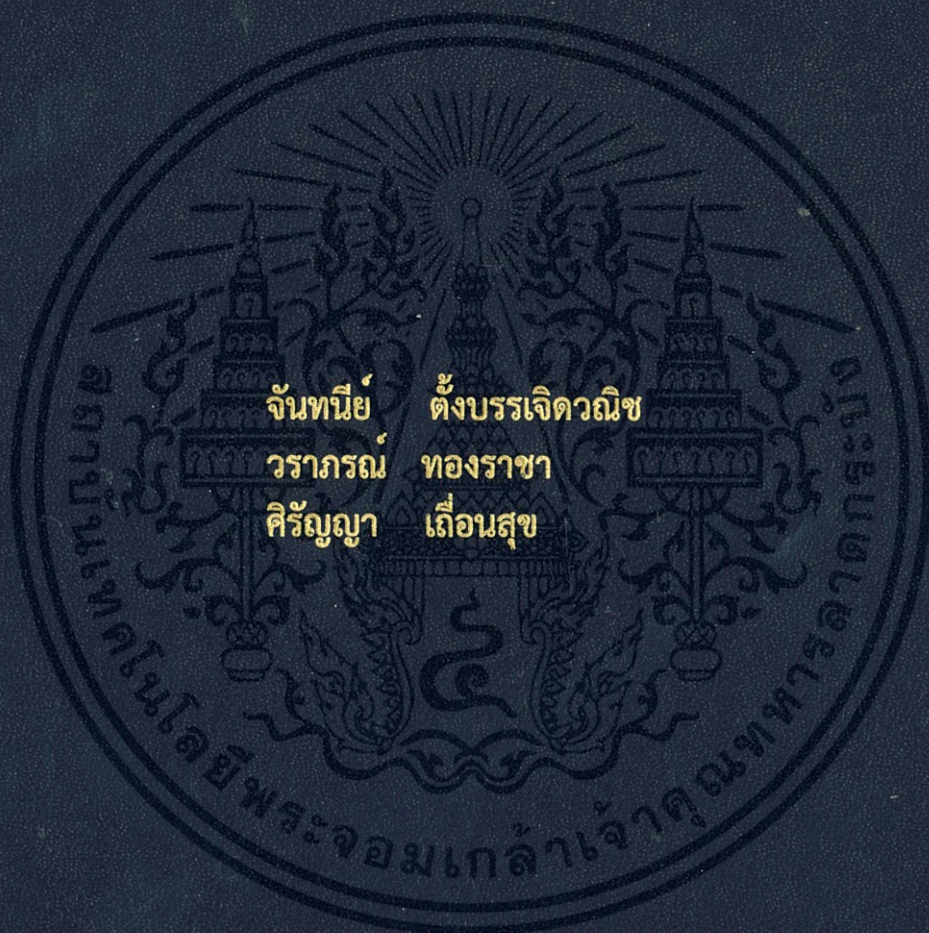


การเตรียมวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูง โดยใช้คาร์บอกซี-
เมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน

PREPARATION OF HIGH POROUS CERAMIC FILTER BY
USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE FOR
CONTROLLER POROUS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การเตรียมวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูง โดยใช้คาร์บอกซี-
เมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน

PREPARATION OF HIGH POROUS CERAMIC FILTER BY
USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE FOR
CONTROLLER POROUS



จันทนีย์ ตั้งบรรเจิดวณิช
วารภรณ์ ทองราชา
ศิริัญญา เกื้อนสุข

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149306
รับ. เดือน. ปี..... 12 ก.ย. 2561

12882756
b.....
f.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF HIGH POROUS CERAMIC FILTER BY
USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE FOR
CONTROLLER POROUS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูง โดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน
 PREPARATION OF HIGH POROUS CERAMIC FILTER BY USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE FOR CONTROLLER POROUS

ชื่อนักศึกษา นางสาวจันทนีย์ ตั้งบรรเจิดวนิช รหัสนักศึกษา 55050596
 นางสาววราภรณ์ ทองราชา รหัสนักศึกษา 55050796
 นางสาวศิริัญญา เกื้อนสุข รหัสนักศึกษา 55050816

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สามารถ คงทวีเลิศ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. มนต์รี ทองคำ กรรมการ	
ดร. สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูง โดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน PREPARATION OF HIGH POROUS CERAMIC FILTER BY USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE FOR CONTROLLER POROUS
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจันทนีย์ ตั้งบรรเจิดวิช รหัสนักศึกษา 55050596 นางสาววราภรณ์ ทองราชา รหัสนักศึกษา 55050796 นางสาวศิริัญญา เกื่อนสุข รหัสนักศึกษา 55050816
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สามารถ คงทวีเลิศ

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเพื่อค้นคว้าวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูงโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมรูพรุนด้วยวิธีการแบบเปียก โดยมีส่วนประกอบของชิ้นงานเป็นดินขาวเกาหลีนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ซีโอไลต์ ชนิด HZSM-5 (Zeolite HZSM-5) และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนร้อยละของดินขาวเกาหลีนและ CMC ที่ 80:10 70:20 60:30 และอัตราส่วนของ Zeolite HZSM-5 และ ZrO_2 คงที่ร้อยละ 5 ทำการเผาผนึกโดยใช้อุณหภูมิ 1000, 1100, 1200, 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส และการเผาอุณหภูมิแคลไซน์ 450 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที และทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพจากการวัดการหดตัว ความหนาแน่น ปริมาตร และเอกลักษณ์ด้วยเทคนิค TGA XRD และ SEM พบว่าชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนร้อยละของ CMC 20 ที่ทำการเผาผนึกโดยใช้อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณการเกิดรูพรุนมากที่สุด โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยที่ 2.29 ไมโครเมตร และชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนร้อยละของ CMC 20 ที่ทำการเผาผนึกโดยใช้อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีปริมาณการเกิดรูพรุนรองลงมา โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยที่ 2.20 ไมโครเมตร และมีผลการทดสอบความทนทานต่อกรดดีที่สุด โดยมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ 0.018

คำสำคัญ : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เซรามิกความพรุนสูง ดินขาวเกาหลีน ตัวกรองเซรามิก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title PREPARATION OF HIGH POROUS CERAMIC FILTER BY USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE FOR CONTROLLER POROUS

Students Miss Jantanee Tungbanjerdwanid Student ID 55050596
Miss Waraporn Thongracha Student ID 55050796
Miss Siranya Thuansuk Student ID 55050816

Degree Bachelor of Science (Industrial Chemistry)

Department Chemistry

Faculty Science

University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Year 2015

Advisor Dr. Samart Kongtaweelert

Abstract

The objective of this study was to prepared high porous ceramic filter. The Kaolin was used as ceramic base materials and Carboxymethylcellulose used as a porous controller. Physical strength were improved by Zeolite HZSM-5 and Zirconiumdioxide (ZrO_2). The Kaolin:CMC ratios were varied to 80:10, 70:20, 60:30, as at 5% constant ratio of Zeolite HZSM-5 and ZrO_2 . The precursor of ceramic filter were mixed by ball milling technic for 24 hours by using of Zirconia ball and ethanol as milling media. The sintering temperature was varied to 1000, 1100, 1200, 1300 and 1400°C with the constant calcined at 450°C and 600°C for 1 hour and 3°C/min of heating time. The ceramic filters were then tested a physical properties from shrinkage, density, volume and characterized by TGA, XRD and SEM. The results of study were revealed that the 20% CMC in composition with sintering and calcining temperature at 1400°C and 600°C had the highest number of porous and had a porous average size was 2.29 micrometer. The result of porous average size was 20% CMC in composition with sintering and calcining temperature at 1400°C and 450°C was 2.20 micrometer and the result of chemical endurance by acid had a lowest percentage of weight loss was 0.018%

Keywords : carboxymethyl cellulose, high porous ceramic, kaolin, ceramic filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับการสนับสนุนที่ดีจากหลายบุคคล โดยผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน หรือให้ความรู้ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ผู้ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดโครงการพิเศษนี้ ขอขอบพระคุณสำหรับความกรุณาที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ และให้ข้อเสนอแนะ ที่มีส่วนสำคัญในการทำโครงการพิเศษ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มนตรี ทองคำ และ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษพร้อมให้คำแนะนำที่ดีและเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยเพื่อนำไปปรับปรุงต่อไป

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ประจำอาคารพระจอมเกล้าฯ ที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเคมี ที่คอยให้คำแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆ ปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำตลอดเวลาการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ และครอบครัวที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ในทุกๆ เรื่อง แก่ผู้จัดทำโครงการพิเศษ คุณความดีที่ได้รับจากการทำโครงการพิเศษนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่บุพการีผู้มีพระคุณทุกท่าน และครูอาจารย์ที่ให้ความรู้แก่ผู้จัดทำตลอดมา หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องผู้จัดทำขออภัยเป็นอย่างยิ่ง และหวังว่าโครงการพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจต่อไป

จันทิพย์ ตั้งบรรเจิดวนิช

วารภรณ์ ทองราชา

ศิริัญญา เกื้อนสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เซรามิก.....	4
2.1.1 เซรามิกแบบดั้งเดิม.....	4
2.1.2 เซรามิกสมัยใหม่.....	5
2.2 ดินขาวเกาหลี.....	7
2.2.1 แหล่งกำเนิดดินขาวเกาหลี.....	7
2.2.2 การนำดินขาวเกาหลีมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม.....	7
2.2.3 สมบัติทางกายภาพของดินขาวเกาหลี.....	8
2.2.4 ประโยชน์ของดินขาวเกาหลี.....	8
2.3 คาร์บอนซีเมติกเซลลูโลส.....	14
2.3.1 การนำไปใช้งานในอุตสาหกรรม.....	16
2.4 เซอร์โคเนียมไดออกไซด์.....	16
2.4.1 กระบวนการผลิตเซอร์โคเนียมไดออกไซด์จากแร่เซอร์คอน.....	17
2.4.2 ประโยชน์และการนำไปใช้งาน.....	18
2.5 กระบวนการเตรียมผงด้วยวิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง.....	19
2.5.1 กระบวนการบดผสมด้วยลูกบดโดยการสั่น.....	19
2.5.2 การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง.....	19
2.6 การอัดผง.....	19
2.6.1 อัดตามแกนเดี่ยว.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 อัดแบบไอโซสแตติก.....	20
2.6.2 อัดขณะร้อน.....	21
2.7 กระบวนการเผาผนึก.....	22
2.7.1 ประเภทของกลไกการเผาผนึก.....	22
2.7.2 กระบวนการเผาผนึก.....	23
2.7.3 การเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาผนึก.....	24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 สารเคมี.....	28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	28
3.3 กระบวนการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิก.....	30
3.4 การทดสอบความทนทานต่อกรด	32
3.5 การหาค่าการหดตัวของเซรามิกหลังการเผาผนึก	32
3.6 การหาค่าปริมาตรของชิ้นงานเซรามิก	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	34
4.1 การตรวจวิเคราะห์สารตั้งต้นด้วยเทคนิค TGA.....	34
4.2 การทดสอบความทนทานต่อกรด	37
4.3 การตรวจสอบการหดตัวของชิ้นงานเซรามิก.....	39
4.4 ปริมาตรรวม	42
4.5 การตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดวิฤภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	44
4.6 ปริมาตรรูพรุนเปิด	46
4.7 การศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวและวิเคราะห์หาขนาดรูพรุน.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....	62
ภาคผนวก ข การทดสอบความทนทานต่อกรด	65
ภาคผนวก ค การศึกษาสมบัติทางกายภาพ.....	66
ภาคผนวก ง การตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดวิฤภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก จ การศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค SEM	70



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทั่วไปของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์.....	17
3.1 อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของสารตั้งต้น	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลิตภัณฑ์สุกภัณฑ์.....	10
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของ Carboxymethyl Cellulose	15
2.3 โครงสร้างผลึกของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันในแต่ละอุณหภูมิ.....	16
2.4 ลักษณะทางกายภาพของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์	17
2.5 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแบบอัดตามแกนเดี่ยว	20
2.6 การอัดแบบไอโซสแตติก	21
2.7 การอัดขณะร้อน	21
2.8 แผนภาพของรูปแบบการเผาผนึกประเภทต่างๆ	22
2.9 กระบวนการเผาผนึก	23
3.1 กราฟแสดงการเผาผนึกของชิ้นงานเซรามิกที่เผาแคลไซน์ 450°C.....	31
3.2 กราฟแสดงการเผาผนึกของชิ้นงานเซรามิกที่เผาแคลไซน์ 600°C.....	31
4.1 ผลการตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ CMC.....	34
4.2 ผลการตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของดินขาวเกาหลีน	35
4.3 ผลการตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ (a) CMC 10, (b) CMC 20 และ (c) CMC 30.....	36
4.4 การทนทานต่อกรดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C.....	37
4.5 การทนทานต่อกรดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C.....	38
4.6 การหดตัวของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C.....	39
4.7 การหดตัวของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C.....	40
4.8 การเปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นงานเซรามิก (a) CMC 10 (b) CMC 20.....	41
4.9 ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C.....	42
4.10 ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C.....	43
4.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างก่อนเผา.....	44
4.12 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CMC 10 1000°C เผาแคลไซน์ต่างกัน.....	45
4.13 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CMC 10 1400°C เผาแคลไซน์ต่างกัน.....	45
4.14 ปริมาตรรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C.....	46
4.15 ปริมาตรรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C.....	47

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เผาชนิดต่างกัน (กำลังขยาย 2000 เท่า) (2 μ m).....	48
4.17 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เผาชนิดต่างกัน.....	49
4.18 ภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 เผาเคลือบต่างกัน (กำลังขยาย 2000 เท่า) (2 μ m).....	51
4.19 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 เผาเคลือบต่างกัน.....	52
4.20 ภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เผาเคลือบต่างกัน (กำลังขยาย 2000 เท่า) (2 μ m).....	53
4.21 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เผาชนิดต่างกัน.....	54
ก.1 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ CMC บริสุทธิ์.....	62
ก.2 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของดินขาวเกาหลีบริสุทธิ์.....	62
ก.3 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10.....	63
ก.4 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 20.....	63
ก.5 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 30.....	64
ง.1 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 ก่อนเผา.....	67
ง.2 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1000°C เผาเคลือบ 450°C.....	67
ง.3 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1000°C เผาเคลือบ 600°C.....	68
ง.4 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาเคลือบ 450°C.....	68
ง.5 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาเคลือบ 600°C.....	69
จ.1 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1300°C เผาเคลือบ 450°C.....	70
จ.2 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาเคลือบ 450°C.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.3 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เเผาแคลไซน์ 600°C	71
จ.4 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 450°C	71
จ.5 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 600°C	72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันมักพบแหล่งน้ำที่เน่าเสียได้โดยทั่วไป น้ำลักษณะนี้ไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคและบริโภคได้ ทั้งยังก่อให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำรวมถึงมนุษย์ด้วย โดยแหล่งที่ปล่อยน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุดคือ โรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยเติบโตมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้เกิดการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและเกิดผลกระทบตามมา ซึ่งการปนเปื้อนที่พบในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นโลหะหนัก สารอินทรีย์ และสารเคมีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ ปัจจุบันได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ก่อนปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อควบคุมปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียไม่ให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต [1]

เนื่องจากผลกระทบของน้ำเสีย ทำให้เราได้ตระหนักถึงความสำคัญในการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ ตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ศึกษาหากรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียที่มีต้นทุนต่ำโดยเตรียมตัวกรองเซรามิกสำหรับดูดซับ เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียเป็นสารที่มีขนาดเล็กระดับไมโครเลกุล วิธีการดูดซับจึงเหมาะสมต่อการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากรน้ำเสียนั้น แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับสภาวะการดูดซับนั้นๆ และวิธีการปรับปรุงน้ำเสียที่มีต้นทุนต่ำเพราะมีดินขาวเกาหลีเป็นวัตถุดิบหลักและมีคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุนสำหรับดูดซับไมโครเลกุลของสารเจือปนและชิ้นงานเซรามิกที่สร้างขึ้นจะมีความทนทานต่อการกัดกร่อน ทนทานต่อสารเคมี จึงทำให้ช่วยยืดอายุการใช้งานของตัวกรองเซรามิกที่นานมากขึ้น อีกทั้งมีความสามารถในการดูดซับสิ่งปนเปื้อน ผลิตได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [2]

กระบวนการผลิตเซรามิกนั้นตัวแปรที่สำคัญนอกจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต ยังมีอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาผนึกเป็นตัวแปรที่สำคัญด้วย โดยในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตตัวกรองเซรามิกความพรุนสูงอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการผลิตของชิ้นงานเซรามิก อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผนึกจึงจำเป็นต่อการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับการสลายตัวของความร้อนของวัตถุดิบที่นำมาใช้ จากการศึกษาของงานวิจัยของ C.Venturelli, M. Paganelli พบว่าอุณหภูมิการเผาผนึกที่ช่วง 1000 องศาเซลเซียสขึ้นไป เซรามิกจะเกิดการหดตัวขณะการเผาผนึกและมีการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น ส่งผลให้เซรามิกมีปริมาตรลดลงไปด้วย ในระหว่างการเผาผนึกนั้นพลังงานพื้นผิวของเซรามิกได้ลดลง เนื่องจากเซรามิกได้รับความร้อนแล้วเกิดการทำลายอนุภาคทำให้พื้นผิวเกิดการแยกออกจากกันบางส่วนและเกิดการทำลายพันธะเคมี จะพบว่าการเผาผนึกนั้นเป็นการ

ทำให้พันธะเคมีของเซรามิกลดลงและในส่วนของกาเผาผนึกในช่วงอุณหภูมิต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียสขึ้นไป เซรามิกจะมีการหลอมตัวเกิดขึ้น [3]

โครงการพิเศษนี้จึงทำการศึกษากการเตรียมวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูง โดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน โดยศึกษาชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนร้อยละของ CMC ที่ 10 และ 20 และอุณหภูมิการเผาผนึกที่เป็นผลต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานเซรามิก โดยใช้ช่วงอุณหภูมิ 1000, 1100, 1200, 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้วัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูงสำหรับการนำไปใช้งานด้านการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาค้นคว้าหาชิ้นงานตัวกรองเซรามิกความพรุนสูงที่สามารถดูดซับโลหะหนักโดยใช้ดินขาวเกาหลีและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบหลัก

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดรูพรุนในชิ้นงานตัวกรองเซรามิก

1.2.3 เพื่อศึกษาอุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่เหมาะสมต่อการสลายตัวของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

1.2.4 เพื่อศึกษาอุณหภูมิการเผาผนึกที่เหมาะสมต่อการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยตัวแปรที่ต้องทำการศึกษามีดังนี้

- สารตั้งต้นที่ใช้คือ ดินขาวเกาหลี คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose: CMC) ซีโอไลต์ ชนิด HZSM-5 (Zeolite HZSM-5) และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)

- สภาพที่ใช้ในการผสม คือ อุณหภูมิห้องในขณะที่ผสม

- แรงที่ใช้ในการอัดชิ้นงาน

- อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแคลไซน์และการเผาผนึก

1.3.2 ศึกษาอัตราส่วนของสารตั้งต้นที่มีผลต่อชิ้นงานตัวกรองเซรามิกสำหรับการนำไปใช้งานด้านการปรับปรุงน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

โดยตัวแปรที่ต้องทำการศึกษามีดังนี้

- อัตราส่วนร้อยละของสารตั้งต้นคือ ดินขาวเกาลินและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose : CMC)

1.3.3 ศึกษาอุณหภูมิในกระบวนการเตรียมที่มีผลต่อชิ้นงานตัวกรองเซรามิกสำหรับการนำไปใช้งานด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

โดยตัวแปรที่ต้องทำการศึกษามีดังนี้

- อุณหภูมิในการเผาชิ้นงาน

1.3.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของชิ้นงานตัวกรองเซรามิกสำหรับการนำไปใช้งานด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

โดยมีวิธีการเทคนิคตรวจสอบเอกลักษณ์ของชิ้นงานได้ดังนี้

- Thermogravimetric Analysis (TGA) เพื่อวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่าง

- X-ray Diffractometer (XRD) เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของชิ้นงานตัวกรองเซรามิก

- Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อวิเคราะห์ตรวจสอบพื้นผิวของชิ้นงานตัวกรองเซรามิก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย

1.4.1 สามารถนำชิ้นงานตัวกรองเซรามิกที่ได้จากกระบวนการเตรียมไปพัฒนาใช้งานในด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้จริงและมีประสิทธิภาพ

1.4.2 รู้และเข้าใจผลของการศึกษาอัตราส่วนปริมาณของสารตั้งต้นระหว่างดินขาวเกาลินและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อลักษณะชิ้นงานตัวกรองเซรามิกและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิก เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานตัวกรองเซรามิกให้เหมาะแก่การใช้งานจริง

1.4.3 รู้และเข้าใจลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของชิ้นงานตัวกรองเซรามิก

ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซรามิก (Ceramic) [4]

คำว่า “เซรามิก (Ceramic)” มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า Keramos มีความหมายว่า ความร้อน คำจำกัดความของคำว่าเซรามิก คือ วัสดุที่เกิดจากการรวมกันของสารอนินทรีย์ (Inorganic) ที่อุณหภูมิสูง และสำหรับคำจำกัดความตาม ASTM คือ วัสดุที่เริ่มต้นจากสารอนินทรีย์มาประกอบกัน เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เกิดการเผาผนึก (Sintering) และทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนไปจากเดิม (Sintering หมายถึง การที่อนุภาคของวัสดุเกิดการรวมชิดติดกันจนเกิดเป็นอนุภาคขนาดเปลี่ยนไปหรือเกิดวัฏภาคใหม่ขึ้น)

เมื่อพูดถึงคำว่าเซรามิก คนทั่วไปมักจะนึกถึงผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันของเรา เช่น ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร ได้แก่ ถ้วยกาแฟ จานชาม เขยือก สุขภัณฑ์ อ่างล้างน้ำ ที่ใส่สบู่ แก้วน้ำ กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง กระเบื้องหลังคาเซรามิก โถง กระถาง และของตกแต่งต่างๆ แต่ในความเป็นจริงแล้วจากนิยามของคำว่าเซรามิก จะพบว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นมีมากกว่าที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลายคนคงไม่นึกว่าสิ่งของที่เราใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์-มือถือ โทรทัศน์ วิทยุ รถยนต์ อุปกรณ์ในเครื่องจักรต่างๆ อุปกรณ์ทางการแพทย์ กระดุกเทียม ฟันปลอมจะมีส่วนที่เป็นเซรามิกประกอบอยู่ด้วยเกือบทั้งสิ้น

เซรามิกแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.1.1 เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional ceramics)

ผลิตภัณฑ์ของเซรามิกแบบดั้งเดิม ได้แก่ ถ้วย จานชาม สุขภัณฑ์ ลูกถ้วยไฟฟ้า กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง กระเบื้องหลังคา วัสดุทนไฟ แผ่นรองเผาในเตา อิฐก่อสร้าง กระถางต้นไม้ โถง กระจก แก้ว ปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม ปูนพลาสติก เป็นต้น ซึ่งทำมาจากวัสดุหลักคือ ดินดำ ดินขาว ดินแดง หินฟันม้า หินปูน หินผุ ควอตซ์ และแร่อื่นๆ

การแบ่งชนิดของเนื้อดินสำหรับ Traditional ceramics

2.1.1.1 Porcelain เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 1250 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงสูงมาก มีการดูดซึมน้ำต่ำมาก (ใกล้เคียงศูนย์) ยกตัวอย่างเช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า กระเบื้อง-แกรนิต ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร (ราคาแพง) สุขภัณฑ์ มีคำเรียกอีกอย่างว่า Vitreous china

2.1.1.2 Stone ware เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิเผาปานกลางประมาณ 1150 - 1200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงต่ำกว่าพวก Porcelain มีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 3 - 5% ตัวอย่างเช่น กระเบื้องปูพื้น ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร

2.1.1.3 Bone china เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเถ้ากระดูก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสง ความแข็งแรงปานกลาง การดูดซึมน้ำต่ำ

2.1.1.4 Earthen ware เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงมาก อยู่ในช่วง 900 - 1100 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงต่ำ การดูดซึมน้ำสูงประมาณ 10 - 20% ตัวอย่างเช่น กระเบื้องปูผนัง กระเบื้องหลังคา ตุ๊กตาและของตกแต่ง กระจกเงาเทอร์ราคอตตา

2.1.2 เซรามิกสมัยใหม่ (Fine ceramics/ New ceramics/ Advanced ceramics)

เซรามิกสมัยใหม่ คือเซรามิกที่ต้องใช้วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการมาแล้วเพื่อให้มีความบริสุทธิ์สูง ได้รับการควบคุมองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) อย่างแม่นยำ โดยเซรามิกสมัยใหม่อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง อิเล็กโทรเซรามิกและเซรามิกสำหรับงานทางการแพทย์

2.1.2.1 เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง (Structural ceramics) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในงานที่ต้องการสมบัติทางกลที่ดีที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อนได้ดี ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี เป็นฉนวนความร้อน ตัวอย่างเซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide, SiC) สำหรับใช้ทำวัสดุสำหรับตัดแต่ง หัวฟันไฟ (Burner) ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เช่น ปลอกนำวาล์ว (Valve guide) และซีลที่ทนแรงดันสูง (Mechanical seal) ซิลิคอนไนไตรด์ (Silicon nitride, Si₃N₄) สำหรับใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์กลไก เช่น ลูกปืน (Bearing ball) วาล์ว (Valve) สลักลูกสูบ (Piston pin) เบรคสำหรับรถยนต์ที่เป็น Exotic car และใบพัดของเทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbocharger rotor blade) และอลูมิเนียมไนไตรด์ (Aluminum nitride, AlN) สำหรับใช้ทำแผ่นรองวงจรรสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น กรรไกรและมีดเซรามิกที่ทำด้วยเซอร์โคเนีย (ZrO₂) ซึ่งเป็นมีดเซรามิกที่มีความคมมาก และไม่ต้องลับเนื่องจากเซอร์โคเนียมีความแข็งสูงและไม่สึกกร่อนง่ายจึงไม่ทำให้มีดที่อ

เซรามิกสำหรับงานโครงสร้างอีกตัวอย่างหนึ่งคือ ผิวของยานกระสวยอวกาศ (Space shuttle) ในตอนที่ยานเข้ามาจากอวกาศเข้าสู่บรรยากาศของโลกนั้นจะเกิดการเสียดสีกับบรรยากาศของโลกทำให้มีอุณหภูมิสูงมากซึ่งมากกว่า 2000 องศาเซลเซียส โครงสร้างลำตัวของยานภายในนั้นจริงๆ แล้วทำจากโลหะผสมซึ่งทนความร้อนได้ไม่เกิน 800 องศาเซลเซียส แต่ผิวของยานนั้นปูด้วยแผ่นกระเบื้อง-

เซรามิกเล็กๆ ซึ่งทนความร้อนสูงจำนวนมาก ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำแผ่นเซรามิกดังกล่าว เช่น เส้นใยซิลิกา อะมอร์ฟัสความบริสุทธิ์สูงมาก (Very high purity amorphous silica fibers) และแผ่นกระเบื้องเล็กๆ ที่ทำด้วยเซอร์โคเนียทำให้ทนอุณหภูมิสูงได้ และอีกตัวอย่างหนึ่งที่อยู่ใกล้ตัวสำหรับผู้ที่ใช้รถยนต์คือ ท่อไอเสียรถยนต์จะมีเซรามิกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า แคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter) ช่วยทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซต่างๆ ที่เกิดจากระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่เป็นพิษต่อมนุษย์ให้เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ เช่น เปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นต้น

วัสดุที่ใช้ทำแคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์จะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉียบพลันได้เป็นอย่างดี ซึ่งหมายถึงจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้ก็คือ คอร์เดียไรท์นั่นเอง โดยแคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์นั้นจะใช้คอร์เดียไรท์มาขึ้นรูปโดยการอัดรีด (Extrude) เป็นรังผึ้ง (Honey comb) เพื่อให้มีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดี

2.1.2.2 อิเล็กโทรเซรามิก (Electroceramics) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้สมบัติทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ แม่เหล็ก แสง เป็นหลัก อิเล็กโทรเซรามิกนั้นเป็นกลุ่มเซรามิกที่มีมากมายหลายชนิด และครอบคลุมสมบัติด้านต่างๆ หลายอย่าง ได้แก่ ไฟฟ้า แม่เหล็ก แสง และความร้อน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ไดอิเล็กทริกเซรามิก (Dielectric ceramics) เช่น แบเรียมไททาเนต (Barium titanate, BaTiO₃) สำหรับใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพียโซอิเล็กทริกเซรามิก (Piezoelectric ceramics) ซึ่งเป็นเซรามิกที่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้ากลับไปได้ (“Piezo” มาจากภาษากรีก แปลว่า กด (Press)) วัสดุนี้เมื่อให้แรงกลเข้าไปจะสามารถเปลี่ยนแรงกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หรือในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ ตัวอย่างเช่น เลดเซอร์โคเนตไททาเนต (Lead zirconate titanate, Pb(Zr,Ti)O₃) สำหรับใช้ทำทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ชุดโพลดเซลส์สำหรับเครื่องชั่งขนาดใหญ่ ตัวจุดเตาแก๊ส (Gas ignitor) หรือที่ใกล้ตัวเราอย่างเช่น การ์ดวันเกิดที่เมื่อเปิดแล้วมีเสียงเพลงดังขึ้นก็อาศัยหลักการของเพียโซอิเล็กทริกนั่นเอง นอกจากนี้อิเล็กโทรเซรามิกยังมีเซรามิกแม่เหล็ก (Magnetic ceramics) เช่น เฟอร์ไรต์ (Ferrite, Fe₃O₄) ซึ่งใช้เป็นวัสดุบันทึกข้อมูล เป็นต้น

2.1.2.3 เซรามิกสำหรับงานทางด้านการแพทย์ พวกกระดูกเทียม ฟันปลอม ข้อต่อเทียม ตัวอย่างเช่น วัสดุที่เรียกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งทำมาจากกระดูกวัว กระดูกควายที่ผ่านการเผาแบบแคลไซน์ (Calcine) เพื่อไล่สารอินทรีย์ภายในและนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นกระดูกและนำไปเผาแบบผนิก (Sinter) อีกครั้งหนึ่ง

2.2 ดินขาวเกาหลีน [5]

ดินขาวหรือไชน่าเคย์ (China clay) หรือเกาหลีน (Kaolin) คือ ดินสีขาวที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินชนิดเคโอลิไนต์ (Kaolinite) มีสูตรทางเคมี คือ $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ ประกอบด้วย SiO_2 46.5%, Al_2O_3 39.5% และ H_2O 14.0% และดินขาวเกาหลีนมีรูปร่างเป็นรูปแผ่นหกเหลี่ยม มีหลายชนิดแตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก

ดินขาวเกาหลีนส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม (Residual clay) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบจึงมีความเหนียวน้อยประกอบด้วย แร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) มากกว่าดินชนิดอื่นๆ

2.2.1. แหล่งกำเนิดดินขาวเกาหลีน

แหล่งกำเนิดดินขาวเกาหลีน (Kaolin) มี 2 แบบ คือ

2.2.1.1 แหล่งต้นกำเนิด (Residual deposits) ดินขาวแหล่งนี้ มักพบในลักษณะเป็นภูเขาหรือที่ราบ ซึ่งเดิมที่เป็นแหล่งแร่หินฟอสเฟตเมื่อหินฟอสเฟตผุพังโดยบรรยากาศ (Weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาวเกาหลีน (Kaolinitization) นี้มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้



* $KAlSi_3O_8$ = หินฟอสเฟตชนิดโปแตช (Potash feldspar), $(OH)_4Al_2Si_2O_5$ = ดินขาว (Kaolinite) สิ่งสกปรกที่พบเสมอในดินแหล่งนี้คือ ซิลิกา (Silica) มีสูตรเคมีเป็น SiO_2 นอกจากนี้ก็มีหินฟอสเฟตและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากปฏิกิริยาอย่างไม่สมบูรณ์และอาจมีสิ่งสกปรกที่อื่นที่เข้าไปปน

2.2.1.2 แหล่งสะสมที่ลุ่ม (Sedimentary deposit) หมายถึง แหล่งดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรกถูกกระแสน้ำพัดพาไปและไปสะสมที่บริเวณที่ราบลุ่ม ในประเทศมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัดมีจังหวัดลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น

2.2.2 การนำดินขาวเกาหลีนมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม

ดินขาวเกาหลีนที่ขุดขึ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่ 3 ชนิด คือ

2.2.2.1 ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์และมีความทนไฟสูง สามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้

2.2.2.2 ดินขาวอีกชนิดหนึ่งเป็นเกรดของฟิลเลอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำสี ยาง ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย และอื่นๆ โดยใช้ดินขาวที่มีเนื้อสีขาวบริสุทธิ์ ตามผลวิเคราะห์ทางเคมีแต่ไม่ได้นำไปเผาผ่านความร้อนในกระบวนการผลิต

2.2.2.3 ดินขาวที่เป็นดินสอพองซึ่งไม่ใช่ดินขาว แต่เป็นปูนขาวชอล์ก (Chalk) หรือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เกิดจากผลึกของหินปูนตามธรรมชาติ ที่มีลักษณะเป็นผลึกละเอียดสีขาว บางครั้งเป็นส้อมชมพูและน้ำตาลอ่อน ซึ่งใช้เป็นเนื้อดินปั้นขึ้นรูปไม่ได้ใช้ผสมทำปูนซีเมนต์

ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์สูง เผาแล้วได้สีขาวบริสุทธิ์ นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน โบนไซนา และผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีเนื้อสีขาวทุกชนิด ดังนั้นสีดินภายหลังการเผาเป็นสิ่งสำคัญมาก ขณะที่โรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นสนใจดินที่มีราคาถูก หดตัวน้อย และมีปริมาณคาร์บอนต่ำ สามารถอัดเป็นแผ่นได้ง่ายโดยไม่บิ่นหรือแตกร้าว สีดินจะเป็นสีเหลืองนวลหรือออกแดงเล็กน้อยไม่เป็นปัญหา ส่วนโรงงานสุกภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน จะเลือกใช้ดินคุณภาพดีเพื่อผสมน้ำดินหล่อ สำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ให้ถอดพิมพ์ได้ง่ายมีออกไซด์ของเหล็กและไทเทเนียมอยู่ในปริมาณน้อย

2.2.3 สมบัติทางกายภาพของดินขาวเกาหลี

2.2.3.1 ขนาด (Particle size) สมบัตินี้เกี่ยวข้องกับสมบัติด้านความเหนียว (Plasticity) และการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) เพราะโดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

2.2.3.2 รูปร่าง (Particle shape) แร่เคโอลิไนท์ (Kaolinite) อนุภาคมีรูปร่างลักษณะเป็นแผ่นหกเหลี่ยมมีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

2.2.3.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (Base exchange capacity) สมบัติข้อนี้สำหรับแร่พวก Kaolinite มีน้อยมาก เพราะในแร่พวกนี้มีการแทนที่กันของพวกอนุมูลบวกในโครงสร้างน้อยมาก โดยเฉพาะผลึก Kaolinite ที่บริสุทธิ์จะไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลเลย มันจะแลกเปลี่ยนได้เมื่อมันไม่เป็นผลึกที่สมบูรณ์หรือจะดูเอาผลึกขนาดเล็กของแร่พวก Three layer เข้าไว้ที่ผิวของมัน

2.2.3.4 สมบัติหลังจากเผา (Firing properties) แร่ดินขาวมีการหดตัวสูงหลังจากการเผาไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวเมื่อเผาแล้วจะหดตัวประมาณร้อยละ 20

2.2.4 ประโยชน์ของดินขาวเกาหลี [6]

ดินขาวเกาหลีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิกและอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ดังนี้

2.2.4.1 ใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น ถ้วยชาม เครื่องสุกภัณฑ์ เครื่องประดับ

2.2.4.1.1 อุตสาหกรรมถ้วยชาม

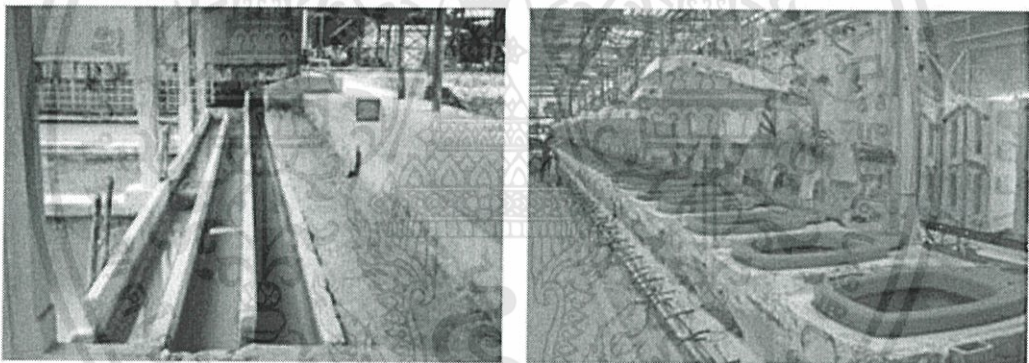
การขึ้นรูปถ้วยชามและของตกแต่งบนโต๊ะอาหารนั้นมีทั้งการขึ้นรูปแบบเทแบบจิ๊กเกอร์ โรลเลอร์ แรมเพรส ซึ่งการขึ้นรูปในแต่ละกระบวนการนั้นคุณสมบัติที่ต้องการของเนื้อดินจะไม่เหมือนกัน แต่โรงงานโดยส่วนใหญ่ในเมืองไทยยังมักใช้เนื้อดินสูตรเดียวกันเพียงแต่เปลี่ยนกระบวนการผลิตเนื้อดินเท่านั้น แล้วเมื่อมีปัญหาในการผลิตเกิดขึ้นก็จะไปแก้ปัญหาที่กระบวนการขึ้นรูป หรือไปปรับสูตรเคลือบหรือแม้แต่ปรับเตาเพื่อแก้ปัญหา โดยไม่ได้มองปัญหาที่ต้นเหตุคือตัวเนื้อดินเลย การออกแบบสูตรเนื้อดินให้เหมาะสมกับกระบวนการขึ้นรูปแต่ละแบบนี้เป็นเรื่องสำคัญ การขึ้นรูปด้วยการเทแบบนี้ อัตราการหล่อแบบเป็นเรื่องสำคัญที่จะทำให้้อตราการผลิตเร็วขึ้น นอกจากนี้การศึกษาเรื่องการไหลตัวของน้ำดิน (Rheology) ทั้งเรื่องความหนืด (Viscosity) และความข้นเหลว (Thixotropy) เป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้การเทน้ำดินออกจากแบบและการถอดแบบดีขึ้น อัตราของเสียที่เกิดจากการเทแบบก็จะลดลง น้ำดินที่ใช้ในการเทแบบนี้ควรมีสัดส่วนของดินขาวที่มีอัตราการหล่อแบบ (Casting rate) สูงอยู่ในปริมาณมากพอ ซึ่งก็จะช่วยเรื่องการหดตัวหลังอบแห้งให้มีค่าน้อยลงด้วย

การขึ้นรูปแบบจิ๊กเกอร์และโรลเลอร์นั้นต้องการความเหนียวของเนื้อดินมาก เพื่อให้การทรงตัวขณะถอดแบบดี ไม่เกิดการทู่ตัวและบิดเบี้ยวถ้าเป็นภาชนะที่มีรูปทรงลึก ดังนั้นปริมาณการใช้ดินขาวจะน้อยลงแต่จะใช้ดินดำ (Ball clay) มากขึ้น สำหรับการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิคแรงดันสูง (Ram press) นั้น มักจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนของรูปแบบมากกว่าทรงกลมธรรมดาที่เครื่องโรลเลอร์จะทำให้การแกะแบบจะต้องทำทันทีหลังขึ้นรูป ดังนั้นความแข็งแรงของชิ้นงานดิบเป็นเรื่องสำคัญ จึงมักใช้ดินดำในปริมาณมากในสูตรเนื้อดิน แต่สิ่งที่จะพบปัญหาตามมาคือชิ้นงานจะมีการแตกร้าวมากหลังอบแห้งเนื่องจากร้อยละการหดตัวหลังอบมีค่าสูง และเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิคแรงดันสูง (Ram press) มักจะมีความซับซ้อนของรูปทรง มีเหลี่ยมมุมมากทำให้การหดตัวในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันมากจึงเป็นสาเหตุของการแตกร้าวได้ ดังนั้นสัดส่วนการใช้ดินขาวกับดินดำในเนื้อดินสำหรับการใช้เครื่องอัดไฮดรอลิคแรงดันสูง (Ram press) นั้นเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเพื่อลดของเสียที่จะเกิดขึ้นภายหลัง

2.2.4.1.2 อุตสาหกรรมสุขภัณฑ์

สุขภัณฑ์นั้นจะใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ ซึ่งในปัจจุบันมีทั้งกระบวนการหล่อแบบดั้งเดิมคือ ใช้แบบพลาสติกเป็นแม่พิมพ์และอาศัยการดูดน้ำของแบบพลาสติกร่วมกับอัตราการหล่อแบบ (Casting rate) ที่ดีของน้ำดินเพื่อให้สามารถแกะแบบได้ กระบวนการหล่อแบบใช้ความดันช่วยเร่งให้อตราการแกะแบบเร็วขึ้นซึ่งมีทั้งแบบการขึ้นรูปด้วยความดันปานกลาง (Medium pressure casting) และแบบการขึ้นรูปด้วยความดันสูง (High pressure casting) ทำให้วัสดุในการทำแบบจำเป็นต้องเปลี่ยนไปจากพลาสติกเป็นเรซิน ดินขาวเกาหลีที่นำมาใช้กับกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อนั้น

จำเป็นที่จะต้องมียัตราการหล่อแบบที่สูง ซึ่งจะสูงเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละโรงงาน สำหรับอัตราการหล่อแบบนั้นขึ้นอยู่กับค่าการกระจายของอนุภาคของดินในแต่ละแหล่ง ความสามารถในการควบคุมขนาดของอนุภาคของผู้ผลิตดินในแต่ละบริษัท ปริมาณเกลือ (Soluble salt) ที่เจือปนอยู่ในดิน ปริมาณทราย หินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน จุดประสงค์ในการเติมดินขาวลงไปเนือดินสำหรับสุกัณฑ์ก็เป็นเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ คือต้องการปริมาณของ Al_2O_3 และ SiO_2 และช่วยเพิ่มอัตราการหล่อแบบให้กับผลิตภัณฑ์รวมทั้งลดเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบแห้ง ซึ่งจะช่วยลดอัตราการร้าวของชิ้นงานหลังอบแห้งและหลังเผาผนึกได้ ซึ่งการผลิตสุกัณฑ์นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องระวังช่วงการอบแห้งเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นงานขนาดใหญ่ มีเหลี่ยมมุมค่อนข้างมาก มีจุดที่เป็นรอยต่อระหว่างการหล่อตัน (Solid casting) กับการหล่อแบบกลวง (Hollow casting or drain casting) ซึ่งจะมีการหดตัวที่แตกต่างกัน มีจุดที่เป็นรอยต่อของน้ำดินในขณะที่ทำการหยอดน้ำดินลงไปแบบ (Slip line) ที่จะเป็นจุดที่ทำให้เกิดรอยร้าวได้ง่าย รวมทั้งรอยประกบของชิ้นงานดิบหลายส่วนที่มาประกบกันเข้าเป็นสุกัณฑ์ เนื่องจากเป็นเรื่องยากหรือแทบเป็นไปไม่ได้เลยที่จะออกแบบให้แม่พิมพ์ที่สามารถหล่อออกมาเป็นสุกัณฑ์ได้โดยไม่ต้องมีการประกบ



รูปที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์สุกัณฑ์ [6]

2.2.4.2 ใช้ทำผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง เช่น อิฐก่อสร้าง อิฐปูพื้น ท่อระบายน้ำ กระเบื้องมุงหลังคา

2.2.4.2.1 อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก

การขึ้นรูปกระเบื้องเซรามิกนั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการขึ้นรูปแบบการกดอัด (Pressi) โดยมีการเตรียมเนื้อดินแบบแห้งทั้งแบบที่เป็นกระบวนการแบบแห้ง (Dry process) และแบบกระบวนการแบบพ่น (Spray dryer) โดยเนื้อดินที่นำมาขึ้นรูปนั้นจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมหรือเป็นผง แล้วนำมาอัดในแบบด้วยความดันที่สูงเพียงพอให้กระเบื้องดิบมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำการเคลือบสีและตกแต่งลวดลายและมีการเคลื่อนที่ไปจนกระทั่งเข้าเตาได้ นอกจากนี้ยังมีการผลิตกระเบื้องเซรามิก

กแบบใช้การรีดดินผ่านหัว Die ของเครื่องอัดรีด (Extrude) ซึ่งกระบวนการผลิตแบบนี้ต้องการความเหนียวของเนื้อดินมากกว่าการขึ้นรูปแบบเพรส ดังนั้นการเลือกใช้ดินชนิดต่างๆ รวมทั้งสัดส่วนของดินที่ใช้จึงเป็นเรื่องสำคัญ

กระเบื้องเซรามิกนั้นสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง กระเบื้องแกรนิต และกระเบื้องตกแต่ง ถ้าแบ่งตามชนิดของเนื้อดินก็จะแบ่งได้เป็น กระเบื้องเนื้อเทอราคอตตา กระเบื้องเนื้อเออร์เทนแวร์ กระเบื้องเนื้อสโตนแวร์ และกระเบื้องเนื้อพอร์สเลน ซึ่งเนื้อดินในแต่ละเนื้อนั้นจะมีคุณสมบัติทางกายภาพทั้งค่าการดูดซึมน้ำและค่าความแข็งแรงหลังเผาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์ของการเติมดินขาวที่แตกต่างกันไป

1) สำหรับกระเบื้องบุผนังเนื้อเออร์เทนแวร์นั้นจะเติมดินขาวลงไปเนื้อดินเพื่อเป็นแหล่งให้ Al_2O_3 และ SiO_2 โดยสัดส่วนของปริมาณ SiO_2 ในเนื้อดินนั้นจะเกิดปฏิกิริยากับ CaO เหมือนดินขาวเกาลินในหินปูนที่เติมลงไปในสูตรเนื้อดินเพื่อให้เกิดโครงสร้างผลึกของวอลลาสโตไนท์ ($CaSiO_3$) ที่จะช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผาผนึก นอกจากนี้ยังเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัว (Dispersion) พวกวัสดุที่แข็งต่างๆ ในระหว่างการอบเพื่อให้การอบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ปัจจุบันผู้ผลิตกระเบื้องบุผนังส่วนใหญ่มักใช้เนื้อดินที่มีสีออกขาวหรือขาวอมชมพู ซึ่งแตกต่างจากเมื่อหลายปีก่อนที่เนื้อดินของกระเบื้องบุผนังจะเป็นสีแดงเข้ม ดังนั้นดินขาวเกาลินจึงมีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นในการผลิตกระเบื้องบุผนัง นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกอย่างที่เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของกระเบื้องบุผนังคือ ร้อยละการหดตัวหลังเผาที่น้อยมากจนเรียกว่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นการเติมดินขาวเกาลินลงไปจะช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินได้ดีกว่าการใช้ดินดำหรือดินแดง

2) ในเนื้อดินของกระเบื้องปูพื้นมักจะใช้ดินแดงเป็นส่วนประกอบหลักเนื่องจากมีความเหนียวที่ดีทำให้ไม่มีปัญหาในการขึ้นรูป การเติมดินขาวลงไปบางส่วนเพื่อที่จะลดร้อยละการหดตัวหลังอบแห้งและการหดตัวหลังเผาผนึก เพื่อช่วยลดปัญหาร้าวหลังอบแห้งเนื่องจากดินขาวเกาลินจะช่วยลดร้อยละการขยายตัวหลังอัดของเนื้อดินหลังขึ้นรูปด้วยการอัดที่แรงดันสูง และยังช่วยลดปัญหากระเบื้องโก่งตัวและแอ่นตัวในรถเก็บกระเบื้องรอเผาหลังจากผ่านสายเคสือบมาแล้วในกรณีที่มีการใช้ดินแดงที่มีอนุภาคละเอียดและมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในโครงสร้างมาก ซึ่งดินแดงเหล่านี้จะเป็นสาเหตุทำให้กระเบื้องที่รอเผาเกิดการแอ่นตัวหรือโก่งตัวได้ นอกจากนี้การเติมดินขาวเกาลินลงไปบางส่วนในเนื้อดินแดงของกระเบื้องเนื้อสโตนแวร์จะช่วยลดร้อยละการหดตัวหลังเผาผนึกของกระเบื้องทำให้การควบคุมขนาดหลังเผาผนึกทำได้ดีขึ้นด้วย

3) สำหรับกระเบื้องแกรนิตนั้น ความขาวของเนื้อดินเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะทำให้ลดปริมาณการใช้ Body stain ลงได้รวมทั้งจะทำให้สีของกระเบื้องหลังเผาสวยงามขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้ดินขาวสำหรับทำกระเบื้องแกรนิตนั้นจะต้องเลือกแหล่งที่มีปริมาณ Fe_2O_3 และ TiO_2 ต่ำ และควร

มีปริมาณของอัลคาไลน์ออกไซด์ (Alkali oxide) เช่น Na_2O , K_2O อยู่บ้าง เพื่อช่วยในการหลอมตัว เนื่องจากกระเบื้องชนิดนี้ต้องการร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำมากและค่าความแข็งแรงหลังเผาที่สูง ซึ่งโดยปกติก็จะมีการใช้ปริมาณเฟลด์สปาร์ที่สูงอยู่แล้ว แต่ถ้าในดินมีตัวช่วยหลอมอยู่บ้างก็จะช่วยให้คุณสมบัติของกระเบื้องดีขึ้นกระเบื้องแกรนิตหรือกระเบื้องเนื้อพอร์ซเลนนั้นจะเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ความแข็งแรงสูงและร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำ การใช้ดินขาวเกาลินในสูตรเนื้อดินจะช่วยลดปัญหาารูปแบบขนาดในระหว่างการเผาของกระเบื้องแกรนิตลงได้

4) การเติมดินขาวเกาลินลงไปในสีเคลือบนั้นจะเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัวในสีเคลือบ โดยเฉพาะเคลือบที่ใช้ฟริต (Frit) ปริมาณมากหรือเคลือบที่มีความถ่วงจำเพาะที่สูง และยังช่วยให้การบดเคลือบใช้เวลาสั้นลงด้วย ดินขาวเกาลินที่ใช้ในเคลือบนั้นจะเป็นดินขาวเกาลินที่ผ่านกระบวนการล้างและกำจัดสิ่งที่เป็นมลทินมาแล้ว เช่น รากไม้ ทราย หิน และมีขนาดอนุภาคที่เล็กเพียงพอต่อความต้องการของนักเซรามิก ดินขาวเกาลินในประเทศแหล่งสำคัญที่ใช้ในเคลือบ ได้แก่ ดินขาวระนอง และดินขาวนราธิวาส ซึ่งดินขาวนราธิวาสนั้นจะมีความขาวที่ดีกว่าและมีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าดินขาวระนอง สำหรับดินจากต่างประเทศที่มีคุณสมบัติดีแต่ราคาแพงกว่ามาก เช่น ดินจากอังกฤษ นิวซีแลนด์ เหมาะสมสำหรับใช้ในเคลือบที่ต้องการผิวที่สวยงามปราศจากตำหนิเล็กๆ น้อยๆ เช่น ในการเคลือบของผลิตภัณฑ์โบนไซนา พอร์ซเลน กระเบื้องเซรามิกผิวมัน

5) เป็นตัวช่วยยึดเกาะสีเคลือบกับเนื้อชิ้นงาน เนื่องจากมีความเหนียวอยู่พอสมควร จะช่วยให้สีเคลือบไม่หลุดกะเทาะง่ายในระหว่างการเคลื่อนตัวในสายการผลิต

2.2.4.3 ใช้ทำฉนวนไฟฟ้าที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง

2.2.4.3.1 อุตสาหกรรมลูกถ้วยไฟฟ้า

กระบวนการผลิตลูกถ้วยไฟฟ้านั้นจะเริ่มจากการบดเนื้อดินให้เป็นน้ำดินที่มีความละเอียดพอเหมาะแล้วนำไปผ่านเครื่องอัดตะกอน (Filter press) ให้ได้เป็นแผ่นเค้ก (Cake) จากนั้นก็นำไปเข้าเครื่องนวดดิน (Pug mill) ให้เนื้อดินมีความสม่ำเสมอขึ้นแล้วจึงเข้าเครื่องรีดดินแบบดูดอากาศเพื่อใช้ในการขึ้นรูปแบบกลึง ซึ่งก็จะมีทั้งการกลึงแบบแนวตั้งและแบบแนวนอน นอกจากนี้ยังมีการขึ้นรูปโดยการเทแบบสำหรับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนของรูปทรงและตัวแยกสายไฟ การขึ้นรูปแบบเพรส

ลูกถ้วยไฟฟ้าแบบโพสท์ไทป์ (Post type insulators) และลูกถ้วยไฟฟ้าแบบไลน์โพสท์ไทป์ (Line post type insulators) นั้นจะมีปีกของลูกถ้วยที่บางกว่าแกนกลางมากดังนั้นการหดตัวของปีกจะมีมากกว่าแกนกลางมากจึงเป็นสาเหตุให้ลูกถ้วยเกิดปัญหาการร้าวที่ปีกได้ง่าย การปรับสัดส่วนของดินขาวกับดินดำในสูตรเนื้อดินจึงเป็นเรื่องสำคัญเพื่อให้ได้ค่าความเหนียวที่ดีและมีร้อยละการหดตัวหลังอบน้อยจึงจะช่วยให้การขึ้นรูปไม่มีปัญหาและการอบแห้งก็ลดปัญหาหลงไปด้วย สำหรับดินขาวที่

ใช้ควรเลือกให้มีขนาดอนุภาคไม่เล็กเกินไป มีปริมาณทรายปนมาน้อยมาก และที่สำคัญคือความสม่ำเสมอของคุณภาพที่ดี

2.2.4.4 อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ

ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟนั้นจะมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นอิฐทนไฟสำหรับก่อเตาเผาชนิดต่างๆ มีทั้งอิฐทนไฟชนิดซิลิกา, อลูมิน่า, โดโลไมท์, โครม-แมกนีเซีย, แมกนีเซีย-โครม ฯลฯ ผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในการเผาได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในเตาเผา (Kiln furniture) ชนิดต่างๆ เช่น คอร์เดียไรท์, มัลโลท์-คอร์เดียไรท์, ซิลิคอนคาร์ไบด์ ผลิตภัณฑ์สำหรับเป็นตัวช่วยประสานหรือใช้ฉาบหรือใช้หล่อ เช่น ซีเมนต์ทนไฟ มอร์ตาร์

การขึ้นรูปวัสดุทนไฟนั้นมีหลายวิธีทั้งการอัดแบบ (Pressing), การกระทุ้ง (Ramming), การหล่อแบบ (Castable), การอัดรีด (Extrude) ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดรวมทั้งการขึ้นรูปแต่ละแบบนี้ก็จะมีการใช้ดินขาวซึ่งแตกต่างกันไป

1) ดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟสำหรับทำอิฐทนไฟชนิดต่างๆ นั้นจะเป็น Grog (Calcine Kaolin) หรือดินที่ยังไม่ผ่านการเผาก็ได้ เพื่อเป็นตัวให้ความเหนียวและมีความทนไฟพอสมควร นอกจากนี้ถ้าอัตราส่วนของ $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ เหมาะสม และใช้อุณหภูมิในการเผาเหมาะสม ก็จะได้ Phase ของมัลโลด ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ซึ่งมีค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลัน (Thermal shock resistance) ที่ดี ซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุทนไฟ มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง มีค่า C.O.E. ต่ำ อิฐทนไฟชนิดอลูมิน่าและซิลิกาจะมีการใช้ดินขาวและดินทนไฟในปริมาณที่สูง โดยมีการเลือกใช้จากสัดส่วนของ Al_2O_3 และ SiO_2 ในดิน ซึ่งดินขาวจะช่วยเพิ่มความเหนียวทำให้อิฐดิบหลังการขึ้นรูปด้วยการอัดรีดมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการเคลื่อนย้ายและจัดเรียงเข้าเตาอบ หลังผ่านการอบแห้งแล้วก็จะมี ความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการเผา ซึ่งการเผาอิฐนั้นจะมีการเรียงซ้อนกันจนแน่นทำให้อิฐด้านล่างของรถเตา มีน้ำหนักกดทับมาก เมื่ออยู่ในช่วงการเผาอิฐทนไฟจะเริ่มมีการหดตัวซึ่งถ้าเกิดการหดตัวมากก็จะทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆเกิดขึ้นที่ขอบของอิฐได้ ซึ่งเป็นตำหนิที่ทำให้ต้องทิ้งอิฐนั้นไป การใช้ดินขาวหรือดินทนไฟที่มีการหดตัวต่ำจะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้ การใช้ดินขาวเป็นส่วนผสมสำหรับอิฐทนไฟที่ขึ้นรูปด้วยการรีด เช่น อิฐเบาจะช่วยลดรอยละการหดตัวหลังอบแห้งลงได้ ซึ่งจะช่วยลดการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังเผาได้อย่างมากและยังช่วยควบคุมขนาดหลังเผาได้ดีขึ้นทำให้ความสูญเสียของการตัดอิฐเบาหลังเผาจะน้อยลง

2) สำหรับการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในเตาเผา (Kiln furniture) ทั้งแผ่นรองเผาและจ็อนั้น เนื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นคอร์เดียไรท์ หรือส่วนผสมระหว่างมัลโลดและคอร์เดียไรท์นั้น จะมีส่วนประกอบของดินขาวเป็นหลัก เนื่องจากการทำให้เกิดเนื้อคอร์เดียไรท์นั้นจะเกิดจากการรวมตัวกันของดินขาว ดินดำ และทัลคัม โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1300 องศาเซลเซียส

2.2.4.5 ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยใช้ดินขาวเป็นตัวเติมแต่ง (Filler) และเป็นสารเคลือบ (Coating) แต่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการล้างดินเพื่อคัดขนาดและทำการขัดสีดินให้มีความขาวมากขึ้นก่อนที่จะนำมาใช้งาน โดยเติมลงไปเยื่อกระดาษทำให้กระดาษมีสมบัติดูดซับน้ำหนึ่ม ช่วยให้ผิวหน้ากระดาษเรียบและมันเป็นเงาสีของกระดาษขาวขึ้นช่วยเพิ่มน้ำหนักของกระดาษ และทำให้กระดาษทึบแสงทำให้ไม่เห็นตัวหนังสือหรือลายพิมพ์อื่นๆ ในหน้าตรงข้าม

2.2.4.6 ใช้ทำเป็นเบ้าหลอมในอุตสาหกรรมกลึงเหล็กและหล่อเหล็ก

2.2.4.7 ใช้ทำเครื่องกรองน้ำ (Water Filter)

2.2.4.8 ใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เบ้าหลอม ผลิตเซรามิกกึ่งตัวนำ

2.2.4.9 เป็นตัวฟอกสีและตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเลียม

2.2.4.10 ใช้ในอุตสาหกรรมยาง โดยเติมลงไปใญ่างให้มีความแข็งแรงทนทานและยืดหยุ่นดีขึ้น

2.2.4.11 ใช้ผสมลงในของเหลวที่ใช้ในงานเจาะสำรวจน้ำมันปิโตรเลียม

2.2.4.12 ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เช่น เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย

2.2.4.13 ใช้ในอุตสาหกรรมพรมน้ำมัน ทอผ้า และพลาสติก

2.2.4.14 ใช้ในอุตสาหกรรมสี โดยใช้ผลิตสีขาว (White pigment)

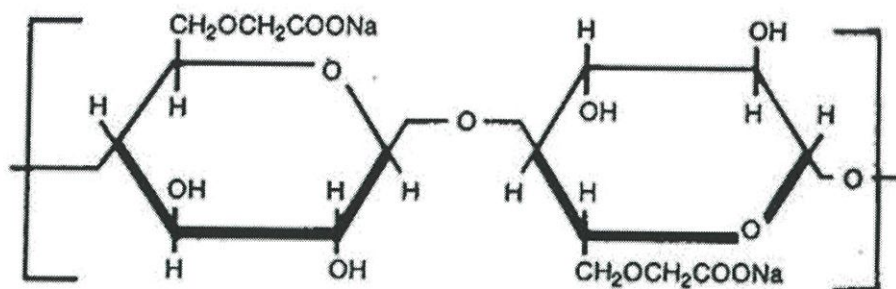
2.2.4.15 ใช้ในอุตสาหกรรมทำยารักษาโรค เครื่องสำอาง ทำฟันปลอม

2.2.4.16 ในอุตสาหกรรมน้ำมันชักเงา (Vanish) โดยใช้เป็นตัวเติมแต่ง (Filler)

2.2.4.17 ในอุตสาหกรรมโลหะเคลือบ (Enamel) ใช้ดินขาวเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัวของเคลือบฟัน (Enamel)

2.3 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose : CMC) [7]

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl Cellulose : CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium Carboxymethyl Cellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) คือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (Modified natural hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุล



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของ Carboxymethyl Cellulose [7]

CMC ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย อาทิ อุตสาหกรรมการซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระจก เซรามิก อาหารและยา เนื่องจาก CMC มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีเป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ สำหรับการใช้ประโยชน์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในอุตสาหกรรมอาหารจะใช้เป็นสารให้ความหนืดในไอศกรีม ใช้เป็นสารเคลือบผิวแคปซูลยาหรือเป็นสารก่อกำเนิดการเป็นเจลทางด้านเภสัชกรรม

สาร CMC ผลิตได้จากปฏิกิริยาเอสเตอร์ริฟิเคชัน (Etherification) ระหว่างเซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตตที่มีสูตรทางเคมีคือ $[C_6H_7O_2(OH)_3 \cdot (OCH_2COONa)]_n$ เมื่อ n คือ ค่าการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerisation, DP) และ x คือ ค่าความสามารถในการแทนที่ (degree of substitution, DS)

ในบางกรณีวิธีอาจเตรียมมาจากแป้งผสม เช่น แป้งผสมเบต้ากลูแคนที่เตรียมจากข้าวโอ๊ต (เกล็ดเล็ก) ข้าวบาร์เลย์และยีสต์หรือจะเป็นจากโพลีแซคคาไรด์ในน้ำนมโปรตีนและจากแป้งข้าวเจ้าแบบเบต้ากลูแคน ซึ่งในต่างประเทศส่วนใหญ่ผลิตเซลลูโลสดังกล่าวได้จากไม้ยืนต้น จำพวกสนและยูคาลิปตัส ทั้งนี้ การควบคุมคุณภาพเยื่อเซลลูโลสที่ได้ให้คงที่นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก เนื่องจากการใช้วัตถุดิบจำพวกพืชไร่ที่มีคุณภาพและปริมาณแตกต่างกันจากหลายๆ แหล่ง จะทำให้ได้เยื่อเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติไม่คงที่แต่ในประเทศไทยได้มีการนำเอาพืชไร่หรือวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาทดลองผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูงไม่ว่าจะเป็นต้นกก ช้างข้าวโพด กาบมะพร้าว ก้านกล้วย กากปาล์ม ใบค่น้ำ ใบสับปะรด หย้าหนูจันทน์ เป็นต้น

ค่าความสามารถในการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลมีค่าระหว่าง 0.3-3.0 ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่คาร์บอกซีเมทิลที่เข้าไปแทนที่ โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 0.6-0.9 สาร CMC ที่มีค่า DS ต่ำกว่า 0.3 จะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายในด่าง สำหรับสาร CMC ที่มีค่า DS สูงกว่า 0.45 สามารถละลายน้ำได้

สาร CMC ที่นิยมใช้กันมากจะมีค่า DS เท่ากับ 0.7 ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของหมู่คาร์บอกซิเมทิล 7 หมู่ ที่เข้าไปแทนที่ 10 หน่วยของแอนไฮโดรเซลลูโลส

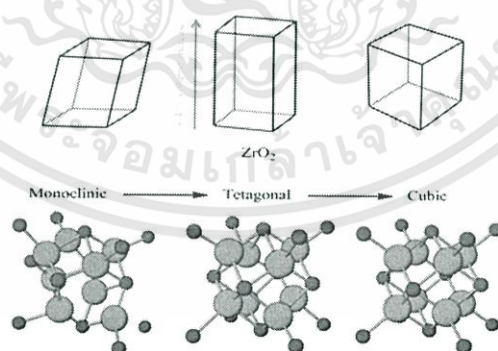
2.3.1 การนำไปใช้งานในอุตสาหกรรม [8]

การนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

- 2.3.1.1 ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ
- 2.3.1.2 ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ
- 2.3.1.3 ใช้ในอุตสาหกรรมสารเคมีในชีวิตประจำวัน
- 2.3.1.4 ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก
- 2.3.1.5 ใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

2.4 เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) [9]

เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconiumdioxide) หรือเซอร์โคเนีย (Zirconia) มีสูตรเคมีคือ ZrO_2 โดยมีความถ่วงจำเพาะ 5.5 - 5.7 และจุดหลอม 2700 องศาเซลเซียส เซอร์โคเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยมีโครงสร้างผลึกโมโนคลินิก (Monoclinic phase) ที่อุณหภูมิห้องและจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างผลึกเป็นเตตระโกนอล (Tetragonal phase) และคิวบิก (Cubic phase) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้น สำหรับตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะพบเซอร์โคเนียมไดออกไซด์อยู่ในรูปของแร่แบดดีเลย์อิต (Baddeleyite) หรือเซอร์คอน ($ZrSiO_4$) เมื่อได้ทำการแปรรูปแร่เซอร์คอนเป็นเซอร์โคเนียมไดออกไซด์จะมีลักษณะเป็นผงสีขาว หนัก ไม่มีกลิ่น มีจุดหลอมสูง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันในแต่ละอุณหภูมิ [9]



รูปที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ [9]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทั่วไปของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ [9]

สมบัติทั่วไป	
สูตรเคมี	ZrO ₂
มวลโมลาร์(g/mol)	123.218
รูปร่าง	ผงสีขาว
ความหนาแน่น (g/cm ³)	5.68
จุดหลอมเหลว (°C)	2,700
จุดเดือด (°C)	4,300
การละลาย	ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรดไฮโดรฟลูออริกและละลายในกรดซัลฟิวริกกรดไนตริก

2.4.1 กระบวนการผลิตเซอร์โคเนียมไดออกไซด์จากแร่เซอร์คอน

2.4.1.1 นำแร่เซอร์คอนมาหลอมรวมกับโซเดียมออกไซด์ ในอัตราส่วน Na₂O:ZrSiO₄ เท่ากับ 1:3 ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนนี้เซอร์โคเนียมซิลิเกตจะถูกเปลี่ยนเป็นโซเดียมเซอร์โคเนียมซิลิเกต (Sodium zirconium silicate ; Na₂ZrSiO₅) และทรายที่มีอยู่จะเปลี่ยนเป็นโซเดียมซิลิเกต (Na₂SiO₃)

2.4.1.2 หลังจากปล่อยให้แห้งให้เย็น ส่วนที่หลอมได้จะนำมาล้างด้วยน้ำร้อน ซึ่งจะทำให้โซเดียมซิลิเกตละลายออกไป แต่โซเดียมเซอร์โคเนียมซิลิเกตซึ่งไม่ละลายน้ำจะตกตะกอน และแยกออกได้โดยการกรอง

2.4.1.3 จากนั้นนำโซเดียมเซอร์โคเนียมซิลิเกตที่แยกออกได้มาละลายในสารละลายของกรดกำมะถันเจือจาง (H_2SO_4 ร้อยละ 33) ทำให้ได้สารละลายของโซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate ; Na_2SO_4) และเซอร์โคเนียมซัลเฟต (Zirconium Sulphate ; $\text{Zr}(\text{SO}_4)_2$) ในสภาพกรดส่วนซิลิกา (SiO_2) ซึ่งไม่ละลายน้ำจะแยกทิ้งโดยการกรอง

2.4.1.4 นำสารละลายมาทำให้เป็นกลาง โดยการเติมสารละลายของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) เข้มข้น (NH_4OH ร้อยละ 25) ลงในสารละลายของเซอร์โคเนียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตเพื่อให้สารละลายเป็นกลาง ในขั้นตอนนี้เซอร์โคเนียมซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นเซอร์โคเนียมไฮดรอกไซด์ (Zirconium hydroxide ; $\text{Zr}(\text{OH})_4$) ซึ่งไม่ละลายน้ำและแยกออกได้โดยการกรอง

2.4.1.5 นำเซอร์โคเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มาทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นเซอร์โคเนียมไดออกไซด์หรือเซอร์โคเนีย

2.4.2 ประโยชน์และการนำไปใช้งาน

2.4.2.1 ใช้ผลิตรวัสดุประเภทเซรามิกเพื่อการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ วัสดุทนไฟ ฉนวนความร้อน สารขัดถู

2.4.2.2 เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่เสถียรใช้เป็นตัวตรวจจับออกซิเจน ส่วนประกอบในเซลล์เชื้อเพลิง

2.4.2.3 ใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบของเซอร์โคเนีย-ยิตเทเรียม นิยมนำมาใช้ในการพันเคลือบผิววัสดุอุปกรณ์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการให้มีสมบัติทนต่อความร้อน ทนต่อการกัดกร่อน สารเคมี ทนต่อการสีกร่อนสำหรับงานในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียมหรือในโรงงานเกี่ยวกับสารเคมี เป็นต้น

2.4.2.4 ใช้ผลิตรวัสดุทางการแพทย์ เช่น ใช้ทำหลักยึดของรากฟันเทียม ทำเตื่อยฟันสำหรับบูรณะฟัน

2.5 กระบวนการเตรียมผงด้วยวิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction)

[10]

การเตรียมผงสามารถเตรียมได้หลายวิธีกล่าวแยกตามกรรมวิธีได้ 3 ลักษณะ คือ

1. กรรมวิธีทางกล เช่น การใช้เครื่องกัดเนื้อโลหะการบดแตก การกัด การกลึง ขูด การเจาะ การหลอมโลหะให้เหลว แล้วเทผ่านตะแกรงตาถี่ที่ทนความร้อนสูงๆ ได้และการพ่นโลหะเหลว
2. กรรมวิธีทางเคมี เช่น การทำให้เกิดการตกตะกอนจากปฏิกิริยาทางเคมี
3. กรรมวิธีทางไฟฟ้าหรือเรียกว่าเป็นกรรมวิธีทางกายภาพ เช่น วิธีการแตกตัวของโลหะด้วยไฟฟ้า

2.5.1 กระบวนการบดผสมด้วยลูกบดโดยการสั่น (Vibration Mill)

กระบวนการบดผสมด้วยลูกบด เป็นกระบวนการที่อาศัยการสั่นประมาณ 10-20 เฮิร์ต โดยใส่ลูกบดที่มีขนาดแตกต่างกันในการบดผสมเพื่อให้ได้ผงที่ละเอียดและใส่สารช่วยหล่อลื่นในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดขวดพลาสติก เมื่อเกิดการสั่นลูกบดจะกระแทกเข้ากับสารตั้งต้น รวมทั้งการกระแทกกันเองของลูกบดทำให้เกิดสิ่งเจือปนได้เช่นกัน ผงของสารตั้งต้นจะเกิดการแตกหักและการเชื่อมกันซ้ำๆ จนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้ส่วนผสมไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการบด มีเพียงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเท่านั้น กระบวนการนี้เป็นการลดขนาดอนุภาคผงเฉลี่ย ลดขนาดรูพรุนและสิ่งแปลกปลอมเนื่องจากการบดด้วยวิธีนี้เป็นระบบปิดจะใช้เวลาในการบดจะทำให้อัตราการบดย่ำต่ำ (Grinding rate)

2.5.2 การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction)

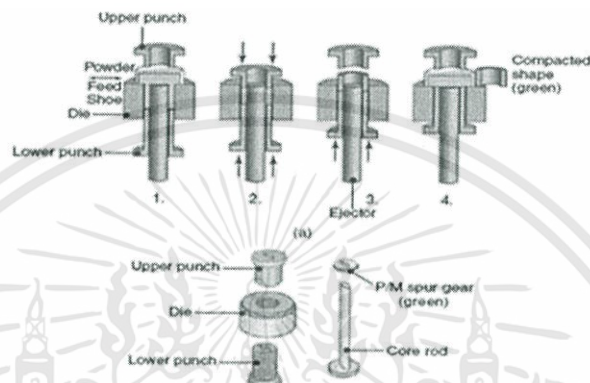
เป็นการเตรียมผงด้วยวิธีทางเคมีจากสารตั้งต้นที่มีสถานะเป็นของแข็งแล้วเกิดปฏิกิริยาได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กโดยผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วได้อนุภาคชนิดใหม่ในกระบวนการให้ความร้อนจะเรียกกระบวนการนี้ว่าการแคลไซน์ (Calcine) คือเมื่อให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นจะเกิดการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาแล้วได้เป็นสารประกอบออกไซด์ในสถานะของแข็งและแก๊ส การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็งนี้อาศัยหลักการแพร่ระหว่างอะตอมหรือไอออนเมื่อให้ความร้อนจนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันเกิดการหลอมจากนั้นอะตอมหรือไอออนจะเกิดการแพร่เข้าหากันแล้วเกิดปฏิกิริยาเป็นของแข็งชนิดใหม่ [11]

2.6 การอัดผง [12]

ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปจะเริ่มต้นด้วยการเตรียมผงตามสัดส่วนที่ต้องการขึ้นรูปขึ้นงานให้มีลักษณะกลมแบน ทำการอัดในแม่พิมพ์โลหะด้วยเครื่องอัดในระบบไฮดรอลิกที่มีแรงอัดสูงและอัดด้วยแรงอัดสม่ำเสมอ ซึ่งถ้าความดันสูงจะส่งผลให้เซรามิกที่ขึ้นรูปมีความหนาแน่นสูงไปด้วย โดยแม่พิมพ์ทำจากเหล็กชุบแข็ง ผงส่วนที่ติดกับแผ่นเหล็กชุบแข็งจะมีผิวเรียบ การอัดเซรามิกจะต้องทำให้ผงอัดตัวอย่างสม่ำเสมอ

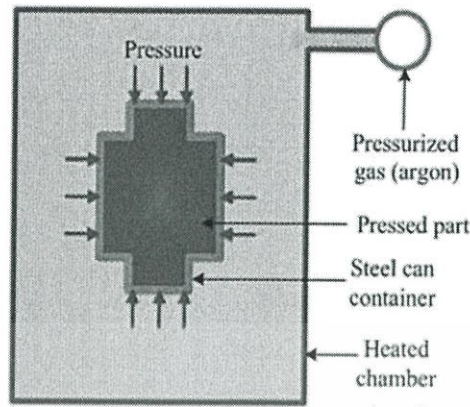
ทุกบริเวณและไม่มีจุดบกพร่อง (Defect) หรือรอยแตกร้าว (Crack) อยู่ภายในชิ้นงานเพื่อให้ได้ความหนาแน่นที่เหมาะสมการอัดผงอาจแบ่งได้เป็น 3 ระบบคือ

2.6.1 อัดตามแกนเดียว (Uniaxial) เป็นการใช้แรงอัดในทิศทางเดียวในการอัดผงโดยรูปร่างที่ได้จะขึ้นอยู่กับรอยในแม่พิมพ์เป็นการขึ้นรูปแบบง่าย อัตราการผลิตสูง ราคาถูก แต่ไม่เหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่และมีรูปร่างซับซ้อนดังแสดงในรูปที่ 2.5



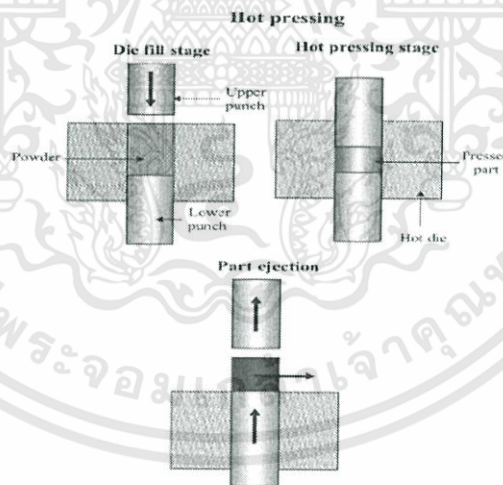
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแบบอัดตามแกนเดียว [12]

2.6.2 อัดแบบไอโซสแตติก (Isostatic หรือ Hydrostatic) เป็นการอัดแบบให้แรงอัดทุกทิศทางเท่าๆ กันโดยผงเซรามิกจะถูกใส่ไปในแม่พิมพ์ที่เป็นยางที่ทำมาจากยาง เช่น นีโอพรีน (Neoprene) ยูรีเทน (Urethane) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) และยางกลุ่มอื่นๆ การอัดด้วยวิธีการนี้มีอัตราการผลิตต่ำกว่าการอัดตามแกนเดียว (Uniaxial) เพราะเครื่องมีราคาแพงแต่เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การอัดแบบไอโซสแตติก [13]

2.6.3 อัดขณะร้อน (Hot pressing) ทำโดยการอัดผงและให้ความร้อนในเวลาเดียวกันโดย ภาวะที่ใส่ผงโลหะผสมนั้นจะทำจากโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงและใช้แรงดันในกลุ่มแก๊สเฉื่อย วิธีนี้ เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการความหนาแน่นสูงแต่วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลามากดังแสดง ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การอัดขณะร้อน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 กระบวนการเผาผนึก (Sintering) [14]

เป็นกระบวนการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวแต่ อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เกิดพันธะระหว่างอะตอมภายใต้ภาวะควบคุมบรรยากาศเป็นกระบวนการที่มี บทบาทสำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิตเนื่องจากการเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงในระดับหนึ่งเพื่อให้มี โครงสร้างจุลภาคและสมบัติตรงตามต้องการโดยอาศัยขั้นตอนหลัก 3 ประการคือ (1) การเกิดปฏิกิริยา ก่อนการเผาผนึก (Preheat/Pre-sintering zone) เป็นการเผาไล่สารยึดเหนี่ยวและกำจัดพวกแก๊สที่เกิด ขึ้นมาจากการแยกสลายองค์ประกอบออกซิเดชัน (2) การเผาผนึก (Sintering) เป็นการเผาเพื่อให้ อนุภาคเกิดการหลอมรวมกันและแน่นตัว (3) การลดอุณหภูมิลง (Cooling) เพื่อให้ชิ้นงานเกิดการเย็นตัว ที่อาจรวมถึงการอบเหน็ดด้วยความร้อนซึ่งการลดอุณหภูมิไม่ค่อยมีผลต่อผลิตภัณฑ์ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่มี ความไวต่ออุณหภูมิพฤติกรรมของการเผาผนึกนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพของรูปแบบการเผาผนึกประเภทต่างๆ [14]

2.7.1 ประเภทของกลไกการเผาผนึก

แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

2.7.1.1 การเผาผนึกแบบสถานะของแข็ง (Solid state sintering; SSS) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับเฟสที่เป็นของแข็งและรูพรุนเท่านั้นซึ่งการเผาชนิดนี้มักนิยมใช้งานในด้านเซรามิก

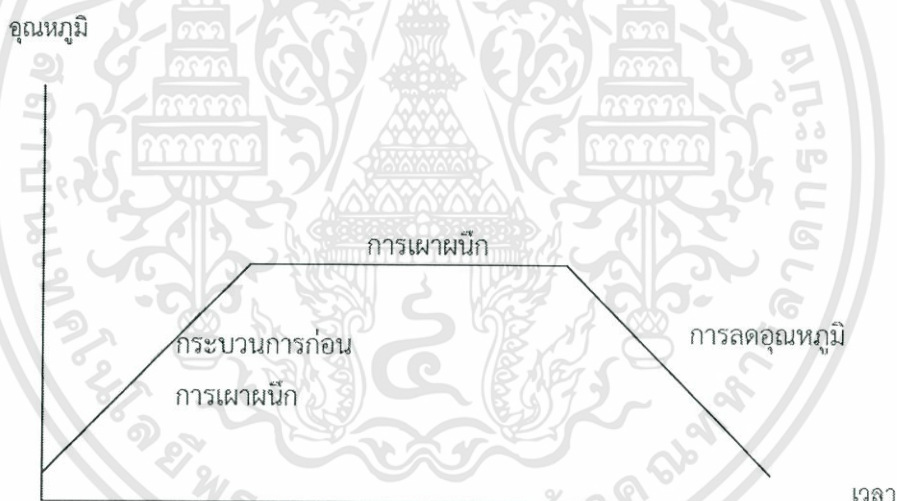
2.7.1.2 การเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลว (Liquid phase sintering; LPG) ซึ่งเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทั้งสามเฟสคือของแข็ง ของเหลวและรูพรุนแต่จะเน้นเฉพาะที่บริเวณส่วนประกอบที่เป็นของแข็งเนื่องจากวัสดุส่วนใหญ่่นั้น เป็นของแข็ง (มีของเหลวอยู่ไม่เกินร้อยละ 20)

2.7.1.3 การเผาผนึกแบบแก้วหนืด (Viscous glass sintering; VGS) เป็นกระบวนการหลอมแก้วซึ่งเป็นกลไกที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการแน่นตัวหรือที่เรียกว่าการไหลหนืด (Viscous flow) เช่นในการเคลือบผิว (Glazing หรือ Enamelling) โดยจะเกี่ยวข้องกับของเหลว (แก้วที่หลอม) และรูพรุน

2.7.1.4 การเผาผนึกแบบผสมวัสดุผสมหนืด (Viscous composite sintering; VCS) หรือไวไตรฟิเคชัน (Vitrification) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทั้งสามเฟสและมีปริมาณของเหลวอยู่มากกว่าการเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลวซึ่งมีของเหลวมากกว่า 20% และเป็นบริเวณของการเผาผนึกที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

2.7.2 กระบวนการเผาผนึก

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.9 สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 กระบวนการเผาผนึก [14]

2.7.2.1 กระบวนการก่อนการเผาผนึก (Preheat/Pre-sintering zone)

เป็นกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์และสารยึดเหนี่ยวด้วยความร้อนที่ตกค้างอยู่ภายในชิ้นงานหลังจากการอบแห้งนับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งก่อนที่วัสดุจะเกิดการแน่นตัวด้วยการเผาผนึกเพราะการกำจัดสารยึดเหนี่ยวที่ไม่สมบูรณ์มักทำให้เกิดตำหนิหรือรูพรุนในชิ้นงาน ดังนั้นเราควร

เลือกใช้สารยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมแก่ชนิดของผลิตภัณฑ์และการควบคุมการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ภายใต้สภาวะบรรยากาศที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้ชิ้นงานไม่มีการบิดเบี้ยว เกิดรอยร้าวหรือรูพรุน การเผาไล่สารยึดเหนี่ยวนั้นขึ้นกับองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ทำเป็นสารยึดเหนี่ยวและพฤติกรรมทางกายภาพของวัสดุที่อยู่รอบๆตัวผลิตภัณฑ์และอยู่ภายในรูพรุนของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างจุลภาคของสารอินทรีย์ เนื่องจากการเผาไล่สารยึดเหนี่ยวออกจากผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

2.7.2.2 การเผาผนึกแบบสถานะของแข็ง (Sintering)

การเผาผนึก (Sintering) คือกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้อนุภาคเกิดการสร้างพันธะระหว่างอนุภาคใกล้เคียงกันอย่างสมดุลโดยมีโครงสร้างหลักเป็นของแข็งแล้วมีการเคลื่อนย้ายมวลด้วยกระบวนการแพร่ การเคลื่อนย้ายมวลในวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกจะเกิดขึ้นในเส้นทางเฉพาะหนึ่งๆ และจะเป็นตัวกำหนดกลไกการเผาผนึกการเคลื่อนย้ายมวลนั้นจะเกิดขึ้นจากบริเวณที่มีศักย์ทางเคมีสูงหรือที่เรียกว่าแหล่งเริ่มต้นของมวลสารไปสู่บริเวณที่มีศักย์ทางเคมีต่ำที่เรียกว่าปลายทางของมวลสาร

2.7.3 การเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาผนึก

เนื่องกระบวนการขึ้นรูปโลหะผงจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกคือการคัดแยกผงโลหะ ขั้นที่สองคือการขึ้นรูปชิ้นงานก่อนที่จะนำไปเผาผนึก และขั้นสุดท้ายคือการเผาผนึกปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาผนึกได้แก่

2.7.3.1 ขนาดของอนุภาคขนาดอนุภาคที่ดีควรมีขนาดเท่ากันซึ่งขนาดของผงโลหะที่ต่างกันเมื่อได้รับความร้อนเกรนจะเกิดการเติบโตที่ต่างกันเกรนที่มีขนาดเล็กก็จะมีแนวโน้มในการโตที่ช้ากว่าเกรนที่มีขนาดใหญ่เมื่อได้รับความร้อนเท่ากัน

2.7.3.2 คุณสมบัติทางเคมี ในการผลิตชิ้นงานจะต้องใช้ผงในกระบวนการผลิตซึ่งประกอบด้วยธาตุหลายชนิดที่ผสมกันมีทั้งที่บริสุทธิ์และมีออกไซด์ผสมอยู่ส่งผลต่อการเกิดพันธะทางเคมีในกระบวนการผลิตจะส่งผลโดยตรงต่อชิ้นงาน

2.7.3.3 ความสามารถในการรับแรงอัดของผงเซรามิก ซึ่งลักษณะผงที่มีขนาดและรูปร่างที่ต่างกันจะส่งผลต่อขนาดของแรงที่บีบอัดเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานต่างกัน การยุบหรือการหดตัวเชิงปริมาตรของมวลผงจะเปลี่ยนได้โดยที่น้ำหนักคงที่

2.7.3.4 ความละเอียดของผงเซรามิกสามารถเตรียมได้โดยการเตรียมทางเคมีหรือการเตรียมแบบเชิงกลเพื่อให้ได้ผงที่มีความละเอียด ขนาดของผงที่ไม่เท่ากันก่อให้เกิดอุปสรรคในการผลิตชิ้นงานดังนั้นก่อนนำผงไปใช้งานควรมีการคัดขนาดผงให้เท่ากันก่อนโดยการร่อนผ่านตะแกรง

2.7.3.5 การจัดเรียงตัวของอนุภาค การกระจายตัวของอนุภาคหลังจากผสมวัตถุดิบโดยการบดละเอียดจะมีผลต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคซึ่งจะส่งผลให้ขนาดและรูปร่างของช่องว่างระหว่าง

อนุภาคเปลี่ยนไปสามารถแบ่งการจัดเรียงตัวของอนุภาคได้ 2 ประเภทคือ 1.1) การจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบโดยขนาดอนุภาคเท่ากัน 1.2) การจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบโดยขนาดอนุภาคหลากหลาย 2.1) การจัดเรียงตัวแบบสุ่มโดยขนาดอนุภาคเท่ากัน 2.2) การจัดเรียงตัวแบบสุ่มโดยขนาดอนุภาคหลากหลาย ซึ่งการจัดเรียงตัวที่ดีควรมีขนาดที่หลากหลายจะทำให้เกิดการแน่นตัวมากขึ้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกจัดเรียงและกระจายตัวในช่องว่างที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดและอัตราส่วนของรูพรุนลดลง อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กต้องมีขนาดเล็กพอที่จะแทรกตัวไปอยู่ระหว่างช่องว่าง

2.7.3.6 ตัวประสานช่วยในการควบคุมอนุภาคให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ สารยึดเหนี่ยว (Binder) สารเพิ่มความเหนียว (Plasticizers) สารช่วยกระจาย (Dispersant or deflocculant) และสารหล่อลื่น (Lubricant) ซึ่งการใช้ตัวประสานนี้บางกระบวนการผลิตอาจใช้ทั้ง 4 ตัวหรือบางกระบวนการผลิตใช้ไม่ครบทุกตัวขึ้นกับกระบวนการผลิตนั้นๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 Sumrit Mopoung, Nimit Srprang, Jutatip Namahoot [15]

ได้ทำการศึกษาการเผาชิ้นงานตัวกรองเซรามิกโดยควบคุมปริมาณรูพรุนเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการผสมวัตถุดิบในแต่ละอัตราส่วนระหว่างซีโอไลต์ เบนไนท์ เคโอลิไนท์ และถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการแบบเปียก ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณร้อยละโดยมวลของถ่านกัมมันต์ที่ 0.5 -1.50 เป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุนสำหรับอุณหภูมิในการเผาผนึกอยู่ที่ 1000 องศาเซลเซียส และ 1100 องศาเซลเซียส ก่อนจะได้ชิ้นงานออกมา และเมื่อนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์พบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักที่ซีโอไลต์ร้อยละ 85, เบนโทไนท์ร้อยละ 8, เคโอลิไนท์ร้อยละ 6-6.5 และถ่านกัมมันต์ร้อยละ 0.5-1 อุณหภูมิการเผาผนึก 1000 องศาเซลเซียส เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากชิ้นงานตัวกรองเซรามิกมีรูพรุนสูง มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.2-0.5 ไมโครเมตรและมีอัตราการหดตัวที่ต่ำ สำหรับที่อุณหภูมิการเผาผนึก 1100 องศาเซลเซียส จากตรวจสอบชิ้นงานพบว่า มีรูพรุนต่ำและอัตราการหดตัวสูงจึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

2.8.2 Hyun-Jin Choi, Jeong-Uk Kim, Hyun-Sang Kim, Sung Hyun Kim, Myong-Hwa Lee [16]

ได้ทำการศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิในการเผาผนึกชิ้นงานตัวกรองเซรามิกที่อุณหภูมิ 1350, 1400, 1450, 1500 และ 1550 องศาเซลเซียส ซึ่งงานวิจัยนี้วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผนึกและปริมาณรูพรุน และสัดส่วนปริมาณวัตถุดิบโดยน้ำหนักสำหรับการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิกคือ ซิลิกอนคาร์ไบด์ร้อยละ 73.77, มัลไลต์ร้อยละ 3.69, เซอร์โคเนียร้อยละ 3.69, คาร์บอน-ซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.64, แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.82 และน้ำร้อยละ 16.39 พบว่าการเผาผนึก

ตัวกรองเซรามิกที่อุณหภูมิที่ 1450 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลที่สูงและมีปริมาณรูพรุน 37.46 เปอร์เซ็นต์ แต่การเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณรูพรุนต่ำมีค่าเท่ากับ 36.26 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมตัวอย่างคือ 1350 และ 1400 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีร้อยละปริมาณรูพรุนสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นคือ 45.97 และ 40.80 ตามลำดับ

2.8.3 Ming-Qin Jiang, Xiao-ying Jin, Xiao Qiao Lu, Zu-liang Chen [17]

ได้ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนักชนิด Pb(II), Cd(II), Ni(II) และ Cu(II) ด้วยดินขาวเกาหลีนออกจากน้ำเสีย สำหรับการใช้น้ำดินขาวเกาหลีเป็นตัวดูดซับจะมีการให้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างดินขาวเกาหลีและสารละลายที่มีโลหะหนักเจือปนตั้งแต่ที่ 2 นาทีถึง 40 นาที พบว่าจากผลการวิเคราะห์หึ่งที่ระยะเวลาการสัมผัสเป็นเวลานาน จะส่งผลถึงประสิทธิภาพความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น และระยะเวลาการสัมผัสที่ 30 นาทีเป็นเวลาที่ดีที่สุดดินขาวเกาหลีสามารถทำการดูดซับได้อย่างรวดเร็วและกำจัดโลหะได้ โดยความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเรียงจากมากไปน้อยที่เวลา 30 นาทีได้ดังนี้ 90% Pb(II), 72% Ni(II) 68%, Cd(II) และ 53% Cu(II) ตามลำดับ ดังนั้นตัวดูดซับดินขาวเกาหลีสามารถดูดซับโลหะหนักชนิดตะกั่วได้ดีกว่า ณ ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน และเมื่อให้ระยะเวลาสัมผัสของตัวดูดซับมากกว่า 60 นาทีขึ้นไป พบว่าจะยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถของตัวดูดซับ ซึ่งได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องวัดการดูดกรองแสงของอะตอม (AAS)

2.8.4 Sandhya Babel, Tonni Agustiono Kurniawan [18]

ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับหาแนวทางตัวดูดซับต้นทุนต่ำที่สามารถดูดซับโลหะหนักออกจากรน้ำเสีย พบว่าดินขาวเกาหลีมีความสามารถในการทำหน้าที่ดูดซับโลหะหนักประเภท Zb(II) ได้ดี โดยค่าความสามารถในการดูดซับคือ 1.25 mg/g และเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการดูดซับคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ ซึ่งเป็นไปตามสมการของแลงเมียร์ โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในสภาวะนี้คือ มีอุณหภูมิต่ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสมบัติของดินขาวเกาหลียังมีข้อดีคือ ไม่เกิดการบวมตัวเมื่อมีการดูดซับน้ำ ดินขาวเกาหลีเมื่อนำไปประยุกต์กับซีเมนต์หรือแร่โวลาสโทไนส์ พบว่าความสามารถในการดูดซับจะขึ้นกับอุณหภูมิในระบบและดูดซับโลหะหนักประเภท Pb(II) ได้ดี

2.8.5 Ewelina Káosek-Wawrzyn, Jan Maáolepszy, PaweáMurzyn [19]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของเซรามิกที่เป็นผลมาจากอุณหภูมิการเผาผนึก ซึ่งเซรามิกในที่นี้มีส่วนประกอบเป็นดินขาวเกาหลีและแคลไซต์ตามอัตราส่วนต่างๆ ที่ผู้ศึกษาได้กำหนดและเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1220 -1350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่นิยมเผาเซรามิกประเภทเซรามิกอุตสาหกรรม กระเบื้องและเซรามิกฟอร์ซเลน โดยงานวิจัยนี้วิเคราะห์ถึงอุณหภูมิการเผาผนึกที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและพบว่าการเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เซรามิกมีความแข็งแรงต่อความโค้งงอมากกว่าการเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับความหนาแน่นปรากฏที่มีการแปรผันตามอุณหภูมิ และพบว่าเซรามิกที่

มีอัตราส่วนร้อยละของดินขาวเกาหลีที่ 85 มีปริมาณรูพรุนเปิดน้อยกว่าเซรามิกที่มีอัตราส่วนร้อยละของดินขาวเกาหลี 90

2.8.6 C. Venturelli, M. Paganelli [3]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่เป็นผลจากการเผาผนึก โดยงานวิจัยนี้ได้พบว่าน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของแร่ดินนั้นมีความสำคัญต่อสมบัติต่างๆ ของเซรามิกและมีผลต่อกระบวนการผลิตเซรามิกอีกด้วย จากการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนของเซรามิกพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสขึ้นไป เซรามิกจะเกิดการหดตัวขณะการเผาผนึกและเกิดการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น ซึ่งสามารถบอกได้ว่าปริมาตรของเซรามิกนั้นได้ลดลงไปด้วย ในระหว่างการเผาผนึกนั้นพลังงานพื้นผิวของเซรามิกได้ลดลง เนื่องจากเซรามิกได้รับความร้อนแล้วเกิดการทำลายอนุภาคทำให้พื้นผิวเกิดการแยกออกจากกันในส่วนบางส่วนและเกิดการทำลายพันธะเคมี ซึ่งจะพบว่าผลการเผาผนึกนั้นเป็นการทำให้พันธะเคมีของเซรามิกลดลงและในส่วนของการเผาผนึกในช่วงอุณหภูมิต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียสขึ้นไปเซรามิกจะมีการหลอมตัวเกิดขึ้น

2.8.7 K.C. Cheung, D.W. Darvell [21]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดลักษณะที่ปรากฏและรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกประเภทพอร์ซเลนสำหรับการทันตกรรม เพื่อให้ทราบถึงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเซรามิกประเภทพอร์ซเลนสำหรับการทันตกรรม โดยเซรามิกประเภทพอร์ซเลนสำหรับการทันตกรรมนั้นจะต้องมีลักษณะภายนอกที่สวยงาม มีความแข็งแรงซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของรูพรุนภายในลดความโปร่งแสง และมีความทนทานไม่แตกหักง่าย จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบการเผาผนึกที่เหมาะสมเพื่อจะได้เซรามิกที่ดีตามต้องการ ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าการกระจายตัวของรูพรุนในชิ้นงานจะเกิดจากการเผาผนึกที่เวลาและอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยการเผาผนึกที่ใช้เวลานานและใช้อุณหภูมิสูงจะเกิดปริมาณรูพรุนเพียงเล็กน้อย ส่วนการเผาผนึกที่ใช้เวลานานและใช้อุณหภูมิสูงจะพบการเกิดปริมาณรูพรุนที่มากกว่าเงื่อนไขแรก และจากงานวิจัยสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการเผาผนึกมีผลต่อการเกิดรูพรุนมากกว่าเวลาในการเผาผนึก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสารเคมี วัสดุอุปกรณ์ กระบวนการเตรียม และการหา ลักษณะเฉพาะของเซรามิกทั้ง 2 อัตราส่วนคือ Kaolin:CMC ที่ 80:10 70:20 โดยจะเริ่มตั้งแต่การ เตรียมผง การเตรียมชิ้นรูปชิ้นงานเซรามิก และการตรวจวัดสมบัติต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบสมบัติ ทางความร้อน (TGA) การทดสอบความทนทานต่อกรด การตรวจสอบการหดตัว ปริมาตรรวม การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ปริมาตรรูพรุนเปิด การตรวจสอบลักษณะพื้นที่ผิว (SEM) และ วิเคราะห์หาขนาดรูพรุน

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 ดินขาวเกาลิน (Kaolin) เกรด INDUSTRIAL ผลิตโดยบริษัท CHEMIPAN
- 3.1.2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose : CMC) เกรด INDUSTRIAL ผลิตโดยบริษัท CHEMIPAN
- 3.1.3 ซีโอไลต์ ชนิด HZSM-5 (Zeolite HZSM-5) Series HSZ-800-840NHA ผลิตโดยบริษัท TOSOH
- 3.1.4 เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) เกรด ANALYSIS ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- 3.1.5 เอทานอล ความบริสุทธิ์ 95% ผลิตโดยองค์การสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.2.1 ครอบพลาสติกพร้อมฝาปิด
- 3.2.2 ครอบบอกร้ากั้น
- 3.2.3 ลูกบดเซอร์โคเนีย (Zirconia ball) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 5.0 และ 10.0 มิลลิเมตร
- 3.2.4 ช้อนตักสารพลาสติก
- 3.2.5 ช้อนตักสารสแตนเลส (Spatula)
- 3.2.6 คีมหนีบ (Forceps)
- 3.2.7 ปีกเกอร์ขนาด 250 600 และ 1000 มิลลิลิตร
- 3.2.8 ถังซีป्लीคพลาสติกขนาด 7x10 และขนาด 12x15 เซนติเมตร
- 3.2.9 แท่งแม่เหล็กสำหรับปั่นกวนสาร (Magnetic bar)
- 3.2.10 อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.11 ตะแกรงกรอง
- 3.2.12 โกร่งบดสาร
- 3.2.13 ตะแกรงขนาด 80 เมช
- 3.2.14 แม่พิมพ์โลหะสำหรับอัดขึ้นรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร
- 3.2.15 แผ่นให้ความร้อน (Hot plate) พร้อมตัวผสมสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 3.2.16 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (vernier caliper) ระบบดิจิทัล ความละเอียด 0.01 mm
- 3.2.17 เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก ผลิตโดยบริษัท KC HYDRAULIC รุ่น Model 30
- 3.2.18 เครื่องชั่งดิจิทัล ความละเอียด 0.0001 กรัม
- 3.2.19 เครื่องบดผสมแบบเม็ดบอล
- 3.2.20 ตู้อบสารอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส
- 3.2.21 เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงประมาณ 1400 องศาเซลเซียส
- 3.2.22 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis : TGA) ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris 1
- 3.2.23 เครื่องตรวจการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction : XRD) ผลิตโดยบริษัท Shimadzu รุ่น XRD-6100
- 3.2.24 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) ผลิตโดยบริษัท Carl Zeiss รุ่น EVO® MA10

3.3 กระบวนการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิก

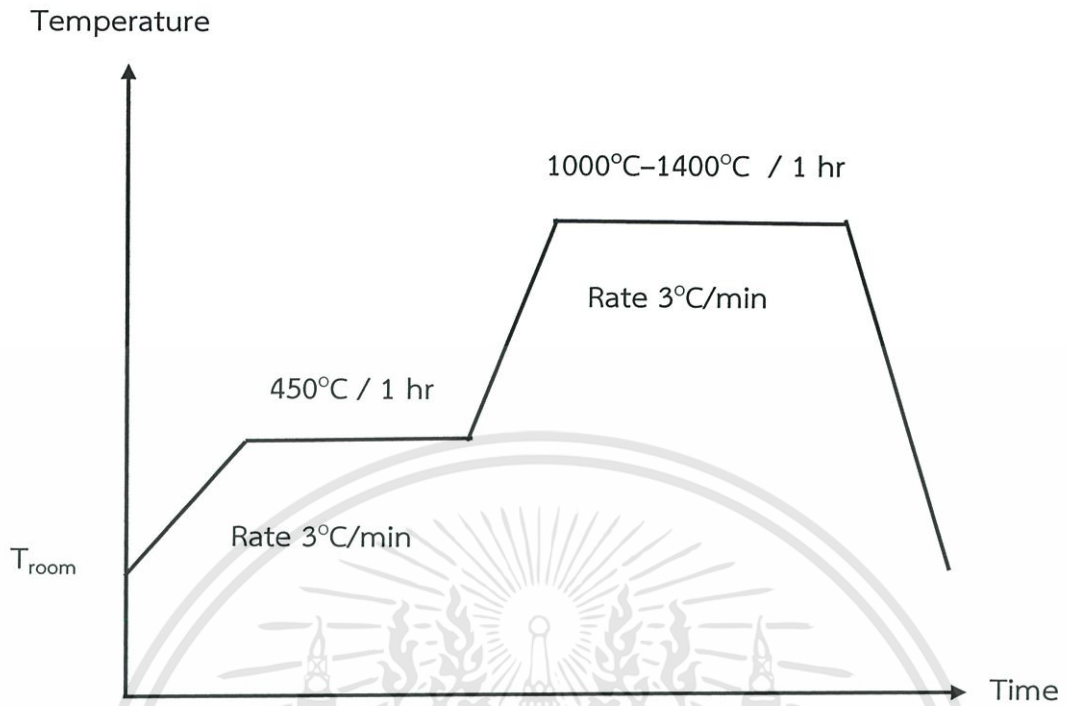
1. คัดขนาดสารตั้งต้นได้แก่ ดินขาวเกาหลีน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซีโอไลต์ และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช
2. ชั่งน้ำหนักสารตั้งต้นได้แก่ ดินขาวเกาหลีน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซีโอไลต์ และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์บนกระดาษชั่งในปริมาณต่างๆ ที่กำหนด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

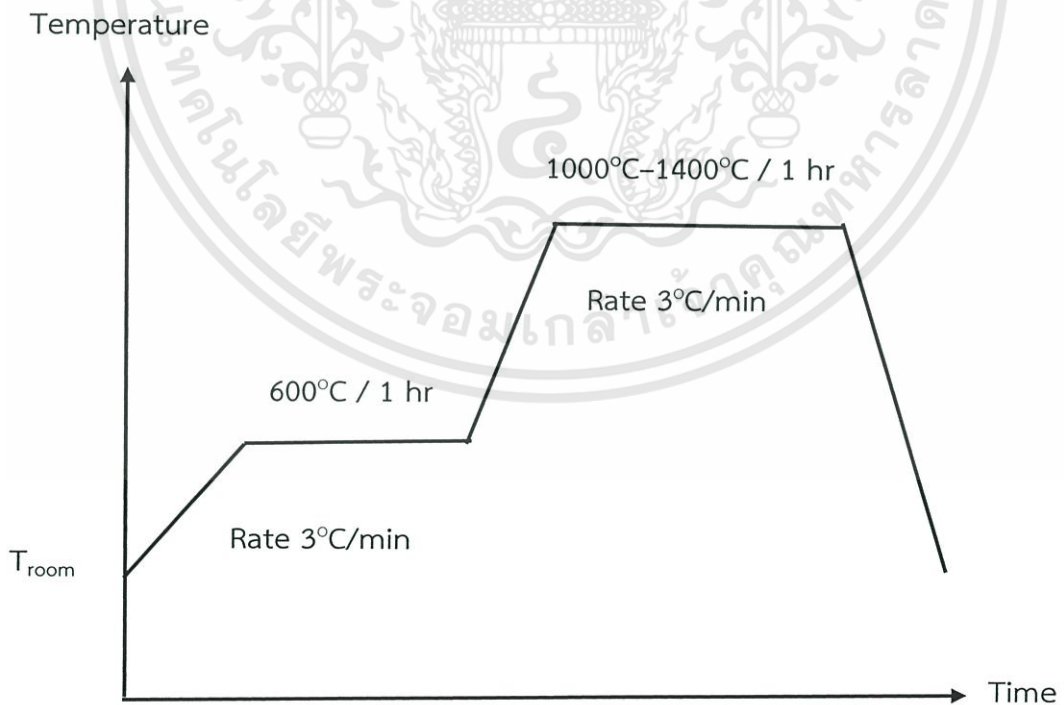
สารตั้งต้น ตัวอย่าง	Kaolin (wt%)	Carboxymethyl Cellulose (CMC) (wt%)	Zeolite (wt%)	Zirconia (ZrO ₂) (wt%)
1	80	10	5	5
2	70	20	5	5

3. นำไปบรรจุใส่ขวดที่มีลูกบดเซอร์โคเนีย (Zirconia ball) บรรจุอยู่ แล้วเติมตัวทำละลายเอทานอล จากนั้นทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมแกนเม็ดบอล (Ball Milling) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
4. นำสารผสมมากรองโดยใช้ตะแกรงกรองสี่ปิกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิเมตรและใช้ตัวทำละลายเอทานอลชะล้างลูกบดจนสะอาด
5. ใส่แม่เหล็กลงในบีกเกอร์และนำไปประเหยตัวทำละลายเอทานอลบนแผ่นให้ความร้อนโดยทำการปั่นกวตตลอดเวลา เมื่อสารละลายระเหยออกจะแห้งจะเหลือตะกอนของสารที่ต้องการ นำไปอบไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
6. นำสารที่อบแห้งแล้วออกจากบีกเกอร์ จากนั้นนำสารไปบดให้ละเอียดด้วยโกร้งบดสารแล้วเก็บใส่ภาชนะปิดสนิท
7. นำสารที่ได้ไปชั่งน้ำหนักบนอวลูมิเนียมฟอยล์ จำนวน 3 กรัม
8. นำสารที่ชั่งน้ำหนักแล้วบรรจุใส่ในแม่พิมพ์โลหะสำหรับอัดขึ้นรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 เมกะพาสคาล โดยใช้แรงและเวลาในการอัด ดังนี้
 - แรงอัด 10 เมกะพาสคาล 30 วินาที
 - แรงอัด 20 เมกะพาสคาล 30 วินาที
 - แรงอัด 30 เมกะพาสคาล 90 วินาที
9. นำชิ้นงานไปเผาผืนึกด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 1000 – 1400 องศาเซลเซียส โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการเผาผนึกของชิ้นงานเซรามิกที่เผาแคลไซน์ 450°C



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการเผาผนึกของชิ้นงานเซรามิกที่เผาแคลไซน์ 600°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบความทนทานต่อกรด

วิธีการทดสอบมีดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง บันทึกผลเป็นน้ำหนักก่อนแช่กรด
2. เจือจางกรด HCl กับน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 3 %v/v
3. นำชิ้นงานเซรามิกแช่ในกรด HCl เจือจาง โดยให้ส่วนผิวหน้าของเคลือบสัมผัสกับน้ำกรดให้ทั่ว พื้นผิวแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
4. เมื่อครบ 72 ชั่วโมง แล้วนำไปอบให้แห้ง
5. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานเซรามิก บันทึกผล จากนั้นนำไปคำนวณดังสมการที่ 3.1

$$\% \text{ Weight loss} = [(W_d - W_f) / W_d] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานเซรามิกก่อนแช่กรด

W_f คือ น้ำหนักของชิ้นงานเซรามิกหลังแช่กรด

3.5 การหาค่าการหดตัวของเซรามิกหลังการเผาผนึก (Firing shrinkage)

หลังจากทำการเผาผนึกเซรามิกแล้ว นำชิ้นงานมาตรวจวัดการหดตัวของเซรามิกหลังเผาในรูปของการหดตัวเชิงเส้น โดยคำนวณหาจากเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนและหลังการเผาผนึก โดยอาศัยสมการที่ 3.2

$$\% \text{ Firing shrinkage} = [(D_d - D_f) / D_d] \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ D_d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเซรามิกก่อนเผา

D_f คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเซรามิกหลังเผา

3.6 การหาค่าปริมาตรของชิ้นงานเซรามิก

อาศัยหลักการของอาร์คิมิดีส โดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างชิ้นงานเซรามิกจดบันทึกน้ำหนัก W_1
2. นำเซรามิกไปต้มกับน้ำกลั่น โดยให้น้ำกลั่นท่วมเม็ดเซรามิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยการเติมน้ำเพิ่มหากปริมาณน้ำลดลง
3. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เซรามิกต้องอยู่ในน้ำตลอดเวลา
4. ทำการชั่งน้ำหนักของเซรามิกที่อมน้ำโดยการแทนที่น้ำให้น้ำหนักเป็น W_2
5. นำเซรามิกที่ผ่านการต้มออกมาชั่งโดยใช้กระดาษทิชชูเปียกซับน้ำส่วนเกินออก W_3 (ภายใน 1 นาที) แล้วนำมาคำนวณค่าต่างๆ จากสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรรวม} &= (W_1 - W_2 / \rho_0) + (W_3 - W_1 / \rho_0) \\
 &= (W_3 - W_2 / \rho_0) \\
 \text{ปริมาตรรูพรุนเปิด} &= W_3 - W_1 / \rho_0
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

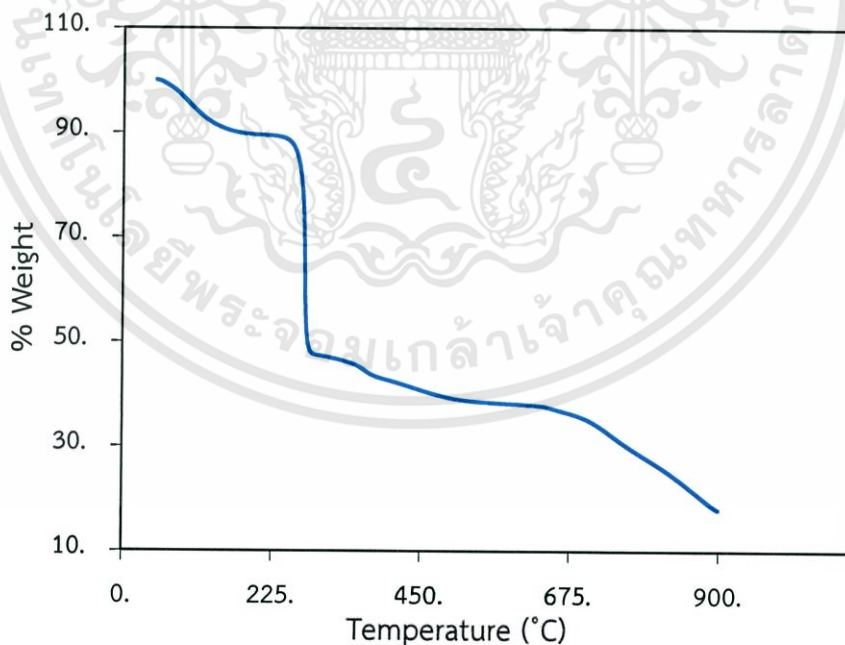
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตตัวกรองเซรามิกสำหรับการดูดซับประเภทเซรามิก จากการใช้ดินขาวเกาหลีเป็นวัตถุดิบหลัก และใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน โดยใช้อัตราส่วนในการผสมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 10 และ 20 จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปและเผาผนึก โดยกำหนดอุณหภูมิการเผาจากผลการทดลองการตรวจสอบสมบัติทางความร้อน (TGA) และทำการตรวจวัดสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบความทนทานต่อกรด การตรวจสอบการหดตัว ปริมาตรรวม การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ปริมาตรรูพรุนเปิด และการตรวจสอบลักษณะพื้นที่ผิว (SEM)

4.1 การตรวจวิเคราะห์สารตั้งต้นด้วยเทคนิค TGA

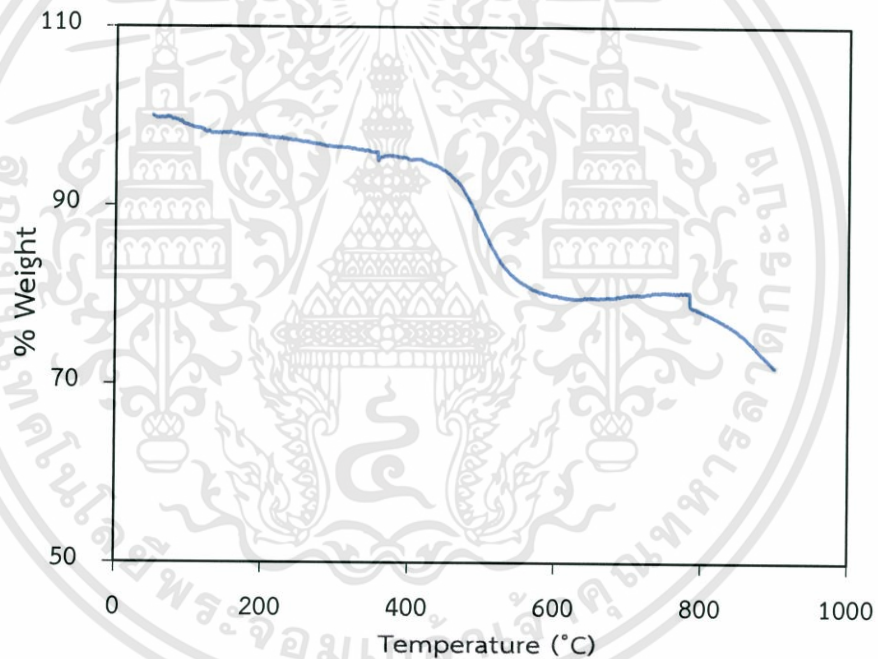
ในการหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนโดยใช้การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA (Thermal gravimetric analysis) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงทางน้ำหนักของสารตัวอย่างในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ดังนี้



รูปที่ 4.1 ผลการตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ CMC

ผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของ CMC ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า CMC มีการสูญเสียน้ำหนักซึ่งเกิดจากความชื้นที่มีอยู่ใน CMC ในช่วงอุณหภูมิ 50 - 216 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 10.5 จากนั้นพบการสลายตัวทางความร้อนซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ใน CMC ในช่วงอุณหภูมิ 241 - 305 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 41.8 และยังพบการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 647 - 900 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 20.0 เป็นการสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ โดยการสลายตัวทางความร้อนของ CMC ทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 72.3 ส่วนที่เหลืออยู่เป็นโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการทำโพลีเมอไรเซชันและเหลือเถ้าหนักที่ไม่สามารถสลายตัวได้ในอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิที่เผาแคลไซน์ควรไม่ต่ำกว่า 305 องศาเซลเซียส เพื่อให้ CMC ได้สลายตัวออกและคงโครงสร้างให้มีลักษณะเป็นรูพรุน

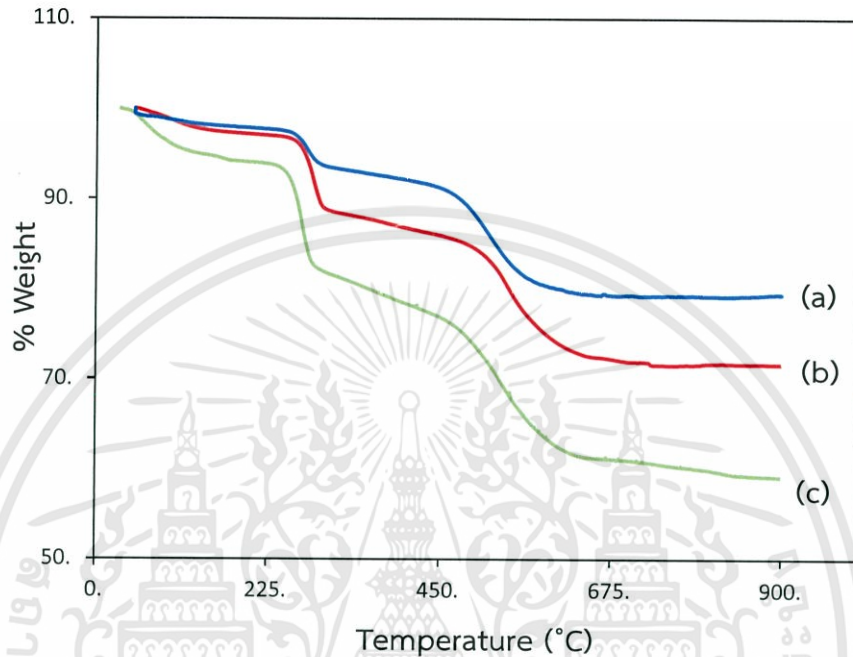


รูปที่ 4.2 ผลการตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของดินขาวเกาหลี

ผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของดินขาวเกาหลี ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าดินขาวเกาหลี มีการสูญเสียน้ำหนัก ในช่วงอุณหภูมิ 410 - 569 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 15.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ S. CHANDRASEKHAR ซึ่งเป็นการสลายตัวของน้ำในโครงสร้างผลึก ในช่วงอุณหภูมิ 450 - 550 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 13.9 [23] จากนั้นพบการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 722 - 900 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 7.0 เป็นการสลายตัวของสารอินทรีย์และเกิดการหลอมตัวของโครงสร้างดินขาวเกาหลีจากมัลไลต์เป็นสปินเนล (Spinel) จากผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของดินขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาลิน พบว่าอุณหภูมิเผาแคลไซน์ที่เหมาะสมไม่ควรต่ำกว่า 410 องศาเซลเซียส เพื่อให้โครงสร้างเกิดรูพรุนและอุณหภูมิการเผาผนึกควรมากกว่า 900 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินขาวเกาลินจากมัลไลต์เป็นสปินเนล



รูปที่ 4.3 ผลการตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนร้อยละของ CMC (a) CMC 10, (b) CMC 20 และ (c) CMC 30

จากการศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนขององค์ประกอบหลักของชิ้นงานเซรามิกคือ CMC และดินขาวเกาลิน โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 CMC 20 และ CMC 30 ทั้งหมด 3 ตัวอย่างพบว่าชิ้นงานเซรามิกที่มีการสลายตัวทางความร้อนที่สำคัญ 4 ช่วงอุณหภูมิคือ การสลายตัวของน้ำหรือความชื้นที่ดูดซึมอยู่ภายในเส้นใยของ CMC มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงตั้งแต่การให้ความร้อนที่ 50 – 220 องศาเซลเซียส การสลายตัวในช่วงที่ 2 คือการสลายตัวทางความร้อนของสารอินทรีย์ใน CMC อุณหภูมิอยู่ในช่วง 220 – 320 องศาเซลเซียส และการสลายตัวในช่วงที่ 3 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 440 – 630 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดินขาวเกาลิน และในช่วงการสลายตัวช่วงสุดท้าย อุณหภูมิอยู่ในช่วง 650 – 900 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวทางความร้อนของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ใน CMC และการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินขาวเกาลินและเกิดการหลอมตัวของโครงสร้างดินขาวเกาลินจากมัลไลต์เป็นสปินเนล

โดยการสลายตัวทางความร้อนของชิ้นงานเซรามิก CMC 10, CMC 20 และ CMC 30 นั้น มีร้อยละโดยน้ำหนักของการสลายตัวทางความร้อนอยู่ที่ 17.6, 26.7 และ 35.5 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับปริมาณอัตราส่วนของ CMC ที่เป็นองค์ประกอบภายในชิ้นงานเซรามิก โดยพบว่าเมื่ออัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของ CMC มีมากขึ้นจะมีร้อยละการสลายตัวทางความร้อนของ

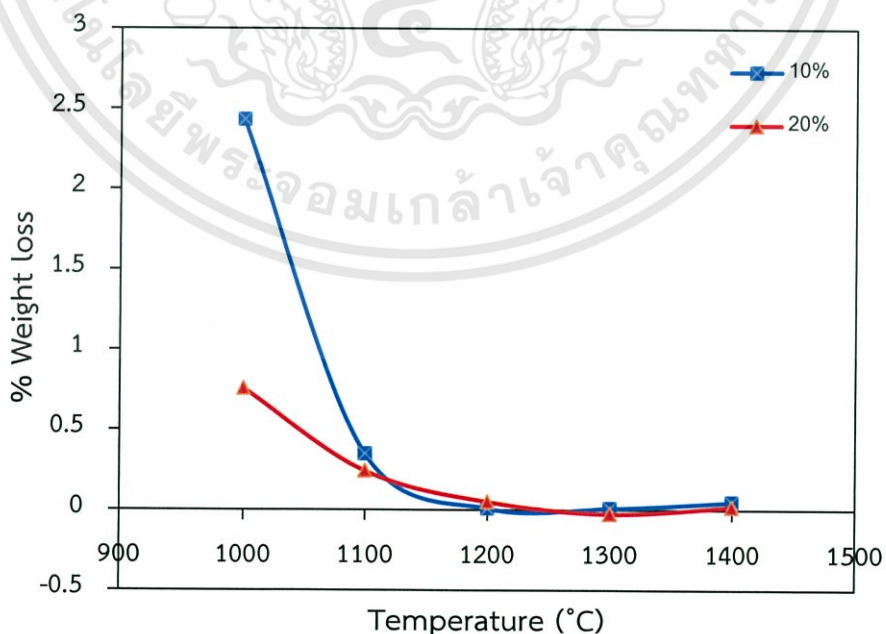
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานเซรามิกสูงขึ้น เนื่องจากในการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนที่กำหนดพบการสลายตัวทางความร้อนของสารตั้งต้นและเกิดการหลอมตัวของโครงสร้างภายในของชิ้นงานเซรามิกและช่วงอุณหภูมิของการสลายตัวสอดคล้องกับอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ CMC อีกด้วย และได้พบว่าการสลายตัวทางความร้อนของชิ้นงานเซรามิกมีความสอดคล้องกับการสลายตัวทางความร้อนของ CMC และดินขาวเกาหลี ซึ่งเป็นผลให้การวิจัยในครั้งนี้เลือกการให้ความร้อนในการเผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดรูพรุนภายในชิ้นงานเซรามิก ซึ่งเป็นรูพรุนที่เกิดจากการสลายตัวทางความร้อนของ CMC โดยที่องค์ประกอบของดินขาวเกาหลียังคงอยู่ในชิ้นงานเซรามิก

จากการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Hyun-Jin Choi และคณะ [16] สามารถเลือกอุณหภูมิการเผาไหม้ที่เหมาะสมได้ คือ 1000, 1100, 1200, 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำให้ชิ้นงานเซรามิกเกิดการหลอมตัวส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน เพื่อให้มีประสิทธิภาพความทนทานต่อน้ำเสีย ซึ่งมีค่าความเป็นกรดที่ pH 3 - 4

4.2 การทดสอบความทนทานต่อกรด

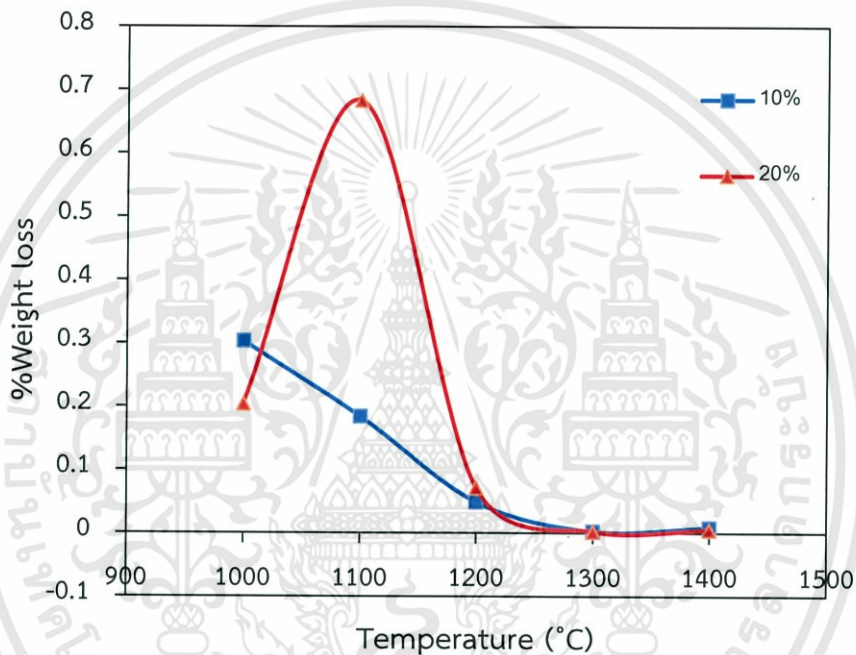
เป็นการทดสอบความทนทานต่อสารเคมีประเภทกรด โดยเลือกใช้กรด HCl เข้มข้น 3 %v/v เพื่อศึกษาผลของการสูญเสียโดยน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นงานเซรามิก



รูปที่ 4.4 การทนทานต่อกรดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์กราฟที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ทั้งชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นสูงสุด โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีการสูญเสีย น้ำหนักเท่ากับร้อยละ 2.4293 และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.7561 ทั้งชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 ตั้งแต่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส มี ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเข้าใกล้ 0 เนื่องจากโครงสร้างภายในเกิดการหลอมตัวของรูพรุนเปิดขึ้นทำ ให้สารละลายกรดไม่สามารถเข้าไปกัดกร่อนภายในได้และชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ สูงจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 การทนทานต่อกรดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C

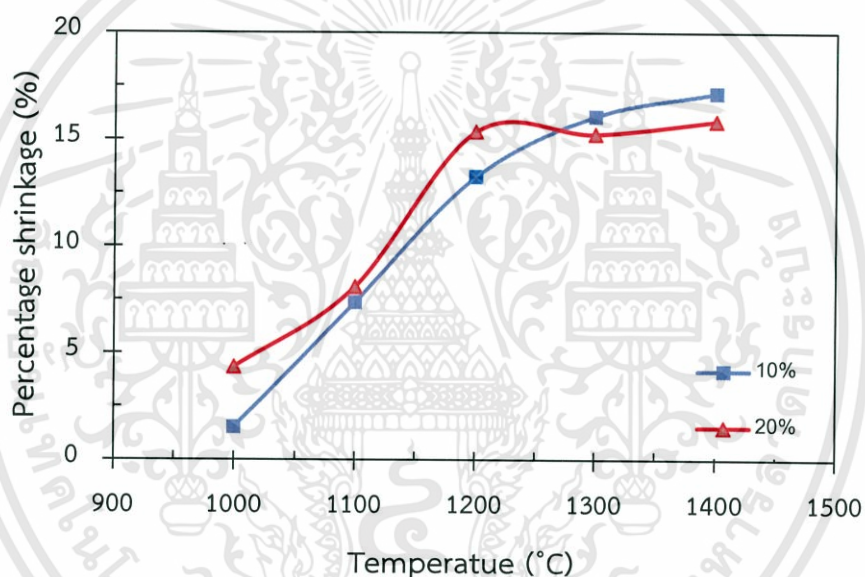
จากกราฟความสัมพันธ์ของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดร้อยละ 0.3028 ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส และตั้งแต่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส มีแนวโน้ม การสูญเสียน้ำหนักที่ลดลงเข้าใกล้การสูญเสียน้ำหนักที่ร้อยละ 0 และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มี แนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิ 1000 - 1100 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก สูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.6829 และลดลงเข้าใกล้การสูญเสียน้ำหนักที่ร้อยละ 0 ณ ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสเกิดการสูญเสียน้ำหนักมาก เนื่องมาจากชิ้นงานเซรามิกมีปริมาตรรูพรุนสูงทำให้มีพื้นที่ การสัมผัสสารละลายกรดสูงเช่นเดียวกัน ส่งผลให้สารละลายกรดสามารถทำลายชิ้นงานเซรามิกซึ่ง ก่อให้เกิดการสูญเสียของน้ำหนักเกิดขึ้น

จากการทดสอบความทนทานต่อกรดของชิ้นงานเซรามิกที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 และ 600 องศาเซลเซียส ชิ้นงานเซรามิกที่มีความ ทนทานต่อกรดที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานจริง คือชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300

และ 1400 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ต่ำ ทำให้สามารถทนทานต่อกรดได้สูง

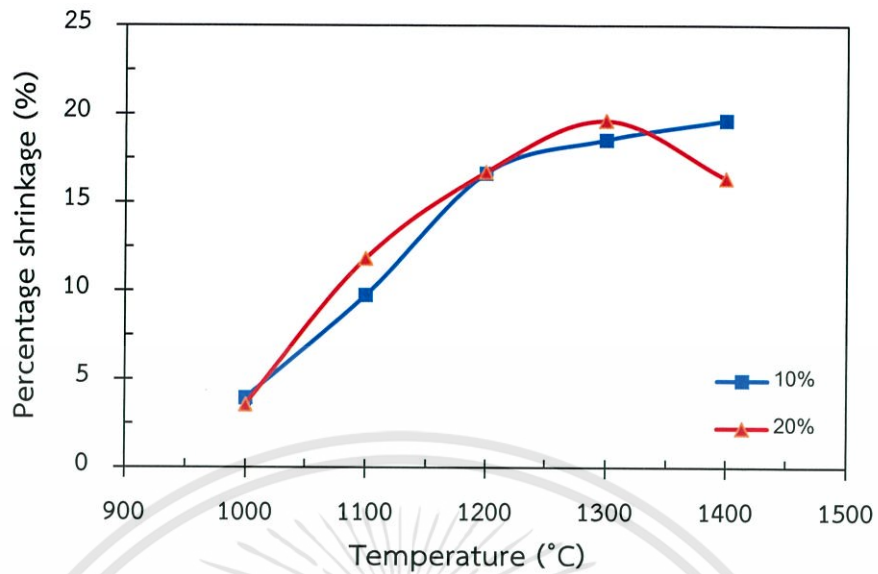
4.3 การตรวจสอบการหดตัวของชิ้นงานเซรามิก

การหดตัวคือสมบัติทางกายภาพสามารถวัดได้ทั้งเชิงเส้นและเชิงปริมาตร โดยงานวิจัยนี้วัดการหดตัวเฉพาะแบบเชิงเส้นเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 ที่ผ่านกระบวนการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000, 1100, 1200, 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส โดยจะเปรียบเทียบชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านกระบวนการเผาแคลไซน์ที่ 450 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนี้



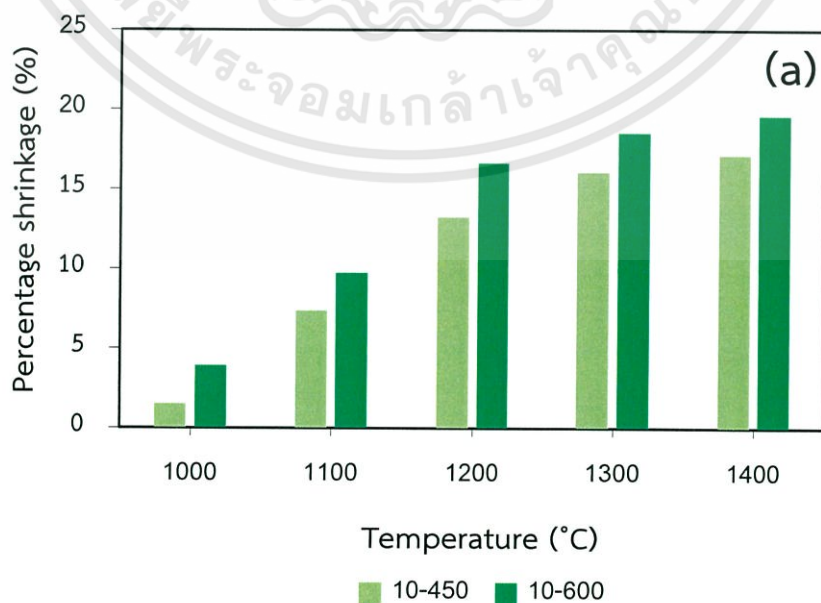
รูปที่ 4.6 การหดตัวของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C

ผลการตรวจสอบการหดตัวของชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีแนวโน้มของร้อยละการหดตัวของชิ้นงานเซรามิกเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 1000 - 1400 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีร้อยละการหดตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 17.1609 ในขณะที่ชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีร้อยละการหดตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 15.3485 ก่อนจะมีการลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 1300 และ 1400 องศาเซลเซียส

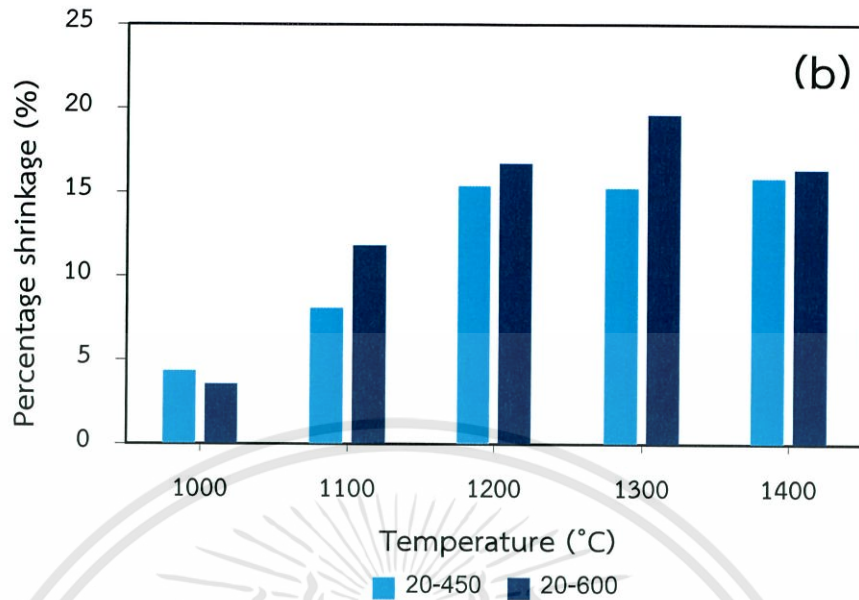


รูปที่ 4.7 การหดตัวของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600 °C

ผลการตรวจสอบการหดตัวของชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีแนวโน้มมีร้อยละการหดตัวของชิ้นงานเซรามิกเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 1000 - 1400 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีร้อยละการหดตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 19.6295 ในขณะที่ชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีร้อยละการหดตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 19.6225 ก่อนจะมีการลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส



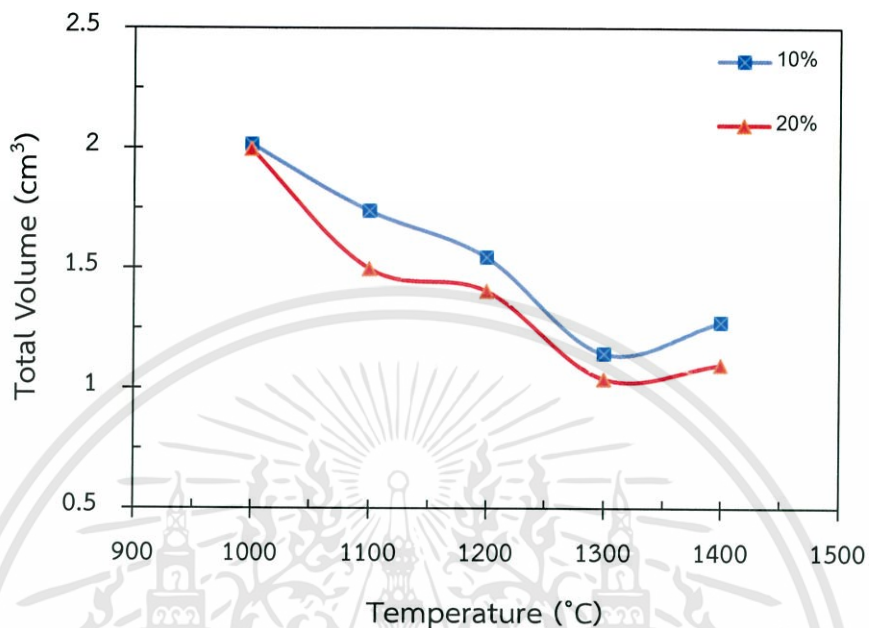
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบการหดตัวของชิ้นงานเซรามิก (a) CMC 10 (b) CMC 20

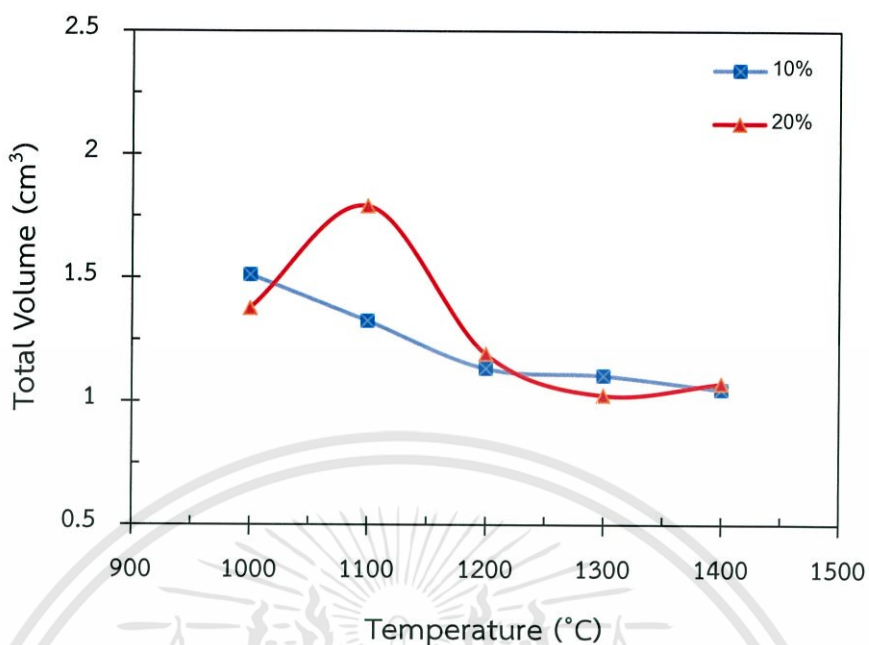
จากร้อยละการหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 ที่ผ่านการเผาแคล-
 ไซนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.8a) และเผาแคลไซนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (รูปที่
 4.8b) ของชิ้นงานเซรามิกทั้งสองมีแนวโน้มร้อยละการหดตัวเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 1000 - 1400
 องศาเซลเซียส โดยพบว่าร้อยละการหดตัวของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 จะมีค่าสูงกว่า CMC 10 ใน
 ทุกช่วงของอุณหภูมิการเผาผนึก เนื่องจากเมื่อ CMC เกิดการสลายตัวจะทำให้ภายในโครงสร้างของ
 ชิ้นงานเซรามิกเกิดการหลอมตัวและมีการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคเกิดขึ้น ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบโดย
 เทคนิค XRD ในหัวข้อ 4.5 ต่อไป ดังนั้นชิ้นงานเซรามิก CMC 20 ซึ่งเป็นชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วน
 ของ CMC มากกว่าจึงเกิดการหดตัวที่สูงกว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 10 ฉะนั้นการหดตัวของชิ้นงาน
 เซรามิกจึงแปรผกผันตามอุณหภูมิการเผาผนึก

4.4 ปริมาตรรวม



รูปที่ 4.9 ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450°C

จากรูปที่ 4.9 ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของปริมาตรรวมลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาผนึก โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีปริมาตรรวมสูงสุดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.0148 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.1433 ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีปริมาตรรวมสูงสุดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.9947 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.0378 ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้น ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 450 องศาเซลเซียส ชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีปริมาตรรวมมากกว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 20



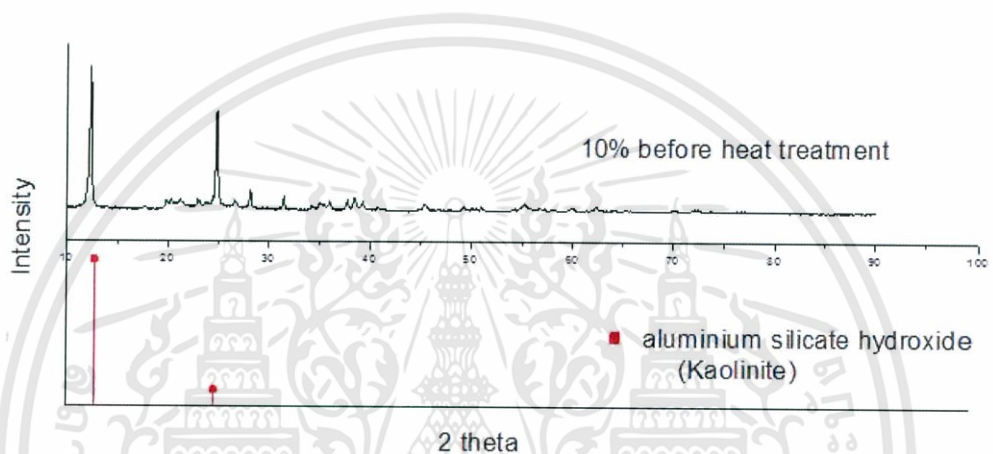
รูปที่ 4.10 ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C

จากรูปที่ 4.10 พบว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีแนวโน้มปริมาตรรวมลดลงใกล้เคียงกันในช่วงอุณหภูมิ 1200 - 1400 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีปริมาตรรวมสูงสุดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.5117 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.0472 ลูกบาศก์เซนติเมตร และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีปริมาตรรวมสูงสุดที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.7906 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.0243 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาตรรวม พบว่าทั้งชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีแนวโน้มของปริมาตรรวมลดลงทั้งจากการเผาแคลไซน์ 450 และ 600 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีปริมาตรรวมสูงมากกว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 20 และปริมาตรรวมยังมีความสอดคล้องกับการหดตัว คือการหดตัวจะเพิ่มสูงขึ้นแต่ปริมาตรรวมจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาผนึกกล่าวคือ ยิ่งอุณหภูมิสูงยิ่งเกิดการหดตัวสูง เพราะโครงสร้างภายในชิ้นงานเซรามิกเกิดการหลอมตัวมาก ฉะนั้นจึงทำให้มีปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิกนั้นลดลง จากผลร้อยละการหดตัวและปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิก พบว่าชิ้นงานเซรามิกที่มีความแข็งแรงทนทานและลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานคือ ชิ้นงานเซรามิก CMC 20

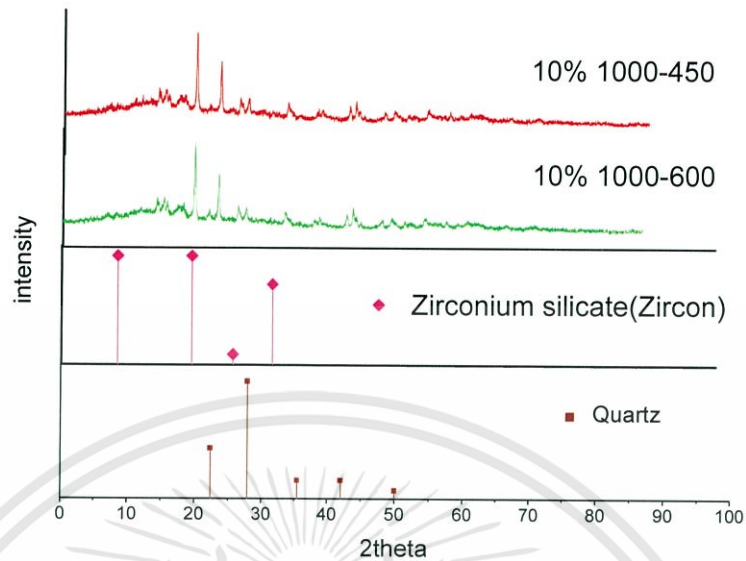
4.5 การตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดวัฏภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction หรือ XRD)

การตรวจวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) เพื่อใช้ตรวจวัดวัฏภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งก่อนเผาและหลังเผา โดยการตรวจวัด 2θ คือ $10^\circ - 90^\circ$ และอัตราการตรวจวัดคือ 3° ต่อวินาที



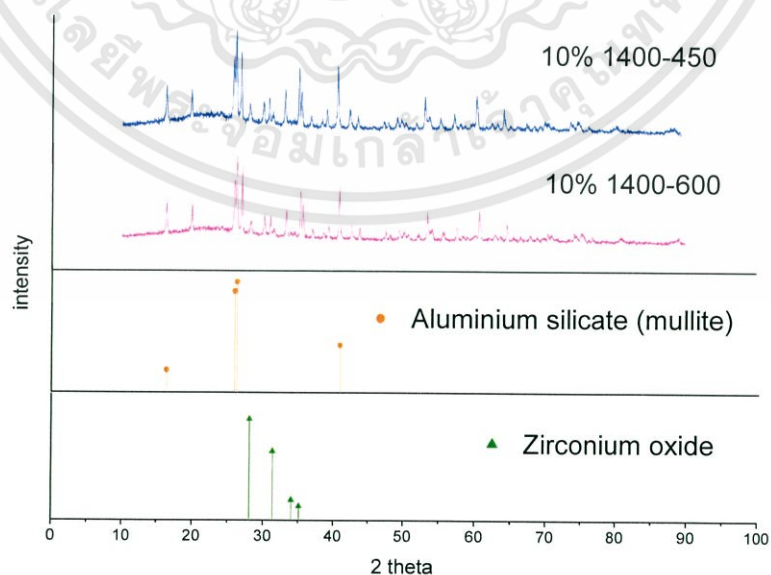
รูปที่ 4.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างก่อนเผา

ผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของสารตัวอย่างก่อนเผา พบพีคที่ตำแหน่งเท่ากับ 12.3 และ 24.82 ซึ่งมีรูปแบบการเลี้ยวเบนเหมือนกับแร่เคโอลิไนท์ (Kaolinite) ที่เป็นแร่องค์ประกอบหลักที่อยู่ในดินขาวเกาหลี แต่ไม่พบตำแหน่งพีคของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) และซีโอไลต์ (Zeolite) เนื่องจากการเตรียมสารตัวอย่างมีการใช้อัตราส่วนของ CMC : Kaolin : ZrO_2 : Zeolite คือ 10 : 80 : 5 : 5 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.12 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CMC 10 1000°C เผาแคลไซต์ต่างกัน

ผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของสารตัวอย่าง CMC 10 เผาฟีนิกที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิต่างกัน พบพีคที่ตำแหน่งเท่ากับ 22.94, 28.10, 35.46, 42.04 และ 50.01 ซึ่งมีรูปแบบการเลี้ยวเบนเหมือนกับแร่ควอตซ์ (Quartz) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide : SiO_2) เป็นการเปลี่ยนวิภูภาคมาจากแร่เคโอลิไนท์ (Kaolinite) และพบพีคที่ตำแหน่ง 20.00, 26.8 และ 32.54 ซึ่งเป็นตำแหน่งของวิภูภาคเซอร์โคเนียมซิลิเกต (Zirconium silicate) [20] [21]



รูปที่ 4.13 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CMC 10 1400°C เผาแคลไซต์ต่างกัน

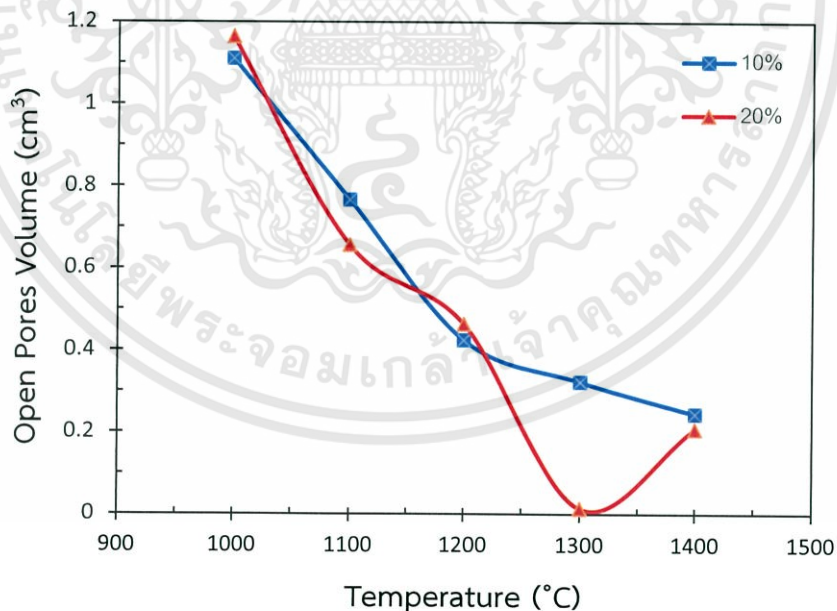
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนสารตัวอย่าง CMC 10 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียสและ เผาเคลือบที่อุณหภูมิต่างกัน พบพีคที่ตำแหน่งเท่ากับ 16.44, 25.96, 26.28 และ 40.84 ซึ่งมีรูปแบบการเลี้ยวเบนเหมือนกับอลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (Aluminium silicate hydroxide) หรือแร่มัลไลต์ (Mullite) เป็นการเปลี่ยนวิถึภาคจากแร่เคโอลิไนท์ (kaolinite) กลายเป็นแร่มัลไลต์ (Mullite) และพบพีคที่ตำแหน่ง 28.1, 31.38, 34.04 และ 35.16 ซึ่งเป็นตำแหน่งของเซอร์โคเนียมซิลิเกต (Zirconium oxide) [20],[21]

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงวิถึภาคของสารตัวอย่างก่อนการเผาผนึก และหลังการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000 และ 1400 องศาเซลเซียส เพื่ออธิบายประสิทธิภาพความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของชิ้นงานเซรามิกที่เตรียมได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางการศึกษาปรับปรุงและพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.6 ปริมาตรรูพรุนเปิด

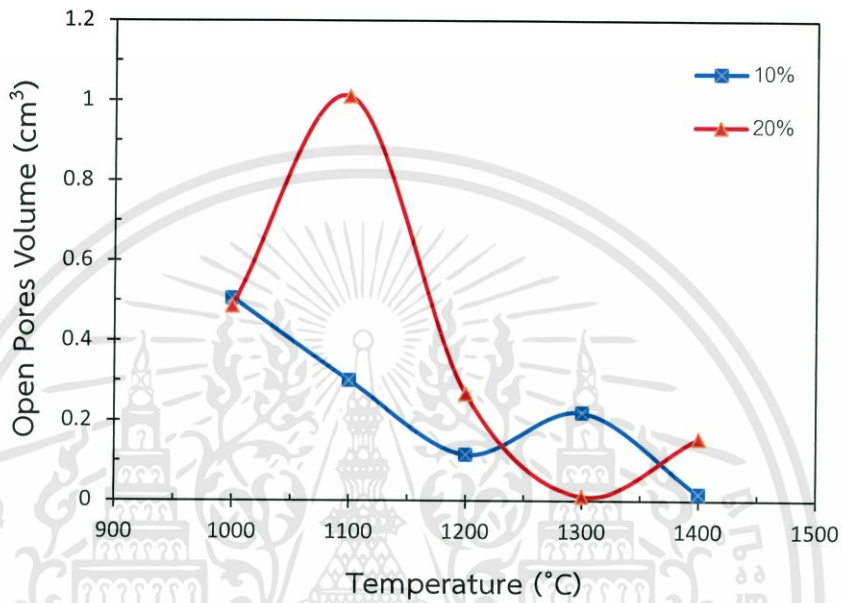
เนื่องจากต้องการผลิตวัสดุตัวกรองเซรามิกความพรุนสูงเพื่อการดูดซับโลหะหนัก ดังนั้นควรมีปริมาณรูพรุนเกิดขึ้นสูงในชิ้นงานเซรามิกและส่วนที่เป็นพื้นผิวควรมีการเกิดรูพรุนแบบเปิด ทำให้สามารถหาปริมาตรของรูพรุนเปิดที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 4.14 ปริมาตรรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาเคลือบ 450°C

จากชิ้นงานเซรามิกจากการเผาเคลือบ 450 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรรูพรุนสูงสุดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.1099 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.2436 ลูกบาศก์เซนติเมตร และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีปริมาตรรูพรุนเปิดสูงสุดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.1634 ลูกบาศก์เซนติเมตรและต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.0132 ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 4.15 ปริมาตรรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600°C

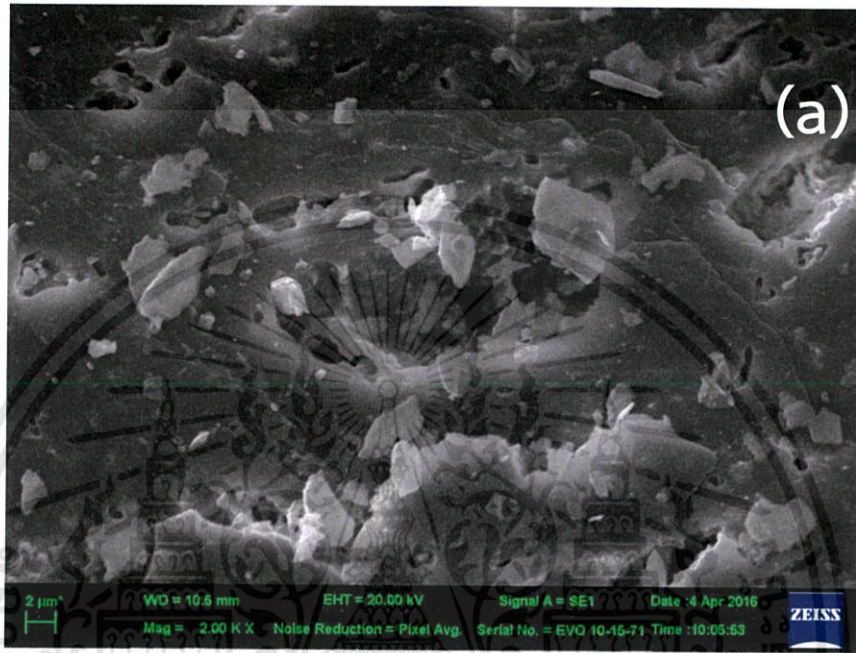
จากชิ้นงานเซรามิกจากการเผาแคลไซน์ 600 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาตรรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 และ CMC 20 มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยชิ้นงานเซรามิก CMC 10 มีปริมาตรรูพรุนเปิดสูงสุดที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.5054 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.0169 ลูกบาศก์เซนติเมตร และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 มีปริมาตรรูพรุนเปิดสูงสุดที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.0100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.0102 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ที่ชิ้นงานเซรามิก CMC 10 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวทางความร้อนของ CMC อย่างรุนแรง ก่อให้เกิดรูพรุนเปิดขนาดใหญ่ที่ยังไม่เกิดการหลอมหดตัวภายในชิ้นงานเซรามิกเป็นผลให้มีค่าปริมาตรรูพรุนเปิดสูง

เนื่องจากชิ้นงานเซรามิกสำหรับดูดซับโลหะหนักต้องการรูพรุนเปิดขนาดเล็กจำนวนมาก ดังนั้น จากการศึกษาพบว่า การเผาแคลไซน์ 450 องศาเซลเซียส พบรูพรุนเปิดจำนวนมากที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส และการเผาแคลไซน์ 600 องศาเซลเซียส พบรูพรุนเปิดจำนวนมากที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

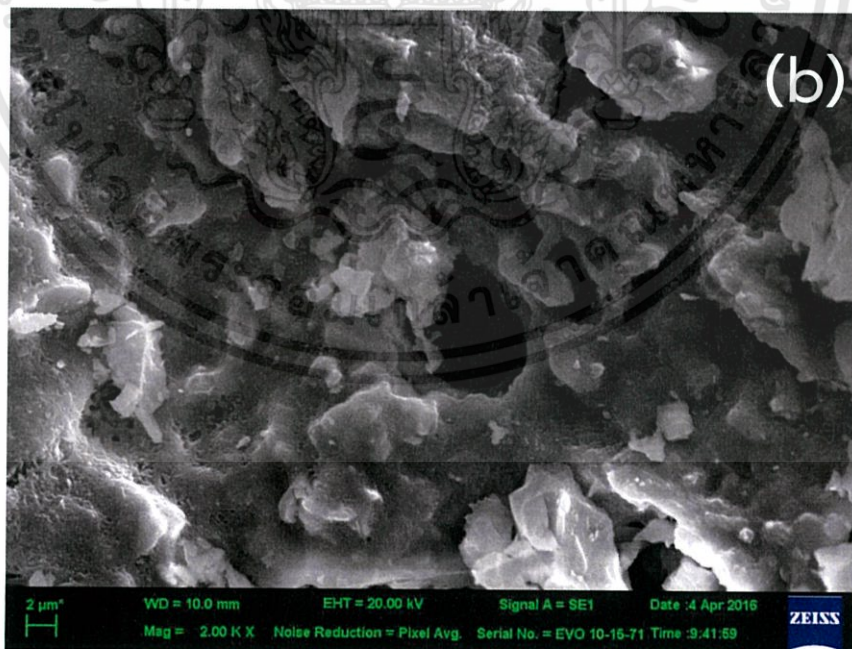
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การศึกษาลักษณะพื้นผิวและวิเคราะห์หาขนาดรูพรุน

เป็นการศึกษาสัณฐานและลักษณะพื้นที่ผิวของตัวอย่างชิ้นงานเซรามิกกว่าตัวควบคุมที่ใช้ เพื่อให้เกิดรูพรุนนั้นเพียงพอต่อการเกิดเป็นรูพรุนในตัวอย่างชิ้นงานสำหรับการผลิตเป็นตัวกรองเซรามิกเพื่อการดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากพอ



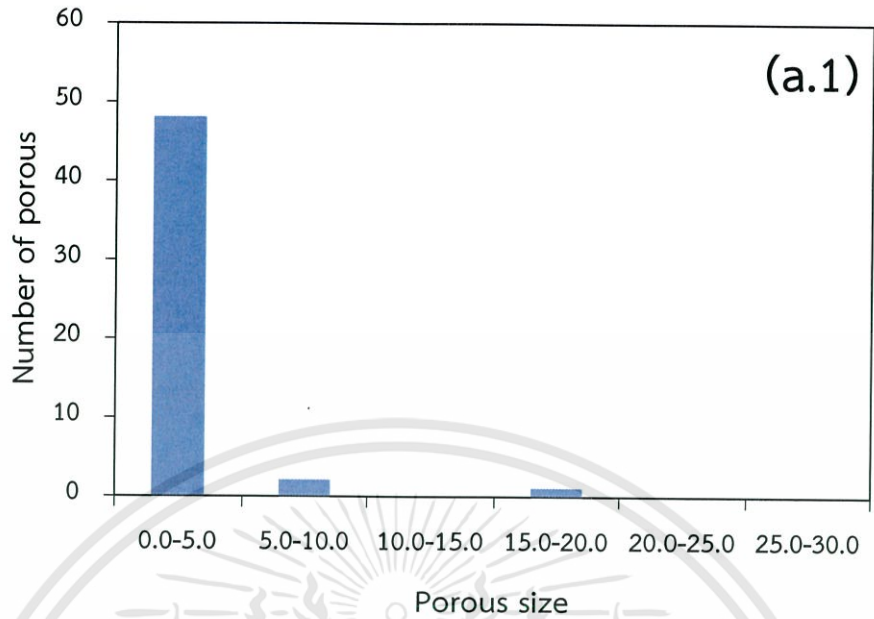
(a) ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1300°C เเผาแคลไซน์ 450°C



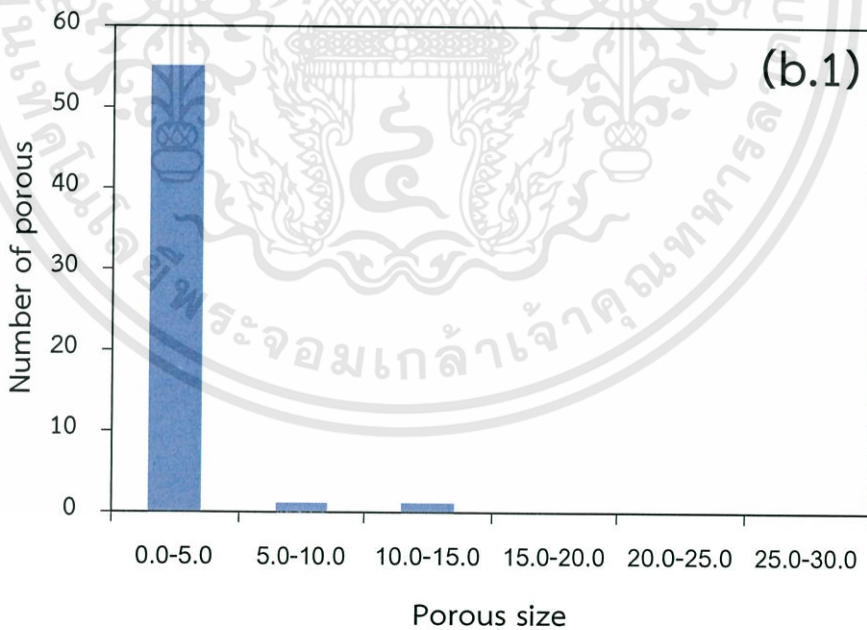
(b) ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 450°C
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เเผาขึ้นที่ต่างกัน

(กำลังขยาย 2000 เท่า) (2 μ m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a.1) การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1300°C เเผาแคลไซน์ 450°C



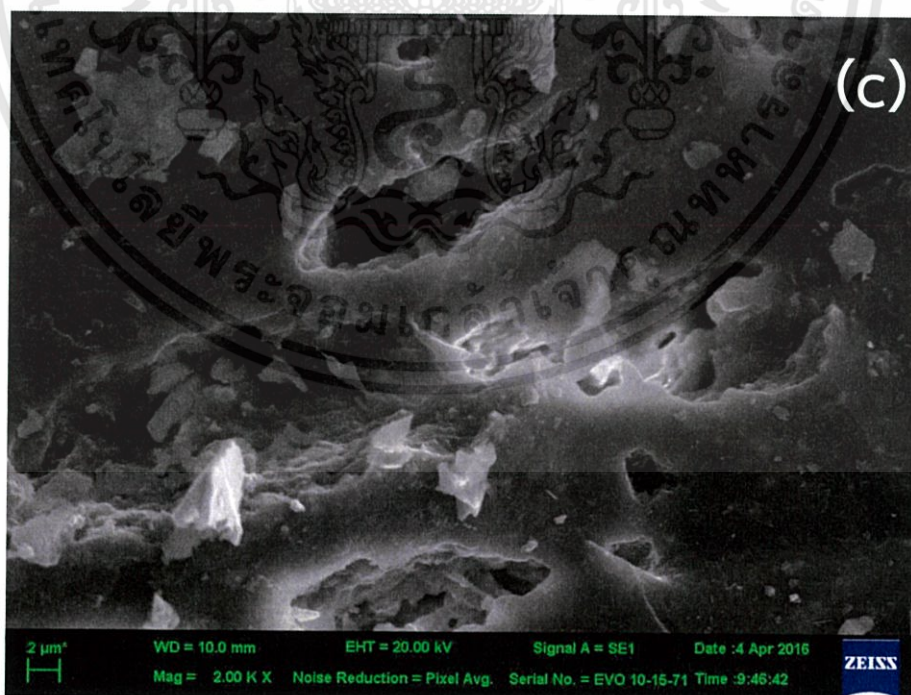
(b.1) การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 450°C

รูปที่ 4.17 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เเผาหนักต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

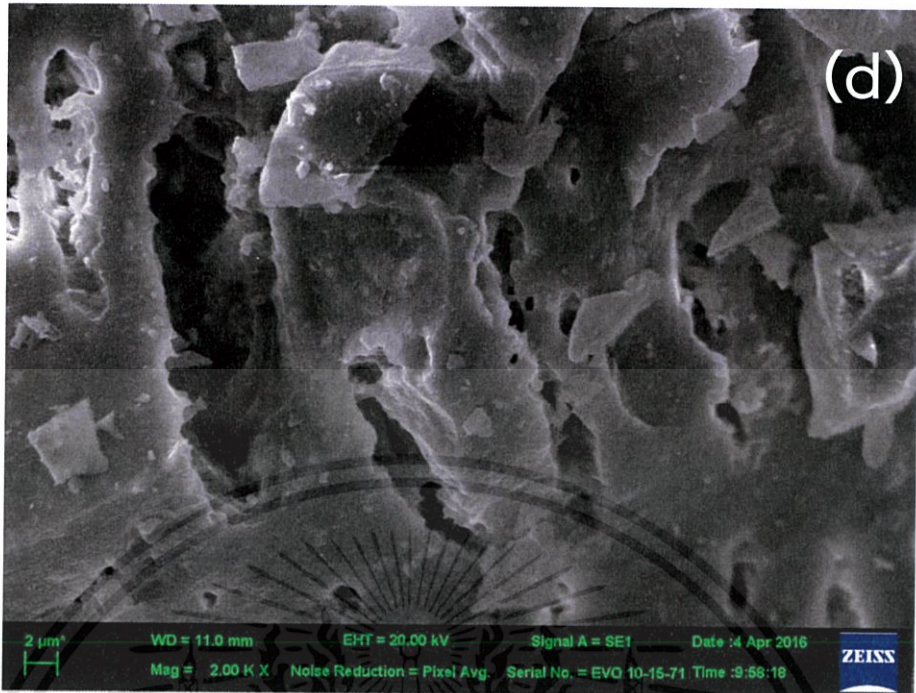
รูป (a) และ (b) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 โดยทำการเผาผืนึกที่ 1300 องศาเซลเซียส และ 1400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากรูป (a) ชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (1300) พบว่าที่บริเวณพื้นที่ผิวพบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก มีรูพรุนขนาดใหญ่เพียงบางแห่งและพบโครงสร้างเป็นแผ่นของเกล็ดในรูพรุนอยู่ โดยผลการวิเคราะห์ขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ที่เชิงเส้น ดังรูป (a.1) พบว่ามีรูพรุนขนาด 0.0-5.0 ไมโครเมตรมากที่สุดและมีขนาดรูพรุนในช่วง 15.0-20.0 ไมโครเมตร และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 ไมโครเมตร และจากรูป (b) ชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (1400) พบว่าแทบจะไม่พบโครงสร้างเป็นแผ่นของเกล็ดในรูพรุนอยู่เพราะเกิดจากการหลอมตัวของดินขาวเกล็ด จากรูป (b.1) มีรูพรุนขนาด 0.0-5.0 ไมโครเมตรกระจายตัวทั่วพื้นที่ผิวของตัวอย่างชิ้นงานเซรามิกมากที่สุด และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.20 ไมโครเมตร

จากการศึกษาภาพถ่ายพื้นที่ผิวของชิ้นงานเซรามิกที่อุณหภูมิการเผาผืนึก 1300 องศาเซลเซียส ยังพบโครงสร้างเป็นแผ่นของเกล็ดในรูพรุนอยู่ ซึ่งจะถูกกัดกร่อนด้วยกรดได้ง่าย ในขณะที่พบโครงสร้างเป็นแผ่นของเกล็ดในรูพรุนน้อยลงอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิการเผาผืนึก 1400 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการนำชิ้นงานเซรามิกไปใช้งานจริงที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส น่าจะมีความทนทานที่ดีกว่าอุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส จึงเลือกทำการศึกษาการเผาผืนึกที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส



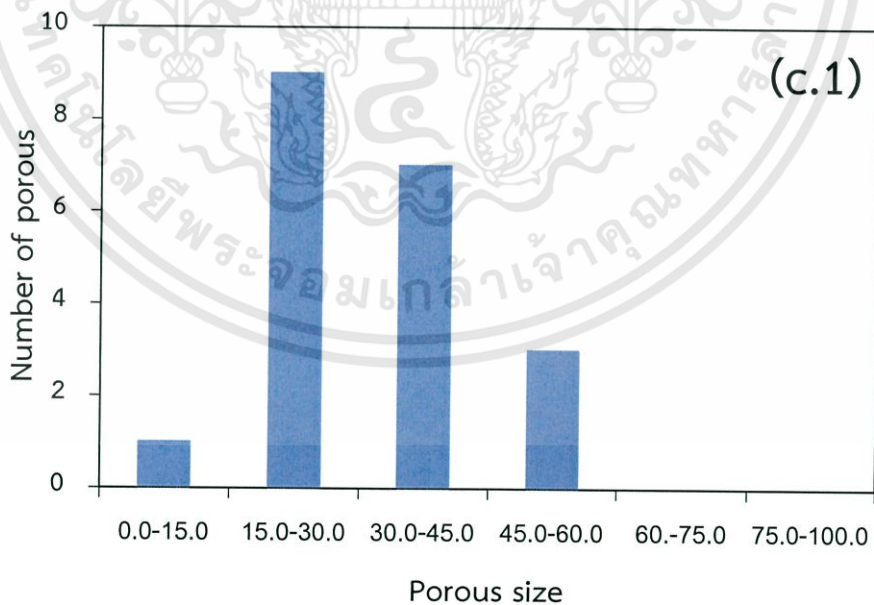
(c) ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาแคลไซน์ 450°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



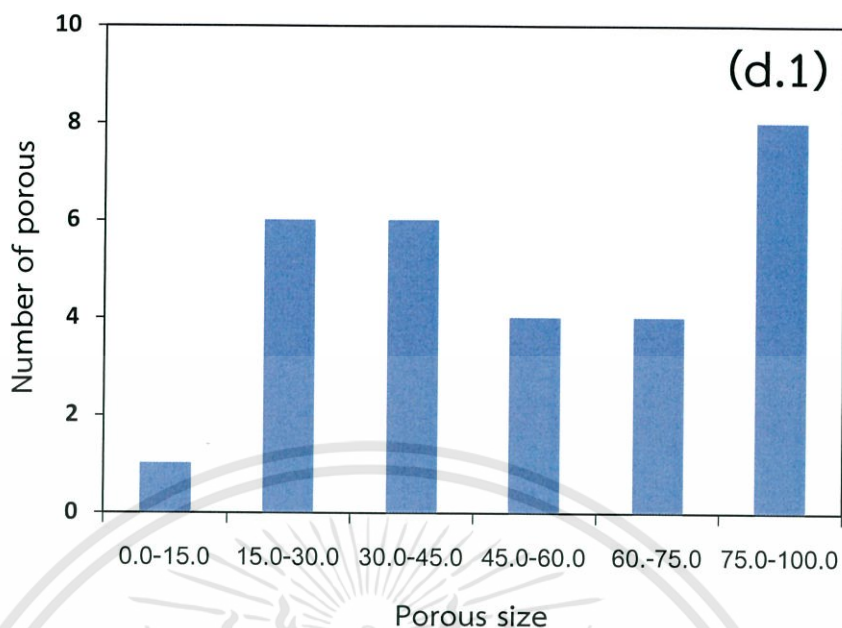
(d) ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เฝ้าแคลไซน์ 600°C

รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 เฝ้าแคลไซน์ต่างกัน (กำลังขยาย 2000 เท่า) (2μm)



(c.1) การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เฝ้าแคลไซน์ 450°C

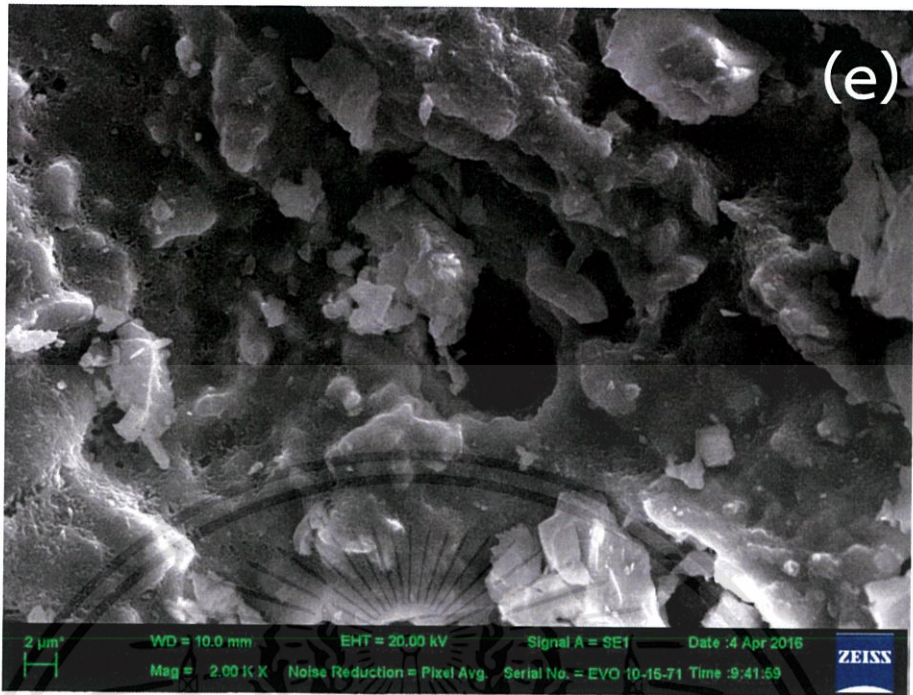
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



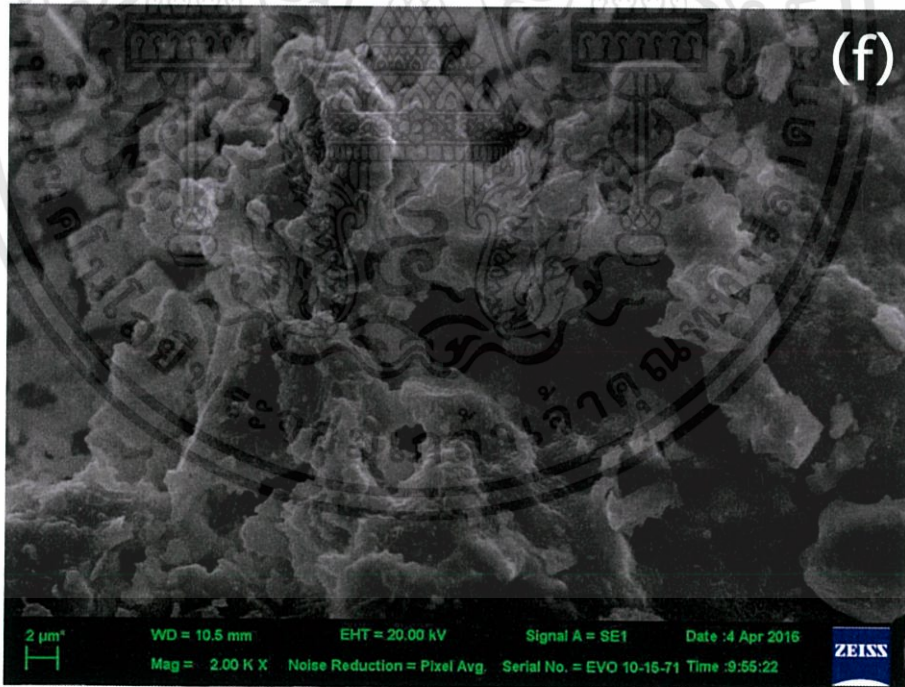
(d.1) การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาแคลไซน์ 600°C

รูปที่ 4.19 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 เผาแคลไซน์ต่างกัน

รูปที่ (c) และ (d) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 และ 600 องศาเซลเซียส โดยทำการเผาผนึกที่ 1400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าทั้งชิ้นงานเซรามิก CMC 10 (450) และชิ้นงานเซรามิก CMC 10 (600) ยังพบโครงสร้างเป็นแผ่นของเกล็ดที่หลอมเข้าหากันอยู่ แต่ในชิ้นงานเซรามิก CMC 10 (600) มีรูพรุนเปิดขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่บนผิวชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 10 (450) จากรูป (c.1) พบว่าจากลักษณะรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 (450) มีรูพรุนขนาด 15.0 - 45.0 ไมโครเมตร มากที่สุด และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 30.56 ไมโครเมตร จากรูป (d.1) ลักษณะรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 10 (600) มีรูพรุนขนาด 45.1 - 100.0 ไมโครเมตรมากที่สุด มีขนาดรูพรุนใหญ่สุดที่ 96.27 ไมโครเมตร และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 55.60 ไมโครเมตร สาเหตุที่มีการเกิดรูพรุนขนาดใหญ่เป็นผลมาจากการให้ความร้อนภายในตัวชิ้นงานเซรามิกและมีการกักเก็บความร้อนจึงก่อให้เกิดการระเบิดตัวของ CMC กลายเป็นรูระเบิด ส่งผลให้รูพรุนจึงมีขนาดใหญ่



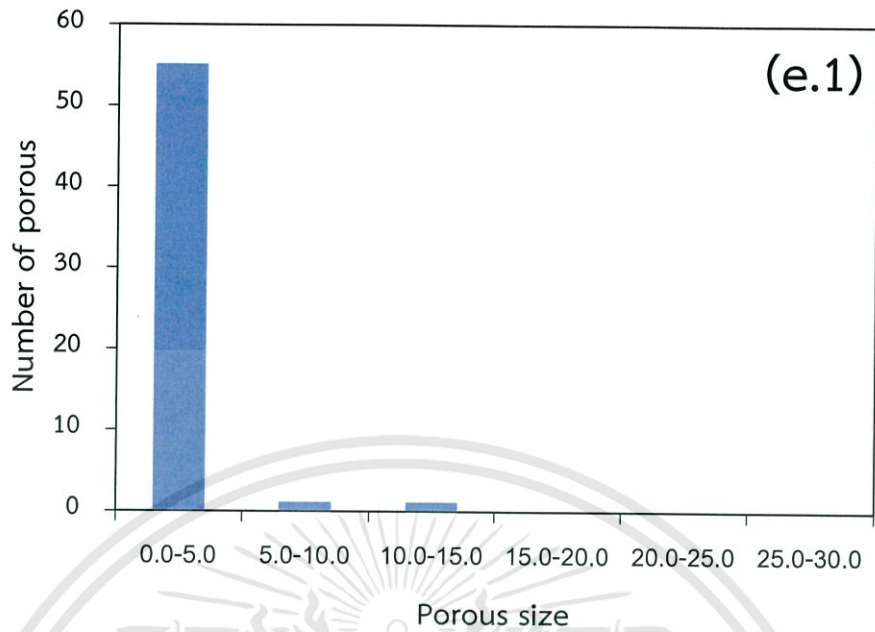
(e) ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เผาแคลไซน์ 450°C



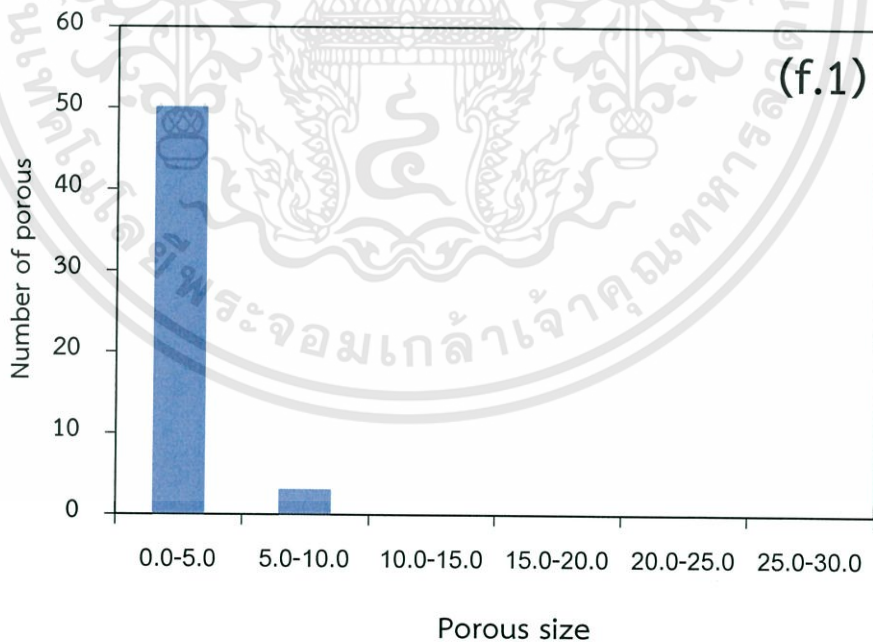
(f) ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เผาแคลไซน์ 600°C

รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เผาแคลไซน์ต่างกัน (กำลังขยาย 2000 เท่า) (2 μ m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(e.1) การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 450°C



(f.1) การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 600°C

รูปที่ 4.21 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เเผาแคลไซน์ต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ (e) และ (f) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 ที่ผ่านการเผา แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 450 และ 600 องศาเซลเซียส โดยทำการเผาผนึกที่ 1400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าทั้งชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (450) และชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (600) แทบจะไม่พบโครงสร้างเป็นแผ่นของเกลาลินอยู่เพราะเกิดจากการหลอมตัวของดินขาวเกลาลิน และมีรูพรุนขนาดเล็กในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ในชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (450) มีรูพรุนเปิดขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่บนผิวชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (600) จากรูป (e.1) พบว่าจากลักษณะรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (450) มีรูพรุนขนาด 0.0 - 5.0 ไมโครเมตรมากที่สุด และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.20 ไมโครเมตร จากรูป (f.1) ลักษณะรูพรุนของชิ้นงานเซรามิก CMC 20 (600) มีรูพรุนขนาด 0.0 - 5.0 ไมโครเมตรมากที่สุด และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 ไมโครเมตร

จากชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC เดียวกันแต่อุณหภูมิเผาแคลไซน์ต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิเผาแคลไซน์ 600 องศาเซลเซียส มีการเกิดรูพรุนขนาดใหญ่และมีปริมาณรูพรุนมากกว่าที่อุณหภูมิเผาแคลไซน์ 450 องศาเซลเซียส เพราะเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของ CMC และที่อุณหภูมิการเผาเดียวกันแต่มีอัตราส่วนของ CMC ต่างกัน พบว่าที่ชิ้นงานเซรามิก CMC 10 จะมีการเกิดรูพรุนและการกระจายตัวของรูพรุนที่ดีกว่าชิ้นงานเซรามิก CMC 20 เพราะ CMC มีปริมาณน้อยกว่าจึงสามารถกระจายตัวในดินขาวเกลาลินได้ดี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเตรียมชิ้นงานตัวกรองเซรามิกความพรุนสูง โดยใช้ดินขาวเกาหลีเป็นวัตถุดิบและใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นตัวควบคุมการเกิดรูพรุน จากการกำหนดอัตราส่วนร้อยละของ CMC ที่ 10 และ 20

จากผลการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่สำคัญด้วยกันทั้งหมด 4 ช่วงอุณหภูมิ ดังนี้ การสลายตัวในช่วงที่ 1 เป็นการสลายตัวของน้ำหรือความชื้นที่ดูดซึมอยู่ภายในเส้นใยของ CMC มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงตั้งแต่การให้ความร้อนที่ 50 – 220 องศาเซลเซียส การสลายตัวในช่วงที่ 2 คือการสลายตัวทางความร้อนของสารอินทรีย์ใน CMC อุณหภูมิอยู่ในช่วง 220 – 320 องศาเซลเซียส การสลายตัวในช่วงที่ 3 เป็นการสลายตัวของน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดินขาวเกาหลีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 440 – 630 องศาเซลเซียส และในช่วงการสลายตัวช่วงสุดท้าย อุณหภูมิอยู่ในช่วง 650 – 900 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวทางความร้อนของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ใน CMC และการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินขาวเกาหลีและเกิดการหลอมตัวของโครงสร้างดินขาวเกาหลีจากมัลไลต์เป็นสปินเนล

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานเซรามิก

1) การทดสอบความทนทานต่อกรด พบว่าความทนทานต่อกรดเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิการเผาผนึก โดยอัตราส่วนของ CMC 20 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์ 450 องศาเซลเซียส มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0.0180 เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีการหลอมตัวของโครงสร้างภายในทำให้โครงสร้างเรียงชิดติดกัน ดังนั้นชิ้นงานเซรามิกดังกล่าวจึงมีความทนทานต่อกรด

2) การวัดการหดตัวของชิ้นงานเซรามิกหลังเผา พบว่าร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาผนึก โดยอัตราส่วนของ CMC 10 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์ 600 องศาเซลเซียส มีร้อยละการหดตัวสูงสุดคือ ร้อยละ 19.6295

3) ปริมาตรรวมของชิ้นงานเซรามิก มีความสัมพันธ์กับร้อยละการหดตัวคือเมื่ออุณหภูมิการเผาผนึกเพิ่มสูงขึ้น ร้อยละการหดตัวจะเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาตรรวมลดลง จากความสัมพันธ์ดังกล่าว อัตราส่วนของ CMC 10 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์ 600 องศาเซลเซียสมีร้อยละการหดตัวสูงสุด ดังนั้นจึงมีปริมาตรรวมต่ำสุด คือ 1.0472 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4) การศึกษาสมบัติทางเคมีจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารตัวอย่างก่อนเผาผนึกพบวิฤภาคของแร่เคโอลิไนท์ชัดเจน และยังเป็นโครงสร้างหลักในดินขาวเกาหลี

- สารตัวอย่างหลังการเผาผนึก 1000 องศาเซลเซียส พบวิฤภาคของเซอร์โคเนียมซิลิเกตและวิฤภาคของแร่ควอตซ์ ซึ่งแร่ควอตซ์เกิดจากการหลอมเปลี่ยนวิฤภาคมาจากแร่เคโอลิไนท์

- สารตัวอย่างหลังการเผาผนึก 1400 องศาเซลเซียส พบวิฤภาคของเซอร์โคเนียมออกไซด์และวิฤภาคแร่มัลไลต์ ซึ่งแร่มัลไลต์เป็นการเปลี่ยนวิฤภาคมาจากแร่เคโอลิไนท์

5) ปริมาตรรูพรุนเปิดของชิ้นงานเซรามิก ซึ่งปริมาตรรูพรุนเปิดจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเผาผนึก จากความสัมพันธ์ดังกล่าว อัตราส่วนของ CMC 20 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส และเผาแคลไซน์ 450 องศาเซลเซียส มีปริมาตรรูพรุนเปิดสูงสุดคือ 1.1634 ลูกบาศก์เซนติเมตร

6) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวโดยเทคนิค SEM พบว่า ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เผาแคลไซน์ 600 องศาเซลเซียส มีการกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้นทั่วพื้นที่ผิวมากที่สุดชิ้นงานเซรามิก และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 55.60 ไมโครเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรนำชิ้นงานตัวกรองเซรามิกที่เตรียมได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริง เพื่อทราบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

5.2.2 ควรเพิ่มวัตถุดิบอื่นลงไปชิ้นงานตัวกรองเซรามิก เช่น ถ่านกัมมันต์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำเสียและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. “การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย.” [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html. เข้าถึงเมื่อ 27 มกราคม 2559.
- [2] สมเกียรติ บุญดาว. 2542. “การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีเคมี.” [Online]. Available : <http://sbsomkiet.tripod.com/pollute/water8.htm>. เข้าถึงเมื่อ 27 มกราคม 2559.
- [3] C. Venturelli, M. Paganelli. “Sintering Behaviour of Clays for the Production of Ceramics.” *Process Engineering* 84 (2007) E1-E4.
- [4] คชินท์ สายอินทวงศ์. 2008. “เซรามิกCeramic.” [Online]. Available : http://www.thaiceramicsociety.com/ab_cer.php. เข้าถึงเมื่อ 27 มกราคม 2559.
- [5] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541. เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- [6] ศูนย์รวมเคมีภัณฑ์. “Carboxymethyl cellulose.” [Online]. Available : <http://www.worldchemical.co.th/th/>. เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2559.
- [7] ปิยพร ร่มแสง, มัตติกา ไชยลังกา, รังสรรค์ กุณชนะนา, วิชากร กันทรัญญ, อนุวัฒน์ โรจน์สินทรัพย์ และนพพล เล็กสวัสดิ์. 2555. “CMC Biopolymer.” [Online]. Available : <http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/No07.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [8] ดร.คชินท์ สายอินทวงศ์. 2008. “ดินขาว.” [Online]. Available : http://www.thaiceramicsociety.com/rm_soil_product.php. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [9] ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ มหาวิทยาลัยรังสิต. 2551. “เซอร์โคเนียม.” [Online]. Available : <https://www.rsu.ac.th/engineer/che/news/News%20Data/%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [10] สุพัตรา วงศ์แสนใหม่. 2556. “การพัฒนาวัสดุอุดข้อกระดูกบอนด์ออกไซด์จากผงแบเรียมออกไซด์-ไทเทเนต.” [Online]. Available : http://librae.mju.ac.th/government/20111119104834_librae/Doc_20141013164156_345404.PDF. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [11] คชินท์ สายอินทวงศ์. 2008. “การบดละเอียด (Grinding or Milling).” [Online]. Available : http://www.thaiceramicsociety.com/pc_pre_grindmore.php. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [12] วสวัชร นาคเขี้ยว. การขึ้นรูปโลหะ(Metal Forming)โดยกรรมวิธีแบบผง (Powder Metallurgy) ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- [13] Dmitri Kopeliovich. “Solid state fabrication of Metal Matrix Composites.” [Online]. Available : http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=solid_state_fabrication_of_metal_matrix_composite. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [14] Gustavo Navarro, Roberto Acevedo, Andrés Soto and Mario Herane. “Synthesis and characterization of lepidocrocite and its potential applications in the adsorption of pollutant species.” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 134(1), 2008.
- [15] Sumrit Mopoung, Nimit Srprang and Jutatip Namahoot. “Sintered filter material with controlled porosity for water purification prepared from mixtures with optimal ratio of zeolite, bentonite, kaolinite, and charcoal.”, *Applied Clay Science.*, 88-89(2014)123-128.
- [16] Hyun-Jin Choi, Jeong-Ukkim, Hyun-Sang Kim, Sung Hyun Kim and Myong-Haw Lee. “Effect of sintering temperature in preparation of granular ceramic filter.” *Ceramic international* 41(2015)10030-10037.
- [17] Ming-Qin Jiang, Xiao-ying Jin, Xiao Qiao Lu and Zu-liang Chen. “Adsorption of Pb(II), Cd(II), Ni(II) and Cu(II) onto nature kaolinite clay”. *Desalination* 252(2010)33-39.
- [18] Sandhya Babel and Tonni Agustiono Kurniawan. 2003. “Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review.” *Journal of Hazardous Material* B97 : 219-243.
- [19] Ewelina Káosek-Wawrzyn, Jan Maóolepszy and Paweá Murzyn. “Sintering Behavior of Kaolin with Calcite.” *Procedia Engineering* 57 (2013) 572–582.
- [20] AZO MATERIAL. 2016. “The Forms and Phase of Zirconia Engineering ceramic.” [Online]. Available : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5780>. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.
- [21] การุณย์ เจียมจิตศิริพงษ์. 2552. “Improvement of Rubber-Layered Silicate Compatibility by using ENR Compatibilizer.” ผลงานวิชาการในการประชุม นานาชาติของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ร่วมกับ Tokyo Institute of Technology, Japan ครั้งที่ 2.
- [22] University of CAMBRIDGE. 2014. “Electrolyte.Ceramic.” [Online]. Available : http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/fuel-cells/sofc_electrolyte.php. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2559.

- [23] S. CHANDRASEKHAR. "INFLUENCE OF METAKAOLINIZATION TEMPERATURE ON THE FORMATION OF ZEOLITE 4A FROM KAOLIN." *Clay Minerals* (1996) 31, 253-261.



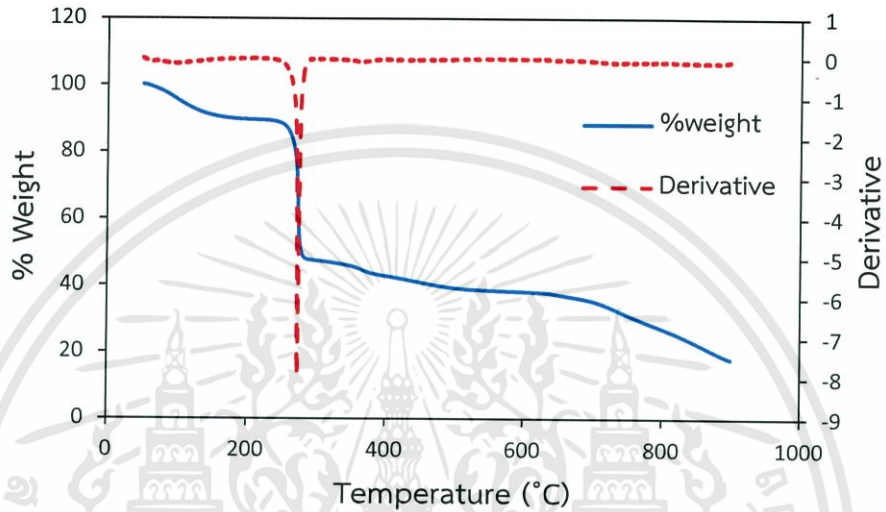
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



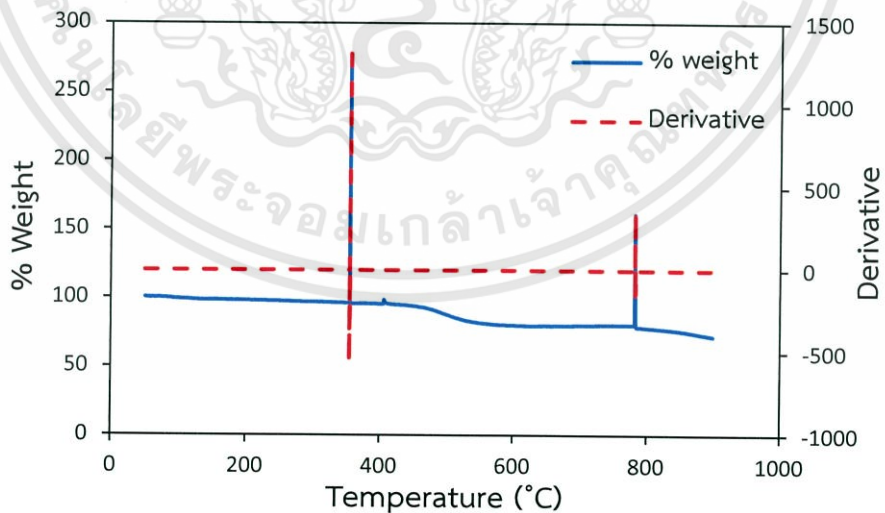
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

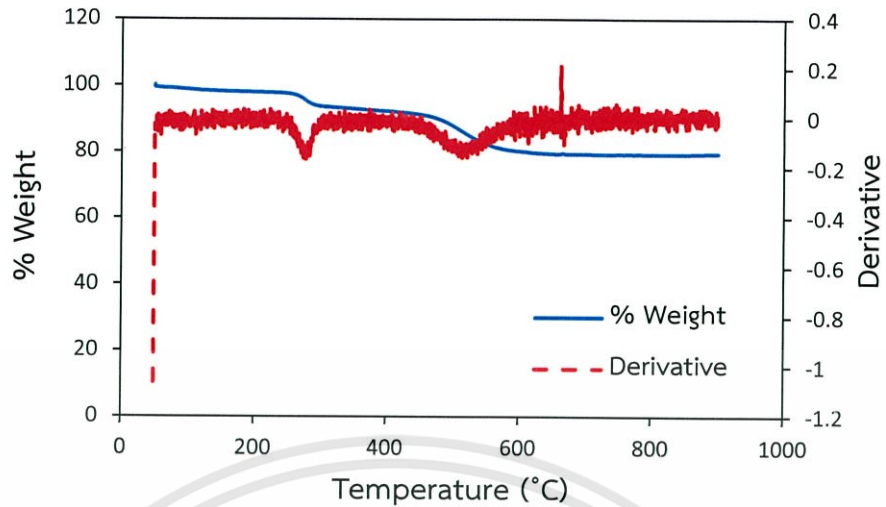
การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน



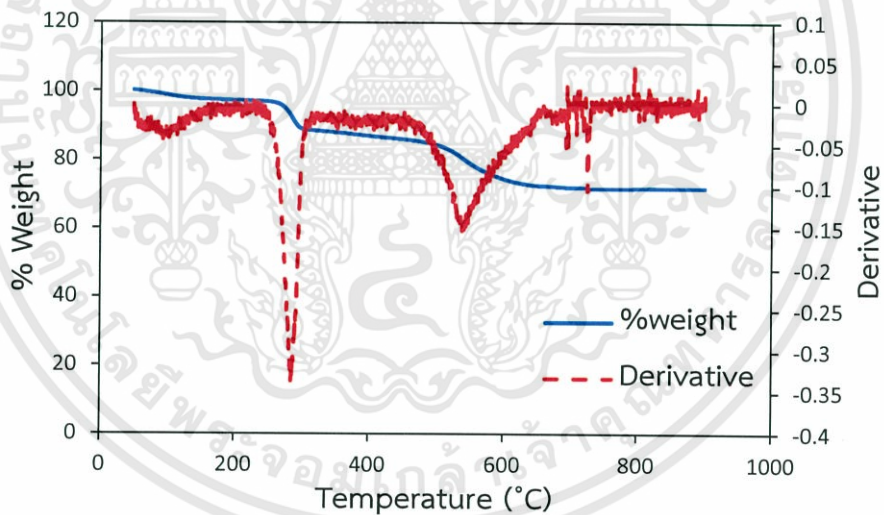
รูปที่ ก.1 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ CMC บริษัท



รูปที่ ก.2 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของดินขาวเกาหลีบริษัท

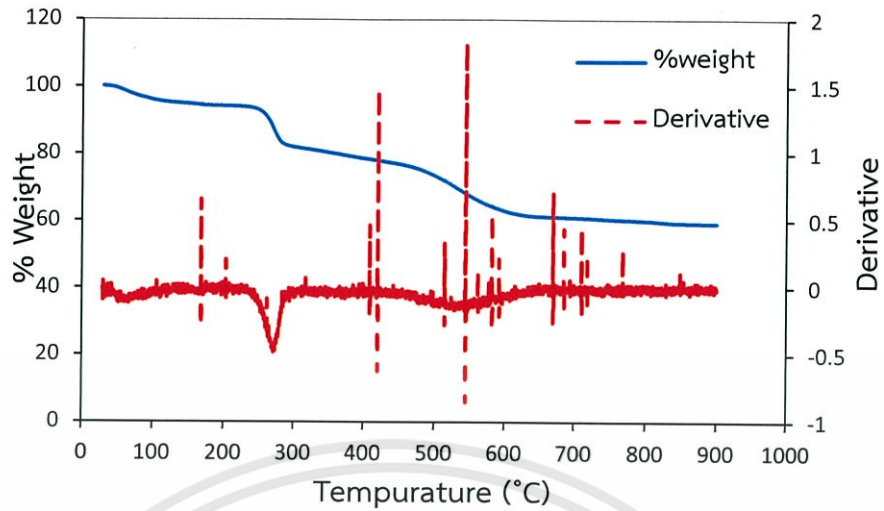


รูปที่ ก.3 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10



รูปที่ ก.4 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 ผลการตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ

CMC 30



ภาคผนวก ข

การทดสอบความทนทานต่อกรด

1. วิธีการเตรียมสารละลายกรดเข้มข้น 3%v/v

ขั้นที่ 1 ตวงปริมาตร Conc.HCl 3 cm³

ขั้นที่ 2 เท Conc.HCl ที่ตวงได้ลงในขวดปรับปริมาตร และเติมน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตร จนถึงขีดบอกริมาตร ปิดจุกเขย่าให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นที่ 3 ดังนั้น จะได้สารละลายกรดที่เข้มข้น 3%v/v

2. ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียโดยน้ำหนักของชิ้นงาน (% Weight loss)

$$\% \text{ Weight loss} = [(W_d - W_f) / W_d] \times 100$$

เมื่อ W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานเซรามิกก่อนแช่กรด

W_f คือ น้ำหนักของชิ้นงานเซรามิกหลังแช่กรด

$$\% \text{ Weight loss} = [(W_d - W_f) / W_d] \times 100$$

$$= [(2.3965 - 2.3963) / 2.3965] \times 100$$

$$\text{ดังนั้น } \% \text{ Weight loss} = 0.0083\%$$

ภาคผนวก ค

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

1. ผลคำนวณการหาค่าการหดตัวของเซรามิกหลังการเผาผนึก (Firing shrinkage)

$$\% \text{ Firing shrinkage} = [(D_d - D_f) / D_d] \times 100$$

เมื่อ D_d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเซรามิกก่อนเผา

D_f คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเซรามิกหลังเผา

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } \% \text{ Firing shrinkage} &= [(D_d - D_f) / D_d] \times 100 \\ &= [(25.37 - 20.39) / 25.37] \times 100 \\ \% \text{ Firing shrinkage} &= 19.6295 \% \end{aligned}$$

2. การหาค่าปริมาตรของชิ้นงานเซรามิก

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักชิ้นงานเซรามิกก่อนต้ม

W_2 คือ น้ำหนักจากการแทนที่น้ำของชิ้นงานเซรามิกหลังต้ม

W_3 คือ น้ำหนักชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการใช้กระดาษทิชชูเปียกซับน้ำส่วนเกินออก

2.1 ผลการคำนวณปริมาตรรวม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรรวม} &= (W_3 - W_2) / \rho_0 \\ &= (2.4102 - 1.3630) / 1.00 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาตรรวม} = 1.0472 \text{ cm}^3$$

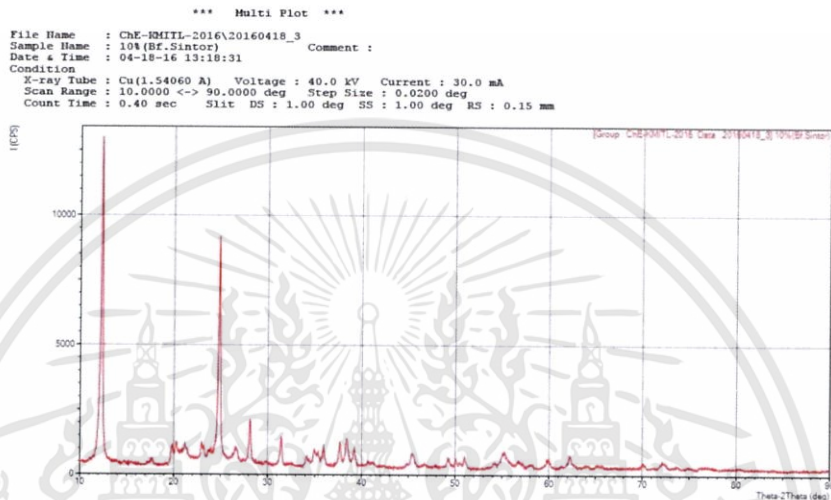
2.2 ผลการคำนวณปริมาตรรูพรุนเปิด

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรรูพรุนเปิด} &= W_3 - W_1 / \rho_0 \\ &= 2.4102 - 2.3933 / 1.00 \end{aligned}$$

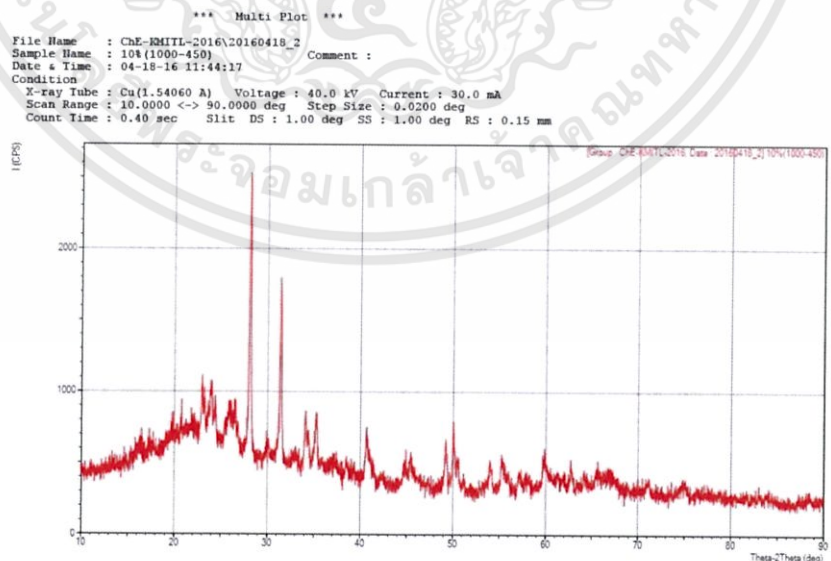
$$\text{ดังนั้น ปริมาตรรูพรุนเปิด} = 0.0169 \text{ cm}^3$$

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดวิฏภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบน ของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction หรือ XRD)



รูปที่ ง.1 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10
ก่อนเผา

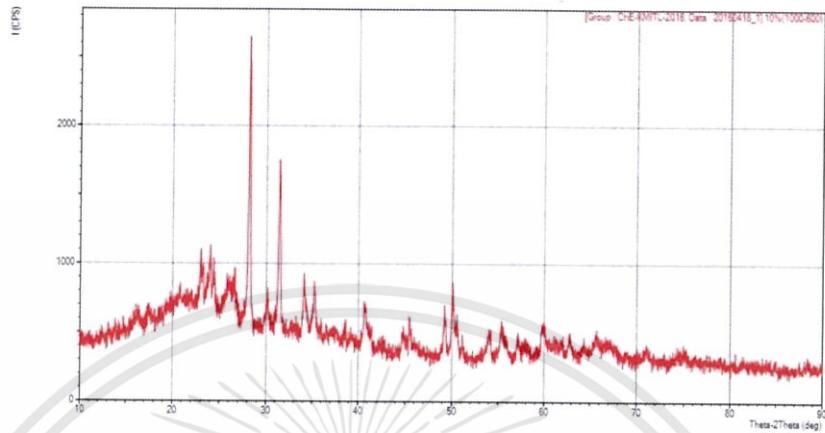


รูปที่ ง.2 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10

1000°C เเผาแคลไซน์ 450°C

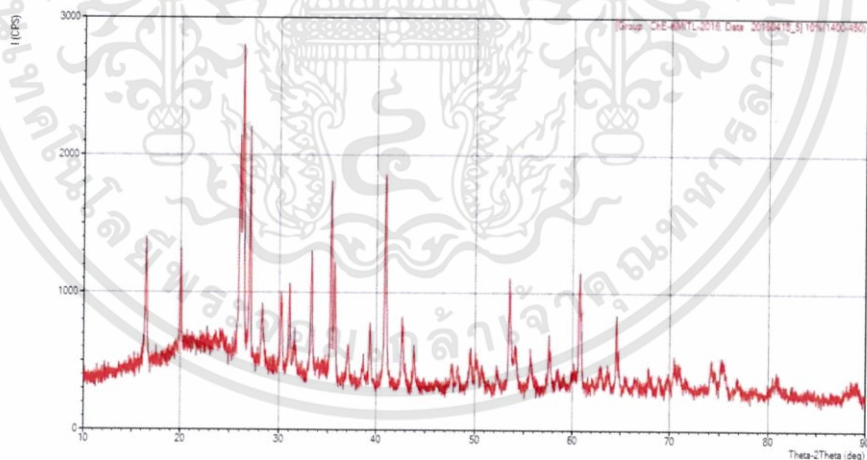
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*** Multi Plot ***
 File Name : ChE-KMITL-2016\20160418_1
 Sample Name : 101(1000-600) Comment :
 Date & Time : 04-18-16 11:14:27
 Condition
 X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
 Scan Range : 10.0000 <-> 90.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
 Count Time : 0.40 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.15 mm



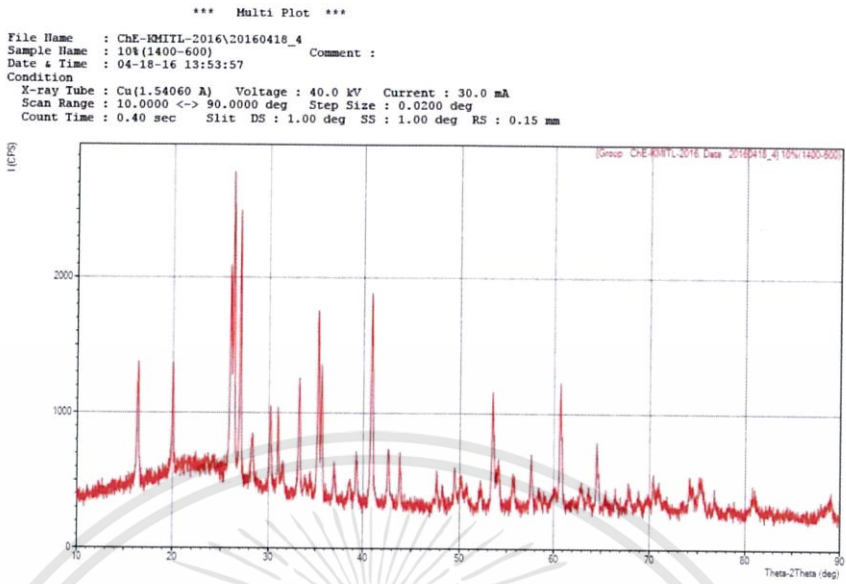
รูปที่ ง.3 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1000°C เผาแคลไซน์ 600°C

*** Multi Plot ***
 File Name : ChE-KMITL-2016\20160418_5
 Sample Name : 101(1400-450) Comment :
 Date & Time : 04-18-16 14:23:48
 Condition
 X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
 Scan Range : 10.0000 <-> 90.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
 Count Time : 0.40 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.15 mm



รูปที่ ง.4 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาแคลไซน์ 450°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

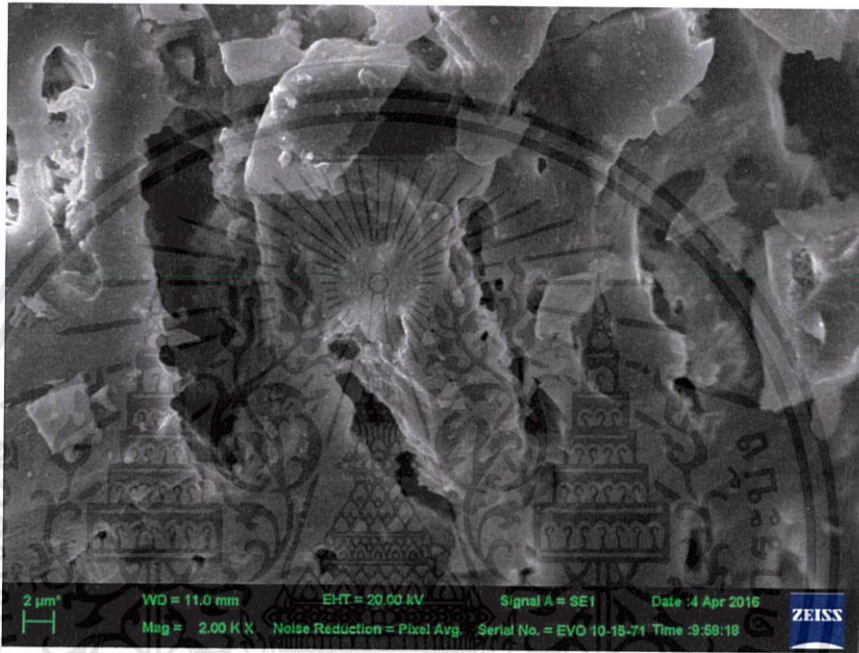


รูปที่ ๓.5 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เพาแคลไซน์ 600°C

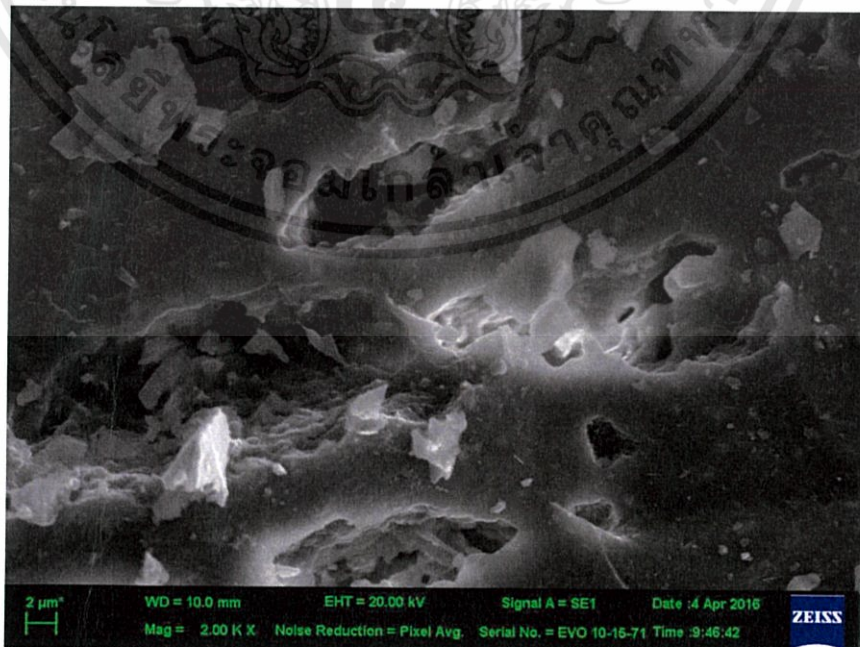
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค SEM (Scanning Electron Microscope)

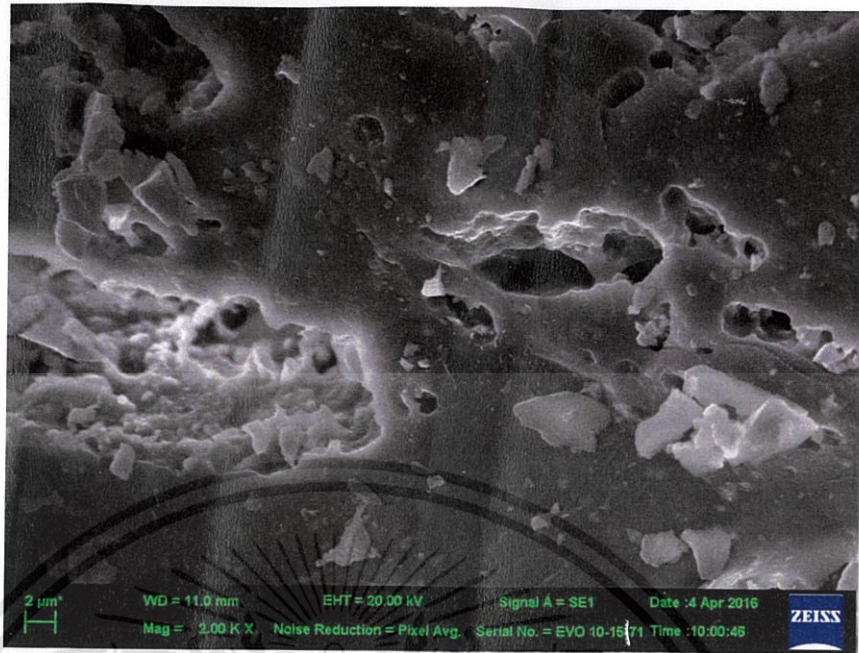


รูปที่ จ.1 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1300°C เผาแคลไซน์ 450°C

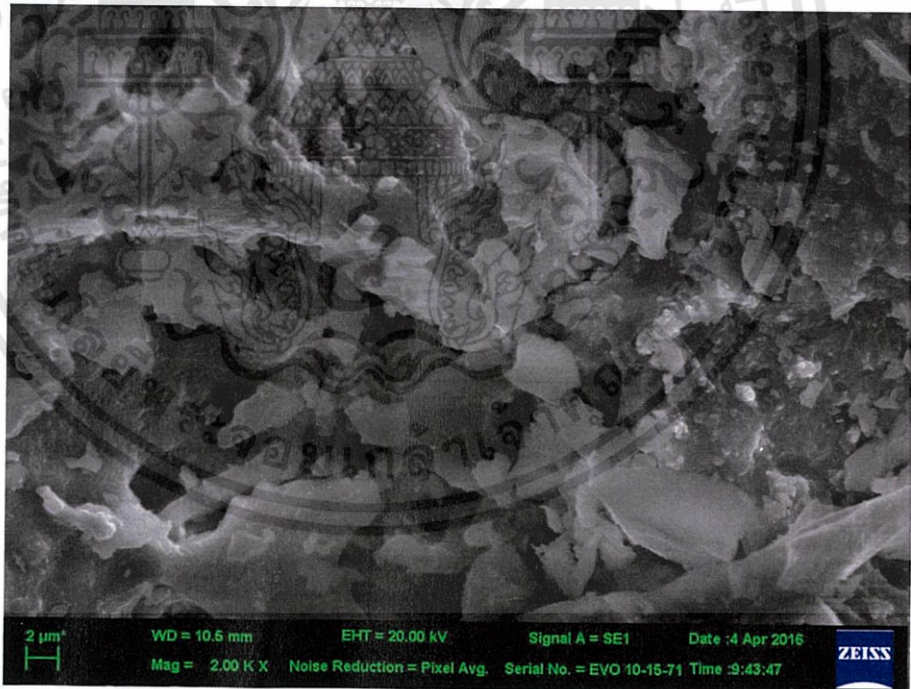


รูปที่ จ.2 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาแคลไซน์ 450°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

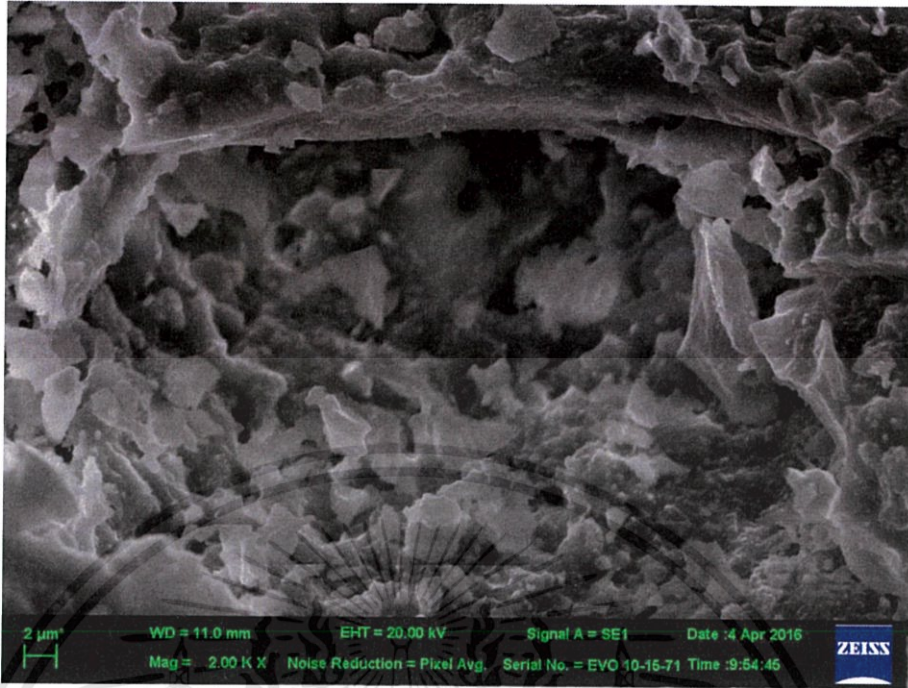


รูปที่ จ.3 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 10 1400°C เผาแคลไซน์ 600°C



รูปที่ จ.4 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เผาแคลไซน์ 450°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.5 ชิ้นงานเซรามิกที่มีอัตราส่วนของ CMC 20 1400°C เเผาแคลไซน์ 600°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้