วศ วพช
17

เอกสารผลงานวิจัย

เรื่อง
เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์ของเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี

ของ
นางสาว ลดา พันธ์สุขุมธนา

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

การพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์ของเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี เป็นโครงการวิจัยภายใต้โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง กรมวิทยาศาสตร์บริการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี โดยได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

เนื่องจากโรงงานไม่สามารถใช้เคลือบมาตรฐานในการผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นส่วนประกอบหลัก เคลือบจะล่อนก่อนเผา การพัฒนาเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์ของเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี ต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตจริงที่โรงงานใช้ จากการเก็บข้อมูลทราบว่าวิธีการเคลือบที่โรงงานใช้คือการเทราดเคลือบบนผลิตภัณฑ์ที่หมาด ดังนั้นแนวทางการพัฒนาเคลือบเพื่อแก้ปัญหาการหลุดล่อนคือการปรับให้เคลือบและเนื้อดินมีสมบัติการหดตัวหรือสมบัติการยึดเกาะกันดี การเพิ่มปริมาณดินเหนียวลงในเคลือบช่วยแก้ปัญหาการหลุดล่อนได้ในระดับหนึ่ง แต่การใช้ดินปริมาณสูงในน้ำเคลือบอาจทำให้เคลือบทนไฟขึ้นและเคลือบมีความยืดหยุ่นในการใช้งานต่ำ การใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เพื่อช่วยในการยึดเกาะสามารถแก้ปัญหาของเคลือบในการหลุดล่อนได้ แต่ปริมาณที่ใช้ต้องมากเพียงพอ จากการทดลองพบว่าการใช้ CMC ร้อยละ 1 ในเคลือบที่มีดินขาวร้อยละ 5 ขึ้นไป สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์ของเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีได้

เลขหมู่ วศ วพช 17
เลขทะเบียน 11567
วันที่ 16 ธ.ค. 46

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วศ.

สารบัญ หน้า

บทคัดย่อ..... ก
สารบัญ..... ข
สารบัญตาราง..... จ
สารบัญภาพ..... ช
บทที่ 1. บทนำ..... 1
1.1. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย..... 1
1.2. วัตถุประสงค์..... 1
1.3. ขอบเขตการวิจัย..... 1
1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ..... 1
1.5. ระยะเวลาดำเนินการ..... 1
บทที่ 2. วารสารปริทัศน์..... 2
บทที่ 3. การศึกษาวิจัย..... 5
3.1. วัตถุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้..... 5
3.1.1. วัตถุดิบที่ใช้..... 5
3.1.2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้..... 6
3.2. โรงงานที่เข้าร่วมวิจัย 6
3.3. วิธีการวิจัย..... 6
3.3.1. การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน 6
3.3.2. การทดสอบสมบัติของดินแดง จังหวัดราชบุรี..... 7
3.3.2.1. การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค..... 7
3.3.2.2. การทดสอบหาหาพื้นที่ผิวโดยวิธี Methylene blue index..... 7
3.3.2.3. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง..... 7
3.3.3. การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน. 7
3.3.3.1. การทดลองโดยการเคลือบบนชิ้นทดลอง..... 8
3.3.3.2. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและปริมาณน้ำในตัวอย่าง..... 9
3.3.4. การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ..... 9
3.3.4.1. การเตรียมน้ำเคลือบในห้องปฏิบัติการ..... 15

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

สารบัญ หน้า

3.3.4.2. การเผาเคลือบในห้องปฏิบัติการ..... 15

3.3.4.3. การบันทึกลักษณะเคลือบหลังเผา..... 16

3.3.4.4. การทดสอบความทนต่อการราน..... 16

3.3.5. การทดลองเคลือบในโรงงาน..... 16

3.3.5.1. การเตรียมเคลือบเพื่อทดลองในโรงงาน..... 17

3.3.5.2. การทดสอบความถ่วงจำเพาะของเคลือบ..... 17

3.3.5.3. การเผาเคลือบทดลองในโรงงาน..... 18

3.3.6. การคำนวณต้นทุนการผลิต..... 18

บทที่ 4. ผลการทดลอง..... 19

4.1. ข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน..... 19

4.2. ผลการทดสอบสมบัติของดินแดง จังหวัดราชบุรี..... 19

4.3. ผลการทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน..... 22

4.3.1. ผลการทดลองโดยการเคลือบบนชิ้นทดลอง..... 22

4.3.2. ผลการทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและการทดสอบหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง 22

4.4. ผลการทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ..... 24

4.4.1. ผลการทดลองเคลือบในห้องปฏิบัติการ..... 24

4.4.2. ผลการทดสอบความสามารถทนต่อการรานของเคลือบ..... 30

4.5. ผลการทดลองเคลือบในโรงงาน..... 30

4.6. ผลการคำนวณต้นทุนการผลิต..... 32

บทที่ 5. วิจารณ์ สรุปผล และข้อเสนอแนะผลการวิจัย 36

5.1. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 36

5.1.1. การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน..... 36

5.1.2. การทดสอบสมบัติของดินแดง จังหวัดราชบุรี..... 36

5.1.3. การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน... 37

5.1.4. การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ..... 37

5.1.5. การทดลองเคลือบในโรงงาน..... 38

5.1.6. การคำนวณต้นทุนการผลิต..... 39

สารบัญ หน้า

5.2. สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 40
กิตติกรรมประกาศ..... 41
เอกสารอ้างอิง..... 42
ภาคผนวก..... 43

สารบัญตาราง หน้า

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ..... 5
ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่าง AA และ A ที่ใช้ในการทดลอง..... 8
ตารางที่ 3 แสดงการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนตัวอย่าง A และดินแดงจังหวัดราชบุรี..... 8
ตารางที่ 4 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินแดงและเบนทอไนต์ร้อยละ 30-38 และมีปริมาณฟริตร้อยละ 20..... 11
ตารางที่ 5 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 ไม่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์..... 11
ตารางที่ 6 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5..... 12
ตารางที่ 7 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10..... 13
ตารางที่ 8 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5..... 14
ตารางที่ 9 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10..... 15
ตารางที่ 10 แสดงส่วนผสมเคลือบที่ใช้ทดลองในโรงงาน..... 17
ตารางที่ 11 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคดินแดง จังหวัดราชบุรี..... 20
ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองแปรเปลี่ยนส่วนผสมของดินต่อลักษณะของเคลือบ..... 22
ตารางที่ 13 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินแดงและเบนทอไนต์ร้อยละ 30-38 และมีปริมาณฟริตร้อยละ 20ของเคลือบตัวอย่าง BA BB BC..... 25
ตารางที่ 14 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 ไม่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์ ของเคลือบตัวอย่าง C4-18..... 25
ตารางที่ 15 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ของเคลือบตัวอย่าง D1-19 26
ตารางที่ 16 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ของเคลือบตัวอย่าง E1-19... 27
ตารางที่ 17 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ของเคลือบตัวอย่าง F4-19..... 28

สารบัญตาราง หน้า

ตารางที่ 18 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ของเคลือบตัวอย่าง G4-19..... 29
ตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบความทนต่อการรานของตัวอย่าง..... 30
ตารางที่ 20 แสดงผลการนำเคลือบไปใช้ในโรงงานตัวอย่าง..... 30
ตารางที่ 21 แสดงต้นทุนการผลิตของผู้ผลิตไหและโอ่งราชบุรี..... 32
ตารางที่ 22 ตัวอย่างต้นทุนการผลิตเคลือบทดลอง (ตัวอย่าง E13B) และการลงทุน..... 35

สารบัญภาพ หน้า

ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งตัวอย่างการแปรเปลี่ยนส่วนผสมของแร่ฟันม้า หินปูน และ ควอรตซ์ ในแผนภาพสามเหลี่ยม..... 10
ภาพที่ 2 แสดงปริมาณสะสมและขนาดอนุภาคของดินแดงจังหวัดราชบุรี..... 21
ภาพที่ 3 แสดงปริมาณและขนาดอนุภาคของดินแดงจังหวัดราชบุรี..... 21
ภาพที่ 4 แสดงปริมาณน้ำและปริมาณการหดตัวของเคลือบและเนื้อดินปั้น..... 23
ภาพที่ 5 ก แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่โรงงานทดลองใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย..... 31
ภาพที่ 5 ข แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่โรงงานทดลองใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย..... 31

บทที่ 1.
บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีได้มีการรวมตัวกันเป็นสมาคมเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี ซึ่งมีจำนวนสมาชิกประมาณ 40 โรงงาน ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรีประสบปัญหาการไม่สามารถพัฒนาน้ำเคลือบที่ได้มาตรฐานเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิม หรือในรายงานนี้เรียกว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์ซึ่งผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นส่วนผสมหลัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้น ชุบเคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาด และเผาครั้งเดียวในเตามังกรได้ เนื่องจากเคลือบจะหลุดล่อนก่อนนำไปเผา สมาคมฯจึงได้ขอความอนุเคราะห์ให้ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกวิจัยเคลือบมาตรฐาน ศูนย์วิจัยฯจึงได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเคลือบมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ราชบุรีที่เผาครั้งเดียว เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ประกอบการเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมที่โรงงานผลิตอยู่

1.2. วัตถุประสงค์

พัฒนาเคลือบที่ได้มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นส่วนผสมหลัก เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

1.3. ขอบเขตการวิจัย

1.3.1. พัฒนาเคลือบที่ได้มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิมที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นส่วนผสมหลัก

1.3.2. ประเมินต้นทุนในการผลิตโดยใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย

1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1. ได้เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เนื้อดินปั้นซึ่งมีส่วนผสมหลักเป็นดินแดงจังหวัดราชบุรีและกระบวนผลิตเดิมที่โรงงานเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีใช้อยู่

1.4.2. โรงงานเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีได้สูตรเคลือบและกระบวนการเตรียมเคลือบในการปรับปรุงรูปแบบและกระบวนการผลิตเครื่องเคลือบดินเผา

1.4.3. ผู้ประกอบการมีความรู้ความเข้าใจด้านการพัฒนาเคลือบเซรามิกมากขึ้น

1.4.4. ส่งเสริมการขายตลาดเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี

1.5. ระยะเวลาดำเนินการ 2 ปี (ส.ค. 2542- ก.ค. 2544)

บทที่ 2.
วารสารปริทัศน์

เครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีเป็นเครื่องเคลือบดินเผาสีน้ำตาลเข้ม ไม่ดูดซึมน้ำ เนื้อ สโตนแวร์ ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดได้แก่ โอ่งมังกร อ่างบัว กระถางต้นไม้ และไหสำหรับหมักดอง การผลิตเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นคือดินแดง และใช้กระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมที่สืบทอดกันมาตั้งแต่อดีต คือการใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่ในกระบวนการผลิตและการขึ้นรูป เผาในเตามังกรโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผา

น้ำเคลือบที่ใช้กับเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีเป็นเคลือบขี้เถ้าซึ่งเตรียมจากส่วนผสมของขี้เถ้าไม้เบญจพรรณและดินเลนในอัตราส่วนประมาณ 3 ต่อ 7 เป็นเคลือบใสสีน้ำตาล มีจุดสุกตัวของเคลือบประมาณ 1150-1200^{o}ซ ซึ่งจัดเป็นเคลือบที่มีจุดสุกตัวปานกลาง ขี้เถ้าไม้และดินเลนจัดเป็นวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างไม่คงที่ ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าไม้เบญจพรรณและดินเลนประกอบด้วยออกไซด์ต่างๆดังนี้

ออกไซด์	ขี้เถ้าไม้เบญจพรรณ, ร้อยละ	ดินเลน, ร้อยละ
Na_2O	0.4-2.3	0.1-0.2
K_2O	4.0-5.3	1.5-1.8
MgO	3.4-6.3	0.4-2.1
CaO	24.6-36.9	0.7-1.7
Al_2O_3	6.1-7.1	9.5-15.2
Fe_2O_3	0.3-2.4	3.8-4.2
SiO_2	9.2-31.1	70.2-75.0
TiO_2	0.1-0.2	0.7-0.8
LOI	22.4-33.9	5.4-5.9

โดยปกติองค์ประกอบทางเคมีของเคลือบสามารถแบ่งได้ตามสูตรเอมพิริคัลฟอร์มูลาเป็น 3 กลุ่มหลัก คือกลุ่มที่เป็นด่าง กลาง และ กรด กลุ่มที่เป็นด่างมีสมบัติช่วยในการลดจุดสุกตัวของเคลือบ และทำให้เคลือบมีสัมประสิทธิการขยายตัวสูง คือออกไซด์ของอัลคาไลและอัลคาไลน์เอิร์ท ได้แก่ โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) คัลเซียมออกไซด์ (CaO) แบเรียมออกไซด์ (BaO) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนประกอบในวัตถุดิบแร่ฟันม้า ทัลก์ หินปูน โดโลไมต์ แบเรียมคาร์บอเนต และซิงค์ออกไซด์ โดยทั่วไปออกไซด์ของอัลคาไลมีสมบัติช่วยในการลดจุดสุกตัวของเคลือบ และทำให้เคลือบมีสัมประสิทธิการขยายตัวสูงกว่าออกไซด์ของอัลคาไลน์เอิร์ท

จากการศึกษาสมบัติความแรงของออกไซด์ที่ช่วยลดจุดสุกตัวของเคลือบเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $Na_2O>K_2O>ZnO>BaO,CaO$ โดย Na_2O และ K_2O มีสมบัติช่วยลดอุณหภูมิตลอดช่วงอุณหภูมิระหว่าง 900-1388°ซ (cone number 012-14) ZnO และ CaO มีสมบัติช่วยลดอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิระหว่าง 1098-1148 °ซ (cone number 04-02) และ BaO มีสมบัติช่วยลดอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิระหว่าง 1190-1209 °ซ (cone number) การใช้แร่ฟันม้าซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี $(Na_2O,K_2O)\ Al_2O_3\ 6SiO_2$ เป็นวัตถุดิบเพื่อเติม Na_2O และ K_2O จึงเป็นการเติมอะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) ในเคลือบด้วยซึ่งมีผลต่อความทนไฟ ส่วนการเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เพื่อให้ Na_2O พบว่ามีสมบัติสามารถละลายน้ำได้ อาจมีผลทำให้สมบัติเคลือบหรือเนื้อดินเปลี่ยนแปลงระหว่างการใช้งาน การใช้วัตถุดิบในรูปฟริตซึ่งมี Na_2O ในปริมาณสูงและไม่ละลายน้ำมีราคาแพง

กลุ่มที่เป็นกลางมีสมบัติทำให้เคลือบทนไฟและมีความทนทานดียิ่งขึ้น และทำให้เคลือบมีสัมประสิทธิการขยายตัวต่ำ ได้แก่อะลูมินา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในวัตถุดิบจำพวกดิน เช่นดินขาว ดินเหนียว และดินแดงเป็นต้น เนื่องจากดินมีอะลูมิเนียมซิลิเกต ($Al_2O_3\ 2SiO_2\ 2H_2O$) เป็นองค์ประกอบ การเติมดินจึงเป็นการเติม SiO_2ในเคลือบด้วย ดินแต่ละชนิดจะมีปริมาณและชนิดของมลทินต่างกัน เช่นปริมาณเหล็กออกไซด์ที่มีผลต่อสีเคลือบแตกต่างกัน ดินขาวมีปริมาณเหล็กออกไซด์ต่ำและดินแดงมักมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูงสุด นอกจากนี้ดินแต่ละชนิดมีการกระจายขนาดของอนุภาคแตกต่างกันอีกด้วย ดินขาวมักมีขนาดอนุภาคหยาบ และดินดำหรือดินแดงมักมีขนาดอนุภาคละเอียด แร่อีกชนิดที่อยู่ในตระกูลดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากคือเบนทอไนต์ เบนทอไนต์จึงมีสมบัติเหนียวมาก พบมีการใช้ดินในเคลือบเกือบทุกประเภทเนื่องจากดินช่วยชลอการตกตะกอนของอนุภาคในเคลือบและมีการใช้ในปริมาณสูงในผลิตภัณฑ์ที่เผาครั้งเดียว

กลุ่มที่เป็นกรดมีสมบัติเป็นเนื้อแก้วและทำให้เคลือบมีความทนทาน และมีสัมประสิทธิการขยายตัวต่ำ ได้แก่ซิลิกา ซึ่งเป็นส่วนประกอบในวัตถุดิบพวกทรายเป็นต้น

การแปรเปลี่ยนชนิดและปริมาณวัตถุดิบจึงมีผลต่อสูตรเคลือบ สมบัติการสุกตัวและสมบัติของเคลือบหลังเผาโดยตรง นอกจากนี้สมบัติของเนื้อดินก็มีผลทำให้เคลือบมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่นเคลือบที่มีสมบัติการขยายตัวมากกว่าเนื้อดินจะทำให้หลังเผาเคลือบราน

เคลือบจึงควรมีสัมประสิทธิการขยายตัวน้อยกว่าเนื้อดินเพื่อให้หลังเผาเคลือบจะอยู่ภายใต้แรงอัดช่วยให้เคลือบมีความแข็งแรงมากขึ้น

เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เผาครั้งเดียวมักเตรียมจากวัตถุดิบธรรมชาติและมีส่วนผสมของดินหรือเบนทอไนต์สูงกว่าเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เผาสองครั้งหรือผ่านการเผาดิบ เคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เผาครั้งเดียวต้องมีสมบัติการหดตัวก่อนแห้งเข้าได้กับเนื้อดิน ตำหนิที่มักพบในเคลือบที่เผาครั้งเดียวมีหลายประเภทเช่น ล่อน (Crawling) รูเข็ม (pinholes) ระเบิด (Bloating)เป็นต้น

การล่อนคือลักษณะของเคลือบที่ดึงตัวจนเห็นชั้นของเนื้อดิน ขอบของเคลือบมีลักษณะมน ตำหนิอาจเกิดตำแหน่งเดียวหรือเป็นพื้นที่กว้างรอบผลิตภัณฑ์ การล่อนเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ผิวผลิตภัณฑ์ก่อนเคลือบไม่สะอาดหรือมีเกลือที่มาจากเนื้อดินหรือน้ำสะสมทำให้เคลือบยึดเกาะไม่ดี การกระทบของผลิตภัณฑ์ทำให้เคลือบหลุด เคลือบระหว่างแห้งหดตัวมากเกินไปทำให้เคลือบแตกก่อนเผา บดเคลือบละเอียดเกินไปทำให้เคลือบหดตัวมากขึ้น เคลือบเมื่อหลอมเป็นแก้วมีความหนืดมากเกินไป เคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาดเกินไปทำให้การหดตัวไม่เข้ากับเนื้อดิน เคลือบหนาเกินไป การเผาไล่น้ำเร็วเกินไปหรือเผาขณะที่ผลิตภัณฑ์ไม่แห้งสนิท การใช้วัตถุดิบที่มีสมบัติหดตัวระหว่างเผาในปริมาณมากเกินไป เป็นต้น

แนวทางการแก้ไขปัญหาการการล่อนได้แก่ การเปลี่ยนวัตถุดิบเพื่อปรับสมบัติการหดตัวของเคลือบให้เข้ากับเนื้อดินทั้งก่อนและหลังเผา การทำความสะอาดผิวให้ปราศจากฝุ่นหรือน้ำมันก่อนเคลือบเพื่อให้เคลือบยึดเกาะเนื้อดินได้ดี การเติมกาวเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเคลือบและเนื้อดินก่อนเผา การเปลี่ยนวัตถุดิบเพื่อเพิ่มสมบัติการไหลตัวหรือลดความหนืดของเคลือบเมื่อหลอม การอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งสนิทก่อนเผา เป็นต้น ปัญหาการล่อนอาจเกิดจากหลายสาเหตุในขณะเดียวกัน การหาสาเหตุที่แท้จริงและแก้ไขที่ต้นเหตุจะช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

บทที่ 3.
การศึกษาวิจัย

3.1. วัตถุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1. วัตถุดิบที่ใช้

ดินแดง แหล่งสมถะ จังหวัดราชบุรี จากผู้ผลิตเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรี

ดินดำ แหล่งลานสกา จากบริษัท สยามไฟน์เคลย์ จำกัด

ดินขาว จังหวัดระนอง จากบริษัท เคลย์แอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

เบนทอไนต์ จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

แร่ฟันม้า เกรด Spar Glaze จากบริษัท เคลย์แอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

หินปูน จังหวัดสระบุรี จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

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

ซิงค์ออกไซด์ จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ฟริต เกรด XM133 จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

CMC จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

สารกันบูด (โซเดียมเบนโซเอท) จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	LOI
ดินแดงราชบุรี[+]	0.1	1.0	0.4	0.5	19.6	4.8	64.1	1.1	8.0
ดินดำลานสกา[+]	0.7	2.5	0.4	0.2	27.1	2.2	55.2	-	10.8
ดินขาวระนอง*	0.06	2.09	0.09	0.04	36.7	1.33	48.5	0.07	12.06
เบนทอไนต์[+]	4.0	0.8	2.4	2.8	18.1	3.4	60.3	-	6.4
แร่ฟันม้า[+]	7.5	0.3	0.3	1.5	18.3	0.2	68.8	-	0.8
หินปูน*	-	-	0.5	97.0	0.2	0.05	0.5	-	-
ทราย*	0.01	0.01	0.01	0.04	0.42	0.05	99.0	0.05	0.39

- ที่มา: *สมุดแจ้งรายการสินค้าบริษัท

  [+]ผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.1.2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องหาการกระจายขนาดของอนุภาค (Sedigraph)

เครื่องชั่ง

หม้อบดความเร็วสูงขนาด 200 มล.

หม้อบดขนาด 20 กิโลกรัม

เวอร์เนีย

เตาเผาไฟฟ้า

แบบอัดปูนปลาสเตอร์

3.2. โรงงานที่เข้าร่วมวิจัย

โรงงานเรืองศิลป์ 2 จังหวัดราชบุรี

โรงงานสหะศิลป์ จังหวัดราชบุรี

โรงงานเถ้าย่งหยู จังหวัดราชบุรี

โรงงานเถ้าแซไถ่ จังหวัดราชบุรี

3.3. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยประกอบด้วย การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน การทดสอบสมบัติวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ และการทดลองเคลือบในโรงงาน รายละเอียดมีดังนี้

3.3.1. การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน

เก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน ได้แก่การเยี่ยมชมโรงงาน สัมภาษณ์ เก็บข้อมูล และแลกเปลี่ยนข้อมูลกับผู้ประกอบการ เนื่องจากการพัฒนาเคลือบเพื่อผลิตภัณฑ์จังหวัดราชบุรีเชิงอนุรักษ์ มีแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาเคลือบและกระบวนการเตรียมเคลือบที่สามารถใช้กับกระบวนการผลิตและเนื้อดินปั้นเดิมของโรงงาน ข้อมูลที่เก็บจึงใช้เป็นแนวทางการทดลองเพื่อจำลองกระบวนการผลิตของโรงงาน

3.3.2. การทดสอบสมบัติของดินแดงจังหวัดราชบุรี

ทดสอบสมบัติของดินแดงจังหวัดราชบุรี เนื่องจากดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเนื้อดินปั้น ได้แก่การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค ค่าพื้นที่ผิว และร้อยละการหดตัวเมื่อแห้งของดินแดงจังหวัดราชบุรี

3.3.2.1. การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค

ทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้เครื่อง sedigraph วัดขนาดของอนุภาคหรือการกระจายของขนาดอนุภาคตามกฎของ Stokes ขนาดของอนุภาคจะมีผลต่ออัตราในการตกตะกอนของอนุภาคในตัวกลาง ใช้ X-ray ช่วยในการวัดความเข้มข้นเพื่อหาอัตราในการตกของอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ามีอัตราในการตกเร็วกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า

3.3.2.2. การทดสอบหาพื้นที่ผิวโดยวิธี Methylene blue index

ทดสอบหาค่า Methylene blue index (MBI) โดยใช้ตัวอย่างดิน 2 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ปรับให้ได้ค่า pH 2.5-3.8 นำมาไตเตรทด้วยสารละลาย Methylene blue (0.01N) ครั้งละประมาณ 5 ซีซี ปั่นน้ำดิน 1-2 นาทีหลังไตเตรท ชักตัวอย่างน้ำดินโดยหยดน้ำดินบนกระดาษกรอง บันทึกจุดจบของการทดสอบโดยการสังเกตการเกิดวงสีฟ้าที่ซึมออกมารอบๆหยดน้ำดิน คำนวณค่า Methylene blue index จากสูตรดังแสดงในภาคผนวก ทดสอบตาม Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clays ASTM C837-99

3.3.2.3. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง

ขึ้นรูปตัวอย่างโดยการหล่อน้ำดินตัวอย่างในแบบปูนปลาสเตอร์ ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวเมื่อแกะแบบกับความยาวเมื่อแห้ง สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ทดสอบตาม Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkage of Ceramic Whiteware clays ASTM C326-83 (Reapproved 1997)

3.3.3. การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน

ได้ทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน โดยการทดลองเคลือบบนชิ้นทดลองในห้องปฏิบัติการ และยืนยันสาเหตุการล่อนโดยการทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและปริมาณน้ำในตัวอย่าง

3.3.3.1. **การทดลองโดยการเคลือบบนชิ้นทดลอง**

การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงานในห้องปฏิบัติการ ได้แก่การนำเคลือบที่ใช้ทั่วไปในโรงงานเซรามิกมาทดลองใช้กับเนื้อดินปั้นที่โรงงานใช้ ในการทดลองนี้ใช้ส่วนผสมตัวอย่าง AA ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเคลือบที่ใช้ทั่วไปในโรงงานเซรามิก ตัวอย่าง A เป็นตัวอย่างที่ปรับจากตัวอย่าง AA คือไม่มีดินขาวระนอง แสดงดังตารางที่ 2 ได้ทดลองแปรเปลี่ยนอัตราส่วนของส่วนผสม A และดินแดง จังหวัดราชบุรีซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของเนื้อดินปั้นโรงงาน อัตราส่วนที่ทดลองแสดงดังตารางที่ 3 เตรียมส่วนผสมโดยการชั่งตัวอย่างปริมาณ 100 กรัม เติมน้ำปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 100 ปั่นส่วนผสมในเครื่องปั่นเป็นเวลา 20 นาที ชุบเคลือบบนชิ้นทดลองที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นที่โรงงานใช้ ชุบเคลือบขณะที่ชิ้นทดลองมีความชื้นคือมีปริมาณน้ำร้อยละ 14-18 เพื่อจำลองการผลิตจริงในโรงงาน บันทึกผลลักษณะของเคลือบหรือลักษณะการล่อนเมื่อเคลือบแห้ง

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่าง AA และ A ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอรตซ์	ซิงค์ออกไซค์	ทัลก์	ดินขาวระนอง
AA	35.2	13.6	28.5	6.8	4.8	11.1
A	39.6	15.3	32.1	7.6	5.4	-

ตารางที่ 3 แสดงการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนตัวอย่าง A และดินแดงจังหวัดราชบุรี

ตัวอย่าง	ตัวอย่าง A	ดินแดงจังหวัดราชบุรี
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	35	65

3.3.3.2. **การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและปริมาณน้ำในตัวอย่าง**

ทดสอบเปรียบเทียบการหดตัวเมื่อแห้งและปริมาณน้ำในตัวอย่างของเคลือบทดลองที่มีปริมาณดินขาวร้อยละ 11 (AA) ดินเหนียวร้อยละ 35 (A8) กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน ทดสอบโดยใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวเมื่อแกะแบบกับความยาวที่เปลี่ยนไปเมื่อแห้ง ณ เวลาต่างๆกันและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟกับน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปขณะวัดขนาด สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก

3.3.4. **การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ**

การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการได้แก่การพัฒนาหาสูตรเคลือบที่มีการสุกตัวดีที่อุณหภูมิ 1180°ซ แต่มีส่วนผสมของดินแตกต่างกันในช่วงร้อยละ 5 – 38 เพื่อเลือกมาใช้ในการทดลองผลของปริมาณดินที่มีต่อน้ำเคลือบในการใช้งานในโรงงาน

ในการทดลองได้ใช้แร่ฟันม้า หินปูน และซิงค์ออกไซด์เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวของเคลือบ ได้ทดลองโดยกำหนดให้มีปริมาณดินและซิงค์ออกไซด์คงที่ แล้วแปรเปลี่ยนส่วนผสมของแร่ฟันม้า หินปูน และควอรตซ์ ดังภาพที่ 1 บันทึกลักษณะเคลือบหลังเผา ได้แบ่งการทดลองเป็น 6 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม B ได้แก่เคลือบที่มีปริมาณรวมของดินแดงและเบนทอไนต์ที่ร้อยละ 30-38 และฟริต ร้อยละ 20 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังตัวอย่าง BA BB BC ในตารางที่ 4

กลุ่ม C ได้แก่เคลือบที่มีปริมาณดินดำคงที่ร้อยละ 10 เบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 หรือมีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 ไม่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์ ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังตัวอย่าง C4 –18 ในตารางที่ 5

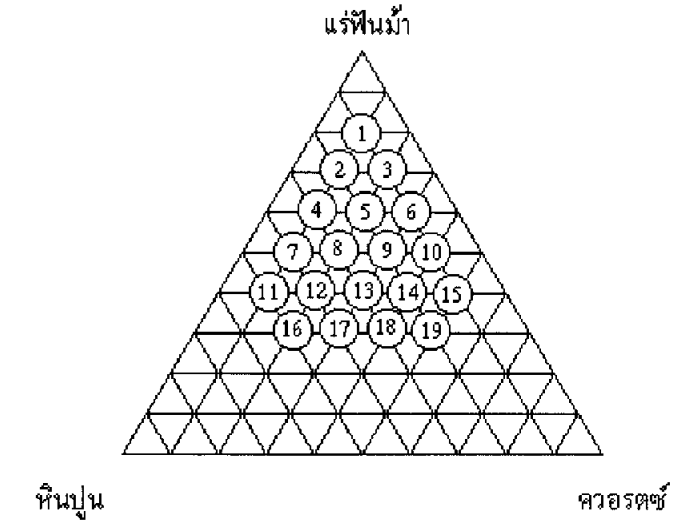
กลุ่ม D ได้แก่เคลือบที่มีปริมาณดินดำคงที่ร้อยละ 10 เบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 หรือมีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังตัวอย่าง D1-19 ในตารางที่ 6

กลุ่ม E ได้แก่เคลือบที่มีปริมาณดินดำคงที่ร้อยละ 10 เบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 หรือมีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังตัวอย่าง E1-19 ในตารางที่ 7

กลุ่ม F ได้แก่เคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังตัวอย่าง F4-19 ในตารางที่ 8

กลุ่ม G ได้แก่เคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ส่วนผสมของเคลือบแสดงดังตัวอย่าง G4-19 ในตารางที่ 9

เลือกเคลือบจากกลุ่ม B-G มา 2 ตัวอย่างเพื่อทดสอบความเข้าได้กับเนื้อดินโดยการทดสอบความทนต่อการรานก่อนนำมาทดลองเคลือบในโรงงาน



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งตัวอย่างการแปรเปลี่ยนส่วนผสมของแร่ฟันม้า หินปูน และควอรตซ์ ในแผนภาพสามเหลี่ยม

ตารางที่ 4 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินแดงและเบนทอไนต์ร้อยละ 30-38 และมีปริมาณฟริตร้อยละ 20

	BA	BB	BC
แร่ฟันม้า	6	10	20.8
หินปูน	16	6	9.7
ควอรตซ์	5	12.5	12.8
ฟริต	20	20	20
แบเรียมคาร์บอเนต	4	1.5	-
ซิงค์ออกไซค์	5	10	6.7
เบนทอไนต์	3	5	5
ดินแดง	35	31	25

ตารางที่ 5 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 ไม่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์

ตัวอย่าง	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอรตซ์	ซิงค์ออกไซค์	เบนทอไนต์	ดินดำ
C4	68	8.5	8.5	-	5	10
C5	59.5	17	8.5	-	5	10
C6	59.5	8.5	17	-	5	10
C7	51	25.5	8.5	-	5	10
C8	51	17	17	-	5	10
C9	51	8.5	25.5	-	5	10
C10	42.5	34	8.5	-	5	10
C11	42.5	25.5	17	-	5	10
C12	42.5	17	25.5	-	5	10
C13	42.5	8.5	34	-	5	10
C14	34	42.5	8.5	-	5	10
C15	34	34	17	-	5	10
C16	34	25.5	25.5	-	5	10
C17	34	17	34	-	5	10
C18	34	8.5	42.5	-	5	10

ตารางที่ 6 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5

ตัวอย่าง	แร่พันม้า	หินปูน	ควอรตซ์	ซิงค์ออกไซค์	เบนทอไนต์	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
D17	24	32	24	5	5	10
D18	24	24	32	5	5	10
D19	24	16	40	5	5	10

ตารางที่ 7 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10

ตัวอย่าง	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอรตซ์	ซิงค์ออกไซค์	เบนทอไนต์	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 8 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5

ตัวอย่าง	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอรตซ์	ซิงค์ออกไซค์	เบนทอไนต์	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 9 แสดงส่วนผสมเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10

ตัวอย่าง	แร่ฟันม้า	หินปูน	ควอรตซ์	ซิงค์ออกไซค์	เบนทอไนต์	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	-
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	-

3.3.4.1. การเตรียมน้ำเคลือบในห้องปฏิบัติการ

เตรียมเคลือบทดลองในห้องปฏิบัติการโดยการชั่งเคลือบปริมาณ 100 กรัม เติมน้ำโดยประมาณร้อยละ 65 บดส่วนผสมในหม้อบดความเร็วสูง เป็นเวลา 20 นาที เตรียมชิ้นทดลองโดยการชุบเคลือบบนชิ้นทดลองที่เตรียมจากเนื้อดินปั้นจังหวัดราชบุรีที่ผ่านการเผาดิบที่อุณหภูมิ 800°ซ

3.3.4.2. การเผาเคลือบในห้องปฏิบัติการ

การเผาเคลือบทดลองในห้องปฏิบัติการ เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1180°ซ ในเวลา 7 ชั่วโมง ยืนไฟนาน 30 นาที

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.3.4.3. **การบันทึกลักษณะเคลือบหลังเผา**

บันทึกดูลักษณะของเคลือบหลังเผาด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า บันทึกเปรียบเทียบลักษณะผิว ด้าน/กึ่งด้าน/มัน ใส/กึ่งทึบ/ทึบ ปริมาณการหลอมจากลักษณะความมันของผิวเคลือบ สี และลักษณะผิว เช่นหยาบหรือการรานหากปรากฏ

3.3.4.4. **การทดสอบความทนต่อการราน**

วางชิ้นทดสอบเหนือระดับน้ำภายในหม้อนึ่งอัด (autoclave) ปิดฝาให้แน่นแล้วจึงค่อยๆเพิ่มความร้อนและไล่อากาศภายในออกก่อนทำการปิดช่องระบายอากาศเพื่อเพิ่มความดันจนได้ค่าความดันตามที่ต้องการ รักษาระดับความดันไว้ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัว เช็ดตัวอย่างให้แห้ง จุ่มในสารละลายของสีย้อม เช่น Methylene blue แล้วทำความสะอาด จากนั้นตรวจสอบดูการรานของตัวอย่าง โดยการทดสอบที่ความดัน 150 200 และ250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

3.3.5. **การทดลองเคลือบในโรงงาน**

การทดลองเคลือบในโรงงาน ได้แก่การเลือกตัวอย่างเคลือบที่มีปริมาณดินและเบนทอไนต์รวมแตกต่างกันจากการทดลองที่ 2.4.4 เลือกสูตรเคลือบที่มีความสุกตัวดีคือมีลักษณะมันจนถึงมันวาว ได้ทดลองร่วมกับการเปลี่ยนประเภทของดินในสูตรเคลือบที่เลือกจากดินดำเป็นดินแดงและดินขาว และการแปรเปลี่ยนปริมาณ CMC ในช่วงร้อยละ 0 – 1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 10 ได้ทดลองราดเคลือบบนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน เช่น กระถางหรือโอ่งที่หมาด ทิ้งไว้ในที่อับลมจนแห้งสนิท เผาผลิตภัณฑ์เมื่อแห้งในเตามังกรและบันทึกลักษณะเคลือบหลังเผา

ตารางที่ 10 แสดงส่วนผสมเคลือบที่ใช้ทดลองในโรงงาน

	BA	BB	BC	E13	E13 A	E13 B	E13 C	D13 A	G13	G13 A	G13 B
แร่ฟันม้า	6	10	20.8	30	30	30	30	32	34	34	34
หินปูน	16	6	9.7	22.5	22.5	22.5	22.5	24	25.5	25.5	25.5
ควอรตซ์	5	12.5	12.8	22.5	22.5	22.5	22.5	24	25.5	25.5	25.5
ฟริต	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-
แบเรียม คาร์บอเนต	4	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ซิงค์ออก ไซค์	5	10	6.7	10	10	10	10	5	10	10	10
เบนทอไนต์	3	5	5	5	5	5	-	5	5	-	-
ดินแดง	35	31	25	-	-	-	15	10	-	5	-
ดินดำ	-	-	-	10	10	10	-	-	-	-	-
ดินขาว	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
CMC	-	-	-	-	0.5	1	1	1	1	1	1

3.3.5.1. การเตรียมเคลือบเพื่อทดลองในโรงงาน

การเตรียมเคลือบทดลองใช้ในโรงงาน ชั่งเคลือบปริมาณ 10 กิโลกรัม เติมน้ำในปริมาณ ร้อยละ 65 บดส่วนผสมในหม้อบดขนาด 20 กิโลกรัม เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังการบดเติมน้ำและ/หรือ CMCในปริมาณที่กำหนด ปรับเคลือบให้ได้ความถ่วงจำเพาะ 1.33 ในกรณีเคลือบทดลองในโรงงานใช้วิธีการเทราดลงบนผลิตภัณฑ์ที่ชื้นหรือมีปริมาณน้ำร้อยละ 14-18

3.3.5.2. การทดสอบความถ่วงจำเพาะของเคลือบ

ใช้วิธีหาน้ำหนักของน้ำเคลือบที่ทราบปริมาตร คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของเคลือบจากสูตรดังแสดงในภาคผนวก

3.3.5.3. **การเผาเคลือบทดลองในโรงงาน**

การเผาเคลือบทดลองในโรงงาน เผาในเตามังกรของโรงงานที่ร่วมวิจัยโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิการเผาประมาณ 1150-1200^{o}ซ รวมเวลาอบและเผาผลิตภัณฑ์ประมาณ 57 ชั่วโมง

3.3.6. **การคำนวณต้นทุนการผลิต**

การคำนวณต้นทุนการผลิตได้จากการเก็บข้อมูลจากผู้ผลิต มีรายละเอียดดังนี้

1. ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเนื้อดิน คือ ดินแดงจังหวัดราชบุรี ทราย สัดส่วนส่วนผสมและปริมาณการใช้

2. ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ คือ ขี้เถ้า ดินเลน อื่นๆ สัดส่วนส่วนผสมและปริมาณการใช้

3. ราคาเครื่องจักรและค่าบำรุงรักษา ประเมินการใช้งานที่ 10 ปี คือ แป้นหมุน เครื่องโม่กวน เครื่องโม่ท่อ เครื่องตักดินและขี้เถ้า

4. ค่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป และปริมาณการผลิต

5. ค่าเชื้อเพลิงและค่าแรงที่ใช้ในการเผา และปริมาณการเผา

6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ คือไฟฟ้า น้ำมัน

บทที่ 4.
ผลการทดลอง

4.1. ข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน

เนื้อดินปั้นที่โรงงานใช้ประกอบด้วยดินแดงจังหวัดราชบุรี ร้อยละ 90 ทรายแม่น้ำ ร้อยละ 10 เติมน้ำหมักส่วนผสมในบ่อพัก 3 คืน นำมาเข้าเครื่องผสมและเครื่องรีดดิน นำดินที่ผ่านการรีดมาปั้นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โอ่ง ไห หรือกระถาง ทิ้งไว้ในที่อับลมให้แห้ง เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณร้อยละ 14-18 ราดเคลือบด้วยเคลือบขี้เถ้า

เคลือบขี้เถ้าประกอบด้วยขี้เถ้าไม้เบญจพรรณและดินเลน ดินเลนจะผ่านการกรองและล้างผ่านตะแกรง 80 เมช ส่วนขี้เถ้าไม้จะผ่านการร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช ตีเป็นฝุ่น แล้วจึงนำมาแช่น้ำและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ผสมขี้เถ้าไม้และดินเลนเข้าด้วยกันโดยวิธีการตวง ส่วนผสมของเคลือบโดยประมาณคือขี้เถ้าไม้เบญจพรรณร้อยละ 30 ดินเลนร้อยละ 70 และมีปริมาณน้ำในเคลือบร้อยละ 60 หลังเคลือบทิ้งผลิตภัณฑ์ให้แห้งสนิทในที่อับลม ก่อนเรียงเข้าเผาในเตามังกร

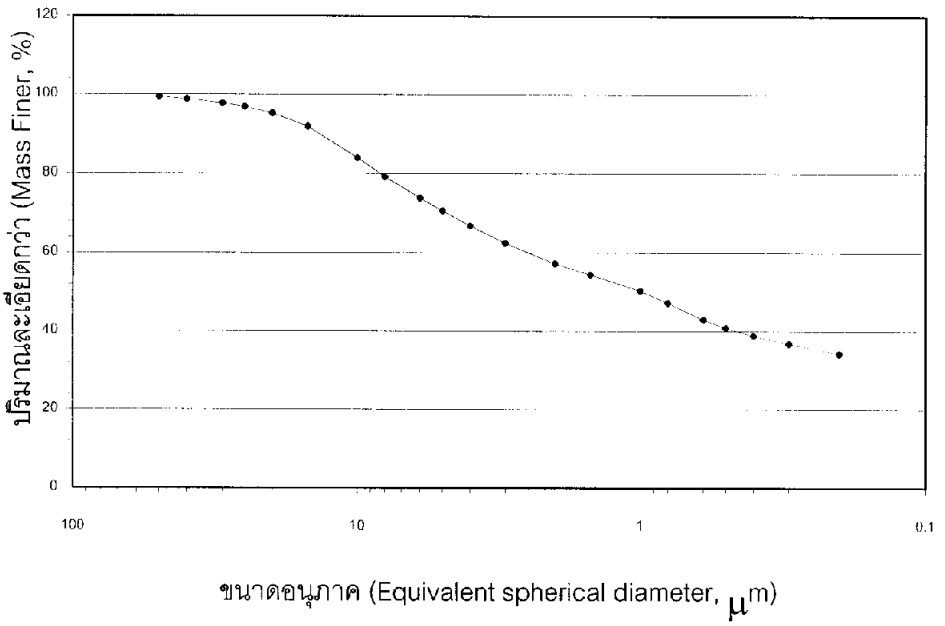
การเผาในเตามังกรใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงเช่น เปลือกไม้ยาง อุณหภูมิของเตาเผาประมาณ 1150-1200°ซ ใช้เวลาในการเผาทั้งสิ้น 54 ชั่วโมง เมื่อเผาเสร็จตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนขาย

4.2. ผลการทดสอบสมบัติของดินแดง จังหวัดราชบุรี

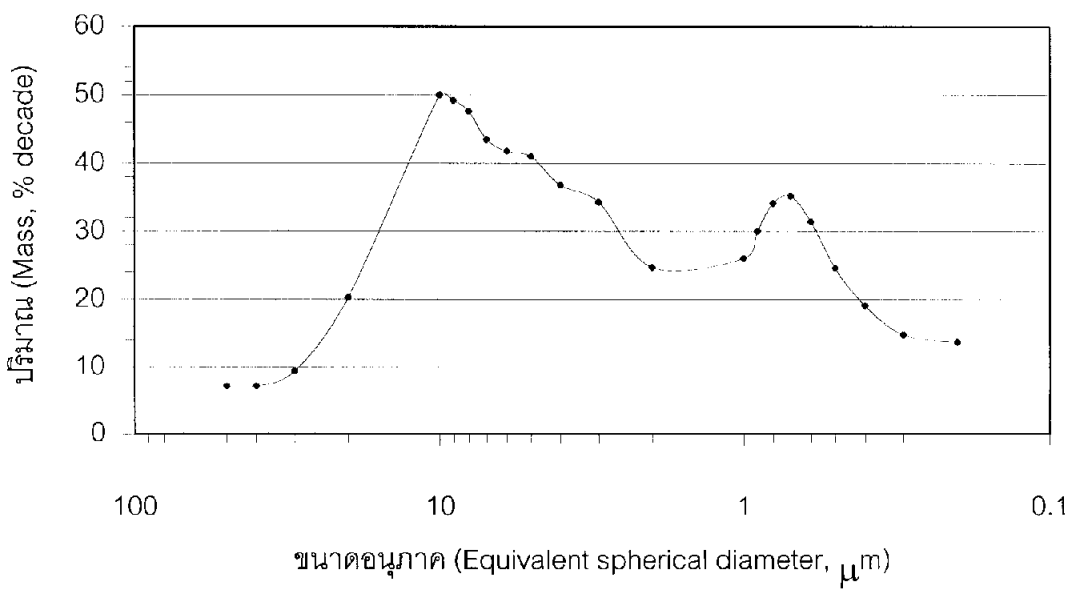
ผลการทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค พื้นที่ผิว และการหดตัวเมื่อแห้งของดินแดงจังหวัดราชบุรี พบว่าตัวอย่างมีขนาดมัธยฐานของอนุภาค 0.98 ไมครอน มีค่า MBI 18 มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อ 100 กรัม (meq/100g) และการหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 11 ผลการทดสอบการกระจายขนาดอนุภาคแสดงดังตารางที่ 11 ภาพที่ 2 และ 3

ตารางที่ 11 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคดินแดง จังหวัดราชบุรี

ขนาดอนุภาค, ไมครอน	ปริมาณสะสม	ปริมาณอนุภาค
50	99.4	7.1
40	98.8	7.1
30	97.8	9.4
20	95.3	20.3
10	84	50
8	79.2	47.6
6	73.8	41.8
5	70.5	41
4	66.8	36.8
3	62.4	34.3
2	57.2	24.7
1	50.3	26
0.8	47.2	34.1
0.6	43	31.4
0.5	40.8	24.6
0.4	38.8	19.1
0.3	36.8	14.8
0.2	34.2	13.7



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณสะสมและขนาดอนุภาคของดินแดงจังหวัดราชบุรี



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณและขนาดอนุภาคของดินแดงจังหวัดราชบุรี

4.3. ผลการทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน

4.3.1. การทดลองโดยการเคลือบบนชิ้นทดลอง

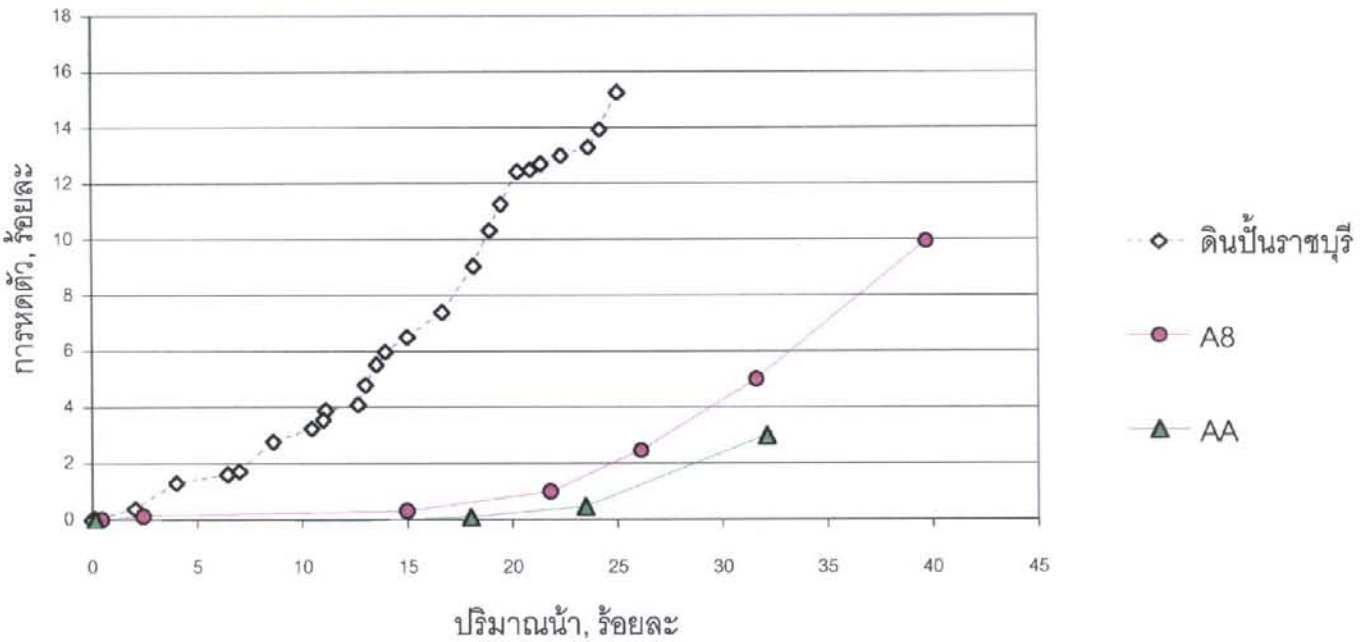
ผลการทดลองโดยแปรส่วนผสมของดินในเคลือบพบว่า ตัวอย่าง A1-A6 เคลือบไม่ล่อน และตัวอย่าง AA และ A7-A8 เคลือบล่อน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองแปรเปลี่ยนส่วนผสมของดินต่อลักษณะของเคลือบ

ตัวอย่าง	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี-อื่นๆ
AA	กึ่งด้าน	กึ่งทึบ	ปานกลาง	ไม่มีสี/ล่อนเป็นแผ่น
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/ล่อนเล็กน้อย
A8	กึ่งด้าน	ทึบ	ปานกลาง	น้ำตาล/ล่อนเล็กน้อย

4.3.2. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและการทดสอบหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง

ปริมาณดินในเคลือบมีผลต่อการหดตัว ภาพที่ 4 แสดงปริมาณน้ำและปริมาณการหดตัวของเคลือบและเนื้อดินปั้น พบว่าที่ปริมาณน้ำเท่ากัน เนื้อดินปั้นของโรงงานในจังหวัดราชบุรีมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือหดตัวเมื่อแห้งสูงสุด ส่วนเคลือบ A8 ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวร้อยละ35 มีการหดตัวมากกว่าเคลือบ AA ที่มีส่วนผสมของดินขาวร้อยละ11



ภาพที่ 4 แสดงปริมาณน้ำและปริมาณการหดตัวของเคลือบและเนื้อดินปั้น

4.4. ผลการทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ

4.4.1. ผลการทดลองเคลือบในห้องปฏิบัติการ

เคลือบที่มีปริมาณรวมของดินแดงและเบนทอไนต์ร้อยละ 30-38 และฟริตร้อยละ 20 (ตัวอย่าง BA BB BC) มีลักษณะเคลือบมันไม่มากนัก

เคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 ไม่มีส่วนผสมของซิงค์ออกไซด์ (ตัวอย่าง C4-18) มีลักษณะเคลือบมันไม่มากนัก

เคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์-ออกไซด์ร้อยละ 5 (ตัวอย่าง D1-19) พบตัวอย่าง D8 D9 D13 มีลักษณะเคลือบมัน

เคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์-ออกไซด์ร้อยละ 10 (ตัวอย่าง E1-19) พบตัวอย่าง E2 E5 E9 E13 มีลักษณะเคลือบมันวาว

เคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 5 (ตัวอย่าง F4-19) พบตัวอย่าง F5 มีลักษณะเคลือบมัน

เคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 (ตัวอย่าง G4-19) พบตัวอย่าง G4 G5 G8 G9 G13 มีลักษณะเคลือบมันวาว

ผลการทดลองเคลือบในห้องปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 13-18

ตารางที่ 13 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินแดงและเบนทอไนต์ร้อยละ 30-38 และมีปริมาณฟริตร้อยละ 20 ของเคลือบตัวอย่าง BA BB BC

ตัวอย่าง	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
BA	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
BB	มัน	ใส	มาก	ไม่มี
BC	มัน	ใส	มาก	ไม่มี

ตารางที่ 14 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 ไม่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์ ของเคลือบตัวอย่าง C4-18

ตัวอย่าง	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 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ของเคลือบตัวอย่าง D1-19

ตัวอย่าง	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 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณรวมของดินดำและเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 15 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ของเคลือบตัวอย่าง E1-19

ตัวอย่าง	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 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 5 ของเคลือบตัวอย่าง F4-19

ตัวอย่าง	ลักษณะของเคลือบ			
	ด้าน-กึ่งด้าน-มัน	ใส-กึ่งทึบ-ทึบ	ปริมาณการหลอม	สี/อื่นๆ
F4	มัน	ใส	มาก	ปรากฏผลึกสีขาวกระจายทั่วไป
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 แสดงลักษณะของเคลือบที่มีปริมาณเบนทอไนต์คงที่ร้อยละ 5 และมีปริมาณซิงค์ออกไซด์คงที่ร้อยละ 10 ของเคลือบตัวอย่าง G4-19

ตัวอย่าง	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
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

4.4.2. ผลการทดสอบความสามารถทนต่อการรานของเคลือบ

ผลการทดสอบเคลือบ E13 และ G13 มีความสามารถทนต่อการรานของเคลือบ แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบความทนต่อการรานของตัวอย่าง

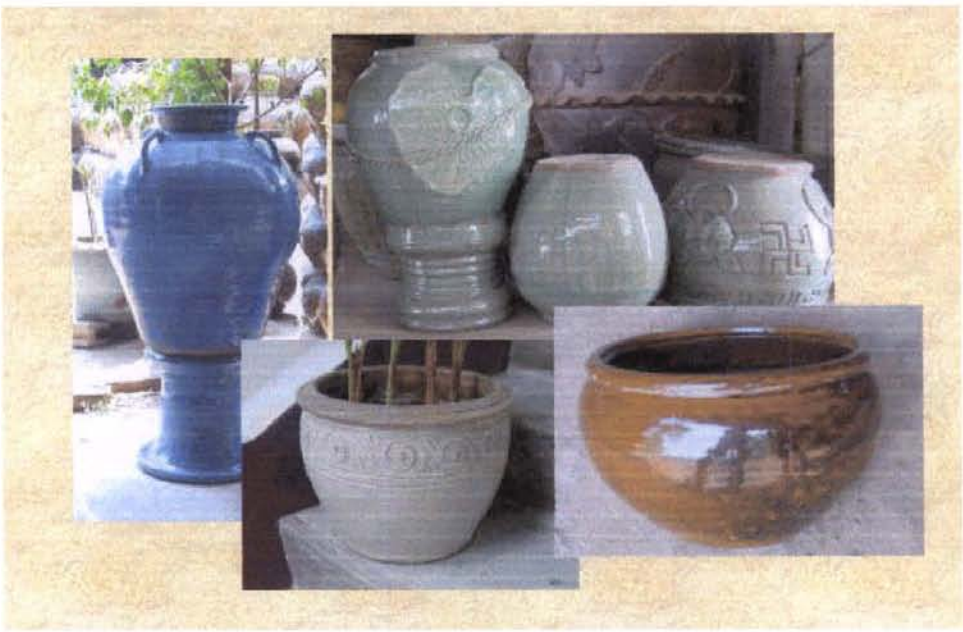
เคลือบ / ความดัน	150 psi	200 psi	250 psi
E13	ไม่ราน	ไม่ราน	ไม่ราน
G13	ไม่ราน	ไม่ราน	ไม่ราน

4.5. ผลการทดลองเคลือบในโรงงาน

ผลการทดลองนำเคลือบที่มี ประเภท/ปริมาณดิน และ CMC แตกต่างกันไปทดลองใช้ในโรงงานตัวอย่างพบว่า เคลือบที่ได้มีลักษณะมันเล็กน้อยจนถึงมันวาว และมีลักษณะล่อนจนถึงไม่ล่อน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 20 และตัวอย่างผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ทดลองแสดงดังภาพที่ 5 ก และ ภาพที่ 5 ข

ตารางที่ 20 แสดงผลการนำเคลือบไปใช้ในโรงงานตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ผลการทดลอง
BA	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโอ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
BB	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโอ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
BC	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่ล่อน ใช้เคลือบโอ่งปรากฏล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
E13	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กปรากฏเคลือบล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
E13A	ใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กปรากฏเคลือบล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
E13B	ใช้เคลือบโอ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
E13C	ใช้เคลือบโอ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมันวาว
D13A	ใช้เคลือบโอ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมันเล็กน้อย
G13	ใช้เคลือบโอ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน
G13A	ใช้เคลือบโอ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน
G13B	ใช้เคลือบโอ่งได้โดยไม่ล่อน ลักษณะเคลือบมัน



ภาพที่ 5 ก แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่โรงงานทดลองใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย

ภาพที่ 5 ข แสดงผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่โรงงานทดลองใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัย

4.6. ผลการคำนวณต้นทุนการผลิต

การคำนวณต้นทุนของการผลิตไหและโอ่งแสดงดังตารางที่ 21 และการคำนวณต้นทุนของเคลือบทดลองแสดงดังตารางที่ 22 ผลการคำนวณพบว่า ในการผลิตเดิมที่โรงงานใช้มีต้นทุนเนื้อดิน 0.11-0.15 บาท/กก. ต้นทุนเคลือบ 0.02-0.04 บาท/กก. ต้นทุนเครื่องจักรและค่าบำรุงรักษา 0.04 บาท/กก. ต้นทุนพลังงาน 0.30-0.81 บาท/กก. และต้นทุนค่าแรง 0.84-1.01 บาท/กก. รวมต้นทุนการผลิตเดิม 1.50-1.86 บาท/กก. ส่วนต้นทุนการผลิตเคลือบทดลองมี ต้นทุนวัตถุดิบ 0.23-0.36 บาท/กก. ราคาเครื่องจักร ค่าบำรุงรักษา และพลังงาน 0.01-0.02 บาท/กก. รวมต้นทุนการผลิตเคลือบทดลองที่ยังไม่รวมค่าแรง 0.24-0.38 บาท/กก.

ตารางที่ 21 แสดงต้นทุนการผลิตของผู้ผลิตไหและโอ่งราชบุรี

	ไห	โอ่ง
<u>ราคาเนื้อดิน</u>		
ดินแดง (บาท/กก.)	0.15	0.10
ทราย (บาท/กก.)	0.15	0.15
ดินปั้น (บาท/กก.)	0.15 (อัตราส่วนดินแดง 0.95 ทราย 0.05)	0.11 (อัตราส่วนดินแดง 0.90 ทราย 0.10)
<u>ราคาเคลือบขี้เถ้า</u>		
ขี้เถ้า (บาท/กก.)	0-2.00	2.00
ดินเลน (บาท/กก.)	0.75	0.50
อื่นๆ (บาท/กก.)	-	3.00 – 9.00
เคลือบขี้เถ้า (บาท/กก.)	1.13 (อัตราส่วนขี้เถ้า 0.30 ดินเลน 0.70)	1.54 (อัตราส่วนขี้เถ้า 0.26 ดินเลน 0.60 อื่นๆ 0.14)

ตารางที่ 21 แสดงต้นทุนการผลิตของผู้ผลิตไหและโอ่งราชบุรี (ต่อ)

	ไห	โอ่ง
<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
เครื่องโม่ท่อ, 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
เครื่องตักดินและขี้เถ้า, 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

ตารางที่ 21 แสดงต้นทุนการผลิตของผู้ผลิตไหและโอ่งราชบุรี (ต่อ)

	ไห	โอ่ง
ค่าแรง		
ขึ้นรูปต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)	6.60	
การเผาต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)	4.38 (5,250บาท/เตา)	58.75 (282,000 บาท/เดือน)
ค่าแรงอื่นๆ (บาท/ชิ้น)	-	
รวมค่าแรงต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.84	1.01
รวมต้นทุนการผลิตต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	1.86	1.50

ตารางที่ 22 ตัวอย่างต้นทุนการผลิตเคลือบทดลอง (ตัวอย่าง E13B) และการลงทุน

	ไห	โอ่ง
<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.น้ำหนักเคลือบ (บาท/กก.)	43,200 0.81	
รวมราคาเครื่องจักร ค่าบำรุงรักษา และพลังงาน ของเคลือบทดลองต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.01	0.02
รวมต้นทุนการผลิตเคลือบทดลองต่อ 1 กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ (บาท/กก.)	0.24	0.38

* ค่าน้ำประปา 11 บาท/ลบ.ม

บทที่ 5.
วิจารณ์ สรุปผล และข้อเสนอแนะผลการวิจัย

5.1. วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1. การเก็บข้อมูลกระบวนการเคลือบของโรงงาน

กระบวนการผลิตของโรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี ใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยแรงงานดังกล่าวมีประสบการณ์ในการเตรียมเนื้อดินและเคลือบ แต่โรงงานไม่มีระบบการตรวจสอบเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เทคนิคการเคลือบใช้วิธีการเทราดน้ำเคลือบลงบนผิวผลิตภัณฑ์ขณะที่เนื้อดินของผลิตภัณฑ์หมาด กระบวนการเคลือบนี้จะแตกต่างจากกระบวนการเคลือบเครื่องเคลือบดินเผาทั่วไปซึ่งจะเคลือบต่อเมื่อเนื้อดินดิบของผลิตภัณฑ์แห้งสนิทหรือผ่านการเผาดิบที่อุณหภูมิต่ำ กระบวนการเคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์มีความหมาดแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางฟิสิกส์ก่อนเผาของเคลือบและเนื้อดินต้องเข้ากันได้ดี เนื่องจากภายหลังการเคลือบทั้งเนื้อดินและเคลือบยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือหดตัวจนกว่าเนื้อดินและเคลือบจะแห้งสนิท ซึ่งสมบัตินี้เป็นปัญหาที่ทำให้โรงงานไม่สามารถพัฒนาเคลือบมาตรฐานที่มีความหลากหลายได้

ในการวิจัยจึงได้ใช้ชิ้นทดสอบที่หมาดหรือมีปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 14-18 ในการทดสอบเคลือบ

5.1.2. การทดสอบสมบัติของดินแดง จังหวัดราชบุรี

ผลการทดสอบสมบัติของวัตถุดิบแสดงให้เห็นว่าอนุภาคของดินแดง จังหวัดราชบุรีมีขนาดเล็กกว่า 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 และค่าการหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 9.8-11.7 MBI เป็นค่าที่สัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาค อนุภาคขนาดเล็กจะมีค่า MBI สูง ดินแดงจังหวัดราชบุรีมีปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กสูง ค่า MBI จึงสูงมากและมีการหดตัวเมื่อแห้งมาก เนื้อดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กมีความเหนียวมากทำให้สามารถปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามสมบัตินี้กลับทำให้ไม่สามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นส่วนผสมหลักขณะที่ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทเพราะอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกได้ ผู้ผลิตจึงใช้วิธีเคลือบขณะที่เนื้อดินยังหมาดอยู่

5.1.3. การทดลองหาสาเหตุการล่อนของเคลือบเมื่อใช้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน

จากสมมุติฐานที่ว่าการใช้ดินแดงจังหวัดราชบุรีเคลือบบนเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของดินแดงเป็นส่วนประกอบหลักจะไม่ร่อน ผลการทดลองจากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณดินแดงจังหวัดราชบุรีในส่วนผสมของเคลือบช่วยให้เคลือบไม่ล่อนจริง ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณดินแดงจังหวัดราชบุรีลงในเคลือบช่วยเพิ่มการหดตัวของเคลือบ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับสูตรเคลือบขี้เถ้าที่โรงงานใช้ เคลือบขี้เถ้ามีการใช้ดินเลนหรือส่วนผสมที่มีความละเอียดสูงถึงร้อยละ 70 ทำให้สมบัติของเคลือบเข้ากันได้ดีกับเนื้อดินปั้นช่วยให้สามารถใช้เคลือบขี้เถ้าขณะที่เนื้อดินหมาดได้โดยไม่เกิดการหลุดล่อน ดังนั้นการพัฒนาเคลือบมาตรฐานเพื่อใช้เคลือบขณะที่ผลิตภัณฑ์หมาดต้องมีการปรับสมบัติทางฟิสิกส์ก่อนเผาของเคลือบให้เข้ากับเนื้อดิน การเพิ่มดินเหนียวเช่นดินแดงจังหวัดราชบุรี ดินดำ หรือเบนทอไนต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียดสูงในส่วนผสมของเคลือบ จึงเป็นวิธีหนึ่งของการเพิ่มการหดตัวก่อนแห้งของเคลือบให้เข้ากับเนื้อดินปั้นและเป็นแนวทางในการพัฒนาเคลือบเพื่อทดลองใช้ในโรงงานต่อไป

5.1.4. การทดลองพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการ

การพัฒนาเคลือบในห้องปฏิบัติการมีการใช้ดินเหนียว 2 แหล่งคือดินแดงจังหวัดราชบุรี และ ดินดำลานสกา ดินแดงจังหวัดราชบุรีมีราคาถูก เป็นวัตถุดิบในท้องถิ่นที่โรงงานใช้อยู่ มีความเหนียวสูง แต่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ปนอยู่สูง ส่วนดินดำลานสกาเป็นดินที่มีจำหน่ายในท้องตลาด มีความเหนียวสูง และมีปริมาณเหล็กออกไซด์ต่ำกว่าดินแดงจังหวัดราชบุรี ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาเคลือบสีได้ดีโดยเฉพาะการพัฒนาเคลือบที่มีสีอ่อนต่อไปในอนาคต

ผลการทดลองพัฒนาเคลือบพบว่าเคลือบตัวอย่างกลุ่ม B มีปริมาณดินสูงถึงร้อยละ 30-38 เคลือบมีทนไฟไม่มันวาว หากต้องการเพิ่มความมันวาวควรเพิ่มปริมาณสารช่วยลดอุณหภูมิเช่น ฟริต ซึ่งมีราคาแพง

การเปรียบเทียบตัวอย่างกลุ่ม C ซึ่งไม่มีซิงค์ออกไซด์กับตัวอย่างกลุ่ม D E F G H ซึ่งมีซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 5-10 พบว่าการเพิ่มซิงค์ออกไซด์ที่ร้อยละ 5-10 ในเคลือบที่มีปริมาณดินร้อยละ 5-15 ในระบบ แร่ฟันม้า-หินปูน-ควอรตซ์ ช่วยเพิ่มความสุกตัวและมันวาวแก่เคลือบที่เผาที่อุณหภูมิ 1180°ซ ได้ และการเปรียบเทียบตัวอย่างกลุ่ม D F

ซึ่งมีซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 5 กับตัวอย่างกลุ่ม E G ซึ่งมีซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 พบว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์ที่ร้อยละ10 เคลือบมีความมันวาวดีกว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์ที่ร้อยละ 5 เนื่องจากซิงค์ออกไซด์เป็นสารช่วยลดอุณหภูมิการหลอมที่อุณหภูมิต่ำ

จากการเปรียบเทียบลักษณะของเคลือบในตัวอย่างกลุ่ม E และ G พบว่าตัวอย่าง E2 E5 E9 E13 และ G4 G5 G8 G9 G13 มีความสุกตัวและมันวาว และเนื่องจาก E13 และ G13 มีสัดส่วนของแร่ฟันม้า-หินปูน-ควอรตซ์เหมือนกัน หรือมีสัดส่วนของการแปรเปลี่ยนวัตถุดิบในอัตราเดียวกันและมีความมันวาวใกล้เคียงกัน จึงได้ทดลองเลือกสูตร E13 และ G13 เพื่อใช้ในการทดสอบความเข้ากันได้กับเนื้อดินโดยการทดสอบความต่อการราน

ผลการทดสอบความทนต่อการรานของตัวอย่าง E13 และ G13 พบว่าตัวอย่างไม่ปรากฏการราน แสดงว่าตัวอย่างมีสมบัติหลังเผาเข้าได้กับเนื้อดินปั้นของโรงงาน จึงได้เลือกสูตร E13 และ G13 เพื่อใช้ในการทดลองเคลือบในโรงงานต่อไป

5.1.5. การทดลองเคลือบในโรงงาน

ได้เลือกเคลือบตัวอย่าง BA BB BC E13 G13 ซึ่งมีปริมาณดินและเบนทอไนต์รวมร้อยละ 38 36 30 15 และ 5 ในการทดลองเคลือบในโรงงาน ได้ทดลองดูผลของการเติม CMC ในเคลือบที่มีปริมาณดินต่ำคือร้อยละ 5-15

ผลการทดลองจากตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่าเคลือบ BA BB BC ที่มีปริมาณดินและเบนทอไนต์รวมมากกว่าร้อยละ 30 สามารถใช้เคลือบกระถางขนาดเล็กได้โดยไม่หลุดล่อน อย่างไรก็ตามการทดลองเคลือบในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่พบปัญหาการหลุดล่อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมกระบวนการเคลือบให้เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ทำได้ยากกว่าการควบคุมในผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่นความหนาแน่น ความแห้งอย่างสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ และความหนาของเคลือบ นอกจากนี้การใช้เคลือบที่มีปริมาณดินสูงทำให้เคลือบมีแนวโน้นที่จะทนไฟทำให้ต้องใช้สารช่วยลดอุณหภูมิเช่นฟริตซึ่งมีราคาแพง และทำให้ไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับความหลากหลายของเคลือบพื้นฐานได้ จึงได้ทดลองเติมกาว CMC เพื่อช่วยพัฒนาสมบัติการยึดเกาะของเคลือบต่อไป

การทดลองใช้กาวหรือ CMC ร้อยละ 0.5-1.0 ในเคลือบ E13 G13 เพื่อพัฒนาเคลือบที่มีปริมาณดินน้อยลงเป็นแนวทางในการพัฒนาความหลากหลายของเคลือบพื้น

ฐาน พบว่าการใช้เคลือบตัวอย่าง E13 ที่มีปริมาณเบนทอไนต์และดินรวมร้อยละ 15 โดยไม่เติม CMC หลุดล่อนเมื่อใช้งาน และพบว่าการใช้ CMC ร้อยละ 0.5 ในเคลือบตัวอย่าง E13 (E13A) ยังพบปัญหาการล่อนบางส่วน แต่การใช้ CMC ที่ร้อยละ1 (E13B) สามารถช่วยป้องกันการล่อนของเคลือบได้ การเติม CMC ร้อยละ 1 ในเคลือบตัวอย่าง G13 ที่มีปริมาณดินหรือเบนทอไนต์ร้อยละ 5 สามารถช่วยป้องกันปัญหาการล่อนได้เช่นกัน โดยแม้มีการเปลี่ยนเบนทอไนต์ (G13) เป็นดินแดง (G13A) และดินขาว (G13B)ที่มีขนาดอนุภาคหยาบขึ้นตามลำดับ เคลือบที่ใช้กับโอ่งก็ยังไม่ล่อน

นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนประเภทของดินในเคลือบตัวอย่าง E13 จากเบนทอไนต์และดินดำลานสกาเป็นดินแดงจังหวัดราชบุรี (E13C) ล้วน ให้เคลือบที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้ดินแดงจังหวัดราชบุรีเป็นวัตถุดิบมีแนวโน้มที่จะให้เคลือบมีความทนไฟต่ำลง เนื่องจากดินแดงจังหวัดราชบุรี มีออกไซด์ของเหล็กซึ่งเป็นตัวช่วยลดจุดสุกตัวของเคลือบและทำให้เคลือบมีสีน้ำตาล แต่เนื่องจากเนื้อดินปั้นของโรงงานมีสีน้ำตาลหลังเผาเช่นกันทำให้ผลของการเปลี่ยนประเภทของดินในเคลือบใสที่ทดลองไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามในการพัฒนาเคลือบสีโดยใช้สูตรเคลือบตัวอย่าง E13 ที่มีปริมาณดินสูงถึงร้อยละ 15 นี้ ควรใช้ดินที่มีปริมาณเหล็กต่ำเช่นดินดำลานสกาเป็นวัตถุดิบเพื่อให้ได้เคลือบที่มีสีสดสวย

การใช้เคลือบตัวอย่าง D13A ที่มีซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 5 ได้เคลือบที่มีความสุกตัวหรือความมันน้อยกว่าเคลือบตัวอย่าง E13B ที่มีซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 ผลที่ได้ชัดเจนและสอดคล้องกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

5.1.6. การคำนวณต้นทุนการผลิต

ราคาเคลือบขี้เถ้า 0.02-0.04 บาท/กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ จากต้นทุนรวม 1.86-1.50 บาท/กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ คิดเป็นร้อยละ 1.08-2.67 ของต้นทุนการผลิต การปรับเปลี่ยนใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัยทำให้ราคาของน้ำเคลือบเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 0.24 – 0.38 บาท/กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มเป็นประมาณ 1.84-2.08 บาท/กก.น้ำหนักผลิตภัณฑ์ดิบ หรือเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ12-23 และในการปรับเปลี่ยนใช้เคลือบที่ได้จากการวิจัยต้องมีการลงทุนหม้อบดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในการเตรียมเคลือบ อย่างไรก็ตามเคลือบที่ได้จะมีสมบัติมาตรฐานและสามารถพัฒนาเป็น

เคลือบสีต่างๆได้โดยการเติมออกไซด์สีหรือสีสะเดน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลาย สวยงาม และมีมูลค่าเพิ่มขึ้น

5.2. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองสรุปได้ว่าเคลือบที่เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีเชิงอนุรักษ์ขนาดเล็กควรมีปริมาณดินแดงจังหวัดราชบุรี หรือดินเหนียว มากกว่าร้อยละ 30 และกรณีต้องการเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ควรเติมกาว CMC ร้อยละ 1 ในเคลือบเนื่องสามารถลดปริมาณดินในเคลือบลงได้ถึงร้อยละ 5 ช่วยให้สามารถเตรียมเคลือบที่มีความหลากหลาย ตัวอย่างเคลือบที่มีความมันวาวและราคาพอควร เหมาะสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์คือ E13B แม้ CMC ที่ร้อยละ 1 สามารถป้องกันปัญหาการล่อนของเคลือบได้ แต่สมบัติของ CMC เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา การใช้เคลือบที่มี CMC ผสมอยู่จึงไม่ควรเก็บนานเกินกว่า 3 สัปดาห์ และควรมีการผสมสารกันบูดในส่วนผสมที่ร้อยละ 0.01 ของน้ำหนักแห้ง CMC ด้วยทุกครั้ง เพื่อรักษาคุณภาพของเคลือบตลอดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ราคาต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเมื่อปรับเปลี่ยนเคลือบจึงควรทำควบคู่กับการพัฒนารูปแบบเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

แสดงตัวอย่างเคลือบที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์

วัตถุดิบ	E13B
แร่ฟันม้า	30
หินปูน	22.5
ควอรตซ์	22.5
ซิงค์ออกไซค์	10
ดินแดง จังหวัดราชบุรี	15
CMC	1
สารกันบูด	0.01

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นที่มาของโครงการวิจัยเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์เชิงอนุรักษ์ของเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดราชบุรีนี้ ขอขอบคุณ คุณพิมพวัลคุ์ วัฒโนภาส หัวหน้าโครงการฯ คุณวรรณา ต. แสงจันทร์ ที่ได้ร่วมพัฒนาโครงการฯและร่วมวิจัย คุณชลัย ศรีสุข ที่ได้อนุเคราะห์ผลวิเคราะห์เคมี คุณสมนึก ชินภานุวัฒน์ คุณวีระ แตระกุล คุณฐิติพันธ์ ไตรนภากุล และคุณศุภรัตน์ สีตะธรรมาภรณ์ ที่ได้ร่วมเป็นโรงงานตัวอย่างของการวิจัย ขอขอบคุณคุณศิริวรรณ แซ่ภู่ ที่ได้ช่วยเหลือในการทดลอง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย

ที่ขาดไม่ได้ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยนี้ และศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้ให้โอกาสในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กลุ่มวิจัยแร่อุตสาหกรรม กรมทรัพยากรธรณี "คุณสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ทำโอ่งราชบุรี " กุมภาพันธ์ 2540
2. Daniel Rhodes, Clay and Glazes for the Potter, Greenberg, New York 1959
3. Frank and Janet Hamer, The Potter's Dictionary of Materials and Tchniques 4th ed., A&C Black, London 1997
4. Harry Fraser, Ceramic Faults and Their remedies, A&C Black (Publishers) Ltd., London 1986
5. Jeff Zamek, What Every Potter Should Know, Krause Pub., WI 1999
6. Parmelee, C. W., Ceramic Glazes, Massachusets, CBI Publishing Company Inc., 1975
7. Richard Behrens, Ceramic Glazemaking, aCM handbook
8. Singer, F. et al., Industrial Ceramics, London, Chapman and hall, 1979
9. The Fundamental of the Glaze Preparation, Nagoya International Training Center, Japan International Cooperation Agency

ภาคผนวก

1. การทดสอบหาพื้นที่ผิว (Methylene blue index, MBI)

   MBI, มิลลิอีควิวาเลนท์ต่อ 100 กรัม = 0.5 x ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรท (มล.)

2. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้ง

   การหดตัวเมื่อแห้ง, ร้อยละ = ((Lo- Ld)/ Lo)100

   Lo :ขนาด ณ.ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อถอดแบบ

   Ld :ขนาด ณ.ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อถอดแบบเมื่อตัวอย่างแห้งสนิท

3. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและปริมาณน้ำในตัวอย่าง

   การหดตัวเมื่อแห้ง, ร้อยละ = ((Lt- Ld)/ Lt)100

   ปริมาณน้ำ, ร้อยละ = ((Wt- Wd)/ Wd)100

   Lt :ขนาด ณ.ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อถอดแบบและในเวลาต่างๆกัน

   Ld :ขนาด ณ.ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อถอดแบบเมื่อตัวอย่างแห้งสนิท

   Wt :น้ำหนักตัวอย่างเมื่อถอดแบบ และในเวลาต่างๆกันที่มีการวัดขนาด

   Wd :น้ำหนักตัวอย่างเมื่อแห้งสนิท

4. การทดสอบความถ่วงจำเพาะของเคลือบ

   ความถ่วงจำเพาะของเคลือบ = ((X+G)-X)/((X+H)-X)

   X :น้ำหนักขวดเปล่า

   X+H :น้ำหนักขวดเปล่าเติมน้ำในปริมาตร 200 มิลลิลิตร

   X+G :น้ำหนักขวดเปล่าเติมน้ำเคลือบในปริมาตร 200 มิลลิลิตร

5. ราคาวัตถุดิบมาตรฐานที่ใช้ในเคลือบทดลอง

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ (บาทต่อ กก.)
เบนทอไนต์	25
ฟริต	120
แร่ฟันม้า	6
หินปูน	3
ควอรตซ์	6
ซิงค์ออกไซด์	75
แบเรียมคาร์บอเนต	46
ทัลก์	10
ลิเทียมคาร์บอเนต	390
เซอร์คอน	55
ไทเทเนียม	100
เถ้ากระดูก	100
สีออกไซด์	25-2000
สีสะเตน	600-1000
CMC	345
สารกันบูด	195

ที่มา: บริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด