

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชั้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

ปริญญาานิพนธ์
ของ
สิริลักษณ์ ทองลิ้ม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
เมษายน 2545
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

115-5

115-10

32

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

บทคัดย่อ

ของ

สิริลักษณ์ ทองลิ้ม

31 A.S. 2545

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
เมษายน 2545

1148969

สิริลักษณ์ ทองลิ้ม. (2545). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย. ปริญญาโท, กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง.

การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายนี้ เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย และเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายที่ผลิตขึ้น กับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยนำมาทดสอบคุณสมบัติ 3 ด้าน คือ ความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว จากอัตราส่วนระหว่าง อลูมินา ร้อยละ 88-93 หินฟันม้า ร้อยละ 5-9 และ โดโลไมท์ ร้อยละ 2-3 สารเคมีที่ช่วยให้เกิดสีชมพูอ่อนคือ โครเมียมออกไซด์ ร้อยละ 0.01 ซึ่งจะทำให้การหาอัตราส่วนผสม โดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 10 อัตราส่วนผสม แล้วทำการขึ้นรูปชิ้นทดลอง ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก เป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความสูง 3 นิ้ว จำนวนอัตราส่วนผสมละ 9 ชิ้น รวมทั้งหมด 90 ชิ้น โดยใช้แรงกดอัดในการขึ้นรูป 3 ระดับ คือ 2000, 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนชิ้นทดลองที่ขึ้นรูป 3 ชั้นต่อ 1 แรงกดอัด แล้วทำการเผาด้วยเตาไฟฟ้า โดยใช้บรรยากาศการเผาใหม่แบบสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองปรากฏว่า ผลที่ได้สอดคล้องกับสมมติฐานคือ ได้อัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ที่มีองค์ประกอบทางเคมี ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เรื่องการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ ที่นำเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ด้านความแข็ง จะมีความแข็ง 1100-1800 Viker Hardness (HV) มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00-0.10 และลักษณะผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ส่วนผลการทดลองที่ได้ทั้ง 10 สูตร พบว่า มีคุณสมบัติทางกายภาพทั้ง 3 ด้านใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ ด้านความแข็ง จะมีความแข็ง 1126.86-2552.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.00-2.33 และมีลักษณะผิว ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม และสูตรที่ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการมากที่สุด คือ สูตรที่ 6 คือ มีอัตราส่วนผสมระหว่าง อลูมินาร้อยละ 91 หินฟันม้าร้อยละ 6 และโดโลไมท์ร้อยละ 3 ซึ่ง มีความแข็ง 2552.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.00 และมีลักษณะผิว ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม เป็นสูตรที่ได้คัดเลือกจากการทดลอง เนื่องจากมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ

A STUDY OF MIXTURE RATIO OF CERAMIC PRODUCTS
FOR NEEDLE PILOT PART

AN ABSTRACT
OF
SIRILUCK THONGLIM

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinvirot University

April 2002

Siriluck Thonglim. (2545). *A study of mixture ratio of ceramic products for needle pilot part.*

Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School,

Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pairust Vongyuttakrai,

Assist. Prof. Rungson Doungsroythong.

This experiment was conducted to determine the suitable ratio of ceramic products for needle pilot parts and to compare the physical property of ceramics products for need pilot parts with those approved by the Science Service Department ceramic products for needle pilot parts. The 3 qualifications tested were stress, water absorption, and surface appearance using the combination of 88 – 93% of alumina, 5 – 9% of feldspar and 2 – 3% of dolomite. Chemical substances used to get a light pink color was a 0.01% solution of chromiumoxide and toughness was a 20% of solution of polyvinylalcohol. The ratio of the specific combination random samplings showed a 10 – combined formula of triangle diagrams. A hydraulic pressure was used to make 9 – cylinder shape pieces of each combination, for a total of 90 pieces with the size of 2 – inches in diameter and 3 – inches in height. The 3 – level pressures of 2000, 3000 and 4000 pounds per sq – inch were employed with using 3 pieces at a time. Then complete oxidation was set firing at 1550 c.

The experiment found that the results related to the hypothesis for chemical ceramic products using needle pilot parts were close to the study of the Science Service Department in qualifications and type of needle pilot parts of imported alumina used in textile industries. The Science Service department found that the stress was 1100 – 1800 HV, water absorption was 0.00 – 0.10% and the surface was smooth and with holes but had no shaped edge. The 10 – formula experiment found that the 3 physical qualifications were close to the experiments of the Science Service Department as follows : the stress was 1126.86 – 2552.74 HV, water absorption was 0.00 – 2.33% and the surface was smooth with no shaped edge. The mixture ratio of the sixth formula was Alumina 91% Feldspar 6% and Dolomite 3% was the most suitable test with the stress of 2552.74 HV, the water absorption of 0.00% and the smooth and edgeless surface. This is the most successful testing chosen for needle pilot parts textile industries.

ปริญญาบัตร

เรื่อง

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้าย

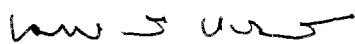
ของ

นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)

วันที่ 30 เมษายน พ.ศ.2545

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร



ประธาน

(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)



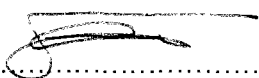
กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ไอลาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ขอขอบพระคุณในการสนับสนุน ความดูแลในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้อย่างราบรื่นโดยครอบครัวของผู้วิจัย พ่อ แม่ และ พี่ ๆ ทุกคน

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับท่านอาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุมปริญญาบัตร ที่ได้กรุณาให้ความเมตตา คัดเลือกให้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยถึง 2 ทุน คือ ทุนแรกเป็นทุนสนับสนุนงานวิจัย “ งบประมาณแผ่นดิน ” ประจำปีการศึกษา 2544 ระดับปริญญาโท เป็นจำนวน 6,000 บาท และทุนที่สอง คือ “ ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ” ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐของทบวงมหาวิทยาลัย เป็นจำนวน 10,000 บาท และที่สำคัญท่านอาจารย์ยังได้ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำ ในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้อย่างละเอียดมาโดยตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง กรรมการควบคุมปริญญาบัตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้ความสะดวกในทุก ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของกรรมวิธีในการทดลองตั้งแต่เริ่มทดลอง จนกระทั่งการทดสอบ การวิเคราะห์ผล การสรุปผล การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะต่าง ๆ และที่สำคัญท่านอาจารย์ยังได้ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้อย่างละเอียดมาโดยตลอด จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันชกุล อาจารย์ ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถนอมสิน ดิสถาพร ท่านอาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร และท่านอาจารย์โอภาส สุขหวาน ที่ได้ให้ความเมตตาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำเป็นอย่างดี ต่องานปริญญาบัตรครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ทวี พรหมพฤษดิ์ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รัชวงศ์ และท่านรองศาสตราจารย์ आयुวัฒน์ สว่างผล ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้มาจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบคุณสำหรับ คุณสุพรรณ ปาลฤทธิ์ คุณทิพย์อาภา ปาลฤทธิ์ คุณประทีน เจิดฉาย คุณศิริกุล เอี่ยมเจริญ คุณอดิศร เจริญสุข อาจารย์ภัทรพล สุวรรณโถม อาจารย์ทองแห่ง ทองลิ้ม อาจารย์สมนิตย์ ทองลิ้ม และคุณคิวกร สุขลังการ ในการเอื้อเฟื้อข้อมูล สถานที่ และวัตถุดิบในการผลิต และกำลังใจอันสำคัญ

ขอบคุณ สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี บริษัท จี.เอส.ซีแรมมิก จำกัด สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติ กรมวิทยาศาสตร์บริการ และอยู่สำราญการช่าง ในการสนับสนุนการทำปริญญาบัตรครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ หากงานปริญญาบัตรนี้จะก่อประโยชน์ต่อส่วนรวม ผู้วิจัยขอขอบความดีทั้งปวงแต่ผู้มีพระคุณที่กล่าวมาข้างต้นที่ช่วยสนับสนุน ผลักดันให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถในการไปปฏิบัติหน้าที่ต่อการศึกษาในสังคมต่อไป

สิริลักษณ์ ทองลิ้ม

สารบัญ

| บทที่ | | หน้า |
|-------|--|------|
| 1 | บทนำ | 1 |
| | ภูมิหลัง | 2 |
| | ความมุ่งหมายของการวิจัย..... | 2 |
| | ความสำคัญของการวิจัย..... | 2 |
| | ขอบเขตของการวิจัย..... | 3 |
| | วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย..... | 2 |
| | ตัวแปรที่ศึกษา..... | 3 |
| | นิยามศัพท์เฉพาะ..... | 3 |
| | กรอบแนวคิดในการวิจัย..... | 5 |
| | สมมติฐานในการวิจัย..... | 5 |
| 2 | เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| | ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา..... | 6 |
| | ความรู้เกี่ยวกับเซรามิกส์สมัยใหม่..... | 11 |
| | ความรู้เกี่ยวกับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้าย..... | 15 |
| | วัตถุประสงค์ในการผลิตชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้าย..... | 20 |
| | การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยใช้แรงอัด..... | 28 |
| | การเผาผลิตภัณฑ์และเตาเผาอุณหภูมิสูง..... | 38 |
| | คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้าย..... | 44 |
| | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 50 |
| 3 | วิธีดำเนินการวิจัย..... | 52 |
| | วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย..... | 52 |
| | ตัวแปรที่ศึกษา..... | 52 |
| | วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 56 |
| | ลำดับขั้นตอนของการวิจัย..... | 57 |
| | แผนดำเนินการวิจัย..... | 68 |
| 4 | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 69 |
| | ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว | 70 |
| | การวิเคราะห์ความแข็ง | 74 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|-------|--|
| 5 | สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 75 |
| | ความมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย |
| | สมมติฐานในการวิจัย และวิธีการดำเนินการวิจัย..... 75 |
| | สรุปผลการวิจัย..... 76 |
| | อภิปรายผล..... 78 |
| | ข้อเสนอแนะ..... 80 |
| | บรรณานุกรม..... 81 |
| | ภาคผนวก..... 84 |
| | ประวัติย่อผู้วิจัย..... 117 |

บัญชีตาราง

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| 1 แสดงปริมาณของตลาดแอดวานซ์เซรามิกส์..... | 13 |
| 2 ความต้องการแอดวานซ์เซรามิกส์..... | 14 |
| 3 แสดงการคาดคะเนมูลค่าตลาดแอดวานซ์เซรามิกส์..... | 14 |
| 4 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความหนาแน่น ด้านการดูดซึมน้ำ และด้านลักษณะผิว..... | 17 |
| 5 แสดงคุณสมบัติของอลูมินา..... | 21 |
| 6 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต..... | 23 |
| 7 แสดงการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแร่เฟลด์สปาร์ ในประเทศไทยและต่างประเทศ..... | 25 |
| 8 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่เฟลด์สปาร์..... | 26 |
| 9 หน่วยพื้นฐานและหน่วยเสริมในระบบ SI..... | 37 |
| 10 คำอุปสรรคและตัวคูณแปลงหน่วยในระบบ SI..... | 37 |
| 11 ตารางเปรียบเทียบชนิดของเครื่องปั้นดินเผา..... | 41 |
| 12 แสดงความแกร่งของเนื้อดินชนิดต่าง ๆ ก่อนเผา..... | 47 |
| 13 ค่าความแกร่งของดินภายหลังการเผาเมื่อคำนวณตามสูตร..... | 48 |
| 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว | 53 |
| 15 แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์..... | 56 |
| 16 แสดงการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีของอลูมินา..... | 59 |
| 17 แสดงการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีของโดโลไมท์..... | 60 |
| 18 แสดงการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีของเฟลด์สปาร์..... | 61 |
| 19 สรุป 10 อัตราส่วนผสมซึ่งได้จากการคำนวณองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น..... | 62 |
| 20 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากการทดลอง กับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ..... | 67 |
| 21 แสดงหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ..... | 69 |
| 22 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว โดยใช้แรงในการกดอัด 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว..... | 70 |
| 23 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว โดยใช้แรงในการกดอัด 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว..... | 71 |
| 24 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว โดยใช้แรงในการกดอัด 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว..... | 72 |
| 25 แบบรวบรวมผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง โดยใช้แรงในการกดอัด 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว..... | 85 |

บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 1 แสดงวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดิน..... | 8 |
| 2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ที่ใช้ในท้องตลาด..... | 18 |
| 3 แสดงวิธีการขึ้นรูปด้วยด้วยแรงอัดแบบอัตโนมัติ..... | 33 |
| 4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการอัดพร้อมกับใช้ความร้อนช่วย..... | 35 |
| 5 การขึ้นรูปโดยใช้วิธีไอโซสแตติกเพรสซิ่ง..... | 36 |
| 6 แสดงวิธีการวางโคน และการล้มของโคน..... | 43 |
| 7 ตารางเปรียบเทียบความแข็งของโลหะ เซรามิกส์ และแร่ต่าง ๆ | 45 |
| 8 แสดงแผ่นทดสอบวางบนลิ่มปลายแหลม 2 จุด และแรงกดทางด้านบน ของแผ่นทดสอบ..... | 47 |
| 9 แสดงอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ที่ใช้ในการวิจัย 10 อัตราส่วนผสม | 54 |
| 10 แสดงอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ที่ใช้ในการวิจัย 10 อัตราส่วนผสม (ขยายจากภาพประกอบ 8)..... | 55 |
| 11 แสดงการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย..... | 63 |
| 12 แสดงโปรแกรมการเผาผลิตภัณฑ์ | 65 |
| 13 ตารางเปรียบเทียบความแข็งของโลหะ เซรามิกส์ และแร่ต่าง ๆ | 66 |

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมที่ใหญ่ของประเทศไทย มีมูลค่าการผลิตประมาณ 300,000 ล้านบาทต่อปี และมีมูลค่าการส่งออกประมาณปีละกว่า 150,000 ล้านบาท นอกจากนี้ อุตสาหกรรมสิ่งทอยังเป็นแหล่งจ้างงานมากที่สุดรองลงมาจากภาคเกษตรกรรม (สาธิต พุทธชัยยงค์. 2542 : 82-89) แต่ปัจจุบัน อุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยกำลังเผชิญกับสภาพการณ์ทางเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป ในอดีตประเทศไทยเคยเป็นฐานการผลิตสินค้าสิ่งทอ โดยอาศัยค่าแรงที่ต่ำเป็นตัวดึงดูดให้นักลงทุนต่างชาติเข้ามาลงทุนด้วยค่าจ้างที่ปรับตัวสูงขึ้นร้อยละ 10-15 ทำให้โรงงานที่เน้นผลิตสินค้าในตลาดระดับล่างไม่อาจรองรับต้นทุนค่าแรงที่สูงขึ้น จึงต้องย้ายฐานการผลิตไปยังประเทศอื่นที่มีค่าแรงถูกกว่าประเทศไทย ดังนั้นอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยจะต้องปรับเปลี่ยนทิศทางการผลิตใหม่ ตลอดถึงการพัฒนาความรู้และทักษะของบุคลากร ให้สามารถรองรับเทคโนโลยีใหม่ได้ ในการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้สามารถทำงานด้วยความเร็วสูงขึ้น รวมทั้งการนำเส้นใยประดิษฐ์ที่คมและแข็งแรงเข้ามาใช้ในการผลิต ทำให้จำเป็นต้องใช้วัสดุ หรือชิ้นส่วนที่ทนต่อการสึกหรอได้สูง มาช่วยนำร่อง และหันเหเส้นด้ายไปยังจุดต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว เส้นด้ายที่ทำด้วยใยสังเคราะห์ เมื่อถูกดึงให้วิ่งด้วยความเร็วสูง จะเกิดการขัดสีกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรอย่างรุนแรง ถ้าวัสดุที่รองรับจุดสัมผัสไม่มีความแข็งแรงพอจะเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว อาจจะเป็นเวลาเพียงไม่กี่วันเท่านั้น ขณะนี้ผู้ประกอบการสิ่งทอของไทยโดยเฉพาะในการปั่นด้าย ได้นำเครื่องจักรกำลังการผลิตสูง ชนิดตัวนำร่องเส้นด้ายทำด้วยเซรามิกส์เนื้ออลูมินาเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งในเครื่องจักรดังกล่าวแต่ละชุดจะมีตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ขนาดเล็กๆ รูปร่างซับซ้อนติดอยู่เป็นจำนวนมาก ประมาณไม่น้อยกว่า 800 ชิ้นต่อเครื่อง (รายงานกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2540 : 46) จากการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ที่นำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทย พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้ออลูมินา (Al_2O_3) ได้รับความนิยมใช้มาก ประกอบกับปัจจุบันนี้ เครื่องจักรที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้รับการพัฒนาให้ทำงานได้เร็วขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ความต้องการใช้ตัวนำร่องเส้นด้ายที่ทำด้วยอลูมินาซึ่งมีความแข็งแรงสูง และทนทานต่อการสึกหรอได้ดีมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะวัสดุอื่น เช่น โลหะ แก้ว หรือพอร์ซเลน ถ้านำมาใช้กับเครื่องจักรที่มีความเร็วสูงขนาด 1000 เมตรต่อวินาที จะสึกไปอย่างรวดเร็วภายในเวลาเพียงไม่กี่วัน ขณะที่เนื้ออลูมินาถ้าไม่กระเด็นหายเนื่องจากกาวที่ทาไว้หลุด จะสามารถใช้งานได้นานถึง 10 ปี โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออลูมินา ที่ใช้กันอยู่ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีอยู่หลายสี ได้แก่ สีชมพูอ่อน สีชมพูเข้ม และสีแดงม่วง โดยแต่ละสีจะมีสมบัติและการใช้งานแตกต่างกันออกไป กล่าวคือ สีชมพูอ่อนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดความแข็งแรงสูง คือ 1800 HV ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องทนต่อการสึกหรอสูง สีชมพูเข้มซึ่งมีความแข็งแรงปานกลาง คือ 1200 HV ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ทนต่อการสึกหรอปานกลาง และสีแดงม่วงซึ่งเป็นชนิดที่มีความแข็งแรงต่ำที่สุดในบรรดาผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้ออลูมินาด้วยกัน คือ 1100 HV ซึ่งจะใช้สำหรับงานทั่วไป (รายงานกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2542.152)

ปัจจุบันประเทศไทยเรายังไม่มีการผลิต ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้อลูมินาขึ้นใช้เอง ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ ญี่ปุ่น ไต้หวัน ด้วยราคาที่ค่อนข้างแพง โดยชิ้นส่วนช่วยเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นด้ายเพียงชิ้นเล็ก ๆ ก็มีราคาไม่ต่ำกว่า 50 บาท ทั้งๆ ที่ภาคอุตสาหกรรมเซรามิกส์ของไทยมีศักยภาพสูงพอ และมีความสนใจที่จะผลิต แต่ยังขาดข้อมูลทางวิชาการ ตลอดจนความรู้และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นส่วนผสมหรือวิธีการทำ (สุจินดา โชติพานิช และคณะ. 2541 : 46)

จากสภาพปัญหาดังกล่าวจึงต้องการที่จะศึกษาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายประเภทที่มีลูมินาเป็นส่วนประกอบ ซึ่งในบรรดาวัสดุเซรามิกส์ทั้งหลายที่ใช้งานได้ดี ได้แก่ โทเทเนียมไดออกไซด์ และวัสดุที่จะได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่เมื่อไม่นานมานี้คือ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ร้อยละ 90 (สุจินดา โชติพานิช และคณะ. 2541 : 45) แต่การที่เลือกใช้อลูมินาในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากเป็นวัสดุเซรามิกส์ที่หาง่าย ราคาถูก และมีงานวิจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของลูมินาเป็นจำนวนมาก (ปฎิมา เทพายน. 2542 : 3) นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยลูมินาจะได้รับความนิยมมาก เพราะผลิตได้ง่ายและมีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ อีกทั้งยังมีความหนาแน่นสูง มีความทนทานต่อการกัดกัด และทนทานต่อการ สึกกร่อนเป็นอย่างดี (อารีวรรณ บุญเพ็ง. 2535) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย เพื่อเป็นการสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ให้มีแนวทางในการผลิต ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายที่ผลิตขึ้นกับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยนำมาทดสอบคุณสมบัติ 3 ด้าน คือ

- 2.1 ความแข็ง
- 2.2 การดูดซึมน้ำ
- 2.3 ลักษณะผิว

ความสำคัญของการวิจัย

ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพ ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ และเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการผลิตตัวนำร่องเส้นด้าย เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทย และยังเป็น การช่วยลดอัตราการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ โดยเป็นการนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานในการวิจัยผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สมัยใหม่ต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้นักศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย บรรลุจุดมุ่งหมายที่วางไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาไว้ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย
 - 1.1 อลูมินา เป็นอลูมินาที่บริสุทธิ์ที่ใช้ทางการค้า จากบริษัทเซอร์นิกอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ในการทดลองนี้จะใช้ช่วงร้อยละ 88-93
 - 1.2 หินฟันม้า เป็นหินฟันม้าจากเหมืองแร่ที่ ตำบลสวนผึ้ง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ในการทดลองนี้จะใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 5-9
 - 1.3 โดโลไมท์ เป็นโดโลไมท์จากเหมืองแร่ที่ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ในการทดลองนี้จะใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 2-3
 - 1.4 วัตถุประสงค์ที่ช่วยให้เกิดความเหนียว หรือสารเพิ่มการยึดเกาะ (Binder) ปริมาณที่ใช้ร้อยละ 5
 - 1.5 วัตถุประสงค์ที่ทำให้เกิดสี ได้แก่ โครเมียมออกไซด์ ในการทดลองนี้จะใช้ร้อยละ 0.01
2. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูป ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ร้อยละ 5
3. เตาที่ใช้ในการเผา ใช้เตาไฟฟ้า ซึ่งจะทำการเผาที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส โดยใช้บรรยากาศในการเผาไหม้สมบูรณ์ (Oxidation)
4. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จากอลูมินาสำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย จะใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก แรงที่ใช้ในการกดอัดอยู่ที่ 2000, 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
5. การกำหนดอัตราส่วนผสมนั้น จะใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 10 อัตราส่วนผสม อัตราส่วนผสมละ 9 ชิ้น เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพทั้ง 3 ลักษณะและละ 3 ชิ้น รวม 9 ชิ้น สำหรับแรงกดอัดทั้ง 3 แรง ซึ่งรวมทั้งหมด 90 ชิ้น ซึ่งขนาดของชิ้นทดลองเป็นรูปทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว และมีความสูง 3 นิ้ว
6. ตัวแปรที่ศึกษา
 - 6.1 ตัวแปรอิสระ ในการวิจัยครั้งนี้ ตัวแปรอิสระ คือ อัตราส่วนระหว่าง
 - 6.1.1 อลูมินา
 - 6.1.2 หินฟันม้า และ
 - 6.1.3 โดโลไมท์
 - 6.1.4 แรงที่ใช้ในการกดอัด 2000, 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
 - 6.2 ตัวแปรตาม คือ คุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ได้แก่
 - 6.2.1 ความแข็ง
 - 6.2.2 การดูดซึมน้ำ
 - 6.2.3 ลักษณะผิว

นิยามศัพท์เฉพาะ

ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย หมายถึง วัสดุหรือชิ้นส่วนเซรามิกส์ที่ประกอบกับเครื่องจักรกำลังการผลิตสูงในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีความแข็งสูงเป็นพิเศษ และทนต่อการสึกกร่อนได้สูง ทำหน้าที่เป็นตัวนำร่องเส้นด้ายไปยังจุดต่าง ๆ

อัตราส่วนผสม หมายถึง ปริมาณวัตถุดิบที่นำมาผสม เป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายโดยคิดอัตราส่วนผสมจากการใช้แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า เป็นตัวกำหนดอัตราส่วนผสม

แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า หมายถึง ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้ในการกำหนดค่าอัตราส่วนผสมวัตถุดิบในการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายครั้งนี้

อลูมินา หมายถึง สารประกอบของอลูมิเนียมออกไซด์ มีความทนไฟสูง ถ้าใช้ผสมในเคลือบทำให้เกิดเป็นเคลือบด้าน ในที่นี้ใช้อลูมินาบริสุทธิ์ (Calcine Alumina A-21) จากบริษัทเซอร์นิกอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

หินฟันม้า หมายถึง แร่ที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณ อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี เป็นหินฟันม้าที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.56 และมีความแข็งระดับ 6

โดโลไมท์ หมายถึง แร่ที่มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ให้เป็นวัสดุทนไฟ และฉนวนความร้อน เพราะเป็นสารทนความร้อนได้ดี ในที่นี้ใช้โดโลไมท์ จากเหมืองแร่ที่อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

คุณสมบัติทางกายภาพ หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของของเหลวชนิดต่าง ๆ ทั่วไป โดยถือว่าคุณสมบัติของเนื้อดินจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อดินปั้น ซึ่งหมายถึงความสามารถในด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว ของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ดังนี้

ความแข็ง หมายถึง การหาค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rapture, MOR) คือ ค่าแรงดึง (tension) ต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดก่อนที่ชิ้นทดสอบจะเกิดการแตกหัก มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ เมกะปาสคาล แล้วจึงนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์สีชมพูอ่อนที่กรมวิทยาศาสตร์บริการนำมาวิเคราะห์ ซึ่งมีความแข็ง 1800 HV โดยที่ HV เป็นหน่วยวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ส () การวัดความต้านทานการเปลี่ยนรูป (Resistance to deformation) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการทดสอบหาค่าความแข็งมีหน่วยเป็น Viker Hardness (HV) เป็นหน่วยวัดความแข็งของวัสดุตามสากล Vicker s โดยผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์สีชมพูอ่อน ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการนำมาวิเคราะห์นั้น มีความแข็ง 1800 HV

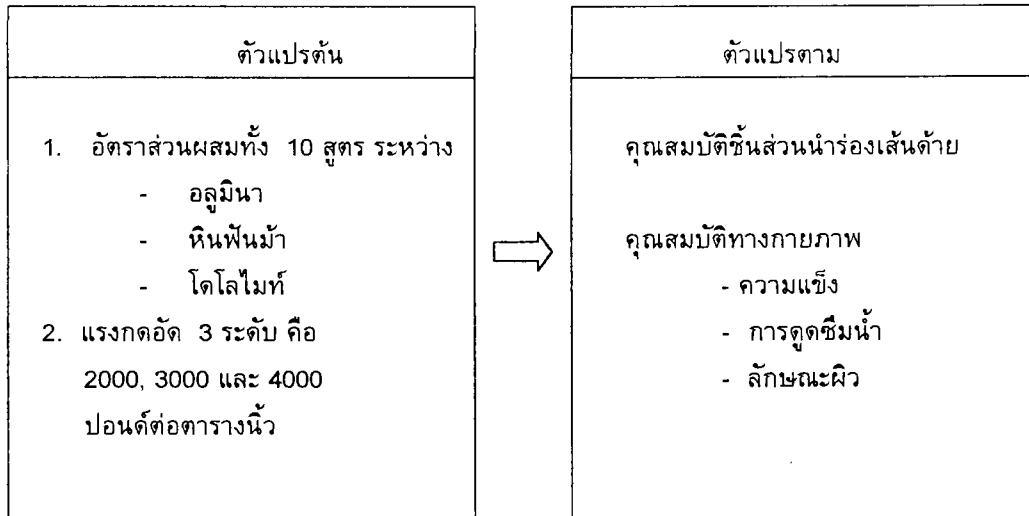
การดูดซึมน้ำ หมายถึง ความสามารถรับหรือดูดซึมน้ำเข้าไปไว้ในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไป โดยผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์สีชมพูอ่อนที่กรมวิทยาศาสตร์บริการนำมาวิเคราะห์นั้น มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00

ลักษณะผิว หมายถึง การพิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตภัณฑ์ โดยการใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบกวาดตรวจพินิจลักษณะทั่วไป โดยผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์สีชมพูอ่อน ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการนำมาวิเคราะห์นั้น มีลักษณะผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม

น้ำ หมายถึง น้ำสะอาดจากแหล่งธรรมชาติทั่วไป หรือน้ำประปาโดยใช้ 500 กรัม ต่อ 1 อัตราส่วนผสม

แรงกด หมายถึง แรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงอัด 2000, 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ด้วยวิธีการอัดแห้ง

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมติฐานในการวิจัย

ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ที่ผลิตขึ้นจากสูตรส่วนผสมของอลูมินา หินฟืนม้า และโดโลไมท์ โดยใช้แรงกดอัดทั้ง 3 ระดับ ครั้งนี้ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา
2. ความรู้เกี่ยวกับเซรามิกส์สมัยใหม่
3. ความรู้เกี่ยวกับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย
4. ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย
 - 4.1 อลูมินา
 - 4.2 โดโลไมท์
 - 4.3 หินฟันม้า
 - 4.4 โครเมียมออกไซด์
 - 4.5 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์
5. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยใช้แรงอัด
6. การเผาผลิตภัณฑ์และเตาเผาอุณหภูมิสูง
 - 6.1 การเผาผลิตภัณฑ์
 - 6.2 บรรยากาศในการเผา
 - 6.3 เตาเผาอุณหภูมิสูง
 - 6.4 อุปกรณ์การเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
7. คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย
 - 7.1 ความแข็ง
 - 7.2 การดูดซึมน้ำ
 - 7.3 ลักษณะผิว
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา

การผลิตเครื่องปั้นดินเผาให้ได้ผลผลิตมากที่สุดและดีที่สุตนั้น ผู้ผลิตควรจะได้ทราบถึงเทคนิคต่าง ๆ ในการผลิตทุกขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 วัตถุดิบและการเตรียม

ก่อนจะทำการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจำเป็นต้องทราบสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้น และ น้ำยาเคลือบ หมายถึง ต้องทราบว่าจะใช้วัตถุดิบชนิดใด จากแหล่งใด ในปริมาณเท่าใด และหากได้มีการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบจากแหล่งต่าง ๆ เปรียบเทียบกันแล้ว ปรากฏว่าเหมือนกันก็นำมาใช้แทนกันได้ ในขั้นต้นจึงต้องทำการศึกษาคูณภาพของวัตถุดิบเสียก่อน เพื่อจะได้คัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับใช้งาน สิ่งสำคัญที่ควรศึกษาคือ

สี การดูสีของวัตถุดิบ ควรจะดูสีหลังจากการเผาแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 1000 – 1200 องศาเซลเซียส เพราะสีของวัตถุดิบที่นำมาจากแหล่งต่าง ๆ อาจมีสารอินทรีย์ปะปนมาทำให้เกิดเป็นสีต่าง ๆ ได้ เมื่อถูกความร้อน สารอินทรีย์เหล่านั้นถูกเผาไหม้ไปหมด เหลือแต่สีแท้จริงของวัตถุดิบซึ่งเป็นสี

ที่จำเป็นต้องทราบ ว่า ตรงกับความต้องการหรือไม่ เช่น ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสีขาว วัตถุดิบที่เผาแล้ว มีสีขาวจึงจะใช้ได้ แต่ถ้าจะผลิตผลิตภัณฑ์สีต่าง ๆ หรือมีน้ำยาเคลือบที่ปิดสีเนื้อดินได้ ก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงสีของวัตถุดิบ

การดูดซึมน้ำ การหาปริมาณการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะช่วยให้พิจารณาได้ง่ายขึ้น ว่าวัตถุดิบนั้นมีจุดสูกตัวต่ำเพียงใด เหมาะที่จะนำมาใช้ได้หรือไม่ ส่วนใหญ่จะเป็นวัตถุดิบประเภทดิน

การหดตัว การหาปริมาณการหดตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ควบคู่กันไปกับการหาปริมาณการดูดซึมน้ำ และการดูสีเพื่อจะได้พิจารณาว่า คุณสมบัติทั้งสองประการใช้ได้หรือไม่ และจะนำวัตถุดิบชนิดนี้มาใช้ในการผลิต ควรจะต้องเพิ่มขนาดหรือขยายแบบอีกเท่าใด สำหรับให้ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามขนาดที่ต้องการ

ส่วนผสมของแร่ธาตุ คือการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีว่ามีแร่ธาตุชนิดใด อยู่ในปริมาณเท่าใด มีความสำคัญสำหรับนักวิทยาศาสตร์ ผู้ทำการทดลองผลิตอาจจะไม่จำเป็นนัก เพราะใช้สูตรผสมที่นักวิทยาศาสตร์คำนวณไว้ให้แล้ว

การวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบนี้ ควรจะกระทำทั้งวัตถุดิบที่นำมาจากแหล่ง และที่ได้ทำการล้างจัดเตรียมสำหรับใช้ด้วย เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติ กรมวิทยาศาสตร์บริการมีห้องปฏิบัติการ ที่จะให้บริการด้านการวิเคราะห์และทดสอบแก่ผู้สนใจ

ดินขาว ต้องการล้างกรองเอาสิ่งสกปรกออก แยกดินกับทรายให้ได้แต่ดินที่มีความละเอียดสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้เนื้อดินมีคุณภาพไม่ดี ไม่สม่ำเสมอ ผลผลิตที่ได้ก็จะมีคุณภาพต่ำไปด้วย หินฟันม้า ต้องย่อยให้เป็นก้อนเล็กและบดให้ละเอียดผ่านร่อนขนาด 80 เมช ก่อนนำมาใช้ ควอตซ์ ควรเผาที่อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส ก่อน เพื่อช่วยให้หินเปราะบดง่ายขึ้น นำหินที่เผาแล้วมาย่อยบดให้ละเอียดผ่านร่อนขนาด 80 เมช

1.2 เนื้อดินปั้นและการเตรียม

เนื้อดินที่ใช้ในการขึ้นรูปนั้นใช้วัตถุดิบต่าง ๆ ผสมกัน เพื่อให้เนื้อดินมีความเหนียวพอเหมาะแก่การปั้น มีความแข็งแรง ช่วยเพิ่มหรือลดจุดสูกตัวให้ได้ตามความต้องการ วัตถุดิบหลักที่ใช้ประกอบด้วย หินฟันม้า หินควอตซ์ และดินชนิดต่าง ๆ เช่น ดินขาว ดินขาวเหนียว เป็นต้น เนื้อดินมี 3 สถานะ แต่ละสถานะเหมาะสำหรับขึ้นรูปแต่ละวิธี ดังนี้

ดินเหนียว (Plastic clay) เหมาะสำหรับใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีปั้นบนแป้นหมุน ขึ้นรูปด้วยไม้มัดอัดลงแบบและปั้นด้วยมือโดยอิสระ

น้ำดินชั้นหรือน้ำสลิป (Slip) เป็นน้ำดินชั้น ๆ เหมาะสำหรับใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อสลิป (Slip casting) ในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์

ดินผง (Powder clay) เหมาะสำหรับอัดลงแบบพิมพ์ที่เป็นโลหะและใช้แรงอัดสูง เพื่อให้เนื้อดินเกาะตัวกันได้แน่น

เนื้อดินปั้นชนิดน้ำดินและดินเหนียว มีวิธีเตรียมการในขั้นแรกอย่างเดียวกันคือ ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบตามส่วนผสมที่ต้องการ โดยการคำนวณน้ำหนักแห้ง การบดผสมควรใช้วิธีบดผสมกับน้ำ (Wet process) ในหม้อบด ควรบดหินก่อนโดยผสมดินไปเพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น เพราะหินมีความหยาบร่วนและแข็งแรงกว่าดิน เมื่อบดหินจนละเอียดพอควรแล้วจึงเติมดินส่วนที่เหลือทั้งหมดลงบดผสมต่อไปจนได้ความละเอียดพอกับความต้องการ แล้วจึงนำมาเตรียมเป็นเนื้อดินปั้นชนิดดินเหนียวหรือชนิดน้ำดินชั้น

1.3 วัตถุประสงค์การเตรียมเนื้อดิน

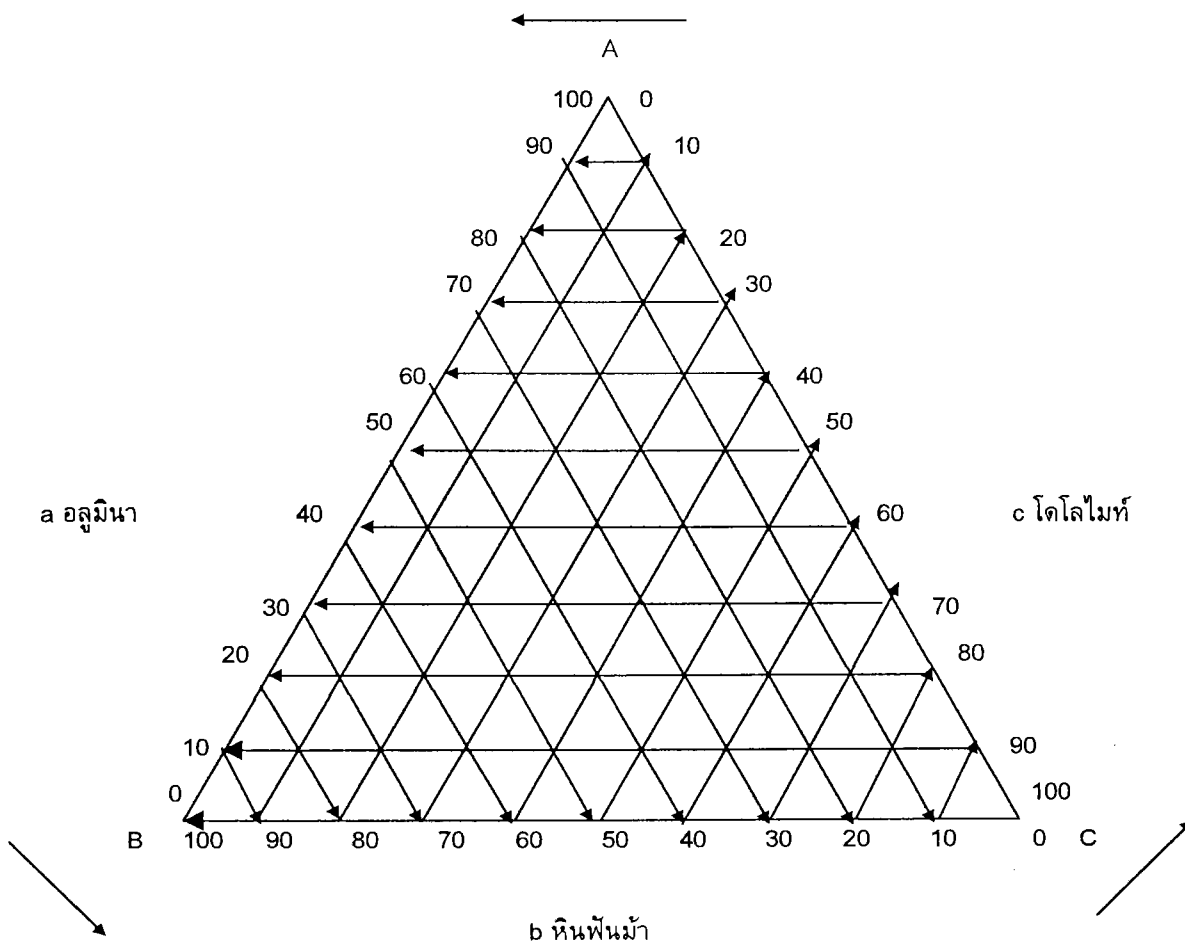
ในทางปฏิบัติเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการเตรียมดิน (Clay) การขึ้นรูป (Forming) การเผาดิบ (Biscuit firing) และเผาเคลือบ (Glost firing) ตลอดจนการตกแต่งด้วยสีบนเคลือบ (Over glaze decoration) ตามลำดับ ผู้ผลิตจำเป็นต้องวางหลักการอันแน่นอนว่าจะทำผลิตภัณฑ์ประเภทใด ชนิดใด และปรับปรุงคุณสมบัติอย่างไรจึงจะเหมาะสม วัตถุประสงค์ในการเตรียมเนื้อดินมีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อต้องการปรับปรุงสีของเนื้อดิน
2. เพื่อต้องการให้เนื้อดินมีความเหนียวมากขึ้น หรือต้องการความเหนียวไม่มากนัก เช่น

การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน ต้องการเนื้อดินที่มีความเหนียวมาก เป็นต้น

3. เพื่อต้องการควบคุมการหดตัวของเนื้อดิน เพื่อไม่ให้แตกร้าวและบิดงอ
4. เพื่อต้องการลดอุณหภูมิของเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่ให้สูงมากนัก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
5. เพื่อต้องการให้เนื้อดินมีความเหมาะสมกับน้ำเคลือบ ซึ่งจะทำให้เคลือบไม่ราน (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 77-78)

1.4 การคำนวณหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดิน ด้วยภาพประกอบ (Triaxial diagram)



ภาพประกอบ 1 แสดงวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของเนื้อดิน

เราสามารถคำนวณน้ำเคลือบ (Glaze) เนื้อดินปั้น (Clay body) หรือสีเคลือบ (Glaze colors) ได้จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า แล้วอ่านค่าออกมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละตัว ส่วนมากเป็นวิธีการทดลองแบบสุ่มหลาย ๆ จุด และเลือกเฉพาะจุดที่ได้ผลดีมาใช้งาน

วิธีอ่านค่าตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial diagram)

ให้ A, B, C เป็นวัตถุดิบ 3 ชนิด

การหาค่าของวัตถุดิบ A ให้อ่านตามค่าแกนนอน (←) ค่าให้อ่านที่ด้าน a

การหาค่าของวัตถุดิบ B ให้อ่านตามค่าแกนนอน (↘) ที่ลากจากฐาน A ไปฐาน B ค่าให้อ่านที่ด้าน b

การหาค่าของวัตถุดิบ C ให้อ่านตามค่าแกนนอน (↗) ที่ลากจากฐาน A ไปฐาน B ค่าให้อ่านที่ด้าน c

ค่าทั้ง 3 ค่าที่อ่านได้จากตารางนี้ เมื่อรวมกันแล้วจะต้องได้ร้อยละ 100 พอดี ถ้าหากว่ารวมกันแล้วได้มากหรือน้อยกว่าร้อยละ 100 แสดงว่าอ่านค่าใดค่าหนึ่งผิด (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534:65-66)

1.5 การขึ้นรูป

การขึ้นรูปคือ การปั้นหรือการทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการ มีวิธีทำได้หลายวิธี การปั้นบนแป้นหมุนถ้าปั้นของขนาดเล็ก ใช้แป้นหมุนไฟฟ้าที่มีความเร็วพอควรได้ ปั้นให้เนื้อดินมีความหนาบางเท่ากันหรือใกล้เคียงกันโดยตลอด ถ้าปากบางเกินหนาเกินควรผลิตภัณฑ์จะแตกที่กัน แต่ถ้าปั้นของใหญ่ เช่น ตุ่มน้ำควรรใช้แป้นที่หมุนช้าเพราะต้องปั้นเนื้อหนา อาจต้องปั้นทีละตอนหรือปั้นท่อนล่างก่อน แล้วรอให้เนื้อดินหมาดแข็งตัวพอทรงตัวได้ จึงจะต่อส่วนบนขึ้นไปได้ ในขณะที่ปั้นช่างปั้นมักใช้น้ำช่วยให้นิ้วเรียบและปั้นง่ายขึ้น ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจนมีน้ำขังอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ปั้น ก็จะทำให้แตกที่กันผลิตภัณฑ์

การหล่อพิมพ์ แบบพิมพ์ควรทำจากปูนปลาสเตอร์ที่มีคุณภาพด้านการดูดซึมน้ำได้ดี ถ้าแบบพิมพ์เก่าหรือขึ้นจะหล่อแบบได้ยาก เมื่อเผาแล้วผลิตภัณฑ์จะมีรอยตะเข็บปรากฏชัดเจน ดังนั้นในเรื่องการหล่อพิมพ์นี้ ตัวแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง ที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือมีตำหนิแตกเสียหาย การหล่อแบบต้องใช้ความระมัดระวังให้เนื้อดินมีความหนาพอเหมาะแก่รูปแบบและขนาด ถ้าหนาเกินไปทำให้เปลืองเวลา เปลืองวัสดุ ขาดความสวยงามและอาจจะร้าวได้ง่าย บางเกินไปก็จะบิดเบี้ยวง่ายแตกง่าย การเหน็บดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ ควรจะเทโดยเอียงแบบพิมพ์ด้านเดียว ด้านที่น้ำดินไหลออกจะหนากว่าส่วนอื่น ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาบางไม่เท่ากัน จะเป็นปัญหาในกระบวนการขึ้นต่อไป

การอัดบนแบบพิมพ์ ถ้าใช้ดินเหนียวอัดในแบบพิมพ์อาจใช้แบบพิมพ์โลหะ แบบพิมพ์ไม้ หรือแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ก็ได้ ใช้อัดด้วยแรงคนหรืออัดด้วยเครื่องก็ได้ ควรจะเตรียมดินให้มีขนาดรูปร่างปริมาณพอเหมาะกับแบบที่จะอัด เช่น การอัดพิมพ์กระเบื้องที่แผ่นแบบด้วยเครื่องอัด ควรตัดดินให้มีขนาดพอดีกับกระเบื้อง 1 แผ่น หรือถ้าจะอัดด้วยมือก็ควรทำดินให้เป็นแผ่นแบบตามขนาดเสียก่อน จึงจะอัดลงแบบพิมพ์ และทุบดินให้แน่นจะช่วยให้การอัดเป็นไปโดยสม่ำเสมอ ได้รวดเร็วขึ้นและมีผิวหน้าเรียบร้อย

ถ้าใช้ดินผงอัด เช่น การทำกระเบื้องเคลือบหรือกระเบื้องปูพื้น จำเป็นต้องอัดด้วยเครื่องที่มีแรงอัดสม่ำเสมอแน่นอน แบบพิมพ์เป็นโลหะ ปริมาณเนื้อดินที่ใช้ต้องพอเหมาะกับแบบและขนาด และต้องเท่ากันทุกครั้ง จึงจะได้ผลผลิตซึ่งมีคุณภาพเหมือนกัน

การปั้นด้วยจิกเกอร์ ปั้นด้วยดินเหนียว ใช้แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ส่วนใหญ่ใช้ปั้นจานเป็นพิมพ์คว่ำหรือปั้นถ้วยชามเป็นแบบพิมพ์หงาย ถ้าปั้นจานควรทำดินให้เป็นแผ่นวงกลมพอเหมาะกับ

ขนาดจานก่อน ส่วนการปั้นถ้วยหรือชามควรทำดินเป็นก้อน การใส่ดินลงบนพิมพ์หรือในพิมพ์ต้องใช้เทคนิคในการใส่ดินให้ได้จังหวะที่พอเหมาะ คือใช้แรงเหวี่ยงเล็กน้อยและให้ได้ศูนย์ ดินจะเกาะติดแบบพิมพ์ได้ดี สะดวกต่อการปั้น

1.6 การแต่งและการตากแห้ง

ผลิตภัณฑ์ปั้นเป็นรูปร่างได้แล้วนั้น มิใช่ว่าจะใช้ได้เลยทันที ต้องเก็บรอให้เนื้อดินพอหมาด แล้วจึงนำมาตกแต่งหรือตัดแต่งส่วนเกินออก และเช็ดน้ำเบา ๆ ให้ผิวเรียบเสียก่อน แล้วจึงเก็บผึ่งไว้ให้แห้งในที่ร่ม ไม่มีลมโกรก หรืออบในเตาอบที่มีความร้อนประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่เนื้อหนา ควรเก็บในห้องที่อับลมหรือมีผ้าคลุมไว้ให้น้ำระเหยออกช้า ๆ กันการแห้งเฉพาะผิวนอก เพราะต้องการให้แห้งพร้อมกันทั้งผิวนอกและเนื้อดินข้างในด้วย

วิธีวางผลิตภัณฑ์ผึ่งไว้ให้แห้งนี้ ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทปากกกลม เช่น ถ้วย จาน ควรวางซ้อนปากประกบกันให้เรียบร้อยกันการบิดเบี้ยว ถ้าเป็นแผ่นแบนเรียบเช่น กระเบื้องประดับ ควรเรียงซ้อนกันไม่เกิน 5 แผ่น ถ้าซ้อนกันมากเกินไป น้ำหนักจะล้นทับแผ่นล่างมาก ทำให้แผ่นล่างแตกได้ ควรเก็บวางไว้ในที่มีพื้นเรียบไม่ขรุขระ ไม่เอียงข้างใดข้างหนึ่ง เก็บไว้จนเห็นว่าแห้งดีแล้วจึงค่อยนำไปดำเนินการขั้นต่อไป

1.7 การเผาผลิตภัณฑ์

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของขบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งนับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะดีหรือไม่เพียงใด จะสวยงามมากน้อยเพียงใดหรือมีคุณค่ามากน้อยเพียงใด ก็จะขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเผาผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น การเผาผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้คือ การเผาดิบ (Biscuit firing) และการเผาเคลือบ (Glost firing) (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 152)

การเผาดิบ หมายถึง การนำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ปั้นแต่ง และผึ่งให้แห้งดีแล้วนำมาทำการเผา เพื่อให้คงรูปร่างอยู่ได้และป้องกันการเสียหายในการนำไปดำเนินการขั้นต่อไป การเผาดิบอาจทำได้ 2 วิธี (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. 2529 : 154) ดังนี้

1. เผาดิบที่อุณหภูมิสูงแล้วเผาเคลือบอุณหภูมิต่ำ ในกรณีที่ใช้น้ำเคลือบที่มีจุดหลอมละลายต่ำ จำเป็นต้องใช้วิธีนี้เพื่อให้ดินปั้นมีความแข็งแรง อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงหรือต่ำเป็นไปตามประเภทของผลิตภัณฑ์

2. เผาดิบที่อุณหภูมิต่ำแล้วเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 700 ถึง 800 องศาเซลเซียส

การเผาเคลือบ เป็นการเผาที่ทำให้น้ำเคลือบที่เคลือบผลิตภัณฑ์ไว้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน มีผิวเรียบ ด้านหรือมันวาว ตามแต่ชนิดของเคลือบ มีความแข็ง และสามารถทนต่อกรดและด่างได้ดี การเผาเคลือบจะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามข้อกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นอาจเกิดการเสียหายได้ เช่น เผาไฟเกิน (Overfire) ทำให้เคลือบไหลมาก อาจไหลติดพื้นเตาหรือชั้นรอง ยากแก่การเอาออก ทำให้เสียหายได้ และการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ (Underfire) มีผลให้เคลือบไม่เป็นมันเท่าที่ควร การเผาเคลือบที่ดีควรให้อัตราการเผาอยู่ในช่วง 100-150 องศาเซลเซียส ต่อชั่วโมง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ค่อนข้างหนา ควรยืดเวลาในการเผาให้ช้ากว่านี้ การเผาเคลือบไม่ควรเร่งการเผาให้เร็วเกินไป การเผาที่ใช้โคนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมินั้น ภายหลังจากที่โคนลึบแล้วควรเผาแช่ไว้ (Soaking periode) อีกประมาณครึ่งชั่วโมงจะทำให้การเผาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การปิดเตาหลังการเผาเคลือบได้ที่แล้วควรปล่อยให้เย็นประมาณ 24 ชั่วโมง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แตกเสียหาย (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523: 152-157)

บรรยากาศในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผา การเผาเครื่องเคลือบดินเผาโดยใช้บรรยากาศที่ต่างกันอย่างหนึ่ง จะมีผลให้สีของเนื้อดินและสีของน้ำเคลือบที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ในการเผาเครื่องเคลือบดินเผาจะมีการเผายู่ 2 แบบ คือ แบบบริดจ์ชัน และแบบออกซิเดชัน การเผาจะมีบรรยากาศเป็นแบบใดนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของเตาเผา และเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาซึ่งการเผาแต่ละแบบจะมีลักษณะที่ต่างกัน ดังนี้

1. การเผาแบบออกซิเดชัน เป็นการเผาที่กระทำให้อากาศในการเผาไหม้หมดจด การเผาหรือการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผา เพราะออกซิเจนและเชื้อเพลิงเหมาะสมกันดี เตาเผาที่สามารถเผาบรรยากาศออกซิเดชันได้ดีที่สุด คือ เตาเผาไฟฟ้า
2. การเผาแบบบริดจ์ชัน เป็นการเผาที่ให้อากาศในการเผาไหม้ไม่หมดจด การเผา

ใหม่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ โดยการลดอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ให้น้อยกว่าปกติ ซึ่งจะมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์และน้ำเคลือบ การเผาแบบนี้จะกระทำได้โดยใช้เตาเผาชนิดที่ใช้น้ำมัน แก๊สและฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ (มนัส ขำอ่อน. 2527 : 18)

2. ความรู้เกี่ยวกับเซรามิกส์สมัยใหม่ (New ceramics or Engineering ceramics)

เซรามิกส์ในกลุ่มนี้ นอกจากจะมีชื่อเรียกดังกล่าวแล้วยังมีชื่อเรียกอีกอย่างอื่น เช่น แอดวานซ์ เซรามิกส์ (Advanced ceramics) และนิยมเรียกไฟน์ เซรามิกส์ (Fine ceramics) ในประเทศญี่ปุ่น เป็นวัสดุพิเศษที่มนุษย์สร้างขึ้น (Manmade specialty material) ซึ่งมีลักษณะการนำไปใช้งาน คุณค่าและกรรมวิธีการขึ้นรูปต้องอาศัยความเที่ยงตรงแน่นอนสูง (High precision) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ทราดิชันแนล เซรามิกส์ (Traditional ceramics) พวกกระเบื้อง สุขภัณฑ์ ถ้วยชาม อิฐก่อสร้าง เป็นต้น (ปริญญา สายน้ำทิพย์. 2538 : 40)

ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ เป็นผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในกลุ่ม ไฮ-เทค (Hi - tech) เพราะต้องใช้เทคโนโลยีสูง และเพิ่งได้รับการพัฒนาในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ไฟน์ เซรามิกส์ ส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนทางวิศวกรรม (Engineering ceramics) เช่น โรเตอร์ (Rotor) แก๊ส เทอร์ไบน์ (Gas turbine) ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นชิ้นส่วนของมนุษย์ (Bio ceramics) เช่น กระดูกเทียม ฟันปลอม ผลิตภัณฑ์ ไฟน์ เซรามิกส์ นับวันจะมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในอนาคตและทดแทนการใช้โลหะมากขึ้น (อนันต์ภักดิ์ โชติมงคล. 2538 : 55)

เราสามารถแบ่งแอดวานซ์ เซรามิกส์ (Advanced ceramics) ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะฟังก์ชันแนล เซรามิกส์ (Functional ceramics) และลักษณะสตรักเจอร์ล เซรามิกส์ (Structural ceramics)

2.1 ฟังก์ชันแนล เซรามิกส์ (Functional ceramics) หมายถึง วัสดุเซรามิกส์ที่ถูกนำไปใช้ประกอบเป็นอุปกรณ์ สำหรับอุตสาหกรรมที่ถือว่าอยู่ระหว่างการเติบโต (Growth industries) เช่น อิเล็กทรอนิกส์

2.2 สตรักเจอร์ล เซรามิกส์ (Structural ceramics) หมายถึง วัสดุเซรามิกส์ที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เติบโตเต็มที่แล้ว (Mature industries) โดยใช้เกี่ยวกับความร้อนทางกล (Thermal and mechanical application) โดยใช้ในการป้องกันความร้อน (Thermal) การขัดสี (Abrasive) และการกัดกร่อน (Corrosive resistances) วัสดุกลุ่มนี้ ร้อยละ 77 ทำจากอลูมินา ที่เหลือเป็นซิลิกอนไนไตรด์ (Silicon

nitride (Si_3N_4) ร้อยละ 9 ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide (SiC)) ร้อยละ 6 และพาทอล สทาบิลิซเซอโคเนีย (Partial stabilized zirconia (PSZ)) ร้อยละ 6

ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ที่กำลังพูดถึงกันอยู่มากคือ เครื่องยนต์เซรามิกส์ (Ceramics engines) ตามลักษณะการใช้งาน

Functional ceramics

- Capacitors
- I.C. Packages
- Substrates
- Hard and soft magnets
- Piezoelectric devices
- Thermistors, Varistors
- Superconductors
- Spark plugs
- Optical fibers
- Ceramics sensors
- Catalysts carriers

Structural ceramics

- Cutting tools
- High abrasion / Wear resistance
- High temperature resistance
- Bioceramics
- Ceramics Engine parts
- Coating film

การแบ่ง Advancer ceramics ตามชนิดของวัตถุ

Silicates

- Fused refractories
- Zircon
- Steatite
- Cordierite
- Glass – ceramics

Oxide

- Mullite
- Ferites
- Titanates
- Zirconates
- Phosphates
- Alumina

- Titania
- Magnesia
- Zirconia
- Urania

Non – oxide

- Oxides
- Carbon
- Carbides
- Borides
- Silicide
- Nitrides
- Sulfides

อุตสาหกรรมที่รองรับ ฟังก์ชันแนล เซรามิกส์ และสทริกเจอร์ล เซรามิกส์ นั้น ไม่ได้ถูกแบ่งอย่างชัดเจน ดังนั้นบางครั้งอาจมีการสับสนได้ อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่เห็นได้ชัดคือ การแข่งขัน (Competitions) เทคโนโลยี การใช้งานกลุ่มลูกค้า และความอยู่ตัวของอุตสาหกรรม (Maturity) ตัวอย่างเช่น เซรามิกส์ คาพาซิเตอร์ (Ceramics capacitor) ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เปรียบเทียบกับวัสดุซิลิคอน คาร์ไบด์ (Silicon carbide) ซึ่งใช้ในเครื่องมือตัด (Cutting tools) จะเห็นได้ว่า ทั้งสองสินค้ามีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ในแง่ของตลาดลูกค้าและเทคโนโลยี ดังนั้นพื้นฐานของอุตสาหกรรมทั้งสองจะแตกต่างกันไป ทำให้ปัจจัยแห่งความสำเร็จและอุปสรรค ต่อการที่จะเข้าไปประกอบกิจการ ทั้งสองประเภทนี้จึงแตกต่างกันไป ญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมากที่สุด ในกลุ่มแอดวานซ์ เซรามิกส์ เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ ในโลก มีส่วนแบ่งตลาด (Market share) ถึง 2 ใน 3 ของทั้งหมด แสดงมูลค่าและอัตราส่วนการตลาดแอดวานซ์ เซรามิกส์ ของโลกเมื่อปี 1987

ตาราง 1 แสดงปริมาณของตลาดแอดวานซ์เซรามิกส์ (Advanced ceramics) เมื่อปี 1987 (โดยประมาณ)

| | โลก (World) | ญี่ปุ่น (Japan) | สหรัฐอเมริกา (U.S.A) | ยุโรป (Europe) |
|-------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|
| Functionals | 7.6 (69%) | 5.4 | 1.6 | 0.6 |
| Structurals | 3.4 (31%) | 2.3 | 0.3 | 0.8 |
| Total | 11.0 (100%) | 7.0 (70%) | 1.9 (17%) | 1.4 (13%) |

ตาราง 2 ความต้องการแอดวานซ์เซรามิกส์ (Advanced ceramics) ในประเทศสหรัฐอเมริกา (โดยประมาณ)

| | 1987 | 1990 | 1995 | 2000 |
|-------------|-------|---------------|-------|----------------|
| Functionals | 1,600 | 1,900 | 6,565 | 3,485 – 11,360 |
| Structurals | 300 | 631 - 736 | 3,399 | 2,410 – 7,286 |
| Total | 1,900 | 2,531 – 2,636 | 9,964 | 9,895 – 18,646 |

ตาราง 3 แสดงการคาดคะเนมูลค่าตลาดแอดวานซ์ เซรามิกส์ (Advanced ceramics) ของญี่ปุ่น

| | 1987 | 1990 | 1995 | 2000 |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|
| Substrates | | 196 | 288 | 423 |
| Thermistors / Varistors | | 50 | 73 | 108 |
| Magnetics | | 233 | 331 | 456 |
| Capacitors / Piezoelectrics | | 340 | 500 | 735 |
| Spark plugs | | 50 | 58 | 66 |
| Sensors | | 20 | 28 | 38 |
| Optical fibers | | 20 | 370 | 921 |
| Superconductors | | 117 | 150 | 450 |
| Total Functions | | 1,006 | 1,798 | 3,197 |
| Structurals | | | | |
| Hard materials | | 94 | 127 | 1,710 |
| Abrasive resistance | | 21 | 33 | 53 |
| High temp. / Wear | | 20 | 55 | 136 |
| Bioceramics | | 4 | 15 | 82 |
| Total Structurals | | 139 | 230 | 1,981 |

โดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่า ตลาดแอดวานซ์ เซรามิกส์ (Advanced ceramics) จะถูกครอบครองโดยผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนมาก และยังมีแนวโน้มการเติบโตอีกมาก เพราะอุตสาหกรรมประเภทนี้ยังเจริญเติบโตไปอย่างไม่หยุดยั้ง มีการพัฒนาสินค้าและเทคโนโลยีใหม่ ๆ ตลอดเวลา สำหรับกลุ่มสทริก เซอร์รัล เซรามิกส์ (Structural ceramics) โดยเฉพาะกลุ่มที่เรียกว่าซูเปอร์แมทีเรียล (Supermaterials) เช่น ซิลิกอนไนไตร (Si₃N₄) เซียลอน (Sialon) โบรอนคาร์ไบด์ (Boron carbide) ปัจจุบันถึงแม้มีมูลค่าไม่มากนัก แต่ในอนาคตก็นับว่าค่อนข้างดี ทั้งนี้และทั้งนั้นขึ้นอยู่กับความสำเร็จในการนำเอาวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์

โดยรวมมูลค่าตลาดแอดวานซ์เซรามิกส์ (Advanced ceramics) มีแนวโน้มเติบโตค่อนข้างสูง (5-8 % ต่อปี) ทำให้เป็นกิจการที่น่าจับตามอง และเป็นที่น่าสนใจของนักลงทุนอย่างมาก

สำหรับอุตสาหกรรมแอตวานซ์ เซรามิกส์ ในประเทศไทย ถึงแม้ปัจจุบันมีอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าพวกไอซี แพคเกจจ (IC-packages) และอิเล็กทรอนิกส์ คอมโพเนนท์ (Electronic component) อยู่พอสมควร และเกือบ 101 เปอร์เซ็นเป็นการเอาวัสดุแอตวานซ์ เซรามิกส์ มาประกอบเท่านั้น ไม่ได้มีการผลิตวัสดุขึ้นมาเอง ตัวอย่างผู้ประกอบการกลุ่มนี้ เช่น ชิกเนติก ไทยแลนด์, เอที แอน ที ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ไทย) (รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง, 2542: 170-175)

ปัจจุบันสรุปแล้ว อุตสาหกรรมแอตวานซ์เซรามิกส์ ภายในประเทศยังไม่เกิด เราไม่มีขีดความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีประเภทนี้ขึ้นมาเอง ตัวเลขมูลค่าเงินลงทุนในโครงการกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุน ถึงแม้จะแสดงให้เห็นอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วก็ตาม ทั้งหมดนี้เป็นอุตสาหกรรมประเภทประกอบชิ้นส่วน อาศัยแรงงาน มิใช่เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีของเราเอง หากพิจารณาและประเมินขีดความสามารถของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ไทย ในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้นี้ ก็จะเห็นได้ว่าประเทศไทยยังคงมีการพัฒนาความสามารถในการผลิตทางด้านเทรดิชันแนล เซรามิกส์ (Traditional ceramics) ต่อไป ด้วยประสบการณ์ที่สะสมประกอบกับบุคคลที่ได้รับการพัฒนา จะทำให้เราเข้าสู่การผลิตพวกแอตวานซ์เซรามิกส์เบื้องต้นได้ เช่น พวกสปาร์ก พ्लัก, กริดิง มีเดีย (อลูมินา บอล) (Spark plug, Griding media (Alumina balls)) และ ไลเนอร์ (Liners) ระยะเวลาต่อไป เรียนรู้การทำพวก ไฮ อลูมินา ซับสเตรท (High alumina substrate) สำหรับใช้กับพวกไอซี (I.C.) เป็นต้น ทั้งหมดที่กล่าวมา ยังเป็นการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีไม่สูงและสลับซับซ้อนมากนัก ถ้าเราผลิตแอตวานซ์ เซรามิกส์ กลุ่มนี้ได้ เราก็จะมีประสบการณ์และความสามารถที่จะก้าวไปสู่การผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ ไฮ- เทค (Hi-tech) มากขึ้นในอนาคต (ปริญญา สายน้ำทิพย์, 2538: 39-56)

3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

3.1 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ชนิดดั้งเดิม

ความเป็นมาและลักษณะเด่น จากการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ ที่นำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย พบว่ายังมีการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดดั้งเดิมประเภทเครื่องปั้นดินเผาอยู่อีกบ้าง โดยใช้กับเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งไม่ค่อยคม และการขัดสีไม่รุนแรงนัก ทั้งนี้จากการศึกษาส่วนประกอบเชิงแร่ของส่วนที่เป็นเนื้อดินพบว่า ประกอบด้วยแร่มีลไลต์ ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) และควอตซ์ (SiO_2) เป็นหลัก จึงจัดเป็นเนื้อดินประเภท Triaxial body ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดิน ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) แร่ฟันม้า ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) และ ควอตซ์ (SiO_2) เนื้อดินประเภทนี้ถูกนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดต่าง ๆ มากมาย โดยอัตราส่วนผสมมีหลากหลายมาก ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ชนิดใด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานทางเทคนิคจะนิยมใช้ส่วนผสมประเภท ฮาร์ด ปอร์ซเลน (Hard porce lain) ซึ่งส่วนผสมพื้นฐานประกอบด้วย ดินร้อยละ 50 ควอตซ์ ร้อยละ 10-15 แร่ฟันม้าร้อยละ 17-30 (Schuller, 1979) ในการศึกษาทดลองนี้จะนำส่วนผสมทั้งสองแบบที่กล่าวข้างต้นมาเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกส์ดั้งเดิมจากวัตถุดิบในประเทศ รวมทั้งทดลองหาเคลือบที่ทนต่อการขัดสีและเข้ากันได้กับเนื้อดิน เพื่อผู้ประกอบการจะได้ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

ในการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกส์ดั้งเดิมจากวัตถุดิบในประเทศในวิธีหล่อแบบต้น จะศึกษาสมบัติของเนื้อดินและเคลือบ เพื่อสรุปส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตที่ระดับอุณหภูมิประมาณ 1330 องศาเซลเซียส ได้ดังต่อไปนี้

เนื้อดิน (HPQ 1)

| | |
|--------------------------------|----|
| ดินขาวราธิวาส, ร้อยละ | 35 |
| ดินขาวเหนียวปราจีนบุรี, ร้อยละ | 8 |
| ดินบอลล์เคลย์ลานสกา, ร้อยละ | 9 |
| ควอตซ์, ร้อยละ | 25 |
| แร่ฟันม้า Super spar, ร้อยละ | 25 |

น้ำสลิป

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

เคลือบ

ส่วนผสมที่เหมาะสมมี 2 สูตร ดังนี้

| | | |
|---|-------|------------------------------|
| | G 865 | G 965 |
| แร่ฟันม้า Super spar, ร้อยละ | 49.68 | 45.96 |
| หินปูน, ร้อยละ | 13.87 | 12.83 |
| ควอตซ์, ร้อยละ | 25.87 | 31.40 |
| <u>เติม</u> | | |
| เซอร์โคเนียม ซิลิเกต | 10 | 10 |
| มอดุลัสแตกกร้าว | | 105 เมกะพาสคัล |
| ความแข็งวิกเกอร์ของเคลือบ | | 627-634 Vickers Hardnes (HV) |
| (รายงานกิจกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2540. 87-88) | | |

3.2 การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ

สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ (Ceramic thread guides) เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ ที่สั่งเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ซึ่งมีสีและความแข็งต่างกันคือ สีชมพูอ่อน ความแข็ง 1800 Vicker Hardness (HV) สีชมพูเข้ม ความแข็ง 1200 HV และสีม่วงแดง ความแข็ง 1100 HV มาศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติลักษณะเฉพาะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว เพื่อให้มีข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนากระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ต่อไป

การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้สามารถทำงานด้วยความเร็วสูงขึ้น รวมทั้งการนำเส้นใยประดิษฐ์ที่คมและแข็งแรงเข้ามาใช้ในการผลิต ทำให้จำเป็นต้องใช้วัสดุหรือชิ้นส่วนที่ทนต่อการสึกหรอได้สูง มาช่วยนำร่องและหันเหเส้นด้ายไปยังจุดต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว เส้นด้ายที่ทำด้วยใยสังเคราะห์ เมื่อถูกดึงให้วิ่งด้วยความเร็วสูง จะเกิดการขัดสีกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรอย่างรุนแรง ถ้าวัสดุที่รองรับจุดสัมผัสไม่มีความแข็งพอ จะเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว อาจจะในเวลาเพียงไม่กี่วันเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำเอาวัสดุเซรามิกส์ซึ่งมีความแข็งสูงมาใช้ตรงจุดดังกล่าว ในบรรดาวัสดุเซรามิกส์ทั้งหลายที่ใช้งานได้ดี ได้แก่ อลูมินา ไทเทเนียมไดออกไซด์ และวัสดุที่เพิ่งจะได้รับ

การพัฒนาขึ้นมาใหม่เมื่อไม่นานมานี้ คือเซอร์โคเนียไดออกไซด์ (90 เปอร์เซ็นต์ Tetragonal ZrO_2) ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยอลูมินาจะได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีความแข็งสูงเป็นพิเศษ อีกทั้งมีความแข็งแรงเชิงกลดีมาก และผลิตได้ง่าย ขณะนี้ผู้ประกอบการสิ่งทอของไทยโดยเฉพาะในการปั่นด้าย ได้นำเครื่องจักรกำลังการผลิตสูง ชนิดตัวนำร่องเส้นด้ายทำด้วยเซรามิกส์เนื้ออลูมินาเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อผลิตสินค้าให้ทันกับความต้องการ และมีต้นทุนการผลิตถูกลง ในเครื่องจักรดังกล่าวแต่ละชุดจะมีตัวนำร่องเซรามิกส์ขนาดเล็ก ๆ รูปร่างซับซ้อนติดอยู่เป็นจำนวนมาก ประมาณไม่น้อยกว่า 800 ชิ้นต่อเครื่อง โดยปกติแล้วชิ้นส่วนพวกนี้ ไม่ค่อยสึกหรอ และมีอายุการใช้งานนานมากกว่า 10 ปี แต่ในการผลิตด้วยความเร็วสูงนั้นพบว่า ตัวนำร่องซึ่งติดไว้กับเครื่องด้วยการทากาว ปัจจุบันประเทศไทยเรายังไม่สามารถผลิตตัวนำร่องเส้นด้ายได้เอง ต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศได้แก่ ญี่ปุ่น ไต้หวัน ด้วยราคาที่ค่อนข้างแพง โดยชิ้นส่วนช่วยเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นด้ายเพียงชิ้นเล็ก ๆ ก็มีราคาไม่ต่ำกว่า 50 บาท ดังนั้น เพื่อเป็นการช่วยส่งเสริมและสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้เกิดความคล่องตัวในการผลิตและพัฒนาก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น กรมวิทยาศาสตร์บริการและกรมทรัพย์สินทางปัญญา โดยความสนับสนุนของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ จึงได้จัดทำโครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ขึ้น เพื่อพัฒนาความรู้และกรรมวิธีการผลิต แต่เนื่องจากยังขาดข้อมูลเบื้องต้น ที่จะเป็แนวทางในการศึกษาค้นคว้าทดลอง คณะผู้วิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงได้เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายของต่างประเทศ ที่ผู้ประกอบการสั่งเข้ามาใช้ มาศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ในส่วนของการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาเนื้ออลูมินา

ได้เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเนื้ออลูมินาในห้องทดลอง ซึ่งจำแนกชนิดตามสี และความแข็งออกเป็น 3 ประเภท คือ สีชมพูอ่อน ความแข็ง 1800 (HV) สีชมพูเข้ม ความแข็ง 1200 HV และสีม่วงแดง ความแข็ง 1100 HV มาศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติและลักษณะทางกายภาพได้แก่ ความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray

fluorescence spectrometer, XRF)

การดูดซึมน้ำ

ใช้เทคนิคการแทนที่น้ำของอาร์คิมิดีส (Archimedes)

ลักษณะผิว

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดตรวจพินิจลักษณะทั่วไป

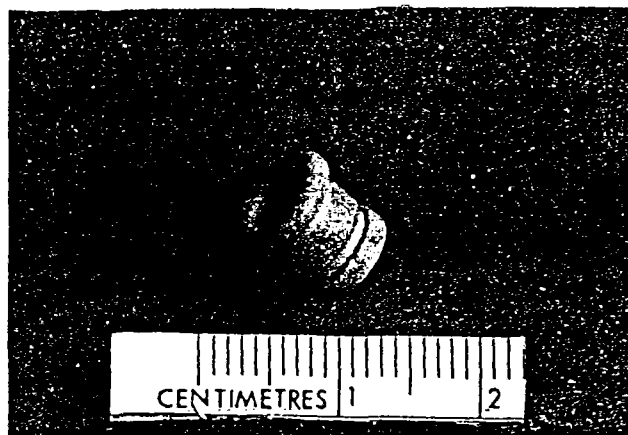
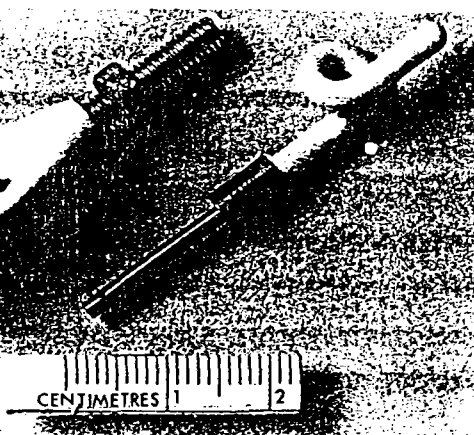
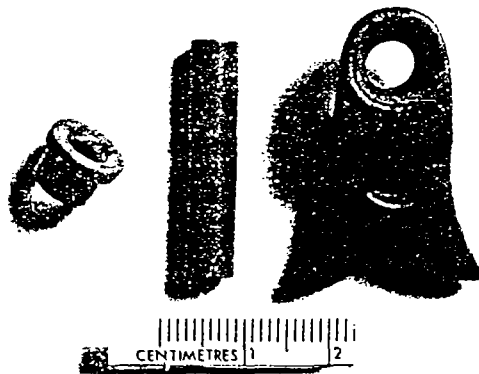
ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพด้าน ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว

| รายการ | สีชมพูอ่อน | สีชมพูเข้ม | สีม่วงแดง |
|--------------------------------|------------|------------|-----------|
| องค์ประกอบทางเคมี | - | - | - |
| SiO ₂ , ร้อยละ | 4.93 | 4.84 | 10.8 |
| Al ₂ O ₃ | 91.73 | 88.97 | 81.05 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.16 | 2.90 | 0.33 |
| CaO | 0.51 | 1.16 | 1.08 |
| MgO | 0.56 | 0.74 | 0.85 |

ตาราง 4 (ต่อ)

| รายการ | สีชมพูอ่อน | สีชมพูเข้ม | สีแดงม่วง |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| Na ₂ O | <0.20 | <0.20 | 0.23 |
| K ₂ O | 0.06 | 0.02 | 0.23 |
| TiO ₂ | 0.08 | 0.11 | 0.19 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 | 0.69 | 4.04 |
| H ₂ O | 0.52 | 0.09 | - |
| Loss on Ignition | 0.60 | 0.18 | - |
| ความแข็ง HV | 1800 | 1200 | 1100 |
| การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| ลักษณะผิว | เป็นพื้นราบ มีหลุม | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มี ขอบคม | เป็นคลื่น ไม่มีขอบคม มีรูพรุนอยู่ทั่วไป |

(สุจินดา โชติพานิชและคณะ, (2541). การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ. บทความวิชาการ. (10). 46)



ภาพประกอบ 2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายที่ใช้ในท้องตลาด

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ สีชมพูอ่อนความแข็ง 1800 HV สีชมพูเข้มความแข็ง 1200 HV และสีแดงม่วงความแข็ง 1100 HV พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สี ได้รับการเผาจนเนื้อสุกตัว (Virtified) ดีมาก โดยจะเห็นได้จากการดูดซึมน้ำเป็นศูนย์และผิวเป็นมัน ส่วนองค์ประกอบทางเคมีสมบัติและลักษณะทางกายภาพได้แก่ ความหนาแน่น ลักษณะผิวและโครงสร้างมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ดังต่อไปนี้

สีชมพูอ่อน มีปริมาณอลูมินาและความหนาแน่นสูงสุดคือ มีอลูมินาสูงถึงร้อยละ 91.79 ความหนาแน่น 3.92 กรัม/ลบ.ซม. นอกจากอลูมินาแล้ว ยังมีสารช่วยการเผาอบผลึก (Liquid phase sintering) ได้แก่ ซิลิคอนไดออกไซด์ ร้อยละ 4.93 แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 0.51 แมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 0.56 และสารช่วยทำให้เกิดสีชมพูอ่อนคือ โครเมียมออกไซด์ ร้อยละ 0.01 เนื่องจากปริมาณสารช่วยเผาอบผลึกมีอยู่น้อย โครงสร้างของผลิตภัณฑ์สีชมพูอ่อนจึงมีเนื้อแก้วอยู่ไม่มากนัก โครงสร้างหลักประกอบด้วยอลูมินาทั้งละเอียดและหยาบ ผลึกตัวติดกันแน่นแทบจะไม่มีรูพรุนตัวอยู่เลย ด้วยเหตุนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นและความแข็งสูงมาก ผลิตภัณฑ์สีชมพูอ่อนจัดเป็นผลิตภัณฑ์อลูมินาคคุณภาพดีที่สุด ลักษณะผิวจากภาพขยาย 1000 เท่า เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคมที่จะทำอันตรายเส้นด้าย

สีชมพูเข้ม มีปริมาณอลูมินาและความหนาแน่นสูงปานกลางคือ อลูมินา ร้อยละ 88.97 ความหนาแน่น 3.41 กรัม/ลบ.ซม. ปริมาณสารช่วยเผาอบผลึกของออกไซด์ใกล้เคียงกับสีชมพูเข้ม นอกจากนี้ยังพบว่ามีเฟอริกออกไซด์อยู่ด้วยประมาณ ร้อยละ 2.9 เนื่องจากปริมาณสารช่วยเผาอบผลึกมีอยู่มากกว่าสีชมพูอ่อน โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จึงมีส่วนที่เป็นเนื้อแก้วอยู่มากพอสมควร ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างก็เปลี่ยนไป กล่าวคือการยึดติดกันของเนื้อ นอกจากการยึดติดกันด้วยผลึกโดยตรงแล้ว ยังมีการยึดติดกันด้วยแก้วและรูปร่างของผลึกส่วนใหญ่ จะเป็นทรงยาวคล้ายปริซึม นอกจากนี้ยังมีรูพรุนปิด (closed pore) อยู่ทั่วไป และบางรูพรุนมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำกว่าผลิตภัณฑ์สีชมพูอ่อนมาก รวมทั้งมีความแข็งต่อยกกว่าด้วย ส่วนลักษณะผิวจากภาพขยาย 1000 เท่า พบว่าเป็นพื้นราบคล้ายคลึงกับสีชมพูอ่อน ไม่มีขอบคม

สีแดงม่วง มีปริมาณอลูมินาและความหนาแน่นที่สุดคือ มีอลูมินา ร้อยละ 81.05 ความหนาแน่น 3.28 กรัม/ลบ.ซม. ปริมาณสารช่วยเผาผลึก ได้แก่ ซิลิคอนไดออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ มีอยู่สูงมากคือ ร้อยละ 10.8, 1.08 และ 0.85 ตามลำดับ ปริมาณสารให้สีโครเมียมออกไซด์ก็มีอยู่สูงร้อยละ 4.04 จึงทำให้สีเข้มขึ้นมากจนเป็นสีแดงม่วง เนื่องจากปริมาณสารช่วยเผาผลึกมีอยู่สูงมาก จึงทำให้โครงสร้างมีส่วนที่เป็นเนื้อแก้วมากขึ้น ผลึก อลูมินาเป็นทรงยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อพื้นแก้ว มีรูพรุนปิดทั้งขนาดใหญ่ และขนาดเล็กอยู่ทั่วไป และในปริมาณมากกว่าสีชมพูเข้มด้วย เหตุนี้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สีแดงม่วงมีความหนาแน่นและความแข็งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สี ที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนลักษณะผิวจากภาพขยาย 3000 เท่า จะเห็นชัดว่าเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม

จากผลการศึกษาข้างต้นนี้ ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมสมบัติทางกายภาพลักษณะผิว และโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเนื้ออลูมินาสีชมพูอ่อน ชมพูเข้มและแดงม่วง ซึ่งมีความแข็งแตกต่างกัน ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ในเชิงวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse engineering) ต่อไปได้ (สุจินดา โชติพานิชและคณะ. 2541: 45 – 49)

3.3 การเตรียมและการศึกษา ลักษณะเฉพาะผลิตภัณฑ์อลูมินาเซรามิกส์ที่มีความหนาแน่นสูง สำหรับงานด้านความทนทานต่อการสึกกร่อน

ซึ่งการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมอลูมินาเซรามิกส์ ประเภทที่มีอลูมินาเป็นส่วนประกอบร้อยละ 99 ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบไอโซสแตติก โดยใช้ความดันในการขึ้นรูปในช่วง 100 – 250 เมกะปาสคาล นำไปเผาซินเทอริงที่อุณหภูมิ 1500-1650 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการเตรียม และผลิตภัณฑ์สุดท้าย อาทิ ความหนาแน่น ความทนทานต่อการกัดกร่อน ความแข็ง ความต้านทานต่อการสึกกร่อน เป็นต้น จากการทดลองพบว่า ความดันที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูปจะมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นและการจัดเรียงตัวของอนุภาคในชั้นตัวอย่างก่อนเผา เมื่อให้ความดันสูงอนุภาคจะอัดตัวกันแน่นขึ้น อุณหภูมิซินเทอริงที่เหมาะสมกับกระบวนการเตรียมคือ 1,550 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นสูง

4. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

4.1 อลูมินา (Alumina)

อลูมินาคือ อลูมิเนียมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบของหินและแร่หลายชนิด เป็นตัวช่วยปรับการไหลตัวของน้ำเคลือบ ปริมาณของอลูมินาในเคลือบจะมีผลต่อความทนไฟและจุดสุกตัวของเคลือบ ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เคลือบตกผลึกได้ยาก นอกจากนี้อลูมินายังมีอิทธิพลต่อเคลือบ ในการเพิ่มความแข็งแรงแก่เคลือบ ใช้แก้ปัญหาในการรานของเคลือบ และสามารถใช้ออกซิไดซ์ของเคลือบ โดยดูที่อัตราส่วนของอลูมินาต่อซิลิกาคือ

| | | | |
|---------|---|---------|---|
| อลูมินา | : | ซิลิกา | ชนิดของน้ำเคลือบ |
| 1 | : | 2.5 – 5 | เคลือบด้าน |
| 1 | : | 7 – 12 | เคลือบใส |
| 1 | : | 15 - 20 | เคลือบผลึก (สูตรศักดิ์ โกลิยพันธ์. 2534 : 11) |

อลูมินามีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ โดยทั่วไปจะพบ อลูมินาในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. $\gamma - Al_2O_3$ ซึ่งมีความเสถียรถึง 1,000 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณของน้ำอยู่เล็กน้อย

2. $\alpha - Al_2O_3$ หรือที่รู้จักกันในชื่อของคอร์ันดัม (Corundum) ซึ่งเป็นรูปที่มีความบริสุทธิ์ที่สุด โดยได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูง

3. $\beta - Al_2O_3$ เป็นองค์ประกอบของ $Na_2O \cdot 11 Al_2O_3$
ประโยชน์

1. ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นชนิดปอร์ซเลน (Porcelain) เรียกว่า Alumina Porcelain และผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าแรงสูงเช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความแข็งแรง (ใช้อลูมินา ร้อยละ 12 – 17.5)

2. ใช้ในงานเคลือบด้าน (Opaque) ใช้อลูมินา ร้อยละ 2 – 5

3. ใช้ในงานอุตสาหกรรมวัสดุทนต่อการกัดกร่อน (Abrasion-resistance purposes) และวัสดุทนไฟ (Refractory purposes) เช่น หัวเทียน, หลอดเทอร์โมคอปเปิ้ล (Therocouple) ทั้งนี้เพราะอลูมินาที่เผาที่อุณหภูมิ 1600 – 1900 องศาเซลเซียส เรียกว่า ซินเทอรัอลูมินา (Sintered alumina) จะมีความหนาแน่นและความแข็งแรงสูง

4. ใช้ในอุตสาหกรรมอิฐทนไฟ (High alumina bricks)

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

1. ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว
2. จุดหลอมตัว (Melting point) 2050 องศาเซลเซียส ถ้าเผาถึง 1600 – 1900 องศาเซลเซียส จะได้ซินเทอร์ออลูมินา (Sintered alumina)
3. มีความทนไฟสูงเนื่องจากจุดหลอมตัวสูง แต่กรณีเกิดการรวมตัวกับฟลักซ์ (Flux) ประเภทอัลคาไลด์ (Alkali) จะลดความทนไฟของเนื้อดิน
4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) 3.9 – 4.1
5. ความแข็ง (Hardness) 9 (Moh's scale)

ลักษณะธรรมชาติทางธรณี

1. รูปผลึกระบบเฮกซะโกเนล (Hexagonal)
 2. สิ่งเจือปน (Impurities) : Clay, Fe_2O_3 (ร้อยละ 0.5 – 12), SiO_2 (ร้อยละ 3 – 25)
- วัตถุดิบ โดยทั่วไปอลูมินามักพบในรูปของไฮเดรต (Hydrate) จำพวก หินบอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งประกอบด้วยแร่สำคัญ 3 ชนิดคือ

1. กิบไซต์ (Gibbsite) ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
2. ไดอสปอร์ (Diaspore) ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
3. บอกไซต์ (Bauxite) ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

แหล่งที่พบ

- หินบอกไซต์ (Bauxite rock) : จาไมกา อังกฤษ กัวนา ยูโรป รัสเซีย ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา
- คอรันดัม (Corundum) ($\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$) : อัฟริกา กรีซ แคนาดา สหรัฐอเมริกา

ตาราง 5 แสดงสมบัติของ Alumina

| Characteristic | ชนิดของ Alumina | | | |
|---|-----------------|----------|----------|---------------|
| | Calcined | Calcined | Low-soda | Tabular alpha |
| Al_2O_3 , % | 98.9 | 99.2 | 99.5 | 99.5 |
| SiO_2 , % | 0.02 | 0.02 | 0.08 | 0.06 |
| Fe_2O_3 , % | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.06 |
| Na_2O , % | 0.45 | 0.45 | 0.2 | 0.02 |
| L.O.I., % | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0 |
| Bulk density, Packed lb/ft ³ | 68 | 68 | 80 | 135 |
| Firing shrinkage linear % | 19 - 23 | 20 - 22 | 14 - 16 | 10 |

- Calcined alumina ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรงสูง, ทนต่อการกัดกร่อน
 - Low – soda alumina ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า
 - Tabular alumina ใช้ทำวัสดุทนไฟ และวัสดุทนต่อการกัดกร่อน
- (Ceramic raw-material. 2538 : 68 - 71)

13

รายละเอียด (SPECIFICATION)

อลูมินาบริสุทธิ์ A-21 (CALCINED ALUMINA A-21)

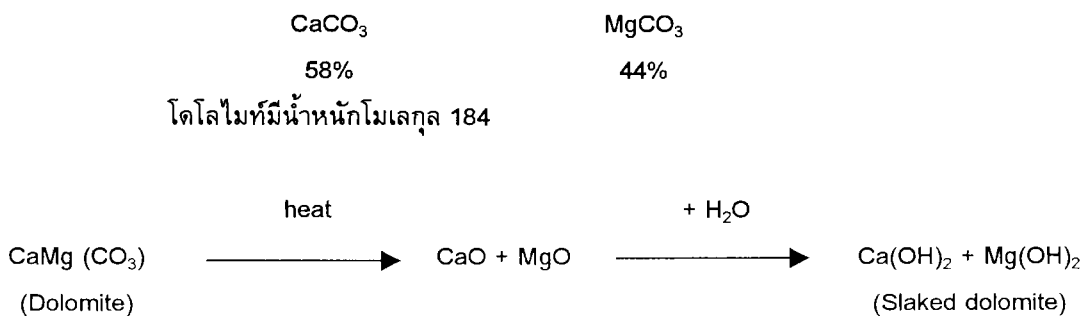
จาก : ญี่ปุ่น (ORIGIN : JAPAN)

| | |
|--------------------------------|-------|
| Al ₂ O ₃ | 99.7 |
| Na ₂ O | 0.27 |
| SiO ₂ | 0.01 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.01 |
| L.o.i | 0.06 |
| Ave.grain diameter (micron) | 40.00 |
| Specific gravity | 3.93 |
| Ultimate gravity | 3.40 |
| Bulk density (packed) | 1.05 |
| Bulk density (loose) | 0.75 |
| Angle of Repose | 48.00 |

ผลการวิเคราะห์หรือลูมินาจากบริษัท เซอร์นิคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

4.2 โดโลไมท์ (Dolomite)

เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbonate) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) (MgCO₃.CaCO₃) มีความถ่วงจำเพาะ 2.80 – 2.90 มีความแข็ง 3.5 – 4 ทนความร้อนได้ถึง 1700 °C (3,092 °F) ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น น้ำเคลือบและวัตถุดิบไฟ ซึ่งมี ส่วนประกอบทางเคมีดังนี้



ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหินโดโลไมท์ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

| | |
|--|--------|
| Loss on ignition | 46.30% |
| Silica (SiO ₂) | 0.12% |
| Alumina (Al ₂ O ₃) | 1.20% |
| Iron oxide (Fe ₂ O ₃) | 0.50% |
| Calcium oxide (CaO) | 31.90% |
| Magnesium oxide (MgO) | 20.80% |

ตาราง 6 แสดงสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต (Physical properties of calcium and magnesium carbonates)

| วัตถุดิบ | สูตร | ถ.พ. | ความแข็ง | M.P. (°C) | B.P. (°C) | Solubility |
|-------------------|--|------|-----------|------------------------------------|----------------|---|
| Calcium carbonate | CaCO ₃ | 2.7 | 2 – 3 | Decomp. 900 | | อุณหภูมิ 25°C ละลายได้ 0.0014 |
| Calcium oxide | CaO | 3.4 | | 2,572 | 2,850 | อุณหภูมิ 75°C ละลายได้ 0.0018 อุณหภูมิ 10°C ละลายได้ 0.131 อุณหภูมิ 80°C ละลายได้ 0.07 |
| Chalk | CaCO ₃ | 1.85 | | | | |
| Marble | CaCO ₃ | 2.7 | 3 – 4 | | | |
| Denselime stone | CaCO ₃ | 2.6 | 3 – 4 | | | |
| Dolomite | CaCO ₃ MgCO ₃ | 2.8 | 3.5 – 4 | Decomp. 500 – 700 800 – 1000 | 2,570 2,800 | |
| Magnesite | MgCO ₃ | 3 | 3.5 – 4.5 | Decomp. 350 | | ที่อุณหภูมิ 20°C ละลายได้ 0.0106 |
| Magnesium oxide | MgO | 3.7 | | 2500 2800 | | ที่อุณหภูมิ 20°C ละลายได้ 0.00062 ที่อุณหภูมิ 30°C ละลายได้ 0.0082 |

(โกลด์ รัทซ์วังก์. 2531: 48 – 50)

4.3 หินฟันม้า (Feldspar)

หินฟันม้า เป็นวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย เป็นสารประกอบของลอลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลน์เอิร์ท ข้อดีในการนำหินฟันม้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมเซรามิกสันั้นคือ มีราคาถูก และเป็นอัลคาไลน์ที่ไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปหินฟันม้ามี 3 ชนิดคือ

4.3.1 หินฟันม้าประเภทโพแทสเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar) โพแทสเฟลด์สปาร์หรือมีชื่อทางสินแร่ว่าออร์โทเคลส (Orthoclase) หรือไมโครไคลน์ (Microcline) สูตรทางเคมีคือ K₂O . Al₂O₃ . 6SiO₂ โพแทสเฟลด์สปาร์ เป็นเฟลด์สปาร์ที่มีสารประกอบของโพแทสเซียม ที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.56 มีความแข็งระดับ 6 จะมีสีแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งที่กำเนิดได้แก่ สีขาว สีเหลือง สีชมพู เป็นต้น

เฟลด์สปาร์ประเภทนี้สามารถใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบได้ดี (โกมล รัชวงศ์. 2530 : 36) เป็นเฟลด์สปาร์ที่มีสารประกอบส่วนใหญ่เป็นโพแทสเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Potassium aluminium silicate) อาจจะมีสารประกอบของโซเดียมหรือแคลเซียมปะปนอยู่ด้วย เฟลด์สปาร์ชนิดนี้จะมีจุดหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 – 1,280 องศาเซลเซียส (2,192 – 2,366 องศาฟาเรนไฮต์) มีส่วนประกอบเป็นค่าร้อยละ โดยน้ำหนักคือ SiO₂ ร้อยละ 64.7 Al₂O₃ ร้อยละ 18.4 K₂O ร้อยละ 16.9 และมีน้ำหนักโมเลกุล 556 (สุรศักดิ์ โกลิพันธ์. 2531 : 6)

แหล่งโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ที่พบมาและใช้มาก ในวงการอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในประเทศไทยคือ

1. โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์กาญจนบุรี พบที่แหล่งตำบลลาดหญ้า อำเภอเมือง
2. โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ราชบุรี พบที่แหล่งบনยอดเขา ตำบลสวนผึ้ง อำเภอจอมบึง เป็นโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง คุณภาพดี
3. โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เชียงใหม่ พบที่อำเภอฮอด เกิดปะปนอยู่กับหินแกรนิตหินควิตซ์และแร่ไมก้า
4. โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ชลบุรี พบที่เขาวพระบาทเกิดปะปนอยู่กับหินแกรนิต หินควอตซ์และแร่ไมก้า เมื่อนำมาใช้ผสมกับน้ำเคลือบ หลังจากเผาแล้วเคลือบจะมีจุดดำ ๆ อันเกิดจากแร่ไมก้า จึงไม่นิยมใช้ (ทวี พรหมพฤษย์. 2523 : 73 – 75)

4.3.1 หินฟันม้าประเภทโซดาเฟลด์สปาร์ (Soda feldspar) หรือ Albite ได้แก่ หินอัลไบท์ (Albite) สูตรทางเคมีคือ Na₂O . Al₂O₃ . 6SiO₂ เป็นหินฟันม้าที่มีสารประกอบของโซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Sodium aluminium silicate) มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.61 – 2.64 มีความแข็งระดับ 6 เป็นผลึกสี่เหลี่ยมหรือข้าวขุ่น ใช้ผสมในน้ำเคลือบไฟสูง เพื่อช่วยลดอุณหภูมิ หินฟันม้าชนิดนี้ช่วยทำให้อุณหภูมิของเคลือบต่ำกว่าหินฟันม้าชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และหินฟันม้าชนิดโซเดียมเฟลด์สปาร์ มีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้

| | | |
|----------------------|--------|------|
| ซิลิกา | ร้อยละ | 68.8 |
| อลูมินา | ร้อยละ | 19.4 |
| โซเดียม | ร้อยละ | 11.8 |
| มีน้ำหนักโมเลกุล 524 | | |

4.3.2 หินฟันม้าประเภทแคลเซียมเฟลด์สปาร์ (Calcium feldspar) หรือ Anorthite หรือ หินไลม์สปาร์ (limespar) สูตรทางเคมี คือ CaO.Al₂O₃.2SiO₂ หินฟันม้าประเภทนี้เป็นสารประกอบของแคลเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Calcium aluminium silicate) มีความถ่วงจำเพาะ 2.7 – 2.76 มีความแข็ง 6.0 – 6.5 ใช้ผสมเคลือบหินปูน มีส่วนประกอบทางเคมีคือ

| | | |
|----------------------|--------|------|
| ซิลิกา | ร้อยละ | 43.3 |
| อลูมินา | ร้อยละ | 36.6 |
| โซเดียม | ร้อยละ | 20.1 |
| มีน้ำหนักโมเลกุล 298 | | |

(โกมล รัชวงศ์. 2531 : 35 – 37)

เฟลด์สปาร์ในแหล่งแร่ธรรมชาติมักจะมีสิ่งเจือปนเกี่ยวกับซิลิกา (Free SiO₂) ไมกา (Mica) จนเรียกได้ว่าการพบเฟลด์สปาร์ ไม่เคยพบชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ มักจะพบผสมผสานกันระหว่างเฟลด์สปาร์ทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับว่า มีชนิดใดเป็นหลัก ก็นิยมเรียกชื่อเฟลด์สปาร์ชนิดนั้น เฟลด์สปาร์ที่พบโดยทั่วไปจะมีโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และโซเดียมเฟลด์สปาร์ (Na-feldspar) เป็นจำนวนมาก แต่ไม่เคยพบชนิดของแคลเซียมเฟลด์สปาร์ (Ca-feldspar) การมีสัดส่วนผสมระหว่างโซเดียม (Na) กับโพแทสเซียม (K) ในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันจะเรียกเฟลด์สปาร์ชนิดนี้ว่า แร่กระเทย (perthit)

ประโยชน์ของหินฟันม้าในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

1. เป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบ และเนื้อดินปั้น

- ใช้ผสมในน้ำเคลือบ อัตราส่วนประมาณร้อยละ 30 – 70 ในกรณีที่มี

เฟลด์สปาร์สูงเรียกว่าเฟลด์สปาร์ติก เกรซ (Feldspartic glaze)

- ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น อัตราส่วนประมาณร้อยละ 5 – 30 ในกรณีที่ใช้

เฟลด์สปาร์มากกว่าร้อยละ 30 อาจถึงร้อยละ 60 เรียกว่า เฟลด์สปาร์ติก (Feldspartic body)

2. เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมแก้ว ผสมในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 30 – 40

3. ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะ (Binder) เพราะทำให้เกิดแก้ว

4. ลดอุณหภูมิของวัตถุดิบ (Material) อื่น เพราะเป็นตัวลดจุดหลอมละลาย (Fluxing)

5. ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น เพราะทำให้เกิดแก้ว

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทยและต่างประเทศ

| ส่วนประกอบ | โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar) | | โซเดียมเฟลด์สปาร์ (Soda Feldspar) | |
|--------------------------------|--|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | ต. ท้องฟ้า อ. บ้านตาก จ. ตาก | นอร์เวย์ (Norway) | ต. น้ำดิบ อ. เมือง จ. ตาก | นอร์เวย์ (Norway) |
| SiO ₂ | 65.0 | 65.4 | 70.2 | 69.2 |
| Al ₂ O ₃ | 18.6 | 18.7 | 17.8 | 18.7 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.31 | 0.06 | 0.06 | 0.11 |
| CaO | 1.0 | 0.51 | 0.11 | 1.82 |
| MgO | 0.08 | - | 0.22 | - |
| Na ₂ O | 3.8 | 3.36 | 8.8 | 7.2 |
| K ₂ O | 10.0 | 11.0 | 0.16 | 2.8 |
| TiO ₂ | - | - | 0.26 | - |
| L.O.I | 0.19 | 0.29 | 1.33 | 0.19 |

(Ceramic new material. 2528: 19)

ตาราง 8 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่เฟลด์สปาร์

| แร่ | ความแข็ง | ความถ่วงจำเพาะ | จุดหลอมตัว (C) | สี |
|--|----------|----------------|----------------|--|
| ออร์โทเคลส (Orthoclase) ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) | 6 | 2.57 | 1200 - 1250 | ขาว, เทา, แดงเข้ม หรือไม่มีสี |
| อัลไบท์ (Albite) ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) | 6 | 2.62 | 1100 | ขาว, เทา, เขียว, เหลือง หรือไม่มีสี |
| อะโนไทท์ (Anorthite) ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) | 6 | 2.76 | 1300 | ขาว, เทา, เขียว, เหลือง หรือไม่มีสี |

หมายเหตุ หน่วยของความแข็งคือ Moh's scale
(Ceramic new material. 2528: 20)

ลักษณะทางธรรมชาติทางธรณี

| | | |
|---|-------------|------------|
| - Orthoclase ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) | รูปร่างผลึก | Monoclinic |
| - Albite ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) | รูปร่างผลึก | Triclinic |
| - Anorthite ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) | รูปร่างผลึก | Triclinic |

เรามักพบสิ่งเจือปนในหินฟันม้าคือ

- ซิลิกาอิสระ (Free SiO_2)
- ไมก้า (Mica) อาจมีชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
 - มัสโคไวท์ (Muscovite) หรือ โพแทสเซียม-ไมก้า (K-Mica) [$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$]
 - พาร์โกไนท์ (Pargronite) หรือ โซเดียม-ไมก้า (Na-Mica) [$NaAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$]
 - โพรโกไพท์ (Phlogopite) หรือ แมกนีเซียม-ไมก้า (Mg-Mica) [$KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$]
 - เลพิดโไลท์ (Lepodolite) หรือ ลิเทียม-ไมก้า (Li-Mica) [$KLi_2 Al(Si_4O_{10})(OH)_2$]
 - ไบโอไทท์ (Biotite) หรือ เฟริก-ไมก้า (Fe-Mica) [$K(Mg.Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$]

แหล่งแร่และการพัฒนาคุณภาพ

ในประเทศไทยแหล่งเฟลด์สปาร์พบอยู่ในหินแกรนิต หินแพกมาไทล์และหินไลม์ แหล่งผลิตสำคัญพบในหินเพมาไทล์ ที่จังหวัดราชบุรี, ตาก, เชียงใหม่, กาญจนบุรี, แม่ฮ่องสอนและอุทัยธานี (Ceramic raw-materials. 2528: 18 – 20)

รายละเอียด (SPECIFICATION)

สารประกอบของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Mineral : Potash Feldspar)

รหัส SL200 (Code SL200)

ผลวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Analysis)

| | | |
|---------|-----|-------|
| L.O.I. | (%) | 0.38 |
| SiO_2 | (%) | 70.21 |
| CaO | (%) | 0.02 |

| | | |
|--------------------------------|-----|-------|
| MgO | (%) | 0.23 |
| Fe ₂ O ₃ | (%) | 0.12 |
| Al ₂ O ₃ | (%) | 19.36 |
| K ₂ O | (%) | 0.10 |
| Na ₂ O | (%) | 0.70 |

(โกลมล รักษ่วงศ์. 2531: 44)

4.4 โครเมียมออกไซด์

โครเมียมออกไซด์ (Chome oxide) ได้จากหินแร่โครม ผลึกของโครมเรียกว่า "Spinel" โครมเป็นวัตถุดิบที่ทนความร้อน คุณสมบัติเป็นกลาง นอกจากนั้นก็นำไปใช้เป็นตัวทำให้เกิดสีเป็นส่วนใหญ่ แร่โครมที่อยู่ในรูปของ Chrome-iron จะมีสารอื่นๆ ผสมอยู่ ได้แก่ เหล็กออกไซด์ แมกนีเซียมและอลูมิเนียม เป็นต้น

Chrome-Iron จะใช้ในอุตสาหกรรมวัตถุทนไฟเป็นส่วนใหญ่ ถ้าหากเป็นแร่โครมบริสุทธิ์ จุดหลอมเหลวสูงถึง 2,180 °C (3,936 °F) แต่สำหรับ Chrome-iron จะมีจุดหลอมเหลวระหว่าง 1,700 °C – 2,100 °C (3,090 °F – 3,810 °F)

โครมออกไซด์ที่นำมาใช้ในงานทำสีในเครื่องปั้นดินเผา สามารถนำมาใช้ในรูปแบบของออกไซด์ดิบจะให้สีเขียว (Chrome green) และนำไปทำเป็นสีสำเร็จรูปจะให้สีหลายสี เช่น สีเขียว สีน้ำตาล สีชมพู เป็นต้น (โกลมล รักษ่วงศ์. 2531 : 77)

4.5 โพลีไวนิล แอลกลอสอล หรือเดกซ์ตริน เป็นสารที่ใช้กันแพร่หลาย นอกจากนี้ก็มีซีผึ้ง (waxes) และอะคริลเทอื่น ๆ (Acrylates) ใช้ได้ดีเช่นกัน

เนื่องจากวิธีการผสมและทำให้เนื้อดินปั้นเป็นเม็ด และการเลือกใช้สารอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะ มีผลอย่างยิ่งต่อการหดตัวหลังจากเผา และการควบคุมขนาดของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาพต่าง ๆ ในการผลิตให้คงที่สม่ำเสมอเท่าที่จะทำได้ แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปออกแบบเผื่อไว้สำหรับการหดตัว เมื่อมีการเปลี่ยนวิธีการผสมเนื้อดินปั้นให้เป็นผง หรือการเปลี่ยนสารที่ใช้เป็นตัวยึดเกาะ อาจทำให้แบบที่มีอยู่แล้วใช้งานไม่ได้ ซึ่งแบบมีราคาค่อนข้างแพง การเปลี่ยนแบบจะทำต่อเมื่อได้พิจารณาอย่างรอบคอบและมีเหตุผลจริง ๆ ปัญหาการหดตัวของผลิตภัณฑ์นับเป็นปัญหาใหญ่ สำหรับการขึ้นรูปโดยอาศัยแรงอัด

การตรวจสอบการกระจายของขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของผงเนื้อดินปั้นก่อนที่จะส่งไปเข้าเครื่องอัดนั้นเป็นเรื่องจำเป็น การกระจายของขนาดอนุภาคหาโดยวิธีใช้ตะแกรงร่อน ความหนาแน่นหาโดยชั่งน้ำหนักของผงดินในภาชนะที่รู้ปริมาตร เนื่องจากความหนาแน่นและความชื้นมีความสัมพันธ์กัน จึงจำเป็นจะต้องตรวจสอบความชื้นอย่างใกล้ชิด

คุณสมบัติการเคลื่อนตัวของอนุภาคของผลเนื้อดินปั้น ซึ่งสามารถหาโดยการวัดมุมระหว่างพื้นราบกับผิวรูปกรวยคว่ำ เกิดจากการปล่อยให้ผงเนื้อดินปั้นเคลื่อนตัวอย่างอิสระ ก่อนที่จะส่งผงเนื้อดินปั้นไปเข้าเครื่องอัดจะต้องมีการพรมน้ำ และเติมตัวหล่อลื่น ผสมผงเนื้อดินปั้นที่ชื้นกับผงเนื้อดินแห้ง และน้ำมันในสัดส่วนที่เหมาะสม ร้อนผ่านตะแกรงและผสมให้เข้ากันหรืออาจใช้วิธีพรมน้ำให้เป็นฝอย หรือใช้ไอน้ำเข้าไปในถังซึ่งบรรจุผงเนื้อดินปั้น พร้อมทั้งหมุนเอียงไปมา

ความชื้นเพียงเล็กน้อยในผงเนื้อดินปั้น จะช่วยทำให้ผงเนื้อดินปั้นเกิดการยึดเกาะกันเมื่ออัดด้วยแรงอัดตัว ทำให้เกิดการหล่อลื่นก็เป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อัดแล้วไม่ติดแบบ น้ำมัน

พาราฟิน (Parafin) ก็ใช้เป็นตัวหล่อลื่นได้ดี ผงเนื้อดินปั้นซึ่งเตรียมโดยใช้ขี้ผึ้งเป็นตัวยึดเกาะ ไม่จำเป็นต้องใช้ความชื้นและตัวหล่อลื่นอีก ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้ขี้ผึ้งผสมในเนื้อดินปั้น แต่อนุภาคจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า ดังนั้นการเคลื่อนย้ายจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง นอกจากนี้ยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้อง และความชื้น ซึ่งเป็นปัญหามากในช่วงหน้าร้อน นอกจากนี้จะทำในห้องปรับอากาศ (ปริตทา พิมพ์ขาวซ่า. 2535: 164 – 165)

5. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยใช้แรงอัด

การขึ้นรูปโดยวิธีการนี้ ใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์วัตถุทนไฟ กระเบื้องและผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดพิเศษ แรงอัดจะอัดลงบนแบบซึ่งมีผงเนื้อดินปั้นแห้ง ๆ หรือมีความชื้นเล็กน้อยอยู่ในแบบแบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง การขึ้นรูปโดยวิธีการนี้มีหลายสิ่งหลายอย่างที่จำเป็นต้องคำนึงถึง

ขนาด รูปร่างและการกระจายของอนุภาคของเนื้อดินปั้น การแสดงให้เห็นข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของอนุภาค มักแสดงในรูปของการเขียนกราฟ ระหว่างร้อยละสะสมของอนุภาคที่ละเอียดกว่า กับขนาดของอนุภาคที่เปรียบเสมือนว่าเป็นทรงกลม การกระจายของอนุภาคขึ้นกับวิธีที่ได้มาของวัสดุนั้น ๆ การบด จะช่วยให้เรื่องการกระจายของขนาดของอนุภาคกว้างพอสมควร การบดเปียกจะให้ประสิทธิภาพในการบดมากกว่าการบดแห้ง และการกระจายของขนาดของอนุภาคลดน้อยลง

วิธีการหาการกระจายของขนาดของอนุภาคมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีต่าง ๆ กัน สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 ไมครอน นิยมใช้ตะแกรงร่อน แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า เพราะยากที่จะรักษาขนาดที่แน่นอนของรูตะแกรงไว้ได้ นอกจากนี้ตะแกรงยังอุดตันได้ง่าย

อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 40 ไมครอน จะหาโดยวิธีการปล่อยให้อนุภาคจมตัวลง และอาศัยหลักการของสต็อค (Stoke) เข้าช่วย

$$V = \frac{2(\rho_p - \rho_f) g R^2}{9\eta}$$

V = ความเร็วของอนุภาคที่จมตัวลง
 $\rho_p - \rho_f$ = ความแตกต่างของความหนาแน่นของอนุภาคกับตัวของเหลว
 g = แรงโน้มถ่วงโลก
 R = รัศมีของอนุภาค
 η = ความหนืดของของเหลว

วิธีการนี้ต้องทำให้การกระจายตัวของอนุภาคในของเหลวเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ร้อยละอนุภาคในของเหลวไม่เกิน 0.5 โดยปริมาตร ขนาดของภาชนะทรงกระบอกที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขณะทำงาน ควรควบคุมให้มีผลต่อการหาค่าให้น้อยที่สุด ขนาดของอนุภาคควรใหญ่กว่าขนาดของระยะระหว่างโมเลกุลของของเหลว อนุภาคขนาด 0.05 ไมครอน สามารถหาได้โดยวิธีการนี้ เพื่อรักษาระยะเวลาที่อนุภาคจมตัวลงให้สมเหตุสมผล ควรใช้วิธีการที่ใช้แรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง

การใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องตรวจการกระจายขนาดของอนุภาค จะใช้ได้กับอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน จึงเหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพแต่ละส่วนของอนุภาคที่ใช้ตะแกรงร่อนหรือที่ได้จากวิธีการปล่อยให้อนุภาคจมตัวลง และเหมาะที่จะใช้ตรวจสอบรูปร่างและคุณสมบัติเฉพาะอื่น ๆ วิธีการที่

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเหมือนกับกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา แต่ใช้ตรวจสอบขนาดรูปร่างของอนุภาค ซึ่งมีขนาดเล็กมากกว่าคือตรวจสอบได้ถึง 0.1 ไมครอน

การใช้เครื่อง X-ray สามารถตรวจหาผลึกซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน

การกระจายของขนาดของอนุภาคในเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์ มีความสำคัญต่อการอัดตัวกันของอนุภาคหลังจากขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เพราะการหดตัวของผลิตภัณฑ์หลังจากการเผาจนเนื้อแน่น จะต้องเท่ากับปริมาณของรูพรุนที่มีตั้งแต่เริ่มขึ้นเป็นรูปผลิตภัณฑ์ การอัดตัวกันของอนุภาคที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน แต่มีขนาดเท่ากันจะมีความพรุนตัวแต่ละรูปร่างดังนี้

| รูปร่าง | ร้อยละของความพรุนตัว |
|------------------------|----------------------|
| ลูกบาศก์ | 47.64 |
| ปริมาตรหรือเตตระฮีดรอล | 25.95 |

ความพรุนตัวจะลดลง เมื่ออนุภาคที่อัดตัวกันมีการกระจายของขนาดของอนุภาคมากกว่าหนึ่งขนาด โดยปกติการที่ผลึกอนุภาคเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนและคุณสมบัติเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์หลังจากการเผา ขึ้นกับขนาดของความพรุนตัวมากกว่าขึ้นกับขนาดของอนุภาค ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่มีอนุภาคทั้งหยาบและละเอียด จะทำให้ได้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นมากที่สุด และผลิตภัณฑ์สำเร็จมีการหดตัวน้อย

วิธีการอัดผงเนื้อผลิตภัณฑ์อาจอัดด้วยเครื่องอัดชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีแรงแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องอัดนั้น ๆ เครื่องอัดแบบเกลียวสว่าน และแบบข้อเสือ ปกติจะให้แรงอัดไม่เกิน 10,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว การอาศัยแรงอัดจากของเหลว แรงอัดอาจทำได้ถึง 100,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าผลิตภัณฑ์มีชิ้นขนาดเล็ก ๆ

ความยุ่งยากอย่างหนึ่งที่พบเสมอในการขึ้นรูปด้วยการใช้แรงอัดคือ เป็นการลำบากที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างซับซ้อนมีคุณสมบัติตลอดเนื้อผลิตภัณฑ์ ความแตกต่างเช่นนี้ส่วนหนึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของแรงอัดภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ความหนาและความกว้างของผลิตภัณฑ์มีผลอย่างยิ่งต่อความแปรปรวนของแรงอัดในเนื้อผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนระหว่างความหนาและความกว้างควรน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ความหนาไม่ควรเกิน 0.42 เท่าของความกว้าง ความต้านทานต่อการอัดตัวกันของเกิดจากความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างผนังแบบกับอนุภาค การใช้เครื่องช่วยหล่อขึ้นเช่น กรตสเทียริกทาผิวแบบ จะช่วยทำให้ความแตกต่างของแรงอัดในเนื้อผลิตภัณฑ์หมดไป การผสมตัวหล่อขึ้นลงในเนื้อดินปั้นจะไม่ช่วยทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น นอกจากนี้จะต้องใช้การสันสะท้อนในระหว่างอัด และการอัดควรอัดทั้งด้านบนและด้านล่างของผลิตภัณฑ์ ถ้าการเคลื่อนตัวยังไม่ดีพอ โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน และต้องการให้มีการเคลื่อนตัวของผงเนื้อดินปั้นทางด้านข้างตีมากขึ้น การผสมตัวหล่อขึ้นลงในเนื้อดินปั้นจะช่วยได้ นอกจากนี้การออกแบบและวิธีการป้อนเนื้อดินเข้าแบบก็ต้องระวัง และออกแบบให้เหมาะสม

ผลที่เกิดจากความแตกต่างของแรงอัดในเนื้อผลิตภัณฑ์ ก็คือทำให้ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งหมายความว่า ถ้าเราผลิตผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงมากพอ เพื่อให้ได้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นมากที่สุด การหดตัวภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการเผาจะไม่เป็นอย่างสม่ำเสมอ และจะเป็นต้นเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวและโค้งงอได้

ขนาดของแรงอัดก็มีผลต่อพฤติกรรมต่าง ๆ ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการเผา การเผาผงอลูมินาในเบ้าโดยใส่ผงอลูมินาหลวม ๆ เติมเบ้าไม่แสดงให้เห็นว่ามีการหดตัว ในขณะที่เผาผลิตภัณฑ์อลูมินาซึ่งอัดด้วยแรงอัด 25,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แสดงให้เห็นว่ามีการหดตัวประมาณร้อยละ 20 ผลนี้อาจเนื่องมา

จาก (1) ขนาดของรูพรุนลดลงและอนุภาคต่าง ๆ สัมผัสกันตีมากขึ้น (2) การแตกของอนุภาคตรงกับบริเวณที่อนุภาคสัมผัสกัน

ผลอันเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างผิว ทำให้เกิดความลำบากที่จะหาข้อมูลที่มีความเชื่อถือมากพอสมควร เกี่ยวกับแรงอัดและผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ปกติเมื่อแรงอัดมากขึ้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้นด้วย การหดตัวจะลดลงมากถ้าใช้แรงอัด 10,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว

โดยสรุปความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น เมื่อใช้แรงอัดมากขึ้น หรือใช้การสั่นสะเทือนเข้าช่วย คุณสมบัติผลิตภัณฑ์สำเร็จขึ้นกับแรงอัด ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา ณ อุณหภูมิที่กำหนดโดยทั่วไป ถ้าอนุภาคในผลิตภัณฑ์อัดตัวกันดี ขนาดของรูพรุนจะลดลงและจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นมากขึ้น โดยใช้อุณหภูมิทำการเผาต่ำกว่า

5.1 การขึ้นรูปโดยการอัดเนื้อดินปั้นแห้ง ๆ (Dry and dust pressing)

ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์และงานด้านไฟฟ้า มีขนาดเล็ก ๆ บางชนิดมีรูปร่างง่าย ๆ แต่มีหลายชนิดที่มีรูปร่างซับซ้อน ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องการขนาดที่เป็นมาตรฐานถูกต้องเพื่อจะได้แทนกันได้ในวงจรของงาน และต้องมีคุณสมบัติทางด้านไดอิเล็กทริก (Dielectric) และคุณสมบัติทางกลศาสตร์สม่ำเสมอ

ในบางกรณีผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เหล่านี้ใช้ร่วมกัน หรือใช้แทนผลิตภัณฑ์ทำจากพลาสติก ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีข้อดีที่สามารถผลิตขนาดได้มาตรฐานแน่นอน ความแน่นอนของขนาดผลิตภัณฑ์ขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่างเช่น การหดตัว ขนาดของอนุภาค และการกระจายของขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์หลังจากขึ้นรูปและวิธีการเผา วิธีการที่สามารถทำให้ได้สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ จะต้องเป็นวิธีการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ ได้ เพราะการปรับปรุงส่วนใดส่วนหนึ่งในวงจรการผลิต จะต้องมีการออกแบบใหม่เสมอ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยการอัดผงเนื้อดินปั้นลงในแบบโลหะ เป็นวิธีการที่ทำให้ได้สิ่งต่าง ๆ ที่ต้องการเหล่านี้ วิธีขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดโดยอัตโนมัติได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้กันอย่างกว้างขวาง

การขึ้นรูปโดยการอัดผงเนื้อดินแห้ง (Dry pressing) ใช้กับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่ใช้ในงานประยุกต์ ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า โดยการอัดผงกลม ๆ ของเนื้อดินปั้นแห้งลงในแบบโลหะด้วยแรงอัดที่สูง ความชื้นภายในผงเนื้อดินปั้นไม่เกินร้อยละ 4 ผงเนื้อดินปั้นกลม ๆ เคลื่อนที่ได้อิสระแต่มีความเหนียวไม่ตีเท่าที่ควร แต่เมื่อถูกแรงอัดจะอัดตัวกันได้หนาแน่นดี

วิธีการที่กล่าวมาแตกต่างไปจากการขึ้นรูปโดยการอัดผงกลม ๆ ของเนื้อดินปั้นซึ่งเกือบแห้ง (Semi dry หรือ Dust press แต่บางครั้งก็เรียกรวม ๆ กันว่า Dry press) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องต่าง ๆ วิธีการหลังนี้เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ซึ่งมีดินส่วนผสมในเนื้อดินปั้นปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ผงเนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี วิธีการนี้จะอัดผงเนื้อดินปั้นซึ่งมีความชื้นระหว่าง 10 - 15 ในแบบโลหะ แรงอัดที่ใช้ในการอัดไม่สูงมาก ข้อดีของวิธีการนี้คือ แบบที่ใช้ ออกแบบได้ค่อนข้างง่าย แต่การดัดแปลงให้เข้ากับการทำงานแบบอัตโนมัติไม่ค่อยดีนัก และไม่สามารถทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่อัดออกมาจากแบบใหม่ ๆ ยังมีความเหนียวการเคลื่อนย้ายต้องระมัดระวัง มิฉะนั้นจะเสียรูปร่าง และมักจะมีคราบเนื้อดินปั้นตามขอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องปัดออกก่อนนำไปเผา การหดตัวของวิธีการขึ้นรูปวิธีนี้ อยู่ระหว่างร้อยละ 12 ถึง 15 ผลิตภัณฑ์จะมีขนาดแตกต่างกันได้ร้อยละ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการนี้ มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและกลศาสตร์ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในงานที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าและความถี่ต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบกับกรขึ้นรูปโดยการอัดผงเนื้อดินปั้นแห้ง ซึ่งใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่าไดอิเล็กทริกสูง และไม่ดูดซึมความชื้น วิธีการนี้สามารถผลิตคาปาซิเตอร์ (Capacitor) ที่มีความหนาเพียง 0.020 นิ้ว ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นและมีค่าไดอิเล็กทริกสูง ถ้ามีการควบคุมดีพอ วิธีการนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีความพรุนตัว และจะได้ขนาดแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 1 หรือน้อยกว่า วิธีการนี้ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ทุกชนิดทุกส่วนผสม เพราะเป็นวิธีการที่ไม่ขึ้นกับความเหนียวของผงเนื้อดินปั้น เพียงแต่ใช้สารอินทรีย์ช่วยในการยึดเกาะกัน วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่เป็นออกไซด์บริสุทธิ์

วัตถุดิบที่ใช้ในกรรมวิธีนี้จะต้องผ่านการตรวจสอบอย่างละเอียด โดยจะใช้เป็นวัตถุดิบที่ต้องผ่านการทดสอบการกระจายของขนาดอนุภาค ผลวิเคราะห์ทางเคมีและอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อคุณภาพเฉพาะผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นและโปรงแสงมาก วัตถุดิบที่ใช้ถ้าไม่แข็งมากและแตกร่วนได้ง่าย เช่น ทัลค์และไพโรฟิลไลต์ ควรมือนุภาคละเอียดกว่า 200 เมช และสำหรับวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวเช่น อลูมินา และติทานेट ควรจะต้องละเอียดมากกว่า 20 ไมครอน

การเตรียมเนื้อดินปั้น อาจเตรียมโดยวิธีผสมส่วนผสมในลักษณะแห้ง ๆ หรือในลักษณะที่เป็นน้ำดิน โดยใช้หม้อบดหรือวิธีการผสมอื่น ๆ ซึ่งมีผลทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ในช่วงนี้ควรตรวจสอบการหดตัว และอุณหภูมิที่จะทำให้นเนื้อผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่น

มีวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับขึ้นรูปโดยวิธีนี้ 3 วิธี

1. บดส่วนผสมเนื้อดินปั้นโดยวิธีบดเปียก ร่อนผ่านตะแกรง 325 เมช ผ่านเครื่องกรองเอกสารแม่เหล็กออก กรองและอัดเพื่อขจัดน้ำออก นำแผ่นดินที่ได้ไปตากแห้ง เหลือน้ำระหว่างร้อยละ 5 - 10 และบดให้เป็นฝุ่น และเก็บไว้ใช้ขึ้นรูปโดยเครื่องอัดต่อไป
2. การเตรียมเนื้อดินปั้นวิธีนี้ต่างกับวิธีแรกคือ แทนที่จะเข้าเครื่องกรองและอัดเป็นแผ่นดินแต่ให้น้ำดินไปผ่านเครื่องอบแห้ง (Spray dryer) แล้วทำให้เป็นฝุ่นเลย
3. เตรียมโดยผสมวัตถุดิบต่าง ๆ ที่แห้งและละเอียดเป็นฝุ่นดีแล้วกับน้ำ ในปริมาณที่เหมาะสม

การตรวจสอบโดยวิธีต่าง ๆ เพื่อควบคุมคุณภาพที่จุดนี้ ทำโดยเตรียมแท่งทดลองด้วยแรงอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก แท่งทดลองควรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และหนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว ตรวจสอบความหนาแน่นก่อนเผาและหลังเผา การหดตัว และหาความสัมพันธ์และขอบเขตจำกัดที่ยอมรับได้ สำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การหาการกระจายของขนาดของอนุภาคเป็นประโยชน์มากในการควบคุมคุณภาพ แต่วิธีการแรกเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกในการปฏิบัติ ข้อดีอีกประการหนึ่ง นอกจากจะรู้ค่าการหดตัว และความหนาแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์แล้ว แท่งทดลองยังสามารถใช้สังเกตประสิทธิภาพของการผสมและอาจสามารถตรวจพบสิ่งสกปรกเจือปน ซึ่งสามารถทำได้โดยตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีกำลังขยายมากนัก แท่งทดลองนี้ยังสามารถนำไปหาค่าไดอิเล็กทริกได้อีกด้วย

ขั้นตอนต่อมาได้แก่ การทำให้ผงเนื้อดินปั้นเป็นผงกลม ๆ ละเอียด การควบคุมคุณภาพขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก และจะมีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผงกลม ๆ ที่นับว่ามีคุณภาพดีจะต้องมี (1) ความหนาแน่นมาก เมื่ออัดเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดลดลงจากแบบน้อยมาก (2) ต้องมีการเคลื่อนตัวโดยอิสระคือ เคลื่อนตัวจากเครื่องบดลงสู่แบบได้รวดเร็ว (3) ไม่ละเอียดมากเกินไปจนเป็นเหตุให้เกิดการแตกเป็นแผ่น ๆ หลังจากการอัด (4) แตกละเอียดเมื่อถูกอัดด้วยแรงอัด

การเลือกใช้สารอินทรีย์เป็นตัวยึดเกาะเป็นเรื่องสำคัญที่สุด ได้มีการพยายามค้นหาตัวยึดเกาะที่เหมาะสมกันอย่างกว้างขวาง ตัวยึดเกาะที่ดีควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. ช่วยทำให้อนุภาคมีความแข็งแรงมากขึ้น
2. ไม่ขัดสีจนทำให้แบบสึกหรือ
3. ไม่มีเกลือของสารอินทรีย์หรืออนุผลของโลหะหลงเหลืออยู่หลังจากเผา
4. สลายตัวได้เร็วขณะยังเผาอยู่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ
5. ไม่ติดผิวแบบ
6. ไม่ดูดความชื้นอากาศ
7. กระจายตัวได้ดีในเนื้อดินปั้น อาจจะอยู่ในรูปสารละลายหรือในรูปกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

ในน้ำ

ปัญหาใหญ่ที่มักพบในการขึ้นรูปโดยแรงอัดแบบอัดโนมิติ ได้แก่ ความหนาแน่นของผงเนื้อดินปั้น และการแตกร้าว สำหรับการสึกหรอของแบบสามารถวัดได้ ความหนาแน่นของผงเนื้อดินปั้นสามารถปรับปรุงได้ แต่การแตกร้าวแสดงให้เห็นว่าเกิดข้อผิดพลาดในกรรมวิธีการอัด ซึ่งยากจะวินิจฉัยและแก้ไข การแตกร้าวอาจเกิดจากการสึกหรอของแบบ การมีอากาศถูกกักอยู่ในเนื้อดินปั้น การเสียดสีกันมากเกินไประหว่างแบบกับผงเนื้อดินปั้น และอาจเกิดจากความไม่ถูกต้องมรการดันผลิตภัณฑ์ออกจากแบบ ผลิตภัณฑ์จะขยายตัวทันทีที่ถูกดันออกมาจากแบบ ซึ่งจะขยายตัวประมาณร้อยละ 0.5 บางครั้งใช้อัดพร้อมกับดูดอากาศออก เพื่อช่วยแก้ปัญหาการแตกร้าว แต่ก็แก้ไขได้ดีขึ้นเพียงเล็กน้อย

การแตกร้าว ไม่สามารถตรวจพบได้ก่อนการเผา หรือแม้แต่เผาแล้วก็ยังยากที่จะตรวจพบ มีวิธีการหลายวิธีที่ใช้ตรวจรอยแตกร้าว วิธีที่ง่ายที่ใช้ตรวจผลิตภัณฑ์ก่อนเผาได้แก่ การจุ่มลงในคีโรซีน (kerosene) หรือแอลกอฮอล์ หรือของเหลวใด ๆ ที่มีค่าความตึงผิวต่ำ ตรงรอยแตกร้าวจะดูดซึมได้ดีกว่าตรงบริเวณอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้วจุ่มลงในสีซึ่งละลายในแอลกอฮอล์ สังเกตการซึมของสีในเนื้อผลิตภัณฑ์

การสึกหรอของแบบและการป้องกันเป็นเรื่องสำคัญอีกเรื่องหนึ่ง สำหรับผงเนื้อดินปั้นที่มีความแข็งแรงและคมไม่มากนัก เช่น ผลิตภัณฑ์สเตตไทต์ (Steattite) แบบทำด้วยเหล็กกล้าซึ่งมีทั้งคาร์บอน (Carbon) และโครเมียม (Chromium) สูง พวกวัสดุที่มีทั้งความแข็งแรงและคมเช่น อลูมินา และออกไซด์ที่เป็นวัสดุทนไฟต่าง ๆ แบบที่ทำด้วยโบรอน คาร์บอน (Boron Carbon) ใช้ได้ดีมาก แต่มีความแข็งแรงไม่สูงนักและเปราะ ควรใช้วัสดุอื่นช่วยค้ำจุน

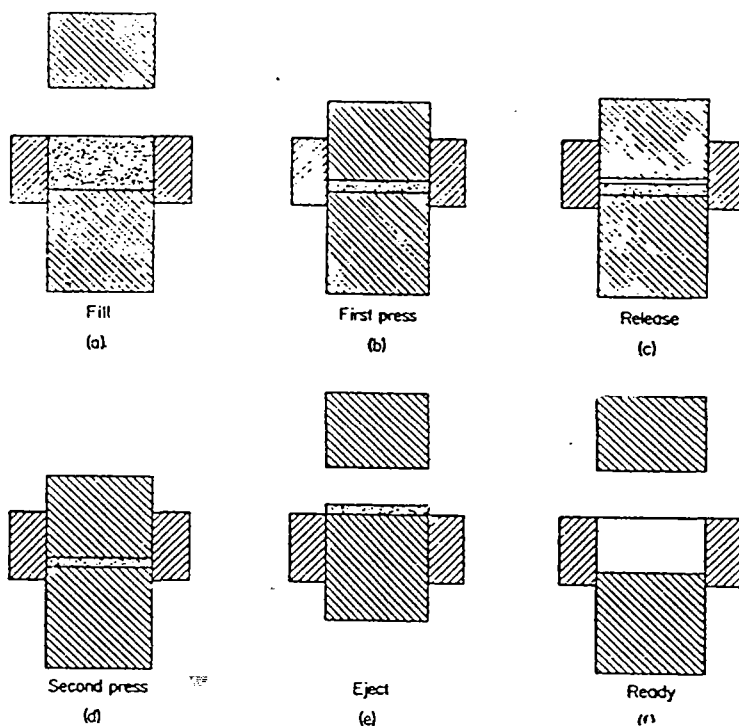
การออกแบบเพื่อใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยแรงอัด ควรคำนึงถึงความประหยัดมากที่สุด ซึ่งพอจะหลักการดังนี้

1. ในจังหวะการอัด ช่วงชักทั้งด้านบนและด้านล่างต้องไม่กระทบกัน และต้องมีช่องว่างมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเสียหายหรือแตกร้าว
2. รูในผลิตภัณฑ์ไม่ควรอยู่ชิดขอบผลิตภัณฑ์มากเกินไป มิฉะนั้นจะทำให้ผนังผลิตภัณฑ์บาง เกิดการแตกร้าว
3. ความสม่ำเสมอของพื้นที่หน้าตัด จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่มีมุมเอียงมีแนวโน้มจะทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ
4. รูข้างผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดขึ้นได้โดยใช้สลักลงในแบบ
5. ร่องต่าง ๆ บนผลิตภัณฑ์อาจทำได้โดยการกลึงหรือไสหลังจากเผา หรืออาจทำโดยสร้างสรรค์ภายในแบบ

6. เป็นเรื่องลำบากที่จะทำให้เกิดส่วนนูนต้านบนผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าจำเป็นควรทำให้เกิดความเว้าด้านล่างผลิตภัณฑ์ในลักษณะเดียวกัน เพื่อทำให้เกิดความหนาแน่นภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมอ

ผลิตภัณฑ์บางชนิดดูเหมือนจะมีรูปร่างแบนง่าย ๆ แต่ค่อนข้างลำบากที่จะผลิตโดยวิธีการอัดแบบอัตโนมัติ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ลักษณะแบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ ถึง 1 นิ้ว และหนา 0.020 นิ้ว มีปัญหาพอสมควร เนื่องจากมีความบางมากจึงลำบากที่จะทำให้การเติมผงเนื้อดินปั้นลงในแบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

โลหะที่ใช้เป็นแบบอาจใช้เหล็กหล่อ เหล็กกล้า หรือทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดมีราคาถูกและมีอายุการใช้งานเร็วหรือสั้น ตามลำดับ การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเนื้อดินปั้นที่เป็นฝุ่น มักใช้กับกระเบื้องและโมเสก (Mosaic)



ภาพประกอบ 3 แสดงวิธีการขึ้นรูปด้วยแรงอัดแบบอัตโนมัติ

ในการอัดแผ่นกระเบื้องหรือผลิตภัณฑ์ใด ๆ สิ่งสำคัญคือ จะต้องทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ถ้าผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ จะเป็นเหตุให้ผลิตภัณฑ์โค้งงอ และมีการหดตัวไม่เท่ากันเมื่อเผา การเคลื่อนตัวของฝุ่นใต้โต๊ะจะช่วยให้การอัดได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ การอัดผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กความหนาแน่นจะสม่ำเสมอมากกว่าผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เนื่องจากมีแรงเสียดสีผนังแบบน้อยกว่า การอัดทั้งด้านบนและด้านล่างจะทำให้ความหนาแน่นสม่ำเสมอมากกว่าอัดเพียงด้านเดียว การใช้วัสดุหล่อลื่นเข้าช่วยจะทำให้ความหนาแน่นสม่ำเสมอดียิ่งขึ้น การใช้แรงอัดสูงมาก ๆ จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์หลังจากเผามีความพรุนตัวและมีการหดตัวน้อย และแรงที่ใช้ต้องไม่มากจนทำให้เกิดการแตก การแตกจะมีลักษณะเป็นเส้นบริเวณกลางแผ่น ในทิศทางตั้งฉากกับแนวของแรงที่กด สาเหตุที่ทำให้แตกคืออากาศที่อยู่ในดินขยายตัว ทำให้เกิดแรงซึ่งมากกว่าแรงยึดกันระหว่างเนื้อดิน อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ ขณะยกแบบที่เป็นตัวอัดขึ้นมา เกิดแรงตูดระหว่างผิวแบบที่อัด และผิวหน้าผลิตภัณฑ์มากพอที่จะแยกผลิตภัณฑ์ออกเป็นสองส่วน

5.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการอัดพร้อมกับใช้ความร้อนช่วย (Hot pressing)

วัสดุซึ่งแม้จะอยู่ที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่มีเนื้อสารของเหลวเกิดขึ้น อะตอมของวัสดุนั้นมีการเคลื่อนตัวช้ามาก ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทำให้เนื้อวัสดุแน่น นอกจากจะใช้อุณหภูมิสูงมากและจำเป็นจะต้องใช้ความดันเข้าช่วยในระหว่างกรรมวิธีที่ทำให้วัสดุมีเนื้อแน่น ซึ่งเป็นวิธีเดียวที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC), โบรอนคาร์ไบด์ (B_4C_3) และโบรอนไนไตรด์ (BN) บริสุทธิ์ให้มีเนื้อแน่น วิธีการนี้สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมาก โดยไม่เกิดผลึกขนาดใหญ่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเสมอในระหว่างการเผาผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้อนุภาคในผลิตภัณฑ์ผนึกตัวกัน

วิธีการนี้ต้องใช้ความดัน และอุณหภูมิสูง แบบที่ใช้ในการผลิตจะต้องมีความแข็งแรงดีที่อุณหภูมิสูง วัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้ทำแบบได้แก่ แกรไฟต์ ซึ่งมีความทนทานต่อแรงดึง 400 ปอนด์/ตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิห้องและทนได้ถึง 7,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 2,500 องศาเซลเซียส แบบแกรไฟต์อาจทำให้ร้อนโดยอาศัยกระแสเหนี่ยวนำ หรือวัสดุอื่นที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ถูกอัดด้วยแท่งแกรไฟต์ ความดันที่ใช้อยู่ระหว่าง 2,000 – 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว

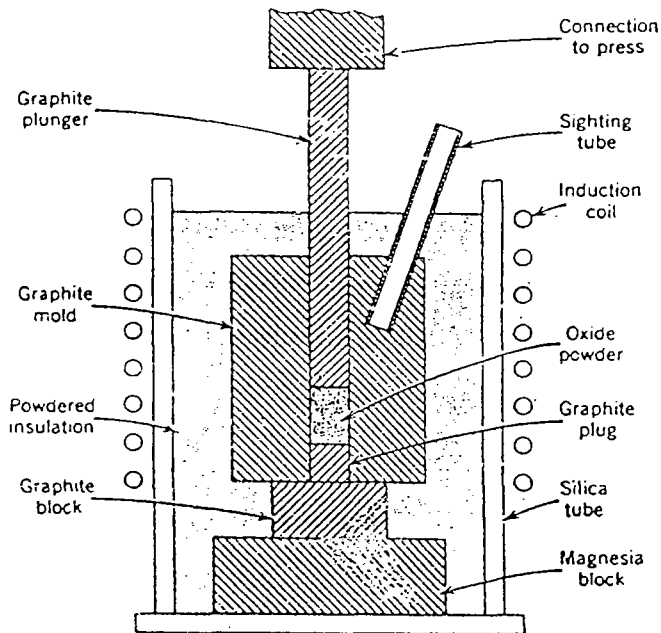
ข้อดีของวิธีการนี้ได้แก่ การเตรียมเนื้อวัสดุง่ายกว่าการเตรียมเนื้อวัสดุสำหรับวิธีการใช้ความร้อน ทำให้อนุภาคของสารรวมตัวกันแบบอื่น ๆ อนุภาคของวัสดุสามารถใช้ขนาดหยาบกว่าได้ แต่ในการเผาเพื่อทำให้อนุภาคผนึกตัวกันจำเป็นต้องใช้ความดันและอุณหภูมิสูงกว่า จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่น วิธีการนี้ใช้ได้กับวัสดุทุกชนิด เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะมีความพรุนตัวประมาณร้อยละ 2 – 5

ความยุ่งยากของวิธีการนี้คือ เวลาที่ต้องเสียไปใช้ในการเผาแบบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลทำให้การผลิตเป็นไปด้วยความล่าช้า แบบมีอายุการใช้งานสั้น เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

แบบที่ทำด้วย TIC จะใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส และความดัน 20,000 – 30,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว แบบที่ทำด้วยโลหะผสมโมลิบดีนัม ใช้ได้ในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส และใช้ความดันระหว่าง 20,000 – 30,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว บรรยากาศที่ใช้ในการเผาควรเป็นบรรยากาศที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

วิธีการนี้มีประโยชน์มากสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่ใช้อุณหภูมิในการเผาค่อนข้างต่ำ ผลิตภัณฑ์ผสมระหว่างเนื้อแก้วกับไมก้า (Glass bonded mica) สามารถอัดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบที่ทำด้วยเหล็กเหนียว ผลิตภัณฑ์เนื้อแก้วที่มีลักษณะคล้ายกันก็สามารถ

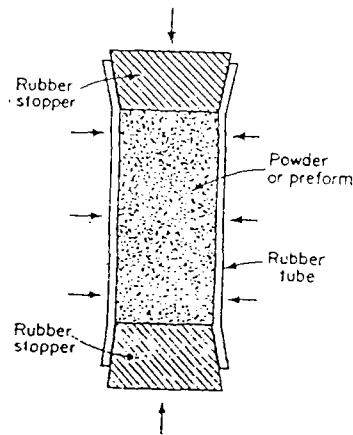
ผลิตได้โดยการอัดในแบบที่มีอุณหภูมิสูงกว่า การอัดและใช้ความร้อนเข้าช่วยโดยใช้แบบ ซึ่งทำด้วยเหล็กหล่อเป็นเทคนิคมาตรฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเนียนมาก ๆ



ภาพประกอบ 4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการอัดพร้อมกับใช้ความร้อนช่วย

5.3 การขึ้นรูปโดยวิธีไอโซสแตติกเพรสซิ่ง (Isostatic pressing)

วิธีการนี้ทำโดยการอัดเนื้อดินปั้น ซึ่งใส่ไว้ในแบบยึดหยุ่นได้ โดยแรงอัดชนิดไอโซสแตติก ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกอัดด้วยแรงอัดที่เกือบเท่ากันโดยตลอด ซึ่งหมายความว่าผลิตภัณฑ์ทุกส่วนจะมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่โค้งงอและไม่แตกเมื่อเผา วิธีการนี้สามารถใช้ความดันสูง ๆ ได้โดยไม่มีปัญหาเรื่องการแตก เนื่องจากความร้อน ข้อเสียของวิธีการนี้คือ รูปร่างภายนอกของผลิตภัณฑ์ไม่ได้รูปร่างที่ถูกต้อง



ภาพประกอบ 5 การขึ้นรูปโดยวิธีไอโซสแตติก เพรสซิ่ง

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปเผาเพื่อให้อนุภาคผนึกตัวกัน (Sinter) จะได้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นมากกว่าการขึ้นรูปโดยวิธีอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะว่าการขึ้นรูปโดยวิธีนี้จะมี ความเครียดเกิดขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์สูงมาก และความเครียดอันนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังเร่งให้เนื้อผลิตภัณฑ์ เกิดการผนึกตัวกันได้ดีและเร็วขึ้น การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้กับการผลิตวัสดุทนไฟชนิดพิเศษ ผลิตภัณฑ์เกิดการอัดใช้ความดันระหว่าง 5,000 ถึง 10,000 psi. และจังหวะอัดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 7 ครั้งต่อวินาที เนื้อดินปั้น ควรได้มาจากการทำเนื้อดินปั้นโดยวิธีผสมเปียก และทำให้แห้งโดยการผ่านเครื่องทำให้แห้งชนิดพ่นเป็น ละอองจะทำให้ได้เนื้อดินปั้นเป็นเม็ดกลม ๆ เล็ก ๆ ซึ่งจะทำให้มีการไหลตัวดีเวลาอัด ในเนื้อดินปั้นจะผสม สารที่ช่วยทำให้เกิดความเหนียวประมาณร้อยละ 2 ถึง 5 (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2535. 155 – 169)

5.4 วิธีการแปลงหน่วยเพื่อใช้ในการขึ้นรูป

หน่วย SI เป็นคำย่อของระบบหน่วยสากล (System International d'Unites) ระบบนี้ คล้าย ๆ ระบบเมตริก ซึ่งได้รับความนิยมใช้กันแพร่หลาย หน่วยพื้นฐานในระบบหน่วย SI ตาราง 9 แสดง หน่วยพื้นฐาน 7 หน่วย และหน่วยเสริมอีก 2 หน่วยในระบบหน่วย SI แต่ละหน่วยจะวัดปริมาณเฉพาะ

หน่วยดัดแปลงในระบบหน่วย System international d' unites (SI)

หน่วยดัดแปลงต่าง ๆ เกิดจากการรวมตัวกันของหน่วยพื้นฐานในระบบ SI หน่วยดัดแปลง หลายหน่วยมีชื่อเฉพาะของหน่วยนั้น ๆ เช่น หน่วยของ "แรง จะเรียกชื่อหน่วยว่า นิวตัน (Newton, N) หมายถึง "กิโลกรัม-เมตร ต่อวินาที"

อุปสรรคและตัวคูณในระบบหน่วย SI

การคูณหน่วยพื้นฐานสามารถทำได้โดยการยกกำลังจาก 10 ตัวอย่างเช่น กิโลเมตรคือ 1000 เมตร, "กิโล" เป็นอุปสรรค หมายถึง $1000(10^3)$ ตารางที่ 8 แสดงค่าตัวคูณ (ยกกำลังจาก 10), ค่า อุปสรรคที่สอดคล้องกันและสัญลักษณ์ที่ใช้แทน

ตาราง 9 หน่วยพื้นฐานและหน่วยเสริมในระบบหน่วย SI

| สัญลักษณ์ | หน่วย | ปริมาณที่วัด |
|-----------|-------------------------------|--------------------------|
| M | หน่วยพื้นฐาน เมตร, Meter | ความยาว |
| Kg | กิโลกรัม, Kilogram | มวล |
| S | วินาที, Second | เวลา |
| A | แอมแปร์, Ampere | กระแสไฟฟ้า |
| K | เคลวิน, Kelvin | อุณหภูมิ |
| Cd | แคนเดล่า, Canela | ความเข้มแห่งการส่องสว่าง |
| mol | โมล, Mole | ปริมาณของสาร |
| Rad | หน่วยเสริม เรเดียน, radian | มุมในระนาบ |
| sr | สเตอเรเดียน, Steradian | มุมในของแข็ง |

ตาราง 10 คำอุปสรรคและตัวคูณแปลงหน่วยในระบบหน่วย SI

| ตัวคูณแปลงหน่วย | คำอุปสรรค | สัญลักษณ์ |
|---|-----------|-----------|
| $1,000,000,000,000 = 10^{12}$ | เทอร่า, | T |
| $1,000,000,000 = 10^9$ | จิกะ, | G |
| $1,000,000 = 10^6$ | เมกะ, | M |
| $1,000 = 10^3$ | กิโล, | k |
| $100 = 10^2$ | เฮกโต, | h |
| $10 = 10^1$ | เดคา, | da |
| $0.1 = 10^{-1}$ | เดซิ, | d |
| $0.01 = 10^{-2}$ | เซนติ, | c |
| $0.001 = 10^{-3}$ | มิลลิ, | m |
| $0.000\ 001 = 10^{-6}$ | ไมโคร, | μ |
| $0.00\ 000\ 001 = 10^{-9}$ | นาโน, | n |
| $0.000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$ | พิโค, | p |
| $0.000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$ | เฟมโต, | f |
| $0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$ | อัตโต, | a |

(สุทธิพงษ์ ศรีกรรรมณ์. 2539: 15-17)

ตัวคูณแปลงหน่วย

สำหรับหน่วยระบบหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ ระบบหน่วยอังกฤษจะใช้หน่วยฟุต, ปอนด์, และวินาทีเป็นหลัก เป็นหน่วยที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นสหราชอาณาจักร และอาณานิคมในอดีต รวมทั้งสหรัฐอเมริกาด้วย ในปัจจุบันระบบนี้ไม่ค่อยมีใช้มากนักในประเทศสหรัฐอเมริกา หนังสืออ้างอิงต่าง ๆ จะมีการตีพิมพ์ตารางเปลี่ยนหน่วย ระหว่างสองระบบนี้ ตารางที่จัดได้ว่าสมบูรณ์ที่สุดเป็นของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (American National Standard Institute, ANSI) โดยตีพิมพ์ลงในเอกสาร ANSI Z210.1 – 1976 American National Standard Metric Practice ตารางเดียวกันนี้ ได้รับการตีพิมพ์ซ้ำลงในเอกสารต่อ ๆ มาอีกหลายเล่ม จากหลาย ๆ หน่วยงาน (สุทธิพงษ์ ศรีกรรรมณ์. 2539 : 4–7)

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้ายนั้น มีวัตถุประสงค์ประเภทที่ไม่มีความเหนียวเป็นส่วนประกอบซึ่งได้แก่ อลูมินาร้อยละ 88 – 93 หินฟันม้าร้อยละ 5 – 9 และโคลไรไมท์ร้อยละ 2 – 3 จึงต้องทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก ซึ่งจะต้องใช้แรงในการอัดขึ้นรูปไม่ต่ำกว่า 150 – 250 เมกะปาสคาล และเผาที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็ง มีความทนทานต่อการกดอัด มีความต้านทานต่อการสึกกร่อน (อารีวรรณ บุญเพ็ง. 2535: 101– 02) การศึกษาครั้งนี้ สามารถทำการแปลงหน่วยจากเมกะปาสคาล (Mpa) เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) ได้ดังนี้

| | | | |
|---------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| จากทฤษฎีการคำนวณ กำหนดให้ | 1 Mpa | = | 10^6 N/m^2 |
| | ถ้า 150 Mpa | = | $150 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ |
| | | = | $150 \times 10^3 \text{ KN/m}^2$ |
| จากค่าคงที่ | 1 kg/cm^2 | = | 98.07 KN/m^2 |
| | 1 KN/m^2 | = | 0.01019 kg/cm^2 |
| | 150 Mpa | = | $150 \times 10^3 \times 0.01019$ |
| | | = | 1528.5 kg/cm^2 |
| | ถ้า 200 Mpa | = | $200 \times 10^3 \times 0.01019$ |
| | | = | 2038 kg/cm^2 |

ดังนั้น ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จึงกำหนดให้ใช้แรงในการอัดขึ้นรูปที่ 2,000 3,000 และ 4,000 kg/cm^2

6. การเผาผลิตภัณฑ์และเตาเผาอุณหภูมิสูง

6.1 การเผาผลิตภัณฑ์

การเผา กรรมวิธีการเผาบ่อนดินเผา จะขอล่าวตามความสำคัญของชนิดเครื่องปั้นดินเผา 4 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดแตกต่างกันที่ลักษณะ ส่วนผสม เนื้อดินปั้น และน้ำเคลือบ คือ

1. เอิร์ทเทินแวร์ (Earthenware) เป็นเครื่องเคลือบดินเผาชนิดที่มีคุณภาพต่ำ และราคาถูกกว่าชนิดอื่นมีลักษณะชิ้นงานแบบเหนียวแน่น เคลือบเป็นมัน ทึบแสง ส่วนผสมของเนื้อดินปั้น มีตั้งแต่ผสมหินน้อยจนถึงไม่ใส่หินเลย ดังนี้

| วัสดุดิบ | สูตร | | |
|-----------|------|----|----|
| | A | B | C |
| ดินขาว | 75 | 70 | 62 |
| ดินเหนียว | 20 | | 20 |
| หินฟันม้า | 5 | 10 | 8 |
| ควอตซ์ | - | - | 10 |

ส่วนผสมจะมีดินมากกว่าหิน น้ำเคลือบเป็นส่วนผสมของตะกั่วหรือบอแรกซ์ มีอุณหภูมิเผาเคลือบที่ 800 – 1,200 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีการเผา เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยเผาแบบสมบูรณ์หรือออกซิเดชัน (Oxidation firing = O.F.) โดยใช้เตาไฟฟ้า และเผาแบบไม่สมบูรณ์หรือรีดักชัน (Reduction firing = R.F.) โดยใช้เตาเผาที่ใช้แก๊สและให้ควบคุมลมและแก๊สด้วย

2. สโตนแวร์ หรือไอรอนสโตนแวร์ (Stoneware or Ironstoneware) เป็นเครื่องเคลือบที่มีคุณภาพเหนือกว่า Earthenware เผาอุณหภูมิสูงกว่า และมีส่วนผสมของหินในเนื้อดินปั้นมากกว่าลักษณะผลิตภัณฑ์ จะมีเนื้อหนาแน่นแข็งแกร่ง เคลือบเป็นมัน ทึบแสง มีส่วนผสมเนื้อดินปั้น คือ

ดินขาว ร้อยละ 10 Pottery Stone ร้อยละ 62
ดินเหนียว ร้อยละ 20 หินฟันม้า ร้อยละ 8

กรรมวิธีเผา เผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส โดยเผาแบบธรรมดาหรือออกซิเดชัน การเผาดินควรดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 1.0 น้ำเคลือบเป็นส่วนผสมของเลด โบโรซิลิเกต (Lead borosilicate)

3. พอร์ซเลน (Porcelain) มีอยู่หลายอย่างด้วยกัน

3.1 ซอฟท์ พอร์ซเลน (Soft Porcelain) เช่น ถ้วย ชาม จาน ชุดน้ำชา

3.2 ฮาร์ด พอร์ซเลน (Hard Porcelain) เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ หม้ออบ

บอลมิล ใส่น้ำกรด

3.3 เดทอล พอร์ซเลน (Dotal Porcelain) เช่น ฟันปลอม

3.4 เคมีคอล พอร์ซเลน (Chemical Porcelain) เช่น เครื่องมือทาง

วิทยาศาสตร์ เบ้าหลอม ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 2 อย่างแรก คือ ซอฟท์ พอร์ซเลนจะมีลักษณะเนื้อบางแน่นเคลือบเป็นมัน โปร่งแสง ส่วนฮาร์ด พอร์ซเลนลักษณะเนื้อหนาแน่น เคลือบเป็นมัน ทึบแสง เป็นเครื่องเคลือบดินเผาชั้นดี มักเคลือบสีครามอ่อน และมันวาว มีส่วนผสมเนื้อดินปั้นดังนี้

| วัตถุดิบ \ ชนิดผลิตภัณฑ์ | ชนิดผลิตภัณฑ์ | |
|--------------------------|---------------|------|
| | Soft | Hard |
| ดินขาวหรือดินเหนียว | 50 % | 50 % |
| หินฟันม้า | 30 – 36 % | 25 % |
| ควอตซ์ | 14 – 20 % | 25 % |

กรรมวิธีการเผา

| การเผา \ ชนิดผลิตภัณฑ์ | ชนิดผลิตภัณฑ์ | |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Soft | Hard |
| เผาดิบ | 800 | ไม่เผาดิบ |
| เผาเคลือบ | 1,350 | 1,450 |
| ลักษณะเผา | เผาแบบธรรมดา และรีดักชัน | เผาแบบธรรมดา และรีดักชัน |

4. โบนไชน่า (Bone China) เป็นเครื่องเคลือบที่มีราคาแพงที่สุด ส่วนมากทำเป็นรูปสัตว์ ตุ๊กตา เพราะใช้กรรมวิธีหล่อในแบบพิมพ์ เนื่องจากส่วนผสมของเนื้อดินปั้นไม่เหนียว ขึ้นรูปได้ยาก มีลักษณะเนื้อบาง เคลือบเป็นมัน โปร่งแสง ส่วนผสมเนื้อดินปั้นใช้แก้วกระดูก เป็นจำนวนมากใส่ผสม ส่วนผสมเนื้อดินปั้น ดังนี้

| วัตถุดิบ \ สูตร | สูตร | |
|-----------------|------|----|
| | A | B |
| ดินขาว | 30 | 15 |
| ดินเหนียว | 15 | 15 |
| ควอตซ์ | - | 13 |
| หินฟันม้า | 10 | 10 |
| แก้วกระดูก | 45 | 47 |

หมายเหตุ ปริมาณคิดเป็นร้อยละ

กรรมวิธีการเผา เผาดิบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ความดูดซึมน้ำในการเผาดิบเกือบเป็นศูนย์ และเผาแบบธรรมดาหรือออกซิเดชันดีกว่าเผาแบบรีดักชัน ซึ่งจะให้ชิ้นงานที่มีสีเหลืองไม่ขาว น้ำเคลือบพวก บาโรซิลิเกต (Barosilicate)

ตาราง 11 ตารางเปรียบเทียบชนิดของเครื่องเคลือบดินเผา

| ชนิดของเครื่องเคลือบดินเผา | เอิร์ทเทินแวร์ (E.W.) | สโตนแวร์ (S.W.) | ซอฟ พอร์ซเลน (S.P.) | บอนไซหน้า (B.C.) |
|----------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| ส่วนผสม | หินน้อย | หินมาก | หินพื้นมามาก | เถ้ากระดูก |
| เผาดิบ | 800 | 1250 | 800 | 1250 |
| เผาเคลือบ | 800 – 1200 | 1100 | 1350 | 1100 |
| ลักษณะเผา | O.F. | O.F. | R.F. | O.F. |
| ลักษณะเคลือบ | ทึบแสง | ทึบแสง | โปร่งแสง | โปร่งแสง |

(เอกสารเผยแพร่ กองส่งเสริมเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2527: 13-14)

6.2 บรรยากาศในการเผา การเผาเคลือบแบ่งภาวะการเผาออกเป็น 2 แบบ คือการเผาแบบ ออกซิเดชันและการเผาแบบรีดักชัน

1. การเผาแบบออกซิเดชัน หรือการเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ คือ การเผาที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศภายในเตาเผา ทำปฏิกิริยาได้เพียงพอกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ การเผาแบบนี้มีอิทธิพลต่อสีของน้ำเคลือบบางชนิดบนผลิตภัณฑ์มาก เป็นการเผาชนิดที่ไม่มีควัน

2. การเผาแบบรีดักชัน หรือการเผาแบบสันดาปไม่สมบูรณ์ คือ การเผาที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศภายในเตา มีน้อยกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ ทำให้เกิดแก๊สต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ขึ้นมา และการเผาแบบนี้มีอิทธิพลต่อเคลือบบางอย่าง เช่น เคลือบเซลาดอน หรือเคลือบสีแดงจากสนิมของทองแดง การเผาแบบนี้เป็นการเผาแบบมีควัน (Nelson. 1966 : 91)

6.3 เตาเผาอุณหภูมิสูง เตาเผาอุณหภูมิสูงมีหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงเตา 2 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย คือ เตาแก๊สทางเดินลมร้อนลง และเตาไฟฟ้า

1. เตาแก๊สทางเดินลมร้อนลง (Gas down draft kiln) เป็นเตาชนิดที่ให้ความร้อนสูง เนื่องจากการออกแบบเตา ให้ความร้อนไหลหมุนเวียนภายในเตา แล้วไหลออกสู่ปล่อง ทำให้เพิ่มความร้อนภายในเตาให้สูงขึ้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2533 : 144) เตาชนิดนี้ส่วนใหญ่ออกแบบสร้างให้เป็นเตาขนาดใหญ่ ทำให้เผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก การบรรจุผลิตภัณฑ์โดยใช้รถ (Kiln car) ทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็เพิ่มรถไว้สำรองอีก ซึ่งเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเผาติดต่อกัน (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 33)

2. เตาไฟฟ้า (Electric kiln) เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในโรงเรียน และวงการอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เพราะมีความสะดวกต่อการเผาเป็นอันมาก ได้ผลแน่นอน และควบคุมอุณหภูมิได้ดี แต่การลงทุนค่อนข้างสูง ตั้งแต่ราคาเตา ค่ากระแสไฟฟ้า (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 148)

การทำงานของเตาไฟฟ้านั้น จะให้พลังงานจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดความต้านทาน ซึ่งขดลวดต้านทานนี้จะมีค่าต้านทานสูง และสามารถให้ความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงมาก เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่ไม่มีปล่องระบายความร้อนมีเพียงช่องเล็ก ๆ สำหรับให้แก๊สออกมาบ้าง หรือสำหรับใช้

มองดูสีไฟและผลิตภัณฑ์เท่านั้น การที่เตาไฟฟ้าไม่มีปล่องระบายความร้อนก็เนื่องจากเตาไฟฟ้าไม่มีเปลวไฟ และไม่มีควัน เรียกว่าการเผาเช่นนี้ว่า การเผาแบบออกซิเดชัน (ทวี พรหมพฤษณ์. 2523 : 149)

ข้อดีของเตาเผาไฟฟ้า (ทวี พรหมพฤษณ์. 2523 : 151)

1. ให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ
2. ควบคุมการเผาและอุณหภูมิได้สะดวก
3. เป็นเตาเผาที่เผาได้สะอาดที่สุด
4. สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย
5. บรรยากาศในการเผาเป็นแบบออกซิเดชัน จึงไม่ทำให้ผิวเคลือบ หรือสีของเคลือบเปลี่ยนแปลง

6.4 อุปกรณ์เตาเผาและเครื่องมือวัดอุณหภูมิในเตาเผา เตาเผาจำเป็นต้องมีวัสดุและอุปกรณ์ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1. ชั้นวางผลิตภัณฑ์ (Shelf) เป็นแผ่นสำหรับรองผลิตภัณฑ์ในเตาเผา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีหลายขนาด การวางผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีชั้นวาง โดยเฉพาะในเตาแก๊สและเตาไฟฟ้า ส่วนในเตาน้ำมันหรือเตาฟืนใช้จ้อ หรือหีบหนไฟแทน และการใช้ชั้นรองยังเป็นการใช้เนื้อที่ภายในห้องเผาอย่างเต็มที่อีกด้วย

2. ขาตั้ง (Posts) เป็นขาสำหรับวางชั้นรองในการเผาเคลือบ สามารถรับน้ำหนักและทนความร้อนได้สูง

3. วัสดุสำหรับทาชั้นรองผลิตภัณฑ์ (Kiln wash) ก่อนวางผลิตภัณฑ์ลงบนชั้นรอง ควรทาชั้นรองผลิตภัณฑ์ก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการไหลตัวของเคลือบ ที่จะไหลลงมากองที่ก้นของผลิตภัณฑ์และติดกับชั้นรองเมื่อเคลือบเย็นลง ทำให้ผลิตภัณฑ์และชั้นรองติดกันเป็นผลให้เสียหายทั้งผลิตภัณฑ์และชั้นรอง วัสดุสำหรับทาชั้นรองผลิตภัณฑ์ทำได้โดยนำเอาอลูมินาผสมกับดินละลายน้ำแล้วทาบบนชั้นรอง ตามต้องการ

4. ขาตั้งผลิตภัณฑ์ (Stilts) ทำด้วยวัสดุทนไฟมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันปลายขาตั้งจะถูกออกแบบให้แหลม เพื่อให้สัมผัสผิวผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด ผิวเคลือบจะได้ไม่มีตำหนิ และแก้ไขง่าย

5. ที่วางโคนชนิดที่ทำด้วยดิน (Cone plaques) ใช้สำหรับตั้งโคนในเตาเผา ซึ่งจะต้องใช้ดินที่มีความทนไฟสูง (ทวี พรหมพฤษณ์. 2523 : 158 – 159)

6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในเตา การวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาทำได้หลายวิธี เช่น การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัพเพิล (Thermocouple) การดูด้วยตาโดยประมาณ จากสีของไฟ การวัดด้วยออปติคัลไพโรมิเตอร์ (Optical pyrometer) เป็นต้น แต่มีวิธีการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ให้ความเที่ยงตรง และแม่นยำ และเป็นที่ยอมรับกันมากในปัจจุบันนี้ คือ การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกไพโรมิเตอร์ (Thermo Electric Pyrometer) และการวัดอุณหภูมิด้วยไพโรเมตริกโคน (Pyrometric cone) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

เทอร์โมอิเล็กทริกไพโรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเกิดกระแสไฟฟ้าจากความร้อน โดยนำเอาโลหะสองชนิดมาเชื่อมให้ปลายติดกัน (Thermocouple) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Indicator) แล้วเข็มจะชี้บอกอัตราความร้อนตามความมากน้อยของกระแสไฟฟ้า จึงมีตัวเลขเทียบอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และฟาเรนไฮต์ ปลายของโลหะที่ต่อไปยังหน้าปิด เรียกว่า โคลด์จังก์ชัน เทอร์โมคัพเพิล (Cold Junction Thermocouple) ที่วัดอุณหภูมิสูง ๆ จะมีเครื่องป้องกันโปรเจ็คเตอร์ (Protector) ทำด้วยวัสดุทนไฟป้องกันอีกชั้นหนึ่ง (ทวี พรหมพฤษณ์. 2525 : 107)

ไฟโรเมตริก โคน มีลักษณะเป็นรูปปริมาตร สามารถใช้วัดการเผาที่มีอุณหภูมิต่ำจนไปถึงอุณหภูมิสูงได้อย่างเหมาะสม โดยมีหมายเลขต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถใช้วัดอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ ในแต่ละหมายเลขนั้นจะมีค่าหลอมละลายในอุณหภูมิที่แน่นอน (Rado. 1988 : 115 – 116) ไฟโรเมตริก โคน เรียกสั้น ๆ ว่า โคน เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาเผา ใช้งานและสะดวก ผู้ที่คิดโคนเป็นครั้งแรก ได้แก่ ชาวเยอรมัน ชื่อ เซกเกอร์ (Segger) ตั้งชื่อว่า เซกเกอร์ โคน (Segger cone) โดยนำเอาวัตถุดิบทางเซรามิกส์มาทำเป็นแท่ง ปริมาตรที่ใช้วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 585 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจนถึง 2,015 องศาเซลเซียส และแบ่งออกเป็นหมายเลขต่าง ๆ ถึง 42 หมายเลข ระบบการจัดหมายเลขอุณหภูมิที่จะใช้หมายเลขศูนย์นำหน้า เช่น อุณหภูมิที่ต่ำสุด 022 อุณหภูมิที่สูงสุดหมายเลข 42 เป็นต้น โคนที่ใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบัน คือ เซกเกอร์ โคน และออร์ตัน โคน (Orton cone) (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 107)

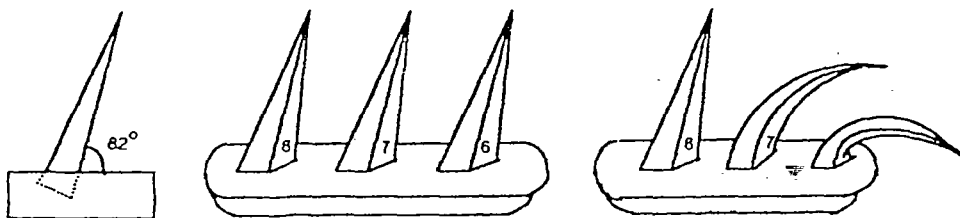
หมายเลขโคนมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเซรามิกส์โดยเฉพาะ คือ

ช่วงที่ 1 หมายเลข 010 ถึงหมายเลข 05 หรืออุณหภูมิ 894 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 1,046 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้องประดับ และกระเบื้องมุงหลังคาที่เคลือบด้วยเคลือบตะกั่ว เคลือบบอแรกซ์ เป็นต้น

ช่วงที่ 2 หมายเลข 6 ถึงหมายเลข 10 หรืออุณหภูมิ 1,222 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 1,305 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิของการเผาถ้วยชาม และผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั่วไป

ช่วงที่ 3 หมายเลข 26 ถึงหมายเลข 28 หรืออุณหภูมิ 1,595 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 1,615 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญในการทดสอบวัสดุทนไฟของโรงงานที่ผลิตวัสดุทนไฟ

ทวี พรหมพฤกษ์ (2523 : 168 – 169) ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้โคนไว้ว่า “ การวางโคนเป็นสิ่งที่สำคัญ ถ้าวางไม่ถูกต้องจะทำให้ค่าของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปได้ การวางต้องมีฐาน ซึ่งทำด้วยเนื้อดินปั้นที่มีความทนไฟพอ ฤกษ์กับโคน การเผาแต่ละครั้งจะต้องวางโคน 3 ตัว เช่น 8 , 7 และ 6 ตามลำดับ โคนแต่ละตัวต้องหันด้านแบบของโคนทำมุมกับฐานประมาณ 82 องศา โดยวางเรียงเป็นแถว” ดูภาพประกอบ



ภาพประกอบ 6 แสดงวิธีการวางโคน และการล้มของโคน

การวางโคนภายในเตา ต้องวางในที่ที่สามารถมองเห็นได้สะดวก โคนแต่ละตัวมีความทนความร้อนในจุดต่าง ๆ กัน เมื่อเผาอุณหภูมิถึงจุดสุดท้าย (Vitrity) ของโคนตัวใดแล้ว โคนนั้นจะล้มลงมาติดที่ฐานรองจากโคน 3 ตัวที่เป็นตัวอย่างนี้ โคน หมายเลข 7 เป็นจุดที่อุณหภูมิต้องการ จะไม่เอียงมากนัก อาจจะอ่านตามเข็มนาฬิกา เช่น หนึ่งนาฬิกา สองนาฬิกา สามนาฬิกา ก็ได้

7. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

คุณสมบัติทางกายภาพ เป็นการพิจารณาลักษณะของวัตถุดิบ โดยใช้คุณสมบัติที่สามารถจับต้องได้ด้วยการสัมผัส หรือตรวจสอบด้วยสายตา และใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเป็นบรรทัดฐานในการทดสอบ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541 : 244)

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวนำร่องเส้นด้าย ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ มีดังนี้

7.1 ทดสอบความแกร่งของเนื้อดิน (Bending strength , Modulus of rupture MOR.)

ความแกร่ง (toughness) คือคุณสมบัติของวัตถุที่สามารถจะรับแรงกระทำภายนอกได้โดยไม่หักขาดจากกัน ซึ่งวัดกันเป็นพลังงาน (energy) ที่วัตถุทนได้ก่อนหัก ค่าของความแกร่งวัดเป็น Modulus of Toughness (หน่วยวัดเป็น นิ้ว-ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ความแข็ง (hardness) หมายถึงความสามารถที่วัตถุทนทาน ต่อการขีดข่วน การตัด การเจาะ หรือการกระแทกต่าง ๆ ซึ่งสเกลที่ใช้วัดความแข็งที่ง่ายที่สุดคือ Moh's Hardness Scale ซึ่งมีการแบ่งสเกลออกเป็น 10 ชั้น จากความแข็งต่ำเป็น 1 ไปสู่ความแข็งสูงเป็น 10 ดังต่อไปนี้

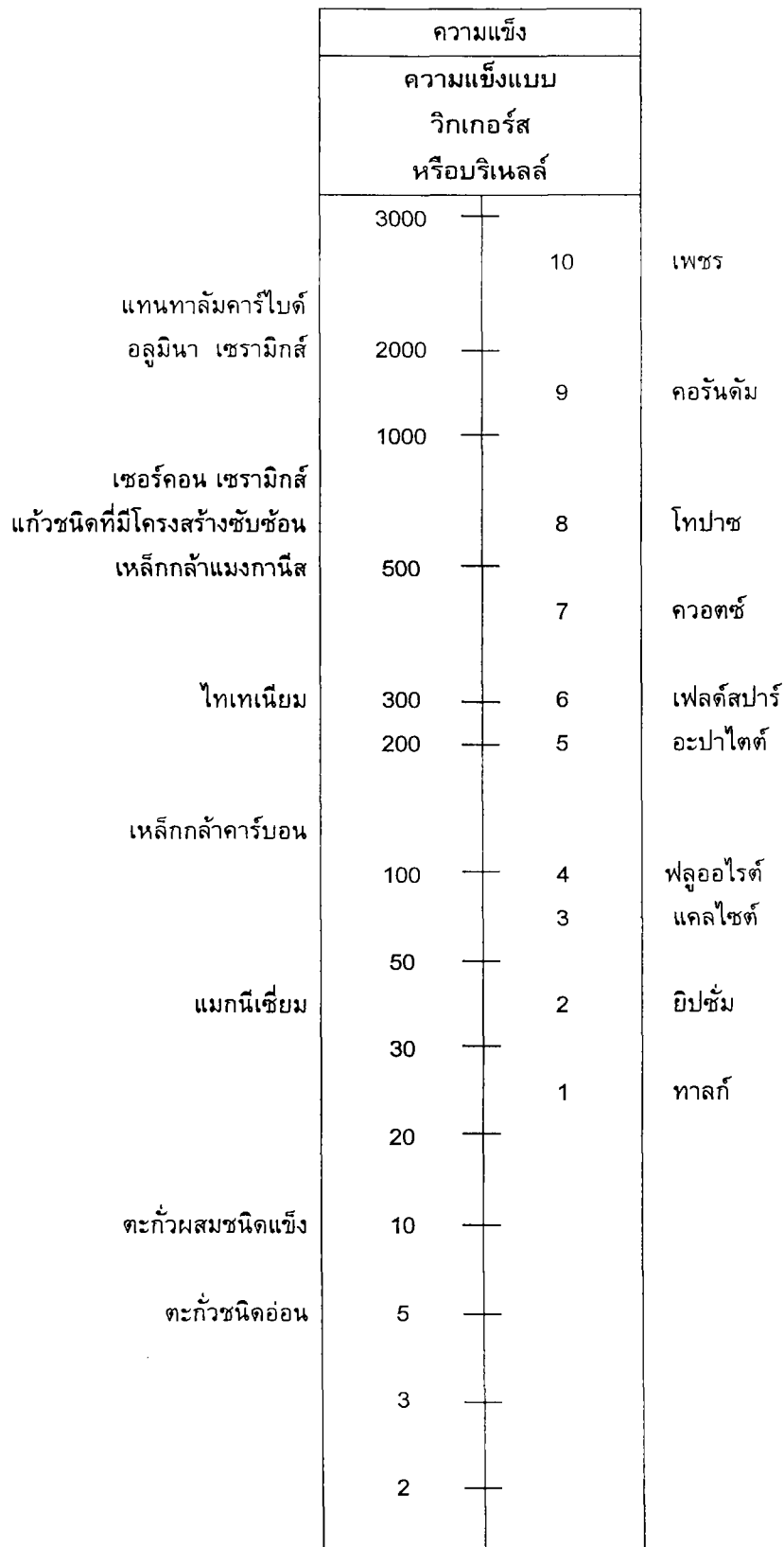
ตาราง Moh's Scale of Hardness

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. ทาลก์ (Talc) | 6. เฟลด์สปาร์ (Feldspar) |
| 2. ยิปซั่ม (Gypsum) | 7. ควอร์ต (Quartz) |
| 3. แคลไซต์ (Calcite) | 8. โทปาซ (Topaz) |
| 4. ฟลูออไรต์ (Fluorite) | 9. รูบี้หรือคอรันดัม (Ruby Or Corundum) |
| 5. อะปาไทต์ (Apatite) | 10. เพชร (Diamond) |

ตามสเกลนี้ เพชรเป็นวัตถุที่มีความแข็งที่สุด แก้วจะมีความแข็งประมาณ 5.5 ซึ่งเท่ากับเหล็กอ่อนธรรมดา เหล็กแข็งจะมีความแข็งประมาณ 6.5 ทั้งสแตนคาร์ไบด์จะมีความแข็งประมาณ 9-9.5 และโลหะส่วนใหญ่จะมีความแข็งประมาณ 6-9

ในการทดสอบความแข็งนั้น เครื่องทดสอบความแข็งของโลหะที่เกิดขึ้นจากในครั้งแรก มนุษย์เราทดลองโดยนำวัตถุ 2 ชนิดมาเสียดสีกัน ระหว่างการเสียดสีอยู่นั้นวัตถุที่มีความแข็งมากกว่าก็จะเสียดสีผิวของวัตถุที่อ่อนกว่าให้เป็นรอยหรือหลุดออกมา จึงทำให้มีการทดลองกันเรื่อยมา จนกระทั่งได้วัตถุที่แข็งที่สุด คือ เพชร นั่นเอง เมื่อได้เพชรเป็นวัตถุที่แข็งที่สุดแล้ว ก็ใช้เพชรนั้นเป็นมาตรฐานของความแข็ง และใช้เพชรทำเป็นหัวกด (indenter) สำหรับเครื่องทดสอบความแข็งต่าง ๆ และระบบการทดสอบความแข็งแบบเสียดสีนั้นเราเรียกขานระบบนี้ว่า Mohs และเป็นจุดเริ่มต้นการสร้างเครื่องทดสอบความแข็งแบบต่าง ๆ ดังภาพประกอบ 7

(สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และ ปรีทรรณ พันธ์ุรยงก์. (2538). โลหะวิทยาเชิงวิศวกรรม. 33-34).



ภาพประกอบ 7 ตารางเปรียบเทียบความแข็งของ โลหะ เซรามิกส์ และแร่ต่างๆ

การทดสอบความแกร่งของเนื้อดิน ทำได้ 2 ขั้นตอน คือ

1. การทดสอบความแกร่งก่อนเผา (Green strength)
2. การทดสอบความแกร่งหลังการเผา (Fired strength)

การทดสอบความแกร่งก่อนเผา (Green strength)

การทดสอบความแกร่งก่อนเผา เป็นการหาค่าความเหนียวและความละเอียดของเนื้อดินในทางอ้อม เนื้อดินมีความละเอียดมากจะมีความแกร่งสูง ดินที่ขุดพบในแหล่งใหม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานเดิม ถ้ามีผลใกล้เคียงกันก็สามารถนำมาใช้แทนกันได้อย่างปลอดภัย

การเตรียมตัวอย่าง เพื่อการทดสอบจะต้องทำตามกรรมวิธีการผลิตด้วย ตัวอย่างเช่น ดินที่ปั้นด้วยมือ ควรอัดแท่งทดสอบด้วยมือ เนื้อดินเครื่องสุญญากาศที่เป็นน้ำดินหล่อ ควรแท่งทดสอบด้วยวิธีหล่อน้ำดิน และเนื้อดินสำหรับอัดกระเบื้อง แท่งทดสอบก็ควรใช้วิธีอัดด้วยแรงดันสูงใกล้เคียงกัน เพื่อผลการทดสอบที่ได้มาตรฐาน

การทดสอบความแกร่งของเนื้อดินก่อนเผา มีประโยชน์เพื่อใช้วัดค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ก่อนเผา สามารถตกแต่งและหียบกผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาได้อย่างปลอดภัย เป็นการควบคุมการสูญเสียเบื้องต้นหลังการขึ้นรูป ก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา

สารกันดินตกตะกอนที่ช่วยให้ดินกระจายตัวได้สม่ำเสมอมีผลช่วยให้เนื้อดินเกาะตัวกันแน่น ดังนั้น ดินหล่อจึงมีค่าความแข็งแรงมากกว่าดินเหนียวที่ใช้ขึ้นรูปแบบจิกเกอร์ จากเนื้อดินสูตรเดียวกัน

ตัวอย่างแผ่นทดสอบ และแท่งทดสอบดินขาวร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 120 เมช ดินเหนียวร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 เมช ทั้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อนำแท่งทดสอบออกจากตู้อบแล้ว นำไปเก็บไว้ในครอบแก้วที่ไม่มีความชื้น นำแท่งทดสอบแท่งแรกไปทำการทดสอบทันที และแท่งต่อไปตามลำดับ ค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลง มีผลต่อค่าการทดสอบความแกร่งมาก ดังนั้นควรทดสอบทันทีหลังการอบแห้งสนิทที่ 110 องศาเซลเซียส ไม่ควรวางแท่งทดสอบทิ้งไว้นานเกินไป

การทดสอบความแกร่งของดินก่อนเผา ในห้องปฏิบัติการบางแห่ง ใช้วิธีอบแผ่นทดสอบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ในห้องที่ควบคุมความชื้นอีก 24 ชั่วโมง ซึ่งพยายามให้แท่งทดสอบมีสภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือมีความชื้นอยู่เล็กน้อย ตัวอย่างเช่น ถ้ามีค่าความชื้นสูงถึงร้อยละ 80 ความแกร่งจะลดลงไปเกือบครึ่งของตัวอย่างที่อบแห้งที่ 110 องศาเซลเซียส

แท่งทดสอบที่ใช้วิธีหล่อน้ำดิน ควรใช้น้ำดินที่เตรียมเพื่อการผลิตมาทดสอบหามาตราฐานเดิม หล่อแท่งทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 13 – 15 เซนติเมตร ควรทำกรวยหล่อให้มีน้ำดินสำรองในการหล่อ จนกว่าแท่งทดสอบจะถูกหล่อจนเต็ม นำแท่งทดสอบไปผึ่งแห้งและอบตามขั้นตอน ก่อนเข้าเครื่องทดสอบ

สูตร คำนวณหาค่าความแกร่งของแท่งทดสอบกลม

$$\text{MOR} = \frac{8 \text{ LD}}{\pi d^3}$$

L = ค่าน้ำหนักแรงกด

D = ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแท่งทดสอบ

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทดสอบ

(การคำนวณหาค่าเฉลี่ยในการทดสอบต้องทำ 10 ตัวอย่าง)

สูตร คำนวณหาค่าความแกร่งของแท่งทดสอบสี่เหลี่ยม

$$\text{MOR} = \frac{3 LD}{2 bd^2}$$

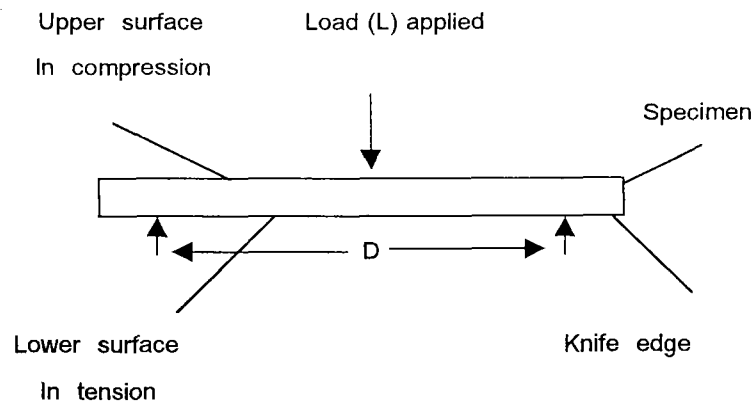
L = คำน้หนักแรงกดที่หัก

D = ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ

b = ความกว้างของแผ่นทดสอบ

d = ความหนาของแผ่นทดสอบ

หมายเหตุ หน่วยที่ใช้ในการคำนวณเป็นเซนติเมตรและกิโลกรัม ค่าที่ได้เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



ภาพประกอบ 8 แสดงแผ่นทดสอบวางบนลิ่มปลายแหลม 2 จุด และแรงกดทางด้านบนของแผ่นทดสอบ

ตาราง 12 แสดงความแกร่งของเนื้อดินชนิดต่างๆก่อนเผา (Ryan.& Radford. 1987. *Whiteware*.p.201

| ความแกร่งของเนื้อดินก่อนเผา M-O-R | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| เนื้อดิน | ปอนด์ / ตร.นิ้ว | กก. / ตร.ซม. |
| เอิร์ทเทินแวร์ | 450 – 650 | 32 – 46 |
| วิทเทียส ไฮแกลแวร์ | 500 – 700 | 35 – 49 |
| สโตนแวร์ | 800 | 56 |
| โบนไซนา | 350 – 450 | 25 – 35 |
| กระเบื้องบุผนัง | 300 | 21 |
| วิทเทรียส (สุกกัณฑ์) | 400 - 500 | 28 – 35 |

การทดสอบความแกร่งหลังการเผา (Fired strength)

แผ่นทดสอบและแท่งทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆ เมื่อนำไปเผาพร้อมผลิตภัณฑ์ จากตารางการเผาจริงเสร็จแล้วให้นำมาทดสอบความแกร่งหลังการเผาได้ ความแข็งแกร่งของเนื้อดินภายหลังการเผาอาจจะมีน้ำเคลือบ หรือไม่มีน้ำเคลือบก็ได้ แต่ต้องทำตามขั้นตอนตามมาตรฐานเดิม เพื่อการเปรียบเทียบกับการทดลองในครั้งก่อน ๆ

ตาราง 13 ค่าความแกร่งของดินภายหลังการเผาเมื่อคำนวณตามสูตร

| ค่าความแกร่งของเนื้อดินชนิดต่าง ๆ หลังการเผา | |
|--|---------------------------|
| เนื้อดิน | กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร |
| เอิร์ทเทินแวร์ | 490-630 |
| วิทเทรียสไฮเทิลแวร์ | 700-840 |
| บอนไซนา | 985-1400 |
| กระเบื้องบุผนัง | 160 |
| วิทเทรียส (สุขภัณฑ์) | 840 |

สรุปข้อผิดพลาดที่ทำให้วัดค่าความแกร่งไม่ได้มาตรฐาน

1. ความชื้นในแผ่นทดสอบไม่ได้มาตรฐาน
2. ความเร็วของแรงกดที่ทิ้งตัวลงมาไม่ได้มาตรฐาน
3. แท่งทดสอบมีตำหนิจากการเผา หรือจากการผิงแห้งเร็วเกินไป บิดงอ แตกร้า

เครื่องทดสอบความแกร่งในปัจจุบันเป็นระบบไฟฟ้า สามารถควบคุมความเร็วของลิ้มที่ตกลงมาได้สม่ำเสมอทุกครั้ง เครื่องแบบเก่าหมุนด้วยมือ ควรใช้ผู้ตรวจสอบคนเดิมทุกครั้งเพราะบางคนหมุนเร็ว บางคนหมุนช้าไม่เท่ากัน ทุกขั้นตอนจะต้องทดสอบตามกระบวนการเดิม จึงสามารถเปรียบเทียบได้มาตรฐาน

7.2 ทดสอบการดูดซึมน้ำ (Porosity)

ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินนั้น ทดสอบได้จากตัวอย่างดินที่เผาแล้วมีความสามารถดูดซึมน้ำได้มากน้อยเท่าไร โดยเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักแห้งของแผ่นทดสอบ แผ่นหรือแท่งทดสอบที่ใช้ไม่ควรชุบน้ำเคลือบ ควรใช้แผ่นทดสอบที่เป็นเนื้อดินเท่านั้น การทดสอบแบบง่าย ๆ สามารถทำได้โดยเอาลิ้นแตะที่เนื้อดิน หรือใช้วิธีเอาฟูกันจุ่มน้ำแล้วป้ายบนเนื้อดิน สังเกตดูว่าดูดซึมน้ำหรือไม่ แต่ไม่สามารถจะวัดออกมาเป็นอัตราส่วนที่แน่นอน การทดสอบที่เป็นมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณการดูดซึมน้ำของเนื้อดินออกมาเป็นอัตราส่วนร้อยละได้

ขั้นตอนในการทดสอบ

1. นำแผ่นทดสอบอย่างต่ำ 5 แท่ง ไปอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส หรือ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อแท่งทดสอบเย็นลงนำไปชั่งหาค่าน้ำหนักแห้งก่อนดูดซึมน้ำ จดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งไว้

2. นำแผ่นทดสอบไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นลง และแช่ไว้ในน้ำนั้นอีก 24 ชั่วโมง การต้มจะต้องหาเศษวัสดุรองไม่ให้แผ่นทดสอบติดกันภาชนะ แต่ละชิ้นวางห่างจากกัน
3. นำแผ่นทดสอบขึ้นมาจากน้ำ ใช้ผ้าหมาด ๆ ซับผิวแผ่นทดสอบให้ทั่ว
4. นำแผ่นทดสอบไปชั่งหาน้ำหนักที่ดูดซึมน้ำจดบันทึกไว้ นำมาคำนวณตามสูตร ทั้ง 5 ตัวอย่างแผ่นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

สูตร ค่าการดูดซึมน้ำ

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

ตัวอย่างการดูดซึมน้ำของเนื้อดินชนิดต่าง ๆ

| | |
|-------------------|-----------|
| อิฐก่อสร้าง | 20 – 40 % |
| ดินเอิร์ทเทินแวร์ | 5 – 20 % |
| ดินสโตนแวร์ | 1 – 5 % |
| กระเบื้องบุผนัง | 15 – 20 % |
| กระเบื้องปูพื้น | 3 – 5 % |
| อุปกรณ์ทนไฟในเตา | 18 – 25 % |

ค่าการดูดซึมน้ำโดยเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของเนื้อดิน (Apparent porosity)

การที่เนื้อดิน 2 ชนิดมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน แต่มีอัตราส่วนการดูดซึมน้ำเท่ากัน ไม่ได้หมายความว่าเนื้อดินทั้ง 2 ชนิด มีความแข็งแรงเท่ากัน

การเปรียบเทียบความหนาแน่นของเนื้อดินด้วยแล้ว เนื้อดินที่มีความหนาแน่นมากกว่า ย่อมดูดซึมน้ำให้อยู่ในมวลได้มากกว่า ถ้าต้องการหาค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินเพียงชนิดเดียว สามารถหาค่าการดูดซึมน้ำต่อน้ำหนักได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องนำมาเปรียบเทียบกับเนื้อดินชนิดอื่น ๆ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541 : 268)

7.3 การทดสอบลักษณะผิว

เป็นการพิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตภัณฑ์โดยการใช้เครื่อง Surfcom วัดค่าความหยาบผิว และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning electron microscope, SEM) ตรวจสอบลักษณะทั่วไป

วิธีการทดสอบลักษณะผิว โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบการกระจายขนาดของอนุภาค จะใช้ได้กับอนุภาคมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.5 ไมครอน จึงเหมาะสำหรับที่จะใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพแต่ละส่วนของอนุภาคที่ใช้ตะแกรงร่อน หรือได้จากวิธีการปล่อยให้อนุภาคจมตัวลง และเหมาะที่จะใช้ตรวจสอบรูปร่างและคุณสมบัติเฉพาะอื่น ๆ และวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนก็เหมือนกับกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา แต่ใช้ตรวจสอบขนาดและรูปร่างของอนุภาค ซึ่งมีขนาดเล็กมากกว่า คือ ตรวจสอบได้ถึง 0.1 ไมครอน (ปรีดา พิมพ์ขาวซ่า. 2535 : 157)

เกณฑ์มาตรฐานการทดสอบลักษณะผิว คุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ (Ceramic thread guides) เนื้ออลูมินาของต่างประเทศที่สั่งเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมาทดสอบ ดังนี้

| | | | |
|------------------------------------|---------|------------|-----------|
| ความหยาบผิว โดยเฉลี่ย (R_a) | เท่ากับ | 0.2 – 1.0 | ไมโครเมตร |
| พิสัยความสูงที่สุด (R_z) | “ | 1.7 – 10.5 | ไมโครเมตร |
| ความชันผิวโดยเฉลี่ย (θ_a) | “ | 1.2 – 8.2 | องศา |

(สุจินดา โชติพานิช และคณะ. 2541 : 46)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเตรียม และการศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อลูมินาเซรามิกส์ ที่มีความหนาแน่นสูง สำหรับงานด้านทอแทนต่อการสีกร่อน ซึ่งการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมอลูมินาเซรามิกส์ ประเภทที่มีอลูมินาเป็นส่วนประกอบร้อยละ 99 ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบไอโซสแตติก โดยใช้ความดันในช่วง 100 – 250 เมกะปาสคาล นำไปเผาขึ้นเทอริงที่อุณหภูมิ 1500 – 1650 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการเตรียม และผลิตภัณฑ์สุดท้าย อาทิ ความหนาแน่น ความทนทานต่อการกัดกร่อน ความแข็ง ความต้านทานต่อการสีกร่อน (อารีย์วรรณ บุญเพ็ง. 2535 : 101 – 102)

การวิจัย และพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ชนิดดั้งเดิม เป็นการวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกส์ชนิดดั้งเดิม จากวัตถุดิบในประเทศโดยวิธีหล่อต้น ทั้งนี้จากการศึกษาส่วนประกอบเชิงแร่ ของส่วนที่เป็นเนื้อดิน จากผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ ที่นำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทย พบว่า ประกอบด้วยแร่ซิลิกา ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) และควอตซ์ (SiO_2) เป็นหลัก จึงจัดเป็นเนื้อดินประเภท Triaxial body ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดิน ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) หินฟันม้า ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) และควอตซ์ และนอกจากนี้ยังทดลองหาเคลือบที่ทนทานต่อการขัดสี และเข้ากันได้กับเนื้อดิน เพื่อผู้ประกอบการ จะได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป และประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลองครั้งนี้ คือ ได้สูตรส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย (รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2540 : 87 – 88)

งานวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติ และลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ ในการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาสมบัติ และลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ (Ceramic thread guides) เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ ที่สั่งเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ซึ่งมีสีและความแข็งต่างกัน คือ ชมพูอ่อน ความแข็ง 1800 HV สีชมพูเข้ม ความแข็ง 1200 HV และสีแดงม่วงความแข็ง 1100 HV มาศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติและลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว เพื่อให้มีข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ต่อไป (สุจินดา โชติพานิช และคณะ : 2541 : 45 – 49)

การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออลูมินาสีแดงม่วง การศึกษาวิจัยนี้เป็นการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออลูมินาสีแดงม่วง จากวัตถุดิบอลูมินาชนิดละเอียด และชนิดหยาบ โดยใช้วัตถุดิบธรรมชาติ คือ ดินบอรัลล์เคลย์ ทัลค์ หินปูน เป็นตัวช่วยการเผาผนึก และโครมิกออกไซด์

เป็นสารให้สี จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1550 องศาเซลเซียส สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์จากอลูมินาชนิดละเอียด มีความหนาแน่น 3.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.10 ความแข็ง 1178 HV ผลิตภัณฑ์จากอลูมินาชนิดหยาบ มีความหนาแน่น 3.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.03 ความแข็ง 1207 HV จากสภาพทั่วไปของผิวและโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง มีความคล้ายคลึงกัน คือ ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม โครงสร้างประกอบด้วยผลึกอลูมินาเป็นรูปแท่งยาว คล้ายปริซึมในเนื้อแก้วและรูพรุนปิด (รายงานกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2542.)

กล่าวโดยสรุป ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย โดยมีอัตราส่วนผสมของอลูมินา ร้อยละ 88 – 93 หินฟันม้า ร้อยละ 5 – 9 โดโลไมท์ ร้อยละ 2 – 3 โครเมียมออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้เกิดสีชมพูอ่อน ร้อยละ 0.01 และสารเคมีที่ช่วยให้เกิดความเหนียวจนสามารถขึ้นรูปได้ คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ โดยจะทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก และแรงที่ใช้ในการกดอัด 2,000 , 3,000 และ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งจะทำการเผาขึ้นทดลองที่อุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส โดยใช้บรรยากาศออกซิเดชัน หลังจากนั้น จะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว ซึ่งความแข็งนั้นจะทำการทดสอบโดยการวัดความต้านทาน การเปลี่ยนรูปของผลิตภัณฑ์ การดูดซึมน้ำ จะทำการทดสอบโดยการวัดความสามารถรับหรือดูดซึมน้ำเข้าไปไว้ในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้จะทดสอบลักษณะผิว คือ ทดสอบโดยการพิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตภัณฑ์ โดยการใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบกวาดตรวจพินิจลักษณะทั่วไป ในการทดสอบทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพนั้น จะใช้ผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ (เรื่องการศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย
2. ตัวแปรที่ศึกษา
3. วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. ลำดับขั้นตอนของการวิจัย
5. แผนการดำเนินการวิจัย

1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1 อลูมินา จากบริษัท เซอร์นิกอินเตอร์เนชันแนล จำกัด ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 89 – 93
- 1.2 หินฟันม้า จากเหมืองแร่ อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 5 – 9
- 1.3 โดโลไมท์ เป็นแร่ที่มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม มีแหล่งกำเนิดที่อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 2 – 3
- 1.4 วัตถุประสงค์ที่ช่วยทำให้เกิดความเหนียว หรือสารเพิ่มการยึดเกาะ (Binder) ที่ใช้ในงานวิจัย คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 5
- 1.5 วัตถุประสงค์ที่ทำให้เกิดสี ได้แก่ โครเมียมออกไซด์ ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01

2. ตัวแปรที่ศึกษา

- 2.1 ตัวแปรอิสระ มีดังนี้
 - 2.1.1 อัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายโดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 10 อัตราส่วนผสม แต่ละอัตราส่วนผสมจำนวน 9 ชิ้น ทดลอง รวม 90 ชิ้น
 - 2.1.2 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกคือ 2000,3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- 2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย มีดังนี้
 - 2.2.1 ความแข็ง
 - 2.2.2 การดูดซึมน้ำ
 - 2.2.3 ลักษณะผิว

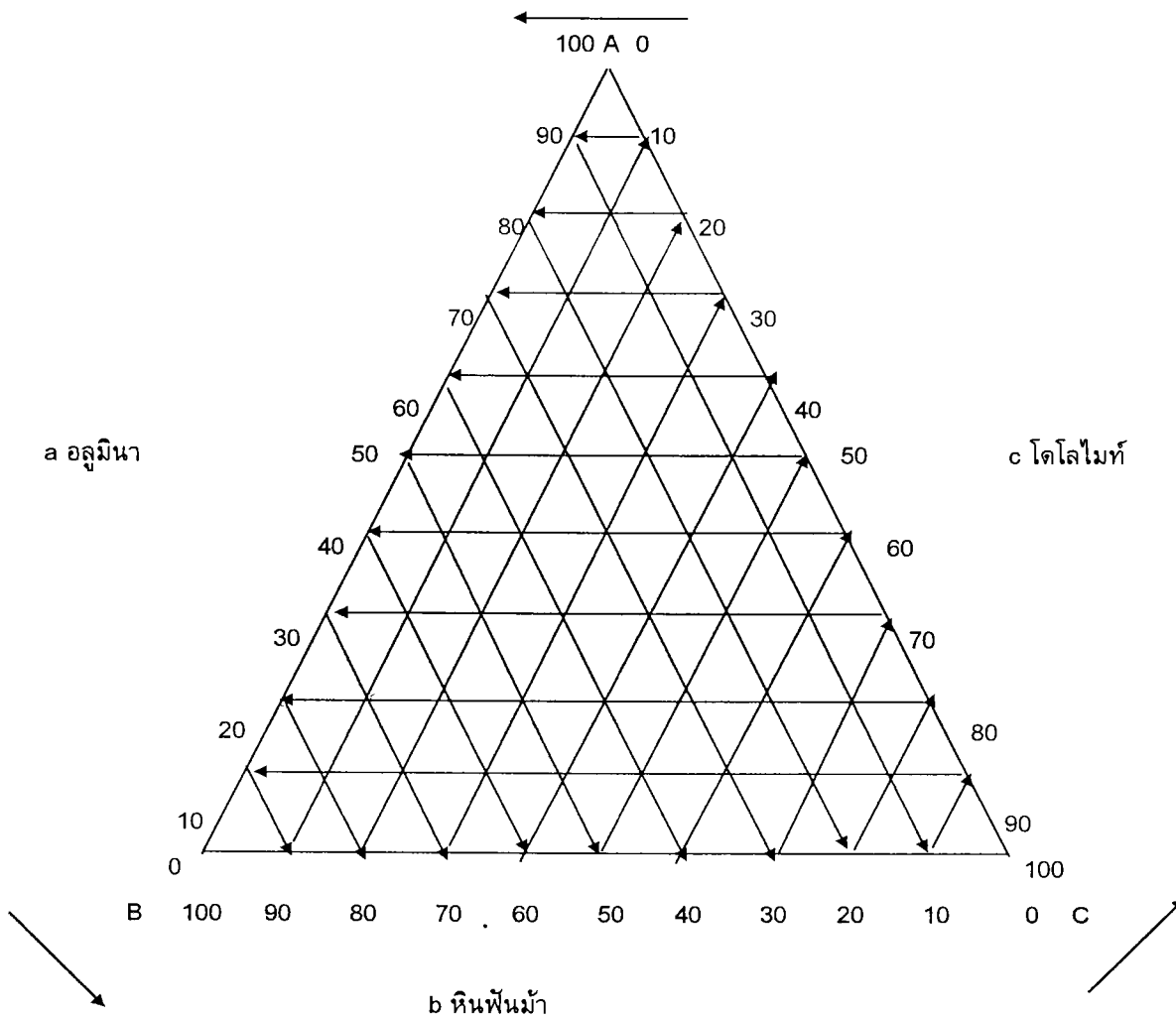
หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เพื่อทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมของ ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายครั้งนี้ คือ ผลการวิเคราะห์ด้านองค์ประกอบทางเคมีของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ ดังแสดงในตาราง ดังนี้

ตาราง 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพด้าน ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และ ลักษณะผิว

| รายการ | สีชมพูอ่อน | สีชมพูเข้ม | สีแดงม่วง |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| องค์ประกอบทางเคมี | - | - | - |
| SiO ₂ , ร้อยละ | 4.93 | 4.84 | 10.8 |
| Al ₂ O ₃ | 91.73 | 88.97 | 81.05 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.16 | 2.90 | 0.33 |
| CaO | 0.51 | 1.16 | 1.08 |
| MgO | 0.56 | 0.74 | 0.85 |
| Na ₂ O | <0.20 | <0.20 | 0.23 |
| K ₂ O | 0.06 | 0.02 | 0.23 |
| TiO ₂ | 0.08 | 0.11 | 0.19 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 | 0.69 | 4.04 |
| H ₂ O | 0.52 | 0.09 | - |
| Loss on Ignition | 0.60 | 0.18 | - |
| ความแข็ง HV | 1800 | 1200 | 1100 |
| การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| ลักษณะผิว | เป็นพื้นราบ มีหลุม | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มี ขอบคม | เป็นคลื่น ไม่มีขอบคม มีรูพรุนอยู่ทั่วไป |

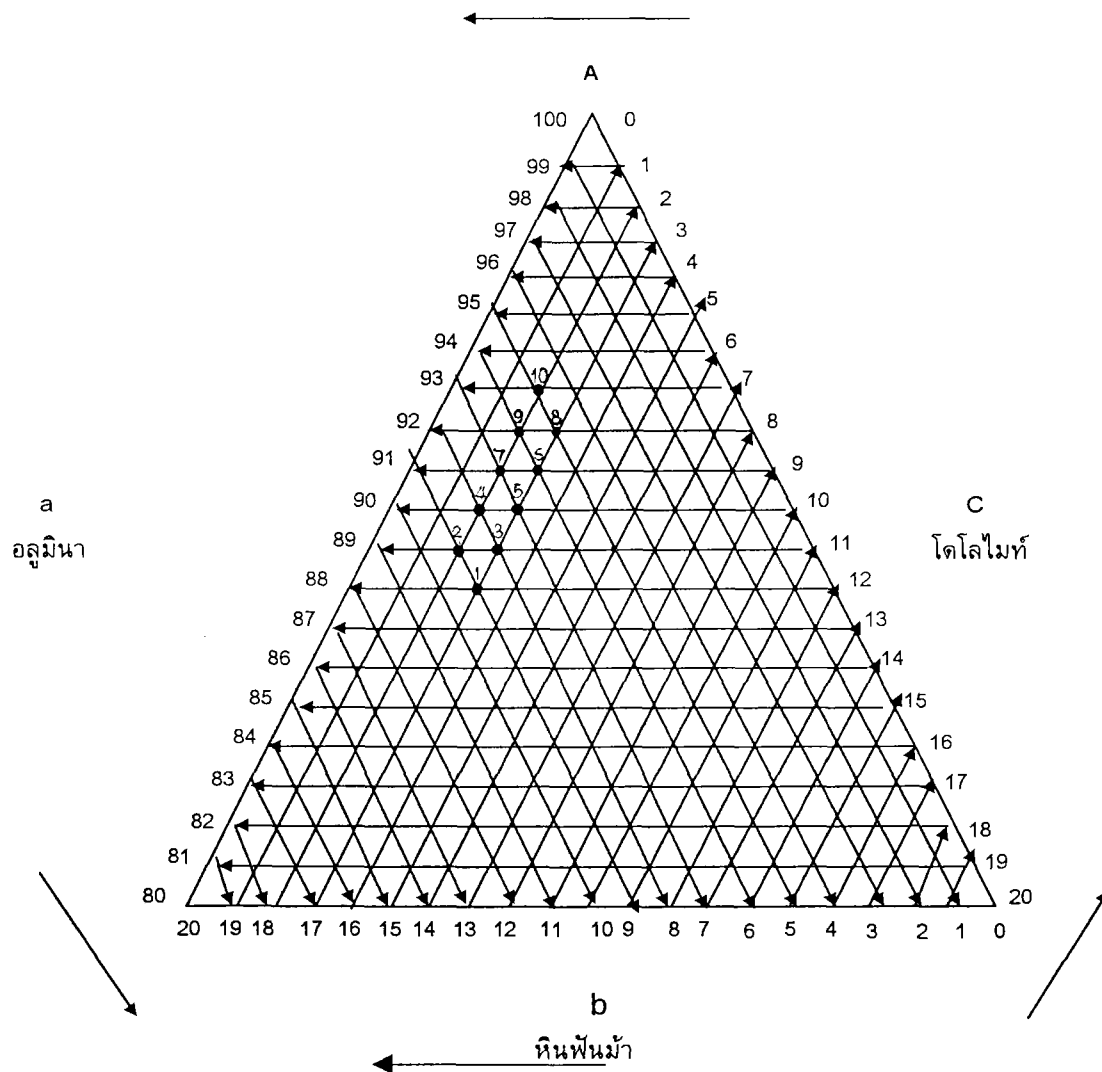
(สุจินดา โชติพานิชและคณะ, (2541). การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้าย เซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ. บทความวิชาการ. (10).46)

ในการทดลองหาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายในครั้งนี้ จะใช้ผลการวิเคราะห์ด้านองค์ประกอบทางเคมีของตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์สีชมพูอ่อนของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ และจะทำการหาอัตราส่วนผสมด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ดังต่อไปนี้



หมายเหตุ : กำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากด้าน a แทน อลูมินา
 กำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากด้าน b แทน หินฟันม้า
 กำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากด้าน c แทน โดโลไมท์

ภาพประกอบ 9 แสดงอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายที่ใช้ในการวิจัย
 10 อัตราส่วนผสม



ภาพประกอบ 10 แสดงอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายที่ใช้ในการวิจัย 10 อัตราส่วนผสม (ขยายจากภาพประกอบที่ 9)

สัญลักษณ์ • หมายถึง การกำหนดอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด เป็นการสุ่มแบบเจาะจง โดยจะอ่านค่าของวัตถุดิบตามทิศทางของลูกศรที่ปรากฏในแต่ละด้าน เช่น

สูตรที่ 1 อลูมินา อ่านที่ด้าน a มีค่าเท่ากับ 88

หินฟีนมา อ่านที่ด้าน b มีค่าเท่ากับ 9

โดโลไมท์ อ่านที่ด้าน c มีค่าเท่ากับ 3

ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำค่าทั้ง 3 ด้านมารวมกันแล้ว จะต้องมียุทธศาสตร์เท่ากับ 100 เสมอ

เมื่อกำหนดอัตราส่วนผสมได้แล้ว 10 อัตราส่วนผสม สามารถกำหนดค่าของอลูมินา แร่หินฟีนมา และโดโลไมท์ ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 15 แสดงอัตราส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์

| สูตรที่ | ส่วนผสมทั้งหมด (กรัม) โดยใช้แรงอัด 2,000 , 3,000 และ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว | | |
|---------|--|--|--|
| | อลูมินา (Al ₂ O ₃) | หินฟันม้า (K ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂) | โดโลไมท์ (CaCO ₃ MgCO ₃) |
| 1 | 88 | 9 | 3 |
| 2 | 89 | 9 | 2 |
| 3 | 89 | 8 | 3 |
| 4 | 90 | 8 | 2 |
| 5 | 90 | 7 | 3 |
| 6 | 91 | 6 | 3 |
| 7 | 91 | 7 | 2 |
| 8 | 92 | 5 | 3 |
| 9 | 92 | 6 | 2 |
| 10 | 93 | 5 | 2 |

หมายเหตุ : เหตุผลที่ทำการทดลองหาส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย จากอลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ เป็นจำนวน 10 อัตราส่วนผสม เนื่องจากได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เกี่ยวกับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายในห้องทดลอง ทำให้ทราบผลวิเคราะห์ขององค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย จึงสามารถเลือกใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศ คือ อลูมินาร้อยละ 88 – 93 หินฟันมาร้อยละ 5 – 9 และโดโลไมท์ร้อยละ 2 – 3 ซึ่งในอัตราส่วนดังกล่าว เมื่อรวมผลวิเคราะห์ขององค์ประกอบทางเคมีแล้ว ผลปรากฏว่ามีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

3. วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 อัตราส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์ จำนวน 10 อัตราส่วนผสม ได้มาจากการกำหนดสูตรโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial) ซึ่งแต่ละสูตรประกอบด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ อลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ นอกจากนี้ยังเติมโครเมียมออกไซด์ร้อยละ 0.01 ทุกอัตราส่วนผสม เพื่อให้เกิดสีชมพูอ่อน ซึ่งมีอัตราส่วนตามตารางและนำมาบดผสมด้วยหม้อบดขนาดเล็ก โดยใช้สูตรส่วนผสมละ 1 กิโลกรัม แล้วนำไปเผาสูตรละ 9 ชิ้นรวมทั้งหมด 90 ชิ้น

3.1.2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ จะทำการตรวจสอบ 3 ลักษณะ คือ

3.1.2.1 ลักษณะความแข็งของผลิตภัณฑ์ จะทำการตรวจสอบโดยการนำชิ้นทดลองมาหาค่าความแข็ง โดยใช้เครื่อง Strength

3.1.2.2 ลักษณะการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์

3.1.2.3 ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ จะทำการตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

อิเล็กทรอนิกส์แบบกวาดตรวจพินิจลักษณะทั่วไป

3.1.3 แบบรวบรวมข้อมูล (แสดงในภาคผนวก)

4. ลำดับขั้นตอนของการวิจัย จะแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เป็นการศึกษาผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีของตัวนำร่องเส้นด้ายของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อหาวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ทดแทน และวัตถุดิบดังกล่าวต้องมีผลรวมขององค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ขั้นที่ 2 เป็นการทดลองหาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ

1. อลูมินา
2. หินฟันม้า
3. โดโลไมท์

โดยส่วนผสมได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า

ขั้นที่ 3 เป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิก ด้วยแรง 2,000 , 3,000 และ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยการควบคุมความชื้นของวัตถุดิบร้อยละ 5

ขั้นที่ 4 เป็นการนำชิ้นทดลองเข้าเผาด้วยเตาไฟฟ้า กำหนดอุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส โดยใช้บรรยากาศในการเผาไหม้แบบสมบูรณ์

ขั้นที่ 5 เป็นการนำชิ้นทดลองทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

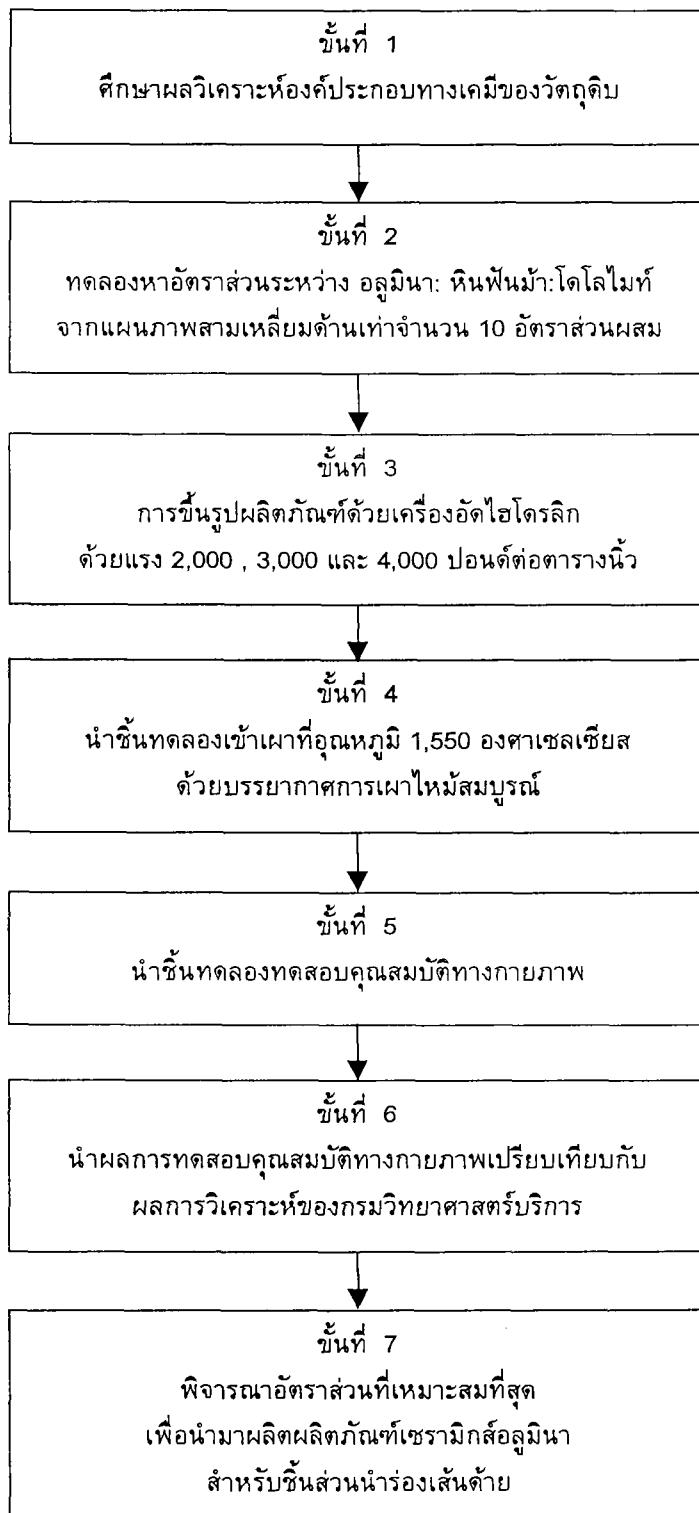
1. ความแข็ง
2. การดูดซึมน้ำ
3. ลักษณะผิว

ขั้นที่ 6 นำผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากขั้นที่ 5 มาเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ขั้นที่ 7 เลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ (คุณวุฒิและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ แสดง ในภาคผนวก)

สรุปลำดับขั้นตอนของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ลำดับขั้นของการวิจัย



ลำดับชั้นในการทดลอง

ขั้นที่ 1 เป็นการศึกษาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวนำร่องเส้นด้ายของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อหาวัตถุที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ทดแทนเนื้อดินอลูมินาของต่างประเทศ ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ทำการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการคำนวณเบื้องต้น มีดังนี้

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

| | |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 4.93 |
| Al ₂ O ₃ | 91.79 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.16 |
| CaO | 0.51 |
| MgO | 0.56 |
| Na ₂ O | 0.20 |
| K ₂ O | 0.06 |
| TiO ₂ | 0.08 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 |
| H ₂ O | 0.52 |
| L.O.I. | 0.60 |

1.2 องค์ประกอบทางเคมีของอลูมินา

| | |
|--------------------------------|-------|
| Al ₂ O ₃ | 99.70 |
| Na ₂ O | 0.27 |
| SiO ₂ | 0.01 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.01 |
| L.O.I. | 0.06 |

ตาราง 16 แสดงการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีของอลูมินา

ในการทดลองครั้งนี้จะใช้อลูมินาร้อยละ 88 – 93 โดยการคำนวณ ดังนี้

| | อลูมินา ร้อยละ 88 | อลูมินา ร้อยละ 89 | อลูมินา ร้อยละ 90 |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Al ₂ O ₃ | $99.7 \times 88 \div 100 = 87.736$ | $99.7 \times 89 \div 100 = 88.733$ | $99.7 \times 90 \div 100 = 89.73$ |
| Na ₂ O | $0.27 \times 88 \div 100 = 0.238$ | $0.27 \times 89 \div 100 = 0.240$ | $0.27 \times 90 \div 100 = 0.243$ |
| SiO ₂ | $0.01 \times 88 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 89 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 90 \div 100 = 0.009$ |
| Fe ₂ O ₃ | $0.01 \times 88 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 89 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 90 \div 100 = 0.009$ |
| L.O.I. | $0.06 \times 88 \div 100 = 0.053$ | $0.06 \times 89 \div 100 = 0.053$ | $0.06 \times 90 \div 100 = 0.054$ |

ตาราง 16 (ต่อ)

| | อลูมินา ร้อยละ 91 | อลูมินา ร้อยละ 92 | อลูมินา ร้อยละ 93 |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Al ₂ O ₃ | $99.7 \times 91 \div 100 = 90.727$ | $99.7 \times 92 \div 100 = 91.724$ | $99.7 \times 93 \div 100 = 92.72$ |
| Na ₂ O | $0.27 \times 91 \div 100 = 0.243$ | $0.27 \times 92 \div 100 = 0.248$ | $0.27 \times 93 \div 100 = 0.251$ |
| SiO ₂ | $0.01 \times 91 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 92 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 93 \div 100 = 0.009$ |
| Fe ₂ O ₃ | $0.01 \times 91 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 92 \div 100 = 0.009$ | $0.01 \times 93 \div 100 = 0.009$ |
| L.O.I. | $0.06 \times 91 \div 100 = 0.055$ | $0.06 \times 92 \div 100 = 0.055$ | $0.06 \times 93 \div 100 = 0.056$ |

1.3 องค์ประกอบทางเคมีของโดโลไมท์ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

| | |
|--------------------------------|-------|
| Al ₂ O ₃ | 1.20 |
| SiO ₂ | 0.12 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.50 |
| CaO | 31.90 |
| MgO | 20.80 |
| L.O.I. | 46.30 |

ในการทดลองครั้งนี้จะใช้โดโลไมท์ ร้อยละ 2 – 3

ตาราง 17 แสดงการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีของโดโลไมท์

| | โดโลไมท์ ร้อยละ 2 | โดโลไมท์ ร้อยละ 3 |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Al ₂ O ₃ | $1.2 \times 2 \div 100 = 0.024$ | $1.2 \times 3 \div 100 = 0.036$ |
| SiO ₂ | $0.12 \times 2 \div 100 = 0.002$ | $0.12 \times 3 \div 100 = 0.004$ |
| Fe ₂ O ₃ | $0.50 \times 2 \div 100 = 0.01$ | $0.50 \times 3 \div 100 = 0.015$ |
| CaO | $31.90 \times 2 \div 100 = 0.638$ | $31.90 \times 3 \div 100 = 0.957$ |
| MgO | $20.80 \times 2 \div 100 = 0.416$ | $20.80 \times 3 \div 100 = 0.624$ |
| L.O.I. | $46.30 \times 2 \div 100 = 0.926$ | $46.30 \times 3 \div 100 = 1.389$ |

1.4 องค์ประกอบทางเคมีของหินพื้นผ้า

| | |
|--------------------------------|-------|
| Al ₂ O ₃ | 19.36 |
| SiO ₂ | 70.21 |
| K ₂ O | 0.10 |
| Na ₂ O | 0.70 |
| CaO | 0.02 |
| MgO | 0.23 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.12 |
| L.O.I. | 0.38 |

ในการทดลองครั้งนี้จะใช้เฟลด์สปาร์ร้อยละ 5 – 9

ตาราง 18 แสดงการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีของเฟลด์สปาร์

| เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 5 | เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 6 | เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 7 |
|---|--------------------------|-------------------------|
| Al ₂ O ₃ 19.36 X 5 ÷ 100 = 0.926 | 19.36 X 6 ÷ 100 = 0.926 | 19.36 X 7 ÷ 100 = 0.926 |
| SiO ₂ 70.21 X 5 ÷ 100 = 3.511 | 70.21 X 6 ÷ 100 = 4.213 | 70.21 X 7 ÷ 100 = 4.915 |
| K ₂ O 0.10 X 5 ÷ 100 = 0.005 | 0.10 X 6 ÷ 100 = 0.006 | 0.10 X 7 ÷ 100 = 0.007 |
| Na ₂ O 0.70 X 5 ÷ 100 = 0.035 | 0.70 X 6 ÷ 100 = 0.042 | 0.70 X 7 ÷ 100 = 0.049 |
| CaO 0.20 X 5 ÷ 100 = 0.010 | 0.20 X 6 ÷ 100 = 0.012 | 0.20 X 7 ÷ 100 = 0.014 |
| MgO 0.23 X 5 ÷ 100 = 0.012 | 0.23 X 6 ÷ 100 = 0.014 | 0.23 X 7 ÷ 100 = 0.0161 |
| Fe ₂ O ₃ 0.12 X 5 ÷ 100 = 0.006 | 0.12 X 6 ÷ 100 = 0.007 | 0.12 X 7 ÷ 100 = 0.0084 |
| L.O.I. 0.38 X 5 ÷ 100 = 0.019 | 0.38 X 6 ÷ 100 = 0.023 | 0.38 X 7 ÷ 100 = 0.0266 |
| เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 8 | เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 9 | |
| Al ₂ O ₃ 19.36 X 8 ÷ 100 = 1.5488 | 19.36 X 9 ÷ 100 = 1.7424 | |
| SiO ₂ 70.21 X 8 ÷ 100 = 5.6168 | 70.21 X 9 ÷ 100 = 6.3189 | |
| K ₂ O 0.10 X 8 ÷ 100 = 0.008 | 0.10 X 9 ÷ 100 = 0.0090 | |
| Na ₂ O 0.70 X 8 ÷ 100 = 0.056 | 0.70 X 9 ÷ 100 = 0.0630 | |
| CaO 0.20 X 8 ÷ 100 = 0.016 | 0.20 X 9 ÷ 100 = 0.0180 | |
| MgO 0.23 X 8 ÷ 100 = 0.0184 | 0.23 X 9 ÷ 100 = 0.0207 | |
| Fe ₂ O ₃ 0.12 X 8 ÷ 100 = 0.0096 | 0.12 X 9 ÷ 100 = 0.0108 | |
| L.O.I. 0.38 X 8 ÷ 100 = 0.0304 | 0.38 X 9 ÷ 100 = 0.0342 | |

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จากอลูมินา

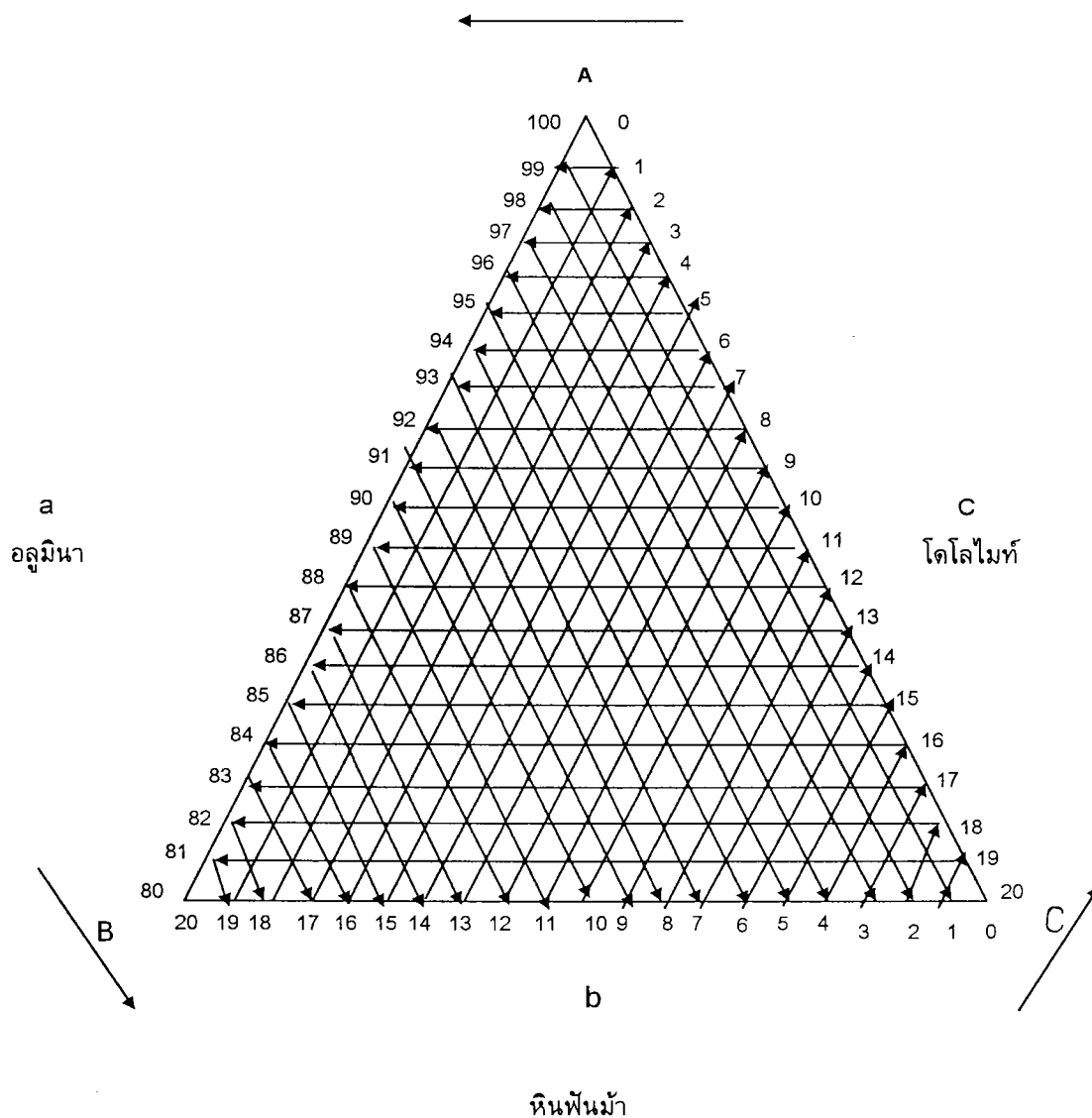
สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

ตาราง 19 สรุป 10 อัตราส่วนผสมซึ่งได้จากการคำนวณองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น มีดังนี้

| สูตรที่ องค์ประกอบ ทางเคมี | ผลวิเคราะห์ของ กรมวิทยา ศาสตร์บริการ (สีชมพูอ่อน) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| SiO ₂ | 4.93 | 6.3319 | 6.3299 | 5.6298 | 5.6278 | 4.928 | 4.226 | 4.926 | 3.524 | 4.224 | 3.522 |
| Al ₂ O ₃ | 91.79 | 89.5144 | 90.4994 | 90.3178 | 91.3028 | 91.121 | 91.925 | 92.106 | 92.728 | 92.91 | 93.712 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.16 | 0.0348 | 0.0298 | 0.0336 | 0.0286 | 0.0324 | 0.031 | 0.0274 | 0.03 | 0.026 | 0.025 |
| CaO | 0.51 | 0.975 | 0.656 | 0.973 | 0.654 | 0.971 | 0.969 | 0.652 | 0.967 | 0.65 | 0.648 |
| MgO | 0.56 | 0.6447 | 0.4367 | 0.6424 | 0.4344 | 0.6401 | 0.638 | 0.4321 | 0.636 | 0.43 | 0.428 |
| Na ₂ O | < 0.20 | 0.301 | 0.303 | 0.296 | 0.299 | 0.292 | 0.285 | 0.292 | 0.283 | 0.29 | 0.286 |
| K ₂ O | 0.06 | 0.009 | 0.009 | 0.008 | 0.008 | 0.007 | 0.006 | 0.007 | 0.005 | 0.006 | 0.005 |
| TiO ₂ | 0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| H ₂ O | 0.52 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| L.O.I. | 0.60 | 1.4762 | 1.0132 | 1.4724 | 1.0104 | 1.4696 | 1.417 | 1.0076 | 1.463 | 1.004 | 1.001 |

ขั้นที่ 2 เป็นการทดลองหาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับการผลิตชิ้นส่วน
นำร่องเส้นด้าย

1. การกำหนดอัตราส่วนผสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ด้วยวิธีสุ่มแบบเจาะจง 10
อัตราส่วนผสม



ภาพประกอบ 11 แสดงการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วน
นำร่องเส้นด้าย

2. การเตรียมวัตถุดิบ

2.1 อลูมินา เป็นอลูมินาที่ใช้ในการค้า มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณสมบัติเพิ่มความแข็งแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ในการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 89 – 93

2.2 เฟลด์สปาร์ เป็นแร่ชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโครงสร้างของเนื้อดิน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดอยู่ใน บริเวณอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ในการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 5 – 9

2.3 โคลโลไมท์ เป็นแร่ที่มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอเนตของแคลเซียม และแมกนีเซียม มีคุณสมบัติช่วยลดอุณหภูมิในการเผา ในการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 2 – 3

2.4 โพลีไวเนิล แอลกอฮอล์ เป็นสารเคมีที่ช่วยให้วัตถุดิบเกิดความเหนียว ในการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 5

2.5 โครเมียมออกไซด์ เป็นสารเคมีที่ช่วยให้เกิดสีชมพูอ่อน ในการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 0.01

3. การขึ้นวัตถุดิบและการบดผสม

3.1 นำวัตถุดิบที่อบไล่ความชื้นแล้วมาชั่งตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด จำนวนอัตราส่วนละ 1 กิโลกรัมของวัตถุดิบ 3 ชนิด นำวัตถุดิบที่ชั่งทั้งหมดแต่ละอัตราส่วนใส่ลงในหม้อบดแล้วเติมน้ำ 500 cc. และบดแต่ละอัตราส่วน 8 ชั่วโมง

3.2 นำวัตถุดิบที่บดแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช โดยกำหนดให้มีกากค้างอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1 – 0.2

4. นำวัตถุดิบที่ผ่านตะแกรงแล้ว มาอบให้แห้งที่ 100 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบ

5. นำวัตถุดิบที่ผ่านการอบแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบด หรือหม้อบดก็ได้ โดยการผสม Binder เพื่อเพิ่มความเหนียว หรือความทรงตัวในการขึ้นรูป (Binder ได้แก่ เซลลูโลส ชีฟิ่งหรือโพลีไวเนิลแอลกอฮอล์)

6. นำวัตถุดิบที่ผ่านการบดผสมแห้งแล้ว เข้าอบโดยกำหนดให้มีความชื้นที่ร้อยละ 5

ขั้นที่ 3 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก

1. ทำแบบพิมพ์จะทำด้วยเหล็กกล้าแข็ง เป็นรูปร่างแบบกระสวยสแตนเลส

2. นำวัตถุดิบที่ควบคุมความชื้นแล้วมาทำการอัดขึ้นรูป โดยใช้เครื่องไฮดรอลิก ซึ่งใช้แรงดัน 2,000 , 3,000 และ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ลงในแบบพิมพ์

3. นำผลิตภัณฑ์ออกจากแบบพิมพ์ แล้วทำเครื่องหมายโดยกำหนดให้ 10 อัตราส่วนผสมเป็น A – J อัตราส่วนผสมละ 10 ชิ้น โดยที่

A₁₁₁ ถึง A₁₁₃ แทนชิ้นทดลองที่ใช้แรงอัดขึ้นรูปที่ 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

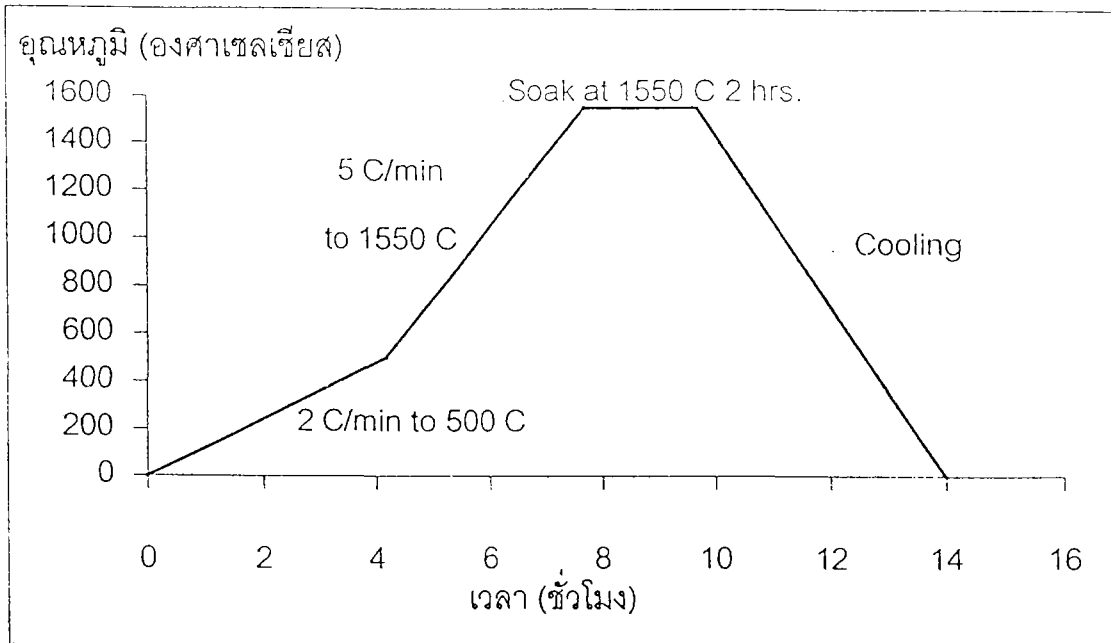
A₁₂₁ ถึง A₁₂₃ แทนชิ้นทดลองที่ใช้แรงอัดขึ้นรูปที่ 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

และ A₁₃₁ ถึง A₁₃₃ แทนชิ้นทดลองที่ใช้แรงอัดขึ้นรูปที่ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นที่ 4 การเผา

1. นำชิ้นตัวอย่างที่อัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วเข้าเผาด้วยเตาไฟฟ้า เผาที่อุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส โดยใช้บรรยากาศในการเผาแบบการเผาไหม้สมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง

ตารางการเผาที่ใช้



ภาพประกอบ 12 แสดงโปรแกรมการเผาผลิตภัณฑ์

ขั้นที่ 5 เป็นการนำชิ้นทดลองมาหาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1. การทดสอบความแข็ง คือการหาค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture, MOR)

มีหน่วยเป็น kg/cm^2 หรือ Mpa

$$\text{การคำนวณ MOR} = \frac{3 LD}{2 bd^2}$$

| | | | |
|-------|---|---|----------------------------------|
| เมื่อ | L | = | ค่าน้ำหนักแรงกดที่หัก |
| | D | = | ระยะห่างของลิมที่รองรับแท่งทดสอบ |
| | b | = | ความกว้างของแผ่นทดสอบ |
| | d | = | ความหนาของแผ่นทดสอบ |

ค่าที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบความแข็งจากตารางสเกล คือ Mohs' Hardness Scale ซึ่งมีการแบ่งสเกลออกเป็น 10 ชั้น จากความแข็งต่ำเป็น 1 ไปสู่ความแข็งสูง เป็น 10 ดังต่อไปนี้

| | | ความแข็ง | | | |
|-------------------------------|------|--------------|----|--|------------|
| | | ความแข็งแบบ | | | |
| | | วิกเกอร์ส | | | |
| | | หรือบริเนลล์ | | | |
| | 3000 | — | | | |
| แทนทาลัมคาร์ไบด์ | | | 10 | | เพชร |
| อลูมินา เซรามิกส์ | 2000 | — | | | |
| | | | 9 | | คอร์รันดัม |
| | 1000 | — | | | |
| เซอร์คอน เซรามิกส์ | | | | | |
| แก้วชนิดที่มีโครงสร้างซับซ้อน | | | 8 | | โทปาซ |
| เหล็กกล้าแมงกานีส | 500 | — | | | |
| | | | 7 | | ควอตซ์ |
| | 300 | — | | | |
| ไทเทเนียม | | | 6 | | เฟลด์สปาร์ |
| | 200 | — | | | |
| | | | 5 | | อะปาไทต์ |
| | 100 | — | | | |
| เหล็กกล้าคาร์บอน | | | 4 | | ฟลูออไรต์ |
| | | | 3 | | แคลไซต์ |
| | 50 | — | | | |
| แมกนีเซียม | | | 2 | | ยิปซัม |
| | 30 | — | | | |
| | | | 1 | | ทาลก์ |
| | 20 | — | | | |
| ตะกั่วผสมชนิดแข็ง | 10 | — | | | |
| | | | | | |
| ตะกั่วชนิดอ่อน | 5 | — | | | |
| | | | | | |
| | 3 | — | | | |
| | | | | | |
| | 2 | — | | | |

ภาพประกอบ 13 ตารางเปรียบเทียบความแข็งของ โลหะ เซรามิกส์ และแร่ต่างๆ

2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ดูดน้ำ} &= \frac{\text{จุดอิ่มตัว - ผลิตรหนักที่แห้งแล้ว}}{\text{ผลิตรหนักที่แห้งแล้ว}} \\ \text{(Percent absorption)} &= \frac{\text{(Saturated) - (Dry weigh)}}{\text{(Dry weigh)}} \end{aligned}$$

3. การทดสอบลักษณะผิว โดยการใช้พิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตรหนัก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจพินิจลักษณะทั่วไป

ขั้นที่ 6 นำผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากการวิจัยเข้าทดลองในครั้งนี้ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ตาราง 20 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากการทดลองกับผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

| คุณสมบัติทางกายภาพ | ผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| ความแข็ง | 1100-1800 | | | | | | | | | | |
| การดูดซึมน้ำ | 0.00 -0.10 | | | | | | | | | | |
| ลักษณะผิว | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม | | | | | | | | | | |

ขั้นที่ 7 เลือกสูตรที่ดีที่สุดสำหรับนำไปผลิตผลิตรหนักเซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้าย โดยการพิจารณาจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ จากผู้เชี่ยวชาญ

หมายเหตุ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตรหนักเซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้ายนั้น จะใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากชิ้นทดลองในแต่ละอัตราส่วนผสม จากชิ้นทดลองอัตราส่วนผสม 5 ชิ้น โดยการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะใช้สูตรการหา ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{N}$$

กำหนดให้ X ; ค่าของคุณสมบัติทางกายภาพในแต่ละด้านที่ทดสอบได้
N ; จำนวนชิ้นทดลองทั้งหมด

5. แผนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีแผนการปฏิบัติงานตามตาราง ดังต่อไปนี้

| ขั้นตอนการทำงาน | รายละเอียด | ระยะเวลาดำเนินการ |
|---|---|----------------------------|
| 1. ชั้นเตรียมการ | ศึกษาค้นคว้าโดยทำการค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ | 1 ม.ค. – 31 พ.ค. 2543 |
| 2. ชั้นสอบเค้าโครง | แก้ไขงานตามอาจารย์ที่ปรึกษาแนะนำ และเตรียมตัวสอบเค้าโครง | 1 มิ.ย. – 30 ธ.ค. 2543 |
| 3. ชั้นนำเสนอเค้าโครง | ปรับปรุงแก้ไขเค้าโครงอย่างสมบูรณ์ และนำส่งบัณฑิตวิทยาลัย | 1 – 15 ม.ค. 2544 |
| 4. ชั้นทดลอง | สถานที่ที่ใช้สำหรับการทดลองมีดังนี้ 1. ห้องทดลองของโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี 2. ทำการเผาผลิตภัณฑ์ที่บริษัท จีเอส ซี แร็มมิกส์ อ. ปางปู้ จ. สมุทรปราการ 3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ | 1 ก.พ. – 30 พ.ย. 2544 |
| 5. ชั้นวิเคราะห์ข้อมูล | นำผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพมาเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์ | 1 ธ.ค. 2544 – 31 ม.ค. 2545 |
| 6. เรียบเรียงรายงาน | | 1 ก.พ. – 15 ก.พ. 2545 |
| 7. ตรวจสอบความเรียบร้อย | นำบทที่ 1 – 5 ให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความเรียบร้อย และแก้ไขให้เสร็จสมบูรณ์ | 16 ก.พ. – 1 เม.ย. 2545 |
| 8. นำส่งบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อตรวจสอบความเรียบร้อย | นำปริญญาานิพนธ์ที่แก้ไขสมบูรณ์แล้วนำส่งบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อตรวจสอบรายละเอียดของรูปแบบ | 5 เม.ย. – 22 เม.ย. |

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชั้นส่วนนำร่องเส้นด้าย โดยมีอัตราส่วนของอลูมินา ร้อยละ 88-93 หินฟันม้า ร้อยละ 5-9 และโดโลไมท์ 2-3 นอกจากนี้ มีโครเมียมออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้เกิดสีชมพูอ่อน ร้อยละ 0.01 และสารเคมีที่ช่วยให้เกิดความเหนียวจนสามารถขึ้นรูปได้ คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 20 นำมาหาอัตราส่วนผสมโดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 10 สูตร แล้วทำการขึ้นรูปขึ้นทลองด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยมีขนาดของชั้นทลองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความสูงของชั้นทลอง 3 นิ้ว โดยใช้แรงกดอัดในการขึ้นรูป 3 ระดับคือ 2000 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งแรงกดอัดในแต่ละระดับจะทำการขึ้นรูปขึ้นทลอง 3 ชั้น รวม 9 ชั้นทลองต่อ 1 สูตร ซึ่งรวมทั้งหมด 90 ชั้นทลอง หลังจากนั้นจะนำเข้าเตาเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส โดยใช้บรรยากาศในการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว ซึ่งความแข็งนั้นจะทำการทดสอบโดยการวัดความต้านทานการเปลี่ยนรูปของผลิตภัณฑ์ การดูดซึมน้ำ จะทำการทดสอบโดยโดยการวัดความสามารถรับหรือดูดซึมน้ำเข้าไปไว้ในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไป และทดสอบลักษณะผิว คือทำการทดสอบโดยการพิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบกวาดตรวจพินิจลักษณะทั่วไป และในการทดสอบทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพนั้น จะใช้ผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เรื่องการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

ตาราง 21 แสดงหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ

| รายการ | สีชมพูอ่อน | สีชมพูเข้ม | สีแดงม่วง |
|---------------|--------------------|----------------------------------|--|
| ความแข็ง (HV) | 1800 | 1200 | 1100 |
| การดูดซึมน้ำ | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| ลักษณะผิว | เป็นพื้นราบ มีหลุม | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม | เป็นคลื่น ไม่มีขอบคม มีรูพรุนเล็กๆ อยู่ทั่วไป |

สุจินดา โชติพานิชและคณะ, บทความวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ม.ค. – มี.ค. 2541. 46.)

ในการทดลองครั้งนี้ จะใช้ผลการวิเคราะห์ของตัวนำร่องเส้นด้าย สีชมพูอ่อนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชั้นส่วนนำร่องเส้นด้ายจำนวน 10 สูตร และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการปรากฏผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 22 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง ด้านการดูดซึมน้ำ และด้านลักษณะผิว โดยใช้แรงในการกดอัดขึ้นรูป 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | คุณสมบัติทางกายภาพ | ความแข็ง | การดูดซึมน้ำ | ลักษณะผิว |
|---------|---|----------|--------------|--------------------------------|
| | ผลวิเคราะห์ตัวนำร่อง เส้นตายของกรมวิทย์ฯ สีชมพูอ่อน | 1800 | 0.00 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 1 | | 2352.34 | 0.61 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 2 | | 1312.66 | 0.80 | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 3 | | 2217.94 | 0.31 | เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| 4 | | 2530.52 | 0.15 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 5 | | 1523.15 | 0.30 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 6 | | 2528.64 | 0.15 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 7 | | 1126.86 | 1.10 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 8 | | 2069.29 | 0.31 | เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| 9 | | 1381.97 | 2.27 | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 10 | | 2147.04 | 2.33 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |

(ข้อมูลจากตารางสามารถศึกษารายละเอียดได้จากภาคผนวก ก หน้า 94, 98, 101)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ด้านความแข็ง ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทั้ง 10 สูตร จะมีอัตราส่วนผสมของอลูมินาอยู่ในช่วงร้อยละ 88-93 หินพื้นมาอยู่ในช่วง ร้อยละ 5-9 และโดโลไมท์อยู่ในช่วง ร้อยละ 2-3 พบว่าชั้นทดลองสามารถทดสอบความแข็งได้ตั้งแต่ 1126.86-2530.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูตรที่มีค่าความแข็งได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 1,3,4,6,8 และ 10 ซึ่งมีความแข็ง 2352.34, 2217.94, 2530.52, 2528.64, 2069.29 และ 2147.04 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ส่วนสูตรที่มีค่าความแข็งไม่ได้ตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 2,5,7 และ 9 ซึ่งมีค่าความแข็ง 1312.66, 1523.15, 1126.86 และ 1381.97 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ด้านการดูดซึมน้ำ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ไม่มีสูตรใดได้ผลการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.15-2.33

ด้านลักษณะผิว ปรากฏว่าทุกสูตรมีลักษณะผิวคล้ายผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ตาราง 23 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง ด้านการดูดซึมน้ำ และด้านลักษณะผิว โดยใช้แรงในการกดอัดขึ้นรูป 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | คุณสมบัติทางกายภาพ | ความแข็ง | การดูดซึมน้ำ | ลักษณะผิว |
|---------|---|----------|--------------|--------------------------------|
| | ผลวิเคราะห์ตัวนำร่องเส้นตายของกรรมวิธียีสัมพูอ่อน | 1800 | 0.00 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 1 | | 2400.30 | 0.78 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 2 | | 1516.94 | 1.15 | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 3 | | 2062.30 | 0.46 | เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| 4 | | 2553.85 | 0.30 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 5 | | 2076.01 | 0.00 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 6 | | 2546.46 | 0.16 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 7 | | 1227.03 | 1.41 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 8 | | 2200.11 | 0.16 | เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| 9 | | 1555.84 | 1.56 | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 10 | | 2348.208 | 1.41 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |

(ข้อมูลจากตารางสามารถศึกษารายละเอียดได้จากภาคผนวก ก หน้า 95, 99, 102)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ด้านความแข็งข้อมูลจากตารางแสดงว่า ชั้นทดลองสามารถทดสอบความแข็งได้ตั้งแต่ 1227.03-2553.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่ปรากฏค่าความแข็งได้ตามผลวิเคราะห์ของกรรมวิธียีสัมพูอ่อน บริการ คือ สูตรที่ 1,3,4,5,6,8 และ 10 ซึ่งมีค่าความแข็ง คือ 2400.30, 2062.30, 2553.85, 2076.01, 2546.46, 2200.11, และ 2348.208 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ส่วนสูตรที่มีค่าความแข็งไม่ได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรรมวิธียีสัมพูอ่อน บริการ คือ สูตรที่ 2,7 และ 9 ซึ่งมีค่าความแข็ง คือ 1516.94, 1227.03, และ 1555.84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ด้านการดูดซึมน้ำ พบว่า สูตรที่ 5 เป็นสูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับผลการวิเคราะห์ของกรรมวิธียีสัมพูอ่อน บริการ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของ อลูมินา ร้อยละ 90 หินฟันม้า ร้อยละ 7 และโดโลไมท์ ร้อยละ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 ส่วนสูตรที่ 1,2,3,4,6,7,8,9 และ 10 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.16-1.56

ด้านลักษณะผิว ปรากฏว่าทุกสูตรมีลักษณะผิวคล้ายกับผลการวิเคราะห์ของกรรมวิธียีสัมพูอ่อน บริการ

ตาราง 24 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง ด้านการดูดซึมน้ำ และด้านลักษณะผิว โดยใช้แรงในการกดอัดขึ้นรูป 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| คุณสมบัติทาง กายภาพ | ความแข็ง | การดูดซึมน้ำ | ลักษณะผิว |
|--|----------|--------------|--------------------------------|
| สูตรที่ ผลวิเคราะห์ตัวนำร่อง เส้นด้ายของกรรมวิทย์ฯ สีชมพูอ่อน | 1800 | 0.00 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 1 | 2405.33 | 0.87 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 2 | 1719.38 | 1.13 | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 3 | 2062.73 | 0.46 | เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| 4 | 2564.17 | 0.44 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 5 | 2350.79 | 0.29 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 6 | 2552.74 | 0.00 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 7 | 1336.00 | 0.47 | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| 8 | 2351.55 | 0.16 | เป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| 9 | 1690.80 | 1.10 | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| 10 | 2383.50 | 0.47 | เป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |

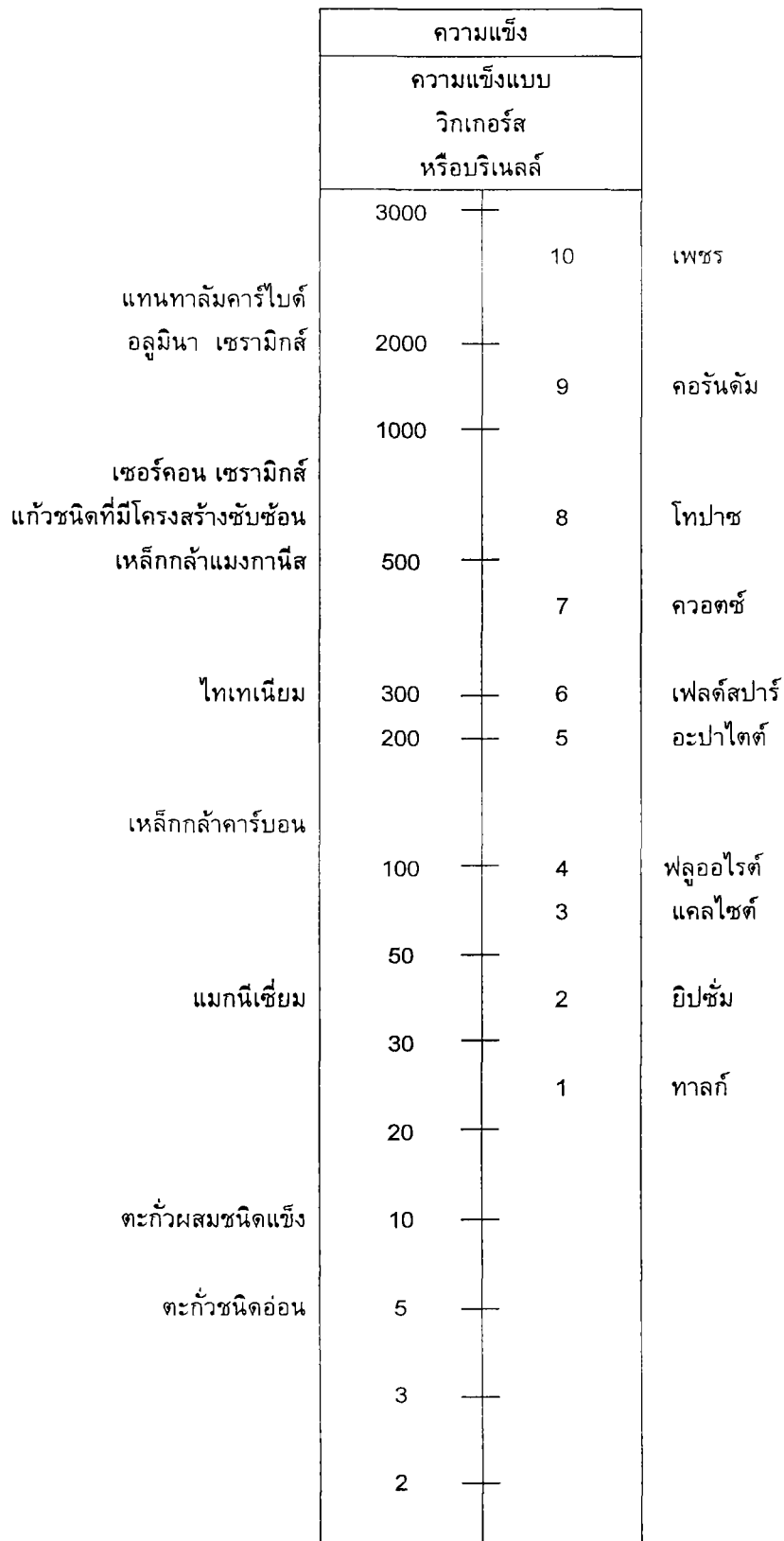
(ข้อมูลจากตารางสามารถศึกษารายละเอียดได้จากภาคผนวก ก หน้า 97, 100, 103)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ด้านความแข็ง ข้อมูลจากตารางปรากฏว่า ชั้นทดลองสามารถทดสอบความแข็งได้ตั้งแต่ 1336.00-2564.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่มีค่าความแข็งได้ตามผลวิเคราะห์ของกรรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 1,3,4,5,6,8 และ 10 ซึ่งมีค่าความแข็ง คือ 2405.33, 2062.73, 2564.17, 2350.79, 2552.74, 2351.55, และ 2383.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ส่วนสูตรที่มีค่าความแข็งไม่ได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 2,7 และ 9 ซึ่งมีค่าความแข็ง คือ 1719.38, 1336.00, และ 1690.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ด้านการดูดซึมน้ำ พบว่า สูตรที่ 6 เป็นสูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับผลการวิเคราะห์ของกรรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของ อลูมินา ร้อยละ 91 หินฟีนมา ร้อยละ 6 และโตโลไมท์ ร้อยละ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 ส่วนสูตรที่ 1,2,3,4,5,7,8,9 และ 10 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.13-1.47



ภาพประกอบ 14 ตารางเปรียบเทียบความแข็งของ โลหะ เซรามิกส์ และแร่ต่างๆ

การวิเคราะห์ความแข็ง

นำชิ้นทดลองที่ได้มาทดสอบความทนทานต่อการขีดข่วน โดยการนำชิ้นทดลองมาขีดข่วนกับก้อนแร่ของกรมทรัพยากรธรณี อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี แล้วใช้สเกลวัดความแข็ง คือ Moh's Hardness Scale ซึ่งมีการแบ่งสเกลออกเป็น 10 ชั้น จากความแข็งต่ำเป็น 1 ไปสู่ความแข็งสูงเป็น 10 ตามลำดับ คือ ทาลก์ (Talc) ยิปซัม (Gypsum) แคลไซต์ (Calcite) ฟลูออไรต์ (Fluorite) อะปาทิต (Apatite) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ควอตซ์ (Quartz) โทปาส (Topaz) รูบี้หรือคอร์ันดัม (Ruby Or Corundum) และเพชร (Diamond)

จากภาพประกอบ 14 ได้นำก้อนแร่ที่มีความแข็งต่ำสุดตั้งแต่ 1 คือ ทาลก์ ไปจนถึง 9 คือ คอร์ันดัม มาทำการขีดขูดกับชิ้นทดลองตัวนำร่องเส้นด้ายที่ผลิตขึ้น ผลปรากฏว่า ก้อนแร่ที่มีความแข็ง จาก 1 คือ ทาลก์ ไปจนถึง ก้อนแร่ที่มีความแข็ง 8 คือ โทปาส นั้น ไม่สามารถขีดขูดชิ้นทดลองให้เกิดรอยขีดข่วนได้ นอกจากนี้ ยังทำให้ก้อนแร่ที่นำมาขีดข่วนเกิดเป็นรอยอีกด้วย จากนั้นจึงนำก้อนแร่ที่มีความแข็งสูงขึ้นอีกระดับหนึ่งซึ่งสูงกว่าโทปาส ได้แก่ความแข็ง ระดับ 9 คือ คอร์ันดัม มาทำการขีดขูดอีก ซึ่งในความแข็งระดับนี้ สามารถทำให้ผิวของชิ้นทดลองเกิดเป็นรอยขีดข่วนได้ ดังนั้น เมื่อนำมาเทียบความแข็งซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้จาก ภาพประกอบ 14 แล้ว จะเห็นได้ว่า ชิ้นทดลองตัวนำร่องเส้นด้ายที่ผลิตขึ้นนี้ มีความแข็งสูงมากถึงระดับความแข็งในเชิงแร่เซรามิกส์แล้ว จะอยู่ที่ความแข็งในระดับ 9 คือ มีความแข็งเท่ากับคอร์ันดัม และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความแข็งในเชิงโลหะตามภาพประกอบ 14 แล้วจะเห็นได้ว่า ความแข็งดังกล่าวอยู่ในระดับของ แทนทาลัมคาร์ไบด์ อะลูมินา เซรามิกส์ คืออยู่ในระดับความแข็งแบบวิกเกอร์สที่ 2000

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย โดยใช้อลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างอลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ ในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ที่มีคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย โดยใช้อลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองมี 10 สูตร ลักษณะของชิ้นทดลองใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง 6 เซนติเมตร ทำการทดลองสูตรละ 9 ชิ้นทดลอง รวมทั้งหมด 90 ชิ้นทดลอง โดยชิ้นทดลองทั้ง 9 ชิ้นนั้นจะแบ่งเป็น 3 ชั้น ต่อ 1 แรงกดอัด ซึ่งจะใช้แรงกดอัดทั้งหมด 3 แรง คือ 2000, 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงได้แก่ เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก เครื่องบดละเอียด เครื่องชั่งน้ำหนัก เตาอบ เตาเผา เครื่องทดสอบความแข็ง เป็นต้น

สมมติฐานการวิจัย

ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายที่ผลิตขึ้น จากสูตรส่วนผสมของ อลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ โดยใช้แรงกดอัดทั้ง 3 ระดับ ครั้งนี้ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

การดำเนินการวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละสูตรมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการทดลองคือ อลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ ซึ่งตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากการกำหนดจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวนสูตรละ 1 กิโลกรัม
2. ตวงน้ำบริสุทธิ์ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ซึ่งสารที่ช่วยในการยึดเกาะ คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 5 และซึ่งวัตถุดิบที่ทำให้เกิดสีได้แก่ โครเมียมออกไซด์ ร้อยละ 0.01 นำวัตถุดิบ สารเคมีและน้ำใส่ลงในหม้อบด และบดวัตถุดิบเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

3. นำวัตถุดิบที่บดแล้ว มาหาค่าสารค้ำตะแกรงขนาด 325 เมช โดยกำหนดให้มีสารค้ำตะแกรงได้ 1 กรัม เมื่อวัตถุดิบมีความละเอียดมากกว่าที่กำหนด ก็นำมาบดใหม่ และนำมาหาค่าสารค้ำตะแกรงใหม่ จนได้ความละเอียดตามที่กำหนด

4. นำวัตถุดิบมาบดไล่ความชื้นด้วยเตาอบ โดยใช้อุณหภูมิในการอบ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้วัตถุดิบมีความชื้นเพียงร้อยละ 5 โดยใช้วิธีการสุ่มวัตถุดิบเพียง 1 กรัม นำเข้าอบในเครื่องทดสอบความชื้น (Moijerblance) ถ้าวัตถุดิบมีความชื้นเกินร้อยละ 5 ก็นำเข้าอบต่อ แล้วนำมาหาค่าความชื้นอีก จนได้ความชื้นตามที่กำหนด ถ้าหากความชื้นของวัตถุดิบได้น้อยกว่าที่กำหนด ก็ใช้สำหรับฉีดย้ำ (พ็อกกี้) ฉีดน้ำใส่วัตถุดิบคลุกเคล้าให้ทั่ว แล้วนำมาหาค่าความชื้นใหม่จนได้ตามต้องการ

5. นำวัตถุดิบตักใส่บล็อกเหล็ก โดยใช้มือกดให้แน่นพอประมาณ และเผื่อไว้ให้กินเบ้าประมาณ 1 เซนติเมตร นำแท่งเหล็กวางทับบนวัตถุดิบและใช้เครื่องอัดไฮโดรลิกกดอัด โดยใช้แรงในการกดอัดที่ 2000, 3,000 และ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งในแต่ละแรงกดอัดจะทำชั้นทดลอง 3 ชั้น ต่อ 1 แรงกดอัด รวมเป็นสูตรละ 9 ชั้น รวมสูตรละ 9 ชั้น รวมทั้งหมด 90 ชั้น

6. นำชั้นทดลองที่ได้เข้าเผาด้วยเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส ด้วยบรรยากาศการเผาใหม่แบบสมบูรณ์

7. นำชั้นทดลอง ที่ผ่านการเผาแล้ว มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว โดยที่การทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งนั้น จะนำมาทดสอบกับเครื่องทดสอบกับเครื่องทดสอบความแข็ง

8. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็ง ซึ่งค่าความแข็งวัดเป็น Modulus of Rupture, MOR

9. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำ ด้วยการนำชั้นทดลองแช่น้ำ แล้วหาน้ำหนักของน้ำที่ดูดซับเข้าไปในชั้นทดลอง

10. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิว คือการพิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตภัณฑ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดตรวจพินิจ และพิจารณาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายที่ได้จากผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

11. สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็ง การดูดซึมน้ำ และลักษณะผิว โดยนำมาเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ และพิจารณาความเหมาะสมในการนำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายไปใช้งาน จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ในครั้งนี้ ได้ผลการทดลองตามความมุ่งหมายของการวิจัยซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างวัตถุดิบ คือ อลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ จำนวน 10 อัตราส่วนผสม และเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น สำหรับนำไปผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาต่อไป

2. ด้านการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

ที่
ผลิตขึ้น กับผลวิเคราะห์ทางกายภาพของชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ 3 ด้าน คือ ด้านความแข็ง ด้านการดูดซึมน้ำ และด้านลักษณะผิว ดังนี้

จากการทดลองใช้แรงในการกดอัดขึ้นรูปที่ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สรุปว่า สูตรที่มีค่าความแข็งได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการคือ สูตรที่ 1,3,4,6,8 และ 10 คือมีค่าความแข็งที่ 2069.29-2530.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่มีค่าความแข็งไม่ได้ตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 2,5,7 และ 9 ซึ่งมีค่าความแข็ง 1126.86 –1523.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้านการดูดซึมน้ำ ปรากฏว่า ไม่มีสูตรใดที่มีค่าการดูดซึมน้ำได้ตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งการดูดซึมน้ำในการทดลองครั้งนี้ มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.15-2.33 ด้านลักษณะผิว ปรากฏว่าทุกสูตรมีลักษณะผิวคล้ายผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

การทดลองใช้แรงในการกดอัดที่ 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สรุปว่าสูตรที่มีค่าความแข็งได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือสูตรที่ 1,3,4,5,6,8 และ 10 คือ มีค่าความแข็ง 2062.30-2553.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่มีค่าความแข็งไม่ได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 2,7 และ 9 คือมีค่าความแข็ง 1227.03-1555.84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้านการดูดซึมน้ำ สรุปได้ว่า สูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำได้ตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ คือ สูตรที่ 5 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมระหว่าง อลูมินา ร้อยละ 90 หินฟันม้า ร้อยละ 7 และโดโลไมท์ ร้อยละ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 ส่วนสูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำไม่ได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการคือ สูตรที่ 1,2,3,4,6,7,8,9 และ 10 คือ มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.16-1.56 ด้านลักษณะผิว ปรากฏว่าทุกสูตรมีลักษณะผิวคล้ายผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

การทดลองใช้แรงในการกดอัดที่ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สรุปว่าสูตรที่มีค่าความแข็งได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือสูตรที่ 1,3,4,5,6,8 และ 10 คือ มีค่าความแข็ง 2062.73-2552.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่มีค่าความแข็งไม่ได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 2,7 และ 9 คือมีค่าความแข็ง 1336.00-1719.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้านการดูดซึมน้ำ สรุปได้ว่า สูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำได้ตามผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ คือ สูตรที่ 6 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมระหว่าง อลูมินา ร้อยละ 91 หินฟันม้า ร้อยละ 6 และโดโลไมท์ ร้อยละ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 ส่วนสูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำไม่ได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการคือ สูตรที่ 1,2,3,4,5,7,8,9 และ 10 คือ มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.16-1.13 ด้านลักษณะผิว ปรากฏว่าทุกสูตรมีลักษณะผิวคล้ายผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

สรุปผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่า ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้นี้ สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย คือ สูตรที่ 5 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของอลูมินา ร้อยละ 90 หินฟันม้า ร้อยละ 7 และโดโลไมท์ร้อยละ 3 โดยใช้แรงในการกดอัดที่ 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีความแข็ง 2076.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.00 และลักษณะผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม และสูตรที่ 6 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของอลูมินา ร้อยละ 91 หินฟันม้า ร้อยละ 6 และโดโลไมท์ร้อยละ 3 โดยใช้แรงในการกดอัดที่ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะมีความแข็ง 2552.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.00 และลักษณะผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย

สรุปผลการทดสอบด้านความแข็ง ในการทดลองครั้งนี้ทำการวัดความแข็งด้วยการวัดความสามารถของชิ้นทดลองที่มีความทนทานต่อการขีดข่วน โดยใช้สเกลวัดค่าความแข็ง คือ Moh's Hardness Scale ซึ่งแบ่งสเกลออกเป็น 10 ชั้น ผลการทดลองปรากฏว่า ความแข็งที่สามารถทำให้ชิ้นทดลองเกิดริ้วรอยจากการขีดข่วนได้นั้น อยู่ในระดับ 9 คือคอร์ันดัม และสามารถเทียบกับความแข็งแบบวิกเกอร์สได้เท่ากับโลหะประเภท แทนทาลัมคาร์ไบด์ อะลูมินา เซรามิกส์ ซึ่งมีความแข็งอยู่ในระดับ 2000 HV (สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และ ปรีทรรณีย์ พันธุบรรยงก์. 2538. 32-33) ซึ่งความแข็งของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ (สีชมพู

อ่อน) ที่กรมวิทยาศาสตร์นำมาวิเคราะห์นั้น มีความแข็งอยู่ที่ 1800 HV จึงสรุปได้ว่า ชั้นทดลองที่ผลิตขึ้นนั้นมีความแข็งเท่ากันหรือใกล้เคียงกับ ผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ

อภิปรายผล

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นส่วนนำร่องเส้นตาย ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่างอลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ มีผลดังนี้

ด้านความแข็ง พบว่า ในการทดลองทำการขึ้นรูปโดยใช้แรงในการกดอัด 3 ระดับ คือ 2000,3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นั้น พบว่า ชั้นทดลองที่ใช้แรงในการกดอัดที่สูงขึ้นนี้ ปรากฏว่า ค่าความแข็งจะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจาก เมื่อใช้กำลังในการกดอัดสูงขึ้น เนื้อวัตถุดิบจะถูกกดอัดให้แน่นมากยิ่งขึ้น ทำให้ค่าความแข็งที่ได้สูงขึ้นตามด้วย และค่าความแข็งที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า ในแต่ละสูตรจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งในแต่ละสูตรทั้ง 10 สูตรนี้ มีค่าความแข็งตั้งแต่ 1126.86-2564.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

สำหรับสูตรที่ได้ค่าความแข็งตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยใช้แรงในการขึ้นรูปที่ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปรากฏว่าสูตรที่มีค่าความแข็งได้คือ สูตรที่ 1,3,4,6,8 และ 10 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมระหว่างอลูมินา ร้อยละ 88-93 หินฟันม้าร้อยละ 5-9 และโดโลไมท์ร้อยละ 2-3 มีความแข็งตั้งแต่ 2069.29-2530.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่ใช้แรงในการขึ้นรูปที่ 3000 และ4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนั้น ปรากฏว่าได้สูตรที่ 5 เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งสูตร โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่าง อลูมินา ร้อยละ 90 หินฟันม้าร้อยละ 7 และโดโลไมท์ ร้อยละ 3 ซึ่งจะมีค่าความแข็ง 2076.01 และ 2350.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการเรื่อง การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นตายเซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ (สีชมพู่อ่อน) ซึ่งมีความแข็ง 1800 HV ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ค่าความแข็งที่ทดลองมีค่ามากกว่า เนื่องจากในการวิจัยนี้ใช้อลูมินาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ใช้หินฟันม้า และโดโลไมท์ เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย ซึ่งในการใช้อลูมินาเป็นวัตถุดิบหลักนั้น มีความสอดคล้องกับ (อารีย์วรรณ บุญเพ็ง. 2535.102) กล่าวไว้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อลูมินาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตนั้น พบว่า เมื่อทำการเผาถึงจุดสุกตัว (Sintering) อลูมินาจะมีความแข็งมากเป็นพิเศษ มีความหนาแน่นสูง มีความทนทานต่อการกดอัด และมีความทนทานต่อการสึกกร่อนเป็นอย่างดี จึงทำให้ชั้นทดลองที่ทดลองขึ้นนี้มีความแข็งมากเป็นพิเศษ แต่เนื่องจากอลูมินาเป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมตัวสูงมาก และเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว จึงต้องใช้วัตถุดิบที่สามารถเพิ่มการยึดเกาะ (Binder) ของเนื้อดินได้ คือ หินฟันม้า ซึ่งคุณสมบัติของหินฟันม้านั้น จะเพิ่มความเหนียวแก่วัตถุดิบเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 1200 C จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการหลอมละลาย ทำให้เกิดแก้ว และเพิ่มความมันวาวของเนื้อดิน และยังสามารทำให้โมเลกุลของวัตถุดิบเชื่อมผนังกัน นอกจากนี้ หินฟันม้ายังเป็นวัตถุดิบที่ช่วยลดจุดหลอมละลาย (Fluxing) ของเนื้อดิน (Ceramic new material. 2528 : 19)

ส่วนสูตรที่มีค่าความแข็งต่ำกว่าผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ คือ สูตรที่ 2,7 และ 9 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของอลูมินา ร้อยละ 89-93 หินฟันม้าร้อยละ5-9 และโดโลไมท์ ร้อยละ 2-3 พบว่ามีค่าความแข็ง 1312.66-1690.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งความแข็งที่ได้นี้น้อยกว่าผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผลดังกล่าวนี้ เนื่องมาจากการขึ้นรูปชั้นทดลองเป็นการขึ้นรูปโดยใช้วิธีการอัดทางด้านบนเพียงทางด้านเดียว ซึ่งในการอัดผงเนื้อผลิตภัณฑ์นั้น (ปรีดา พิมพ์ขาวซ่า. 2535.155-169) กล่าวไว้ว่า การอัดผงผลิตภัณฑ์นั้น จะต้องใช้การสั่นสะเทือนระหว่างการอัด และการอัดควรวัดทั้งด้านบนและด้านล่างของผลิตภัณฑ์ และต้องใช้แรงในการอัดสูงจึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นมาก เนื่องจากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ จะขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้ในการอัดเป็นสำคัญ

ด้านการดูดซึมน้ำ พบว่า สูตรที่มีค่าของการดูดซึมน้ำได้ตามผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้แก่สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่าง อลูมินาร้อยละ 90,91 หินฟันม้าร้อยละ 7,6 และโดโลไมท์ร้อยละ 3,3 โดยใช้แรงในการกดอัดที่ 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่ามีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากผลการวิเคราะห์ เรื่องการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะ ของผลิตภัณฑ์ตัวนําร่องเส้นตายเซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ ซึ่งมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00-0.10 สำหรับสูตรอื่น ๆ ได้แก่ สูตรที่ 1,2,3,4,7,8,9 และ 10 พบว่า มีค่าการดูดซึมน้ำบ้างเล็กน้อย คือร้อยละ 0.16-2.33 เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ใช้ในการผสมวัตถุดิบค่อนข้างมาก คือ ความชื้นจากน้ำที่ใส่เพื่อให้วัตถุดิบมีความชื้นและสามารถขึ้นรูปได้ โดยใช้ร้อยละ 5 ความชื้นจากสารเคมีที่ช่วยให้วัตถุดิบเกิดความเหนียว ร้อยละ 5 และนอกจากนี้อาจเป็นไปได้ที่เกิดจากการดูดซึมน้ำของวัตถุดิบแต่ละชนิดซึ่งมีการดูดซึมน้ำไม่เท่ากัน ดังนั้น เมื่อความชื้นของวัตถุดิบไม่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้ชั้นทดลองมีมวลโมเลกุลหนาแน่นไม่เท่ากัน จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีผลทำให้ชั้นทดลองเกิดการดูดซึมน้ำ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ (ปริตดา พิมพ์ขาวขำ, 2535,155-169) กล่าวว่า ในการอัดผงเนื้อผลิตภัณฑ์ ถ้าแรงอัดมากขึ้น ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้นด้วย เป็นผลทำให้การหดตัวและการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลงมาก

ด้านลักษณะผิว โดยพิจารณาลักษณะทั่วไปของผิวผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบกวาดตรวจพินิจลักษณะทั่วไป พบว่า 10 สูตร มีลักษณะผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทดลองนี้มีอัตราส่วนผสมของอลูมินาปริมาณมาก เมื่อเผาผลิตภัณฑ์ถึงจุดสุดท้าย (การเผาซินเทอริง) เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแกร่ง เนื้อแน่น เนื่องจากความละเอียดของโมเลกุลเชื่อมกันเป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ผิวผลิตภัณฑ์มีผิวเรียบ

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม ของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนําร่องเส้นตาย โดยมีอัตราส่วนผสมของอลูมินา หินฟันม้า และโดโลไมท์ พบว่าการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพด้านความแข็ง ด้านการดูดซึมน้ำ และด้านลักษณะผิวนั้น ผลการทดลองที่ได้ใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เรื่องการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะ ของผลิตภัณฑ์ตัวนําร่องเส้นตายเซรามิกส์ เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ ที่นำเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการทดลองครั้งนี้ สูตรที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนําร่องเส้นตาย คือ สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่าง อลูมินาร้อยละ 90,91 หินฟันม้าร้อยละ 7,6 และโดโลไมท์ร้อยละ 3,3 โดยใช้แรงในการกดอัดที่ 3000 และ 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าความแข็งที่ทดสอบได้ 2076.01 และ 2552.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 และมีลักษณะผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม และนอกจากนี้ ได้ทำการวัดความแข็งด้วยการวัดความสามารถของชั้นทดลองที่มีความหนาแน่นต่อการขีดข่วน โดยใช้สเกลวัดค่าความแข็ง คือ Moh's Hardness Scale ซึ่งแบ่งสเกลออกเป็น 10 ชั้น ความแข็งที่สามารถทำให้ชั้นทดลองเกิดริ้วรอยจากการขีดข่วนได้นั้น อยู่ในระดับ 9 คือคอร์นดัม และสามารถเทียบกับความแข็งแบบวิกเกอร์สได้เท่ากับโลหะประเภท แทนทาลัมคาร์ไบด์อะลูมินา เซรามิกส์ ซึ่งมีความแข็งอยู่ในระดับ 2000 HV จึงสอดคล้องกับ (สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และปริทรรศน์ พันธบุรุษย์, 2538, 32-33) ที่กล่าวว่าเมื่อนำวัตถุ 2 ชนิดมาเสียดสีกัน ระหว่างการเสียดสีอยู่นั้น วัตถุที่มีความแข็งมากกว่าก็จะเสียดสีผิวของวัตถุที่อ่อนกว่าให้เป็นรอยหรือหลุดออกมา ซึ่งความแข็งของผลิตภัณฑ์ตัวนําร่องเส้นตายที่ผลิตขึ้นนี้ สามารถขีดขูดก่อนแร็เป็นรอยได้ตั้งแต่ก่อนแร็ที่มีความแข็งระดับ 1 คือ ทาลก์ ไปจนถึงก่อนแร็ที่มีความแข็งระดับ 8 คือ โทปาส แต่คอร์นดัมที่มีความแข็งอยู่ในระดับ 9 คือคอร์นดัมสามารถทำให้ชั้นทดลองที่ผลิตขึ้นถูกขีดขูดเป็นรอยได้ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ (สีชมพู่อ่อน) ที่กรมวิทยาศาสตร์นำมาวิเคราะห์นั้นมีความแข็ง 1800 HV ซึ่งใกล้เคียงกับความแข็งของชั้นทดลองตัวนําร่องเส้นตายที่ผลิตขึ้น จึงสรุปได้ว่าผลการทดลองนี้ เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนนําร่องเส้นตายต่อไป

ข้อเสนอแนะทั่วไปที่ได้จากการวิจัย

1. อลูมินาที่ใช้ในการทดลองมีความละเอียดผ่านตะแกรง 325 เมช ใช้เวลาในการบดนานถึง 10 ชั่วโมง ควรทำการทดลองอลูมินาที่มีความละเอียดมากกว่านี้เพื่อลดระยะเวลาให้น้อยลง เช่น แม็กนีเซีย ซิลิกอน เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองต่อไป
2. แรงที่ใช้ในการกดอัดในการทดลองนี้มีช่วงห่างกันมาก ควรกำหนดแรงที่ใช้ให้มีระยะที่แคบลง เช่น 1500, 1550, 2000, 2500 เป็นต้น
3. ในการเผาซินเทอร์ริง คือการเผาอุณหภูมิสูง เพื่อให้วัสดุดิบหลอมเหลวถึงจุดสุกตัว ในการทดลองนี้จะใช้เพียงอุณหภูมิเดียว ซึ่งควรทำการทดลองหลาย ๆ อุณหภูมิ เช่น 1450, 1500, 1550, 1600, 1650..... เป็นต้น
4. บรรยากาศที่ใช้ในการเผาเพื่อทำการทดลองนี้ ควรทำการเผาทั้ง 2 บรรยากาศ คือบรรยากาศการเผาใหม่ที่สมบูรณ์ และบรรยากาศการเผาใหม่ไม่สมบูรณ์

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการทดลองใช้วัสดุหลักอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติทางด้านความแข็งเช่นเดียวกับอลูมินา ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถเพิ่มความแข็งได้ เช่น เซอร์โคเนียม แม็กนีเซีย ซิลิกอน เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบและพัฒนาผลการทดลอง
2. ควรมีการทดลองใช้วัสดุหลักอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติช่วยให้โครงสร้างวัสดุของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ทางเคมีของกรมวิทยาศาสตร์มากขึ้น
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในเรื่องของไฟฟ้าสถิตย์ ที่อาจมีผลต่อการนำผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายไปใช้งาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องนำมาใช้กับเครื่องจักรที่มีเร็วสูงมาก ซึ่งอาจมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ทดลองขึ้นได้
4. ควรทำการทดสอบทางด้านความแข็ง ที่มีลักษณะของการทดสอบที่สอดคล้องและสัมพันธ์กับการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานจริง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกชนิดดั้งเดิม. (2540). รายงานกรมวิทยาศาสตร์บริการ. (55) : 87 – 88.
- การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออลูมินาสีแดงม่วง. (2543). ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (57) : 152 – 154.
- โกมล รัชชวงศ์. (2531). วัตถุประสงค์ที่ใช้ในเครื่องปั้นดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร.
- โกมล รัชชวงศ์. (2531). เอกสารประกอบการสอนวิชาการทำสีสำเร็จรูป. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร.
- เชษฐ์ เอียวจิตกุล. (2534). “น้ำยาเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิกส์,” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ : ม.ป.พ.
- ทวี พรหมพฤษ. (2523). เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- เบญจมาศ บุญดำ. (2542). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐดินซีเมนต์. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, ถ่ายเอกสาร.
- ประสพ ลีเหมือดภัย. (2543). องค์ประกอบในงานเครื่องปั้นดินเผา. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์.
- ปฎิมา เทพยานและคณะ. (2542, มกราคม-เมษายน). “การผลิตเยื่อแผ่นเซรามิกชนิดไมโครฟิลเตรชันจากอลูมินา”. วารสารวิจัยและพัฒนา. 22(1).
- ปริญญา สายน้ำทิพย์. (2535). เซรามิกส์ยุคใหม่. วารสารเซรามิกส์ไทย. ฉบับพิเศษ.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2530). เคลือบเซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2535). เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรินติ้ง เฮ้า.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2538). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลักษณะพิเศษ และคุณสมบัติเฉพาะของเซรามิกส์ 1. เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2538). สิ่งขั้วและวัตถุดิบไฟ. เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2538). วัตถุประสงค์เซรามิกส์ 1. เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สงบ โอพารัตนมณี และภามิณี ทองคำวงศ์. (2536). เครื่องปั้นดินเผา. เอกสารเพื่อการเผยแพร่ กองส่งเสริมเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม : กรุงเทพฯ.
- สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และ ปรีทรรณ์ พันธุ์ปรายก. (2538). โลหะวิทยาเชิงวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
- สุจินดา โชติพานิช และคณะ. (2541). “การศึกษาคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ตัวนำร่องเส้นด้ายเซรามิกส์เนื้ออลูมินาของต่างประเทศ”. บทความวิชาการ. (10) : 45-49.
- สุทธิพงษ์ ศรีกรรรมณ์. (2539). สถิติศาสตร์และกลศาสตร์ของวัสดุ. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, อิงค์.

- สุชาติ สุธงษ์. (2538). การทดลองเนื้อดินปั้นโบนไซนา. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ :
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- สุศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2534). น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- อนันตภักดิ์ โชติมงคล. (มกราคม – เมษายน 2538). "คุณรู้จักเซรามิกส์ดีแค่ไหน". วารสารวัสดุศาสตร์.
 (1) : 1.
- อารีวรรณ บุญเพ็ง.(2535). การเตรียมและการศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อลูมินา เซรามิกส์ที่
 มีความหนาแน่นสูง สำหรับงานด้านทนทานต่อการสึกกร่อน. ปรินูญานินพนธ์ วท.ม.(เซรามิกส์).
 กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อายุวัฒน์ สว่างผล. (2540). วัตถุประสงค์ที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์. กำแพงเพชร : สถาบันราชภัฏ
 กำแพงเพชร.

- Andrew, Andrews. I. (1928). *Ceramics Tests And Calculations*. Dnaunworth, U.S.A.
- Parmelec, Cullen W. (1973). *Ceramic Glases*. The Maple Press Company, New York.
- Singer, Felix and Singeer, Som S. (1963). *Industrial Ceramics*. London : Champan and Hall
 Ltd.
- Kenny, John B. (1949). *The Complete of Potter's Hard Book*. New York : Chilton Book
 Company.

ภาคผนวก ก
แบบรวบรวมข้อมูล
ผลการรวบรวมข้อมูล คุณสมบัติทางกายภาพ

ตาราง 25 แบบรวบรวมผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) | ผลการ วิเคราะห์ |
|---|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---|--------------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₁₁ A ₁₁₂ A ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 2 B ₁₁₁ B ₁₁₂ B ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 3 C ₁₁₁ C ₁₁₂ C ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 4 D ₁₁₁ D ₁₁₂ D ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 5 E ₁₁₁ E ₁₁₃ E ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 6 F ₁₁₁ F ₁₁₂ F ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 7 G ₁₁₁ G ₁₁₂ G ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 8 H ₁₁₁ H ₁₁₂ H ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 9 I ₁₁₁ I ₁₁₂ I ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 10 J ₁₁₁ J ₁₁₂ J ₁₁₃ | | | | | |

ตาราง 26 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|--|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---|----------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₂₁ A ₁₂₂ A ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 2 B ₁₂₁ B ₁₂₂ B ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 3 C ₁₂₁ C ₁₂₂ C ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 4 D ₁₂₁ D ₁₂₂ D ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 5 E ₁₂₁ E ₁₂₂ E ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 6 F ₁₂₁ F ₁₂₂ F ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 7 G ₁₂₁ G ₁₂₂ G ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 8 H ₁₂₁ H ₁₂₂ H ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 9 I ₁₂₁ I ₁₂₂ I ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 10 J ₁₂₁ J ₁₂₂ J ₁₂₃ | | | | | |

ตาราง 27 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|---|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---|----------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₃₁ A ₁₃₂ A ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 2 B ₁₃₁ B ₁₃₂ B ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 3 C ₁₃₁ C ₁₃₂ C ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 4 D ₁₃₁ D ₁₃₂ D ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 5 E ₁₃₁ E ₁₃₂ E ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 6 F ₁₃₁ F ₁₃₂ F ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 7 G ₁₃₁ G ₁₃₂ G ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 8 H ₁₃₁ H ₁₃₂ H ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 9 I ₁₃₁ I ₁₃₂ I ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 10 J ₁₃₁ J ₁₃₂ J ₁₃₃ | | | | | |

ตาราง 28 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 2000 ปอนด์
ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | นน. อิมตัว | นน. แห้ง | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ |
|--|------------|----------|--------------|-----------|----------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₁₁ A ₁₁₂ A ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 2 B ₁₁₁ B ₁₁₂ B ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 3 C ₁₁₁ C ₁₁₂ C ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 4 D ₁₁₁ D ₁₁₂ D ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 5 E ₁₁₁ E ₁₁₃ E ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 6 F ₁₁₁ F ₁₁₃ F ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 7 G ₁₁₁ G ₁₁₃ G ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 8 H ₁₁₁ H ₁₁₃ H ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 9 I ₁₁₁ I ₁₁₃ I ₁₁₃ | | | | | |
| สูตรที่ 10 J ₁₁₁ J ₁₁₃ J ₁₁₃ | | | | | |

ตาราง 29 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 3000 ปอนด์

ต่อตารางนี้

| สูตรที่ | นน.อิมตัว | นน.แห้ง | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ |
|--|-----------|---------|--------------|-----------|----------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₂₁ A ₁₂₂ A ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 2 B ₁₂₁ B ₁₂₂ B ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 3 C ₁₂₁ C ₁₂₂ C ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 4 D ₁₂₁ D ₁₂₂ D ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 5 E ₁₂₁ E ₁₂₃ E ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 6 F ₁₂₁ F ₁₂₃ F ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 7 G ₁₂₁ G ₁₂₃ G ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 8 H ₁₂₁ H ₁₂₃ H ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 9 I ₁₂₁ I ₁₂₃ I ₁₂₃ | | | | | |
| สูตรที่ 10 J ₁₂₁ J ₁₂₃ J ₁₂₃ | | | | | |

ตาราง 30 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 4000 ปอนด์

ต่อตารางนี้

| สูตรที่ | นน.อ้อมตัว | นน.แห้ง | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ |
|--|------------|---------|--------------|-----------|----------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₃₁ A ₁₃₂ A ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 2 B ₁₃₁ B ₁₃₂ B ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 3 C ₁₃₁ C ₁₃₂ C ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 4 D ₁₃₁ D ₁₃₂ D ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 5 E ₁₃₁ E ₁₃₃ E ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 6 F ₁₃₁ F ₁₃₃ F ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 7 G ₁₃₁ G ₁₃₃ G ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 8 H ₁₃₁ H ₁₃₃ H ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 9 I ₁₃₁ I ₁₃₃ I ₁₃₃ | | | | | |
| สูตรที่ 10 J ₁₃₁ J ₁₃₃ J ₁₃₃ | | | | | |

ตาราง 31 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิว โดยใช้แรงในการขึ้นรูป 2000 ปอนด์
ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|---|-----------|
| สูตรที่ 1 A ₁₁₁ A ₁₁₂ A ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 2 B ₁₁₁ B ₁₁₂ B ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 3 C ₁₁₁ C ₁₁₂ C ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 4 D ₁₁₁ D ₁₁₂ D ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 5 E ₁₁₁ E ₁₁₂ E ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 6 F ₁₁₁ F ₁₁₂ F ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 7 G ₁₁₁ G ₁₁₂ G ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 8 H ₁₁₁ H ₁₁₂ H ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 9 I ₁₁₁ I ₁₁₂ I ₁₁₃ | |
| สูตรที่ 10 J ₁₁₁ J ₁₁₂ J ₁₁₃ | |

ตาราง 32 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิว โดยใช้แรงในการขึ้นรูป 3000 ปอนด์

ต่อตารางนี้

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|--|-----------|
| สูตรที่ 1 A ₁₂₁ A ₁₂₂ A ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 2 B ₁₂₁ B ₁₂₂ B ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 3 C ₁₂₁ C ₁₂₂ C ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 4 D ₁₂₁ D ₁₂₂ D ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 5 E ₁₂₁ E ₁₂₂ E ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 6 F ₁₂₁ F ₁₂₂ F ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 7 G ₁₂₁ G ₁₂₂ G ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 8 H ₁₂₁ H ₁₂₂ H ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 9 I ₁₂₁ I ₁₂₂ I ₁₂₃ | |
| สูตรที่ 10 J ₁₂₁ J ₁₂₂ J ₁₂₃ | |

ตาราง 33 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิว โดยใช้แรงในการขึ้นรูป 4000 ปอนด์
ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|---|-----------|
| สูตรที่ 1 A ₁₃₁ A ₁₃₂ A ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 2 B ₁₃₁ B ₁₃₂ B ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 3 C ₁₃₁ C ₁₃₂ C ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 4 D ₁₃₁ D ₁₃₂ D ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 5 E ₁₃₁ E ₁₃₂ E ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 6 F ₁₃₁ F ₁₃₂ F ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 7 G ₁₃₁ G ₁₃₂ G ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 8 H ₁₃₁ H ₁₃₂ H ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 9 I ₁₃₁ I ₁₃₂ I ₁₃₃ | |
| สูตรที่ 10 J ₁₃₁ J ₁₃₂ J ₁₃₃ | |

ตาราง 34 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|--|---------------------------------|--|-----------------------|---|--|
| สูตรที่ 1 A ₁₁₁ A ₁₁₂ A ₁₁₃ | 4.54 | 16.19 | 38.1 | 2353.31 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.52 | 16.05 | 39.0 | 2429.91 | |
| | 4.623 | 16.80 | 38.2 | 2273.81 | |
| | 4.56 | 16.35 | 38.43 | 2352.34 | |
| สูตรที่ 2 B ₁₁₁ B ₁₁₂ B ₁₁₃ | 4.665 | 17.09 | 22.5 | 1316.56 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.67 | 17.13 | 22.4 | 1307.65 | |
| | 4.66 | 17.05 | 22.4 | 1313.78 | |
| | 4.665 | 17.09 | 22.4 | 1312.66 | |
| สูตรที่ 3 C ₁₁₁ C ₁₁₂ C ₁₁₃ | 4.580 | 16.48 | 33.4 | 2026.7 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.54 | 16.19 | 38.1 | 2353.31 | |
| | 4.613 | 16.80 | 38.2 | 2273.81 | |
| | 4.581 | 16.49 | 36.57 | 2217.94 | |
| สูตรที่ 4 D ₁₁₁ D ₁₁₂ D ₁₁₃ | 4.655 | 17.021 | 43.0 | 2526.29 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.645 | 16.95 | 42.9 | 2530.97 | |
| | 4.620 | 16.77 | 42.5 | 2534.29 | |
| | 4.64 | 16.91 | 42.8 | 2530.52 | |
| สูตรที่ 5 E ₁₁₁ E ₁₁₃ E ₁₁₃ | 4.60 | 16.621 | 25.0 | 1504.12 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.67 | 17.12 | 25.97 | 1516.94 | |
| | 4.66 | 17.05 | 26.4 | 1548.39 | |
| | 4.64 | 16.93 | 25.79 | 1523.15 | |
| สูตรที่ 6 F ₁₁₁ F ₁₁₂ F ₁₁₃ | 4.620 | 16.77 | 41.90 | 2498.50 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.665 | 17.094 | 43.70 | 2526.45 | |
| | 4.645 | 16.95 | 42.90 | 2530.97 | |
| | 4.64 | 16.938 | 42.83 | 2528.64 | |
| สูตรที่ 7 G ₁₁₁ G ₁₁₂ G ₁₁₃ | 4.730 | 17.57 | 20.25 | 1152.53 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.70 | 17.35 | 19.27 | 1110.66 | |
| | 4.75 | 17.72 | 19.80 | 1117.38 | |
| | 4.73 | 17.55 | 19.77 | 1126.86 | |
| สูตรที่ 8 H ₁₁₁ H ₁₁₂ H ₁₁₃ | 4.650 | 16.98 | 35.60 | 2096.584 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์ บริการ |
| | 4.610 | 16.69 | 34.20 | 2049.13 | |
| | 4.615 | 16.73 | 34.50 | 2062.16 | |
| | 4.625 | 16.80 | 34.78 | 2069.29 | |

ตาราง 34(ต่อ)

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตา รางเซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|---|---------------------------------|--|---------------------------|---|--|
| สูตรที่ 9 I ₁₁₁ I ₁₁₂ I ₁₁₃ | 4.725 | 17.537 | 24.55 | 1399.89 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.55 | 16.26 | 22.35 | 1374.54 | |
| | 4.62 | 16.77 | 23.00 | 1371.49 | |
| | 4.632 | 16.86 | 23.3 | 1381.97 | |
| สูตรที่ 10 J ₁₁₁ J ₁₁₂ J ₁₁₃ | 4.745 | 17.69 | 38.65 | 2184.85 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.740 | 17.65 | 36.50 | 2067.99 | |
| | 4.695 | 17.315 | 37.89 | 2188.28 | |
| | 4.73 | 17.55 | 37.68 | 2147.04 | |
| สูตรที่ 10 J ₁₁₁ J ₁₁₂ J ₁₁₃ | 4.745 | 17.69 | 38.65 | 2184.85 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.740 | 17.65 | 36.50 | 2067.99 | |
| | 4.695 | 17.315 | 37.89 | 2188.28 | |
| | 4.73 | 17.55 | 37.68 | 2147.04 | |

ตาราง 35 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตา รางเซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|--|---------------------------------|--|---------------------------|---|--|
| สูตรที่ 1 A ₁₂₁ A ₁₂₂ A ₁₂₃ | 4.56 | 16.33 | 38.90 | 2382.12 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.50 | 15.91 | 38.80 | 2438.72 | |
| | 4.55 | 16.26 | 38.70 | 2380.07 | |
| | 4.54 | 16.17 | 38.80 | 2400.30 | |
| สูตรที่ 2 B ₁₂₁ B ₁₂₂ B ₁₂₃ | 4.67 | 17.17 | 26.50 | 1543.39 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.66 | 17.05 | 26.40 | 1548.39 | |
| | 4.67 | 17.13 | 25.00 | 1459.43 | |
| | 4.67 | 17.12 | 25.97 | 1516.94 | |
| สูตรที่ 3 C ₁₂₁ C ₁₂₂ C ₁₂₃ | 4.585 | 16.51 | 33.70 | 2041.19 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.650 | 16.98 | 35.60 | 2094.584 | |
| | 4.610 | 16.69 | 34.20 | 2049.13 | |
| | 4.615 | 16.73 | 34.50 | 2062.30 | |

ตาราง 35 (ต่อ)

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตา ราง เซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ | |
|------------|---------------------------------|--|---------------------------|---|----------------|--|
| สูตรที่ 4 | D ₁₂₁ | 4.665 | 17.094 | 43.70 | 2556.45 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | D ₁₂₂ | 4.620 | 16.77 | 42.50 | 2534.29 | |
| | D ₁₂₃ | 4.680 | 17.193 | 44.20 | 2570.81 | |
| | | 4.655 | 17.019 | 43.47 | 2553.85 | |
| สูตรที่ 5 | E ₁₂₁ | 4.615 | 16.73 | 34.50 | 2062.16 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | E ₁₂₂ | 4.625 | 16.80 | 34.78 | 2069.29 | |
| | E ₁₂₃ | 4.650 | 16.98 | 35.60 | 2096.584 | |
| | | 4.63 | 16.84 | 34.96 | 2076.01 | |
| สูตรที่ 6 | F ₁₂₁ | 4.620 | 16.77 | 42.50 | 2534.29 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | F ₁₂₂ | 4.68 | 17.193 | 44.20 | 2570.81 | |
| | F ₁₂₃ | 4.62 | 16.77 | 42.50 | 2534.29 | |
| | | 4.64 | 16.911 | 43.10 | 2546.46 | |
| สูตรที่ 7 | G ₁₂₁ | 4.74 | 17.65 | 21.64 | 1226.06 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | G ₁₂₂ | 4.73 | 17.55 | 20.23 | 1152.70 | |
| | G ₁₂₃ | 4.695 | 17.315 | 22.55 | 1302.33 | |
| | | 4.72 | 17.505 | 21.47 | 1227.03 | |
| สูตรที่ 8 | H ₁₂₁ | 4.66 | 17.06 | 38.50 | 2256.741 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | H ₁₂₂ | 4.613 | 16.80 | 38.20 | 2273.81 | |
| | H ₁₂₃ | 4.64 | 16.91 | 35.00 | 2069.78 | |
| | | 4.64 | 16.92 | 37.23 | 2200.11 | |
| สูตรที่ 9 | I ₁₂₁ | 4.695 | 17.315 | 27.20 | 1570.89 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | I ₁₂₂ | 4.73 | 17.55 | 26.32 | 1499.71 | |
| | I ₁₂₃ | 4.3745 | 17.69 | 28.25 | 1596.94 | |
| | | 4.723 | 17.52 | 27.25 | 1555.84 | |
| สูตรที่ 10 | J ₁₂₁ | 4.74 | 17.65 | 40.70 | 2305.95 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | J ₁₂₂ | 4.60 | 17.62 | 39.20 | 2358.604 | |
| | J ₁₂₃ | 4.55 | 16.26 | 38.70 | 2380.07 | |
| | | 4.63 | 16.84 | 39.53 | 2348.208 | |

ตาราง 36 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 4000 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตา รางเซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|--|---------------------------------|--|---------------------------|---|--|
| สูตรที่ 1 A ₁₃₁ A ₁₃₂ A ₁₃₃ | 4.54 | 16.19 | 39.20 | 2421.25 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.52 | 16.05 | 39.10 | 2436.137 | |
| | 4.60 | 16.62 | 39.20 | 2538.604 | |
| | 4.55 | 16.29 | 39.20 | 2405.33 | |
| สูตรที่ 2 B ₁₃₁ B ₁₃₂ B ₁₃₃ | 4.640 | 16.91 | 29.30 | 1732.70 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.66 | 17.06 | 28.00 | 1641.26 | |
| | 4.65 | 16.31 | 29.10 | 1784.18 | |
| | 4.65 | 16.76 | 28.80 | 1719.38 | |
| สูตรที่ 3 C ₁₃₁ C ₁₃₂ C ₁₃₃ | 4.61 | 16.69 | 34.20 | 2049.13 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.64 | 16.91 | 35.00 | 2069.78 | |
| | 4.625 | 16.80 | 34.78 | 2069.29 | |
| | 4.625 | 16.80 | 34.66 | 2062.73 | |
| สูตรที่ 4 D ₁₃₁ D ₁₃₂ D ₁₃₃ | 4.68 | 17.193 | 44.20 | 2570.81 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.64 | 16.911 | 43.10 | 2546.46 | |
| | 4.69 | 17.28 | 44.50 | 2575.23 | |
| | 4.67 | 17.128 | 43.93 | 2564.17 | |
| สูตรที่ 5 E ₁₃₁ E ₁₃₂ E ₁₃₃ | 4.65 | 16.985 | 39.40 | 2319.01 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.54 | 16.19 | 38.10 | 2353.31 | |
| | 4.55 | 16.26 | 38.70 | 2380.07 | |
| | 4.58 | 16.48 | 38.73 | 2350.79 | |
| สูตรที่ 6 F ₁₃₁ F ₁₃₂ F ₁₃₃ | 4.645 | 16.95 | 42.90 | 2530.97 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.680 | 17.193 | 44.20 | 2570.81 | |
| | 4.665 | 16.094 | 43.70 | 2556.45 | |
| | 4.66 | 16.079 | 43.60 | 2552.74 | |
| สูตรที่ 7 G ₁₃₁ G ₁₃₂ G ₁₃₃ | 4.710 | 17.43 | 22.00 | 1262.19 | ค่าความแข็งที่ได้ต่ำกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | 4.665 | 17.09 | 22.40 | 1312.66 | |
| | 4.64 | 16.93 | 25.79 | 1523.15 | |
| | 4.67 | 17.15 | 23.39 | 1336.00 | |

ตาราง 36 (ต่อ)

| สูตรที่ | เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) | พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร) | แรงที่ใช้กด นิวตัน (N) | ความแข็ง (กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร) | ผลการวิเคราะห์ |
|------------|---------------------------------|--|---------------------------|---|--|
| สูตรที่ 8 | H ₁₃₁ | 4.685 | 17.24 | 40.00 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | H ₁₃₂ | 4.56 | 16.35 | 38.43 | |
| | H ₁₃₃ | 4.56 | 16.33 | 38.90 | |
| | | 4.60 | 16.64 | 39.11 | |
| สูตรที่ 9 | I ₁₃₁ | 4.71 | 17.426 | 28.70 | ค่าความแข็งที่ได้น้อยกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | I ₁₃₂ | 4.66 | 17.06 | 28.00 | |
| | I ₁₃₃ | 4.65 | 16.31 | 29.10 | |
| | | 4.67 | 16.932 | 28.60 | |
| สูตรที่ 10 | J ₁₃₁ | 4.715 | 17.46 | 41.7 | ค่าความแข็งที่ได้มากกว่าผลการทดลองของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | J ₁₃₂ | 4.55 | 16.26 | 38.7 | |
| | J ₁₃₃ | 4.56 | 16.33 | 38.9 | |
| | | 4.61 | 16.63 | 39.77 | |

ตาราง 37 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | นน. ก่อนแช่ | นน. หลังแช่ | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ |
|-----------|------------------|-------------|--------------|-----------|---|
| สูตรที่ 1 | A ₁₁₁ | 221 | 0.45 | 0.61 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | A ₁₁₂ | 217 | 0.92 | | |
| | A ₁₁₃ | 220 | 0.46 | | |
| สูตรที่ 2 | B ₁₁₁ | 208 | 1.44 | 0.80 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | B ₁₁₂ | 205 | 0.49 | | |
| | B ₁₁₃ | 206 | 0.48 | | |
| สูตรที่ 3 | C ₁₁₁ | 221 | 0.46 | 0.31 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | C ₁₁₂ | 220 | 0.00 | | |
| | C ₁₁₃ | 220 | 0.46 | | |
| สูตรที่ 4 | D ₁₁₁ | 220 | 0.00 | 0.15 | ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | D ₁₁₂ | 221 | 0.45 | | |
| | D ₁₁₃ | 221 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 5 | E ₁₁₁ | 220 | 0.00 | 0.30 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | E ₁₁₃ | 221 | 0.45 | | |
| | E ₁₁₃ | 221 | 0.45 | | |

ตาราง 37 (ต่อ)

| สูตรที่ | นน. ก่อนแช่ | นน. หลังแช่ | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ | |
|------------|------------------|-------------|--------------|-----------|----------------|---|
| สูตรที่ 6 | F ₁₁₁ | 216 | 215 | 0.46 | 0.15 | ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | F ₁₁₃ | 214 | 214 | 0.00 | | |
| | F ₁₁₃ | 216 | 216 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 7 | G ₁₁₁ | 211 | 210 | 0.47 | 1.10 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | G ₁₁₃ | 212 | 209 | 1.42 | | |
| | G ₁₁₃ | 213 | 210 | 1.41 | | |
| สูตรที่ 8 | H ₁₁₁ | 216 | 215 | 0.47 | 0.31 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | H ₁₁₃ | 215 | 214 | 0.47 | | |
| | H ₁₁₃ | 216 | 216 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 9 | I ₁₁₁ | 220 | 215 | 2.27 | 2.27 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | I ₁₁₃ | 220 | 216 | 1.82 | | |
| | I ₁₁₃ | 221 | 215 | 2.72 | | |
| สูตรที่ 10 | J ₁₁₁ | 215 | 210 | 2.33 | 2.33 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | J ₁₁₃ | 214 | 210 | 1.87 | | |
| | J ₁₁₃ | 216 | 210 | 2.78 | | |

ตาราง 38 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | นน. ก่อนแช่ | นน. หลังแช่ | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ | |
|-----------|------------------|-------------|--------------|-----------|----------------|--|
| สูตรที่ 1 | A ₁₂₁ | 212 | 210 | 0.94 | 0.78 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | A ₁₂₂ | 214 | 212 | 0.94 | | |
| | A ₁₂₃ | 211 | 210 | 0.47 | | |
| สูตรที่ 2 | B ₁₂₁ | 202 | 200 | 0.99 | 1.15 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | B ₁₂₂ | 203 | 199 | 1.97 | | |
| | B ₁₂₃ | 200 | 199 | 0.50 | | |
| สูตรที่ 3 | C ₁₂₁ | 220 | 220 | 0.00 | 0.46 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | C ₁₂₂ | 220 | 218 | 0.91 | | |
| | C ₁₂₃ | 220 | 219 | 0.46 | | |
| สูตรที่ 4 | D ₁₂₁ | 220 | 220 | 0.00 | 0.30 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | D ₁₂₂ | 222 | 221 | 0.45 | | |
| | D ₁₂₃ | 221 | 220 | 0.45 | | |

ตาราง 38 (ต่อ)

| สูตรที่ | นน.ก่อนแช่ | นน.หลังแช่ | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ | |
|------------|------------------|------------|--------------|-----------|----------------|---|
| สูตรที่ 5 | E ₁₂₁ | 220 | 220 | 0.00 | 0.00 | เท่ากับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | E ₁₂₃ | 221 | 221 | 0.00 | | |
| | E ₁₂₃ | 222 | 222 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 6 | F ₁₂₁ | 210 | 210 | 0.00 | 0.16 | ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | F ₁₂₃ | 210 | 210 | 0.00 | | |
| | F ₁₂₃ | 210 | 209 | 0.48 | | |
| สูตรที่ 7 | G ₁₂₁ | 213 | 210 | 1.41 | 1.41 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | G ₁₂₃ | 214 | 210 | 1.87 | | |
| | G ₁₂₃ | 211 | 209 | 0.95 | | |
| สูตรที่ 8 | H ₁₂₁ | 200 | 200 | 0.00 | 0.16 | ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | H ₁₂₃ | 201 | 200 | 0.49 | | |
| | H ₁₂₃ | 201 | 201 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 9 | I ₁₂₁ | 215 | 210 | 2.33 | 1.56 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | I ₁₂₃ | 211 | 210 | 0.47 | | |
| | I ₁₂₃ | 213 | 209 | 1.88 | | |
| สูตรที่ 10 | J ₁₂₁ | 213 | 210 | 1.41 | 1.41 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | J ₁₂₃ | 214 | 210 | 1.87 | | |
| | J ₁₂₃ | 211 | 209 | 0.95 | | |

ตาราง 39 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | นน.ก่อนแช่ | นน.หลังแช่ | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ | |
|-----------|------------------|------------|--------------|-----------|----------------|--|
| สูตรที่ 1 | A ₁₃₁ | 232 | 230 | 0.86 | 0.87 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | A ₁₃₂ | 230 | 228 | 0.87 | | |
| | A ₁₃₃ | 231 | 229 | 0.87 | | |
| สูตรที่ 2 | B ₁₃₁ | 208 | 205 | 1.44 | 1.13 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | B ₁₃₂ | 207 | 205 | 0.96 | | |
| | B ₁₃₃ | 205 | 203 | 0.98 | | |
| สูตรที่ 3 | C ₁₃₁ | 216 | 215 | 0.46 | 0.46 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | C ₁₃₂ | 215 | 214 | 0.47 | | |
| | C ₁₃₃ | 217 | 216 | 0.46 | | |
| สูตรที่ 4 | D ₁₃₁ | 226 | 225 | 0.44 | 0.44 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | D ₁₃₂ | 227 | 225 | 0.88 | | |
| | D ₁₃₃ | 225 | 225 | 0.00 | | |

ตาราง 39 (ต่อ)

| สูตรที่ | นน.ก่อนแช่ | นน.หลังแช่ | การดูดซึมน้ำ | ค่าเฉลี่ย | ผลการวิเคราะห์ | |
|------------|------------------|------------|--------------|-----------|----------------|---|
| สูตรที่ 5 | E ₁₃₁ | 220 | 220 | 0.00 | 0.29 | ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | E ₁₃₃ | 223 | 221 | 0.89 | | |
| | E ₁₃₃ | 219 | 219 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 6 | F ₁₃₁ | 208 | 208 | 0.00 | 0.00 | เท่ากับกับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | F ₁₃₃ | 209 | 209 | 0.00 | | |
| | F ₁₃₃ | 210 | 210 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 7 | G ₁₃₁ | 212 | 210 | 0.94 | 0.47 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | G ₁₃₃ | 210 | 210 | 0.00 | | |
| | G ₁₃₃ | 211 | 210 | 0.47 | | |
| สูตรที่ 8 | H ₁₃₁ | 211 | 210 | 0.47 | 0.16 | ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | H ₁₃₃ | 210 | 210 | 0.00 | | |
| | H ₁₃₃ | 209 | 209 | 0.00 | | |
| สูตรที่ 9 | I ₁₃₁ | 213 | 210 | 1.41 | 1.10 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | I ₁₃₃ | 213 | 210 | 1.41 | | |
| | I ₁₃₃ | 210 | 209 | 0.48 | | |
| สูตรที่ 10 | J ₁₃₁ | 213 | 210 | 0.94 | 0.47 | มากกว่าผลการวิเคราะห์ของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| | J ₁₃₃ | 210 | 210 | 0.00 | | |
| | J ₁₃₃ | 211 | 210 | 0.47 | | |

ตาราง 40 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิวโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | ลักษณะผิว | |
|-----------|------------------|--------------------------------|
| สูตรที่ 1 | A ₁₁₁ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| | A ₁₁₂ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| | A ₁₁₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 2 | B ₁₁₁ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| | B ₁₁₂ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| | B ₁₁₃ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 3 | C ₁₁₁ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| | C ₁₁₂ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| | C ₁₁₃ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |

ตาราง 37 (ต่อ)

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|-----------------------------|----------------------------------|
| สูตรที่ 4 D ₁₁₁ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| D ₁₁₂ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| D ₁₁₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 5 E ₁₁₁ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| E ₁₁₂ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| E ₁₁₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 6 F ₁₁₁ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| F ₁₁₂ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| F ₁₁₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 7 G ₁₁₁ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| G ₁₁₂ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| G ₁₁₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 8 H ₁₁₁ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| H ₁₁₂ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| H ₁₁₃ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 9 I ₁₁₁ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| I ₁₁₂ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| I ₁₁₃ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 10 J ₁₁₁ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| J ₁₁₂ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| J ₁₁₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |

ตาราง 41 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิวโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|----------------------------|--------------------------------|
| สูตรที่ 1 A ₁₂₁ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| A ₁₂₂ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| A ₁₂₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 2 B ₁₂₁ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| B ₁₂₂ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| B ₁₂₃ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |

ตาราง 38 (ต่อ)

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|---|--|
| สูตรที่ 3 C ₁₂₁ C ₁₂₂ C ₁₂₃ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 4 D ₁₂₁ D ₁₂₂ D ₁₂₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 5 E ₁₂₁ E ₁₂₂ E ₁₂₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 6 F ₁₂₁ F ₁₂₂ F ₁₂₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 7 G ₁₂₁ G ₁₂₂ G ₁₂₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 8 H ₁₂₁ H ₁₂₂ H ₁₂₃ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 9 I ₁₂₁ I ₁₂₂ I ₁₂₃ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 10 J ₁₂₁ J ₁₂₂ J ₁₂₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |

ตาราง 42 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะผิวโดยใช้แรงในการขึ้นรูป 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|--|--|
| สูตรที่ 1 A ₁₃₁ A ₁₃₂ A ₁₃₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 2 B ₁₃₁ B ₁₃₂ B ₁₃₃ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |

ตาราง 42 (ต่อ)

| สูตรที่ | ลักษณะผิว |
|---|--|
| สูตรที่ 3 C ₁₃₁ C ₁₃₂ C ₁₃₃ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 4 D ₁₃₁ D ₁₃₂ D ₁₃₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 5 E ₁₃₁ E ₁₃₃ E ₁₃₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 6 F ₁₃₁ F ₁₃₂ F ₁₃₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 7 G ₁₃₁ G ₁₃₂ G ₁₃₃ | ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 8 H ₁₃₁ H ₁₃₂ H ₁₃₃ | ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 9 I ₁₃₁ I ₁₃₂ I ₁₃₃ | ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นคลื่น มีหลุม ไม่มีขอบคม |
| สูตรที่ 10 J ₁₃₁ J ₁₃₂ J ₁₃₃ | ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม ผิวเป็นพื้นราบ มีหลุม ไม่มีขอบคม |

ภาคผนวก ข

หนังสือขอเสนอชื่ออาจารย์ภายนอกควบคุมวิทยานิพนธ์

หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ



บันทึกข้อความ

| |
|----------------------------|
| คณะศึกษาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ |
| เลขที่ 1773 |
| วันที่ 4 มิ.ย. 2544 |
| เวลา 9.44. |

| |
|---------------------|
| เลขที่ 703 |
| วันที่ 5 มิ.ย. 2544 |
| เวลา 14.45 |

ส่วนราชการ สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ โทร.๕๔๔๓
 ที่ ทม ๑๐๑๐(๑๘)/๘๗ วันที่ ๓๐ มีนาคม ๒๕๔๔
 เรื่อง ขอเสนอชื่ออาจารย์ภายนอกควบคุมวิทยานิพนธ์

เรียน คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ด้วยคณะกรรมการบริหารหลักสูตรอุตสาหกรรมศึกษา ได้พิจารณารายชื่อบุคคลภายนอกที่มีความรู้ความสามารถในการควบคุมปริญญาานิพนธ์ และสอบปริญญาานิพนธ์หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิตสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

- ชื่อ-สกุล ผศ.รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง
- คุณวุฒิ คอ.ม. (เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา)
- ตำแหน่ง รองอธิการบดีฝ่ายวัฒนธรรมและชุมชนสัมพันธ์
- สถานที่ทำงาน โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์

พร้อมกันนี้ นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม นิสิตปริญญาโทสาขาอุตสาหกรรมศึกษา เสนอปริญญาานิพนธ์ในหัวข้อ การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษาเห็นว่า ผศ.รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถในหัวข้อปริญญาานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี จึงขอเสนอให้ ผศ.รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นกรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ และสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ของ นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

หัวหน้าสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
 ประธานหลักสูตรอุตสาหกรรมศึกษา

..... (ชื่อ-นามสกุล)

ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๑๖๓๖



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๒๘ เมษายน ๒๕๕๔

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดี สถาบันราชภัฏพระนคร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบรวบรวมข้อมูลฯ

เนื่องด้วย นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย” โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกมล รักษ์วงศ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบรวบรวมข้อมูล แสดงผลวิเคราะห์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๓๒๖, ๕๖๔๔

โทรสาร. ๒๕๕-๔๑๑๕

ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๑๖๓๕



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๒๘ เมษายน ๒๕๕๕

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รองศาสตราจารย์ทวิ พรหมพฤษษ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบรวบรวมข้อมูลฯ

เนื่องด้วย นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนาร่องเส้นด้าย” โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบรวบรวมข้อมูลแสดงผลวิเคราะห์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๗๒๖, ๕๖๔๔

โทรสาร. ๒๕๘-๔๑๑๕

ที่ ทม ๑๐๑๒/ ๑๖๓๕



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท ๒๓ กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๒๘ เมษายน ๒๕๔๔

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดี สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบรวบรวมข้อมูลฯ

เนื่องด้วย นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย” โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ รองศาสตราจารย์อายุวัฒน์ สว่างผล เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบรวบรวมข้อมูล แสดงผลวิเคราะห์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิชาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. ๖๖๔-๑๐๐๐ ต่อ ๕๗๒๖, ๕๖๔๔

โทรสาร. ๒๕๘-๔๑๑๕

ภาคผนวก ค

หนังสือขอความอนุเคราะห์ เพื่อขอใช้สถานที่เพื่อการทดลอง

ที่ ทม 1012/ ๕ ๗ ๒๔



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๗ กรกฎาคม 2544

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้จัดการ บริษัท จี เอส ซีเริ่มมิตร จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบรวบรวมข้อมูลฯ

เนื่องด้วย นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย” โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตใช้สถานที่ห้อง Lab R&D (ห้องทดลองแผนกวิจัยและพัฒนา) และขอใช้เครื่องอัดระบบไฮโดรลิก เพื่อทดลองอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย จำนวน 90 ชิ้น ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2544

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม ได้เก็บข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 664-1000 ต่อ 5726, 5644

โทรสาร. 258-4119

ที่ ทม 1012/ 2 ๗๕ 5



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๗ กรกฎาคม 2544

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏกาญจนบุรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบรวบรวมข้อมูลฯ

เนื่องด้วย นางสาวศิริลักษณ์ ทองลิ้ม นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญาานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย” โดยมี อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญาานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตใช้สถานที่ห้อง Lab R&D (ห้องทดลองแผนกวิจัยและพัฒนา) และขอใช้เครื่องจักรสาร หม้ออบสาร และเตาเผาผลิตภัณฑ์ เพื่อทดลองหาน้ำหนักของชิ้นทดลอง และเพื่อเผาชิ้นทดลองของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สำหรับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2544

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวศิริลักษณ์ ทองลิ้ม ได้เก็บข้อมูลในการทำปริญญาานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิชาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 664-1000 ต่อ 5726, 5644

โทรสาร. 258-4119

ภาคผนวก ง
ประวัติย่อผู้เชี่ยวชาญ
ประวัติย่ออาจารย์ภายนอกควบคุมวิทยานิพนธ์

ประวัติย่อผู้เชี่ยวชาญ

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อ ชื่อสกุล | รองศาสตราจารย์ ทวี พรหมพฤษ |
| การศึกษา | ปม. ช. กศ.บ. CERTIFICATED IN CERAMICS |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | อาจารย์พิเศษทางด้านเซรามิกส์ กรรมการสมาคมเซรามิกส์ กรรมการตัดสินงานเครื่องปั้นดินเผาแห่งชาติ กรรมการโครงการส่งเสริมและพัฒนาสินค้าหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา กองส่งเสริมหัตถกรรมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม |
| สถานที่ทำงาน | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยรังสิต สถาบันราชภัฏ พระนคร |
| อายุการทำงาน | 49 ปี |
| เชี่ยวชาญด้าน | เทคโนโลยีเซรามิกส์ |
| ชื่อ ชื่อสกุล | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รัชษ์วงศ์ |
| การศึกษา | ปริญญาตรี กศ.บ. (อุตสาหกรรมศิลป์) ปริญญาโท ค.อ.ม. (เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา) |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ อาจารย์พิเศษทางด้านเซรามิกส์ |
| สถานที่ทำงาน | ภาควิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ สถาบันราชภัฏ พระนคร มหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยรามคำแหง |
| อายุการทำงาน | 31 ปี |
| เชี่ยวชาญด้าน | เทคโนโลยีเซรามิกส์ เซรามิกส์สมัยใหม่ |
| ชื่อ ชื่อสกุล | รองศาสตราจารย์ आयुวัฒน์ สว่างผล |
| การศึกษา | ปริญญาตรี กศ.บ. (อุตสาหกรรมศิลป์) ปริญญาโท ค.อ.ม. (เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา) |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ อาจารย์พิเศษทางด้านเซรามิกส์ |
| สถานที่ทำงาน | ภาควิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ สถาบันราชภัฏ กำแพงเพชร อายุการทำงาน 29 ปี |
| เชี่ยวชาญด้าน | เทคโนโลยีเซรามิกส์ |

ประวัติอาจารย์ภายนอกควบคุมวิทยานิพนธ์

| | |
|--------------------|--|
| ชื่อ | ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง |
| เกิดวันที่ | 28 เมษายน 2494 |
| ตำแหน่ง องค์การ | รองอธิการบดีฝ่ายวัฒนธรรมและชุมชนสัมพันธ์ ภาครัฐ |
| สถานที่ทำงาน | สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี อ.เมือง จ.กาญจนบุรี โทร. 034 – 633227 – 30 โทรสาร. 034 – 633224 |
| การศึกษา | ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย พ.ศ. 2507 – 2509 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ป.กศ.) โรงเรียนฝึกหัดครูนครปฐม พ.ศ. 2510 – 2511 ระดับอนุปริญญา (ป.กศ.สูง เครื่องปั้นดินเผา) วิทยาลัยครูพระนคร พ.ศ. 2512 – 2513 ระดับปริญญาตรี (กศ.บ. เครื่องปั้นดินเผา) วิทยาลัยวิชาการศึกษาพระนคร พ.ศ. 2514 – 2515 ระดับปริญญาโท (ค.อ.ม. เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือพ.ศ. 2526 – 2529 |
| หน้าที่การงาน | 2516 ตำแหน่ง อาจารย์ตรี วิทยาลัยครูสกลนคร สังกัดภาควิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - รับผิดชอบงานสอนด้านวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ - ดูแลนักศึกษาหอพัก ปฏิบัติงานของสำนักกิจการนักศึกษา - รับผิดชอบงานฝ่ายอาคารสถานที่ - เป็นนักกีฬาเทเบิลเทนนิสของจังหวัดสกลนคร และเป็นผู้ฝึกสอนกีฬาเทเบิลเทนนิสของ จังหวัดสกลนคร 2525 ย้ายมาปฏิบัติราชการที่สถาบันราชภัฏกาญจนบุรีถึงปัจจุบัน |
| ตำแหน่งทางบริหาร | 2529 ดำรงตำแหน่งหัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมศิลป์ 2530 ดำรงตำแหน่งหัวหน้าคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรรมการบริหาร สถาบัน 2532 ดำรงตำแหน่งรองผู้อำนวยการสำนักแผนและพัฒนา 2537 ดำรงตำแหน่งรองอธิการบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา, กรรมการประจำสหวิทยาลัย ทวารวดี 2539 ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายภูมิสถาปัตยกรรม, กรรมการสภาสถาบัน 2542 ดำรงตำแหน่งรองอธิการบดีฝ่ายวิเทศสัมพันธ์, กรรมการสภาสถาบัน 2543 ดำรงตำแหน่งรองอธิการบดีฝ่ายวัฒนธรรมและชุมชนสัมพันธ์ กรรมการประจำวิทยาลัย, กรรมการบริหารสถาบัน, กรรมการสภาประจำ สถาบัน (กว., คบส., สปส.) |

ภาคผนวก จ
ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

| | |
|---------------------|---|
| ชื่อ ชื่อสกุล | นางสาวสิริลักษณ์ ทองลิ้ม |
| วัน เดือน ปีเกิด | 22 มีนาคม พ.ศ. 2517 |
| สถานที่เกิด | อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน | 47 หมู่ 4 ตำบลจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150 |
| ประวัติการทำงาน | |
| พ.ศ. 2539 | ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกวิจัยและพัฒนา บริษัทสแตนดาร์ดอินซูเลเตอร์ จำกัด อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ |
| พ.ศ. 2540 | ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกประกอบ-คัตบริจบริษัทสแตนดาร์ดอินซูเลเตอร์ จำกัด อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ |
| พ.ศ. 2543 | อาจารย์อัตราจ้างชั่วคราวประจำโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี |
| ประวัติการศึกษา | |
| พ.ศ. 2535 | มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนคุรุราษฎร์รังสฤษดิ์ อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี |
| พ.ศ. 2537 | อนุปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี |
| พ.ศ. 2539 | วิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีเซรามิกส์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพระนคร |
| พ.ศ. 2545 | การศึกษามหาบัณฑิต (สาขาอุตสาหกรรมศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |