วศ วพซ
16

เอกสารผลงานวิจัย

เรื่อง

ลูกไม้เซรามิก

ของ

นางสาว ลดา พันธ์สุขุมธนา

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

ลูกไม้เซรามิกคือผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีรูปลักษณ์ลวดลายละเอียดเช่นผ้าลูกไม้ การทำลูกไม้เซรามิกเริ่มจากการเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมคือผ้าลูกไม้และเนื้อดิน โดยการใช้ผ้าลูกไม้ที่มีเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณเส้นใยมาก และมีเกลียวเป็นวัสดุต้นแบบ นำมาเคลือบผิวด้วยเนื้อดินที่มีความละเอียดสูง การเคลือบผิวใช้วิธีการจุ่มและพ่น ผ้าลูกไม้ที่เคลือบผิวแล้วสามารถนำมาตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกดิบก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิการสุกตัวของเนื้อดินที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียล ต่อจากนั้นจึงนำมาชุบเคลือบและเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียล เคลือบที่ใช้มีจุดสุกตัวต่ำกว่าเนื้อดินเพื่อป้องกันการเสียรูปภายหลังการเผา ผลที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลวดลายเหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบแต่มีเนื้อเป็นเซรามิก ลูกไม้เซรามิกสามารถนำมาตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ เช่น ตุ๊กตาเซรามิก เป็นต้น

เลขหมู่ วศ อพ๙
16
เลขทะเบียน 11555
วันที่ 16 ธ.ค. 46

สารบัญ หน้า

บทคัดย่อ..... ก
สารบัญ..... ข
สารบัญตาราง..... จ
สารบัญภาพ..... ฉ
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. วัตถุดิบ..... 5
3.1.2. เครื่องมือ และอุปกรณ์..... 6
3.2. วิธีการศึกษาวิจัย..... 7
3.2.1. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินและผ้าลูกไม้..... 7
3.2.1.1. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน..... 7
3.2.1.1.1. การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค..... 7
3.2.1.1.2. การหาพื้นที่ผิวของเนื้อดินโดยวิธี Methylene blue index... 7
3.2.1.1.3. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา..... 8
3.2.1.1.4. การทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผา..... 8
3.2.1.2. การทดสอบสมบัติผ้าลูกไม้..... 8
3.2.1.2.1. การศึกษาลักษณะของเส้นใย..... 10
3.2.1.2.2. การทดสอบชนิดของเส้นใย..... 10
3.2.1.2.3. การทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา..... 10

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วศ.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

สารบัญ หน้า

3.2.2. การเตรียมน้ำดินและเคลือบ..... 10
3.2.3. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก..... 11
3.2.3.1. การศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบผ้าลูกไม้..... 11
3.2.3.2. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น..... 11
3.2.4. การทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง..... 13
บทที่ 4. ผลการวิจัย..... 17
4.1. ผลการทดสอบสมบัติกายภาพของเนื้อดินและผ้าลูกไม้..... 17
4.1.1. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน..... 17
4.1.1.1. ผลการทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค..... 17
4.1.1.2. ผลการหาพื้นที่ผิวของเนื้อดินโดยวิธี Methylene blue index 19
4.1.1.3. ผลการทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา..... 19
4.1.1.4. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผา..... 20
4.1.2. ผลการทดสอบสมบัติของผ้าลูกไม้..... 20
4.1.2.1. ผลการศึกษาลักษณะของเส้นใย..... 20
4.1.2.2. ผลการทดสอบชนิดของเส้นใย..... 22
4.1.2.3. ผลการทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา..... 22
4.2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก..... 25
4.2.1. ผลการศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบผ้าลูกไม้..... 25
4.2.2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น..... 27
4.3. ผลการทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง..... 27
บทที่ 5. วิจารณ์ สรุปผล และข้อเสนอแนะ..... 30
5.1. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 30
5.1.1. การทดสอบสมบัติของเนื้อดิน..... 30
5.1.1.1. การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค..... 30
5.1.1.2. การทดสอบพื้นที่ผิวของเนื้อดินโดยวิธี Methylene blue index..... 30
5.1.1.3. การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา..... 31
5.1.1.4. การทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผา..... 31

สารบัญ หน้า

5.1.2. การทดสอบสมบัติผ้าลูกไม้..... 32
5.1.2.1. การศึกษาลักษณะของเส้นใย..... 32
5.1.2.2. การทดสอบชนิดของเส้นใย..... 32
5.1.2.3. การทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา..... 32
5.2. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก..... 33
5.2.1. การศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใย..... 33
5.2.2. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น..... 34
5.2.3. การทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง..... 34
5.3. สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะการผลิตลูกไม้เซรามิก..... 37
กิตติกรรมประกาศ..... 38
เอกสารอ้างอิง..... 39
ภาคผนวก..... 40

สารบัญตาราง หน้า

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบเคมีของเนื้อดินสำเร็จรูป..... 5
ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผ้าลูกไม้ที่ใช้ในการทดลองและภาพตัวอย่าง..... 9
ตารางที่ 3 แสดงสูตรเคลือบ ลักษณะ และอุณหภูมิการสุกตัวของเคลือบ..... 11
ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างเนื้อดินที่ทดลองขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น..... 12
ตารางที่ 5 แสดงขั้นตอนการตกแต่งด้วยลูกไม้เซรามิก..... 14
ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างที่ทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง..... 16
ตารางที่ 7 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่าง BS BH และBB..... 18
ตารางที่ 8 แสดง Methylene blue indexของตัวอย่าง BS BH และBB..... 19
ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ การหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผาของตัวอย่าง BS BH และBB..... 19
ตารางที่ 10 แสดงผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำและสีหลังเผาของตัวอย่าง BS BH BB..... 20
ตารางที่ 11 แสดงชนิดและลักษณะเส้นใยของผ้าลูกไม้ที่กำลังขยาย 10 และ 20 เท่า..... 21
ตารางที่ 12 แสดงการจำแนกลักษณะเส้นใยในลวดลายของตัวอย่างผ้าลูกไม้..... 22
ตารางที่ 13 แสดงภาพของเนื้อดิน BH ที่เคลือบเส้นใยก่อนและหลังเผาที่กำลังขยาย10เท่า 26
ตารางที่ 14 แสดงลักษณะของลูกไม้เซรามิกหลังเผา..... 27
ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง..... 28
ตารางที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยกับลักษณะเส้นใย..... 33

สารบัญภาพ หน้า

ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตเซรามิก..... 2
ภาพที่ 2 แสดงภาพตัวอย่างของการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น..... 12
ภาพที่ 3 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกไม้เซรามิก..... 15
ภาพที่ 4 แสดงผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาลูกไม้เซรามิกที่ทดลองผลิต..... 16
ภาพที่ 5 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่าง BS BH และBB..... 17
ภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของผ้าไนลอน..... 23
ภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของผ้าเรยอน..... 23
ภาพที่ 8 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของผ้าฝ้าย..... 24
ภาพที่ 9 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของผ้าโพลีเอสเตอร์.. 24
ภาพที่ 10 แสดงภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ..... 29
ภาพที่ 11 แสดงภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกลู่ตกลงมาก..... 29

บทที่ 1.
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องประดับมีมาก ในขณะเดียวกันก็มีการแข่งขันสูงในด้านรูปแบบ รูปแบบที่มีความละเอียด ซับซ้อน แปลกใหม่ และมีความเป็นเอกลักษณ์ มักจะได้รับการประเมินให้มีคุณค่าสูง ผ้าลูกไม้เป็นรูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะดังกล่าว เมื่อนำมาตกแต่งผลิตภัณฑ์จะทำให้มีคุณค่าและมูลค่าเพิ่ม ประกอบกับยังไม่ได้พบว่ามีรายงานและการผลิตลูกไม้เซรามิกในประเทศ จึงทำให้เห็นความจำเป็นที่จะต้องวิจัยและพัฒนาลูกไม้เซรามิกขึ้นพร้อมกับการออกแบบที่เหมาะสมเพื่อพัฒนารูปแบบเซรามิกประเภทเครื่องประดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาการผลิตลูกไม้เซรามิกด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม และการทดลองนำเทคนิคการตกแต่งด้วยวิธีต่าง ๆมาใช้ในการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เซรามิก เพื่อเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 พัฒนาการผลิตลูกไม้เซรามิก

1.3.2 พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ และเทคนิคการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยลูกไม้เซรามิก

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เป็นการเพิ่มรูปแบบสินค้าเซรามิกในประเทศให้มีรูปแบบแปลกใหม่

1.4.2 เผยแพร่ผลงานให้เกิดประโยชน์ในด้านพัฒนารูปแบบเซรามิกในภาคอุตสาหกรรม

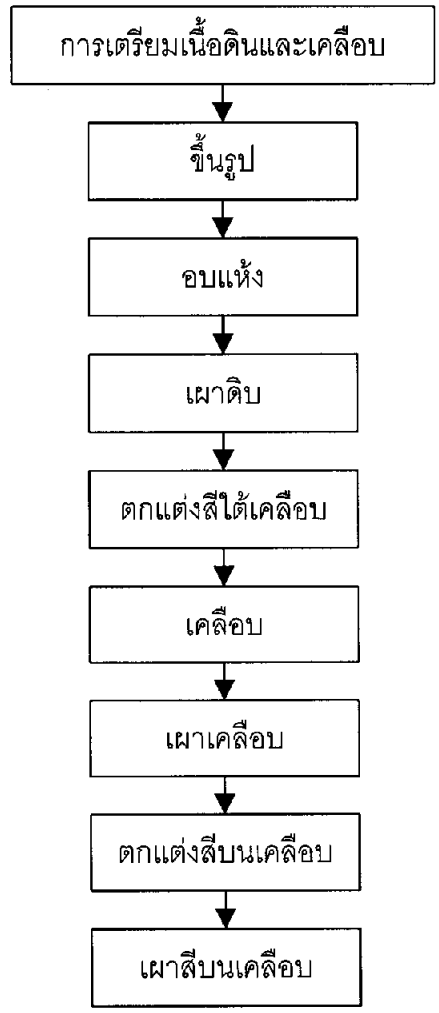
1.4.3 ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตให้แก่อุตสาหกรรม

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ 2ปี (พ.ศ. 2542-2543)

บทที่ 2.
วารสารปริทัศน์

เซรามิกแบ่งเป็นชนิดต่างๆตามคุณภาพคือ พอร์ซเลน เออร์เทนแวร์ สโตนแวร์ โบนไชนา เทอราคอตตา พอร์ซเลนหมายถึงเซรามิกเนื้อสีขาว โปร่งแสง ไม่ดูดซึมน้ำ เออร์เทนแวร์หมายถึงเซรามิกที่มีความพรุนตัวปานกลางถึงสูง ทึบแสง มักมีสีขาว สโตนแวร์ หมายถึงเซรามิกที่มีความพรุนต้วต่ำ ทึบแสง มักไม่เป็นสีขาว โบนไชนาหมายถึงเซรามิกที่มีส่วนผสมของจากเถ้ากระดูก โปร่งแสง ไม่ดูดซึมน้ำ และมีความแกร่งสูง เทอราคอตตา หมายถึงเซรามิกที่มีความพรุนตัวสูง

การผลิตเซรามิกประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตเซรามิก

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกแต่ละประเภทมีรายละเอียดของการผลิตแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่นรูปแบบ ลวดลาย ต้นทุนการผลิต ขนาดของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น เช่นผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งประเภทเคลือบและไม่เคลือบ ตกแต่งสีและไม่ตกแต่งสี นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตอาจตัดขั้นตอนการเผาดิบออกเพื่อลดต้นทุนการผลิตก็ได้ อุณหภูมิของการเผาดิบหรือเผาเคลือบของผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันก็แตกต่างกัน พอร์ซเลนมีอุณหภูมิเผาดิบประมาณ 800-900 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิเผาเคลือบอยู่ที่ประมาณ 1250-1300 องศาเซลเซียล ส่วนโบนไชนามีอุณหภูมิเผาดิบที่ประมาณ 1250 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิเผาเคลือบที่ประมาณ 1100 องศาเซลเซียล

เทคนิคการขึ้นรูปและเทคนิคการเคลือบมีหลายวิธี การเลือกใช้เทคนิคการขึ้นรูปและการเคลือบวิธีใดต้องคำนึงต้นทุนการผลิต รูปแบบ และปริมาณที่ต้องการผลิต

เทคนิคการขึ้นรูปเซรามิกซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้ในการผลิตเซรามิกดั้งเดิมได้แก่ การหล่อน้ำดิน การปั้น การอัด ซึ่งใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมเซรามิกภายในประเทศ

การหล่อน้ำดินคือ การเตรียมน้ำดินที่มีปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 50 เทน้ำดินในแบบปูนปลาสเตอร์ ปูนปลาสเตอร์มีความพรุนตัวจะดูดน้ำออกจากน้ำดินเหลือชั้นของเนื้อดินในแบบ การหล่อน้ำดินมีหลายประเภทคือ หล่อกลวง หล่อตัน หล่อภายใต้ความดัน การหล่อน้ำดินเหมาะสำหรับรูปแบบที่มีความซับซ้อนและต้องการผลิตจำนวนมาก

การปั้นคือการนำเนื้อดินที่มีปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 20 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวมาปั้นขึ้นรูปตามแบบที่ต้องการ การปั้นอาจใช้วิธีการปั้นด้วยมือหรือใช้เครื่องปั้นสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีสมมาตรและรูปแบบไม่ซับซ้อนมาก

การอัดคือการนำเนื้อดินที่มีปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 4 มาอัดในแบบโลหะ การอัดเหมาะสำหรับการขึ้นรูปที่ไม่ซับซ้อน ผลิตจำนวนมาก และมีความหนาไม่มาก

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการขึ้นรูปเซรามิกอีกประเภทที่ใช้ต้นแบบเป็นผ้า คือการจุ่มผ้าในน้ำดินเพื่อเคลือบผิว การผลิตด้วยวิธีนี้มีการกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการผลิตน้อยมาก แต่ปรากฏในแคตตาล็อตต่างประเทศเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จที่มีลวดลายละเอียดคล้ายผ้า และพบเป็นเครื่องประดับหน้าร้านในการแสดงสินค้าของต่างประเทศ

เทคนิคการเคลือบได้แก่การจุ่ม เทราด และพ่น เช่น กระเบื้องซึ่งเคลือบด้านเดียวและโอ่งซึ่งมีขนาดใหญ่นิยมใช้วิธีเคลือบแบบเทราด สุขภัณฑ์ซึ่งมีรูปร่างซับซ้อนและขนาดใหญ่นิยมใช้วิธีเคลือบแบบพ่น ถ้วยชามซึ่งมีขนาดเล็กและต้องเคลือบทุกด้านนิยมใช้วิธีเคลือบแบบจุ่ม

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเนื้อดินเซรามิกแบ่งเป็น วัตถุดิบที่มีความเหนียว และวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว วัตถุดิบที่มีความเหนียวได้แก่ ดิน ดินเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต ($Al_2O_32SiO_2$) ดินมีหลายชนิด เช่นดินขาว และ ดินดำ ดินขาวมีขนาดอนุภาคหยาบ มีความเหนียวน้อยกว่า และมีสีขาวหลังเผา ดินดำมีอนุภาคละเอียด มีความเหนียวสูง และมีสีคล้ำ

วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวได้แก่ ควอรตซ์ ทราย และแร่ฟันม้า เป็นต้น เป็นวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคหยาบกว่าดิน ควอรตซ์มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นซิลิกา (SiO_2) สามารถลดความเหนียวและการหดตัวของเนื้อดินก่อนเผา เป็นเนื้อแก้วในเคลือบ แร่ฟันม้ามีองค์ประกอบของโพแทสเซียมออกไซด์และโซเดียมออกไซด์ (K_2O, Na_2O) Al_2O_3 $6SiO_2$ เป็นวัตถุดิบที่ช่วยลดจุดสุกตัวในเคลือบและเนื้อดิน

การใช้เกรดและส่วนผสมของวัตถุดิบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซรามิกและวิธีการผลิต เช่นในการผลิตเนื้อดินพอร์ซเลนหรือเนื้อดินโบนไชนาที่มีเนื้อสีขาว ควรเลือกวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของมลทินคือออกไซด์ของเหล็กและไทเทเนียมไดออกไซด์ต่ำ ในการขึ้นรูปด้วยการปั้นควรเลือกวัตถุดิบที่มีความเหนียวเป็นส่วนผสมเพื่อทำให้เนื้อดินมีความเหนียวพอให้สามารถขึ้นรูปได้ เป็นต้น

บทที่ 3.
การศึกษาวิจัย

3.1. วัตถุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1. วัตถุดิบ

3.1.1.1. เนื้อดินสำเร็จรูป

1. เนื้อดินหล่อพอร์ซเลน เกรด (Super porcelain clay) จากบริษัท คอมพาวด์-เคลย์ จำกัด

2. เนื้อดินปั้นพอร์ซเลน เกรด (Hand throwing clay) จากบริษัท คอมพาวด์เคลย์ จำกัด

3. เนื้อดินโบนไชนา ของประเทศอังกฤษ จากบริษัท อัมรินทร์เซรามิคส์-คอร์ปอเรชั่น จำกัด

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินสำเร็จรูปแสดงดังตารางที่1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินสำเร็จรูปและสัญลักษณ์ที่ใช้

	เนื้อดินหล่อพอร์ซเลน[+]	เนื้อดินปั้นพอร์ซเลน[+]	เนื้อดินโบนไชนา*
SiO_2	59.68	61.62	34.60
TiO_2	0.05	0.13	0.05
Al_2O_3	30.36	26.47	13.90
Fe_2O_3	0.34	0.98	0.25
CaO	0.13	0.11	24.30
MgO	0.05	0.07	0.68
K_2O	3.67	3.91	1.98
Na_2O	1.16	0.73	1.16
P_2O_5	-	-	18.10
ZnO	-	-	0.01
BaO	-	-	0.01
MnO_2	0.08	0.07	-
LOI	4.95	6.77	4.39
สัญลักษณ์	BS	BH	BB

ที่มา: [+] เอกสาร เทคนิคการทำเคลือบสไตล์ญี่ปุ่น โดยห้องปฏิบัติการเครือข่ายเซรามิก เนื้อดิน และเคลือบ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

* สมุดแจ้งรายการสินค้าบริษัท

3.1.1.2. **ผ้าลูกไม้**

ผ้าลูกไม้ชนิดต่างๆสุ่มมาจากท้องตลาด

3.1.1.3. **วัตถุดิบเตรียมเคลือบ**

1) แร่ฟันม้า เกรด Spar Glaze จากบริษัท เคลย์แอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

2) หินปูน จ.สระบุรี จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

3) ดินขาว จ.ระนอง จากบริษัท เคลย์แอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

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

5) ซิงก์ออกไซด์ จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

6) ทัลก์ ของประเทศจีน จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

7) ฟริต PN5520 จากบริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

8) ดินขาวนราธิวาส จากบริษัท เคลย์แอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2. **เครื่องมือและอุปกรณ์**

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

กล้องจุลทรรศน์

เครื่องหาการกระจายขนาดของอนุภาค (Sedigraph)

เครื่องทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา (Thermogravimetric analysis)

เตาเผาไฟฟ้า

หม้อบด

เครื่องชั่ง

เข็ม

ด้าย

ปากกาพ่นแอร์บรัช

เวอร์เนีย

3.2. วิธีการศึกษาวิจัย

3.2.1. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินและผ้าลูกไม้

ได้สุ่มตัวอย่างเนื้อดินสำเร็จรูปและผ้าลูกไม้ที่มีในท้องตลาดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง ได้ทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อยืนยันตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองและเพื่อทดลองหาปัจจัยที่สำคัญของเนื้อดินและผ้าลูกไม้ต่อการผลิตลูกไม้เซรามิก

3.2.1.1. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินได้แก่การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค พื้นที่ผิว การหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา การดูดซึมน้ำและสีหลังเผาของเนื้อดินสำเร็จรูปประเภทต่างๆ ตัวอย่างเนื้อดินสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

3.2.1.1.1. ทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค

ทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้เครื่อง sedigraph วัดขนาดของอนุภาคหรือการกระจายของขนาดอนุภาคตามกฎของ Stokes ขนาดของอนุภาคจะมีผลต่ออัตราในการตกตะกอนของอนุภาคในตัวกลาง ใช้ x-ray ช่วยในการวัดความเข้มข้นเพื่อหาอัตราในการตกของอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ามีอัตราในการตกเร็วกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า

3.2.1.1.2. การหาพื้นที่ผิวของเนื้อดินโดยวิธี Methylene blue index

ทดสอบ Methylene blue index ตาม Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clays ASTM C837-99 ค่า Methylene blue index แสดงถึงปริมาณของ Methylene blue ที่สามารถเคลือบผิวอนุภาค เป็นค่าที่สัมพันธ์กับพื้นที่ผิว อนุภาคขนาดเล็กจะมีค่า Methylene blue index สูง ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างดิน 2 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ปรับให้ได้ค่า pH 2.5-3.8 นำมาไตเตรทด้วยสารละลาย Methylene blue (0.01N) ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร ปั่นน้ำดิน 1-2 นาทีหลัง ไตเตรท ชักตัวอย่างน้ำดินโดยหยดน้ำดินบนกระดาษกรอง บันทึกจุดจบของการทดสอบโดยการสังเกตการเกิดวงสีฟ้าที่ซึมออกมารอบๆหยดน้ำดิน คำนวณค่า Methylene blue index จากสูตรดังแสดงในภาคผนวก

3.2.1.1.3. **การทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา**

ทดสอบ การหดตัวตาม Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkage of Ceramic Whiteware Clays ASTM C326-83 (Reapproved 1997) ขึ้นรูปตัวอย่างโดยการหล่อน้ำดินตัวอย่างในแบบปูนปลาสเตอร์ ขนาดตัวอย่าง 2.5x5x0.5 ซม. ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวเมื่อแกะแบบกับความยาวเมื่อแห้งและหลังเผา สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 ชั่วโมง และยืนไฟนาน 30 นาที หาค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 5 ชิ้น

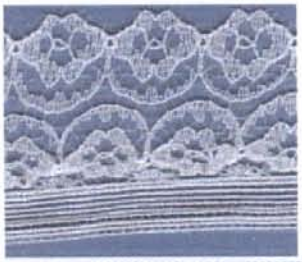
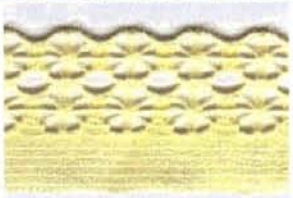
3.2.1.1.4. **การทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผา**

ทดสอบการดูดซึมน้ำตาม Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whaiteware Products ASTM C373-88 (reapproved, 1999) สูตรที่ใช้คำนวณแสดงในภาคผนวก ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 ชั่วโมง และยืนไฟนาน 30 นาที

3.2.1.2. **การทดสอบสมบัติผ้าลูกไม้**

การทดสอบสมบัติของผ้าลูกไม้ได้แก่การศึกษาลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องกำลังขยาย 10-20 เท่า ทดสอบชนิดของเส้นใย และทดสอบน้ำหนักที่หายไประหว่างเผา ชื่อตัวอย่างผ้าลูกไม้ที่ใช้ในการทดลองและภาพตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผ้าลูกไม้ที่ใช้ในการทดลองและภาพตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ภาพตัวอย่าง
LA	
LB	
LC	
LD	
LE	
LF	

3.2.1.2.1. **การศึกษาลักษณะของเส้นใย**

ศึกษาลักษณะของเส้นใยผ้าลูกไม้ด้วยกล้องกำลังขยาย 10 และ 20 เท่า บันทึกภาพเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของ ขนาด ปริมาณ และ เกลียวของเส้นใย ได้หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ และหาปริมาณเส้นใยโดยการหาค่าน้ำหนักต่อพื้นที่

3.2.1.2.2. **การทดสอบชนิดของเส้นใย**

ทดสอบหาชนิดของเส้นใยโดย IR Spectrophotometer ตาม Standard Test Methods for Identification of Fibers in Textiles ASTM D276-00

3.2.1.2.3. **การทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา**

ทดสอบหาน้ำหนักที่หายระหว่างเผาโดยเครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) เพื่อหาช่วงอุณหภูมิที่ผ้าลูกไม้ถูกเผาไหม้หมดไป ใช้อัตราในการเผา 3 องศาเซลเซียส/นาที อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

3.2.2. **การเตรียมน้ำดินและเคลือบ**

เตรียมน้ำดินโดยการนำเนื้อดินสำเร็จรูปมาผสมน้ำให้มีปริมาณน้ำร้อยละ 50 เติมโซเดียมซิลิเกต (50โบเม่) ร้อยละ 0.2 ปั่นให้น้ำดินเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หมักทิ้งไว้อย่างน้อย 1 คืน

เลือกเคลือบที่มีลักษณะมันและด้าน มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงและต่ำกว่าเนื้อดินคือ 1200 องศาเซลเซียส 1080 องศาเซลเซียส และ 1060 องศาเซลเซียส เตรียมเคลือบโดยชั่งส่วนผสมตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3 ปริมาณ 2 กก. เติมน้ำร้อยละ 100 ใส่ในหม้อบด และบด 8 ชั่วโมง นำมาร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช

ตารางที่ 3 แสดงสูตรเคลือบ ลักษณะ และอุณหภูมิการสุกตัวของเคลือบ

วัตถุดิบ/ตัวอย่าง	GW31	GM10	GL	GLa
แร่ฟันม้า	35.2	46.9	16.5	28
หินปูน	13.6	20.3	3.9	20
ดินขาวระนอง	11.1	22.4	-	15
ควอรตซ์	28.5	10.4	10.7	32
ซิงค์ออกไซด์	6.8	-	-	5
ทัลก์	4.8	-	-	-
ฟริต PN5520	-	-	63.5	30
ดินขาวนราธิวาส	-	-	5.4	-
ลักษณะเคลือบ	เคลือบใส	เคลือบด้าน	เคลือบใส	เคลือบใส
อุณหภูมิการเผา, องศาเซลเซียส	1200	1200	1080	1060

3.2.3. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก

3.2.3.1. การศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบผ้าลูกไม้

ได้ทดลองนำผ้าลูกไม้ตัวอย่าง LA LB LC LD LE และ LF ขนาดประมาณ กว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว มาชุบด้วยน้ำดิน BH ทิ้งให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 ชั่วโมง ยืนไฟ 30 นาที ศึกษาลักษณะตัวอย่างหลังเผาด้วยกล้องกำลังขยาย 10 เท่า เพื่อหาปัจจัยของผ้าลูกไม้ที่สำคัญในการผลิตลูกไม้เซรามิก

3.2.3.2. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น

เพื่อศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกของเนื้อดินตัวอย่าง BS BH BB ได้พัฒนาวิธีทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกโดยการนำน้ำดินของเนื้อดินตัวอย่างมาหล่อในแบบปูนปลาสเตอร์เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 2 นิ้ว ทิ้งไว้ให้แห้ง เผาดิบที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อมานำผ้าลูกไม้ตัวอย่าง LB ชุบน้ำดินของเนื้อดินตัวอย่าง บีบและซับน้ำดินส่วนเกินออก นำผ้าลูกไม้ที่ชุบน้ำดินมาพันรอบถ้วยทรงกระบอกที่หล่อจากเนื้อดินชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาปัจจัย

ของเนื้อดินต่อการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก ทิ้งไว้ให้แห้ง และเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 ชั่วโมง ยืนไฟ 30 นาที บันทึกลักษณะลูกไม้เซรามิกที่ได้ ตัวอย่างชิ้นทดสอบแสดงดังภาพที่ 2 ตัวอย่างผ้าลูกไม้และเนื้อดินที่ทดลองแสดงดังตารางที่ 4

ภาพที่ 2 แสดงภาพตัวอย่างของการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างเนื้อดินที่ทดลองขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น

ตัวอย่าง	เนื้อดินหล่อถ้วย	เนื้อดินเคลือบผ้าลูกไม้
BL1	BH	BH
BL2	BH	BS
BL3	BH	BB
BL4	BS	BH
BL5	BS	BS
BL6	BS	BB
BL7	BB	BH
BL8	BB	BS
BL9	BB	BB

3.2.4. การทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

เตรียมผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิกด้วยเนื้อดิน BS BH หรือBB โดยการหล่อในแบบปูนปลาสเตอร์ เผาดิบตุ๊กตาเซรามิกที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ออกแบบและตัดเย็บผ้าลูกไม้เป็นชุดเสื้อผ้าเพื่อตกแต่งตุ๊กตาเซรามิก ผ้าลูกไม้ที่ใช้คือตัวอย่าง LB นำผ้าลูกไม้ที่ตัดเย็บไปเคลือบผิวด้วยเนื้อดิน BS BH หรือBBโดยวิธีการชุบน้ำดินหรือวิธีการชุบร่วมกับการพ่นน้ำดิน นำผ้าลูกไม้ที่เคลือบเนื้อดินแล้วมาตกแต่งตุ๊กตาเซรามิกที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ให้แห้งสนิท เผาตุ๊กตาเซรามิกที่ตกแต่งแล้วที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 ชั่วโมง ยืนไฟ 30 นาที

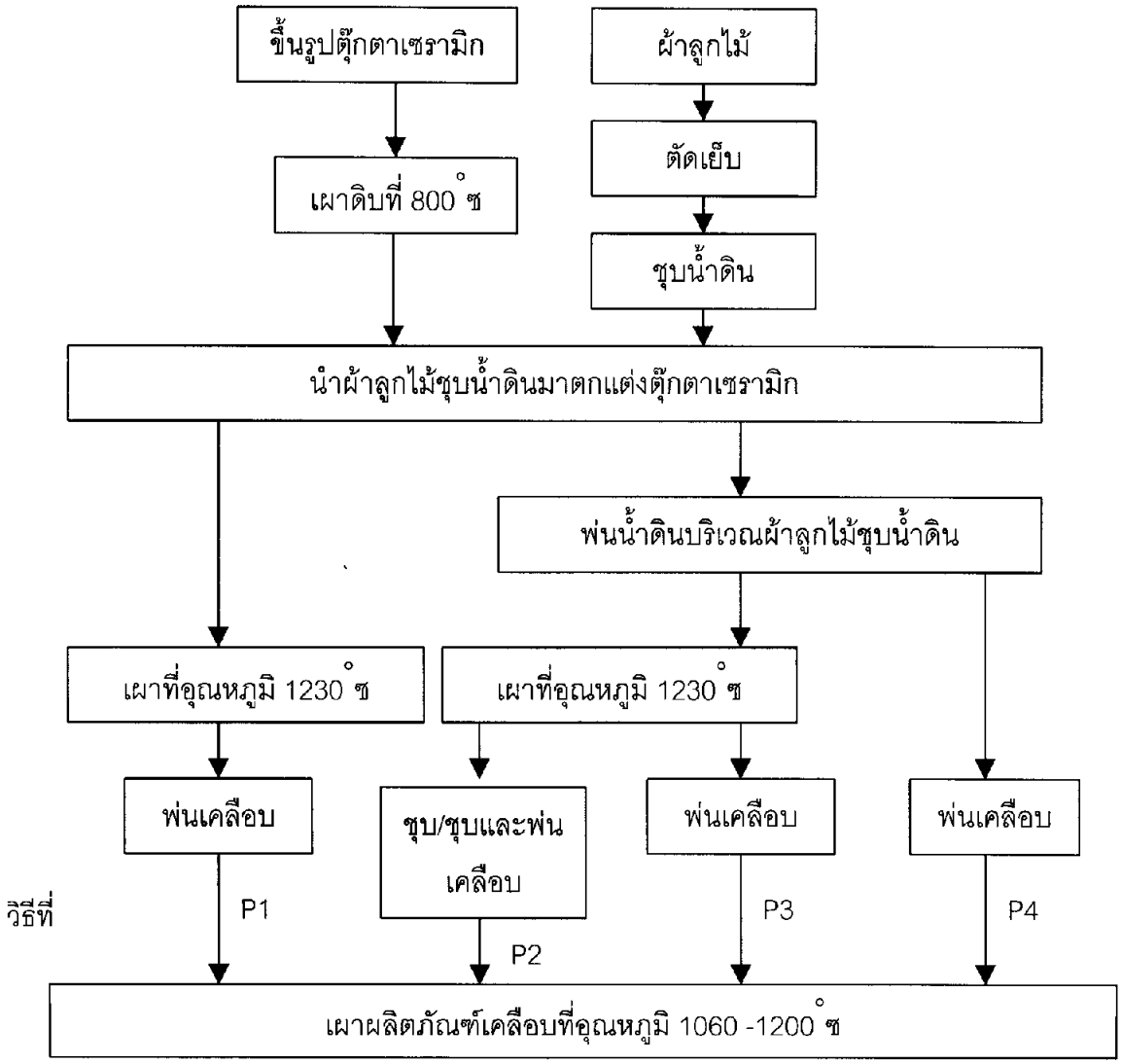
หลังเผานำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาชุบหรือพ่นเคลือบ GW31 GM10 GL Gla และเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1060-1200 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 ชั่วโมง ยืนไฟ 30 นาที บันทึกลักษณะของผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเซรามิกที่ตกแต่งด้วยลูกไม้เซรามิกที่ได้ พร้อมเปรียบเทียบความแข็งแรงของลูกไม้เซรามิกที่ได้โดยการสัมผัส

สรุปวิธีการทดลองในขั้นตอนการตกแต่งด้วยลูกไม้เซรามิกได้มี 4 วิธีดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงขั้นตอนการตกแต่งด้วยลูกไม้เซรามิก

วิธี	รายละเอียดขั้นตอนการตกแต่ง
P1	เคลือบผิวผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบผ้าลูกไม้ในน้ำดิน บีบน้ำดินส่วนเกินออกจากผ้าลูกไม้ นำผ้าลูกไม้ที่ได้มาตกแต่งตุ๊กตา เมื่อตุ๊กตาที่ตกแต่งแห้งสนิท เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เคลือบตุ๊กตาที่ตกแต่งด้วยวิธีพ่นด้วยแอร์บรัช เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1060 – 1200 องศาเซลเซียส
P2	เคลือบผิวผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบผ้าลูกไม้ในน้ำดิน บีบน้ำดินส่วนเกินออกจากผ้าลูกไม้ นำผ้าลูกไม้ที่ได้มาตกแต่งตุ๊กตา พ่นน้ำดินด้วยแอร์บรัชบริเวณผ้าลูกไม้ที่ชุบน้ำดินแล้ว เมื่อตุ๊กตาที่ตกแต่งแห้งสนิท เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เคลือบตุ๊กตาที่ตกแต่งด้วยวิธีชุบ หรือ ชุบและพ่น เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1060 – 1200 องศาเซลเซียส
P3	เคลือบผิวผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบผ้าลูกไม้ในน้ำดิน บีบน้ำดินส่วนเกินออกจากผ้าลูกไม้ นำผ้าลูกไม้ที่ได้มาตกแต่งตุ๊กตา พ่นน้ำดินด้วยแอร์บรัชบริเวณผ้าลูกไม้ที่ชุบน้ำดินแล้ว เมื่อตุ๊กตาที่ตกแต่งแห้งสนิท เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เคลือบตุ๊กตาที่ตกแต่งด้วยวิธีพ่นเคลือบด้วยแอร์บรัช เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1060 – 1200 องศาเซลเซียส
P4	เคลือบผิวผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบผ้าลูกไม้ในน้ำดิน บีบน้ำดินส่วนเกินออกจากผ้าลูกไม้ นำผ้าลูกไม้ที่ได้มาตกแต่งตุ๊กตา พ่นน้ำดินด้วยแอร์บรัชบริเวณผ้าลูกไม้ที่ชุบน้ำดินแล้ว เคลือบตุ๊กตาที่ตกแต่งด้วยวิธีพ่นเคลือบด้วยแอร์บรัช เผาเนื้อดินและเคลือบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตตามวิธี P1 P2 P3 และ P4 แสดงดังภาพที่ 3 ตัวอย่างที่ทดลองแปรเปลี่ยนเนื้อดิน เคลือบ และวิธีการทดลอง ในการทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 6 และภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 4

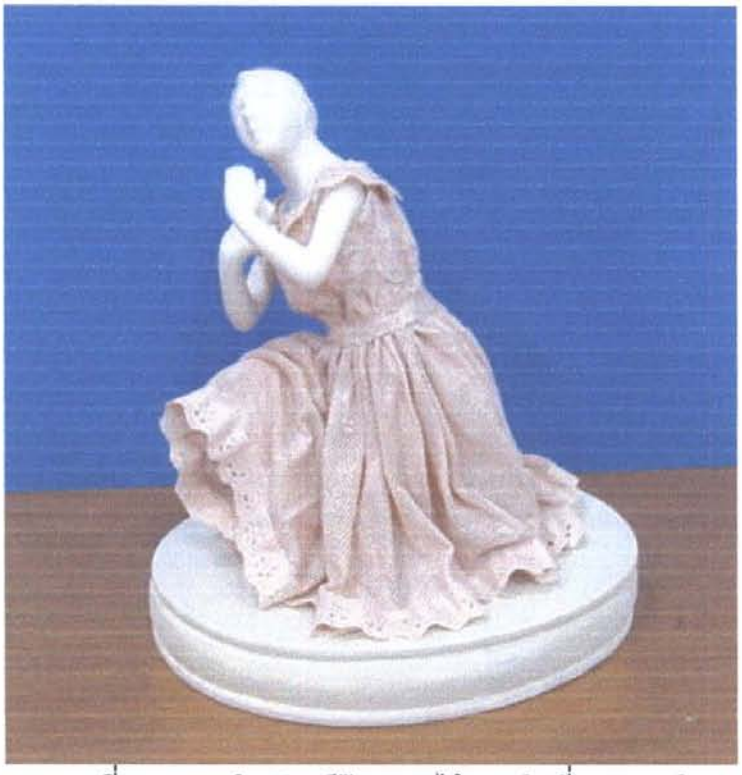


ภาพที่ 3 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกไม้เซรามิก

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างที่ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	วิธี	เนื้อดิน		เคลือบ
		ตุ๊กตา	ลูกไม้	
X1	P1	BH	BH	GW31
X2	P2	BH	BH	GW31
X3	P3	BH	BH	GW31
X4	P4	BH	BH	GW31
X5	P2	BS	BS	ไม่มี
X6	P1	BB	BB	ไม่มี
X7	P2	BS	BH	GW31
X8	P2	BS	BH	GM10
X9	P2	BS	BH	GL
X10	P2	BS	BH	GLa



ภาพที่ 4 แสดงผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาลูกไม้เซรามิกที่ทดลองผลิต

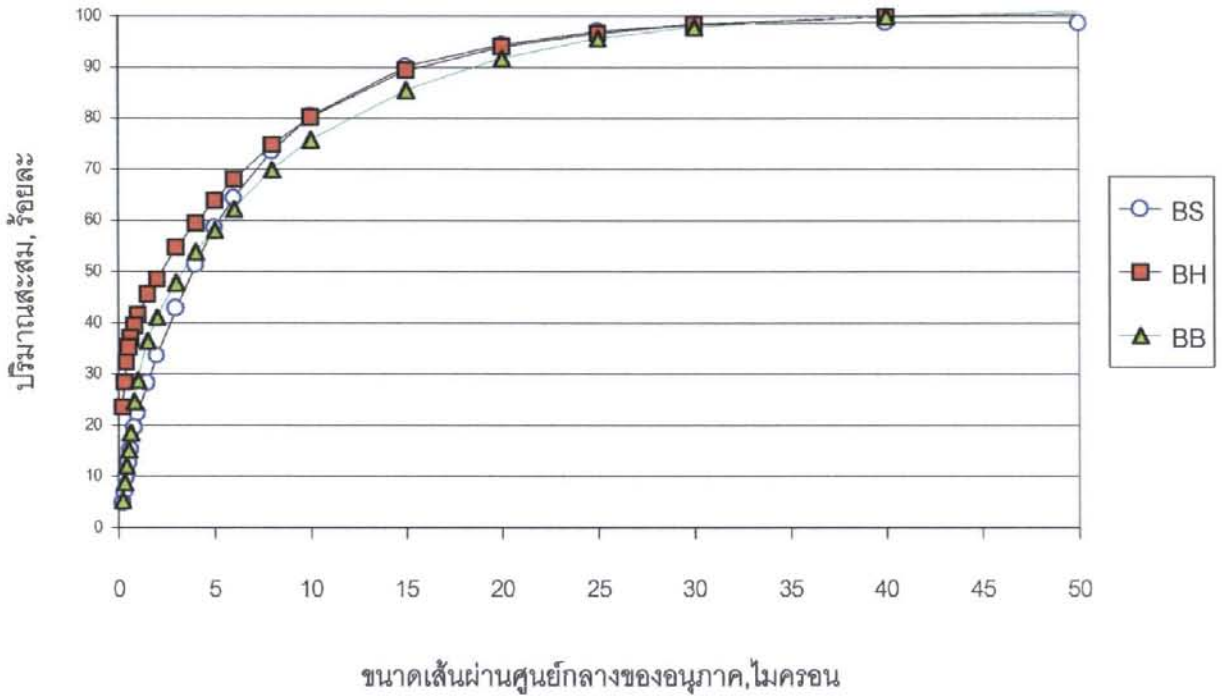
บทที่ 4.
ผลการวิจัย

4.1. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินและผ้าลูกไม้

4.1.1. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน

4.1.1.1. ผลการทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค

ผลการทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธี sedigraph ของตัวอย่างเนื้อดิน BS BH และ BB แสดงดังภาพที่ 5 และตารางที่ 7 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง BS BH และ BB ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอนอยู่ร้อยละ 22.4 41.5 28.8 และมีขนาดมัธยฐานของอนุภาคที่ 3.82 2.24 และ 3.33 ไมครอน ตามลำดับ



ภาพที่ 5 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของตัวอย่าง BS BH และ BB

ตารางที่ 7 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่าง BS BH และBB

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน)	BS	BH	BB
50.0	98.7	100.4	100.8
40.0	98.8	99.8	99.9
30.0	98.3	98.3	97.8
25.0	97.0	96.6	95.6
20.0	94.4	94.0	91.7
15.0	90.1	89.3	85.5
10.0	80.4	80.2	75.8
8.0	73.6	74.8	69.9
6.0	64.5	68.0	62.2
5.0	58.7	63.9	58.1
4.0	51.5	59.5	53.8
3.0	42.9	54.7	47.8
2.0	33.7	48.5	41.1
1.5	28.3	45.6	36.5
1.0	22.4	41.5	28.8
0.8	19.6	39.4	24.6
0.6	15.3	37.0	18.5
0.5	12.7	35.2	15.2
0.4	9.9	32.3	12.1
0.3	7.0	28.4	8.8
0.2	4.8	23.5	5.3
ขนาดมัธยฐาน	3.82	2.24	3.33

4.1.1.2. ผลการหาพื้นที่ผิวของเนื้อดินโดยวิธี Methylene blue index

ผลการทดสอบ Methylene blue index ของตัวอย่างเนื้อดิน BS BH และBB พบว่ามีค่า 2.6 8.8 และ 3.8 มิลิอิควิวาเลนท์/100กรัม ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดง Methylene blue index ของตัวอย่าง BS BH และBB

เนื้อดิน	Methylene blue index, มิลิอิควิวาเลนท์/100กรัม
BS	2.6
BH	8.8
BB	3.8

4.1.1.3. ผลการทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา

ผลการทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผาแสดงดังตารางที่ 9 ตัวอย่าง BS BH และ BB มีร้อยละการหดตัวเมื่อแห้ง 2.56±0.70 4.45±0.67 และ 1.94±0.22 และมีร้อยละการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส 14.15±0.85 11.54±0.20 10.20±0.54 และที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส 13.96±0.33 10.48+0.75 12.09±0.61 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ การหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผาของตัวอย่าง BS BH และBB

ตัวอย่าง	การหดตัวเมื่อแห้ง, ร้อยละ	การหดตัวหลังเผาที่, ร้อยละ	
		1200 องศาเซลเซียส	1230 องศาเซลเซียส
BS	2.56±0.70	14.15±0.85	13.96±0.33
BH	4.45±0.67	11.54±0.20	10.48+0.75
BB	1.94±0.22	10.20±0.54	12.09±0.61

4.1.1.4. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผา

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผาของตัวอย่างเนื้อดิน BS BH และ BBแสดงดังตารางที่ 10 ตัวอย่าง BS BH และ BB มีร้อยละการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส 3.59±0.16 3.56±0.18 3.18±0.56 ที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส 1.45±0.42 2.23±0.10 0.32±0.28 และสีหลังเผา สีขาว ขาวคล้ำ และขาวนวลตามลำดับ

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผาของตัวอย่าง BS BH BB

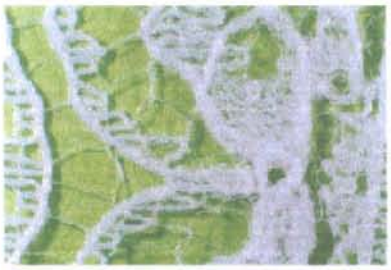
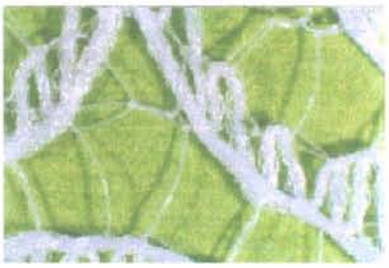
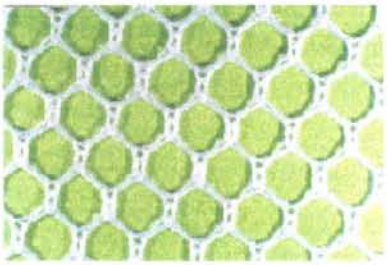
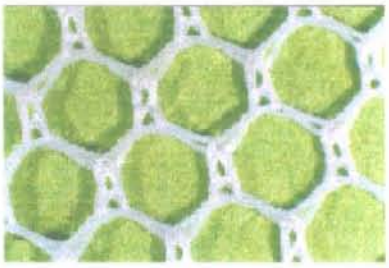
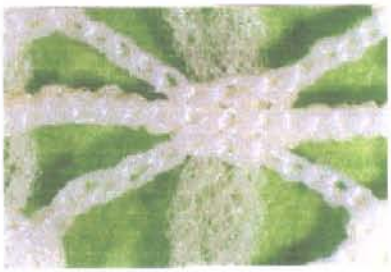
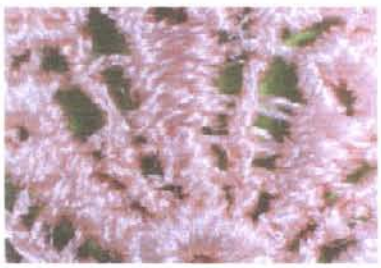
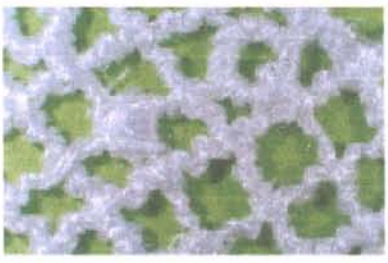
ตัวอย่าง	การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ		สีหลังเผา
	1200 องศาเซลเซียส	1230 องศาเซลเซียส	
BS	3.59±0.16	1.45±0.42	ขาว
BH	3.56±0.18	2.23±0.10	ขาวคล้ำ
BB	3.18±0.56	0.32±0.28	ขาวนวล

4.1.2. ผลการทดสอบสมบัติของผ้าลูกไม้

4.1.2.1. ผลการศึกษาลักษณะของเส้นใย

ผลการเปรียบเทียบลักษณะเส้นใยของผ้าลูกไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยด้วยกำลังขยายกล้อง 10 และ 20 เท่า แสดงดังตารางที่ 11 และผลการทดสอบขนาดเส้นใยและปริมาณเส้นใยในในลวดลายของตัวอย่างผ้าลูกไม้แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 11 แสดงชนิดและลักษณะเส้นใยของผ้าลูกไม้ที่กำลังขยาย 10 และ 20 เท่า

ตัวอย่าง	ชนิดเส้นใย	กำลังขยาย 10 เท่า	กำลังขยาย 20 เท่า
LA	ไนลอน		
LB	ไนลอน		
LC	ไนลอน		
LD	เรยอน		
LE	ฝ้าย		
LF	โปลีเอสเตอร์		

ตารางที่ 12 แสดงการจำแนกลักษณะเส้นใยในลวดลายของตัวอย่างผ้าลูกไม้

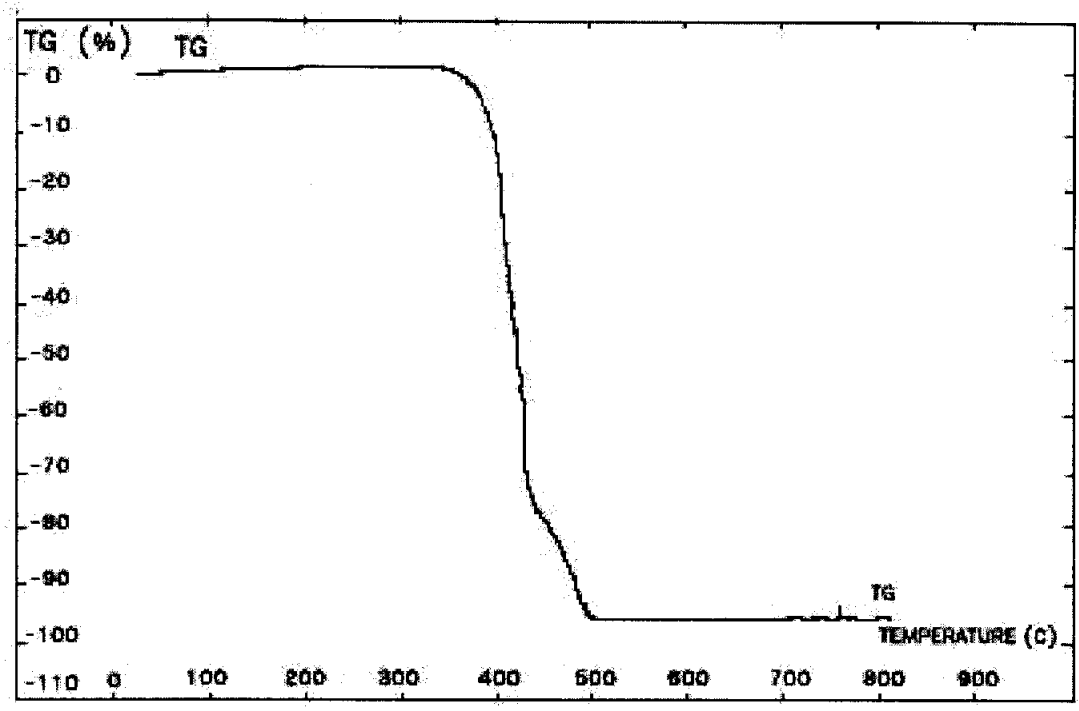
ตัวอย่าง	ลักษณะเส้นใยในลวดลาย		
	ขนาดเส้นใย, มิลลิเมตร	ปริมาณเส้นใยในลวดลาย, กรัม/ตารางเมตร	เกลียว
LA	0.0137, 0.0341 (เล็ก-ใหญ่)	45.6 (น้อย-มาก)	ไม่มี-น้อย
LB	0.0116 (เล็ก)	27.1 (ปานกลาง)	น้อย
LC	0.0149 (เล็ก)	129 (มาก)	มาก
LD	0.0134 (เล็ก)	648 (มาก)	มาก
LE	0.0135 (เล็ก)	245 (มาก)	มาก
LF	0.0144, 0.0413 (เล็ก-ใหญ่)	132 (น้อย-มาก)	น้อย-มาก

4.1.2.2. **ผลการทดสอบชนิดของเส้นใย**

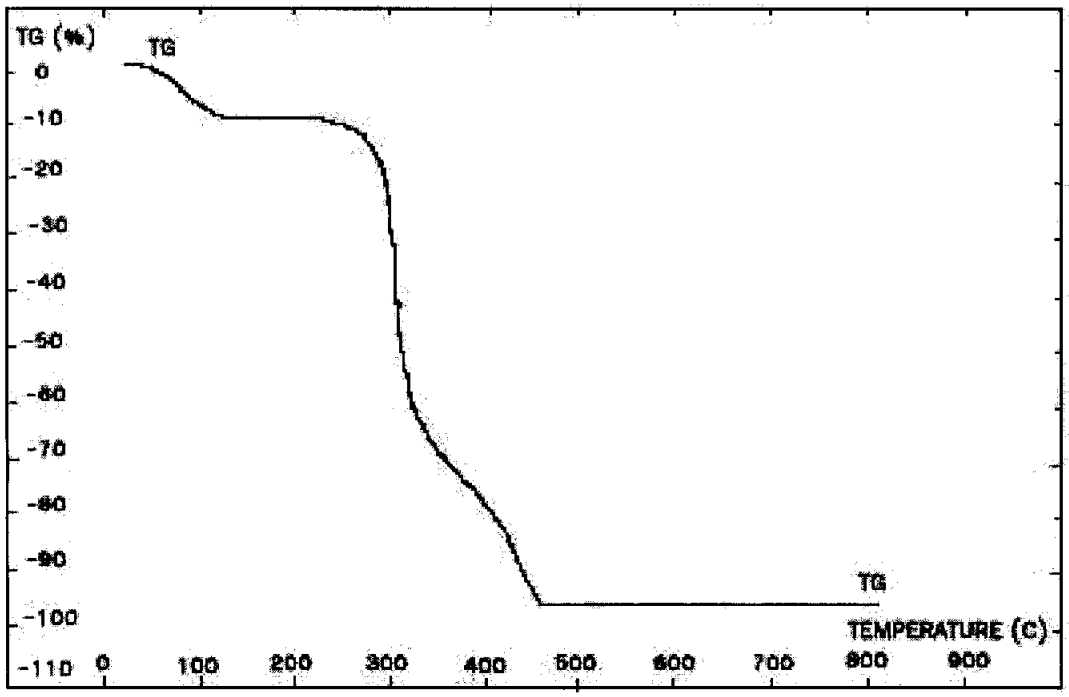
ผลการทดสอบชนิดของเส้นใยที่ใช้ในการทดลอง พบว่าตัวอย่าง LA LB LC LD เป็นไนลอน ตัวอย่าง LD เป็นเรยอน ตัวอย่าง LE เป็นฝ้าย และตัวอย่าง LF เป็นโปลีเอสเตอร์ แสดงในตารางที่ 11

4.1.2.3. **ผลการทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา**

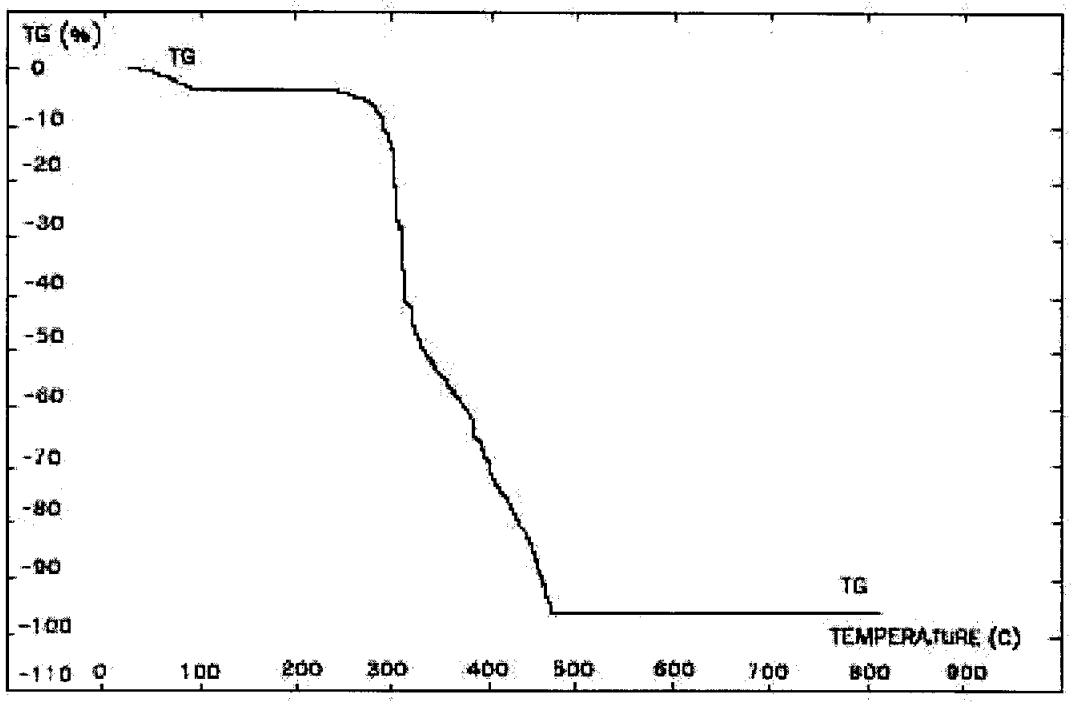
ผลการทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผาโดยเครื่อง TGA ของตัวอย่าง LA LD LE และ LF (ตัวอย่าง LB และ LC มีชนิดของเส้นใยเป็นไนลอนเช่นเดียวกับตัวอย่าง LA จึงสุ่มตัวอย่างมาทดสอบเพียงตัวอย่างเดียว) พบว่าตัวอย่าง LA ซึ่งมีเส้นใยเป็นไนลอนมีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง LD และ LE ซึ่งมีเส้นใยเป็นเรยอนและฝ้ายตามลำดับมีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิประมาณ 300-450 องศาเซลเซียส และตัวอย่าง LF ซึ่งมีเส้นใยเป็นโปลีเอสเตอร์มีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิประมาณ 350-500 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 6-9 ตามลำดับ



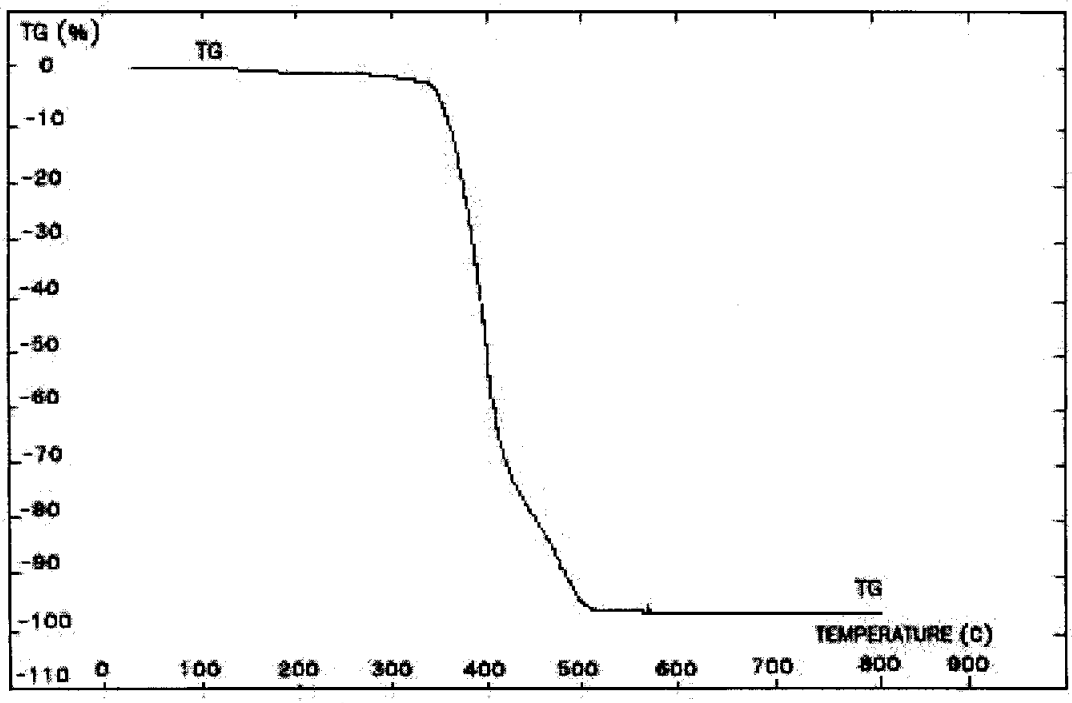
ภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของตัวอย่าง LA (ไนลอน)



ภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของตัวอย่าง LD (เรยอน)



ภาพที่ 8 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของตัวอย่าง LE (ฝ้าย)



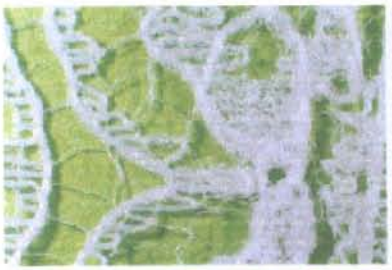
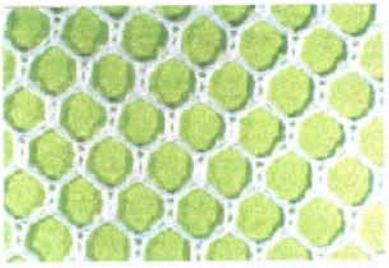
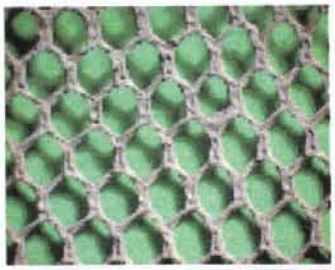
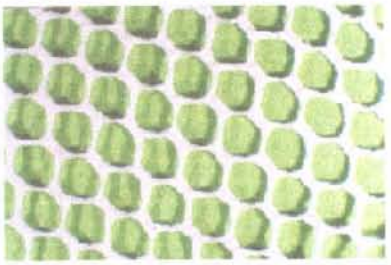
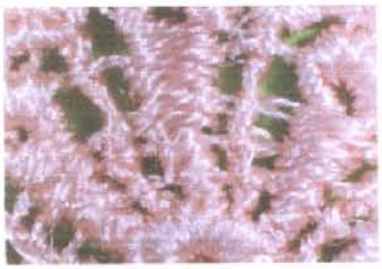
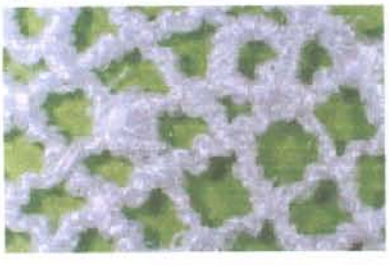
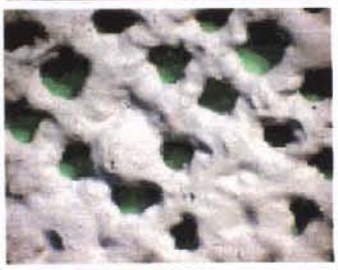
ภาพที่ 9 แสดงผลการทดสอบน้ำหนักที่หายหลังเผาโดยเครื่อง TGA ของตัวอย่าง LF (โปลีเอสเตอร์)

4.2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก

4.2.1. ผลการศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบผ้าลูกไม้

เนื้อดิน BH ที่เคลือบเส้นใย LB LC LD LE หลังเผามีลวดลายและลักษณะเหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ ส่วนเนื้อดิน BH ที่เคลือบเส้นใย LA LF มีบางส่วนที่มีลวดลายและลักษณะเหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบและบางส่วนที่ขาดไม่สมบูรณ์ ภาพของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยก่อนและหลังเผาที่กำลังขยาย 10 เท่าแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงภาพของเนื้อดิน BH ที่เคลือบเส้นใยก่อนและหลังเผาที่กำลังขยาย10เท่า

ตัวอย่าง	ผ้าลูกไม้	ผ้าลูกไม้เคลือบเนื้อดินก่อนเผา	ผ้าลูกไม้เคลือบเนื้อดินหลังเผา
LA			
LB			
LC			
LD			
LE			
LF			

4.2.2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น

ผลการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้นของตัวอย่าง BL1-9 พบว่าลักษณะของลูกไม้เซรามิกหลังเผามีลักษณะที่แตกต่างกัน คือมีลักษณะสมบูรณ์ ขาดบางส่วน และขาดทั่วไป ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงลักษณะของลูกไม้เซรามิกหลังเผา

ตัวอย่าง	เนื้อดินหล่อถ้วย	เนื้อดินชุบลูกไม้	ลักษณะลูกไม้เซรามิกหลังเผา
BL1	BH	BH	สมบูรณ์
BL2	BH	BS	ขาดปริทั่วไป
BL3	BH	BB	ขาดปริทั่วไป
BL4	BS	BH	สมบูรณ์
BL5	BS	BS	ขาดปริบริเวณขอบ
BL6	BS	BB	ขาดเล็กน้อย
BL7	BB	BH	สมบูรณ์
BL8	BB	BS	สมบูรณ์
BL9	BB	BB	ขาดปริทั่วไป

4.3. ผลการทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลการทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างโดยการทดลองแปรเปลี่ยนเนื้อดิน เคลือบ และวิธีการขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 15 และภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสียรูปภายหลังการเผาคือมีลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ และผลิตภัณฑ์ที่เสียรูปภายหลังการเผาคือลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกลู่ตกลงมากแสดงดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	วิธี	เนื้อดิน		เคลือบ	ผลการทดลอง
		ตุ๊กตา	ลูกไม้		
X1	P1	BH	BH	GW31	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะบางตามขนาดเส้นใยของผ้าลูกไม้ ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ แต่มีสมบัติเปราะ
X2	P2	BH	BH	GW31	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกลู่ตกลง มีสมบัติแข็งแรง
X3	P3	BH	BH	GW31	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ แต่มีสมบัติเปราะ
X4	P4	BH	BH	GW31	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกลู่ตกลงมาก มีสมบัติเปราะ
X5	P2	BS	BS	ไม่มี	ลูกไม้เซรามิกแตกหลุดจากตัวตุ๊กตา
X6	P1	BB	BB	ไม่มี	ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกลู่ตกลง
X7	P2	BS	BH	GW31	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรากลู่ตกลง
X8	P2	BS	BH	GM10	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรากลู่ตกลง
X9	P2	BS	BH	GL	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ มีสมบัติแข็งแรง
X10	P2	BS	BH	GLa	ลูกไม้เซรามิกสมบูรณ์มีลักษณะหนาขึ้น ลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ มีสมบัติแข็งแรง

ภาพที่ 10 แสดงภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกกางปกติ

ภาพที่ 11 แสดงภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกระโปรงลูกไม้เซรามิกลู่ตกลงมาก

บทที่ 5.
วิจารณ์ สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1. วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1. การทดสอบสมบัติของเนื้อดิน

5.1.1.1. การทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาค

จากภาพที่ 5 และตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างเนื้อดิน BH มีปริมาณอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน มากที่สุดและมีขนาดอนุภาคมัธยฐานน้อยที่สุด BH จึงเป็นตัวอย่างที่ละเอียดมากกว่าตัวอย่าง BS และ BB ตัวอย่าง BH เป็นเนื้อดินที่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยการปั้นซึ่งต้องอาศัยความเหนียวจึงมีความละเอียดสูง

ส่วนตัวอย่างเนื้อดิน BS มีปริมาณอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน น้อยที่สุดและมีขนาดอนุภาคมัธยฐานมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเป็นตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคหยาบมากกว่าตัวอย่าง BB และ BH ตัวอย่าง BS เป็นเนื้อดินที่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยการหล่อซึ่งไม่ต้องอาศัยความเหนียวในการขึ้นรูป การที่มีอนุภาคค่อนข้างหยาบจะช่วยเพิ่มอัตราในการหล่อให้เร็วขึ้นได้

ตัวอย่าง BB เป็นตัวอย่างที่สามารถใช้การขึ้นรูปทั้งแบบปั้นและหล่อจึงมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่างตัวอย่าง BH และBS

หากเรียงตามลำดับของเนื้อดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจากขนาดอนุภาคเล็กไปหาใหญ่จะได้ผลดังนี้ BH BB และ BS ในการทดลองนี้ได้คัดเนื้อดินตัวอย่างที่มีความละเอียดต่างกันเพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก

5.1.1.2. การทดสอบพื้นที่ผิวของเนื้อดินโดยวิธี Methylene blue index

การทดสอบ Methylene blue index เป็นการศึกษาขนาดอนุภาคในระดับคอลลอยด์ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กเกินกว่าเครื่องมือที่มีอยู่จะวัดได้ โดยอนุภาคที่มีความละเอียดสูงจะมีค่า Methylene blue index หรือพื้นที่ผิวสูง ผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคโดย sedigraph คือหากเรียงตามลำดับของเนื้อดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจากขนาดอนุภาคเล็กไปหาใหญ่จะได้ผลดังนี้ BH BB และ BS

5.1.1.3. **การทดสอบร้อยละการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา**

สมบัติการหดตัวเมื่อแห้งของเนื้อดินขึ้นกับ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป การกระจายของขนาดอนุภาค และการจัดเรียงตัวของอนุภาค (packing) ตัวอย่าง BH มีการหดตัวเมื่อแห้งสูงสุดและการหดตัวหลังเผาต่ำสุด ในขณะที่ตัวอย่าง BS และ BB มีการหดตัวเมื่อแห้งและการหดตัวหลังเผาใกล้เคียงกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับขนาดของอนุภาค โดยตัวอย่าง BH มีปริมาณและขนาดอนุภาคเล็กสูงสุดจึงมีการหดตัวเมื่อแห้งสูงสุด และตัวอย่าง BB มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า BS เล็กน้อยจึงมีการหดตัวเมื่อแห้งใกล้เคียงกัน

สมบัติการหดตัวหลังเผาเป็นสมบัติสอดคล้องกับปริมาณความสุกตัวของเนื้อดิน เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง BH มีการหดตัวหลังเผาต่ำสุดในขณะที่ BS และ BB มีการหดตัวหลังอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน สมบัติการหดตัวหลังเผานี้จะใช้วิเคราะห์ร่วมกับสมบัติการดูดซึมน้ำต่อไป

สมบัติการหดตัวเป็นสมบัติที่สำคัญโดยเฉพาะในกรณีที่มีการนำเนื้อดินมากกว่า 1 ชนิดมาประกอบขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เดียวกัน หากเนื้อดินที่ใช้มีสมบัติการหดตัวไม่เหมาะสมกันผลิตภัณฑ์อาจแตกก่อนหรือหลังเผาได้

5.1.1.4. **การทดสอบการดูดซึมน้ำและสีหลังเผา**

สมบัติการดูดซึมน้ำหลังเผาแสดงระดับความสุกตัวของเนื้อดินหลังเผา ปริมาณการดูดซึมน้ำเข้าใกล้ศูนย์หรือเป็นศูนย์แสดงว่าเนื้อดินมีความสุกตัว ผลการดูดซึมน้ำแสดงให้เห็นว่าเนื้อดินทดลองทั้งสามตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีค่าดูดซึมน้ำหรือความสุกตัวใกล้เคียงกัน การเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือ 1230 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการดูดซึมน้ำลดลงโดยตัวอย่าง BH มีความทนไฟสูงสุด ตัวอย่าง BS และ BB มีความทนไฟน้อยกว่าเล็กน้อย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการหดตัวหลังเผาคือ BH มีการหดตัวหลังเผาต่ำสุด

เนื้อดิน BS และ BB มีสีขาวหรือขาวนวล ส่วนเนื้อดิน BH มีสีขาวคล้ำ เนื้อดิน BS และ BB จึงเหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์เพื่อโชว์สีเนื้อดินมากกว่า

5.1.2. การทดสอบสมบัติผ้าลูกไม้

5.1.2.1. การศึกษาลักษณะของเส้นใย

ผลการศึกษาลักษณะเส้นใยในลวดลายของผ้าลูกไม้จากตารางที่ 11 และ 12 แสดงให้เห็นว่าสามารถเปรียบเทียบเพื่อจำแนกลักษณะเส้นใยในลวดลายของผ้าลูกไม้ที่ใช้สำหรับทำลูกไม้เซรามิกจาก ขนาดของเส้นใย ปริมาณของเส้นใยในลวดลาย และลักษณะเกลียวของเส้นใย ได้แบ่งลักษณะเส้นใยในลวดลายดังนี้ ขนาดเล็ก/ใหญ่ ปริมาณเส้นใยน้อย/ปานกลาง/มาก ลักษณะเกลียวไม่มี/น้อย/มาก ผลการวิเคราะห์เพื่อจำแนกลักษณะเส้นใยในลวดลายที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเส้นใยในลวดลายนี้จะใช้ประกอบกับผลการวิเคราะห์การศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยต่อไป

5.1.2.2. การทดสอบชนิดของเส้นใย

เส้นใยของผ้าลูกไม้ที่ใช้ในการทดลองมีทั้งเส้นใยประดิษฐ์และเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยประดิษฐ์ได้แก่ไนลอน เรยอน โปลีเอสเตอร์ เส้นใยธรรมชาติได้แก่ฝ้าย สมบัติของเส้นใยต่างชนิดที่อาจจะมีผลต่อการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกได้แก่ความชื้นรีเกน (Moisture regain) ความชื้นรีเกนหมายถึงปริมาณน้ำที่มีในผ้าลูกไม้คิดเป็นร้อยละของเนื้อผ้าลูกไม้อบแห้ง ความชื้นรีเกนแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของเส้นใย ความชื้น และอุณหภูมิ ตัวอย่างค่าความชื้นรีเกนของ ไนลอน เรยอน ฝ้าย และโปลีเอสเตอร์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65 (relative humidity) อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ได้แก่ร้อยละ 2.5-4.5 13 7.0-11.0 และ0.4-0.8 ตามลำดับ ผลการทดสอบชนิดของเส้นใยนี้จะนำไปวิเคราะห์ร่วมกับการศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยต่อไป

5.1.2.3. การทดสอบน้ำหนักที่หายระหว่างเผา

เส้นใยชนิดไนลอน เรยอน ฝ้าย และโปลีเอสเตอร์ มีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิใกล้เคียงกันคือประมาณ 300-500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เนื้อดินยังมีความพรุนตัวสูง การที่เส้นใยเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ก่อนเนื้อดินเกิดการสุกตัวนี้ช่วยให้การเผาไหม้เพื่อไล่เส้นใยออกจากเนื้อดินได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนั้น ไนลอน เรยอน ฝ้าย และโปลีเอสเตอร์ สามารถนำมาใช้ในการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกได้

5.2. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิก

5.2.1. การศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใย

เมื่อวิเคราะห์ผลการศึกษาลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยจากตารางที่ 13 ร่วมกับผลการทดลองชนิดเส้นใยและการจำแนกลักษณะเส้นใยจากตารางที่ 11 และ 12 ไม่พบความสัมพันธ์ของลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยกับชนิดของเส้ยใย แต่พบมีความสัมพันธ์กับลักษณะเส้นใยดังแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยกับลักษณะเส้นใย

ตัวอย่างผ้าลูกไม้	ลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใย
LA	เหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ แต่มีบางส่วนขาดไม่สมบูรณ์; บริเวณเส้นใยขนาดใหญ่ เส้นใยเดี่ยวหรือปริมาณเส้นใยน้อย ไม่มีเกลียว เคลือบไม่ติด บริเวณเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณมาก และมีเกลียวน้อย เคลือบติดดี
LB	เหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ มีลักษณะสมบูรณ์; บริเวณเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณปานกลาง มีเกลียวน้อย เคลือบติดดี
LC	เหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ มีลักษณะสมบูรณ์; บริเวณเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณมาก มีเกลียวมาก เคลือบติดดี
LD	เหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ มีลักษณะสมบูรณ์; บริเวณเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณมาก มีเกลียวมาก เคลือบติดดี
LE	เหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ มีลักษณะสมบูรณ์; บริเวณเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณมาก มีเกลียวมาก เคลือบติดดี
LF	เหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ แต่มีบางส่วนขาดไม่สมบูรณ์; บริเวณเส้นใยขนาดใหญ่ ปริมาณเส้นใยน้อย เกลียวน้อยเคลือบไม่ติด บริเวณเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณมาก และมีเกลียวมากเคลือบติดดี

ดังนั้นเนื้อดินสามารถเคลือบติดผ้าลูกไม้ชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลองได้ โดยความสามารถในการเคลือบลูกไม้ของเนื้อดินไม่มีความสัมพันธ์กับชนิดของผ้าลูกไม้ แต่มีความสัมพันธ์กับลักษณะของเส้นใยโดยตรง กล่าวคือ เส้นใยที่มีขนาดเล็ก ปริมาณปานกลางขึ้นไป และมีเกลียวสามารถถูกเคลือบด้วยเนื้อดินได้ดี ลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบเส้นใยหลังเผาจึงมีลวดลายเหมือนผ้าลูกไม้ต้นแบบ ส่วนลวดลายที่มีเส้นใยขนาดใหญ่ ปริมาณน้อย ไม่มีเกลียวจะถูกเคลือบด้วยเนื้อดินได้น้อยหรือเคลือบไม่ติด ลักษณะของเนื้อดินที่เคลือบผ้าลูกไม้หลังเผาจึงไม่สมบูรณ์

การที่ผ้าลูกไม้ที่มีเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณปานกลางขึ้นไป และมีเกลียวสามารถถูกเคลือบด้วยเนื้อดินได้ดีกว่าลูกไม้ที่มีเส้นใยขนาดใหญ่ ปริมาณน้อย และไม่มีเกลียว เนื่องจากผ้าลูกไม้ที่มีเส้นใยขนาดเล็ก ปริมาณปานกลาง/มาก และมีเกลียว มีพื้นที่ผิวที่จะให้เนื้อดินเคลือบเส้นใยมากเพียงพอเพื่อที่จะเป็นเนื้อลูกไม้เซรามิกที่มีความแข็งแรง สามารถคงรูป และสัมผัสเพื่อเคลื่อนย้ายได้ การที่เส้นใยของลูกไม้มีพื้นที่ผิวน้อย ปริมาณเนื้อดินที่เคลือบผ้าลูกไม้มีน้อยเนื้อดินของลูกไม้เซรามิกมีน้อย จึงมีความเปราะสูงจนไม่สามารถที่จะคงรูปหรือสัมผัสเพื่อเคลื่อนย้ายได้

5.2.2. การทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้น

การใช้เนื้อดิน BH เคลือบผ้าลูกไม้ที่นำไปตกแต่งผลิตภัณฑ์เนื้อดิน BS BH BB จะได้ลูกไม้เซรามิกที่สมบูรณ์ ในขณะที่การใช้ เนื้อดิน BS และ BB เคลือบผ้าลูกไม้ที่นำไปตกแต่งเนื้อดิน BS BH BB จะได้ลูกไม้เซรามิกที่ขาดหรือปริบางส่วน เนื้อดิน BH เป็นเนื้อดินที่มีขนาดของอนุภาคเล็กสุดเมื่อเทียบเนื้อดิน BS และ BB เนื้อดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีสมบัติในการยึดหรือเคลือบผิวผ้าลูกไม้ได้ดีกว่าเนื้อดินที่มีขนาดอนุภาคหยาบ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการหดตัวของเนื้อดิน BH กับ BS และ BB เนื้อดิน BH มีการหดตัวเมื่อแห้งสูงสุดแต่มีการหดตัวเมื่อเผาต่ำสุด ดังนั้นการใช้เนื้อดิน BH เป็นเนื้อลูกไม้เซรามิกเพื่อตกแต่งภายนอกผลิตภัณฑ์เนื้อดิน BS BH BB จะไม่พบปัญหาการหดตัวรัดผลิตภัณฑ์จนลูกไม้เซรามิกแตกหลังเผา ดังนั้นผลการทดสอบการขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าเนื้อดินที่เหมาะสำหรับทำลูกไม้เซรามิกได้แก่เนื้อดิน BH

5.2.3. การทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

การทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเป็นการผลิตเลียนแบบจริง ซึ่งผลิตภัณฑ์มีรูปทรงซับซ้อน การหดตัว จุดรับน้ำหนัก และการเสียรูประหว่างการเผาของลูกไม้-เซรามิกซึ่งเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและสำคัญที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ตามแบบที่ต้องการ

ตัวอย่าง X1 X2 X3 X4 เป็นตัวอย่างที่ใช้เนื้อดิน BH ในการผลิตตุ๊กตาและลูกไม้-เซรามิกแต่ทดลองแปรเปลี่ยนวิธีการทดลอง P1 P2 P3 และ P4 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าตัวอย่าง X1 X2 X3 X4 ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะสมบูรณ์แต่มีสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับวิธีการทดลอง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองขึ้นรูปลูกไม้-เซรามิกเบื้องต้นที่แสดงให้เห็นว่าเนื้อดิน BH เหมาะสำหรับทำลูกไม้เซรามิก และเนื้อดินที่ใช้ทำตุ๊กตาและลูกไม้เป็นเนื้อดินชนิดเดียวกันจึงไม่มีปัญหาการหดตัว ลูกไม้เซรามิกที่

ได้จากการเคลือบผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบน้ำดินเพียงอย่างเดียวเช่นตัวอย่าง X1 มีลักษณะบาง เนื่องจากผ้าลูกไม้ LC มีปริมาณเส้นใยปานกลาง และลูกไม้เซรามิกที่ได้จากการเคลือบผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบร่วมกับวิธีการพ่นน้ำดินเช่นตัวอย่าง X2 X3 X4 มีลักษณะหนากว่า

ตัวอย่าง X1 X2 X3 X4 ใช้เคลือบ GW31 ที่มีจุดสุกตัวใกล้เคียงกับเนื้อดิน BH การทดลองแปรเปลี่ยนวิธีการเคลือบเป็นชุบหรือพ่น และการเคลือบบนผลิตภัณฑ์ดิบหรือที่เผาแล้วพบว่า ตัวอย่าง X1 X2 X3 ใช้วิธีการเคลือบบนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาจนเนื้อดินสุกตัวแล้ว การใช้วิธีเคลือบโดยการพ่นเคลือบเพียงด้านเดียวดังตัวอย่าง X1 และ X3 เกิดการเสียรูปหลังเผาต่ำ ส่วนการใช้วิธีเคลือบโดยการชุบเคลือบดังตัวอย่าง X2 ทำให้เกิดการเสียรูปหลังเผาสูงกว่า ส่วนตัวอย่าง X4 ที่ใช้วิธีเคลือบโดยการพ่นเคลือบบนผลิตภัณฑ์ดิบที่ไม่ได้ผ่านการเผาให้สุกตัวก่อนเกิดการเสียรูปหลังเผาได้ง่ายเช่นกัน ลูกไม้เซรามิกที่เคลือบด้านเดียวด้วยวิธีการพ่นเช่นตัวอย่าง X1 X3 X4 มีสมบัติเปราะกว่าลูกไม้เซรามิกที่เคลือบผิวด้านนอกหมดด้วยวิธีการชุบเช่นตัวอย่าง X2

ผลการทดลองของตัวอย่าง X1 X2 X3 X4 แสดงให้เห็นว่า วิธี P2 เหมาะสำหรับการตกแต่งตุ๊กตาเซรามิกด้วยลูกไม้เซรามิก คือขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกโดยเคลือบผิวผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบผ้าลูกไม้ในน้ำดิน บีบน้ำดินส่วนเกินออกจากผ้าลูกไม้ นำผ้าลูกไม้ที่ได้มาตกแต่งตุ๊กตา พ่นน้ำดินด้วยแอร์บรัชบริเวณผ้าลูกไม้ที่ชุบน้ำดินแล้ว เมื่อตุ๊กตาที่ตกแต่งแห้งสนิท เผาดิบที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เคลือบตุ๊กตาที่เผาดิบแล้วด้วยวิธีชุบ หรือ ชุบและพ่น นำไปเผาเคลือบที่อุณหภูมิสุกตัวของเคลือบ

ตัวอย่าง X5 เป็นตัวอย่างที่ใช้เนื้อดิน BS ในการผลิตตุ๊กตาและลูกไม้เซรามิก ใช้วิธีการทดลอง P1 และไม่เคลือบ ผลการทดลองพบว่าลูกไม้เซรามิกแตกหลุดจากตุ๊กตาสอดคล้องกับผลการทดลองขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้นที่แสดงให้เห็นว่าเนื้อดิน BS ไม่เหมาะสำหรับการผลิตลูกไม้เซรามิกเนื่องจากมีอนุภาคที่หยาบ

ตัวอย่าง X6 เป็นตัวอย่างที่ใช้เนื้อดิน BB ในการผลิตตุ๊กตาและลูกไม้เซรามิก ใช้วิธีการทดลอง P1 และไม่เคลือบ ลูกไม้เซรามิกที่ได้เสียรูปแม้ไม่เคลือบ จากการทดลองขึ้นรูปลูกไม้เซรามิกเบื้องต้นพบว่าเนื้อดิน BB แม้มีแนวโน้มอาจใช้ทำลูกไม้เซรามิกได้ แต่เนื่องจากเป็นเนื้อดินที่เสียรูปได้ง่ายจึงไม่เหมาะสำหรับใช้ในการทดลองผลิตตามแบบเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง X7 X8 X9 X10 เป็นตัวอย่างที่ใช้เนื้อดิน BS ในการผลิตตุ๊กตาและเนื้อดิน BH ในการผลิตลูกไม้เซรามิก ใช้วิธีการทดลอง P2 และแปรเปลี่ยนใช้เคลือบที่มี

ลักษณะหรือจุดสุกตัวแตกต่างกันคือ GW31 GM10 GL และ Gla ซึ่งมีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส 1200 องศาเซลเซียส 1080 องศาเซลเซียส และ 1060 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การใช้เนื้อดิน BS ผลิตตุ๊กตาเนื่องจากเนื้อดินมีสีขาวหลังเผาซึ่งเป็นสีที่มีความสวยงามในตัว และเนื้อดิน BH ผลิตลูกไม้เซรามิกเนื่องจากเป็นเนื้อดินที่เหมาะสำหรับใช้ทำลูกไม้เซรามิก ผลการศึกษาการหดตัวของเนื้อดินทั้งสองแสดงให้เห็นว่าการใช้เนื้อดิน BH ตกแต่งภายนอกเนื้อดิน BS ไม่พบปัญหาการหดตัวเนื่องจากเนื้อดิน BH หดตัวเมื่อแห้งสูงกว่าและหดตัวหลังเผาต่ำกว่าเนื้อดิน BS

เคลือบ GW31 และ GM10 เป็นเคลือบที่มีจุดสุกตัวใกล้เคียงกับเนื้อดิน BH และ BS โดย GW31 เป็นเคลือบใสมัน และ GM10 เป็นเคลือบด้าน มีจุดสุกตัวที่ 1200 องศาเซลเซียส ส่วนเคลือบ GL และ Gla เป็นเคลือบไฟต่ำและเป็นเคลือบใสมัน มีจุดสุกตัวที่ 1080 องศาเซลเซียส และ 1060 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง X7 X8 ที่ใช้เคลือบ GW31 และ GM10 เสียรูปมากกว่าตัวอย่าง X9 X10 ที่ใช้เคลือบ GL และ Gla ดังนั้นการใช้เคลือบไฟสูงทำให้เกิดการเสียรูปหลังเผาเคลือบสูงกว่าการใช้เคลือบไฟต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เคลือบ GL ซึ่งมีปริมาณวัตถุดิบที่ช่วยลดอุณหภูมิการเผาคือฟริตอยู่ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 63.5 มีข้อที่ต้องระวังคือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเคลือบกับเนื้อดินของลูกไม้เซรามิกในระหว่างการเผามากจนเกิดการหลอมเนื้อดินได้

5.3. สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะการผลิตลูกไม้เซรามิก

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะการผลิตลูกไม้เซรามิกมีดังนี้

1. ผ้าลูกไม้ที่ใช้ทำลูกไม้เซรามิกจะเป็นชนิดใดก็ได้ คือไนลอน เรยอน ฝ้าย หรือโปลีเอสเตอร์ ผ้าลูกไม้ที่มีเส้นใยที่มีขนาดเล็ก ปริมาณเส้นใยปานกลางขึ้นไป และมีเกลียว จะทำให้เนื้อดินเกาะเคลือบผ้าลูกไม้ได้ดี นอกจากนี้ผู้วิจัยสนับสนุนให้ใช้ผ้าฝ้ายไม่มีสีซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติเพื่อเป็นการรักษาสภาพแวดล้อม
2. เนื้อดินที่ใช้ทำลูกไม้เซรามิกควรมีความละเอียดสูงเพื่อช่วยให้เนื้อดินสามารถเคลือบผ้าลูกไม้ได้ดี ในการวิจัยนี้แนะนำให้ใช้เนื้อดิน BH ที่มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1200-1230 องศาเซลเซียส
3. เคลือบที่ใช้สำหรับทำลูกไม้เซรามิกควรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดิน ในการวิจัยนี้แนะนำให้ใช้เคลือบ Gla ที่มีจุดสุกตัวที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียส
4. กระบวนการผลิตลูกไม้เซรามิกที่ให้ผลดีที่สุดได้แก่วิธี P2 คือเคลือบผิวผ้าลูกไม้ด้วยวิธีชุบผ้าลูกไม้ในน้ำดิน บีบน้ำดินส่วนเกินออกจากผ้าลูกไม้ นำผ้าลูกไม้ที่ได้มาตกแต่งตุ๊กตา กรณีที่ต้องการเพิ่มความหนาให้แก่ลูกไม้เซรามิกพ่นน้ำดินด้วยแอร์บรัชบริเวณผ้าลูกไม้ที่ชุบน้ำดินแล้ว เมื่อตุ๊กตาที่ตกแต่งแห้งสนิท เผาที่อุณหภูมิจุดสุกตัวของเนื้อดินคือที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เคลือบตุ๊กตาที่ตกแต่งด้วยวิธีชุบ หรือ ชุบและพ่น เผาเคลือบที่อุณหภูมิจุดสุกตัวของเคลือบคือที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ผู้รายงานขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาที่ให้การสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณคุณสุมาลี เติมใจ และคุณสุทธิชัย ทีปประสาน ที่ร่วมพัฒนาและวิจัยลูกไม้เซรามิก คุณประนอม วงศ์สมศรี คุณวิภารัตน์ สระมัจฉา และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง

ขอขอบคุณส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กองฟิสิกส์และวิศวกรรม และกองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติของเส้นใย และศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้โอกาสในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ มอก.121 เล่ม 6-2518
2. D. Rhodes, Clay and Glazes for the Potter, Greenberg, New York 1959
3. D. S. Lyle, Modern Textiles, John Wiley & Sons, New York, 1976
2. F. Singer and S.S. Singer, Industrial Ceramics, Chapman and Hall, London, 1963
3. H. Fraser, Ceramic Faults and their remedies. A&C Black. London
4. C. W. Parmelee, Ceramic Glazes, Massachusets, CBI Publishing Company Inc., 1975
5. Shaw, Duncan.J. Introduction to colliod and surface chemistry. 4th ed. London : Butterworth-Heinemann, 1992

ภาคผนวก

1. **ทดสอบพื้นที่ผิวโดยการหาค่า** Methylene blue index

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

2. **ทดสอบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา**

$$\text{การหดตัวเมื่อแห้ง, ร้อยละ} = ((Lo- Ld)/ Lo)100$$

$$\text{การหดตัวหลังเผา, ร้อยละ} = ((Lo- Lf)/ Lo)100$$

Lo :ขนาด ณ ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อถอดแบบ

Ld :ขนาด ณ ตำแหน่งที่กำหนดเมื่อตัวอย่างแห้งสนิท

Lf : ขนาด ณ ตำแหน่งที่กำหนดหลังเผา

3. **ทดสอบการดูดซึมน้ำ**

$$\text{การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ} = (W-D)/D * 100$$

W: น้ำหนักเปียก

D: น้ำหนักแห้ง