



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก ก

วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารผสมเพื่อใช้เป็นวัสดุทนทานการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลัน



มัลไลต์



คอร์เดียไรต์

วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารผสมเพื่อใช้เป็นวัสดุทนทานการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลัน คือ
ผงมัลไลต์ และคอร์เดียไรต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ผนวก ข

หม้อบดวัตถุดิบขนาดใหญ่ (Ball mill)



หม้อบดวัตถุดิบขนาดใหญ่ (Ball mill) ใช้บดวัตถุดิบได้ทั้งหมด 20 kg. ของสาขาวิทยาศาสตร์ชีวิต
และเทคโนโลยี (เซรามิก) ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก ค

หม้อบดความเร็วสูงขนาดเล็ก (High speed ball mill)



หม้อบดความเร็วสูงขนาดเล็ก (High speed ball mill) ใช้ผสมวัตถุดิบ ของสาขาวิทยาศาสตร์ซึลิเกต และเทคโนโลยี (เซรามิก) ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก ง

เครื่องชั่งแบบละเอียด



เครื่องชั่งแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น APX-200 ผู้ผลิต Denver ใช้สำหรับชั่งส่วนผสมของ
วัตถุดิบ ของสาขาวัสดุศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก จ

แบบพิมพ์เหล็กกล้าใช้ขึ้นรูปชิ้นทดสอบแบบทรงกระบอก



แบบพิมพ์เหล็กกล้าใช้ขึ้นรูปชิ้นทดสอบแบบทรงกระบอก เพื่อทดสอบค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน และสมบัติเชิงกล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm. ของสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์ محفوظةโดย
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก จ

ชิ้นงานแท่งทรงกระบอกกลมยาว ที่จะนำไปวัดค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน



1. เป็นชิ้นทดสอบทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm
2. นำชิ้นทดสอบมาทำการตัดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง เพื่อให้ได้เป็นแท่งทรงกระบอก
3. นำแท่งทรงกระบอกมาทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 0 และขัดละเอียดด้วยเบอร์ 1 จนได้เป็นแท่งกลมยาว ดังรูป

ผนวก ช

แบบพิมพ์เหล็กกล้าขึ้นรูปขึ้นทดสอบแบบแท่ง



แบบพิมพ์เหล็กกล้าขึ้นรูปขึ้นทดสอบแบบแท่ง เพื่อทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความ
ร้อนฉับพลัน ขนาด $1'' \times 1'' \times 6''$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก ข

เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบทิศทางเดียว (Hydraulic Press)



ลิขสิทธิ์การวิจัยของเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบทิศทางเดียว (Hydraulic Press) ใช้ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบแบบแท่ง เพื่อทดสอบค่าการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลันของสาขาวิทยาศาสตร์ซิริเกตและเทคโนโลยี (เซรามิก) ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผนวก ฅ

เครื่องอัดแบบทิศทางเดียว (Uniaxial Press)



เครื่องอัดแบบทิศทางเดียว (Uniaxial Press) ใช้ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบแบบทรงกระบอกเพื่อทดสอบค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและสมบัติเชิงกล ของสาขาวัสดุศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผนวก ๓

เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง



เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง ที่ใช้ในการเผาขึ้นทดสอบทั้งหมดของงานวิจัยนี้ และใช้ทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลัน โดยวิธี ASTM ของสาขาวิทยาศาสตร์ซีเมนต์และเทคโนโลยี (เซรามิก) ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผนวก ๑

เครื่องไคลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) รุ่น L75



เครื่องไคลาโตมิเตอร์นี้ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน ของภาควิชาเคมี
อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ฏ-1)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชั้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม คือ 0:100, 30:70, 70:30 และ 100:0 เหนืออุณหภูมิ 1250 °C

ตารางข้อมูลหาค่า α

ชั้นทดสอบ คอร์เดียไรต์-มัลไลต์	ความยาว เริ่มต้น (cm.)	ช่วงอุณหภูมิการ ขยายตัว (°C)	ปริมาณการ ขยายตัว (cm.)	$\alpha \times 10^{-6}$ (°C) ⁻¹
0:100	1.141	500-1000	0.0045	7.88
30:70	1.218	500-1000	0.0035	5.74
70:30	1.409	500-1000	0.0022	3.10
100:0	1.253	500-1000	0.0019	3.03

ตัวอย่าง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชั้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม 0:100 ความยาวเริ่มต้น 1.141 cm. ขยายตัวโดยเฉลี่ยได้ 0.0045 cm. ช่วงอุณหภูมิการขยายตัว 500-1000 °C

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{L_t - L_o}{L_o \Delta t} \\ &= \frac{(1.141 + 0.0045) - 1.141}{1.141 \times 500} \\ &= 7.88 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

ส่วนผสมอื่นๆ คำนวณตามตัวแปรที่ยกตัวอย่าง แล้วจะได้ค่า α ดังแสดงในตาราง

(ญ-2)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชิ้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม คือ 0:100, 30:70, 70:30 และ 100:0 เหนืออุณหภูมิ 1300 °C

ตารางข้อมูลหาค่า α

ชิ้นทดสอบ คอร์เดียไรต์-มัลไลต์	ความยาว เริ่มต้น (cm.)	ช่วงอุณหภูมิการ ขยายตัว (°C)	ปริมาณการ ขยายตัว (cm.)	$\alpha \times 10^{-6}$ (°C) ⁻¹
0:100	1.305	500-1000	0.0044	7.29
30:70	1.017	500-1000	0.0028	5.50
70:30	1.325	500-1000	0.0021	3.16
100:0	1.446	500-1000	0.0022	3.04

ตัวอย่าง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชิ้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม 30:70 ความยาวเริ่มต้น 1.017 cm. ขยายตัวโดยเฉลี่ยได้ 0.0028 cm. ช่วงอุณหภูมิการขยายตัว 500-1000 °C

$$\begin{aligned}\alpha &= (L_t - L_o) / L_o \Delta t \\ &= (1.017 + 0.0028) - 1.017 / 1.017 \times 500 \\ &= 5.50 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

ส่วนผสมอื่นๆ คำนวณตามตัวแปรที่ยกตัวอย่าง แล้วจะได้ค่า α ดังแสดงในตาราง

(ฏ-3)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชั้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม คือ 0:100, 30:70, 70:30 และ 100:0 เหนืออุณหภูมิ 1350 °C

ตารางข้อมูลหาค่า α

ชั้นทดสอบ คอร์เดียไรต์-มัลไลต์	ความยาว เริ่มต้น (cm.)	ช่วงอุณหภูมิการ ขยายตัว (°C)	ปริมาณการ ขยายตัว (cm.)	$\alpha \times 10^{-6}$ (°C) ⁻¹
0:100	1.446	500-1000	0.0044	6.74
30:70	1.206	500-1000	0.0032	4.97
70:30	0.940	500-1000	0.0030	4.52
100:0	1.103	500-1000	0.0018	3.26

ตัวอย่าง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของชั้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม 30:70 ความยาวเริ่มต้น 1.206 cm. ขยายตัวโดยเฉลี่ยได้ 0.0032 cm. ช่วงอุณหภูมิการขยายตัว 500-1000 °C

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{L_t - L_o}{L_o \Delta t} \\ &= \frac{(1.206 + 0.0032) - 1.206}{1.206 \times 500} \\ &= 4.97 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

ส่วนผสมอื่นๆ คำนวณตามตัวแปรที่ยกตัวอย่าง แล้วจะได้ค่า α ดังแสดงในตาราง

(ฏ-4)

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของชิ้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม คือ 0:100, 30:70, 70:30 และ 100:0 เหนืออุณหภูมิ 1400 °C

ตารางข้อมูลหาค่า α

ชิ้นทดสอบ คอร์เดียไรต์-มัลไลต์	ความยาว เริ่มต้น (cm.)	ช่วงอุณหภูมิการ ขยายตัว (°C)	ปริมาณการ ขยายตัว (cm.)	$\alpha \times 10^{-6}$ (°C) ⁻¹
0:100	1.206	500-1000	0.0040	5.53
30:70	1.405	500-1000	0.0032	4.55
70:30	1.206	500-1000	0.0018	2.98

ตัวอย่าง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของชิ้นทดสอบคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่อัตราส่วนผสม 70:30 ความยาวเริ่มต้น 1.206 cm. ขยายตัวโดยเฉลี่ยได้ 0.0018 cm. ช่วงอุณหภูมิการขยายตัว 500-1000 °C

$$\begin{aligned}\alpha &= (L_t - L_o) / L_o \Delta t \\ &= (1.206 + 0.0018) - 1.206 / 1.206 \times 500 \\ &= 2.98 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

ส่วนผสมอื่นๆ คำนวณตามตัวแปรที่ยกตัวอย่าง แล้วจะได้ค่า α ดังแสดงในตาราง

ผนวก ฐ

มาตรฐานการทดสอบความทนทานการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลัน โดยวิธี ASTM



Designation: C 1171 – 91^{e1}

Standard Test Method for Quantitatively Measuring the Effect of Thermal Cycling on Refractories¹

This standard is issued under the fixed designation C 1171; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (^e) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{e1} NOTE—Editorial corrections were made in 7.6 and Table 1 in June 1992.

1. Scope

1.1 This test method is used for determining the strength loss or reduction in continuity, or both, of prism-shaped specimens which are cut from refractory brick or shapes and subjected to thermal cycling.

1.2 The strength loss is measured by the difference in modulus of rupture (MOR) between uncycled specimens and the specimens subjected to thermal cycling.

1.3 The reduction in structural continuity is estimated by the difference in sonic velocity before and after thermal cycling.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values stated in parentheses are for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 133 Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories²

C 607 Practice for Coking Large Shapes of Carbon-Bearing Materials²

C 769 Test Method for Sonic Velocity in Manufactured Carbon and Graphite Materials for Use in Obtaining an Approximate Young's Modulus²

E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of a Test Method⁴

3. Significance and Use

3.1 This test method indicates the ability of a refractory product to withstand the stress generated by sudden changes in temperature.

3.2 Because the recommended furnace temperature of this cycling test is 1200°C (2190°F), this test method may not

indicate the ability of a refractory product to withstand cycling at higher or lower temperatures, especially if the existing morphology of the refractory product changes.

3.3 This test method is useful for research and development, as well as for comparing refractory products. The precision should be considered when using this test for specification purposes.

3.4 Ruggedness tests found the following variables to be rugged:

temperature	+5°C
hot spacing	½ to ¾ in. (12.77 to 19 mm)
cold spacing	½ to ¾ in. (12.77 to 19 mm)
center vs. end gripping of the bars	
hot hold time	10 to 15 min
cold hold time	10 to 15 min
operator air speed	0 to 2 mi/h (0 to 3.2 km/h)
initially cold or heated samples	
last in, first out (LIFO); or first in, first out (FIFO)	
removal from the furnace	
sawed or original surface as tensile face during MOR testing	
bar thickness	0.96 to 1.04 in. (24.5 to 26.4 mm)

4. Apparatus

4.1 *Furnace*, capable of maintaining 1200°C (2190°F) with recovery rate of less than 5 min to temperature.

4.2 *Abrasive Saw*, to cut the test specimens.

4.3 *Dryer*, capable of operating at 105°C to 110°C (220°F to 230°F).

4.4 *Tongs or Fork*, for handling hot specimens.

4.5 *Safety Equipment*, such as gloves, face shields, and tinted safety glasses.

4.6 *Alumina Setter Brick*, 90 %, placed 5 in. (127 mm) apart in and outside the furnace.

4.7 *Strength Testing Machine*—Any form of standard mechanical or hydraulic compression testing machine that conforms to the requirements of Practices E 4 may be used.

4.8 *Sonic Velocity Machine*—Test apparatus⁵ conforming to Section 6 of Test Method C 769.

5. Sampling

5.1 The sampling shall consist of at least two bricks or shapes, or test samples made from monolithic refractories. At least ten test specimens shall be used. An equal number of specimens shall be taken from each of the bricks or shapes.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-8 on Refractories and is the direct responsibility of Subcommittee C08.02 on Thermal Stress Resistance.

Current edition approved Dec. 15, 1991. Published February 1992.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁵ A commercially available instrument, such as a James V-Meter, Pundit, or equivalent, is an acceptable test apparatus.

5.2 Samples should be pre-fired to a temperature at least as high as the test temperatures.

6. Test Specimens

6.1 Test specimens shall be $1 \pm \frac{1}{32}$ in. by $1 \pm \frac{1}{32}$ in. by approximately 6 in. (25 ± 0.8 by 25 ± 0.8 by approximately 152 mm). Note in the report if other specimen sizes are used. Specimens cut from brick shall have at least one original brick surface. If cut shapes, the specimens shall be taken parallel to the longest dimension. For irregular shapes, all four long surfaces of the specimens may be cut faces. Note this in the report.

6.2 Opposite faces of the specimen shall be approximately parallel, and adjacent faces shall be approximately perpendicular.

6.3 Measure the width and depth of the test specimen at mid-span to the nearest 0.01 in. (0.3 mm).

6.4 Specimens should be visually crack- and flaw-free.

6.5 Dry specimens to constant weight at 105 to 110°C (220 to 230°F).

6.6 Carbon-containing samples must be coked according to Practice C 607 and must be wrapped in foil⁶ during the cycling procedure. See Fig. 1 for the wrapping technique.

7. Procedure

7.1 Measure the sonic velocity along the length of each test specimen according to Test Method C 769 and divide the specimens into two equal groups on the basis of similar distributions of velocity measurements.

7.2 Determine the cold modulus of rupture (using Test Methods C 133) on one group, using three point loading with a 5-in. (127-mm) span and a loading rate of 175 lbf/min (778 N/mm).

7.3 Preheat the test furnace to the test temperature of $1200 \pm 15^\circ\text{C}$ ($2190 \pm 25^\circ\text{F}$); preheating is usually done the night prior to testing. Use of other test temperatures is allowed and must be included as a deviation in the report.

7.4 Place the test specimens from the remaining group into the furnace spanning the setter brick and allow them to remain there for 10 to 15 min. Then, remove the specimens from the furnace and allow them to cool for 10 to 15 min while spanning the setter brick in ambient air. This is considered one full cycle. Keep the specimens $\frac{1}{2}$ to $\frac{3}{4}$ in. (12.77 to 19 mm) apart during each 10 to 15 min interval. Repeat for a total of five full cycles. Cycle time in the furnace starts after recovery.

7.5 Measure the sonic velocity (using Test Method C 769) along the length of each cycled test specimen.

7.6 Determine the cold modulus of rupture (using Test Methods C 133) of each cycled test specimen from the second group, using three point loading with a 5-in. (127-mm) span and a loading rate of 175 lbf/min (778 N/mm) or 0.05 in./min (1.27 mm/min).

⁶ Rao-Foil heat resistant foil (item number RA AMS 5592, 24-in. (610-mm) wide, 0.002-in. (0.05-mm) thick), available from Rolled Alloys, 125 West Sterns Rd., Temperance, MI, has been found satisfactory for this purpose.

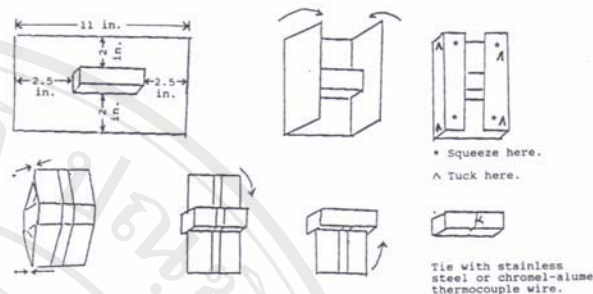


FIG. 1 Foil Wrapping for Prism Shock Test (Not to Scale)

8. Calculation

8.1 Calculate the percent sonic velocity loss of each specimen as follows:

$$\frac{V_0 - V_F}{V_0} \times 100$$

where:

V_0 = original sonic velocity of each specimen, ft/s (m/s), and

V_F = sonic velocity of each specimen after testing, ft/s (m/s).

8.2 Calculate the percent modulus of rupture strength loss of each specimen as follows:

$$\frac{M_0 - M_F}{M_0} \times 100$$

where:

M_0 = average modulus of rupture strength of the unshocked specimens from the first group after testing, psi (MPa), and

M_F = modulus of rupture strength of each specimen for the second group after testing, psi (MPa).

9. Report

9.1 Report the individual sonic velocity, modulus of rupture, percent sonic velocity loss, and percent modulus of rupture strength loss values, as well as the average percent sonic velocity loss, the average percent modulus of rupture loss, and the furnace temperature. Report the number of test specimens included in any modulus of rupture calculation. The report shall also list any deviations from standard test requirements.

10. Precision and Bias

10.1 *Interlaboratory Test Data*—An interlaboratory round-robin test was conducted in 1988 among six laboratories on three different types of refractory products. Each laboratory tested two specimens from each of five samples of each of three different types. Each laboratory determined sonic velocity and modulus of rupture strength after cycling to 1200°C . The components of variance from this study expressed as standard deviation and relative standard deviation are given in Table 1. Refer to Practice E 691 for calculation of components of variance.

10.2 *Precision*—The results of the interlaboratory study are shown in Table 1. The precision was found to vary based on the type of material tested. A test result should be

TABLE 1 Relative Precision

Modulus of Rupture					
Brick Type	MOR Lost, %	Coefficient Within Lab, %	Variation Between Labs, %	Repeatability Interval, Percent of Average	Reproducibility Interval, Percent of Average
70 % Alumina:					
Specimen 1	20.68	59.43	65.33	166.40	182.92
Specimen 2	19.44	53.09	66.51	148.64	166.23
60 % MgO DB:					
Specimen 1	59.48	25.74	29.36	72.07	82.21
Specimen 2	55.52	19.92	22.18	55.78	62.10
MgO—C:					
Specimen 1	23.58	46.10	96.82	129.08	271.09
Specimen 2	31.49	74.31	83.01	206.07	232.42
Sonic Velocity					
Brick Type	Sonic Velocity Lost, %	Coefficient Within Lab, %	Variation Between Labs, %	Repeatability Interval, Percent of Average	Reproducibility Interval, Percent of Average
70 % Alumina:					
Specimen 1	14.03	11.62	21.74	32.53	60.87
Specimen 2	13.78	17.37	23.37	48.63	66.96
60 % MgO DB:					
Specimen 1	42.41	14.15	19.14	39.61	53.58
Specimen 2	44.19	7.98	13.85	32.35	38.76
MgO—C:					
Specimen 1	22.64	6.08	78.90	17.03	220.92
Specimen 2	23.75	38.69	94.76	108.33	265.33

considered significantly different at a confidence level of 95 % if the repeatability or reproducibility, or both, exceeds the precision data listed in Table 1.

10.3 *Bias*—No justifiable statement of bias is possible since true variables cannot be established by an acceptable

reference method.

11. Keywords

11.1 modulus of rupture; refractories; sonic velocity; thermal cycling

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

ผนวก ท

มาตรฐานการทดสอบค่าความพรุนตัวปรากฏ, การดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น โดยวิธี ASTM



Designation: C 373 – 88 (Reapproved 1999)

Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products¹

This standard is issued under the fixed designation C 373; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers procedures for determining water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired unglazed whiteware products.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Significance and Use

2.1 Measurement of density, porosity, and specific gravity is a tool for determining the degree of maturation of a ceramic body, or for determining structural properties that may be required for a given application.

3. Apparatus and Materials

3.1 *Balance*, of adequate capacity, suitable to weigh accurately to 0.01 g.

3.2 *Oven*, capable of maintaining a temperature of $150 \pm 5^\circ\text{C}$ ($302 \pm 9^\circ\text{F}$).

3.3 *Wire Loop, Halter, or Basket*, capable of supporting specimens under water for making suspended mass measurements.

3.4 *Container*—A glass beaker or similar container of such size and shape that the sample, when suspended from the balance by the wire loop, specified in 3.3, is completely immersed in water with the sample and the wire loop being completely free of contact with any part of the container.

3.5 *Pan*, in which the specimens may be boiled.

3.6 *Distilled Water*.

4. Test Specimens

4.1 At least five representative test specimens shall be selected. The specimens shall be unglazed and shall have as much of the surface freshly fractured as is practical. Sharp edges or corners shall be removed. The specimens shall contain

no cracks. The individual test specimens shall weigh at least 50 g.

5. Procedure

5.1 Dry the test specimens to constant mass (Note 1) by heating in an oven at 150°C (302°F), followed by cooling in a desiccator. Determine the dry mass, D , to the nearest 0.01 g.

NOTE 1—The drying of the specimens to constant mass and the determination of their masses may be done either before or after the specimens have been impregnated with water. Usually the dry mass is determined before impregnation. However, if the specimens are friable or evidence indicates that particles have broken loose during the impregnation, the specimens shall be dried and weighed after the suspended mass and the saturated mass have been determined, in accordance with 5.3 and 5.4. In this case, the second dry mass shall be used in all appropriate calculations.

5.2 Place the specimens in a pan of distilled water and boil for 5 h, taking care that the specimens are covered with water at all times. Use setter pins or some similar device to separate the specimens from the bottom and sides of the pan and from each other. After the 5-h boil, allow the specimens to soak for an additional 24 h.

5.3 After impregnation of the test specimens, determine to the nearest 0.01 g the mass, S , of each specimen while suspended in water. Perform the weighing by placing the specimen in a wire loop, halter, or basket that is suspended from one arm of the balance. Before actually weighing, counterbalance the scale with the loop, halter, or basket in place and immerse in water to the same depth as is used when the specimens are in place. If it is desired to determine only the percentage of water absorption, omit the suspended mass operation.

5.4 After the determination of the suspended mass or after impregnation, if the suspended mass is not determined, blot each specimen lightly with a moistened, lint-free linen or cotton cloth to remove all excess water from the surface, and determine the saturated mass, M , to the nearest 0.01 g. Perform the blotting operation by rolling the specimen lightly on the wet cloth, which shall previously have been saturated with water and then pressed only enough to remove such water as will drip from the cloth. Excessive blotting will introduce error by withdrawing water from the pores of the specimen. Make the weighing immediately after blotting, the whole operation being completed as quickly as possible to minimize errors

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-21 on Ceramic Whitewares and Related Products and is the direct responsibility of Subcommittee C21.03 on Test Methods for Whiteware Properties.

Current edition approved Sept. 30, 1988. Published November 1988. Originally published as C 373 – 55 T. Last previous edition C 373 – 88 (1994).

caused by evaporation of water from the specimen.

6. Calculation

6.1 In the following calculations, the assumption is made that 1 cm³ of water weighs 1 g. This is true within about 3 parts in 1000 for water at room temperature.

6.1.1 Calculate the exterior volume, V , in cubic centimetres, as follows:

$$V = M - S \quad (1)$$

6.1.2 Calculate the volumes of open pores V_{OP} and impervious portions V_{IP} in cubic centimetres as follows:

$$V_{OP} = M - D \quad (2)$$

$$V_{IP} = D - S \quad (3)$$

6.1.3 The apparent porosity, P , expresses, as a percent, the relationship of the volume of the open pores of the specimen to its exterior volume. Calculate the apparent porosity as follows:

$$P = [(M - D)/V] \times 100 \quad (4)$$

6.1.4 The water absorption, A , expresses as a percent, the relationship of the mass of water absorbed to the mass of the dry specimen. Calculate the water absorption as follows:

$$A = [(M - D)/D] \times 100 \quad (5)$$

6.1.5 Calculate the apparent specific gravity, T , of that portion of the test specimen that is impervious to water, as follows:

$$T = D/(D - S) \quad (6)$$

6.1.6 The bulk density, B , in grams per cubic centimetre, of a specimen is the quotient of its dry mass divided by the exterior volume, including pores. Calculate the bulk density as follows:

$$B = D/V \quad (7)$$

7. Report

7.1 For each property, report the average of the values obtained with at least five specimens, and also the individual values. Where there are pronounced differences among the individual values, test another lot of five specimens and, in addition to individual values, report the average of all ten determinations.

8. Precision and Bias

8.1 This test method is accurate to $\pm 0.2\%$ water absorption in interlaboratory testing when the average value recorded by all laboratories is assumed to be the true water absorption. The precision is approximately $\pm 0.1\%$ water absorption on measurements made by a single experienced operator.

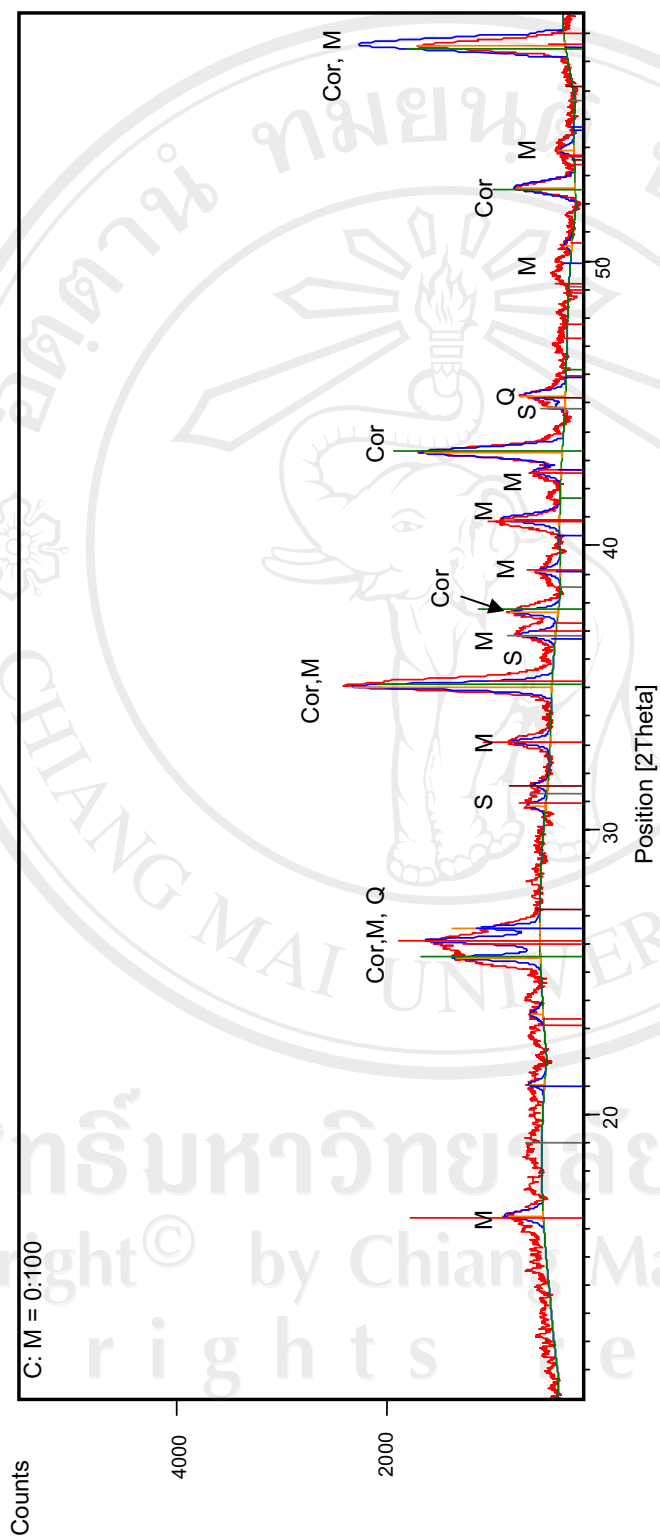
9. Keywords

9.1 apparent porosity; apparent specific gravity; bulk density; fired whiteware products; water absorption

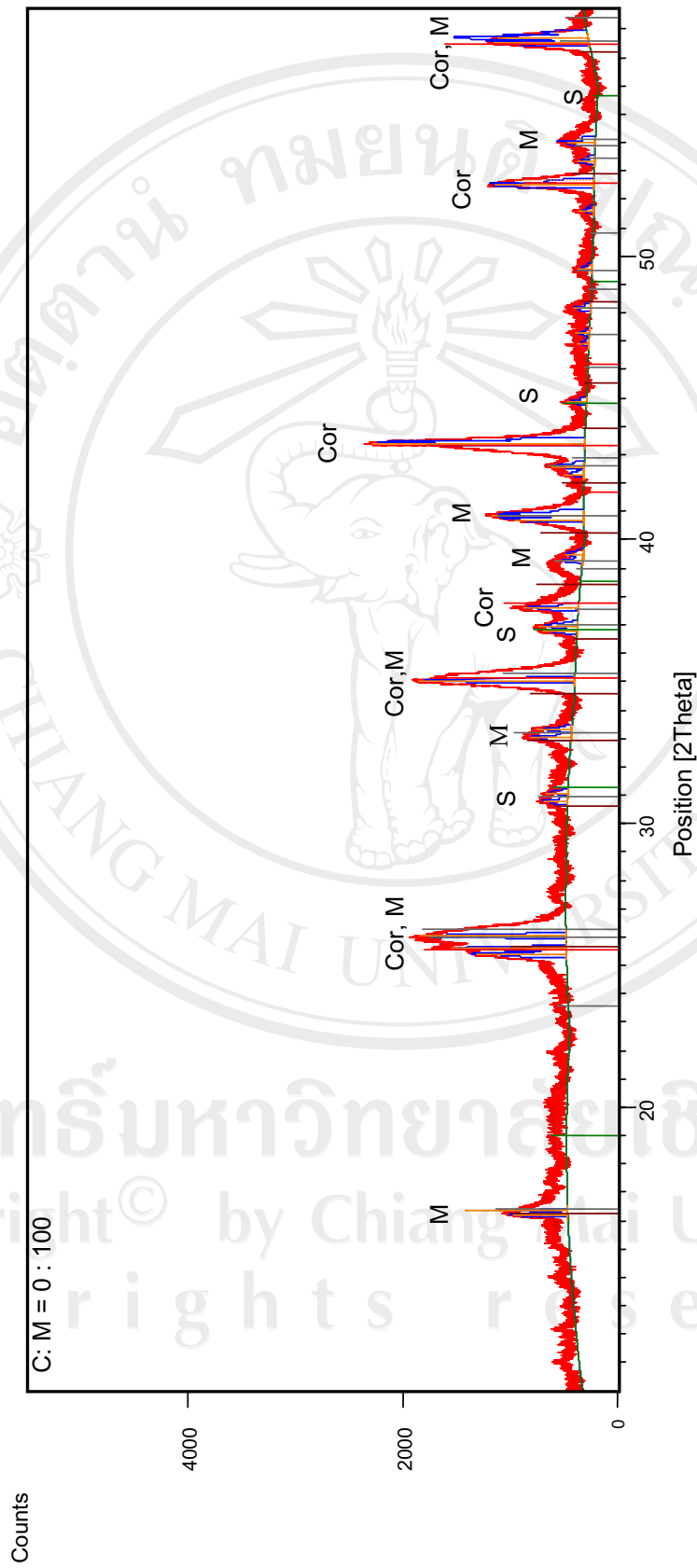
The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

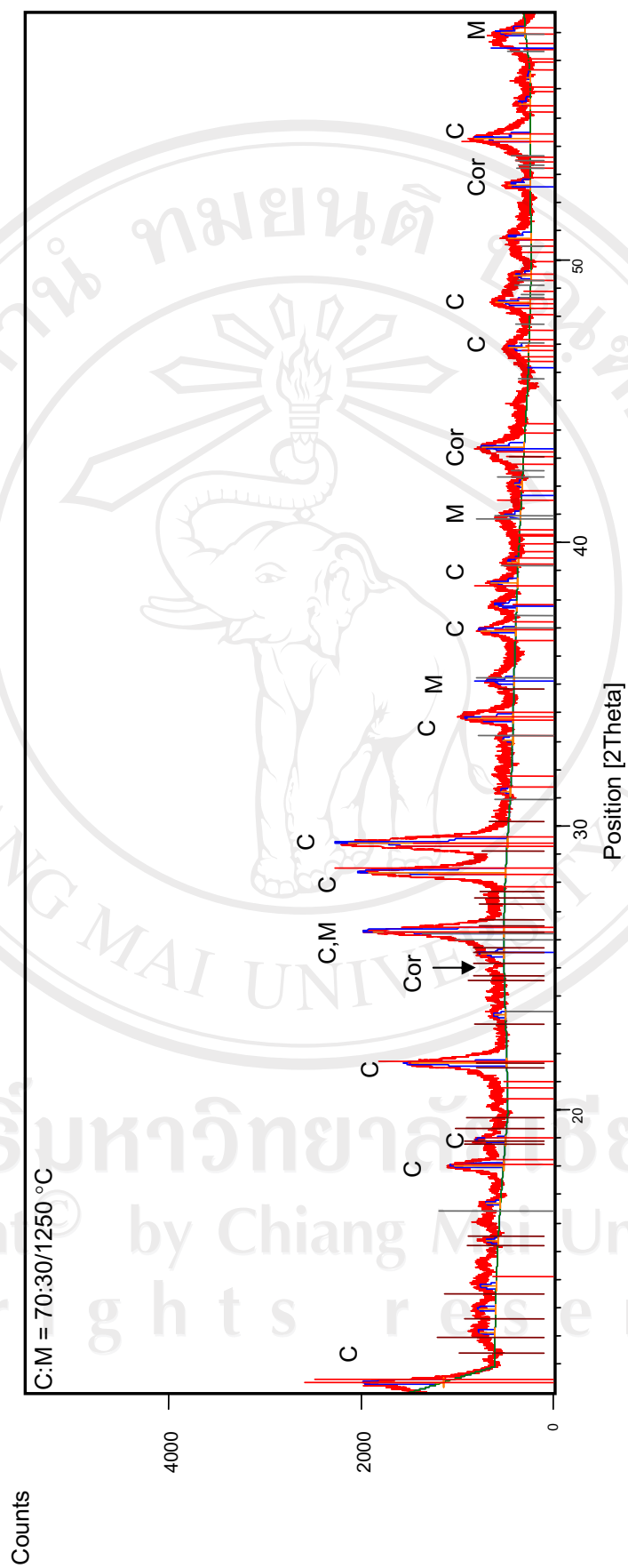
This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



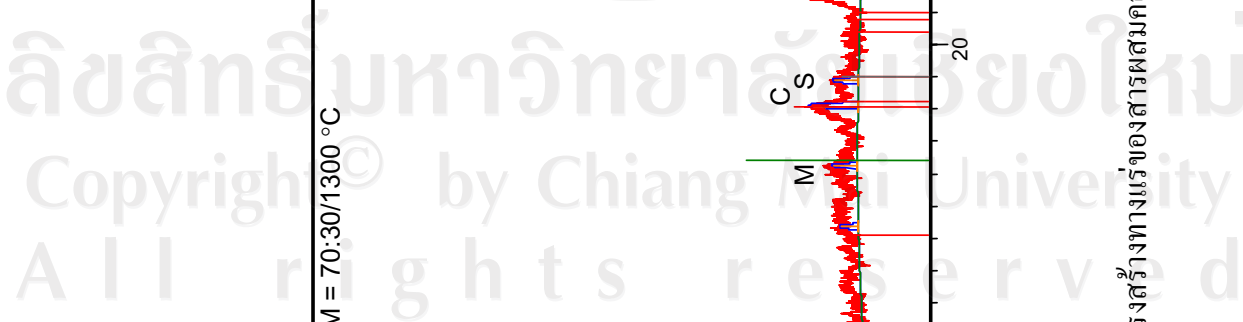
กราฟ XRD แสดงโครงสร้างทางแร่ของมวลได้ก่อนเผา : M = Mullite, Cor = Corundum, S = Spinel, Q = Quartz



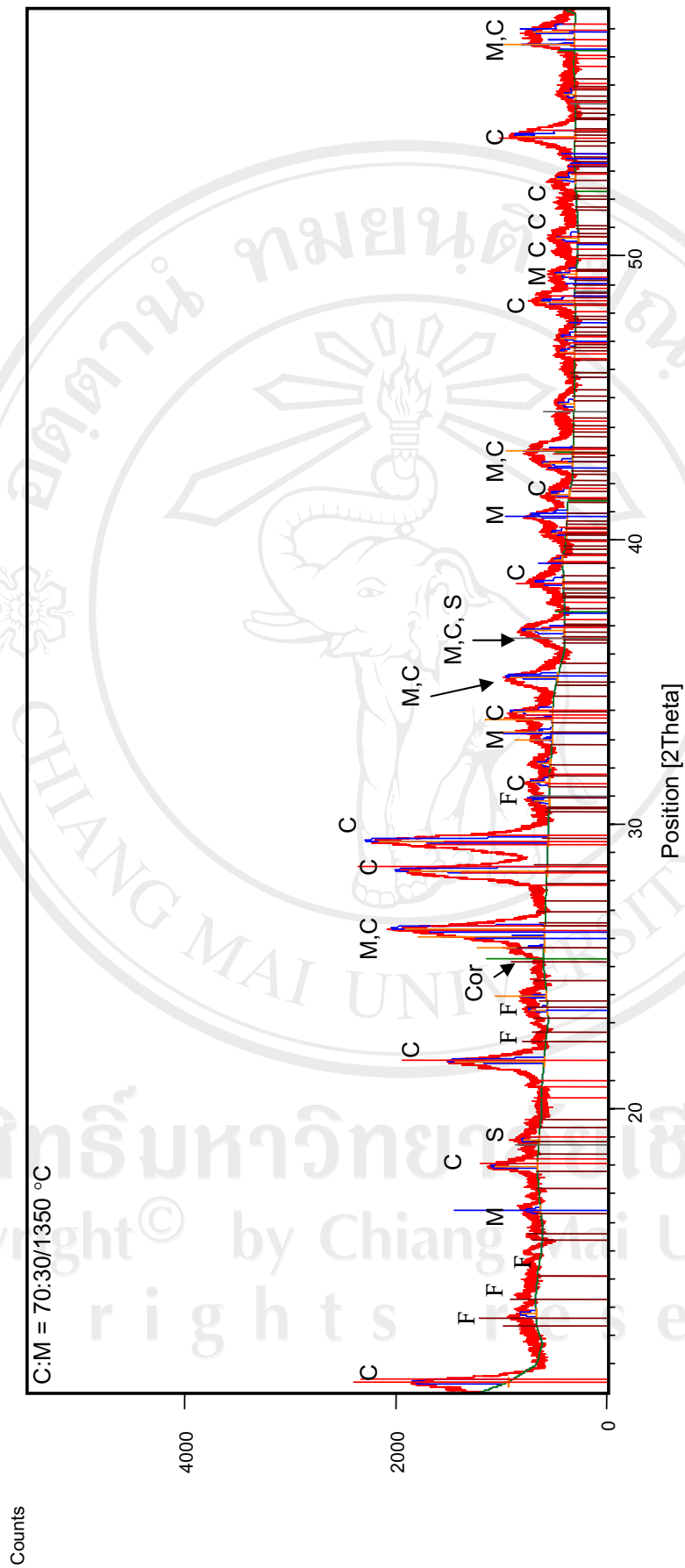
กราฟ XRD แสดงโครงสร้างทางผลึกของวัสดุเคลือบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 °C : M = Mullite, Cor = Corundum, S = Spinel



กราฟ XRD แสดงโครงสร้างทางผลสมของคาร์ดิเอไรต์-มัลไลต์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C : C = Cordierite, M = Mullite, Cor = Corundum

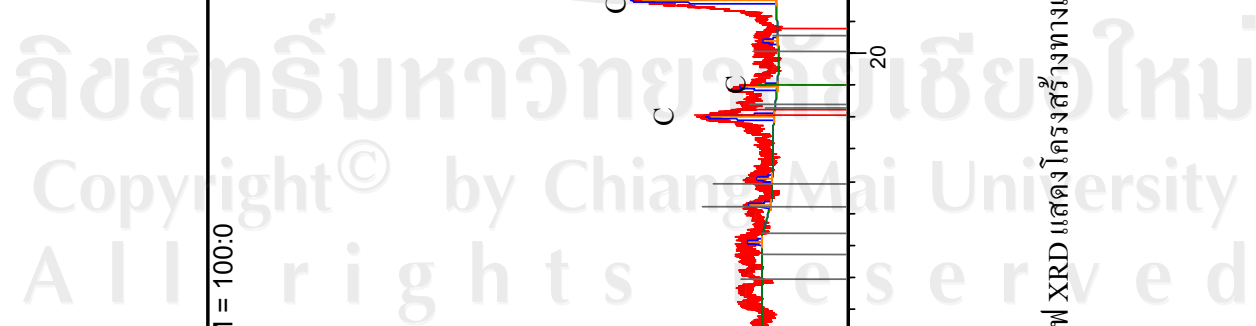


กราฟ XRD แสดงโครงสร้างของสารผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C : C = Cordierite, M = Mullite, Cor = Corundum, S = Spinel



กราฟ XRD แสดงโครงสร้างทางแร่ของสารผสมคอร์ดีเอร์ไรต์-มัลไลต์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1350 °C : C = Cordierite, M = Mullite, Cor = Corundum,

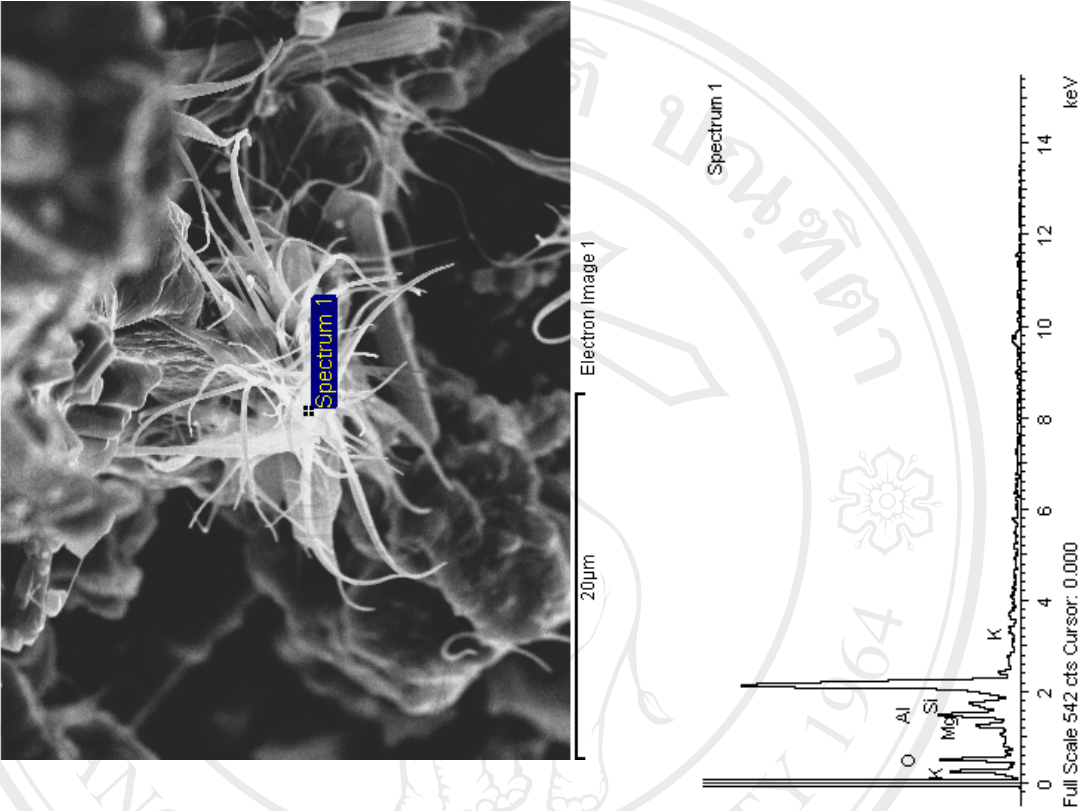
S = Spinel, F = Ferrierite



กราฟ XRD แสดงโครงสร้างทางแร่ของมัลไลต์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1350 °C : C = Cordierite, Cri = Cristobalite, S = Spinel

ผนวก ค

ข้อมูล EDS ของวัสดุผสมคอร์เคียวไรต์-มัลไลต์ 70:30 ที่เผาที่อุณหภูมิ 1350 °C ขึ้นย่นการเกิด
ผลึกคอร์เคียวไรต์

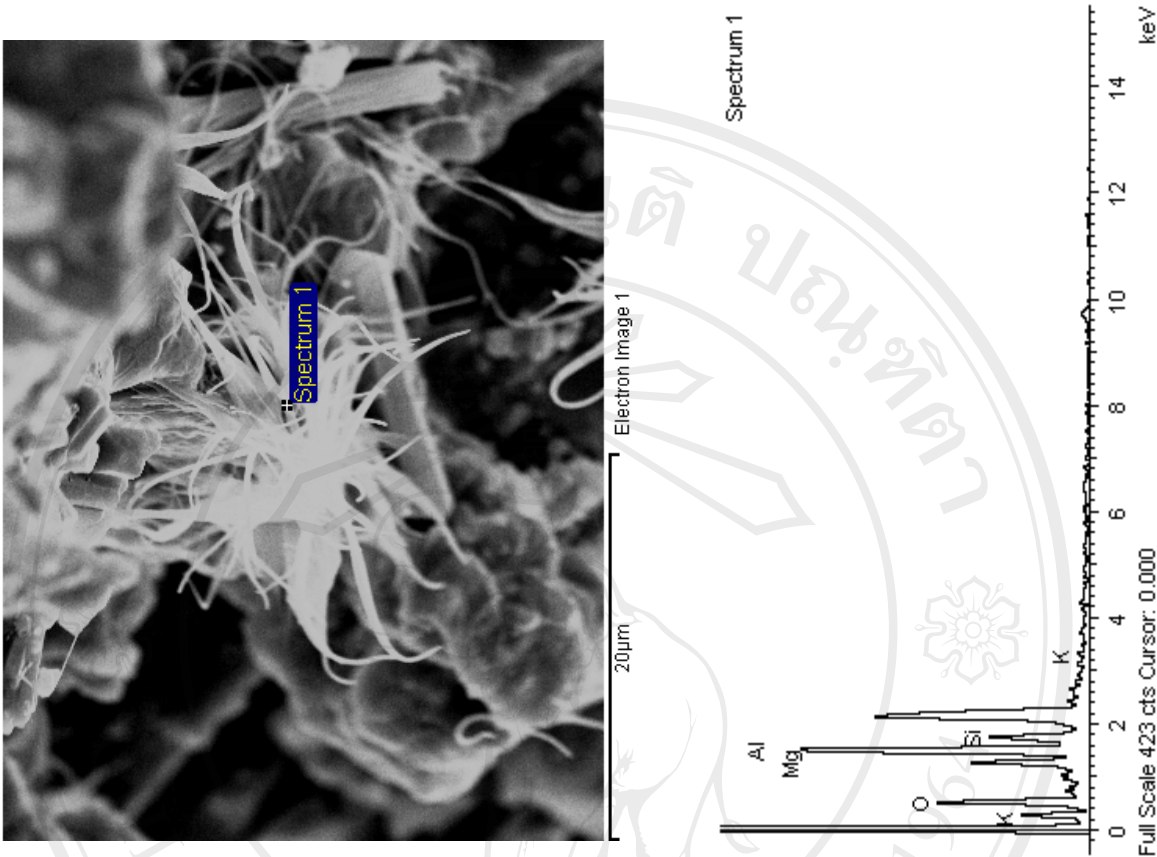


Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 2.141, 2.420, 9.670 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
O SiO2 1-??-?-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-??-?-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-??-?-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-??-?-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-??-?-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	52.32	64.80
Mg K	11.32	9.22
Al K	22.65	16.63
Si K	12.07	8.52
K K	1.64	0.83
Totals	100.00	

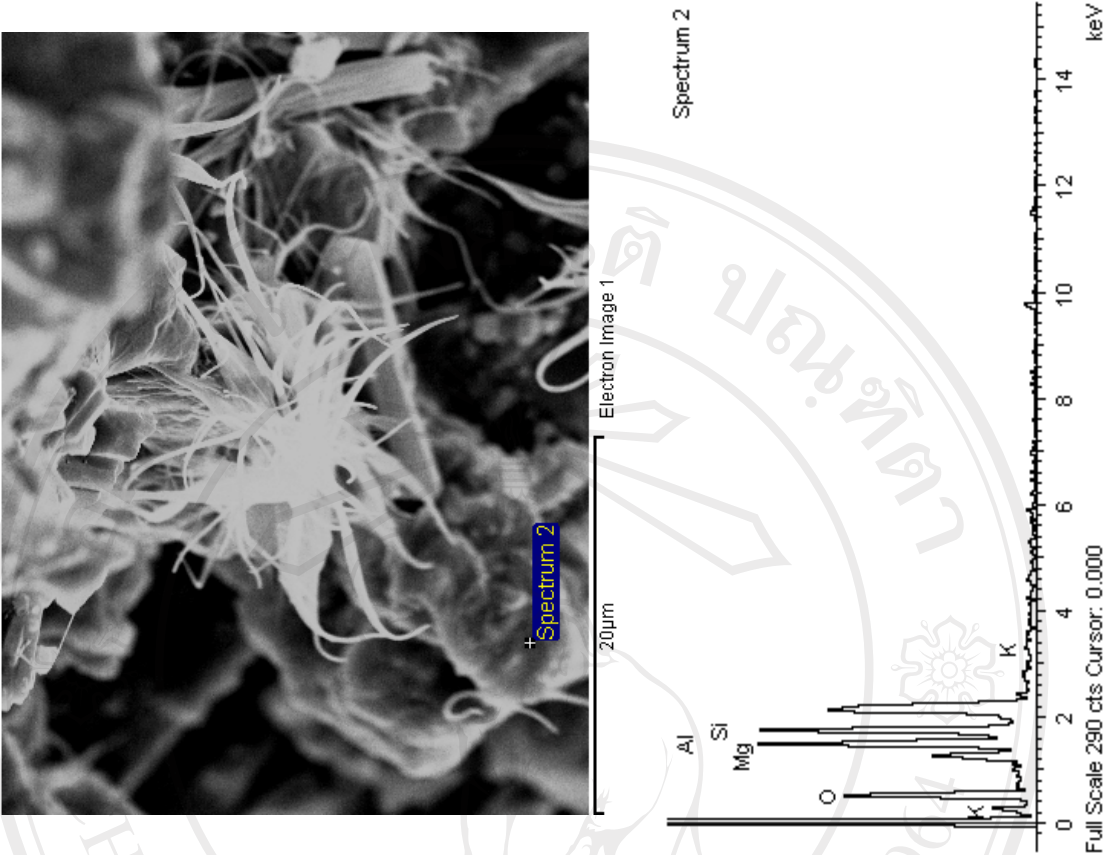


Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 2.148, 9.730 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard :
O SiO2 1-??.-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-??.-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-??.-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-??.-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-??.-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	41.02	53.85
Mg K	10.65	9.20
Al K	34.30	26.70
Si K	12.86	9.62
K K	1.17	0.63
Totals	100.00	

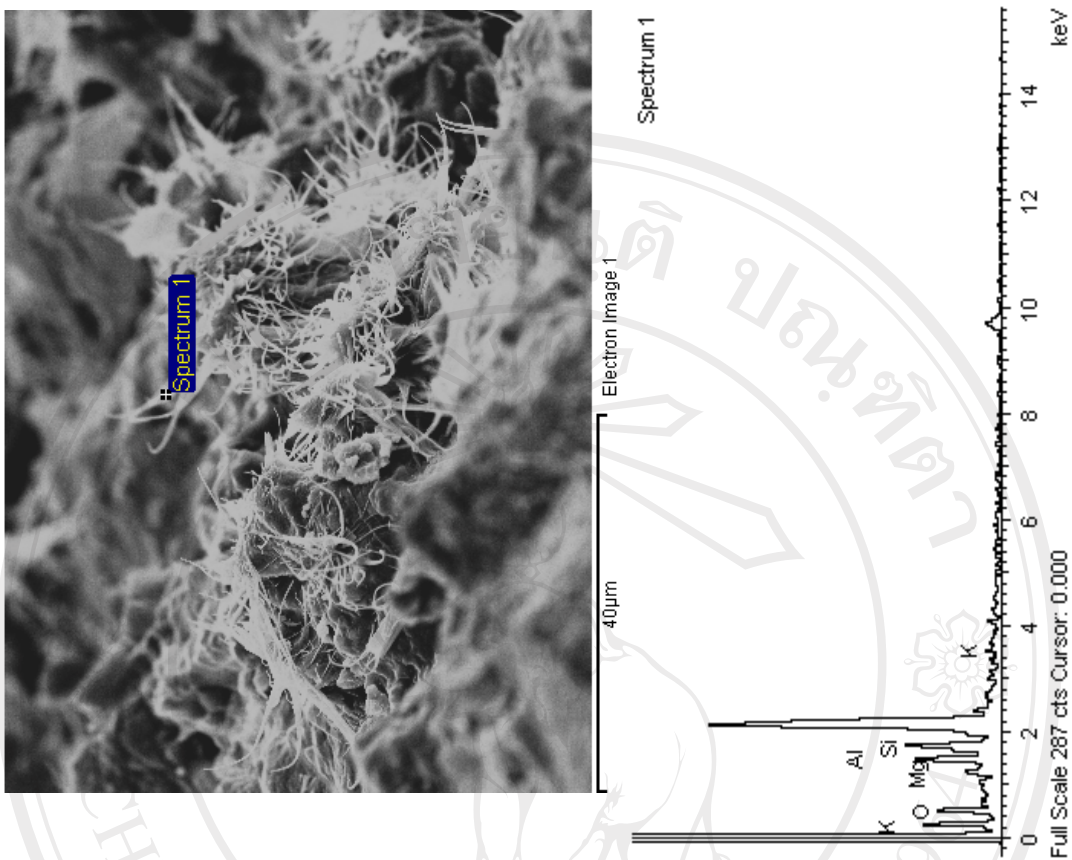


Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 2.141, 9.750 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
O SiO2 1-??.-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-??.-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-??.-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-??.-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-??.-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	42.26	55.53
Mg K	6.96	6.02
Al K	21.14	16.47
Si K	28.70	21.48
K K	0.93	0.50
Totals	100.00	



Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 2.141, 9.683 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
O SiO2 1-???.?-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-???.?-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-???.?-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-???.?-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-???.?-2542 12:00 AM

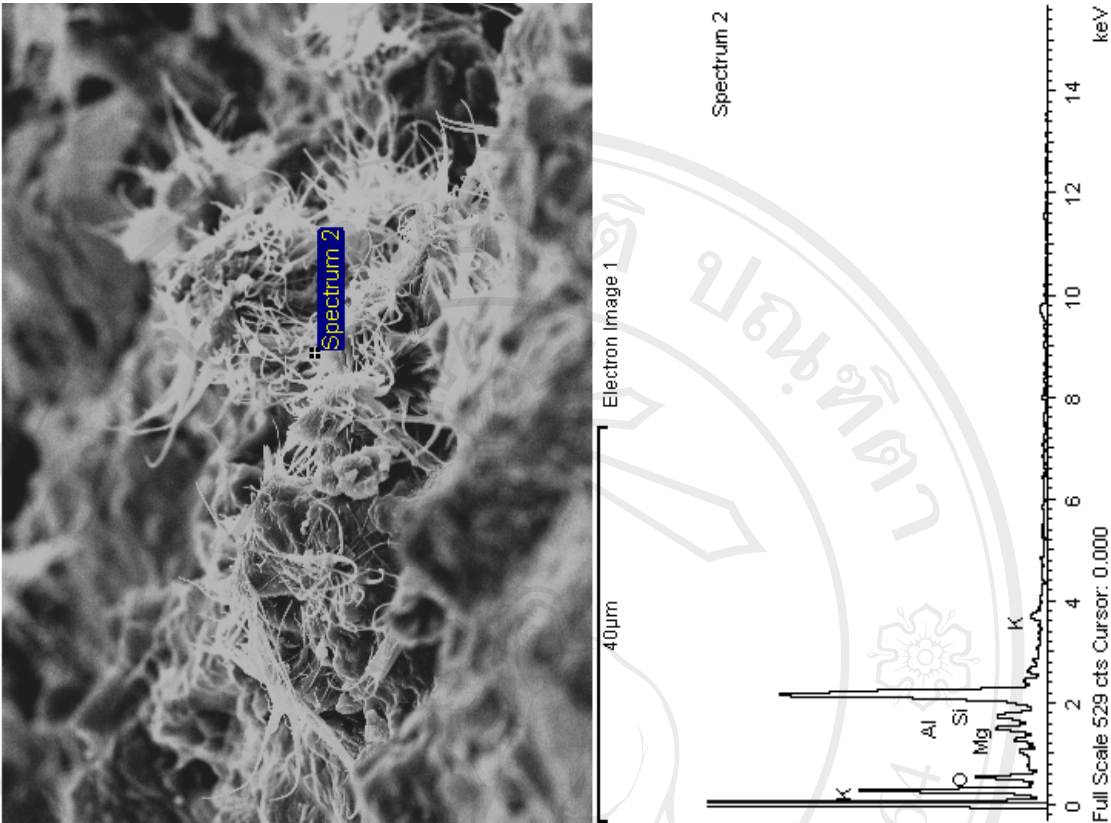
Element	Weight%	Atomic%
O K	44.60	58.17
Mg K	6.54	5.61
Al K	20.10	15.55
Si K	25.45	18.91
K K	3.30	1.76
Totals	100.00	

Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 2.143, 2.412, 9.700 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
O SiO2 1-?? ?.-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-?? ?.-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-?? ?.-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-?? ?.-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-?? ?.-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	56.23	68.45
Mg K	9.48	7.59
Al K	16.57	11.96
Si K	16.26	11.27
K K	1.47	0.73
Totals	100.00	

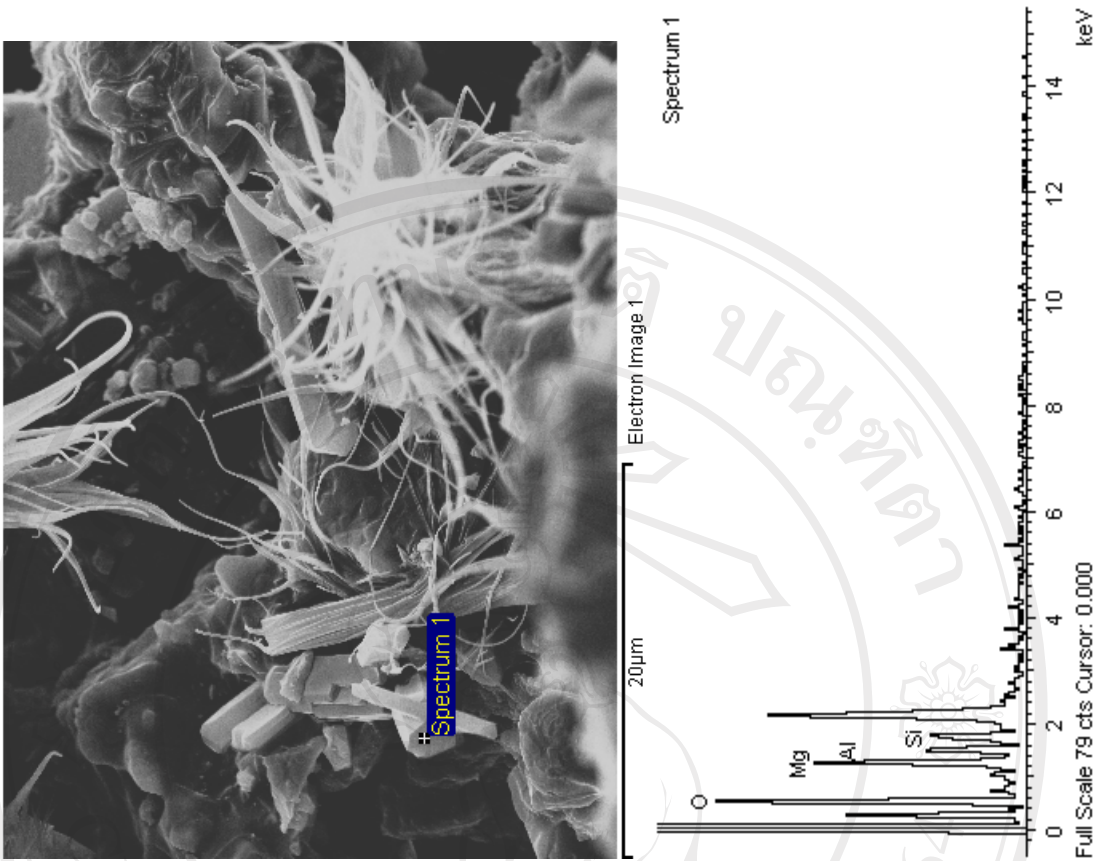


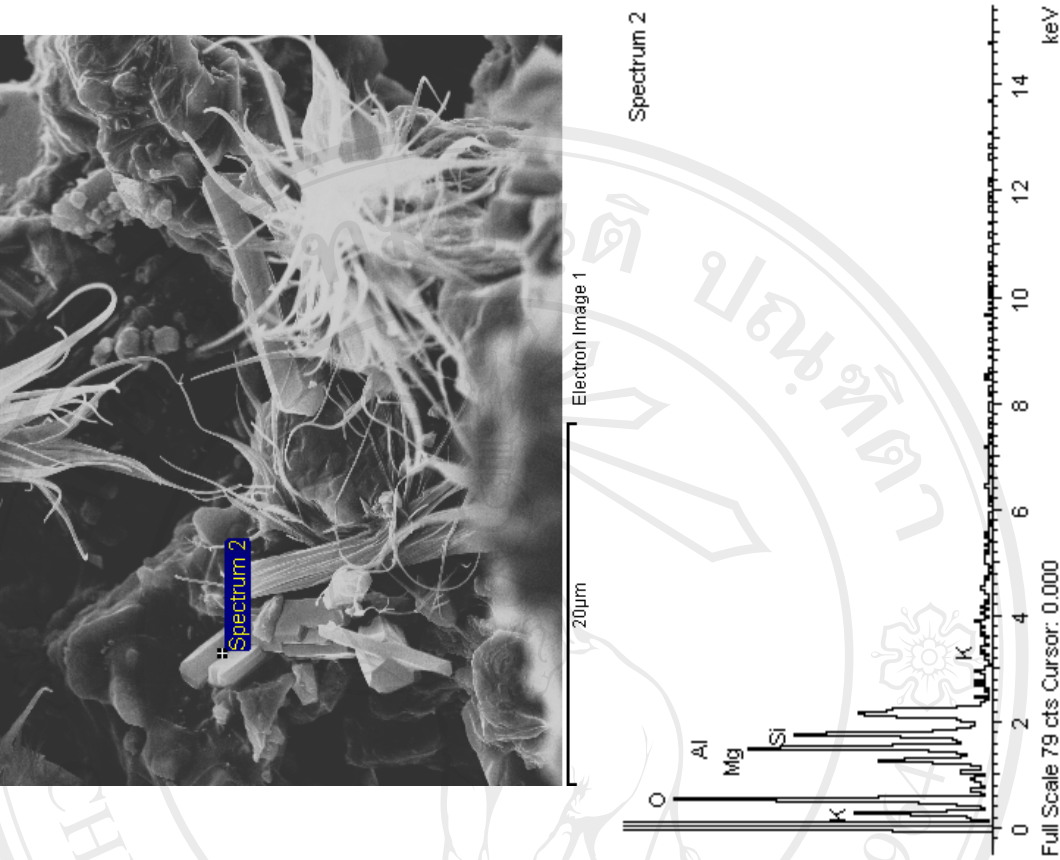
Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 0.269, 2.147 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 2

Standard :
O SiO2 1-???.?-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-???.?-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-???.?-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-???.?-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	59.51	70.37
Mg K	19.39	15.09
Al K	12.08	8.47
Si K	9.02	6.08
Totals	100.00	





Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
O SiO2 1-?? ?.-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-?? ?.-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-?? ?.-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-?? ?.-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-?? ?.-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic %
O K	54.06	66.51
Mg K	8.25	6.68
Al K	19.05	13.90
Si K	17.91	12.55
K K	0.73	0.37
Totals	100.00	

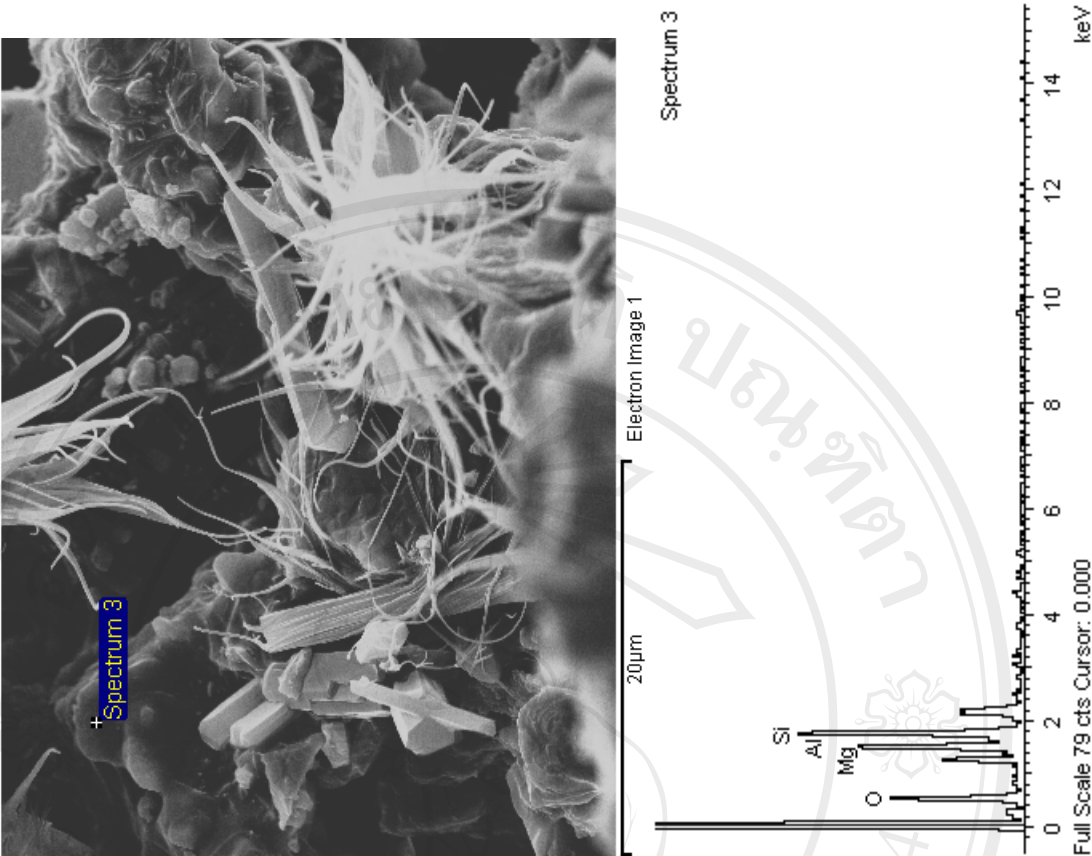
Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard :

O	SiO2	1-???.?-2542 12:00 AM
Mg	MgO	1-???.?-2542 12:00 AM
Al	Al2O3	1-???.?-2542 12:00 AM
Si	SiO2	1-???.?-2542 12:00 AM

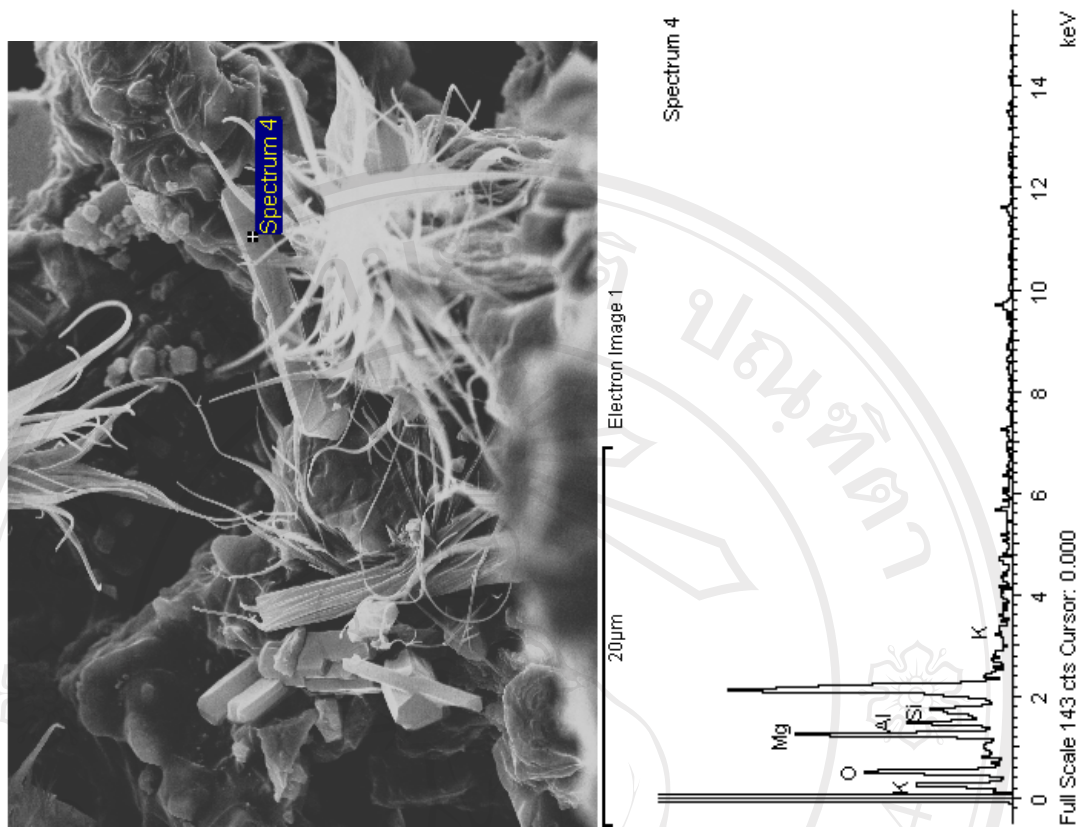
Element	Weight%	Atomic%
O K	39.84	52.88
Mg K	8.74	7.63
Al K	20.07	15.80
Si K	31.34	23.69
Totals	100.00	



Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 2.128 keV
Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
O SiO2 1-???.?-2542 12:00 AM
Mg MgO 1-???.?-2542 12:00 AM
Al Al2O3 1-???.?-2542 12:00 AM
Si SiO2 1-???.?-2542 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-???.?-2542 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	46.19	58.20
Mg K	27.59	22.87
Al K	14.53	10.86
Si K	10.09	7.24
K K	1.61	0.83
Totals	100.00	



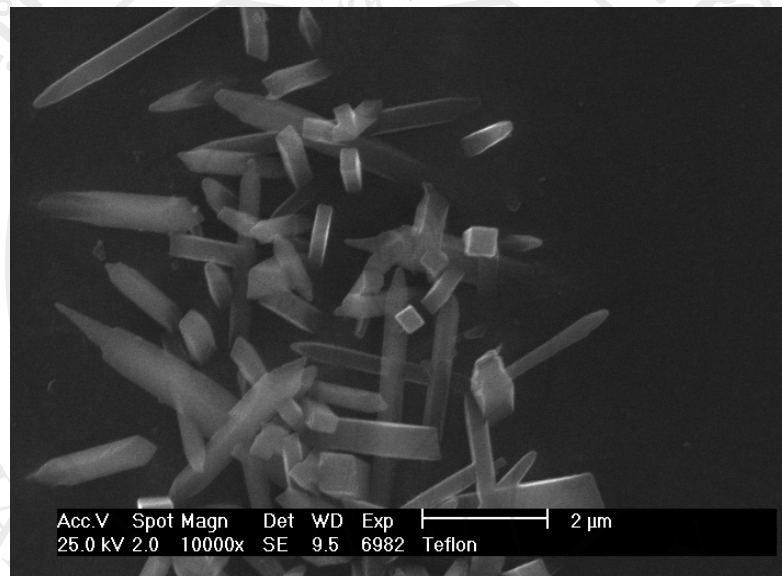
ผนวก ต

ข้อมูล XRF แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ คอร์ดีไทรต์ A-16 และ มัลไลต์ M50 ของ หจก. นอร์ท เทอร์นเคมีคัล แอนด์ กลาสแวร์

Composition	Cordierite A-16 (%)	Mullite M50 (%)
SiO ₂	47.50	48.06
Al ₂ O ₃	33.80	50.14
Fe ₂ O ₃	1.48	0.48
TiO ₂	0.62	0.28
CaO	0.38	0.11
MgO	13.90	0.14
K ₂ O	1.02	0.27
Na ₂ O	0.34	0.17
Ig.Loss	0.15	Tr

ผนวก ถ

แสดงโครงสร้างผลึกของมัลต์ไดต์แบบปฐมภูมิ (Primary Mullite)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ

นางสาวภัทรมน เกียรติศักดิ์โสภณ

วัน เดือน ปี

23 มีนาคม 2525

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนลำปางกัลยาณี
จ.ลำปาง ปีการศึกษา 2542

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2547

ผลงานทางวิชาการ

เสนอผลงานวิจัยในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับ
บัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 6 ณ อาคารมหิตลาธิเบศร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 13-14 ตุลาคม 2549

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved