



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์

นางจิตราภา จิตชาณวิชัย

พ.ศ. 2551

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คำนำ

รายงานการวิจัยเรื่อง การทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดขยี้วัตถุดิบเซรามิกส์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุทางด้านเซรามิกส์เพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีสมบัติทางกายภาพตามคุณลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดกระบวนการวิจัย ที่ต้องศึกษาวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านเคมี และด้านกายภาพอย่างละเอียด จึงเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ศึกษาทางด้านเซรามิกส์ ในด้านการวิจัยและทดสอบทางเซรามิกส์

จิตรภา จิตชาญวิชัย

(นางจิตรภา จิตชาญวิชัย)

31 กรกฎาคม 2551

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจาก ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ได้รับการอนุเคราะห์สถานที่ทดลองวิจัยจาก สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ และสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แผนกวิชาเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ขอขอบคุณ สามี และเพื่อนร่วมงานที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน ให้ความช่วยเหลือที่ดีมาโดยตลอด และ สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้การสนับสนุนเตาเผาในการเผาชิ้นทดลอง

ความดีทั้งหมดของวิจัยเรื่องนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ อันเป็นที่รักและเคารพสูงสุดของผู้วิจัย

นางจิตราภา จิตชาญวิชัย

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

กรกฎาคม 2551

บทคัดย่อ

การทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์

ผู้วิจัย นางจิตราภา จิตชาณวิชัย
คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สถาบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ปีที่ทำวิจัยสำเร็จ 2550

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ จากอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซilikเกต โดยใช้ทอล์ค แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนต บดผสมและผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นสารช่วยลดอุณหภูมิที่มีปริมาณแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซilikเกต โดยสารช่วยลดอุณหภูมินี้ จะอยู่ในช่วงร้อยละ 2.50 – 50 เพิ่มเติมนิววาระนอง และโซเดียม คาร์บอเนต เมททิล เซลลูโลส เป็นสารช่วยยึดเกาะและช่วยการกระจายลอยตัว โดยบดส่วนผสมในแต่ละอัตราส่วนผสมด้วยหม้อบดความเร็วสูง ขึ้นรูปขึ้น ทดสอบ และผลิตภัณฑ์โดยวิธีการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก นำขึ้นทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมที่สามารถผลิต ผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ได้ดี และมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ อัตราส่วนผสม ที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย เซอร์โคเนียมซilikเกต ร้อยละ 92.50 สารช่วยลดอุณหภูมิ ร้อยละ 7.50 เพิ่มเติมนิววาระนอง ร้อยละ 5 มีความแข็ง 7.5 (ตามมาตรฐานของโมห์) มีค่าการดูดซึมน้ำเป็น 0 มีค่าความหนาแน่น 4.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อนำผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ไป ทดสอบความทนต่อการขัดสี พบว่าผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์สามารถใช้งานได้ดี

ABSTRACT

An Experiment of Zircon Body for Ceramics Materials Grinding

Author Mrs. Jittrapa Jitcharnvichai
Faculty Industrial Technology
Institute Pibulsongkram Rajabhat University
Research Year 2550

The purpose of this research was to develop Zircon Body for ceramics material grinding from zirconium silicate with talc, calcium carbonate and barium carbonate. This mixture was calcined at $1,200^{\circ}\text{C}$ and used as a doping agent to reduce sintering temperature. The amount of the doping agent varied from 2.50 % to 50 % Ranong Kaolin and sodium carboxy methyl cellulose were used as a binder and deflocculant. The mixtures are mixed in high – speed centrifugal mill. They were formed into a piece for testing and a product by a hydraulic presser. Then the piece for testing was burned at $1,600^{\circ}\text{C}$ in oxidation atmosphere.

The results showed the appropriate and standard mixtures that could produce the products for ceramics materials grinding ware zirconium silicate (92.5%) and a doping (7.5%) agent with 5 percent of Ranong Kaolin. These mixture exhibited the hardness of 7.5 water absorption of 0 % and density of 4.23 g/cm^3 . When the product was tested at abrasion rate, it was found that this ceramics materials grinding could work well.

สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	i
กิตติกรรมประกาศ.....	ii
บทคัดย่อภาษาไทย.....	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iv
สารบัญ.....	v
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญภาพ.....	vii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิด ทฤษฎี.....	6
1. การบด และเครื่องมือบดขยี้วัตถุดิบ.....	6
2. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	16
3. กรรมวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์.....	21
4. เตาเผาและบรรยากาศในการเผา.....	21
5. การเผาซินเตอร์ริง.....	23
6. การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ.....	23
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	31
3.2 วัตถุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.3 กลุ่มตัวอย่าง.....	36
3.4 ตัวแปรที่ศึกษา.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 (ต่อ)	
3.5 เกณฑ์มาตรฐานของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์.....	38
3.6 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	39
บทที่ 4 ผลการวิจัย	40
4.1 ขั้นศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ.....	40
4.2 ขั้นกระบวนการผลิต.....	52
4.3 ขั้นทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ.....	53
4.4 ขั้นทดลองใช้ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body.....	55
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.2 อภิปรายผล.....	59
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	61
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิจัย.....	67
ภาคผนวก ข ผลวิเคราะห์วัตถุดิบและชิ้นทดสอบ.....	69
ภาคผนวก ค เครื่องมือ อุปกรณ์ และกระบวนการวิจัย.....	103
ประวัติผู้วิจัย	108

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความหนาแน่นของลูกบดชนิดต่าง ๆ	14
2.2 ค่าความแข็งแรงระบบโมห์สเกล	26
3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย	36
3.2 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างเซอร์โคเนียมซิลิเกต กับสารช่วยลดอุณหภูมิ ของ Zircon Body	37
3.3 แสดงเกณฑ์มาตรฐานของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ และค่าที่ต้องการได้จากการวิจัย	38
3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	39
4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเซอร์โคเนียมซิลิเกต	40
4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของทัลค์	41
4.3 ส่วนประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต	42
4.4 ส่วนประกอบทางเคมีของแบเรียมคาร์บอเนต	42
4.5 ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวระนอง	43
4.6 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของเซอร์โคเนียมซิลิเกต	44
4.7 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของทัลค์	45
4.8 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของแคลเซียมคาร์บอเนต	45
4.9 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของแบเรียมคาร์บอเนต	46
4.10 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของดินขาวระนอง	46
4.11 ความสามารถในการขึ้นรูปขึ้นทดสอบและความทนทานไฟในอุณหภูมิที่กำหนด	52
4.12 สมบัติต่างๆ ของขึ้นทดสอบ	53

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของลูกบดในหม้อบดขนาดเล็กและขนาดใหญ่.....	7
2.2 ลักษณะของเครื่องบดแบบแอททริชัน	8
2.3 ลักษณะของเครื่องบดแบบสั่นสะเทือน.....	9
2.4 ลักษณะของเครื่องบดพลังน้ำ.....	10
2.5 ลักษณะของเครื่องบดความเร็วสูง	11
2.6 ประสิทธิภาพในการบดของเครื่องบดชนิดต่าง ๆ.....	12
2.7 ลูกบดขนาดต่าง ๆ	13
2.8 แสดงการหมุนของหม้อบดแกนนอน	15
3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ	31
3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิต	32
3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ	34
3.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนทดลองใช้ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body	35
3.5 การผสมวัตถุดิบสองชนิดเข้าหากันบนแกนเส้นตรง แสดงอัตราส่วนผสม แต่ละจุดของ Zircon Body.....	36
4.1 โครงสร้างจุลภาคของเซอร์โคเนียมซิริโคน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	47
4.2 โครงสร้างจุลภาคของเซอร์โคเนียมซิริโคน ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	47
4.3 โครงสร้างจุลภาคของทัลค์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	48
4.4 โครงสร้างจุลภาคของทัลค์ ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า	48
4.5 โครงสร้างจุลภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	49
4.6 โครงสร้างจุลภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	49
4.7 โครงสร้างจุลภาคของแบเรียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	50
4.8 โครงสร้างจุลภาคของแบเรียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า	50
4.9 โครงสร้างจุลภาคของดินขาวระนอง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	51
4.10 โครงสร้างจุลภาคของดินขาวระนอง ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า	51
4.11 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ Zircon Body ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	54
4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ Zircon Body ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีศักยภาพและมีความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีของประเทศ การผลิตเซรามิกส์มีขั้นตอนต่าง ๆ มากมายที่ต้องควบคุม ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง เช่น การเลือกสรรวัตถุดิบ การบดย่อย การบดผสมวัตถุดิบ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การเคลือบ การเผา และการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งในขั้นตอนการบดย่อยและบดผสมวัตถุดิบนั้น จัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบที่มีความละเอียดเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ทั้งคุณภาพของวัตถุดิบยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องบดย่อยวัตถุดิบว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วในการบดวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ นั้นจะต้องให้ความสำคัญกับเครื่องบดวัตถุดิบเสมอ เนื้อวัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบก็มีความสำคัญมากเช่นกัน ต้องเลือกใช้เครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งาน ที่สำคัญเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบจะต้องผลิตขึ้นจากวัตถุดิบชนิดเดียวกัน เมื่อเวลาใช้งานจะต้องใช้เครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่มีความแข็งแรงสูงกว่าวัตถุดิบที่จะนำมาบด หากเราใช้เครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่มีความแข็งต่ำกว่าวัตถุดิบที่บด วัตถุดิบที่ได้จะมีสิ่งเจือปนจากการกะเทาะหรือสึกกร่อนของเครื่องมือบดย่อยเข้าไปผสมกับวัตถุดิบได้ ซึ่งจะมีผลทำให้คุณภาพของวัตถุดิบนั้น ๆ เปลี่ยนไป ดังนั้นเครื่องมือสำหรับบดย่อยขนาดของวัตถุดิบที่มีเซรามิกส์เป็นส่วนประกอบทั้งชนิดหม้อบด ลูกบด หรือกรูฟนึ่งภายในหม้อบดนั้นจัดว่ามีความสำคัญต่อการผลิตเซรามิกส์ทุกชนิดแต่เครื่องมือชนิดนี้ยังเป็นเครื่องมือที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้การผลิตเซรามิกส์มีต้นทุนที่สูง ซึ่งเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่มีอยู่ในขณะนี้ มีหลายเนื้อด้วยกัน เช่น เนื้อปอร์ซเลน เนื้อไฮโดรยูนินา เนื้อเซอร์คอน (Zircon Body) เนื้อไฮเซอร์โคเนีย และเนื้อโลหะ เป็นต้น โดยเฉพาะเครื่องมือบดย่อยเนื้อเซอร์คอน (Zircon Mill) จัดเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงแต่จำเป็นต้องใช้ในห้องทดลองของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ และหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แม้แต่ตามสถาบันการศึกษาก็ควรมีไว้สำหรับการวิจัยและทดลองของนักศึกษา เพื่อให้การบดย่อยวัตถุดิบมีประสิทธิภาพ และได้คุณภาพตามต้องการ รวมถึงความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบที่ปราศจากการปนเปื้อนของเนื้อเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบ ทั้งสมบัติของ Zircon Body ที่นำมาทำเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่มีความแข็งแรงหากผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ Zircon Body มีความแข็งแรงสูง (โกลด์ รีทซ์วังก์, 2531 : 174) หาก Zircon Body เป็นชนิดปอร์ซเลน (Zircon Porcelain) จะได้ Zircon Body หลังเผาที่มีความ

แข็งแรงสูงและมีน้ำหนักมากเนื่องจากเซอร์คอนมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2541 : 85) นอกจากสมบัติข้างต้นแล้ว Zircon Body นี้หากมีการควบคุมการผลิตอย่างดียิ่งจะได้เครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นสูงและทนทานมาก

เพื่อให้อุตสาหกรรมเซรามิกส์กลายเป็นอุตสาหกรรมที่มั่นคง ยั่งยืน ลดการพึ่งพา และนำเข้าจากต่างประเทศควรจะเริ่มที่การพัฒนาวัตถุดิบ เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการผลิตเซรามิกส์เสียก่อน ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า Zircon Body สำหรับการบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์เป็นสิ่งสำคัญต่อวงการเซรามิกส์ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม สถาบันการศึกษา และหน่วยงานการวิจัยทางเซรามิกส์ พร้อมทั้งประเทศไทยมีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเซรามิกส์อย่างเพียงพอ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาค้นคว้า เพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ซึ่ง โยชิยาสุ มิซุโน สัมภาษณ์โดย สมนึก ศิริสุนทร และกุลจิรา ตูจิโรจน์ (2539 : 73) กล่าวว่า เซรามิกส์โครงสร้างจะเข้าสู่ตลาดได้ง่ายกว่าเซรามิกส์อิเล็กทรอนิกส์ เซรามิกส์โครงสร้างมีทั้งชนิดที่ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงนัก จนถึงชนิดที่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ดังนั้นในประเทศไทยจึงควรเริ่มที่เซรามิกส์โครงสร้างก่อน ซึ่ง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์จัดว่าเป็นเซรามิกส์โครงสร้างชนิดหนึ่ง

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะผลิต Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์โดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อให้ได้ Zircon Body ที่มีประสิทธิภาพ เป็นการสร้างทางเลือกใหม่ในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศ แทนการเลือกใช้เครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ และเป็นการสนับสนุนแนวคิดในด้านการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าตามวาระการวิจัยแห่งชาติในวาระวิกฤตเพื่อฟื้นฟูชาติ เมื่อวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2543 เพื่อส่งเสริมให้นักวิจัยมุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีคุณภาพดี ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีมีการศึกษาค้นคว้าผลิตภัณฑ์ Zircon Body เท่าที่ควร หากผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ประสบผลสำเร็จ และได้แพร่หลายออกไปจะช่วยให้สามารถผลิต Zircon Body ใช้เองได้โดยไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งยังเป็นการสร้างโอกาส และเป็นข้อมูลในการพัฒนา Zircon Body ของประเทศไทยให้ก้าวหน้าขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส
2. เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพของ Zircon Body ที่สำคัญต่อการใช้งานจริง
3. เพื่อศึกษาวิธีการผลิต และทดลองผลิต Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ที่มีค่าความแข็งระหว่าง 7 – 8 (ตามเกณฑ์มาตรฐานของโมห์)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้ คือ

1. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่
 - 1.1 เซอร์โคเนียมซิลิเกต (Zirconium Silicate)
 - 1.2 ทัลค์ (Talc)
 - 1.3 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate)
 - 1.4 แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate)
 - 1.5 ดินขาวระนอง (Kaolin Ranong)
 - 1.6 โซเดียม คาร์บอกซี เมทิล เซลลูโลส (Sodium Carboxy Methyl Cellulose)
 - 1.7 น้ำกลั่น (Distilled Water)
2. การหาอัตราส่วนผสมของ Zircon Body ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการผสมวัตถุดิบสองชนิดเข้าหากันบนแกนเส้นตรง (Line Blend) จะได้ส่วนผสมที่มีเซอร์โคเนียมซิลิเกตอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 97.5 และสารช่วยลดยุบหนุมิที่เตรียมได้จากการกำหนดสมการเคมีที่มี ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 1:1:1 โมล โดยใช้น้ำหนักโมเลกุลของสารในการคำนวณ และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซิลิเกต ได้ทั้งสิ้น 20 อัตราส่วนผสม โดยเพิ่มเติมดินขาวระนอง ร้อยละ 5 เพิ่มเติมโซเดียม คาร์บอกซี เมทิล เซลลูโลส ร้อยละ 0.2 ทุกอัตราส่วนผสม
3. ตัวแปรที่ศึกษา คือ
 - 3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ อัตราส่วนผสมของ Zircon Body จำนวน 20 อัตราส่วนผสม
 - 3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ สมบัติทางกายภาพของ Zircon Body คือ
 - 3.2.1 การหดตัวเชิงปริมาตร (Volume Shrinkage)
 - 3.2.2 ความแข็ง (Hardness)
 - 3.2.3 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)
 - 3.2.4 ความหนาแน่น (Density)
 - 3.2.5 ความทนต่อการขัดสี (Abrasion Rate)
4. การขึ้นรูปชิ้นทดสอบ Zircon Body ในการทดลองครั้งนี้ใช้การขึ้นรูปแบบอัดแบบ
5. อุณหภูมิในการเผา 1,400 องศาเซลเซียส บรรยากาศแบบเผาไหม้สมบูรณ์ (Oxidation)

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Zircon Body หมายถึง เนื้อเซรามิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งมีส่วนผสมหลักคือ เซอร์โคเนียมซิลิเกต และมีส่วนผสมของสารช่วยลดอุณหภูมิ ที่ทำให้เซอร์โคเนียมซิลิเกตสุกตัวตามอุณหภูมิที่กำหนด
2. Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบ หมายถึง เนื้อเซรามิกส์ที่มีส่วนผสม ของ เซอร์โคเนียมซิลิเกต ถูกนำมาผลิตเป็นเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์เช่น ลูกบด หม้อบด และผนังกรูภายในหม้อบด ทำให้วัตถุดิบเซรามิกส์ที่ถูกบดมีขนาดเล็กลง
3. เซอร์โคเนียมซิลิเกต หมายถึง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างเซอร์โคเนียมออกไซด์ และซิลิกา
4. สารช่วยลดอุณหภูมิ หมายถึง สารที่ทำหน้าที่ช่วยลดอุณหภูมิของวัตถุดิบให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นแก้วที่อุณหภูมิต่ำลง สารช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการผสมของ วัตถุดิบ ดังนี้
 - 4.1 ฟัลค์ คือ สารประกอบระหว่างแมกนีเซียมและซิลิกา เป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ
 - 4.2 แคลเซียมคาร์บอเนต คือ วัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีแคลเซียมออกไซด์เป็นหลัก
 - 4.3 แบเรียมคาร์บอเนต คือ เป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติมีแบเรียมออกไซด์เป็นหลัก
5. ดินขาวระนอง หมายถึง เป็นดินขาวจากแหล่งจังหวัดระนอง เป็นวัตถุดิบที่เติมลงไป ใน Zircon Body เพื่อเพิ่มความเหนียว และช่วยให้การขึ้นรูป
6. โซเดียม คาร์บอเนต เมทิล เซลลูโลส หมายถึง อินทรีย์สารที่ทำหน้าที่ช่วยเป็นตัวประสาน ใน Zircon Body ให้วัตถุดิบยึดเกาะกันด้วยดี เพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ก่อนการเผา ทำให้ผลิตภัณฑ์คงตัวอยู่ได้ ช่วยในการกระจายลอยตัวให้กับเซอร์โคเนียมซิลิเกต ในการบดเปียก
7. น้ำกลั่น หมายถึง สารที่ช่วยในการบดผสม การขึ้นรูปเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์ ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 และมีค่าความเป็นกรดค่าที่ 5.0 – 7.0
8. สมบัติทางกายภาพของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ประกอบด้วย
 - 8.1 การหดตัวเชิงปริมาตรหลังเผา หมายถึง การหดตัวของชิ้นทดสอบที่วัดได้ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ค่าที่วัดได้กำหนดเป็นร้อยละ
 - 8.2 ความแข็ง หมายถึง ความทนต่อการขีดขีดโดยใช้ระดับความแข็งของโมห์ (Mohs' Scale) เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 – 8.0
 - 8.3 การดูดซึมน้ำ หมายถึง การดูดซึมน้ำของ Zircon Body ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ค่าที่วัดได้กำหนดเป็นร้อยละ

8.4 ความหนาแน่น หมายถึง ค่าการอัดตัวของอนุภาควัตถุดิบ ว่าอัดตัวได้แน่นดีเพียงใด มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

8.5 ความทนต่อการขัดสีของ Zircon Body หมายถึง การที่ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body สามารถทนต่อการสึกกร่อนจากการใช้งาน ค่าที่วัดได้คิดเป็นร้อยละ

9. อุณหภูมิในการเผา หมายถึง อุณหภูมิที่ใช้สำหรับเผา Zircon Body อุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 1,400 องศาเซลเซียส

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ที่มีค่าความแข็งระหว่าง 7 – 8 (ตามเกณฑ์มาตรฐานของโมห์)
2. สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบจากต่างประเทศ
3. สร้างทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นเองภายในประเทศ
4. เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์แผนใหม่ในด้านการผลิต Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์
5. หน่วยงานที่ได้รับประโยชน์จากผลงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สถานศึกษาด้านเซรามิกส์ทุกระดับ โรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ หน่วยงานวิจัยและพัฒนาด้านเซรามิกส์ทั้งภาครัฐและเอกชน
6. บุคคลที่ได้รับประโยชน์จากผลงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย สาขาเซรามิกส์และสาขาที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งผู้ที่มีความสนใจในด้านการผลิต Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์นี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้า ประมวลความรู้จาก ตำรา วารสาร และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยได้จำแนกรายละเอียดต่าง ๆ แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

2.1 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การบด และเครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบ

การบดวัตถุดิบเป็นกระบวนการที่ทำให้ขนาดของวัตถุดิบที่นำไปบดมีขนาดเล็กลง และเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Mixture) โดยอาศัยการกระทบกันระหว่างลูกบดกับลูกบด และการกลิ้งเสียดสีกันระหว่างลูกบดกับผนังภายในหม้อบด โดยวิธีการที่จะทำให้เกิดสมบัติดังกล่าวจะต้องมีเลือกวิธีการบดและเครื่องบดที่เหมาะสม เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันไป โดยเฉพาะสมบัติด้านความแข็งของวัตถุดิบ ดังนั้นการเลือกเครื่องบดจึงมีความสำคัญมากสำหรับงานบดวัตถุดิบ

เครื่องบดวัตถุดิบมีหลายชนิด เช่น หม้อบดขนาดเล็ก หม้อบดขนาดใหญ่ เครื่องบดแบบสันสะเทือน และเครื่องบดความเร็วสูง (High – Speed Centrifugal Mill) เป็นต้น ซึ่งเครื่องบดแต่ละชนิดนอกจากจะมีระบบการทำงานที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่แตกต่างกัน และสำคัญยิ่งในการบดคือ วัสดุที่ใช้กรุภายในหม้อบด (Liners) และ ลูกบด(Media)

วัสดุที่ใช้กรุภายในหม้อบดและลูกบดสำหรับบดวัตถุดิบมีหลายชนิด เช่น ยาง พอร์สเลน ไฮดรูลินา ไฮเซอร์โคเนีย และโลหะ เป็นต้น การเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ และชนิดของงานที่ต้องการจะบด การบดวัตถุดิบจึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด และต้องเลือกใช้ลูกบดให้ถูกต้องเหมาะสมกับวัสดุกรุภายในหม้อบด หรือควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน

1.1 เครื่องบด (Mill Equipment) ที่ใช้ในงานบดวัตถุดิบทางด้านเซรามิกส์มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีดังนี้

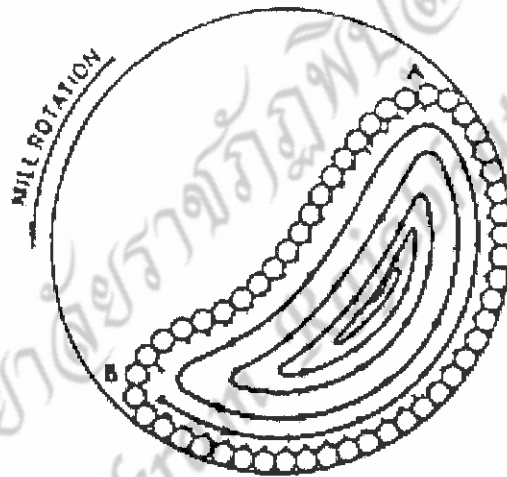
1.1.1 หม้อบด (Ball Mill) มีหลายขนาดให้เลือกใช้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้วัตถุดิบมีขนาด 200 – 325 เมช ใช้บดวัตถุดิบได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง โดยอาศัยลูกบดเป็นตัวย่อยขนาดของวัตถุดิบ หม้อบดที่ใช้ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ

1.1.1.1 หม้อบดขนาดเล็ก (Jar Mill) เป็นหม้อบดขนาดเล็กที่มีความจุตั้งแต่ 5 กิโลกรัม ลงมา ส่วนมาใช้ในการห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการ

1.1.1.2 หม้อบดขนาดใหญ่ (Ball Mill) เป็นหม้อบดขนาด 50 กิโลกรัมขึ้นไป ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกภายนอกเป็นโลหะ ภายในกรุด้วยวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทก และเสียดสี ได้สูง (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, 2534 : 67 – 68)

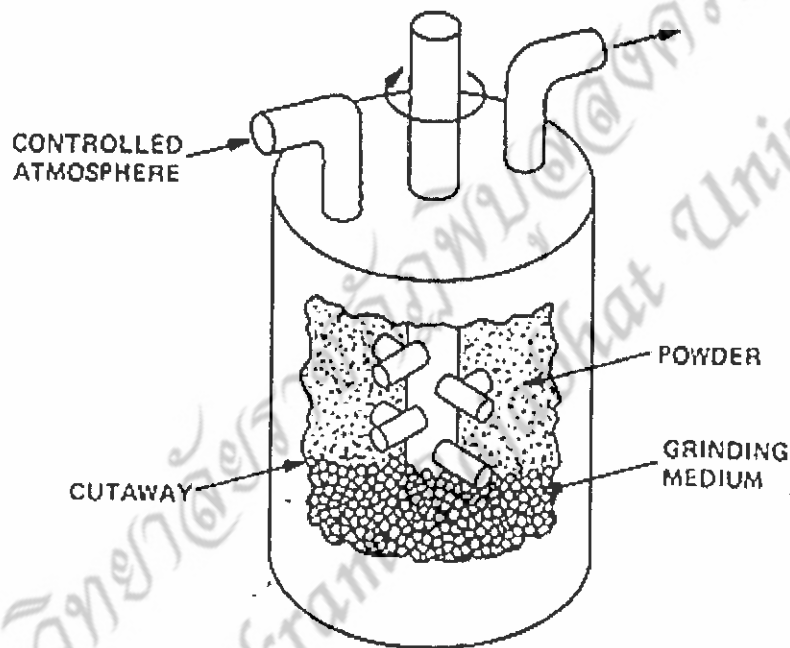
หม้อบดทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ อาศัยการหมุนโดยกำลังไฟฟ้า ภายในบรรจุลูกบด เพื่อให้ลูกบด ผ่นงหม้อบด และวัตถุดิบ เกิดการกระแทกและเสียดสีกันทำให้ขนาดของ วัตถุดิบลดลง โดยลักษณะการเคลื่อนตัวของลูกบดในหม้อบดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ แสดงในภาพ

2.1



ภาพ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของลูกบดในหม้อบดขนาดเล็กและขนาดใหญ่
(ที่มา : Reed, 1989 : 257)

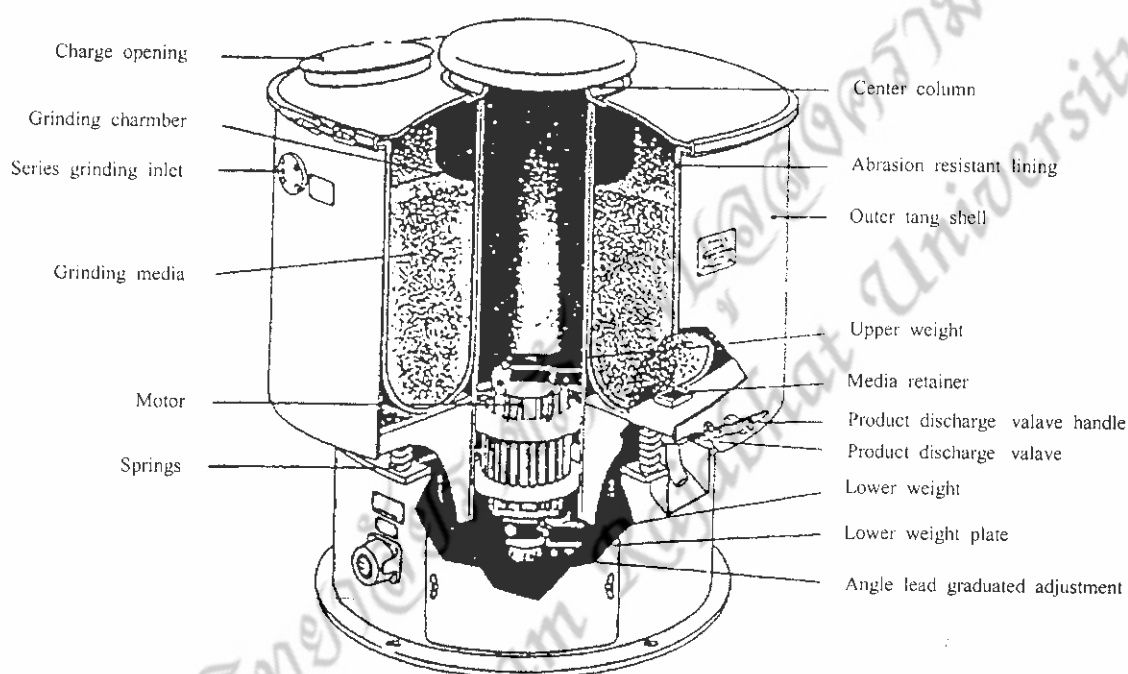
1.1.2 เครื่องบดแบบแอทริชัน (Attrition Mill) ใช้สำหรับการบดย่อยวัสดุที่ ต้องการให้วัสดุมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน สามารถทำการบดได้ภายใต้บรรยากาศที่บรรจุด้วยแก๊ส เชื้อเพลิง และสามารถควบคุมอุณหภูมิของวัสดุที่ต้องการบด เหมาะสำหรับงานที่ต้องการขนาดเล็ก มากๆ เป็นซัพไมครอน โดยมีลูกบดเป็นตัวบดย่อยขนาดของวัสดุ ลักษณะของเครื่องบดแบบแอทริ ชัน แสดงในภาพ 2.2



ภาพ 2.2 ลักษณะของเครื่องบดแบบแอทริชัน

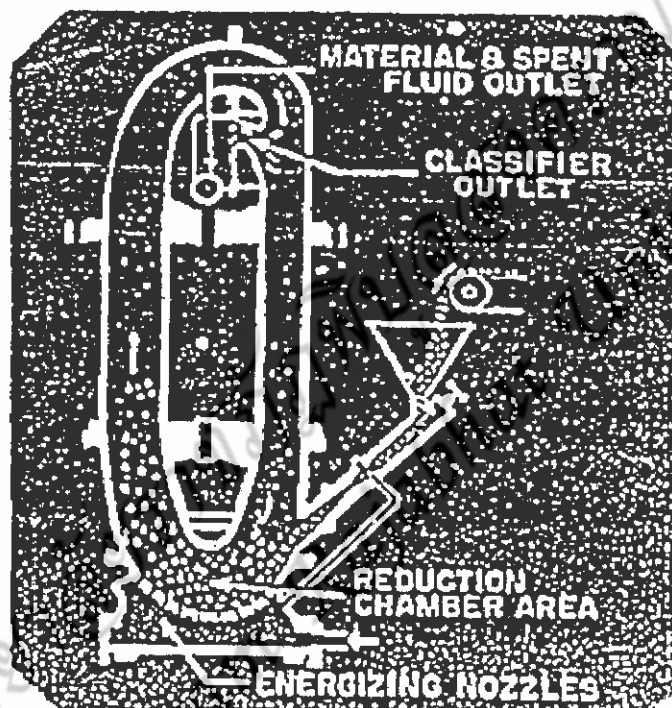
(ที่มา : Musikant, 1991 : 58)

1.1.3 เครื่องบดแบบสั่นสะเทือน (Vibratory Mill) เครื่องบดชนิดนี้สามารถบดได้ละเอียดถึงซับไมครอน มีประสิทธิภาพสูง ใช้สำหรับบดแบบเปียก ถ้าเป็นหม้อบดขนาดใหญ่สามารถบดได้ถึง 2 ตันต่อชั่วโมง โดยอาศัยหลักการสั่นสะเทือน และใช้ลูกบดเป็นตัวย่อยวัตถุดิบ ลักษณะของเครื่องบดแบบสั่นสะเทือน แสดงในภาพ 2.3



ภาพ 2.3 ลักษณะของเครื่องบดแบบสั่นสะเทือน
(ที่มา : Reed, 1989 : 258)

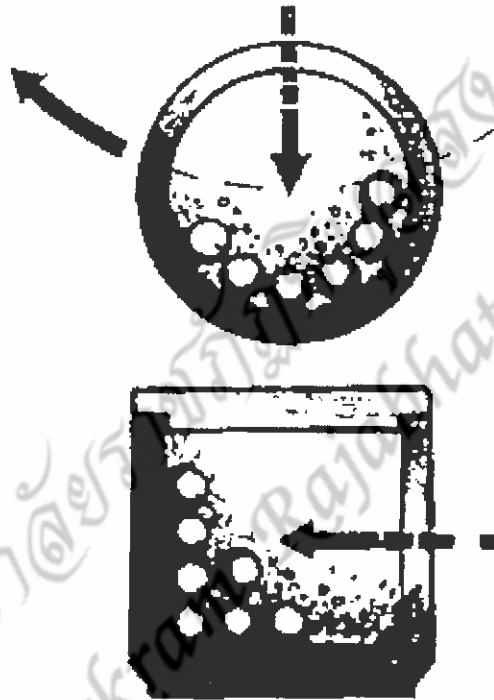
1.1.4 เครื่องบดแบบพลังงานน้ำ (Fluid Energy Mill) ใช้สำหรับบดวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรลงไป การทำงานอาศัยของเหลวเป็นตัวพาวัสดุให้วิ่งด้วยความเร็วสูง เกิดการกระทบกระแทกกันเองจนเกิดการแตกละเอียดสามารถทำการบดได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก ลักษณะการทำงานของเครื่องบดพลังงานน้ำแสดงในภาพ 2.4



ภาพ 2.4 ลักษณะของเครื่องบดพลังงานน้ำ

(ที่มา : Koenig, 1986 : 232)

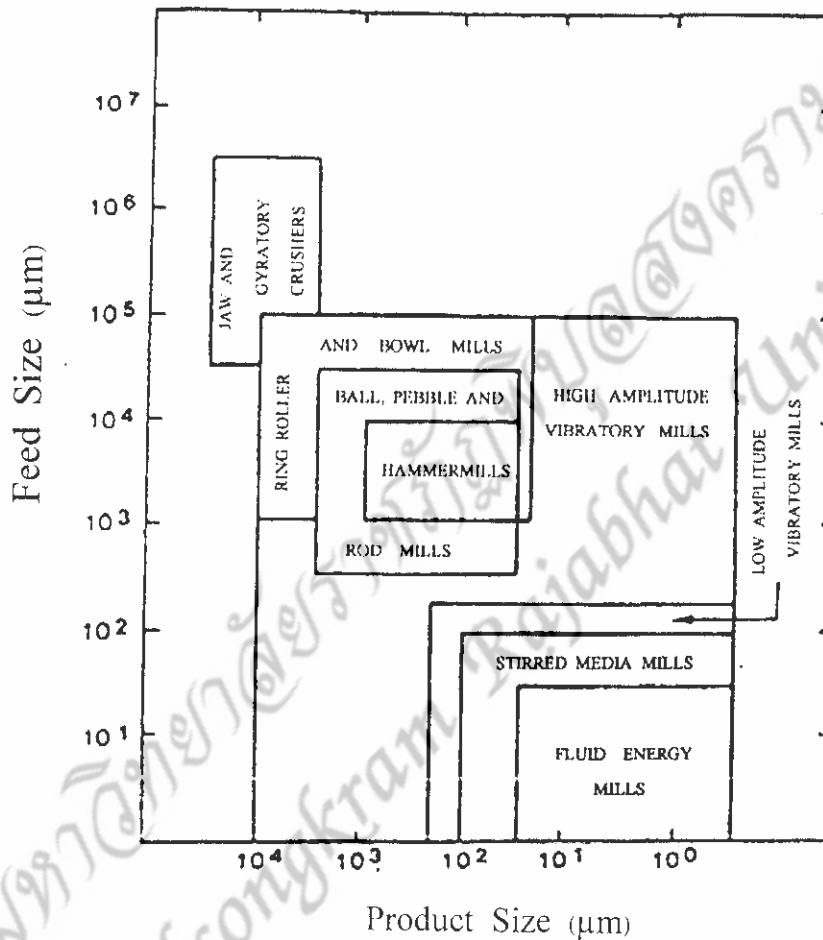
1.1.5 เครื่องบดความเร็วสูง (High – Speed Centrifugal Mill) ใช้สำหรับบดวัสดุที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ 8 มิลลิเมตรลงไป การทำงานอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางลูกบดจะถูกเหวี่ยงกระแทกกับวัสดุบดในภาชนะบรรจุ เครื่องชนิดนี้นิยมใช้สำหรับสารตัวอย่างในห้องทดลอง เนื่องจากในแต่ละครั้งของการบดสามารถบดสารได้ครั้งละปริมาณน้อย ลักษณะการทำงานของเครื่องบดความเร็วสูง แสดงในภาพ 2.5



ภาพ 2.5 ลักษณะของเครื่องบดความเร็วสูง

(ที่มา : Retsch GmbH & Co.KG, 1995)

เครื่องบดแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการบดแตกต่างกัน ซึ่งประสิทธิภาพในการบดของเครื่องบดแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับข้อกำหนดขนาดของวัตถุดิบก่อนการบดและเครื่องบดที่จะใช้บด แสดงในภาพ 2.6



ภาพ 2.6 ประสิทธิภาพในการบดของเครื่องบดชนิดต่าง ๆ
(ที่มา : Reed, 1989 : 257, อ้างจาก Wada Summer, 1983)

1.2 ประสิทธิภาพในการบด จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้ (สุรศักดิ์ โกสยพันธ์, 2536 : 46 – 52)

1.2.1 ความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องบดวัตถุดิบ หากเครื่องบดวัตถุดิบมีความเร็วรอบสูงจะต้องใส่ลูกบดจำนวนมาก ซึ่งเครื่องบดสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงมักจะใช้ความเร็วรอบสูงทำให้ลูกบดกระทบกันด้วยความถี่สูง เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้ย่อยขนาดวัตถุดิบได้เร็ว

1.2.2 วัสดุที่ใช้กรูหม้อบดและลูกบด จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อวัสดุที่ใช้กรูภายในหม้อบดและลูกบดมีความแข็งกว่าวัสดุที่จะใช้บด เช่น หม้อบดและลูกบดชนิดไฮดรอลิก ใช้สำหรับบดสารอลูมินา หรือสารอื่นที่มีความแข็งน้อยกว่า เช่น บดเนื้อพอร์สเลน เป็นต้น แต่ถ้าเราใช้หม้อบดและลูกบดชนิดฮาร์ดพอร์สเลนไปบดสารอลูมินา จะทำให้การบดไม่ได้ผลเท่าที่ควรและยังทำให้สิ่งเจือปนอื่นเข้าไปในส่วนผสมได้ เนื่องจากการสึกกร่อนของผนังหม้อบด และลูกบด

1.2.3 รูปร่างและขนาดของลูกบด ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดกลม และทรงกระบอก (Spherical and Cylindrical Media) จากการทดลองพบว่าลูกบดชนิดทรงกระบอกจะมีประสิทธิภาพการบดสูงกว่าชนิดกลมเพราะมีพื้นที่ผิวที่กระทบกันมากกว่า ในขณะที่เดียวกันขนาดของลูกบดจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการบดเช่นกัน ถึงแม้ว่าลูกบดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะสามารถบดสารได้เร็วกว่าลูกบดขนาดเล็ก ถ้าเปรียบเทียบพื้นที่ผิวสัมผัสกันระหว่างลูกบดจะเห็นว่าลูกบดขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าลูกบดขนาดใหญ่ ในปริมาตรบรรจุที่เท่า ๆ กัน ฉะนั้นการบดที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องใช้ลูกบดหลายขนาด ทั้งนี้เพื่อให้มีช่องว่างระหว่างลูกบดน้อยที่สุด ลูกบดควรใช้อย่างน้อย 3 ขนาด คือ

ลูกบดขนาดใหญ่	ประมาณ ร้อยละ 20 – 25
ลูกบดขนาดกลาง	ประมาณ ร้อยละ 50 – 60
ลูกบดขนาดเล็ก	ประมาณ ร้อยละ 20 – 25

ส่วนจำนวนลูกบดที่ใช้แล้วแต่ละชนิดของลูกบดแต่โดยทั่วไปควรใช้ประมาณ ร้อยละ 50 ของปริมาตรภายในหม้อบด ตัวอย่างลูกบดแสดงในภาพ 2.7



ภาพ 2.7 ลูกบดขนาดต่าง ๆ

(ที่มา : www.zircoa.com/product.fine.grain/grinding.media.html 16/02/2008)

1.2.4 ความหนาแน่นของลูกบด ลูกบดแต่ละชนิดมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ลูกบดที่มีความหนาแน่นสูงจะมีน้ำหนักมากกว่าลูกบดที่มีความหนาแน่นน้อย ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการบด ความหนาแน่นของลูกบดแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อลูกบดนั้น ๆ ดังแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 เปรียบเทียบความหนาแน่นของลูกบดชนิดต่าง ๆ

ความหนาแน่นของลูกบดชนิดต่าง ๆ	
ชนิดของลูกบด (Material)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
พอร์สเลน	2.3
หินกรวด	2.4
สตีลไทท์พอร์สเลน	2.7
อลูมินา	3.6
เซอร์คอน	3.7
เซอร์โคเนีย	5.5
โลหะ	7.8
ทังสเตนคาร์ไบด์	15.6

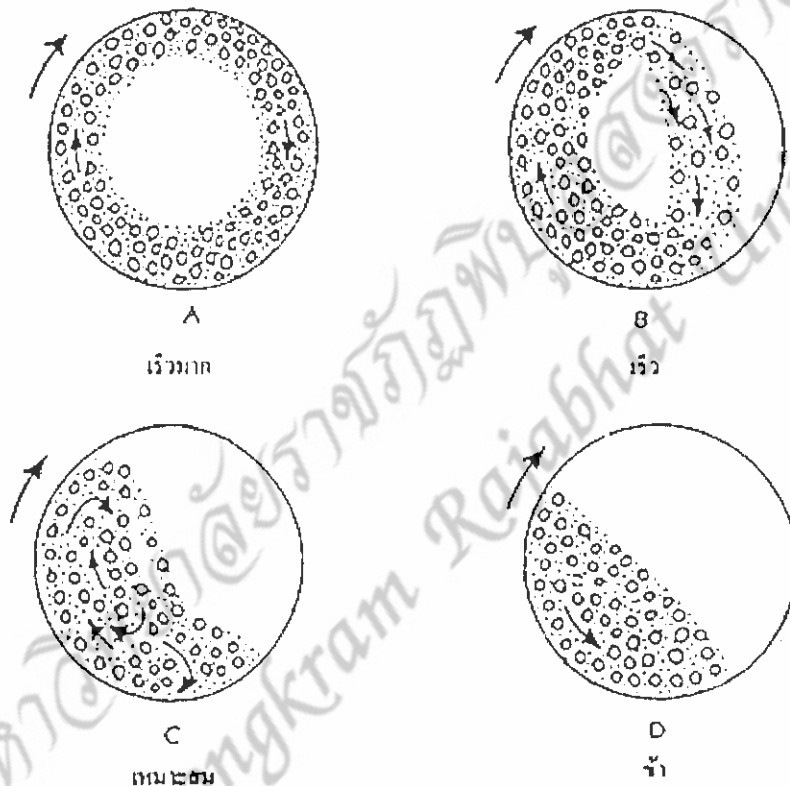
(ที่มา : ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 27)

1.2.5 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้บด ต้องใช้วัตถุดิบในปริมาณพอเหมาะที่จะแทรกอยู่ตามช่องว่างของลูกบดทั้งหมด และปิดผิวหน้าด้านบนของลูกบดได้ โดยทั่วไปจะคิดเป็นร้อยละ 25 ของปริมาตรภายในหม้อบด

1.2.6 ความชื้นของส่วนผสม ปริมาณน้ำมีผลต่อความหนืดและการบดมากที่สุด เพราะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวัตถุดิบที่จะบด ถ้าใส่น้ำในหม้อบดน้อยจะทำให้เกิดความหนืดสูง ทำให้ลูกบดเคลื่อนที่ไปได้อย่างยากลำบาก ในทางตรงกันข้ามถ้าเกิดความหนืดต่ำไป ก็จะทำให้วัตถุดิบที่ทำการบดเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้การบดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังนั้นการบดวัตถุดิบควรจะทำให้มีความหนืดพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ต้องการจะบดด้วย โดยทั่วไปจะใช้น้ำผสมในกระบวนการบดเปียกประมาณร้อยละ 30 – 40 และไม่ควรเกินร้อยละ 55 แต่ถ้าวัตถุดิบที่ต้องการบดมีปริมาณดินที่เป็นส่วนผสมจะมีความหนืดมากอาจจะต้องใช้ปริมาณน้ำสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจใช้ถึงร้อยละ 75 – 80

1.2.7 การหมุนของหม้อบดวัตถุดิบ จำนวนรอบการหมุนมีผลต่อการบด และความหนาแน่นทนทานของผนังหม้อบด ในขณะที่หม้อบดหมุนจะเกิดแรงกระทำต่อลูกบดในหม้อบด 2 ชนิด คือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการหมุนของหม้อบด และแรงดึงดูดของโลกซึ่งเกิดจาก

น้ำหนักของลูกบดเอง แรงทั้งสองชนิดเป็นสิ่งที่ควบคุมสภาพของลูกบด ว่าจะกลิ้งไปตามผนังหม้อบด ลักษณะใด ถ้าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากกว่าแรงดึงดูดของโลกลูกบดจะกลิ้งติดผนังไปตลอด ดังภาพ 2.8 A. ถ้าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากกว่าแรงดึงดูดของโลกเล็กน้อยลูกบดจะกลิ้งไปเลยไปตกในระดับที่ไม่เหมาะสม ดังภาพ 2.8 B. ถ้าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลกลูกบดจะกลิ้งมาตกในระดับที่เหมาะสม ดังภาพ 2.8 C. แต่ถ้าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลกมากลูกบดจะกลิ้งไปติดผนังน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพในการบดต่ำ ดังภาพ 2.8 D.



ภาพ 2.8 แสดงการหมุนของหม้อบดแกนนอน

(ที่มา : บริษัท เซรามิกส์ “อาร์” อีส จำกัด, ม.ป.ป. : 7)

นอกจากปัจจัยทั้ง 7 ข้างต้น การบดจะมีประสิทธิภาพดีเพียงใด ยังขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการบด (Milling Time) ดังนั้นการบดวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ให้ได้คุณภาพตามต้องการจึงต้องเลือกใช้เครื่องมือบดย่อยวัตถุดิบให้เหมาะสม และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบด เพื่อให้การบดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมีที่เป็นส่วนผสมของ Body Zircon สำหรับนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่องานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้ เซอร์โคเนียมซิลิเกต ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต ดินขาวระนอง โซเดียมคาร์บอเนต เมทิล เซลลูโลส และน้ำกลั่น เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วจะก่อให้เกิดประโยชน์ซึ่งกันและกัน ทั้งยังก่อให้เกิดคุณลักษณะต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ โดยวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

2.1 เซอร์โคเนียมซิลิเกต หรือเซอร์คอน มีสูตรทางเคมีคือ $ZrSiO_4$ เป็นแร่ที่เกิดจากการตกผลึกของหินหลอมเหลวที่เย็นตัวลงช้า ๆ ภายใต้อุณหภูมิ มีรูปผลึกใส และมีขนาดใหญ่ มีสีเทรกกิ้ง โดยทั่วไปมีสีขาวแต่ความแวววาวน้อยกว่าเพชร เรียกว่าเพทาย นอกจากนี้ยังพบเซอร์คอนเป็นเม็ดเล็ก ๆ คล้ายเม็ดทรายที่เกิดจากการผุกร่อนของเปลือกโลกแล้วถูกพัดพามาตามชายฝั่งทะเลเรียกว่าเม็ดแร่ เซอร์คอนนี้ว่า ทรายเซอร์คอน (Zircon Sand) (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 85) พบมากในอินเดีย ออสเตรเลีย และมาดากัสการ์ (Worrall, 1975 : 186) ส่วนในประเทศไทยพบแร่ชนิดนี้ตามชายฝั่งทะเลทั่วไป และพบตามลานแร่ดิบทุกแห่ง เช่น จ.ประจวบคีรีขันธ์ จ.ระนอง จ.พังงา จ.ชลบุรี จ.ระยอง และ จ.ภูเก็ต เป็นต้น แร่ชนิดนี้มีสมบัติเป็นกรด มีความถ่วงจำเพาะ 4.2 – 4.6 มีความแข็ง 7 – 8 สามารถเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วได้ในอุณหภูมิ 1,500 – 1,800 องศาเซลเซียส (โกมล รัชวงศ์, 2538 : 71) เซอร์โคเนียมซิลิเกตมีรูปผลึกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มียอดพีรามิดด้านบน และล่างสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 85) เช่น

2.1.1 ทำวัสดุทนไฟได้หลายชนิด เนื่องจากเซอร์คอนมีจุดหลอมละลายสูงมาก

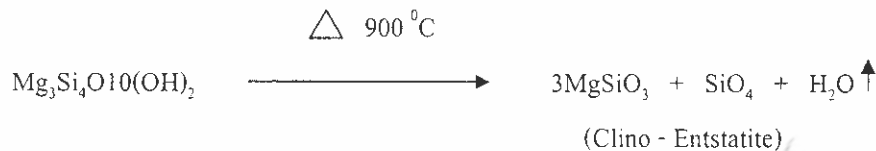
2.1.2 ใช้พ่นบุผนังเตาหลอมอลูมิเนียม และแม่พิมพ์หล่ออลูมิเนียม เนื่องจาก เซอร์คอน เป็นวัตถุดิบที่ไม่เปียกอลูมิเนียม

2.1.3 ใช้ทำเซอร์คอนพอร์ซเลน (Zircon Porcelain) โดยใช้เซอร์คอนในปริมาณร้อยละ 60 – 70 เมื่อคืนหลังการเผามีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักมาก เนื่องจากเซอร์คอนมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี ใช้ทำอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เซอร์โคเนียมซิลิเกตเป็นวัตถุดิบหลักในการทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดี เมื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็ง แข็งแรง และมีความหนาแน่นสูง และเป็นวัตถุดิบที่มีราคาไม่แพง

2.2 ทัลค์ มีสูตรทางเคมีคือ $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ เป็นสารประกอบไฮเดรตแมกนีเซียมซิลิเกต (Hydrated Magnesium Silicate) มีชื่อเรียกหลายชื่อเช่น หินสบู่ (Soap Stone) เฟรนช์ชอล์ก (French Chalk) และแมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium Silicate) สารประกอบอื่น ๆ ที่มีในทัลค์ ได้แก่

อลูมินา เหล็กออกไซด์ หินปูน และอัลคาไลน์ สารประกอบของทัลค์สามารถไล่น้ำที่เป็นผลึกในโมเลกุลออกได้ในอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสขึ้นไป ดังสมการ



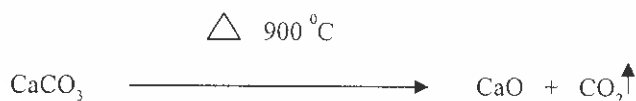
ทัลค์มีจุดหลอมละลาย 1,400 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 2.6 – 2.8 มีความแข็ง 1 – 2 การหดตัวเมื่อได้รับความร้อน 4.5×10^{-6} คือหดตัวน้อยมาก ทัลค์มีสมบัติที่ดี (โกลด์ รักษ่วงศ์, 2531 : 28 – 29) ดังนี้

- 2.2.1 ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและเคลือบทำหน้าที่ช่วยลดจุดหลอมละลาย
- 2.2.2 มีสมบัติป้องกันการร้าว (Crazing) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวเมื่อขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้ทำกระเบื้อง
- 2.2.3 ใช้เป็นส่วนผสมเนื้อดินปั้น Steatite
- 2.2.4 เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเมื่อผสมในเนื้อดินปั้น
- 2.2.5 ทนต่อการหดตัวขยายตัว และทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี
- 2.2.6 เป็นวัตถุดิบที่มีความแข็งต่ำ บดย่อยได้ง่าย และเป็นวัตถุดิบที่ให้ ซิลิกา และแมกนีเซียม

นอกจากสมบัติข้างต้น หากนำทัลค์ไปใช้ร่วมกับหินปูนในเนื้อดินปั้น จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อดิน

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ทัลค์เป็นส่วนผสม ของสารช่วยลดอุณหภูมิใน Zircon Body เนื่องจากทัลค์มีสมบัติที่ดีหลายประการ ทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาไม่แพง

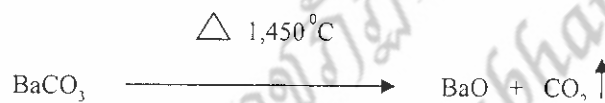
2.3 แคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน มีสูตรทางเคมีคือ CaCO_3 เกิดในรูปของแคลไซต์ (Calcite) ตามทฤษฎีประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 56.03 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 43.97 (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 24) แคลเซียมคาร์บอเนตมีน้ำหนักโมเลกุล 100.09 สามารถเผาไล่คาร์บอนไดออกไซด์ได้ในอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ให้เปลี่ยนสภาพเป็นแคลเซียมออกไซด์ (โกลด์ รักษ่วงศ์, 2431 : 47) ดังสมการ



แคลเซียมคาร์บอเนตมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 มีความแข็งประมาณ 2.3 หลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 2,850 องศาเซลเซียส ในทางเซรามิกส์ถูกนำมาใช้ในรูปแบบละเอียด ซึ่งจะเรียกว่า ไวต์ทิง (Whiting) และยังใช้เป็นเชื้อทางการค้าด้วย แหล่งที่พบในประเทศไทยคือ จ.ราชบุรี จ.สระบุรี และ จ.กาญจนบุรี เป็นต้น (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาภาคเหนือ, 2538 : 24) แคลเซียมคาร์บอเนตยังเป็นสารช่วยลดจุดหลอมละลายในเนื้อดินปั้นที่ดี

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนผสมของสารช่วยลดอุณหภูมิใน Zircon Body เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ช่วยลดจุดหลอมละลายในเนื้อดินปั้นที่ดีอีกชนิดหนึ่ง

2.4 แบเรียมคาร์บอเนต มีสูตรทางเคมีคือ BaCO_3 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 197.4 ความถ่วงจำเพาะ 4.4 มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,360 องศาเซลเซียส พบมากในอังกฤษ และมลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา มีส่วนประกอบของแบเรียมออกไซด์ร้อยละ 77.70 และ คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 22.30 เมื่อผ่านการเผาแล้วจะเหลือแบเรียมออกไซด์ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะกลายเป็นแก๊สออกไป (โกลด์ รัชวงศ์, 2431 : 47) ดังสมการ



แบเรียมคาร์บอเนตสามารถละลายน้ำได้ในอุณหภูมิ 18 – 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.002 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และที่ 100 องศาเซลเซียส 0.006 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ถ้าใช้ผสมกับเคลือบจะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิแต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้เคลือบด้านถ้าใช้อัตราเปอร์เซ็นต์ต่ำผสมในเนื้อดินจะทำให้โปร่งแสงดี และเพิ่มความแข็งให้กับเนื้อดินได้

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แบเรียมคาร์บอเนต เป็นส่วนผสมของสารช่วยลดอุณหภูมิใน Zircon Body เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ช่วยลดจุดหลอมละลายในเนื้อดินปั้นที่ดีอีกชนิดหนึ่ง

2.5 ดินขาวระนอง มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ดินขาวมีอยู่หลายชนิดแตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม เป็นดินที่มีรูปผลึกเป็นแผ่นหกเหลี่ยม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 – 10.0 ไมครอน มีขนาดเม็ดหยาบ มีความเหนียวต่ำ ความหดตัวน้อย ความแข็งแรงสูงหลังเผา ประกอบไปด้วยแร่กาเลสินไนท์มากกว่าดินชนิดอื่น ๆ ดินขาวสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเซรามิกส์ อุตสาหกรรมการทำสี อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมยาง และผสมในปูนซีเมนต์ เป็นต้น ดินขาวมีความบริสุทธิ์สูง เผาแล้วได้สีขาวบริสุทธิ์ นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์ พอร์สเลน โบนไชน่า และผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีเนื้อสีขาวทุกชนิด แหล่งดินขาวในประเทศไทยที่สามารถนำมาใช้ทำเซรามิกส์ มีหลายแหล่ง ได้แก่ ระนอง ชุมพร และนราธิวาส เป็นต้น ดินขาวระนองเป็นดินคุณภาพปานกลาง ซึ่งเป็น

แร่แคลีนไนท์ มีความบริสุทธิ์ และความขาวมากกว่าดินขาวลำปาง ดินขาวลำปางมีแร่ไมก้าเป็นส่วนประกอบหลัก มีแร่แคลีนไนท์ประกอบอยู่เป็นส่วนน้อย หรือแร่แคลีนไนท์ที่มีคุณภาพต่ำ ดินขาวระนองมีปริมาณของเหล็กและไททาเนียมต่ำ ดินดิบสีครีมอมเหลืองเมื่อเผาแล้วขาวบริสุทธิ์ นิยมใช้ทำเนื้อดินพอร์สเลน หรือผสมในเนื้อวัสดุทนไฟ และใช้เป็นวัตถุดิบในน้ำเคลือบ มีความทนไฟประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 41 – 45)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ดินขาวระนองเนื่องจาก เป็นดินขาวที่มีในประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบกับดินแหล่งต่าง ๆ ในประเทศจัดว่าคุณภาพสูงกว่าดินแหล่งอื่น ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการใช้ดินขาวจากต่างประเทศ มีสมบัติทางด้านความขาว มีปริมาณของเหล็กและไททาเนียมต่ำ ซึ่งมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ความเหนียวต่ำช่วยลดการหดตัวและขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดได้ง่าย อีกทั้งยังมีความทนไฟไม่สูงมากนัก

2.6 โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส เนื่องจากเซอร์โคเนียมซิริโคเนียเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงทำให้ตกตะกอนได้ง่ายจำเป็นต้องเติมสารช่วยยึดเกาะ (Binder) และสารช่วยกระจายลอยตัว (Deflocculant) เพื่อให้วัตถุดิบเกิดการยึดเกาะ และช่วยป้องกันการตกตะกอน สารช่วยยึดเกาะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายได้สะดวกในขณะที่เป็นผลิตภัณฑ์ดิบ สุรศักดิ์ โกสยพันธ์ (2536 : 24 – 25) กล่าวว่า สารยึดเกาะที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

2.6.1 สามารถเป็นตัวเพิ่มความเหนียวของส่วนผสมได้ดี

2.6.2 แก๊สที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวระหว่างการเผาไม่มีอันตรายต่อคน และ
ชิ้นงาน

2.6.3 เมื่อผ่านการเผาแล้วจะต้องสลายตัวหมดไม่มีสิ่งใดเหลืออยู่ในเนื้อของ
ชิ้นงาน

2.6.4 มีราคาถูก

2.6.5 มีความทนต่อบรรยากาศ คือไม่ทำให้ชิ้นงานเสื่อมระหว่างที่เก็บ

2.6.6 สามารถใช้ร่วมกับสารขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สารช่วยยึดเกาะที่ใช้ในการผลิตเซรามิกส์มีหลายชนิด (Reed, 1989 : 153) ได้แก่ Xanthan Gum, Gum Arabic, Retined Starch, Dextrin, Paper Waste Liquor, Na. NH_4 Alginate, Methyl Cellulose, Hydroxy ethyl Cellulose, Sodium Carboxy methyl Cellulose, Polyvinyl Alcohol, Polyethylene Glycol, Paraffin, Wax Emulsions, Microcrystalline Wax, Sodium Silicate, Ethyl Silicate, Alkali Phosphates and Sodium Aluminate ปริมาณในการเติมสารช่วยยึดเกาะก็เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลให้มีความหนาแน่น หรือความพรุนตัวมากนักน้อยเพียงใด รวมไปถึงคุณภาพและรูปทรงหลังการเผาดังนั้นปริมาณในการเติมสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆ (Chartier and et al. 1995 : 1787) มีดังนี้

การหล่อแบบ

โดยวิธีหล่อหน้าดิน	ใช้ระหว่าง	ร้อยละ	0.05 – 0.20
--------------------	------------	--------	-------------

โดยวิธีเทปคาสติง	ใช้ระหว่าง	ร้อยละ	8.00 – 25.00
------------------	------------	--------	--------------

การขึ้นรูปแบบมีความเหนียว

โดยวิธีการรีดเข้าแบบ	ใช้ระหว่าง	ร้อยละ	8.00 – 25.00
----------------------	------------	--------	--------------

โดยวิธีการฉีดเข้าแบบ	ใช้ระหว่าง	ร้อยละ	10.00 – 25.00
----------------------	------------	--------	---------------

การอัดเข้าแบบ

โดยวิธีอัดดินแห้ง	ใช้ระหว่าง	ร้อยละ	1.00 – 4.00
-------------------	------------	--------	-------------

โดยวิธีอัดทุกทิศทุกทาง	ใช้ระหว่าง	ร้อยละ	1.00 – 4.00
------------------------	------------	--------	-------------

โดยวิธีอัดทุกทิศทุกทางและผ่านการเผา			ไม่ใช่
-------------------------------------	--	--	--------

สารช่วยการกระจายลอยตัว เป็นสารที่เติมเข้าไปในส่วนผสมและทำให้ผิวของอนุภาค เกิดประจุที่เหมือนกันจำนวนมากเป็นการเพิ่มประจุไฟฟ้าสถิตทำให้อนุภาคเกิดการแขวนลอยในสารละลายได้ สารช่วยกระจายลอยตัวในการผลิตเซรามิกมีหลายชนิด (Reed, 1989 : 139) เช่น Sodium Poly acryl ate, Ammonium Poly acryl ate, Sodium Citrate, Sodium Succinate, Sodium Tartrate, Sodium Polysulfonate and Ammonium Citrate ส่วนการเตรียมสลิปสำหรับวัสดุกลุ่มที่ไม่ใช่ดินนั้น บางครั้งจำเป็นที่จะต้องมีการช่วยพองวัสดุเหล่านี้ให้ลอยตัวได้ดี เช่น โซเดียมออกไซด์อาจใช้ โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส หรือ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ เป็นต้น (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539 : 155)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส สำหรับเป็นสารช่วยกระจายลอยตัวในการบดอัดวัตถุดิบ และเป็นสารช่วยยึดเกาะในกระบวนการขึ้นรูปขึ้นทล่องและผลิตภัณฑ์

2.7 น้ำกลั่น ทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการขึ้นรูปและเป็นสารละลายชนิดหนึ่ง ที่ใช้ในการละลายสารช่วยยึดเกาะ และสารช่วยกระจายลอยตัวที่อยู่ในรูปของแข็งให้อยู่ในรูปของเหลว โดยจะทำให้สารที่ได้มีการไหลตัวที่ดีขึ้น แต่ทั้งนี้สารละลายต้องไม่ละลายผงเซรามิกส์ นอกจากนี้สารละลายจะถูกทำให้ละเอียดออกไปจากระบบหลังการขึ้นรูป โดยไม่มีสารตกค้างเหลืออยู่ (สมนึก สิริสุนทร, 2542 – 2543 : 87)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้น้ำกลั่นในการละลายสารช่วยยึดเกาะ และสารช่วยกระจายลอยตัวในการบดวัตถุดิบ เนื่องจากมีความบริสุทธิ์สูง ง่าย และราคาไม่แพง

3. กรรมวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิตเซรามิกส์ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นขั้นตอนในการแปรสภาพวัตถุดิบหรือเนื้อดินให้ออกมาเป็นรูปผลิตภัณฑ์ การกำหนดหรือเลือกวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมหลายประการ เช่น ปริมาณการผลิต รูปทรงของผลิตภัณฑ์ เป้าหมายการผลิต และความเหมาะสมของวัตถุดิบ โดยทั่วไปการเตรียมวัตถุดิบต้องสอดคล้องกับวิธีการขึ้นรูป ซิงเกอร์ (1978 : 716) ได้แบ่งวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เป็น 5 ประเภท ดังนี้

- 3.1 การขึ้นรูปด้วยน้ำดินเหลว เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อกลง
- 3.2 การขึ้นรูปด้วยดินชั้นหนืด เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อโดยใช้แรงดัน
- 3.3 การขึ้นรูปด้วยดินเหนียว เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีอิสระ วิธีปั้นหมุน และวิธีการขึ้นรูปด้วยใบมีด

- 3.4 การขึ้นรูปด้วยดินผงชื้น เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีอัด
- 3.5 การขึ้นรูปด้วยดินผงแห้ง เหมาะกับการขึ้นรูปโดยใช้แรงดันทุกทิศทาง

การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดแบบ เป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ใช้เครื่องอัดระบบไฮโดรลิกใช้กำลังอัดสูง ทำงานโดยระบบกระบอกสูบ ลูกสูบใช้น้ำมันหล่อลื่นในการทำให้แท่งอัดเคลื่อนที่ขึ้นลง ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้จะมีคุณภาพหนาแน่นสูง กุลจิรา สุจิโรจน์ และคณะ (2545 : 5) กล่าวว่า การอัดแบบเซรามิกส์สามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนโดยอาศัยพิสัยความเผื่อในช่วงที่กำหนดได้ ชิ้นส่วนที่อัดจากผงวัตถุดิบจะได้รูปร่างเหมือนรูปร่างสุดท้ายที่ต้องการใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องมีการกลึงแต่งมากนัก หมายความว่ากระบวนการนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียวัสดุน้อยได้รูปร่างซับซ้อนที่มีค่าความยินยอมทางวิศวกรรม เช่น รูปร่างที่เป็นซี่ รูปร่างต่าง ๆ ลูกเบี้ยว เป็นต้น ชิ้นส่วนเหล่านี้มีค่าพิสัยความเผื่อที่ยอมรับได้ และมีผิวสำเร็จที่ดี มีรูปร่างสม่ำเสมอ สามารถนำมาประกอบใช้ในเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตได้

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การขึ้นรูปแบบไฮโดรลิก เนื่องจาก การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีนี้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพหนาแน่นสูง ได้รูปร่างตามกำหนด สะดวก ประหยัดเวลาในการตกแต่งชิ้นงาน

4. เตาเผาและบรรยากาศในการเผา

4.1 เตาเผา (Kiln) เป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็น และสำคัญมากในงานด้านเซรามิกส์ เพราะต้องใช้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านเคมี และฟิสิกส์ เตาเผาที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาให้เหมาะสมกับความต้องการ มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ควบคุม

สะดวก ปลอดภัย มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไป (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 11) เตาเผา สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะต่าง ๆ ได้หลายชนิด แบ่งตามลักษณะของเชื้อเพลิงได้ดังนี้

4.1.1 เตาแก๊ส เป็นเตาที่สามารถเผาได้อุณหภูมิสูง และปรับบรรยากาศภายในเตาได้ นิยมใช้มากในระบบอุตสาหกรรมเพราะเมื่อเทียบกับเตาชนิดอื่น ๆ แล้ว เป็นเตาที่ค่อนข้างประหยัดค่าใช้จ่าย

4.1.2 เตาไฟฟ้า เป็นเตาที่มีความสะดวกสบาย ควบคุมได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง เตาได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูง และเร่งอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นได้ตามต้องการ เตาได้สะดวกไม่มีเปลวไฟ และควัน ใช้ขดลวดต้านทานในการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นความร้อนทำให้เผาได้อย่างสะดวกที่สุด และสามารถเผาได้เฉพาะบรรยากาศแบบออกซิเดชันเท่านั้น

4.1.3 เตาฟืน เป็นเตาที่นิยมอย่างแพร่หลายในอดีต ปัจจุบันความนิยมลดลงเนื่องจากหาฟืนได้ยาก และมีราคาแพงขึ้น อีกทั้งคุณภาพในการเผาค่อนข้างยุ่งยาก จึงไม่เหมาะกับการเผาที่ต้องการความเที่ยงตรง

4.1.4 เตาน้ำมัน เป็นเตาที่เคยได้รับความนิยมมากระยะหนึ่ง ภายหลังความนิยมลดลงเนื่องจากตัวเตามีขนาดใหญ่ ลงทุนสูง เมื่อเทียบกับเตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงอีกทั้งการควบคุมก็ค่อนข้างยุ่งยาก การเผาต้องฉีดกระจายน้ำมันให้เป็นฝอยโดยใช้แรงดันของลมตลอดเวลา

4.2 บรรยากาศในการเผา มี 3 แบบ (ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา ภาคเหนือ, 2538 : 91) คือ

4.2.1 บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing) เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และใช้ออกซิเจนมากเกินไปซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีออกซิเจนเหลืออยู่ ดังปฏิกิริยาการเผาไหม้



4.2.2 บรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing) เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ ในเตาเผาใช้ออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่ดังปฏิกิริยาการเผาไหม้



4.2.3 บรรยายภาคนิวทรัล (Neutral Firing) เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่เลยเป็นการเผาไหม้ที่พอดี ดังปฏิกิริยาการเผาไหม้นี้



ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง เพราะเป็นเตาที่สามารถควบคุมการเผาในบรรยากาศออกซิเดชันได้ดีที่สุด สามารถตั้งโปรแกรมการเผาด้วยระบบคอมพิวเตอร์

5. การเผาซินเตอร์ริง

การซินเตอร์ริง เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคในผลิตภัณฑ์ติดกันแน่น และมีความแข็งแรงในระดับที่ใช้งานได้ โดยใช้กระบวนการความร้อน หรือการทำให้อนุภาคเกาะติดกันเป็นก้อนแข็ง (Aggregate) สิ่งสำคัญในกระบวนการนี้ คือ ทำอย่างไรจึงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด คือให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสุดแต่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ เพื่อช่วยในการประหยัดที่สุดเพื่อลดต้นทุน

ในการซินเตอร์ริงจะเป็นกระบวนการจัดสารอินทรีย์ (Organic Materials) สารอนินทรีย์ (Inorganic Materials) หรือสารโพลิเมอร์ที่ผสมอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ (Polymer Compound) สารดังกล่าวนี้จะเกิดการสลายตัวหายไปเมื่อได้รับอุณหภูมิระดับหนึ่ง โดยเฉพาะพวกโพลิเมอร์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในขณะนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดออกไซด์พวกไฮโดรเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนิล กรู๊ปนอกจากนั้นอนุภาคนขนาดใหญ่ (Macromolecules) จะถูกสลายตัวลดลง (Decomposed) และน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) จะลดลงในสภาวะออกซิเดชัน เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้จุดเดือดจะเกิดการระเหย (Vaporize) ของออกไซด์และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ทำให้น้ำหนักของชิ้นงานลดลงไปอีก แต่ถ้าวการเผากระทำในบรรยากาศที่เป็น สุญญากาศหรือในแก๊สเฉื่อยที่ไม่มีออกซิเจนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อนุภาคนขนาดใหญ่ในชิ้นงานเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง และบางส่วนกลายเป็นไอ (สุรศักดิ์ โกสียพันธ์, 2536 : 36 อ้างจาก Tomotsu Veyama Hiroshi Wada, 1980)

การซินเตอร์ริงจึงจัดเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หลังการเผา เพราะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการจัดเรียงอนุภาคของเม็ดวัสดุภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ด้วย

6. การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ

การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ มีความสำคัญมากในการผลิตผลิตภัณฑ์ และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน และเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการรับรองคุณภาพและแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยที่คุณสมบัติยังคงสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์

และทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้มีความละเอียดมาก ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นโดยทั่วไปจะวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ โดยการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางเคมีจะวิเคราะห์ตั้งแต่เป็นผงวัตถุดิบไปจนถึงเป็นผลิตภัณฑ์ การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางเคมีจำเป็นต้องศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องใช้ X – Ray Diffraction ตรวจสอบขนาดและการกระจายขนาดของของวัตถุดิบที่ใช้ Particle Size Distribution และการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ซึ่งเครื่องมือใช้เป็นเครื่องมือที่ซับซ้อนและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือเป็นผู้ทดสอบ ส่วนการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพนั้นสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่

6.1 การหัดวัดเชิงปริมาตร

เนื่องจากการหัดวัดมีผลต่อขนาด และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ หากเราทราบปริมาณการหัดวัดของผลิตภัณฑ์จะทำให้เราสามารถกำหนดขนาดที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ได้ และถ้าผลิตภัณฑ์หัดวัดมากเกินไป อาจทำให้เกิดการแตก ไก่งอ และบดเบี้ยวได้ ในการทดสอบหาการหัดวัดมีทั้งแบบการหัดวัดเชิงปริมาตร และการหัดวัดเชิงเส้น ผู้วิจัยเลือกการหัดวัดเชิงปริมาตรในการทดสอบผลิตภัณฑ์ โดยสามารถทดสอบได้ดังนี้ (ประจักษ์ สาส์สิทธิ์, 2543 : 43)

วิธีการหาค่าการหัดวัด

6.1.1 นำชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปโดยวิธีการอัดไปแช่ในน้ำมันก๊าด เพื่อป้องกันไม่ให้แห้งทดสอบละลาย

6.1.2 นำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักเปียก Sw (Saturated Wet Weight)

6.1.3 ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบอีกครั้งในน้ำมันก๊าด โดยต้องชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ลอยอยู่ในน้ำมันก๊าด (ใช้เชือกมัดและแขวนไว้) บันทึกน้ำหนักเป็นน้ำหนักปรากฏ Ws1 (Suspended Weight)

6.1.4 คำนวณหาปริมาตรของชิ้นตัวอย่างหลังขึ้นรูป บันทึกเป็นปริมาตรเปียก Vw (Wet Volume) จากสูตร

$$Vw = \frac{Sw - Ws1}{D}$$

โดย D คือความถ่วงจำเพาะของน้ำมันก๊าด = 0.9

6.1.5 อบชิ้นทดสอบให้แห้งสนิท ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 6.1.1 – 6.1.3 นำผลการคำนวณหาปริมาตรของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง V_d (Dry Volume) จากสูตร

$$V_d = \frac{S_d - W_{s2}}{D}$$

โดย S_d คือ น้ำหนักแห้งทดสอบแห้งที่อุณหภูมิด้วยน้ำมันก๊าด

W_{s2} คือ น้ำหนักที่ชั่งในน้ำมันก๊าดของแห้งทดสอบแห้งที่อุณหภูมิด้วยน้ำมันก๊าด

6.1.6 นำชิ้นทดสอบไปเผาในอุณหภูมิการใช้งาน หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกค่าเป็น W_f (Fired Weight) แล้วจึงนำชิ้นทดสอบไปดัม และระหว่างการดัมชิ้นทดสอบจะต้องจมอยู่ในน้ำเสมอ

6.1.7 นำชิ้นทดสอบมาแช่ให้แห้งด้วยผ้าชื้น นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกค่าเป็นน้ำหนักเปียก S_f (Saturated Fired Weight)

6.1.8 นำชิ้นทดสอบเดียวกันมาชั่งน้ำหนักในน้ำบันทึกค่าเป็นค่าน้ำหนักปรากฏ W_{s3}

6.1.9 คำนวณหาปริมาตรของแห้งทดสอบหลังเผา V_f (Fire Volume) จากสูตร

$$V_f = \frac{W_f}{S_f - W_{s3}}$$

6.1.10 คำนวณหาร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรจากสูตร

$$\text{ร้อยละการหดตัวเมื่อแห้ง} = \frac{V_w - V_d}{V_w} \times 100$$

(% Drying Volume Shrinkage)

$$\text{ร้อยละการหดตัวหลังเผา} = \frac{V_d - V_f}{V_d} \times 100$$

(% Firing Volume Shrinkage)

$$\text{ร้อยละการหดตัวรวม} = \frac{V_w - V_f}{V_w} \times 100$$

(% Total Volume Shrinkage)

โดยในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณหาการหดตัวหลังเผาเชิงปริมาตรเท่านั้น

6.2 ความแข็ง

เมื่อต้องการหาค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นทดสอบว่ามีค่าเท่าใด สามารถเปรียบเทียบกับสเกลความแข็งของโมห์ (Mohr's Scale of Hardness) กำหนดไว้ 10 อันดับ ตั้งแต่ค่าอ่อนที่สุดจนถึงแข็งที่สุด ซึ่งอันดับความแข็งของโมห์ (Singer, 1963 : 351) แสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ค่าความแข็งระบบโมห์สเกล

ระดับความแข็ง	แร่
1	Talc
2	Gypsum
3	Calcspars
4	Fluorspar
5	Apatite
6	Feldspar
7	Quartz
8	Topaz
9	Corundum
10	Diamond

(ที่มา : Singer, 1963 : 351)

วิธีการทดสอบความแข็ง นำแร่มาตรฐานมาขีดชิ้นทดสอบ ถ้าชิ้นทดสอบเป็นรอย แสดงว่าชิ้นทดสอบอ่อนกว่า และตรงกันข้ามถ้าชิ้นทดสอบมีผงแร่มาตรฐานติดอยู่ และชิ้นทดสอบไม่มีรอยขีดแสดงว่าชิ้นทดสอบแข็งกว่า

โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งอย่างน้อยเท่ากับ 7 ตามเกณฑ์มาตรฐานของโมห์

6.3 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำสามารถบอกให้ทราบว่า ชิ้นทดสอบ และผลิตภัณฑ์เผาถึงจุดสกตัวหรือไม่ หากเนื้อมีความพรุนตัวมากจะดูดซึมน้ำได้มาก และถ้าเนื้อมีความพรุนตัวน้อยจะดูดซึมน้ำได้น้อย สำคัญอย่างยิ่งถ้าผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องโดยตรง หรือสัมผัสกับน้ำเสมอต้องไม่ควรมีการดูดซึมน้ำ

วิธีการหาค่าการดูดซึมน้ำ

6.3.1 นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาตามอุณหภูมิที่กำหนดแล้วมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกไว้

6.3.2 นำชิ้นทดสอบไปต้มในน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำเดือดจึงเริ่มจับเวลา แล้วต้มในน้ำเดือดต่อไปอีก 2 ชั่วโมง และทิ้งชิ้นสอบไว้ในหม้อต้มอีก 24 ชั่วโมง โดยน้ำต้องท่วมชิ้นทดสอบตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มต้ม

6.3.3 นำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักออกด้วยผ้าชื้น ชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้และนำมาคำนวณด้วยสูตร (Rhodes, 1972 : 200) ดังนี้

$$A = \frac{W - D}{D} \times 100$$

โดย A	คือ ร้อยละการดูดซึมน้ำ
W	คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบที่ผ่านการต้มจนอิ่มตัว
D	คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบที่แห้ง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้ชิ้นทดสอบ และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 0

6.4 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นมีความสำคัญอย่างยิ่งในเรื่อง ของการผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับงานด้านการบดย่อยวัตถุดิบ ยิ่งผลิตภัณฑ์ชิ้นนั้นมีความหนาแน่นสูงย่อมทำให้สามารถบดวัตถุดิบได้ละเอียด และใช้เวลาในการบดสั้นขึ้น การทดสอบความหนาแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาสามารถทดสอบได้ดังนี้

6.4.1 นำชิ้นทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้

6.4.2 นำชิ้นทดสอบไปต้มในหม้อต้มอัดความดันนาน 2 – 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นแช่น้ำไว้นาน 24 ชั่วโมง

6.4.3 นำชิ้นทดสอบจากข้อ 6.4.2 ไปชั่งน้ำหนักในน้ำ (หาปริมาตร) จดบันทึก แล้วนำไปคำนวณตามสูตร (Singer, 1974 : 342) ดังนี้

$$D = \frac{M}{V}$$

โดย D	คือ ความหนาแน่น (g/cm ³)
M	คือ น้ำหนักแห้งชิ้นทดสอบ (g)
V	คือ ปริมาตรชิ้นทดสอบ (cm ³)

6.5 ความทนต่อการขัดสี

การทดสอบความทนต่อการขัดสีของวัสดุสำหรับบดขยี้วัตถุดิบเซรามิกส์ ทำให้เราสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์สามารถทนต่อการขัดสีได้สูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพสูง และถ้าหากผลิตภัณฑ์สามารถทนต่อการขัดสีได้น้อยแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพน้อย ซึ่งมีผลต่อการเจือปนของสารและวัตถุดิบต่าง ๆ ในขณะบดวัตถุดิบ โดยการทดสอบความทนต่อการขัดสีสามารถทดสอบได้ดังนี้

6.5.1 นำผลิตภัณฑ์ไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

6.5.2 นำหม้อบดบรรจุวัตถุดิบ และนำไปทดลองบดนาน 5 ชั่วโมง

6.5.3 นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบดแล้วไปทำความสะอาด ทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ นำไปคำนวณตามสูตร (สุรศักดิ์ โกสีย์พันธ์, 2536 : 48) ดังนี้

$$A = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

โดย A	คือ ร้อยละความทนต่อการขัดสี
M1	คือ น้ำหนักก่อนทดสอบ
M2	คือ น้ำหนักหลังทดสอบ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ

สุมาลี ลิขิตวานิชกุล (ม.ป.ป. : 1 – 5) ได้วิจัยผลิตภัณฑ์สำหรับรองรับตัวอย่างน้ำหนักเหล็ก (High Temperature Boat) เพื่อทำการทดสอบหาปริมาณคาร์บอน และซิลเฟอร์ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อควบคุมคุณภาพเหล็กที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเตรียมจากดินขาวระนอง หินเขียวหนุมาน และเซอร์โคเนียมซิลิเกต เเผาในระดับอุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์มีการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 3 สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉียบพลันที่ระดับอุณหภูมิ 1,000 – 1,300 องศาเซลเซียส ได้ และสามารถทนต่อการกัดกร่อนของ Slag ที่อุณหภูมิ 1,100 – 1,300 องศาเซลเซียส

จิตรภา ปั่นเพ็ง (2546 : บทคัดย่อ) ได้ผลิตหม้อบดเนื้อเซอร์คอนสำหรับเครื่องบดความเร็วสูง จากอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซiliket โดยใช้พัลส์และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารช่วยลดอุณหภูมิ ซึ่งมีปริมาณแปรเปลี่ยนไปตามส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซiliket โดยสารช่วยลดอุณหภูมินี้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.50 – 5.00 และใช้โซเดียมคาร์บอเนต เมททิลเซลลูโลส เป็นสารช่วยยึดเกาะ ขึ้นรูปหม้อบดด้วยวิธีการหล่อแบบ เฝ้าที่อุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศเผาไหม้สมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมที่สามารถผลิตหม้อบดเนื้อเซอร์คอนได้ดี ประกอบไปด้วยวัตถุดิบ และสมบัติทางกายภาพดังนี้

เซอร์โคเนียมซiliket	ร้อยละ	99.50
สารช่วยลดอุณหภูมิ	ร้อยละ	0.50
ความแข็งแรง		335.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ความแข็ง(ตามมาตรฐานของโมล์)		8
การดูดซึมน้ำ		0
ความหนาแน่น		4.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความทนต่อการขัดสี		สูงมาก

ศิริมา เอมวงษ์ (2546 : บทคัดย่อ) ได้ผลิตลูกบดเนื้อเซอร์คอนพอร์สเลนใช้สำหรับผลิตลูกบดเซรามิกส์โดยใช้เซอร์โคเนียมซiliket ดินเหนียวแม่แสน และสารช่วยลดอุณหภูมิ เป็นส่วนผสม ขึ้นรูปลูกบดด้วยวิธีการอัดระบบไฮดรอลิก เฝ้าที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศเผาไหม้สมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมที่สามารถผลิตลูกบดเนื้อเซอร์คอนพอร์สเลนได้ดี ประกอบไปด้วยวัตถุดิบ และสมบัติทางกายภาพดังนี้

เซอร์โคเนียมซiliket	ร้อยละ	60.00
ดินเหนียวแม่แสน	ร้อยละ	10.00
สารช่วยลดอุณหภูมิ	ร้อยละ	30.00
การหดตัว	ร้อยละ	42.13
ความหนาแน่น		3.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความแข็ง(ตามมาตรฐานของโมล์)		7.5
การดูดซึมน้ำ		0
ความทนต่อการสึกกร่อน		สูงมาก

2. งานวิจัยต่างประเทศ

ซิงเกอร์ (Singer, 1963 : 202) ได้ทดลองหาอัตราส่วนผสมของเนื้อเซอร์คอนพอร์สเลนที่เผาในระดับอุณหภูมิ 1,250 – 1,300 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนของเนื้อเซอร์คอนพอร์สเลนที่ใช้ได้ผลดีมีอัตราส่วนผสมดังนี้

ดินเหนียว	ร้อยละ	18.52
เซอร์โคเนียมซิลิเกต	ร้อยละ	59.25
แคลเซียมเซอร์โคเนียมซิลิเกต	ร้อยละ	7.41
แมกนีเซียมเซอร์โคเนียมซิลิเกต	ร้อยละ	7.41
แบเรียมเซอร์โคเนียมซิลิเกต	ร้อยละ	7.41

บริษัท ลีส์ (RETSCH GmbH & Co.KG, 1995) ได้วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีทางกายภาพของหม้อบดเนื้อเซอร์โคเนียที่ใช้ในเครื่องบดความเร็วสูง มีส่วนประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

เซอร์โคเนียมออกไซด์	ร้อยละ	97.00
แมกนีเซียมออกไซด์	ร้อยละ	1.40
แคลเซียมออกไซด์	ร้อยละ	1.40
ซิลิกาออกไซด์	ร้อยละ	0.17
เหล็กออกไซด์	ร้อยละ	0.03
ความแข็ง(ตามมาตรฐานของโมส์)		8

บทที่ 3

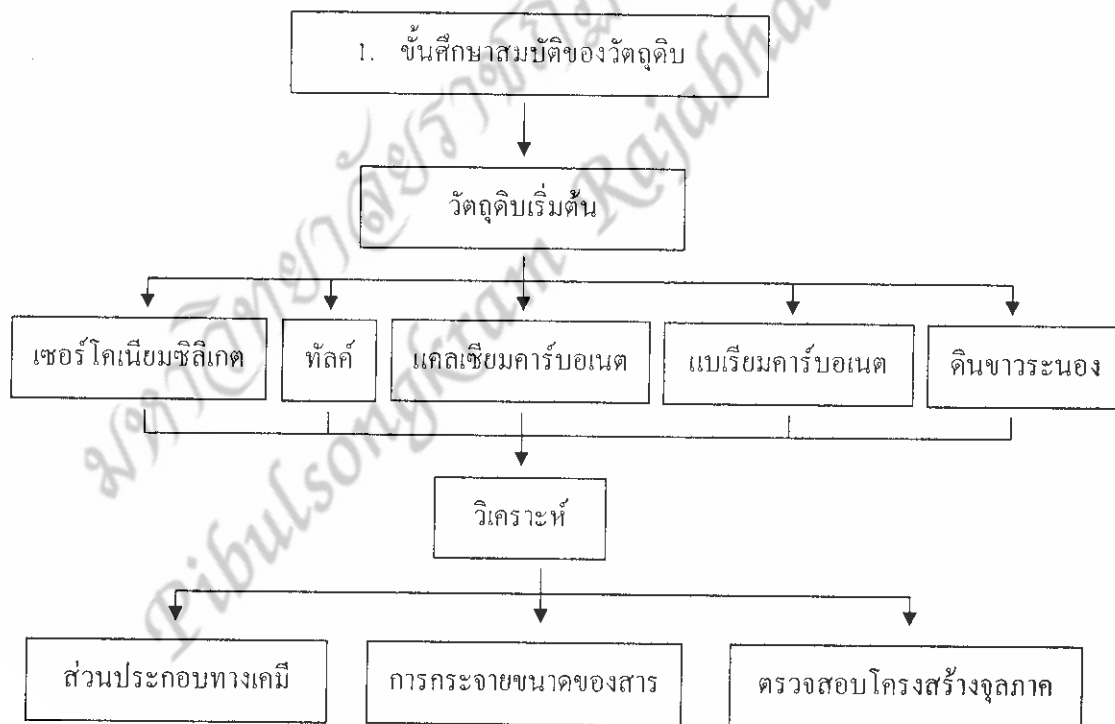
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ผู้วิจัยได้กำหนดการวิจัยดังรายละเอียดต่าง ๆ ตามหัวข้อดังนี้

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ แสดงรายละเอียดในภาพ 3.1



ภาพ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

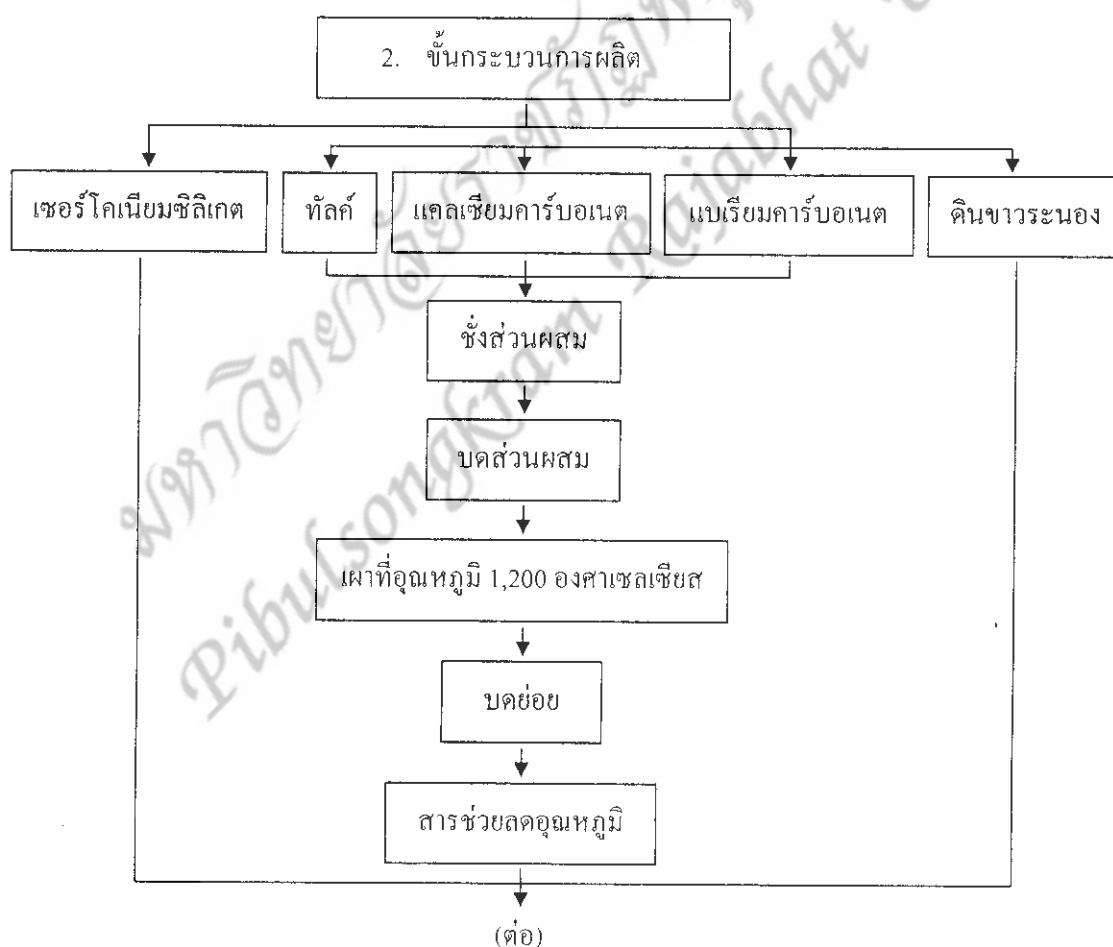
จากภาพ 3.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบถูกต้องที่จะนำมาใช้ในการวิจัยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควรมีการวิเคราะห์ให้ละเอียดอีกครั้ง หรือต้องการทราบข้อมูลบางอย่างเพิ่มเติมเพื่อประโยชน์ในการวิจัย โดยการนำผงเซอร์โคเนียมซิลิเกต ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต และดินขาวระนอง ศึกษาขั้นตอนดังนี้

- 1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)
- 1.2 วิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคของวัตถุดิบ
- 1.3 ศึกษาลักษณะและการกระจายขนาดของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

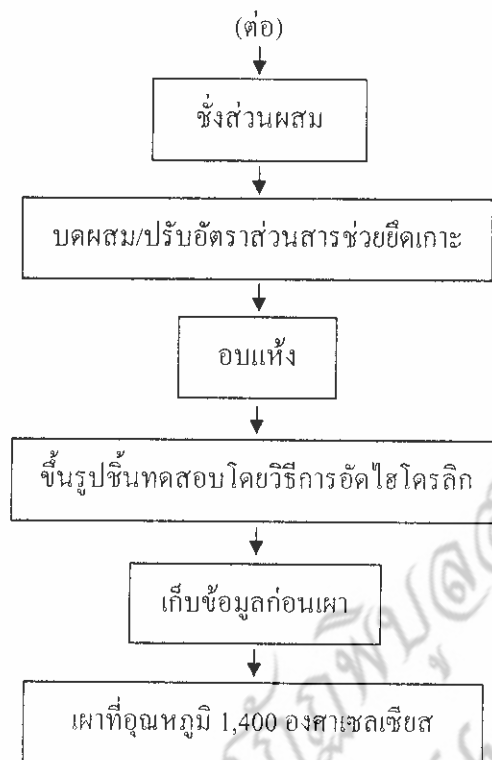
แบบส่องกราด (SEM)

ในขั้นการศึกษาสมบัติของวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนผู้ใช้เครื่องมือต้องมีความชำนาญเป็นอย่างมาก จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องส่งวัตถุดิบเข้าทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

2. ขั้นตอนกระบวนการผลิต แสดงรายละเอียดในภาพ 3.2



ภาพ 3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิต



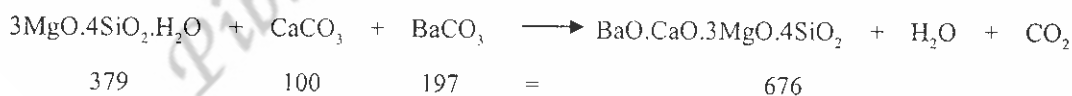
ภาพ 3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิต (ต่อ)

จากภาพ 3.2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

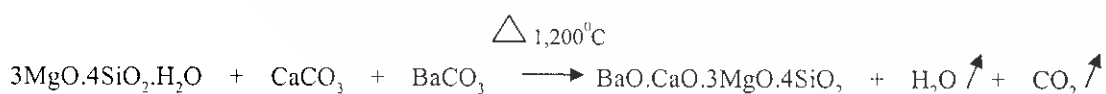
2.1 เตรียมวัตถุดิบที่จะใช้ในการวิจัย คือ

2.1.1 เซอร์โคเนียมซิลิเกต

2.1.2 สารช่วยลดอุณหภูมิใน Zircon Body เตรียมได้จาก ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนตและแบเรียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 โมล คือ ทัลค์ : แคลเซียมคาร์บอเนต : แบเรียมคาร์บอเนต โดยการคำนวณตามค่าน้ำหนักโมเลกุลของสารเป็นดังนี้



จากนั้นนำสารที่ชั่งจากอัตราส่วน 1 : 1 : 1 โมล ไปบดผสมเพื่อให้สารเข้ากันได้ดีแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ดังแสดงในสมการ



นำสารที่ผ่านการเผามาบดให้ละเอียด ซึ่งสารที่ได้ภายหลังจากการเผาคือสารประกอบ $\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$

2.2 ชั่งวัตถุดิบที่ได้จากการกำหนดบนแกนเส้นตรง จำนวน 20 อัตราส่วนผสม ปรับอัตราส่วนสารช่วยยึดเกาะ คือ โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส ร้อยละ 0.2 และเพิ่มเติมดินขาว ระบายร้อยละ 5 ในทุกอัตราส่วนผสม บดผสมกับน้ำกลั่น

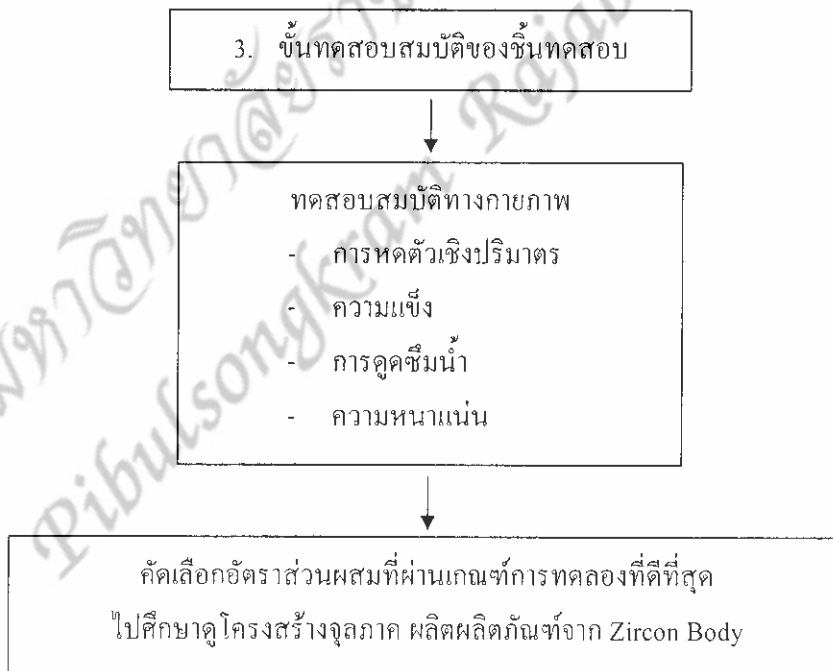
2.3 นำวัตถุดิบที่บดแล้วทำให้แห้ง และนำเข้าเตาอบอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.4 นำส่วนผสมไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ ขนาด 1.5×1.5 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ด้วยแรงอัด 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.5 นำชิ้นทดสอบเก็บข้อมูลก่อนการเผา ได้แก่ ชั่งน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักในน้ำมันก๊าด และชั่งน้ำหนักโดยแขวนไว้ในน้ำมันก๊าด

2.6 นำชิ้นทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศเผาไหมแบบสมบูรณ์ โดยเผาแ่งที่ไว้ที่อุณหภูมิสูงสุดนาน 30 นาที

3. ชิ้นทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ แสดงรายละเอียดในภาพ 3.3



ภาพ 3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ

จากภาพ 3.3 สามารถอธิบายได้ คือ ตรวจสอบสมบัติของ Zircon Body ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศเผาใหม่แบบสมบูรณ์ ดังนี้

- 3.1 การหดตัวเชิงปริมาตร
- 3.2 ความแข็ง
- 3.3 การดูดซึมน้ำ
- 3.4 ความหนาแน่น

หลังจากตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ของ Zircon Body แล้ว จะทำให้ทราบว่าอัตราส่วนผสมใดที่เหมาะสมต่อการผลิต ผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ จาก Zircon Body มากที่สุด แล้วจึงนำชิ้นทดสอบนั้นไปถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อที่จะศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบเกี่ยวกับขนาดของเกรน การเชื่อมต่อของขอบเกรน รูพรุน การเรียงตัวและการกระจายของเกรน หลังจากนั้นจึงนำอัตราส่วนผสมนั้นมาผลิต ผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ จาก Zircon Body ต่อไป

4. ชิ้นทดลองใช้ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body แสดงรายละเอียดในภาพ 3.4



ภาพ 3.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body

จากภาพ 3.4 สามารถอธิบายได้ คือ นำผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์จาก Zircon Body ที่ผลิตขึ้นไปทดสอบหาความทนต่อการขัดสี และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย

3.2 วัสดุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุดิบ และสารเคมีสำหรับใช้ในการวิจัย ดังนี้

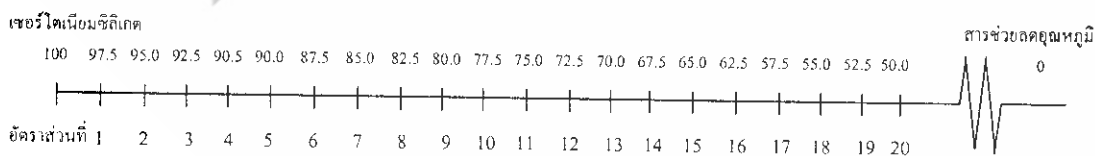
ตาราง 3.1 วัสดุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	วัสดุดิบ	แหล่งที่มา
1.	เซอร์โคเนียมซิลิเกต	บริษัท ยงไทย จำกัด
2.	ทัลค์	บริษัท พุนทรัพย์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด
3.	แคลเซียมคาร์บอเนต	บริษัท พุนทรัพย์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด
4.	แบเรียมคาร์บอเนต	บริษัท พุนทรัพย์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด
5.	ดินขาวระนอง	บริษัท เอ็ม อา ดี จำกัด
6.	โซเดียม คาร์บอเนต เมทิล เซลลูโลส	บริษัท เซรามิกส์เคมีคอนรีเฟลทอรี่ จำกัด
7.	น้ำกลั่น	-

3.3 กลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้มีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่เป็นส่วนผสมของ Zircon Body ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงโดยการผสมวัตถุดิบสองชนิดเข้าหากันบนแกนเส้นตรง โดยแบ่งเป็นช่วง ช่วงละ 2.5 กำหนดให้เซอร์โคเนียม ซิลิเกตอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 97.5 และสารช่วยลดอุณหภูมิที่เตรียมได้จาก ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนต มีปริมาณแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซิลิเกต ได้ทั้งสิ้น 20 อัตราส่วนผสม โดยเพิ่มเติมดินขาวระนอง ร้อยละ 5 และเพิ่มเติมโซเดียม คาร์บอเนต เมทิล เซลลูโลส ร้อยละ 0.2 ทุกอัตราส่วนผสม เมื่อรวมอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบแล้ว จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ดังแสดงในภาพ 3.5 และตาราง 3.2



ภาพ 3.5 การผสมวัตถุดิบสองชนิดเข้าหากันบนแกนเส้นตรง แสดงอัตราส่วนผสมแต่ละจุดของ Zircon Body

ตาราง 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างเซอร์โคเนียมซิลิเกต กับสารช่วยลดอุณหภูมิของ Zircon Body

อัตราส่วนผสมที่	เซอร์โคเนียมซิลิเกต	สารช่วยลดอุณหภูมิ	รวม
1	97.5	2.5	100
2	95.0	5.0	100
3	92.5	7.5	100
4	90.0	10.0	100
5	87.5	12.5	100
6	85.5	15.0	100
7	82.5	17.5	100
8	80.0	20.0	100
9	77.5	22.5	100
10	75.0	25.0	100
11	72.5	27.5	100
12	70.0	30.0	100
13	67.5	32.5	100
14	65.0	35.0	100
15	62.5	37.5	100
16	60.0	40.0	100
17	57.5	42.5	100
18	55.0	45.0	100
19	52.5	47.4	100
20	50.0	50.0	100

2. กลุ่มตัวอย่างของสารช่วยลดอุณหภูมิได้จากการกำหนดสมการเคมีที่มี หัตถ์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 1:1:1 โมล โดยใช้น้ำหนักโมเลกุลของสารในการคำนวณ และนำค่าที่ได้จากการคำนวณตามอัตราส่วน 1:1:1 โมล มาซึ่งวัตถุดิบ นำไปบดผสมให้เข้ากัน และนำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดให้ละเอียดจะได้สารช่วยลดอุณหภูมิที่มีสูตรทางเคมี คือ $\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$

3.4 ตัวแปรที่ศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปร ดังนี้

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ อัตราส่วนผสมของ Zircon Body โดยกำหนดอัตราส่วนผสมแบบเจาะจงบนแกนเส้นตรง กำหนดให้เซอร์โคเนียมซilikเกตอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 97.5 และสารช่วยลดอุณหภูมิที่เตรียมได้จาก ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนต มีปริมาณแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซilikเกต ได้ทั้งสิ้น 20 อัตราส่วนผสม โดยเพิ่มเติมดินขาวระนอง ร้อยละ 5 และเพิ่มเติมโซเดียม คาร์บอเนต เมททิล เซลลูโลส ร้อยละ 0.2 ทุกอัตราส่วนผสม

2. ตัวแปรตาม ได้แก่ สมบัติทางกายภาพของ Zircon Body คือ

2.1 การหดตัวเชิงปริมาตร

2.2 ความแข็ง

2.3 การดูดซึมน้ำ

2.4 ความหนาแน่น

2.5 ความทนต่อการขัดสี

3.5 เกณฑ์มาตรฐานของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์

เกณฑ์มาตรฐานของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ และค่าที่ต้องการได้จากการวิจัยครั้งนี้ แสดงในตาราง 3.3 ดังนี้

ตาราง 3.3 แสดงเกณฑ์มาตรฐานของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ และค่าที่ต้องการได้จากการวิจัย

สมบัติ	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่ต้องการ
ความแข็ง (ตามมาตรฐานของโมห์)	7 – 8	7 – 8
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	0	0
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	3.7	3.7 – 5.5

(ที่มา : Retsch GmbH & Co.KG, 1995)

3.6 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแสดงในตาราง 3.4 ดังนี้

ตาราง 3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	เครื่องมือ และอุปกรณ์	ที่มา
1	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
2	เครื่องหาขนาดอนุภาคของสาร (Particle Size Distribution)	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
3	เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสาร (X – Ray Fluorescence)	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
4	เตาเผาไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
5	หม้อบดและลูกบดความเร็วสูง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
6	เครื่องชั่งไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
7	ชุดทดสอบค่าความแข็ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
8	เตาอบ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
9	เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยไฮโดรลิก	-
10	แบบพิมพ์โลหะ	-
11	เครื่องมือตกแต่งผลิตภัณฑ์	-
12	อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	-
13	ภาชนะบรรจุวัตถุดิบ	-

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และมีผลการศึกษาแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

4.1 ขั้นศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

การวิจัยทางเซรามิกส์จำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ควบคุมสมบัติและคุณภาพของวัสดุที่จะใช้ เพื่อให้สามารถนำผลการวิจัยไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อย่างเที่ยงตรง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาดังนี้

1. ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

1.1 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเซอร์โคเนียมซิลิเกต จากเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสาร แสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเซอร์โคเนียมซิลิเกต

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
ZrO ₂	60.49
SiO ₂	32.42
HfO ₂	1.01
P ₂ O ₅	0.27
Na ₂ O	0.21
Al ₂ O ₃	0.20
TiO ₂	0.14
Y ₂ O ₃	0.10
Yb ₂ O ₃	<0.01
Fe ₂ O ₃	<0.01
CaO	<0.01
PbO	<0.01

ตาราง 4.1 (ต่อ)

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
LOI	<5.16

จากตาราง 4.1 พบว่าเซอร์โคเนียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีส่วนประกอบของ เซอร์โคเนียมออกไซด์ ร้อยละ 60.49 ซิลิกา ร้อยละ 32.42 แสฟเนียมออกไซด์ ร้อยละ 1.01 ฟอสฟอรัสออกไซด์ ร้อยละ 0.27 โซเดียมออกไซด์ ร้อยละ 0.21 อลูมินา ร้อยละ 0.20 ไทเทเนียมออกไซด์ ร้อยละ 0.14 อิตเทรียมออกไซด์ ร้อยละ 0.10 อิตเทอร์เบียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และตะกั่วออกไซด์ ในแต่ละชนิดน้อยกว่า ร้อยละ 0.01 โดยมีค่าการสูญเสียระหว่างการวิเคราะห์ น้อยกว่าร้อยละ 5.16

1.2 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของทัลค์ จากเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสาร แสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของทัลค์

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
MgO	36.10
SiO ₂	29.36
Fe ₂ O ₃	0.95
CaO	0.36
MnO	0.06
P ₂ O ₅	0.02
SO ₃	<0.01
Cl	<0.01
Al ₂ O ₃	<0.01
CuO	<0.01
WO ₃	<0.01
LOI	<33.15

จากตาราง 4.2 พบว่าทัลค์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีส่วนประกอบของ แมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 36.10 ซิลิกา ร้อยละ 29.36 เฟอริกออกไซด์ ร้อยละ 0.95 แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 0.36 แมงกานีสออกไซด์ ร้อยละ 0.06 ฟอสฟอรัสออกไซด์ ร้อยละ 0.02 กำมะถันออกไซด์ คลอรีน อลูมินา

คอปเปอร์ออกไซด์ และสังกะสีออกไซด์ ในแต่ละชนิดน้อยกว่า ร้อยละ 0.01 โดยมีค่าการสูญเสียระหว่างการวิเคราะห์ น้อยกว่าร้อยละ 33.15

1.3 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสาร แสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ส่วนประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
CaO	73.23
MgO	0.42
SiO ₂	0.38
Al ₂ O ₃	0.16
SrO	0.04
P ₂ O ₅	0.02
SO ₃	0.02
MnO	<0.01
Fe ₂ O ₃	<0.01
Y ₂ O ₃	<0.01
LOI	<25.73

จากตาราง 4.3 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 73.23 แมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 0.42 ซิลิกา ร้อยละ 0.38 อลูมินา ร้อยละ 0.16 สตรอนเชียมออกไซด์ ร้อยละ 0.04 ฟอสฟอรัสออกไซด์ ร้อยละ 0.02 กำมะถันออกไซด์ ร้อยละ 0.02 แมงกานีสออกไซด์ เพอร์ริกออกไซด์ และอิตเทรียมออกไซด์ ในแต่ละชนิดน้อยกว่า ร้อยละ 0.01 โดยมีค่าการสูญเสียระหว่างการวิเคราะห์ น้อยกว่าร้อยละ 25.73

1.4 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของแบเรียมคาร์บอเนต จากเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสาร แสดงในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ส่วนประกอบทางเคมีของแบเรียมคาร์บอเนต

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
BaO	98.06
Na ₂ O	0.89

ตาราง 4.4 (ต่อ)

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
SrO	0.77
SO ₃	0.28
CaO	<0.01
SiO ₂	<0.01
LOI	-

จากตาราง 4.4 พบว่าเบรียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีส่วนประกอบของเบรียมออกไซด์ ร้อยละ 98.06 โซเดียมออกไซด์ ร้อยละ 0.89 สตรอนเชียมออกไซด์ ร้อยละ 0.77 กำมะถันออกไซด์ ร้อยละ 0.28 แคลเซียมออกไซด์ และซิลิกา ในแต่ละชนิดน้อยกว่า ร้อยละ 0.01 โดยไม่มีค่าการสูญเสียระหว่างการวิเคราะห์

1.5 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวระนอง จากเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสาร แสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวระนอง

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
SiO ₂	47.35
Al ₂ O ₃	38.61
K ₂ O	1.26
Fe ₂ O ₃	0.86
SO ₃	0.06
MnO	0.05
Rb ₂ O	0.03
Cl	<0.01
P ₂ O ₅	<0.01
F	<0.01
MgO	<0.01
Na ₂ O	<0.01
TiO ₂	<0.01
CaO	<0.01

ตาราง 4.5 (ต่อ)

สารประกอบ	ค่าที่วัดได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
CuO	<0.01
Y ₂ O ₃	<0.01
ZrO ₂	<0.01
Nb ₂ O ₅	<0.01
WO ₃	<0.01
PbO	<0.01
LOI	<11.78

จากตาราง 4.5 พบว่าดินขาวระนองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีส่วนประกอบของ ซิลิกา ร้อยละ 47.35 อลูมินา ร้อยละ 38.61 โพแทสเซียมออกไซด์ ร้อยละ 1.26 เฟอริกออกไซด์ ร้อยละ 0.86 กำมะถันออกไซด์ ร้อยละ 0.06 แมงกานีสออกไซด์ ร้อยละ 0.05 รูบิเดียมออกไซด์ ร้อยละ 0.03 คลอรีน ฟอสฟอรัสออกไซด์ ฟลูออรีน แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ อิตเทรียมออกไซด์ เซอร์โคเนียมออกไซด์ ไนโอเบียมออกไซด์ ทั้งสเต็มออกไซด์ และตะกั่วออกไซด์ ในแต่ละชนิดน้อยกว่า ร้อยละ 0.01 โดยมีค่าการสูญเสียระหว่างการวิเคราะห์ น้อยกว่า ร้อยละ 11.78

2. ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของวัตถุดิบ

2.1 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของเซอร์โคเนียมซิลิเกต แสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของเซอร์โคเนียมซิลิเกต

ลักษณะการวิเคราะห์	ขนาดเฉลี่ย (μm)
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร	2.02
10 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	0.20
50 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	0.77
90 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	5.03

จากตาราง 4.6 พบว่าเซอร์โคเนียมซิลิเกตมีการกระจายขนาดเฉลี่ย คือ 2.02 ไมโครเมตร โดยที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.20 ไมโครเมตร ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.77 ไมโครเมตร และ ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 5.03 ไมโครเมตร

2.2 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของทลค์ แสดงในตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของทลค์

ลักษณะการวิเคราะห์	ขนาดเฉลี่ย (μm)
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร	15.13
10 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	1.18
50 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	11.20
90 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	34.50

จากตาราง 4.7 พบว่าทลค์มีการกระจายขนาดเฉลี่ย คือ 15.13 ไมโครเมตร โดยที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 1.18 ไมโครเมตร ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 11.20 ไมโครเมตร และ ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 34.50 ไมโครเมตร

2.3 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงในตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของแคลเซียมคาร์บอเนต

ลักษณะการวิเคราะห์	ขนาดเฉลี่ย (μm)
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร	24.18
10 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	0.49
50 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	19.21
90 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	55.76

จากตาราง 4.8 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีการกระจายขนาดเฉลี่ยคือ 24.18 ไมโครเมตร โดยที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.49 ไมโครเมตร ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 19.21 ไมโครเมตร และ ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 55.76 ไมโครเมตร

2.4 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของแบเรียมคาร์บอเนต แสดงในตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของแบเรียมคาร์บอเนต

ลักษณะการวิเคราะห์	ขนาดเฉลี่ย (μm)
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร	6.59
10 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	1.22
50 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	4.75
90 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	14.49

จากตาราง 4.9 พบว่าแบเรียมคาร์บอเนตมีการกระจายขนาดเฉลี่ย คือ 6.59 ไมโครเมตร โดยที่ 10 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 1.22 ไมโครเมตร ที่ 50 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 4.75 ไมโครเมตร และ ที่ 90 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 14.49 ไมโครเมตร

2.5 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของดินขาวระนอง แสดงในตาราง 4.10

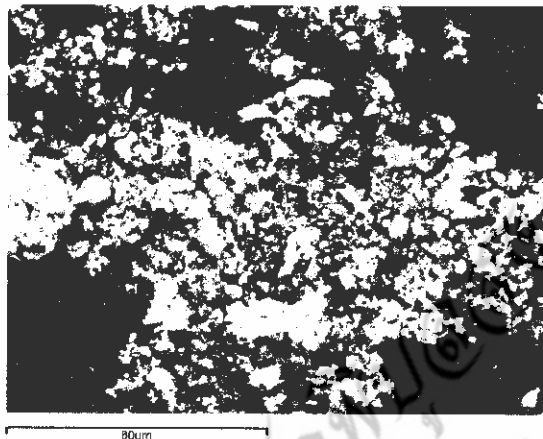
ตาราง 4.10 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของดินขาวระนอง

ลักษณะการวิเคราะห์	ขนาดเฉลี่ย (μm)
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร	13.68
10 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	0.34
50 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	9.69
90 % โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์	32.98

จากตาราง 4.10 พบว่าดินขาวระนองมีการกระจายขนาดเฉลี่ย คือ 13.68 ไมโครเมตร โดยที่ 10 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.34 ไมโครเมตร ที่ 50 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 9.69 ไมโครเมตร และ ที่ 90 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 32.98 ไมโครเมตร

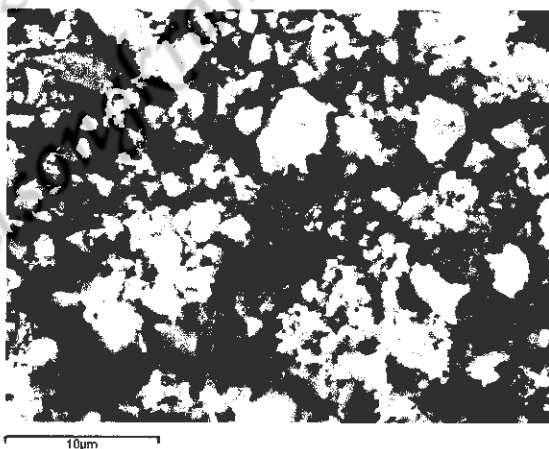
3. ผลการตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของวัสดุดิบ

3.1 การตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของเซอร์โคเนียมซลิเกต จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพ 4.1 และ 4.2



ภาพ 4.1 โครงสร้างจุลภาคของเซอร์โคเนียมซลิเกต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

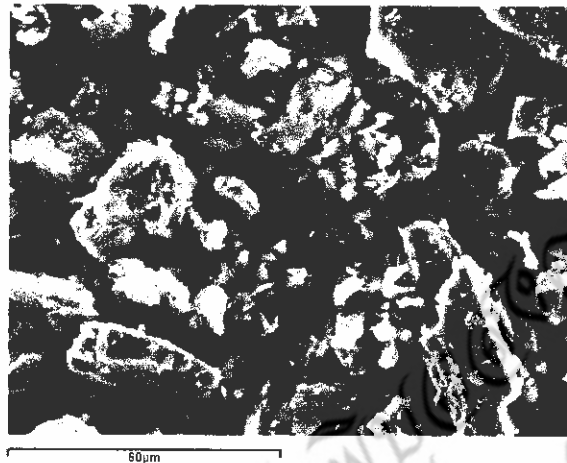
จากภาพ 4.1 พบว่าเซอร์โคเนียมซลิเกต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า มีขนาดปะปนหลายขนาด มีการกระจายขนาดของอนุภาคค่อนข้างดี มีความละเอียดสูง



ภาพ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของเซอร์โคเนียมซลิเกต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

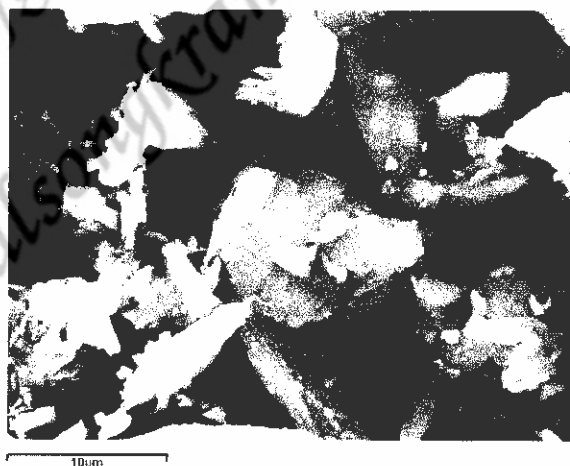
จากภาพ 4.2 พบว่าเซอร์โคเนียมซลิเกต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า มีหลายขนาดกระจายปะปนกันอยู่ โดยขนาดของอนุภาคเล็กสุด เล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร ขนาดสูงสุด 8 ไมโครเมตร โดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงขนาด 0.1 – 2.25 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดของอนุภาคดี

3.2 การตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของทัลค์ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพ 4.3 และ 4.4



ภาพ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของทัลค์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

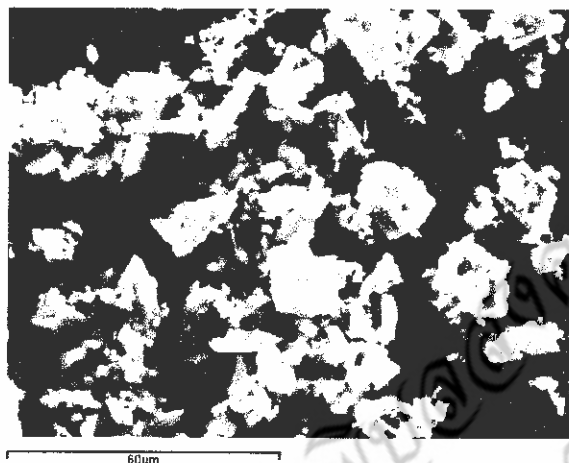
จากภาพ 4.3 พบว่าทัลค์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า มีหลายขนาดปะปนกัน มีการกระจายขนาดของอนุภาคค่อนข้างดี โดยส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 7.5 – 34.5 ไมโครเมตร



ภาพ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของทัลค์ ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

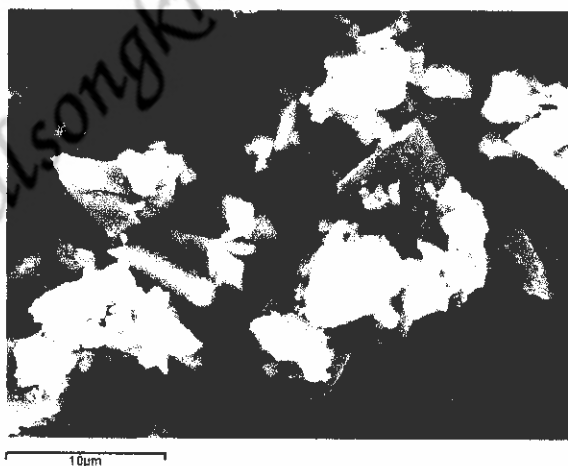
จากภาพ 4.4 พบว่าทัลค์ ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า มีหลายขนาดกระจายปะปนกันอยู่ โดยขนาดของอนุภาคเล็กสุดเล็กกว่า 0.45 ไมโครเมตร ขนาดสูงสุด 14.09 ไมโครเมตร

3.3 การตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพ 4.5 และ 4.6



ภาพ 4.5 โครงสร้างจุลภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

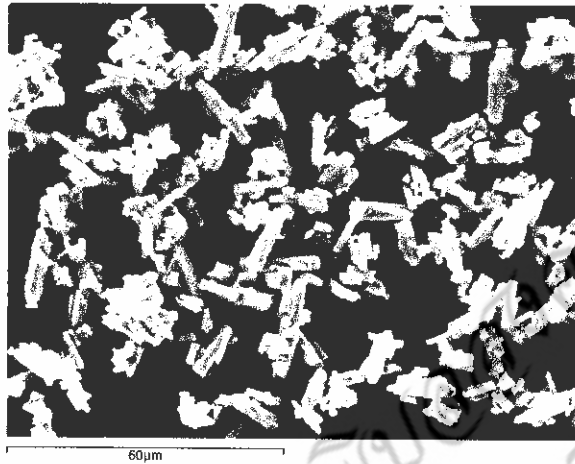
จากภาพ 4.5 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า มีหลายขนาดปะปนกัน มีการกระจายขนาดของอนุภาคค่อนข้างดี โดยส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 4.5 – 25.5 ไมโครเมตร



ภาพ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

จากภาพ 4.6 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า มีหลายขนาดกระจายปะปนกันอยู่ โดยขนาดของอนุภาคเล็กสุด 0.45 ไมโครเมตร ขนาดสูงสุด 11.36 ไมโครเมตร

3.4 การตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของแบเรียมคาร์บอเนต จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพ 4.7 และ 4.8



ภาพ 4.7 โครงสร้างจุลภาคของแบเรียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากภาพ 4.7 พบว่าแบเรียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า มีหลายขนาดปะปนกัน โดยอนุภาคมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกหกเหลี่ยม และมีการกระจายขนาดของอนุภาคค่อนข้างดี



ภาพ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของแบเรียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

จากภาพ 4.8 พบว่าแบเรียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า มีหลายขนาดกระจายปะปนกันอยู่ โดยขนาดของอนุภาคตามยาวเล็กสุด 1.81 ไมโครเมตร ขนาดสูงสุด 17.27 ไมโครเมตร โดยส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคตามยาวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.55 – 13.64 ไมโครเมตร

จากตาราง 4.11 แสดงว่า Zircon Body ทุกอัตราส่วนผสมสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดด้วยไฮโดรลิก เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนผสมที่ผ่านการทดสอบ คือสามารถทนไฟได้โดยไม่เปลี่ยนรูปทรง ทั้งหมด 9 อัตราส่วนผสมได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ซึ่งใน 9 อัตราส่วนผสมนี้สามารถนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพในขั้นทดสอบสมบัติของขั้นทดสอบได้

4.3 ขั้นทดสอบสมบัติของขั้นทดสอบ

จากขั้นกระบวนการผลิต Zircon Body ขึ้นรูปโดยวิธีการอัดแบบ และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มี 9 อัตราส่วนผสมที่สามารถผ่านการทดสอบได้ จึงนำอัตราส่วนผสมนั้นไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ และศึกษาโครงสร้างจุลภาค ได้ผลการทดสอบดังนี้

1. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ แสดงในตาราง 4.12

ตาราง 4.12 สมบัติต่าง ๆ ของขั้นทดสอบ

อัตราส่วนผสม	สมบัติของขั้นทดสอบ			
	การหดตัวเชิงปริมาตร (ร้อยละ)	ความแข็ง (ตามมาตรฐานของโมห์)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)
1	11.36	7.5	0.10	4.34
2	13.63	7.5	0.04	4.29
3	14.54	7.5	0	4.23
4	15.90	7.5	0	4.19
5	18.18	7.5	0	4.09
6	19.09	7	0	3.99
7	20.45	7	0	3.84
8	22.72	6.5	0	3.78
9	24.09	6.5	0	3.76

จากตาราง 4.12 แสดงสมบัติของขั้นทดสอบ ดังนี้

- 1.1 ค่าการหดตัวเชิงปริมาตร จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าการหดตัวเชิงปริมาตรมากที่สุด คือร้อยละ 24.09 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 9 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการหดตัวเชิงปริมาตรน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 11.36 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1

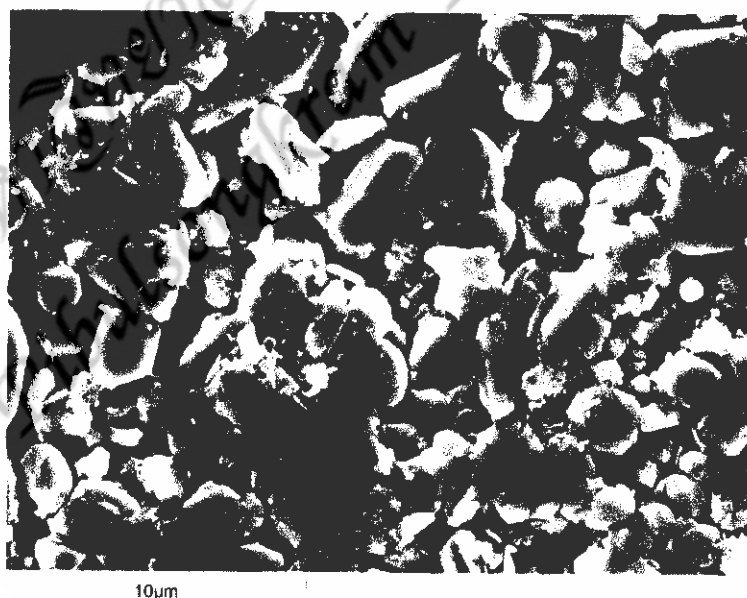
1.2 ค่าความแข็ง อัตราส่วนผสมที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ 7 (ตามมาตรฐานของ โมห์) อยู่ 2 อัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 8 และ 9 ที่เหลือจำนวน 7 อัตราส่วนผสมมีความแข็งแรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7

1.3 ค่าการดูดซึมน้ำ จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.10 ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการดูดซึมนำน้อยที่สุด คือ ไม่มีการดูดซึมน้ำเลย ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 อัตราส่วนผสมที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ อัตราส่วนผสมที่ 1 และ 2

1.4 ค่าความหนาแน่น จากการทดสอบ อัตราส่วนผสมที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ 4.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 1 ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีค่าการความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 3.76 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่อัตราส่วนผสมที่ 9

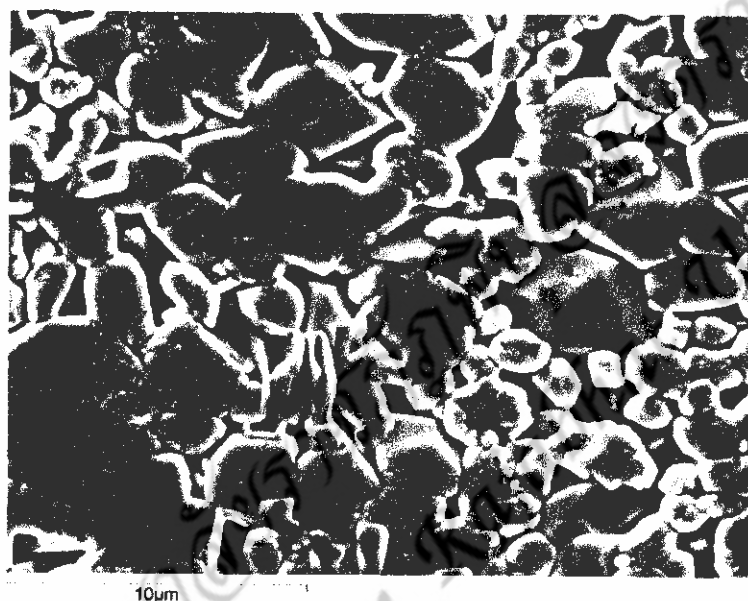
2. ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบ

เลือกชั้นทดสอบที่มีสมบัติที่ดีที่สุด ไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบเกี่ยวกับ ขนาดของเกรน การเชื่อมต่อของขอบเกรน รูพรุน การเรียงตัวและการกระจายของเกรน และนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัสดุดิบเซรามิกส์ จาก Zircon Body ซึ่งผลการตรวจโครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบแสดงดังภาพ 4.11 และ 4.12



ภาพ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบ Zircon Body ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

จากภาพ 4.11 ชิ้นทดสอบถูกกัดผิวด้วยกรดก่อนเคลือบด้วยคาร์บอนเพื่อถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า ในภาพจะเห็นช่องว่างเป็นจำนวนมากเนื่องจากการใช้กรดกัดแก้วที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป สารเคมีตามช่องว่างจึงถูกทำลายออกไป แต่ยังเห็นเม็ดเกรนที่มีขนาดสม่ำเสมอ และมีการกระจายของเกรนที่ดี โดยมีขนาดเฉลี่ย 1 – 2.75 ไมโครเมตร



ภาพ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ Zircon Body ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

จากภาพ 4.12 ชิ้นทดสอบที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า ในภาพจะเห็นช่องว่างน้อยกว่าภาพ 24 เนื่องจากการใช้กรดกัดแก้วที่มีความเข้มข้นน้อยลง สารเคมีตามช่องว่างจึงถูกทำลายออกไปน้อยมาก ทำให้เห็นการเรียงตัว และการเชื่อมต่อของขอบเกรนค่อนข้างดี เม็ดเกรนที่มีขนาดสม่ำเสมอ และมีการกระจายของเกรนที่ดี

4.4 ชิ้นทดลองใช้ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body

ผลการทดสอบความทนต่อการขัดสีปรากฏว่า ผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ จาก Zircon Body ที่ผลิตเป็นลูกบดสำหรับบดวัตถุดิบ มีความทนต่อการขัดสี ร้อยละ 0.05 แสดงว่า ผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ จาก Zircon Body ที่ผลิตขึ้นนั้น มีความทนต่อการขัดสี

ได้ดี เพราะเนื้อของผลิตภัณฑ์มีการสึกกร่อนน้อยมาก จึงสามารถนำผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อย
วัตถุดิบเซรามิกส์ จาก Zircon Body ไปใช้งานด้านเซรามิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเกี่ยวกับการทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ได้ทำการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ สามารถสรุปผลโดยภาพรวม ดังนี้

1. ชั้นศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

1.1 สมบัติของเซอร์โคเนียมซิลิเกต ที่ใช้ในการวิจัยมีส่วนประกอบของเซอร์โคเนียมออกไซด์ ร้อยละ 60.49 และ ซิลิกา ร้อยละ 32.42 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 2.02 ไมโครเมตร มีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.1 – 2.25 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่ดี

1.2 สมบัติของทัลค์ ที่ใช้ในการวิจัยมีส่วนประกอบของซิลิกา ร้อยละ 29.36 และ แมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 36.10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 15.13 ไมโครเมตร มีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 7.5 – 34.5 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่ดี

1.3 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการวิจัยมีส่วนประกอบแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 73.23 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 24.18 ไมโครเมตร มีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4.5 – 25.5 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่ดี

1.4 สมบัติของแบเรียมคาร์บอเนต ที่ใช้ในการวิจัยมีส่วนประกอบ แบเรียมออกไซด์ ร้อยละ 98.06 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 6.59 ไมโครเมตร มีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4.55 – 13.64 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่ดี

1.5 สมบัติของดินขาวระนอง ที่ใช้ในการวิจัยมีส่วนประกอบของ ซิลิกา ร้อยละ 47.35 และอลูมินา ร้อยละ 38.61 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 13.68 ไมโครเมตร มีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2.25 – 34.5 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่ดี

2. ชั้นกระบวนการผลิต

จากการนำเซอร์โคเนียมซิลิเกต และสารช่วยลดอุณหภูมิ ที่เตรียมได้จาก ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนต และปรับอัตราส่วนสารช่วยยึดเกาะ คือ โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล

เซลล์โลส เพิ่มเติมดินขาวระนองในทุกอัตราส่วนผสม จำนวน 20 อัตราส่วนผสม บดผสมกับน้ำกลั่น ทำวัตถุดิบที่บดแล้วให้แห้ง โดยการนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปเป็นชิ้น ทดสอบด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ด้วยแรงอัด 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในทุกอัตราส่วนผสมสามารถขึ้นรูปได้ดี เก็บข้อมูลก่อนการเผา และนำชิ้นทดสอบ เผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศเผา ไหมแบบสมบูรณ์ มี 9 อัตราส่วนผสม คืออัตราส่วนผสมที่ 1 – 9 ที่ผ่านการเผาแล้วไม่เกิดความเสียหาย สามารถนำไปทดสอบในขั้นต่อไปได้

3. ขั้นตอนทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ

1.1 การหาค่าความแข็งแรงปริมาตร จากการทดสอบชิ้นทดสอบ ทั้ง 9 อัตราส่วนผสม ปรากฏว่าชิ้นทดสอบที่มีค่าการหาค่าความแข็งแรงปริมาตรมากที่สุด คือ ร้อยละ 24.09 ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 9 และชิ้นทดสอบที่มีค่าการหาค่าความแข็งแรงปริมาตรน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 11.36 ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1

1.2 ความแข็ง อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ 7 (ตามมาตรฐานของโมห์) มี 7 ส่วนอัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7

1.3 ค่าการดูดซึมน้ำ อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่ดูดซึมน้ำ หรือมีค่าการดูดซึมน้ำเป็น 0 มี 7 ส่วนอัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9

1.4 ค่าความหนาแน่น อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าความหนาแน่น ตั้งแต่ 3.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขึ้นไป มี 9 ส่วนอัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9

1.5 โครงสร้างจุลภาคของ Zircon Body โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า การเชื่อมต่อของขอบเกรนค่อนข้างดี เม็ดเกรนที่มีขนาดสม่ำเสมอ และมีการกระจายของเกรนที่ดี

ดังนั้น ชิ้นทดสอบที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 จึงเลือกอัตราส่วนผสมที่ 3 นำไปผลิตเป็นเครื่องมือสำหรับบดย่อยวัสดุเซรามิกส์ ซึ่งผู้วิจัยเลือกผลิตเป็นลูกบดทรงกระบอก เพื่อใช้สำหรับบดย่อยวัตถุดิบ

4. ขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body

จากการนำ Zircon Body ทดสอบความทนต่อการขัดสีปรากฏว่า ลูกบดทรงกระบอก เพื่อใช้สำหรับบดย่อยวัตถุดิบ จาก Zircon Body มีความทนต่อการขัดสี ร้อยละ 0.05 แสดงว่า Zircon Body ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี

จากสรุปผลการวิจัยข้างต้น สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้ดังนี้ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของ Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัสดุเซรามิกส์ ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส โดยผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 7 อัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ผู้วิจัยจึงเลือกอัตราส่วนผสมที่ 3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด ประกอบด้วย เซอร์โคเนีย

ซิลิกา ร้อยละ 92.50 สารช่วยลดอุณหภูมิ ร้อยละ 7.50 เพิ่มเดิมดินขาวระนอง ร้อยละ 5 มีสมบัติทางกายภาพที่ดีคือ มีการหดตัวเชิงปริมาตร ร้อยละ 14.54 มีความแข็ง 6.5 (ตามมาตรฐานของโมห์) มีค่าการดูดซึมน้ำเป็นศูนย์ มีค่าความหนาแน่น 4.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าความทนต่อการขัดสี ร้อยละ 0.05 สามารถขึ้นรูปและผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับบดย่อยวัสดุเซรามิกส์ ด้วยวิธีการอัดแบบโดยเครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาดแรงอัด 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ได้ดี ซึ่งผู้วิจัยเลือกผลิตผลิตภัณฑ์เป็นลูกบดทรงกระบอก เพื่อใช้สำหรับบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์

5.2 อภิปรายผล

จากการวิจัยเพื่อทดลอง Zircon Body สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ขั้นศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์เซอร์โคเนียมซิลิกา พบว่า มีส่วนประกอบสำคัญ คือ เซอร์โคเนียมออกไซด์ ร้อยละ 60.49 และซิลิกา ร้อยละ 32.42 สอดคล้องกับ ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2541 : 84) กล่าวว่า โดยทั่วไปเซอร์โคเนียมซิลิกา จะพบเซอร์โคเนียมออกไซด์ ร้อยละ 55 – 65 และซิลิกา ร้อยละ 30 และซิลิกาที่วิเคราะห์ได้ยังมีผลใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ทางเคมีของ บริษัท บงไทย จำกัด (ม.ป.ป.) ที่แสดงว่า เซอร์โคเนียมซิลิกา มีซิลิกาอยู่ ร้อยละ 32.50 และมีขนาดเฉลี่ย 2.02 ไมโครเมตร ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียดสูง มีความละเอียดมากกว่าตะแกรง ขนาด 400 เมช จึงจัดเป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียดมากในงานเซรามิกส์ จากการวิเคราะห์ทาลค์ พบว่า มีความละเอียดมากกว่าตะแกรง ขนาด 400 เมช สอดคล้องกับข้อมูลของ บริษัท พุนทรัพย์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (ม.ป.ป.) ที่แจ้งว่า ทาลค์มีความละเอียดมากพอที่จะสามารถผ่านตะแกรงขนาด 325 เมชได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าการสูญเสียระหว่างการวิเคราะห์ น้อยกว่าร้อยละ 33.15 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก อาจเนื่องมาจากการจัดเก็บ เพราะทาลค์มีสมบัติในการดูดความชื้นได้ดี จากการวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนต พบว่า มีขนาดเฉลี่ย 24.18 ไมโครเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลของ บริษัท พุนทรัพย์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (ม.ป.ป.) ที่แจ้งว่า แคลเซียมคาร์บอเนต ต้องมีขนาดเฉลี่ยไม่สูงกว่า 25 ไมโครเมตร จากการวิเคราะห์แบเรียมคาร์บอเนต พบว่า มีแบเรียมออกไซด์ ร้อยละ 98.06 ซึ่งใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ทางเคมีของ บริษัท พุนทรัพย์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (ม.ป.ป.) ที่แสดงว่า มีแบเรียมออกไซด์ ร้อยละ 99.20 และจากการวิเคราะห์ดินขาวระนอง พบว่า มีส่วนประกอบสำคัญ คือ ซิลิกา ร้อยละ 47.35 และอลูมินา ร้อยละ 38.61 ซึ่งใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ทางเคมีของ บริษัท เอ็ม อี ดี จำกัด (ม.ป.ป.) ที่แสดงว่า ดินขาวระนองมี ซิลิกา ร้อยละ 46.80 และอลูมินา ร้อยละ 37.50 และมีขนาดเฉลี่ยตรงตามข้อมูลของบริษัทที่แจ้งไว้

2. ขั้นตอนกระบวนการผลิต

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้การบดผสมวัตถุดิบแบบบดผสมเปียก จึงจำเป็นต้องใช้ สารช่วยกระจายลอยตัวเพื่อพองให้เซอร์โคเนียมซิลิเกต กระจายลอยตัวอยู่ได้และผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นได้ดี ปรีดา พิมพ์ขาวจำ (2539 : 155) กล่าวว่า โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส เป็นสารช่วยพอง เซอร์โคเนียมออกไซด์ให้ลอยตัว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส เนื่องจากจะสามารถช่วยในการกระจายลอยตัว ซึ่งในการทดลองก็ให้ผลดีมาก และยังสามารถช่วยเป็นสารยึดเกาะ ในการขึ้นรูปอีกด้วย โดยชาร์เตอร์ (Chartier and et al. 1995 : 1787) กล่าวว่า สารช่วยกระจายลอยตัวใน น้ำสลิป ปริมาณที่ใช้ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 0.05 – 0.20 สอดคล้องกับการวิจัยนี้ซึ่งใช้สารช่วยกระจายลอยตัว ร้อยละ 0.20 ในการบดวัตถุดิบแบบเปียก

3. ขั้นตอนทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมของ Zircon Body ได้อัตราส่วนผสมที่เลือกใช้เป็นส่วนผสมของการผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับงานบดย่อยวัตถุดิบเซรามิกส์ ประกอบไปด้วยวัตถุดิบดังนี้ เซอร์โคเนียมซิลิเกต ร้อยละ 92.5 สารช่วยลดอุณหภูมิ ร้อยละ 7.5 เพิ่มเติมดินขาวระนอง ร้อยละ 5 มีจุดศูนย์กลางในการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส โดยในการทดลองทั้งหมด 20 อัตราส่วนผสม เมื่อนำไปทดสอบสมบัติ พบว่า ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรมากที่สุด คือ ร้อยละ 24.09 น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 11.36 ค่าความแข็งแรงมากที่สุด คือ 7.5 (ตามมาตรฐานของโมห์) น้อยที่สุด คือ 6.5 (ตามมาตรฐานของโมห์) ค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.10 น้อยที่สุด คือ ไม่มีการดูดซึมน้ำ ค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ 4.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และน้อยที่สุด คือ 3.76 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากข้อมูลดังกล่าวสามารถอภิปรายผลได้ว่า ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรพอสมควรเกิดขึ้นได้เพราะในการขึ้นรูปใช้วิธีการอัดแบบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยไฮดรอลิก แรงอัด 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยมีความชื้นในการขึ้นรูปน้อยมากเนื่องจากเป็นวัตถุดิบผงทำให้ไม่มีน้ำในกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการหดตัว อีกทั้งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีความละเอียดสูง จึงทำให้เกิดการเรียงตัวของอนุภาควัตถุดิบได้ดีและมีรูพรุนขนาดเล็ก ในขณะที่เผาที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดการหดตัว เมื่อผลิตภัณฑ์มี รูพรุนน้อยก็จะทำให้เกิดความหนาแน่นสูงด้วย ซึ่งกุลจิรา สุจิโรจน์ และคณะ (2545 : 41) กล่าวว่า แก๊ส ที่ถูกกักอยู่ในรูพรุนปิดจะเป็นตัวจำกัดการหดตัวของรูพรุน ถ้าแก๊สนั้นไม่สามารถละลายสู่ขอบเกรน และแพร่ออกจากรูพรุนได้ การขยายตัวของเกรนก็จะถูกยับยั้งได้ถ้ามีการเติมสารเติมที่ที่เหมาะสม จากข้อความนี้จึงแสดงว่า หากผลิตภัณฑ์ที่นำไปเผามีรูพรุนแบบปิด และแก๊สในรูพรุนไม่ละลายออกไปจะทำให้เกิดการหดตัวน้อย และมีขนาดของเกรนที่เหมาะสม โดยลักษณะนี้สามารถมองภาพได้จากการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อที่จะศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ ซึ่งชิ้นทดสอบที่ถ่ายรูปไปมีรูพรุนขนาดเล็ก และมีเกรนที่ไม่ใหญ่อ่างเนื่องจากการเลือกใช้สารช่วยลดอุณหภูมิที่เหมาะสม ส่วนค่าความแข็งที่สูงมากได้ตามมาตรฐานที่กำหนดนั้น

สอดคล้องกับ โกมล รักษ์วงศ์ (2531 : 174) กล่าวว่า เนื้อเซอร์คอน หากผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้มีค่าความแข็งแรงสูง และเมื่อดูความสัมพันธ์ของตัวแปรจะ พบว่า ค่าความแข็งแรงสูงค่าความหนาแน่นก็สูงด้วย ดังนั้นค่าความหนาแน่นของ Zircon Body ที่ได้จากการวิจัยมีค่าที่ค่อนข้างสูงนั้นทำให้สอดคล้องกับ รีด (Reed, 1989 : 261) ที่กล่าวว่า ลูกบดเนื้อเซอร์คอนมีค่าความหนาแน่นอย่างน้อย 3.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรผลการวิจัยครั้งนี้จึงสามารถทดลองอัตราส่วนผสมของ Zircon Body ที่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้

4. ขั้นตอนการใช้จาก Zircon Body

จากการนำผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body ไปทดสอบการขัดสีปรากฏว่า ลูกบดบดวัตถุบดจาก Zircon Body มีความทนต่อการขัดสีที่ดี คือ มีความทนต่อการขัดสี ร้อยละ 0.05 โดยลูกบดบดวัตถุบดมีการสึกกร่อนน้อยมากเพียง 0.04 กรัม สอดคล้องกับ มอก. 38 – 2516 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก กระเบื้องอุตสาหกรรม (2539 : 6) กล่าวไว้ว่า น้ำหนักของเนื้อกระเบื้องที่หายไปหลังการทดสอบการสึกกร่อนต้องไม่เกิน 0.1 กรัม ดังนั้นผลิตภัณฑ์จาก Zircon Body จึงสามารถนำไปใช้งานได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1.1 การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการทดลองอัตราส่วนผสมใหม่อีกครั้ง เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละแหล่งมีสมบัติ และส่วนประกอบของแร่ธาตุต่าง ๆ แตกต่างกัน ผลที่ได้อาจไม่เหมือนกัน

1.2 การนำวัตถุดิบมาใช้ในการวิจัยแต่ละครั้ง ควรมีการควบคุมความชื้นของวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่สามารถรับได้ในการวิจัย

1.3 แบบพิมพ์ที่นำมาใช้ในการขึ้นรูป ต้องมีความแข็งแรงมาก และต้องมีผิวของแบบพิมพ์ที่เรียบมาก ๆ

1.4 การขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์มีหลายวิธี ควรเลือกให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ที่จะผลิตขึ้น

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาวิจัยวัตถุดิบจากแหล่งอื่น ๆ ที่มีภายในประเทศมาทดลองเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต

2.2 ควรศึกษาวิจัยวัตถุดิบชนิดอื่นที่นำมาผลิตสารช่วยลดอุณหภูมิที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับบดย่อยวัสดุเซรามิกส์ จาก Zircon Body

2.3 ควรรศึกษาศารช่วยยืดเกาะ สารช่วยกระจายลอยตัว และสารหล่อลื่นช่วยในการขึ้นรูป หลาย ๆ ชนิดเพื่อให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปชนิดต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บรรณานุกรม

- กรรณิการ์ เศรษฐา และคณะ. (2547). คู่มือการผลิตคู่มือในการอัดแบบ. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- กุลจิรา สุจิโรจน์ และคณะ. (2545). การผลิตเซรามิกส์โดยการอัดแบบ. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- โกมล รักยวงษ์. (2531). วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร.
- _____. (2538). เอกสารคำสอน หน้าเคลือบ 2 (Glazes2) รหัสวิชา 5524501. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร.
- _____. (2538). งานวิจัยเตาเผาและเครื่องปั้นดินเผา เตาเผาแม่น้ำน้อยเพื่อสืบสานและอนุรักษ์ศิลปวัตถุโบราณของจังหวัดสิงห์บุรี. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร.
- คณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, สำนักงาน. (2543). วาระการวิจัยแห่งชาติในวาระวิกฤตเพื่อฟื้นฟูชาติ. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- จิตราภา ปั้นเพ็ง. (2546). การผลิตหม้อดินเคลือบสีสำหรับเครื่องเคลือบความเร็วสูง. กรุงเทพมหานคร : วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันราชภัฏพระนคร.
- เซรามิกส์ อาร์ อัส จำกัด, บริษัท. (ม.ป.ป.). ผลวิเคราะห์ทางเคมี. กรุงเทพมหานคร.
- คณัฏ อายพงษ์. (2540). เอกสารการฝึกอบรมเรื่อง การหล่อผลิตภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวี พรหมพฤกษ์. (2532). เครื่องปั้นดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.
- _____. (2525). เตาและการเผา. กรุงเทพมหานคร : จงเจริญการพิมพ์.
- เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ, ศูนย์. (2548). พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์ และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

บัญชา ธนบุญสมบัติ และสุภาภรณ์ คำมณี. (2544). จุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบสแกนนิ่ง **ประตูสู่โลก**
ระดับจุลภาค. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ประจวบฤดี สารสิทธิ์. (2542). **เนื่อดินปั้น 2**. นครศรีธรรมราช : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบัน
ราชภัฏนครศรีธรรมราช.

_____. (2543). **การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ในงานเซรามิกส์**. นครศรีธรรมราช : คณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). **เซรามิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พูนทรัพย์มาร์เกิดตั้ง จำกัด, บริษัท. (ม.ป.ป.). **ผลวิเคราะห์ทางเคมี**. กรุงเทพมหานคร.

ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). **เนื่อดินเซรามิกส์**. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.

ขงไทย จำกัด(มหาชน), บริษัท. (ม.ป.ป.). **ผลวิเคราะห์ทางเคมี**. กรุงเทพมหานคร.

ลดาวลัย โชติมงคล. (2539). “อุตสาหกรรมเซรามิกส์ของไทยในปี ค.ศ. 2000”. **วารสารเซรามิกส์**. 2, (5) :
80 – 83.

_____. (2539 – 2540). “อุตสาหกรรมเซรามิกส์ของไทยในปี ค.ศ. 2000(ต่อ)”. **วารสารเซรามิกส์**. 2,
(5) : 80 – 83.

ศิริมา เอมวงศ์. (2546). **การผลิตลูกบดเซรามิกคอนกรีต**. กรุงเทพมหานคร : วิทยานิพนธ์ปริญญา
ศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันราชภัฏพระนคร.

ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ. (2538). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซรามิกส์**. กรม
ส่งเสริมอุตสาหกรรม.

สมนึก ศิริสุนทร และกุลจิรา สุจิโรจน์. (2539). “เซรามิกส์แนวใหม่ : บทเรียนและความสำเร็จ”. **วารสาร**
เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีและวัสดุ. (4) : 70 – 73.

สมนึก ศิริสุนทร. (2542 – 2543). “เทคโนโลยีและศักยภาพการพัฒนาผลิตภัณฑ์อลูมินาเซรามิกส์ใน
ประเทศไทย”. **วารสารเซรามิกส์**. 5, (11) : 86 – 89.

สุมาลี ลิขิตวานิชกุล. (ม.ป.ป.). **เอกสารงานวิจัยเรื่อง High Temperature Boat**. กรุงเทพมหานคร :
ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก. กองการวิจัย. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

สุรศักดิ์ โกธิยพันธ์. (2436). **การผลิตแผ่นรองรับอลูมินาสำหรับใช้งานไมโครอิเล็กทรอนิกส์**.
กรุงเทพมหานคร : วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2534). **น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา**. กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพานิช.

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. (2540). **วัสดุศาสตร์มูลฐาน**. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. (2539). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาโมเสก**. พิมพ์ครั้งที่

3. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม.

เอ็ม อาร์ ดี จำกัด, บริษัท. (ม.ป.ป.). **ผลวิเคราะห์ทางเคมี**. กรุงเทพมหานคร.

Musikant, Solomon. (1990). **What every engineer should know about ceramics**. New York.

RETSCH GmbH & Co.KG. (1995). **Guide**. Germany.

Reed, James S. (1989). **Introduction to The Principles of Ceramic Processing**. New York : New York State College of Ceramic Alfred University.

Rhodes, Deniel. (1972). **Clay and Glazer for The Potter**. London : Pitmane Publishing Company.

Koenig C.J.. (1986). "Influence of Particle Size Distribution on The Properties of Nepheline Syenite". **Journal of American Ceramics Society**. 38 (7) : 232.

Thierry Chartier, Marc Ferrato and Jean F. Baumard. (1995). "Supercritical Debinding of Injection Molted Ceramics". **Journal of American Ceramics Society**. 47 (78) : 1789.

Singer, Felix and Sonja S. (1963). **Industrial Ceramics**. London : Champan and Halt Ltd.

_____. (1974). **Industrial Ceramics**. London : Champan and Halt Ltd.

_____. (1978). **Industrial Ceramics**. London : Champan and Halt Ltd.

Worral, W.E.. (1975). **Clay & Ceramic Raw Materials**. Elsevier Applied Science Publishers.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏบึงฉลวย
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก – ก
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิจัย



ภาพ 26 ตัวอย่างลูกบดสำหรับใช้บดวัสดุคิบเซรามิกส์ ขนาด 1.5×1.5 เซนติเมตร
และขนาด 2.0×2.0 เซนติเมตร

ภาคผนวก – ข
ผลวิเคราะห์วัตถุสืบ

MTEC NO.1053/51_3

Report of Analysis

Issued Date : 6 March 2008
Customer : Ms.Jittrapa Jitcharnvichai
 Faculty of Industrial Technology Pibulsongkram
 Rajabhat University Muang Distric pitsanuloke 65000
 Tel: 0 81532 7012, Fax: 0 3628 1020
Serviced by : XRD/XRF X-ray Techniques Laboratory,
 Central Laboratories Section,
 National Metal and Materials Technology Center
Objective of analysis : To determine oxide concentrations in the samples
Date received : 10 January 2008
Date analyzed : 10 - 17 January 2008
Samples : Raw material 5 samples
Identification : 1) CaCO_3
 2) ZrSiO_4
 3) BaCO_3
 4) K Ranong
 5) Talc
Instrument : X-ray fluorescence spectrometer, Philips PW-2404
Test method : X-ray fluorescence spectrometry
Condition : Temperature $25 \pm 5^\circ\text{C}$, Relative humidity $60 \pm 10\%$ R.H.
Sample preparation : Samples were pressed to form pellets
 with 3.2 cm diameter

MTEC NO.1053/51_3

1/3



MTEC
a member of NSTDA

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
 จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

National Metal and Materials Technology Center

National Science and Technology Development Agency
 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.
 Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 <http://www.mtec.or.th>

Results:

Oxide concentrations in the samples as analyzed by X-ray fluorescence technique are shown in Table 1.

Table 1. Oxide concentrations in the samples

Oxide	Concentration (% wt)				
	CaCO ₃	ZrSiO ₄	BaCO ₃	K Ranong	Talc
F	N/D	N/D	N/D	<0.01	N/D
Na ₂ O	N/D	0.21	0.89	<0.01	N/D
MgO	0.42	N/D	N/D	<0.01	36.10
Al ₂ O ₃	0.16	0.20	N/D	38.61	<0.01
SiO ₂	0.38	32.42	<0.01	47.35	29.36
P ₂ O ₅	0.02	0.27	N/D	<0.01	0.02
SO ₃	0.02	N/D	0.28	0.06	<0.01
Cl	N/D	N/D	N/D	<0.01	<0.01
K ₂ O	N/D	N/D	N/D	1.26	N/D
CaO	73.23	<0.01	<0.01	<0.01	0.36
TiO ₂	N/D	0.14	N/D	<0.01	N/D
MnO	<0.01	N/D	N/D	0.05	0.06
Fe ₂ O ₃	<0.01	<0.01	N/D	0.86	0.95
CuO	N/D	N/D	N/D	<0.01	<0.01
Rb ₂ O	N/D	N/D	N/D	0.03	N/D
SrO	0.04	N/D	0.77	N/D	N/D
Y ₂ O ₃	<0.01	0.10	N/D	<0.01	N/D
ZrO ₂	N/D	60.49	N/D	<0.01	N/D
Nb ₂ O ₅	N/D	N/D	N/D	<0.01	N/D
Yb ₂ O ₃	N/D	<0.01	N/D	N/D	N/D
BaO	N/D	N/D	98.06	N/D	N/D
WO ₃	N/D	N/D	N/D	<0.01	<0.01
HfO ₂	N/D	1.01	N/D	N/D	N/D
PbO	N/D	<0.01	N/D	<0.01	N/D
Total	74.27	94.84	100.00	88.22	66.85

- Notes:**
- The total amount of the oxide/elemental contents of the samples in this report being less than 100% can be caused by
 - Limitations of the XRF instrument that could detect elements only between O-U.
 - Zero % porosity cannot be achieved in the samples prepared by the pressed powder method, resulting in the values less than expected.
 - Amount of each element/oxide reported in BaCO₃ sample is normalized to the total value of 100%.
 - Detection limit of the technique used is 0.01 wt% unless otherwise specified.
 - N/D = Not detectable.

Opinion:-

Attached pages:

- Attached pages 1.1-1.2: Spectra of CaCO_3 .
- Attached pages 2.1-2.2: Spectra of ZrSiO_4 .
- Attached pages 3.1-3.2: Spectra of BaCO_3 .
- Attached pages 4.1-4.2: Spectra of K Ranong.
- Attached pages 5.1-5.2: Spectra of Talc.

Work performed by:

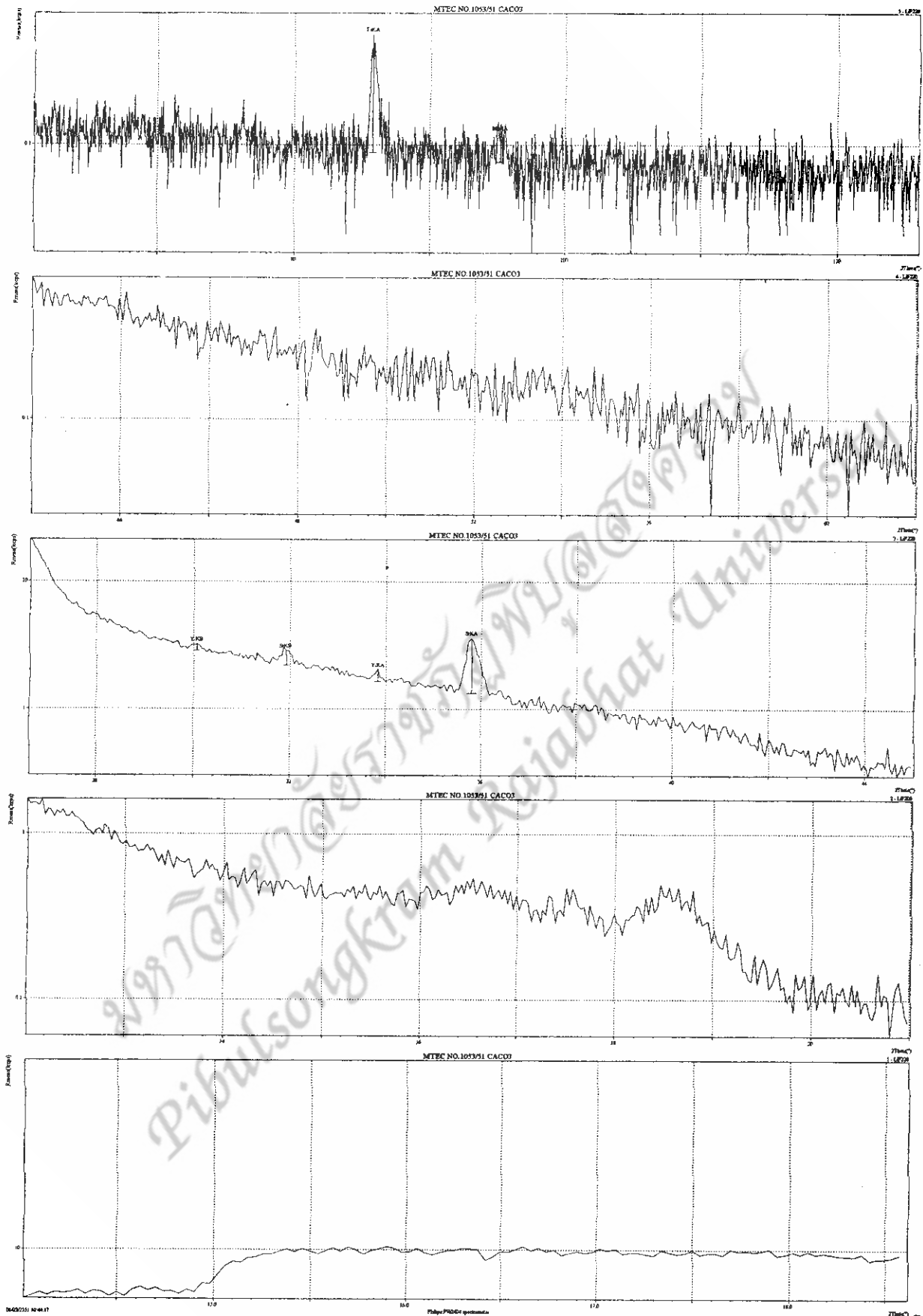
Suphakan Kijamnajsuk
(Ms.Suphakan Kijamnajsuk)
Laboratory Officer

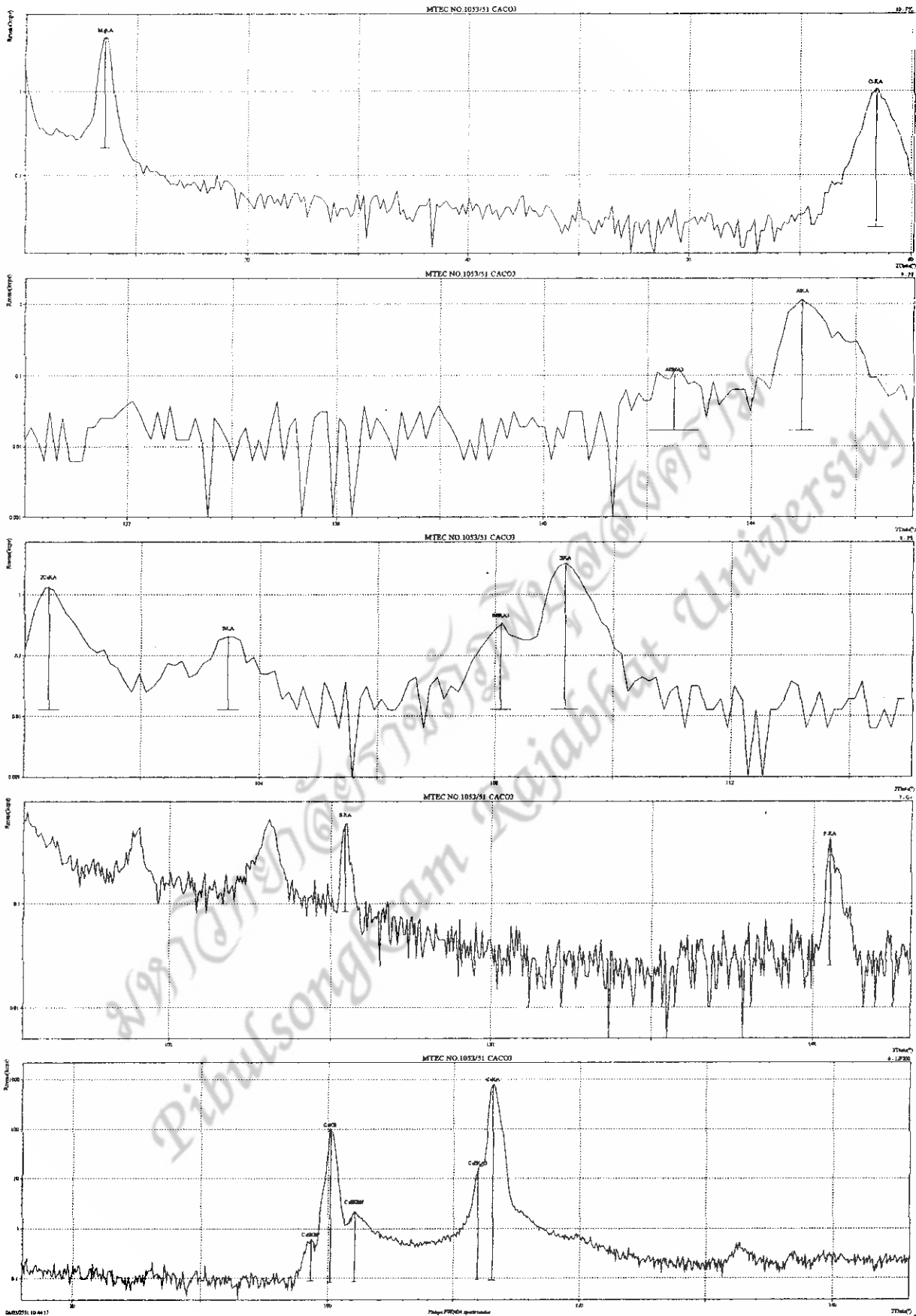
Approved by:

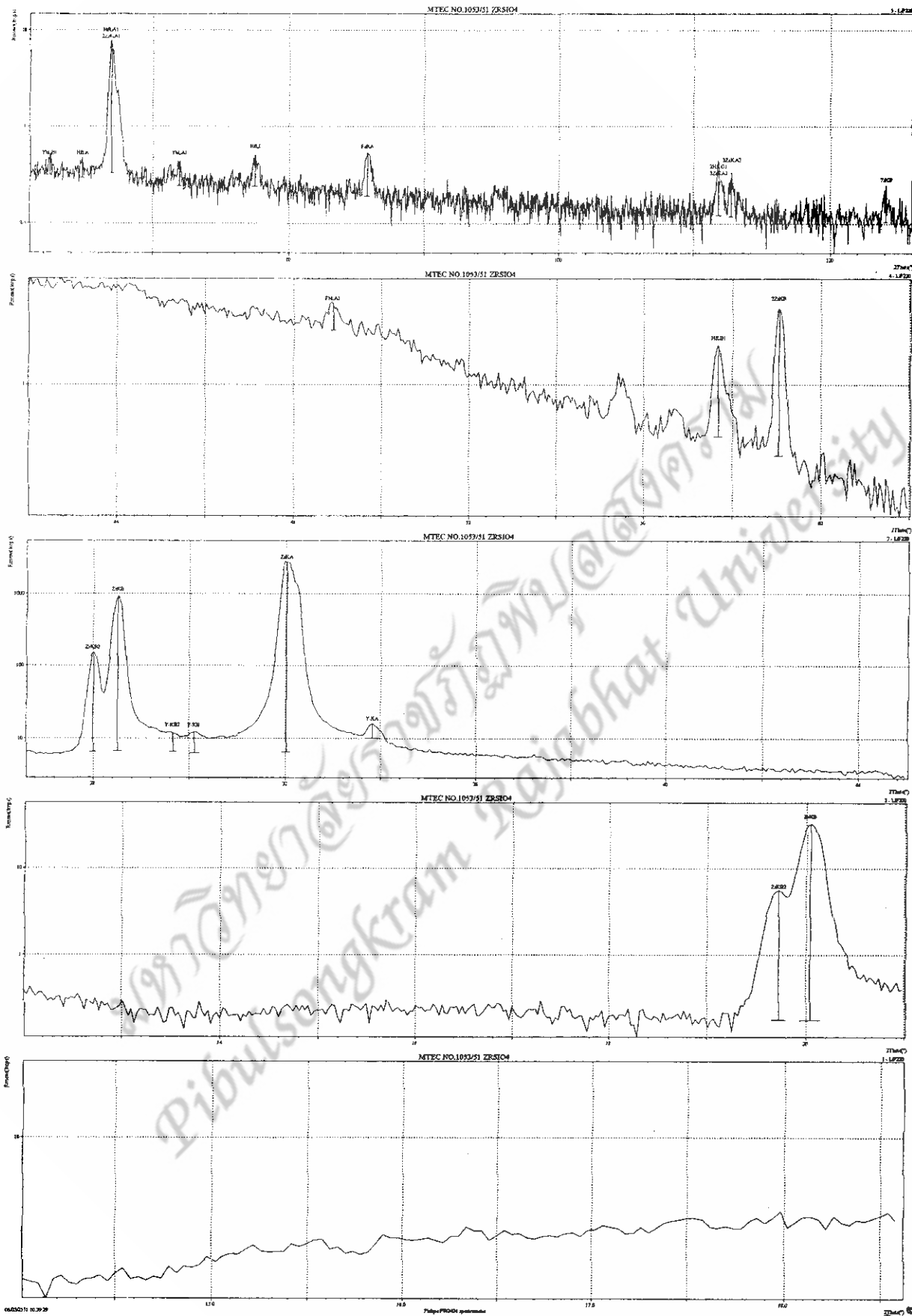
Pimpa Limthongkul
(Dr.Pimpa Limthongkul)
Laboratory Supervisor

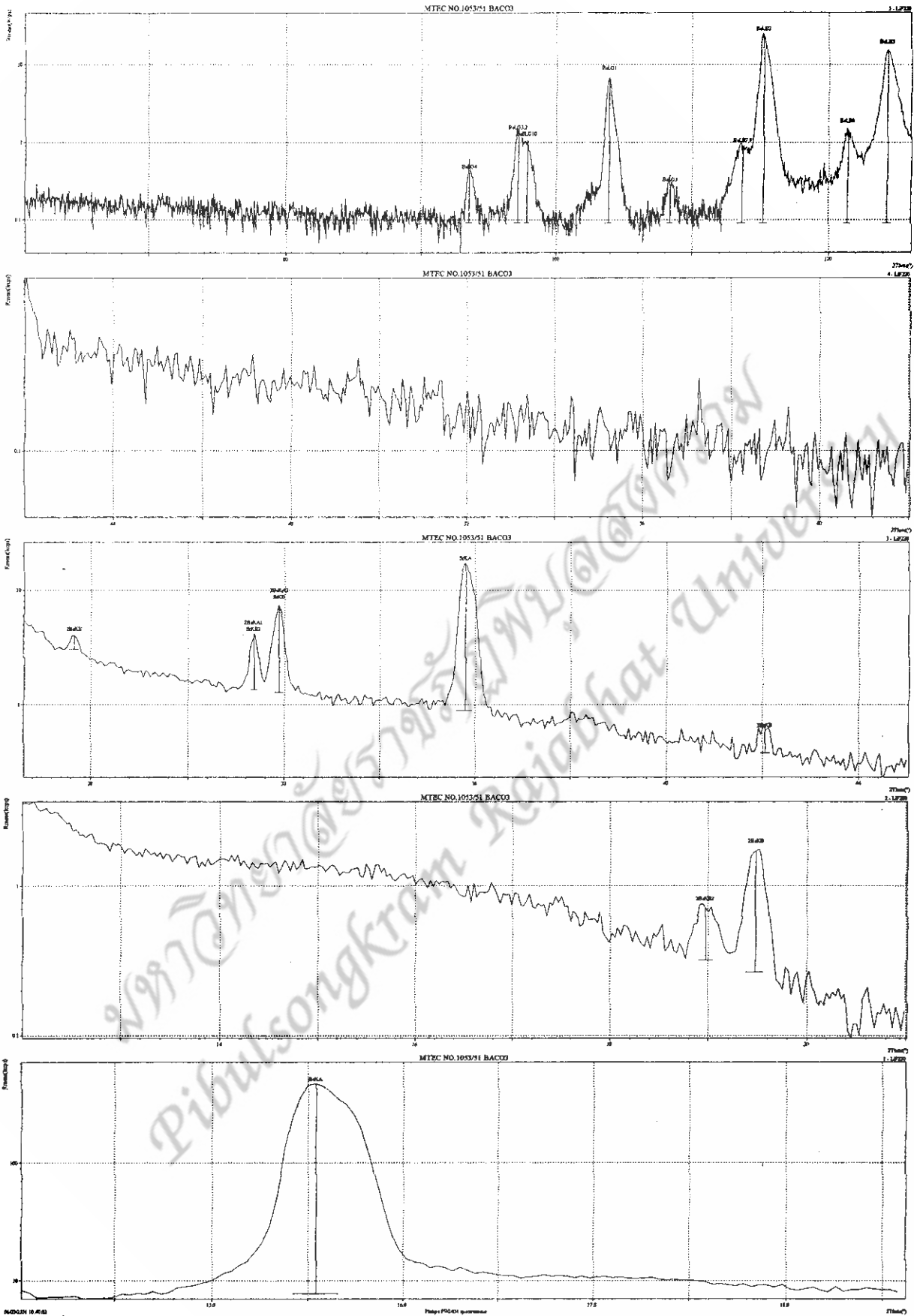
Remarks:

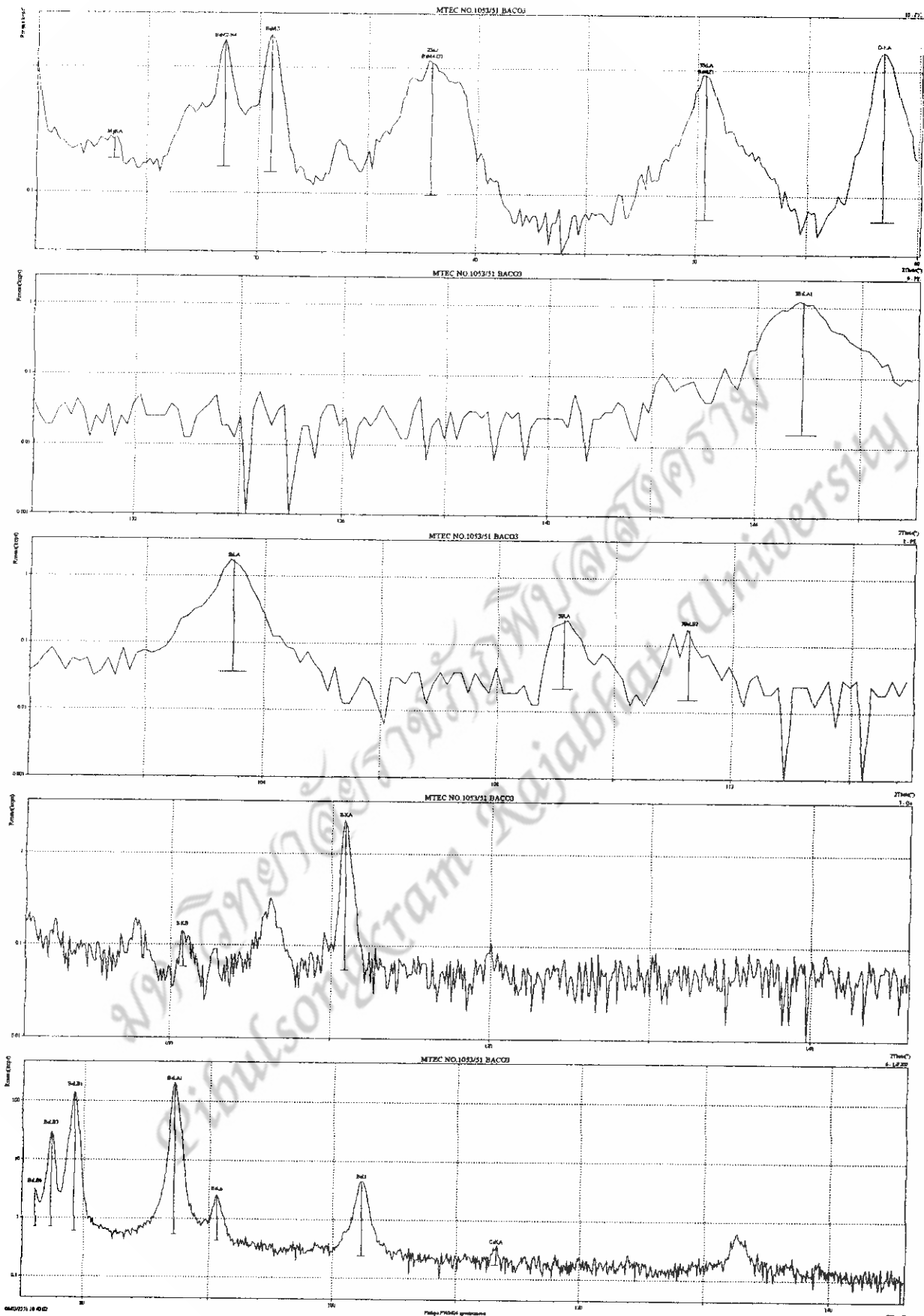
1. MTEC does not allow any alteration or modification of this report, or any part of this report, without prior formal written permission from MTEC.
2. MTEC will not accept liability for any damage whatsoever, resulting directly or indirectly, from using data, results, conclusions or recommendations in this report for the purpose of designing, manufacturing or for other purposes.
3. Experimental results are only valid for the specimens tested.

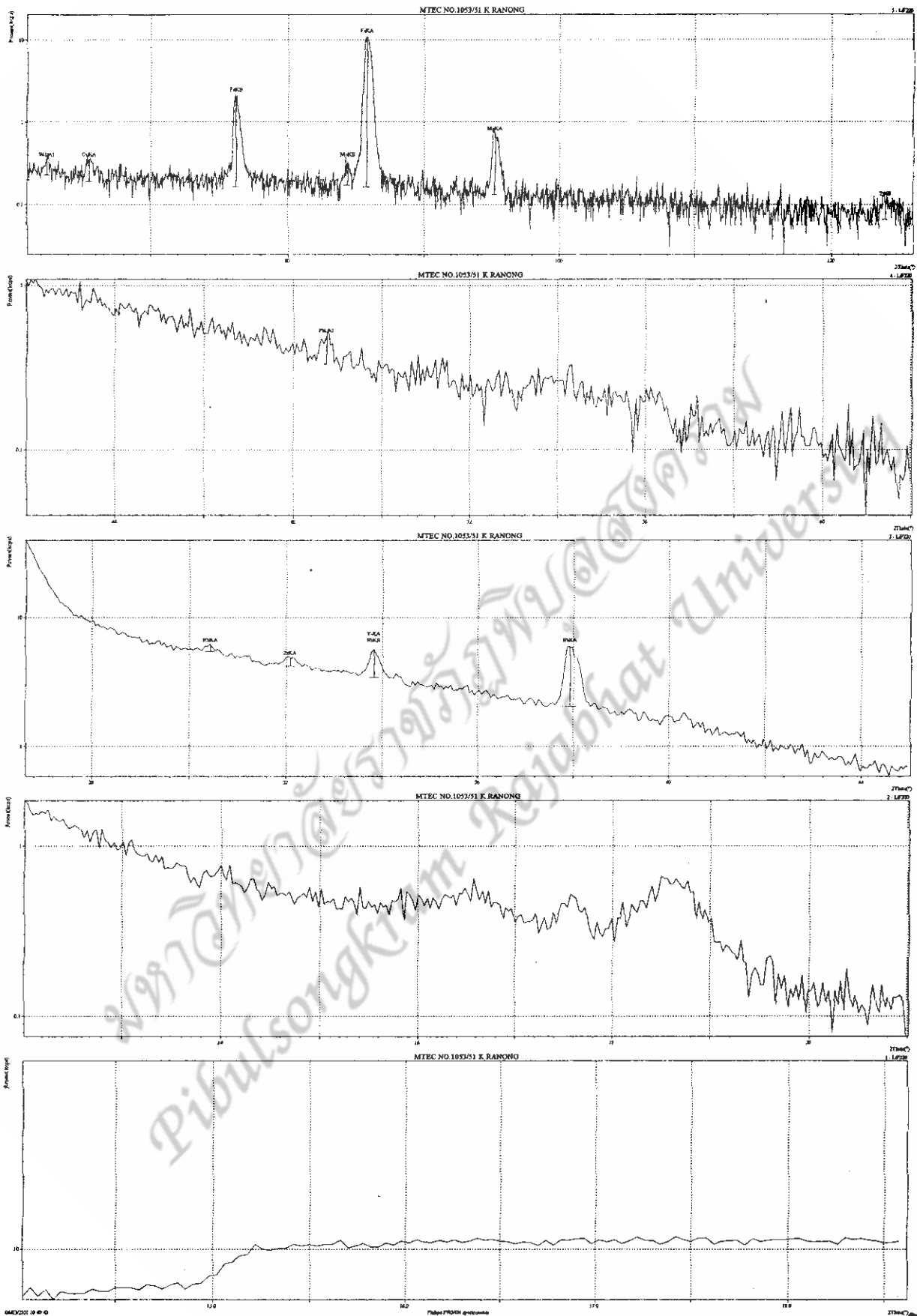


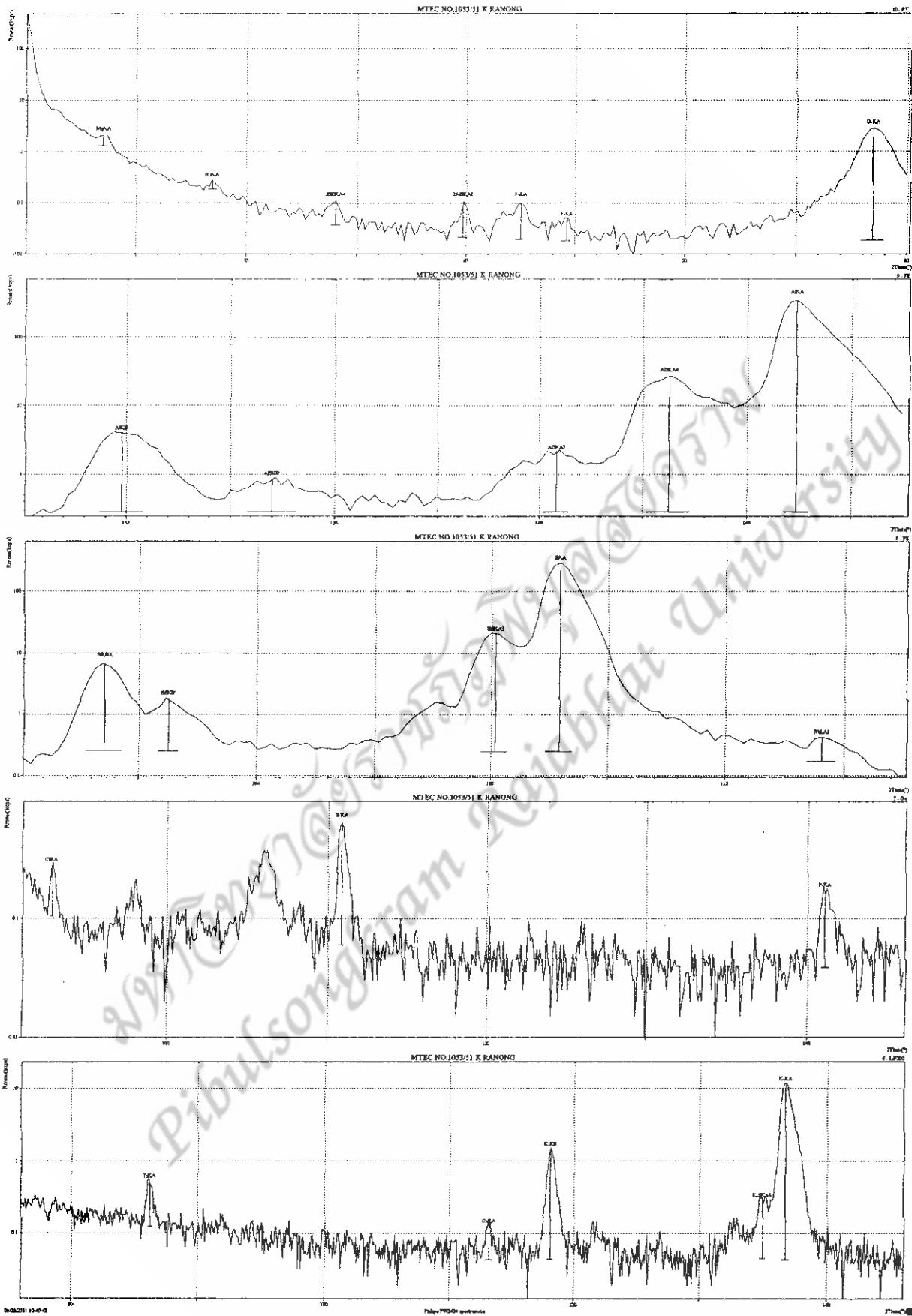


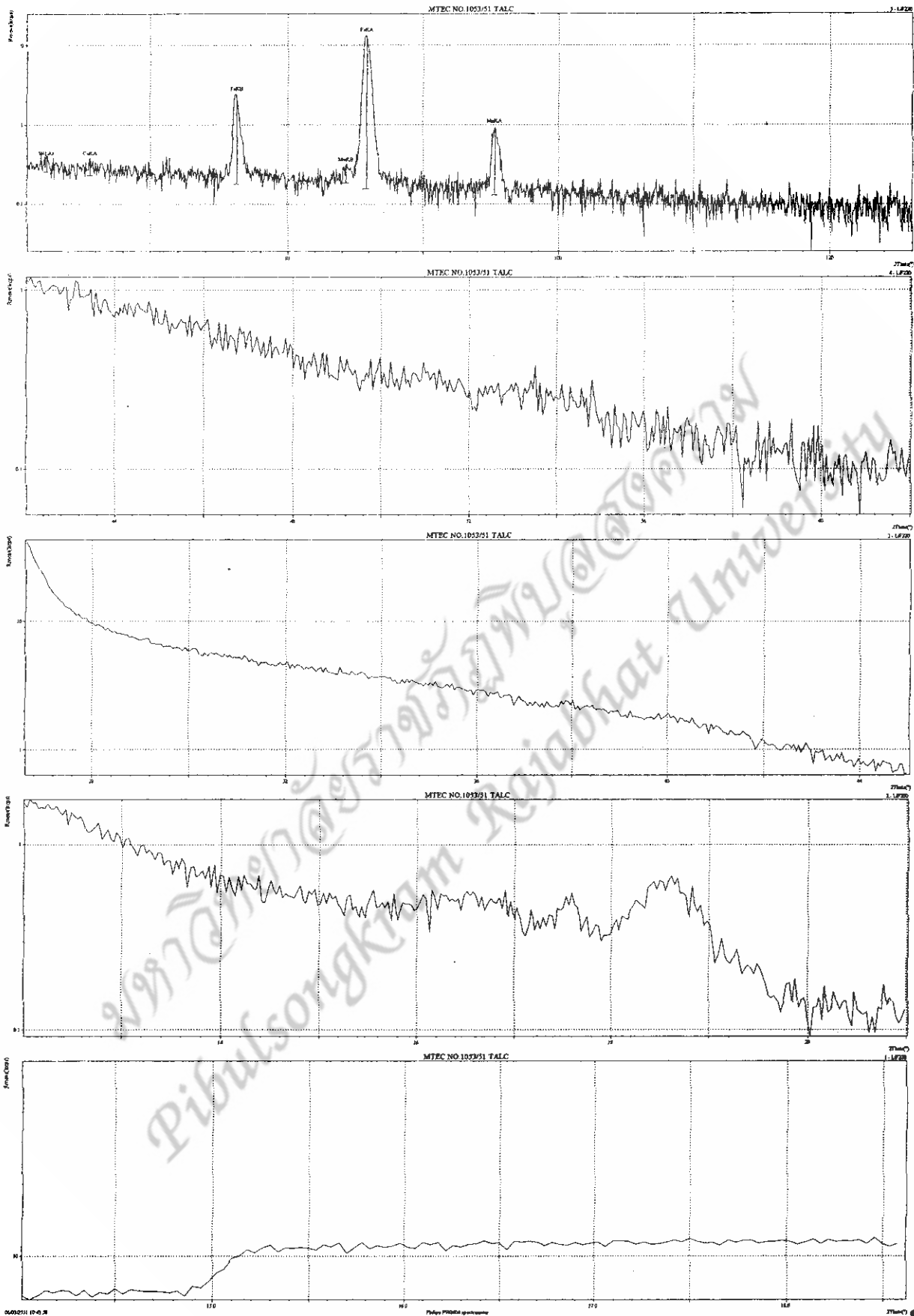


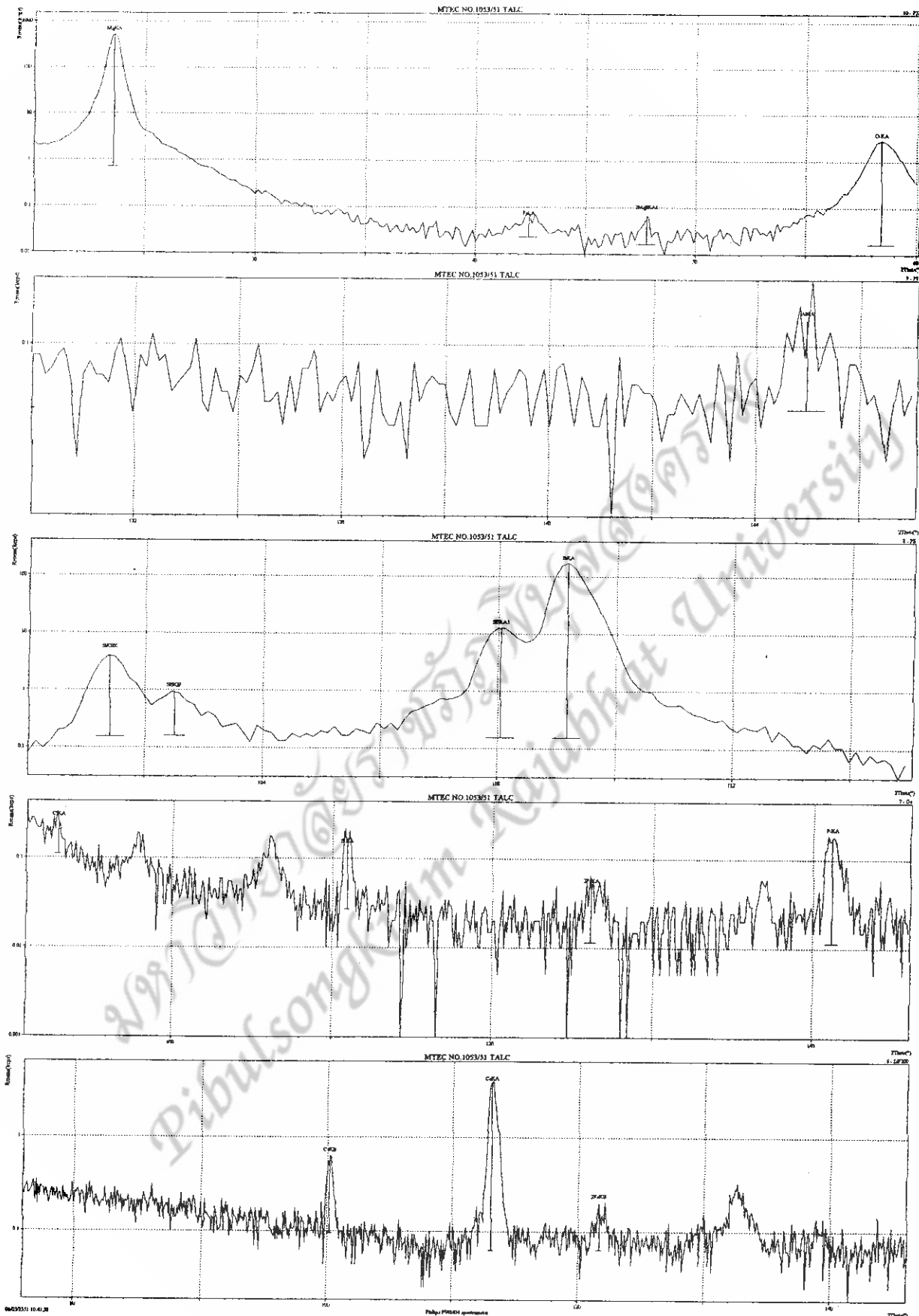












MTEC No. 1059/51

Report of Samples Analysis

Issued Date : 25 January 2008
Customer : Khun Jittrapa Jitcharnvichai
 Industrial Technology Program,
 Rajja Bhat PhiBonsongkram University,
 Muang District, Pissanuloke 65000
 Tel : 08 5833 5747
Serviced by : Powder Characterization Laboratory, Central Laboratory,
 National Metal and Materials Technology Center
Date received : 3 January 2008
Date analyzed : 16-23 January 2008
Sample : Powder samples.
Identification no. : 1. BaCO₃
 2. Kaolin Ranong
 3. Talc
 4. ZrSiO₄
 5. CaCO₃
Instrument : Mastersizer S, Malvern Instruments
Test method : Light scattering technique.
Conditions : He-Ne laser source, $\lambda = 633 \text{ nm}$,
 Beam Length : 2.40 mm.
 Particle size range analysis : 0.05-900 μm .
 Small sample dispersion unit (MS1)
 Dispersion medium : De-ionized water.
 Additive : Sodium Hexametaphosphate for BaCO₃,
 Kaolin Ranong, Talc and ZrSiO₄.
 : Nonidet P40 for CaCO₃
 Treatment : Ultrasonic 1 minute in Ultrasonic bath for Talc and
 ZrSiO₄.
 : Ultrasonic 3 minutes in Ultrasonic bath for BaCO₃.
 : Ultrasonic 5 minutes in Ultrasonic bath for CaCO₃.
 : Ultrasonic 10 minutes in Ultrasonic bath for Kaolin
 Ranong
 Sample refractive index : 1.5550 for Kaolin Ranong.
 : 1.5750 for CaCO₃.
 : 1.5890 for Talc.
 : 1.6030 for BaCO₃.
 : 1.9700 for ZrSiO₄.
 Number of experiments : 3
 Laser power : 79.5
Sample preparation : 1. 1 g of sample was dispersed with 20 ml of dispersion
 medium (De-ionized water + Dispersant).
 3. The dispersed sample was de-agglomerated with ultrasonic
 bath before analysis.

MTEC No. 1059/51

1/5

MTEC

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
 จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

National Metal and Materials Technology Center of NSTDA

National Science and Technology Development Agency

114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.
 Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 <http://www.mtec.or.th>

Technical Terms

:

4. The de-agglomerated sample in a small sample dispersion unit (MS1) was analyzed by Mastersizer S.

Obscuration : value at particle come cover to laser beam (percent), ranging from 10 – 30%.

Residual : on error value of analysis. This value should be less than 5%.

D [4, 3] : mean diameter value by volume.

D [3, 2] : mean diameter value by surface area.

D [v, 0.1] : 10 volume percent less than or equal to a given diameter.

D [v, 0.5] : 50 volume percent less than or equal to a given diameter, median diameter.

D [v, 0.9] : 90 volume percent less than or equal to a given diameter.

Span : the width of the distribution, which is independent of median size (D [v, 0.5]).

Uniformity : a measure of the absolute deviations from the median(D [v, 0.5]).

Specific S.A. : specific surface area, calculated from density and D [3, 2] of a sample.

Results :

MTEC received powder samples from Khun Jittrapa Jitcharnvichai. Light scattering technique is used in order to analyze the particle size and size distribution.

The results of the particle size and size distribution of powder samples are shown in table 1-5 and the attachment No.1-15

Table 1 Mastersizer S results of BaCO₃ sample.

No.of measurement	Sub-run	D [4,3] (μm)	D (v,0.1) (μm)	D (v,0.5) (μm)	D (v,0.9) (μm)	Span
1	1	6.51	1.18	4.71	14.26	2.78
	2	6.56	1.21	4.73	14.40	2.79
	3	6.43	1.17	4.65	14.04	2.77
2	1	6.54	1.21	4.73	14.37	2.78
	2	6.65	1.25	4.78	14.63	2.80
	3	6.56	1.20	4.73	14.44	2.80
3	1	6.62	1.22	4.77	14.59	2.81
	2	6.69	1.25	4.80	14.75	2.81
	3	6.76	1.27	4.86	14.92	2.81
Mean		6.59	1.22	4.75	14.49	2.79
STD		0.10	0.03	0.06	0.27	0.02
RSD%		1.52	2.46	1.26	1.86	0.72

Table 2 Mastersizer S results of Kaolin Ranong sample.

No. of measurement	Sub-run	D [4,3] (µm)	D (v,0.1) (µm)	D (v,0.5) (µm)	D (v,0.9) (µm)	Span
1	1	13.68	0.34	9.68	33.00	3.38
	2	13.66	0.34	9.67	32.95	3.37
	3	13.67	0.34	9.70	32.92	3.36
2	1	13.69	0.34	9.74	32.93	3.35
	2	13.66	0.34	9.66	32.93	3.37
	3	13.69	0.34	9.66	33.05	3.39
3	1	13.69	0.34	9.69	33.02	3.37
	2	13.69	0.34	9.71	33.00	3.37
	3	13.69	0.34	9.69	33.03	3.37
Mean		13.68	0.34	9.69	32.98	3.37
STD		0.01	0.00	0.03	0.05	0.01
RSD%		0.07	0.00	0.31	0.15	0.30

Table 3 Mastersizer S results of Talc sample.

No. of measurement	Sub-run	D [4,3] (µm)	D (v,0.1) (µm)	D (v,0.5) (µm)	D (v,0.9) (µm)	Span
1	1	15.17	1.18	11.21	34.64	2.99
	2	15.17	1.18	11.23	34.62	2.98
	3	15.13	1.17	11.22	34.46	2.97
2	1	15.11	1.19	11.19	34.45	2.97
	2	15.14	1.18	11.24	34.49	2.97
	3	15.11	1.17	11.18	34.47	2.98
3	1	15.10	1.17	11.20	34.44	2.97
	2	15.10	1.17	11.19	34.41	2.97
	3	15.11	1.18	11.18	34.49	2.98
Mean		15.13	1.18	11.20	34.50	2.98
STD		0.03	0.01	0.02	0.08	0.01
RSD%		0.20	0.85	0.18	0.23	0.34

Table 4 Mastersizer S results of ZrSiO_4 sample.

No. of measurement	Sub-run	D [4,3] (μm)	D (v,0.1) (μm)	D (v,0.5) (μm)	D (v,0.9) (μm)	Span
1	1	2.03	0.20	0.77	5.04	6.28
	2	2.01	0.20	0.77	5.03	6.30
	3	2.03	0.20	0.77	5.03	6.29
2	1	2.03	0.20	0.77	5.03	6.28
	2	2.02	0.20	0.77	5.02	6.28
	3	2.02	0.20	0.77	5.04	6.28
3	1	2.02	0.20	0.77	5.01	6.28
	2	2.03	0.20	0.77	5.03	6.27
	3	2.02	0.20	0.77	5.03	6.30
Mean		2.02	0.20	0.77	5.03	6.28
STD		0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
RSD%		0.50	0.00	0.00	0.20	0.16

Table 5 Mastersizer S results of CaCO_3 sample.

No. of measurement	Sub-run	D [4,3] (μm)	D (v,0.1) (μm)	D (v,0.5) (μm)	D (v,0.9) (μm)	Span
1	1	24.14	0.49	19.16	55.65	2.88
	2	24.22	0.49	19.24	55.85	2.88
	3	24.13	0.49	19.20	55.57	2.87
2	1	24.07	0.49	19.16	55.44	2.87
	2	24.29	0.49	19.38	55.86	2.86
	3	24.25	0.49	19.20	56.01	2.89
3	1	24.25	0.49	19.18	56.04	2.90
	2	24.16	0.49	19.13	55.78	2.89
	3	24.15	0.49	19.21	55.62	2.87
Mean		24.18	0.49	19.21	55.76	2.88
STD		0.07	0.00	0.07	0.20	0.01
RSD%		0.29	0.00	0.36	0.36	0.35

Note : The specific surface area is inapplicable unless the density of a sample is known.

Interpretation/Opinions : None

Attached pages :

The attachment number	Detail
1-3	Mastersizer-S results of BaCO ₃ sample.
4-6	Mastersizer-S results of Kaolin Ranong sample.
7-9	Mastersizer-S results of Talc sample.
10-12	Mastersizer-S results of ZrSiO ₄ sample.
13-15	Mastersizer-S results of CaCO ₃ sample.

Work performed by :

Sarmart Nutsai
(Mr. Sarmart Nutsai)
Laboratory Officer

Approved by :

Thammarat Panyathanmaporn
(Dr. Thammarat Panyathanmaporn)
Laboratory Supervisor

Remark

1. MTEC does not allow any alteration or modification of this report, or any part of this report, without prior formal written permission from MTEC.
2. MTEC will not accept liability for any damage whatsoever, resulting directly or indirectly, from using data, results, conclusions or recommendations in this report for the purpose of designing, manufacturing or for other purposes.
3. Experimental results are only valid for the specimens tested.

Result: Analysis Report

Sample ID: BaCO3
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI~1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 3 minutes & stir medium

Sample Details
Run Number: 1
Record Number: 166

Measured: Wed Jan 16 2008 1:59PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 1:59PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_BACO3
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.6030, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 17.0 %

Residual: 0.695 %

Result Statistics

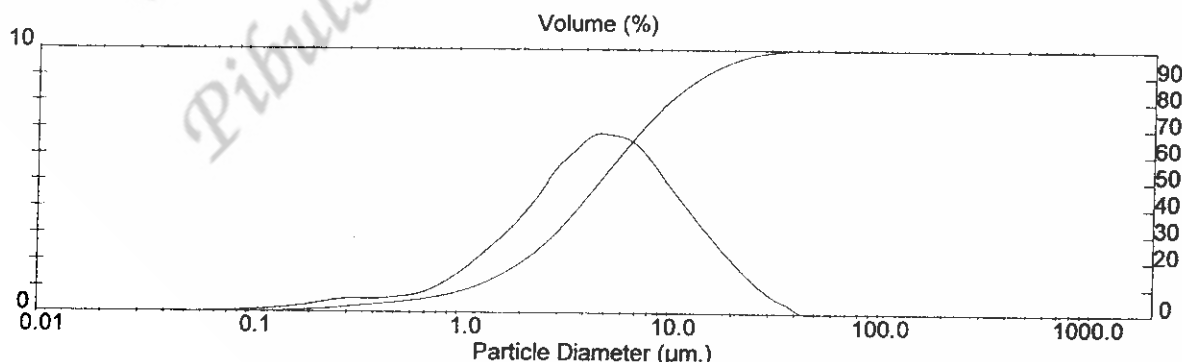
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 6.56 um

Concentration = 0.0070 %Vol
D (v, 0.1) = 1.21 um
D [3, 2] = 2.20 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 4.73 um
Span = 2.791E+00

Specific S.A. = 2.7259 sq. m / g
D (v, 0.9) = 14.40 um
Uniformity = 8.659E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	6.30	7.72	71.14
0.06	0.02	0.07	0.03	7.72	5.69	9.00	76.83
0.07	0.04	0.08	0.07	9.00	4.97	10.48	81.80
0.08	0.06	0.09	0.13	10.48	4.29	12.21	86.10
0.09	0.08	0.11	0.20	12.21	3.64	14.22	89.74
0.11	0.10	0.13	0.31	14.22	3.02	16.57	92.75
0.13	0.14	0.15	0.44	16.57	2.42	19.31	95.17
0.15	0.19	0.17	0.63	19.31	1.85	22.49	97.02
0.17	0.25	0.20	0.89	22.49	1.33	26.20	98.35
0.20	0.34	0.23	1.23	26.20	0.88	30.53	99.23
0.23	0.44	0.27	1.67	30.53	0.52	35.56	99.75
0.27	0.52	0.31	2.19	35.56	0.25	41.43	100.00
0.31	0.54	0.36	2.72	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.52	0.42	3.25	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	0.54	0.49	3.79	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	0.61	0.58	4.40	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.69	0.67	5.09	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.85	0.78	5.94	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.11	0.91	7.05	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.44	1.06	8.48	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.83	1.24	10.31	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.29	1.44	12.60	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.74	1.68	15.34	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.24	1.95	18.58	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.86	2.28	22.44	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	4.52	2.65	26.96	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	5.37	3.09	32.33	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	5.91	3.60	38.24	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	6.43	4.19	44.67	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	6.78	4.88	51.45	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	6.75	5.69	58.20	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	6.64	6.63	64.83	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 32734-85

National Metal and Materials Technology Center

114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 2120 Thailand.
Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5

Result: Analysis Report

Sample ID: BaCO3
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 3 minutes & stir medium

Sample Details
Run Number: 2
Record Number: 167

Measured: Wed Jan 16 2008 2:05PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 2:05PM
Result Source: Analysed

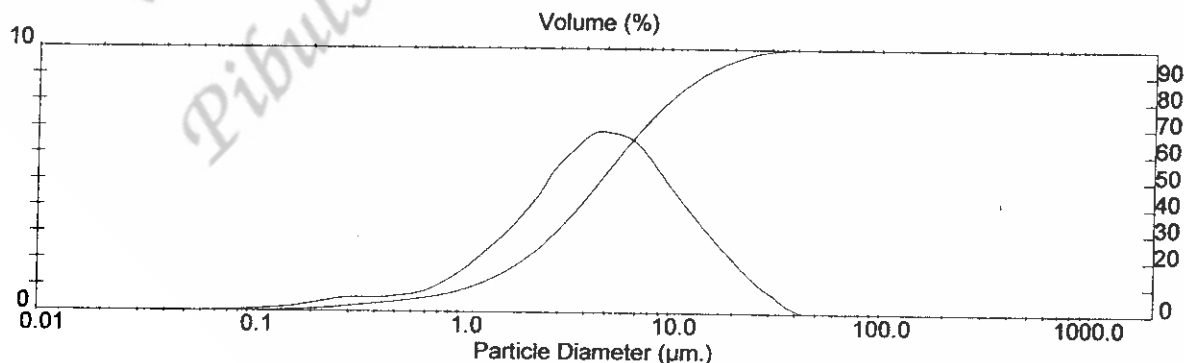
Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_BACO3
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

System Details
Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.6030, 0.0100);
Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1
Obscuration: 16.6 %
Residual: 0.694 %

Result Statistics
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 6.54 um
Concentration = 0.0069 %Vol
D (v, 0.1) = 1.21 um
D [3, 2] = 2.21 um
Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 4.73 um
Span = 2.782E+00
Specific S.A. = 2.7158 sq. m / g
D (v, 0.9) = 14.37 um
Uniformity = 8.614E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	6.32	7.72	71.25
0.06	0.02	0.07	0.03	7.72	5.70	9.00	76.95
0.07	0.04	0.08	0.07	9.00	4.96	10.48	81.91
0.08	0.05	0.09	0.13	10.48	4.27	12.21	86.18
0.09	0.08	0.11	0.20	12.21	3.61	14.22	89.79
0.11	0.10	0.13	0.30	14.22	3.00	16.57	92.78
0.13	0.14	0.15	0.44	16.57	2.41	19.31	95.19
0.15	0.18	0.17	0.63	19.31	1.85	22.49	97.04
0.17	0.25	0.20	0.88	22.49	1.34	26.20	98.38
0.20	0.34	0.23	1.21	26.20	0.90	30.53	99.27
0.23	0.44	0.27	1.65	30.53	0.54	35.56	99.81
0.27	0.51	0.31	2.17	35.56	0.19	41.43	100.00
0.31	0.53	0.36	2.70	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.52	0.42	3.22	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	0.55	0.49	3.77	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	0.61	0.58	4.38	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.69	0.67	5.07	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.84	0.78	5.91	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.10	0.91	7.01	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.42	1.06	8.43	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.80	1.24	10.23	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.26	1.44	12.49	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.72	1.68	15.21	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.22	1.95	18.43	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.85	2.28	22.28	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	4.53	2.65	26.82	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	5.40	3.09	32.22	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	5.95	3.60	38.16	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	6.47	4.19	44.63	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	6.83	4.88	51.46	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	6.79	5.69	58.26	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	6.67	6.63	64.93	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89
National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 <http://www.mtec.or.th>
a member of NSTDA

25 Jan 8 13:18

Result: Analysis Report

Sample ID: BaCO3
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 3 minutes & stir medium

Sample Details
Run Number: 3
Record Number: 168

Measured: Wed Jan 16 2008 2:10PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 2:10PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_BACO3
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.6030, 0.0100);
Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 17.9 %

Residual: 0.688 %

Result Statistics

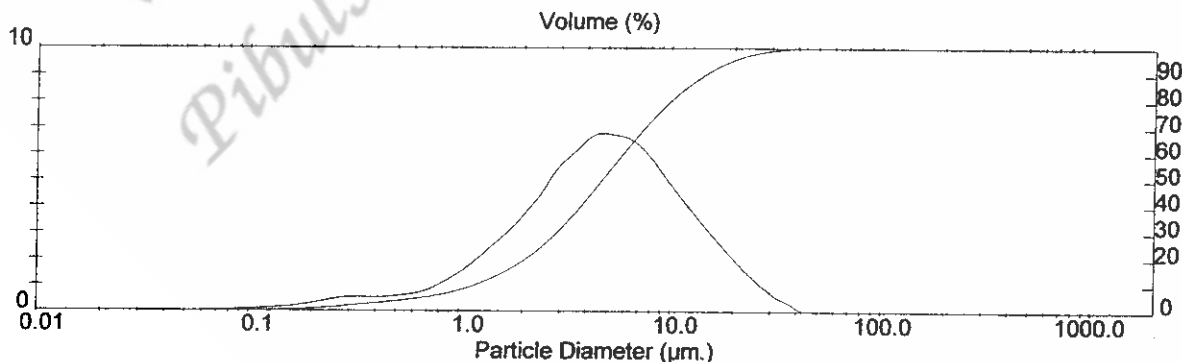
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 6.56 μ m

Concentration = 0.0075 %Vol
D (v, 0.1) = 1.20 μ m
D [3, 2] = 2.18 μ m

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 4.73 μ m
Span = 2.802E+00

Specific S.A. = 2.7579 sq. m / g
D (v, 0.9) = 14.44 μ m
Uniformity = 8.683E-01

Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%	Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	6.28	7.72	71.09
0.06	0.02	0.07	0.04	7.72	5.68	9.00	76.76
0.07	0.04	0.08	0.08	9.00	4.96	10.48	81.73
0.08	0.06	0.09	0.13	10.48	4.30	12.21	86.02
0.09	0.08	0.11	0.21	12.21	3.65	14.22	89.68
0.11	0.11	0.13	0.32	14.22	3.04	16.57	92.71
0.13	0.14	0.15	0.47	16.57	2.44	19.31	95.15
0.15	0.19	0.17	0.66	19.31	1.87	22.49	97.02
0.17	0.26	0.20	0.93	22.49	1.34	26.20	98.35
0.20	0.35	0.23	1.28	26.20	0.88	30.53	99.23
0.23	0.46	0.27	1.74	30.53	0.52	35.56	99.75
0.27	0.53	0.31	2.27	35.56	0.25	41.43	100.00
0.31	0.55	0.36	2.82	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	0.54	0.42	3.35	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	0.55	0.49	3.91	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	0.62	0.58	4.52	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.69	0.67	5.21	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.84	0.78	6.05	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.11	0.91	7.16	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.43	1.06	8.59	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.82	1.24	10.41	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.27	1.44	12.68	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.73	1.68	15.41	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.23	1.95	18.64	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.85	2.28	22.50	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	4.52	2.65	27.01	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	5.37	3.09	32.38	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	5.90	3.60	38.28	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	6.41	4.19	44.70	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	6.76	4.88	51.46	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	6.73	5.69	58.19	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	6.62	6.63	64.81	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
National Metal and Materials Technology Center
Serial Number: 32734-89

Tel: +66 (0)1684-892456 Fax: +66 (0)1684-892769
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5

Result: Analysis Report

Sample ID: Kaolin Ranong

Sample File: TS1059

Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\

Sample Notes: Medium : De-ionized water

Dispersant : Sodium hexametaphosphate

Treatment : Ultrasonic 10 minutes & stir medium

Sample Details

Run Number: 1

Record Number: 169

Measured: Wed Jan 16 2008 3:08PM

Analysed: Wed Jan 16 2008 3:08PM

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Presentation: 3_KAOLIN

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm

[Particle R.I. = (1.5550, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 21.3 %

Residual: 0.645 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Mean Diameters:

D [4, 3] = 13.68 um

Concentration = 0.0160 %Vol

D (v, 0.1) = 0.34 um

D [3, 2] = 1.24 um

Density = 1.000 g / cub. cm

D (v, 0.5) = 9.68 um

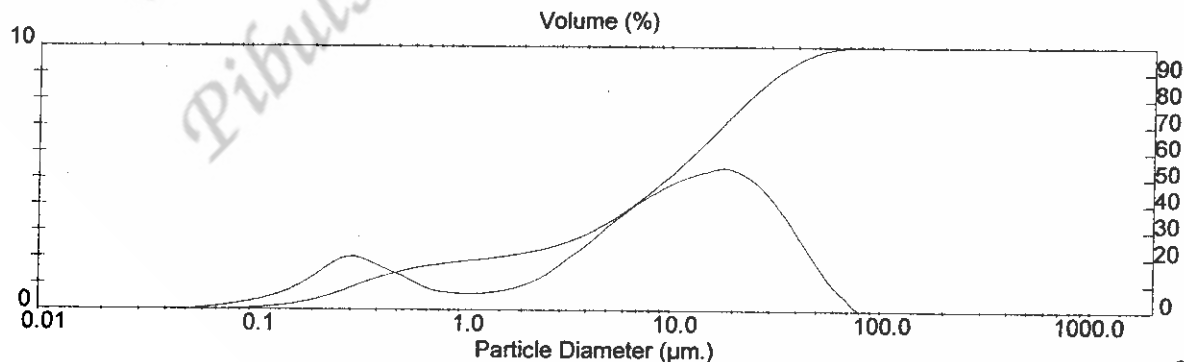
Span = 3.375E+00

Specific S.A. = 4.8452 sq. m / g

D (v, 0.9) = 33.00 um

Uniformity = 1.049E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.04	0.06	0.04	6.63	4.07	7.72	43.40
0.06	0.09	0.07	0.13	7.72	4.39	9.00	47.79
0.07	0.16	0.08	0.29	9.00	4.69	10.48	52.48
0.08	0.23	0.09	0.52	10.48	4.94	12.21	57.42
0.09	0.32	0.11	0.85	12.21	5.14	14.22	62.56
0.11	0.44	0.13	1.29	14.22	5.28	16.57	67.85
0.13	0.60	0.15	1.88	16.57	5.39	19.31	73.24
0.15	0.80	0.17	2.68	19.31	5.26	22.49	78.50
0.17	1.07	0.20	3.76	22.49	4.96	26.20	83.47
0.20	1.42	0.23	5.18	26.20	4.48	30.53	87.95
0.23	1.78	0.27	6.96	30.53	3.85	35.56	91.80
0.27	2.00	0.31	8.96	35.56	3.10	41.43	94.90
0.31	1.95	0.36	10.91	41.43	2.30	48.27	97.20
0.36	1.72	0.42	12.63	48.27	1.54	56.23	98.74
0.42	1.49	0.49	14.12	56.23	0.88	65.51	99.62
0.49	1.27	0.58	15.39	65.51	0.38	76.32	100.00
0.58	1.00	0.67	16.39	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.79	0.78	17.18	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.69	0.91	17.87	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.64	1.06	18.51	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.63	1.24	19.14	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.66	1.44	19.80	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.73	1.68	20.52	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.83	1.95	21.36	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.00	2.28	22.36	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.24	2.65	23.60	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.59	3.09	25.19	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.00	3.60	27.19	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.37	4.19	29.56	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.82	4.88	32.37	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.28	5.69	35.65	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.68	6.63	39.33	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

Masterizer S Ver 2.19
Serial Number: 32734-89
National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Stage 1, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.

Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5
a member of NSTDA

Attached page 5

Result: Analysis Report

Sample ID: Kaolin Ranong

Sample File: TS1059

Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\

Sample Notes: Medium : De-ionized water

Dispersant : Sodium hexametaphosphate

Treatment : Ultrasonic 10 minutes & stir medium

Sample Details

Run Number: 2

Record Number: 170

Measured: Wed Jan 16 2008 3:10PM

Analysed: Wed Jan 16 2008 3:10PM

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Beam Length: 2.40 mm

Sampler: MS1

Obscuration: 21.2 %

Presentation: 3_KAOLIN

[Particle R.I. = (1.5550, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300]

Analysis Model: Polydisperse

Residual: 0.646 %

Modifications: None

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Mean Diameters:

D [4, 3] = 13.69 um

Concentration = 0.0159 %Vol

D (v, 0.1) = 0.34 um

D [3, 2] = 1.23 um

Density = 1.000 g / cub. cm

D (v, 0.5) = 9.66 um

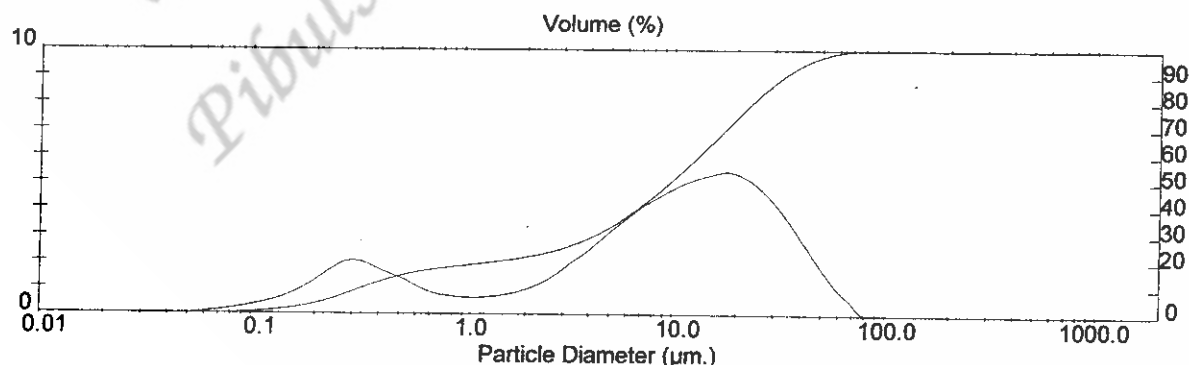
Span = 3.385E+00

Specific S.A. = 4.8595 sq. m / g

D (v, 0.9) = 33.05 um

Uniformity = 1.052E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.04	0.06	0.04	6.63	4.07	7.72	43.45
0.06	0.09	0.07	0.13	7.72	4.39	9.00	47.84
0.07	0.16	0.08	0.29	9.00	4.69	10.48	52.52
0.08	0.23	0.09	0.52	10.48	4.94	12.21	57.47
0.09	0.33	0.11	0.85	12.21	5.14	14.22	62.61
0.11	0.44	0.13	1.29	14.22	5.28	16.57	67.89
0.13	0.60	0.15	1.89	16.57	5.39	19.31	73.28
0.15	0.80	0.17	2.69	19.31	5.25	22.49	78.53
0.17	1.08	0.20	3.77	22.49	4.94	26.20	83.47
0.20	1.43	0.23	5.19	26.20	4.46	30.53	87.93
0.23	1.79	0.27	6.98	30.53	3.83	35.56	91.75
0.27	2.01	0.31	8.99	35.56	3.09	41.43	94.84
0.31	1.96	0.36	10.95	41.43	2.31	48.27	97.14
0.36	1.73	0.42	12.67	48.27	1.55	56.23	98.70
0.42	1.50	0.49	14.17	56.23	0.90	65.51	99.60
0.49	1.28	0.58	15.45	65.51	0.40	76.32	100.00
0.58	1.01	0.67	16.48	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.80	0.78	17.26	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.70	0.91	17.95	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.64	1.06	18.60	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.63	1.24	19.23	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.66	1.44	19.89	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.73	1.68	20.62	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.83	1.95	21.45	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.00	2.28	22.45	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.24	2.65	23.69	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.58	3.09	25.28	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.99	3.60	27.27	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.36	4.19	29.63	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.81	4.88	32.44	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.27	5.69	35.71	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.67	6.63	39.38	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UKTel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5Mastersizer S Ver. 2.18
Serial Number: 32734-85
National Science and Technology Development Agency
National Center for Metal and Materials Technology Center114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 a member of NSTDA

Result: Analysis Report

Sample ID: Kaolin Ranong

Sample File: TS1059

Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\

Sample Notes: Medium : De-ionized water

Dispersant : Sodium hexametaphosphate

Treatment : Ultrasonic 10 minutes & stir medium

Sample Details

Run Number: 3

Record Number: 171

Measured: Wed Jan 16 2008 3:11PM

Analysed: Wed Jan 16 2008 3:11PM

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Presentation: 3_KAOLIN

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm

[Particle R.I. = (1.5550, 0.0100);

Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 21.2 %

Residual: 0.642 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Mean Diameters:

D [4, 3] = 13.69 μ m

Concentration = 0.0160 %Vol

D (v, 0.1) = 0.34 μ m

D [3, 2] = 1.24 μ m

Density = 1.000 g / cub. cm

D (v, 0.5) = 9.69 μ m

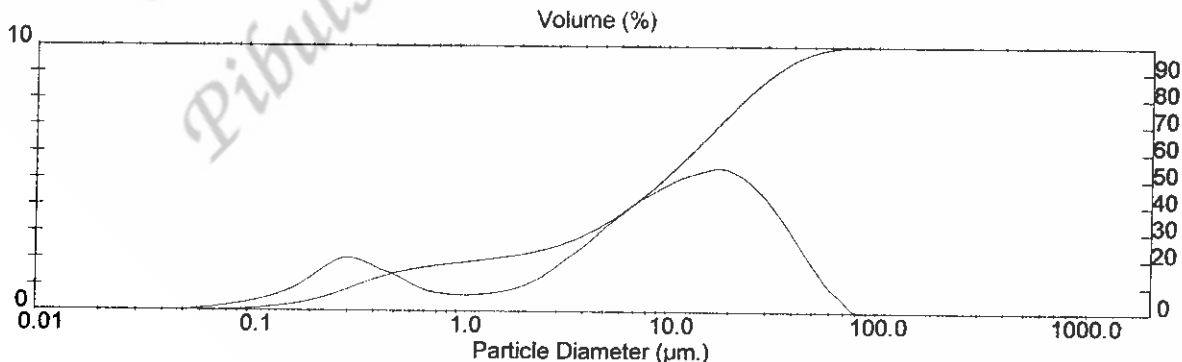
Span = 3.373E+00

Specific S.A. = 4.8261 sq. m / g

D (v, 0.9) = 33.03 μ m

Uniformity = 1.047E+00

Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%	Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%
0.05	0.04	0.06	0.04	6.63	4.09	7.72	43.33
0.06	0.09	0.07	0.13	7.72	4.41	9.00	47.74
0.07	0.15	0.08	0.29	9.00	4.71	10.48	52.45
0.08	0.23	0.09	0.52	10.48	4.97	12.21	57.42
0.09	0.32	0.11	0.84	12.21	5.16	14.22	62.58
0.11	0.44	0.13	1.28	14.22	5.30	16.57	67.87
0.13	0.59	0.15	1.88	16.57	5.40	19.31	73.27
0.15	0.80	0.17	2.67	19.31	5.26	22.49	78.53
0.17	1.07	0.20	3.74	22.49	4.94	26.20	83.47
0.20	1.41	0.23	5.16	26.20	4.46	30.53	87.93
0.23	1.77	0.27	6.93	30.53	3.83	35.58	91.77
0.27	1.99	0.31	8.92	35.58	3.10	41.43	94.86
0.31	1.94	0.36	10.86	41.43	2.31	48.27	97.17
0.36	1.71	0.42	12.57	48.27	1.55	56.23	98.72
0.42	1.48	0.49	14.05	56.23	0.89	65.51	99.61
0.49	1.27	0.58	15.32	65.51	0.39	76.32	100.00
0.58	0.99	0.67	16.31	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.78	0.78	17.10	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.69	0.91	17.78	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.64	1.06	18.42	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.63	1.24	19.05	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.66	1.44	19.71	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.73	1.68	20.44	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.83	1.95	21.27	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.00	2.28	22.27	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.24	2.65	23.51	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.58	3.09	25.10	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.00	3.60	27.09	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.37	4.19	29.46	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.82	4.88	32.27	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.28	5.69	35.58	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.69	6.63	39.24	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

Masterizer S Ver. 2.18
Serial Number: 32734.89

National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 <http://www.nstda.go.th>

a member of NSTDA

Attached page 7

Result: Analysis Report

Sample ID: Talc
 Sample File: TS1059
 Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
 Sample Notes: Medium : De-ionized water
 Dispersant : Sodium hexametaphosphate
 Treatment : Ultrasonic 1 minute & stir medium

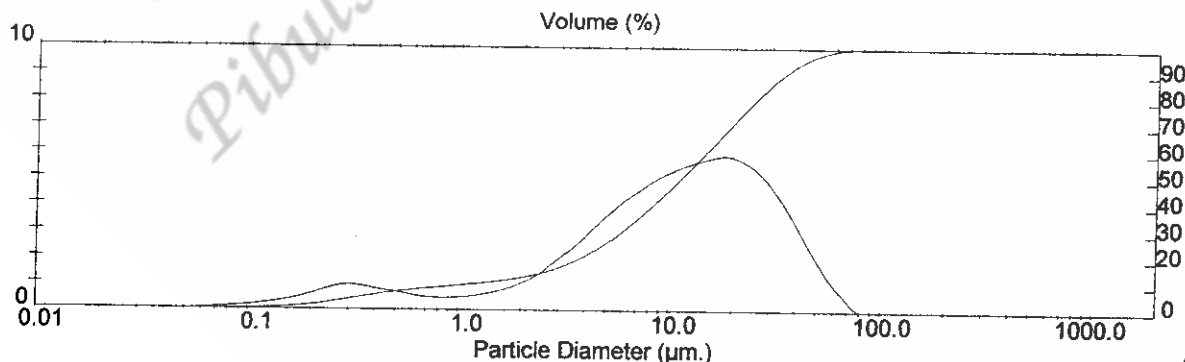
Sample Details
 Run Number: 1
 Record Number: 172

Measured: Wed Jan 16 2008 3:20PM
 Analysed: Wed Jan 16 2008 3:20PM
 Result Source: Analysed

System Details
 Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS1
 Presentation: 3_TALC [Particle R.I. = (1.5890, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300]
 Analysis Model: Polydisperse Obscuration: 20.4 %
 Modifications: None Residual: 0.650 %

Result Statistics
 Distribution Type: Volume Concentration = 0.0163 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 2.8443 sq. m / g
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 1.17 um D (v, 0.5) = 11.22 um D (v, 0.9) = 34.46 um
 D [4, 3] = 15.13 um D [3, 2] = 2.11 um Span = 2.967E+00 Uniformity = 9.064E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.03	0.06	0.03	6.63	4.55	7.72	37.52
0.06	0.05	0.07	0.08	7.72	4.90	9.00	42.41
0.07	0.09	0.08	0.17	9.00	5.19	10.48	47.60
0.08	0.13	0.09	0.30	10.48	5.43	12.21	53.03
0.09	0.17	0.11	0.47	12.21	5.61	14.22	58.64
0.11	0.23	0.13	0.70	14.22	5.76	16.57	64.40
0.13	0.31	0.15	1.01	16.57	5.87	19.31	70.27
0.15	0.40	0.17	1.41	19.31	5.76	22.49	76.03
0.17	0.53	0.20	1.94	22.49	5.48	26.20	81.50
0.20	0.69	0.23	2.63	26.20	5.00	30.53	86.50
0.23	0.85	0.27	3.48	30.53	4.33	35.56	90.83
0.27	0.95	0.31	4.43	35.56	3.50	41.43	94.33
0.31	0.93	0.36	5.36	41.43	2.60	48.27	96.93
0.36	0.83	0.42	6.19	48.27	1.72	56.23	98.65
0.42	0.74	0.49	6.94	56.23	0.96	65.51	99.61
0.49	0.67	0.58	7.60	65.51	0.39	76.32	100.00
0.58	0.56	0.67	8.17	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.49	0.78	8.66	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.48	0.91	9.14	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.50	1.06	9.64	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.55	1.24	10.19	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.63	1.44	10.82	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.74	1.68	11.56	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.90	1.95	12.46	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.12	2.28	13.58	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.42	2.65	15.01	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.85	3.09	16.86	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.26	3.60	19.12	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.71	4.19	21.84	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.24	4.88	25.08	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.72	5.69	28.80	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.17	6.63	32.97	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, UK

tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892769
 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
 จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

MasterSizer S Ver. 2.19
 Serial Number: 32134-89
 National Metal and Materials Technology Center

National Science and Technology Development Agency
 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Bangkok 11, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.
 Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5

a member of NSTDA

25 Jan 08 13:41
 MTEC

Result: Analysis Report

Sample ID: Talc
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI~1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 1 minute & stir medium

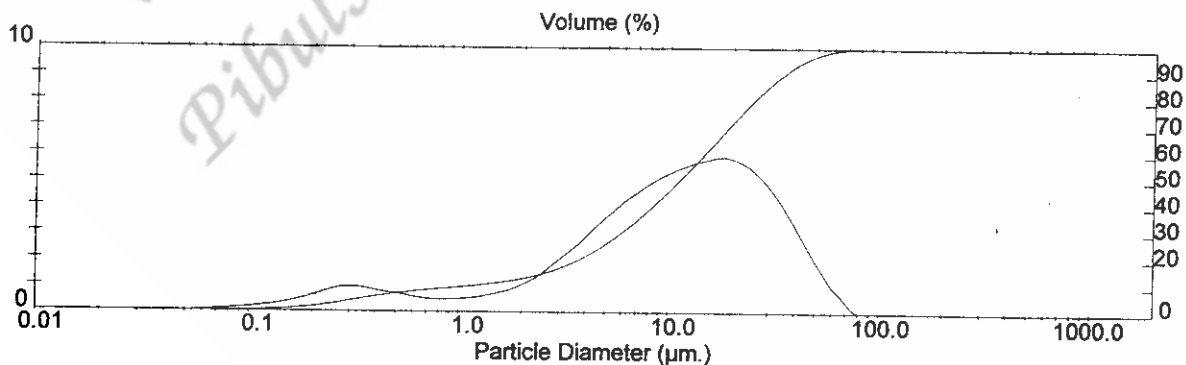
Sample Details
Run Number: 2
Record Number: 173

Measured: Wed Jan 16 2008 3:20PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 3:20PM
Result Source: Analysed

System Details
Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS1 Obscuration: 20.2 %
Presentation: 3_TALC [Particle R.I. = (1.5890, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 0.647 %
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Result Statistics
Distribution Type: Volume Concentration = 0.0162 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 2.8355 sq. m / g
Mean Diameters: D (v, 0.1) = 1.18 um D (v, 0.5) = 11.24 um D (v, 0.9) = 34.49 um
D [4, 3] = 15.14 um D [3, 2] = 2.12 um Span = 2.965E+00 Uniformity = 9.053E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.03	0.06	0.03	6.63	4.55	7.72	37.44
0.06	0.05	0.07	0.08	7.72	4.91	9.00	42.35
0.07	0.09	0.08	0.17	9.00	5.20	10.48	47.55
0.08	0.13	0.09	0.29	10.48	5.44	12.21	52.99
0.09	0.17	0.11	0.47	12.21	5.63	14.22	58.62
0.11	0.23	0.13	0.70	14.22	5.77	16.57	64.39
0.13	0.30	0.15	1.00	16.57	5.87	19.31	70.26
0.15	0.40	0.17	1.40	19.31	5.76	22.49	76.02
0.17	0.53	0.20	1.93	22.49	5.47	26.20	81.50
0.20	0.69	0.23	2.61	26.20	4.99	30.53	86.49
0.23	0.85	0.27	3.46	30.53	4.32	35.56	90.81
0.27	0.95	0.31	4.41	35.56	3.50	41.43	94.31
0.31	0.93	0.36	5.34	41.43	2.60	48.27	96.91
0.36	0.83	0.42	6.17	48.27	1.73	56.23	98.64
0.42	0.74	0.49	6.91	56.23	0.97	65.51	99.60
0.49	0.67	0.58	7.58	65.51	0.40	76.32	100.00
0.58	0.56	0.67	8.14	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.50	0.78	8.64	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.48	0.91	9.12	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.50	1.06	9.62	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.55	1.24	10.17	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.63	1.44	10.79	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.74	1.68	11.53	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.89	1.95	12.43	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.12	2.28	13.54	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.42	2.65	14.96	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.85	3.09	16.81	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.25	3.60	19.06	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.71	4.19	21.77	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.24	4.88	25.00	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.72	5.69	28.72	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.17	6.63	32.89	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

tel: +66 (0)1684-892456 Fax: +66 (0)1684-892459
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ Masterizer S Ver 2.10
Signal Number: 32734-89

National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Chulalongkornrajavidyalaya University, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5 http://www.nstda.or.th

Result: Analysis Report

Sample ID: Talc
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 1 minute & stir medium

Sample Details
Run Number: 3
Record Number: 174

Measured: Wed Jan 16 2008 3:21PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 3:21PM
Result Source: Analysed

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_TALC
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

System Details
Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5890, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300]

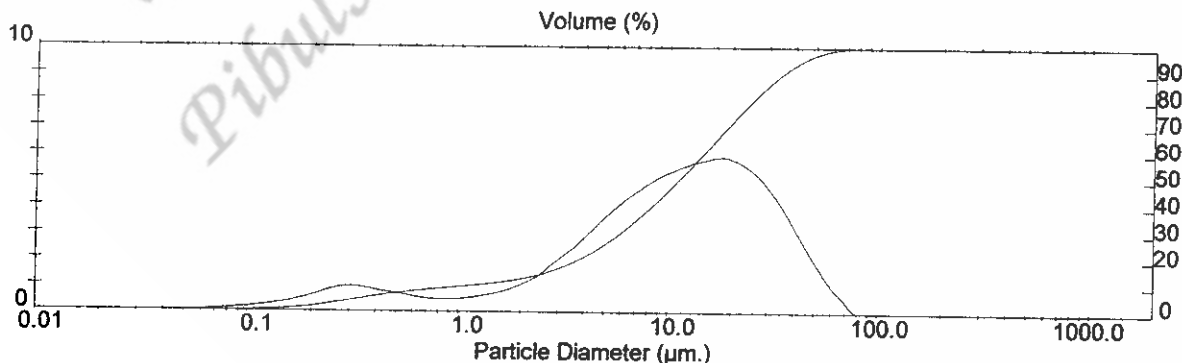
Sampler: MS1
Obscuration: 20.2 %
Residual: 0.644 %

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 15.11 um

Result Statistics
Concentration = 0.0161 %Vol
Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.1) = 1.17 um
D (v, 0.5) = 11.18 um
Span = 2.979E+00

Specific S.A. = 2.8391 sq. m / g
D (v, 0.9) = 34.47 um
Uniformity = 9.094E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.03	0.06	0.03	6.63	4.57	7.72	37.59
0.06	0.05	0.07	0.08	7.72	4.93	9.00	42.52
0.07	0.09	0.08	0.17	9.00	5.21	10.48	47.73
0.08	0.13	0.09	0.29	10.48	5.45	12.21	53.18
0.09	0.17	0.11	0.47	12.21	5.63	14.22	58.80
0.11	0.23	0.13	0.70	14.22	5.76	16.57	64.56
0.13	0.30	0.15	1.00	16.57	5.85	19.31	70.41
0.15	0.40	0.17	1.40	19.31	5.73	22.49	76.14
0.17	0.53	0.20	1.93	22.49	5.43	26.20	81.57
0.20	0.69	0.23	2.61	26.20	4.95	30.53	86.53
0.23	0.85	0.27	3.46	30.53	4.29	35.56	90.82
0.27	0.95	0.31	4.41	35.56	3.48	41.43	94.30
0.31	0.93	0.36	5.34	41.43	2.59	48.27	96.89
0.36	0.83	0.42	6.17	48.27	1.73	56.23	98.62
0.42	0.75	0.49	6.92	56.23	0.97	65.51	99.59
0.49	0.67	0.58	7.59	65.51	0.41	76.32	100.00
0.58	0.56	0.67	8.15	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.50	0.78	8.65	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	0.49	0.91	9.14	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.50	1.06	9.64	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.55	1.24	10.19	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.63	1.44	10.82	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.74	1.68	11.56	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.90	1.95	12.45	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.12	2.28	13.58	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.42	2.65	15.00	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.85	3.09	16.86	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.27	3.60	19.12	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.72	4.19	21.84	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.25	4.88	25.10	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.74	5.69	28.83	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.19	6.63	33.02	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
National Science and Technology Development Agency

114 Thailand Science Park, Pahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5

Result: Analysis Report

Sample ID: ZrSiO4
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\1
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 1 minute & stir medium

Sample Details
Run Number: 1
Record Number: 175

Measured: Wed Jan 16 2008 4:11PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 4:11PM
Result Source: Analysed

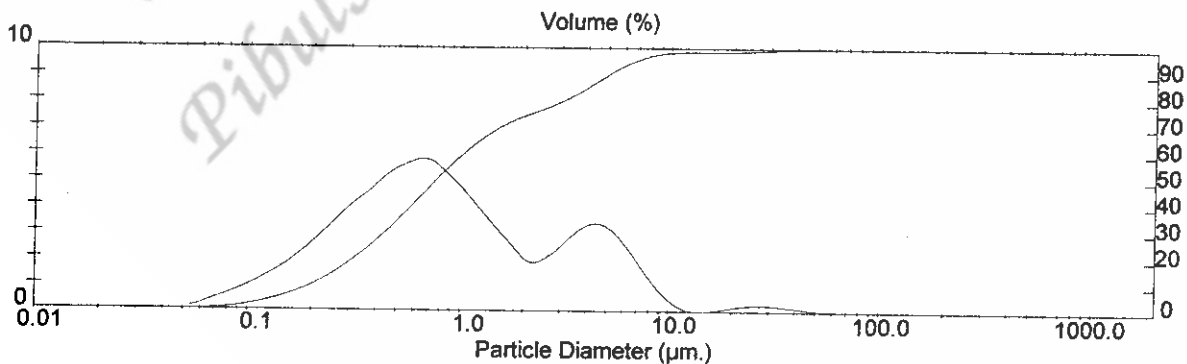
Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_ZRSIO4
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

System Details
Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.9700, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Obscuration: 21.7 %
Residual: 1.025 %

Result Statistics
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 2.02 um
Concentration = 0.0021 %Vol
D (v, 0.1) = 0.20 um
D [3, 2] = 0.48 um
Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.77 um
Span = 6.283E+00
Specific S.A. = 12.5368 sq. m / g
D (v, 0.9) = 5.02 um
Uniformity = 2.118E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.14	0.06	0.14	6.63	1.81	7.72	96.84
0.06	0.30	0.07	0.44	7.72	1.09	9.00	97.94
0.07	0.49	0.08	0.93	9.00	0.53	10.48	98.46
0.08	0.71	0.09	1.64	10.48	0.17	12.21	98.63
0.09	0.95	0.11	2.59	12.21	0.01	14.22	98.65
0.11	1.22	0.13	3.81	14.22	0.01	16.57	98.66
0.13	1.53	0.15	5.34	16.57	0.09	19.31	98.75
0.15	1.90	0.17	7.24	19.31	0.19	22.49	98.94
0.17	2.32	0.20	9.55	22.49	0.25	26.20	99.19
0.20	2.80	0.23	12.35	26.20	0.26	30.53	99.45
0.23	3.32	0.27	15.68	30.53	0.23	35.56	99.68
0.27	3.83	0.31	19.51	35.56	0.17	41.43	99.85
0.31	4.29	0.36	23.80	41.43	0.11	48.27	99.96
0.36	4.73	0.42	28.53	48.27	0.04	56.23	100.00
0.42	5.21	0.49	33.74	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	5.52	0.58	39.27	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	5.73	0.67	45.00	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	5.70	0.78	50.70	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	5.29	0.91	55.99	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	4.78	1.06	60.76	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	4.19	1.24	64.95	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	3.57	1.44	68.52	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.97	1.68	71.49	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.41	1.95	73.90	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.89	2.28	75.79	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.95	2.65	77.74	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.31	3.09	80.05	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.81	3.60	82.86	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.22	4.19	86.08	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.34	4.88	89.42	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.09	5.69	92.51	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.53	6.63	95.04	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

Tel: +66 (0)1684-892456 Fax: +66 (0)1684-892456
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

Masterizer S Ver 2.19
National Metal and Materials Technology Center
Serial Number: 32734-89

National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5 <http://www.mtec.or.th>

Attached page 11

Result: Analysis Report

Sample ID: ZrSiO4

Sample File: TS1059

Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\

Sample Notes: Medium : De-ionized water

Dispersant : Sodium hexametaphosphate

Treatment : Ultrasonic 1 minute & stir medium

Sample Details

Run Number: 2

Record Number: 176

Measured: Wed Jan 16 2008 4:11PM

Analysed: Wed Jan 16 2008 4:11PM

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Presentation: 3_ZRSIO4

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm

[Particle R.I. = (1.9700, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 21.7 %

Residual: 1.025 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Mean Diameters:

D [4, 3] = 2.02 um

Concentration = 0.0021 %Vol

D (v, 0.1) = 0.20 um

D [3, 2] = 0.48 um

Density = 1.000 g / cub. cm

D (v, 0.5) = 0.77 um

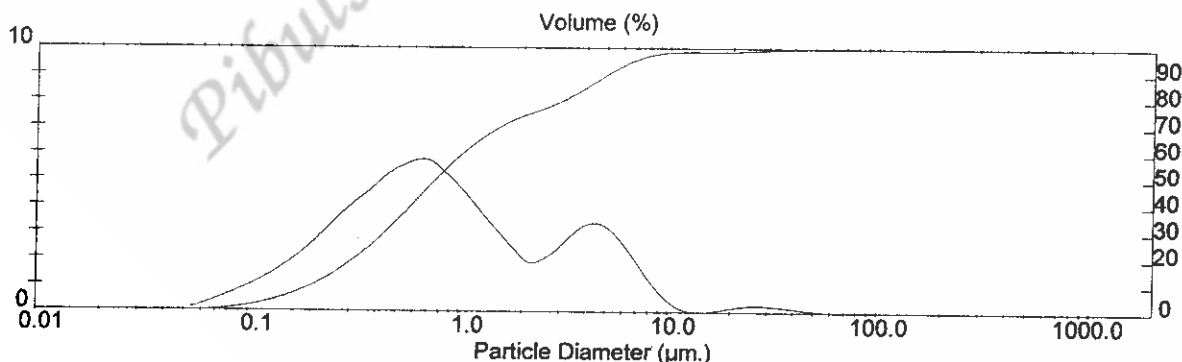
Span = 6.279E+00

Specific S.A. = 12.5445 sq. m / g

D (v, 0.9) = 5.01 um

Uniformity = 2.118E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.14	0.06	0.14	6.63	1.80	7.72	96.86
0.06	0.30	0.07	0.44	7.72	1.09	9.00	97.95
0.07	0.49	0.08	0.93	9.00	0.52	10.48	98.47
0.08	0.71	0.09	1.64	10.48	0.16	12.21	98.63
0.09	0.95	0.11	2.59	12.21	0.01	14.22	98.64
0.11	1.22	0.13	3.82	14.22	0.01	16.57	98.65
0.13	1.54	0.15	5.35	16.57	0.10	19.31	98.74
0.15	1.90	0.17	7.25	19.31	0.19	22.49	98.94
0.17	2.32	0.20	9.57	22.49	0.25	26.20	99.19
0.20	2.80	0.23	12.37	26.20	0.26	30.53	99.45
0.23	3.32	0.27	15.70	30.53	0.23	35.56	99.68
0.27	3.83	0.31	19.53	35.56	0.17	41.43	99.85
0.31	4.29	0.36	23.82	41.43	0.11	48.27	99.96
0.36	4.73	0.42	28.55	48.27	0.04	56.23	100.00
0.42	5.21	0.49	33.75	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	5.52	0.58	39.27	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	5.73	0.67	45.00	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	5.70	0.78	50.70	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	5.28	0.91	55.98	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	4.77	1.06	60.75	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	4.19	1.24	64.94	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	3.57	1.44	68.51	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.97	1.68	71.48	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.41	1.95	73.89	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.89	2.28	75.78	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.95	2.65	77.74	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.31	3.09	80.05	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.81	3.60	82.86	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.22	4.19	86.09	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.35	4.88	89.43	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.09	5.69	92.53	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.53	6.63	95.05	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง

จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
Masterizer S Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.

Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5

http://www.mtec.or.th

MTEC
a member of NSTDA

25 Jan 08 13:41

Result: Analysis Report

Sample ID: ZrSiO4
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : De-ionized water
Dispersant : Sodium hexametaphosphate
Treatment : Ultrasonic 1 minute & stir medium

Sample Details
Run Number: 3
Record Number: 177

Measured: Wed Jan 16 2008 4:12PM
Analysed: Wed Jan 16 2008 4:12PM
Result Source: Analysed

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_ZRSIO4
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

System Details
Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.9700, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]
Sampler: MS1

Obscuration: 21.7 %
Residual: 1.026 %

Result Statistics

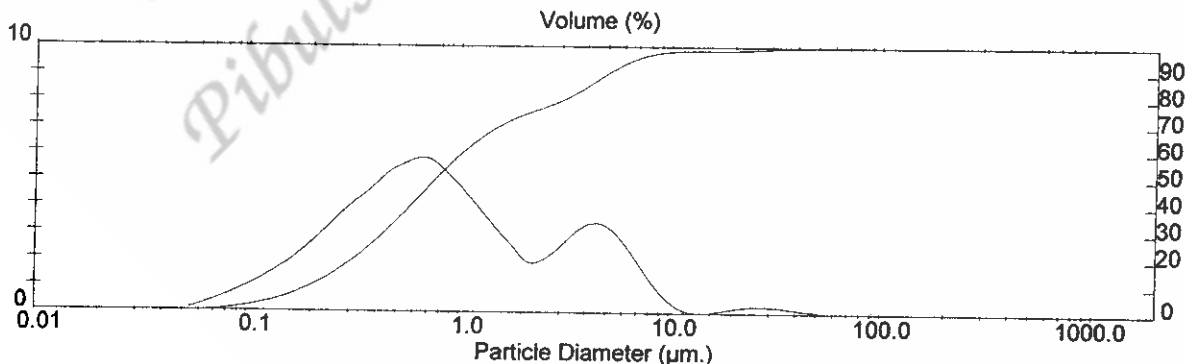
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 2.02 um

Concentration = 0.0021 %Vol
D (v, 0.1) = 0.20 um
D [3, 2] = 0.48 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 0.77 um
Span = 6.300E+00

Specific S.A. = 12.5483 sq. m / g
D (v, 0.9) = 5.03 um
Uniformity = 2.130E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.14	0.06	0.14	6.63	1.80	7.72	96.80
0.06	0.30	0.07	0.44	7.72	1.09	9.00	97.89
0.07	0.49	0.08	0.93	9.00	0.52	10.48	98.42
0.08	0.71	0.09	1.64	10.48	0.17	12.21	98.58
0.09	0.95	0.11	2.59	12.21	0.02	14.22	98.60
0.11	1.23	0.13	3.82	14.22	0.02	16.57	98.62
0.13	1.54	0.15	5.36	16.57	0.10	19.31	98.73
0.15	1.90	0.17	7.26	19.31	0.20	22.49	98.93
0.17	2.32	0.20	9.58	22.49	0.26	26.20	99.18
0.20	2.80	0.23	12.38	26.20	0.27	30.53	99.45
0.23	3.32	0.27	15.71	30.53	0.23	35.56	99.68
0.27	3.83	0.31	19.54	35.56	0.17	41.43	99.85
0.31	4.29	0.36	23.84	41.43	0.11	48.27	99.96
0.36	4.73	0.42	28.57	48.27	0.04	56.23	100.00
0.42	5.21	0.49	33.77	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	5.52	0.58	39.29	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	5.73	0.67	45.02	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	5.70	0.78	50.72	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	5.28	0.91	56.00	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	4.77	1.06	60.77	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	4.18	1.24	64.95	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	3.56	1.44	68.51	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.96	1.68	71.47	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.40	1.95	73.88	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	1.88	2.28	75.76	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.94	2.65	77.70	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	2.31	3.09	80.01	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.81	3.60	82.81	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.22	4.19	86.03	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.34	4.88	89.38	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.09	5.69	92.47	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.53	6.63	95.00	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

el:=[44] (0)1684-892456 Fax: +66 (0)1684-892789
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ Masterizer S Ver. 2.19
Serial Number: 32734-85

National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Luang, Pathum Thani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5

a member of NSTDA

25 Jan 08 13:41

Result: Analysis Report

Attached page 13

Sample ID: CaCO₃
 Sample File: TS1059
 Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
 Sample Notes: Medium : DI water
 Dispersant : Nonidet P40
 Treatment : US 5 min & Stir medium

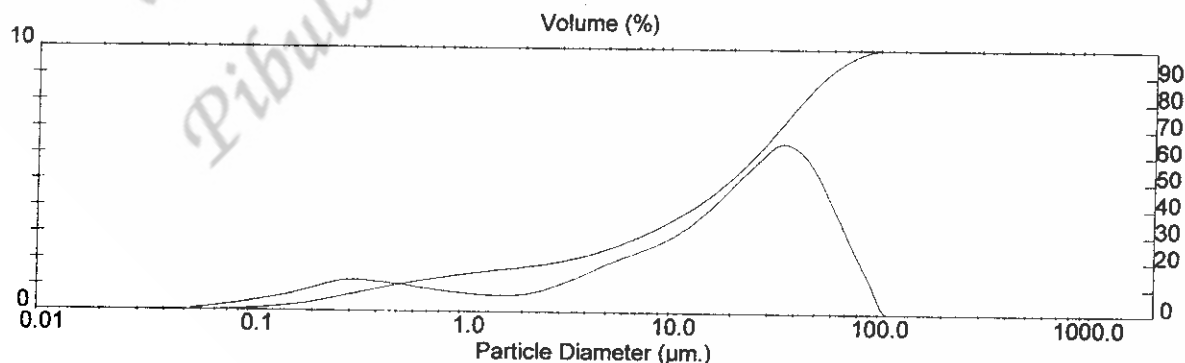
Sample Details
 Run Number: 1
 Record Number: 178

Measured: Wed Jan 23 2008 2:09PM
 Analysed: Wed Jan 23 2008 2:09PM
 Result Source: Analysed

System Details
 Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS1 Obscuration: 20.5 %
 Presentation: 3_CACO32 [Particle R.I. = (1.5750, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 1.009 %
 Analysis Model: Polydisperse
 Modifications: None

Result Statistics
 Distribution Type: Volume Concentration = 0.0183 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 3.8621 sq. m / g
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 0.49 um D (v, 0.5) = 19.24 um D (v, 0.9) = 55.85 um
 D [4, 3] = 24.22 um D [3, 2] = 1.55 um Span = 2.878E+00 Uniformity = 9.104E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.06	0.06	0.06	6.63	2.31	7.72	30.10
0.06	0.12	0.07	0.19	7.72	2.52	9.00	32.62
0.07	0.19	0.08	0.38	9.00	2.76	10.48	35.38
0.08	0.26	0.09	0.64	10.48	3.06	12.21	38.44
0.09	0.34	0.11	0.98	12.21	3.43	14.22	41.87
0.11	0.43	0.13	1.41	14.22	3.87	16.57	45.74
0.13	0.53	0.15	1.94	16.57	4.37	19.31	50.11
0.15	0.65	0.17	2.59	19.31	4.91	22.49	55.02
0.17	0.79	0.20	3.38	22.49	5.44	26.20	60.45
0.20	0.94	0.23	4.33	26.20	5.93	30.53	66.38
0.23	1.09	0.27	5.42	30.53	6.39	35.56	72.77
0.27	1.19	0.31	6.61	35.56	6.36	41.43	79.14
0.31	1.19	0.36	7.80	41.43	5.94	48.27	85.07
0.36	1.14	0.42	8.94	48.27	5.14	56.23	90.21
0.42	1.08	0.49	10.02	56.23	4.06	65.51	94.27
0.49	1.02	0.58	11.04	65.51	2.99	76.32	97.26
0.58	0.93	0.67	11.98	76.32	1.91	88.91	99.17
0.67	0.86	0.78	12.84	88.91	0.83	103.58	100.00
0.78	0.79	0.91	13.63	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.73	1.06	14.36	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.69	1.24	15.05	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.65	1.44	15.70	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.63	1.68	16.33	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.64	1.95	16.97	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.70	2.28	17.67	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.82	2.65	18.49	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.00	3.09	19.49	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.21	3.60	20.70	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.42	4.19	22.12	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.66	4.88	23.78	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.90	5.69	25.68	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.11	6.63	27.79	754.23	0.00	878.87	100.00



Malvern Instruments Ltd.

Malvern, UK

Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

Mastersizer S Ver. 2.19

Serial Number: 32734-89

National Science and Technology Development Agency

114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Mong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.

Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5

MTEC
 a member of NSTDA

25 Jan 08 13:41

Result: Analysis Report

Sample ID: CaCO3
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : DI water
Dispersant : Nonidet P40
Treatment : US 5 min & Stir medium

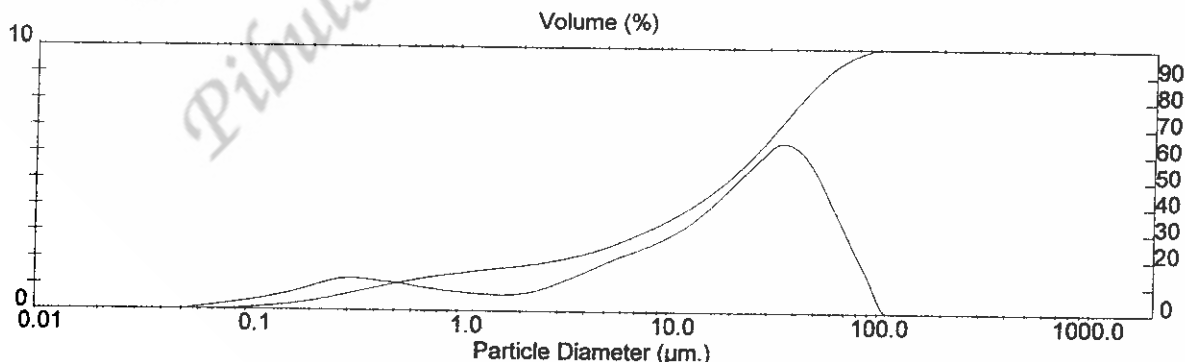
Sample Details
Run Number: 2
Record Number: 179

Measured: Wed Jan 23 2008 2:10PM
Analysed: Wed Jan 23 2008 2:10PM
Result Source: Analysed

System Details
Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3_CACO32
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None
Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5750, 0.0100);
Dispersant R.I. = 1.3300]
Sampler: MS1
Obscuration: 20.4 %
Residual: 1.006 %

Result Statistics
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 24.25 um
Concentration = 0.0181 %Vol
D (v, 0.1) = 0.49 um
D [3, 2] = 1.54 um
Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 19.20 um
Span = 2.891E+00
Specific S.A. = 3.8863 sq. m / g
D (v, 0.9) = 56.01 um
Uniformity = 9.154E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.06	0.06	0.06	6.63	2.32	7.72	30.22
0.06	0.13	0.07	0.19	7.72	2.53	9.00	32.74
0.07	0.19	0.08	0.38	9.00	2.77	10.48	35.51
0.08	0.27	0.09	0.65	10.48	3.05	12.21	38.56
0.09	0.34	0.11	0.99	12.21	3.41	14.22	41.97
0.11	0.43	0.13	1.42	14.22	3.84	16.57	45.82
0.13	0.54	0.15	1.96	16.57	4.34	19.31	50.16
0.15	0.66	0.17	2.61	19.31	4.87	22.49	55.03
0.17	0.80	0.20	3.41	22.49	5.40	26.20	60.42
0.20	0.95	0.23	4.36	26.20	5.89	30.53	66.31
0.23	1.10	0.27	5.47	30.53	6.36	35.56	72.67
0.27	1.20	0.31	6.66	35.56	6.35	41.43	79.03
0.31	1.20	0.36	7.87	41.43	5.94	48.27	84.97
0.36	1.15	0.42	9.01	48.27	5.15	56.23	90.12
0.42	1.09	0.49	10.10	56.23	4.08	65.51	94.20
0.49	1.03	0.58	11.13	65.51	3.01	76.32	97.21
0.58	0.94	0.67	12.07	76.32	1.93	88.91	99.14
0.67	0.86	0.78	12.93	88.91	0.86	103.58	100.00
0.78	0.79	0.91	13.72	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	0.74	1.06	14.46	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	0.69	1.24	15.14	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.65	1.44	15.79	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.63	1.68	16.42	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.64	1.95	17.06	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.70	2.28	17.76	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.82	2.65	18.58	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.00	3.09	19.58	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.21	3.60	20.78	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.42	4.19	22.21	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.67	4.88	23.87	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.90	5.69	25.78	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.12	6.63	27.90	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

MasterSizer S Ver. 2.19
Serial Number: 32734-89
National Science and Technology Development Agency
National Science and Technology Center

114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1 Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5

Result: Analysis Report

Sample ID: CaCO₃
Sample File: TS1059
Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH_51\
Sample Notes: Medium : DI water
Dispersant : Nonidet P40
Treatment : US 5 min & Stir medium

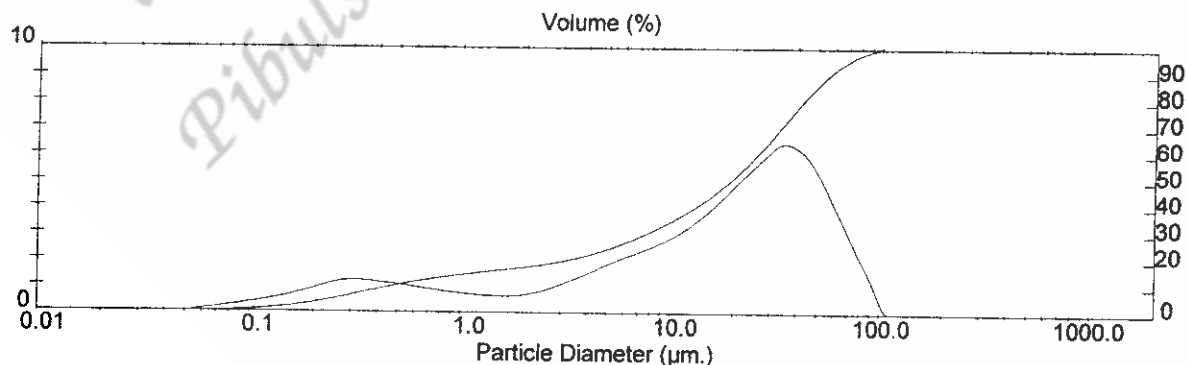
Sample Details
Run Number: 3
Record Number: 180

Measured: Wed Jan 23 2008 2:11PM
Analysed: Wed Jan 23 2008 2:11PM
Result Source: Analysed

System Details
Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS1 Obscuration: 20.3 %
Presentation: 3_CACO32 [Particle R.I. = (1.5750, 0.0100); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 1.002 %
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Result Statistics
Distribution Type: Volume Concentration = 0.0181 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 3.8859 sq. m / g
Mean Diameters: D (v, 0.1) = 0.49 um D (v, 0.5) = 19.13 um D (v, 0.9) = 55.78 um
D [4, 3] = 24.16 um D [3, 2] = 1.54 um Span = 2.890E+00 Uniformity = 9.144E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.06	0.06	0.06	6.63	2.32	7.72	30.21
0.06	0.13	0.07	0.19	7.72	2.53	9.00	32.74
0.07	0.19	0.08	0.38	9.00	2.78	10.48	35.52
0.08	0.27	0.09	0.65	10.48	3.07	12.21	38.59
0.09	0.34	0.11	0.99	12.21	3.44	14.22	42.02
0.11	0.43	0.13	1.42	14.22	3.87	16.57	45.90
0.13	0.54	0.15	1.96	16.57	4.37	19.31	50.27
0.15	0.65	0.17	2.61	19.31	4.90	22.49	55.17
0.17	0.80	0.20	3.41	22.49	5.42	26.20	60.59
0.20	0.95	0.23	4.36	26.20	5.91	30.53	66.50
0.23	1.10	0.27	5.46	30.53	6.37	35.56	72.87
0.27	1.20	0.31	6.66	35.56	6.84	41.43	79.21
0.31	1.20	0.36	7.86	41.43	7.32	48.27	85.12
0.36	1.14	0.42	9.01	48.27	7.86	56.23	90.25
0.42	1.08	0.49	10.09	56.23	8.41	65.51	94.29
0.49	1.03	0.58	11.12	65.51	8.91	76.32	97.27
0.58	0.94	0.67	12.06	76.32	9.45	88.91	99.17
0.67	0.86	0.78	12.92	88.91	10.00	103.58	100.00
0.78	0.79	0.91	13.71	103.58	10.58	120.67	100.00
0.91	0.73	1.06	14.45	120.67	11.12	140.58	100.00
1.06	0.69	1.24	15.13	140.58	11.67	163.77	100.00
1.24	0.65	1.44	15.79	163.77	12.21	190.80	100.00
1.44	0.63	1.68	16.41	190.80	12.74	222.28	100.00
1.68	0.64	1.95	17.05	222.28	13.27	258.95	100.00
1.95	0.70	2.28	17.76	258.95	13.79	301.68	100.00
2.28	0.82	2.65	18.57	301.68	14.31	351.46	100.00
2.65	1.00	3.09	19.57	351.46	14.83	409.45	100.00
3.09	1.21	3.60	20.78	409.45	15.35	477.01	100.00
3.60	1.42	4.19	22.20	477.01	15.87	555.71	100.00
4.19	1.67	4.88	23.87	555.71	16.39	647.41	100.00
4.88	1.90	5.69	25.77	647.41	16.91	754.23	100.00
5.69	2.12	6.63	27.89	754.23	17.43	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK

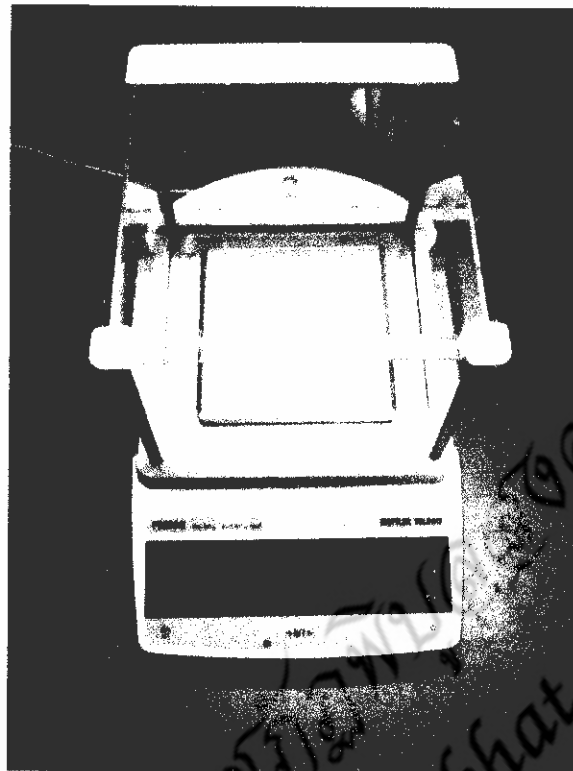
Tel: +66 (0)1684-892456 Fax: +66 (0)1684-892456
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

Masterizer S Ver. 2.19
National Metal and Materials Technology Center
Signal Number: 32734-89

National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Joint 1, Hong Kong, Thailand 100
Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5
Member of NSTDA

ภาคผนวก – ก

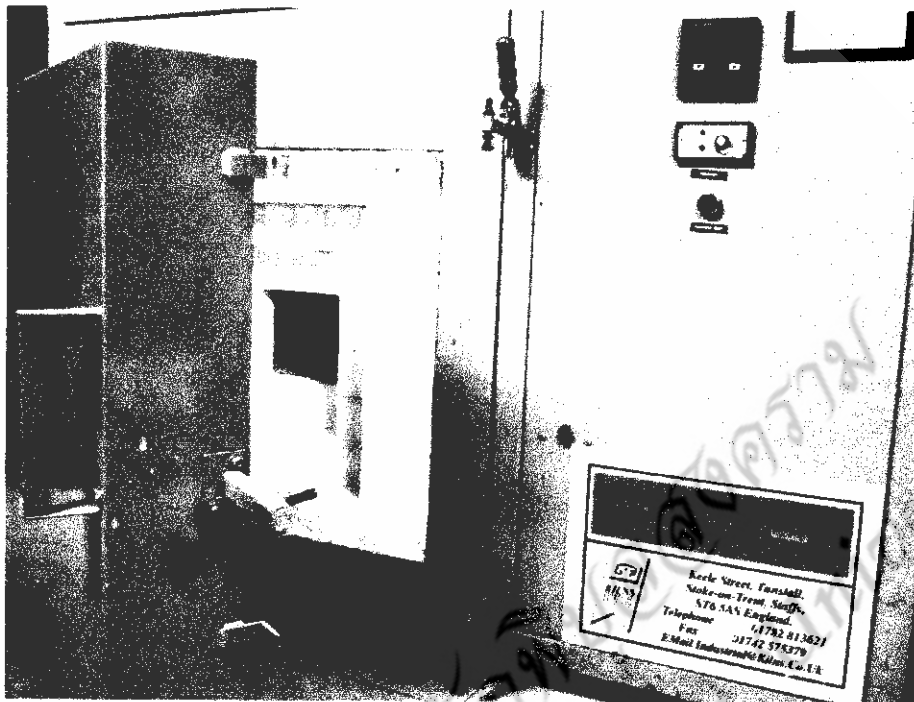
เครื่องมือ อุปกรณ์ และกระบวนการวิจัย



เครื่องชั่งไฟฟ้า



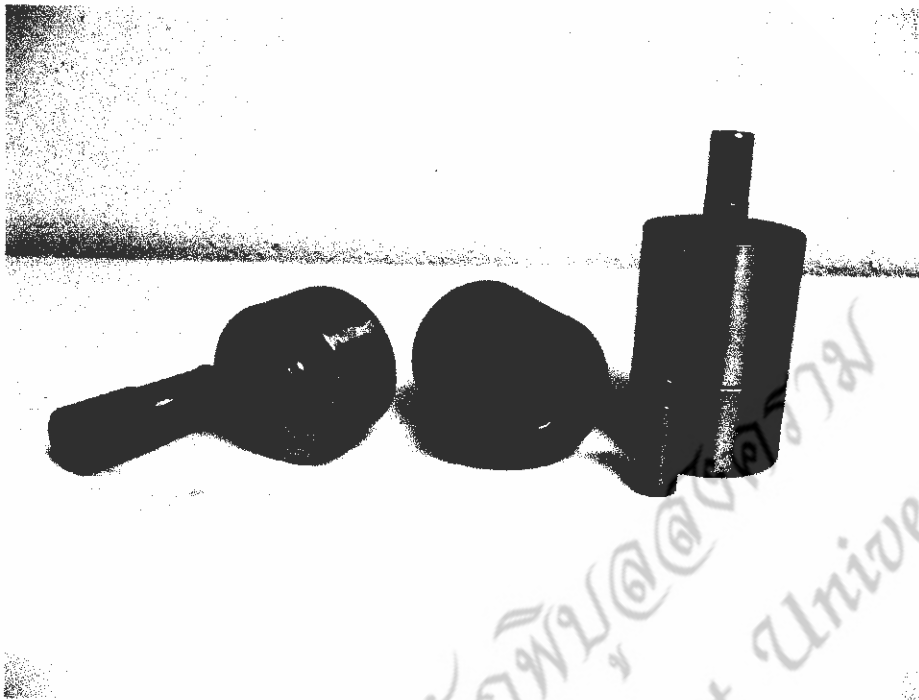
หม้ออบและลูกบดความเร็วสูง



เตาเผาไฟฟ้า



เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



แม่พิมพ์โลหะใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นทดสอบ และผลิตภัณฑ์



การอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบ และผลิตภัณฑ์โดยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยไฮดรอลิก

ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏบึงฉลวย
Pibulsongkram Rajabhat University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย)

นางจิตราภา จิตชาณวิชัย

ชื่อ – สกุล (ภาษาอังกฤษ)

Mrs. Jittrapa Jitcharnvichai

หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3660600553654

ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ ระดับ 6

หน่วยงาน

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

(055) 282792

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยม อันดับ 1)

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิกส์

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

พ.ศ. 2546

ครุศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีเซรามิกส์)

สถาบันราชภัฏพระนคร

กรุงเทพมหานคร

สาขาที่มีความชำนาญ

เทคโนโลยีเซรามิกส์ และวัสดุ