

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
วพช
อว 11

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 3

การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม
Research and Development of Conventional Ceramic Thread Guides

ของ

นางวรรณดา ต.แสงจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ 6ว.

ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวสุจินดา โชติพานิช นักวิทยาศาสตร์ 8

นายสุทธิชัย ทีปประสาน นักวิทยาศาสตร์ 7ว.

กลุ่มวิจัยและพัฒนา

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ

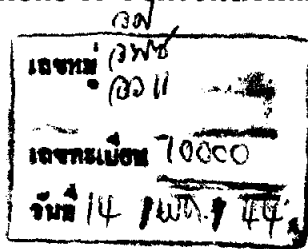
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

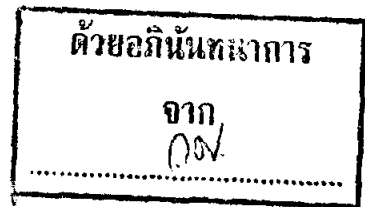
เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 3

การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม
Research and Development of Conventional Ceramic Thread Guides



ของ



นางวรรณภา ต.แสงจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ 6ว.

ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวสุจินดา โชติพานิช นักวิทยาศาสตร์ 8

นายสุทธิชัย ทีปประสาน นักวิทยาศาสตร์ 7ว.

กลุ่มวิจัยและพัฒนา

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ กรมทรัพยากรธรณี ผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ข้าราชการ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ที่ได้ให้ความสนับสนุนและความร่วมมืออย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยและจัดทำรายงาน

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการทดลองทำผลิตภัณฑ์ขึ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม จากวัตถุดิบในประเทศโดยวิธีเทแบบ ได้ทดลองทำส่วนผสมพอร์ซเลนดั้งเดิม และศึกษาสมบัติของ เนื้อดินและเคลือบ จากการทดลองพบว่าสามารถเผาผลิตภัณฑ์ที่ระดับอุณหภูมิประมาณ 1330°C. ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง (มอดูลัสแตกร้าว) 105 เมกะพาสคัล เคลือบซึ่งมีความแข็งวิกเกอร์ส 627-634 HV มีสีขาว ผิวเรียบ และแวววาว

Abstract

This study was carried out to develop conventional ceramic thread guide products from local raw materials by slip casting process. The conventional porcelain compositions were prepared and the properties of bodies and glazes were investigated. The results showed that the products could be fired at about 1330^oC. Flexural strength 105 MPa was obtained. Glazes which hardness values were 627-634 HV had white color, smooth and shining surfaces.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ | |
| บทคัดย่อ | |
| Abstract | |
| สารบัญตาราง | ก |
| สารบัญภาพ | ข |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่อง เส้นด้ายเซรามิก | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ | 2-3 |
| 1.4 ระยะเวลาดำเนินการ | 3 |
| บทที่ 2 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม | 4 |
| 2.1 บทนำ | 4 |
| 2.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา | 4 |
| 2.2.1 วัตถุประสงค์การวิจัยและพัฒนา | 4 |
| 2.2.2 ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา | 4 |
| 2.3 การทดลองเนื้อดิน | 5 |
| 2.3.1 วิธีการทดลองเนื้อดิน | 5 |
| 2.3.1.1 วัตถุประสงค์ | 5 |
| 2.3.1.2 ส่วนผสม | 5 |
| 2.3.1.3 การเตรียมตัวอย่าง | 6 |
| 2.3.1.4 การวิเคราะห์ทดสอบ | 6 |
| 2.3.2 ผลการทดลองเนื้อดิน | 7 |
| 2.3.3 วิจารณ์ผลการทดลองเนื้อดิน | 10 |
| 2.3.4 สรุปผลการทดลองเนื้อดิน | 11 |
| 2.4 การทดลองเคลือบ | 11 |
| 2.4.1 วิธีการทดลองเคลือบ | 11 |
| 2.4.1.1 วัตถุประสงค์ | 11 |
| 2.4.1.2 ส่วนผสม | 11 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-------|
| 2.4.1.3 การเตรียมตัวอย่าง | 13 |
| 2.4.1.4 การวิเคราะห์ทดสอบ | 13-14 |
| 2.4.2 ผลการทดลองเคลือบ | 14 |
| 2.4.2.1 ลักษณะทั่วไปของเคลือบ | 14 |
| 2.4.2.2 การทนต่อการขัดสี | 14 |
| 2.4.2.3 ความแข็ง | 14 |
| 2.4.2.4 การเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ | 15 |
| 2.4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง | 19 |
| 2.4.3.1 ลักษณะทั่วไปของเคลือบ | 19 |
| 2.4.3.2 การทนต่อการขัดสีและความแข็ง | 19 |
| 2.4.3.3 การเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ | 19 |
| 2.4.4 สรุปผลการทดลองเคลือบ | 19 |
| 2.5 การทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์โดยการเทแบบ | 20 |
| 2.5.1 วิธีการทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ | 20 |
| 2.5.1.1 การทำแบบปูนปลาสเตอร์ | 20 |
| 2.5.1.2 การเตรียมน้ำสลีป | 20 |
| 2.5.1.3 การเทแบบ | 21 |
| 2.5.1.4 การทำให้แห้ง | 21 |
| 2.5.1.5 การเคลือบ | 21 |
| 2.5.1.6 การเผา | 21 |
| 2.5.1.7 การวิเคราะห์ทดสอบ | 21 |
| 2.5.2 ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ | 21-22 |
| 2.5.3 วิจารณ์ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ | 22 |
| 2.5.4 สรุปผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ | 22 |
| 2.6 สรุปผลการวิจัยและพัฒนา | 22-23 |
| เอกสารอ้างอิง | 24-25 |
| ภาคผนวก | 26 |
| ก แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนา | 27-28 |
| ข สูตรสำหรับคำนวณและภาพวิธีทดสอบ | 29-30 |
| ค แม่แบบปูนปลาสเตอร์สำหรับขึ้นรูป | 31 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-------|
| ง ความละเอียดหยาบของเนื้อดิน HPQI | 32-33 |
| จ ผลผลิตกษัซึ้นส่วนนำร่องเส้นค้ายชนิดเซรามิกตั้งเดิมที่ได้จาก การทดลอง | 34 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุคิบ | 5 |
| 2 | ส่วนผสมของเนื้อคิน | 6 |
| 3 | ผลการทดสอบการหดตัว การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นรวมของเนื้อคิน | 7 |
| 4 | สูตรเคลือบ | 12 |
| 5 | ส่วนผสมเคลือบ | 12 |
| 6 | ลักษณะทั่วไปของเคลือบ | 16 |
| 7 | ผลการทดสอบการขัดสี ความแข็ง การราน และการขยายตัวเมื่อร้อน | 17 |
| 8 | ความละเอียดของอนุภาควัตถุคิบในน้ำสลิป | 21 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 1 | ผลของอุณหภูมิต่อการหดตัว | 8 |
| 2 | ผลของอุณหภูมิต่อการคูดซึมน้ำ | 8 |
| 3 | ผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นรวม | 9 |
| 4 | เปรียบเทียบการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบ | 18 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอย่างยิ่ง โดยทำรายได้เข้าประเทศมาในลำดับสูง ปัจจุบันได้รับการพัฒนาก้าวหน้าไปมากจนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ได้อย่างครบวงจรในประเทศ กล่าวคือ มีการผลิตเส้นใยเส้นด้าย ผ้าผืน ตลอดจนเสื้อผ้าสำเร็จรูป เป็นต้น ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมีการนำเทคโนโลยีตลอดจนเครื่องจักรกำลังผลิตสูงมาใช้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของตลาด การผลิตสิ่งทอตามขั้นตอนต่าง ๆ ด้วยเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเส้นด้ายหรือการปั่นด้ายนั้น เส้นด้ายจำนวนมากจะถูกดึงให้แห้งไปยังจุดต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว เส้นด้ายทำจากเส้นใยซึ่งมีความคม เมื่อถูกดึงด้วยความเร็วสูงจะเกิดการขัดสีกับชิ้นส่วนที่นำร่องเส้นด้ายอย่างรุนแรงและทำให้เกิดการสึกหรอขึ้น วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนดังกล่าวได้ดี จึงต้องสามารถทนต่อการสึกหรอได้สูง นอกจากนี้ยังต้องมีผิวเรียบให้ความเสียดทานคงที่ และไม่ทำให้เส้นด้ายเกิดความเสียหายอีกด้วย เซรามิกมีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน สามารถนำมาใช้งานได้ดีและทนทานยิ่งกว่าโลหะหรือโพลีเมอร์ เพราะมีความแข็งสูงกว่า วัสดุเซรามิกที่สามารถนำมาใช้งานได้มีหลายชนิด มีทั้งชนิดเซรามิกดั้งเดิม เช่น เซรามิกเนื้อพอร์ซเลน และเซรามิกใหม่ เช่น เซรามิกเนื้ออะลูมินา เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิมซึ่งเนื้อไม่ค่อแข็งเหมาะกับเส้นใยธรรมชาติ¹ ซึ่งไม่คม ส่วนเซรามิกใหม่เนื้ออะลูมินา ซึ่งแข็งกว่ามาก เหมาะกับเส้นใยประดิษฐ์² ที่คมและแข็งแรง(Dorre and Hubner,1984) ยิ่งกว่านั้น เครื่องจักรซึ่งใช้กับเส้นใยประดิษฐ์ได้รับการพัฒนา ให้ทำงานด้วยความเร็วสูงขึ้นไปอีกเรื่อย ๆ ส่งผลให้การขัดสีระหว่างกันมีมากยิ่งขึ้น เครื่องจักรรุ่นใหม่จึงได้รับการออกแบบให้ใช้วัสดุเซรามิกใหม่เนื้อแข็งเป็นตัวรองรับจุดสัมผัสแทบทั้งสิ้น

ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกนอกจากทำได้จากวัสดุหลายชนิดแล้ว ยังมีรูปแบบหลากหลาย โดยออกแบบให้เหมาะสมกับเครื่องจักรและกรรมวิธีการผลิต ปัจจุบันยังต้องสั่งเข้ามาใช้งานในราคาค่อนข้างแพง ทั้ง ๆ ที่ภาคอุตสาหกรรมเซรามิกของไทยเรามีศักยภาพสูงพอที่จะผลิตเองได้และมีความต้องการที่จะผลิต แต่ยังคงขาดข้อมูลสำหรับเป็นแนวทางในการทำ เนื่องจากรายละเอียดความรู้ทั้งหลาย รวมทั้งส่วนผสมและเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องยังเป็นความลับในทางการค้าและการแข่งขัน บริษัทผู้ผลิตต่างประเทศจะไม่เปิดเผยให้ทราบ สิ่งที่เปิดเผยและตีพิมพ์ในวารสารตำราทั่วไปเป็นแต่เพียงความรู้พื้นฐานกว้าง ๆ ไม่ได้ลงลึกเฉพาะเรื่องที่จะนำไปสู่การผลิตได้ ขณะนี้ประเทศไทยเรา

¹ เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย ปอแก้ว ปอกระเจา ป่านลินิน ป่านรามิ ป่านแฮมพี ป่านศรนารายณ์ ไหม และขนของสัตว์

² เส้นใยประดิษฐ์ ได้แก่ เรยอน อะซิเตด ไครอะซิเตด โพลีอะมิคหรือไนลอน โพลีเอสเตอร์ อะคริลิก

ยังขาดความรู้ที่จะช่วยส่งเสริมการผลิตเฉพาะทางอย่างมาก โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ และวัสดุอุตสาหกรรมซึ่งรวมถึงวัสดุเซรามิกทั้งหลายด้วย การศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมสิ่งทอจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะนอกจากจะช่วยพัฒนาความรู้การผลิตเฉพาะทางให้แก่ภาคอุตสาหกรรมเซรามิกแล้ว ยังจะช่วยให้อุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็น อุตสาหกรรมใหญ่อุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศ เกิดการคล่องตัวในการผลิตและพัฒนาก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น สามารถพึ่งตนเองได้อย่างครบวงจร และแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างยั่งยืนตลอดไป ดังนั้นกรม วิทยาศาสตร์บริการ และกรมทรัพยากรธรณี โดยความสนับสนุนของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนา ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกจาก ภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ และเพื่อวิจัยและพัฒนาหาเนื้อส่วนผสมและเทคโนโลยีการทำ เพื่อช่วยเสริม สร้างขีดความสามารถทางด้านนี้ให้แก่ประเทศ ผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำความรู้ไปใช้ เป็นแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมแขนงนี้ต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา

1.2.1 เพื่อให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1.2.2 เพื่อให้มีส่วนผสมและวิธีการทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก

การศึกษาวิจัยและพัฒนาแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่ นำเข้าจากต่างประเทศ

ตอนที่ 2 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม

ตอนที่ 3 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแสดม่วง

ผลงานที่เสนอในรายงานฉบับนี้เป็นเฉพาะตอนที่ 2 โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.3.1 ได้ข้อมูล ความรู้ และเทคโนโลยีเฉพาะทางเกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่อง เส้นด้ายเซรามิกซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ข้อมูลและความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนา กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์และอุตสาหกรรมของประเทศได้

1.3.2 เป็นการช่วยส่งเสริมสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอให้เกิดความคล่องตัวในการผลิต และสามารถพัฒนาการออกแบบชิ้นส่วนเซรามิกแบบต่าง ๆ ได้เอง อันจะช่วยให้สามารถแข่งขันในตลาดต่างประเทศได้ดียิ่งขึ้น

1.3.3 ช่วยเพิ่มทักษะให้แก่นักวิจัยภายในประเทศ ความรู้และประสบการณ์ที่นักวิจัยได้รับสามารถนำไปประยุกต์และขยายผลกับงานศึกษาวิจัยด้านวัสดุศาสตร์และผลิตภัณฑ์เซรามิกอื่น ๆ ได้อีกมาก

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ

พ.ศ. 2535-2540

บทที่ 2

การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม

2.1 บทนำ

จากการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่นำเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยในตอนที่ 1 (สุจินดาและคณะ, 2540) พบว่ายังมีการใช้ผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิมประเภทเครื่องปั้นดินเผาอยู่อีกบ้าง โดยใช้กับเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งไม่ค่อยคมและการขัดสีไม่รุนแรงนัก ทั้งนี้จากการศึกษาส่วนประกอบเชิงแร่ของส่วนที่เป็นเนื้อดินพบว่าประกอบด้วยแร่มาลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) และควอร์ตซ์ (SiO_2) เป็นหลัก จึงจัดเป็นเนื้อดินประเภท triaxial body ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดิน ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) แร่ฟันม้า ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) และควอร์ตซ์ เนื้อประเภทนี้ถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดต่าง ๆ มากมาย โดยอัตราส่วนผสมมีหลากหลายมาก ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานทางเทคนิคจะนิยมใช้ส่วนผสมประเภท hard porcelain ซึ่งส่วนผสมพื้นฐานประกอบด้วย ดินร้อยละ 50 ควอร์ตซ์ร้อยละ 25 แร่ฟันม้าร้อยละ 25 (Norton, 1970) หรือส่วนผสมประเภท chemical-technical porcelain ซึ่งประกอบด้วย ดินร้อยละ 60-68 ควอร์ตซ์ร้อยละ 10-15 แร่ฟันม้าร้อยละ 17-30 (Schüller, 1979) ในการศึกษาทดลองนี้จะนำตัวอย่างส่วนผสมทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาข้างต้นมาเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิมจากวัตถุดิบในประเทศ รวมทั้งทดลองหาเคลือบที่ทนต่อการขัดสีและเข้ากันได้กับเนื้อดิน เพื่อผู้ประกอบการจะได้ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

2.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา

2.2.1 วัตถุประสงค์การวิจัยและพัฒนา

เพื่อให้มีส่วนผสมและวิธีการทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม

2.2.2 ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา

2.2.2.1 ศึกษาทดลองหาส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายโดยใช้วัตถุดิบในประเทศ

2.2.2.2 ศึกษาทดลองหาส่วนผสมของเคลือบที่ทนต่อการขัดสี และเข้ากันได้กับ

เนื้อดิน

2.2.2.3 ศึกษาทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยการเทแบบ

วิจัย/พัฒนา

2.3 การทดลองเนื้อดิน

2.3.1 วิธีการทดลองเนื้อดิน³ ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การคัดเลือกวัตถุดิบในประเทศที่จะนำมาใช้ กำหนดส่วนผสมที่จะทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ทำเป็นชั้นทดสอบ ทำให้แห้ง เเผาที่อุณหภูมิ 1240°-1360°ซ. ทดสอบสมบัติกายภาพ ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมเพื่อประเมินหาอุณหภูมิสุกตัว⁴ (vitrification temperature) จากนั้นคัดเลือกสูตรที่จะนำไปใช้ทดลองเคลือบและขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ 1 สูตร

2.3.1.1 วัตถุดิบ วัตถุดิบในประเทศที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบเกรดอุตสาหกรรมเซรามิกมี ดินขาว จ.นราธิวาส ดินขาวเหนียว จ.ปราจีนบุรี ดินบอลล์เคลย์ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช แร่ฟันม้า Super Spar⁵ ควอร์ตซ์ และหินปูน ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบแสดงในตารางที่ 1 การนำดินขาวเหนียวและดินบอลล์เคลย์มาใช้ด้วยก็เพื่อช่วยเพิ่มความเหนียวและความแกร่งดิบ (greenstrength) ให้แก่ผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ

| วัตถุดิบ | ผลวิเคราะห์ทางเคมี, % | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|
| | Loss on Ignition | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O |
| ดินขาวนราธิวาส | 12.4 | 44.1 | 38.6 | 1.4 | - | 0.3 | 0.3 | 1.9 | 0.7 |
| ดินขาวเหนียวปราจีนบุรี | 10.2 | 55.9 | 31.8 | 1.3 | - | 0.1 | 0.1 | 0.19 | 0.33 |
| ดินบอลล์เคลย์ | 11.2 | 52.2 | 29.2 | 2.5 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 2.0 | 0.3 |
| แร่ฟันม้า Super Spar | 0.24 | 66.4 | 18.6 | 0.05 | 0.02 | 0.22 | 0.05 | 11.4 | 3.0 |
| ควอร์ตซ์ | 0.2 | 97.1 | 1.4 | 0.3 | - | 0.1 | 0.6 | 0.04 | 0.1 |
| หินปูน | 43.6 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | - | 52.9 | 0.4 | 0.04 | 0.24 |

2.3.1.2 ส่วนผสม ส่วนผสมที่ทดลองมีทั้งหมด 3 สูตร คือ HPQ1, HPQ2 และ TPQ โดย HPQ1 คือ ส่วนผสมปกติของ hard porcelain (Norton, 1970) มีดินร้อยละ 50 ควอร์ตซ์ร้อยละ 25 แร่ฟันม้าร้อยละ 25 HPQ2 คือส่วนผสมของ hard porcelain ที่ทดลองเติมหินปูน ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและเครื่องปั้นดินเผาเข้าไปเล็กน้อย (ร้อยละ 3) โดยแทนที่บางส่วนของ

³ ดูแผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนาในภาคผนวก ก

⁴ เนื้อดินที่ผ่านการเผาจนสุกตัว จะมีความแกร่งสูงและมีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงศูนย์

⁵ ผลิตโดยบริษัทเคลย์แอนคัมเบอร์แลนด์ (ประเทศไทย) จำกัด

แร่ฟันม้า เพื่อดูผลต่อการสุกตัวของเนื้อ TPQ คือส่วนผสมปกติของ technical porcelain (Schüller, 1979) มีดินร้อยละ 60 ควอร์ตซ์ร้อยละ 15 แร่ฟันม้าร้อยละ 25 รายละเอียดส่วนผสมแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของเนื้อดิน

| วัตถุดิบ | ส่วนผสม, ร้อยละ | | |
|------------------------|-----------------|------|-----|
| | HPQ1 | HPQ2 | TPQ |
| ดินขาวราธิวาส | 35 | 35 | 50 |
| ดินขาวเหนียวปราจีนบุรี | 8 | 8 | - |
| ดินบอลล์เคลย์ลานสกา | 7 | 7 | 10 |
| ควอร์ตซ์ | 25 | 25 | 15 |
| แร่ฟันม้า Super Spar | 25 | 22 | 25 |
| หินปูน | - | 3 | - |

2.3.1.3 การเตรียมตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างเนื้อดิน HPQ1, HPQ2 และ TPQ ตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- ก. ชั่งวัตถุดิบ
- ข. บดเปียกในหม้อบดพอร์ซเลน 8 ชั่วโมง
- ค. เกรอะให้แห้งหมาด ในอ่างปูนพลาสติก
- ง. ยัดมือให้เป็นชั้นทดสอบ ขนาด 6 ซม. x 3 ซม. x 1 ซม. ตัวอย่างละ 30 ชิ้น
- จ. ทำรอยขีดเส้นยาว 5 ซม. ไว้ตรงกลางชั้นทดสอบสำหรับหาค่าการหดตัว
- ฉ. อบให้แห้ง
- ช. นำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่ 5 ระดับอุณหภูมิ ๆ ละ 6 ชั้น คือ 1240°, 1270°, 1300°, 1330° และ 1360°ซ. โดยใช้อัตราเผา 150°ซ./ชม. ระยะเวลาขึ้นไฟ 10 นาที ในการทดลองนี้ไม่ได้เผาแบบรีดักชันแบบการเผาพอร์ซเลนทั่วไป เนื่องจากความขาวของเนื้อไม่ใช่สิ่งสำคัญ

2.3.1.4 การวิเคราะห์ทดสอบ นำชั้นทดสอบที่เผา 1240°-1360°ซ. มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

การหดตัว ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวตอนขึ้นรูปกับความยาวหลังการเผา แล้วคำนวณเป็นร้อยละ สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวม ใช้วิธี Archimedes'Immersion Technique ตาม ASTM C373-88 (reapproved, 1994) สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.3.2 ผลการทดลองเนื้อดิน ผลการทดสอบการหดตัว การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมของเนื้อดิน HPQ1, HPQ2 และ TPQ เผา 1240°-1360°ซ. แสดงในตารางที่ 3 อุณหภูมิที่เผามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและการสุกตัวของเนื้อ ดังนี้

HPQ1 การเพิ่มระดับอุณหภูมิเผาในช่วง 1240°-1360°ซ. มีผลทำให้เนื้อดินค่อย ๆ หดตัวเพิ่มมากขึ้น ดูดซึมน้ำน้อยลงและมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ระดับอุณหภูมิที่เนื้อสุกตัวโดยมีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงศูนย์ และมีความหนาแน่นรวมสูงที่สุดประมาณ 1330°ซ. และที่อุณหภูมิ 1360°ซ. ก็ยังไม่แก่ไฟเกินไป

HPQ2 การเผาในช่วง 1240°-1270°ซ. มีผลทำให้เนื้อดินหดตัวมากขึ้น ดูดซึมน้ำน้อยลงและมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ HPQ1 พบว่าเนื้อ HPQ2 สุกตัวเร็วกว่า HPQ1 คือที่ระดับอุณหภูมิ 1270°ซ. ก็มีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงศูนย์ และมีความหนาแน่นรวมสูงสุดแล้ว การเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1270°ซ. คือที่ 1300°ซ. -1330°ซ. มีผลทำให้เนื้อแก่ไฟเกินไปโดยมีการขยายตัวและการดูดซึมน้ำมากขึ้นและความหนาแน่นรวมลดลง

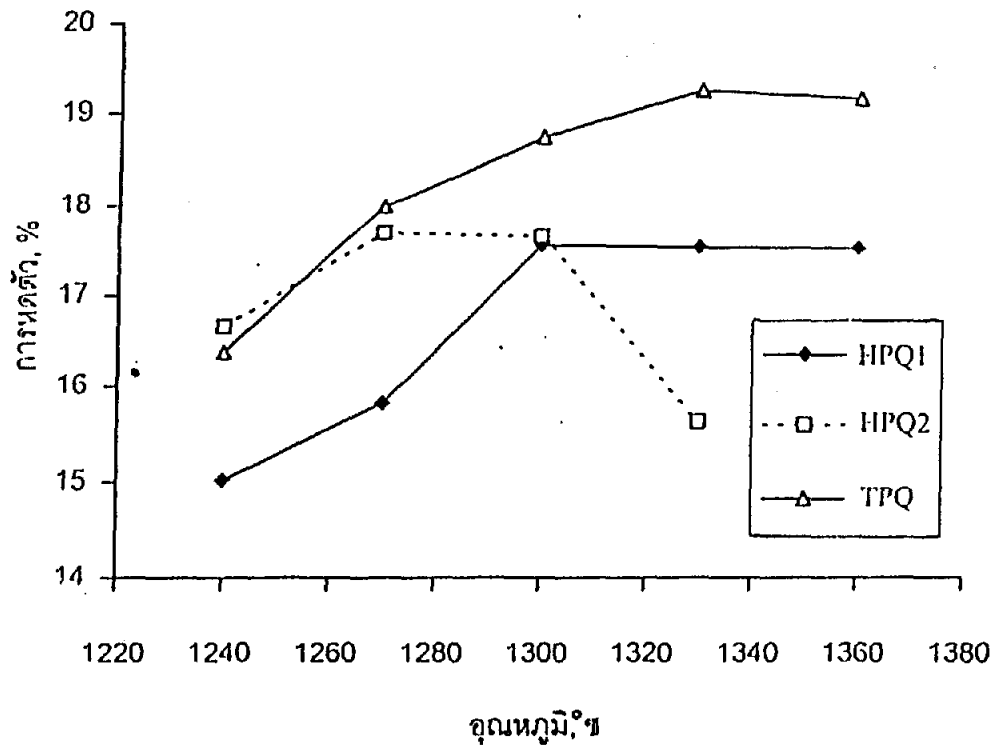
TPQ การเพิ่มระดับอุณหภูมิเผาในช่วง 1240°-1360°ซ. ให้ผลคล้ายคลึงกับ HPQ1 คือเนื้อดินค่อย ๆ หดตัวเพิ่มมากขึ้น ดูดซึมน้ำน้อยลงและมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ระดับอุณหภูมิที่เนื้อสุกตัวโดยมีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงศูนย์ และมีความหนาแน่นรวมสูงประมาณช่วง 1330°-1360°ซ.

กราฟแสดงผลของอุณหภูมิเผาคือการเปลี่ยนแปลงค่า การหดตัว การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นรวม ของเนื้อดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นแสดงในภาพที่ 1, 2 และ 3

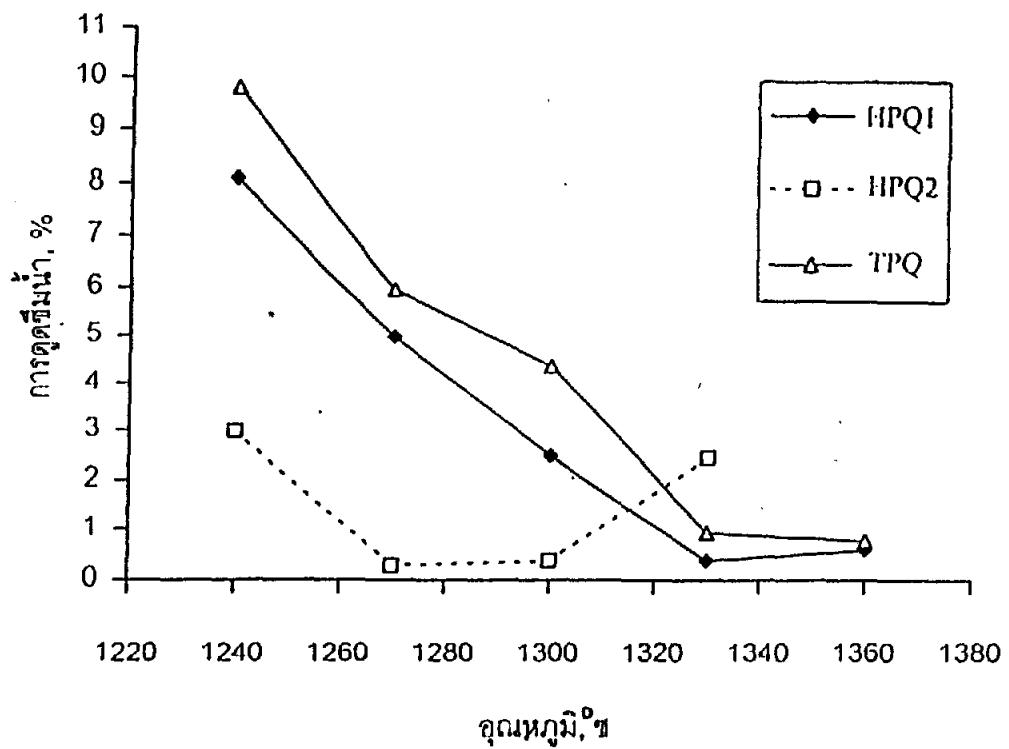
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการหดตัว การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมของเนื้อดิน

| อุณหภูมิเผา, °ซ. | HPQ1 | | | HPQ2 | | | TPQ | | |
|---------------------|----------------|--------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|------------------------------------|
| | การหด ตัว,% | การดูด ซึมน้ำ,% | ความ หนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม. | การหด ตัว,% | การดูด ซึมน้ำ,% | ความ หนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม. | การหด ตัว,% | การดูด ซึมน้ำ,% | ความ หนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม. |
| 1240 | 15.02 | 8.10 | 1.94 | 16.66 | 2.98 | 2.11 | 16.38 | 9.79 | 2.01 |
| 1270 | 15.82 | 4.98 | 2.13 | 17.70 | <u>0.27</u> | <u>2.34</u> | 18.00 | 5.95 | 2.15 |
| 1300 | 17.56 | 2.49 | 2.24 | 17.66 | 0.37 | 2.26 | 18.75 | 4.38 | 2.20 |
| 1330 | 17.54 | <u>0.37</u> | <u>2.30</u> | 15.63 | 2.45 | 2.01 | 19.25 | <u>0.93</u> | 2.31 |
| 1360 | 17.53 | 0.60 | 2.30 | - | - | - | 19.16 | <u>0.78</u> | <u>2.35</u> |

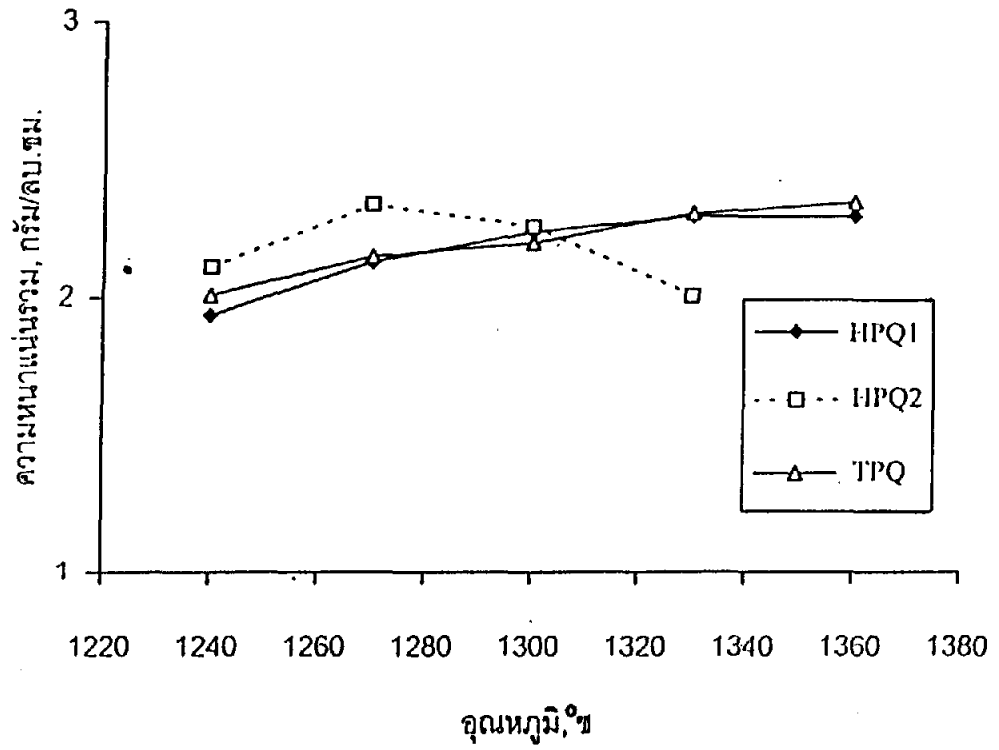
ภาพที่ 1 ผลของอุณหภูมิเผาคัดต่อการหดตัว



ภาพที่ 2 ผลของอุณหภูมิเผาคัดต่อการดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 3 ผลของอุณหภูมิผาคต่อความหนาแน่นรวม



2.3.3 วิจารณ์ผลการทดลองเนื้อดิน จากการทดลองเตรียมเนื้อดินสำหรับทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิมโดยใช้สูตรเนื้อดิน hard porcelain "HPQ1" และสูตรเนื้อดิน chemical-technical porcelain "TPQ" เป็นแนวทาง และในสูตร HPQ2 ได้ทดลองเติมหินปูนเข้าไปในสูตร hard porcelain "HPQ1" เล็กน้อยเพื่อดูผลต่อการสุกตัว ผลปรากฏว่าเนื้อดิน HPQ1 สุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1330°ซ. เนื้อดิน HPQ2 สุกตัวประมาณ 1270°ซ. เนื้อดิน TPQ สุกตัวในช่วงประมาณ 1330°-1360°ซ. ส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้เนื้อแต่ละสูตรมีพฤติกรรมแตกต่างกัน ดังนี้

1) เนื้อ HPQ1 สุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1330°ซ. จัดเป็นผลิตภัณฑ์ hard porcelain ประเภทเผาอุณหภูมิต่ำ⁶ (Takagi, 1972) การที่เนื้อ HPQ1 สุกตัวง่ายเป็นเพราะว่าแร่ฟันม้า Super Spar ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอมที่สำคัญมีความสามารถในการหลอมดี โดยมีปริมาณ K_2O+Na_2O อยู่ค่อนข้างสูงคือร้อยละ 14.4 นอกจากนั้นในดินขาวนราธิวาสและดินบอลล์เคลย์ลานสกา ยังมีมลทินที่ทำให้ดินมีจุดหลอมตัวต่ำปะปนอยู่มาก กล่าวคือ ในดินขาวนราธิวาสมีเหล็กออกไซด์อยู่ร้อยละ 1.4 มีสารแอลคาไลน์ (CaO, MgO, K_2O , Na_2O) อยู่ร้อยละ 3.2 ส่วนดินบอลล์เคลย์ลานสกา มีเหล็กออกไซด์อยู่ร้อยละ 2.5 สารแอลคาไลน์ร้อยละ 3.0 โดยทั่วไปแล้วระดับอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับการผลิตได้ ไม่ว่าจะให้สูงขึ้นหรือต่ำลง ทั้งนี้ทำได้โดยการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบหรือเพิ่ม/ลดปริมาณแร่ฟันม้าและควอร์ตซ์ แต่สำหรับส่วนผสม HPQ1 ที่สุกตัวประมาณอุณหภูมิ 1330°ซ. นั้นน่าจะเหมาะแก่การผลิตในประเทศแล้ว เพราะผู้ประกอบการส่วนใหญ่ผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทถ้วยชามที่ประมาณระดับอุณหภูมินี้อยู่แล้ว ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกหากจะนำสูตร HPQ1 ไปประยุกต์สู่การผลิต

2) เนื้อ HPQ2 ซึ่งมีหินปูนแทนที่แร่ฟันม้าในสูตร HPQ1 อยู่ร้อยละ 3 สุกตัวที่อุณหภูมิ 1270°ซ. ต่ำกว่าสูตร HPQ1 ค่อนข้างมาก รวมทั้งมีช่วงการสุกตัว (vitrification range) ค่อนข้างสั้น โดยเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1300°ซ. ก็แก่ไฟเกินไปแล้ว พฤติกรรมดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหินปูนเป็นตัวช่วยหลอมที่ให้ผลรุนแรงกว่าแร่ฟันม้าและการที่เนื้อ HPQ2 มีช่วงอุณหภูมิสุกตัวค่อนข้างสั้น จะทำให้ยากต่อการควบคุมการเผาดังนั้นเนื้อ HPQ1 จึงน่าจะเหมาะสมกว่าในการนำไปทำเป็นสูตรการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

3) เนื้อ TPQ ซึ่งมีสารช่วยหลอมแร่ฟันม้าอยู่ร้อยละ 25 เท่ากับสูตร HPQ1 เริ่มสุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1330°ซ. ใกล้เคียงกับ HPQ1 แต่เนื่องจากในส่วนผสมมีดินอยู่มากกว่า จึงทำให้เนื้อเกิดการหดตัวมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 1330°ซ. เนื้อ HPQ1 มีการหดตัวเพียงร้อยละ 17.54 ขณะที่เนื้อ TPQ หดตัวสูงถึงร้อยละ 19.25 การหดตัวมากของผลิตภัณฑ์มีผลทำให้เกิดความเครียดสะสมอยู่ในเนื้อมากและอาจนำไปสู่การแตกได้ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่รูปร่างซับซ้อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายส่วนใหญ่มักจะมีรูปร่างซับซ้อน ดังนั้นเนื้อที่มีการหดตัวน้อยกว่าจึงน่าจะเหมาะสมกว่าด้วยเหตุนี้ในการทดลองต่อไป จึงได้เลือกสูตร HPQ1 ซึ่งหดตัวน้อยกว่าไปทำ

⁶ ระดับอุณหภูมิที่เป็นเกณฑ์แบ่ง คือ 1350°ซ.

2.3.4 สรุปผลการทดลองเนื้อดิน จากการทดลองเนื้อดินขั้นต้นสรุปได้ว่าเนื้อดินที่เหมาะสมจะนำไปทดลองหาเคลือบที่เหมาะสมและทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นค้ายคือเนื้อดินสูตร HPQ1 ส่วนผสมประกอบด้วย ดินขาวนราธิวาสร้อยละ 35 ดินขาวเหนียวปราจีนบุรีร้อยละ 8 ดินบอลต์เคลย์ลานสการ์ร้อยละ 7 ควอร์ตซ์ร้อยละ 25 แร่ฟันม้าร้อยละ 25 ระดับอุณหภูมิเผาประมาณ 1330°ซ.

2.4 การทดลองเคลือบ

2.4.1 วิธีการทดลองเคลือบ ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วยการศึกษาเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ กำหนดส่วนผสมที่ทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกัน ชุบเคลือบบนเนื้อดิน HPQ1 เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1330°ซ. ตรวจสอบปัจจัยลักษณะทั่วไป ทดสอบการทนต่อการขัดสี ความแข็ง การเข้ากันได้ของเคลือบกับเนื้อดิน คัดเลือกสูตรเคลือบที่เหมาะสมเพื่อนำไปทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.4.1.1 วัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้มี แร่ฟันม้า Super Spar หินปูน ดินขาวนราธิวาส ควอร์ตซ์ และเซอร์โคเนียมซิลิเกต โดยแร่ฟันม้า หินปูน ดินขาว และควอร์ตซ์เป็นชนิดเดียวกันกับที่ใช้ทำเนื้อดินซึ่งองค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1 ส่วนเซอร์โคเนียมซิลิเกตเป็นชนิดที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำทึบในเคลือบ (glaze opacifier)

2.4.1.2 ส่วนผสม ได้นำสูตรเคลือบหินปูน (lime glaze) ซึ่งนิยมใช้ในการทำเคลือบอุณหภูมิสูงมาเป็นสูตรเริ่มต้นสำหรับการทดลอง ส่วนประกอบ RO^7 ใน Seger formula ($RO \cdot xAl_2O_3 \cdot ySiO_2$) ประกอบด้วย (K,Na)O 0.3 โมล และ CaO 0.7 โมล และได้ทดลองเปลี่ยนส่วนผสมของ Al_2O_3 กับ SiO_2 ในสูตรเพื่อดูผลต่อการสึกตัว การขัดสี ความแข็ง และการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ ปริมาณ Al_2O_3 ที่ทดลองอยู่ระหว่าง 0.45-0.65 โมล ปริมาณ SiO_2 อยู่ระหว่าง 3.60-5.85 โมล ได้ทำการทดลองรวมทั้งหมด 6 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 4 และเนื่องจากเคลือบควรจะเป็นชนิดที่แข็งและทนทานต่อการขัดสีได้ดีจึงได้เติมสารเซอร์โคเนียมซิลิเกต ซึ่งเป็นตัวทำทึบในเคลือบเข้าไปในทุกสูตร ในปริมาณร้อยละ 10 ทั้งนี้เพราะเซอร์โคเนียมซิลิเกตเป็นสารที่มีความคงตัวในเคลือบทำให้เกิดความทึบโดยการเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ (NITC, 1983) และโดยปกติแล้วเคลือบที่มีผลึกเล็ก ๆ อยู่ด้วยจะแข็งและทนการขัดสีได้ดี (NITC, 1983) ดังนั้นการเติมสารเซอร์โคเนียมซิลิเกตจึงน่าจะเป็นผลดีแก่เคลือบ ส่วนผสมของเคลือบทั้ง 6 สูตรแสดงในตารางที่ 5

⁷ RO คือ basic oxide เช่น K_2O , Na_2O , ZnO , BaO , MgO เป็นต้น

ตารางที่ 4 สูตรเคลือบ

| หมายเลข | สูตรเคลือบ | | |
|---------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| G845 | 0.3 KNaO 0.7 CaO | 0.45 Al ₂ O ₃ | 3.6 SiO ₂ |
| G855 | 0.3 KNaO 0.7 CaO | 0.55 Al ₂ O ₃ | 4.4 SiO ₂ |
| G865 | 0.3 KNaO 0.7 CaO | 0.65 Al ₂ O ₃ | 5.2 SiO ₂ |
| G945 | 0.3 KNaO 0.7 CaO | 0.45 Al ₂ O ₃ | 4.05 SiO ₂ |
| G955 | 0.3 KNaO 0.7 CaO | 0.55 Al ₂ O ₃ | 4.95 SiO ₂ |
| G965 | 0.3 KNaO 0.7 CaO | 0.65 Al ₂ O ₃ | 5.85 SiO ₂ |

ตารางที่ 5 ส่วนผสมเคลือบ

| วัตถุดิบ | ส่วนผสม, ร้อยละ | | | | | |
|----------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | G845 | G855 | G865 | G945 | G955 | G965 |
| แร่ฟีนมา Super Spar | 66.85 | 57.00 | 49.68 | 62.17 | 52.86 | 45.96 |
| หินปูน | 18.66 | 15.91 | 13.87 | 17.36 | 14.75 | 12.83 |
| ดินขาวราชิวาส | - | 6.07 | 10.59 | - | 5.61 | 9.81 |
| ควอร์ตซ์ | 14.49 | 21.03 | 25.87 | 20.48 | 26.77 | 31.40 |
| <u>ส่วนเติม</u> | | | | | | |
| เซอร์ โคนีเยมซิลิเกต | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

2.4.1.3 การเตรียมตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างเคลือบตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม โดยทำตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

- (1) ชั่งวัตถุดิบ
- (2) บดเปียกในหม้อบดพอร์ซเลนโดยใช้น้ำ:วัตถุดิบเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนักบดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- (3) เคลือบบนแผ่นดินเผาสูตร HPQ1 ขนาด 50x50 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800°-900°ซ. มาแล้ว โดยชุบเคลือบตัวอย่างละ 20 แผ่น
- (4) นำแผ่นเคลือบไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิประมาณ 1330°ซ. อัตราเร่ง 150°ซ./ชม. ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 10 นาที

2.4.1.4 การวิเคราะห์ทดสอบ นำชิ้นตัวอย่างเคลือบที่เผาเรียบร้อยแล้ว มาตรวจพินิจลักษณะทั่วไปจากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีลักษณะทั่วไปที่มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทนต่อการขัดสี ความแข็ง และการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ วิธีการทดสอบมี ดังนี้

(1) การทนต่อการขัดสี ในการทดลองนี้ได้นำวิธีการทดสอบการขัดสีของกระเบื้องดินเผาโมเสก มอก.38-2531⁸ มาใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ เนื่องจากยังไม่มีวิธีการสำหรับทดสอบผลิตภัณฑ์ประเภทชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายโดยตรง การทดสอบดังกล่าวใช้เครื่องทดสอบการขัดกร่อนแบบทิ้งทราย (drop and abrasion tester) หาผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการขัดสี ขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วย การชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบ ปรับชิ้นทดสอบให้ทำมุม 45 องศากับแนวระดับบนแท่นวางชิ้นตัวอย่าง ปล่อยผงขัดซิลิกอนคาร์ไบด์จากความสูง 1100 มิลลิเมตร ให้ตกลงบนชิ้นทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที เช็ดผงขัดออกจากชิ้นกระเบื้องแล้วชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังจากการขัดสี หาผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการขัดสี ค่าผลต่างของน้ำหนักที่อยู่ในเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก มอก.38-2531 ต้องไม่เกิน 0.1 กรัม

(2) ความแข็ง ค่าความแข็งมีความสัมพันธ์กันกับการทนต่อการขัดสี วัสดุที่มีความแข็งสูงจะทนต่อการขัดสีได้ดี การวัดค่าความแข็งทำได้หลายวิธีได้แก่ วิธีร็อกคเวลล์ (Rockwell) วิธีบริเนลล์ (Brinell) วิธีคnoop (Knoop) วิธีวิกเกอร์ส (Vickers) สำหรับการทดลองนี้จะใช้วิธีวิกเกอร์ส เพื่อจะได้เปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์กับค่าในแค็ตตาล็อกสินค้าชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายประเภทเซรามิกใหม่ของผู้ปั่นได้ การทดสอบทำโดยนำชิ้นทดสอบในข้อ 2.4.1.3 มาทดสอบด้วยเครื่อง Microhardness Tester รุ่น HMV-2000 ของบริษัท Shimadzu ใช้น้ำหนักกด 200 กรัม ระยะเวลาสัมผัสชิ้นงาน 20 วินาที สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

⁸ คู่มือในภาคผนวก ข

⁹ ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาอยู่ระหว่าง 1100-1800 HV ผลิตภัณฑ์เนื้อไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 850-1000 HV

(3) การเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ การทดสอบเพื่อดูการเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบทำได้โดยการนำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบการร้าวภายใต้ความดันแล้วรายงานระดับความดันที่เคลือบปรากฏรอยร้าว หรือโดยการวัดการขยายตัวของเนื้อดินกับเคลือบเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้เคลือบจะต้องขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดินจึงจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์และไม่ทำให้เกิดการร้าว

การทดสอบการร้าว ทดสอบตามวิธี ASTM C424-80 ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบการร้าวของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภท whitewares นำชิ้นทดสอบที่ได้จากข้อ 2.4.1.3 มาทดสอบในหม้อน้ำอัด (autoclave) เริ่มต้นด้วยระดับความดัน 345 กิโลพาสคัล (50 ปอนด์/ตารางนิ้ว) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำแผ่นเคลือบมาข้อมสีด้วยสารละลายของสีข้อมอินทรีย์ บันทึกลายเส้นของการร้าวที่ปรากฏบนผิวเคลือบ ถ้าไม่ปรากฏการร้าวให้ทำซ้ำที่ 689 กิโลพาสคัล (100 ปอนด์/ตารางนิ้ว) และให้เพิ่มที่ละ 345 กิโลพาสคัล จนปรากฏการร้าวหรือจนกระทั่งถึง 1700 กิโลพาสคัล (250 ปอนด์/ตารางนิ้ว)

การทดสอบการขยายตัวของเนื้อดิน ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินด้วยเครื่องวัดการขยายตัวของบริษัท Adamel Lhomargy รุ่น DI.20 ชิ้นทดสอบของเนื้อดินเป็นแท่งเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 25 มิลลิเมตร ผ่านการเผาที่ 1330°C. มาแล้ว ส่วนชิ้นทดสอบของเคลือบเตรียมโดยนำผงเคลือบแห้งมาหลอมที่อุณหภูมิ 1330°C. แล้วตัดให้เป็นแท่งยาวประมาณ 20 มิลลิเมตร สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.4.2 ผลการทดลองเคลือบ

2.4.2.1 ลักษณะทั่วไปของเคลือบ ผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของเคลือบแสดงในตารางที่ 6 ผลปรากฏว่าเคลือบหมายเลข G845 และ G945 มีลักษณะทั่วไปไม่ดี เคลือบหลอมตัวง่ายและเกิดการหดตัวสูงกว่าเนื้อดินมากเกินไป ส่วนเคลือบหมายเลข G855, G865, G955 และ G965 มีลักษณะทั่วไปดี กล่าวคือ เคลือบสุกตัว แววาว ไม่ร้าว ไม่หดตัวมากกว่าเนื้อดิน ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของเคลือบได้นำเฉพาะเคลือบที่มีลักษณะทั่วไปดีไปทดสอบ

2.4.2.2. การทนต่อการขีดสี ผลการทดสอบการทนต่อการขีดสีของเคลือบด้วยเครื่องทดสอบการขีดกร่อนแบบทิ้งทราย แสดงในตารางที่ 7 ผลปรากฏว่าเคลือบที่มีลักษณะทั่วไปดีทั้ง 4 สูตร คือ G855, G865, G955 และ G965 มีน้ำหนักที่หายไปใกล้เคียงกัน คืออยู่ระหว่าง 0.0142-0.0151 กรัม เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าการทนต่อการขีดสีของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก มอก.38-2531 ที่กำหนดค่าน้ำหนักสูญหายไว้ไม่เกิน 0.1 กรัม จะเห็นได้ว่าเคลือบทั้ง 4 ทนต่อการขีดสีได้ดี

2.4.2.3 ความแข็ง ผลการทดสอบความแข็งของเคลือบแสดงในตารางที่ 7 ผลปรากฏว่าเคลือบ G855, G865, G955 และ G965 มีความแข็งวิกเกอร์ส ระหว่าง 627-671 HV เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าของเคลือบพอร์ซเลน (Norton, 1974) และเคลือบกระเบื้อง (Esposito, 1995) ซึ่ง

ซึ่งมีค่าประมาณ 600 HV และค่าของแก้ว soda-lime (McColm, 1990) ซึ่งมีค่าประมาณ 571 HV จะเห็นว่าเคลือบทั้ง 4 มีความแข็งค่อนข้างดี

2.4.2.4 การเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ

การรวน ผลการทดสอบการรวนภายใต้ความดันของไอน้ำ แสดงในตารางที่ 7 ผลปรากฏว่าเคลือบ G855, G865, G955 และ G965 ทนความดันไอน้ำสูงสุดโดยไม่ปรากฏรอยร้าวได้สูงถึง 1380 กิโลพาสคัล แสดงว่าเนื้อดินกับเคลือบเข้ากันได้ดี โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์การตัดสินค่าการทดสอบการรวนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดรวมทั้งวิธีการทดสอบจะไม่เหมือนกัน ผลิตภัณฑ์กระเบื้องดินเผาโมเสกตาม มอก.38-2531 ทดสอบที่ความดันประมาณ 1000 กิโลพาสคัล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์วีเทรียสโซนาชนิดอ่างล้างหน้า-ล้างมือ โถส้วม ตามมอก. 791-2531 และ มอก.792-2531 ให้ทดสอบที่ระดับความดันประมาณ 330-370 กิโลพาสคัล เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ถ้าชิ้นงานไม่ปรากฏรอยร้าวก็แสดงว่าผ่านการทดสอบ

การขยายตัวเมื่อร้อน ผลการทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและของเคลือบแสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 4 ผลปรากฏว่าเคลือบทั้ง 4 สูตร มีการขยายตัวต่ำกว่าเนื้อดิน โดยเคลือบ G865 และเคลือบ G965 มีการขยายตัวต่ำกว่าเคลือบ G855 และ G955 เล็กน้อย แสดงว่าเนื้อดินกับเคลือบเข้ากันได้ดี เนื่องจากเคลือบ G865 และ G965 มีผลต่างของการขยายตัวระหว่างเนื้อดินกับเคลือบสูงกว่าเคลือบ G855 และ G955 จึงน่าจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า

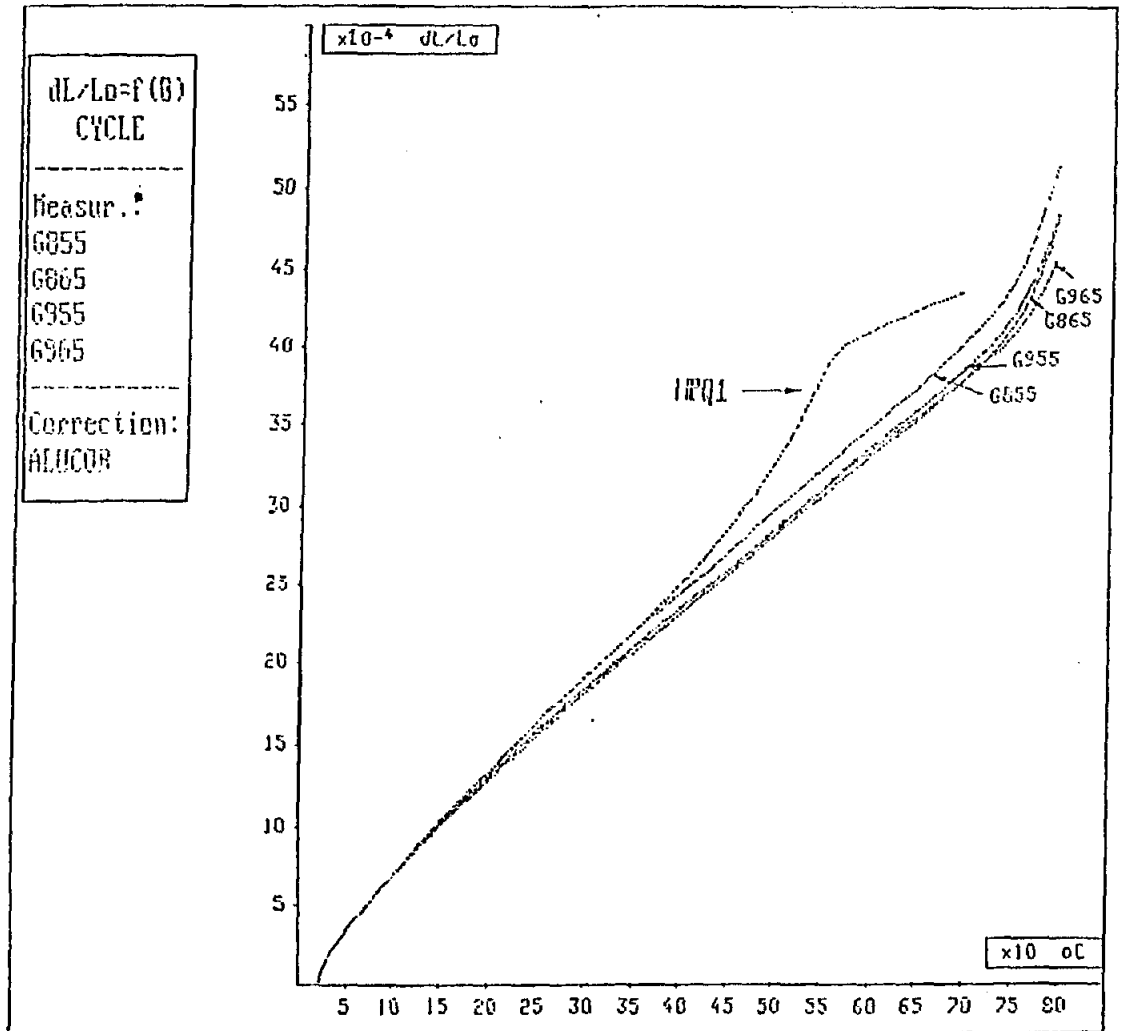
ตารางที่ 6 ลักษณะทั่วไปของเกลือ

| หมายเลข | ลักษณะทั่วไป |
|---------|---|
| G845 | -ลักษณะทั่วไปไม่ดี -เกลือบดตัวมากกว่าเนื้อดิน |
| G855 | -ลักษณะทั่วไปดี -สุกตัว แฉวฉว -ไม่บดตัวมากกว่าเนื้อดิน -ไม่ราน -มีสีขาว |
| G865 | -ลักษณะทั่วไปดี -สุกตัว แฉวฉว -ไม่บดตัวมากกว่าเนื้อดิน -ไม่ราน -มีสีขาว |
| G945 | -ลักษณะทั่วไปไม่ดี -เกลือบดตัวมากกว่าเนื้อดิน |
| G955 | -ลักษณะทั่วไปดี -สุกตัว แฉวฉว -ไม่บดตัวมากกว่าเนื้อดิน -ไม่ราน -มีสีขาว |
| G965 | -ลักษณะทั่วไปดี -สุกตัว แฉวฉว -ไม่บดตัวมากกว่าเนื้อดิน -ไม่ราน -มีสีขาว |

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการขัดสี ความแข็ง การราน และการขยายตัวเมื่อร้อน

| รายการ | เนื้อดิน | เคลือบ | | | |
|--|----------|--------|--------|--------|--------|
| | HPQ1 | G855 | G865 | G955 | G965 |
| <u>การขัดสี</u> - น้ำหนักที่หายไป, กรัม | - | 0.0146 | 0.0142 | 0.0145 | 0.0151 |
| <u>ความแข็ง</u> - ความแข็งวิกเกอร์ส (HV) | - | 671±26 | 634±30 | 665±34 | 627±45 |
| <u>การราน</u> - ระดับความดันไอสูงสุดที่ไม่ปรากฏรอยราน, กิโลพาสคัล | - | 1380 | 1380 | 1380 | 1380 |
| <u>การขยายตัวเมื่อร้อน</u> - สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 20°-700°ซ., มม./มม.°ซ. x10 ⁻⁶ | 6.337 | 5.913 | 5.562 | 5.648 | 5.592 |
| - ความแตกต่างระหว่างการขยายตัวของเนื้อดินกับเคลือบ, ร้อยละ | - | 6.69 | 12.23 | 10.87 | 11.76 |

ภาพที่ 4 เปรียบเทียบการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อดินและเคลือบ



2.4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

2.4.3.1 ลักษณะทั่วไปของเคลือบ จากการทดลองเคลือบทั้งหมด 6 สูตร พบว่ามีเคลือบที่ลักษณะทั่วไปไม่ได้อยู่ 2 สูตร คือเคลือบ G845 และ G945 ทั้งนี้จะเป็นเพราะในสูตรทั้ง 2 มีปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 ก่อนข้างต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ ทำให้สัดส่วนของปริมาณสารแอลคาไลหรือแอลคาไลน์เอิร์ทกลุ่ม RO ได้แก่ $(K,Na)O, CaO$ ซึ่งหลอมตัวง่ายมีเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จากรายแสดงอัตราส่วนผสมของเคลือบในตารางที่ 5 เห็นได้ชัดว่าสูตร G845 และ G945 มีปริมาณแร่ฟอสเฟตและหินปูนซึ่งเป็นสารช่วยหลอมสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เคลือบทั้ง 2 หลอมตัวง่ายและเกิดการหดตัวสูงกว่าเนื้อดินมากเกินไป

2.4.3.2 การทนต่อการขีดสีและความแข็ง จากการทดสอบสมบัติการทนต่อการขีดสีและความแข็งของเคลือบซึ่งมีลักษณะทั่วไปดี 4 ตัวอย่างคือ G855, G865, G955 และ G965 พบว่าสามารถทนต่อการขีดสีได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์กระเบื้องดินเผาโมเสกมาก และความแข็งก็ค่อนข้างสูงกว่าเคลือบทั่วไป (มากกว่า 600 HV) การที่เคลือบทั้ง 4 มีสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นนี้ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการเติมสารเซอร์โคเนียมซิลิเกต ซึ่งมีความแข็งค่อนข้างสูง คือประมาณ 7.5 ตามสเกลของโมส์เข้าไปในส่วนผสมของเคลือบ อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าความแข็งนี้ไปเปรียบเทียบกับความแข็งของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเนื้ออะลูมินาซึ่งแข็ง 1100-1800 HV และเนื้อไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งแข็ง 850-1000 HV (Yuasa Yarn Guide Co.Ltd., 1987) จะเห็นได้ว่ามีค่าค่อนข้างต่ำด้วยเหตุนี้จึงทำให้เหมาะที่จะนำไปใช้กับเส้นใยธรรมชาติมากกว่าเส้นใยประดิษฐ์ที่คมและแข็งแรง

2.4.3.3 การเข้ากันได้ของเนื้อดินกับเคลือบ จากการทดสอบการรานและการขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบและเนื้อดิน พบว่าเคลือบที่มีลักษณะทั่วไปดีทั้ง 4 สูตร เข้ากันได้กับเนื้อดินเนื่องจากทนการรานได้สูงถึงที่ระดับความดันไอ 1380 กิโลพาสคัล และมีการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าเนื้อดิน ทั้งนี้เคลือบ G865 และ G965 น่าจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าเคลือบ G855 และ G955 เนื่องจากมีการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่า ผิวเคลือบจึงอยู่ในสภาวะของการถูกอัด (compressed) มากกว่าทำให้ทนต่อการแตกหักด้วยแรงดึงได้ดีขึ้น การที่เคลือบ G865 และ G965 มีการขยายตัวเมื่อร้อนค่อนข้างต่ำนั้น เป็นเพราะในสูตรมีปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 อยู่มาก โดยทั่วไปแล้วเคลือบที่มีปริมาณ Al_2O_3 และ SiO_2 อยู่มากขึ้นหรือมีสภาพความเป็นกรดมากจะมีการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำลง หรือในทางกลับกัน เคลือบที่มีปริมาณสารแอลคาไลหรือแอลคาไลน์เอิร์ทอยู่มากขึ้นหรือมีสภาพความเป็นด่างมากจะมีการขยายตัวเมื่อร้อนสูงขึ้น (NITC, 1983)

2.4.4 สรุปผลการทดลองเคลือบ จากผลการทดลองเคลือบสรุปได้ว่าเคลือบ G865 ส่วนผสมแร่ฟอสเฟตร้อยละ 49.68 หินปูนร้อยละ 13.87 ดินขาวนาธาวิสร้อยละ 10.59 ควอร์ตซ์ร้อยละ 25.87 เติมสารเซอร์โคเนียมซิลิเกตร้อยละ 10 และเคลือบ G965 ส่วนผสมแร่ฟอสเฟตร้อยละ 45.96 หินปูนร้อยละ 12.83 ดินขาวนาธาวิสร้อยละ 9.81 ควอร์ตซ์ร้อยละ 31.40 เติมสารเซอร์โคเนียมซิลิเกตร้อยละ 10 เป็นเคลือบที่มีความแข็งค่อนข้างดี (มากกว่า 600 HV) และเข้ากันได้กับเนื้อดิน

ตารางที่ 8 ความละเอียดหยาบของอนุภาควัตถุคืบในน้ำสลิป

| ความละเอียดหยาบ ¹⁰ | น้ำสลิป HPQ1 |
|--|--------------|
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, ไมโครเมตร | 5.09 |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย <30 ไมโครเมตร, ร้อยละ | 96.8 |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย <10 ไมโครเมตร, ร้อยละ | 72.3 |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย <5 ไมโครเมตร, ร้อยละ | 49.4 |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย <2 ไมโครเมตร, ร้อยละ | 28.1 |

2.5.1.3 การเทแบบ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายมีขนาดเล็ก จึงได้ใช้วิธีเทแบบตัน (solid casting) การทดลองเทแบบตันในห้องปฏิบัติการได้ทำโดยบรรจุสลิปในกระบอกถึดยาขนาด 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึคเข้าไปในแบบปูนปลาสเตอร์จนเต็มแบบ น้ำในสลิปจะถูกดูดเข้าไปในปูนปลาสเตอร์ทำให้ระดับสลิปในแบบปูนต่ำลง ถึคสลิปเพิ่มเข้าไปในแบบ ทำซ้ำจนกว่าเนื้อดินเต็มแบบ ปล่อยให้ไว้สักครู่ ก็สามารถแกะตัวหล่อออกจากแบบได้ นำมาแต่งตะเข็บและรายละเอียดด้วยมีดเล็กและฟู่กันหรือฟองน้ำต่อไป

2.5.1.4 การทำให้แห้ง นำผลิตภัณฑ์และชิ้นทดสอบความแข็งแรงที่ได้จากการเทแบบ วางสิ่งที่อุณหภูมิห้องให้แห้งประมาณ 2 วัน

2.5.1.5 การเคลือบ นำผลิตภัณฑ์ในข้อ 2.5.1.4 มาเคลือบทับด้วยเคลือบหมายเลข G865/G965 ส่วนชิ้นทดสอบความแข็งแรงไม่ได้เคลือบ วิธีการเตรียมเคลือบใช้วิธีเดียวกันกับในข้อ 2.4.1.3

2.5.1.6 การเผา นำผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยเคลือบ G865/G965 และชิ้นทดสอบความแข็งแรงซึ่งไม่ได้เคลือบ มาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1330°ซ. อัตราเผา 150°ซ./ชม. ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 10 นาที

2.5.1.7 การวิเคราะห์ทดสอบ นำชิ้นทดสอบจำนวน 11 ชิ้นมาทดสอบความแข็งแรงโดยการวัดค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ด้วยเครื่อง Autograph รุ่น AGS-500D ของบริษัท Shimadzu สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

2.5.2 ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่าน้ำสลิป HPQ1 เมื่ออบเป็นเวลา 10 ชั่วโมงวัตถุคืบทั้งหมดมีความละเอียดมากโดยมีอนุภาคเฉลี่ย 5.09 ไมโครเมตรและอนุภาคที่หยาบกว่า 30 ไมโครเมตรมีเพียงร้อยละ 3.2 เมื่อนำมาเทแบบพบว่าสามารถเทแบบเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างซับซ้อนได้ดี แกะตัวหล่อออกจากแบบได้โดยง่าย เมื่อนำมาชุบเคลือบและเผาที่อุณหภูมิ

¹⁰ ข้อมูลละเอียดและกราฟแสดงการกระจายของขนาดอนุภาคเพิ่มเติมในภาคผนวก ง

1330°ซ. ผลิตภัณฑ์ไม้แตกร้าวน้อยดินกับเคลือบเข้ากันได้ดี เคลือบมีสีขาว ผิวเรียบ แวววาวและไม่ราน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แสดงในภาคผนวก จ ส่วนผลการทดสอบความแข็งแรงโดยวัดค่ามอดูลัสแตกร้าวน้อยของเนื้อดินพบว่ามีค่า 105 ± 8 เมกะพาสคัล

2.5.3 วิจารณ์ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์

ในการทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์โดยการเทแบบและได้บดเนื้อส่วนผสมให้มีอนุภาคที่หยาบกว่า 30 ไมโครเมตรน้อยมากนั้น เนื่องจากการศึกษาโดยนักวิจัยหลายท่านพบว่า เนื้อพอร์ซเลนจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นถ้าควบคุมขนาดของอนุภาคควอร์ตซ์ให้อยู่ในช่วง 10-30 ไมโครเมตร (Krause, 1973; Mattyasovszry Zsolnay, 1957; Warshaw, 1967 และ Bradt, 1986) ทั้งนี้เพราะจะทำให้รอยแตกที่เกิดขึ้นรอบ ๆ อนุภาคควอร์ตซ์ซึ่งเป็นเหตุทำให้ความแข็งแรงของเนื้อพอร์ซเลนต่ำลงมีขนาดเล็กกว่ารอยแตกวิกฤติและจากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อ HPQ1 ที่ทำขึ้น ก็พบว่ามอดูลัสแตกร้าวน้อยค่อนข้างสูง คือมีค่า 105 เมกะพาสคัล เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของเนื้อพอร์ซเลนที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีค่ามอดูลัสแตกร้าวน้อยในช่วง 69-93 เมกะพาสคัล (Kobayashi, 1992) และกับค่าความแข็งแรงของ technical quartz porcelain และ higher strength porcelain ตามมาตรฐานของประเทศเยอรมัน DIN40685 ซึ่งกำหนดค่าไว้ 40 และ 80 เมกะพาสคัล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเนื้อ HPQ1 อยู่ในกลุ่มเนื้อที่มีความแข็งแรงดี ยิ่งกว่านั้นในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ยังได้นำเนื้อ HPQ1 นี้ไปเคลือบทับด้วยเคลือบ G865/G965 ซึ่งมีการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าอีกชั้นหนึ่ง โดยเหตุนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงเพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้จากผลการวิจัยของ Kobayashi ในปี ค.ศ. 1990 ได้กล่าวไว้ว่าการเคลือบสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้ประมาณ 1.4 เท่า

2.5.4 สรุปผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่าวิธีการขึ้นรูปด้วยการเทแบบต้นสามารถทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นค้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิมรูปร่างซับซ้อนได้ดี ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง 105 เมกะพาสคัล เคลือบที่เลือกมาใช้ซึ่งมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิม มีสีขาว ผิวเรียบ แวววาว ไม่มีตำหนิ

2.6 สรุปผลการวิจัยและพัฒนา

จากการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นค้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิมจากวัตถุดิบในประเทศโดยวิธีเทแบบต้น และได้ศึกษาสมบัติของเนื้อดินและเคลือบ สรุปส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตที่ระดับอุณหภูมิประมาณ 1330°ซ. ได้ดังต่อไปนี้

เนื้อดิน (HPQ1)

| | |
|--------------------------------|----|
| ดินขาวราชิวาส, ร้อยละ | 35 |
| ดินขาวเหนียวปราจีนบุรี, ร้อยละ | 8 |
| ดินบอลล์เคลย์ตานสกา, ร้อยละ | 7 |
| ควอร์ตซ์, ร้อยละ | 25 |
| แร่ฟันม้า Super Spar, ร้อยละ | 25 |

น้ำสลิป

| | |
|----------------|--------------|
| เนื้อดิน | 1 กิโลกรัม |
| น้ำ | 0.5 กิโลกรัม |
| โซเดียมซิลิเกต | 2 กรัม |

เคลือบ

| ส่วนผสมที่เหมาะสมมี 2 สูตร ดังนี้ | <u>G865</u> | <u>G965</u> |
|-----------------------------------|-------------|-------------|
| แร่ฟันม้า Super Spar, ร้อยละ | 49.68 | 45.96 |
| หินปูน, ร้อยละ | 13.87 | 12.83 |
| ดินขาวราชิวาส, ร้อยละ | 10.59 | 9.81 |
| ควอร์ตซ์, ร้อยละ | 25.87 | 31.40 |
| <u>เติม</u> | | |
| เซอร์โคเนียมซิลิเกต | 10 | 10 |

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน.กระเบื้องดินเผาโมเสก. มอก.38-2531

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. เครื่องสุขภัณฑ์วีเทรียสไชนา:อ่างล้างหน้า-ล้างมือ. มอก.791-2531

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. เครื่องสุขภัณฑ์วีเทรียสไชนา: โถส้วม. มอก.792-2531

สุจินดา โชติพานิช และคณะ. การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก

ตอนที่ 1 : การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่
นำเข้าจากต่างประเทศ. รายงานการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ 2540.

American Society for Testing and Materials. Standard test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products. ASTM C373-88 (Reapproved 1994) 1996.

Bradt, R.C. A high-tech approach to a traditional ceramic- the toughness of porcelain. In Proceeding of International Symposium on Fine Ceramics Arita 86, 1986 p.15-22

Dorre, E. and Hubner, H. Alumina:Processing, Properties and Applications. Berlin:Springer Verlag, 1984, p.235.

Esposito, L and Tucci, A. Vickers determines tile surface hardness. American Ceramic Society Bulletin, March 1995, vol. 74, no.3 p.83-86.

Kato, E. The Fundamentals of the glaze Preparation. Nagoya:Nogoya International Training Center, 1973.

Kobayashi, Y., et al. Effect of glaze on bending strength of high strength whiteware bodies.

Seramikkusu Ronbunshi, 1990, vol.98, no.5, p.505-509.

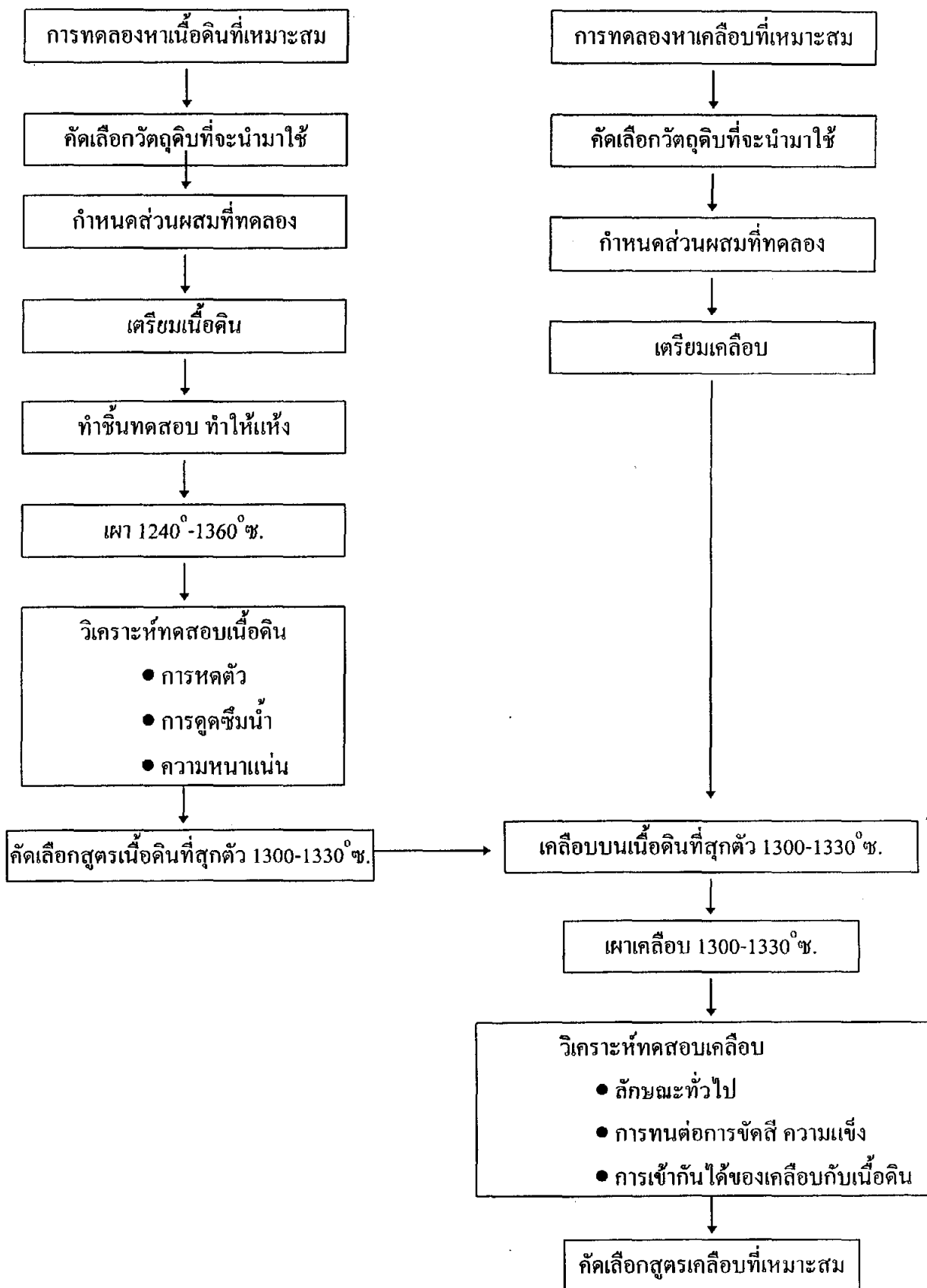
- Kobayasi, Y., et al. Effect of firing temperature on bending strength of porcelains for tableware. **Journal of the American Ceramic Society**, 1992, vol. 75, no.7, p.1801-6.
- Krause, O. Uber bezichungen zwischen quarzkorngrosse and eigenschaften beim hartporzellan. II. Sprechsaal, 1937, vol. 70, p.634,648.
- Mattyasovszky-Zsolnay, L. Mechanical strength of porcelain. **Journal of the American Ceramic Society**, 1957, vol. 40, p.299-306.
- McColm, I.J. **Ceramic Hardness**. New York:Plenum Press, 1990, p.241.
- Nagoya International Training Center (NITC). **Glaze and Color in Ceramics**, Nagoya:Nagoya International Training Center, 1983, p.8.
- Norton, F.H. **Fine Ceramics-Technology and Applications**, New York:Mcgraw-Hill, 1970, p.336.
- Norton, F.H. **Element of Ceramics 2nd. ed.**. Massachusetts:Addison-Wesley Publishing Company, 1974, p.285.
- Schüller, K.H. Hard porcelain. **Ceramic Monographs:A Handbook of Ceramic**. Verlag Schmid Gmb H, Freiburg/Breisgan, 1979, part 2.1.1
- Takagi, D. Tableware in **Ceramic Engineering**, Nagoya:Nagoya International Training Center, 1972, p.114.
- Warshaw, S.I. and Seider, R. Comparison of strength of triaxial porcelains containing alumina and silica. **Journal of American Ceramic Society**, 1967, vol.50, no.7, p.337-342.
- Yuasa Yarn Guide Engineering Co.Ltd.**, Nagoya, Japan, 1987.

ภาคผนวก

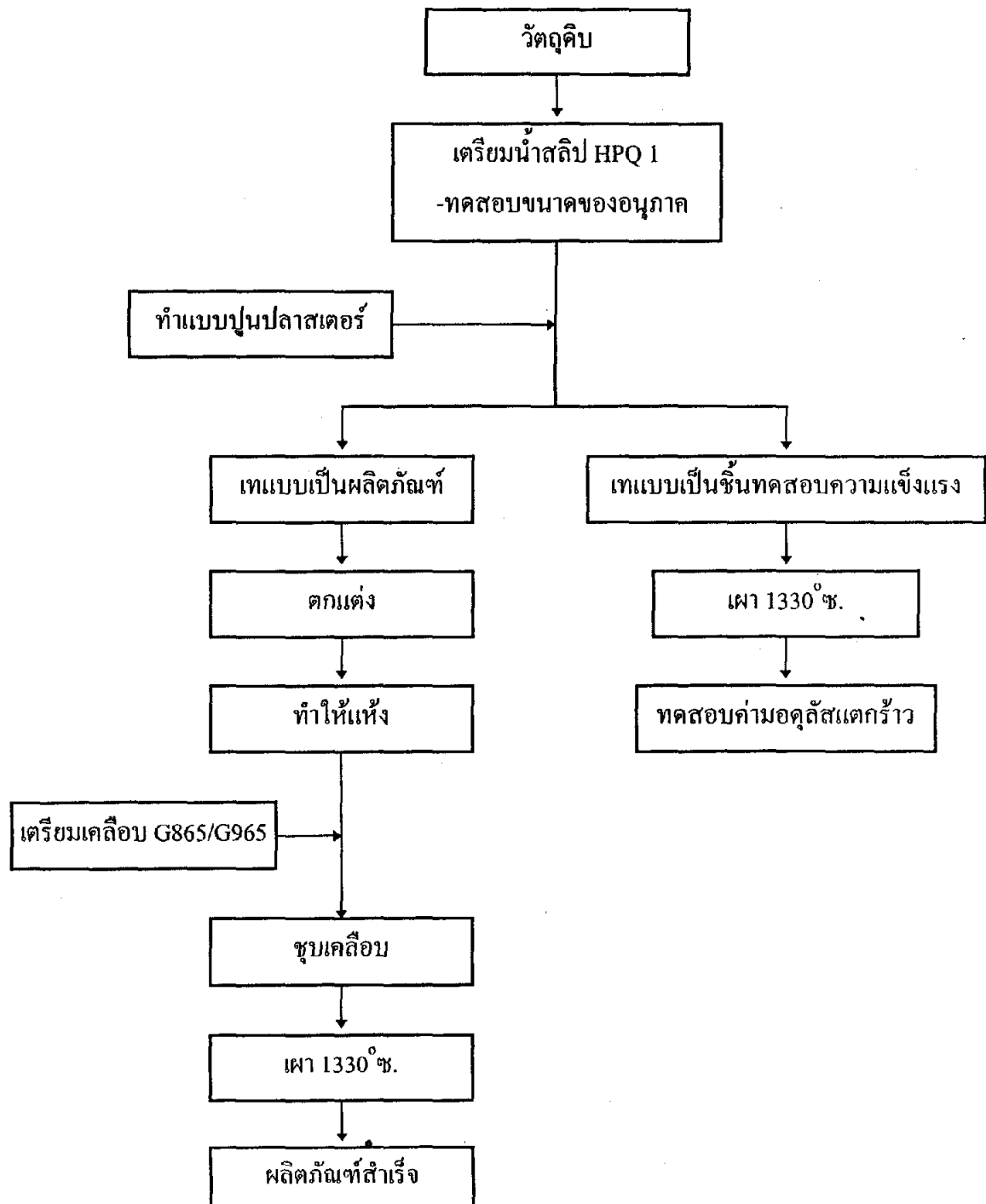
ภาคผนวก ก

แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนา

1) การทดลองเนื้อดินและการทดลองเคลือบ



2) การทดลองทำผลิตภัณฑ์โดยการเทแบบ



ภาคผนวก ข

สูตรสำหรับคำนวณและภาพวิธีทดสอบ

1. การหดตัวของหลังเผา

$$\text{การหดตัวของ, ร้อยละ} = \frac{\text{ความยาวคอนกรีตขึ้นรูป} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวคอนกรีตขึ้นรูป}} \times 100$$

2. ความหนาแน่นรวม

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.} &= \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{ปริมาตรภายนอก}} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักก้อนตัว (กรัม) - น้ำหนักแฉนวนลอย (กรัม)}} \end{aligned}$$

3. การดูดซึมน้ำ

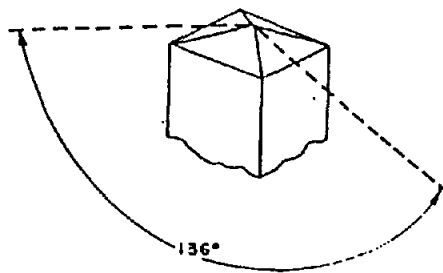
$$\text{การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักก้อนตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

4. ความแข็ง

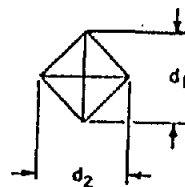
$$\text{ความแข็งวิกเกอร์ส, HV} = \frac{1854.4 P}{d^2}$$

P = น้ำหนักกด, กรัม

d = ความยาวเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมของรอยกด, ไมโครเมตร



หัวกดวิกเกอร์ส



รอยกดบนชิ้นงาน

5. ความแข็งแรง

$$\text{มอดุลัสแตกร้าว, เมกะพาสคัล} = \frac{3 WL}{2 bd^2}$$

W = แรงที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกร้าว, นิวตัน

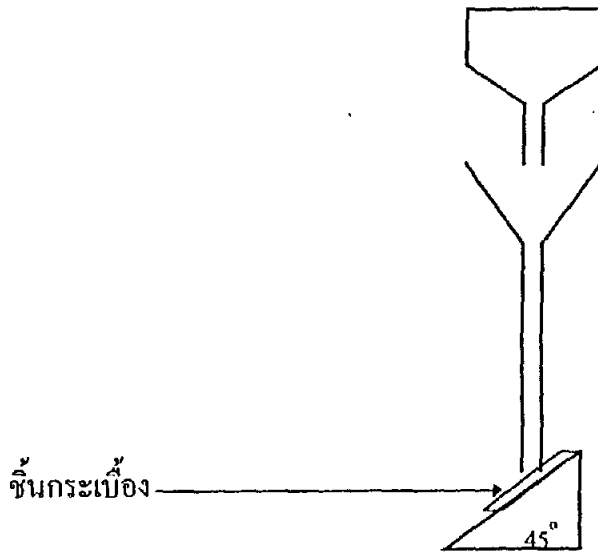
L = ระยะช่วงระหว่างแท่นรองรับ, มิลลิเมตร

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร

6. การซัดสี

การซัดสี, กรัม = น้ำหนักก่อนการซัดสี - น้ำหนักหลังการซัดสี



ภาพการทดสอบการซัดสี จาก มอก.38-2531

7. การขยายตัวเมื่อร้อน

$$\text{สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนจากอุณหภูมิ } T_1 \text{ ถึง } T_2, \text{ มม./มม. } ^\circ\text{ซ.} = \frac{L_2 - L_1}{L_0 (T_2 - T_1)}$$

L_0 = ความยาวของตัวอย่างที่อุณหภูมิ T_0 (20°ซ.)

L_1 = ความยาวของตัวอย่างที่อุณหภูมิ T_1

L_2 = ความยาวของตัวอย่างที่อุณหภูมิ T_2

ภาคผนวก ค
แม่แบบปูนปลาสเตอร์สำหรับขึ้นรูป



ภาคผนวก ง
ความละเอียดหยาบของเนื้อดิน HPQ1

THREAD GUIDE

SediGraph 5100 V3.02

PAGE 1

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA1 /2

UNIT NUMBER: 1

SAMPLE ID: HPQ1

START 14:59:04 03/16/93

SUBMITTER:

REPRT 15:28:13 03/16/95

OPERATOR:

TOT RUN TIME 0:29:05

SAMPLE TYPE: CLAY BODY

SAM DENS: 2.6827 g/cc

LIQUID TYPE: Water

LIQ DENS: 0.9932 g/cc

ANALYSIS TEMP: 37.7 deg C

LIQ VISC: 0.6853 cp

BASELINE/FULL SCALE: 94/ 78 kilocounts/sec

RUN TYPE: Standard

STARTING DIAMETER: 50.00 μm

REYNOLDS NUMBER: 0.24

ENDING DIAMETER: 0.30 μm

FULL SCALE MASS % 100

MASS DISTRIBUTION

MEDIAN DIAMETER: 5.09 μm

MODAL DIAMETER: 6.28 μm

| DIAMETER (μm) | CUMULATIVE | | MASS |
|-------------------------------|---------------|-------------|-----------------------|
| | MASS FINER | MASS (%) | IN INTERVAL (%) |
| 50.00 | 98.4 | 98.4 | 1.6 |
| 40.00 | 98.3 | 98.3 | 0.1 |
| 30.00 | 96.8 | 96.8 | 1.5 |
| 25.00 | 94.6 | 94.6 | 2.2 |
| 20.00 | 90.8 | 90.8 | 3.8 |
| 15.00 | 84.0 | 84.0 | 6.9 |
| 10.00 | 72.3 | 72.3 | 11.7 |
| 8.00 | 65.5 | 65.5 | 6.8 |
| 6.00 | 55.5 | 55.5 | 9.9 |
| 5.00 | 49.4 | 49.4 | 6.1 |
| 4.00 | 42.8 | 42.8 | 6.6 |
| 3.00 | 35.6 | 35.6 | 7.3 |
| 2.00 | 28.1 | 28.1 | 7.4 |
| 1.50 | 23.0 | 23.0 | 5.1 |
| 1.00 | 17.7 | 17.7 | 5.3 |
| 0.80 | 15.0 | 15.0 | 2.7 |
| 0.60 | 12.5 | 12.5 | 2.5 |
| 0.50 | 10.9 | 10.9 | 1.5 |
| 0.40 | 8.4 | 8.4 | 2.6 |
| 0.30 | 4.6 | 4.6 | 3.8 |

THREAD GUIDE

SediGraph 5100 V3.02

PAGE 2

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA1 /2

UNIT NUMBER: 1

SAMPLE ID: HPQ1

START 14:59:04 03/16/93

SUBMITTED:

REPR 15:28:13 03/16/93

OPERATOR:

TOT RUN TIME 0:29:05

SAMPLE TYPE: CLAY BODY

SAM DENS: 2.6827 g/cc

LIQUID TYPE: Water

LIQ DENS: 0.9932 g/cc

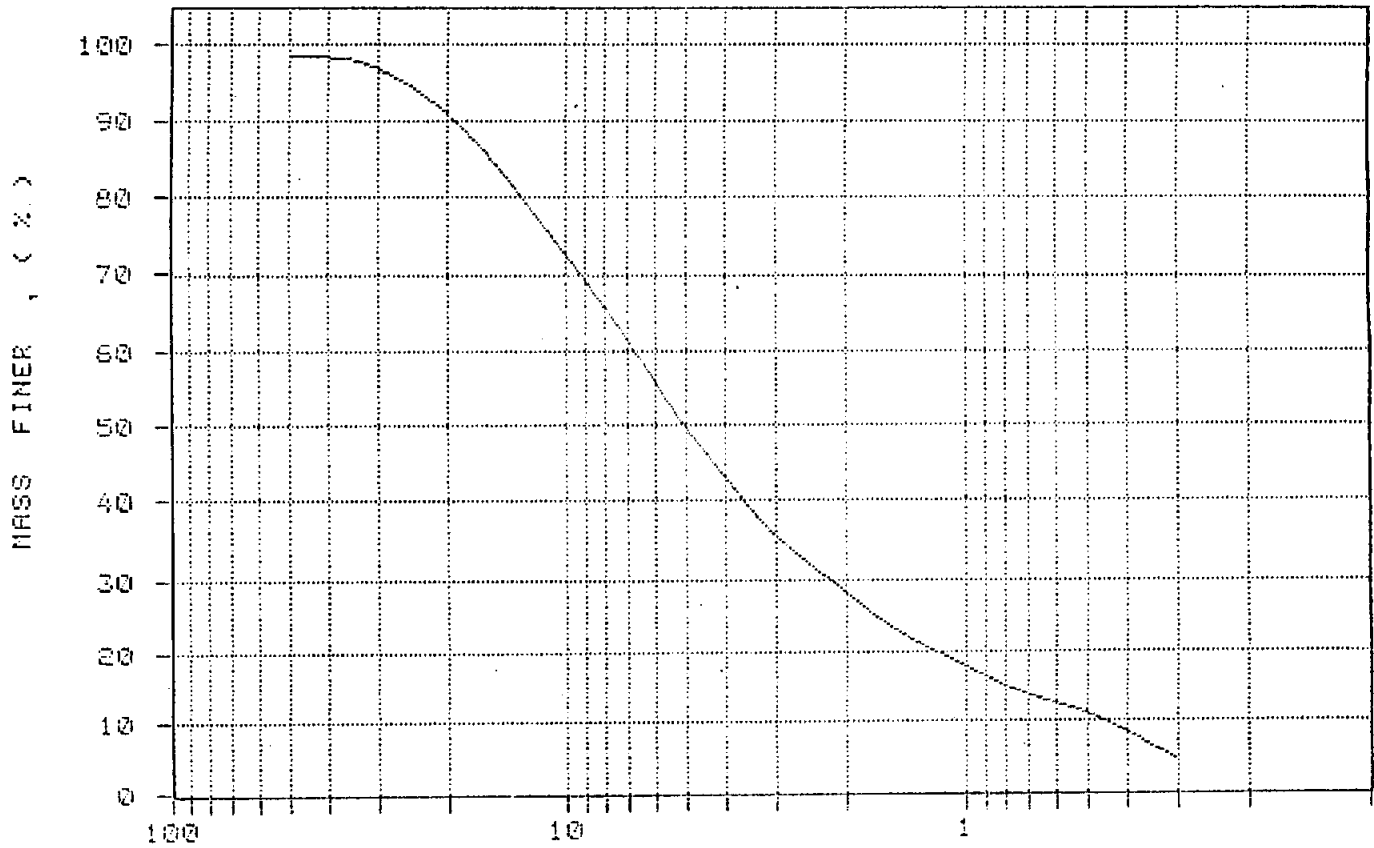
ANALYSIS TEMP: 37.7 deg C

LIQ VISC: 0.6853 cp

BASELINE/FULL SCALE: 94/ 78 kilocounts/sec

RUN TYPE: Standard

CUMULATIVE MASS PERCENT FINER VS. DIAMETER



EQUIVALENT SPHERICAL DIAMETER, (µm)

ภาคผนวก จ

ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิมที่ได้จากการทดลอง

