบเพื่อผลิตภัณฑ์ จ.ราชบุรี เจริญรุ่งเรือง มีแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาสูตรเคลือบและกระบวนการเตรียมเคลือบที่สามารถใช้กับกระบวนการผลิตและเนื้อดินบ้านเดิมของโรงงาน ข้อมูลที่เก็บจึงใช้เป็นแนวทางการทดลองเพื่อจำลองกระบวนการผลิตของโรงงาน

2.2.2 การทดสอบสมบัติของดินแดง จ.ราชบุรีที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในเนื้อดินบ้าน ได้แก่ การทดสอบหาส่วนผสมประกอบเคมี ขนาดของอนุภาค และค่าพื้นที่ผิว

2.2.3 การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบ เมื่อใช้กับเนื้อดินบ้านของโรงงานใน ห้องปฏิบัติการ ได้แก่การนำสูตรเคลือบที่ใช้ทั่วไปในโรงงานเซรามิกมาใช้กับเนื้อดินบ้านที่โรงงานใช้ ในการทดลองนี้ใช้ส่วนผสมสูตร A ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเคลือบที่ใช้ทั่วไปในโรงงานเซรามิกโดยตัดส่วนของดิน (ดินขาวร้อยละ 11.1)ออก สูตร A มีส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 1 ทดลองแปรเปลี่ยนอัตราส่วนของส่วนผสม A และดินแดง จ.ราชบุรี ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของเนื้อดินบ้านโรงงาน อัตราส่วนที่ทดลองแสดงดังตารางที่ 2 ขึ้น ทดลองที่ใช้สำหรับชุบเคลือบเตรียมจากเนื้อดินบ้านที่โรงงานใช้ชุบเคลือบขณะที่ขึ้น ทดลองมีความขึ้นเพื่อจำลองการผลิตจริงในโรงงาน บันทึกผลลักษณะของเคลือบหรือ ลักษณะการล่อนเมื่อเคลือบแห้ง และทดสอบเปรียบเทียบการหดตัวเมื่อแห้งของเคลือบ ทดลองที่มีปริมาณ ประเภท ของดินแตกต่างกันและของเนื้อดินบ้าน

ตารางที่ 1 แสดงสูตร A ที่ใช้ในการทดลอง

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	ทัลก์
A	39.6	15.3	32.1	7.6	5.4

ตารางที่ 2 แสดงการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนสูตร A และดินแดง จ. ราชบุรี

สูตร	สูตร A	ดินแดง
A1	3.8	96.2
A2	7.7	92.3
A3	11.1	88.9
A4	14.3	85.7
A5	16.7	83.3
A6	20	80
A7	22.2	77.8
A8	95	5

2.2.4 การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่การพัฒนาเคลือบที่มีส่วนผสมของดินแตกต่างกันร้อยละ 5 – 38 และเคลือบมีการสุกตัวที่อุณหภูมิ 1180°ซ ในการทดลองได้ใช้แร่ฟันม้า หินปูน และซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวของเคลือบ เตรียมขึ้นทดลองโดยการชุบเคลือบบนชิ้นทดลองที่ผ่านการเผาดิบ บันทึกลักษณะเคลือบหลังเผา และทดสอบความเข้ากันได้ของเคลือบกับเนื้อดินโดยการทดสอบความทนต่อการร้าว สูตรเคลือบที่ทดลองได้แก่

- 2.2.4.1 ปริมาณดินแดงและเบนโตไนต์รวมที่ร้อยละ 25-38 และฟrit ร้อยละ 15-20 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังสูตร B1 –4 ในตารางที่ 3
- 2.2.4.2 ปริมาณดินดำและเบนโตไนต์รวมคงที่ร้อยละ 15 และซิงค์ออกไซด์คงที่ ร้อยละ 0 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังสูตร C4 –18 ในตารางที่ 4
- 2.2.4.3 ปริมาณดินดำและเบนโตไนต์รวมคงที่ร้อยละ 15 และซิงค์ออกไซด์คงที่ ร้อยละ 5 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังสูตร D1-19 ในตารางที่ 5
- 2.2.1.4 ปริมาณดินดำและเบนโตไนต์รวมคงที่ร้อยละ 15 และซิงค์ออกไซด์คงที่ ร้อยละ 10 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังสูตร E1-19 ในตารางที่ 6

2.2.1.5 ปริมาณดินดำและเบนโตไนต์รวมคงที่ร้อยละ 5 และซิงก์ออกไซด์คงที่ ร้อยละ 5 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังสูตร F4-19 ในตารางที่ 7

2.2.1.6 ปริมาณดินดำและเบนโตไนต์รวมคงที่ ร้อยละ 5 และซิงก์ออกไซด์คงที่ ร้อยละ 10 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังสูตร G4-19 ในตารางที่ 8

ตารางที่ 3 แสดงสูตรเคลือบที่มีปริมาณดินแดงและเบนโตไนต์รวมร้อยละ 38-25 และฟริต ร้อยละ 20-15

	B1	B2	B3	B4
แรฟันม้า	6	10	20.8	15
หินปูน	16	6	9.7	10
ควอร์ตซ์	5	12.5	12.8	20
ฟริต	20	20	20	15
แบเรียมคาร์บอเนต	4	1.5	-	-
ลิเทียมคาร์บอเนต	-	-	-	2
ทัลก์	-	-	-	3
ซิงค์ออกไซด์	5	10	6.7	-
เบนโตไนต์	3	5	5	5
ดินแดง	35	31	25	20

ตารางที่ 4 แสดงสูตรเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 15 และซิงก์ออกไซด์ คงที่ ร้อยละ 0

สูตร	แรฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโตไนต์	ดินดำ
C4	68	8.5	8.5	0	5	10
C5	59.5	17	8.5	0	5	10
C6	59.5	8.5	17	0	5	10
C7	51	25.5	8.5	0	5	10
C8	51	17	17	0	5	10
C9	51	8.5	25.5	0	5	10
C10	42.5	34	8.5	0	5	10

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโตไนต์	ดินดำ
C11	42.5	25.5	17	0	5	10
C12	42.5	17	25.5	0	5	10
C13	42.5	8.5	34	0	5	10
C14	34	42.5	8.5	0	5	10
C15	34	34	17	0	5	10
C16	34	25.5	25.5	0	5	10
C17	34	17	34	0	5	10
C18	34	8.5	42.5	0	5	10

ตารางที่ 5 แสดงสูตรเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 15 และซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโตไนต์	ดินดำ
D1	64	8	8	5	5	10
D2	56	16	8	5	5	10
D3	56	8	16	5	5	10
D4	48	24	8	5	5	10
D5	48	16	16	5	5	10
D6	48	8	24	5	5	10
D7	40	32	8	5	5	10
D8	40	24	16	5	5	10
D9	40	16	24	5	5	10
D10	40	8	32	5	5	10
D11	32	40	8	5	5	10
D12	32	32	16	5	5	10
D13	32	24	24	5	5	10
D14	32	16	32	5	5	10
D15	32	8	40	5	5	10
D16	24	40	16	5	5	10

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโตไนต์	ดินดำ
D17	24	32	24	5	5	10
D18	24	24	32	5	5	10
D19	24	16	40	5	5	10

ตารางที่ 6 แสดงสูตรเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 15 และซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโตไนต์	ดินดำ
E1	60	7.5	7.5	10	5	10
E2	52.5	15	7.5	10	5	10
E3	52.5	7.5	15	10	5	10
E4	45	22.5	7.5	10	5	10
E5	45	15	15	10	5	10
E6	45	7.5	22.5	10	5	10
E7	37.5	30	7.5	10	5	10
E8	37.5	22.5	15	10	5	10
E9	37.5	15	22.5	10	5	10
E10	37.5	7.5	30	10	5	10
E11	30	37.5	7.5	10	5	10
E12	30	30	15	10	5	10
E13	30	22.5	22.5	10	5	10
E14	30	15	30	10	5	10
E15	30	7.5	37.5	10	5	10
E16	22.5	37.5	15	10	5	10
E17	22.5	30	22.5	10	5	10
E18	22.5	22.5	30	10	5	10
E19	22.5	15	37.5	10	5	10

ตารางที่ 7 แสดงสูตรเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโทไนต์คงที่ร้อยละ 5 และซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโทไนต์	ดินดำ
F4	54	27	9	5	5	-
F5	54	18	18	5	5	-
F6	54	9	27	5	5	-
F7	45	36	9	5	5	-
F8	45	27	18	5	5	-
F9	45	18	27	5	5	-
F10	45	9	36	5	5	-
F11	36	45	9	5	5	-
F12	36	36	18	5	5	-
F13	36	27	27	5	5	-
F14	36	18	36	5	5	-
F15	36	9	45	5	5	-
F16	27	45	18	5	5	-
F17	27	36	27	5	5	-
F18	27	27	36	5	5	-
F19	27	18	45	5	5	-

ตารางที่ 8 แสดงสูตรเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโทไนต์คงที่ร้อยละ 5 และซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10

สูตร	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโทไนต์	ดินดำ
G4	51	25.5	8.5	10	5	-
G5	51	17	17	10	5	-
G6	51	8.5	25.5	10	5	-
G7	42.5	34	8.5	10	5	-
G8	42.5	25.5	17	10	5	-
G9	42.5	17	25.5	10	5	-

สูตร	แร่ฟอสฟอรัส	หินปูน	ควอร์ตซ์	ซิงค์ออกไซด์	เบนโตไนต์	ดินดำ
G10	42.5	8.5	34	10	5	-
G11	34	42.5	8.5	10	5	-
G12	34	34	17	10	5	-
G13	34	25.5	25.5	10	5	-
G14	34	17	34	10	5	-
G15	34	8.5	42.5	10	5	-
G16	25.5	42.5	17	10	5	-
G17	25.5	34	25.5	10	5	-
G18	25.5	25.5	34	10	5	-
G19	25.5	17	42.5	10	5	-

2.2.5 การทดลองเคลือบในโรงงาน เลือกสูตรเคลือบต่างๆที่มีปริมาณดินและเบนโตไนต์รวมร้อยละ 38-5 จากผลการทดลองที่ 2.3.4 แปรเปลี่ยนประเภทของดิน และปริมาณ CMC ร้อยละ 0-1 สูตรที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 9 ทดลองราดบนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน เช่น กระถางหรือโถงที่เหมาะสม เฝاملิตภัณฑ์เมื่อแห้งในเตามังกรและบันทึกลักษณะเคลือบหลังเผา

ตารางที่ 9 แสดงสูตรที่ใช้ในทดลองเคลือบในโรงงาน

	B1	B2	B3	B4	E13	D13	E13	EG	G13	G13	G13
					A	A	B		A	B	C
แร่ฟอสฟอรัส	6	10	20.8	15	30	32	30	32	34	34	34
หินปูน	16	6	9.7	10	22.5	24	22.5	24	25.5	25.5	25.5
ควอร์ตซ์	5	12.5	12.8	20	22.5	24	22.5	24	25.5	25.5	25.5
ฟrit	20	20	20	15	-	-	-	-	-	-	-
แบเรียมคาร์บอเนต	4	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลิเทียมคาร์บอเนต	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
ทัลก์	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-

	B1	B2	B3	B4	E13 A	D13 A	E13 B	EG	G13 A	G13 B	G13 C
ซิงค์ออกไซด์	5	10	6.7	-	10	5	10	10	10	10	10
เบนโทไนต์	3	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-
ดินแดง	35	31	25	20	-	10	10	5	-	5	-
ดินดำ	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
ดินขาว	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
CMC	-	-	-	-	0.5	1	1	1	1	1	1

2.2.6 การคำนวณต้นทุนการผลิต ได้แก่การเก็บข้อมูลจากโรงงานมีรายละเอียดหัวข้อที่เก็บข้อมูลดังนี้

- 2.2.1.1 ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเนื้อดิน คือ ดินแดง จ. ราชบุรี ทราย สูตรและปริมาณการใช้
- 2.2.1.2 ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ คือ ซีเมนต์ ดินเลน อื่นๆ สูตร และปริมาณการใช้
- 2.2.1.3 ราคาเครื่องจักรและค่าบำรุงรักษาประเมินการใช้งานที่ 10 ปี คือ แป้นหมุน เครื่องไมกวน เครื่องไม้ท้อ เครื่องตักดินและซีเมนต์
- 2.2.1.4 ค่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป และปริมาณการผลิต
- 2.2.1.5 ค่าเชื้อเพลิงและค่าแรงที่ใช้ในการเผา และปริมาณการผลิต
- 2.2.1.6 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ คือไฟฟ้า น้ำมัน

2.4 วิธีการเตรียมและการทดสอบตัวอย่าง

2.4.1 การเตรียมเคลือบ

เคลือบทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเคลือบปริมาณ 100 มล. เติมน้ำในปริมาณร้อยละ 65 บดส่วนผสมในหม้อบดความเร็วสูง เป็นเวลา 20 นาที

เคลือบทดลองใช้ในโรงงาน ซึ่งเคลือบปริมาณ 10 กิโลกรัม เติมน้ำในปริมาณร้อยละ 65 โดยบดส่วนผสมในหม้อบดขนาด 20 กิโลกรัม เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังการบดเติมน้ำและ/หรือ CMC ในปริมาณที่กำหนดในสูตร ปรับเคลือบให้ได้ ถ.พ. 1.33

การเคลือบในห้องปฏิบัติการใช้วิธีการชุบเคลือบบนตัวอย่างชิ้นงานขึ้น (ปริมาณน้ำร้อยละ 14-18) หรือที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C และในกรณีเคลือบทดลองในโรงงานใช้วิธีการเทราดลงบนผลิตภัณฑ์ขึ้น (ปริมาณน้ำร้อยละ 14-18)

2.4.2 การเผาเคลือบ

ในกรณีเผาเคลือบทดลองในห้องปฏิบัติการ เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1180°C ในเวลา 6 ชั่วโมง ขึ้นไฟนาน 30 นาที และการเผาเคลือบทดลองในโรงงาน เผาในเตามังกรโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิการเผาประมาณ 1180°C รวมเวลาอบผลิตภัณฑ์และเผาประมาณ 57 ชั่วโมง

2.4.3 การทดสอบหา Methylene blue index

ใช้ตัวอย่างดิน 2 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิตร ปรับให้ได้ค่า pH 2.5-3.8 นำมาไตเตรทด้วย Methylene blue index (0.01N) บั่นน้ำดิน 1-2 นาทีหลังไตเตรท ชักตัวอย่างน้ำดินโดยหยดน้ำดินบนกระดาษกรอง บันทึกจุดจบของการทดสอบโดยการสังเกตการเกิดวงสีฟ้าที่ซึมออกมารอบๆหยดน้ำดิน คำนวณค่า Methylene blue index จากสูตร

$$MBI = 0.5 \times \text{ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรท (มล.)} \quad \text{meq/100g}$$

2.4.4 การทดสอบความถ่วงจำเพาะของเคลือบ

ชั่งน้ำหนักขวดเปล่า(X) ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าเติมน้ำในปริมาตร 200 มิลลิตร (X+H) และชั่งน้ำหนักขวดเปล่าเติมน้ำเคลือบในปริมาตร 200 มิลลิตร(X+G) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของเคลือบจากสูตร

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของเคลือบ} = ((X+G)-X)/((X+H)-X)$$

2.4.5 การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและการทดสอบหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง

นวดตัวอย่างให้เนื้อเข้ากันดี อัดตัวอย่างในแบบทองเหลือง ถอดแบบ ทำเครื่องหมายเพื่อกำหนดตำแหน่งขนาดที่ต้องการวัด ทั้งตัวอย่างให้แห้ง วัดขนาด ณ ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อถอดแบบและ ในเวลาต่างๆกัน (Lt) จนตัวอย่างแห้งสนิท (Ld) ทุกครั้งที่มีการวัดขนาดชั่งน้ำหนักตัวอย่าง น้ำหนักตัวอย่างเมื่อถอดแบบ และในเวลา

ต่างๆกัน (Wt) จนตัวอย่างแห้งสนิท (Wd) คำนวณหาการหดตัวเมื่อแห้งและปริมาณน้ำในตัวอย่างจากสูตร

$$\text{ร้อยละการหดตัวเมื่อแห้ง} = ((L_t - L_d) / L_t) 100$$

$$\text{ร้อยละปริมาณน้ำ} = ((W_t - W_d) / W_d) 100$$

2.2.6 การทดสอบคุณลักษณะเคลือบหลังเผา

บันทึกคุณลักษณะของเคลือบหลังเผาด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า บันทึกเปรียบเทียบลักษณะผิว ด้าน-กึ่งด้าน-มัน ใส-กึ่งทึบ-ทึบ ปริมาณการหลอม สี และลักษณะผิว เช่นหยาบหรือการร่อนหากปรากฏ

2.2.7 การทดสอบความทนต่อการร่อน

วางชิ้นทดสอบเหนือระดับน้ำภายในหม้อนึ่งอัด (autoclave) ปิดฝาให้แน่นแล้วจึงค่อยๆเพิ่มความร้อนและปล่อยไล่อากาศภายในก่อนทำการปิดช่องระบายอากาศเพื่อเพิ่มความดันจนได้ค่าความดันตามที่ต้องการ รักษาระดับความดันไว้ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัว เช็ดตัวอย่างให้แห้ง จุ่มในสารละลายสี ทำความสะอาดแล้วตรวจสอบดูการร่อนของตัวอย่าง ทดสอบที่ความดัน 150 200 และ 250 psi

3. ผลการทดลอง

3.1. ข้อมูลกระบวนการเคลือบที่โรงงาน

เนื้อดินปั้นที่โรงงานใช้คือดินแดง จ. ราชบุรี ร้อยละ 90 ทราายแม่น้ำ ร้อยละ 10 เติมน้ำหมักส่วนผสมในบ่อพัก 3 คืน นำมาเข้าเครื่องผสมและรีดดิน นำดินที่ผ่านการรีดมาปั้นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โถ่ง ไห หรือกระถาง ทั้งไว้ในที่อัดลมให้แห้ง เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณร้อยละ 14-18 ภาดเคลือบด้วยเคลือบซีเถ้า

เคลือบประกอบด้วยซีเถ้าไม้เบญจพรรณและดินเลน ก่อนนำมาใช้ดินเลนจะผ่านการกรองและล้างผ่านตะแกรง ส่วนซีเถ้าจะผ่านการร่อน ตีเป็นฝุ่น แล้วจึงนำมาแช่น้ำและร่อนผ่านตะแกรง ผสมซีเถ้าไม้เบญจพรรณและดินเลนเข้าด้วยกันโดยวิธีการตวง ส่วนผสมของเคลือบโดยประมาณคือซีเถ้าไม้เบญจพรรณร้อยละ 30 ดินเลนร้อยละ 70 และมีปริมาณน้ำในเคลือบร้อยละ 60 หลังเคลือบทั้งผลิตภัณฑ์ให้แห้งสนิทในที่อัดลม ก่อนเลี้ยงเข้าเผาในเตามังกร

3.2. ผลการทดสอบวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

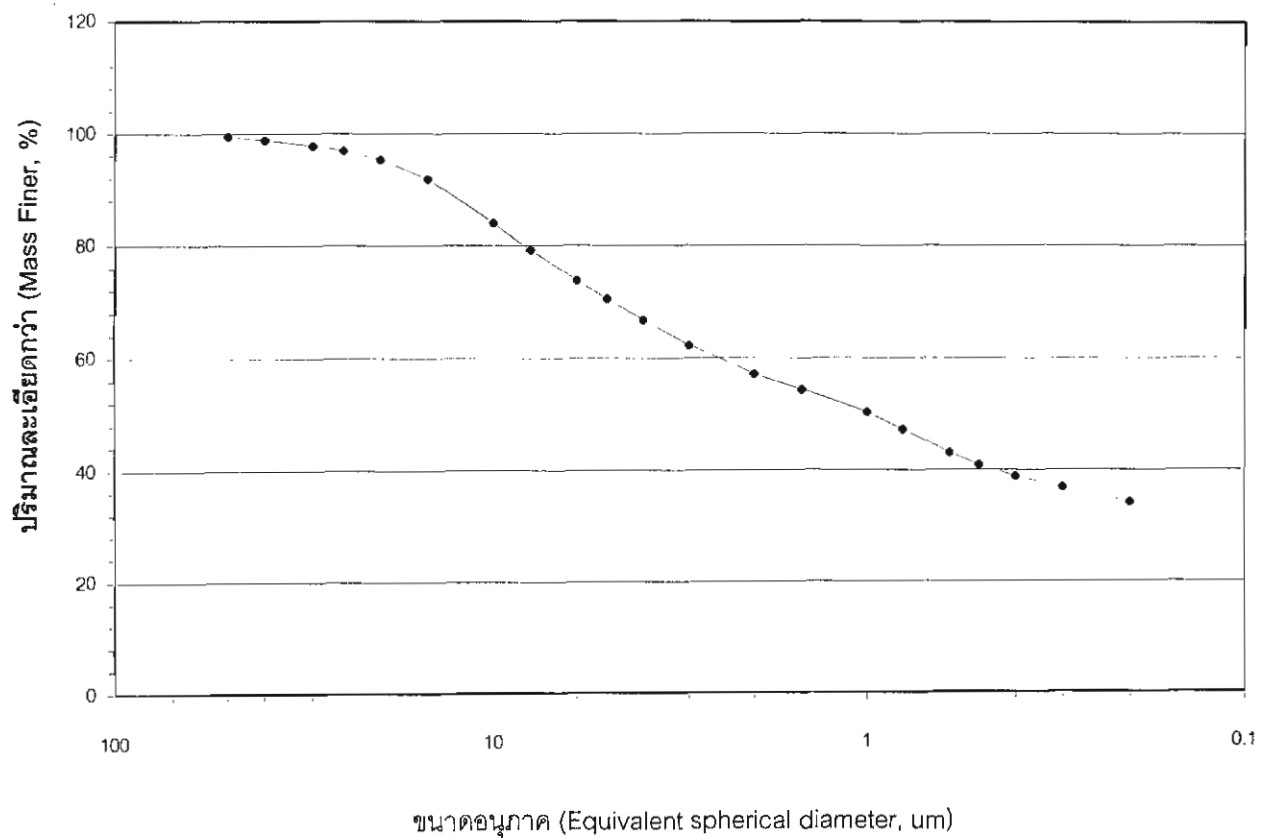
ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของดินแดง จ. ราชบุรี แสดงดังตารางที่ 10

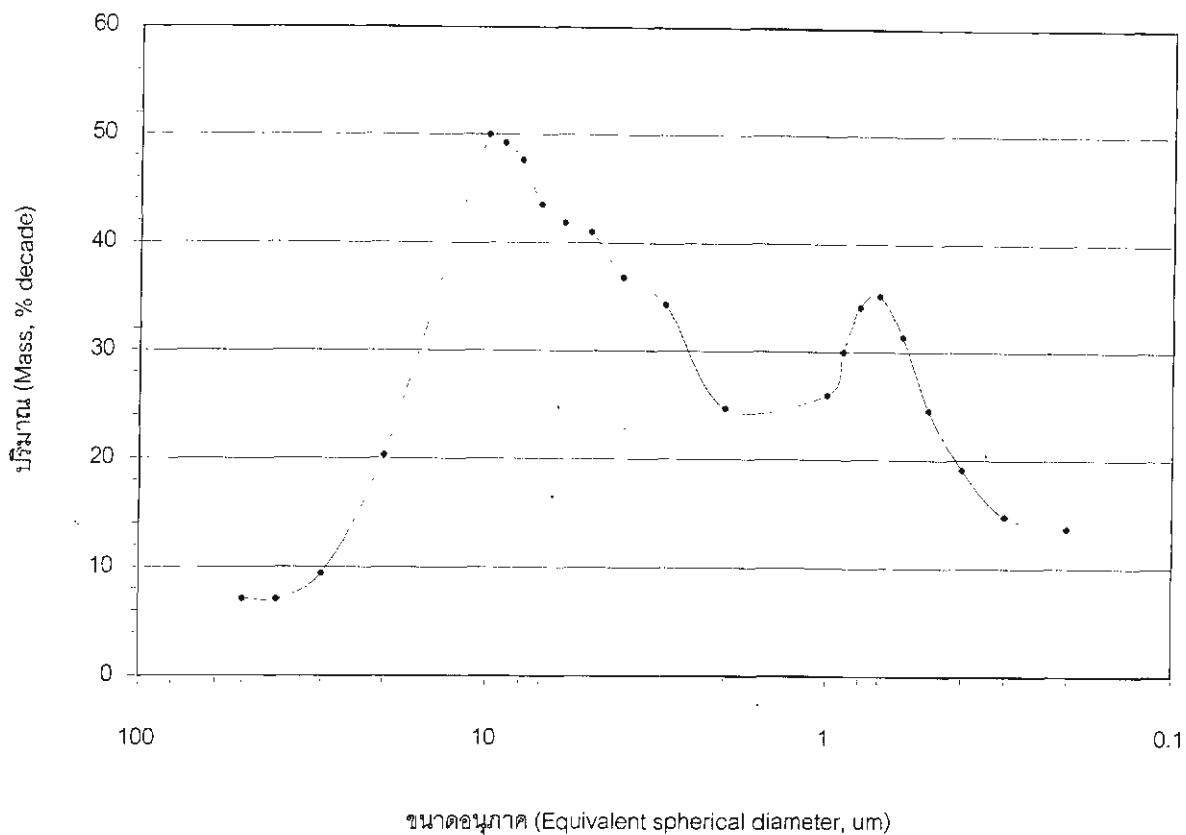
ตารางที่ 10 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของดินแดง จ. ราชบุรี

ออกไซด์	ดินแดง จ. ราชบุรี
Na ₂ O	0.1
K ₂ O	1.0
MgO	0.4
CaO	0.5
Al ₂ O ₃	19.6
Fe ₂ O ₃	4.8
SiO ₂	64.1
TiO ₂	1.1
LOI	8.0
SO ₄	0.4

ผลการทดสอบการกระจายขนาดอนุภาคแสดงดังภาพที่ 1 และ 2

ภาพที่ 1 ปริมาณสะสมและขนาดอนุภาคของดินแดง จ.ราชบุรี





ผลการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงผลการทดสอบทางฟิสิกส์ของดินแดง จ.ราชบุรี

สมบัติทางฟิสิกส์	ดินแดง จ.ราชบุรี
ขนาดมัธยฐานของอนุภาค, ไมครอน	0.98
พื้นที่ผิว, meq/100g	18
ร้อยละการหดตัวเมื่อแห้ง, ร้อยละ	11

3.3. ผลการทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน

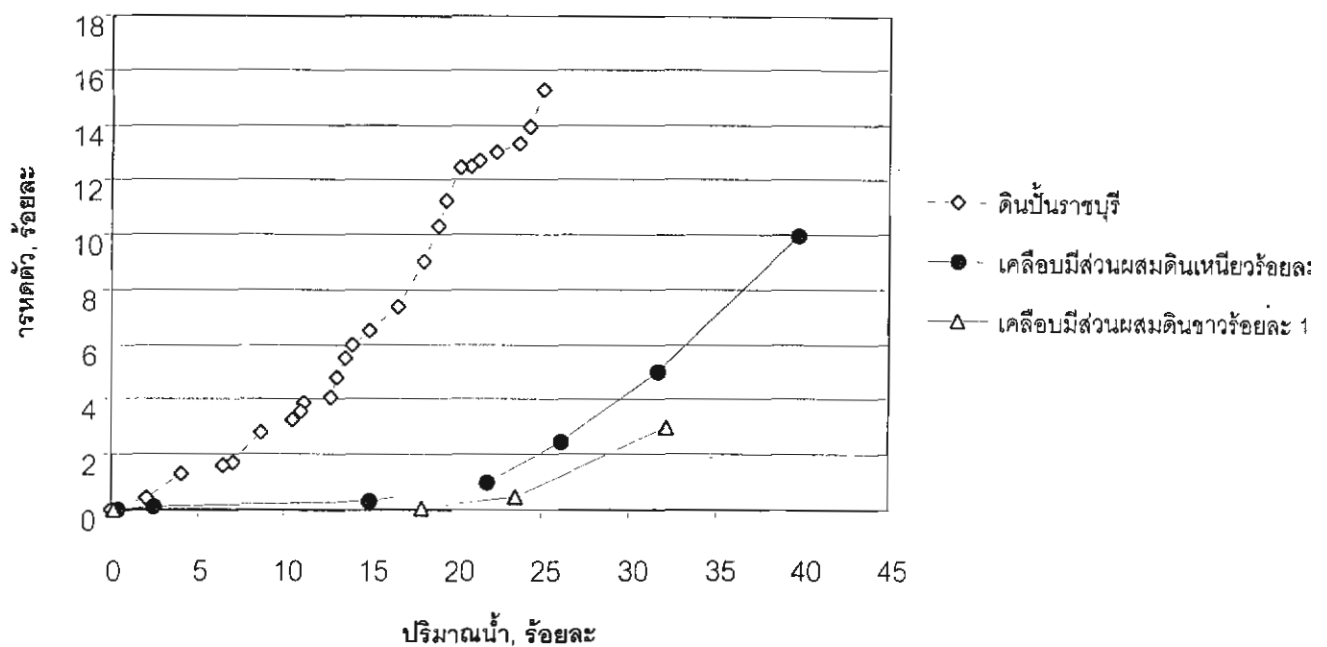
ผลการทดลองแปรเปลี่ยนส่วนผสมของดินในเคลือบแสดงดังตารางที่ 12 และผลของปริมาณดินในเคลือบที่แตกต่างต่อสมบัติการหดตัวแสดงดังภาพที่ 3

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองแปรเปลี่ยนส่วนผสมของดินต่อลักษณะของเคลือบ

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี-อื่นๆ
A1	ด้าน	ทึบ	น้อย	น้ำตาล/ไม่ล่อน
A2	ด้าน	ทึบ	น้อย	น้ำตาล/ไม่ล่อน
A3	ด้าน	ทึบ	น้อย	น้ำตาล/ไม่ล่อน
A4	ด้าน	ทึบ	น้อย	น้ำตาล/ไม่ล่อน
A5	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	น้ำตาล/ไม่ล่อน
A6	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	น้ำตาล/ไม่ล่อน
A7	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	น้ำตาล/ล่อน

3.4. ผลการทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 3 แสดงปริมาณน้ำและปริมาณการหดตัวของเคลือบและเนื้อดินปั้น



ผลการทดลองเคลือบในห้องปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 13-18

ตารางที่ 13 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณดินแดงและเบนโตไนต์รวมที่ร้อยละ 25-38 ส่วนผสมของเคลือบสูตร B1-4

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
B1	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
B2	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
B3	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
B4	มัน	ใส	มาก	ไม่มี

ตารางที่ 14 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์รวมคงที่ร้อยละ 15 และซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 0 ของเคลือบสูตร C4-18

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
C4	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
C5	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว
C6	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	ปานกลาง	ขาว
C7	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
C8	กึ่งด้าน	ใส	มาก	ไม่มี
C9	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	ปานกลาง	ขาว
C10	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
C11	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
C12	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
C13	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
C14	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
C15	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
C16	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
C17	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
C18	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว

ตารางที่ 15 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโทไนต์รวมคงที่ร้อยละ 15 และ ซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ของเคลือบสูตร D1-19

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
D1	ด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
D2	ด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
D3	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ไม่มี/ผิวไม่เรียบ
D4	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ไม่มี
D5	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ไม่มี
D6	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ไม่มี/ผิวไม่เรียบ
D7	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
D8	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
D9	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
D10	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
D11	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
D12	ด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว
D13	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
D14	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว
D15	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
D16	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
D17	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
D18	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
D19	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว

ตารางที่ 16 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโทไนต์รวมคงที่ร้อยละ 15 และ
ซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ของเคลือบสูตร E1-19

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
E1	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
E2	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
E3	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ครีม
E4	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ลายสีขาว
E5	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
E6	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ครีม
E7	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
E8	กึ่งด้าน	ใส	ปานกลาง	ไม่มี/ผิวขรุขระ
E9	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
E10	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ครีม
E11	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
E12	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ผลึกครีม
E13	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
E14	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ขาวหม่น
E15	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
E16	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
E17	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
E18	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว
E19	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว

ตารางที่ 17 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโทไนต์รวมคงที่ร้อยละ 5 และ
ซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ของเคลือบสูตร F4-19

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
F4	มัน	ใส	มาก	ปรากฏผลึกสีขาว กระจายทั่วไป
F5	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
F6	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว
F7	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
F8	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
F9	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว
F10	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	ปานกลาง	ขาว
F11	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
F12	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
F13	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
F14	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
F15	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
F16	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาวเหลือง
F17	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
F18	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
F19	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว

ตารางที่ 18 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโทไนต์รวมคงที่ร้อยละ 5 และ
ซิงก์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ของเคลือบสูตร G4-19

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี - อื่นๆ
G4	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
G5	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
G6	มัน	กึ่งทึบ	มาก	ขาว

สูตร	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี - อื่นๆ
G7	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
G8	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
G9	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
G10	มัน	ทึบ	มาก	ขาว
G11	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
G12	ด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
G13	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
G14	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
G15	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
G16	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว
G17	ด้าน	ทึบ	ปานกลาง	ขาว
G18	กึ่งด้าน	ทึบ	มาก	ขาว
G19	ด้าน	ทึบ	น้อย	ขาว

เคลือบที่มีปริมาณดินแดงและเบนโตไนต์รวมร้อยละ 38-25 และฟritร้อยละ 15-20 (สูตร B1-4) มีลักษณะเคลือบมันไม่มากนัก

เคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 15 และไม่มีส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ (สูตร C4-18) มีลักษณะเคลือบมันไม่มากนัก

เคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 15 และส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ร้อยละ 5 (สูตร D1-19) พบสูตร D8 D9 D13 มีลักษณะเคลือบมันวาว

เคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 15 และส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ร้อยละ 10 (สูตร E1-19) พบสูตร E2 E5 E9 E13 มีลักษณะเคลือบมันวาว

เคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 5 และส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ร้อยละ 5 (สูตร F4-19) พบสูตร E5 มีลักษณะเคลือบมันวาว

เคลือบที่มีปริมาณดินดำและเบนโตไนต์คงที่ร้อยละ 5 และส่วนผสมของซิงก์ออกไซด์ร้อยละ 10 (สูตร G4-19) พบสูตร G4 G5 G8 G9 G13 มีลักษณะเคลือบมันวาว

ผลการทดสอบความสามารถทนต่อการรบกวนแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบความทนต่อการรบกวนของตัวอย่าง

เคลือบ / ความดัน	150 psi	200 psi	250 psi
E13	ไม่รบกวน	ไม่รบกวน	ไม่รบกวน
G13	ไม่รบกวน	ไม่รบกวน	ไม่รบกวน

3.5 ผลการทดลองเคลือบในโรงงาน

ผลการทดลองนำเคลือบที่มีปริมาณดินและ CMC แตกต่างกันไปทดลองใช้ในโรงงานตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 20 และตัวอย่างผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ทดลองแสดงดังภาพที่ 4 ก และ ข

ตารางที่ 20 แสดงผลการนำเคลือบไปใช้ในโรงงานตัวอย่าง

สูตร	ผลการทดลอง
B1	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโถ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
B2	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโถ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
B3	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโถ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
B4	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโถ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
E13A	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กปรากฏเคลือบล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
D13A	ใช้เคลือบโถ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน
E13B	ใช้เคลือบโถ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
EG	ใช้เคลือบโถ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
G13A	ใช้เคลือบโถ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน
G13B	ใช้เคลือบโถ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน
G13C	ใช้เคลือบโถ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ก และ ข แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่โรงงานทดลองใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย

3.6 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิต

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนของการผลิตไหและโ่งแสดงดังตารางที่ 21 และ
การคำนวณต้นทุนของเคลือบทดลองแสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 21 แสดงต้นทุนการผลิตของผู้ผลิตไหมและโ่งราชบุรี

	ไหม	โ่ง
<u>ราคาเนื้อดิน</u>		
ดินแดง (บาท/กก.)	0.15	0.10
ทราย (บาท/กก.)	0.15	0.15
ดินปั้น (บาท/กก.)	0.15	0.11
	(อัตราส่วนดินแดง 0.95 ทราย 0.05)	(อัตราส่วนดินแดง 0.90 ทราย 0.10)
<u>ราคาเคลือบสี</u>		
สี (บาท/กก.)	0-2.00	2.00
ดินเลน (บาท/กก.)	0.75	0.50
อื่นๆ (บาท/กก.)	-	3.00 – 9.00
เคลือบสี (บาท/กก.)	1.13	1.54
	(อัตราส่วนสี 0.30 ดินเลน 0.70)	(อัตราส่วนสี 0.26 ดินเลน 0.60 อื่นๆ 0.14)

	ไห	โ่ง
<u>ราคาวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์</u>		
น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบต่อชิ้น (กก./ชิ้น)	13.00	57.90
น้ำหนักเคลือบต่อชิ้นน้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (กก./ชิ้น)	0.20	1.40
น้ำหนักเนื้อดินต่อชิ้นน้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (กก./ชิ้น)	12.80	56.50
ราคาเคลือบต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.02	0.04
ราคาเนื้อดินต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.15	0.11
รวมราคาวัตถุดิบต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ(บาท/กก.)	0.17	0.15
<u>ราคาเครื่องจักรและค่าบำรุงรักษา</u>		
เครื่องโม่กวน, 50,000-60,000 บาท/เครื่อง (บาท/เครื่อง)	50,000	120,000
เครื่องโม่ห่อ, 20,000-30,000 บาท/เครื่อง (บาท/เครื่อง)	100,000	180,000
เครื่องปั้น, 4,000-7,000 บาท/เครื่อง (บาท/เครื่อง)	20,000	42,000
เครื่องตักดินและซีไฉ่, 250,000-600,000 บาท/เครื่อง (บาท/เครื่อง)	600,000	250,000
ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)	9,500	74,000
รวมราคาเครื่องจักรและค่าบำรุงรักษาต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.04	0.04
<u>ค่าพลังงาน</u>		
ค่าเชื้อเพลิงเผา (บาท/เตา)	12,000	6,000
ค่าไฟฟ้า (บาท/เดือน)	5,000	12,000
ค่าน้ำมัน (บาท/เดือน)	3,000	-
ค่าน้ำ (บาท/เดือน)	-	500
รวมค่าพลังงานต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)	10.53	17.6
รวมค่าพลังงานต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.81	0.30

	ไห	โ่ง
<u>ค่าแรง</u>		
ขึ้นรูปต่อขึ้น (บาท/ขึ้น)	6.60	} 58.75 (282,000 บาท/เดือน)
การเผาต่อขึ้น (บาท/ขึ้น)	4.38 (5,250บาท/เตา)	
ค่าแรงอื่นๆ (บาท/ขึ้น)	-	
รวมค่าแรงต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.84	1.01
รวมต้นทุนการผลิตต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	1.86	1.50

ตารางที่ 22 ตัวอย่างต้นทุนการผลิตเคลือบทดลอง (สูตร E13B) และการลงทุน

	ไห	โ่ง
<u>ราคาวัตถุดิบของเคลือบ</u>		
ราคาวัตถุดิบ* (บาท/กก., รายละเอียดดูภาคผนวก)	12-345	
รวมราคาวัตถุดิบของเคลือบทดลองไม่มีสี (บาท/กก.)	14.82	
ราคาวัตถุดิบของเคลือบทดลองไม่มีสีต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.23	0.36
<u>ราคาเครื่องจักร ค่าบำรุงรักษา และพลังงาน</u>		
ราคาหม้อบดขนาด 50 กก. (บาท/เครื่อง)		
ค่าเสื่อมและการบำรุงรักษา (บาท/ปี)	41,000	
ค่าไฟฟ้า (มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า, บาท/ชั่วโมง)	18,000	
ค่าไฟฟ้าบดเคลือบ 50 กก./8ชม. (บาท/กก.เคลือบ)	1.88	
ปริมาณเคลือบที่เตรียม (กก./ปี)	0.30	
รวมราคาเครื่องจักร ค่าบำรุงรักษา และพลังงาน ของเคลือบทดลองต่อ 1 กก.น้ำหนักรวม (บาท/กก.)	0.81	
รวมราคาเครื่องจักร ค่าบำรุงรักษา และพลังงาน ของเคลือบทดลองต่อ 1 กก.น้ำหนักรวมผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.01	0.02
รวมต้นทุนการผลิตเคลือบทดลองต่อ 1 กก.น้ำหนักรวมผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.24	0.38

* คำนวณจาก 11 บาท/กก.

4. วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบที่โรงงาน

กระบวนการเคลือบของโรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผา จ. ราชบุรี ใช้แรงงานคนในการเคลือบ โดยใช้ประสบการณ์ในการเตรียมไม่มีการใช้เครื่องมือทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพของเคลือบ

เทคนิคการเคลือบคือทำการราดเทเคลือบลงบนผิวผลิตภัณฑ์ขณะที่เนื้อดินดิบของผลิตภัณฑ์มีความหมาด กระบวนการเคลือบนี้จะแตกต่างจากกระบวนการเคลือบเครื่องเคลือบดินเผาทั่วไปคือจะเคลือบเมื่อเนื้อดินดิบของผลิตภัณฑ์แห้งสนิทหรือผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำ กระบวนการเคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์มีความหมาดแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางฟิสิกส์ของเคลือบและเนื้อดินต้องเข้ากันได้ดี เนื่องจากภายหลังการเคลือบทั้งเนื้อดินและเคลือบยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือหดตัวจนกว่าเนื้อดินและเคลือบจะแห้งสนิท ซึ่งสมบัตินี้เป็นปัญหาที่ทำให้โรงงานไม่สามารถพัฒนาเคลือบที่มีความหลากหลายได้

4.2. การทดสอบวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดสอบสมบัติของวัตถุดิบแสดงให้เห็นว่าอนุภาคของดินแดง จ. ราชบุรีมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ร้อยละ 50 ขนาดมัธยฐาน 0.98 ไมครอน MBI 18 meq/100g มีค่าการหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 11 เมื่อเปรียบเทียบกับดินดำที่ขายในท้องตลาดซึ่งอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน ร้อยละ 45-80 MBI 7.5-18 meq/100g และค่าการหดตัวเมื่อแห้ง 9.8-11.7 MBI เป็นค่าที่สัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาค อนุภาคขนาดเล็กมีค่า MBI สูงแสดงให้เห็นว่าดินแดง จ. ราชบุรีมีปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กสูง เนื่องจากมีค่า MBI สูงมากและมีการหดตัวเมื่อแห้งสูง เนื้อดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กมีความเหนียวสูงทำให้สามารถปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามสมบัตินี้ทำให้ไม่สามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีดินราชบุรีเป็นส่วนผสมหลักขณะที่ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทเพราะอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกได้ ผู้ผลิตจึงใช้วิธีเคลือบขณะที่เนื้อดินยังหมาดอยู่

4.3. การทดลองหาสาเหตุการลื่นของเคสลับเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน

ผลการทดลองจากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณดินแดง จ. ราชบุรี ในส่วนผสมของเคสลับช่วยให้เคสลับไม่ลื่น ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณดินแดง จ. ราชบุรีลงในเคสลับช่วยเพิ่มการหดรัดตัวของเคสลับ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับสูตรเคสลับซี่เก่า พบว่ามีการใช้ดินเลนหรือส่วนผสมที่มีความละเอียดสูงร้อยละ 70 ในส่วนผสมทำให้สมบัติของเคสลับเข้ากันได้ดีกับเนื้อดินปั้นช่วยให้สามารถใช้เคสลับขณะที่เนื้อดินหมาดได้โดยไม่เกิดการหลุดล่อน ดังนั้นการพัฒนาสูตรเคสลับมาตรฐานเพื่อให้เคสลับขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาดต้องมีการปรับสมบัติทางฟิสิกส์ของเคสลับให้เข้ากับเนื้อดิน การเพิ่มดินแดง จ. ราชบุรีหรือเบนโตไนต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียดสูงในส่วนผสมของเคสลับ เพื่อเพิ่มการหดรัดตัวของเคสลับให้เข้ากับเนื้อดินปั้น จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรเคสลับเพื่อทดลองใช้ในโรงงานต่อไป

4.4. การทดลองพัฒนาเคสลับในห้องปฏิบัติการ

การพัฒนาเคสลับในห้องปฏิบัติการมีการใช้ดินเหนียว 2 แหล่งคือดินแดง จ. ราชบุรี และ ดินคำลานสกา เนื่องจากดินคำลานสกามีความเหนียวสูงเช่นเดียวกับดินแดง จ. ราชบุรี เป็นดินที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และมีปริมาณเหล็กออกไซด์ต่ำกว่าดินแดง จ. ราชบุรี ช่วยในการพัฒนาเคสลับได้ดีโดยเฉพาะเคสลับที่มีสีอ่อน

ผลการทดลองพัฒนาสูตรเคสลับพบว่าเคสลับสูตร B ที่มีปริมาณดินสูง ร้อยละ 25-38 มีความทนไฟจึงไม่มันวาว ซึ่งหากต้องการเพิ่มความมันวาวควรเพิ่มปริมาณสารช่วยลงอุณหภูมิเช่น ฟริต ซึ่งมีราคาแพง การเพิ่มซิงก์ออกไซด์ที่ร้อยละ 5-10 ในเคสลับที่มีปริมาณดินร้อยละ 5-15 ในระบบ แร่ฟันม้า-หินปูน-ควอร์ตซ์ ช่วยเพิ่มความมันวาวแก่เคสลับได้ เนื่องจากซิงก์ออกไซด์เป็นสารช่วยลดอุณหภูมิการหลอมที่อุณหภูมิต่ำ และผลการทดสอบความทนต่อการรานของตัวอย่างที่จะนำไปใช้ในโรงงานพบว่าไม่ปรากฏการราน แสดงว่าตัวอย่างมีสมบัติหลังเผาเข้ากันได้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน

4.5. การทดลองเคสลับในโรงงาน

ผลการทดลองจากตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่าเคสลับที่มีปริมาณดินและเบนโตไนต์รวมมากกว่าร้อยละ 25 สามารถใช้เคสลับกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่หลุดล่อน อย่างไรก็ตามการทดลองเคสลับในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่พบปัญหาการหลุดล่อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมกระบวนการเคสลับให้เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ทำ

ได้ยากกว่าการควบคุมในผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่นความหนาแน่นและความแห้งอย่างสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ และความหนาของเคลือบ นอกจากนี้การใช้เคลือบที่มีปริมาณดินสูงทำให้เคลือบมีแนวโน้มที่จะทนไฟทำให้ต้องใช้สารช่วยลดอุณหภูมิเช่นฟritซึ่งมีราคาแพง และทำให้ไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับความหลากหลายของเคลือบพื้นฐานได้ จึงได้ทดลองเติมการเพื่อช่วยพัฒนาสมบัติการยึดเกาะของเคลือบต่อไป

การทดลองใช้การหรือ CMC ในเคลือบเพื่อพัฒนาเคลือบที่มีปริมาณดินน้อยลงเป็นแนวทางในการพัฒนาความหลากหลายของเคลือบพื้นฐาน ทดลองเติมการในเคลือบที่มีปริมาณดินและเบนโตไนต์รวมร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 25 พบว่าการใช้ CMC ที่ร้อยละ 0.5 ยังพบปัญหาการล่อนบางส่วน แต่การใช้ CMC ที่ร้อยละ1 สามารถช่วยป้องกันการล่อนของเคลือบที่มีปริมาณดินต่ำได้ และแม้มีการเปลี่ยนแปลงประเภทของดินที่ใช้ในเคลือบคือจากดินเหนียวเป็นดินขาวที่มีความละเอียดลดลง พบว่าเคลือบที่มีปริมาณดินขาวเพียงร้อยละ 5 การใช้ CMC ที่ร้อยละ1 ยังคงช่วยลดปัญหาการล่อนของเคลือบได้

แม้ CMC ที่ร้อยละ 1 สามารถป้องกันปัญหาการล่อนของเคลือบได้ แต่สมบัติของ CMC เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา การใช้เคลือบที่มี CMC ผสมอยู่จึงไม่ควรเก็บนานกว่า 3 อาทิตย์ และควรมีการผสมสารกันบูดในส่วนผสมที่ร้อยละ 0.01 ของน้ำหนักแห้ง CMC ด้วยทุกครั้ง เพื่อรักษาคุณภาพของเคลือบตลอดอายุการใช้งาน

4.6. การคำนวณต้นทุนการผลิต

ราคาเคลือบซีเมนต์ 0.02-0.04 บาท/กก. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ จากต้นทุนรวม 1.86-1.50 บาท/กก. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ คิดเป็นร้อยละ 1.08-2.67 ของต้นทุนการผลิต การปรับเปลี่ยนใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัยทำให้ราคาของเคลือบเพิ่มเป็นไม่ต่ำกว่า 0.24 – 0.38 บาท/กก. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มเป็นประมาณ 2.08-1.84 บาท/กก. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบหรือเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ12-23 ราคาต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเมื่อปรับเปลี่ยนเคลือบจึงควรทำความเข้าใจกับการพัฒนารูปแบบ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองสรุปได้ว่าสูตรเคลือบที่เหมาะสมสำหรับใช้กับเครื่องเคลือบดินเผา จังหวัดราชบุรีเชิงอนุรักษ์ขนาดเล็กควรมีปริมาณดินแดง จ. ราชบุรี หรือดินเหนียว มากกว่าร้อยละ 25 และกรณีต้องการเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ควรเติมกาว CMC ร้อยละ 1 ในเคลือบเนื่องจากสามารถลดปริมาณดินในเคลือบลงได้ถึงร้อยละ 5 ช่วยให้สามารถเตรียมเคลือบที่มีความหลากหลาย ตัวอย่างสูตรเคลือบที่มีความมั่นคงและราคาพอควร เหมาะสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 แสดงตัวอย่างสูตรเคลือบที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์

วัตถุดิบ	E13B
แรฟันม้า	30
หินปูน	22.5
ควอร์ตซ์	22.5
ซิงค์ออกไซด์	10
ดินแดง	15
CMC	1
สารกันบูด	0.01

6. เอกสารอ้างอิง

- 6.1. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม กรมทรัพยากรธรณี "คุณสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ทำโอ่งราชบุรี" กุมภาพันธ์ 2540
- 6.2. Parmelee, C. W., Ceramic Glazes, Massachusetts, CBI Publishing Company Inc., 1975
- 6.3. Richard Behrens, Ceramic Glazemaking, aCM handbook
- 1.4. Singer, F. et al., Industrial Ceramics, London, Chapman and hall, 1979
- 1.5. Daniel Rhodes, Clay and Glazes for the Potter, Greenberg, New York 1959
- 1.6. Frank and Janet Hamer, The Potter's Dictionary of Materials and Techniques 4th ed., A&C Black, London 1997
- 1.7. Jeff Zamek, What Every Potter Should Know, Krause Pub., WI 1999
- 1.8. The Fundamental of the Glaze Preparation, Nagoya International Training Center, Japan International Cooperation Agency

7. ภาคผนวก

ราคาวัตถุดิบมาตรฐานที่ใช้ในเคลือบทดลอง

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ (บาทต่อ กก.)
เบนโตไนต์	25
ฟริต	120
แร่ฟันม้า	6
หินปูน	3
ควอร์ตซ์	6
ซิงค์ออกไซด์	75
แบเรียมคาร์บอเนต	46
ทัลก์	10
ลิเทียมคาร์บอเนต	390
เซอริกอน	55
ไททะเนียม	100
แก้วกระดุก	100
สีย้อมออกไซด์	25-2000
สีอะครีลิก	600-1000
CMC	345
สารกันบูด	195

ที่มา: บริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

1.1. ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.1.1. ได้สูตรเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินราชบุรีเป็นส่วนผสมหลักและกระบวนการผลิตเดิมที่โรงงานเครื่องเคลือบดินเผา จ.ราชบุรีใช้อยู่เดิม
- 1.1.2. โรงงานเครื่องเคลือบดินเผา จ.ราชบุรีได้สูตรเคลือบและกระบวนการเตรียมในการปรับปรุงรูปแบบและกระบวนการผลิตเครื่องเคลือบดินเผา
- 1.1.3. ผู้ประกอบการมีความรู้ความเข้าใจด้านการพัฒนาเคลือบเซรามิกมากขึ้น
- 1.1.4. ส่งเสริมการขยายตลาดเครื่องเคลือบดินเผา จ.ราชบุรี

1.2. ระยะเวลาดำเนินการ

2 ปี (พ.ศ. 2543-2544)