

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

วศ
วพช
อว 15

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ของ

นางสาวลดา พันธุ์สุขุมธนา

เรื่องที่ 2

การพัฒนาเครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์ – มัลไลต์
Development of Cordierite – Mullite Kiln Furnitures

ผู้ดำเนินการ

นางสาวสุจินดา โชติพานิช

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

นางสาวลดา พันธุ์สุขุมธนา

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

นางสาวสุมาลี ถิขิตวณิชกุล

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

กลุ่มวิจัยและพัฒนา

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2536

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

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ข้าราชการและ
เจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนและความร่วมมืออย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยนี้ และ
ขอขอบคุณคุณคุณอรุณศรี เตปิน และคุณทิพย์วรรณ ผ่องโสภณ ที่ช่วยพิมพ์รายงาน

๑๑๗
เลขที่ กพร
๑๑๑๕
เลขที่เรื่อง 10004
วันที่ 14 มี.ค. ๕๕

ด้วยฉันทนาการ
จาก
๑๑๗

บทคัดย่อ

การทดลองนี้เป็นการพัฒนาเครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์จากดินในประเทศ
ทัลก์ อะลูมินา และกร็อกมัลไลต์ ผลิตภัณฑ์ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 1300°ซ. มีความพรุนปรากฏ
29 ถึง 33% ความหนาแน่นรวม 1.87 ถึง 1.97 กรัม/ซม.³ มอดูลัสแตกร้าว 12 ถึง 25
เมกะพาสคัล สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 3.4×10^{-6} ถึง 3.6×10^{-6} ซม./ซม.^{°ซ.} และ
ความทนไฟ 1517° ถึง 1567°ซ. นอกจากนี้ยังได้รายงานผลการศึกษาคูณภาพทัลก์จากแหล่ง
ต่าง ๆ และสมบัติของคอร์เดียไรต์เตรียมจากดินในประเทศ ทัลก์ และอะลูมินา ไว้ด้วย

Abstract

Cordierite-Mullite kiln furnitures were developed from local clays, talc, alumina and mullite grog. The products fired at 1300°C had apparent porosity 29 to 33%, bulk density 1.87 to 1.97 g/cm³, modulus of rupture 12 to 25 MPa, thermal expansion coefficient 3.4×10^{-6} to 3.6×10^{-6} cm/cm°C, and refractoriness 1517° to 1567°C. Quality of talc from various sources and properties of cordierite made from local clays, talc and alumina were also studied and reported.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

Abstract

สารบัญ

สารบัญตาราง..... ก

สารบัญภาพ..... ข

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... 3

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 4

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ..... 4

บทที่ 2 คุณภาพหลักกับการเตรียมคอร์เตียไรต์..... 5

2.1 บทนำ..... 5

2.1.1 วัตถุประสงค์การทดลอง..... 6

2.1.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ..... 6

2.2 วิธีการทดลอง..... 6

2.2.1 ส่วนผสม..... 6

2.2.2 การเตรียมตัวอย่าง..... 6

2.2.3 การวิเคราะห์ทดสอบ..... 6

2.3 ผลการทดลอง..... 7

2.3.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ..... 7

2.3.2 ตำแหน่งของส่วนผสมคอร์เตียไรต์ทั้ง 3 ชนิดใน phase
diagram $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ 8

2.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอร์เตียไรต์..... 9

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------|---|
| 2.4 | วิจารณ์ผลการทดลอง..... 11 |
| 2.5 | สรุปผลการทดลอง..... 13 |
| บทที่ 3 | คอร์เดย์ไรต์เตรียมจากดิน ทัลก์ และอะลูมินา..... 14 |
| 3.1 | บทนำ..... 14 |
| 3.1.1 | วัตถุประสงค์การทดลอง..... 14 |
| 3.1.2 | ประโยชน์ที่จะได้รับ..... 14 |
| 3.2 | วิธีการทดลอง..... 14 |
| 3.2.1 | วัตถุดิบ..... 15 |
| 3.2.2 | ส่วนผสม..... 15 |
| 3.2.3 | การเตรียมตัวอย่าง..... 16 |
| 3.2.4 | การวิเคราะห์ทดสอบ..... 16 |
| 3.3 | ผลการทดลอง..... 16 |
| 3.3.1 | การก่อเกิดเป็นคอร์เดย์ไรต์..... 16 |
| 3.3.2 | สมบัติทางกายภาพและการสูกตัวของเนื้อ..... 17 |
| 3.4 | วิจารณ์ผลการทดลอง..... 21 |
| 3.4.1 | การก่อเกิดเป็นคอร์เดย์ไรต์..... 21 |
| 3.4.2 | สมบัติทางกายภาพและการสูกตัวของเนื้อ..... 21 |
| 3.5 | สรุปผลการทดลอง..... 22 |
| 3.6 | ข้อเสนอแนะ..... 22 |
| บทที่ 4 | การพัฒนาเครื่องเตาเผาคอร์เดย์ไรต์-มัลไลต์..... 23 |
| 4.1 | บทนำ..... 23 |
| 4.1.1 | วัตถุประสงค์การทดลอง..... 24 |
| 4.1.2 | ประโยชน์ที่จะได้รับ..... 24 |
| 4.2 | วิธีการทดลอง..... 25 |

สารบัญ

| | หน้า |
|--|-----------|
| 4.2.1 วัดคุณภาพ..... | 25 |
| 4.2.2 ส่วนผสม..... | 26 |
| 4.2.3 การเตรียมตัวอย่าง..... | 28 |
| 4.2.4 การวิเคราะห์ทดสอบ..... | 28 |
| 4.2.5 การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์..... | 29 |
| 4.3 ผลการทดลอง..... | 30 |
| 4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง..... | 37 |
| 4.5 สรุปผลการทดลอง..... | 38 |
| 4.6 ข้อเสนอแนะ..... | 39 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 40 |
| ภาคผนวก..... | 42 |
| ก เครื่องเตาเผากับการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก..... | 43 |
| ข เครื่องเตาเผาแบบต่าง ๆ..... | 44 |
| ค วิธีคำนวณการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม และมอดุลัสแตกร้าว..... | 45 |
| ง เนื้อคอร์เตียไรต์เผา 1270°-1400°ซ..... | 46 |
| จ เอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตแกรมของกร็อกมัลไลต์..... | 47 |
| ฉ ภาพลักษณะของโคนก่อนและหลังทดสอบ..... | 48 |
| ช ภาพวาดแบบโลหะใช้อัดผลิตภัณฑ์แผ่นรอง..... | 49 |
| ซ ภาพวาดแบบโลหะใช้อัดผลิตภัณฑ์เสา..... | 50 |
| ณ ขนาดของผลิตภัณฑ์แผ่นและเสาที่ทดลองทำ..... | 51 |
| ญ การขยายตัวของเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ชนิดกร็อกหยาบ..... | 52 |

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| ฎ การขยายตัวของเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ชนิดกร้อกละเอียด..... | 53 |
| ฎ ผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ที่ได้จากการทดลอง..... | 54 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 2.1 | องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ..... | 7 |
| 2.2 | ปริมาณองค์ประกอบสำคัญของคอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์ (เกาหลี/ไทย/จีน)- ดินขาวปราจีนบุรี-อะลูมินา เปรียบเทียบกับคอร์เดียไรต์เชิงทฤษฎี..... | 8 |
| 2.3 | ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและลักษณะทั่วไปของคอร์เดียไรต์..... | 10 |
| 3.1 | องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ..... | 15 |
| 3.2 | ส่วนผสมคอร์เดียไรต์..... | 15 |
| 3.3 | ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของคอร์เดียไรต์ T3C และ T3CB | 17 |
| 3.4 | ลักษณะทั่วไปและผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม ตัวอย่าง คอร์เดียไรต์ T3C และ T3CB..... | 20 |
| 4.1 | สมบัติของผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์จากเอกสารอ้างอิง..... | 25 |
| 4.2 | ส่วนผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์..... | 26 |
| 4.3 | ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของคอร์เดียไรต์-มัลไลต์..... | 30 |
| 4.4 | ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล..... | 33 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ตำแหน่งของคอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์ เกาหลี (K) ไทย (T) และจีน (C) ใน phase diagram $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ | 9 |
| 2.2 คอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์เกาหลี ไทยและจีน..... | 10 |
| 3.1 เอกซเรย์ดิฟแฟรกโตแกรมคอร์เดียไรต์ T3C เเผา $1270^{\circ}-1400^{\circ}$ ซ..... | 18 |
| 3.2 เอกซเรย์ดิฟแฟรกโตแกรมคอร์เดียไรต์ T3CB เเผา $1270^{\circ}-1400^{\circ}$ ซ..... | 19 |
| 3.3 ความหนาแน่นรวมกับระดับอุณหภูมิต..... | 20 |
| 4.1 การขยายตัวของกร็อกหรือซามอดต์กับคอร์เดียไรต์..... | 27 |
| 4.2 เอกซเรย์ดิฟแฟรกโตแกรมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ชนิดกร็อกหยาบ (B-MC)..... | 31 |
| 4.3 เอกซเรย์ดิฟแฟรกโตแกรมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ชนิดกร็อกละเอียด (B-MF)..... | 32 |
| 4.4 เปรียบเทียบการขยายตัวของเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ชนิดกร็อกหยาบ B-MC25 B-MC35 และ B-MC45..... | 35 |
| 4.5 เปรียบเทียบการขยายตัวของเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ชนิดกร็อกละเอียด B-MF20 B-MF25 และ B-MF35..... | 36 |

บทที่ 1

บทนำ

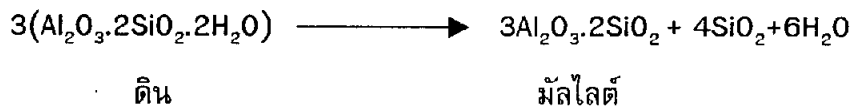
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครื่องเตาเผา (kiln furnitures) เป็นวัสดุทนไฟชนิดพิเศษ จำเป็นสำหรับการผลิตเซรามิก เพราะต้องใช้ร่องผลิตภัณฑ์ขณะเผาในเตา ดังแสดงในภาคผนวก ก และ ข การเผาแต่ละครั้งจะใช้เครื่องเตาเผาไม่น้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประเภทและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเคลือบผิว เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง โม่เสก เครื่องสุขภัณฑ์ รวมทั้งเครื่องประดับต่างๆนั้น ต้องใช้เครื่องเตาเผาเป็นจำนวนมาก เพื่อแยกผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นให้อยู่ห่างกัน นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์จากสิ่งปนเปื้อนอันมาจากบรรยากาศการเผาได้อีกด้วย

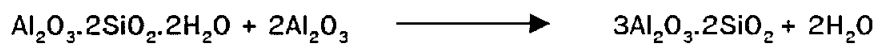
เครื่องเตาเผามีรูปร่างและลักษณะการใช้งานหลายแบบมาก เช่น เป็นเสา แผ่นแบน จาน หรือ กล่อง เป็นต้น จะเลือกใช้รูปร่างแบบใดขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่นำมาเผา ถ้าเลือกใช้เครื่องเตาเผาไม่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ ดังนั้นบางครั้งผู้ผลิตจึงลงทุนออกแบบเครื่องเตาเผาขึ้นมาใหม่ให้พอดีกับผลิตภัณฑ์ของตนโดยเฉพาะ

เครื่องเตาเผาจำแนกตามเนื้อส่วนประกอบได้หลายชนิด ได้แก่ ชนิดเนื้ออัลลิไต์ (mul-lite) ซึ่งทำจากดินทนไฟ (fire clay) ชนิดมีส่วนผสมของคอร์เดียไรต์ (cordierite) ชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ เป็นต้น การผลิตเซรามิกในสมัยก่อนใช้เครื่องเตาเผาทำจากดินทนไฟเป็นส่วนใหญ่ แต่หลังจากเทคโนโลยีการผลิตได้พัฒนาก้าวหน้าไปมากขึ้น ระบบการเผาเปลี่ยนจากการเผาช้ามาเป็น การเผาเร็ว (fast firing) ทำให้มีการพัฒนาเครื่องเตาเผาที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน (thermal shock) ขึ้นมาใช้ เนื้อประเภทดินทนไฟซึ่งไม่ทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันจึงเสื่อมความนิยมไป ผู้ผลิตหันมาใช้เนื้อที่มีส่วนผสมของคอร์เดียไรต์และเนื้อซิลิคอนคาร์ไบด์ ซึ่งทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดีกว่าแทน เพราะสามารถใช้งานได้หลายครั้งโดยไม่แตก ทำให้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนการผลิต การใช้เนื้อแบบดินทนไฟนอกจากจะไม่ทนแล้ว ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าไปเผามีตำหนิมาก เพราะเนื้อดินทนไฟซึ่งมักมีความพรุนสูงและแตกร้าง่ายนั้น มักหลุดร่วงไปติดผิวเคลือบ ทำให้เกิดมีตำหนิ การผลิตเครื่องเคลือบดินเผาในปัจจุบันนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเพื่อส่งออก มีการแข่งขันสูงและเน้นเรื่องคุณภาพ อีกทั้งต้องพยายามลดต้นทุนการผลิต เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์ และซิลิคอน-

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาที่มีคอร์เดียไรต์เป็นส่วนผสม มักเป็นเนื้อผสมระหว่างคอร์เดียไรต์กับมัลไลต์ เพราะจะทำให้สมรรถนะการใช้งานที่อุณหภูมิสูงดีขึ้น มัลไลต์คือสารประกอบซิลิเกต มีสูตรเคมีคือ $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ แม้มัลไลต์เป็นแร่ที่เกิดยากในธรรมชาติเช่นเดียวกับคอร์เดียไรต์ แต่การเตรียมหรือสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมไม่ค่อยยุ่งยากเท่าคอร์เดียไรต์ เพราะสามารถผลิตขึ้นมาใช้ได้โดยง่ายเพียงนำดินขาวมาเผาที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 980°C . ก็จะเริ่มเกิดเป็นมัลไลต์ขึ้น ปฏิกิริยาการเกิดมัลไลต์จากดิน ดังแสดงในสมการ



หรือถ้าต้องการให้เกิดเป็นมัลไลต์ชั้นคุณภาพดีไม่มีซิลิกาปะปนอยู่ด้วย ก็ทำได้โดยการเติมอะลูมินาเข้าไปจำนวนหนึ่ง อะลูมินาจะทำปฏิกิริยากับดินเกิดเป็นมัลไลต์ขึ้นอย่างสมบูรณ์ ดังสมการ



เนื่องจากเครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเซรามิก ซึ่งมีแนวโน้มการส่งออกดีและมีการประกอบการกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศ โดยมีทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ นอกจากนี้ประเทศไทยเรายังมีวัตถุดิบชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ดินที่น่าจะสามารถนำมาทำเครื่องเตาเผาคุณภาพดีได้ ด้วยเหตุนี้ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก จึงได้ดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ เพื่อให้มีข้อมูล ความรู้และเทคโนโลยีการทำสำหรับเผยแพร่สู่ผู้ประกอบการ และเพื่อนำแร่ทรัพยากรในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ตามศักยภาพของแต่ละแหล่ง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนาเนื้อคอร์เดียไรต์สำหรับทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผา

1.2.2 เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนาส่วนผสม วิธีการทำ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ โดยทำเป็นแผ่นและเสา

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.3.1 เป็นการนำแร่ดินซึ่งมีอยู่มากในประเทศมาศึกษาการใช้ประโยชน์ด้านวัสดุทน-ไฟ

1.3.2 ช่วยสร้างฐานความรู้ให้แก่ประเทศ และทำให้มีข้อมูล เทคโนโลยีการผลิต การวิเคราะห์ทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์สำหรับเผยแพร่แก่ผู้ประกอบการ

1.3.3 ช่วยเพิ่มทักษะให้แก่นักวิจัยในประเทศ นักวิจัยสามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับ โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ไปใช้กับการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่นๆได้อีกมาก เช่น ถ้วยชามชนิดทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ อุปกรณ์แคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในรถยนต์ เป็นต้น

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ

พ.ศ. 2532-2536

บทที่ 2

คุณภาพทัลก์กับการเตรียมคอร์เตียไรต์

2.1 บทนำ

ทัลก์เป็นแร่ชนิดหนึ่ง มีสูตรทางเคมีคือ $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ปริมาณองค์ประกอบเชิงทฤษฎีคิดเป็นร้อยละประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 31.7 ซิลิการ้อยละ 63.3 และน้ำร้อยละ 4.8 แมกนีเซียมในโครงสร้างทัลก์ส่วนใหญ่มักถูกแทนที่โดยอะลูมิเนียม(Al) และเหล็ก(Fe) ทำให้ทัลก์ในธรรมชาติมีธาตุทั้งสองชนิดนี้ปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังพบแร่อีกหลายชนิด ได้แก่ แร่โดโลไมต์ ควอร์ตซ์ ไพไรต์ คลอไรต์ ฯลฯ เกิดปนอยู่กับทัลก์ ด้วยเหตุดังกล่าวองค์ประกอบทัลก์ซึ่งขายเชิงพาณิชย์จึงมีปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกา ไม่เป็นไปตามสูตรเชิงทฤษฎี และพบอะลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ปนอยู่ด้วย เนื่องจากทัลก์แต่ละแหล่งมีชนิดและปริมาณของสารมลทินแตกต่างกัน จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานไม่เหมือนกัน

ทัลก์เป็นแร่ที่นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก สี กระจก และพลาสติก เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่คนทั่วไปรู้จักกันดี คือ แป้งทาตัวอีกด้วย สำหรับการนำมาใช้งานด้านอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น นอกจากจะใช้ผสมในปริมาณไม่มากนัก กล่าวคือประมาณร้อยละ 5 ในเนื้อถ้วยชาม เครื่องสุขภัณฑ์ หรือเคลือบแล้ว ยังใช้ในปริมาณค่อนข้างมาก กล่าวคือประมาณร้อยละ 40-50 หรืออาจสูงถึงร้อยละ 70 ในเนื้อคอร์เตียไรต์ เนื้อคลิโนเอนสทาไทต์(clinoenstatite) อีกด้วย ทัลก์เป็นแหล่งให้แมกนีเซียมในสูตรคอร์เตียไรต์ที่ไม่แพง จึงนิยมใช้กันมาก การทดลองนี้เป็นการนำทัลก์มาใช้ทำเนื้อคอร์เตียไรต์เพื่อใช้งานด้านวัสดุทนไฟประเภทเครื่องเตาเผา ต้องคัดเลือกทัลก์ให้เหมาะกับการใช้งานดังกล่าว คุณสมบัติเบื้องต้นที่สำคัญคือ ต้องไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีจุดหลอมตัวต่ำ เพราะจะทำให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงไม่ได้ ทัลก์ที่ขายกันอยู่ในตลาดไทยทั่วไปมีอยู่หลายชั้นคุณภาพและมาจากหลายแหล่ง นอกจากของไทยแล้วยังมีจากประเทศเกาหลีและประเทศจีนอีกด้วย ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ไม่ได้นำมาทำคอร์เตียไรต์ ผู้ขายจึงไม่มีข้อมูลรายละเอียดให้ว่าแหล่งใดจึงจะเหมาะกับการทำคอร์เตียไรต์ ประกอบกับการนำเข้าทัลก์จากต่างประเทศผู้ขายจะไม่ทราบรายละเอียดว่ามาจากแหล่งเดิมของประเทศนั้นๆหรือไม่ ผู้ใช้ต้องทำการคัดเลือกเองให้เหมาะสม ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกจึงได้นำทัลก์ที่ขายกันอยู่เชิงพาณิชย์จาก 3 แหล่ง คือ เกาหลี ไทย

จีน มาศึกษาดูผลในการทำเป็นคอร์เตียไรต์ เพื่อจะได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการพิจารณาเลือกหลักสำหรับทำเครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ต่อไป

2.1.1 **วัตถุประสงค์การทดลอง** เพื่อเปรียบเทียบผลการใช้หลักจาก 3 แหล่ง คือ เกาหลี ไทย จีน ในการทำคอร์เตียไรต์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผา

2.1.2 **ประโยชน์ที่จะได้รับ** ทำให้มีข้อมูลเบื้องต้นประกอบการพิจารณาเลือกหลักที่เหมาะสมกับการทำคอร์เตียไรต์ สำหรับทำวัสดุทนไฟเครื่องเตาเผา

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มด้วยการกำหนดส่วนผสมที่ทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ทำเป็นชิ้นทดสอบ ทำให้แห้ง เเผาในเตาไฟฟ้าให้เกิดเป็นคอร์เตียไรต์ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอร์เตียไรต์หลังเผา หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบผลระหว่างกัน

2.2.1 **ส่วนผสม** นำหลักจากทั้ง 3 แหล่ง คือ เกาหลี ไทย และจีน มาผสมกับดินและอะลูมินาเพื่อทำคอร์เตียไรต์ โดยใช้ส่วนผสมอย่างเดียวกัน ส่วนผสมดังกล่าวคณะผู้วิจัยเคยนำหลักจากประเทศจีนมาใช้ได้ผลดีมาแล้ว (สุจินดา, สุมาลี และลดา, 2533) รายละเอียดส่วนผสมมีดังนี้

| | |
|-----------------------|--------|
| หลัก (เกาหลี/ไทย/จีน) | 39.56% |
| ดินขาวปราจีนบุรี | 43.17% |
| อะลูมินาแคลไซต์ | 17.27% |

ส่วนผสมที่ใช้หลักเกาหลีใช้สัญลักษณ์ K ส่วนผสมใช้หลักไทยใช้สัญลักษณ์ T ส่วนผสมใช้หลักจีนใช้สัญลักษณ์ C

2.2.2 **การเตรียมตัวอย่าง** ซึ่งส่วนผสมข้างต้น นำมาบดเปียกในหม้อบด 8 ชั่วโมง ทำให้แห้งหมาดในอ่างปูนปลาสเตอร์ อัดเปียกด้วยมือเป็นชิ้นทดสอบ ตากให้แห้งแล้วเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1360°C.

2.2.3 การวิเคราะห์ทดสอบ

- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ
- ทดสอบการหดตัว(shrinkage) การดูดซึมน้ำ(water absorption) ความ-

หนาแน่นรวม(bulk density) รวมทั้งตรวจดูสีและลักษณะทั่วไปของชิ้นทดสอบหลังการเผา วิธีคำนวณการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

2.3 ผลการทดลอง

2.3.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบแสดงในตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ชัดว่าทัลก์ทั้ง 3 แหล่งมีองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบมลทินที่มีผลต่อจุดหลอมตัว ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และมลทินที่มีผลต่อสี ได้แก่ เหล็ก พบว่าปริมาณผลรวมของ โซเดียมและโพแทสเซียมของทัลก์ทั้ง 3 แหล่งต่างกันเล็กน้อย ปริมาณเหล็กและแคลเซียมต่างกันค่อนข้างมาก ดังนี้

| | | |
|-------------|----------------|---------------------|
| ทัลก์เกาหลี | มีเหล็กปานกลาง | มีแคลเซียมต่ำที่สุด |
| ทัลก์ไทย | มีเหล็กสูง | มีแคลเซียมปานกลาง |
| ทัลก์จีน | มีเหล็กต่ำ | มีแคลเซียมสูงมาก |

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ

| องค์ประกอบทางเคมี, % | ทัลก์ | | | ดินขาวปราจีนบุรี | อะลูมินา คัลไซน์ |
|--------------------------------|--------|------|------|------------------|------------------|
| | เกาหลี | ไทย | จีน | | |
| L.O.I | 6.2 | 8.1 | 25.8 | 10.2 | - |
| SiO ₂ | 57.4 | 50.9 | 32.3 | 55.9 | 0.04 |
| Al ₂ O ₃ | 2.5 | 6.7 | 1.0 | 31.8 | 99.4 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.6 | 4.8 | 0.2 | 1.3 | Trace |
| CaO | 0.8 | 2.3 | 4.7 | 0.1 | 0.1 |
| MgO | 30.3 | 26.5 | 33.3 | 0.1 | 0.05 |
| Na ₂ O | 0.8 | 0.5 | 0.7 | 0.33 | 0.02 |
| K ₂ O | 0.02 | 0.11 | 0.02 | 0.19 | 0.01 |

ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวปราจีนบุรี มีมลทินเหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม ในเกณฑ์ปกติของดิน ส่วนอะลูมินาอัลไซน์ ประกอบด้วยอะลูมินาเป็นหลัก มีมลทินอื่น ๆ อยู่ น้อยมาก

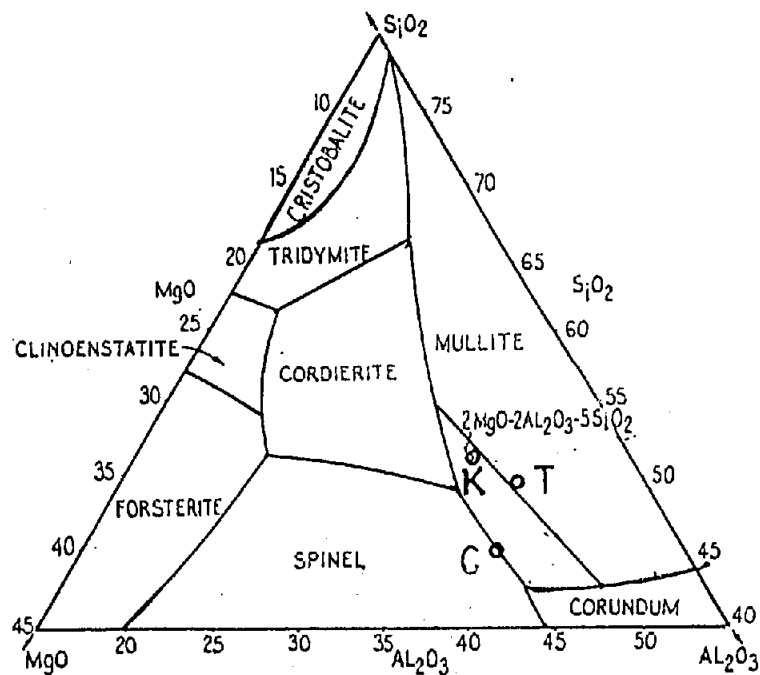
2.3.2 ตำแหน่งของส่วนผสมคอร์เตียไรต์ทั้ง 3 ชนิดใน phase diagram MgO-Al₂O₃-SiO₂

จากอัตราส่วนผสมของคอร์เตียไรต์ที่ทดลองทำในข้อ 2.2.1 และจากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทัลก์ ดินขาวปราจีนบุรี และอะลูมินา ในตารางที่ 2.1 สามารถคำนวณปริมาณองค์ประกอบสำคัญของคอร์เตียไรต์ คือ แมกนีเซียมออกไซด์ อะลูมินา และซิลิกาได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณองค์ประกอบสำคัญของคอร์เตียไรต์เตรียมจากทัลก์ (เกาหลี/ไทย/จีน)-ดินขาวปราจีนบุรี-อะลูมินา เปรียบเทียบกับคอร์เตียไรต์เชิงทฤษฎี

| | MgO % | Al ₂ O ₃ % | SiO ₂ % |
|--------------------------------|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| คอร์เตียไรต์ใช้ทัลก์เกาหลี (K) | 13.60 | 35.06 | 51.33 |
| คอร์เตียไรต์ใช้ทัลก์ไทย (T) | 12.28 | 37.88 | 49.84 |
| คอร์เตียไรต์ใช้ทัลก์จีน (C) | 16.60 | 38.34 | 45.06 |
| คอร์เตียไรต์เชิงทฤษฎี | 13.7 | 34.9 | 51.4 |

เมื่อนำปริมาณองค์ประกอบดังกล่าวมาแสดงลงใน phase diagram MgO-Al₂O₃-SiO₂ เพื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของคอร์เตียไรต์เชิงทฤษฎี (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) ดังภาพที่ 2.1 ปรากฏว่าการใช้ทัลก์เกาหลีให้ส่วนผสมคอร์เตียไรต์ใกล้เคียงกับส่วนผสมเชิงทฤษฎีที่สุด ทัลก์ไทย และทัลก์จีนห่างไปตามลำดับ



ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งของคอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์เกาหลี (K) ไทย (T) และจีน (C) ใน phase diagram $MgO-Al_2O_3-SiO_2$

2.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอร์เดียไรต์

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของคอร์เดียไรต์ที่เตรียมจากทัลก์เกาหลี ไทย และจีน ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ $1360^{\circ}C$. แสดงในตารางที่ 2.3 ผลปรากฏว่า คอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์จีนมีสีขาวดีแต่หลอมจนเสียรูป ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ขณะที่คอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์เกาหลีและทัลก์ไทยไม่เสียรูป แต่มีสีน้ำตาลอ่อน และน้ำตาลเข้มตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์เกาหลีและทัลก์ไทยซึ่งไม่เสียรูปนั้น ผลปรากฏว่าคอร์เดียไรต์เตรียมจากทัลก์ไทยสุกตัว (vitrified) มากกว่าทัลก์เกาหลี กล่าวคือมีการหดตัวมาก มีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงศูนย์ และมีความหนาแน่นรวมสูงกว่า

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและลักษณะทั่วไปของคอร์เดียวไรต์

| | ลักษณะทั่วไป | การหดตัว, % | การดูดซึมน้ำ, % | ควาหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม. |
|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------------|
| คอร์เดียวไรต์เตรียมจาก ทัลก์เกาหลี | สีน้ำตาลอ่อนอมส้ม ไม่เสีรูป | 8.38 | 17.08 | 1.79 |
| คอร์เดียวไรต์เตรียมจาก ทัลก์ไทย | สีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ ไม่เสีรูป | 13.38 | 0.23 | 2.35 |
| คอร์เดียวไรต์เตรียมจาก ทัลก์จีน | สีขาว หลอมจนเสีรูป | - | - | - |



ภาพที่ 2.2 คอร์เดียวไรต์เตรียมจากทัลก์เกาหลี ไทย และจีน

2.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการคำนวณปริมาณองค์ประกอบสำคัญของคอร์เตียไรต์ซึ่งเตรียมจากทัลก์เกาหลี ไทย และจีน ในตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ชัดว่า การใช้ทัลก์จากแหล่งต่างกัน ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกัน มีผลทำให้ปริมาณองค์ประกอบสำคัญของคอร์เตียไรต์ต่างไปจากปริมาณองค์ประกอบสำคัญเชิงทฤษฎี โดยทัลก์เกาหลีให้ส่วนผสมคอร์เตียไรต์ใกล้เคียงส่วนผสมเชิงทฤษฎีที่สุด ทัลก์ไทย และทัลก์จีนห่างไปตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลทดสอบสมบัติการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม และลักษณะทั่วไป ในตารางที่ 2.3 ประกอบกับภาพที่ 2.2 จะเห็นผลกระทบขององค์ประกอบทางเคมีของทัลก์ต่อสมบัติและลักษณะทั่วไปของคอร์เตียไรต์ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของเหล็กและแคลเซียม ซึ่งแต่ละแหล่งมีปริมาณแตกต่างกันค่อนข้างมาก ผลกระทบของมลทินเหล็กและแคลเซียมต่อสมบัติการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม และลักษณะการทรงรูป ตลอดจนจนวนสีของคอร์เตียไรต์ มีดังนี้

ทัลก์เกาหลีซึ่งมีแคลเซียมอยู่น้อย (CaO 0.8%) ให้คอร์เตียไรต์ที่ทรงรูปดี มีการหดตัวปานกลาง ดูดซึมน้ำสูง ความหนาแน่นรวมต่ำ แต่เนื่องจากมีเหล็กอยู่ปานกลาง (Fe_2O_3 1.6%) จึงให้เนื้อสีน้ำตาลอ่อนอมส้ม

ทัลก์ไทยซึ่งมีแคลเซียมปานกลาง (CaO 2.3%) ให้คอร์เตียไรต์ที่ทรงรูปดี เนื้อแน่นและสุกตัวกว่าทัลก์เกาหลี การดูดซึมน้ำเกือบเป็นศูนย์ ความหนาแน่นรวมสูงชันและหดตัวมากขึ้นแต่เนื่องจากมีปริมาณเหล็กอยู่สูงมาก (Fe_2O_3 4.8%) จึงมีสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ

ทัลก์จีนมีแคลเซียมมากที่สุด (CaO 4.7%) จึงมีผลทำให้คอร์เตียไรต์หลอมจนเสียรูป แต่เนื่องจากมีเหล็กอยู่ต่ำมาก (Fe_2O_3 0.2%) จึงมีสีขาว

การที่ปริมาณมลทินแคลเซียมต่ำมีอยู่น้อยให้ผลดี แต่ถ้ามีอยู่มากเกินไปดังเช่นในทัลก์จีน จะทำให้คอร์เตียไรต์หลอมจนเสียรูปนั้น เป็นเพราะแคลเซียมเป็นสารช่วยหลอม (flux) ที่จะก่อให้เกิดแก้วมากขึ้นในเนื้อ โดยรวมตัวกับอะลูมินาและซิลิกาเกิดเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตพวกอะนอร์ไทต์ (anorthite, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2)\text{O}_8$) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแร่ฟันม้า (feldspar) สารดังกล่าวมีจุดหลอมตัวต่ำ ดังนั้นถ้ามีอยู่มากจึงมีผลทำให้คอร์เตียไรต์มีจุดหลอมตัวต่ำเสียรูปได้ง่าย นอกจากมลทินแคลเซียมซึ่งเห็นผลกระทบชัดเจนในการทดลองนี้แล้ว มลทินชนิดอื่นที่จะมีผลต่อจุดหลอมตัวเช่นเดียวกับแคลเซียม คือ โซเดียม และโพแทสเซียม เนื่องจากมลทินทั้งสองชนิดนี้สามารถรวมตัวกับอะลูมินาและซิลิกา เกิดเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตพวกออร์โทเคลส

(orthoclase, $K (AlSi_3) O_8$) และ แอลไบต์ (albite, $Na (AlSi_3)O_8$) ตามลำดับ สารประกอบทั้งสองนี้จัดอยู่ในกลุ่มแร่พินมาเช่นเดียวกันกับอะนอร์ไทต์ จึงมีผลทำให้จุดหลอมตัวต่ำ

ในกรณีของปริมาณมลทินเหล็ก ซึ่งในทล็กไทยมีอยู่มากและทำให้สีเป็นสีน้ำตาลเข้มนั้น น่าจะไม่ใช่สิ่งสำคัญนักเพราะผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาใช้งานด้านวัสดุทนไฟนั้น สมบัติเกี่ยวกับความทนไฟมีความสำคัญยิ่งกว่าสี ดังนั้นทล็กที่แม้จะมีปริมาณเหล็กอยู่มาก แต่ถ้าหากว่ามีมลทินอื่นซึ่งมีจุดหลอมตัวต่ำได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม อยู่น้อยก็น่าจะเหมาะสำหรับนำมาใช้ทำคอร์เดียไรต์ เพราะเคยมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งกรมอุตสาหกรรมส่งมาให้กรมวิทยาศาสตร์บริการตรวจสอบ มีสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำคล้ายกับคอร์เดียไรต์ที่เตรียมจากทล็กไทย

โดยปกติแล้ว ทล็กที่เหมาะสมจะนำมาใช้งานด้านเซรามิกโดยรวม (ceramic-grade talc) ก็เคยมีการกำหนดองค์ประกอบทางเคมีไว้แล้ว (Bentzen, 1973) ดังนี้

| | | |
|--------------------------------|--------|--------|
| L.O.I. | 6.0 % | สูงสุด |
| SiO ₂ | 60.0 % | ต่ำสุด |
| Al ₂ O ₃ | 4.0 % | สูงสุด |
| Fe ₂ O ₃ | 1.5 % | สูงสุด |
| CaO | 1.0 % | สูงสุด |
| MgO | 30.0 % | สูงสุด |
| Na ₂ O | 0.4 % | สูงสุด |
| K ₂ O | | |

ปริมาณปูน (lime) ละลายได้ในกรด 1% สูงสุด

อย่างไรก็ตาม ทล็กชั้นคุณภาพต่างจากที่ระบุไว้ข้างต้นก็น่าจะนำมาใช้งานด้านวัสดุทนไฟได้เช่นกัน เช่น ทล็กที่มีปริมาณมลทินอะลูมินาอยู่สูงนั้น น่าจะนำมาใช้งานได้ดี ทั้งนี้เพราะใน ส่วนผสมของคอร์เดียไรต์ก็มีการเติมอะลูมินาเข้าไป ถ้าหากมีอะลูมินาอยู่มากพอแล้วในทล็กหรือในดิน ก็ไม่ต้องเติมในรูปของอะลูมินาแคลไซต์อีก ส่วนมลทินเหล็กนั้นดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ไม่ใช่สิ่งสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทวัสดุทนไฟดังนั้นแม้จะมีปะปนอยู่สูงกว่า 1.5 % ก็น่าจะนำมาใช้งานได้

2.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าคุณภาพของทัลก์มีความสำคัญมากต่อการเตรียมคอร์เดียไรต์สำหรับทำผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟ ต้องคัดเลือกชนิดที่มีลทินโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียมต่ำมาใช้ ทั้งนี้เพราะเมื่อเผาสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ที่อุณหภูมิสูง สารทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถรวมตัวกับอะลูมินาและซิลิกาในส่วนผสม เกิดเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตในกลุ่มของแร่ฟันม้าอันจะทำให้เกิดแก้วขึ้นในเนื้อ เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีจุดหลอมตัวต่ำ ใช้งานที่อุณหภูมิสูงไม่ได้ สำหรับการทดลองนี้สรุปผลการคัดเลือกทัลก์ได้ว่า ทัลก์เกาหลีเหมาะที่จะนำมาทำเครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์มากกว่าทัลก์ไทยและทัลก์จีน ทัลก์ไทยแม้จะมีเหล็กอยู่สูงแต่ก็พอจะนำมาทำผลิตภัณฑ์คุณภาพรองลงไปได้ หากสามารถแต่งแร่ให้มีปริมาณแคลเซียมต่ำลง ส่วนทัลก์จีนแหล่งนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ เนื่องจากมีแคลเซียมสูงเกินไป

บทที่ 3

คอร์เตียไรต์เตรียมจากดิน ทัลก์ และอะลูมินา

3.1 บทนำ

คอร์เตียไรต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ คอร์เตียไรต์เป็นแร่ที่เกิดยากในธรรมชาติ ปัจจุบันยังไม่พบแหล่งใหญ่ ต้องเตรียมขึ้นมาใช้จากแร่หรือวัตถุดิบที่มีแมกนีเซียม อะลูมินา ซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แมกนีไซด์ ทัลก์ ดินและอะลูมินา เป็นต้น โดยนำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงก็จะเกิดคอร์เตียไรต์ขึ้น สำหรับการทดลองนี้จะทำจากดิน ทัลก์ และอะลูมินา โดยนำดินขาวปราจีนบุรี และดินดาลานสกา จ.นครศรีธรรมราชมาทดลองใช้ ส่วนอะลูมินาซึ่งยังไม่มีการผลิตในประเทศ จึงใช้ของต่างประเทศ คือญี่ปุ่น สำหรับทัลก์ เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีแหล่งทัลก์ที่ดีพอสำหรับใช้ทำคอร์เตียไรต์ ประกอบกับผู้ชายวัตถุดิบได้ยกเลิกการนำเข้าทัลก์เกาหลีเปลี่ยนมานำเข้าเฉพาะทัลก์ประเทศจีน จึงได้คัดเลือกทัลก์จีนชนิดที่มีคุณภาพดีกว่าที่ได้ทดลองในบทที่ 2 มาใช้ โดยเหตุที่วัตถุดิบธรรมชาติคือ ดินขาว ดินดำ และทัลก์ มักจะมีมลทินต่างๆปะปนอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นในการเตรียมคอร์เตียไรต์จึงต้องศึกษาดูผลการใช้วัตถุดิบดังกล่าว เพื่อจะได้มีข้อมูลเกี่ยวกับการก่อเกิดเป็นคอร์เตียไรต์ของส่วนผสม ตลอดจนสมบัติทางกายภาพและการสุกตัว เพื่อจะได้ทราบช่วงอุณหภูมิเผาสังเคราะห์คอร์เตียไรต์ที่เหมาะสมต่อไป

3.1.1 วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาดูผลการใช้ดินขาวปราจีนบุรี ดินดาลานสกา จ.นครศรีธรรมราช และทัลก์จีน ในการทำคอร์เตียไรต์โดยศึกษาดูการก่อเกิดเป็นคอร์เตียไรต์ สมบัติทางกายภาพ และการสุกตัว อันจะทำให้ทราบช่วงการเผาสังเคราะห์คอร์เตียไรต์ที่เหมาะสมต่อไป

3.1.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ ทำให้มีข้อมูลเบื้องต้นสำหรับสังเคราะห์คอร์เตียไรต์

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มด้วยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ กำหนดส่วนผสมที่ทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียด ทำเป็นชิ้นทดสอบ ทำให้แห้ง เผาที่อุณหภูมิ $1270^{\circ}-1400^{\circ}\text{C}$. วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่เพื่อศึกษาการก่อเกิดเป็นคอร์เตียไรต์ของส่วนผสม ทดสอบสมบัติ

ทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวมเพื่อประเมินการสูกตัวของเนื้อ จากนั้นสรุปผลการใช้ ดินขาว ดินดำ ทัลก์ และช่วงการเผาสังเคราะห์ที่เหมาะสม

3.2.1 วัตถุดิบ ใช้ดินขาว จ.ปราจีนบุรี ดินดำลานสกา จ.นครศรีธรรมราช ทัลก์จีน อะลูมินาซิลิไซด์ของประเทศญี่ปุ่น องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแสดงในตารางที่ 3.1 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ดินดำมีปริมาณมลทินเหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และไทเทเนียม สูงกว่าดินขาว ส่วนทัลก์จีนแหล่งนี้มีปริมาณมลทินเหล็ก แคลเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมต่ำกว่าทัลก์จีนที่ใช้ในบทที่ 2 มาก จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการทำคอร์เตียไรต์

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

| วัตถุดิบ | องค์ประกอบทางเคมี, % | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------|------------------|------------------|
| | L.O.I | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ |
| ดินขาวปราจีนบุรี* | 10.20 | 55.00 | 31.80 | 1.30 | 0.10 | 0.10 | 0.33 | 0.19 | - |
| ดินดำลานสกา | 12.85 | 54.95 | 25.61 | 1.73 | 0.63 | 0.28 | 0.20 | 2.76 | 0.20 |
| ทัลก์จีน | 5.30 | 59.60 | 2.00 | 0.40 | 0.10 | 31.30 | 0.70 | 0.10 | - |
| อะลูมินาซิลิไซด์ | - | 0.04 | 99.40 | trace | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | trace |

*ไม่ได้ล้าง

3.2.2 ส่วนผสม ได้ทำการทดลองส่วนผสม 2 ชนิด โดยชนิดแรกใช้ดินขาวล้วนๆ ไม่ผสมดินดำ ชนิดที่สองผสมดินดำเข้าไปด้วย ในการทดลองนี้ได้คำนวณส่วนผสมของคอร์เตียไรต์ให้ได้องค์ประกอบสำคัญตามสูตรคอร์เตียไรต์เชิงทฤษฎี คือ แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 13.7 อะลูมินาร้อยละ 34.9 ซิลิการ้อยละ 51.4 ส่วนผสมที่คำนวณ ได้แสดงในตารางที่ 3.2 โดย T3C คือส่วนผสมที่มีดินขาวล้วน T3CB คือส่วนผสมที่มีดินดำ

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมคอร์เตียไรต์

| วัตถุดิบ | ส่วนผสมคอร์เตียไรต์, % | |
|----------|------------------------|-------|
| | T3C | T3CB |
| ดินขาว | 41.66 | 24.90 |
| ดินดำ | - | 16.54 |
| ทัลก์ | 40.27 | 39.78 |
| อะลูมินา | 18.07 | 18.78 |

3.2.3 การเตรียมตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างคอร์เดียไรต์ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- ก. ชั่งวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด
- ข. บดเปียกในหม้อบดพอร์ซเลน 8 ชั่วโมง
- ค. ทำให้แห้งและบดเป็นผงละเอียด
- ง. นำมาเติมน้ำประมาณ 7-8% ชยี้ให้เข้ากัน ปิดถุงหมักไว้ 2 วัน
- จ. ชั่งส่วนผสมข้อ ง. ประมาณ 20 กรัม เเทลงในแบบโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร อัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ความดัน 200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
- ฉ. อบให้แห้ง
- ช. เผาในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 1270°, 1300°, 1330°, 1360° และ 1400°ซ. อัตราเผา 200°ซ./ชั่วโมง ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ได้ชิ้นตัวอย่างดังแสดงในภาคผนวก ง

3.2.4 การวิเคราะห์ทดสอบ นำชิ้นตัวอย่างเผา 1270°-1400°ซ. มาวิเคราะห์ห้องค์-ประกอบเชิงแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ตรวจสอบพินิจลักษณะทั่วไป ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นรวม

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ใช้ของบริษัทฟิลิปส์ รุ่น PW1730 คลื่นรังสีโคบอลต์ กระทำที่มุม 2θ: 10°-70° ความเร็ว 0.05°/วินาที ความต่างศักย์ 35 กิโลวัตต์ กระแส 25 มิลลิแอมแปร์ จำนวนนับเต็มสเกล 10,000 counts

3.3 ผลการทดลอง

3.3.1 การก่อเกิดเป็นคอร์เดียไรต์

ผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบเชิงแร่เพื่อศึกษาการก่อเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ของส่วนผสม T3C ซึ่งเตรียมจากดินขาวปราจีนบุรี+ทัลก์จีน+อะลูมินา และส่วนผสม T3CB ซึ่งเตรียมจากดินขาว-ปราจีนบุรี+ดินดัลานสกา+ทัลก์จีน+อะลูมินา เผาที่อุณหภูมิ 1270°-1400°ซ. แสดงในตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.1 และ 3.2 จากผลดังกล่าวพบว่า ส่วนผสมสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ได้แล้ว โดยที่ระดับอุณหภูมิต่ำคือ 1270°ซ. ปฏิกิริยายังเกิดไม่ได้สมบูรณ์ ยังมีเฟสอะลูมินาและควอร์ตซ์เหลืออยู่อีกเล็กน้อย ต้องเผาที่อุณหภูมิ 1300°ซ. ขึ้นไปจึงไม่มีอะลูมินารวมทั้งควอร์ตซ์หลงเหลืออยู่ การเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ส่วนผสมทำปฏิกิริยาเกิดเป็นคอร์เดียไรต์มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากความสูงของ peak คอร์เดียไรต์ในดิฟแฟรกโตแกรมที่สูงเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ ยังพบว่าในช่วงอุณหภูมิเผา 1270°-1360°ซ. เกิดเฟสคริสโทบาไลต์ปนอยู่กับคอร์เตียไรต์ด้วย ส่วนที่อุณหภูมิ 1400°ซ. ไม่มีเฟสคริสโทบาไลต์

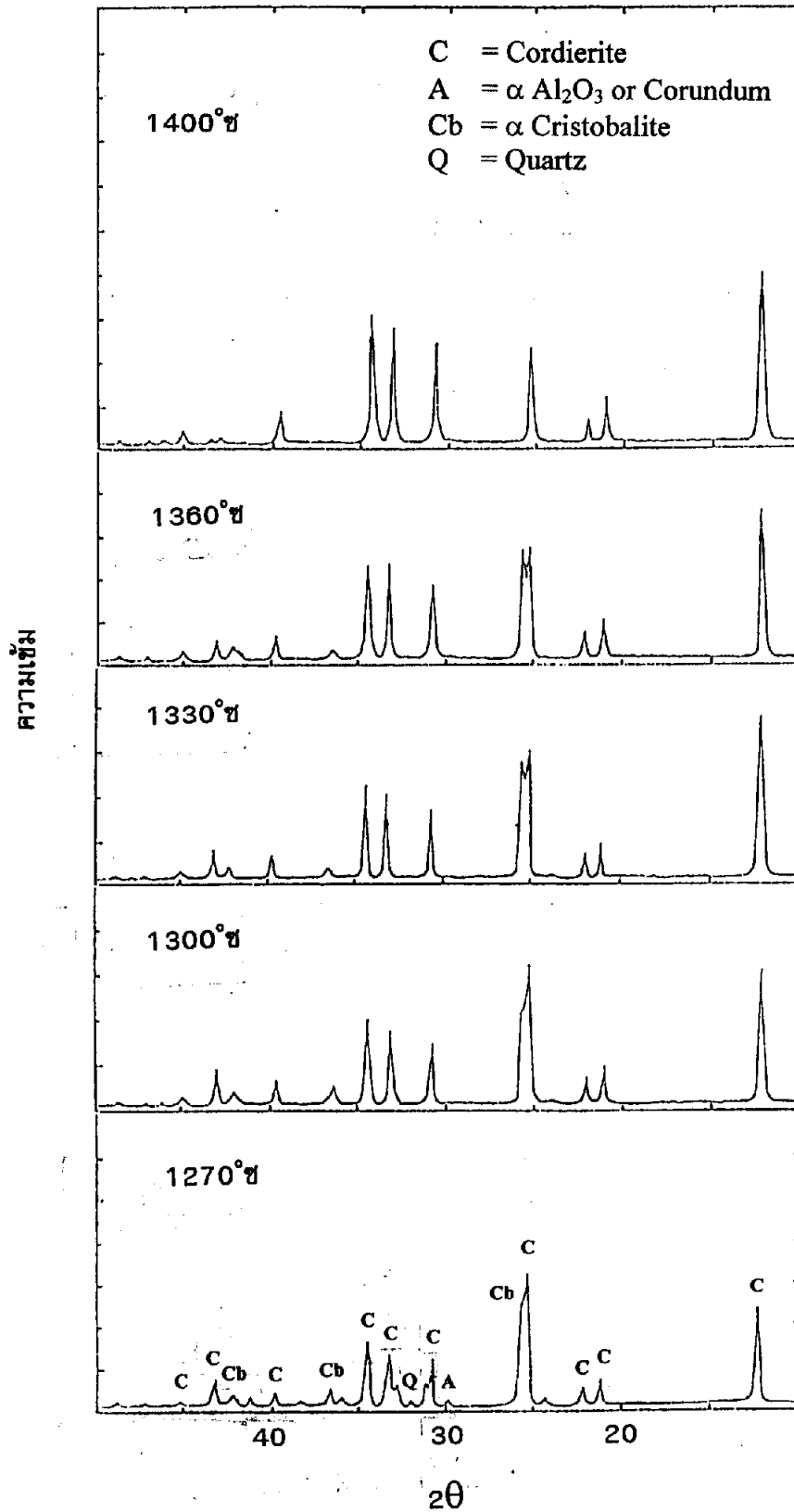
3.3.2 สมบัติทางกายภาพและการสูกตัวของเนื้อ

ผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปและการทดสอบสมบัติทางกายภาพได้แก่ การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นรวมของส่วนผสม T3C และ T3CB เเผาอุณหภูมิ 1270°-1400°ซ. แสดงในตารางที่ 3.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นรวมกับระดับอุณหภูมิ แสดงในภาพที่ 3.3 จากผลการทดลองพบว่าชิ้นตัวอย่างไม่เสียรูป เนื้อ T3CB ซึ่งมีดินดำผสมอยู่ด้วย มีสีคล้ำและสูกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า T3C เล็กน้อย โดย T3CB สูกตัวเต็มที่ มีความหนาแน่นสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 1360°ซ. และที่อุณหภูมิ 1400°ซ. จะแก่ไฟเกินไป (overfiring) เพราะความหนาแน่นรวมลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด และผิวมีรอยพอง ส่วน T3C แม้ที่อุณหภูมิ 1360°ซ. จะยังไม่สูกตัวดี โดยสังเกตจากความหนาแน่นรวมที่ยังไม่สูงสุดและยังดูดซึมน้ำได้มาก แต่ที่อุณหภูมิ 1400°ซ. ผิวมีรอยพองปรากฏแล้ว แสดงว่าถึงจุดที่เผาแก่ไฟเกินไปแล้วเช่นกัน

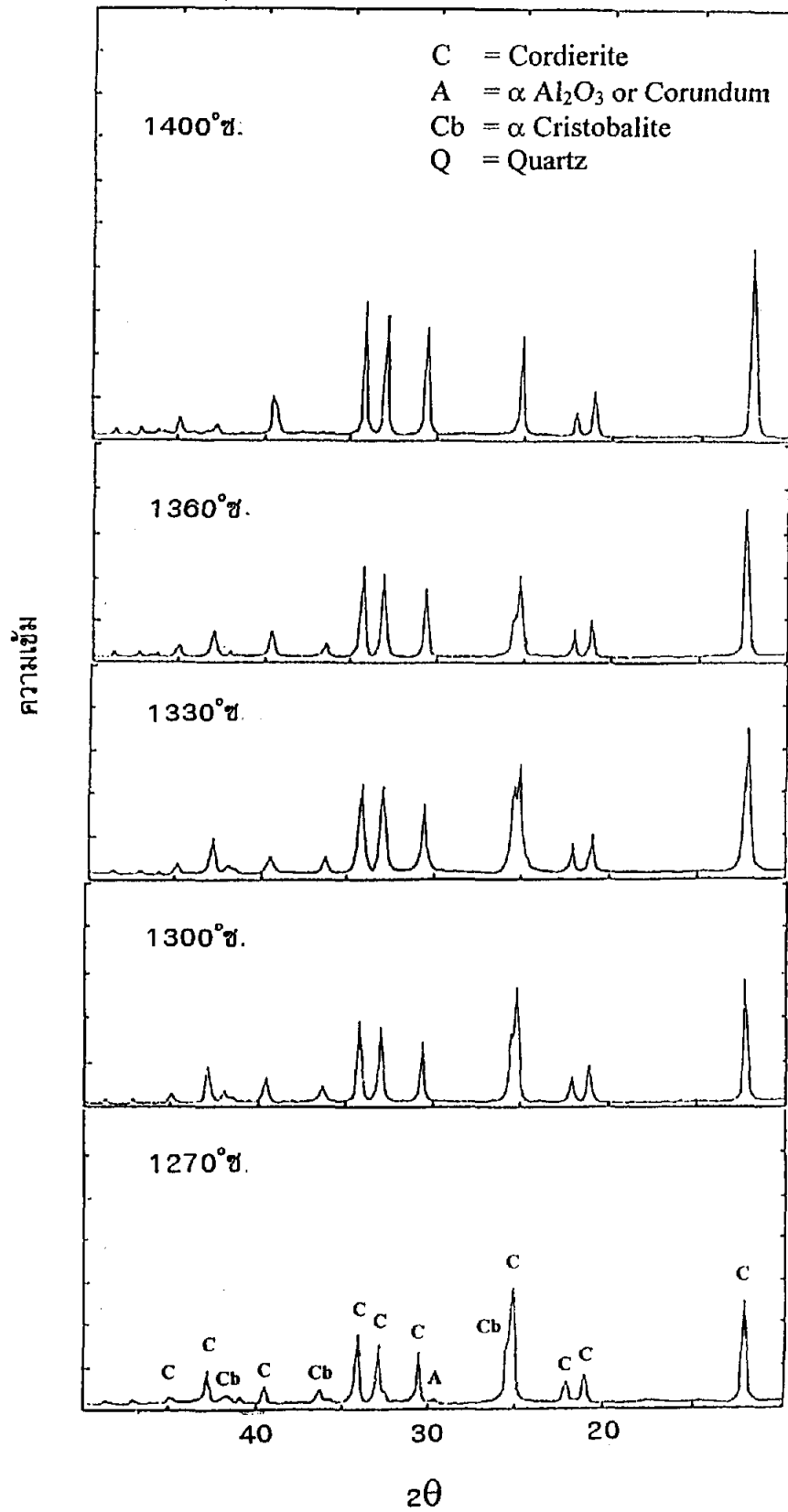
ตารางที่ 3.3 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของคอร์เตียไรต์ T3C และ T3CB

| อุณหภูมิ, °ซ. | T3C | | | | T3CB | | | |
|------------------|--------------|----------|----------|--------------|--------------|----------|----------|--------------|
| | คอร์เตียไรต์ | อะลูมินา | ควอร์ตซ์ | คริสโตบาไลต์ | คอร์เตียไรต์ | อะลูมินา | ควอร์ตซ์ | คริสโตบาไลต์ |
| 1270 | xxxx | x | x | xxx | xxxx | x | - | xx |
| 1300 | xxxx | - | - | xxx | xxxx | - | - | xx |
| 1330 | xxxx | - | - | xxx | xxxx | - | - | xxx |
| 1360 | xxxx | - | - | xxx | xxxx | - | - | x |
| 1400 | xxxx | - | - | - | xxxx | - | - | - |

xxx = มาก xxx = ปานกลาง xx = น้อย x = น้อยมาก - = ไม่มี



ภาพที่ 3.1 เอกซเรย์ดิฟแฟรคโตแกรมของคอร์เดียไรต์ T3C เเผา 1270°-1400°ซ.

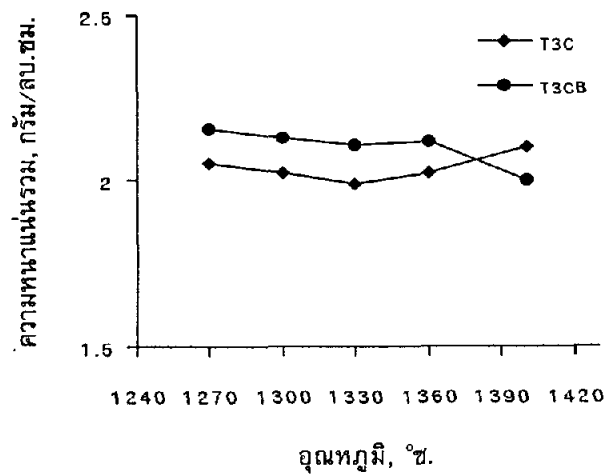


ภาพที่ 3.2 เอกซเรย์ดิฟแฟรคโตแกรมของคอร์เดียไรต์ T3CB เฝ้า 1270°-1400°ซ.

ตารางที่ 3.4 ลักษณะทั่วไปและผลการทดสอบ การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม

ตัวอย่างคอร์เต็ยไรต์ T3C และ T3CB

| อุณหภูมิ °ซ. | T3C | | | T3CB | | |
|-----------------|---|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| | ลักษณะทั่วไป | การดูดซึมน้ำ % | ความหนาแน่นรวม กรัม/ลบ.ซม. | ลักษณะทั่วไป | การดูดซึมน้ำ % | ความหนาแน่นรวม กรัม/ลบ.ซม. |
| 1270 | สีขาว ไม่เสีรูป | 9.20 | 2.05 | สีขาวอมเทา ไม่เสีรูป | 4.75 | 2.16 |
| 1300 | สีขาวเหลือง ไม่เสีรูป | 10.06 | 2.02 | สีขาวอมเทา ไม่เสีรูป | 6.25 | 2.13 |
| 1330 | สีเหลือง ไม่เสีรูป | 10.90 | 1.99 | สีขาวอมเทา ไม่เสีรูป | 5.15 | 2.11 |
| 1360 | สีเหลืองอมส้ม ไม่เสีรูป | 9.88 | 2.02 | สีเทา ไม่เสีรูป | 2.09 | 2.12 |
| 1400 | สีเทามีจุด- สีเหลือง ผิวมีรอยพอง ไม่เสีรูป | 0.00 | 2.10 | สีเทา ผิวมีรอยพอง ไม่เสีรูป | 5.37 | 2.00 |



ภาพที่ 3.3 ความหนาแน่นรวมกับระดับอุณหภูมิ

3.4 วิจัยรณผลการทดลอง

3.4.1 การก่อเกิดเป็นคอร์เดียไรต์

จากการศึกษาการก่อเกิดเป็นคอร์เดียไรต์จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ในตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.1 และ 3.2 จะเห็นได้ว่าการนำเอาดินขาวปราจีนบุรี ดินดำลานสกา และทัลก์จีน มาใช้ในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์นั้น ต้องเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1300°ซ. เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ปฏิกิริยาการก่อเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ยังมีเฟสของวัตถุดิบเริ่มต้นคือ อะลูมินา และเฟสของควอร์ตซ์ซึ่งเป็นมลทินที่มักเกิดปนอยู่กับดินหลงเหลืออยู่อีก นอกจากนี้จากการที่ในผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของเนื้อทั้งสองชนิด ซึ่งเผา 1270°-1360°ซ. ยังมีซิลิกาในรูปของคริสโทบาไลต์ซึ่งเกิดจากการแปลงเฟสของควอร์ตซ์ที่เป็นมลทินในดินหลงเหลืออยู่อีกนั้น น่าจะเป็นเพราะว่าดินขาวปราจีนบุรีที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ไม่ได้ล้าง จึงมีทรายหยาบปนอยู่ด้วยทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับส่วนผสมอื่นๆเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งที่ได้คำนวณส่วนผสมให้เป็นไปตามองค์ประกอบสำคัญของสูตรคอร์เดียไรต์เชิงทฤษฎีแล้ว รวมทั้งยังได้บดส่วนผสมทั้งหมดในหม้อบดเป็นเวลานานถึง 8 ชั่วโมงอีกด้วย และจากการทดลองเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 1400°ซ. พบว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิช่วยเสริมให้ส่วนผสมทำปฏิกิริยาระหว่างกันมากขึ้น จนไม่มีเฟสคริสโทบาไลต์เหลืออยู่เลยแต่สำหรับส่วนผสม T3C และ T3CB ไม่ควรเผาสังเคราะห์ที่ระดับอุณหภูมิสูงถึง 1400°ซ. เพราะจากการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปพบว่าผิวของตัวอย่างพอง ซึ่งแสดงว่าแก๊สไฟเกินไปแล้ว

3.4.2 สมบัติทางกายภาพและการสุกตัวของเนื้อ

จากการตรวจลักษณะทั่วไปและการสุกตัวของเนื้อพบว่าไม่เสียรูปและมีจุดสุกตัวค่อนข้างสูงคือที่อุณหภูมิ 1360°ซ. ขึ้นไป แสดงว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่จะใช้สังเคราะห์คอร์เดียไรต์เพื่อทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาต่อไปได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาสมบัติอื่นๆของคอร์เดียไรต์เพิ่มเติมอีก นอกจากนี้จากผลการเปรียบเทียบลักษณะทั่วไปและสมบัติทางกายภาพระหว่างเนื้อ T3C ซึ่งใช้ดินขาวล้วน กับเนื้อ T3CB ซึ่งมีดินดำผสมอยู่ด้วย พบว่าเนื้อ T3CB มีจุดสุกตัวต่ำกว่าเนื้อ T3C เล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิ 1360°ซ. เนื้อ T3CB สุกตัวเต็มที่แล้ว แต่เนื้อ T3C ยังไม่สุกตัวดี การที่เนื้อซึ่งมีดินดำอยู่ด้วยสุกตัวง่ายกว่านั้นเป็นเพราะว่าในดินดำมีมลทินที่มีจุดหลอมตัวต่ำ โดยเฉพาะมลทิน แคลเซียม โพแทสเซียม ปะปนอยู่มากกว่าดินขาว ดังผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.1 ส่วนการพิจารณาหาช่วงอุณหภูมิการเผาสังเคราะห์ที่เหมาะสมนั้น เนื่องจากคอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบที่มีช่วงการสุกตัวสั้นมาก หากมีการเผาแก่

ไฟเกินไปเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้ลอมตัวเสียรูปทันที ดังนั้นในการเผาสังเคราะห์คอร์เตียไรต์จึงไม่ควรเผาที่อุณหภูมิซึ่งก่อให้เกิดการสุกตัวเต็มที่ ควรลดระดับอุณหภูมิต่ำลงมา โดยเหตุนี้ช่วงอุณหภูมิเผาที่เหมาะสมสำหรับเผาสังเคราะห์คอร์เตียไรต์เนื้อ T3C จึงน่าจะอยู่ระหว่าง 1330° – 1360° ซ. ส่วนเนื้อ T3CB ซึ่งมีมลทินอยู่มากกว่าและสุกตัวเต็มที่ ที่อุณหภูมิ 1360° ซ. จึงน่าจะเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าคือ 1300° – 1330° ซ.

3.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

- (1) ดินขาวปราจีนบุรี ดินตำลานสกา หักก็จีนสามารถนำมาใช้สังเคราะห์คอร์เตียไรต์ได้ โดยส่วนผสมที่ใช้ดินขาวปราจีนบุรีล้วน จะสุกตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าส่วนผสมที่มีดินตำลานสกาผสมอยู่ด้วย
- (2) การใช้ดินขาวปราจีนบุรีไม่ล้างทำให้มีทรายปนอยู่มาก ปฏิกิริยาการเกิดเป็นคอร์เตียไรต์จึงเกิดได้ไม่สมบูรณ์ มีซิลิกาในรูปของคริสโทบาไลต์ตกค้างอยู่อีก
- (3) ช่วงอุณหภูมิเผาสังเคราะห์คอร์เตียไรต์ที่เหมาะสมสำหรับเนื้อที่ใช้ดินขาวปราจีนบุรีล้วนคือ 1330° – 1360° ซ. ส่วนเนื้อที่มีดินตำลานสกาผสมอยู่ด้วยคือ 1300° – 1330° ซ.

3.6 ข้อเสนอแนะ

- (1) ในการทดลองต่อจากนี้ที่จะนำคอร์เตียไรต์ไปทำเครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ ควรมีการศึกษาอิทธิพลของคริสโทบาไลต์ที่ตกค้างอยู่ในคอร์เตียไรต์ด้วย
- (2) ดินดำแม้จะมีมลทินชนิดต่างๆปนอยู่มาก แต่ก็มีความเหนียวดีมาก จึงนิยมใช้เป็นตัวเพิ่มความเหนียวให้แก่ส่วนผสมที่มีความเหนียวน้อย ในส่วนผสมของ T3C ใช้ดินขาวล้วนจึงมีความเหนียวต่ำอาจทำให้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาก และถ้ามีการนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นที่ไม่มีความเหนียวเลย เช่น กร็อกมัลไลต์ ก็น่าจะทำให้ขึ้นรูปยากขึ้นไปอีก ถ้าไม่ประสงค์จะใช้ดินดำช่วยเพิ่มความเหนียวอาจใช้ตัวช่วยยึดติด (binder) ตัวเพิ่มความเหนียว (plasticizer) แทนได้ เช่น ซี-เอ็มซี (คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส) พีวีเอ (โพลีไวนิลแอลกอฮอล์) และโพลีเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น

บทที่ 4

การพัฒนาเครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์

4.1 บทนำ

เครื่องเตาเผาเป็นวัสดุทนไฟที่นำมาใช้รองผลิตภัณฑ์ขณะเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง สำหรับการเผาเซรามิก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เคลือบซึ่งต้องใช้เครื่องเตาเผาจำนวนมากนั้น อุณหภูมิการเผาส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 1050° - 1300° ซ. ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผา นอกจากต้องคำนึงถึงสมบัติด้านการทนความร้อน ความแข็งแรง ความสามารถในการรับน้ำหนักที่ อุณหภูมิสูงแล้ว ยังต้องคำนึงถึงสมบัติการทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันด้วย เพื่อจะได้ใช้งานในสภาพที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างรวดเร็วอยู่เสมอโดยไม่แตกร้าว

การทำเนื้อเซรามิกให้ทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันอาจแบ่งได้ 2 วิธี ดังนี้

1. ลดการขยายตัวของเนื้อ เพราะเป็นการลดความเค้น (stress) ให้ต่ำลง ความเค้นอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ มีขนาดดังสูตร (4.1)

$$\sigma = E\alpha (T_0 - T_1) = E\alpha\Delta T \text{-----} (4.1)$$

σ คือ ความเค้นอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity)

α คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเชิงเส้น
(linear coefficient of thermal expansion)

ΔT คือ การเปลี่ยนอุณหภูมิ

วัสดุที่ทนการเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วงกว้าง ๆ ได้โดยไม่แตกร้าว คือวัสดุที่ทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี สำหรับเซรามิกที่ถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว นั้น อาจประมาณค่า การทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน (thermal shock resistance, TSR) ได้จากตัวแปรต่อไปนี้

$$TSR \sim \frac{\sigma_t}{E\alpha} \text{-----} (4.2)$$

σ_t คือ ความแข็งแรง (strength) ของวัสดุ

จะเห็นชัดว่า การลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) ของวัสดุให้ต่ำลงทำให้วัสดุทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันยิ่งขึ้น เพราะความเค้นในสมการ (4.1) ลดลงและค่า TSR ในสมการ (4.2) เพิ่มขึ้น

2. ทำให้เกิดมีรอยแตกหรือช่องเล็ก ๆ ในเนื้อ โดยทำให้เกิดการขยายตัวที่แตกต่างกันระหว่างกร็อก (grog) กับเมทริกซ์ (matrix) โครงสร้างลักษณะดังกล่าวจะช่วยยับยั้งไม่ให้อรอยแตกแผ่กว้างออกไป แต่ก็ส่งผลทำให้ความแข็งแรงเชิงกลลดลง

โดยปรกติแล้วเนื้อคอร์เตียไรต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ มีการขยายตัวช่วงอุณหภูมิห้องถึง 1000°ซ อยู่ระหว่าง 2.0×10^{-6} ถึง 4.0×10^{-6} ซม./ซม.°ซ. (Mohr, 1977) การขยายตัวดังกล่าวยังไม่ต่ำพอที่จะทำให้วัสดุทนไฟทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี จำเป็นต้องเติมกร็อก เพื่อให้เกิดช่องเล็ก ๆ ในเนื้อ ช่องเล็ก ๆ นี้จะลดมอดุลัสยืดหยุ่น ทำให้วัสดุทนไฟซึ่งตกอยู่ภายใต้ความเค้นอันเนื่องมาจากความร้อน ผิดรูปไปจากเดิมได้โดยไม่แตกร้าว เป็นการเพิ่มความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันให้แก่ผลิตภัณฑ์ แม้การเติมกร็อกจะทำให้มอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture, MOR) ต่ำลงบ้าง แต่ก็ช่วยทำให้ความต้านทานการทรุด (sag resistance) ดีขึ้นมาก ทำให้สามารถรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงได้ดียิ่งขึ้น วิธีทำให้เกิดช่องเล็ก ๆ ในเนื้อ วิธีหนึ่งที่นิยม คือ การเติมกร็อกที่มีการขยายตัวสูงกว่าคอร์เตียไรต์เข้าไป กร็อกที่นิยมคือกร็อกมัลไลต์ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าชามอตต์ (chamotte) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงจะศึกษาวิจัยและพัฒนาการทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาโดยนำคอร์เตียไรต์มาผสมกับกร็อกมัลไลต์ และเปรียบเทียบผลกับสมบัติของเครื่องเตาเผาคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ จากเอกสารอ้างอิง (Mohr et al., 1980) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้จะทดลองทำชนิดกร็อกหยาบและกร็อกละเอียด โดยนำสูตรเนื้อคอร์เตียไรต์ส่วนผสม T3CB ในบทที่ 3 ซึ่งทำจากดินขาวปราจีนบุรี ดินดาลานสกา ทล็ก์จัน อะลูมินา คัลไซน์ มาทดลองใช้

4.1.1 วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนา ส่วนผสม วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ จาก ดิน ทล็ก์ อะลูมินา และกร็อก โดยทำเป็นแผ่น และเสา

4.1.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ ทำให้มีความรู้ตลอดจนข้อมูล เทคโนโลยีการผลิต การวิเคราะห์ทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ สำหรับเผยแพร่แก่ผู้ประกอบการ นอกจากนี้ยังเป็นการนำแร่ดินซึ่งมีอยู่มากในประเทศมาศึกษาการใช้ประโยชน์ด้านวัสดุทนไฟ

ตารางที่ 4.1 สมบัติของผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์จากเอกสารอ้างอิง

| สมบัติ | ชนิดอัดแห้ง | ชนิดอัดเปียก |
|--|--------------------------|--------------------------|
| ความพรุน,% | 20-26 | 24-31 |
| ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม. | 1.95-2.10 | 1.75-2.10 |
| มอดูลัสแตกร้าว, เมกะพาสคัล | 8-17 | 8-17 |
| สัมประสิทธิ์การขยายตัว เมื่อร้อน (20°-1000°ซ.), ชม./ชม.°ซ. | $3.0-4.0 \times 10^{-6}$ | $2.0-3.0 \times 10^{-6}$ |
| อุณหภูมิใช้งาน, °ซ. | 1093-1260 | 1093-1260 |

4.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มด้วยวิเคราะห์ทดสอบวัตถุดิบ กำหนดส่วนผสมที่ทดลอง เตรียมตัวอย่าง
ทำเป็นชิ้นทดสอบ เผาที่อุณหภูมิ 1300°ซ. วิเคราะห์ทดสอบสมบัติ คัดเลือกส่วนผสมที่ดีมา
ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก รายละเอียดมีดังนี้

4.2.1 วัตถุดิบ ใช้ดินขาว จ.ปราจีนบุรี ดินคำลานสกา จ.นครศรีธรรมราช
ทัลก์-จีน อะลูมินาซิลิไซด์ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีแสดงไว้แล้วในบทที่ 3 มาเตรียมคอร์เดียไรต์
สูตร T3CB* ส่วนกร็อกใช้กร็อกมัลไลต์ของโรงงานอิฐทนไฟ จ.สระบุรี ได้ตรวจสอบองค์ประกอบ
เชิงแร่ของกร็อกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ พบว่าองค์ประกอบเชิงแร่ประกอบด้วยมัล
ไลต์เป็นหลัก มีอะลูมินาและควอร์ตซ์อยู่เล็กน้อย ภาพเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตแกรมดังแสดงในภาค
ผนวก จ กร็อกมัลไลต์ของโรงงานชนิดนี้เป็นชนิดละเอียด ผลวิเคราะห์ขนาดกร็อกโดยการร่อน
ผ่านตะแกรง มีดังนี้

* ส่วนผสมคอร์เดียไรต์ T3CB คือ ดินขาวปราจีนบุรี 24.90% ดินคำลานสกา 16.54% ทัลก์จีน 39.78% อะลูมินาซิลิไซด์ 18.78%

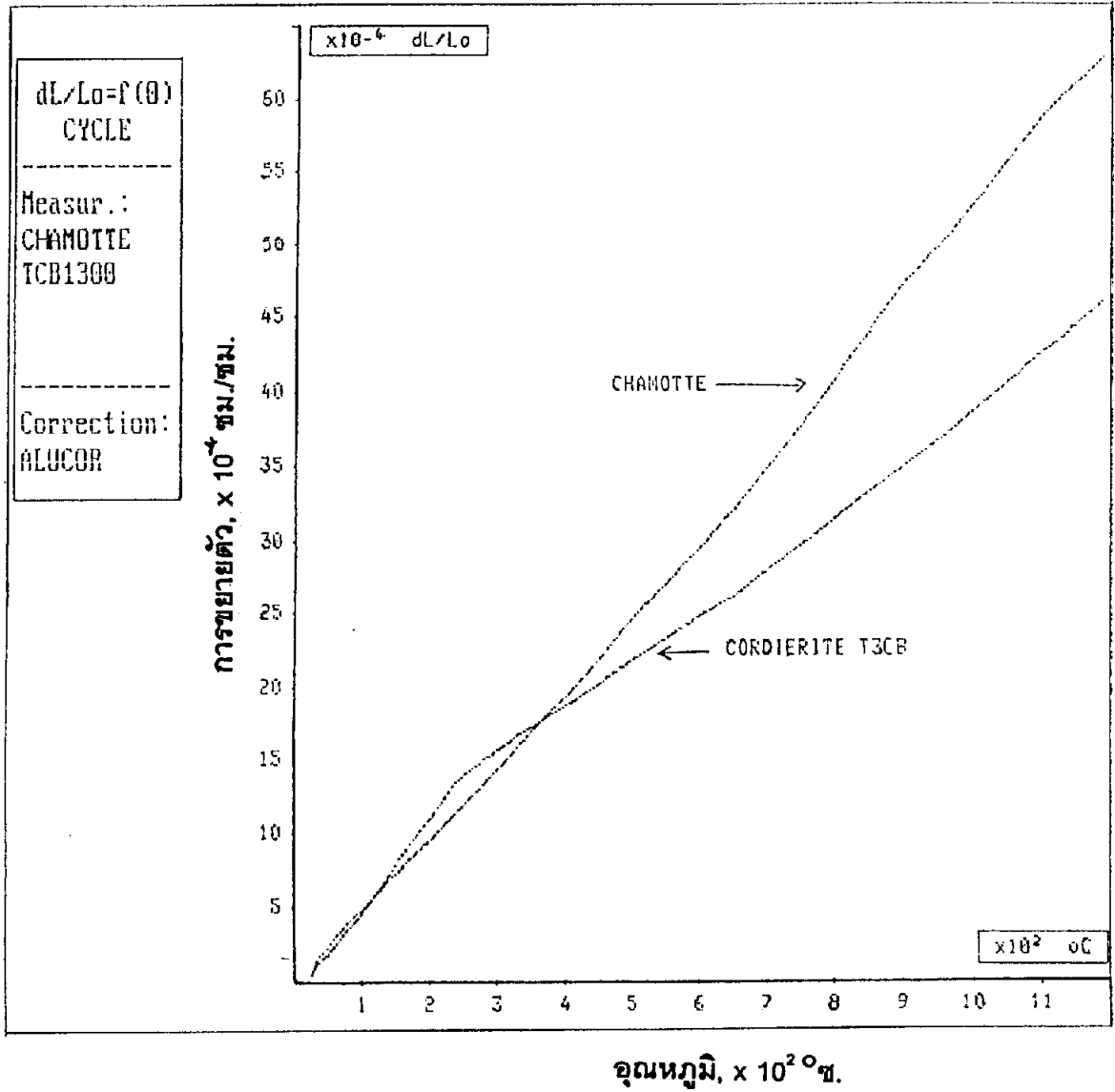
| | |
|---------------------|---------|
| + 12 เมช----- | 1.95 % |
| - 12 + 20 เมช----- | 31.42 % |
| - 20 + 35 เมช----- | 14.15 % |
| - 35 + 60 เมช----- | 5.10 % |
| - 60 + 100 เมช----- | 5.18 % |
| -100 + 140 เมช----- | 4.09 % |
| -140 + 200 เมช----- | 5.55 % |
| -200 เมช----- | 32.56 % |

เนื่องจากในการทดลองนี้จะทดลองทำส่วนผสมชนิดเนื้อหยาบและเนื้อละเอียดจึงนำกรีกดังกล่าวมาร่อนคัดขนาด แบ่งเป็นกรีกหยาบขนาด-18+35 เมช และกรีกละเอียดขนาด -35 เมช นอกจากนั้นยังได้ตรวจสอบคุณสมบัติการขยายตัวเมื่อร้อนของกรีกกับคอร์เตียไรต์ พบว่าการขยายตัวต่างกัน โดยกรีกขยายตัวมากกว่าคอร์เตียไรต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.1

4.2.2 ส่วนผสม ทดลองทำเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ โดยนำคอร์เตียไรต์สูตร T3CB กับกรีกมัลไลต์หยาบและละเอียดมาผสมกัน อัตราส่วนผสมเนื้อหยาบใช้สัญลักษณ์ B-MC ผสมกรีก 25-45% ส่วนผสมเนื้อละเอียดใช้สัญลักษณ์ B-MF ผสมกรีก 20-35% รายละเอียดส่วนผสมแสดงในตารางที่4.2 รวมทดลองทั้งหมด 6 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมคอร์เตียไรต์-มัลไลต์

| ตัวอย่าง | คอร์เตียไรต์ | กรีกหยาบ | กรีกละเอียด |
|----------|--------------|----------|-------------|
| B-MC25 | 75 | 25 | - |
| B-MC35 | 65 | 35 | - |
| B-MF45 | 55 | 45 | - |
| B-MF20 | 80 | - | 20 |
| B-MF25 | 75 | - | 25 |
| B-MF35 | 65 | - | 35 |



ภาพที่ 4.1 การขยายตัวของกรีกหรือซามอตต์กับคอร์เดียไรต์

4.2.3 การเตรียมตัวอย่าง ในการทดลองนี้เตรียมโดยการผสม ดิน ทล็ก อะลูมินา ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอร์เตียไรต์ให้เข้ากันอย่างดีก่อน แล้วจึงผสมกร็อกเข้าไป เมื่ออัดขึ้นรูปแล้วจึงนำไปเผา เพื่อให้ดิน ทล็ก อะลูมินา ทำปฏิกิริยากันขณะทำการเผา เกิดเป็นเนื้อพื้นหรือเมทริกซ์คอร์เตียไรต์ช่วยยึดให้เม็ดกร็อกติดกัน รายละเอียดและลำดับขั้นตอนการเตรียมมีดังนี้

ก. เตรียมส่วนผสมคอร์เตียไรต์ สูตร T3CB โดย ชั่ง ดิน ทล็ก อะลูมินา----> บดเปียกในหม้อบด 8 ชั่วโมง----> ทำให้แห้ง----> บดละเอียดเก็บไว้ใช้

ข. นำส่วนผสมที่ได้จาก ข้อ ก. มาผสมกับกร็อกมัลไลต์ ตามสัดส่วนแสดงในตารางที่ 4.2

ค. เติมน้ำประมาณ 7-8 % ผสมให้เข้ากัน ปิดถุงหมักไว้ 2 วัน

ง. ชั่งส่วนผสม ข้อ ค. ประมาณ 200 กรัม เทเกลี่ยลงในแบบโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ อัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ความดัน 200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จะได้ชิ้นทดสอบขนาด 3.5 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 1.5 เซนติเมตร อัดทั้งหมด 10 ชิ้นต่อตัวอย่าง

จ. อบให้แห้ง

ฉ. เผาในเตาไฟฟ้า อุณหภูมิ 1300°ซ. ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ได้ชิ้นตัวอย่างคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ สำหรับทดสอบคุณสมบัติต่อไป

4.2.4 การวิเคราะห์ทดสอบ นำชิ้นตัวอย่างซึ่งเผา 1300°ซ. มาตรวจองค์ประกอบเชิงแร่ ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว ความพรุนปรากฏ ความหนาแน่นรวม สมบัติเชิงกล ได้แก่ มอดุลัสแตกร้าวม สมบัติทางความร้อน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (α) และหาค่าความทนไฟ โดยการวัดสมมูลไพโรเมตริกโคน (pyrometric cone equivalent, PCE)

การตรวจองค์ประกอบเชิงแร่ ใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ของบริษัทฟิลิปส์ รุ่น PW 1730 คลื่นรังสีโคบอลต์ กระทำที่มุม $2\theta: 10^\circ-70^\circ$ ความเร็ว $0.05^\circ/\text{วินาที}$ ความต่างศักย์ 35 กิโลโวลต์ กระแส 25 มิลลิแอมแปร์ จำนวนนับเต็มสเกล 5,000 counts

มอดุลัสแตกร้าวม (MOR) ใช้เครื่อง Shimadzu Autograph รุ่น AGS-500 D การทดสอบนี้ใช้ระยะช่วงระหว่างแท่นรองรับ (L) = 100 มิลลิเมตร อัตราการเคลื่อนของหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ใช้เครื่อง Dilatometer บริษัท Adamel Lhomargy รุ่น DI.20

ความทนไฟ ใช้เตาบริษัท Bickley รุ่น 1800-B PCE วัดหมายเลขสมมูลไฟโรเมตริก-โคน การวัดนี้เป็นการเปรียบเทียบจุดที่โคนตัวอย่างเริ่มโค้งพร้อม ๆ กับโคนมาตรฐานลงมาแตะกับฐานที่โคนตั้งอยู่ และรายงานอุณหภูมิที่ตรงกับจุดที่โคนมาตรฐานโค้งลงมาแตะฐาน ลักษณะของโคนก่อนและหลังทดสอบแสดงในภาคผนวก ฉ

4.2.5 การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ นอกจากการอัดเป็นขึ้นทดสอบแล้ว ยังได้ทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วย ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟที่มีดินผสมอยู่ด้วยขึ้นรูปได้หลายวิธี ได้แก่ การขึ้นรูปเปียก (plastic forming) การขึ้นรูปกึ่งแห้ง (semi-dry forming) การขึ้นรูปแห้ง (dry forming) และการเทแบบ (slip casting) เป็นต้น การขึ้นรูปแต่ละวิธีแตกต่างกันดังนี้

การขึ้นรูปเปียก ใช้สำหรับส่วนผสมที่มีดิน 35-50% และความชื้น 17-19% ได้แก่ การรีดผ่านเครื่องรีด (extruder) เป็นต้น

การขึ้นรูปกึ่งแห้ง ใช้สำหรับส่วนผสมที่มีดิน 20-50% และความชื้น 8-9% เนื่องจากส่วนผสมที่มีความชื้น 8-9% นี้จะแข็งเกินกว่าที่จะรีดด้วยเครื่องรีดได้ จึงต้องอัดด้วยเครื่องอัด เช่น เครื่องอัดไฮดรอลิก

การขึ้นรูปแห้ง ใช้สำหรับส่วนผสมที่มีดิน 5-20% และความชื้น 3-5% ส่วนผสมนี้ใช้เครื่องอัดแบบเดียวกับการขึ้นรูปกึ่งแห้งได้ แต่จะใช้ความดันสูงขึ้น

การเทแบบ ใช้สำหรับส่วนผสมที่มีดิน 30-50% และความชื้น 12-20% การขึ้นรูปวิธีนี้ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน โดยเทน้ำสลีปลงในแบบปูนปลาสเตอร์เช่นเดียวกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั่วไป ในการเตรียมน้ำสลีปต้องใช้สารช่วยลอยตัว (deflocculants) ประมาณ 0.03-0.3%

สำหรับการทดสอบนี้ได้นำส่วนผสมที่เตรียมในข้อ 4.2.3 (ค) มาอัดเป็นผลิตภัณฑ์โดยวิธีกึ่งแห้ง ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ที่ความดัน 200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขั้นตอนนี้ทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นและเสา แบบโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ทดลองทำขึ้นมาเอง ภาพของแบบโลหะได้แสดงในภาคผนวก ข และ ช ตามลำดับ แผ่นและเสาที่ทำขึ้นมีลักษณะดังแสดงในภาคผนวก ฉ เผาผลิตภัณฑ์ที่อัดได้ในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 1300°ซ. ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

4.3 ผลการทดลอง

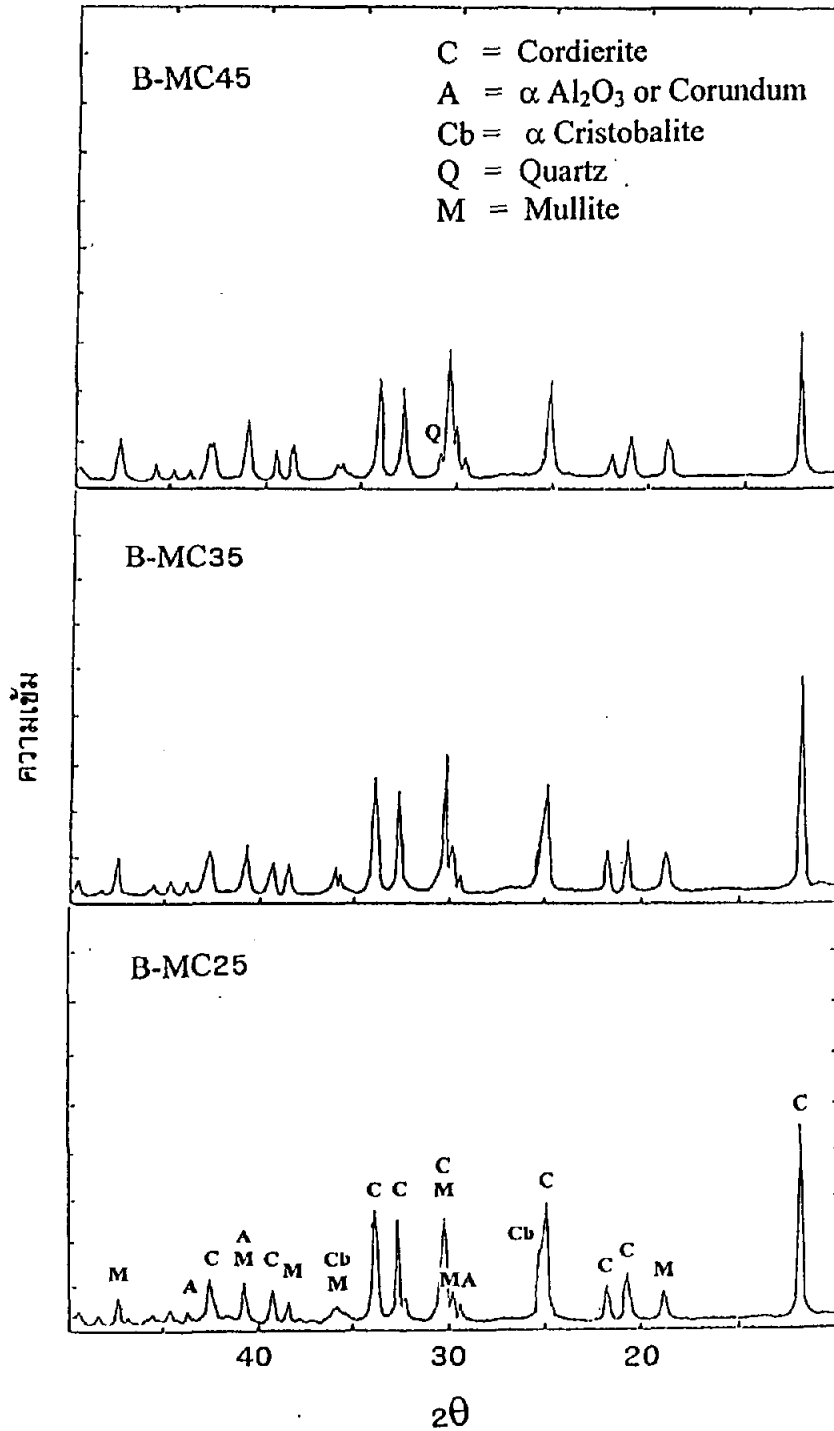
จากการทดลองทำเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ โดยวิธีนำ ดิน ทัลก์ อะลูมินา ตามสัดส่วนของคอร์เดียไรต์ชนิด T3CB มาบดและผสมให้เข้ากันก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับกร็อกหยาบ (B-MC25 B-MC35 B-MC45) และกร็อกละเอียด (B-MF20 B-MF25 B-MF35) และเผาที่อุณหภูมิ 1300°ซ. เพื่อให้ ดิน ทัลก์ อะลูมินา ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ยัดเม็ดกร็อกติดกันเกิดโครงสร้างแบบเม็ดกร็อกกระจายอยู่ในเมทริกซ์คอร์เดียไรต์ อันทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันนั้น ปรากฏว่าเนื้อนี้มีลักษณะทั่วไปดี ไม่แตกร้าว องค์ประกอบเชิงแร่ของส่วนผสมทั้ง 6 ตัวอย่างประกอบด้วยคอร์เดียไรต์และมัลไลต์เป็นหลักมี อะลูมินา ควอร์ตซ์ และ/หรือคริสโทบาไลต์ปนอยู่บ้าง ดังผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.2 และ 4.3 นอกจากนี้ยังมีข้อน่าสังเกตอีกว่าในตัวอย่างที่มีเม็ดกร็อกมากจะมีคริสโทบาไลต์น้อยลง

ส่วนการทดสอบสมบัติทางกายภาพได้แก่ การหดตัว ความพรุนปรากฏ ความหนาแน่นรวม สมบัติเชิงกล ได้แก่ มอดุลัสแตกร้าว สมบัติทางความร้อน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน และความทนไฟ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมบัติของผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์จากเอกสารอ้างอิง สรุปผลได้ดังนี้

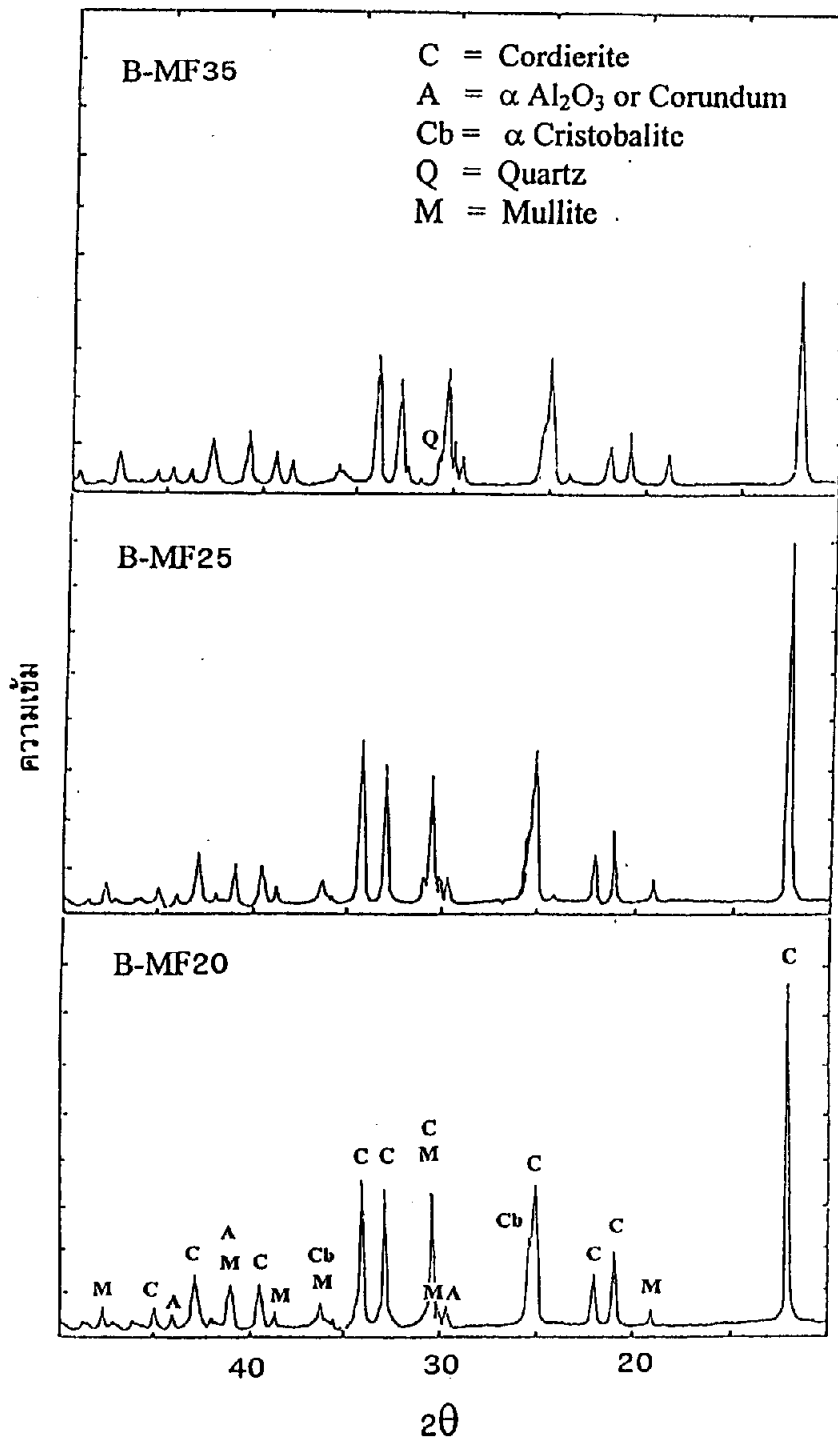
ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของคอร์เดียไรต์-มัลไลต์

| | คอร์เดียไรต์ | มัลไลต์ | อะลูมินา | ควอร์ตซ์ | คริสโทบาไลต์ |
|--------|--------------|---------|----------|----------|--------------|
| B-MC25 | xxxx | xxx | x | - | xx |
| B-MC35 | xxxx | xxx | x | - | อาจไม่มี |
| B-MC45 | xxxx | xxx | x | x | อาจไม่มี |
| B-MF20 | xxxx | xxx | x | - | xx |
| B-MF25 | xxxx | xxx | x | x | x |
| B-MF35 | xxxx | xxx | x | x | x |

xxxx มาก xxx ปานกลาง xx น้อย x น้อยมาก - ไม่มี



ภาพที่ 4.2 เอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตแกรมของคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ชนิดกร็อกหยาบ (B-MC)



ภาพที่ 4.3 เอกซเรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ชนิดกร็อกอะเอียต (B-MF)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

| | การหดตัว, % | ความพรุนปรากฏ, % | ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม. | มอดุลัสแตกร้าว, เมกะพาสคัล | $\alpha(20^{\circ}\text{ซ.}-1000^{\circ}\text{ซ.}),$ $\times 10^{-6}\text{ซม./ซม.}^{\circ}\text{ซ.}$ | ความทนไฟ, °ซ. |
|--------|----------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|------------------|
| B-MC25 | 0.86 | 31.25 | 1.91 | 15.27 | 3.521 | 1522 |
| B-MC35 | 0.86 | 33.37 | 1.87 | 12.29 | 3.597 | 1567 |
| B-MC45 | 0.86 | 35.52 | 1.84 | 8.37 | 4.054 | 1584 |
| B-MF20 | 2.05 | 27.08 | 1.99 | 26.88 | 3.428 | 1517 |
| B-MF25 | 1.72 | 28.54 | 1.97 | 25.28 | 3.409 | 1517 |
| B-MF35 | 1.19 | 29.56 | 1.97 | 19.69 | 3.663 | 1525 |

เนื้อชนิดหยาบ (มีปริมาณกรีกหยาบ 25-45%)

- 1) หดตัวน้อย เพียง 0.86%
- 2) มีความพรุนตัวสูงกว่าค่าในเอกสารอ้างอิง คือ มีค่า 31.25-35.52% การเพิ่มปริมาณกรีกในส่วนผสมทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อมากขึ้น ความพรุนจึงสูงขึ้น
- 3) มีความหนาแน่นรวมใกล้เคียงกับค่าในเอกสารอ้างอิง คือ 1.91-1.84 กรัม/ลบ.ซม. การเพิ่มปริมาณกรีกในส่วนผสมทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อมากขึ้น ความหนาแน่นรวมจึงต่ำลง แต่ก็ยังไม่ต่ำกว่าค่าในเอกสารอ้างอิง
- 4) มีค่าความแข็งแรงหรือมอดุลัสแตกร้าวใกล้เคียงกับค่าในเอกสารอ้างอิง คือ 15.27-8.37 เมกะพาสคัล การเพิ่มปริมาณกรีกในส่วนผสมทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อมากขึ้น ความแข็งแรงจึงลดลง แต่ก็ยังไม่ต่ำกว่าค่าในเอกสารอ้างอิง
- 5) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $3.521-4.054 \times 10^{-6}\text{ซม./ซม.}^{\circ}\text{ซ.}$ ซึ่งค่อนข้างสูง แต่ก็ใกล้เคียงกับค่าของแผ่นคอนกรีตชนิดอัดแห้งในเอกสารอ้างอิง เนื่องจากกรีกมีการขยายตัวมากกว่าคอนกรีต ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกรีกในส่วนผสมจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนสูงขึ้น เส้นกราฟแสดงการขยายตัวเมื่อร้อนแสดงในภาพที่ 4.4
- 6) มีความทนไฟสูงกว่า 1500°ซ. ทุกตัวอย่าง จึงน่าจะใช้เป็นวัสดุทนไฟได้ โดยเหตุที่มัลไลต์เป็นแร่ที่มีจุดหลอมตัวสูงกว่าคอนกรีต ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกรีกมัลไลต์จึงทำให้ส่วนผสมมีความทนไฟสูงขึ้น

เนื้อชนิดละเอียด (มีปริมาณกรือกละเอียด 20-35%)

1) ทดตัว 2.05-1.19 % มากกว่าชนิดหยาบเล็กน้อย

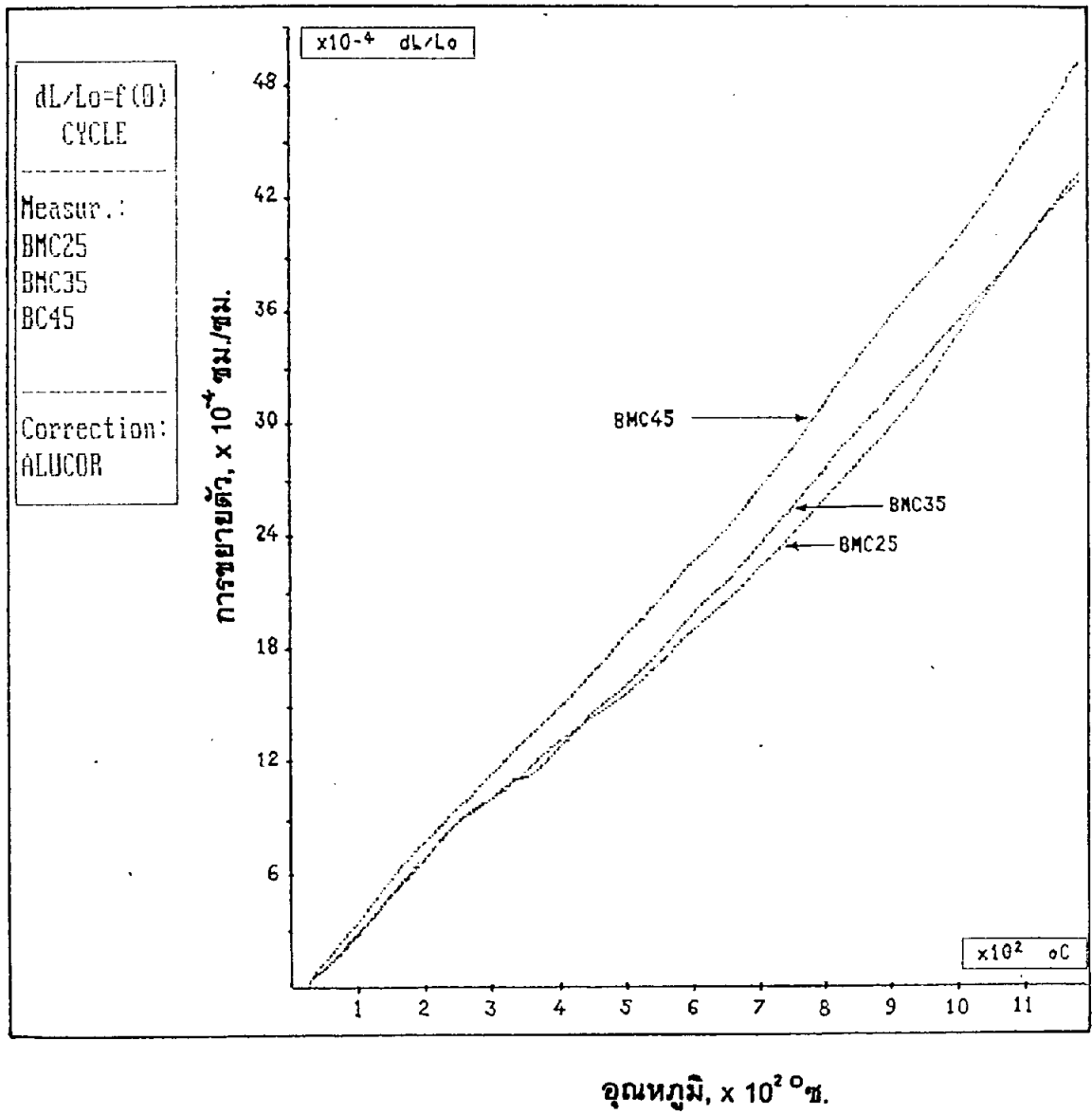
2) มีความพรุนตัว 27.06-29.56% ใกล้เคียงกับค่าของเครื่องเตาเผาชนิดอัดเปียกในเอกสารอ้างอิง การเพิ่มปริมาณกรือกในส่วนผสมทำให้ความพรุนตัวสูงขึ้น เช่นเดียวกับเนื้อชนิดหยาบ

3) มีค่าความหนาแน่นรวม 1.99-1.97 กรัม/ลบ.ซม. ใกล้เคียงกับค่าในเอกสารอ้างอิง และการเพิ่มปริมาณกรือกในส่วนผสมทำให้ค่าความหนาแน่นรวมลดลง เช่นเดียวกับในเนื้อชนิดหยาบ

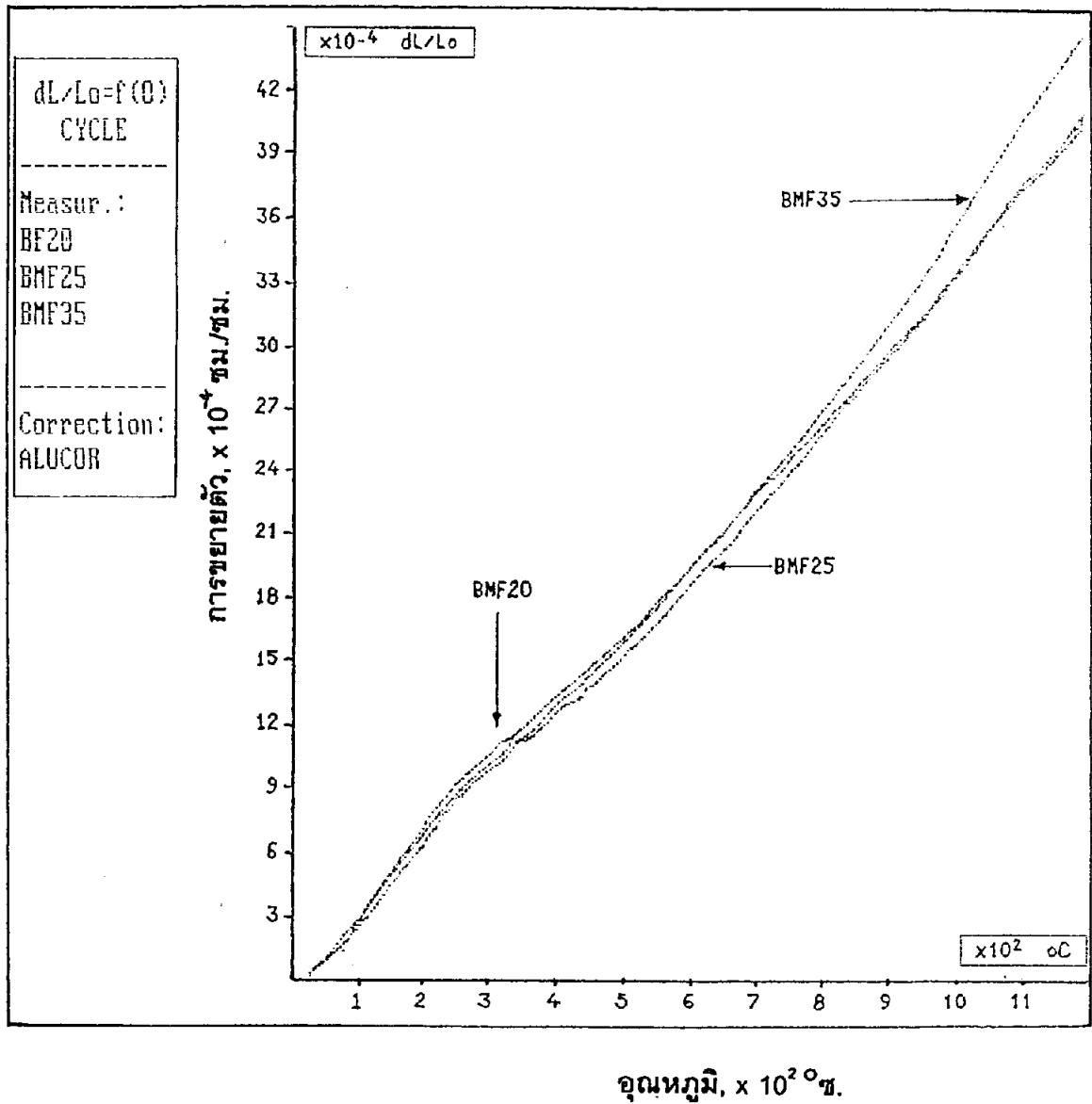
4) มีค่าความแข็งแรงหรือมอดุลัสแตกร้าว 26.88-19.69 เมกะพาสคัล สูงกว่าค่าในเอกสารอ้างอิง และการเพิ่มปริมาณกรือกในส่วนผสมทำให้ความแข็งแรงลดลงเช่นเดียวกับในเนื้อชนิดหยาบ

5) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $3.409-3.663 \times 10^{-6}$ ซม./ซม.°ซ. ใกล้เคียงกับค่าของเครื่องเตาเผาชนิดอัดแห้งในเอกสารอ้างอิง และการเพิ่มปริมาณกรือกในส่วนผสมจาก 25 เป็น 35% ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับที่พบในเนื้อชนิดหยาบ เส้นกราฟแสดงการขยายตัวเมื่อร้อนแสดงในภาพที่ 4.5

6) มีความทนไฟสูงกว่า 1500° ซ. ทุกตัวอย่างจึงน่าจะใช้เป็นวัสดุทนไฟได้ และการเพิ่มปริมาณกรือกทำให้ส่วนผสมมีความทนไฟสูงขึ้น



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบการขยายตัวเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ชนิดกร็อกหยาบ B-MC25 B-MC35 และ B-MC45



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบการขยายตัวเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ชนิดกร้อกละเอียด B-MF20
 B-MF25 และ B-MF35

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆและจากการเปรียบเทียบค่ากับเอกสารอ้างอิง สามารถคัดเลือกส่วนผสมที่ดีของเนื้อแต่ละชนิด ได้ดังนี้

เนื้อชนิดหยาบ

จากการพิจารณาองค์ประกอบเชิงแร่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน จะเห็นว่าแม้เนื้อชนิดหยาบจะมีความมพูนตัวสูงกว่าค่าในเอกสารอ้างอิงเล็กน้อย แต่สมบัติสำคัญอื่นๆ โดยเฉพาะความแข็งแรงและค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนก็อยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียง จึงน่าจะใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบองค์ประกอบเชิงแร่ประกอบกับสมบัติด้านความแข็งแรง และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อทั้ง 3 ส่วนผสม อาจกล่าวได้ว่า เนื้อส่วนผสมซึ่งมีกร็อกอยู่ 35% น่าจะเหมาะสมกว่าส่วนผสมอื่นๆ ทั้งนี้เพราะส่วนผสมซึ่งประกอบไปด้วยกร็อก 25% แม้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ มีความแข็งแรงสูง แต่เนื่องจากในองค์ประกอบเชิงแร่ยังมีเฟสคริสโทบาไลต์เหลืออยู่อีกบ้าง จึงทำให้เส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อนในช่วงอุณหภูมิ 200-270°C. (ภาพที่ 4.4 และภาคผนวก ญ) ไม่เป็นเส้นตรง เพราะคริสโทบาไลต์เกิดการแปลงเฟสจาก $\alpha \rightarrow \beta$ การขยายตัวแบบไม่สม่ำเสมอของคริสโทบาไลต์อาจส่งผลเสียทำให้ผลิตภัณฑ์แตกได้ เพราะทำให้เกิดการสะสมความเค้นภายในเนื้อ ดังนั้นส่วนผสมกร็อก 25% จึงไม่ค่อยเหมาะสมนัก สำหรับส่วนผสมที่มีกร็อกอยู่ 45% นั้นก็ไม่ค่อยจะเหมาะสมเช่นกัน เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะ ทำให้ผลิตภัณฑ์รับน้ำหนักบรรทุก (load) ได้ไม่ดี นอกจากนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนค่อนข้างสูง ซึ่งจะ ทำให้ไม่ค่อยทนต่อการใช้งานในภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนผสมกร็อก 35% หรือ B-MC35 จึงน่าจะเหมาะสมกว่า

เนื้อชนิดละเอียด

จากการพิจารณาองค์ประกอบเชิงแร่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน จะเห็นว่าเนื้อชนิดละเอียดที่ทดลองทำขึ้นมีความแข็งแรงสูงกว่าค่าในเอกสารอ้างอิงมาก ซึ่งจะทำให้รับน้ำหนักบรรทุกได้ดี ส่วนสมบัติอื่นๆก็ใกล้เคียงกัน จึงน่าจะใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบองค์ประกอบเชิงแร่ ประกอบกับเส้นกราฟแสดงการขยายตัวเมื่อร้อนของเนื้อชนิดละเอียดทั้ง 3 ส่วนผสม พบว่าส่วนผสม B-MF25 B-MF35 อันประกอบด้วยคอร์เดียไรต์ 65-75 ส่วน และกร็อก 25-35 ส่วน น่าจะ

เหมาะสมกว่าส่วนผสม B-MF20 ซึ่งประกอบด้วยคอร์เตียไรต์ 80 ส่วน และกร็อก 20 ส่วน ทั้งนี้ เพราะในองค์ประกอบเชิงแร่ของ B-MF20 มีเฟสคริสโทบาไลต์เหลืออยู่มากกว่า ซึ่งจะทำให้เส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อนในช่วงอุณหภูมิ 200-270°C. มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้มากกว่าด้วย (ภาพที่ 4.5 และภาคผนวก ฎ) นอกจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของ B-MF20 ก็ไม่ได้ต่ำกว่าส่วนผสมซึ่งมีกร็อกอยู่ 25% แม้ในการศึกษาทดลองนี้พบว่าส่วนผสม B-MF25 และ B-MF35 สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาได้ แต่เส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อนก็ยังไม่ค่อยเป็นเส้นตรงจึงควรมีการศึกษาปรับปรุงให้ดีขึ้น การปรับปรุงควรทำในส่วนของคอร์เตียไรต์ เพราะจากภาพการขยายตัวเมื่อร้อนของคอร์เตียไรต์เทียบกับของกร็อกมัลไลต์ในภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าเส้นกราฟของคอร์เตียไรต์ไม่เป็นเส้นตรง และจากผลการทดลองในบทที่ 3 ก็พบว่าการใช้ดินขาวปราจีนบุรีไม่ล้างทำให้มีคริสโทบาไลต์ตกค้างอยู่ในคอร์เตียไรต์ ดังนั้นถ้าปรับปรุงให้ปฏิกิริยาในคอร์เตียไรต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ก็น่าจะทำให้เส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อนของผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาเป็นเส้นตรงได้

4.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำเนื้อคอร์เตียไรต์-มัลไลต์ชนิดกร็อกหยาบ และชนิดกร็อกละเอียด สรุปส่วนผสมที่เหมาะสมจะทำผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาได้ดังนี้

- 1) ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับชนิดเนื้อหยาบคือ คอร์เตียไรต์ 65 ส่วน กร็อกหยาบ 35 ส่วน
- 2) ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเนื้อละเอียด คือ คอร์เตียไรต์ 65-75 ส่วน กร็อกละเอียด 25-35 ส่วน
- 3) ได้นำส่วนผสมที่ดีของชนิดหยาบและชนิดละเอียดมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกและเผา 1300°C. ยืนไฟ 2 ชั่วโมง ปรากฏว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทั่วไปดี ไม่มีรอยร้าว หรือแตกหัก ดังแสดงในภาคผนวก ฎ เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้มีความทนไฟสูงกว่า 1500°C. และผ่านการเผาที่ 1300°C. มาแล้ว ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานในเตาเผาเซรามิกที่อุณหภูมิประมาณ 1200°C. ได้
- 4) เนื่องจากสาเหตุของการที่เส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อนของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอในช่วงอุณหภูมิ 200-270°C. นั้นมาจากคริสโทบาไลต์ซึ่งมาจากทรายในดินที่ใช้ทำคอร์เตียไรต์ ดัง

นั้นการเลือกชนิดดินสำหรับทำคอร์เดียไรต์ จึงมีความสำคัญมาก ควรเลือกดินที่มีทรายปนอยู่น้อย หรือล้างทรายหยาบออกก่อน

4.6 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับเนื้อคอร์เดียไรต์ให้มีการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำลง และเรียบเป็นเส้นตรง เพื่อจะได้ทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันยิ่งขึ้น อาจโดยการเผาอุณหภูมิสูงขึ้น หรือโดยการใช้ดินที่มีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ควรปรับเนื้อให้ทนไฟขึ้น เพื่อจะได้นำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200°ซ. ได้ และควรทดลองเกี่ยวกับการขึ้นรูปโดยวิธีอื่น นอกไปจากการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก เช่นโดยเครื่องรีด (extruder) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

สุจินดา โชติพานิช และคนอื่นๆ. ผลิตภัณฑ์แผ่นรองขดลวดไฟฟ้าชนิดจาน. วารสารกรม-
วิทยาศาสตร์บริการ ฉบับที่ 122 มกราคม 2533.

Basta, E.Z. and Said, M.K.A. A contribution to the synthesis of ceramic cordierite
bodies, Transaction of the British Ceramics Society, 1973 vol. 72, no.2, p.69-75.

Bentzen III, E.H. Talc or soapstone? American Institute of Mining, Metallurgical, and
Petroleum Engineers. preprint 73-H-8,1973.

Diamond Refractories Limited. British Ceramic Review, Autumn, 1987, no.71, p.15.

Grosjean, P. Cordierite ceramics. Interceram, 1993, vol.42, no.1, p.11-15.

Jones, J.T. and Berard, M.F. Ceramic : Industrial processing and testing. 1st ed. Iowa:
The Iowa state university press, 1972.

Kienow, S. Refractory materials. Ceramic Monographs : A Handbook of Ceramics.
Verlag Schmid GmbH, Freiburg/Breisgan, 1979, part 2.6.

Konta, J. Properties of ceramic raw material. Ceramic Monographs: A Handbook of
Ceramics. Verlag Schmid GmbH, Freiburg/Breisgan, 1982, part 1.1.4.

Lovatt, J.W. Refractories for fast firing kilns. Ceramic Industries Journal, June,1984,
vol.92, no.1045, p.21-22.

Mino Ceramics Shoji Co.,LTD. Refractories:Kiln furniture. Japan.

Mohr, William C. Development of properties in cordierite kiln furniture. American Ceramic Society Bulletin, 1977, vol.56, no.4., p.428-430.

Mohr, William C. and Morris, Michael W. Plastic pressing of cordierite saggars. Ceramic Engineering and Science Proceedings, 1980, vol.1, nos.9-10, p.745-746.

Mohr, William C., et al. Cordierite slabs. Ceramic Engineering and Science Proceedings, 1980, vol.1, nos.9-10, p.826-828.

Schwandt, H. Kiln furniture for rapid firing processes. Interceram, 1979, vol.28, no.1, p.59-60.

Somers, A.V., et al. Cordierite refractory compositions and method of forming same. Brit. Pat. 1,481,500, 1975-10-15.

Underhill, D.E. and Marsham, D.J. Production and application of high quality kiln furniture. Interceram, 1980, vol.29, no.1, p.32-34.

Virta, Robert L. The talc industry-an overview. United States Department of the Interior. Bureau of mines information circular No.9220, 1989.

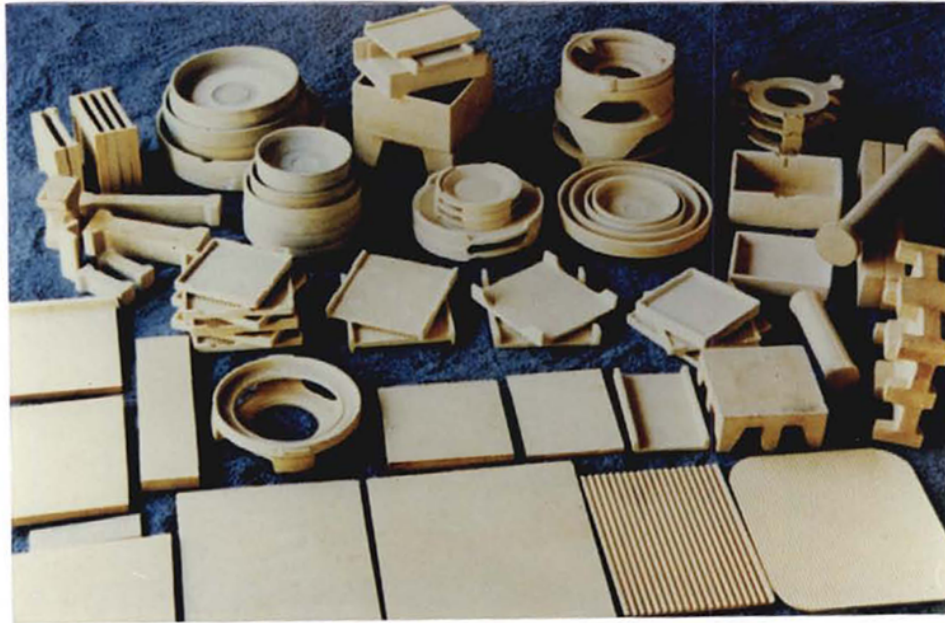
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เครื่องเตาเผากับการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก



ภาคผนวก ข
เครื่องเตาเผารูปแบบต่าง ๆ



ภาคผนวก ค

วิธีคำนวณการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นรวม และมอดูลัสแตกร้าว

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

$$\text{การดูดซึมน้ำ, \%} = \frac{\text{น้ำหนักอิมตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นรวม} &= \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{ปริมาตรภายนอก}} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักอิมตัว} - \text{น้ำหนักแขวนลอย}} \end{aligned}$$

มอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture: MOR)

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

MOR คือ มอดูลัสแตกร้าว เป็นเมกะพาสคัล

W คือ น้ำหนักบรรทุก (load) ที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกร้าว เป็น นิวตัน

L คือ ระยะช่วงระหว่างแท่นรองรับ เป็น มิลลิเมตร











b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร

ภาคผนวก ง

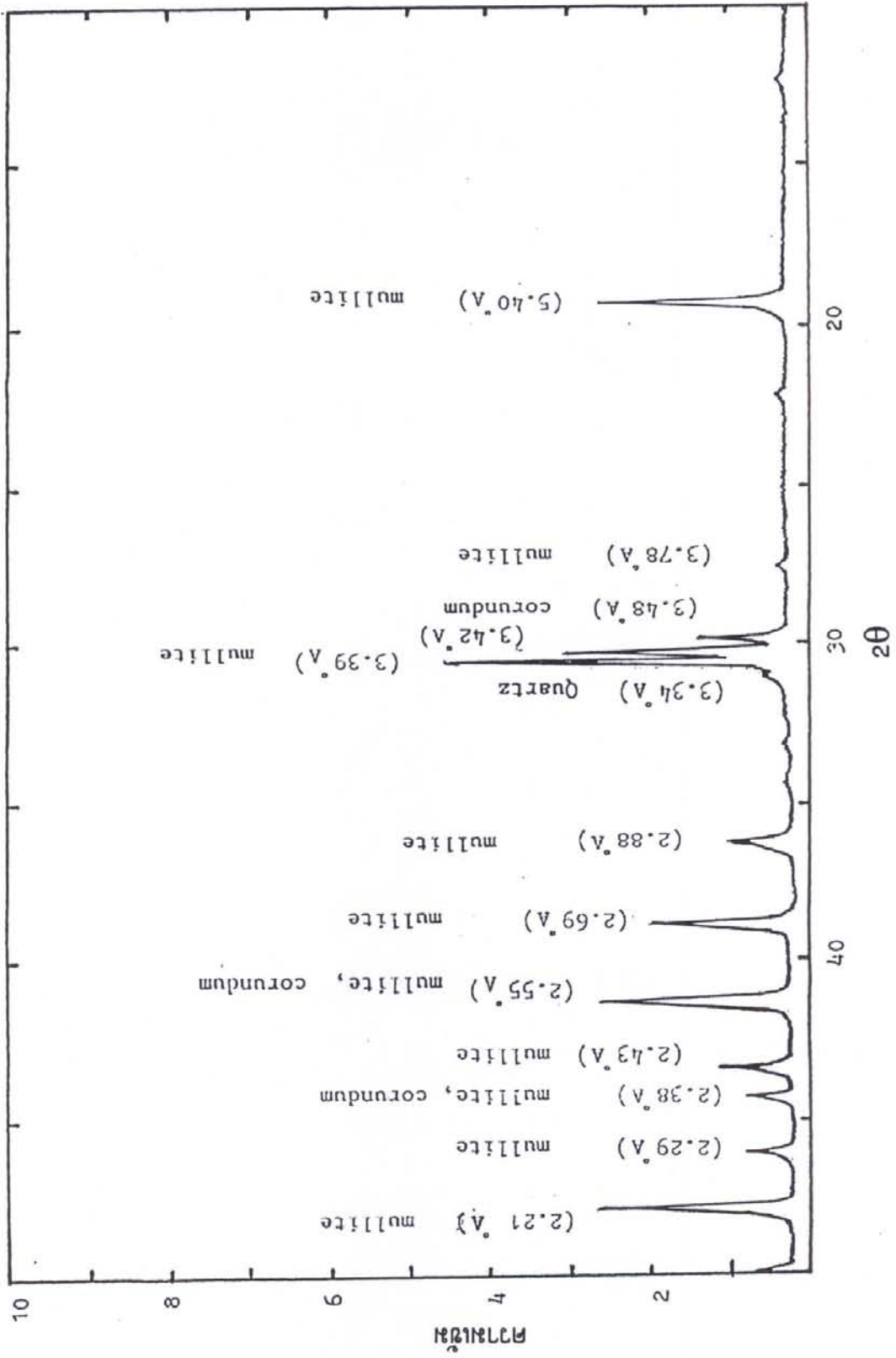
เนื้อคอร์เดียไรต์เผา 1270°-1400°ซ

CORDIERITE

| | T3C | T3CB |
|-------|---|--|
| 1270° |  |  |
| 1300° |  |  |
| 1330° |  |  |
| 1360° |  |  |
| 1400° |  |  |

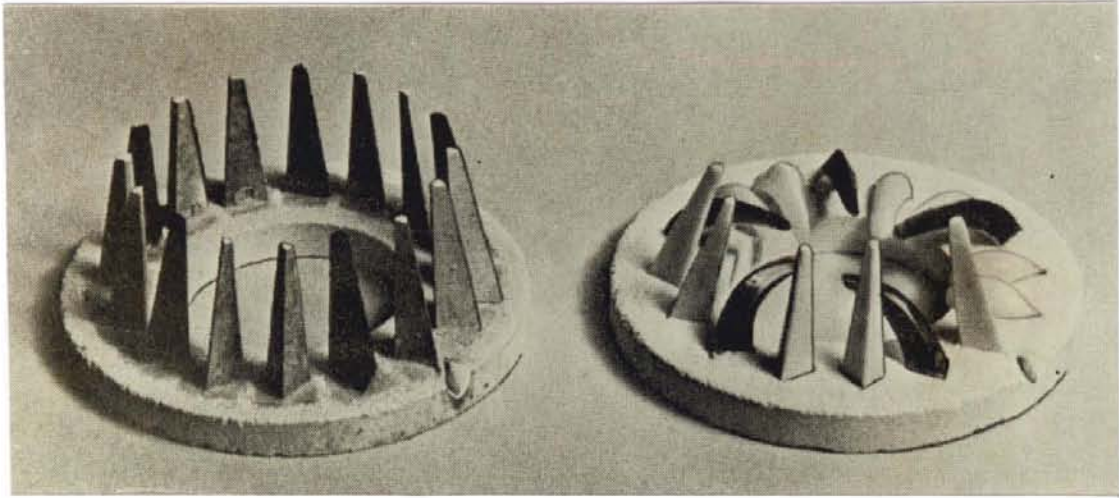
ภาคผนวก จ

เอกซเรย์ดิฟแฟกโตแกรมของกรอกมัลไลต์



ภาคผนวก ฉ

ภาพลักษณะของโคนก่อนและหลังทดสอบ

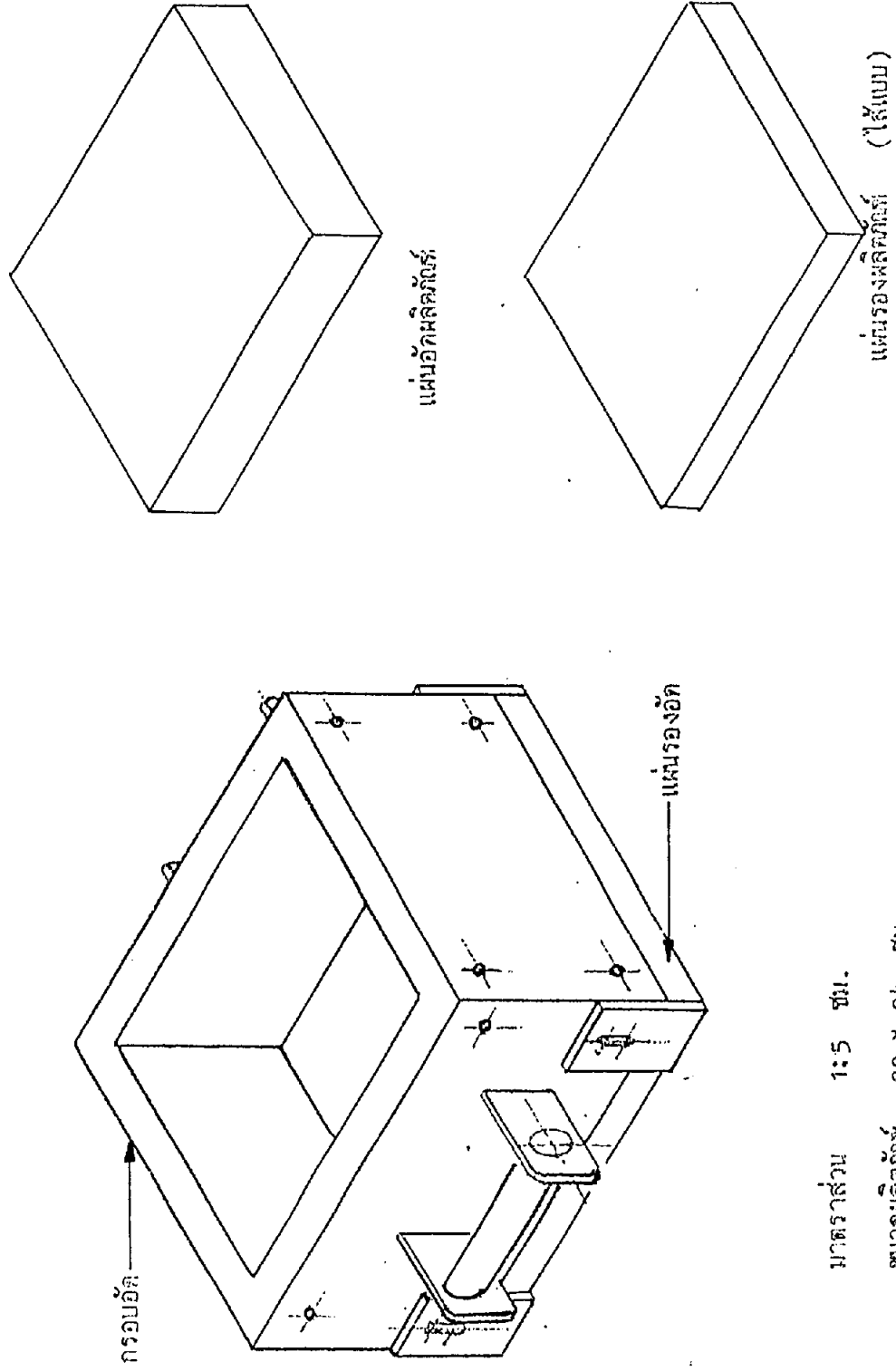


ก่อนทดสอบ

หลังทดสอบ

ภาคผนวก ข

ภาพวาดแบบโลหะใช้ยึดผลิตภัณฑ์แผ่นรอง



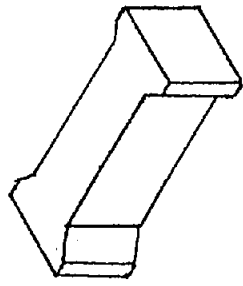
ขนาดส่วน 1:5 ซม.

ขนาดผลิตภัณฑ์ 20 X 24 ซม.

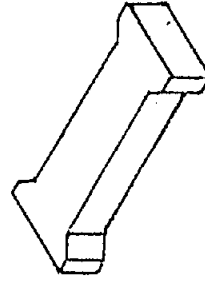
แบบ กำรงัดกั้

ภาคผนวก ช

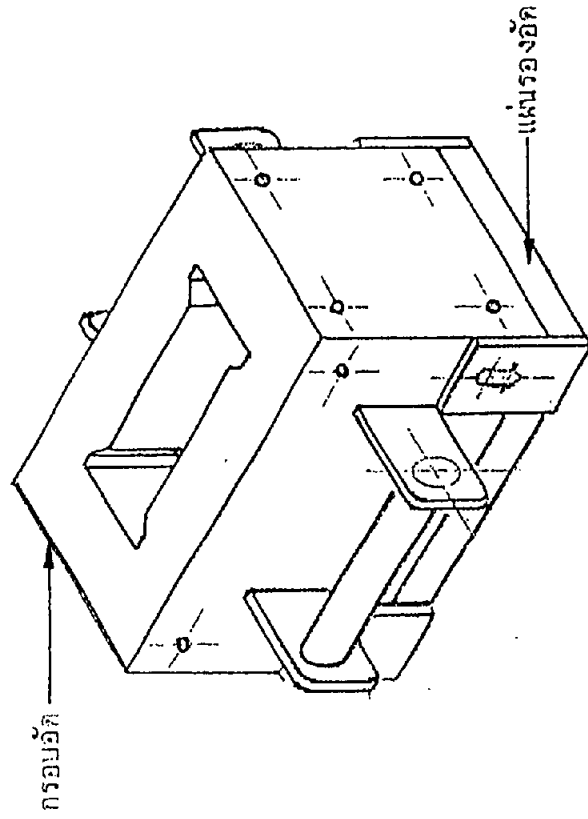
ภาพวาดแบบโลหะใช้ยึดผลิตภัณฑ์เส้า



แผ่นยึดผลิตภัณฑ์



แผ่นรองผลิตภัณฑ์



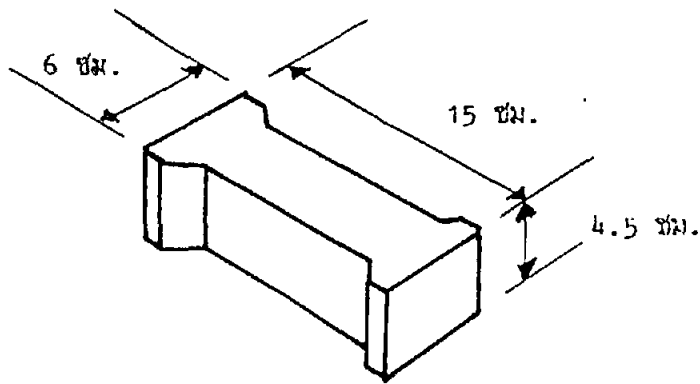
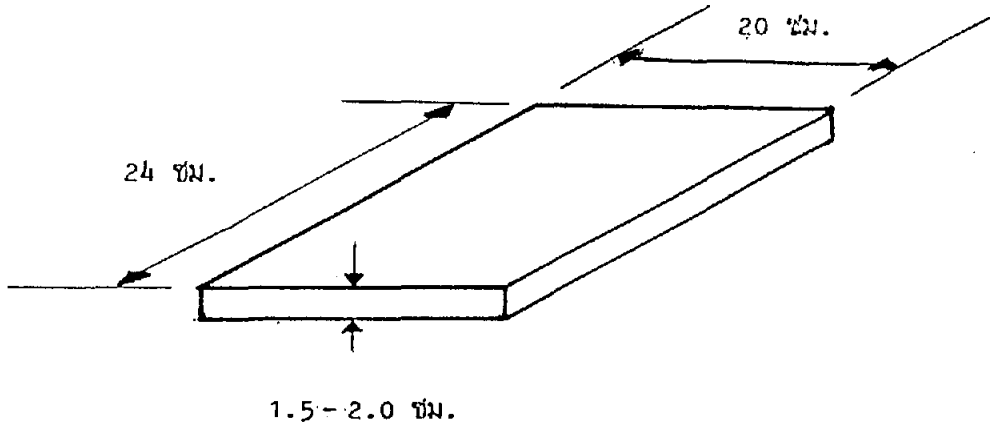
ขนาดรูล้วน 1:5 ซม.

ขนาดผลิตภัณฑ์ 6 X 15 ซม.

แบบ คำร่างักัด

ภาคผนวก ฅ

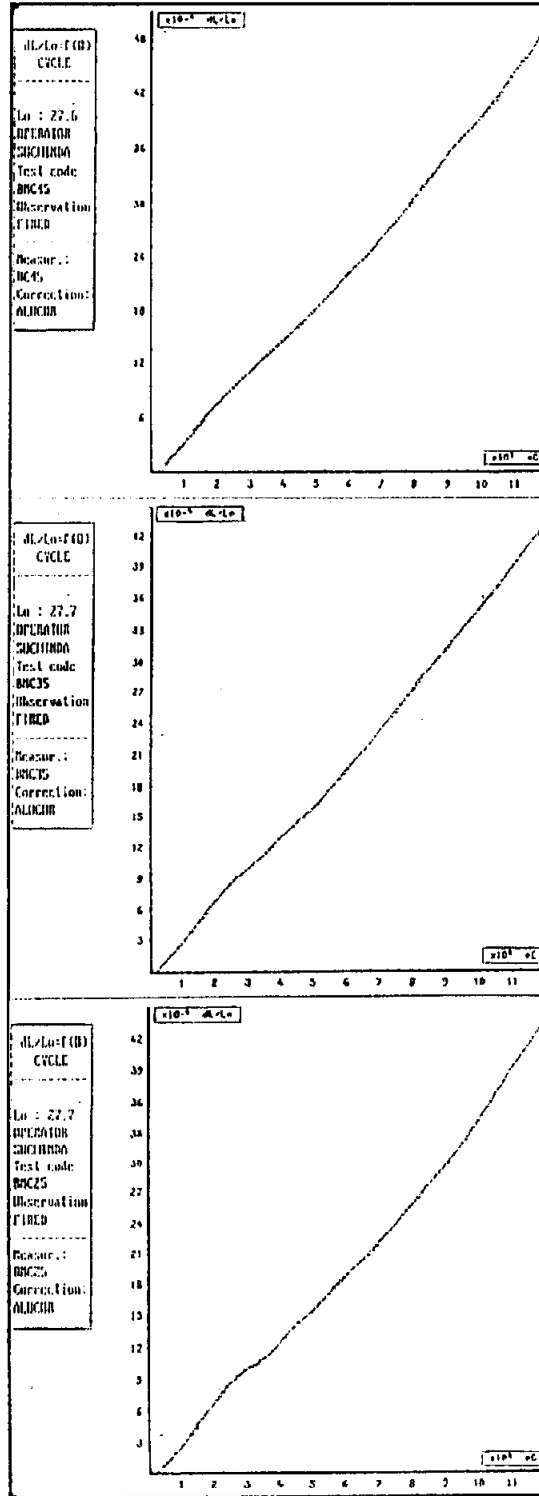
ขนาดของผลิตภัณฑ์แผ่นและเสาที่ทดลองทำ



ภาคผนวก ญ

การขยายตัวของเนื้อคอร์เต็กซ์ไรต์-มัลไลต์ชนิดกร็อกหยาบ

การขยายตัว, $\times 10^{-4}$ ซม./ชม.



กร็อก 45%

กร็อก 35%

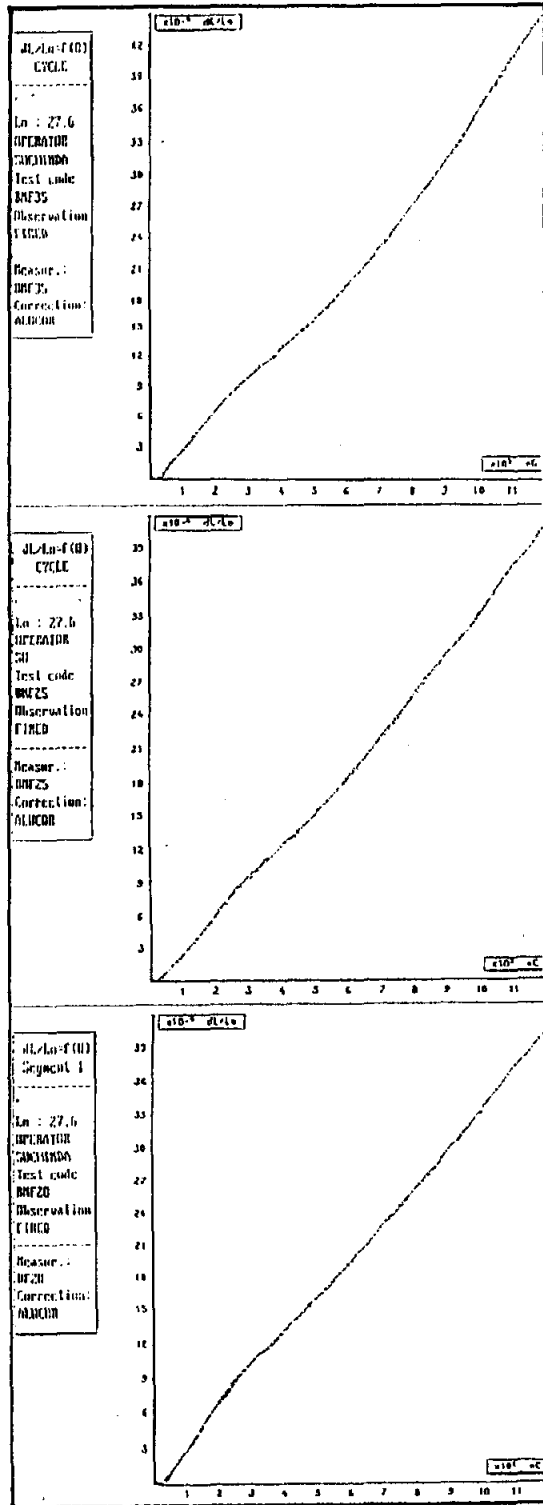
กร็อก 25%

อุณหภูมิ, $\times 10^2$ %

ภาคผนวก ก

การขยายตัวของเนื้อคอร์เต็กซ์-มัลโลด์ชนิดกร็อกละเอียด

การขยายตัว, $\times 10^{-4}$ ซม./ซม.



กร็อก 35%

กร็อก 25%

กร็อก 20%

จุดหนุมิ, $\times 10^2$ กก./ซม.

ภาคผนวก ก

ผลิตภัณฑ์เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ที่ได้จากการทดลอง

