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

วศ
วพซ
อว 10

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 2

การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง

Research and Development of Purple Red Alumina Thread Guides

ของ

นางวรรณา ต.แสงจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ 6ว.

ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวสุจินดา โชติพานิช นักวิทยาศาสตร์ 8
นายสุทธิชัย ทีปประสาน นักวิทยาศาสตร์ 7ว.

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 2

การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง

Research and Development of Purple Red Alumina Thread Guides

เลขทะเบียน 2010
เลขหมู่ 9999
วันที่ 14 พ.ค. 44

ของ

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วว.

นางวรรณา ต.แสงจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ 6ว.

ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวสุจินดา โชติพานิช นักวิทยาศาสตร์ 8
นายสุทธิชัย ทีปประสาน นักวิทยาศาสตร์ 7ว.

กลุ่มวิจัยและพัฒนา
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ กรมทรัพยากรธรณี ผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ที่ได้ให้ความสนับสนุนและความร่วมมืออย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยและจัดทำรายงาน ขอขอบคุณคุณสายพิณ สืบสันติกุล และคุณชัยวัฒน์ ธานีรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการการศึกษาลักษณะผิวและโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงจากวัตถุดิบอะลูมินาชนิดละเอียดและชนิดหยาบโดยใช้วัตถุดิบธรรมชาติ คือ ดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ หินปูน เป็นตัวช่วยการเผาผนึกและโครมิกออกไซด์เป็นสารให้สี จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิเผาผนึกควรประมาณ 1600°ซ. สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์มีดังนี้

ผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียด มีความหนาแน่นรวม 3.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.10 ความแข็ง 1178 HV ความแข็งแรง (มอดุลัสแตกร้าว) 287 เมกะพาสคัล ค่าความหยาบผิวมีดังนี้ : ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) 0.48 ไมโครเมตร ความสูงที่สูงที่สุดของผิว (Rt) 3.54 ไมโครเมตร ความสูงที่สูงสุดโดยเฉลี่ย (Rtm) 2.86 ไมโครเมตร ความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) 1.23 ไมโครเมตร จำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนด (Pc) 16 ยอด

ผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดหยาบ มีความหนาแน่นรวม 3.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.03 ความแข็ง 1207 HV ความแข็งแรง (มอดุลัสแตกร้าว) 300 เมกะพาสคัล ค่าความหยาบผิวมีดังนี้ : ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) 0.50 ไมโครเมตร ความสูงที่สูงที่สุดของผิว (Rt) 4.12 ไมโครเมตร ความสูงที่สูงสุดโดยเฉลี่ย (Rtm) 3.09 ไมโครเมตร ความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) 1.28 ไมโครเมตร จำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนด (Pc) 17 ยอด

สภาพทั่วไปของผิวและโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันคือ ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยผลึกอะลูมินาเป็นรูปแท่งยาวคล้ายปริซึมในเนื้อแก้วและรูพรุนปิด

Abstract

The purple red alumina ceramic thread guides were prepared from fine and coarse particle grades alumina by adding naturally occurring raw materials such as ball clay, talc, and limestone as sintering aids, and chromic oxide as coloring oxide. The products could be sintered at about 1600°C, and the properties and characteristics obtained were as follows :

Product prepared from fine particle grade alumina

Bulk density	3.32 gm/cm^3
Water absorption	0.1%
Hardness	1178 HV
Modulus of rupture	287 MPa
Surface roughness values	: Ra = 0.48 μm, Rt = 3.54 μm, Rtm = 2.86 μm, Rpm = 1.23 μm, Pc = 16

Product prepared from coarse particle grade alumina

Bulk density	3.41 gm/cm^3
Water absorption	0.03%
Hardness	1207 HV
Modulus of rupture	287 MPa
Surface roughness values	: Ra = 0.50 μm, Rt = 4.12 μm, Rtm = 3.09 μm, Rpm = 1.28 μm, Pc = 17

Surface topography and microstructure of both products were similar, i.e. having a wavy surface topography with no sharp edges, and microstructure consisted of prismatic alumina crystals in a glassy matrix with a number of closed pores.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

Abstract

สารบัญตาราง ก

สารบัญภาพ ข

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก 1

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา 2

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ 2-3

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ 3

บทที่ 2 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง 4

2.1 บทนำ 4-5

2.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา 5

2.2.1 วัตถุประสงค์การวิจัยและพัฒนา 5

2.2.2 ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา 5

2.3 วิธีการวิจัยและพัฒนา 6

2.3.1 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ 6-7

2.3.2 วัตถุดิบที่ใช้ 11

2.3.3 ส่วนผสมที่ทดลอง 13

2.3.4 การเตรียมส่วนผสม 14

2.3.5 การทดลองเบื้องต้นเพื่อประเมินการสุกตัวของเนื้อ 14

2.3.6 การเตรียมน้ำสลิป 14

2.3.7 การทำแบบปูนปลาสเตอร์ 15

2.3.8 การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และชิ้นทดสอบ 16

2.3.9 การทำให้แห้ง 16

2.3.10 การเผาผนึก 16

2.3.11 การขัดแต่งผิว 16

2.3.12 การวิเคราะห์ทดสอบ 17

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.3.13 การเปรียบเทียบผลกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ	18
2.4	ผลการวิจัยและพัฒนา	18
	2.4.1 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูป	18
	2.4.2. สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์	18
	2.4.2.1 ผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียด	18-19
	2.4.2.2 ผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดหยาบ	27
2.5	วิจารณ์ผลการวิจัยและพัฒนา	35
	2.5.1 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูป	35
	2.5.2 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์	35-37
2.6	สรุปและข้อเสนอแนะ	37
	2.6.1 สรุปผลการวิจัยและพัฒนา	37-38
	2.6.2 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง		39-40
ภาคผนวก		41
ก	แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนา	42
ข	ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ	43
ค	ความละเอียดหยาบของอะลูมินาและของส่วนผสมที่ทดลอง	44-45
ง	แม่แบบปูนปลาสเตอร์สำหรับขึ้นรูป	46
จ	สูตรสำหรับคำนวณและความหมายของตัวแปร	47-49
ฉ	ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงที่ได้จากการทดลอง	50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ	8
2	องค์ประกอบทางเคมี ความหนาแน่น และความละเอียดหยาบของอะลูมินา	12
3	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบธรรมชาติ ดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ และหินปูน	13
4	อัตราส่วนผสมที่ทดลอง	13
5	ความละเอียดหยาบของวัตถุดิบหลังการบด	15
6	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมเพื่อประเมินการสุกตัวของเนื้อเบื้องต้น	15
7	สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด	20-21
8	สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ	28-29

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ	9
2	โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ (บน) มีรูพรุนปิดภายใน (ล่าง) ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว	10
3	ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดเผา 1600°ซ. ก่อนและหลังขัดแต่ง 10 ชั่วโมงและ 60 ชั่วโมง	22
4	ลักษณะผิวที่ไม่ได้ขัดแต่งของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด เผา 1650°ซ.	23
5	รูพรุนบนผิวผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดเผา 1650°ซ. (ขัดแต่งผิว)	23
6.	Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดก่อนขัดแต่งกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ	24
7.	Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด เผา 1600°ซ. ก่อนและหลังขัดแต่ง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ	25
8.	โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด เผา 1600°ซ. (ซ้าย) มีรูพรุนปิดภายใน (ขวา) ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว	26
9.	ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ เผา 1600°ซ. ก่อนและหลังขัด 10 ชั่วโมงและ 60 ชั่วโมง	30
10.	ลักษณะผิวที่ไม่ได้ขัดแต่งของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ เผา 1650°ซ.	31
11.	Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบก่อนขัดแต่งกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ	32
12.	Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ เผา 1600°ซ. ก่อนขัดแต่ง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ	33
13.	โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ เผา 1600°ซ. (ซ้าย) มีรูพรุนปิดภายใน (ขวา) ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว	34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอย่างยิ่ง โดยทำรายได้เข้าประเทศมาในลำดับสูง ปัจจุบันได้รับการพัฒนาก้าวหน้าไปมากจนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ได้อย่างครบวงจรในประเทศ กล่าวคือ มีการผลิตเส้นใย เส้นด้าย ผ้าผืน ตลอดจนเสื้อผ้าสำเร็จรูป เป็นต้น ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมีการนำเข้าเทคโนโลยีตลอดจนเครื่องจักรกำลังผลิตสูงมาใช้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของตลาด การผลิตสิ่งทอตามขั้นตอนต่าง ๆ ด้วยเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเส้นด้ายหรือการปั่นด้ายนั้น เส้นด้ายจำนวนมากจะถูกดึงให้ห้นเหไปยังจุดต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว เส้นด้ายทำจากเส้นใยซึ่งมีความคม เมื่อถูกดึงด้วยความเร็วสูงจะเกิดการขัดสีกับชิ้นส่วนที่นำร่องเส้นด้ายอย่างรุนแรง และทำให้เกิดการสึกหรอขึ้น วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนดังกล่าวได้ดี จึงต้องสามารถทนต่อการสึกหรอได้สูง นอกจากนี้ยังต้องมีผิวเรียบให้ความเสียดทานคงที่ และไม่ทำให้เส้นด้ายเกิดความเสียหายอีกด้วย เซรามิกมีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน สามารถนำมาใช้งานได้ดีและทนทานยิ่งกว่าโลหะหรือโพลิเมอร์ เพราะมีความแข็งสูงกว่า วัสดุเซรามิกที่สามารถนำมาใช้งานได้มีหลายชนิด มีทั้งชนิดเซรามิกดั้งเดิม เช่น เซรามิกเนื้อพอร์ซเลน และเซรามิกใหม่ เช่น เซรามิกเนื้ออะลูมินา เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิมซึ่งเนื้อไม่ค่อยแข็งเหมาะกับเส้นใยธรรมชาติ[1] ซึ่งไม่คม ส่วนเซรามิกใหม่เนื้ออะลูมินา ซึ่งแข็งกว่ามากเหมาะกับเส้นใยประดิษฐ์[2] ที่คมและแข็งแรง(Dorre and Hubner, 1984) ยิ่งกว่านั้น เครื่องจักรซึ่งใช้กับเส้นใยประดิษฐ์ได้รับการพัฒนา ให้ทำงานด้วยความเร็วสูงขึ้นไปอีกเรื่อย ๆ ส่งผลให้การขัดสีระหว่างกันมีมากยิ่งขึ้น เครื่องจักรรุ่นใหม่จึงได้รับการออกแบบให้ใช้วัสดุเซรามิกใหม่เนื้อแข็งเป็นตัวรองรับจุดสัมผัสแทบทั้งสิ้น

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

---

[1] เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย ปอแก้ว ปอกระเจา ป่านอิตินี ป่านรามี ป่านแซมฟี ป่านเศรนาราชณ์ ไหม และขนของสัตว์

[2] เส้นใยประดิษฐ์ ได้แก่ เรยอน อะซีเทต ไตรอะซีเทต โพลิอะมีดหรือไนลอน โพลิเอสเตอร์ อะคริลิก

ยังขาดความรู้ที่จะช่วยส่งเสริมการผลิตเฉพาะทางอย่างมาก โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์และวัสดุอุตสาหกรรมซึ่งรวมถึงวัสดุเซรามิกทั้งหลายด้วย การศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมสิ่งทอจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะนอกจากจะช่วยพัฒนาความรู้การผลิตเฉพาะทางให้แก่ภาคอุตสาหกรรมเซรามิกแล้ว ยังจะช่วยให้อุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมใหญ่อุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศ เกิดการคล่องตัวในการผลิตและพัฒนาก้าวหน้ามากยิ่งขึ้นสามารถพึ่งตนเองได้อย่างครบวงจร และแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างยั่งยืนตลอดไป ดังนั้นกรมวิทยาศาสตร์บริการ และกรมทรัพยากรธรณี โดยความสนับสนุนของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกจากภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ และเพื่อวิจัยและพัฒนาหาเนื้อส่วนผสมและเทคโนโลยีการทำ เพื่อช่วยเสริมสร้างขีดความสามารถทางด้านนี้ให้แก่ประเทศ ผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำความรู้ไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมแขนงนี้ต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา

1.2.1 เพื่อให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1.2.2 เพื่อให้มีส่วนผสมและวิธีการทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก

การศึกษาวิจัยและพัฒนาแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ตอนที่ 2 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายชนิดเซรามิกดั้งเดิม

ตอนที่ 3 การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง

ผลงานที่เสนอในรายงานฉบับนี้เป็นเฉพาะตอนที่ 3 โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.3.1 ได้ข้อมูล ความรู้ และเทคโนโลยีเฉพาะทางเกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ข้อมูลและความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์และอุตสาหกรรมของประเทศได้

1.3.2 เป็นการช่วยส่งเสริมสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอให้เกิดความคล่องตัวในการผลิต และสามารถพัฒนาการออกแบบชิ้นส่วนเซรามิกแบบต่าง ๆ ได้เอง อันจะช่วยให้สามารถแข่งขันในตลาดต่างประเทศได้ดียิ่งขึ้น

1.3.3 ช่วยเพิ่มทักษะให้แก่นักวิจัยภายในประเทศ ความรู้และประสบการณ์ที่นักวิจัยได้รับสามารถนำไปประยุกต์และขยายผลกับงานศึกษาวิจัยด้านวัสดุศาสตร์และผลิตภัณฑ์เซรามิกอื่น ๆ ได้อีกมาก

1.4 <u>ระยะเวลาดำเนินการ</u>

พ.ศ. 2535-2540

บทที่ 2
การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง

2.1 บทนำ

จากการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกนำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยในตอนที่ 1 พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินา (Al_2O_3) ได้รับความนิยมใช้มาก (สุจินดาและคณะ, 2540) ประกอบกับปัจจุบันนี้เครื่องจักรที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอได้รับการพัฒนาให้ทำงานได้เร็วขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ความต้องการใช้ตัวนำร่องเส้นด้ายที่ทำด้วยอะลูมินาซึ่งมีความแข็งสูงและทนต่อการสึกหรอได้ดี มีมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะวัสดุอื่น เช่น โลหะ แก้ว หรือพอร์ซเลน ถ้านำมาใช้กับเครื่องจักรที่มีความเร็วสูงขนาด 1000 เมตรต่อวินาที จะสึกไปอย่างรวดเร็วภายในเวลาเพียงไม่กี่วัน ขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินา ถ้าไม่กระเด็นหายเนื่องจากกาวที่ทาไว้หลุดจะสามารถใช้งานได้นานถึง 10 ปี (Dorre and Hubner, 1984) ขณะนี้ประเทศไทยเราไม่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาขึ้นใช้เอง ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้ง ๆ ที่ภาคอุตสาหกรรมเซรามิกของไทยมีศักยภาพสูงพอ และมีความสนใจที่จะผลิตแต่ทว่ายังขาดข้อมูลทางวิชาการ ตลอดจนความรู้และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นส่วนผสมหรือวิธีการทำ นอกจากนี้อุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมใหญ่อุตสาหกรรมหนึ่งของไทยเรา ก็กำลังเผชิญปัญหาต่าง ๆ หลายด้าน โดยเฉพาะการกีดกันทางการค้าและต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา ถ้าทุกฝ่ายช่วยกันส่งเสริมสนับสนุนให้ภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอมีประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้น มีความก้าวหน้าในเทคโนโลยีแขนงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งสามารถพัฒนาเครื่องจักรที่ทันสมัยและทำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่องจักรได้เอง ก็จะช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอเกิดความคล่องตัวในการผลิต และแข่งขันในตลาดต่างประเทศได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกและอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมวิทยาศาสตร์บริการจึงได้ดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทำชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกเนื้ออะลูมินา เพื่อผู้ประกอบการจะได้สามารถนำความรู้ไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนาสินค้าต่อไปได้

โดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีอยู่หลายสี ได้แก่ สีชมพูอ่อน สีชมพูเข้ม และสีแดงม่วง โดยแต่ละสีจะมีสมบัติและการใช้งานแตกต่างกันออกไป กล่าวคือ สีชมพูอ่อนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดความแข็งสูง เหมาะสำหรับงานที่ต้องทนต่อการสึกหรอสูง สีชมพูเข้มซึ่งความแข็งปานกลาง เหมาะกับการใช้งานที่ทนต่อการสึกหรอปานกลาง สีแดงม่วงซึ่งเป็นชนิดความแข็งต่ำที่สุดในบรรดาผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้ออะลูมินาด้วยกัน ใช้สำหรับงานทั่วไป ในการวิจัยและพัฒนานี้ซึ่งเป็นการเริ่มต้นครั้งแรก จะศึกษาวิจัยและพัฒนาเฉพาะผลิตภัณฑ์สีแดงม่วงก่อน ส่วนผลิตภัณฑ์สีอื่น ๆ จะดำเนินการในโอกาสต่อไป โดยนำข้อมูลความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยผลิตภัณฑ์สีแดงม่วงไปใช้

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในตอนที่ 1 เกี่ยวกับสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินานั้น (สุจินดาและคณะ, 2540) พบว่าส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อะลูมินาสีแดงม่วง นอกจากมีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบสำคัญและโครเมียมออกไซด์ (CrO_3) เป็นสารให้สีแล้ว ยังมีสารอื่น ๆ ผสมอยู่อีกได้แก่ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) โดย SiO_2, CaO และ MgO เป็นสารช่วยการเผาผนึก (sintering aid) ที่ผู้ผลิตตั้งใจเติมเข้าไปเพื่อช่วยให้เนื้ออะลูมินาบางส่วนหลอมเป็นแก้ว ผนึกตัวติดกันแน่น ส่วนสารอื่น ๆ เป็นมลทินที่น่าจะติดมากับวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างมีเนื้อแก้วและรูพรุนอยู่ค่อนข้างมาก ข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์สีแดงม่วงไม่ได้ทำจากวัตถุดิบที่คงตัวและบริสุทธิ์นัก ดังนั้นวัตถุดิบที่เกิดในธรรมชาติได้แก่ดินบอลล์เคลย์ ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) หินปูน ($CaCO_3$) ทัลก์ ($3MgO.4SiO_2.H_2O$) ซึ่งมี Al_2O_3, SiO_2, CaO และ/หรือ MgO เป็นองค์ประกอบ จึงน่าที่จะนำมาใช้เป็นสารช่วยการเผาผนึกหรือช่วยหลอมได้ การนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินบอลล์เคลย์ (ball clay) ซึ่งมีอยู่มากในประเทศและมีความเหนียวสูงมาใช้นอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบในประเทศและทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำแล้วยังจะช่วยให้ส่วนผสมซึ่งทำจากวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว มีความเหนียวดีเพียงพอสำหรับขึ้นรูปด้วย นอกจากนี้จากการที่วัตถุดิบคัลไซน์อะลูมินาที่ขายในท้องตลาดมีให้เลือกหลายชนิด ขนาดอนุภาคและราคาแตกต่างกัน โดยชนิดละเอียดมีราคาสูงกว่าชนิดหยาบ จึงน่าจะนำมาทดลองใช้ดูทั้งสองชนิด ผู้ประกอบการผลิตจะได้มีโอกาสเลือกมากขึ้น ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ในการศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษา ค้นคว้าทดลอง หาส่วนผสมและวิธีการทำผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง จากวัตถุดิบอะลูมินาชนิดละเอียดและชนิดหยาบ โดยมีวัตถุดิบธรรมชาติ ได้แก่ดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ และหินปูน เป็นตัวช่วยการเผาผนึกและโครมิกออกไซด์เป็นสารให้สี

2.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยและพัฒนา

2.2.1 วัตถุประสงค์การวิจัยและพัฒนา

1) เพื่อให้มีส่วนผสมและวิธีการทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วง

2) เพื่อศึกษาผลการทำผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบอะลูมินาชนิดละเอียดและชนิดหยาบ โดยมีวัตถุดิบธรรมชาติเป็นตัวช่วยการเผาผนึก

3) เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์ดินบอลล์เคลย์ในประเทศ

2.2.2 ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา

การวิจัยและพัฒนานี้จะเลือกใช้วิธีเทแบบ (slip casting)ในการขึ้นรูป เนื่องจากสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์รูปทรงซับซ้อนได้จากเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เรียบง่าย ราคาไม่แพง

2.3 วิธีการวิจัยและพัฒนา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดลองเชิงวิศวกรรมย้อนกลับ กล่าวคือ เริ่มต้นด้วยการศึกษาวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์อะลูมินาสีแดงม่วงที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อค้นหาส่วนผสมและวิธีการซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้รับการพัฒนาขึ้นมา จากนั้นจึงจะดำเนินการทดลองทำผลิตภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ให้ได้ใกล้เคียง ขั้นตอนการทดลองทำผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย การคัดเลือกวัตถุดิบ การกำหนดส่วนผสม การเตรียมส่วนผสม การเตรียมน้ำสลิป การทำแม่แบบ (mold) การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นทดสอบ การทำให้แห้ง การทดลองเผาผนึก (sintering) และการขัดแต่งผิว แผนภาพวิธีการดำเนินการวิจัยและพัฒนาแสดงในภาคผนวก ก

2.3.1 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เ นื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศที่นำมาเป็นต้นแบบการทำและการวิเคราะห์ทดสอบเพื่อให้ได้ค่าอ้างอิงแสดงในภาคผนวก ข ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเคยนำมาศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะในการศึกษาเรื่อง"สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่นำเข้าจากต่างประเทศ" ดังที่ได้กล่าวรายละเอียดมาแล้วในรายงานการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก ตอนที่ 1 (สุจินดาและคณะ, 2540) จากการศึกษาสมบัติเฉพาะต่าง ๆ รวมทั้งการทดสอบสมบัติด้านความแข็งด้วยเครื่อง Microhardness Tester และความหยาบผิวด้วยเครื่อง Handysurf เพิ่มเติม พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงมีองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ ลักษณะผิว ความหยาบผิว และโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1-2 ซึ่งสรุปสาระสำคัญเป็นข้อมูลเบื้องต้น ได้ดังนี้

1) จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สรุปได้ว่าส่วนประกอบสำคัญ คือ Al_2O_3 โดยมีอยู่ร้อยละ 81.05 สารช่วยการเผาผนึกหรือช่วยหลอมที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยลดอุณหภูมิการเผาและช่วยให้ Al_2O_3 ผนึกแน่น โดยการเกิดเนื้อแก้ว คือ SiO_2, CaO, MgO มีอยู่ร้อยละ 10.8, 1.08, 0.85 ตามลำดับ ส่วนสารที่ทำให้เกิดสีแดงม่วง และอาจช่วยให้ความแข็งเพิ่มขึ้น คือ CrO_3 มีอยู่ร้อยละ 4.04 สารอื่น ๆ นอกจากนี้ กล่าวได้ว่าเป็นมลทินที่ติดมากับวัตถุดิบ

2) จากการทดสอบความหนาแน่น พบว่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าค่าความหนาแน่นเชิงทฤษฎีของอะลูมินา[3] คือ เพียง 3.28 กรัม/ลบ.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 82.3 เท่านั้น ซึ่งแสดงว่าส่วนประกอบของเนื้อไม่ได้มีแต่เฉพาะสารช่วยเผาผนึกในข้อ(1) ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าอะลูมินาเท่านั้น แต่น่าจะมีรูพรุนอยู่ด้วย

3) จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ พบว่ามีค่าใกล้เคียงศูนย์แสดงว่าผลิตภัณฑ์ผ่านการเผาจนสุกตัว (vitrified) แล้ว

---

[3] ค่าความหนาแน่นเชิงทฤษฎีของอะลูมินา มีค่าอยู่ระหว่าง 3.9851-4.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

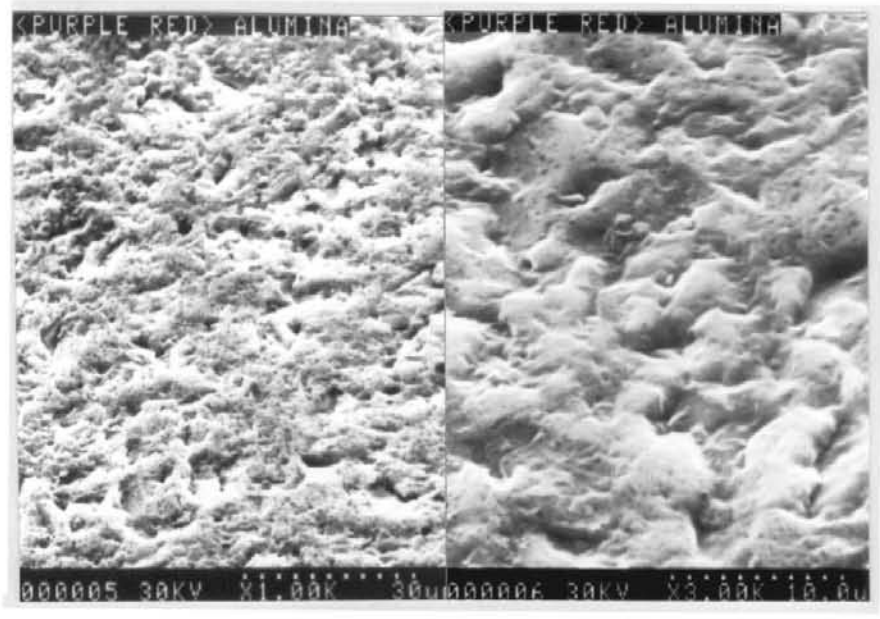
4) จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่าง พบว่าประกอบด้วยผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว และมีรูพรุนหลายขนาดทั้งใหญ่และเล็กอยู่ทั่วไป ผลึกขนาดใหญ่สุดประมาณ 20-25 ไมโครเมตร รูพรุนขนาดใหญ่สุดประมาณ 50 ไมโครเมตร

5) จากการวัดความแข็ง พบว่าความแข็งไม่สูงนักวัดค่าได้ 1198 HV ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะโครงสร้างของเนื้อประเภทนี้มีเนื้อแก้วและรูพรุนอยู่ค่อนข้างมากจึงทำให้ความแข็งไม่สูง

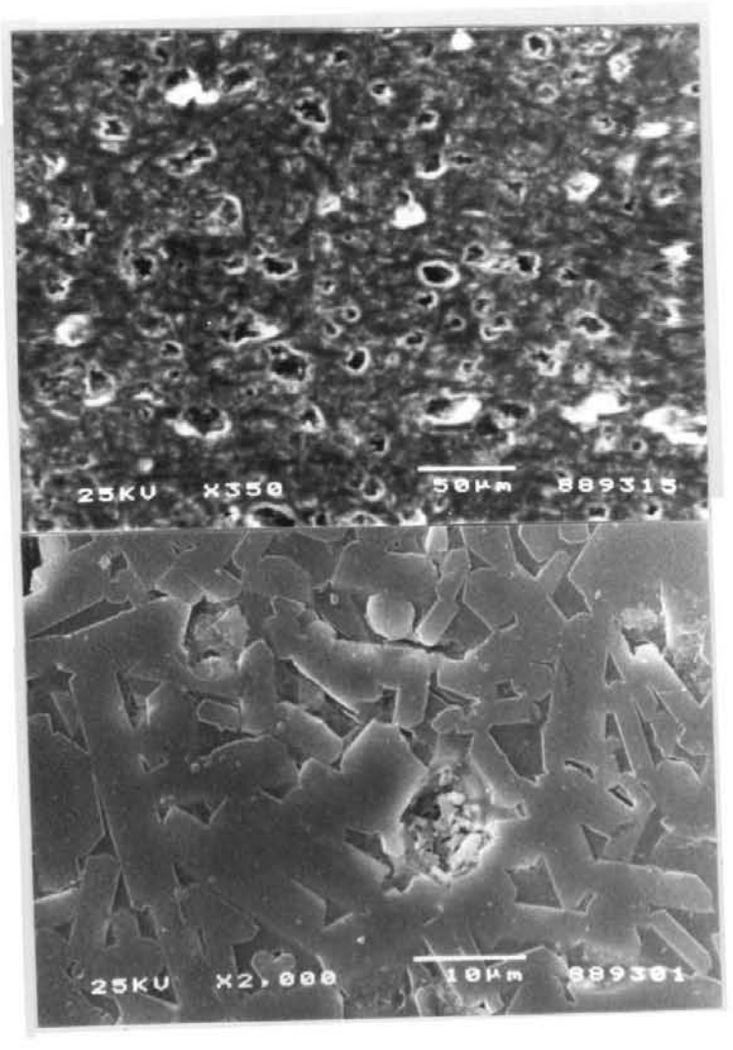
6) จากการศึกษาลักษณะผิว พบว่าเป็นแบบคลื่น ไม่มีขอบคม มีรูพรุนเล็ก ๆ บนผิวทั่วไป ค่าความหยาบผิวมีดังนี้ ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) 1.00 ไมโครเมตร ความสูงที่สูงสุด (Rt) 8.67 ไมโครเมตร ความสูงที่สูงสุดเฉลี่ย (Rtm) 5.79 ไมโครเมตร ความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) 2.39 ไมโครเมตร จำนวนยอดที่สูงเกินพิกัด (Pc) 15 ยอด

ตารางที่ 1 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ

สมบัติและลักษณะเฉพาะ	ผลที่ได้
องค์ประกอบทางเคมี, ร้อยละ	
SiO_2	10.80
Al_2O_3	81.05
Fe_2O_3	0.33
CaO	1.08
MgO	0.85
Na_2O	0.23
K_2O	0.23
TiO_2	0.19
CrO_3	4.04
สมบัติทางกายภาพและเชิงกล	
ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.	3.28
การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.10
ความแข็ง, วิกเกอร์ส	1198±126 HV
ลักษณะผิว	เป็นคลื่น ไม่มีขอบคม มีรูพรุนเล็ก ๆ บนผิวทั่วไป
ความหยาบผิว	
Ra, ไมโครเมตร	1.00±0.02
Rt, ไมโครเมตร	8.67±1.05
Rtm, ไมโครเมตร	5.79±0.46
Rpm, ไมโครเมตร	2.39±0.19
Pc, ยอด	15±3
โครงสร้างจุลภาค	-ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งคล้ายปริซึม มีหลายขนาดผสมกัน ขนาดใหญ่สุดยาวประมาณ 20-25 ไมโครเมตร -มีเนื้อแก้วค่อนข้างมาก -มีรูพรุนหลายขนาดอยู่ทั่วไป รูใหญ่สุดมีขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร



ภาพที่ 1 ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ



ภาพที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ (บน) มีรูพรุนปิดภายใน (ล่าง) ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว

2.3.2 <u>วัตถุดิบที่ใช้</u>

ได้คัดเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติและลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศที่แสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

<u>อะลูมินา</u> วัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นคัลไซน์อะลูมินาชั้นคุณภาพปกติสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกทั่วไป โดยคัดเลือกชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน แต่ขนาดอนุภาคแตกต่างกันมา 2 ชนิด ดังนี้

1) อะลูมินาชนิดละเอียด ใช้อะลูมินา AM21 ของบริษัท Sumitomo Chemical ประเทศญี่ปุ่น ราคาซื้อขายในประเทศประมาณ 38 บาทต่อกิโลกรัม อะลูมินาชนิดนี้นิยมใช้ทำวัสดุทนไฟและผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเนื้อพอร์ซเลน สามารถผนึกตัวได้ดีเมื่อเผา องค์ประกอบทางเคมี ความหนาแน่น และความละเอียดหยาบของขนาดอนุภาคซึ่งทดสอบด้วยเครื่องหาขนาด Sedigraph 5100 แสดงในตารางที่ 2

2) อะลูมินาชนิดหยาบ ใช้อะลูมินา A12 ของบริษัท Showa Denko ประเทศญี่ปุ่น ราคาซื้อขายในประเทศประมาณ 16 บาทต่อกิโลกรัม อะลูมินาชนิดนี้มีขนาดอนุภาคหยาบกว่า AM21 มาก องค์ประกอบทางเคมี ความหนาแน่น และความละเอียดหยาบของอนุภาคซึ่งทดสอบด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค Sedigraph 5100 แสดงในตารางที่ 2

<u>ดินบอลล์เคลย์</u> ใช้ดินจากแหล่งทางภาคใต้ของประเทศซึ่งนิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมเซรามิก บริษัทคอมพาวด์เคลย์ จำกัด เป็นผู้ผลิต องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้เป็นธรรมชาติของดินบอลล์เคลย์ที่จะมีมลทินชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำให้จุดหลอมตัวของดินต่ำลงเจือปนอยู่ด้วย ได้แก่ Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, K_2O และ Na_2O

<u>ทัลก์</u> ใช้ทัลก์ประเทศจีนเกรดอุตสาหกรรม องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 3 ทัลก์ชนิดนี้มีมลทินช่วยลดจุดหลอมตัวเจือปนอยู่ด้วยเช่นกัน ได้แก่ Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O ส่วนมลทิน Al_2O_3 ช่วยเสริมปริมาณอะลูมินาในผลิตภัณฑ์ที่จะทดลองทำขึ้นมา สำหรับการทดลองนี้ได้นำทัลก์มาเผาคัลไซน์ที่อุณหภูมิประมาณ 1000°-1200°ซ. ก่อนนำไปใช้ เพื่อให้วัตถุดิบคงตัวขึ้น

<u>หินปูน</u> ใช้หินปูนจากแหล่งในประเทศเกรดอุตสาหกรรมเซรามิก มีมลทินปะปนอยู่ไม่มาก องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 3

<u>โครเมียมออกไซด์</u> ใช้สารเคมีโครมิกออกไซด์เกรดอุตสาหกรรมที่ขายในท้องตลาดโดยนำเข้าจากต่างประเทศ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมี ความหนาแน่น และความละเอียดหยาบของอะลูมินา

รายการ	อะลูมินาละเอียด AM21	อะลูมินาหยาบ A12
องค์ประกอบทางเคมี[4], ร้อยละ		
Al_2O_3	99.7	99.7
Na_2O	0.28	0.28
SiO_2	0.02	0.02
Fe_2O_3	0.01	0.01
B_2O_3	-	-
H_2O	0.1	-
L.O.I	0.06	0.05
ความหนาแน่น, กรัม/ลบ.ซม.	3.9650	4.0013
ความละเอียดหยาบ[5]		
ขนาดเฉลี่ย, ไมโครเมตร	3.82	28.48
ขนาด <50 ไมโครเมตร, ร้อยละ	100.0	100.0
ขนาด <10 ไมโครเมตร, ร้อยละ	87.2	10.1
ขนาด <5 ไมโครเมตร, ร้อยละ	68.7	4.9
ขนาด <2 ไมโครเมตร, ร้อยละ	10.2	1.4

[4] ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

[5] ข้อมูลละเอียดและกราฟแสดงการกระจายของขนาดอนุภาคดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ค

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบธรรมชาติ ดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ และหินปูน

องค์ประกอบทางเคมี, ร้อยละ	ดินบอลล์เคลย์	ทัลก์	หินปูน
L.O.I	12.09	6.2	43.6
SiO_2	52.00	55.8	0.04
Al_2O_3	31.00	3.7	0.03
Fc_2O_3	1.54	1.0	0.07
TiO_2	0.28	-	-
CaO	0.20	0.8	52.9
MgO	0.30	32.0	0.4
K_2O	2.10	0.1	0.04
Na_2O	0.30	0.6	0.24

2.3.3 <u>ส่วนผสมที่ทดลอง</u>

จากองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศที่แสดงในตารางที่ 1 สามารถคำนวณย้อนกลับเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบต่าง ๆ ได้ ในการทดลองนี้ได้เพิ่มปริมาณหินปูนให้มากขึ้นอีกเล็กน้อย เพื่อเนื้อจะได้สุกตัวที่อุณหภูมิเผาไม่สูงนัก และจะทดลองทำผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียดและหยาบโดยใช้ส่วนผสมเหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ RB7 คือสูตรที่ใช้อะลูมินาชนิดอนุภาคละเอียด AM21 และ RB9 คือสูตรที่ใช้อะลูมินาอนุภาคหยาบ A12

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมที่ทดลอง

วัตถุดิบ	ส่วนผสม	
	RB7	**RB9**
อะลูมินาละเอียด AM21	74.0	-
อะลูมินาหยาบ A12	-	74.0
ดินบอลล์เคลย์	16.0	16.0
ทัลก์	2.5	2.5
หินปูน	3.0	3.0
โครมิกออกไซด์	4.5	4.5

2.3.4 การเตรียมส่วนผสม

ได้ทดลองเตรียมส่วนผสมครั้งละ 2 กิโลกรัม โดยชั่งวัตถุดิบทั้งหมด แล้วนำมาบดเปียกรวมกันในหม้อบดชนิดอะลูมินาสูงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าสูตร RB7 ที่ใช้อะลูมินาชนิด AM21 ส่วนผสมมีอนุภาคละเอียดดี ส่วนสูตร RB9 ซึ่งใช้อะลูมินาชนิด A12 ส่วนผสมยังหยาบมากนอนก้นง่าย จึงต้องเพิ่มระยะเวลาบดขึ้นอีกเป็น 36 ชั่วโมง จึงจะได้เนื้อส่วนผสมที่ละเอียดดี ข้อมูลความละเอียดหยาบของวัตถุดิบหลังบด 12 ชั่วโมงสำหรับ RB7 และ 36 ชั่วโมงสำหรับ RB9 วัดด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาค Sedigraph 5100 แสดงในตารางที่ 5 จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าเนื้อสูตร RB9 หยาบกว่า RB7 เพียงเล็กน้อย

2.3.5 การทดลองเบื้องต้นเพื่อประเมินการสุกตัวของเนื้อ

ได้ทำการทดลองเบื้องต้นหาช่วงอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อ สำหรับกำหนดช่วงอุณหภูมิที่จะทดลองเผาผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ต่อไป ในการนี้ได้นำส่วนผสมที่ได้จากการบดในข้อ 2.3.4 มาเกรอะให้แห้งหมาดในอ่างปูนปลาสเตอร์ นำมาอัดด้วยมือในแบบทองเหลืองเป็นชิ้นทดสอบขนาด 6 x 3 x 1 เซนติเมตร ตากให้แห้งแล้วเผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 1500°-1600°ซ. ยืนไฟ 15 นาที นำมาทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวม โดยวิธี Archimedes'Immersion Technique ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งสรุปได้ว่า เนื้ออะลูมินา AM21 (ส่วนผสม RB7) สุกตัวที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 1550°-1600°ซ. เพราะที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าว เนื้อมีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงศูนย์ และได้ความหนาแน่นรวมที่สูงคงที่แล้ว ส่วนเนื้ออะลูมินา A12 (ส่วนผสม RB9) สุกตัวที่ช่วงอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อย คือประมาณ 1600°ซ. ขึ้นไป เพราะตลอดช่วงอุณหภูมิ 1500°-1600°ซ. ที่ทดลองเผานั้น พบว่าแม้การดูดซึมน้ำของเนื้อลดลงจนใกล้เคียงศูนย์แล้ว แต่ความหนาแน่นรวมยังไม่คงที่ ดังนั้นจุดสุกตัวจึงอาจเป็น 1600°ซ. หรือสูงกว่าก็ได้ ในส่วนของการทดลองต่อไปที่ขึ้นรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์โดยการเทแบบและศึกษาสมบัติต่าง ๆ เปรียบเทียบกับของต่างประเทศ ได้ทดลองเผาผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 1600°-1650°ซ. ยืนไฟ 1 ชั่วโมง เหตุผลที่เผาช่วงอุณหภูมิดังกล่าวแล้วยืนไฟนานขึ้นนั้นเพราะคาดว่าอาจจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผิวเรียบเนียนขึ้นโดยไม่ต้องขัดแต่ง

ตารางที่ 5 ความละเอียดหยาบของวัตถุดิบหลังการบด

ความละเอียดหยาบ[6]	ส่วนผสม	
	RB7	RB9
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, ไมโครเมตร	2.91	3.75
ขนาดอนุภาค <50 ไมโครเมตร, ร้อยละ	100.0	100.0
ขนาดอนุภาค <10 ไมโครเมตร, ร้อยละ	97.8	95.3
ขนาดอนุภาค <5 ไมโครเมตร, ร้อยละ	85.8	68.1
ขนาดอนุภาค <2 ไมโครเมตร, ร้อยละ	31.2	26.4

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวม เพื่อประเมินการสุกตัวของเนื้อเบื้องต้น

อุณหภูมิ, °ซ.	ส่วนผสม RB7		ส่วนผสม RB9	
	การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.	การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.
1500	0.31	3.36	0.87	3.20
1550	**0.21**	**3.38**	0.23	3.35
1600	**0.11**	**3.38**	**0.04**	**3.44**

2.3.6 <u>การเตรียมน้ำสลิป</u>

นำวัตถุดิบมาเตรียมน้ำสลิป โดยใช้วิธีการเดียวกันกับการเตรียมสลิปสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั่วไป (Phelps, 1982) และในการทดลองนี้ได้ใช้สารโพลิอิเล็กโทรไลต์อินทรีย์ (organic polyelectrolyte) "แอมโมเนียมโพลิอะคริเลต" เป็นสารช่วยกระจายตัว (deflocculant) ได้ทำการทดลองเติมสารช่วยกระจายตัวในปริมาณต่าง ๆ กัน ซึ่งพบว่าส่วนผสมที่กระจายและไหลดี ประกอบด้วย เนื้อส่วนผสมแห้ง 2 กิโลกรัม น้ำ 600 กรัม สารละลายแอมโมเนียมโพลิอะคริเลต (40% solution) 5.16 กรัม โดยส่วนผสมของอะลูมินาชนิดละเอียดใช้เวลาบดนาน 12 ชั่วโมงในหม้อบด และอะลูมินาชนิดหยาบใช้เวลาบดนาน 36 ชั่วโมง

[6] ข้อมูลละเอียดและกราฟแสดงการกระจายของขนาดอนุภาคดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ค

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2.3.7 <u>การทำแบบปูนปลาสเตอร์</u>

นำผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศมาเป็นต้นแบบในการทำแม่แบบสำหรับหล่อผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ใช้ทำคือปูนปลาสเตอร์หรือคัลไซน์ยิปซัม ($CaSO_4$. 0.5 H_2O) ซึ่งเมื่อนำมากวนผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยากลับเป็นยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) และเซ็ต (set) ตัวแข็ง ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นไปดังสมการต่อไปนี้

$$CaSO_4.\ 0.5\ H_2O + 1.5\ H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$

ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัม

โดยทั่วไปแล้วปูนปลาสเตอร์ต้องการน้ำสำหรับทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นยิปซัมเพียงร้อยละ 18.6 ของน้ำหนักแห้งเท่านั้น แต่ในการทำแม่แบบต้องเติมน้ำเข้าไปมากกว่าจำนวนที่ต้องการคือประมาณ ร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง เพื่อให้ได้ความเหลวที่ดี ดังนั้นเมื่อน้ำถูกกำจัดออกไปโดยการทำให้แห้ง จึงเกิดรูพรุนว่างเล็ก ๆ อยู่เป็นจำนวนมากในแม่แบบประมาณ ร้อยละ 40-50 เมื่อนำมาใช้เทแบบน้ำจากสลิปจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ ทิ้งให้วัตถุดิบสะสมตัวหนาขึ้นเรื่อย ๆ อยู่ตรงผนังแบบ ภาพแม่แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปแสดงในภาคผนวก ง

นอกจากทำแบบปูนปลาสเตอร์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แล้วยังได้ทำแบบสำหรับขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วย โดยทำเป็นแท่งกลมยาวประมาณ 50-100 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร

2.3.8 <u>การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และชิ้นทดสอบ</u>

นำน้ำสลิปในข้อ 2.3.6 บรรจุในเข็มฉีดยาแล้วฉีดเข้าไปในแบบปูนปลาสเตอร์จนเต็มแบบ น้ำในสลิปจะถูกดูดซึมเข้าไปในแบบ ปล่อยให้อนุภาควัตถุดิบสะสมตัวหนาขึ้นเรื่อย ๆ ที่ผนังแบบ รักษาระดับน้ำสลิปให้เต็มแบบอยู่เสมอ จนกว่าเนื้อวัตถุดิบสะสมตัวตันเต็มแบบ ไม่มีรูกลวงข้างใน ปล่อยทิ้งไว้ในแบบประมาณ 30 นาที ชิ้นงานจะหดตัวแยกออกจากผนัง ทำให้แกะออกจากแบบได้ หลังจากนั้นนำมาตกแต่งตะเข็บและรายละเอียดต่าง ๆ ด้วยมีดเล็กและพู่กันหรือฟองน้ำต่อไป

2.3.9 <u>การทำให้แห้ง</u>

นำผลิตภัณฑ์หรือชิ้นทดสอบวางผึ่งที่อุณหภูมิห้องให้แห้งประมาณ 2 วัน ก่อนนำไปเผา

2.3.10 <u>การเผาผนึก</u>

นำชิ้นงานที่แห้งดีแล้วมาเผาในเตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิ 1600°-1650°ซ. ยืนไฟ 1 ชั่วโมง อัตราเผา 200°ซ./ชั่วโมง โดยวางชิ้นงานบนแผ่นรองเผาที่ทำขึ้นเองจากผงอะลูมินาชนิดหยาบ

2.3.11 <u>การขัดแต่งผิว</u>

นำชิ้นงานที่จะศึกษาผลการขัดแต่งผิวมาขัดแต่งผิวโดยกลิ้งพร้อมกับผงอะลูมินาชนิดหยาบและลูกบดในหม้อบด 10 และ 60 ชั่วโมงตามลำดับ

2.3.12 การวิเคราะห์ทดสอบ

ได้วิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล และศึกษาลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทดลองทำขึ้น โดยใช้วิธีการและเทคนิคปฏิบัติสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิก (ASTM E 384-89, 1990; Fulrath and Pask, 1976; Jones and Berard, 1972; Kingery et al., 1975; Loehman, 1993; Reed, 1989) และ/หรือตามที่เครื่องมือระบุ ดังนี้

1) การหดตัวหลังเผา ใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวตอนขึ้นรูปกับความยาวหลังเผา แล้วคำนวณเป็นร้อยละ สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ

2) ความหนาแน่นรวมและการดูดซึมน้ำ ใช้วิธี Archimedes' Immersion Technique สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ

3) ความแข็ง ใช้เครื่อง Microhardness Tester รุ่น HMV-2000 ของบริษัท Shimadzu หัวกดแบบวิกเกอร์ส (Vickers) ในการทดสอบใช้น้ำหนักกด 200 กรัม ระยะเวลาสัมผัสชิ้นงาน 20 วินาที สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ

4) ความแข็งแรง วัดค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) โดยเครื่อง Shimadzu Autograph รุ่น AGS-500D ของบริษัท Shimadzu สูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ

5) ลักษณะผิว ใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น S2500 ของบริษัท Hitachi ศึกษาสภาพผิวของชิ้นงานก่อนและหลังการขัดผิว 10 และ 60 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1,000-3,000 เท่า

6) ความหยาบผิว ใช้เครื่อง Handysurf รุ่น E-30A ของบริษัท Tokyo Seimitsu โดยใช้หัวเข็มเพชรลากไปบนผิวของชิ้นงานยาว 1.3 มิลลิเมตร เพื่อดูความหยาบของผิว (roughness) ก่อนและหลังการขัด 10 และ 60 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพด้วยตัวแปรมาตรฐานของ International Standard Organization (ISO) ดังต่อไปนี้

ความหยาบผิวโดยเฉลี่ย (Ra)	วัดค่าเป็นไมโครเมตร
ความสูงที่สูงที่สุดของผิว (Rt)	วัดค่าเป็นไมโครเมตร
ความสูงที่สูงที่สุดโดยเฉลี่ย (Rtm)	วัดค่าเป็นไมโครเมตร
ความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm)	วัดค่าเป็นไมโครเมตร
จำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนดไว้ (Pc)	วัดค่าเป็นไมโครเมตร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณและความหมายของตัวแปรแสดงในภาคผนวก จ

7) โครงสร้างจุลภาค ใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น S2500 ของบริษัท Hitachi โดยนำชิ้นงานมาหล่อในเรซิน แล้วขัดผิวให้เรียบและขึ้นเงา จากนั้นนำไปกัดส่วนที่เป็นแก้วออกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ความเข้มข้นร้อยละ 1 นานประมาณ 1 นาที การศึกษาโครงสร้างจุลภาคกระทำที่กำลังขยาย 350-2,000 เท่า

2.3.13 การเปรียบเทียบผลกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ

นำค่าและผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ในข้อ 2.3.12 ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความแข็ง ลักษณะผิว ความหยาบผิว โครงสร้างจุลภาค ไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ ในตารางที่ 1

2.4 ผลการวิจัยและพัฒนา

2.4.1 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูป

ส่วนผสมที่ทำจากวัตถุดิบอะลูมินาชนิดละเอียด AM21 ซึ่งขนาดอนุภาคเฉลี่ยตั้งต้นของอะลูมินา 3.82 ไมโครเมตร และอนุภาคขนาด <10 ไมโครเมตร ร้อยละ 87.2 เมื่อผสมกับดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ หินปูน และโครมิกออกไซด์ ใช้เวลาบดไม่นาน เพียง 12 ชั่วโมง ก็ได้ส่วนผสมที่ละเอียด โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.91 ไมโครเมตร และอนุภาคขนาด <10 ไมโครเมตร ร้อยละ 97.8 ขณะที่ส่วนผสมที่ทำจากวัตถุดิบอะลูมินาชนิดหยาบ A12 ซึ่งขนาดอนุภาคเฉลี่ยตั้งต้นของอะลูมินา 28.48 ไมโครเมตร และอนุภาคขนาด <10 ไมโครเมตร ร้อยละ 10.1 ต้องใช้เวลาบดนานถึง 36 ชั่วโมง จึงจะได้ส่วนผสมที่ละเอียดดี โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.75 ไมโครเมตรและอนุภาค <10 ไมโครเมตร ร้อยละ 95.3 เมื่อนำส่วนผสมทั้งสองมาเตรียมเป็นสลิปสำหรับเทแบบ โดยใช้สารแอมโมเนียม-โพลิอะคริเลตช่วยกระจายตัว ปรากฏว่าอนุภาคมีการกระจายตัวดีได้น้ำสลิปเหนียวข้น ไหลเป็นสาย ฉีดเข้าแม่แบบเพื่อขึ้นรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยง่าย และเมื่อทิ้งไว้สักครู่ก็หดตัวล่อนหลุดจากแบบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเขียวอ่อน มีลักษณะทั่วไปและความแกร่งดิบ (green strength) ดี จับต้องได้โดยไม่หัก

2.4.2 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

2.4.2.1 ผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียด

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเทแบบซึ่งมีสีเขียวอ่อนมาเผาที่อุณหภูมิ 1600-1650°ซ. จะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีแดงม่วง ผลิตภัณฑ์มีลักษณะทั่วไปดี ไม่มีรอยร้าว ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ลักษณะผิว ความหยาบผิว และโครงสร้างจุลภาค แสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 3-8 ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1) มีการหดตัวหลังเผาประมาณร้อยละ 12-13

2) ความหนาแน่นรวมที่อุณหภูมิ 1600°ซ. มีค่าเท่ากับ 3.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 1650°ซ. มีค่าเท่ากับ 3.27 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากความหนาแน่นรวมที่อุณหภูมิ 1650°ซ. มีค่าต่ำกว่าที่ 1600°ซ. แสดงว่าระดับอุณหภูมิเผา 1650°ซ. น่าจะทำให้ชิ้นงานสุกตัวเกินไปแล้ว (overvitrified)

3) การดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงศูนย์

4) ความแข็งและความเข็งแรงของเนื้อที่เผาอุณหภูมิ 1600°ซ. มีค่า 1178 HVและ 287 เมกะพาสคัล ตามลำดับ

5) ลักษณะผิวที่ไม่ได้ขัดแต่งไม่ดี มีร่องเกรนทั่วไป และมีการโตของเกรนมากทำให้ผิวขรุขระ หลังการขัดแต่งโดยกลิ้งในหม้อบด 10 และ 60 ชั่วโมง ผิวจะดีขึ้นมาก กล่าวคือ ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ร่องเกรนหายไป ภาพที่ 3 เป็นภาพเปรียบเทียบให้เห็นลักษณะผิวที่แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการขัดแต่ง ตัวอย่างในภาพที่ 3 นี้เป็นตัวอย่างที่เผา 1600°ซ. ส่วนตัวอย่างในภาพที่ 4 เป็นผิวของตัวอย่างที่ทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1650°ซ. เพื่อดูผลต่อความเรียบเนียนของผิว ผลปรากฏว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นไม่ได้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีผิวเรียบเนียนขึ้นโดยไม่ขัดแต่ง และในตัวอย่างนี้กลับมีผลทำให้เนื้อถูกเผาแก่ไฟเกินไป เพราะพบว่ามีรูเกิดขึ้นทั่วไปบนผิว ดังแสดงในภาพที่ 5

6) ความหยาบของผิวที่ยังไม่ได้ขัดแต่ง จะมีค่าความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) และจำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนดไว้ (Pc) สูงมาก ซึ่งเห็นได้ชัดในภาพที่ 6 หลังการขัดแต่งผิวละเอียดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 7 พร้อมกับค่าความหยาบผิวต่ำลง

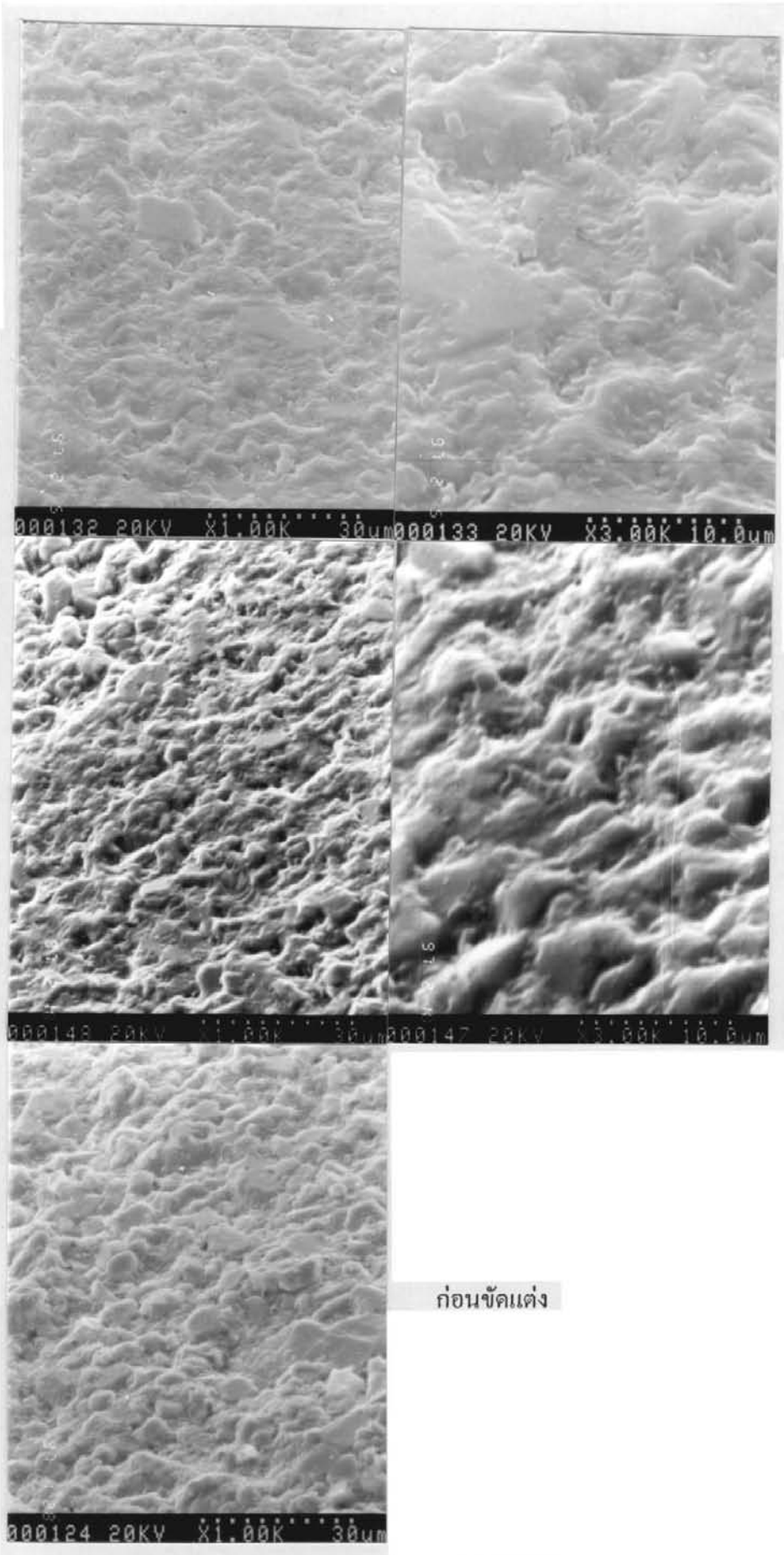
7) โครงสร้างจุลภาคของเนื้อซึ่งศึกษาเฉพาะตัวอย่างที่ยังไม่ถูกเผาแก่ไฟเกินไป ประกอบด้วยผลึกอะลูมินาในเนื้อพื้นแก้ว (glassy matrix) และมีรูพรุนอยู่ทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 8

ตารางที่ 7 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด

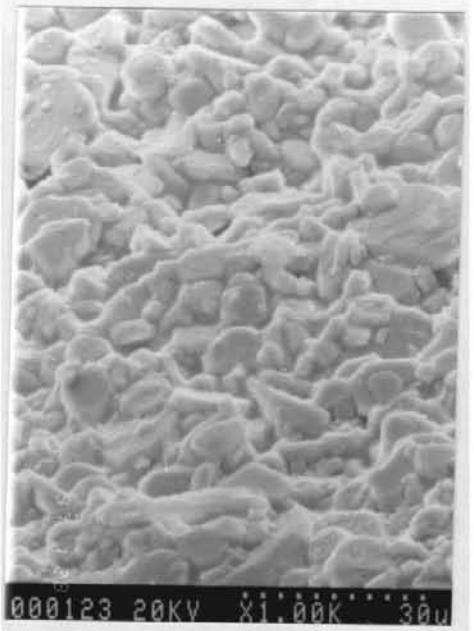
สมบัติและลักษณะเฉพาะ	อุณหภูมิเผา	
	1600°ซ.	1650°ซ.
สมบัติทางกายภาพและเชิงกล		
การหดตัว, ร้อยละ	12.19	12.91
ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.	3.32	3.27
การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.10	0.03
ความแข็ง, วิกเกอร์ส (HV)	1178±113	-
ความแข็งแรง, เมกะพาสคัล	287±25	-
ลักษณะผิว, ไม่ขัดแต่ง	-ผิวมีร่องเกรน มีการโตของเกรนมาก ทำให้ผิวขรุขระ ไม่เป็นคลื่นป้าน	-ผิวไม่ได้เยิ้มเนียนขึ้น ยังคงมีร่องเกรน และมีการโตของเกรนมาก ทำให้ผิวไม่เป็นคลื่นป้าน -มีรูพรุนใหญ่ที่น่าจะเกิดจากการเผาแก่ไฟอยู่ทั่วไป
ขัดแต่ง 10 ชั่วโมง	-ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ไม่มีร่องเกรน ไม่มีรูพรุนเล็ก ๆ บนผิว	-
ขัดแต่ง 60 ชั่วโมง	-ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ไม่มีร่องเกรน ไม่มีรูพรุนเล็ก ๆ บนผิว	-
ความหยาบผิว, ไม่ขัดแต่ง		
Ra, ไมโครเมตร	1.02±0.04	1.08±0.03
Rt, ไมโครเมตร	7.26±0.65	8.73±1.22
Rtm, ไมโครเมตร	5.98±0.31	6.43±0.44
Rpm, ไมโครเมตร	2.99±0.24	3.23±0.25
Pc, จำนวนยอด	24±2	23±3

ตารางที่ 7 (ต่อ) สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด

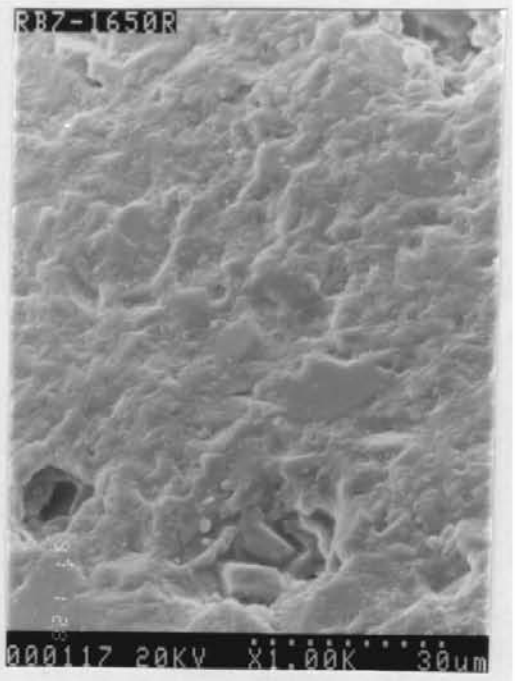
สมบัติและลักษณะเฉพาะ	อุณหภูมิเผา	
	1600°ซ.	1650°ซ.
ขัดแต่ง 10 ชั่วโมง		
Ra, ไมโครเมตร	0.48±0.03	-
Rt, ไมโครเมตร	3.54±0.48	-
Rtm, ไมโครเมตร	2.86±0.23	-
Rpm, ไมโครเมตร	1.23±0.12	-
Pc, จำนวนยอด	16±3	-
ขัดแต่ง 60 ชั่วโมง		
Ra, ไมโครเมตร	0.46±0.04	-
Rt, ไมโครเมตร	3.65±0.79	-
Rtm, ไมโครเมตร	2.78±0.27	-
Rpm, ไมโครเมตร	1.17±0.08	-
Pc, จำนวนยอด	18±2	-
<u>โครงสร้างจุลภาค</u>	ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งคล้ายปริซึม มีหลายขนาดผสมกัน ขนาดใหญ่สุดยาวประมาณ 22 ไมโครเมตร มีเนื้อแก้วค่อนข้างมากอยู่ทั่วไป รูใหญ่สุดประมาณ 35 ไมโครเมตร	-



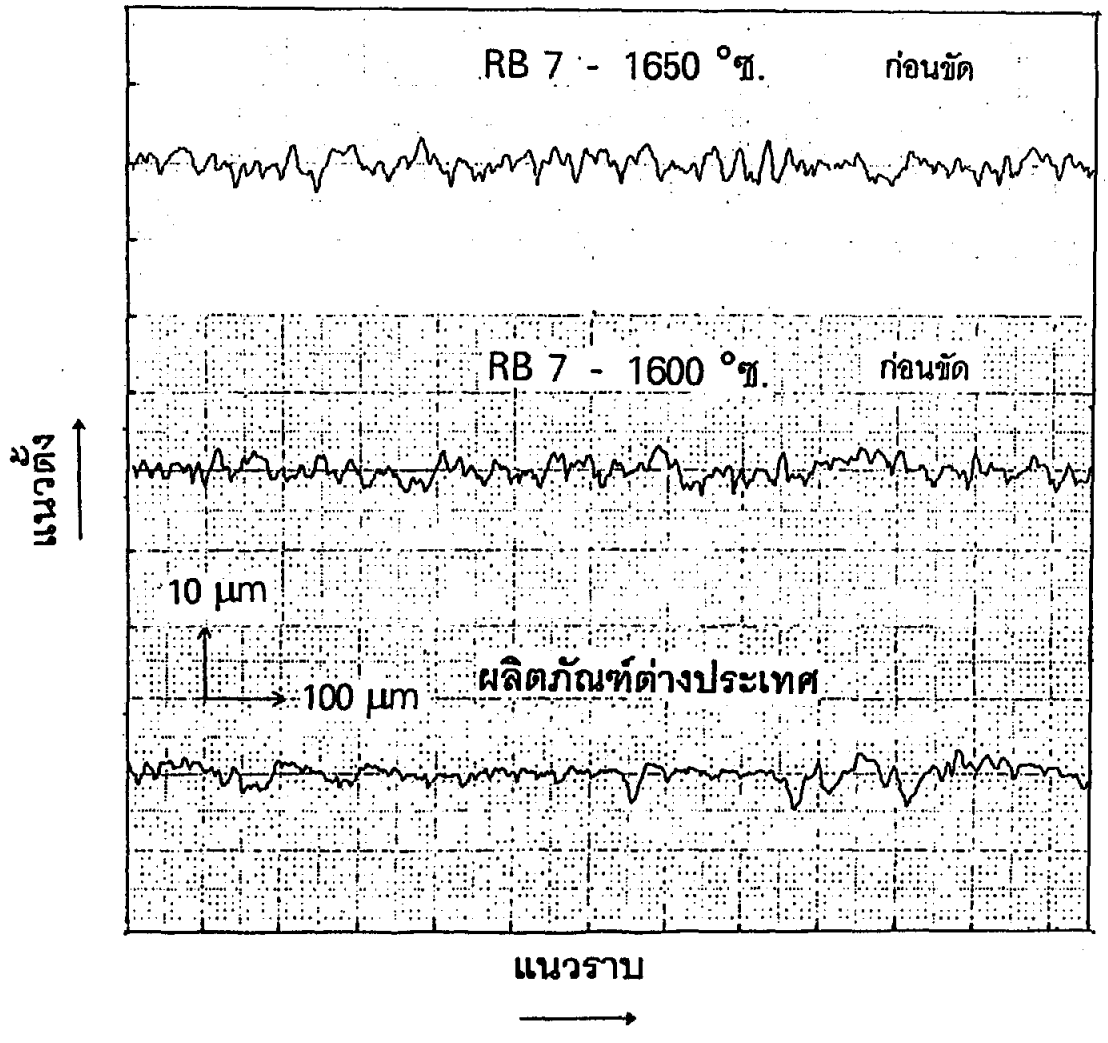
ภาพที่ 3 ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดเผา 1600 °ซ. ก่อนและหลังขัดแต่ง 10 ชั่วโมงและ 60 ชั่วโมง



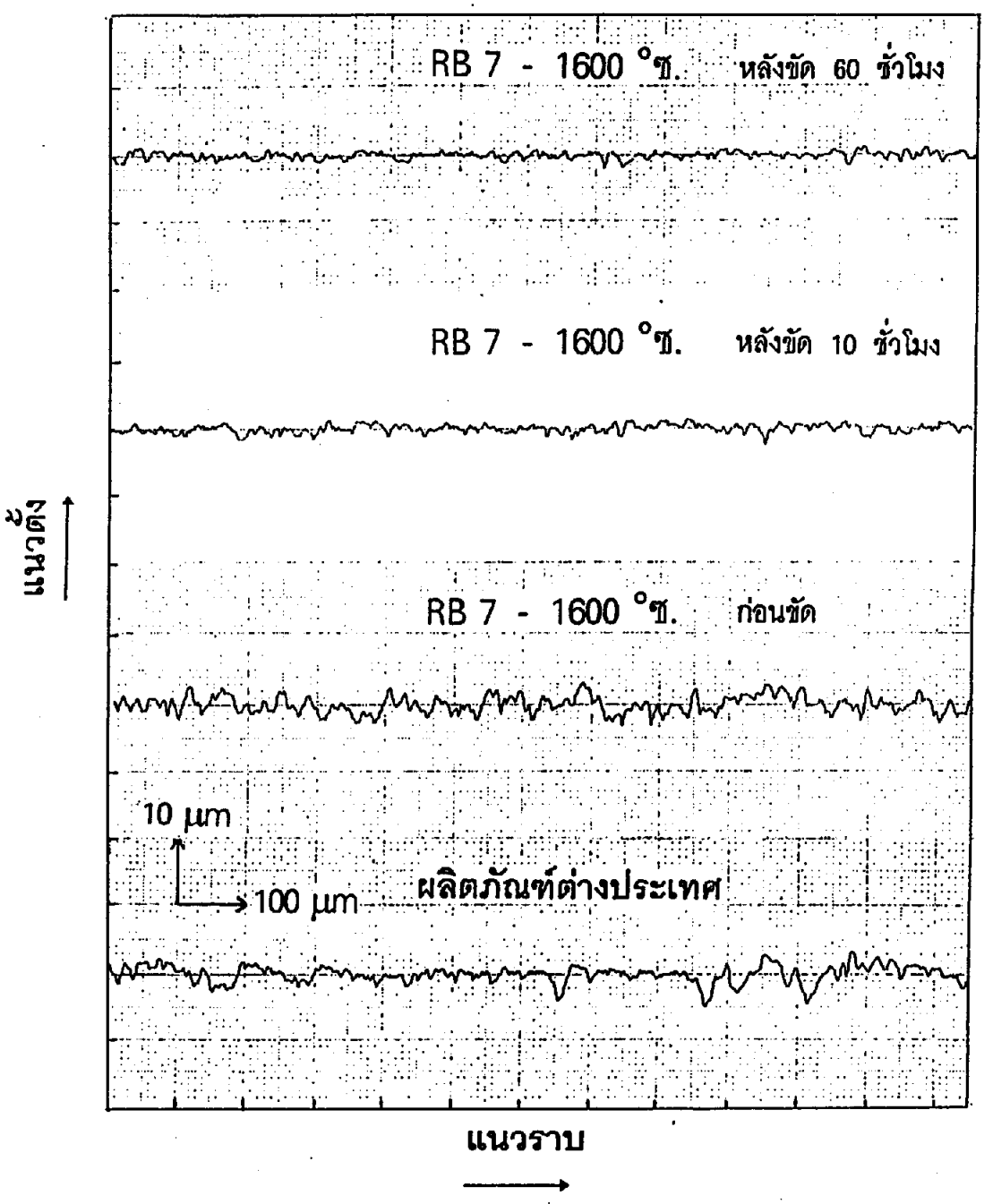
ภาพที่ 4 ลักษณะผิวที่ไม่ได้ขัดแต่งของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดเผา 1650°ซ.



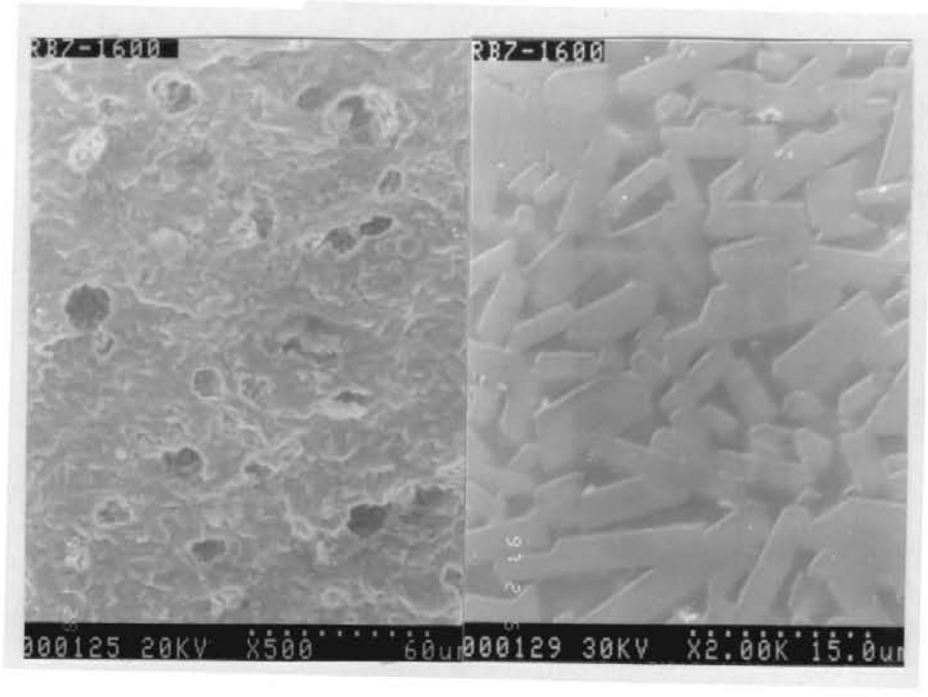
ภาพที่ 5 รูพรุนบนผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดเผา 1650°ซ. (ขัดแต่งผิว)



ภาพที่ 6 Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดก่อนขัดแต่งกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ



ภาพที่ 7 Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียดเผา 1600°ซ. ก่อนและหลังขัดแต่งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ



ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดละเอียด เผา 1600°ซ. (ซ้าย) มีรูพรุนปิดภายใน (ขวา) ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว

2.4.2.2 ผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดหยาบ

เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1600°-1650°ซ. ผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีแดงม่วง มีลักษณะทั่วไปดี ไม่มีรอยร้าว ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ลักษณะผิว ความหยาบผิว และโครงสร้างจุลภาค แสดงในตารางที่ 8 และ ภาพที่ 9-13 ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1) มีการหดตัวหลังการเผาประมาณร้อยละ 14

2) ความหนาแน่นรวมที่อุณหภูมิ 1600°ซ. มีค่าเท่ากับ 3.41 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 1650°ซ. มีค่าเท่ากับ 3.37 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผลความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 1650°ซ. มีค่าต่ำกว่าที่ 1600°ซ. เล็กน้อย เช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเผาที่ระดับอุณหภูมิ 1650°ซ. น่าจะทำให้ชิ้นงานสุกตัวเกินไปแล้ว

3) การดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงศูนย์

4) ความแข็งและความแข็งแรงของเนื้อที่ยังไม่ถูกเผาให้แก่ไฟเกินไฟ มีค่า 1207 HV และ 300 เมกะพาสคัล ตามลำดับ

5) ลักษณะผิวที่ไม่ได้ขัดแต่งไม่ดี มีร่องเกรนทั่วไป และมีการโตของเกรนมากทำให้ผิวขรุขระเช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียด หลังการขัดแต่งโดยกลิ้งในหม้อบด 10 และ 60 ชั่วโมง ผิวจะดีขึ้นมาก กล่าวคือผิวเป็นคลื่นป้าน ไม่มีขอบคม ไม่มีร่องเกรน ภาพที่ 9 เป็นภาพเปรียบเทียบลักษณะผิวที่แตกต่างกันระหว่างก่อนขัดและหลังขัดของผลิตภัณฑ์ที่เผา 1600°ซ. ส่วนภาพที่ 10 เป็นผิวของผลิตภัณฑ์ที่เผา 1650°ซ. โดยไม่ได้ขัดแต่ง ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นเพียงอย่างเดียวไม่ได้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีผิวเรียบเนียนขึ้นโดยไม่ขัดแต่ง

6) ความหยาบของผิวที่ยังไม่ได้ขัดแต่ง จะมีค่าความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) และจำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนดไว้ (Pc) สูงมาก เห็นได้ชัดในภาพที่ 11 หลังการขัดแต่ง ผิวจะเรียบขึ้นดังภาพที่ 12 พร้อมกับความหยาบผิวจะต่ำลง เช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียด

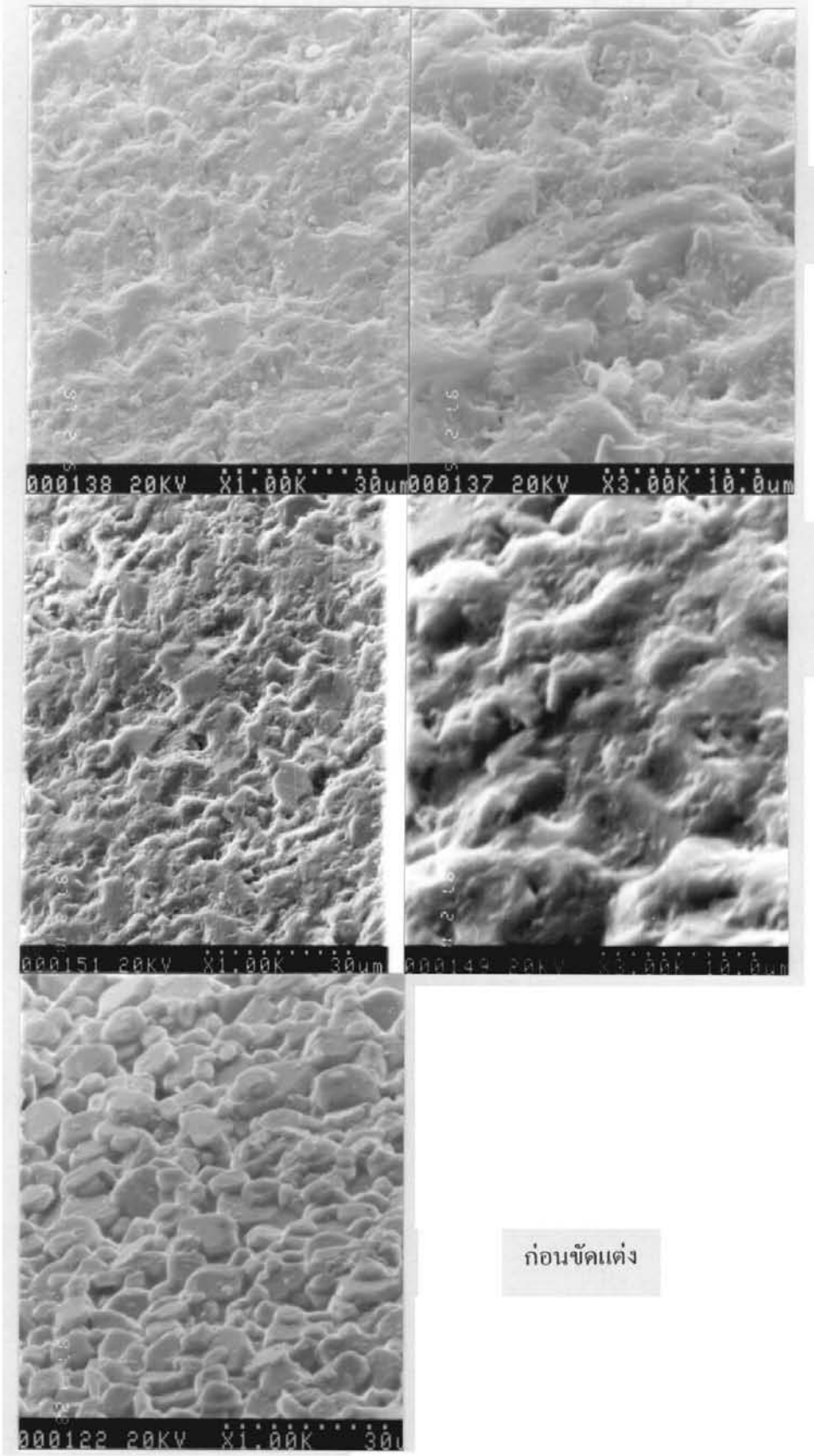
7) โครงสร้างจุลภาคของเนื้อที่ยังไม่ถูกเผาแก่ไฟเกินไฟ ประกอบด้วยผลึกอะลูมินาในพื้นแก้วและมีรูพรุนอยู่ทั่วไป เช่นเดียวกันกับผลิตภัณฑ์จากอะลูมินาชนิดละเอียดแต่มีขนาดเกรนใหญ่กว่าเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 13

ตารางที่ 8 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ

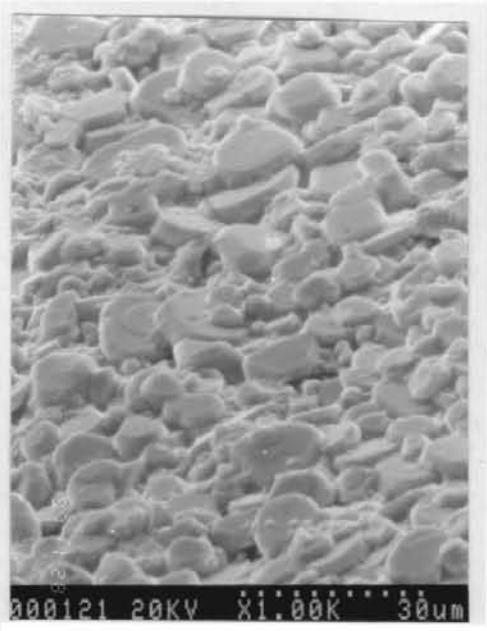
สมบัติและลักษณะเฉพาะ	อุณหภูมิเผา	
	1600°ซ.	1650°ซ.
<u>สมบัติทางกายภาพและเชิงกล</u>		
การหดตัว, ร้อยละ	13.93	14.26
ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.	3.41	3.37
การดูดซึมน้ำ,ร้อยละ	0.03	0.09
ความแข็ง. วิกเกอร์ส (HV)	1207±108	-
ความแข็งแรง. เมกะพาสคัล	300±11	-
<u>ลักษณะผิว</u>, ไม่ขัดแต่ง	ผิวมีร่องเกรน มีการโตของเกรนมากทำให้ผิวขรุขระ ไม่เป็นคลื่น	ผิวไม่เยิ้มเนียนขึ้นยังคงมีร่องเกรนมาก ทำให้ผิวขรุขระ ไม่เป็นคลื่นป้าน
ขัดแต่ง 10 ชั่วโมง	ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ไม่มีร่องเกรน ไม่มีรูพรุนเล็ก ๆ บนผิว	-
ขัดแต่ง 60 ชั่วโมง	ผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคม ไม่มีร่องเกรน ไม่มีรูพรุนเล็ก ๆ บนผิว	-
ความหยาบผิว, ไม่ขัดแต่ง		
Ra, ไมโครเมตร	0.99±0.04	
Rt, ไมโครเมตร	7.37±0.55	
Rtm, ไมโครเมตร	5.72±0.31	
Rpm, ไมโครเมตร	2.81±0.28	
Pc, จำนวนยอด	22±2	

ตารางที่ 8 (ต่อ) สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ

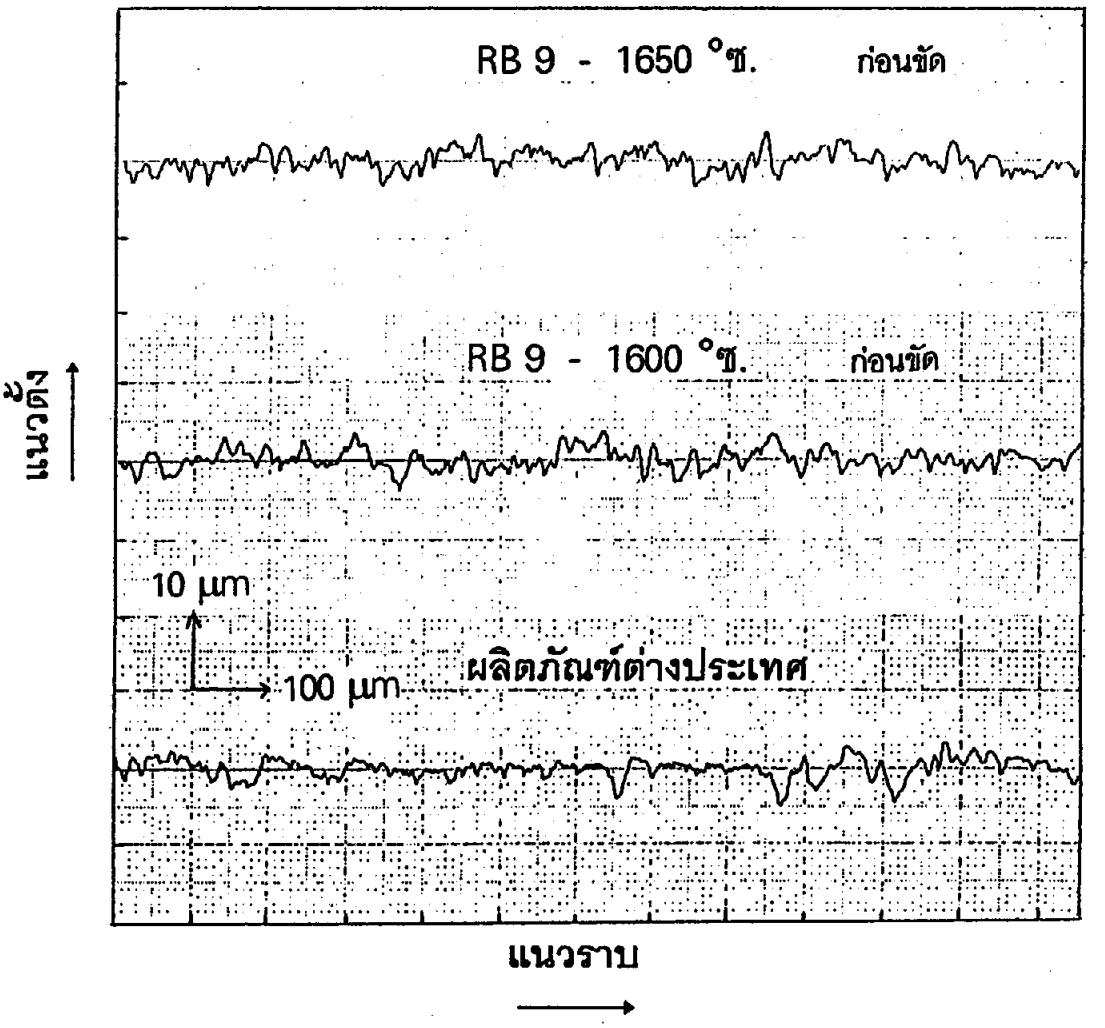
สมบัติและลักษณะเฉพาะ	อุณหภูมิเผา	
	1600°ซ.	1650°ซ.
ขัดแต่ง 10 ชั่วโมง		
Ra, ไมโครเมตร	0.50±0.03	-
Rt, ไมโครเมตร	4.12±0.52	-
Rtm, ไมโครเมตร	3.09±0.29	-
Rpm, ไมโครเมตร	1.28±0.10	-
Pc, จำนวนยอด	17±3	-
ขัดแต่ง 60 ชั่วโมง		
Ra, ไมโครเมตร	0.50±0.02	-
Rt, ไมโครเมตร	3.92±0.49	-
Rtm, ไมโครเมตร	2.98±0.19	-
Rpm, ไมโครเมตร	1.29±0.13	-
Pc, จำนวนยอด	18±2	-
<u>โครงสร้างจุลภาค</u>	ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งคล้ายปริซึม มีหลายขนาดผสมกัน ขนาดใหญ่สุดยาวประมาณ 25 ไมโครเมตร มีเนื้อแก้วค่อนข้างมาก มีรูพรุนหลายขนาดอยู่ทั่วไป รูใหญ่สุดประมาณ 30 ไมโครเมตร	-



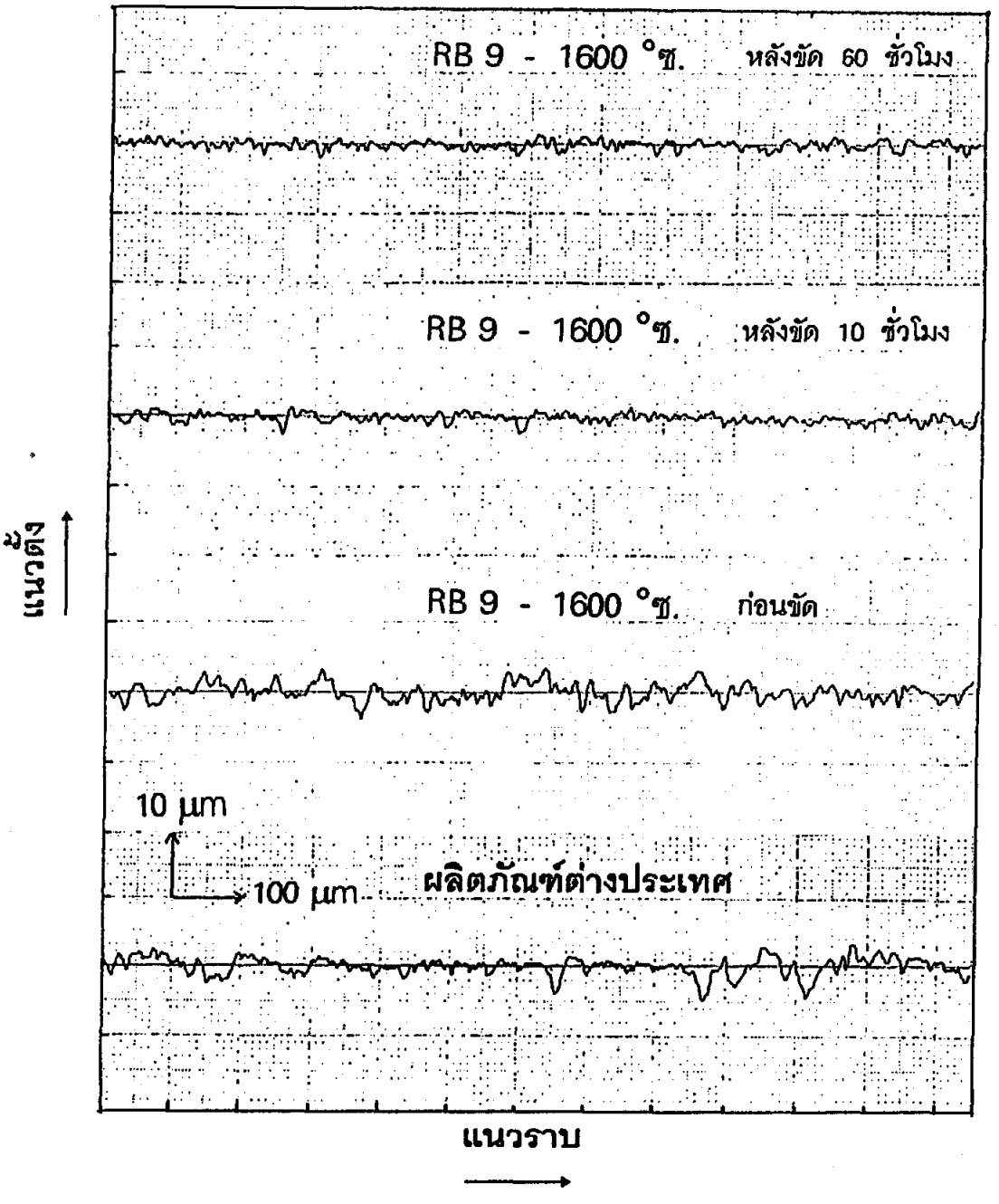
ภาพที่ 9 ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ เผา 1600°ซ. ก่อนและหลังขัดแต่ง 10 ชั่วโมงและ 60 ชั่วโมง



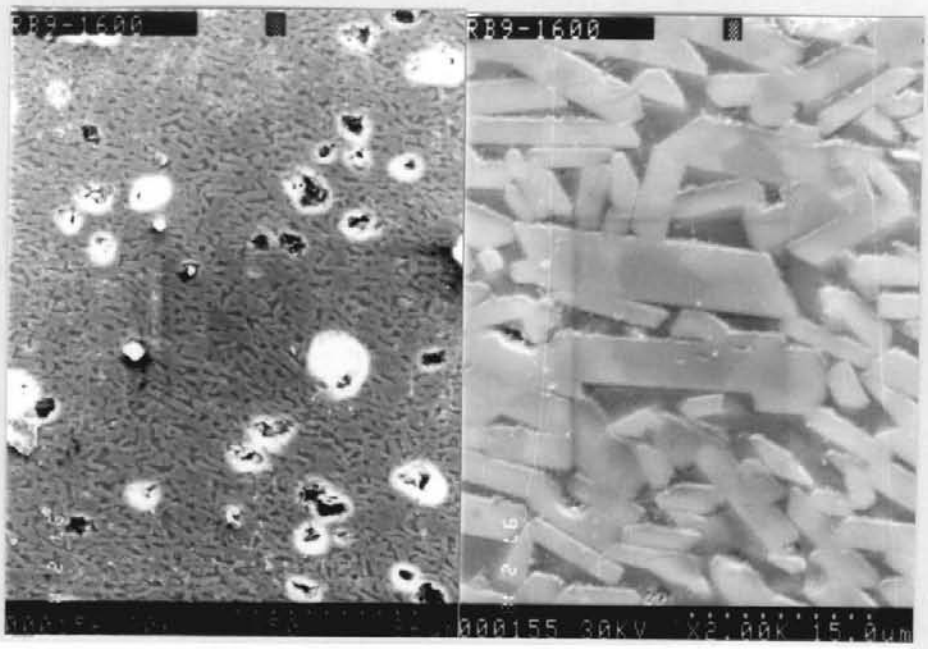
ภาพที่ 10 ลักษณะผิวที่ไม่ได้ขัดแต่งของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบเผา 1650°ซ.



ภาพที่ 11 Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบก่อนขัดแต่งกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ



ภาพที่ 12 Roughness curve ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบเผา 1600°ซ. ก่อนและหลังขัดแต่งเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ



ภาพที่ 13 โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมินาชนิดหยาบ เผา 1600°ซ. (ซ้าย) มีรูพรุนปิดภายใน (ขวา) ผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมอยู่ในเนื้อแก้ว

2.5 วิจารณ์ผลการวิจัยและพัฒนา

2.5.1 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูป

จากการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงจากอะลูมินาชนิดละเอียด AM21 และชนิดหยาบ A12 โดยใช้วัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ หินปูน เป็นสารช่วยเผาผนึกและโครมิกออกไซด์เป็นสารให้สี จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบอะลูมินาทั้ง 2 ชนิด คือ AM21 และ A12 สามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยชนิดหยาบต้องบดนานขึ้นจาก 12 ชั่วโมง เป็น 36 ชั่วโมงหรืออีกประมาณ 3 เท่าตัว จึงจะได้ความละเอียดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ส่วนผสมจากอะลูมินาชนิดหยาบจะหยาบกว่าเล็กน้อย การเตรียมส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปโดยวิธีเทแบบนั้นจำเป็นต้องบดวัตถุดิบให้ละเอียดเพราะถ้าวัตถุดิบมีอนุภาคหยาบเกินไปจะแยกตัวนอนก้นอย่างเร็ว ทำให้เนื้อไม่สม่ำเสมอ โดยทั่วไปแล้วการขึ้นรูปส่วนผสมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว เช่น อะลูมินา โดยวิธีเทแบบจะมีความยุ่งยากมากกว่าการขึ้นรูปวัตถุดิบที่มีความเหนียว เพราะวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวจะมีความแกร่งดิบหรือความแกร่งก่อนเผาไม่ดี เปราะและแตกหักง่าย จำเป็นจะต้องเติมสารช่วยยึดติดชนิดต่าง ๆ (binders) เข้าไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแกร่งดิบดีขึ้นแต่ในส่วนผสมนี้ไม่จำเป็นต้องเติมสารชนิดใดเข้าไปอีก เพราะมีดินบอลล์เคลย์ซึ่งเป็นดินเหนียวดำที่มีอนุภาคละเอียด มีความเหนียวสูงผสมอยู่ถึงร้อยละ 16 อยู่แล้ว ความเหนียวของดินบอลล์เคลย์ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแกร่งดิบดี สามารถจับต้องก่อนเผาได้โดยไม่แตกหัก นอกจากนี้ในการเตรียมสลิปสำหรับเทแบบจะต้องเติมสารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสมเข้าไปด้วยเล็กน้อยเพื่อไม่ให้วัตถุดิบจับกลุ่มนอนก้น ในการทดลองนี้ใช้สารแอมโมเนียมโพลิอะคริเลตซึ่งเป็นสารพวกไอโอนิกโพลิเมอร์ (ionic polymer) ที่หมู่ข้าง (side group) สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ในน้ำ สารช่วยกระจายตัวโพลิอิเล็กโทรไลต์ "แอมโมเนียมโพลิอะคริเลต" ที่เติมเข้าไปในน้ำสลิปจะถูกดูดแนบบนอนุภาคของวัตถุดิบและช่วยให้แต่ละอนุภาคมีการผลักดันทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้สลิปกระจายตัวและไหลดี แต่อย่างไรก็ตามการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีเทแบบและใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นแม่แบบมีข้อไม่ดีอยู่หลายประการเช่นกัน ได้แก่ ทำได้ช้า ต้องเสียเวลาในการรอแกะตัวหล่อออกจากแบบ แบบปูนปลาสเตอร์มีอายุการใช้งานสั้น และถ้าแบบไม่ดีมีผิวขรุขระมากหรือประกบกันไม่สนิทก็จะทำให้ผิวผลิตภัณฑ์ไม่ดี ต้องแต่งตะเข็บรวมทั้งรายละเอียดต่าง ๆ มากกว่าจะได้รูปทรงอย่างที่ต้องการ

2.5.2 สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

ในการทดลองทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินา ได้นำผลิตภัณฑ์มาเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1600°-1650°ซ. ในเตาเผาไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดสีเป็นสีแดงม่วงเนื่องจากมี Cr(+3) เข้าไปอยู่ในโครงสร้างคอรันดัม และจากการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบอะลูมินาทั้ง 2 ชนิด มีสมบัติและลักษณะเฉพาะใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิเผาผนึกที่เหมาะสมไม่ควรเกินกว่า 1600°ซ. เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่านี้มีแนวโน้มว่าปริมาตรรูพรุนจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการขยายตัวของแก๊สที่ถูกกักปิดอยู่ในรูพรุนขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการที่ในวัตถุดิบธรรมชาติที่นำมาใช้มีมลทินเหล็กปนอยู่ด้วย ดังนั้นการขยายตัวของแก๊ส O_2 ที่เกิดจาก

ปฏิกิริยา Fe_2O_3 เป็น Fe_3O_4 ที่อุณหภูมิสูง (Norris et al., 1979) ทำให้ปริมาตรรูพรุนในเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย การเพิ่มของปริมาตรรูพรุนทำให้ความหนาแน่นรวมต่ำลง และจะทำให้สมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เสียไปด้วยจึงไม่ควรเผาสูงเกินกว่า 1600°ซ. หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1600°ซ. ผลิตภัณฑ์มีการหดตัวประมาณร้อยละ 12-14 เนื่องจากการหลอมตัวกลายเป็นแก้วของสารช่วยเผาผนึกที่อุณหภูมิสูง จะดึงเอาเกรนของอะลูมินาเข้ามาอยู่ใกล้กันยิ่งขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการหดตัว สมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทดลองทำขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศเป็นดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพและเชิงกล

ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นมีค่า 3.32-3.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 83.31-85.57 ของค่าความหนาแน่นเชิงทฤษฎี เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ต่างประเทศจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย แสดงว่าวัตถุดิบ ส่วนผสมและวิธีการที่ใช้ในการทดลองนี้ให้เนื้อที่มีความแน่นดีและมีรูพรุนน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ การมีรูพรุนน้อยจะช่วยทำให้สมบัติทางกลดีขึ้น

การดูดซึมน้ำ การดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ทดลองทำขึ้นมีค่าใกล้เคียงศูนย์ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ แสดงว่าเนื้อได้รับการเผาจนสุกตัวดีแล้ว

ความแข็ง ความแข็งเป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้าย ถ้าผลิตภัณฑ์มีความแข็งสูงก็จะทนต่อการสึกหรอได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ทดลองทำขึ้นมีค่าความแข็ง 1178-1207 HV ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ และจัดอยู่ในเกณฑ์ความแข็งของสินค้าประเภทอะลูมินาสีแดงม่วงของบริษัท Yuasa Yarn Guide Engineeringประเทศญี่ปุ่น ที่กำหนดไว้ประมาณ 1100 HV (Yuasa Yarn Guide Engineering Co. Ltd., 1987)

ความแข็งแรง ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ทดลองทำขึ้นโดยการวัดมอดุลัสแตกร้าวมีค่า 287-300 เมกะพาสคัล เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศที่นำมาเป็นต้นแบบในการศึกษามีขนาดเล็กและมีจำนวนจำกัดจึงไม่ได้ทำการทดสอบค่าความแข็งแรง แต่อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ทดลองทำขึ้นนี้จัดอยู่ในเกณฑ์ดี เพราะโดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ประเภทอะลูมินาพอร์ซเลน (alumina porcelain) ซึ่งมี Al_2O_3 อยู่สูงกว่าที่ทดลองทำในการทดลองนี้ คือ ชนิดที่มี Al_2O_3 อยู่ร้อยละ 90-95 จะมีค่ามอดุลัสแตกร้าวอยู่ระหว่าง 275-350 เมกะพาสคัล (Richerson, 1992) ผลิตภัณฑ์ที่มี Al_2O_3 ร้อยละ 85 ใกล้เคียงกับการทดลองนี้ มีค่ามอดุลัสแตกร้าวระหว่าง 207-310 เมกะพาสคัล (Aluminum Company of America, 1976) หรือ 210 เมกะพาสคัล (Ueno, 1972) ขณะที่มัลไลต์พอร์ซเลนจะมีค่าเพียงประมาณ 69 เมกะพาสคัลเท่านั้น (Kingery et al., 1975)

2) ลักษณะผิว

ลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้ขัดแต่ง ขรุขระไม่เป็นคลื่นแบบของต่างประเทศต้องขัดแต่งจึงจะได้ผิวเป็นคลื่นป้าน ขอบมน ไม่มีร่องเกรน คล้ายกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการขัดแต่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ประเภทนี้

เพราะช่วยให้ร่องเกรนหายไปและผิวเรียบเนียนขึ้น การขัดแต่งไม่จำเป็นต้องทำนานถึง 60 ชั่วโมง เพียง 10 ชั่วโมงก็ให้ลักษณะทั่วไปของผิวที่คล้ายคลึงกับของต่างประเทศแล้ว นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบลักษณะผิวจะเห็นว่าผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นไม่มีรูพรุนเล็ก ๆ อยู่บนผิว ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะวัตถุดิบอะลูมินาที่นำมาใช้มีคุณภาพและมีความคงตัวดีกว่า

3) ความหยาบผิว

ความหยาบผิวของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้ขัดแต่ง จะมีค่าความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) และจำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนดไว้ (Pc) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศมาก การเผาที่ 1650°ซ. มีการโตของเกรนอะลูมินามากจึงไม่ได้ทำให้ความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง (Rpm) และจำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนดไว้ (Pc) ต่ำลงเท่ากับของต่างประเทศ ต้องทำการขัดแต่งจึงจะได้ค่าต่ำลง อย่างไรก็ตามการขัดแต่ง โดยการกลิ้งในหม้อบด 10 และ 60 ชั่วโมง ที่ใช้ในการทดลองนี้ผิวของผลิตภัณฑ์การถูกขัดออกไปมากเกินกว่าความจำเป็น ทำให้ค่าตัวแปรความหยาบผิวต่ำกว่าค่าของผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ

4) โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกับของต่างประเทศกล่าวคือ ประกอบด้วยผลึกอะลูมินาเป็นแท่งยาวคล้ายปริซึมในเนื้อแก้ว และมีรูพรุนหลายขนาดอยู่ทั่วไป ปริมาณเนื้อแก้วซึ่งเกิดจากการหลอมตัวของวัตถุดิบธรรมชาติในส่วนผสมได้แก่ ดินบอลล์เคลย์ ทัลก์ และหินปูน มีอยู่มากพอสมควร แต่ก็ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ

2.6 สรุปและข้อเสนอแนะ

2.6.1 สรุปผลการวิจัยและพัฒนา

จากการดำเนินการศึกษา ค้นคว้า ทดลอง หาส่วนผสมและวิธีการทำผลิตภัณฑ์เนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงจากวัตถุดิบอะลูมินาชนิดละเอียดและชนิดหยาบโดยวิธีเทแบบ โดยมีวัตถุดิบธรรมชาติเป็นตัวช่วยเผาผนึก โครมิกออกไซด์เป็นสารให้สี และนำเอาดินบอลล์เคลย์ในประเทศมาใช้ประโยชน์ด้วยนั้น สรุปผลการดำเนินการได้ดังต่อไป

1) สามารถทำผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงที่ค่าความแข็งจัดอยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ได้จากส่วนผสมอะลูมินาร้อยละ 74.0 ดินบอลล์เคลย์ร้อยละ 16.0 ทัลก์ร้อยละ 2.5 หินปูนร้อยละ 3.0 และโครมิกออกไซด์ร้อยละ 4.6

2) อะลูมินาทั้งชนิดละเอียดและชนิดหยาบสามารถนำมาใช้งานได้ดี โดยอะลูมินาชนิดหยาบซึ่งราคาไม่แพงจะต้องใช้เวลาบดในขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมนานกว่าชนิดละเอียด

3) ความเหนียวของดินบอลล์เคลย์ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแกร่งดิบดี จับต้องก่อนเผาได้ โดยไม่แตกหัก

4) อุณหภูมิเผาผนึกที่เหมาะสมของส่วนผสมข้างต้นไม่ควรสูงกว่า 1600°ซ. เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่านี้มีแนวโน้มว่าเนื้อจะสุกตัวเกินไป

5) การเพิ่มอุณหภูมิเผาให้สูงขึ้นและยืนไฟนานขึ้น ไม่ได้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะผิวเป็นคลื่น ไม่มีขอบคมดังเช่น ผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ ต้องทำการขัดแต่งจึงจะได้สภาพผิวดังกล่าว

6) การขัดแต่งโดยการกลิ้งในหม้อบด 10 ชั่วโมงให้ผลใกล้เคียงกับ 60 ชั่วโมง

7) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติกับผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองนี้ มีลักษณะผิวเป็นคลื่นไม่มีขอบคม แบบเดียวกัน แต่ความหยาบผิวจะต่ำกว่า ส่วนสมบัติทางกายภาพและเชิงกลมีความใกล้เคียงกัน ภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้จากการทดลองแสดงในภาคผนวก ฉ

2.6.2 <u>ข้อเสนอแนะ</u>

1) ควรทำการศึกษาทดลอง วิธีขึ้นรูปวิธีอื่น ๆ ที่ทำได้เร็วกว่าการเทแบบและเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่รูปทรงเรียบง่าย เช่น การอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก การรีดด้วยเครื่องรีด (extruder) เป็นต้น

2) การขัดแต่งผิวเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมหาวิธีที่ให้ผลดี สะดวก และประหยัดค่าใช้จ่าย

3) สมบัติของผลิตภัณฑ์สามารถปรับปรุงให้ดีกว่านี้ได้อีก โดยการปรับส่วนผสม อาจจะด้วยการลดปริมาณสารช่วยการเผาผนึก หรือเปลี่ยนชนิดวัตถุดิบให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นก็ได้

เอกสารอ้างอิง

สุจินดา โชติพานิช และคณะ. การวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิก ตอนที่ 1 : การศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเซรามิกที่นำเข้าจากต่างประเทศ. **รายงานการวิจัย** กรมวิทยาศาสตร์บริการ 2540.

Aluminum Company of America. Alcoa Chemicals. **Calcined, Reactive Tabular Aluminas and Calcium Aluminate Cement.** Pittsburgh : Aluminum Company of America, 1976 (Alcoa Product Data Chemicals)

American Society for Testing and Materials. Standard test method for microhardness of materials. **ASTM E384-89.** 1990.

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

Fulrath, R.M. and Pask, J.A. **Ceramic Microstructures-Their Analysis, Significance, and Production.** New York. Robert E. Krieger Publishing Co. Inc., reprint 1976.

Jones, J.T. and Berard, M.F. **Ceramic : Industrial Processing and Testing.** Ames : The Iowa State University Press, 1972

Kingery, W.D.; Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. **Introduction to Ceramics** 2 nd ed. New York : John Wiley and Sons, 1975.

Loehman, R.E. **Characterization of Ceramics.** Boston : Butterworth-Heinemann, 1993.

Norris, A.W.; Taylor, D. and Thorpe, I. Range curves : an experimental method for the study of vitreous pottery bodies. **Transactions and Journal of British Ceramic Society,** 1979, vol.78, no.5, p.102-108.

Phelps, G.W. Slip casting. **Ceramic Monographs: A Handbook of Ceramic.** Verlag Schmid Gmb H, Freibrug/ Breisgan, 1982, part 1.4.2

Reed, J.S. **Introduction to the Principles of Ceramic Processing.** Singapore : John wiley and Sons, 1989.

Richerson, D.W. **Modern Ceramic Engineering** 2 nd ed. New York : Marul Dekker, Inc., 1992.

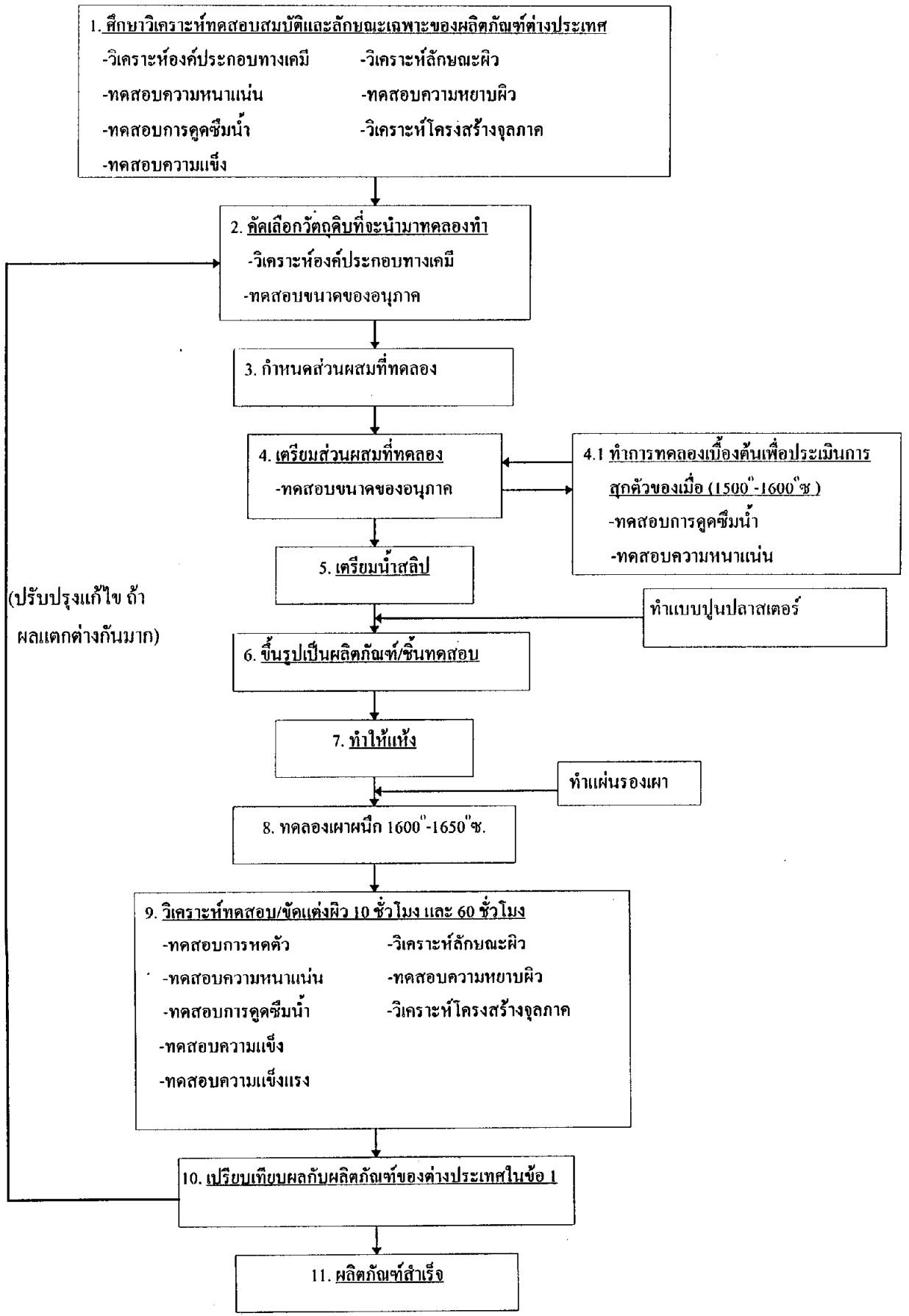
Ueno, S. Chemical porcelain in **Ceramic Engineering.** Nagoya : Nagoya International Training Center, 1972, p.277.

Yuasa Yarn Guide Engineering Co. Ltd., Nagoya, Japan, 1987.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แผนภาพแสดงวิธีการวิจัยและพัฒนา



ภาคผนวก ข

ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงของต่างประเทศ

ภาคผนวก ค

ความละเอียดหยาบของอะลูมินาและของส่วนผสมที่ทดลองจากเครื่อง Sedigraph

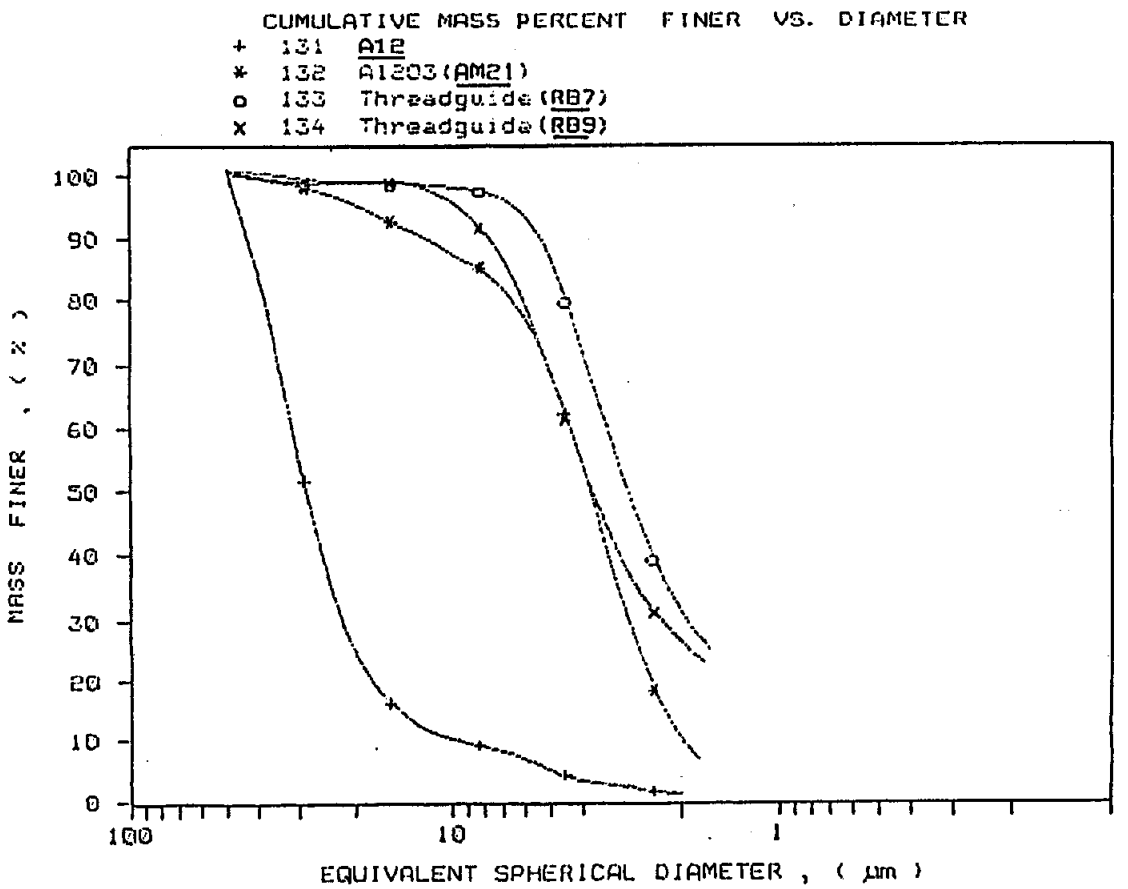
1) ความละเอียดหยาบของอนุภาค

ขนาดอนุภาค, ไมโครเมตร (Diameter, μm)	ปริมาณสะสมที่ละเอียดกว่า, ร้อยละ (Cumulative Mass Finer, %)			
	อะลูมินา AM21	อะลูมินา A12	ส่วนผสม RB7*	ส่วนผสม RB9**
50	100.2	100.0	100.8	100.7
40	99.3	83.4	99.4	100.3
30	98.1	55.1	98.7	99.4
25	97.0	38.6	98.4	98.9
20	95.0	24.2	98.4	98.9
15	92.0	15.4	98.5	98.8
10	87.2	10.1	97.8	95.3
8	84.3	8.7	97.0	90.6
6	76.7	6.8	92.9	78.8
5	68.7	4.9	85.8	68.1
4	53.6	3.3	71.7	53.9
3	31.8	2.4	51.9	38.7
2	10.2	1.4	31.2	26.4

* บด 12 ชั่วโมง

** บด 36 ชั่วโมง

2) กราฟแสดงการกระจายของขนาดอนุภาค



ภาคผนวก ง
แม่แบบปูนปลาสเตอร์สำหรับขึ้นรูป

ภาคผนวก จ

สูตรสำหรับคำนวณและความหมายของตัวแปร

1. **การหดตัวหลังเผา**

$$\text{การหดตัว, ร้อยละ} = \frac{\text{ความยาวตอนขึ้นรูป} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวตอนขึ้นรูป}} \times 100$$

2. **ความหนาแน่นรวม**

$$\text{ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.} = \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{ปริมาณภายนอก}}$$

$$\approx \frac{\text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอิ่มตัว (กรัม)} - \text{น้ำหนักแขวนลอย (กรัม)}}$$

3. **การดูดซึมน้ำ**

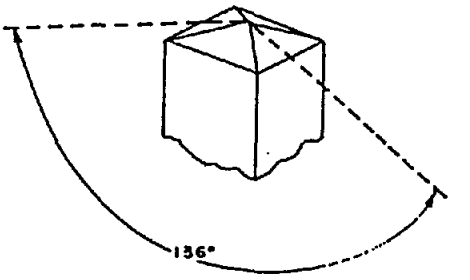
$$\text{การดูดซึมน้ำ, ร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

4. **ความแข็ง**

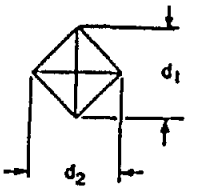
$$\text{ความแข็งวิกเกอร์ส, HV} = \frac{1854.4P}{d^2}$$

P = น้ำหนักกด, กรัม

d = ความยาวเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมของรอยกด, ไมโครเมตร



หัวกดวิกเกอร์ส



รอยกดบนชิ้นงาน

5. ความแข็งแรง

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

W = แรงที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกร้าว, นิวตัน

L = ระยะช่วงระหว่างแท่นรองรับ, มิลลิเมตร

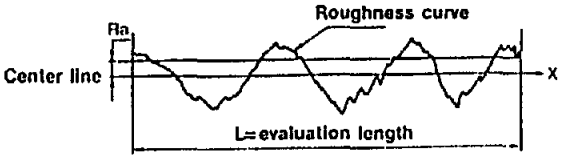
b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร

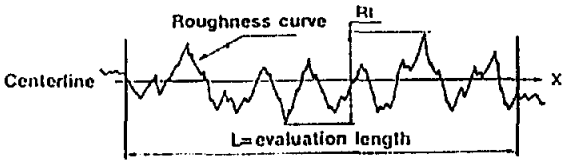
6. ความหยาบผิว

Ra คือ ความหยาบผิวโดยเฉลี่ย วัดค่าเป็นไมโครเมตร (average surface roughness, μm) ค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยเชิงคณิตศาสตร์ของการห่างออกไปของเส้นรอบนอกของผิวจากความสูงเฉลี่ย

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| \, dx$$

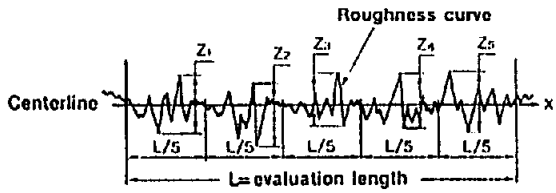


Rt คือ ความสูงที่สูงที่สุด วัดค่าเป็นไมโครเมตร (maximum height, μm) ค่านี้เป็นความแตกต่างของความสูงระหว่างยอดเขา (peak) ที่สูงที่สุด กับร่องหุบ (valley) ที่ลึกที่สุด



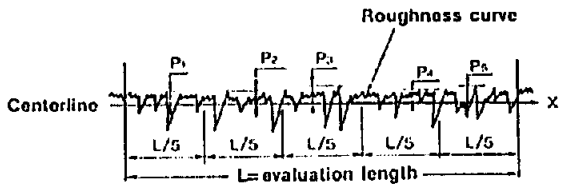
Rtm คือ ความสูงที่สูงสุดโดยเฉลี่ย วัดค่าเป็นไมโครเมตร (average maximum height, μm) เป็นค่าเฉลี่ยของ Rt โดยแบ่งการวัดออกเป็น 5 ส่วน แล้วนำค่าสูงสุดของแต่ละส่วนมาเฉลี่ย

$$Rtm = \frac{1}{5}\left(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5\right)$$

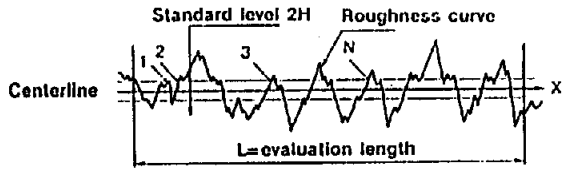


Rpm คือ ความสูงของยอดจากเส้นกึ่งกลาง วัดค่าเป็นไมโครเมตร (height of peak from the centerline, μm) โดยแบ่งการวัดออกเป็น 5 ส่วน แล้วนำค่าสูงสุดของแต่ละส่วนมาเฉลี่ย

$$Rpm = \frac{1}{5}\left(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5\right)$$



Pc คือ จำนวนยอดที่สูงกว่าพิกัดความสูงที่กำหนดไว้ (2 H = 1.27 μ)



ภาคผนวก ฉ

ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนำร่องเส้นด้ายเนื้ออะลูมินาสีแดงม่วงที่ได้จากการทดลอง