

การขึ้นรูปใส่กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

นายธนากร เทพมาตย์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FABRICATION OF WATER FILTERING AID FROM ACTIVATED RICE HUSK
CHARCOAL/ZEOLITE/ZINC OXIDE COMPOSITE CERAMICS

Mr. Thanakorn Tepamat



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Materials Science

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่าน แกลบกับมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์
โดย	นายธนากร เทพามาตย์
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.จรัสพร มงคลขจิต

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โปธิยะราช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.จรัสพร มงคลขจิต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศิริพร ลากเกียรติถาวร)

ธนากร เทพามาตย์ : การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ (FABRICATION OF WATER FILTERING AID FROM ACTIVATED RICE HUSK CHARCOAL/ZEOLITE/ZINC OXIDE COMPOSITE CERAMICS) อ.ที่ปรึกษา
 วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.จรัสพร มงคลขจิต, 125 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเตรียมไส้กรองน้ำดื่มจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์และถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้วิธีการเทหล่อแบบ ในส่วนการทดลองแรกจะเตรียมไส้กรองน้ำดื่มจากถ่านกัมมันต์ กับ ซีโอไลต์โซเดียม เอ ใช้ผงทางการค้า ซึ่งมีสูตรการเตรียมน้ำสลิปคือ ถ่านกัมมันต์ 17.37 เปอร์เซ็นต์ ซีโอไลต์โซเดียม เอ 17.37 เปอร์เซ็นต์ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 0.35 เปอร์เซ็นต์ ฟินอลิกเรซิน (ให้ความแข็งแรงหลังเผา) 8.77 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 0.55 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 55.59 เปอร์เซ็นต์ นำส่วนผสมบดในบดหม้อเหวี่ยงความเร็วสูง 450 รอบต่อนาทีที่เวลา 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำสลิปเทลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ โดยใช้เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมงจึงเทน้ำสลิปส่วนเกินออก (หล่อแบบกลวง) ปล่อยให้แห้งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงแกะแบบ อบชิ้นงานที่ 45 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมงแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียส ตามลำดับเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบรรยากาศรีดักชัน พบว่าชิ้นงานเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสผสมที่เวลา 15 30 45 และ 60 นาที ให้ค่าความแข็งแรงทางกลดีกว่าการเผาที่อุณหภูมิอื่นๆ คือ 2.59 2.99 3.48 และ 3.47 ตามลำดับซึ่งชิ้นงานผสมนาน 30 นาทีเผาที่ 700 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของน้ำกรอง 0.14 ลิตรต่อนาที ลดความกระด้างในน้ำได้ประมาณ 31.78 เปอร์เซ็นต์ ดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำและกรองเชื้อแบคทีเรียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองที่สองนั้นจะทำการเตรียมไส้กรองน้ำดื่มเซรามิกเชิงประกอบจากถ่านแกลบกัมมันต์และ ซีโอไลต์โซเดียม เอ จากถ่านแกลบ ซึ่งมีสูตรการเตรียมน้ำสลิปคือ วัสดุเชิงประกอบคาร์บอนและซีโอไลต์โซเดียม เอ 37.86 เปอร์เซ็นต์ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 0.38 เปอร์เซ็นต์ ฟินอลิกเรซิน (ให้ความแข็งแรงหลังเผา) 9.56 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 0.72 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 51.48 เปอร์เซ็นต์ บดผสมเป็นเวลา 30 นาที หล่อแบบ 3 ชั่วโมง อบให้แห้งสนิทเผาที่อุณหภูมิเดียวกับการทดลองแรกพบว่าที่อุณหภูมิการเผา 650 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งแรงทางกลสูงสุดคือ 4.13 เมกะพาสคัล มีอัตราการไหลของน้ำกรอง 0.16 ลิตรต่อนาทีและดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา	วัสดุศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5672815023 : MAJOR MATERIALS SCIENCE

KEYWORDS: COMPOSITE CERAMICS / WATER FILTER / ACTIVATED CHARCOAL / ZEOLITE SODIUM A

THANAKORN TEPAMAT: FABRICATION OF WATER FILTERING AID FROM ACTIVATED RICE HUSK CHARCOAL/ZEOLITE/ZINC OXIDE COMPOSITE CERAMICS. ADVISOR: ASST. PROF. THANAKORN WASANAPIARNPONG, D.Eng., CO-ADVISOR: CHARUSPORN MONGKOLKACHIT, Ph.D., 125 pp.

This research focus on fabrication of water filtering aid from activated carbon and activated rice husk charcoal/zeolite/zinc oxide composite ceramics by slip casting method. In the first part of experiment, the slip was prepared from the mixture of 17.37% of zeolite NaA, 17.37% of activated carbon, 0.35% of ZnO nanoparticles, 8.77% of phenolic resin, 0.55% carboxymethyl cellulose and 55.59% of water. The slip was mixed in a rapid ball mill (450 rpm) for 15, 30, 45 and 60 minutes and was then poured into plaster molds for 3 hours in order to maintain hollow casting. The green body was dried and fired at several firing temperature of 600, 650, 700 and 750 °C for 1 hour in reduction atmosphere. Samples fired at 700 °C with different milling time (15, 30, 45 and 60 minutes) show good mechanical strength which are 2.59 2.99 3.48 and 3.47 MPa, respectively. Sample fired at 700 °C with milling time 30 minutes has efficiency of water filtration 0.14 L/min, water softening 31.78 %, adsorb free chlorine and antibacterial 100%. In the second part of experiment, The slip was prepared from the mixture of 37.86% of zeolite NaA and carbon composite, 0.38% of ZnO nanoparticles, 9.56% of phenolic resin, 0.72% of carboxymethyl cellulose and 51.48% of water. The slip casting process is the same as in the first part of experiment. It was found that desirable mechanical strength is 4.13 MPa which can be obtained from the sample fired at 650 °C and milling time of 30 minutes (Water filtration 0.16 L/min, Adsorb free chlorine 100%).

Department: Materials Science

Student's Signature

Field of Study: Materials Science

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ความช่วยเหลือ และสนับสนุนจากหลายภาคส่วนดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความรู้ ความเมตตา อบรมสั่งสอน ทั้งทางด้านงานวิจัยและการดำเนินชีวิต ตลอดจนมอบโอกาสและประสบการณ์ที่ดี

ดร.จรัสพร มงคลขจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ ความเมตตา ให้คำปรึกษาเพื่อแก้ไขปัญหา ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

อาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ความเมตตา ตลอดจนเจ้าหน้าที่และบุคลากรของภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน ทำให้มีความทรงจำที่ดีที่ได้จากบ้านสี่เทาแห่งนี้

หน่วยปฏิบัติการวิจัยเซรามิกขั้นสูง ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา และค่าดำเนินงานวิจัย

ทุน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา และค่าดำเนินงานวิจัย

ครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจ และ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เครื่องกรองน้ำดื่ม.....	4
2.2 น้ำประปา.....	6
2.3 น้ำกระด้าง.....	7
2.4 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resin).....	10
2.5 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon).....	10
2.6 ซีโอไลต์ (Zeolite).....	13
2.7 ซิงก์ออกไซด์ (Zinc oxide).....	15
2.8 แกลบและถ่านแกลบ.....	16
2.9 ตัวเชื่อมประสาน.....	17
2.10 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก.....	18

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 สารเคมีวัตถุติดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.1.1 สารเคมีและวัตถุติด.....	27
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 ขั้นตอนการวิจัย.....	28
3.2.1 การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ (ใช้ผงทางการค้า)	28
3.2.2 การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ ออกไซด์31	
3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน	32
3.2.4 วิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วย X-ray fluorescence.....	32
3.2.5 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ.....	32
3.2.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer.....	33
3.2.7 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	34
3.2.8 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง (3-Point-Bending)	36
3.2.9 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)	37
3.2.10 ความหนาแน่นรวม (Bulk density).....	37
3.2.11 ความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity)	37
3.2.12 วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมไอออนด้วย ICP-OES (Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy)	38
3.2.13 วิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำด้วยเครื่อง HANNA (Free Chlorine Meter) (Model: HI-701).....	39
3.2.14 การเตรียมน้ำเพื่อใช้ทดสอบกับไส้กรอง (ตะกอนขุ่นและความกระด้าง).....	41

3.2.15 การเตรียมน้ำเพื่อใช้ทดสอบกับไส้กรอง (เชื้ออีโคไล).....	42
3.3 แผนผังการทดลอง.....	44
3.3.1 การทดลองในส่วนแรกการขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์ เอ (ใช้ผงทางการค้า)	44
3.3.2 การทดลองในส่วนที่สองการขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่าน แกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	47
4.1 ผลการทดลองในส่วนแรกศึกษาการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์ทางการค้าเป็นวัตถุดิบ	47
4.1.1 การขึ้นรูปไส้กรอง.....	47
4.1.2 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซี โอไลต์/ซิงก์ออกไซด์	50
4.1.3 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์.....	52
4.1.4 ความพรุนตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน	53
4.1.5 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน	54
4.1.6 การหดตัวหลังเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซี โอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน.....	55
4.1.7 ความหนาแน่นรวมชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน	56
4.1.8 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซี โอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ใน บรรยากาศรีดักชัน.....	57

4.1.9	พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของ ถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เเผาที่ 700 องศา เซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	58
4.1.10	ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซี โอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ใน บรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายในเวลา 5 นาที	60
4.1.11	ประสิทธิภาพการกรองเชื้อแบคทีเรีย (<i>Escherichia coli</i>) ของไส้กรองเซรามิกเชิง ประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์	62
4.1.12	ประสิทธิภาพการลดความกระด้างในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัม มันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ภายในเวลา 5 นาที	64
4.1.13	ประสิทธิภาพการดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบ ถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ภายในเวลา 5 นาที	64
4.1.14	การกรองตะกอนขุ่นของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายใน เวลา 5 นาที	65
4.2	ผลการทดลองในส่วนที่สองศึกษาการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซี โอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้ถ่านแกลบกัมมันต์และ ซีโอไลต์เป็นวัตถุดิบ	65
4.2.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านแกลบ	65
4.2.2	องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน ที่ สังเคราะห์จากถ่านแกลบ	66
4.2.3	โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน	72
4.2.4	การขึ้นรูปไส้กรอง	77
4.2.5	ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัม มันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที	80
4.2.6	องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัม มันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที	82

4.2.7 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซี ไอโลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที.....	84
4.2.8 ความพรุนตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซี ไอโลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที	85
4.2.9 น้ำหนักที่หายไปหลังการเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่าน แกลบกัมมันต์/ซีไอโลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที.....	85
4.2.10 การหดตัวหลังเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ ซีไอโลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที.....	86
4.2.11 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัม มันต์/ซีไอโลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที.....	87
4.2.12 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัม มันต์/ซีไอโลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที.....	88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	89
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	90
รายการอ้างอิง	91
ภาคผนวก.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	125

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงเกณฑ์ความกระด้างของน้ำ.....	7
ตารางที่ 2.2 สมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบกรดแก่ของ DOWEX™ IR 100 H/Na	10
ตารางที่ 2.3 สมบัติ Cation Exchange Capacity (CEC) ของซีโอไลต์.....	14
ตารางที่ 2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยวิธีต่างๆ	18
ตารางที่ 2.5 ความพรุนตัวเฉลี่ยของไส้กรองที่เตรียมจากน้ำสลิปโดยใช้ผงอะลูมินา 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส	19
ตารางที่ 2.6 การเตรียมน้ำสลิปสำหรับการขึ้นรูปไส้กรองถ่านกัมมันต์	21
ตารางที่ 2.7 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างแท่งสี่เหลี่ยม	24
ตารางที่ 2.8 พื้นที่ผิวจำเพาะของชิ้นงานตัวอย่างแท่งสี่เหลี่ยม.....	25
ตารางที่ 4.1 ผลของการปรับเปลี่ยนปริมาณคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในการเตรียมน้ำสลิปเพื่อการหล่อแบบไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้เวลาในการบด 15 นาที การหล่อแบบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	48
ตารางที่ 4.2 ผลของการปรับเปลี่ยนปริมาณคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในการเตรียมน้ำสลิปเพื่อการหล่อแบบไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้เวลาในการบด 15 นาที การหล่อแบบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	49
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ และน้ำสลิปบดผสมที่เวลา 15-60 นาที.....	50
ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	59
ตารางที่ 4.5 ขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เเผาที่ 600-750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	60
ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายในเวลา 5 นาที.....	62

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกรองเชื้อแบคทีเรียของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของ ถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที	63
ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการลดความกระด้างในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของ ถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที	64
ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของ ถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที	64
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านแกลบ	66
ตารางที่ 4.11 การเตรียมน้ำสลิบโดยปรับเปลี่ยนคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และน้ำสำหรับการขึ้น รูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ใช้เวลาบดผสม 30 นาที เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมง	78
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ และ น้ำสลิบบดผสมที่เวลา 15-60 นาที.....	79
ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์	88

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องกรองน้ำดื่มทั่วไป	5
รูปที่ 2.2 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation).....	12
รูปที่ 2.3 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation).....	12
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซีโอไลต์	13
รูปที่ 2.5 กลไกการต้านแบคทีเรียของนาโนซิงก์ออกไซด์	15
รูปที่ 2.6 แกลบดิบ	16
รูปที่ 2.7 ถ่านแกลบ	16
รูปที่ 2.8 ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไส้กรองที่เตรียมจากน้ำสลิบโดยใช้ผงอะลูมินา 40-60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส.....	19
รูปที่ 2.9 โครงสร้างจุลภาคของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่สังเคราะห์จากดินขาว ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง a) กำลังขยายต่ำ b) กำลังขยายสูง.....	20
รูปที่ 2.10 ความสามารถลดความกระด้างในน้ำของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่สังเคราะห์จากดินขาว โดยการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออน.....	21
รูปที่ 2.11 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของไส้กรองถ่านแกลบกัมมันต์จากการบดผสม 5-60 นาที เผาที่ 700-900 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน.....	22
รูปที่ 2.12 การเตรียมถ่านแกลบ.....	23
รูปที่ 2.13 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนจากถ่านแกลบ	23
รูปที่ 2.14 การก่อกัมมันต์และทดสอบความแข็งแรงเชิงกล	23
รูปที่ 2.15 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์และถ่านแกลบกัมมันต์ (A) ก่อนเผา (B) เผาที่ 300 องศาเซลเซียส (C) เผาที่ 400 องศาเซลเซียส (D) เผาที่ 500 องศา เซลเซียส (E) เผาที่ 600 องศาเซลเซียสและ (F) เผาที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในบรรยากาศไนโตรเจน.....	24
รูปที่ 3.1 ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบ	26

รูปที่ 3.2 โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์ใช้ผงทางการค้า.....	28
รูปที่ 3.3 โครงสร้างจุลภาคของซีโอไลต์โซเดียม เอ ใช้ผงทางการค้า.....	29
รูปที่ 3.4 โครงสร้างจุลภาคของฟีนอลิกเรซิน.....	29
รูปที่ 3.5 หม้ออบปอร์ซเลน.....	29
รูปที่ 3.6 เครื่องบด High speed ball mill (450 rpm).....	30
รูปที่ 3.7 ตะแกรงร่อน.....	30
รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์ปูนพลาสติกที่ยังไม่ได้ประกบ.....	31
รูปที่ 3.9 เตาเผาแก๊ส.....	31
รูปที่ 3.10 X-ray Diffractometer	34
รูปที่ 3.11 Scanning Electron Microscope.....	35
รูปที่ 3.12 การทดสอบ 3-Point-Bending.....	36
รูปที่ 3.13 ICP-OES	39
รูปที่ 3.14 เครื่องกรองน้ำที่มีไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบต่อเข้ากับถังน้ำทดสอบ	40
รูปที่ 3.15 เครื่องวัดคลอรีนอิสระ HANNA (Model:HI-701).....	40
รูปที่ 3.16 ถังน้ำที่เตรียมเพื่อใช้ทดสอบกับเครื่องกรองน้ำ	41
รูปที่ 3.17 ขวดเชื้ออีโคไล.....	42
รูปที่ 3.18 ผสมเชื้อในถังน้ำ R.O. 30 ลิตร.....	42
รูปที่ 3.19 การเก็บเชื้ออีโคไลก่อนและหลังการกรอง.....	43
รูปที่ 3.20 ขวดเก็บเชื้ออีโคไลก่อนและหลังการกรองน้ำ (รูปซ้ายมือคือน้ำเชื้อก่อนการกรองน้ำ และรูปขวาคือ น้ำหลังการกรองน้ำ).....	43
รูปที่ 3.21 แผนผังการทดลองส่วนแรก.....	44
รูปที่ 3.22 แผนผังการทดลองส่วนที่สองการเตรียมวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนและซีโอไลต์โซเดียม เอ.....	45
รูปที่ 3.23 แผนผังการทดลองส่วนที่สองการขึ้นรูปไส้กรอง.....	46

รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์	51
รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมจากการบดผสม ก) 15 นาที่ ข) 30 นาที่ ค) 45 นาที่ และ ง) 60 นาที่ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง.....	52
รูปที่ 4.3 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน	53
รูปที่ 4.4 ความพรุนตัวของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน.....	54
รูปที่ 4.5 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน.....	55
รูปที่ 4.6 การหดตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน.....	56
รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน.....	57
รูปที่ 4.8 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที่ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศ รีดักชัน	58
รูปที่ 4.9 ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่ติดจุกทองเหลือง หรือสแตนเลส.....	61
รูปที่ 4.10 ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ แตกเสียหาย หลังจากการกรองน้ำ.....	62
รูปที่ 4.11 การกรองตะกอนขุ่นของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ ออกไซด์ จากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที่ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 นาที	65
รูปที่ 4.12 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง.....	67

รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโพลีโพรพิลีน เอ และคาร์บอน สัณฐานที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง.....	75
รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโพลีโพรพิลีน เอ และคาร์บอน สัณฐานที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง.....	75
รูปที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโพลีโพรพิลีน เอ และคาร์บอน สัณฐานที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง.....	76
รูปที่ 4.27 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโพลีโพรพิลีน เอ และคาร์บอน สัณฐานที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง.....	77
รูปที่ 4.28 ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา ของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ ใช้เวลาบดผสม 15 นาที เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมง	79
รูปที่ 4.29 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส.....	81
รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส	81
รูปที่ 4.31 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 650-750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	83
รูปที่ 4.32 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส.....	84
รูปที่ 4.33 ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส.....	85
รูปที่ 4.34 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโพลีโพรพิลีน/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส.....	86

รูปที่ 4.35 การหัดตัวหลังการเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกำมันต์/
ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750
องศาเซลเซียส..... 87

รูปที่ 4.36 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกำมันต์/ซี
โอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750
องศาเซลเซียส..... 88



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำดื่มสะอาดปราศจาก กลิ่น สี รสชาติ และเชื้อโรค คือสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ การผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคนั้น ทำโดยการประปาของแต่ละชุมชน แต่ละเมือง น้ำประปานั้นจะมีความสะอาดเพียงพอต่อการดื่มกิน แต่เนื่องจากระบบการส่งน้ำประปาไปยังแต่ละชุมชน แต่ละเมืองนั้นต้องส่งผ่านระบบท่อซึ่งมักมีการปนเปื้อนของสนิมเหล็ก ตะกอนปูนหรือสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ รวมทั้งมีกลิ่นคลอรีนจากน้ำประปา ดังนั้นในปัจจุบันเครื่องกรองน้ำดื่มตามบ้านเรือนจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ตลาดเครื่องกรองน้ำดื่มตามบ้านเรือนขยายตัวอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้จากสถานการณ์น้ำท่วมครั้งรุนแรงในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมา ทำให้เกิดความต้องการในการเตรียมพร้อมเพื่อรับมือกับสถานการณ์น้ำท่วม และหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ผู้ประสบอุทกภัยพบเจอ คือ การขาดแคลนน้ำสะอาดสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภค ดังนั้นการเตรียมน้ำสะอาดสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคในภาวะฉุกเฉินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง รวมทั้งอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปายังเป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่มีการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา เพราะเป็นสินค้าที่มีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตประจำวัน นอกจากนี้น้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติก็หาได้ยากขึ้น จึงมีความสำคัญในการทำวิจัยเกี่ยวกับไส้กรองน้ำเซรามิกเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันรวมทั้งเตรียมรับมือกับสถานการณ์การขาดแคลนน้ำสะอาดที่อาจเกิดขึ้นได้โดยไม่คาดคิด

เครื่องกรองน้ำดื่ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำหรับติดตั้งกับท่อจ่ายน้ำ ใช้กรองน้ำประปาเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือสิ่งไม่พึงประสงค์ในการดื่มน้ำ ได้แก่ กลิ่น สี ความขุ่น และแบคทีเรียบางชนิด ที่อาจปนเปื้อนในระบบท่อส่งน้ำ ถังพักน้ำ และระบบท่อจ่ายน้ำ ด้วยสมบัติของเครื่องกรองน้ำดื่มดั่งที่ได้กล่าวมา ทำให้เครื่องกรองน้ำดื่มนั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อทุกครัวเรือนเพื่อกรองและป้องกันสารปนเปื้อนก่อนการอุปโภคบริโภค ซึ่งเครื่องกรองน้ำที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยนั้น มักประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และไส้กรองเซรามิกรูพรุนสูง โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่แตกต่างกันออกไปดังนี้ ถ่านกัมมันต์ทำหน้าที่ดูดซับกลิ่น สารคลอรีนและสารสนิมเหล็ก สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในเครื่องกรองน้ำดื่มนั้นจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ บรรจุอยู่ในท่อทรงกระบอก และส่วนใหญ่จะผลิตมาจากถ่านหินหรือกะลามะพร้าวที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีหรือทางความร้อนและไอน้ำแล้วบดย่อยให้มีขนาดตามความต้องการ ราคาของถ่านกัมมันต์นั้นประมาณ 60-100 บาทต่อกิโลกรัม มีอายุการใช้งานประมาณ 1-2 ปี

ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนจะทำหน้าที่ลดความกระด้างของน้ำโดยจะดึงไอออนบวกในน้ำมาเกาะที่ตัวเรซินแทน เพื่อให้ น้ำกระด้างกลายเป็นน้ำอ่อน ส่วนประกอบสุดท้ายคือ ไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูง ทำหน้าที่กรองตะกอนขุ่น และเชื้อแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน ส่วนใหญ่ไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูงมักนิยมทำมาจากอะลูมินา หรือไดอะทอมไมต์ อาจมีการเพิ่มส่วนประกอบที่มีสมบัติการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โอโซน หรือการเติมผงซิงก์ออกไซด์ที่มีความละเอียดระดับนาโนเมตร ซึ่งมีการศึกษาและรายงานผลว่าผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรมีสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิดที่พบได้ในชีวิตประจำวันทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องอาศัยการกระตุ้นด้วยแสง อีกทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต

ในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุพอลิเมอร์พูนมาใช้แทนไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูงในการกรองน้ำเช่นกัน แต่ก็มีข้อด้อยคือเมื่อประสิทธิภาพการกรองต่ำลงจะไม่สามารถคืนสภาพใหม่ได้ ซึ่งแตกต่างจากไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูง ที่สามารถนำมาทำความสะอาดด้วยการขัดสีผิวเพื่อให้สามารถคืนประสิทธิภาพการกรองน้ำได้ และในส่วนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ได้มีการใช้ซีโอไลต์ซึ่งเป็นสารประกอบพวกอะลูมิโนซิลิเกต มาใช้แทนโดยนิยมใช้ซีโอไลต์โซเดียมเอ เนื่องจากมีสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนที่สูงมาก

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรองน้ำเซรามิกเชิงประกอบที่มีลักษณะเป็นท่อปลายปิด ซึ่งมีสมบัติดูดซับกลิ่น ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย แลกเปลี่ยนไอออนลดความกระด้าง และกรองตะกอนขุ่นจนถึงเชื้อแบคทีเรีย สำหรับน้ำดื่ม โดยใช้วัสดุถ่านแกลบกัมมันต์สำหรับการดูดซับกลิ่น ซีโอไลต์ซึ่งมีสมบัติแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อลดความกระด้างของน้ำดื่ม และซิงก์ออกไซด์ (ความละเอียดขนาดนาโนเมตร) สำหรับการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปไส้กรองด้วยการหล่อแบบน้ำสลิปในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แกะออกจากแบบ อบแห้งแล้วเผาจนได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรง รูปทรงระบอบ และมีรูพรุนขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์และ ซีโอไลต์ เอ ทางการค้าเป็นวัตถุดิบ ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบน้ำสลิป และเผาในบรรยากาศรีดักชัน

1.2.2 ศึกษาการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยการสังเคราะห์จากแกลบเป็นวัตถุดิบ ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบน้ำสลิป และเผาในบรรยากาศรีดักชัน

1.2.3 ปรับปรุงสมบัติหลังเผาผิวของชิ้นงานที่เตรียมได้ ให้มีความแข็งแรง ขนาดรูพรุน การดูดซับกลิ่น และการแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสมกับการใช้งานกรองน้ำดื่ม

1.2.4 ปรับปรุงรูปแบบของชิ้นงานตัวอย่างให้เหมาะสมกับการกรองน้ำดื่มเมื่อประกอบเป็นเครื่องกรองน้ำดื่มแล้วได้แก่รูปร่าง ขนาด ความหนา รวมถึงอัตราการกรองน้ำของชุดเครื่องกรองน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.3.1 การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่ใช้วัตถุดิบเป็นผงทางการค้า โดยใช้การบดผสมในหม้อบดเหวี่ยงความเร็วสูง โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการบด เวลาในการหล่อแบบ และอุณหภูมิการเผาชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงนำไปใช้ทดสอบการกรองน้ำดื่มได้

1.3.2 การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่ใช้วัตถุดิบที่ได้จากการสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ โดยการใช้การบดผสมในหม้อบดเหวี่ยงความเร็วสูง โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการบด เวลาในการหล่อแบบ และอุณหภูมิของการเผาชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงนำไปใช้ทดสอบการกรองน้ำดื่มได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ไส้กรองน้ำดื่มเตรียมจากเซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในท้องตลาด ใช้งานได้ง่าย กระทบจัด

บทที่ 2

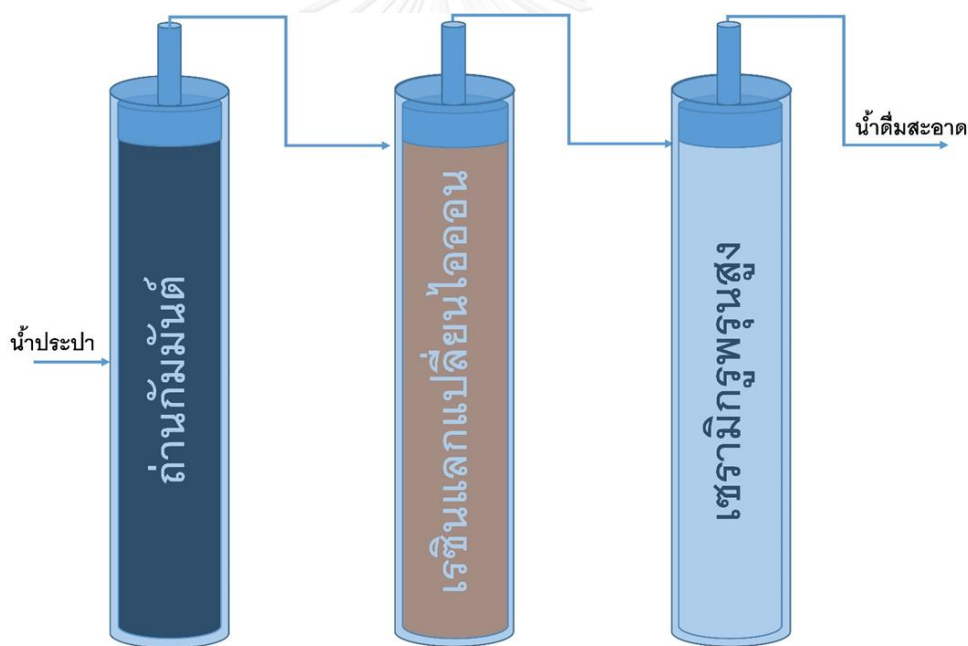
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาสุขภาพ โรคภัยไข้เจ็บของมนุษย์ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการอุปโภคบริโภค โดยเฉพาะ การบริโภคน้ำดื่มที่มีสารปนเปื้อน (องค์การอนามัยโลก 2554) เพราะฉะนั้น น้ำดื่มสะอาดปราศจาก กลิ่น สี รสชาติ และเชื้อโรค จึงจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ การผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคและ บริโภคนั้น ทำโดยการประปาของแต่ละชุมชน แต่ละเมือง น้ำประปานั้นจะมีความสะอาดเพียงพอต่อ การอุปโภค และบริโภค แต่เนื่องจากระบบการส่งน้ำประปาไปยังแต่ละชุมชน แต่ละเมือง นั้นต้อง ส่งผ่านระบบท่อซึ่งมักมีการปนเปื้อนของสนิมเหล็ก ตะกอนขุ่นหรือสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นอันตราย ต่อสุขภาพ รวมทั้งมีกลิ่นคลอรีนจากน้ำประปา ดังนั้นในปัจจุบันเครื่องกรองน้ำดื่มจึงเป็นอุปกรณ์ที่มี ความสำคัญเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ตลาดเครื่องกรองน้ำดื่มตามบ้านเรือนขยายตัวอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้จากสถานการณ์น้ำท่วมครั้งรุนแรงในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมา ทำให้เกิดความ ต้องการในการเตรียมพร้อมเพื่อรับมือกับสถานการณ์น้ำท่วม และหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ผู้ประสบ อุทกภัยพบเจอ คือ การขาดแคลนน้ำสะอาดสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภค ดังนั้นการเตรียมน้ำ สะอาดสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคในภาวะฉุกเฉินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง รวมทั้งอุตสาหกรรมน้ำ ดื่มและน้ำประปายังเป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตาม จำนวนประชากรที่มีการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา เพราะเป็นสินค้าที่มีความจำเป็นสำหรับการดำรง ชีวิตประจำวัน นอกจากนี้น้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติก็หาได้ยากขึ้น จึงนับมีความสำคัญในการ ทำวิจัยเกี่ยวกับไส้กรองน้ำเซรามิกเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันรวมทั้งเตรียมรับมือกับสถานการณ์การขาด แคลนน้ำสะอาดที่อาจเกิดขึ้นได้โดยไม่คาดคิด

2.1 เครื่องกรองน้ำดื่ม

เครื่องกรองน้ำดื่ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำหรับติดตั้งกับท่อจ่ายน้ำ ใช้กรองน้ำประปาเพื่อ กำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือสิ่งไม่พึงประสงค์ในการดื่มน้ำ ได้แก่ กลิ่น สี ความขุ่น และแบคทีเรียบางชนิด ที่ อาจปนเปื้อนในระบบท่อส่งน้ำ ถังพักน้ำ และระบบท่อจ่ายน้ำ ด้วยสมบัติของเครื่องกรองน้ำดื่มดั่งที่ได้ กล่าวมา ทำให้เครื่องกรองน้ำดื่มนั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อทุกครัวเรือนเพื่อกรองและป้องกัน สารปนเปื้อนก่อนการอุปโภคบริโภค ซึ่งเครื่องกรองน้ำที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยนั้น มัก ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่แตกต่างกันออกไปดังนี้ ถ่านกัมมันต์ทำหน้าที่ดูดซับกลิ่น สารคลอรีน [1-3] และสารสนิมเหล็ก สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในเครื่องกรองน้ำดื่มนั้นจะมีลักษณะเป็น เม็ดเล็กๆ บรรจุอยู่ในท่อทรงกระบอก และส่วนใหญ่จะผลิตมาจากถ่านหินหรือกะลามะพร้าวที่ผ่าน

การกระตุ้นทางเคมีหรือทางกายภาพแล้วบดย่อยให้มีขนาดตามความต้องการ ราคาของถ่านกัมมันต์นั้นประมาณ 60-100 บาทต่อกิโลกรัม มีอายุการใช้งานประมาณ 1-2 ปี ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนจะทำหน้าที่ลดความกระด้างของน้ำโดยจะดึงไอออนบวกในน้ำมาเกาะที่ตัวเรซินแทน เพื่อให้น้ำกระด้างกลายเป็นน้ำอ่อน ส่วนประกอบสุดท้ายคือ ไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูง ทำหน้าที่กรองตะกอนขุ่นและเชื้อแบคทีเรียบางชนิดที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.3 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่ไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูงมักนิยมทำมาจากอะลูมินา โดยทาง Falamaki และ Beyhaghi [4] ได้ศึกษาการขึ้นรูปไส้กรองทรงกระบอกจากผงอะลูมินาเป็นส่วนผสมหลัก โดยใช้อัตราส่วนของผงอะลูมินาที่มีขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสเป็นตัวเชื่อมประสาน จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสม พบว่าการเผาผนึกที่อุณหภูมิจะส่งผลให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดรูพรุนที่ได้คือ 0.13-0.24 ไมโครเมตร



ลำดับการกรองน้ำดื่ม

1. ถ่านกัมมันต์ ดูดซับคลอรีน
2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ลดความกระด้างของ
3. น้ำเซรามิกรูปทรงสูง กรองตะกอนขุ่นและแบคทีเรีย

รูปที่ 2.1 เครื่องกรองน้ำดื่มทั่วไป

ในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุพอลิเมอร์พูนมาใช้แทนไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูงในการกรองน้ำเช่นกัน แต่ก็มีข้อด้อยคือเมื่อประสิทธิภาพการกรองต่ำลงจะไม่สามารถคืนสภาพใหม่ได้ ซึ่งแตกต่าง

จากไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูง ที่สามารถนำมาทำความสะอาดด้วยการขัดสีผิวเพื่อทำให้สามารถคืนประสิทธิภาพการกรองน้ำได้ และในส่วนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ได้มีการใช้ซีโอไลต์ซึ่งเป็นสารประกอบพวกอะลูมิโนซิลิเกต มาใช้แทนโดยนิยมใช้ซีโอไลต์โซเดียม เอ เนื่องจากมีสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนที่สูงมาก

จากสมบัติของส่วนประกอบหลักของเครื่องกรองน้ำทั้ง 3 ส่วนคือ ถ่านกัมมันต์ (ดูดซับกลิ่น) [5, 6] เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (ลดความกระด้างของน้ำ) และไส้กรองเซรามิกรูปทรงสูง (กรองตะกอน ชุ่นและแบคทีเรีย) อาจมีการเพิ่มส่วนประกอบที่มีสมบัติการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โอโซน หรือการเติมผงซิงก์ออกไซด์ที่มีความละเอียดระดับนาโนเมตร ซึ่งมีการศึกษาและรายงานผลว่าผงซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรมีสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิดที่พบได้ในชีวิตประจำวันทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องอาศัยการกระตุ้นด้วยแสง อีกทั้งยังไม่ส่งผลอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

2.2 น้ำประปา

ประปาที่เราใช้อุปโภคและบริโภคนั้นเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนและมีการลงทุนที่ค่อนข้างสูงซึ่งมีขั้นตอนการผลิตหลักๆ ดังนี้[7]

- 1) สูบน้ำจากแหล่งน้ำดิบจากธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่นๆ ที่จัดเตรียมไว้ซึ่งจะมีการตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพของน้ำดิบอย่างสม่ำเสมอ
- 2) ปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ โดยการใส่สารส้มหรือปูนขาวเพื่อช่วยในการตกตะกอนและปรับค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำดิบ
- 3) น้ำที่ผสมสารส้มหรือปูนขาวแล้ว จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกลงสู่ก้นถัง จนได้น้ำที่มีความใสสะอาด
- 4) กรองน้ำด้วยทรายกรองและกรวดกรองเพื่อกำจัดตะกอนหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กมากๆ อีกครั้ง เพื่อให้ได้น้ำที่มีความใสสะอาดมากขึ้น
- 5) ใส่คลอรีนในน้ำที่ผ่านการกรองแล้วในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อฆ่าเชื้อโรคแต่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายแล้วนำไปเก็บในถังใสเพื่อรอการสูบจ่าย
- 6) ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำประปาที่ผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่ใสสะอาด ปลอดภัย
- 7) การสูบจ่ายน้ำประปาโดยการปล่อยน้ำจากหอถังสูงหรือสูบน้ำเข้าระบบท่อจ่ายน้ำเพื่อเพิ่มแรงดันน้ำ ทำให้ส่งน้ำไปได้ไกลและให้บริการประชาชนได้อย่างทั่วถึง

2.3 น้ำกระด้าง

ความกระด้างของน้ำเกิดจากธาตุโลหะที่อยู่ในสภาพไอออนที่มีประจุบวก (Cation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพไอออนที่มีประจุ +2 เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}), แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นต้น และอาจมีธาตุอื่นๆ เช่น เหล็ก (II) ไอออน (Fe^{2+}), แมงกานีส (II) ไอออน (Mn^{2+}) และ สทรอนเซียมไอออน (Sr^{2+}) แต่มีอยู่ในปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+}

ค่าจำกัดความของความกระด้างของน้ำจะแทนค่าด้วยความเข้มข้นทั้งหมดของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} โดยจะแสดงในหน่วยของ มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (mg/l as CaCO_3) อย่างไรก็ตามถ้าไอออนตัวอื่น ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมากก็จะต้องคิดรวมด้วยโดยสามารถจัดแบ่งระดับคุณลักษณะของน้ำตามความกระด้างดังนี้[8]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงเกณฑ์ความกระด้างของน้ำ

เกณฑ์ความกระด้างของน้ำ	ปริมาณความกระด้างของน้ำ (mg/l as CaCO_3)
น้ำอ่อน	0-75
น้ำค่อนข้างกระด้าง	75-150
น้ำกระด้าง	150-300
น้ำกระด้างมาก	มากกว่า 300

ความกระด้างไม่มีผลเชิงลบต่อสุขภาพจึงไม่มีการกำหนดค่าสูงสุดของความกระด้างในเกณฑ์แนะนำองค์การอนามัยโลก มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) มาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข และ มาตรฐานกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เกณฑ์ปกติในกระบวนการผลิตน้ำประปาผลิตจ่ายจะควบคุมความกระด้างสุดท้ายอยู่ในช่วง 70 ถึง 120 mg/l as CaCO_3 เพื่อป้องกันการกัดกร่อนในเส้นท่อและเพื่อประโยชน์ในการซักล้างหากความกระด้างน้อยกว่านี้จะเกิดการกัดกร่อนสูงเนื่องจากเป็นน้ำอ่อน และความกระด้างสูงสบู่มจะไม่เกิดฟองทำให้สิ้นเปลืองสบู่

ประเภทของความกระด้าง

ความกระด้างในน้ำที่มีอยู่ทุกประเภทจะรวมเรียกว่า ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) แบ่งตามไอออนที่มีอยู่ในน้ำได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- 1) แบ่งตามไอออนประจุลบที่มีอยู่ในน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

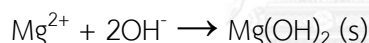
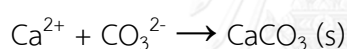
1.1) ความกระด้างคาร์บอเนต หรือความกระด้างชั่วคราว (Carbonate Hardness or Temporary Hardness) ซึ่งได้แก่ คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) โดยส่วนใหญ่ในน้ำจะเป็นจำพวก HCO_3^- ซึ่งเมื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถกำจัดความกระด้างประเภทนี้ได้ (เมื่อถูกความร้อนจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน)

1.2) ความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนตหรือความกระด้างถาวร (Non-Carbonate Hardness or Permanent Hardness) ซึ่งได้แก่ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งความกระด้างประเภทนี้จะไม่สามารถถูกกำจัดได้ ต้องใช้วิธีทางเคมีในการแก้ไข

2) แบ่งตามไอออนประจุบวกในน้ำ ส่วนใหญ่เป็น Ca^{2+} เรียกว่า Calcium Hardness และ Mg^{2+} เรียกว่า Magnesium Hardness

กระบวนการกำจัดความกระด้าง

1) การกำจัดความกระด้างของน้ำด้วยปูนขาว-โซดาแอส (Lime-soda ash softening) เนื่องจาก Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นสารส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดความกระด้าง วิธีการนี้จะใช้หลักการของปฏิกิริยาก่อตะกอน (Precipitation) เพื่อทำให้สารทั้งสองเป็นของแข็งแยกตัวออกจากน้ำโดยทำให้ Ca^{2+} อยู่ในรูป CaCO_3 (s) และ Mg^{2+} อยู่ในรูป $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (s) ดังปฏิกิริยา



ด้วยวิธีการนี้สารเคมีสำคัญที่เราเติมลงไปในน้ำคือ

CO_3^{2-} จะมาจากโซดาแอส (soda ash) ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า Sodium Carbonate (Na_2CO_3)

OH^- ได้มาจาก น้ำปูนขาว ซึ่งก็คือ Calcium Hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) แต่ในทางปฏิบัติ เราจะใช้ผงปูนขาว (Calcium oxide: CaO) มาผสมน้ำให้ละลายได้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

ในการก่อตะกอน CaCO_3 ค่า pH ของน้ำจะต้องสูงถึง 10.3 ในขณะที่การก่อตะกอนของ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ จะต้องใช้ค่า pH สูงถึง 11 นอกจากนั้น ถ้าน้ำมีสาร Alkalinity (HCO_3^- หรือ CO_3^{2-}) ไม่เพียงพอต่อการก่อตะกอนของ CaCO_3 จะต้องมีการเติม CO_3^{2-} ลงไปในน้ำ ซึ่งได้แก่ถ้าโซดานั่นเอง (Na_2CO_3) จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการกำจัดความกระด้าง Non-Carbonate Hardness สูงกว่า Carbonate Hardness มาก เนื่องจากต้องเติม Na_2CO_3 เพิ่มลงไป ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงยินยอมให้มี Non-Carbonate Hardness อยู่ในน้ำได้บ้าง ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ นั่นก็คือ อยู่ในช่วงน้ำอ่อนถึงน้ำกระด้างปานกลาง

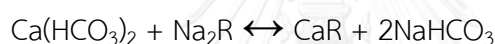
วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดต่างๆ และค่อนข้างยุ่งยากไม่สามารถกำจัดความกระด้างได้ทั้งหมด (100%) เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น

น้ำที่ผ่านการเติมปูนขาว (Calcium oxide: CaO) และโซดาแอช (soda ash: Na₂CO₃) หากไม่มีการปรับค่า pH ให้เหลือประมาณ 8.6 จะเกิดการตกตะกอนของ CaCO₃ ทำให้เกิดเป็นตะกอนบนเม็ดทรายในกระบวนการกรอง หรือเกิดการอุดตันในเส้นท่อ ต้องมีกระบวนการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อลดค่า pH ให้เหลือประมาณ 8.6 เพื่อเป็นการป้องกันการตกตะกอนของ CaCO₃

ค่าความกระด้างต่ำสุดที่ได้จากวิธีนี้จะอยู่ที่ประมาณ 30 mg/l as CaCO₃

2) การทำน้ำอ่อนด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นกระบวนการทางเคมีที่ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนแบบย้อนกลับได้ระหว่างตัวกลางของแข็งและของเหลว วัสดุที่เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน ได้แก่ ซีโอไลต์ (Zeolites) หรือเรซิน (Resin) ในการทำงานด้วยวิธีนี้น้ำกระด้างจะไหลผ่านถัง (หรือหลอด) ที่บรรจุด้วยสารแลกเปลี่ยนไอออนซีโอไลต์ (Zeolites) หรือเรซิน (Resin) Ca²⁺ และ Mg²⁺ ที่ทำให้เกิดความกระด้างในน้ำก็จะแลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่บนสารแลกเปลี่ยนไอออนนั้น (โดยปกติจะเป็นโซเดียม) ดังตัวอย่างสมการเคมี



โดยที่ R เป็นวัสดุของสารแลกเปลี่ยนไอออน จากปฏิกิริยาเคมีข้างต้น จะเห็นได้ว่า แคลเซียม (หรือแมกนีเซียม) จะถูกกำจัดออกจากน้ำและถูกแทนที่ด้วยโซเดียมในปริมาณสมมูลเคมีที่เท่ากัน ในขณะที่ค่า Alkalinity ของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง การแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะทำให้เกิดการกำจัดความกระด้างของน้ำได้ 100% จนกระทั่งสมรรถนะ (Capacity) ของสารแลกเปลี่ยนไอออนหมดลงหรือที่เรียกกันว่าเกิดการอิ่มตัวก็ จะไม่มีการกำจัดความกระด้างของน้ำต้องฟื้นฟูประสิทธิภาพ (Regeneration) ด้วยน้ำเกลือหรือน้ำที่มีปริมาณ Na⁺ สูงเพื่อให้ไอออนของความกระด้างหลุดออกจากสารแลกเปลี่ยนไอออน ดังปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออน



จะเห็นได้ว่ากระบวนการกำจัดความกระด้างทั้งสองวิธีมีขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นมาในการจะเลือกใช้วิธีใดนั้นจะต้องคำนึงถึงความจำเป็นในการใช้น้ำว่าใช้ในกิจการใดเช่น ถ้าใช้ในอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อต้มไอน้ำควรเป็นน้ำที่ไม่มี ความกระด้าง ในน้ำประปาควรเป็นน้ำกระด้างปานกลางเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในเส้นท่อและเพื่อประโยชน์ในการซักล้าง

ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากน้ำกระด้าง

ทำให้เกิดตะกอนในหม้อน้ำ เครื่องทำความร้อน ท่อน้ำร้อน เครื่องใช้ในครัว ฯลฯ

เกิดตะกอนแข็งเกาะติดผิววัสดุต่างๆ เมื่อได้รับความร้อนพอเพียง

ทำให้การชักฟอกไม่มีฟองเกิดความสิ้นเปลืองน้ำมากกว่าปกติในขณะอาบน้ำฟองสบู่เกิดได้ยาก

หากเป็นน้ำดื่มจะมีรสแปลกไปสำหรับผู้บริโภคที่ยังไม่คุ้นรส

เกิดสีเหลืองติดบนเสื้อผ้าหากซักล้างด้วยความร้อน

ในงานวิจัยนี้จะใช้ CaCl_2 ละลายน้ำเพื่อจำลองความกระด้างของน้ำเพราะละลายน้ำได้ดี

2.4 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resin)

เรซิน คือสารประกอบโมเลกุลใหญ่ (polymer) แบบสามมิติ (three dimensional network) ที่ได้จากการรวมตัวกัน ทางเคมี ของสารประกอบโมเลกุลเดี่ยว (monomer) เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้ [9]

เรซินแบบกรดแก่ (strong acidic cationic resin)

เรซินแบบกรดอ่อน (weak acidic cationic resin)

เรซินแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin)

เรซินแบบด่างอ่อน (weak basic anionic resin)

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบกรดแก่ [10] ของ DOWEX™ IR 100 H/Na ซึ่งมีค่า Total Exchange Capacity กับ Na form คือ 2 Eq/L

ตารางที่ 2.2 สมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบกรดแก่ของ DOWEX™ IR 100 H/Na

Guaranteed Sales Specification	Na form	H form
Total Exchange Capacity, min (Eq/L)	2.0	1.8
Water content (%)	42-50	50-58
Uniformity Coefficient, max	1.9	1.9

2.5 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

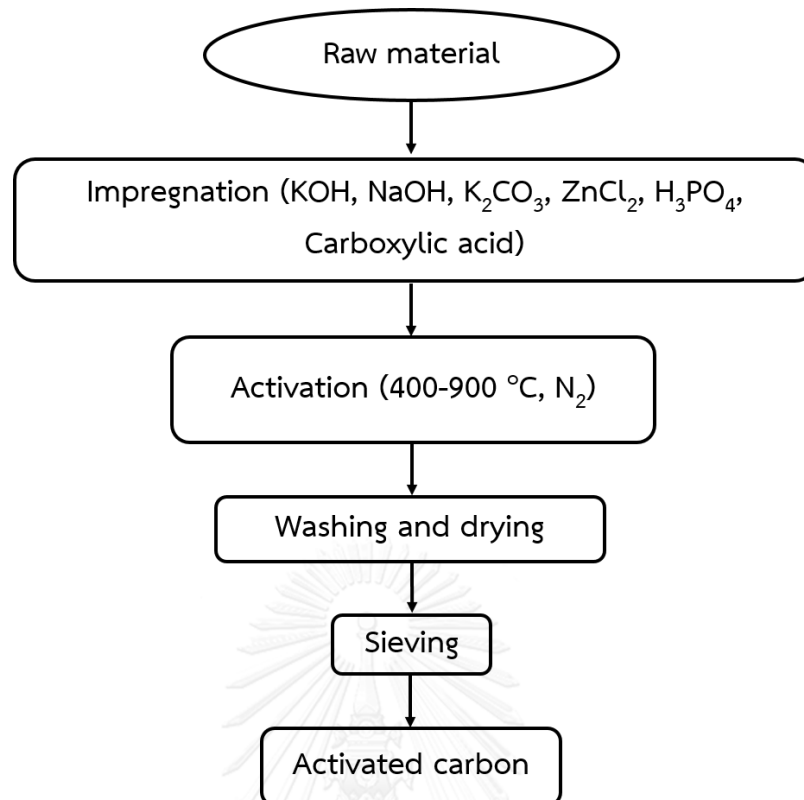
เป็นถ่านที่มีการปรับปรุงคุณภาพ สามารถทำได้โดยการนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซ และของเหลวได้ในปริมาณมาก [11] ถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะมีปริมาณคาร์บอนมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบนั้นๆ ขนาดรูพรุนบริเวณผิวขรุขระเป็นสิ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์ จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่สารนั้นมีขั้วหรือไม่มีขั้ว

นอกจากนี้ตำแหน่งที่ว่องไวบริเวณผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นสิ่งกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกับโมเลกุลอื่น ดังนั้นในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ผิวเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีที่ผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเช่นกัน ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมหรือวิธีกระตุ้นที่ต่างกัน จะทำให้มีลักษณะการดูดซับที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ควรมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับสารที่จะทำการดูดซับ การผลิตถ่านกัมมันต์สามารถทำได้โดยการนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านกระดูก เป็นต้น ไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ที่อุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส [12] เพื่อให้ได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงอยู่ จากนั้นนำไปกระตุ้นหรือถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งมี 2 วิธีดังนี้คือ การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) และการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

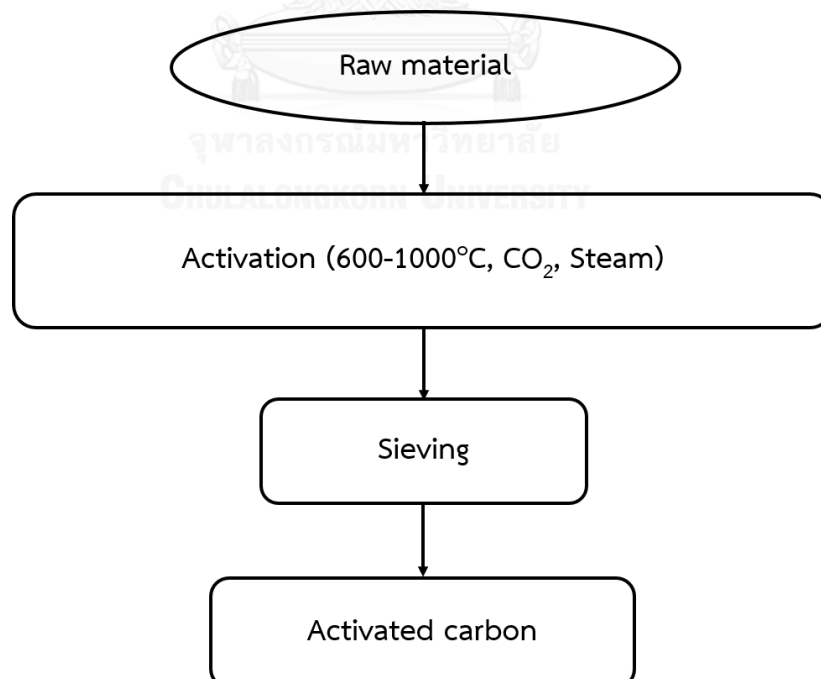
การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี เช่น KOH NaOH K_2CO_3 $ZnCl_2$ H_3PO_4 และ Carboxylic acid ผสมในถ่าน เพื่อให้สามารถแทรกซึม (Impregnation) ได้ทั่วถึง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 400-900 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน [13, 14] ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การกระตุ้นทางเคมีทำได้ง่ายสะดวก ประหยัดเวลา และใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่อาจมีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ได้

การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้ไอน้ำ (Steam) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น ร่วมกับการให้ความร้อน โดยใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 600-1000 องศาเซลเซียส ข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพคือไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

ถ่านกัมมันต์ถูกประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมายเช่น การฟอกสีน้ำตาลทราย ส่วนประกอบในเครื่องสำอาง ยารักษาโรค ระบบดูดซับในโรงงานอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสีย การทำน้ำประปา และการผลิตน้ำดื่ม เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation)

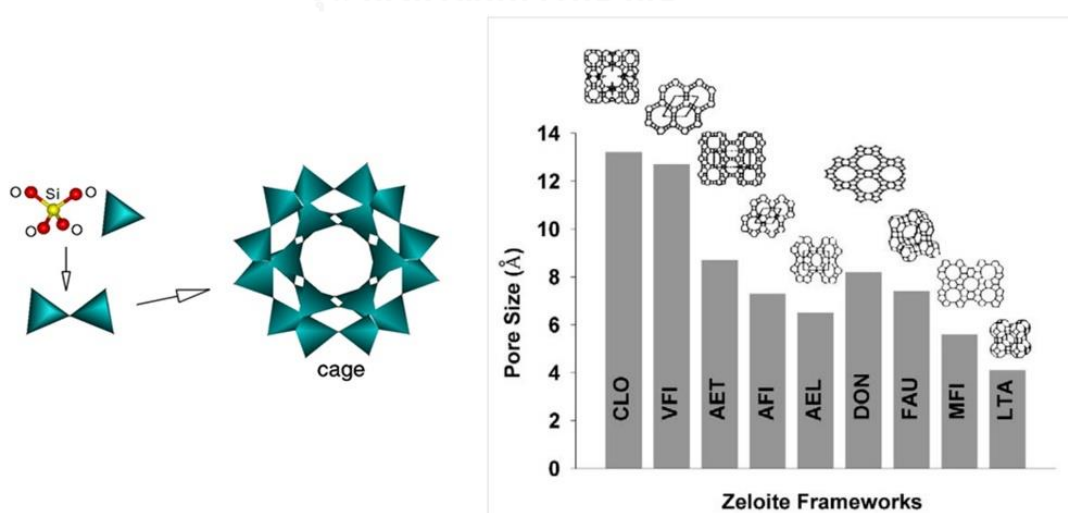


รูปที่ 2.3 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

2.6 ซีโอไลต์ (Zeolite)

เป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอนหรืออะลูมิเนียมหนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4^{+4}) หรือ (AlO_4^{-5}) สร้างพันธะกันเป็นรูปทรงสี่หน้า (tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอนหรืออะลูมิเนียมอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ โดยโครงสร้างทรงสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (มีการใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง มีรูพรุน และช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ [15-23] ขนาดตั้งแต่ 2-10 Å ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10}$ เมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [18] นอกจากซิลิคอนและออกซิเจนแล้วในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวมๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึก สามารถดื่มให้เดือดระเหยออกไปได้

เนื่องจากการมีโครงสร้างที่มีรูพรุนที่เป็นลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์ ทำให้สามารถนำซีโอไลต์ไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น การแตกตัวในกระบวนการปิโตรเลียมเคมี การแลกเปลี่ยนประจุ (ใช้ในการลดความกระด้างของน้ำและทำให้น้ำบริสุทธิ์) [15, 24-37] และการแยกก๊าซและตัวทำละลาย รวมทั้งการนำไปใช้เชิงเกษตรกรรม การเลี้ยงสัตว์ และก่อสร้าง ในการใช้งานตัวกรอง สามารถนำซีโอไลต์ไปกรองสารที่ต้องการ โดยโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดโพรงของซีโอไลต์ก็จะสามารถผ่านไปได้ ในขณะที่โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะไม่สามารถผ่านออกมาได้ และโมเลกุลที่ต้องการซึ่งมีขนาดพอดีกับโพรงของซีโอไลต์ก็จะถูกกักไว้ภายในโพรง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซีโอไลต์

ในการใช้งานเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุของซีโอไลต์ ประจุบวกของโลหะที่เกาะอยู่กับซีโอไลต์นั้นจะเกาะอยู่อย่างหลวมๆ และพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนประจุกับโลหะอื่นเมื่ออยู่ในสารละลาย ด้วยหลักการนี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการลดความกระด้างของน้ำได้ [38, 39] โดยโลหะแอลคาไลน์ เช่น โซเดียม หรือ โพแทสเซียม ที่เกาะอยู่กับซีโอไลต์จะทำการแลกเปลี่ยนประจุกับแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นประจุของโลหะในน้ำที่เป็นตัวการทำให้น้ำกระด้าง นอกจากนี้ยังมีการนำซีโอไลต์มาใช้ลดความกระด้างของน้ำแทนฟอสเฟตในผงซักฟอก เนื่องจากฟอสเฟตนั้นถือว่าเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ซีโอไลต์โซเดียม เอ (Zeolite NaA, Linde Type A) ซีโอไลต์โซเดียม เอ ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายอุตสาหกรรม เช่น ผงซักฟอก, ลดความกระด้างของน้ำในอุตสาหกรรมที่มีหม้อต้ม อุตสาหกรรมการผลิตน้ำ และ การแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน [40] เป็นต้น เพราะซีโอไลต์ เอมีสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุที่ดีดูดซับน้ำดี และมีขนาดรูพรุนที่สม่ำเสมอประมาณ 0.41 นาโนเมตรซีโอไลต์ เอ มีอัตราส่วนของซิลิคอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1 ตกผลึกได้เร็วกว่าซีโอไลต์ชนิดอื่นๆ ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการตกผลึก 1-2 ชั่วโมง

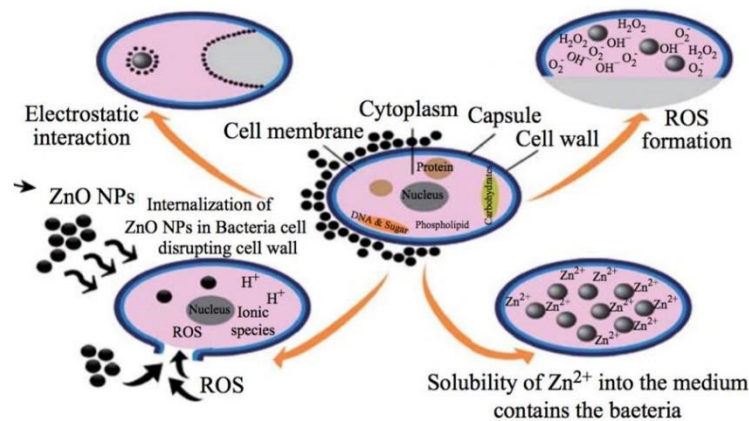
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติ Cation Exchange Capacity (CEC) ของซีโอไลต์ [41] ที่สำคัญๆ จะเห็นได้ว่าซีโอไลต์โซเดียม เอ จะมีค่า CEC สูงที่สุดคือ 5.48 meq/g ซึ่งมากกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจซีโอไลต์โซเดียม เอ นำมาแทนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนในการกรองน้ำ

ตารางที่ 2.3 สมบัติ Cation Exchange Capacity (CEC) ของซีโอไลต์

Zeolite	Representative unit-cell formula	Thermal stability (relative)	CEC, meq/g
Analcime	$\text{Na}_{10}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	High	4.54
Chabazite	$(\text{Na}_2\text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$	High	3.84
Clinoptilolite	$(\text{Na}_3\text{K}_3)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	High	2.16
Erionite	$(\text{NaCa}_{0.5}\text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	High	3.12
Faujasite	$(\text{Na}_{58})(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}) \cdot 240\text{H}_2\text{O}$	High	3.39
Ferrierite	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	High	2.33
Laumonite	$(\text{Ca}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Low	4.25
Linde A, NaA	$(\text{Na}_{12})(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	High	5.48
Linde X	$(\text{Na}_{86})(\text{Al}_{86}\text{Si}_{106}\text{O}_{384}) \cdot 264\text{H}_2\text{O}$	High	4.73

2.7 ซิงก์ออกไซด์ (Zinc oxide)

ซิงก์ออกไซด์ถูกนำมาใช้รักษาโรคตั้งแต่ในยุคอียิปต์โบราณจนถึงปัจจุบันก็นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย อาทิเช่น การแพทย์ อาหาร และเกษตรกรรม [42] เป็นต้น ซิงก์ออกไซด์มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว เป็นสารที่ช่วยยับยั้งแบคทีเรีย (anti-bacteria) ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย [43-49] นอกจากนี้ซิงก์ออกไซด์แล้วยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียด้วยเหตุผลนี้ซิงก์ออกไซด์จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย และมีการนำซิงก์ออกไซด์มาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เพื่อสุขอนามัยของมนุษย์ เช่น ผลิตภัณฑ์ทอป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา การกำจัดกลิ่นของเสื้อผ้า เสื้อผ้าทำความสะอาดตัวเอง และใช้ในผลิตภัณฑ์ช่วยระงับกลิ่นกาย เป็นต้น จากรายงานทางวิชาการ พบว่าซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีสมบัติที่โดดเด่นในด้านการดูดซับแสง และสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalytic) คือเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงในช่วงรังสียูวีจะสามารถกำจัดสารพิษ เชื้อโรค และได้ผลผลิตเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ อีกทั้งยังเป็นสารที่มีความเสถียร เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ซิงก์ออกไซด์จึงได้รับความสนใจในการนำมาใช้ในการบำบัดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับไทเทเนียมไดออกไซด์ นอกจากนี้จุดเด่นของนาโนซิงก์ออกไซด์ คือ มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้โดยไม่ต้องอาศัยการกระตุ้นด้วยแสงเหมือนอย่างเช่นไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยกลไกการต้านแบคทีเรียจากปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงและกรณีที่ไม่ต้องใช้แสงของนาโนซิงก์ออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 [43]



รูปที่ 2.5 กลไกการต้านแบคทีเรียของนาโนซิงก์ออกไซด์

2.8 แกลบและถ่านแกลบ

แกลบคือผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสีข้าวแสดงดังในรูปที่ 2.6 ซึ่งในกระบวนการสีข้าวจะได้แกลบออกมาประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ในประเทศไทยมีการปลูกข้าวเป็นจำนวนมากเพราะไทยเป็นประเทศส่งออกข้าวในอันดับหนึ่งของโลก เพราะฉะนั้นในปีหนึ่งๆ ก็จะมีแกลบออกมาเป็นจำนวนมาก ประโยชน์ของแกลบนั้นมีมากมาย เช่น ใช้เป็นวัสดุทางการเกษตร (ปุ๋ย หรือ วัสดุคลุมหน้าดิน) ใช้เป็นเชื้อเพลิง เมื่อเผาไหม้หมดแล้วยังให้เถ้าแกลบ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต [50] วัสดุก่อสร้างมวลเบา อุตสาหกรรมการผลิตอิฐทนไฟ และวัสดุดูดซับ [51-55] เป็นต้น เนื่องจากเถ้าแกลบนั้นมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึง 70-90 เปอร์เซ็นต์ [54, 56-64] มีความพรุนตัวสูง น้ำหนักเบา อีกทั้งยังหาง่ายและราคาถูกด้วย จึงเป็นวัสดุที่นักวิจัยให้ความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจใช้ถ่านแกลบเป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปไส้กรองน้ำเซรามิกเชิงประกอบ โดยการเผาแกลบในบรรยากาศรีดักชันเพื่อให้ได้ถ่านแกลบ [65] ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แกลบดิบ



รูปที่ 2.7 ถ่านแกลบ

2.9 ตัวเชื่อมประสาน

ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวเชื่อมประสาน 2 ตัวคือ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) และฟีนอลิก เรซิน

คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) [66] นักเซรามิกเป็นจำนวนมากอาจเคยประสบกับปัญหาเนื้อดินปั้นขึ้นรูปยาก เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีความเหนียวน้อยหรือเมื่อผลิตชิ้นงานใหญ่ๆ แล้วใส่ดินเหนียว หรือวัตถุดิบที่มีความเหนียวมาก เมื่อแห้งจะแตกง่ายหรือเผาแล้วบิดเบี้ยวมาก และในการเตรียมน้ำเคลือบบางครั้ง สารเคลือบตกตะกอนไปนอนอยู่ที่ก้นภาชนะเร็ว เมื่อจะใช้งานต้องเสียเวลาและแรงงานเพื่อที่จะคนให้เป็นเนื้อเดียวกันใหม่ หรือเมื่อชุบเคลือบแล้ว เคลือบแห้งเร็ว เป็นฝุ่น หรือหลุดออกมาเป็นเกล็ด ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผิวเคลือบ หรือค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของสีที่ผสมในเคลือบไม่ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีสีที่ไม่สม่ำเสมอ

ปัญหาดังกล่าวข้างต้นอาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ แป้ง เดกตริน เซลลูโลส กัมและเบนโทไนด์ สารเติมแต่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ สาร CMC หรือ Sodium carboxymethyl cellulose ซึ่งมีสมบัติในการใช้งานดีมีประสิทธิภาพ สะดวกในการใช้งาน เมื่อเผาแล้วจะให้ชิ้นงานน้อยมาก CMC มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ไม่เป็นอันตราย ไม่ระคายเคืองผิวหนัง ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี ทั้งในน้ำร้อน และ น้ำเย็น ได้สารละลายที่มีความหนืด มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ (Stabilizer) ซึ่งจะช่วยในการกระจายอนุภาค รวมทั้งสารยึดเกาะ (Binder) เนื่องจากสมบัติของสาร CMC ซึ่งละลายน้ำแล้วจะมีลักษณะคล้ายเจล ทำให้สามารถเติมในเนื้อดินปั้น เพื่อเพิ่มความเหนียวและเพิ่มสมบัติในการยึดเกาะของโครงสร้างระหว่างดินกับน้ำและยังเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้เผา (ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา) เพื่อความสะดวกและง่ายในการเคลื่อนย้าย

นอกจากนี้สาร CMC ยังช่วยลดแรงต้านทานที่เกิดจากเนื้อดินในเครื่องผสมดินและทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นในเครื่องรีดดินทำให้เนื้อดินที่รีดออกมาผิวเรียบและบิดเบี้ยวน้อย ในกรณีที่ชิ้นงานขนาดใหญ่การใช้สาร CMC ในเนื้อดินจะช่วยลดปริมาณการใช้ดินเหนียวซึ่งจะทำให้ลดการบิดเบี้ยวและแตกเมื่อแห้งได้ การเติมสาร CMC ในเนื้อดินสามารถใช้ได้ระหว่าง 0.1 เปอร์เซ็นต์ถึง 2.0 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของเนื้อดินแห้งที่ใช้

ฟีนอลิก เรซิน (Phenolic resin) จะใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานหลังการเผาเนื่องจากฟีนอลิก เรซินจะสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 700-750 องศาเซลเซียสให้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 40-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการสลายของฟีนอลิก เรซินที่อุณหภูมิสูงนั้นจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานหลังการเผาได้ [67, 68]

2.10 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก มีวิธีการแตกต่างกันหลายวิธีขึ้นกับชนิด รูปร่างของผลิตภัณฑ์ และลักษณะการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพและสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ในโรงงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้ เป็น 6 วิธีดังแสดงในตารางที่ 2.4 [69]

ตารางที่ 2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการขึ้นรูป	ความดันที่ใช้ (psi)	% น้ำ
โดยการหล่อเทแบบ (Slip casting)	Capillary force, Hydro static	20-30
โดยอาศัยความเหนียว (Plastic)	5-50	25-30
ด้วยเครื่องอัดรีดผ่านหัวแบบ (Extrusion)	50-10000	15-20
โดยการอัดแห้ง (Dry press)	1000-15000	5-10
โดยการอัดผง (Dust press)	3000-20000	0-4
โดยวิธีการอัดทุกทิศทาง (Isostatic)	5000-100000	0-17

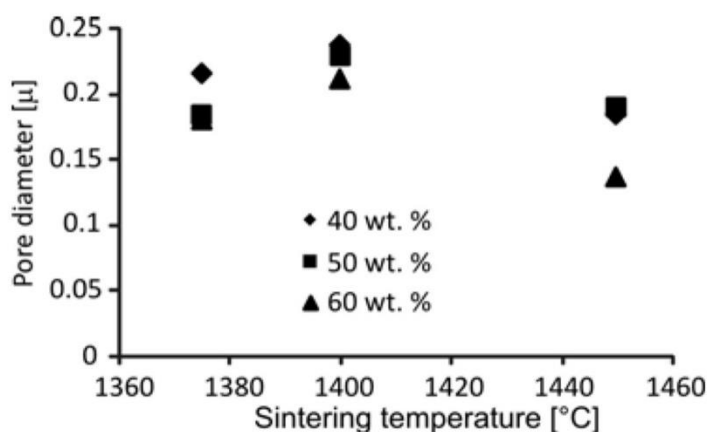
สำหรับงานวิจัยนี้สนใจการขึ้นรูปโดยการหล่อเทแบบ (Slip casting) เพราะเหมาะสมต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน ผลิตภัณฑ์ที่มีรูกลวง ท่อรูกลวง ซึ่งใส่กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกำมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นท่อปลายปิด 1 ข้างจึงได้สนใจการขึ้นรูปโดยการหล่อเทแบบ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่สามารถจัดเตรียมอุปกรณ์ได้สะดวก โดยปกติแล้วน้ำสลิบที่เตรียมใช้ในการหล่อเทแบบจะมีสมบัติไหลตัวได้ดี มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งสูง กระจายลอยตัวในน้ำได้ดี

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Falamaki และคณะ [4] ได้ศึกษาการขึ้นรูปไส้กรองทรงกระบอกจากผงอะลูมินาเป็นส่วนผสมหลัก โดยใช้อัตราส่วนของผงอะลูมินาที่มีขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวเชื่อมประสาน จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แล้วนำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสม พบว่าการเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงและเปอร์เซ็นต์ผงอะลูมินาของน้ำสลิปจะส่งผลให้ขนาดรูพรุนมีขนาดเล็ก ขนาดรูพรุนที่ได้อยู่ในช่วง 0.13-0.24 ไมโครเมตรดังแสดงในรูปที่ 2.8 และมีความพรุนตัวเฉลี่ยของไส้กรองอยู่ในช่วง 19-40 เปอร์เซ็นต์โดยพบว่าการเผาผนึกไส้กรองที่อุณหภูมิสูงความพรุนตัวเฉลี่ยของไส้กรองจะมีค่าลดลงเช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผงอะลูมินาในน้ำสลิปไส้กรองหลังเผาผนึกจะมีค่าความพรุนตัวเฉลี่ยลดลงดังแสดงในตารางที่ 2.5

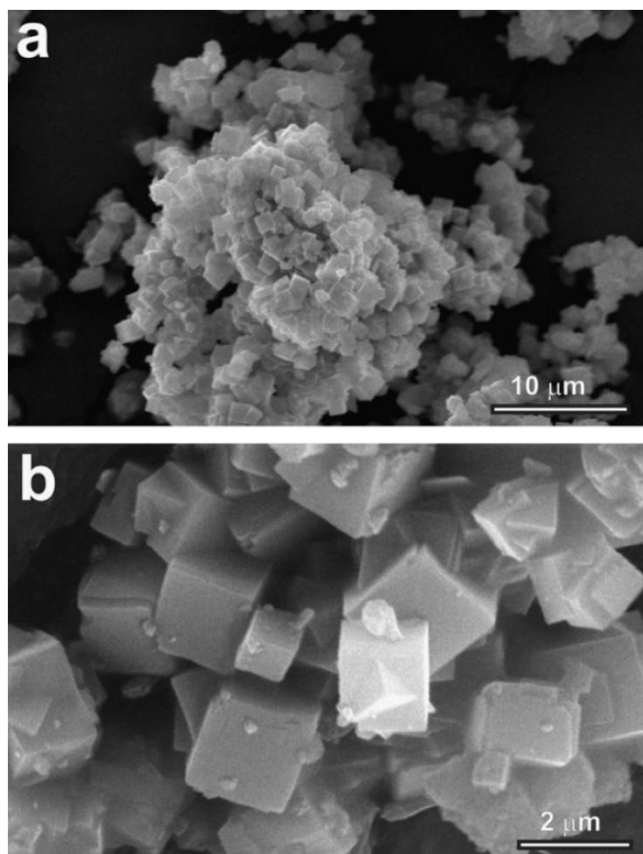
ตารางที่ 2.5 ความพรุนตัวเฉลี่ยของไส้กรองที่เตรียมจากน้ำสลิปโดยใช้ผงอะลูมินา 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส

Slip concentration (wt%)	Sintering temperature (°C)		
	1375	1400	1450
40	39	38	30
50	39	40	23
60	40	40	19

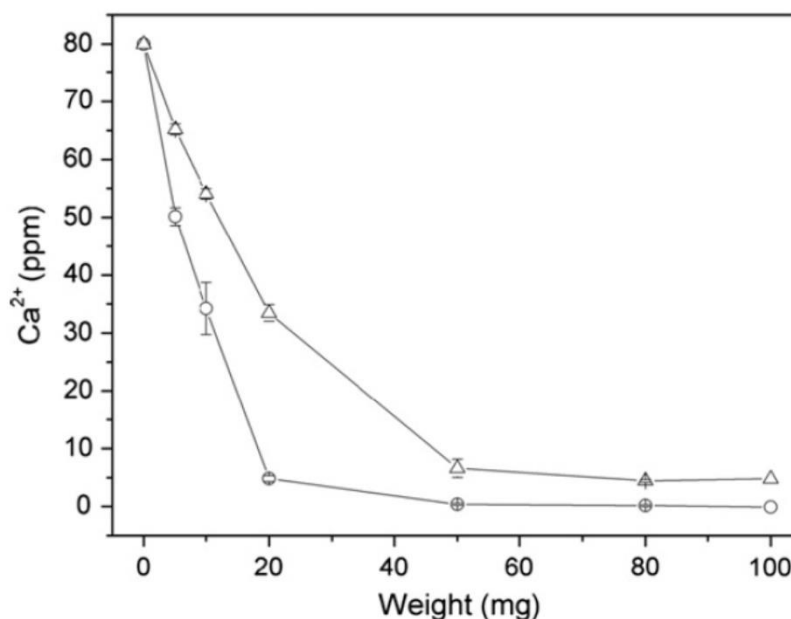


รูปที่ 2.8 ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไส้กรองที่เตรียมจากน้ำสลิปโดยใช้ผงอะลูมินา 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส

Loiola และคณะ [15] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล จากดินขาวเพื่อใช้ลดความกระด้างของน้ำ โดยการใช้ดินขาวเป็นสารตั้งต้น ซึ่งเตรียมจากการเผาดินขาวจำนวน 1 กรัมที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำไปผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.75 โมลาร์ 13.3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปไฮโดรเทอร์มัลโดยให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง อบแห้ง 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่สังเคราะห์ได้มีรูปร่างผลึกเป็น ลูกบาศก์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สามารถลดความกระด้างของน้ำ 1 ลิตรโดยใช้ซีโอไลต์โซเดียม เอ 1 กรัม ได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.9 โครงสร้างจุลภาคของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่สังเคราะห์จากดินขาวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง a) กำลังขยายต่ำ b) กำลังขยายสูง

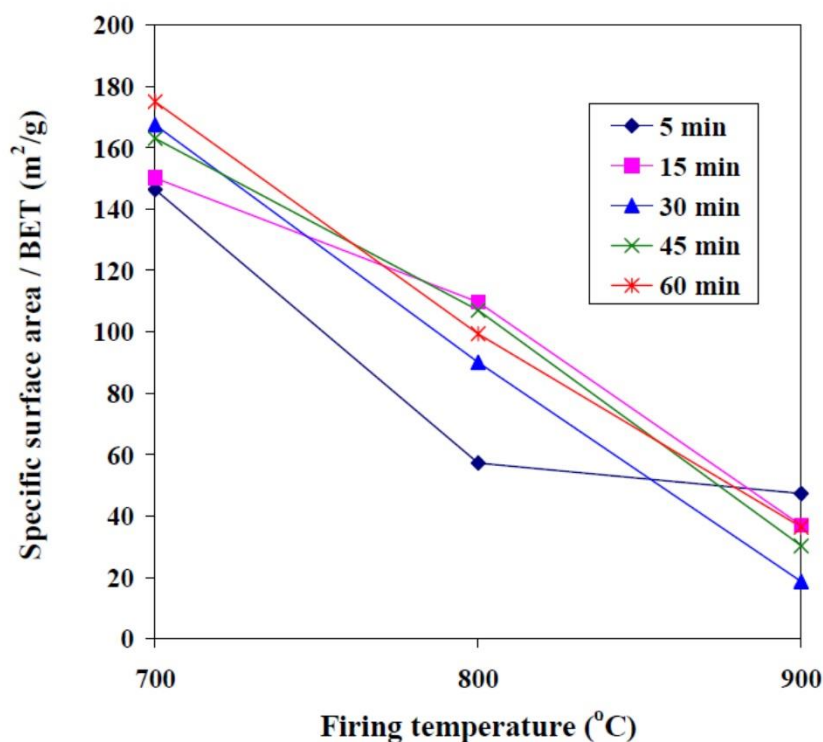


รูปที่ 2.10 ความสามารถลดความกระด้างในน้ำของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่สังเคราะห์จากดินขาว โดยการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออน

Tuaprakone และคณะ [70, 71] ได้ศึกษาการขึ้นรูปไส้กรองถ่านแกลบกัมมันต์ โดยใช้อัตราส่วนถ่านแกลบกับน้ำ คือ 48-52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ตัวเชื่อมประสานโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บดส่วนผสมด้วยหม้อบดเหวี่ยงความเร็วสูง จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.6 จากนั้นนำไปเผาพูนิกที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน พบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากการบด 60 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 174.95 ตารางเมตรต่อกรัมดังแสดงในรูปที่ 2.11

ตารางที่ 2.6 การเตรียมน้ำสลিপสำหรับการขึ้นรูปไส้กรองถ่านแกลบกัมมันต์

Ratio of rice husk carbon and water	CMC (%Solid)	Density (g/cm ³)	Viscosity (cp.)	Casting	Green body strength
70 : 30	1%	-	Very high	×	-
60 : 40	1%	-	>2000	×	Very low strength
50 : 50	1%	-	800 - 1000	✓	More strength with some crack
	1.5%	-	1000 - 1200	✓	Strength grow and have less crack
48 : 52	1.5%	1.216	800 - 1000	✓	Perfect green body

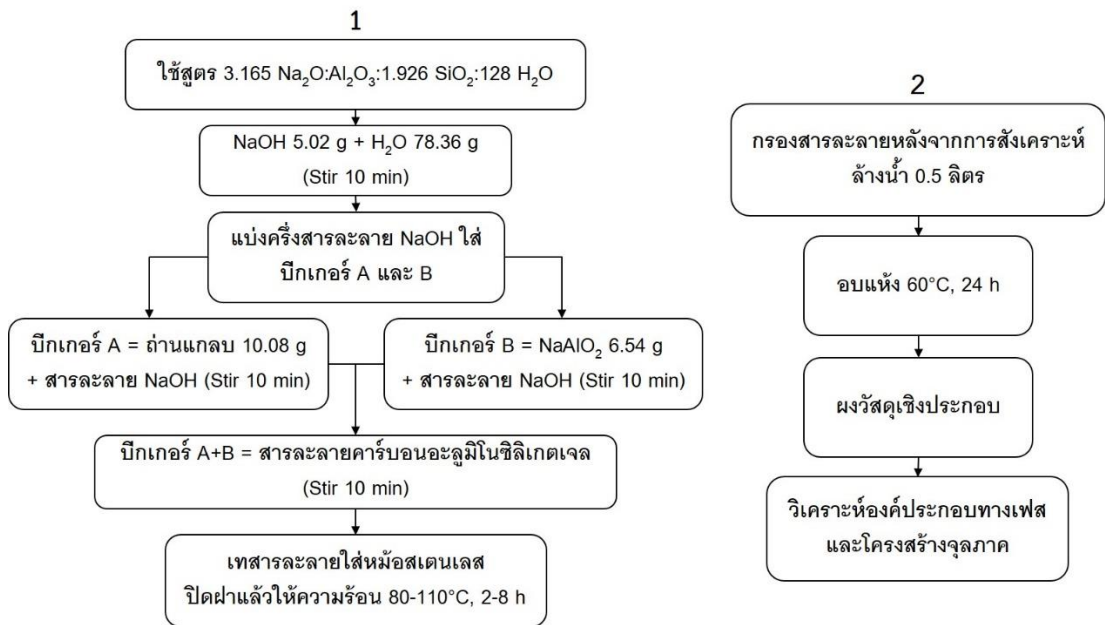


รูปที่ 2.11 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของไส้กรองถ่านแกลบกัมมันต์จากการบดผสม 5-60 นาที
เผาที่ 700-900 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน

Tepamat และคณะ [72, 73] ได้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และถ่านแกลบกัมมันต์จากถ่านแกลบ โดยเผาถ่านดิบที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจะได้ถ่านแกลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ที่มีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ คือ ซิลิกา และคาร์บอน จากนั้นนำถ่านแกลบ ไปเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ที่อุณหภูมิการสังเคราะห์ 80-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-8 ชั่วโมง กรอง ล้าง อบแห้ง 60 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูปที่ 2.13 พบว่าการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนที่เหมาะสมคือ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำผงวัสดุเชิงประกอบที่ผสม กับพินอลิกเรซินและ CMC อัดขึ้นรูปเป็นแท่งสี่เหลี่ยม แล้วเผาที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในบรรยากาศไนโตรเจนดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งมีโครงสร้างจุลภาคดังแสดงในรูปที่ 2.15 พบว่าวัสดุเชิงประกอบสังเคราะห์ที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงผสมพินอลิกเรซิน 20 เปอร์เซ็นต์เผา 600 องศาเซลเซียสจะให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลคือ 0.69 เมกะพาสคัลและมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุดคือ 108.14 ตารางเมตรต่อกรัมดังแสดงในตารางที่ 2.7 และตารางที่ 2.8 ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดความกระด้างของน้ำได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์และดูดซับคลอรีนอิสระได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์



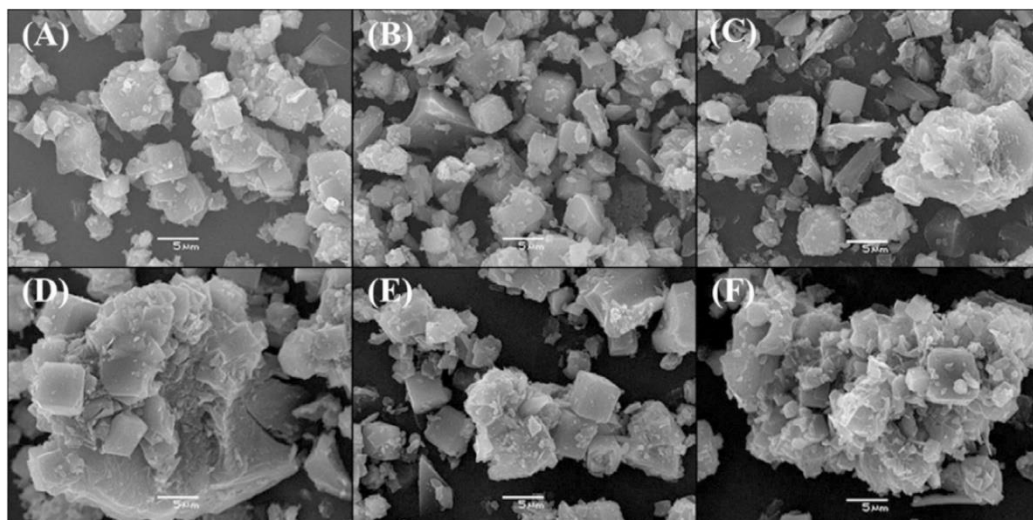
รูปที่ 2.12 การเตรียมถ่านแกลบ



รูปที่ 2.13 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนจากถ่านแกลบ



รูปที่ 2.14 การกักมันต์และทดสอบความแข็งแรงเชิงกล



รูปที่ 2.15 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโพลีต์และถ่านแกลบกัมมันต์ (A) ก่อนเผา (B) เผาที่ 300 องศาเซลเซียส (C) เผาที่ 400 องศาเซลเซียส (D) เผาที่ 500 องศาเซลเซียส (E) เผาที่ 600 องศาเซลเซียสและ (F) เผาที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในบรรยากาศไนโตรเจน

ตารางที่ 2.7 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างแท่งสี่เหลี่ยม

Samples	Bending Strength (MPa)				
	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
1%CMC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1%CMC+5%Phenolic	0.32	0.27	0.17	N/A	N/A
1%CMC+10%Phenolic	0.14	0.10	N/A	0.27	0.23
1%CMC+15%Phenolic	0.21	0.11	N/A	0.49	0.77
1%CMC+20%Phenolic	1.80	0.97	0.60	0.69	0.80

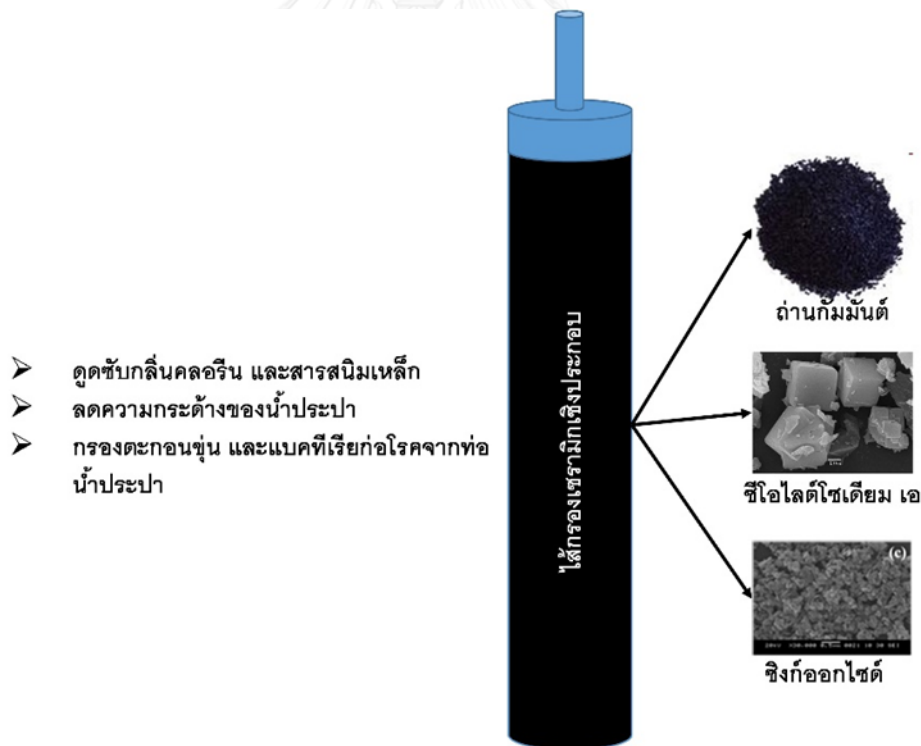
ตารางที่ 2.8 พื้นที่ผิวจำเพาะของชิ้นงานตัวอย่างแห้งสี่เหลี่ยม

Samples	Specific Surface Area (m ² /g)				
	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
1%CMC	64.60	56.95	53.85	44.69	33.85
1%CMC+5%Phenolic	41.10	69.43	58.60	54.45	26.69
1%CMC+10%Phenolic	44.00	69.14	66.83	58.51	23.66
1%CMC+15%Phenolic	56.37	68.39	71.57	65.72	26.21
1%CMC+20%Phenolic	23.64	30.92	59.91	108.14	62.79

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสามารถขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากถ่านแกลบ โดยวิธีการหล่อเทแบบกลวง และสามารถสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบของซีโอไลต์โซเดียม เอ และถ่านแกลบกัมมันต์จากถ่านแกลบได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์และถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่มีสมบัติดูดซับคลอรีนอิสระ ลดความกระด้างในน้ำ กรองตะกอนขุ่นและเชื้อแบคทีเรียได้ โดยวิธีการหล่อเทแบบ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรองน้ำเซรามิกเชิงประกอบที่มีลักษณะเป็นท่อปลายปิด มีสมบัติดูดกลืน ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย แลกเปลี่ยนไอออนลดความกระด้าง และกรองตะกอนขุ่นจนถึงเชื้อแบคทีเรียก่อโรค สำหรับน้ำ โดยใช้วัสดุจำพวกถ่านกัมมันต์หรือถ่านแกลบกัมมันต์สำหรับการดูดกลืน ซีโอไลต์ซึ่งมีสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อลดความกระด้างของน้ำดื่ม และซิงก์ออกไซด์ (ความละเอียดระดับนาโนเมตร) สำหรับการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ใช้เทคนิคการขึ้นรูปไส้กรองด้วยการหล่อแบบน้ำดินในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์แล้วเผาจนได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรง รูปทรงกระบอก และมีรูพรุนขนาดเล็ก รวมถึงศึกษาผลของเงื่อนไขการเตรียมต่างๆ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา สัดส่วนระหว่างสารตั้งต้นแต่ละชนิด (ถ่านแกลบกัมมันต์และซีโอไลต์จากถ่านแกลบ และซิงก์ออกไซด์ความละเอียดระดับนาโนเมตร) ต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน รวมถึงทำการทดลองกรองน้ำแล้วศึกษาประสิทธิภาพการกรองน้ำด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบ

3.1 สารเคมีวัตถุติดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมีและวัตถุติด

- แกลบดิบ
- ถ่านกัมมันต์ (PA-1, Zenith Science Co., Ltd.)
- ซีโอดีโซเดียม เอ (Advera 401PS, PQ Chemicals Thailand Co., Ltd.)
- คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC, Ceramic R-US)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, 99%, Chemmin)
- โซเดียมอะลูมิเนต (NaAlO₂, Riedel-de Haen)
- ฟีนอลิกเรซิน (Neolite KC-3019, Kangnam Chemical Co., Ltd. Korea)
- น้ำรีเวอร์สออสโมซิส (R.O. water)

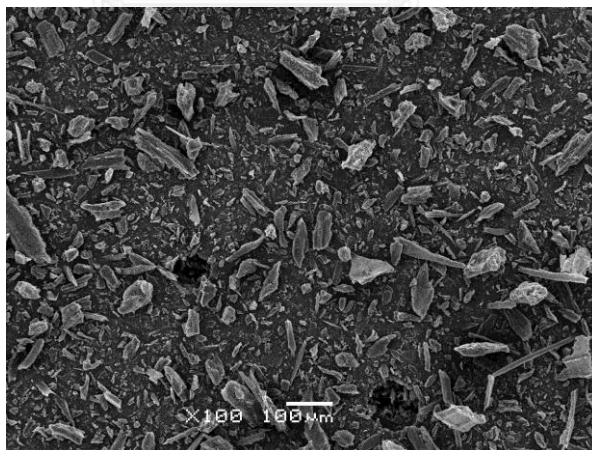
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เต้าเผาถ่านแกลบ
- เต้าเผาไฟฟ้า
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- หม้ออบแห้งความเร็วสูง
- หม้ออบปอร์ซเลน
- ลูกบดปอร์ซเลน
- ปีกเกอร์
- แ่งแก้วคนสาร
- ซ้อนตักสาร
- ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 100 Mesh
- ตู้อบ
- ภาชนะสเตนเลส
- เครื่องวัดคลอรีนในน้ำ HANNA รุ่น HI 9025
- แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

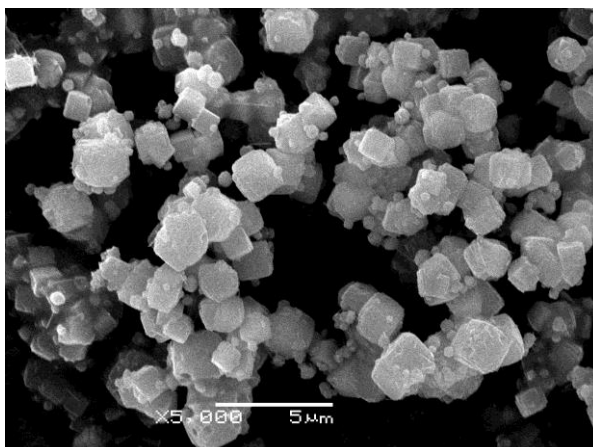
3.2 ขั้นตอนการวิจัย

3.2.1 การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ (ใช้ผงทางการค้า)

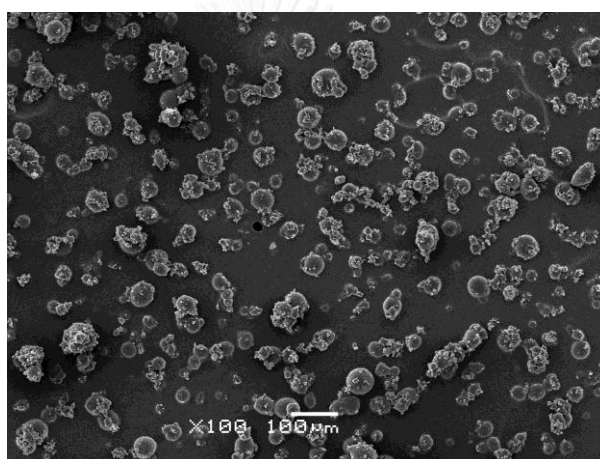
สูตรการเตรียมน้ำสลิปใน 1 หม้ออบดปอร์ซเลน คือ ถ่านกัมมันต์ (โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์ดังแสดงในรูปที่ 3.2) 100 กรัม ซีโอไลต์ เอ (โครงสร้างจุลภาคของซีโอไลต์ เอ ดังแสดงในรูปที่ 3.3) 100 กรัม ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 2 กรัม ฟินอลิกเรซิน (โครงสร้างจุลภาคของฟินอลิกเรซินดังแสดงในรูปที่ 3.4) 50.5 กรัม น้ำ 260 กรัม คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 1-1.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงของแข็งทั้งหมด และลูกบด 450 กรัม นำส่วนผสมทั้งหมดใส่ในหม้ออบดปอร์ซเลนดังแสดงในรูปที่ 3.5 แล้วนำไปเข้าเครื่องบดแบบเหวี่ยงเป็นวงความเร็วสูงดังแสดงในรูปที่ 3.6 ที่เวลา 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำสลิปที่ได้ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 100 mesh ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เทลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยใช้เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมง เทน้ำสลิปทิ้ง ครึ่งแม่พิมพ์ 2 ชั่วโมง แล้วหยาแม่พิมพ์ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตกแต่งชิ้นงาน อบแห้ง 45 องศาเซลเซียส สุดท้ายนำชิ้นงานที่แห้งสนิทไปเผาที่อุณหภูมิ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียส ตามลำดับเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบรรยากาศรีดักชัน



รูปที่ 3.2 โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์ใช้ผงทางการค้า



รูปที่ 3.3 โครงสร้างจุลภาคของซีโอไซด์โซเดียม เอ ใช้ผงทางการค้า



รูปที่ 3.4 โครงสร้างจุลภาคของฟีนอลิกเรซิน



รูปที่ 3.5 หม้อบดปอร์ซเลน



รูปที่ 3.6 เครื่องบด High speed ball mill (450 rpm)



รูปที่ 3.7 ตะแกรงร่อน



รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์ปูนพลาสติกที่ยังไม่ได้ประกบ

3.2.2 การขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

ในการทดลองส่วนที่สองนั้นจะใช้วัตถุดิบถ่านแกลบถ่านกัมมันต์แทนถ่านกัมมันต์ใช้ผงทางการค้า โดยใช้แกลบดิบ นำแกลบบรรจุลงในเตาเผาแกลบดังแสดงในรูปที่ 3.9 ควบคุมบรรยากาศที่ดักชั้น จากนั้นจุดไฟโดยที่อุณหภูมิภายในเตาอยู่ที่ประมาณ 700 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เตาเผาแกลบเย็นตัวลง หลังจากนั้นนำถ่านแกลบที่ได้ไปทำการลดขนาดอนุภาคด้วย Vibratory Disc mill เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำถ่านแกลบไปสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบของซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน แล้วนำไปขึ้นรูปเหมือนกับหัวข้อ 3.2.1



รูปที่ 3.9 เตเผาแกลบ

3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

โดยใช้มาตรฐาน ASTM C 25-99 นำผงถ่านแกลบไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักก่อนเผาหลังจากนั้นนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักหลังเผา คำนวณหาปริมาณน้ำหนักที่หายไป โดยให้สมมติฐานว่าน้ำหนักที่หายไปเกิดจากการสลายตัวของคาร์บอน [71]

3.2.4 วิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วย X-ray fluorescence

วิเคราะห์หาปริมาณธาตุของถ่านแกลบที่ได้จากการคาร์บอนในเซชัน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของซิลิกาในถ่านแกลบ โดยอาศัยหลักการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์เรือง (X-ray fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่างเมื่อมีการยิงรังสีจากหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) ไปยังชิ้นงาน เพื่อทำให้อิเล็กตรอนวงโคจรในคือ ชั้น K, L หรือ M หลุดจากอะตอม อะตอมจะอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร อิเล็กตรอนจากวงโคจรนอก ซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่า จะเข้าไปแทนที่และปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์เรือง (X-ray fluorescence) ทำให้มีที่ว่างเกิดใหม่ อิเล็กตรอนจากวงโคจรนอก ซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่า จึงเข้าไปแทนที่และมีการปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์เรืองออกมาอีก ทั้งนี้การเกิดรังสีเอ็กซ์เรืองสามารถเกิดได้หลายพลังงาน พลังงานของรังสีเอ็กซ์เรืองที่ปลดปล่อยออกมาจะขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานระหว่างอิเล็กตรอนที่ไปแทนที่กับระดับพลังงานของที่ว่าง สำหรับ XRF ที่เป็นระบบความยาวคลื่น (Wavelength dispersive system) รังสีเอ็กซ์เรืองที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านคอลลิเมเตอร์ (Collimator) ในรูปลำรังสีขนานไปยังผลึกวิเคราะห์ (Analyzing crystal) ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอ็กซ์เรืองออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆกัน และจะถูกวัดความเข้มหรือกำลัง (Power) ด้วยการสแกนของตัวรับสัญญาณ (Detector) โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่อง XRF ชนิด wavelength dispersive เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อตรวจสอบหาชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างชิ้นงาน ตั้งแต่ เบริลเลียม (Beryllium, Be) จนถึง ยูเรเนียม (Uranium, U) ช่วงของการวิเคราะห์ตั้งแต่ระดับ Trace analysis (ppm) จนถึง 100%

3.2.5 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ

นำผงถ่านแกลบที่ได้ในขั้นตอนการเตรียมถ่านแกลบใช้เป็นแหล่งให้ซิลิกาในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ และใช้โซเดียมอะลูมิเนต (NaAlO_2) เป็นแหล่งให้อะลูมินาโดยการสังเคราะห์ใช้สูตรคือ $3.165 \text{ Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 1.926 \text{ SiO}_2 : 128 \text{ H}_2\text{O}$ [74] ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ละลายในน้ำจนเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้น แบ่งครึ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใส่ปิกเกอร์ A กับ B โดยที่ปิกเกอร์ A ใส่ผงถ่านแกลบลงไปคน

จนละลายจะได้สารละลายโซเดียมซิลิเกต ส่วนบีกเกอร์ B ใส่ผงโซเดียมอะลูมิเนตลงไปคนจนละลายจะได้สารละลายโซเดียมอะลูมิเนต หลังจากนั้นนำสารละลายในบีกเกอร์ A และ B เทรวมกันในหม้อต้มความดันสแตนเลส (Stainless steel pressure cooker) จะได้สารละลายอะลูมิโนซิลิเกตเจลแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 90 95 และ 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง ขึ้นตอนสุดท้ายกรองสารละลายแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดด้วย Vibratory Disc mill 10 วินาทีจะได้ผงวัสดุเชิงประกอบถ่านแกลบและซีโอไลต์โซเดียม เอ

3.2.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer

วิเคราะห์เฟสองค์ประกอบของผงวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียมเอ และถ่านกัมมันต์โดยอาศัยหลักการเบี่ยงเบนของรังสีเอกซ์ด้วยการยิงรังสีเอกซ์ที่ทราบคลื่นความยาวไปที่วัสดุหากวัสดุมีความเป็นผลึกรังสีเอกซ์จะเกิดการเบี่ยงเบนที่มุมต่างๆ กัน โดยค่ามุมที่เปลี่ยนไปจะถูกเก็บข้อมูลโดย Detector ซึ่งสารประกอบที่มีความเป็นผลึกจะมีค่ามุมของการเบี่ยงเบนแตกต่างกันในแต่ละชนิด ทำให้สามารถทราบถึงชนิดของสารประกอบต่างๆ ได้ เครื่อง X-ray Diffractometer ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟสผลิตโดยบริษัท Bruker รุ่น D8 Advanced ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยใช้ Cu-K α radiation ด้วย Scanning speed 0.02 องศาต่อนาที ช่วง 2θ เท่ากับ 5-60 องศา



รูปที่ 3.10 X-ray Diffractometer

3.2.7 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของผงถ่านแกลบกับ ผงวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียมเอ และถ่านกัมมันต์โดยอาศัยหลักการที่กลุ่มอิเล็กตรอนกระทบที่ผิววัสดุแล้วจะเกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ซึ่งแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนภายในเครื่องจะผลิตกลุ่มอิเล็กตรอนและถูกทำให้เป็นลำอิเล็กตรอน หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกยิงไปกระทบผิววัสดุทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิขึ้นซึ่งจะถูกเก็บสัญญาณโดย Detector และแปลงสัญญาณเป็นภาพ เครื่อง Scanning Electron Microscope ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ผลิตโดยบริษัท JEOL รุ่น JSM-6480 LV ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Scanning Electron Microscope



3.2.8 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง (3-Point-Bending)

วิเคราะห์ผลความต้านทานต่อแรงดัดโค้งด้วยเครื่องมือดังรูปที่ 3.12 โดยใช้วิธี 3 Points Bending ซึ่งชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบกลมและมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MOR = \frac{8FL}{\pi d^3}$$

โดย F = แรงกดที่ทำให้แท่งทดสอบหัก หน่วย กิโลกรัม

L = ความกว้างของบารอง (Span Length) หน่วย เซนติเมตร

d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของแท่งทดสอบ หน่วย เซนติเมตร



รูปที่ 3.12 การทดสอบ 3-Point-Bending

3.2.9 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของชิ้นงานคือ ความสัมพันธ์ของน้ำหนักของชิ้นงานที่ดูดซึมน้ำกับ น้ำหนักชิ้นงานแห้ง โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\% \text{ Water absorption} = \left[\frac{W-D}{D} \right] \times 100$$

W= น้ำหนักชิ้นงานเปียกชั่งในอากาศ (กรัม)

D= น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)

3.2.10 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นรวมคือ ความสัมพันธ์ของน้ำหนักชิ้นงานแห้งกับปริมาตรรวม โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{Bulk density (g/cm}^3\text{)} = \left[\frac{D}{W-S} \right]$$

W= น้ำหนักชิ้นงานเปียกชั่งในอากาศ (กรัม)

D= น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)

S= น้ำหนักชิ้นงานชั่งในน้ำ

3.2.11 ความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity)

ความพรุนตัวปรากฏคือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนเปิดกับปริมาตรรวม โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\% \text{ Apparent porosity} = \left[\frac{W-D}{W-S} \right] \times 100$$

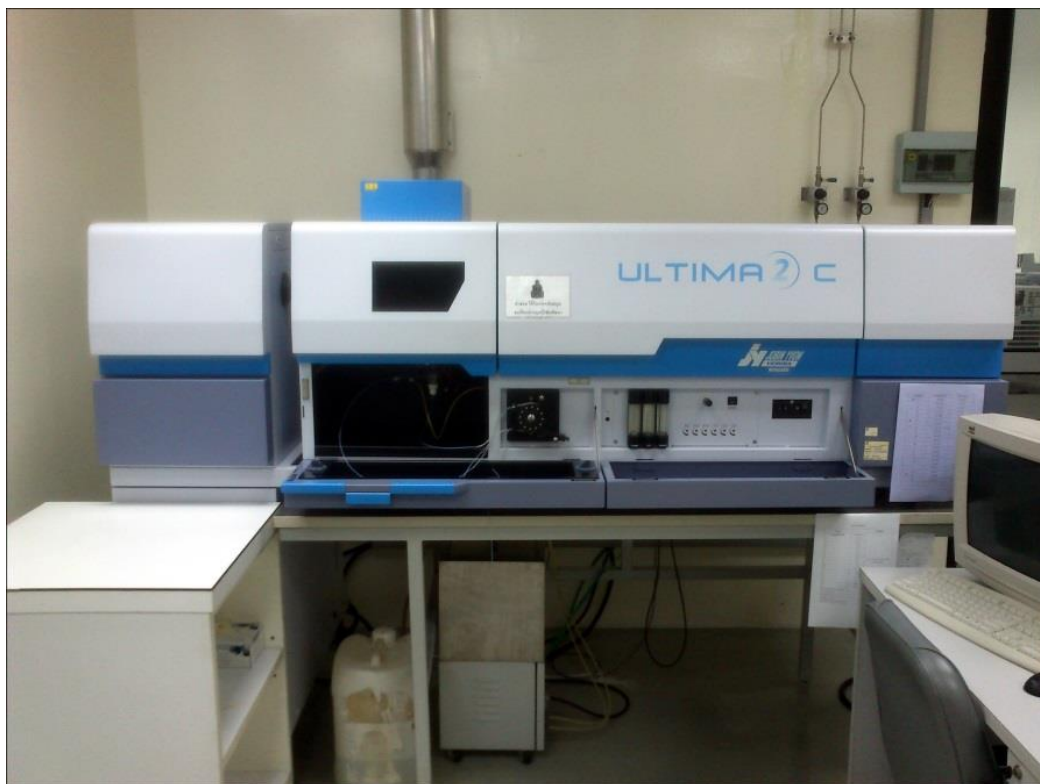
W= น้ำหนักชิ้นงานเปียกชั่งในอากาศ (กรัม)

D= น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)

S= น้ำหนักชิ้นงานชั่งในน้ำ

3.2.12 วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมไอออนด้วย ICP-OES (Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy)

ICP-OES (Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เป็นเทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis) ที่จัดอยู่กลุ่ม Atomic spectroscopy หัวใจของ ICP-OES คือ พลาสมาที่มีแหล่งกำเนิดเป็นเปลวความร้อนสูง (6000-10000 K) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES ใช้หลักการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออนด้วยพลาสมา อะตอมหรือไอออนที่เกิดขึ้นจะถูกกระตุ้นให้คายแสงออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆ แสงที่ได้จะเป็นแสงที่มีหลายความยาวคลื่น (Polychromatic light) ซึ่งจะถูกแยกด้วย Diffractive optics ให้เป็นแสงความยาวคลื่นเดี่ยว (Monochromatic light) และถูกตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ (Detector) ต่อไปแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นสมบัติเฉพาะตัวของอะตอมหรือไอออนของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ โดยความเข้มแสง (intensity) จะแปรผันตรงกับปริมาณธาตุ เมื่อให้ความร้อนด้วยพลาสมาธาตุทุกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกกระตุ้นให้คายแสงพร้อมกันและทุกความยาวคลื่นจะถูกวิเคราะห์ได้พร้อมกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างได้มากกว่า 1 ธาตุในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง (Multi element analysis) ดังนั้นการวิเคราะห์จึงทำได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาวิเคราะห์ไม่นาน เหมาะกับงานที่มีจำนวนธาตุและจำนวนตัวอย่างมาก ในงานวิจัยนี้จะเตรียมน้ำสารละลายแคลเซียมไอออนประมาณ 400 ppm แล้วนำไปกรองผ่านไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบจากนั้นนำน้ำที่ผ่านไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วย ICP-OES เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการลดความกระด้างในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบ



รูปที่ 3.13 ICP-OES

3.2.13 วิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำด้วยเครื่อง HANNA (Free Chlorine Meter) (Model: HI-701)

หยดสารละลาย Sodium Hypochlorite ที่ให้คลอรีนอิสระ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักผสมกับน้ำ R.O. เพื่อให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 2.00-2.40 ppm จากนั้นนำน้ำที่มีคลอรีนอิสระไปทดสอบกับเครื่องกรองที่มีไส้กรองถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์ดัง แสดงในรูปที่ 3.14 แล้วนำน้ำที่มีคลอรีนอิสระก่อนและผ่านการกรองไปวัดค่าคลอรีนอิสระด้วยเครื่องวัดคลอรีนอิสระ HANNA (Model:HI-701) ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ดังนี้



รูปที่ 3.14 เครื่องกรองน้ำที่มีไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบต่อเข้ากับถังน้ำทดสอบ



รูปที่ 3.15 เครื่องวัดคลอรีนอิสระ HANNA (Model:HI-701)

3.2.14 การเตรียมน้ำเพื่อใช้ทดสอบกับไส้กรอง (ตะกอนขุ่นและความกระด้าง)

ใช้ผง Al_2O_3 ($0.3 \mu\text{m}$) 1 กรัมต่อลิตร (ตะกอนขุ่น) และ ใช้ผง CaCl_2 2 กรัมต่อลิตร (ความกระด้าง) ผสมรวมกันกับน้ำ R.O. ลงในถังดังแสดงในรูปที่ 3.16 แล้วนำไปทดสอบกับไส้กรองน้ำถ่านกัมมันต์หรือถ่านแกลบกัมมันต์และซีโอไลต์ในเครื่องกรองน้ำดังแสดงในรูปที่

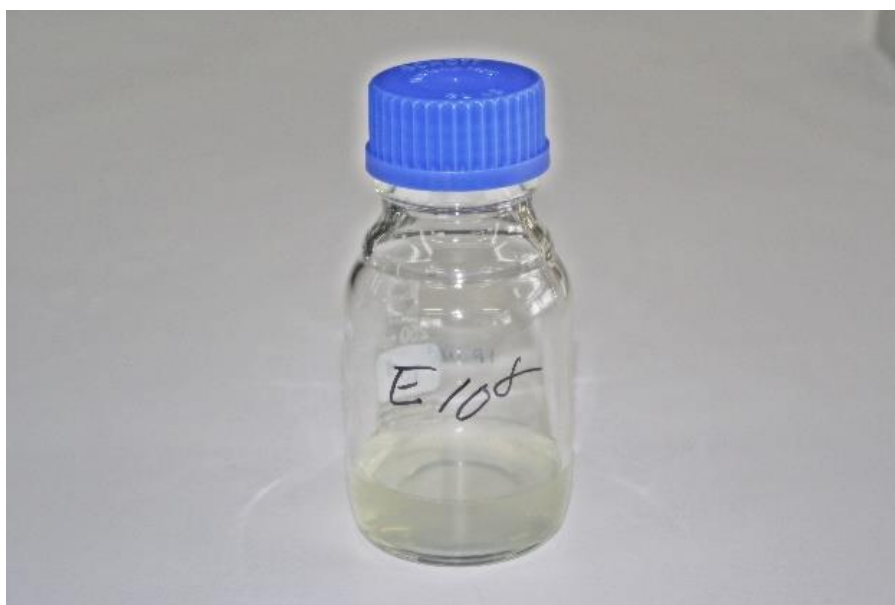
3.14



รูปที่ 3.16 ถังน้ำที่เตรียมเพื่อใช้ทดสอบกับเครื่องกรองน้ำ

3.2.15 การเตรียมน้ำเพื่อใช้ทดสอบกับไส้กรอง (เชื้ออีโคไล)

นำขวดเชื้ออีโคไลดังแสดงในรูปที่ 3.17 ผสมกับน้ำ R.O. 30 ลิตรดังแสดงในรูปที่ 3.18 น้ำที่ได้ไปทดสอบกับเครื่องกรองน้ำที่มีไส้กรองถ่านกัมมันต์หรือถ่านแกลบกัมมันต์และซีโอไลต์ตั้งจากนั้นเก็บน้ำก่อนและหลังการกรองเชื้ออีโคไลไปทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20 ตามลำดับ



รูปที่ 3.17 ขวดเชื้ออีโคไล



รูปที่ 3.18 ผสมเชื้อในถังน้ำ R.O. 30 ลิตร



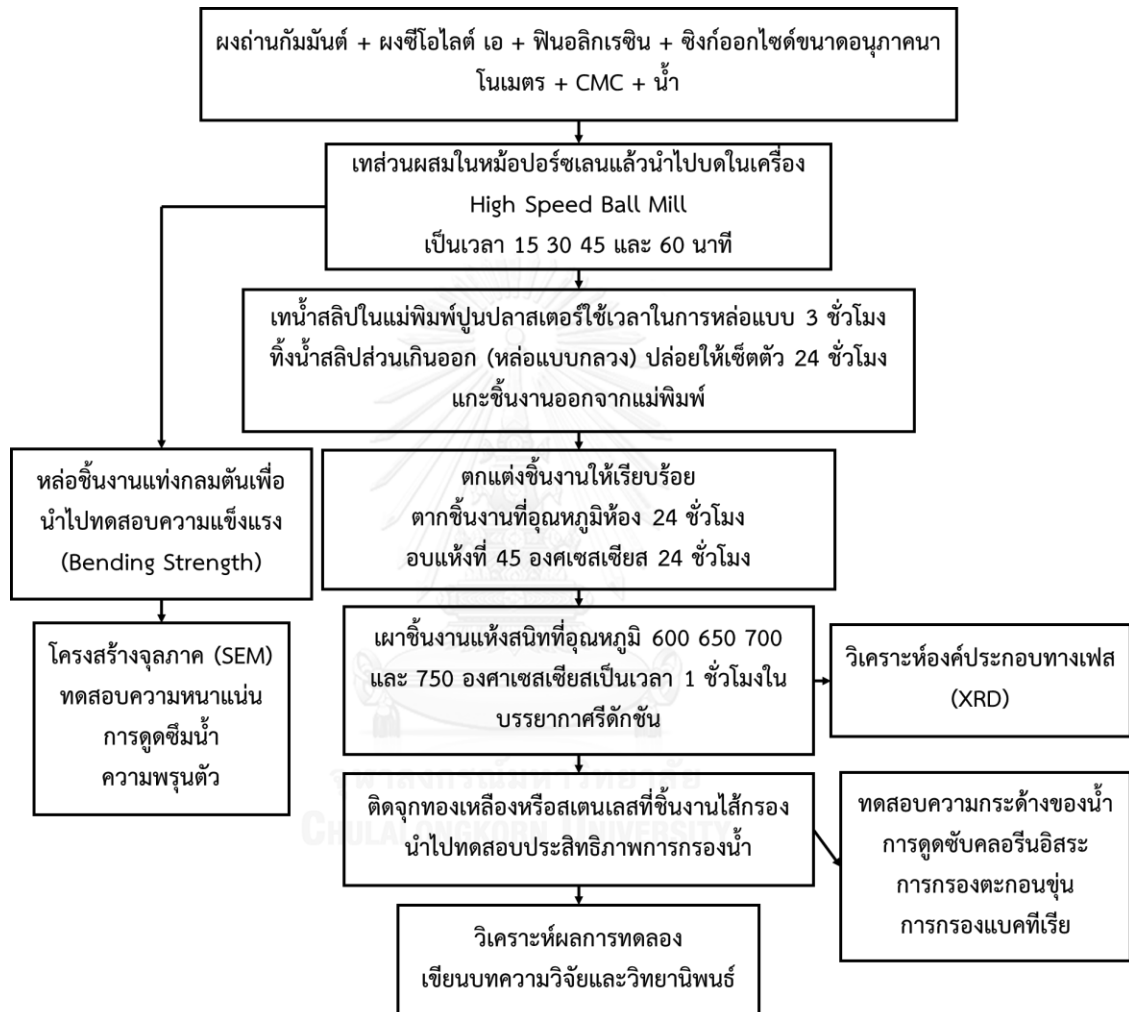
รูปที่ 3.19 การเก็บเชื้ออีโคไลก่อนและหลังการกรอง



รูปที่ 3.20 ขวดเก็บเชื้ออีโคไลก่อนและหลังการกรองน้ำ
(รูปซ้ายมือคือน้ำเชื้อก่อนการกรองน้ำ และรูปขวาคือน้ำหลังการกรองน้ำ)

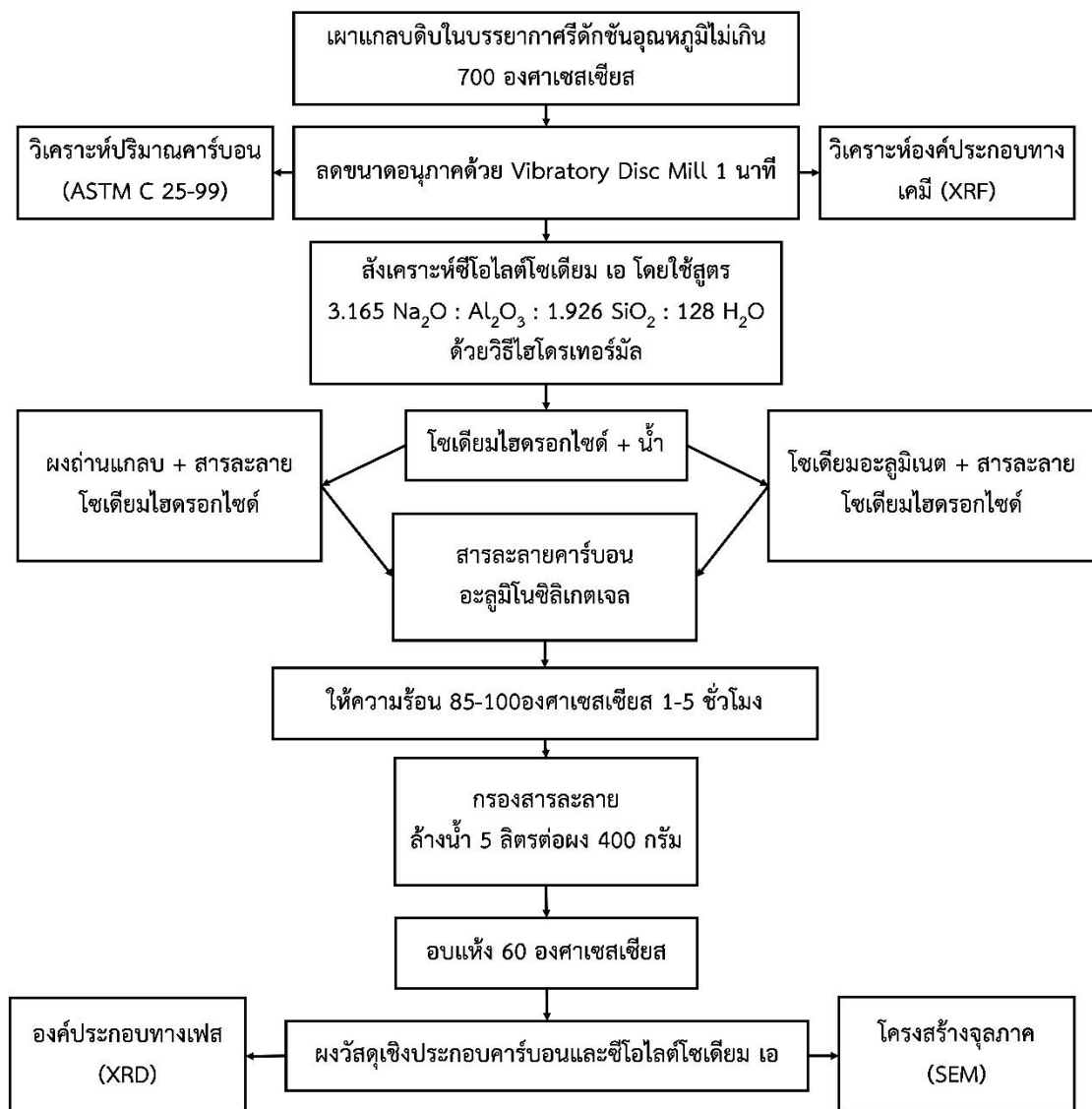
3.3 แผนผังการทดลอง

3.3.1 การทดลองในส่วนแรกการขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์ เอ (ใช้ผงทางการค้า)

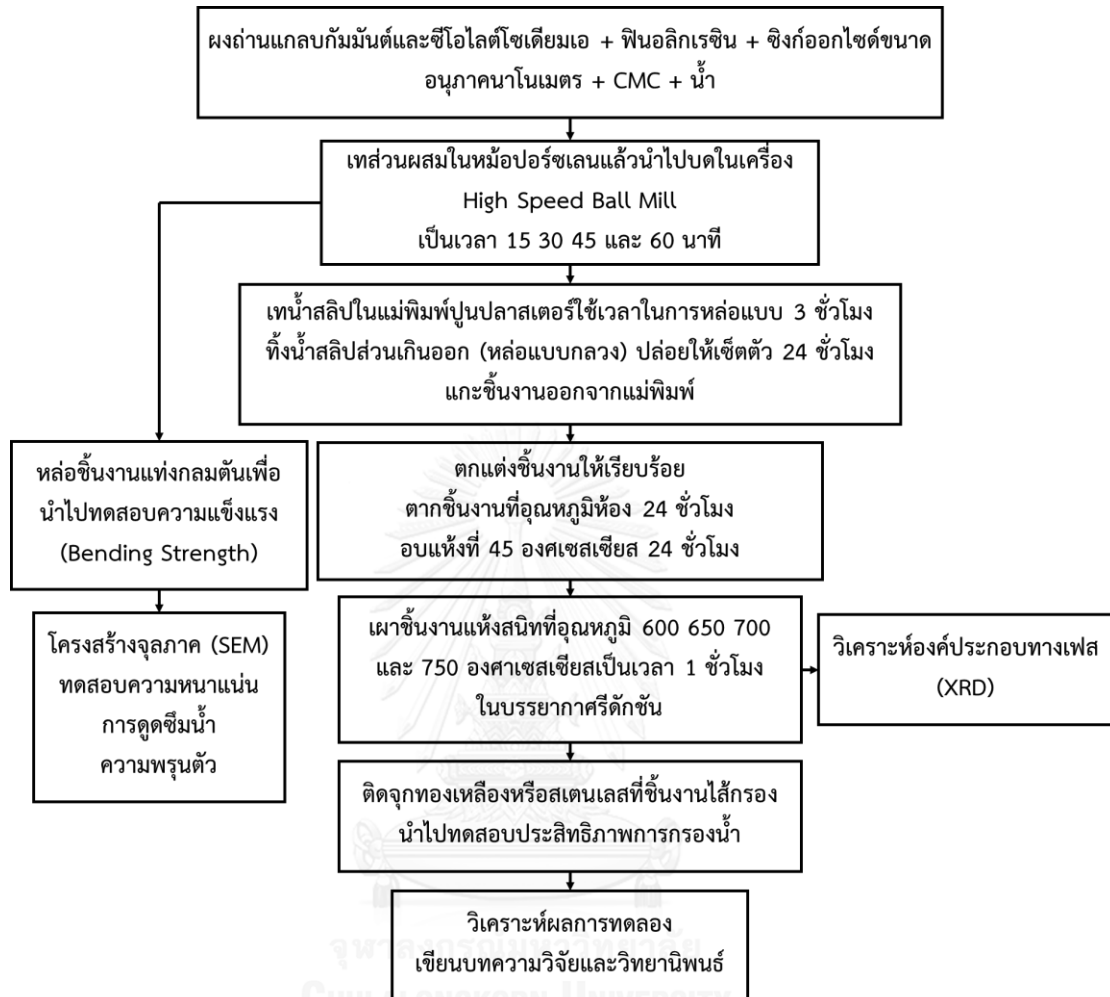


รูปที่ 3.21 แผนผังการทดลองส่วนแรก

3.3.2 การทดลองในส่วนที่สองการขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่าน แกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์



รูปที่ 3.22 แผนผังการทดลองส่วนที่สองการเตรียมวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนและ
ซีโอไลต์โซเดียม เอ



รูปที่ 3.23 แผนผังการทดลองส่วนที่สองการขึ้นรูปไส้กรอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองในส่วนแรกศึกษาการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์ทางการค้าเป็นวัตถุดิบ

4.1.1 การขึ้นรูปไส้กรอง

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดลองการเตรียมน้ำสลิบโดยการปรับเปลี่ยนตัวเชื่อมประสานคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ช่วยให้ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผามีความแข็งแรงสามารถตกแต่งได้ ซึ่งใช้เวลาในการบดผสม 15 นาทีและ การหล่อแบบ 2 ชั่วโมง พบว่า น้ำสลิบที่ใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไหลตัวดี และมีการเดรนดี แต่ชิ้นงานตัวอย่างติดแม่พิมพ์ เนื่องจากชิ้นงานมีความบางเพียง 0.7 เซนติเมตร และ ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาไม่แข็งแรงแตกเสียหาย ต่อมาเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเชื่อมประสานเป็น 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการบดผสม การไหลตัวและการเดรนยังคงดี และสามารถแกะชิ้นงานตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ได้แต่ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผายังคงแตกเสียหาย จากนั้นเพิ่มปริมาณตัวเชื่อมประสานเป็น 1.5 และ 1.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถแกะชิ้นงานตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์แต่ชิ้นงานตัวอย่างยังคงแตกเสียหาย การไหลตัวของน้ำสลิบที่ใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไหลตัวปานกลาง และมีการเดรนดี ส่วนน้ำสลิบที่ใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การไหลตัวไม่ดีส่งผลให้การเดรนเริ่มทำได้ยากขึ้น ดังนั้นจากการใช้ตัวเชื่อมประสานในการบดผสมน้ำสลิบ 1.00 1.25 1.50 และ 1.80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ในการบดผสม 15 นาที การหล่อแบบ 2 ชั่วโมง นั้นจะเห็นได้ว่า ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผาที่สามารถแกะออกจากแบบแม่พิมพ์ได้นั้นคือ ใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผายังคงไม่แข็งแรง จึงได้เพิ่มเวลาในการหล่อแบบเป็น 3 ชั่วโมงซึ่งแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลของการปรับเปลี่ยนปริมาณคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในการเตรียมน้ำสลิปเพื่อการหล่อแบบไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้เวลาในการบด 15 นาที การหล่อแบบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตัวเชื่อมประสาน (%CMC)	ความหนืด (cP)	การเตรน	การแกะแบบ	ความแข็งแรงหลังการแกะแบบ
1.00	2530 (ไหลตัวดี)	ดี	ขึ้นงานแตกติดแม่พิมพ์	ขึ้นงานแตกเสียหาย
1.25	2610 (ไหลตัวดี)	ดี	แกะขึ้นงานได้	ขึ้นงานแตกเสียหาย
1.50	2800 (ไหลตัวปานกลาง)	ดี	แกะขึ้นงานจากแม่พิมพ์ได้แต่แตก	ขึ้นงานแตกเสียหาย
1.80	5000 (ไหลตัวไม่ดี)	ปานกลาง	แกะขึ้นงานจากแม่พิมพ์ได้แต่แตก	ขึ้นงานแตกเสียหาย

* ใช้ Spindle No.5, 50 rpm ในการวัดความหนืด

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเพิ่มเวลาในการหล่อแบบจากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 เป็น 3 ชั่วโมงพบว่า ขึ้นงานตัวอย่างที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิปซึ่งใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.00 1.25 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีความแข็งแรงขึ้นสามารถแกะออกจากแบบได้ดีขึ้นแต่ขึ้นงานยังคงมีรอยแตกร้าวสำหรับขึ้นงานตัวอย่างที่ใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.00 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ส่วนขึ้นงานตัวอย่างที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิปโดยใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสามารถแกะออกแม่พิมพ์ได้ดี และ ขึ้นงานตัวอย่างก่อนเผา มีความแข็งแรงสามารถแตกแต่ขึ้นงานได้อีกทั้งน้ำสลิปมีการไหลตัวและการเตรนดี สำหรับขึ้นงานตัวอย่างที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิปซึ่งใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณตัวเชื่อมประสาน

ส่งผลต่อความหนืดของน้ำสลิปทำให้น้ำสลิปมีความหนืดมากขึ้น การไหลตัวไม่ดี และทำให้การดูดซึมน้ำของแม่พิมพ์ทำได้ยากขึ้น ส่งผลให้การเตรนไม่ดี ทำให้ชิ้นงานตันในแม่พิมพ์ เพราะฉะนั้นสูตรการเตรียมน้ำสลิปที่ใช้ตัวเชื่อมประสาน 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยการทดลองต่อไปจะทำการเพิ่มเวลาในการบดผสมน้ำสลิป และเผาชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลของการปรับเปลี่ยนปริมาณคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในการเตรียมน้ำสลิปเพื่อการหล่อแบบไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้เวลาในการบด 15 นาที การหล่อแบบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวเชื่อม ประสาน(%)	ความหนืด (cP)	การเตรน	การแกะแบบ	ความแข็งแรง หลังการแกะ แบบ
1.00	2530 (ไหลตัวดี)	ดี	แกะชิ้นงานจาก แม่พิมพ์ได้แต่ แตกเล็กน้อย	ชิ้นงานแตก เสียหายปาน กลาง
1.25	2610 (ไหลตัวดี)	ดี	แกะชิ้นงานได้ดี	ชิ้นงานแข็งแรง
1.50	2800 (ไหลตัว ปานกลาง)	ปานกลาง	แกะชิ้นงานจาก แม่พิมพ์ได้แต่ เกิดรอยร้าว เล็กน้อย	ชิ้นงานแตก เสียหายเล็กน้อย
1.80	5000 (ไหลตัวไม่ ดี)	ไม่ดี	ชิ้นงานตันใน แม่พิมพ์	ได้ชิ้นงานตัน

* ใช้ Spindle No.5, 50 rpm .ในการวัดความหนืด

ตารางที่ 4.3 แสดงผลค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาควัตถุดิบ และน้ำสลีปบดผสมที่เวลาต่างๆ ขนาดค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัตถุดิบตั้งต้นคือ ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์โซเดียม เอ และฟินอลิกเรซิน มีค่า 27.98 3.23 และ 17.19 ไมโครเมตร ตามลำดับ เมื่อนำวัตถุดิบมาบดผสมกับน้ำและตัวเชื่อมประสาน โดยใช้เวลา 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับพบว่า ขนาดค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคมีค่าลดลงตามเวลาบดผสมที่เพิ่มขึ้นโดยที่เวลาบดผสม 60 นาทีจะมีค่าขนาดค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคเล็กที่สุดคือ 2.95 ไมโครเมตร

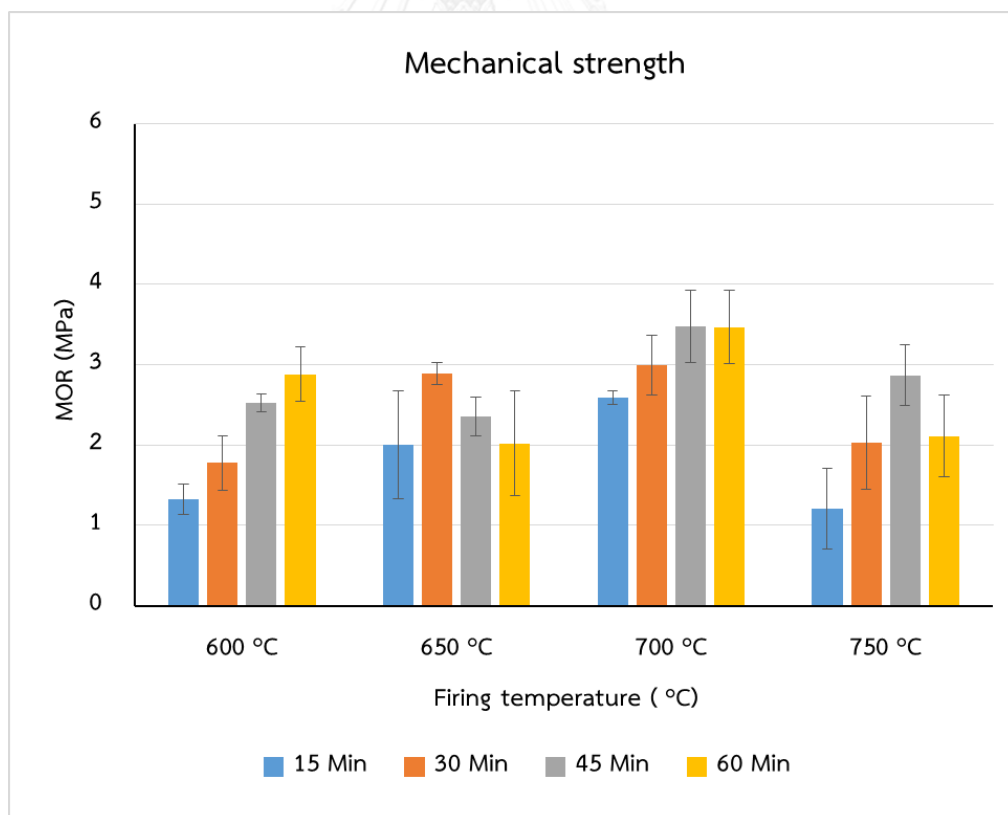
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ และน้ำสลีปบดผสมที่เวลา 15-60 นาที

ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค (μm)						
วัตถุดิบ			น้ำสลีปบดผสม			
ถ่านกัมมันต์	ซีโอไลต์โซเดียม เอ	ฟินอลิกเรซิน	15 นาที	30 นาที	45 นาที	60 นาที
27.98	3.23	17.19	12.76	10.96	6.61	2.95

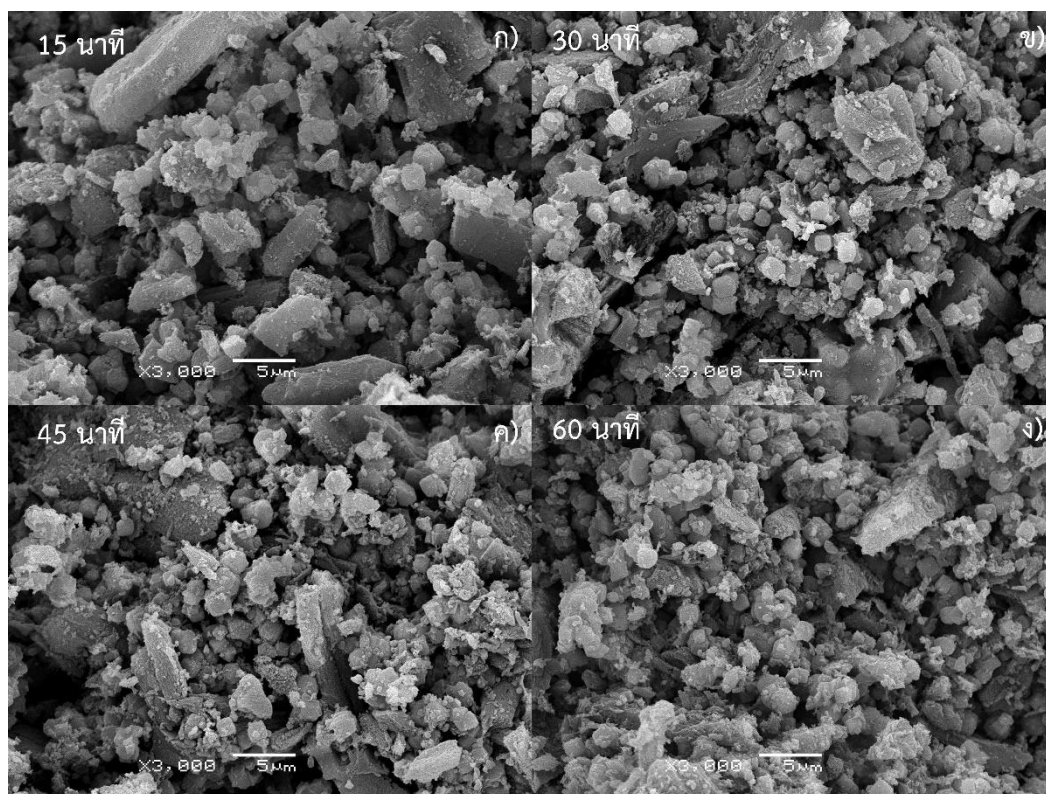
4.1.2 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1 คือกราฟแสดงความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลีปที่เวลา 15 30 45 และ 60 นาทีตามลำดับ เเผที่อุณหภูมิ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในบรรยากาศรีดักชัน ความแข็งแรงของชิ้นงานตัวอย่างมีความสำคัญมากเพราะในการกรองน้ำไส้กรองต้องสามารถทนความดันของน้ำได้ในขณะกรองน้ำอยู่ โดยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไส้กรองน้ำต้องสามารถทนความดันน้ำ 700 ± 10 กิโลพาสคัลได้โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ เช่น แตกหัก ร้าว หรือฉีกขาด (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับเครื่องกรองน้ำดื่ม มอก.2392-2551) เพราะฉะนั้นความแข็งแรงของไส้กรองน้ำจึงเป็นสมบัติที่มีความสำคัญที่ควรพิจารณาเป็นอันดับแรก จึงได้นำชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาไปทดสอบความแข็งแรงเชิงกลด้วยเทคนิค 3-point-bending พบว่าความแข็งแรงเชิงกลของไส้กรองหลังเผาจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถ้าใช้เวลาในการบดผสมน้ำสลีปเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของแข็งที่ละลายในน้ำสลีปมีขนาดเล็กดังแสดงในตารางที่ 4.3 ส่งผลให้ชิ้นงานตัวอย่างมีความหนาแน่นมากขึ้นและค่าความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันหากเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงานตัวอย่างเพราะที่อุณหภูมิสูงน้ำและตัวเชื่อมประสานในชิ้นงานจะสลายตัวส่งผลให้อนุภาคเนื้อไส้กรองชิดกันมากขึ้นทำให้ความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้น โดย

พิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.2 คือไส้กรองที่ผ่านการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส บดผสมที่เวลา 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าที่เวลาบดผสม 15 นาที เนื้อไส้กรองหลังเผา ยังมีขนาดใหญ่และช่องว่างระหว่างอนุภาคยังไม่ชิดกันมากนัก ส่วนที่เวลาบดผสม 30 45 และ 60 นาทีนั้น เนื้อไส้กรองจะชิดกันมากขึ้นและมีขนาดอนุภาคเล็กลง ส่งผลให้ไส้กรองมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อนุภาคขนาดใหญ่ที่พบในโครงสร้างจุลภาคของเนื้อไส้กรองจะเป็นอนุภาคของถ่านกัมมันต์ส่วนอนุภาคขนาดเล็กจะเป็นทั้งอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียม เอ (ลูกบาศก์) และถ่านกัมมันต์ (รูปร่างไม่แน่นอน) แต่ที่อุณหภูมิการเผา 750 องศาเซลเซียสค่าความแข็งแรงเชิงกลจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเนื่องจากโครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียม เอ นั้นเริ่มพังทลายที่อุณหภูมิสูง[75] ส่งผลให้เกิดช่องว่างในเนื้อไส้กรอง ความแข็งแรงเชิงกลจึงลดลง โดยค่าความแข็งแรงเชิงกลจะมีค่าระหว่าง 1.21-3.48 เมกะพาสคัล ซึ่งการเผาชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจากการเตรียมบดผสมน้ำสลิปเป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาทีที่มีค่าความแข็งแรงเชิงกลคือ 2.59 2.99 3.48 และ 3.47 เมกะพาสคัล ตามลำดับ จะให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลมากกว่าอุณหภูมิการเผา 600 650 และ 750 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จึงได้นำชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการเผา 700 องศาเซลเซียสไปทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป



รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

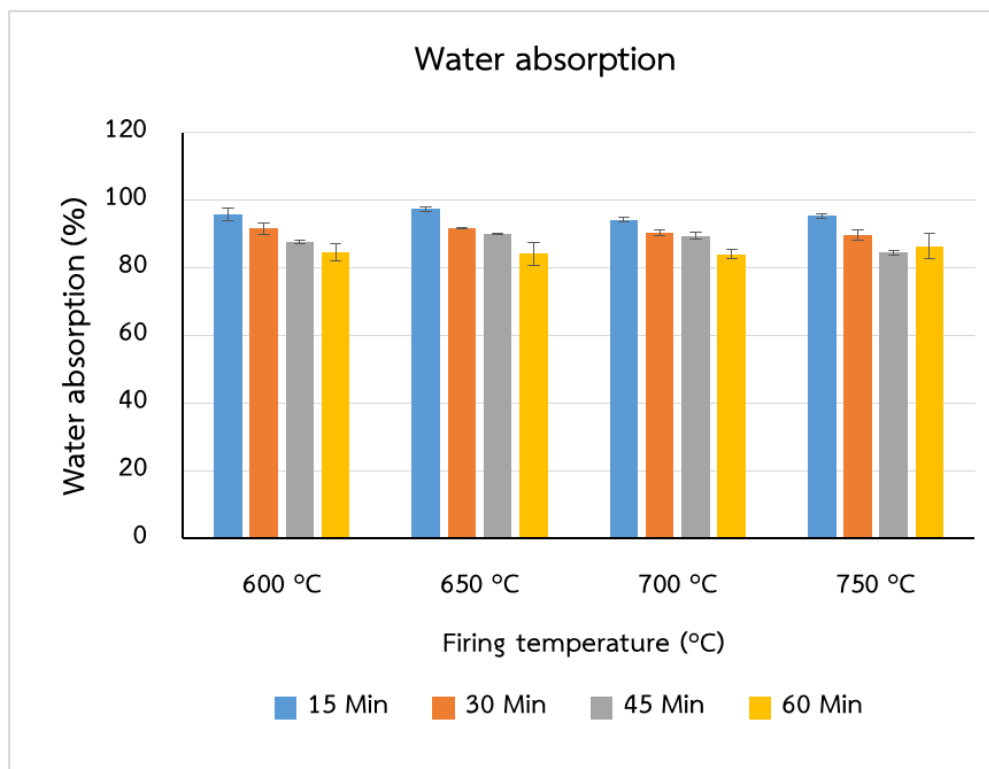


รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมจากการบดผสม ก) 15 นาที ข) 30 นาที ค) 45 นาที และ ง) 60 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

4.1.3 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 แสดงการดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 84.04-97.52 เปอร์เซ็นต์ หากพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำในแง่ของอุณหภูมิการเผาไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบนั้นพบว่ามีความใกล้เคียงกันอย่างมาก แต่หากพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำในแง่เวลาของการบดผสมน้ำสลิป พบว่ามีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นขนาดอนุภาคของน้ำสลิปมีผลต่อการดูดซึมน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบโดยขนาดอนุภาคน้ำสลิปเล็กลงการดูดซึมน้ำของไส้กรองก็มีค่าลดลงตามไปด้วยเช่นกัน เพราะว่าเมื่อน้ำสลิปมีขนาดอนุภาคเล็กจะช่วยให้การก่ตัวของผนังเนื้อชิ้นงานตัวอย่างในระหว่างการหล่อในแบบแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ให้มีความหนาแน่นสูงส่งผลให้ชิ้นงานก่อนและหลังเผามีความแข็งแรงมากขึ้น เพราะอนุภาคของเนื้อชิ้นงานตัวอย่างจะใกล้ชิดกันแน่นยิ่งขึ้นการดูดซึมน้ำของไส้กรองจึงมีค่าลดลงสำหรับกลุ่มของชิ้นงานตัวอย่างที่มีความแข็งแรงที่น่าพอใจในผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั้น

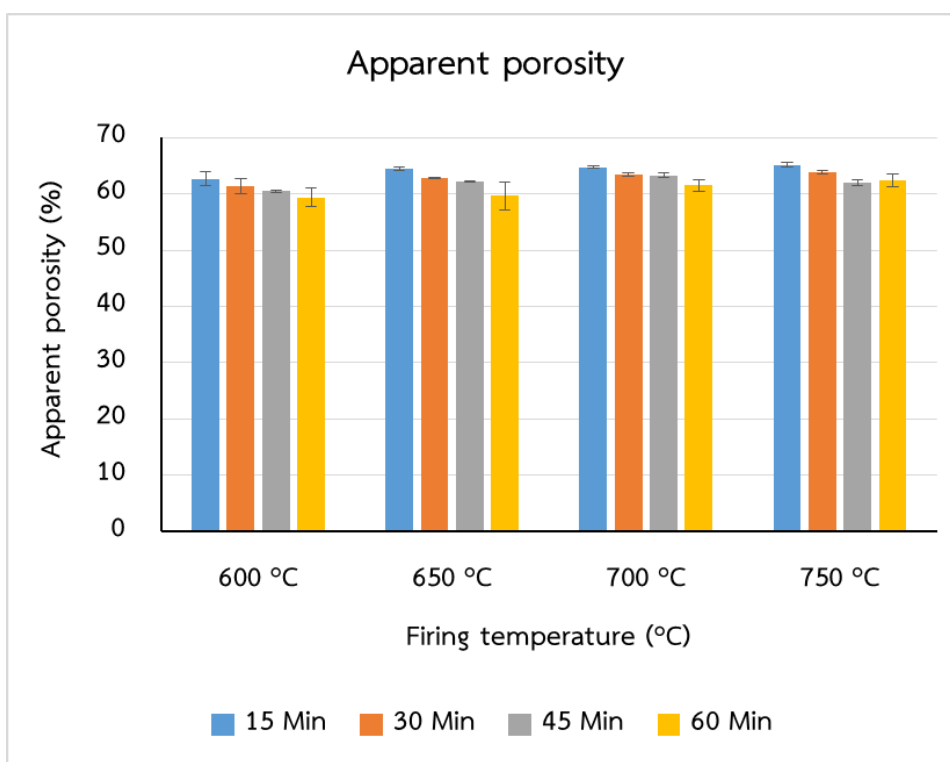
คือ ไส้กรองที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากการเตรียมบดผสมน้ำสลิปที่ 15 30 45 และ 60 นาทีตามลำดับ จะมีค่าการดูดซึมน้ำคือ 94.28 90.31 89.46 และ 84.04 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้นี้ถือว่าต่ำกว่ากลุ่มของชิ้นงานนี้มีค่าการดูดซึมน้ำเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 4.3 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

4.1.4 ความพรุนตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

ความพรุนตัวคือ อัตราส่วนของปริมาตรของรูพรุนของวัสดุ กับปริมาตรของวัสดุทั้งหมด จากรูปที่ 4.4 แสดงผลของความพรุนตัวของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน พบว่า ความพรุนตัวของไส้กรองหลังเผามีค่าระหว่าง 59.39-65.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความพรุนตัวจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาในการบดผสมมากขึ้นเพราะเมื่อบดผสมนานขึ้นขนาดอนุภาคจะมีค่าลดลงส่งผลให้เนื้อไส้กรองมีความหนาแน่นมากขึ้น แต่หากพิจารณาถึงอุณหภูมิการเผาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา ค่าความพรุนตัวจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงๆ น้ำและตัวเชื่อมประสานจะสลายตัวได้อย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อไส้กรองความพรุนตัวจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

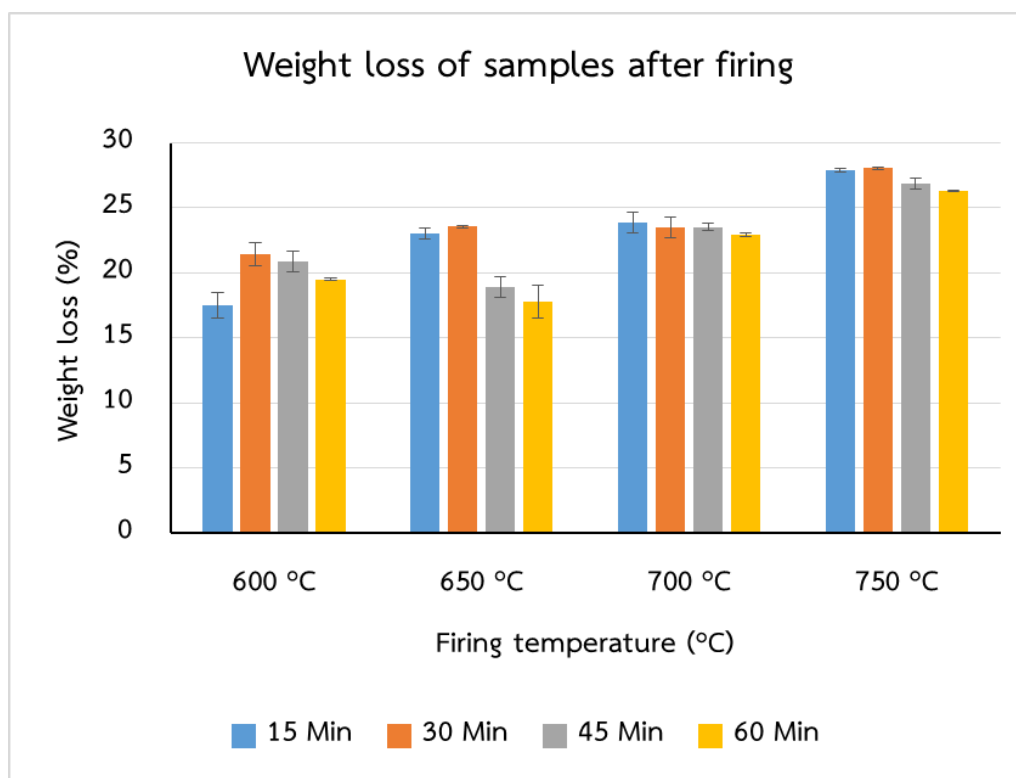


รูปที่ 4.4 ความพรุนตัวของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

4.1.5 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลของน้ำหนักที่หายไปของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน น้ำหนักที่หายไปของไส้กรองหลังเผานั้นจะประกอบไปด้วย น้ำ (ความชื้นและน้ำในโครงสร้างผลึก) ตัวเชื่อมประสาน และการสลายตัวของคาร์บอน เนื่องจากชิ้นงานเผาในบรรยากาศรีดักชัน (ในระบบปิดที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย) ซึ่งจะทำให้คาร์บอนเกิดการสลายตัวได้โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงๆ จะมีค่าน้ำหนักที่หายไปสูงตามไปด้วย พิจารณาการเผาที่ 750 องศาเซลเซียส จะมีค่าน้ำหนักที่หายไปสูงสุดคือ 26.32-28.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเผาที่ 700 องศาเซลเซียสมีค่า 22.91-23.85 เปอร์เซ็นต์ การเผาที่ 650 องศาเซลเซียสมีค่า 17.8-23.57 เปอร์เซ็นต์ และการเผาที่ 600 องศาเซลเซียสจะมีค่าน้อยสุดคือ 17.55-21.44 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักที่หายไปหลังเผาจะมีความสัมพันธ์กับค่าการหดตัวหลังเผาของชิ้นงาน ถ้าน้ำหนักหายไปมากการหดตัวก็จะมากขึ้นเช่นกัน

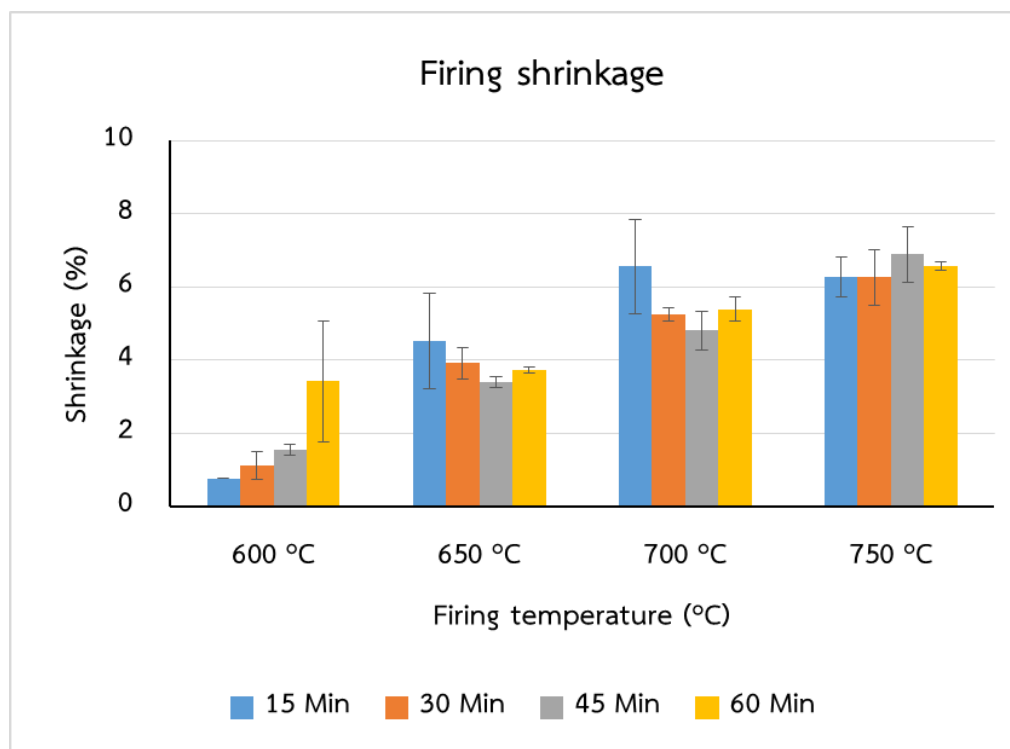
น้ำหนักที่หายไปหลังเผาของชิ้นงานถ้ามีค่าที่สูงชิ้นงานจะแตกเสียหายระหว่างการเผาได้ง่ายเนื่องจากชิ้นงานจะมีค่าการหดตัวสูง



รูปที่ 4.5 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

4.1.6 การหดตัวหลังเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

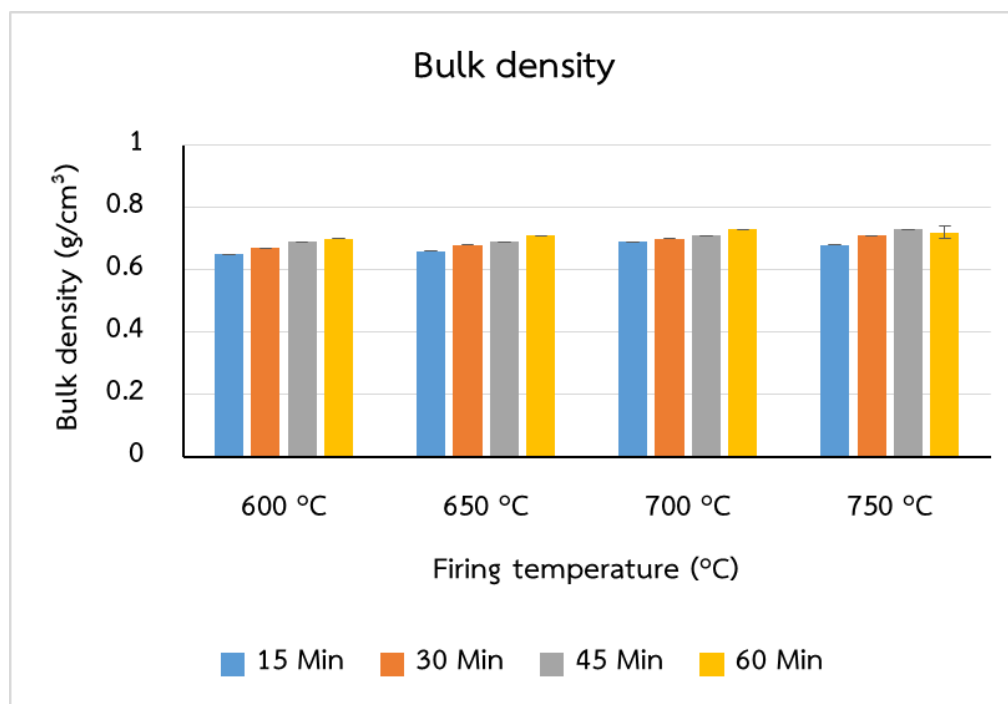
จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 คือการหดตัวของชิ้นงานหลังการเผาโดยที่อุณหภูมิการเผาสูงๆ จะมีค่าการหดตัวสูงเช่นกันซึ่งที่อุณหภูมิการเผา 700 และ 750 องศาเซลเซียสจะมีค่าการหดตัวสูงกว่าอุณหภูมิการเผาที่ 600 และ 650 องศาเซลเซียส การเผาที่ 750 องศาเซลเซียสมีค่าการหดตัวสูงสุดคือ 6.26-6.89 เปอร์เซ็นต์ การเผาที่ 700 มีค่า 4.81-6.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลน้ำหนักที่หายไปหลังเผาในผลการทดลองในรูปที่ 4.5 ส่วนการเผาที่ 650 องศาเซลเซียสมีค่า 3.39-4.52 เปอร์เซ็นต์ และการเผาที่ 600 องศาเซลเซียสจะมีการหดตัวต่ำสุดคือ 0.77-3.42 เปอร์เซ็นต์ เพราะตัวเชื่อมประสานยังไม่สลายตัวอย่างสมบูรณ์ซึ่งก็จะสังเกตได้จากค่าน้ำหนักที่หายไปหลังการเผาจะมีค่าต่ำสุดเช่นกัน



รูปที่ 4.6 การหดตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

4.1.7 ความหนาแน่นรวมชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

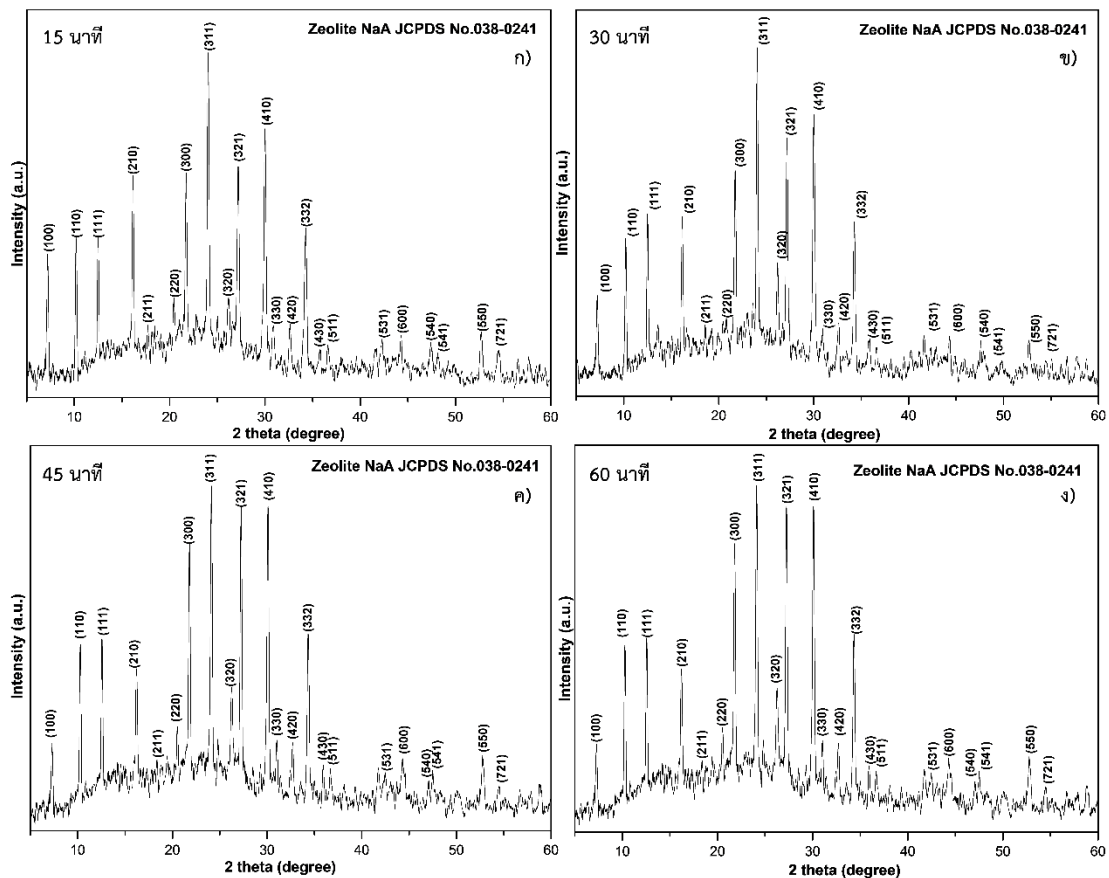
ความหนาแน่นรวมของวัสดุคือ มวลของวัสดุนั้นๆ ต่อปริมาตรของวัสดุโดยรวมทั้งช่องว่างในเนื้อวัสดุนั้นๆ ด้วย จากรูปที่ 4.7 แสดงความหนาแน่นรวมชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชันซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.65-0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเมื่อเพิ่มเวลาในการบดผสมน้ำสลีปความหนาแน่นรวมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับถ้าเพิ่มอุณหภูมิการเผาค่าความหนาแน่นรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเหมือนกันซึ่งกลุ่มชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการบดผสมน้ำสลีป 15 30 45 และ 60 นาทีและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจะมีค่าความหนาแน่นรวมคือ 0.69 0.70 0.71 และ 0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ กลุ่มชิ้นงานตัวอย่างนี้น่าสนใจเพราะมีค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงที่สุดจึงนำไปตรวจหาลักษณะสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการกรองน้ำต่อไป



รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ หลังการเผาในบรรยากาศรีดักชัน

4.1.8 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน

เนื่องจากซีโอไลต์โซเดียม เอ นั้นมักจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส [76-79] เพราะฉะนั้นการตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างที่เผาแล้วจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะชิ้นงานตัวอย่างเผาที่ 700 องศาเซลเซียสซึ่งมีความแข็งแรงเชิงกลสูงสุด จากรูปที่ 4.8 แสดงองค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเผาที่ 700 องศาเซลเซียส จากการบดผสมน้ำสลีป 15 30 45 และ 60 นาที พบว่ายังคงมีองค์ประกอบทางเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทุกสภาวะการบดผสมของชิ้นงานตัวอย่าง ดังนั้นอุณหภูมิการเผาชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เหมาะสมคือ 700 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพราะยังคงพบองค์ประกอบทางเฟสของซีโอไลต์และที่อุณหภูมิการเผานี้ให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงกว่าที่อุณหภูมิการเผาอื่นๆ



รูปที่ 4.8 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน

4.1.9 พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของชิ้นไส้กรองพื้นที่ผิวจำเพาะของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าโดยใช้เทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนพื้นผิววัสดุ (ตามทฤษฎีของ BET) มีค่าอยู่ระหว่าง 307.80-316.70 ตารางเมตรต่อกรัม โดยชิ้นงานตัวอย่างจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดคือ 316.70 ตารางเมตรต่อกรัมซึ่งมีค่ามากกว่าพื้นที่ผิวของไส้กรองทางการค้า ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุนั้นมีความสำคัญเพราะปฏิกิริยาทางกายภาพและทางเคมีจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของวัสดุนั้นๆ ก่อนเพราะฉะนั้นหากวัสดุใดๆ ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะสามารถทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่าวัสดุที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำๆ

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ชิ้นงานตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)
บดผสมน้ำสลิป 15 นาที	307.80
บดผสมน้ำสลิป 30 นาที	316.70
บดผสมน้ำสลิป 45 นาที	316.20
บดผสมน้ำสลิป 60 นาที	300.20
ไส้กรองน้ำ Filtex	6.78
ไส้กรองน้ำ Mazuma	4.69

จากตารางที่ 4.5 แสดงขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 600-750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมงวัดค่าโดยใช้ Mercury Porosimetry Analyzer Model ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.60-1.80 ไมโครเมตร ส่วนไส้กรองทางการค้า Filtex และ Mazuma มีค่า 2.11 และ 2.37 ไมโครเมตร ขนาดรูพรุนของไส้กรองทำหน้าที่กรองตะกอนขุ่นและแบคทีเรียที่ก่อโรคต่อร่างกาย

ตารางที่ 4.5 ขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 600-750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ขนาดรูพรุน (μm)			
	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C
บดผสมน้ำสลิป 15 นาที	1.80	0.79	1.13	0.78
บดผสมน้ำสลิป 30 นาที	0.60	0.66	0.62	0.64
บดผสมน้ำสลิป 45 นาที	0.64	0.47	1.56	1.45
บดผสมน้ำสลิป 60 นาที	0.77	0.45	1.04	0.46
ไส้กรองน้ำ Filtex	2.11			
ไส้กรองน้ำ Mazuma	2.37			

4.1.10 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 15-60 นาที เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายในเวลา 5 นาที

วิธีการวัดประสิทธิภาพการกรองน้ำคือนำไส้กรองในกลุ่มที่ได้เลือกไว้ไปติดจุดของหลอดหรือสแตนเลสดังรูปที่ 4.9 แล้วนำไปใส่เครื่องกรองน้ำดังรูปที่ 3.14 จากนั้นวัดประสิทธิภาพการกรองโดยใช้แรงดันน้ำ 1.2 บาร์ใช้เวลา 5 นาที ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าไส้กรองที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 15 นาทีจะมีอัตราการไหลผ่านของน้ำสูงสุดคือ 0.22 ลิตรต่อนาที แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 5 นาที ไส้กรองแตกหักเสียหายดังแสดงในรูปที่ 4.10 ส่วนไส้กรองจากการบดผสมน้ำสลิป 30 45 และ 60 นาทีสามารถทนแรงดันน้ำได้ไม่แตกเสียหายและมีค่าประสิทธิภาพการกรองน้ำ 0.14 0.06 และ 0.07 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาบดผสมน้ำสลิปมากขึ้น ประสิทธิภาพการกรองจะลดลงเนื่องจากอนุภาคเนื้อไส้กรองชิดกันแน่นมากขึ้นสอดคล้องกับรูปที่ 4.2 เพราะฉะนั้นชิ้นงานตัวอย่างที่เหมาะสมในการกรองน้ำคือ ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัม

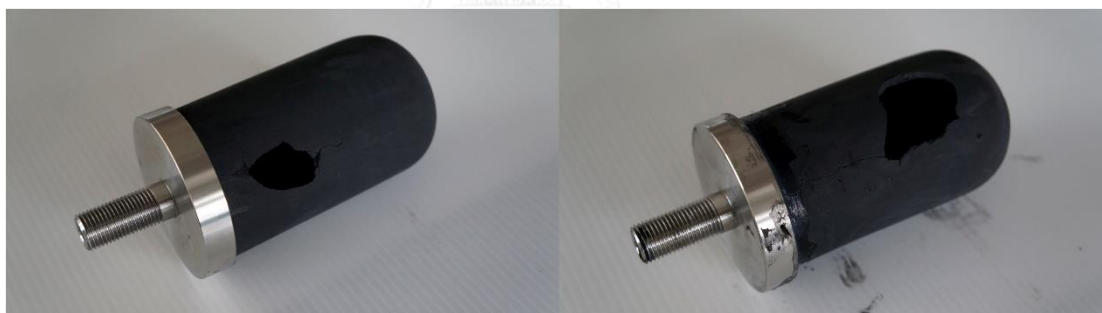
มันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสม 30 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพราะสามารถทนแรงดันน้ำในเครื่องกรองน้ำไม่แตกหักเสียหายและยังมีประสิทธิภาพการกรองน้ำที่น่าพอใจคือ 0.14 ลิตรต่อนาทีแต่ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1420-2551) ซึ่งต้องมีค่าอัตราการไหลของน้ำกรองไม่น้อยกว่า 1.66 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.9 ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่ติดถูกทองเหลือง หรือสแตนเลส

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายในเวลา 5 นาที

ไส้กรอง	แรงดันน้ำที่ใช้ในการกรอง (บาร์)	พื้นที่ผิวไส้กรอง (ซม. ²)	ปริมาณน้ำผ่านไส้กรอง (ลิตร/นาที)
บดผสมน้ำสลิป 15 นาที	1.2	150.22	0.22
บดผสมน้ำสลิป 30 นาที	1.2	152.68	0.14
บดผสมน้ำสลิป 45 นาที	1.2	156.04	0.06
บดผสมน้ำสลิป 60 นาที	1.2	142.72	0.07



รูปที่ 4.10 ไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ แตกเสียหายหลังจากการกรองน้ำ

4.1.11 ประสิทธิภาพการกรองเชื้อแบคทีเรีย (*Escherichia coli*) ของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

จากผลการทดลองกรองเชื้อแบคทีเรียของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ภายในเวลา 5 นาทีดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าไส้กรองทั้ง 4 สามารถกรองเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไส้กรองทางการค้าดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกรองเชื้อแบคทีเรียของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที

Test Microorganisms	Samples	The number of bacteria(CFU/ml)	% Reduction
<i>Escherichia coli</i>	Inoculum	3.7×10^5	-
	บดผสมน้ำสลิป 15 นาที	3.0×10^2	99.91
	บดผสมน้ำสลิป 30 นาที	2.0×10^3	99.45
	บดผสมน้ำสลิป 45 นาที	1.3×10^2	99.96
	บดผสมน้ำสลิป 60 นาที	5.6×10^2	99.84
	Filtex	3.6×10^2	99.90
	Mazuma	2.0×10^3	99.45

4.1.12 ประสิทธิภาพการลดความกระด้างในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ภายในเวลา 5 นาที

เลือกไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่ 700 องศาเซลเซียสมาทดสอบการลดความกระด้างในน้ำซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบสามารถลดความกระด้างของน้ำได้ 31.78 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 5 นาที

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการลดความกระด้างในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียมไอออนในน้ำ (ppm)	
	ก่อนการกรอง	หลังการกรอง
บดผสมน้ำสลิป 30 นาที	535.41	373.56
	561.08	374.44
เฉลี่ย	548.24	374.00

4.1.13 ประสิทธิภาพการดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ภายในเวลา 5 นาที

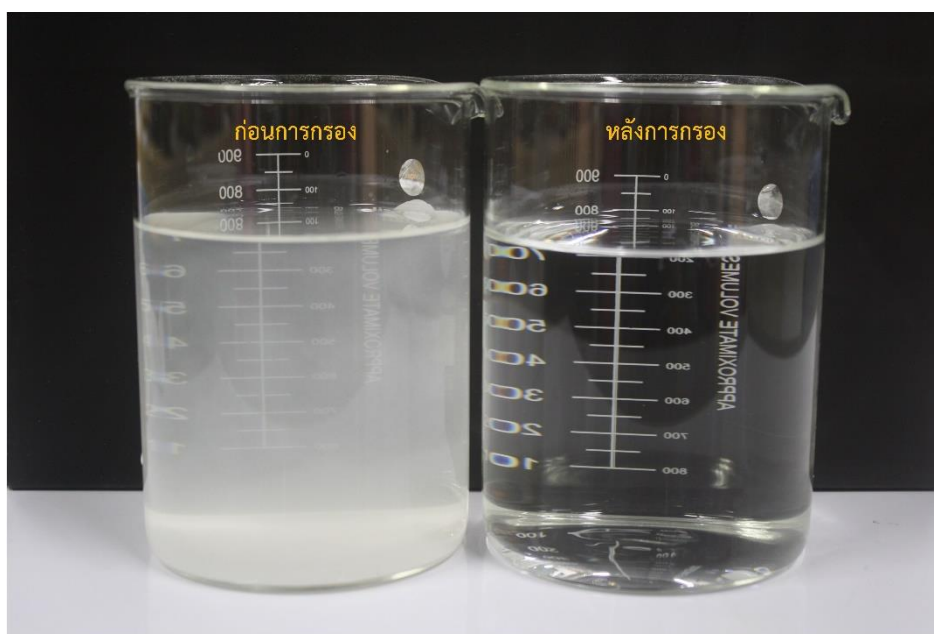
ประสิทธิภาพการดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาทีนั้นคือ สามารถดูดซับคลอรีนอิสระได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที

ตัวอย่าง	ปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำ (ppm)	
	ก่อนการกรอง	หลังการกรอง
บดผสมน้ำสลิป 30 นาที	2.23	0.00
	2.28	0.00
เฉลี่ย	2.25	0.00

4.1.14 การกรองตะกอนขุ่นของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที

ตะกอนขุ่นที่ใช้ทดลองคือ อะลูมินาที่มีขนาด 0.3 ไมโครเมตร จากรูปที่ 4.11 พบว่าสามารถกรองตะกอนขุ่นที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 0.3 ไมโครเมตรได้



รูปที่ 4.11 การกรองตะกอนขุ่นของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ จากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่ 700 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 ผลการทดลองในส่วนที่สองศึกษาการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้ถ่านแกลบกัมมันต์และ ซีโอไลต์เป็นวัตถุดิบ

ในส่วนการทดลองที่สองจะใช้ถ่านแกลบเป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปโดยนำแกลบดิบแห้งไปเผาในเตาเผาแกลบดังรูปที่ 3.9 จะได้ถ่านแกลบแล้วนำไปลดขนาดอนุภาคจากนั้นนำไปสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ

4.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านแกลบ

เมื่อเผาแกลบดิบแล้วได้ถ่านแกลบนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านแกลบเพื่อให้ทราบถึงซิลิกาในถ่านแกลบก่อนสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ ซึ่งในตารางที่ 4.10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถ่านแกลบโดยมีส่วนประกอบหลักคือ ซิลิกา 34.61 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน (ซึ่งในที่นี้ อนุมานว่าค่า LOI ทั้งหมดคือปริมาณคาร์บอน) 62.97 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบอื่นๆ อีกเล็กน้อย

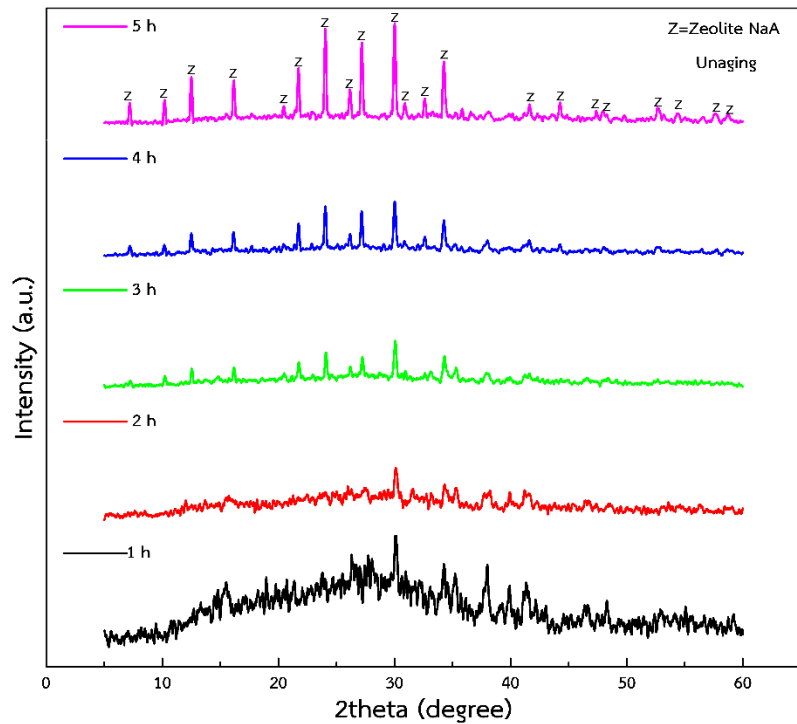
ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ นั้นจะใช้อัตราส่วนของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 1 สำหรับ ถ่านแกลบที่มีซิลิกาออสัญฐานเป็นองค์ประกอบหลักจึงสามารถใช้เป็นแหล่งซิลิกอน [19, 80-83] ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านแกลบ

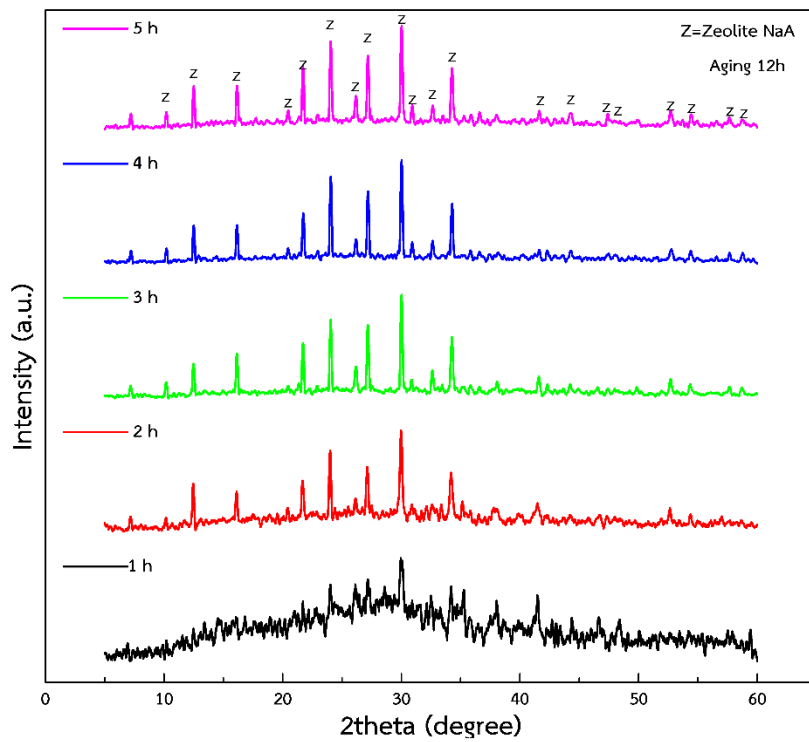
องค์ประกอบ	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)	องค์ประกอบ	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
SiO ₂	34.61	Na ₂ O	0.07
K ₂ O	0.84	MnO	0.07
P ₂ O ₅	0.57	Fe ₂ O ₃	0.04
CaO	0.30	SO ₃	0.04
Al ₂ O ₃	0.27	LOI	62.97
MgO	0.21		

4.2.2 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน ที่สังเคราะห์จากถ่านแกลบ

ผลการทดลององค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน ที่สังเคราะห์จากถ่านแกลบดังแสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 คือ องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง โดยไม่บ่มและบ่มสารละลายอะลูมิเนียมโนซิลิเกตคาร์บอนก่อนการสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง การบ่มสารละลายจะช่วยให้การสังเคราะห์เกิดผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ได้เร็วขึ้น สังเกตที่สภาวะการบ่มสารละลาย 12 ชั่วโมงและใช้เวลาสังเคราะห์ 2 ชั่วโมงก็พบว่าเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ แล้ว ส่วนที่สภาวะไม่บ่มสารละลายจะเห็นเฟสของซีโอไลต์โซเดียมได้ชัดเจนที่ 4 และ 5 ชั่วโมง สำหรับการสังเคราะห์ที่เวลา 1 ชั่วโมงไม่พบเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทั้ง 2 สภาวะ



รูปที่ 4.12 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง

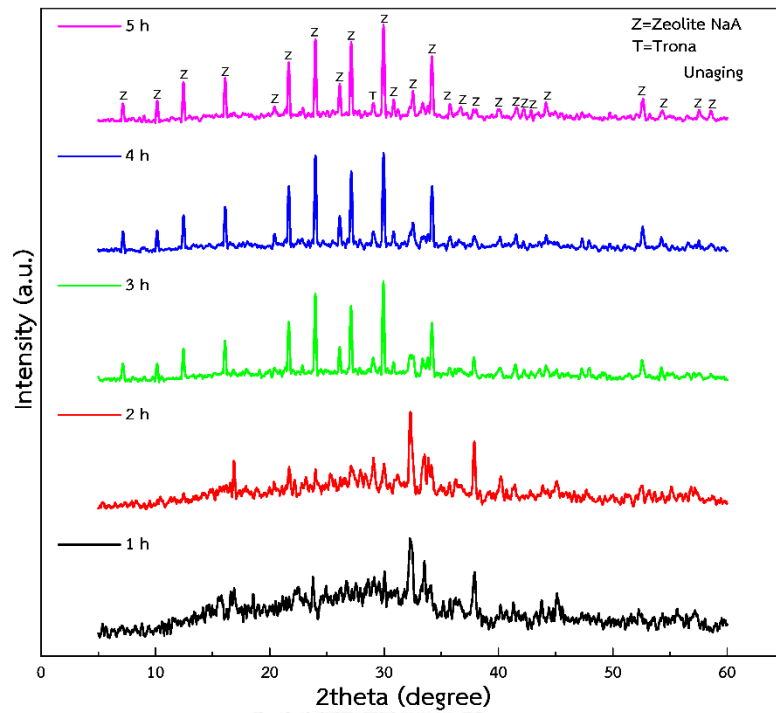


รูปที่ 4.13 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง

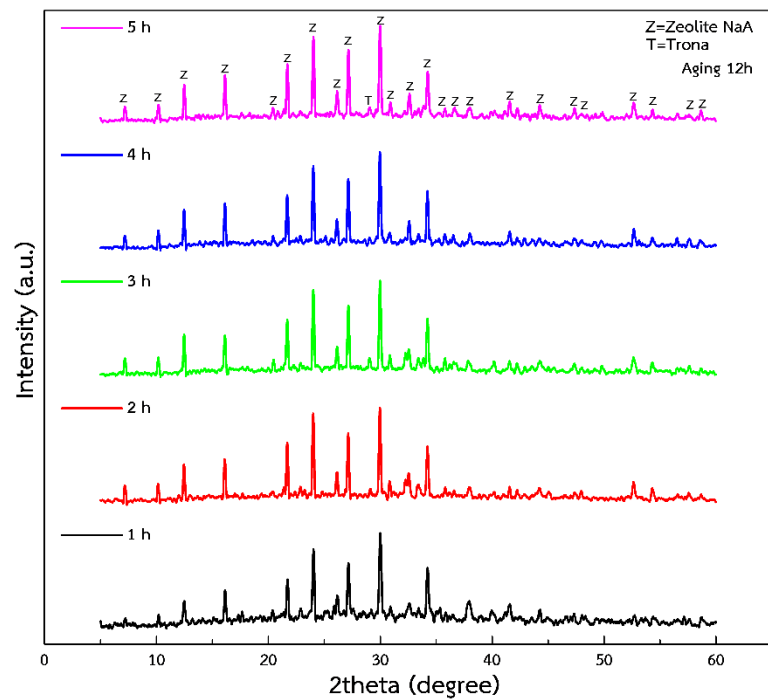
จากรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 แสดงองค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง ไม่บ่มและบ่มสารละลายก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง พบว่าสำหรับสภาวะไม่บ่มจะพบเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่เวลาสังเคราะห์ 3 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนที่สภาวะการบ่มจะพบเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทุกเวลาของการสังเคราะห์คือ 1-5 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่านอกจากการบ่มจะช่วยให้เกิดเฟสซีโอไลต์การเพิ่มอุณหภูมิก็ช่วยให้เกิดเฟสซีโอไลต์โซเดียม เอ ได้เช่นกันจึงได้ทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิการสังเคราะห์ที่ 95 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งผลขององค์ประกอบทางเฟสได้แสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มขึ้นเป็น 95 องศาเซลเซียสที่สภาวะไม่บ่มจะเกิดเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนที่เวลาในการสังเคราะห์ 1 ชั่วโมงยังคงไม่พบเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ เหมือนกับการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส สำหรับที่สภาวะการบ่มจะเกิดเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทุกเวลาของการสังเคราะห์เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ที่ 90 องศาเซลเซียส

สำหรับการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะมีองค์ประกอบทางเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 พบว่าทั้งสภาวะการบ่มและไม่บ่มจะพบเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทุกๆ เวลาของการสังเคราะห์เพราะฉะนั้นที่อุณหภูมิการสังเคราะห์ 100 องศาเซลเซียสเหมาะที่จะนำมาสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ หากพิจารณาเพิ่มอุณหภูมิให้มากกว่า 100 องศาเซลเซียสอาจจะช่วยให้เกิดเฟสของซีโอไลต์โซเดียมได้เร็วกว่านี้ แต่เนื่องจากถ้าต้องการขยายปริมาณการสังเคราะห์ในระดับอุตสาหกรรมนั้นการสังเคราะห์ที่ใช้อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียสจะมีความปลอดภัยน้อยกว่าอีกทั้งอาจเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต จึงสรุปได้ว่าการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน จากถ่านแกลบควรใช้อุณหภูมิการสังเคราะห์ที่ 100 องศาเซลเซียส เพราะสามารถทำได้ในส่วนของทดลองวิจัย และการขยายปริมาณการสังเคราะห์ในระดับอุตสาหกรรม

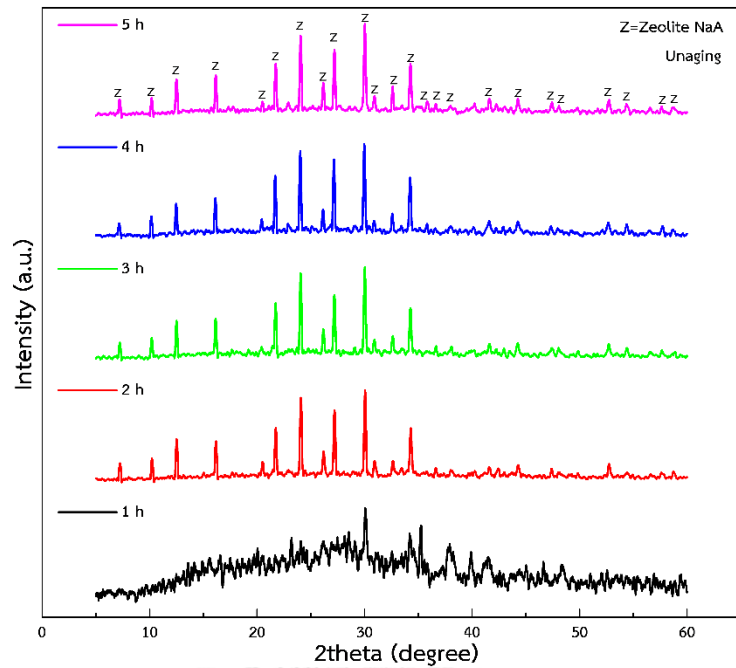
สำหรับองค์ประกอบทางเฟสของ Trona ที่พบในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียม เอ จากถ่านแกลบนั้นคือ Trisodium hydrogendicarbonate dehydrate ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เกิดขึ้นเนื่องจากในระหว่างการสังเคราะห์นั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 1 ชั่วโมงในการสังเคราะห์ในแต่ละอุณหภูมิ แล้วนำไปอบแห้งเลยโดยไม่ได้ล้างน้ำก่อนแล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟสซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้พบองค์ประกอบทางเฟสของ Trona แต่ในการนำผงวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนไปเป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปไส้กรองจะต้องล้างน้ำและกรองสารละลายหลังจากการสังเคราะห์เสมอก็จะไม่พบองค์ประกอบทางเฟสของ Trona อีกเพราะ Trona ละลายในน้ำได้ดีก็จะถูกกำจัดออกไปจากผงวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน



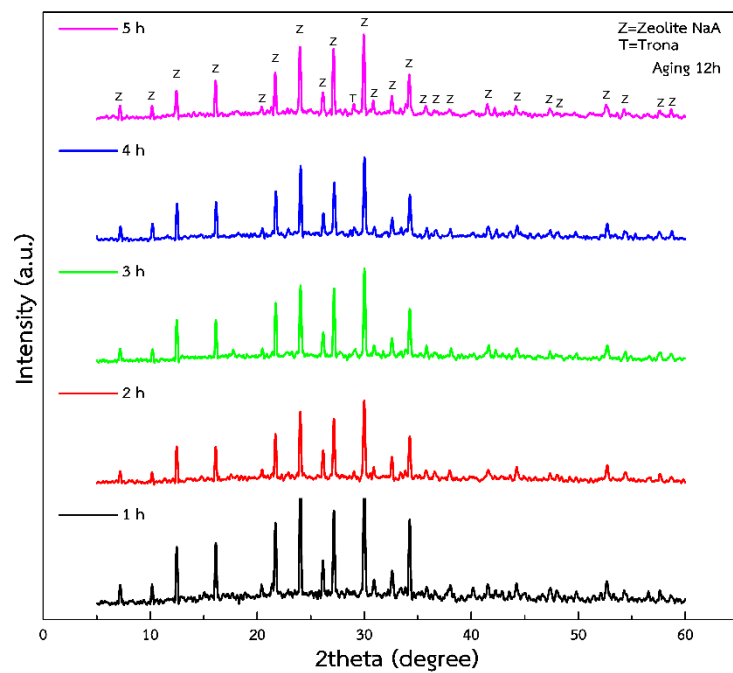
รูปที่ 4.14 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง



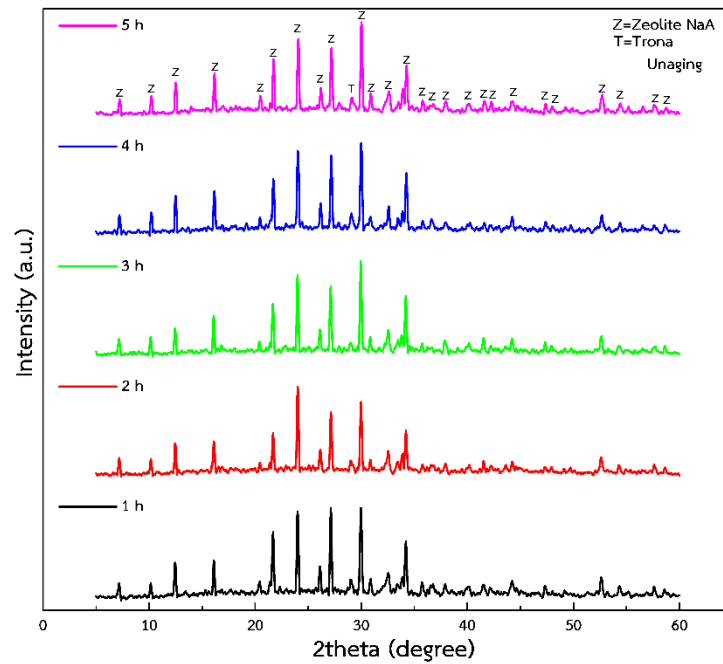
รูปที่ 4.15 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง



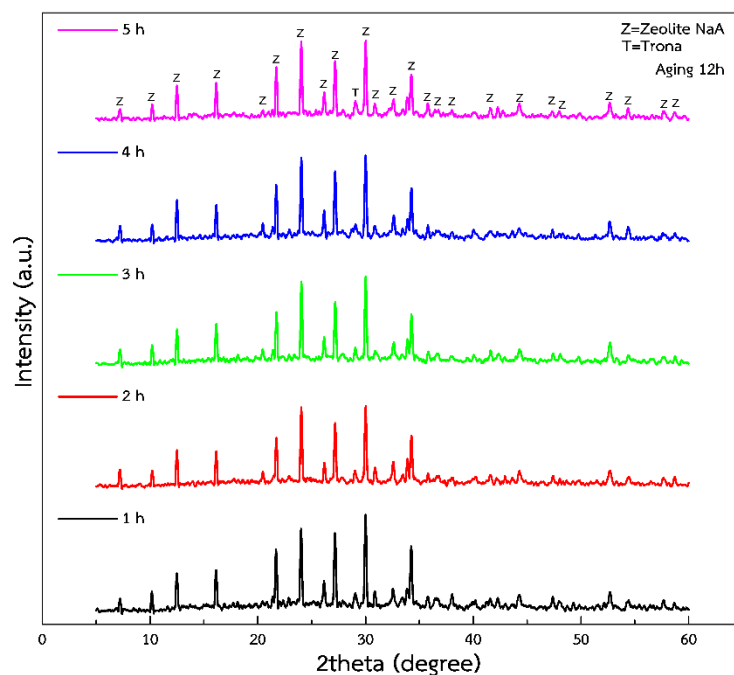
รูปที่ 4.16 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.17 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง



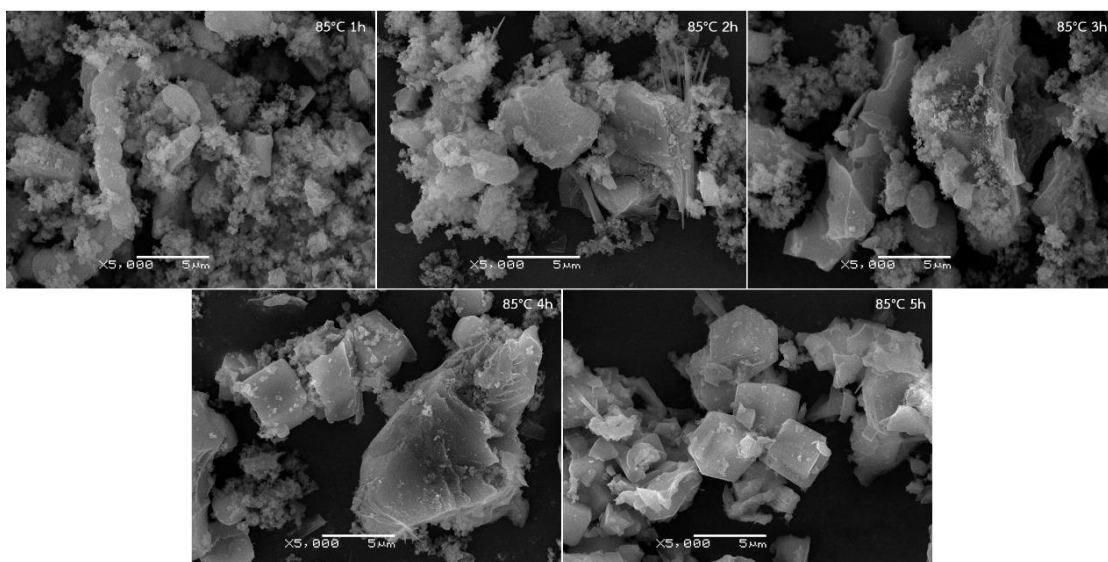
รูปที่ 4.18 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 องค์ประกอบทางเฟสของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง

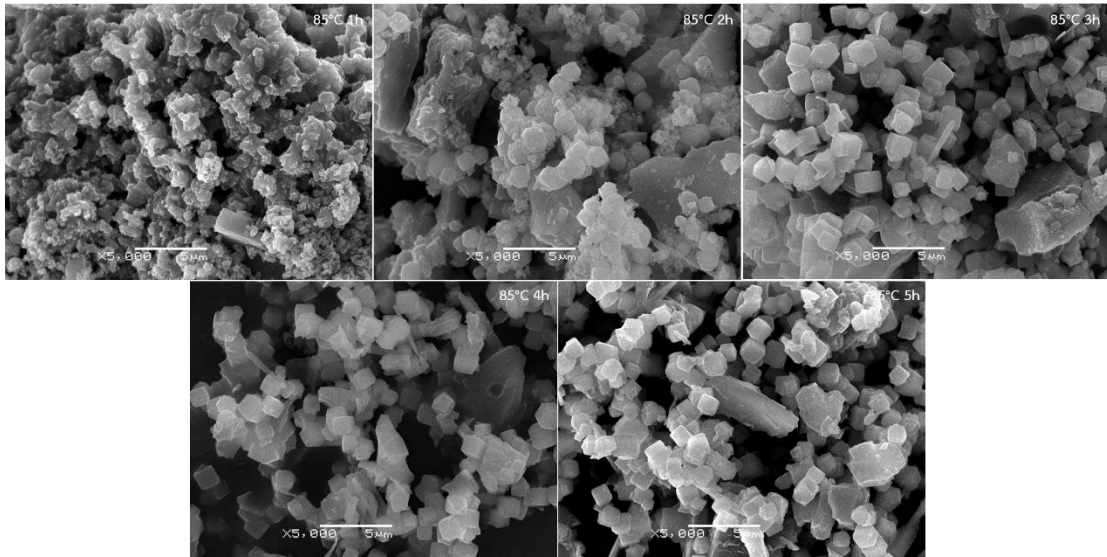
4.2.3 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน

จากรูปที่ 4.20 แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมงโดยไม่มีการบ่มสารละลายอะลูมิเนียมซิลิเกตคาร์บอนก่อนการสังเคราะห์ ซึ่งผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ จะมีรูปร่างคือ ลูกบาศก์ ส่วนคาร์บอน จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ที่เวลาการสังเคราะห์ 4 และ 5 ชั่วโมงจะพบผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่มีขนาดประมาณ 5 ไมโครเมตรซึ่งสอดคล้องกับผลลองค์ประกอบทางเฟสในรูปที่ 4.12 ส่วนที่เวลาการสังเคราะห์ 1-3 ชั่วโมงนั้นจะไม่พบผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ เจอเพียงแต่โครงสร้างจุลภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอน



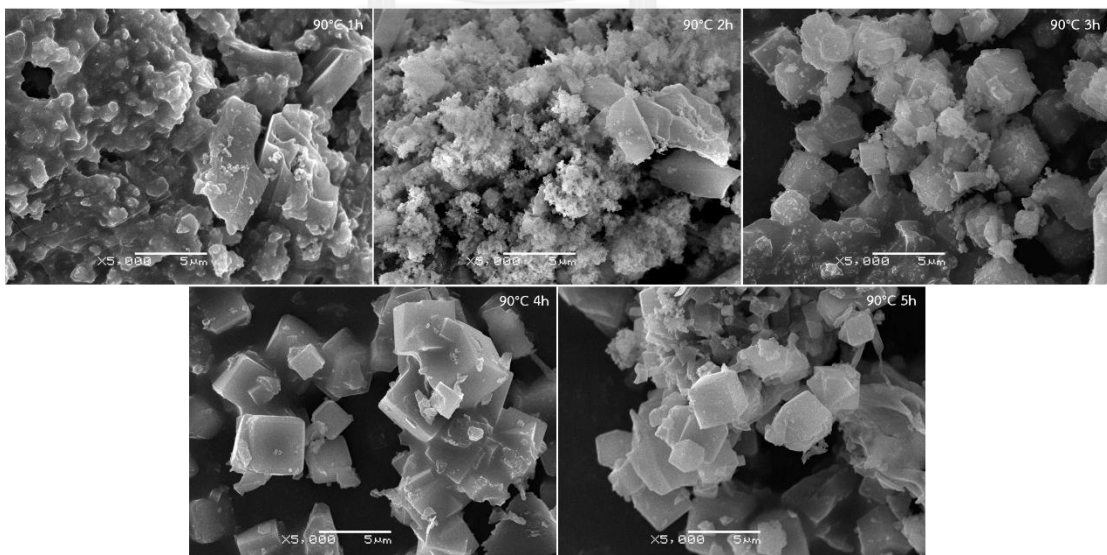
รูปที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง

สำหรับโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง ผ่านการบ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมงจะแสดงดังรูปที่ 4.21 พบว่าผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ จะเกิดขึ้นที่เวลาการสังเคราะห์ 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ส่วนที่เวลาการสังเคราะห์ 1 ชั่วโมงจะไม่พบผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลลองค์ประกอบทางเฟสที่แสดงในรูปที่ 4.13 ขนาดของผลึกซีโอไลต์โซเดียม เอ จะเล็กกว่าการสังเคราะห์ที่ไม่ผ่านการบ่ม โดยมีขนาดประมาณ 3 ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นการบ่มนอกจากช่วยให้เกิดผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ได้เร็วขึ้น ยังได้ผลึกที่มีขนาดเล็กกว่าการสังเคราะห์ที่ไม่ผ่านการบ่ม



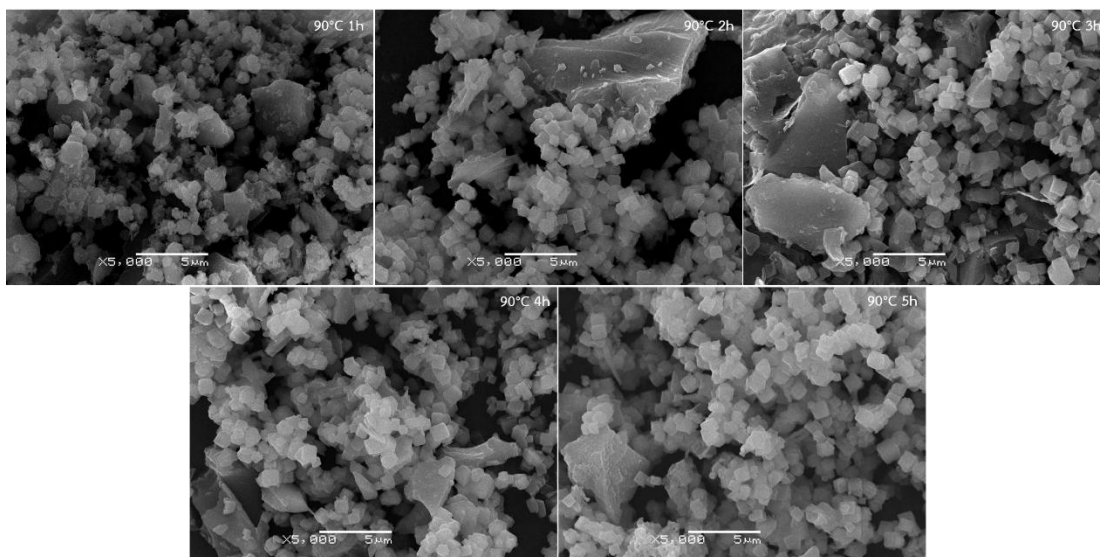
รูปที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะราหะที่ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังกะราหะ 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.22 แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะราหะที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง โดยไม่ผ่านการบ่มก่อนสังกะราหะ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียสผลึกซีโอไลต์โซเดียม เอ จะเกิดขึ้นที่เวลาการสังกะราหะ 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ



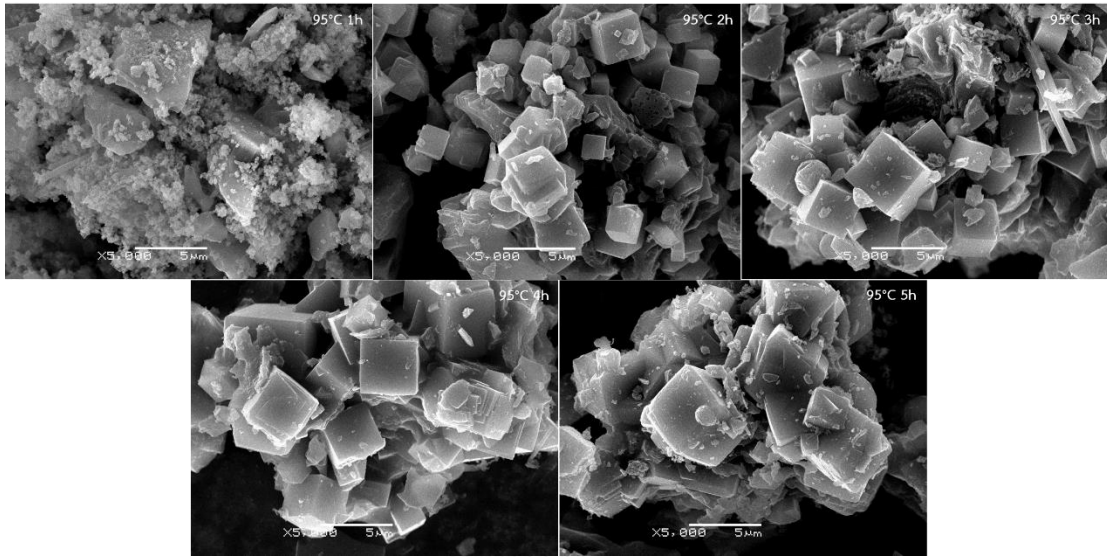
รูปที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะราหะที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง

รูปที่ 4.23 แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะเราะที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง พบว่าผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ จะเกิดขึ้นในทุกๆ เวลาการสังเคราะห์

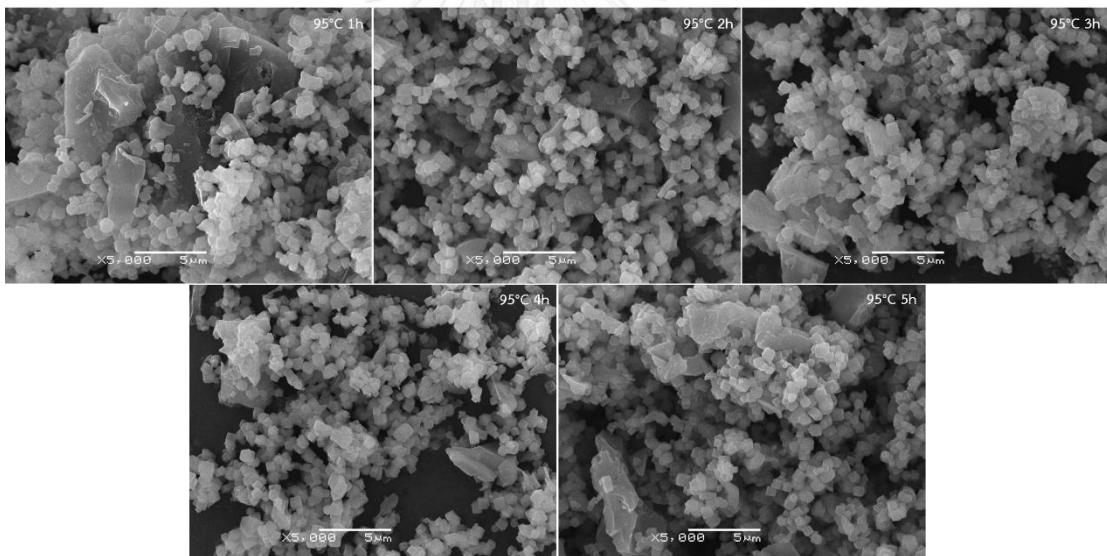


รูปที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะเราะที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสังเคราะห์เป็น 95 องศาเซลเซียสพบว่าผลึกซีโอไลต์โซเดียม เอ จะเริ่มเกิดขึ้นที่เวลาการสังเคราะห์ 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.24 โดยไม่ผ่านการบ่มก่อนสังเคราะห์ ส่วนผลการทดลองที่ผ่านการบ่มก่อนสังเคราะห์จะแสดงในรูปที่ 4.25 จะพบผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทุกเวลาของการสังเคราะห์



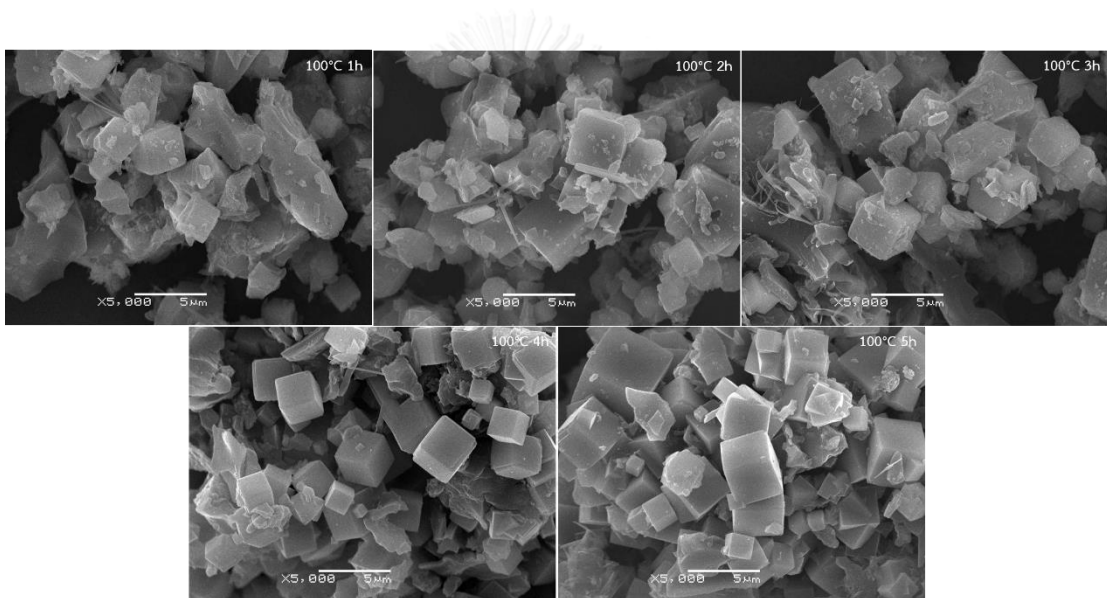
รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะราหที่ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง



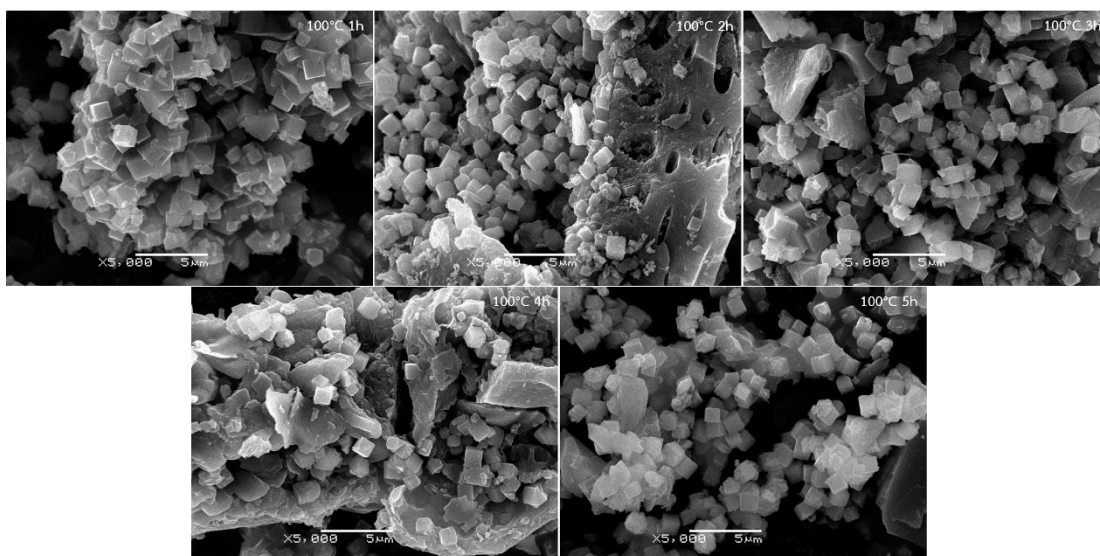
รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะราหที่ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังกะราห 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.26 แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังกะราหที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง โดยไม่ผ่านการบ่มก่อนสังกะราหจะ พบผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ในทุกๆ เวลาของการสังกะราหซึ่งขนาดของผลึกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2-5 ไมโครเมตร จากผลการทดลองอุณหภูมิการสังกะราหซีโอไลต์ทั้งหมดคือ 85 90 95 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิการสังกะราหซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่เหมาะสม

ในการสังเคราะห์เพราะเกิดผลึกซีโอไลต์โซเดียม เอ ได้ตลอดเวลาของการสังเคราะห์คือ 1-5 ชั่วโมง ส่วนรูปที่ 4.27 แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง ก็พบผลึกของซีโอไลต์โซเดียม เอ ทุกเวลาของการสังเคราะห์เช่นกัน โดยมีขนาดผลึกเท่าๆ กันประมาณ 2 ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นในงานวิจัยส่วนที่สองนี้จะทำการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนโดยเลือกใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์คือ 100 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 1 ชั่วโมง และบ่มสารละลายอะลูมิเนียมซิลิเกตคาร์บอนก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ผลึกที่มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ[84] สำหรับใช้เตรียมเป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปไส้กรองน้ำจากเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์



รูปที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.27 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง ป่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง

4.2.4 การขึ้นรูปไส้กรอง

จากการทดลองในส่วนแรกนั้นพบว่า สูตรการเตรียมน้ำสลิบในการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เหมาะสมในการกรองน้ำสำหรับ 1 หม้อบด คือ ถ่านกัมมันต์ 100 กรัม ซีโอไลต์โซเดียม เอ 100 กรัม ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 2 กรัม ฟิโนลิกเรซิน (ตัวเชื่อมประสาน) 50.5 กรัม น้ำ 260 กรัม คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงของแข็งทั้งหมด และลูกบด 450 กรัม ใช้เวลาบดผสม 30 นาที ดังนั้นในส่วนการทดลองที่สองคือ จะใช้วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนที่ได้มาจากการสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบในการเตรียมน้ำสลิบโดยใช้สูตรที่เหมาะสมในการทดลองส่วนแรกซึ่งจะทำให้การปรับเปลี่ยน คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และน้ำเพื่อหาสูตรการเตรียมน้ำสลิบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าการใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 1.25 เปอร์เซ็นต์และน้ำ 260 สูตรจากการทดลองส่วนแรกความหนืดของน้ำสลิบน้อยไปคือ 949 เซนติพอยซ์ จึงทำการลดน้ำลงเป็น 200 กรัมจะได้ความหนืดของน้ำสลิบเป็น 2344 เซนติพอยซ์ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้แต่ ขึ้นงานตัวอย่างก่อนเผา ไม่แข็งแรง แกะออกจากแม่พิมพ์พลาสติกแล้วแตกเสียหาย จึงได้เพิ่มปริมาณคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเป็น 1.50 เปอร์เซ็นต์และใช้น้ำ 200 กรัม พบว่าความหนืดของน้ำสลิบเพิ่มขึ้นเป็น 3376 เซนติพอยซ์ ซึ่งสามารถหล่อแบบขึ้นรูปได้และมี ขึ้นงานตัวอย่างก่อนเผา ที่แข็งแรง ดังนั้นในงานวิจัยในส่วนที่สองนี้ จะใช้สูตรการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ คือ ผงวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน 200 กรัม ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 2

กรัม ฟีนอลิกเรซิน (ตัวเชื่อมประสาน) 50.5 กรัม น้ำ 200 กรัม คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 1.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงของแข็งทั้งหมด และลูกบด 450 กรัม ใช้เวลาบดผสม 30 นาที เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.11 การเตรียมน้ำสลิบโดยปรับเปลี่ยนคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และน้ำสำหรับการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกำมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ใช้เวลาบดผสม 30 นาที เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมง

ตัวเชื่อมประสาน %CMC	น้ำ (กรัม)	ความหนืด (cP)	การขึ้นรูป	หมายเหตุ
1.25	260	949	ไม่ได้	ความหนืดน้อย ไป
1.25	200	2344	ได้	ขึ้นงานตัวอย่าง ก่อนเผา ไม่ แข็งแรง
1.50	200	3376	ได้	ขึ้นงานตัวอย่าง ก่อนเผา แข็งแรง

* ใช้ Spindle No.5, 50 rpm ในการวัดความหนืด

จากตารางที่ 4.12 ผลการทดลองค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน ฟีนอลิกเรซิน น้ำสลิบบดผสม 15 30 45 และ 60 นาทีซึ่งมีค่าดังนี้ 5.6 17.19 8.63 5.82 3.17 และ 2.31 ไมโครเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการบดผสมน้ำสลิบมากขึ้น ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคจะลดลง แต่ที่การบดผสม 15 นาทีมีค่ามากกว่าวัสดุเชิงประกอบเพราะว่าในน้ำสลิบได้บดผสมฟีนอลิกเรซินที่มีขนาด 17.19 ไมโครเมตร ทำให้ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคบดผสมน้ำสลิบที่ 15 นาทีมีค่ามากกว่ามากกว่าวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ ที่เป็นวัตถุดิบหลักในการขึ้นรูปไส้กรอง พิจารณาที่การบดผสมน้ำสลิบ 30 นาที จะมีค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค 5.82 ไมโครเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับทดลองในส่วนแรกดังตารางที่ 4.3 พบว่ามีค่าเฉลี่ย 46.90 เปอร์เซ็นต์ และเล็กกว่าการบดผสมน้ำสลิบ 45 นาที 11.95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการทดลองส่วนที่สองนี้จะใช้การบดผสมน้ำสลิบ 30 นาที เพราะสามารถบดผสมวัตถุดิบทั้งหมดให้มีขนาดที่เล็กเพียงพอต่อการขึ้นรูปไส้กรอง เพราะประสิทธิภาพเทียบเท่าการบดผสมน้ำสลิบ 45 นาทีของการทดลองในส่วนแรก จึงน่าจะช่วยประหยัดเวลาในการบดผสมน้ำสลิบ สำหรับการบดผสมน้ำสลิบ 15 นาทีสามารถขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบได้เหมือนกันแต่ ขึ้นงานตัวอย่างก่อนเผา มีตำหนิที่ผิวดังแสดงในรูปที่ 4.28 ส่วนการ

บดผสมน้ำสลิป 45 และ 60 นาที ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กมากซึ่งจะทำให้ ชิ้นงานตัวอย่าง ก่อนเผาแห้งตัวได้ช้ามากจึงได้เลือกพิจารณาการบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีในการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการเตรียม



รูปที่ 4.28 ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา ของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกำมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ใช้เวลาบดผสม 15 นาที เวลาในการหล่อแบบ 3 ชั่วโมง

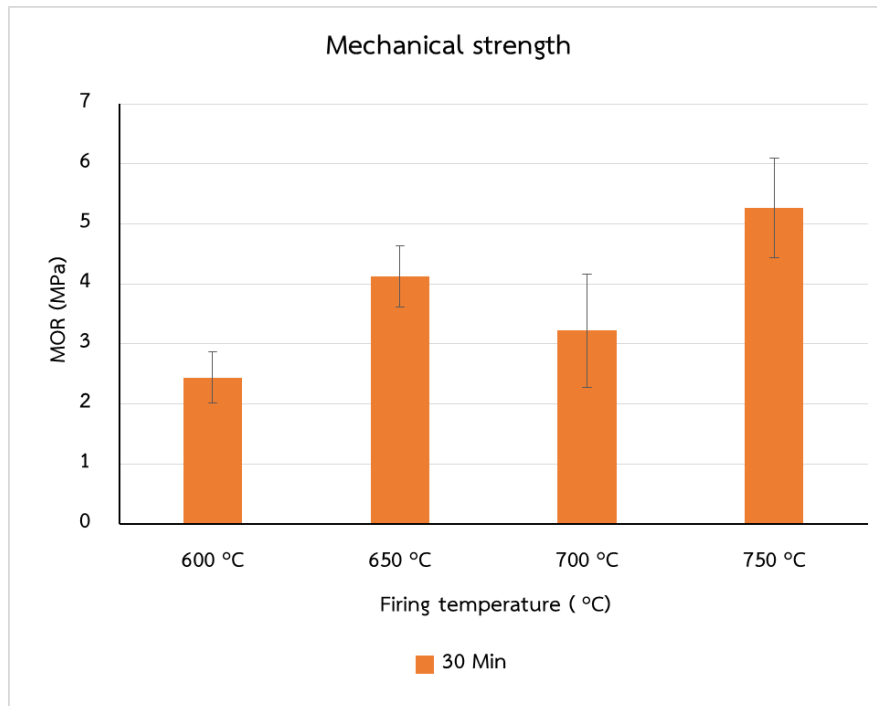
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ และ น้ำสลิปบดผสมที่เวลา 15-60 นาที

		ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค (μm)			
วัตถุดิบ		น้ำสลิปบดผสม			
วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียมเอ และคาร์บอน	ฟีนอลิกเรซิน	15 นาที	30 นาที	45 นาที	60 นาที
5.6	17.19	8.63	5.82	3.16	2.31

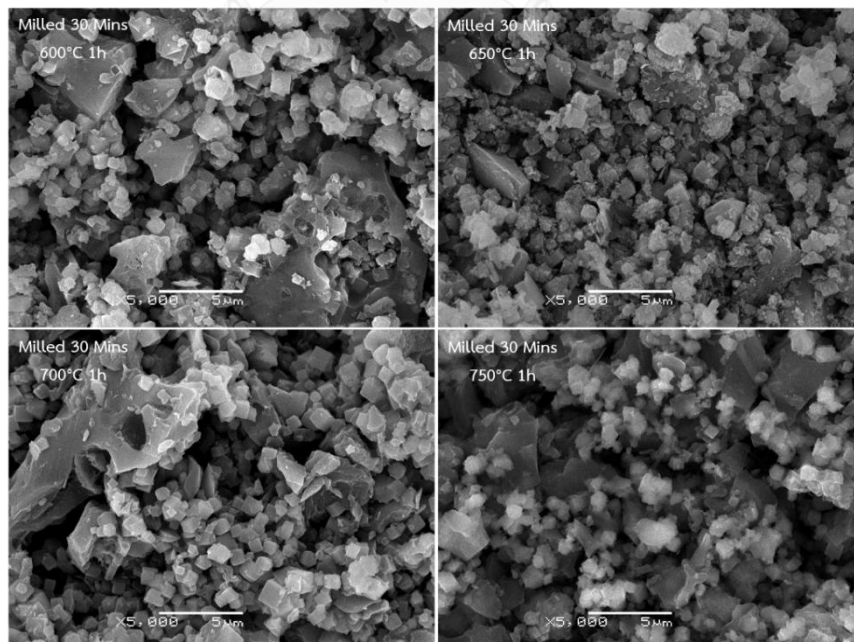
4.2.5 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.29 แสดงความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาความแข็งแรงเชิงกลจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่า 2.44 4.13 3.22 และ 5.27 เมกะพาสคัล ตามลำดับซึ่งมีค่าความแข็งแรงทางกลสูงกว่าผลการทดลองในส่วนแรกในแต่ละอุณหภูมิการเผา เป็นที่น่าสังเกตว่าหากเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 600 เป็น 650 องศาเซลเซียสค่าความแข็งแรงเชิงกลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.44 เป็น 4.13 เมกะพาสคัลซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 69.26 เปอร์เซ็นต์ แต่หากเพิ่มอุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียสค่าความแข็งแรงเชิงกลกลับลดลง 22.03 เปอร์เซ็นต์ เพราะโครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียม เอ เริ่มพังทลายที่อุณหภูมิสูง[18, 78, 79, 85, 86] ทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อไส้กรองทำให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น 750 องศาเซลเซียสค่าความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้นเป็น 5.27 เมกะพาสคัลเนื่องจากเมื่อโครงสร้างซีโอไลต์พังทลายไปแล้วหากเพิ่มอุณหภูมิเผาขึ้นอาจจะเกิดการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเฟส [76, 79] ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างมีความแข็งแรงเชิงกลมากขึ้น เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที คือ 650 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพราะจะให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงสุด ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองในส่วนแรกพบว่าสามารถลดอุณหภูมิการเผาชิ้นงานตัวอย่างได้และยังมีความแข็งแรงเชิงกลที่มากขึ้น

จากรูปที่ 4.30 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน พบว่าที่การเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสลักษณะเนื้อของชิ้นงานตัวอย่างมีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากทำให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลน้อยที่สุด ที่อุณหภูมิการเผา 650 องศาเซลเซียสพื้นผิวรอยหักจะมีลักษณะชิดกันมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลในรูปที่ 4.29 เมื่ออุณหภูมิการเผาเป็น 700 องศาเซลเซียสพื้นผิวรอยหักจะมีช่องว่างเพิ่มขึ้นอีกครั้งส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลลดลง และที่อุณหภูมิการเผา 750 องศาเซลเซียสค่าความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุด แต่หากสังเกตที่พื้นผิวรอยหักจะพบว่าเนื้อชิ้นงานตัวอย่างจะมีผลึกลักษณะคล้ายลูกบาศก์หลอมรวมกันซึ่งโดยปกติแล้วที่อุณหภูมิสูงซีโอไลต์โซเดียม เอ ปกติจะเริ่มพังทลายและเปลี่ยนเฟสไป จึงได้นำชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 4 ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเฟสต่อไป



รูปที่ 4.29 ความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกำมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส



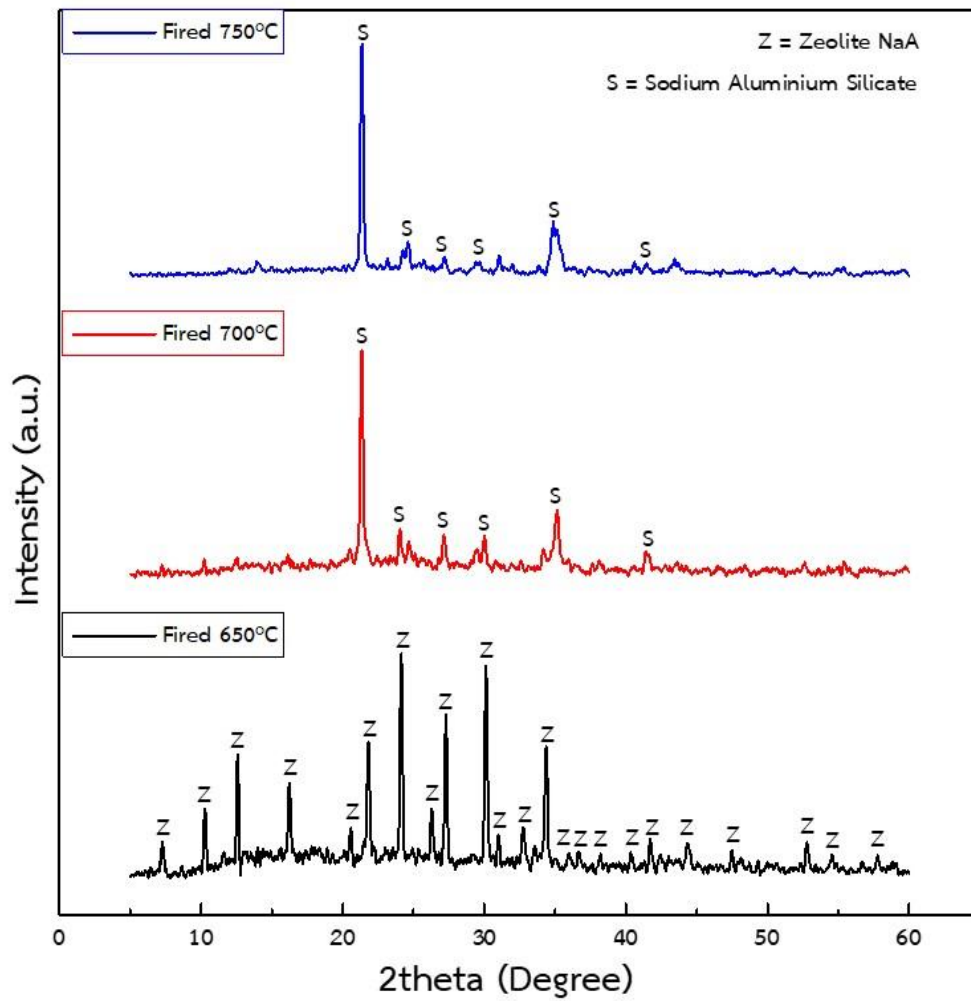
รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวรอยหักของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกำมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส

4.2.6 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

จากรูปที่ 4.31 แสดงองค์ประกอบทางเฟสของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 650-750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าที่การเผาที่อุณหภูมิการเผา 650 องศาเซลเซียสนี้จะมีค่าความแข็งแรงเชิงกลที่สูงคือ 4.13 เมกะพาสคัลดังแสดงในรูปที่ 4.29 และยังคงพบองค์ประกอบทางเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิการเผาไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ 650 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาไส้กรองซึ่งผลการทดลองจะแตกต่างในส่วนแรกที่ต้องเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเพราะว่าปริมาณโซเดียมไอออนที่ยังคงเหลือหลังจากการสังเคราะห์ของเซรามิกเชิงประกอบทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ในการเผาทำให้สามารถลดอุณหภูมิการเผาชิ้นงาน เพราะฉะนั้นในการทดลองส่วนที่สองจะสามารถลดอุณหภูมิการเผาชิ้นงานตัวอย่างแล้วยังมีค่าความแข็งแรงเชิงกลที่น่าพอใจ

แต่หากเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น 700 องศาเซลเซียส พบว่าองค์ประกอบทางเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ เริ่มเปลี่ยนไปเป็น Sodium Aluminium Silicate อย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลให้ความแข็งแรงเชิงกลที่การเผา 700 องศาเซลเซียสนี้มีค่าลดลงคือ 3.22 เมกะพาสคัล

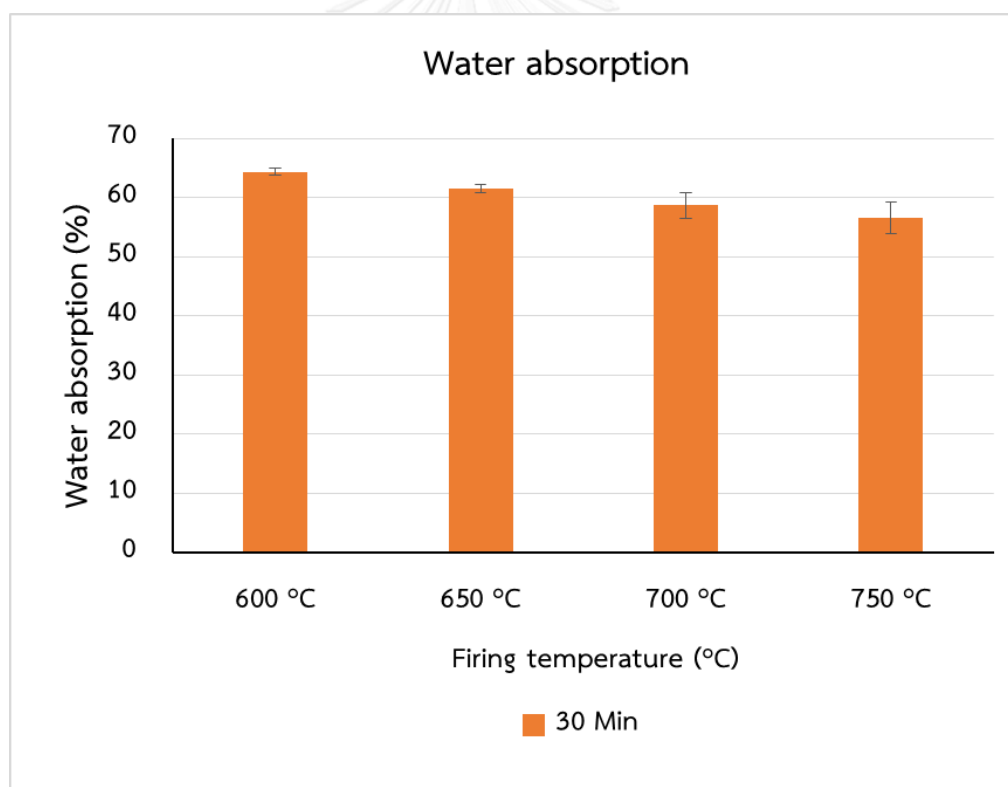
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเป็น 750 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแข็งแรงเชิงกลกลับเพิ่มขึ้นเป็น 5.27 เมกะพาสคัล แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเฟสของ Sodium Aluminum Silicate มีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงเชิงกลของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิมากกว่า 700 องศาเซลเซียส แต่องค์ประกอบทางเฟสของซีโอไลต์โซเดียม เอ เปลี่ยนไป ทำให้การเผาที่อุณหภูมินี้ไม่เหมาะกับไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ส่วนผลการทดลองในรูปที่ 4.30 จะพบผลึกคล้ายๆ ลูกบาศก์ อยู่เพราะรูปร่างผลึกของ Sodium Aluminum Silicate นั้นคือ Orthorhombic ซึ่งจะมีความคล้ายคลึงกันทำให้สังเกตได้ยาก



รูปที่ 4.31 องค์ประกอบทางเฟสของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 650-750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.2.7 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

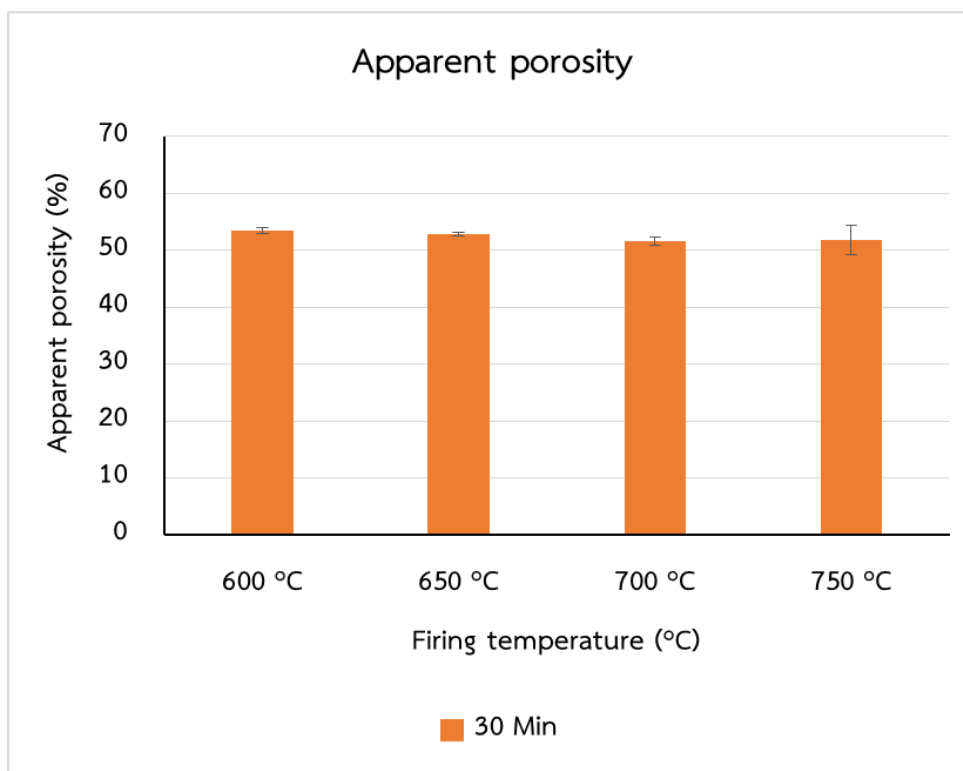
จากรูปที่ 4.32 พบว่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียส จะมีค่าอยู่ระหว่าง 56.56-64.36 เปอร์เซ็นต์ โดยการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคือ 64.36 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสจะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดคือ 56.56 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อุณหภูมิการเผาที่ 650 องศาเซลเซียสจะมีค่าการดูดซึมน้ำ 61.52 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในการทดลองส่วนแรกเพราะถ่านกัมมันต์ใช้ผงทางการค้าผ่านการก่อกัมมันต์มาก่อนแล้วทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำสูงเพราะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง แต่ค่าการดูดซึมน้ำ 61.52 เปอร์เซ็นต์ของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ก็เป็นค่าที่น่าพอใจ เพราะมีความแข็งแรงเชิงกลที่สูง



รูปที่ 4.32 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส

4.2.8 ความพรุนตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

ความพรุนตัวของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียสแสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 51.59-53.48 เปอร์เซ็นต์ ความพรุนตัวจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา ความพรุนตัวจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกรองน้ำซึ่งชิ้นงานตัวอย่างเผาที่ 650 องศาเซลเซียสจะมีความพรุนตัว 52.86 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน่าจะเพียงพอต่อการกรองน้ำ

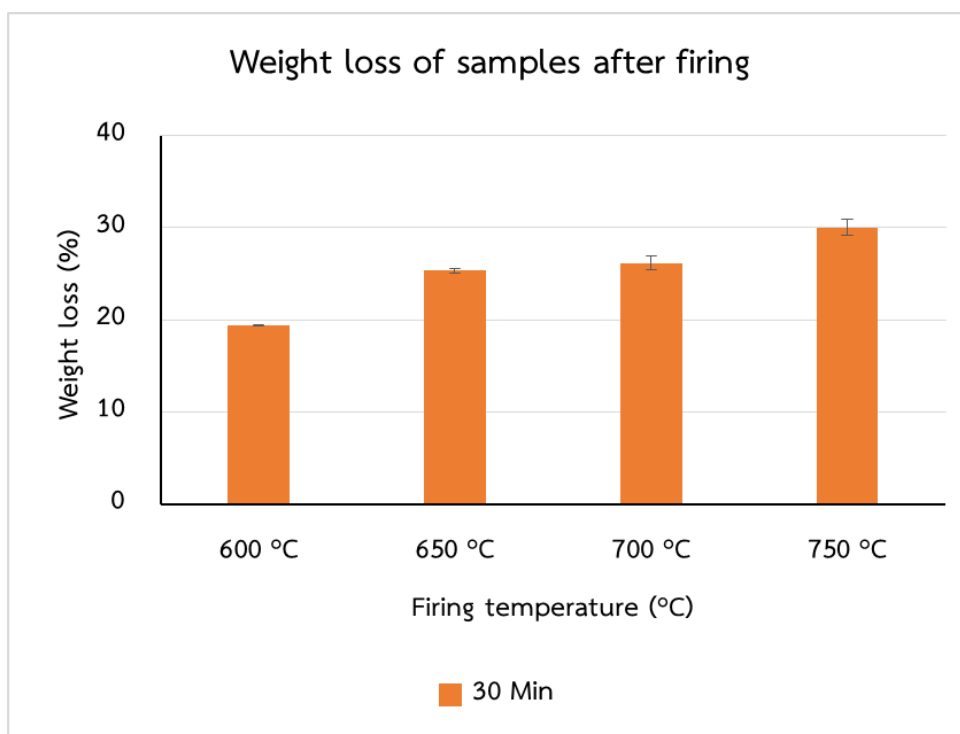


รูปที่ 4.33 ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส

4.2.9 น้ำหนักที่หายไปหลังการเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

จากรูปที่ 4.34 แสดงผลของน้ำหนักที่หายไปพบว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น น้ำหนักที่หายไปจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิการเผา 750 องศาเซลเซียสจะมีค่าน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา

คือ 30.05 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไส้กรองที่ผ่านการเผา 650 องศาเซลเซียสมีค่าน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา 25.33 เปอร์เซ็นต์

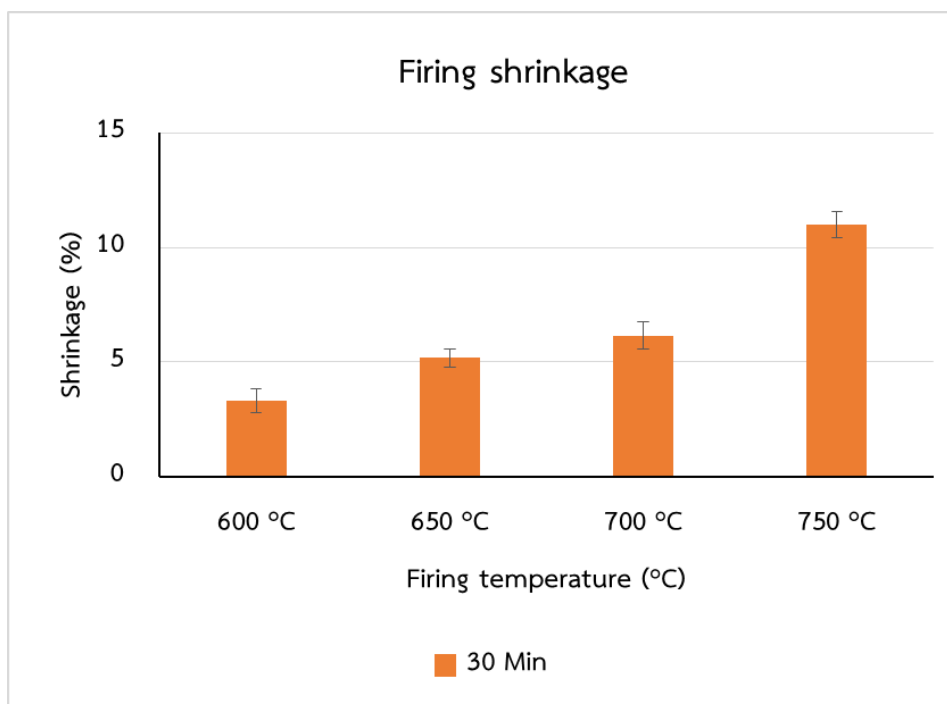


รูปที่ 4.34 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750

องศาเซลเซียส

4.2.10 การหัตถ์หลังเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

การหัตถ์รวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียสมีผลการทดลองดังรูปที่ 4.35 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.30-10.97 เปอร์เซ็นต์ซึ่งที่การเผา 750 องศาเซลเซียสจะมีค่าหัตถ์รวมสูงที่สุดคือ 10.97 สอดคล้องกับผลน้ำหนักที่หายไปหลังที่มีค่าสูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งชิ้นงานตัวอย่างหลังเผาที่มีค่าการหัตถ์รวมสูงจะมีความเสี่ยงแตกหักเสียหายได้ง่าย สำหรับไส้กรองเผาที่ 650 องศาเซลเซียสมีการหัตถ์รวม 5.18 เปอร์เซ็นต์

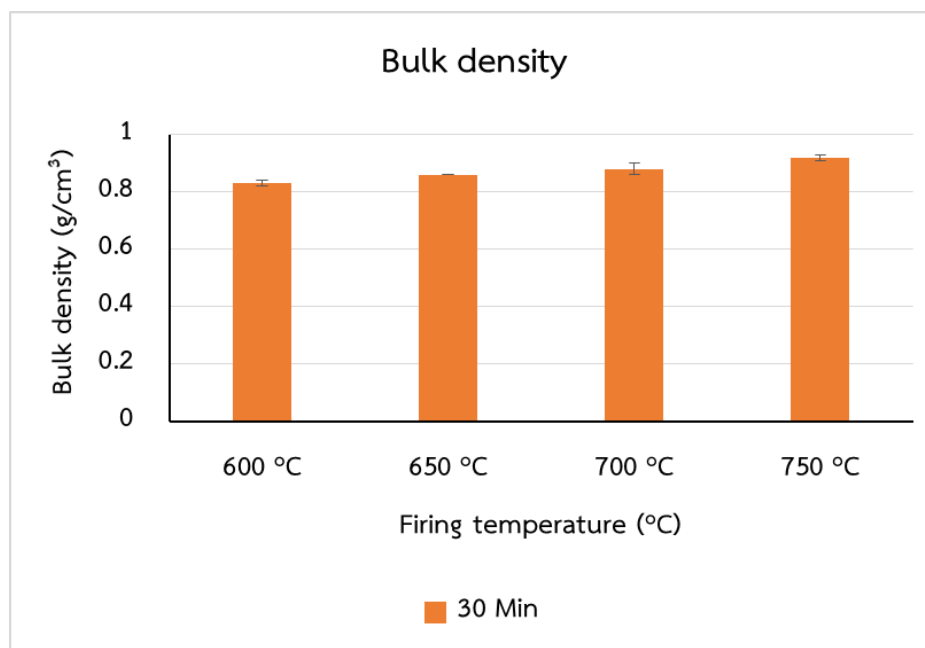


รูปที่ 4.35 การหดตัวหลังการเผาของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส

4.2.11 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที

ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียสแสดงในรูปที่

4.36 พบว่าค่าที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0.83-0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งมีค่ามากกว่าผลการทดลองในส่วนแรกเพราะว่าค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปในการบดผสมที่เล็กกว่าส่งผลให้การจัดเรียงตัวของเนื้อไส้กรองหนาแน่นกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.36 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผาที่อุณหภูมิ 600-750 องศาเซลเซียส

4.2.12 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ เตรียมจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 5 นาที

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.13 พบว่าไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบที่เตรียมจากวัตถุดิบซึ่งได้จากการสังเคราะห์ บดผสมน้ำสลิป 30 นาที เเผา 650 องศาเซลเซียสมี้อัตราการไหลของน้ำกรองที่น่าพอใจคือ 0.16 ลิตรต่อนาทีแต่ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1420-2551) และมีประสิทธิภาพการดูดซับคลอรีนอิสระน้ำได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกรองน้ำของไส้กรองเซรามิกเชิงประกอบของถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์

ไส้กรอง	แรงดันน้ำที่ใช้ในการกรอง (บาร์)	พื้นที่ผิวไส้กรอง (ซม. ²)	อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/นาที)	ปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำ (ppm)	
				ก่อน	หลัง
บดผสม 30 นาที	1.2	166.78	0.16	0.96	0.00

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์และ ซีโอไลต์ใช้ผงทางการค้าเป็นวัตถุดิบ ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบน้ำสลิป และเผาในบรรยากาศรีดักชัน สามารถสรุปได้ดังนี้

- สูตรการเตรียมน้ำสลิปที่สามารถขึ้นรูปไส้กรองได้คือ ถ่านกัมมันต์ 17.37 เปอร์เซ็นต์ ซีโอไลต์ โซเดียม เอ 17.37 เปอร์เซ็นต์ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 0.35 เปอร์เซ็นต์ ฟินอลิกเรซิน (ตัวเชื่อมประสาน) 8.77 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 0.55 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 55.59 เปอร์เซ็นต์ บดผสมที่เวลา 15 30 45 และ 60 นาที
- จากผลการทดลองอุณหภูมิการเผาชิ้นงานตัวอย่างที่ 600 650 700 และ 750 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียสจะให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงสุดตามเวลาบดผสมน้ำสลิปที่ 15 30 45 และ 60 นาทีคือ 2.59 2.99 3.48 และ 3.47 เมกะพาสคัล ตามลำดับ
- ไส้กรองที่เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน 1 ชั่วโมง จากการเตรียมบดผสมน้ำสลิปที่ 30 นาทีที่มีสมบัติการกรองน้ำได้ 0.14 ลิตรต่อนาที ลดความกระด้างในน้ำได้ประมาณ 31.78 เปอร์เซ็นต์ ดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์และกรองเชื้อแบคทีเรียได้ 99 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองการเตรียมวัสดุเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ โดยใช้วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ คาร์บอนจากการสังเคราะห์จากถ่านแกลบเป็นวัตถุดิบ ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบน้ำสลิป และเผาในบรรยากาศรีดักชัน สามารถสรุปได้ดังนี้

- สามารถสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลจากถ่านแกลบ (SiO_2 34.61%, C 62.97%) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง บ่มก่อนสังเคราะห์ 12 ชั่วโมง
- สูตรการเตรียมน้ำสลิปที่สามารถขึ้นรูปไส้กรองได้คือ วัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอน 37.86 เปอร์เซ็นต์ ซิงก์ออกไซด์อนุภาคระดับนาโนเมตร 0.38 เปอร์เซ็นต์ ฟินอลิกเรซิน (ตัวเชื่อมประสาน) 9.56 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ตัวเชื่อมประสาน) 0.72 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 51.48 เปอร์เซ็นต์ บดผสมเป็นเวลา 30 นาที หล่อแบบ 3 ชั่วโมง

- จากผลการทดลองเผาชิ้นงานเซรามิกเชิงประกอบถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่มาจากการบดผสมน้ำสลิป 30 นาที ที่อุณหภูมิ 600 650 700 750 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าที่อุณหภูมิเผาที่ 650 มีค่าความแข็งแรงเชิงกล 4.13 เมกะพาสคัล และที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสมีความแข็งแรงเชิงกล 5.27 เมกะพาสคัลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงสุดแต่โครงสร้างซีโอไลต์โซเดียม เอ พังทลายไปแล้ว
- ใส่กรองที่เผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน 1 ชั่วโมง จากการเตรียมบดผสมน้ำสลิปที่ 30 นาทีที่มีสมบัติการกรองน้ำได้ 0.16 ลิตรต่อนาทีและดูดซับคลอรีนอิสระในน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ปรับเปลี่ยนตัวเชื่อมประสานชนิดอื่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของ ชิ้นงานตัวอย่างก่อนเผา
- 2) ปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำในการบดผสมน้ำสลิปเพราะในการทดลองทั้งสองส่วนใช้น้ำมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานแห้งตัวช้า
- 3) ประยุกต์ใช้งานวัสดุเซรามิกเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และถ่านแกลบกัมมันต์ในรูปแบบอื่นๆ เช่น ขึ้นรูปเป็นเม็ดกลมเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียในตู้เลี้ยงปลา เป็นต้น
- 4) ทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของซิงก์ออกไซด์

รายการอ้างอิง

1. Hwang, S.C., R.A. Larson, and V.L. Snoeyink. 1990. Reactions of free chlorine with substituted anilines in aqueous solution and on granular activated carbon. Water Research 24: 427-432.
2. Gonce, N. and E.A. Voudrias. 1994. Removal of chlorite and chlorate ions from water using granular activated carbon. Water Research 28: 1059-1069.
3. Sorlini, S., et al. 2014. Influence of drinking water treatments on chlorine dioxide consumption and chlorite/chlorate formation. Water Research 54: 44-52.
4. Falamaki, C. and M. Beyhaghi. 2009. Slip casting process for the manufacture of tubular alumina microfiltration membranes. Materials Science Poland 27: 427-441.
5. Andersson, A., et al. 2001. Impact of temperature on nitrification in biological activated carbon (BAC) filters used for drinking water treatment. Water Research 35: 2923-2934.
6. Leilei, W., C. Wei, and L. Tao. 2008. Particle size distribution and property of bacteria attached to carbon fines in drinking water treatment. Water Science and Engineering 1: 102-111.
7. การประปาส่วนภูมิภาค. 2559. ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา ของการประปาส่วนภูมิภาค [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.pwa.co.th> [20 มิถุนายน 2560]
8. วุฒิพล เล้าอรุณ. 2553. ความกระด้างของน้ำ (Water Hardness)[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.mwa.co.th> [20 มิถุนายน 2560]
9. ชาวเลข ชยพัฒนางกูร และ หทัยการ มิละโฮ. 2017. มารู้จักน้ำบริสุทธิ์กันเถอะ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www0.tint.or.th> [21 มิถุนายน 2560]
10. บริษัท สตาร์วอเตอร์ฟิลเตอร์ จำกัด. 2017. สารกรองน้ำ เรซิน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.duan-daw.com> [21 มิถุนายน 2560]
11. Matsui, Y., et al. 2009. Branched pore kinetic model analysis of geosmin adsorption on super-powdered activated carbon. Water Research 43: 3095-3103.

12. Liu, D., et al. 2016. A green technology for the preparation of high capacitance rice husk-based activated carbon. Journal of Cleaner Production 112, Part 1: 1190-1198.
13. Dodevski, V., et al. 2017. Plane tree seed biomass used for preparation of activated carbons (AC) derived from pyrolysis. Modeling the activation process. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 522: 83-96.
14. Li, S., et al. 2017. Preparation and characterization of super activated carbon produced from gulfweed by KOH activation. Microporous and Mesoporous Materials 243: 291-300.
15. Loiola, A.R., et al. 2012. Structural analysis of zeolite NaA synthesized by a cost-effective hydrothermal method using kaolin and its use as water softener. Journal of Colloid and Interface Science 367: 34-39.
16. Alkan, M., et al. 2005. The effect of alkali concentration and solid/liquid ratio on the hydrothermal synthesis of zeolite NaA from natural kaolinite. Microporous and Mesoporous Materials 86: 176-184.
17. Chandrasekhar, S. and P.N. Pramada. 2008. Microwave assisted synthesis of zeolite A from metakaolin. Microporous and Mesoporous Materials 108: 152-161.
18. AUERBACH, S.M., K.A. CARRADO, and P.K. DUTTA. 2003. Handbook of zeolite science and technology. New York: Marcel Dekker.
19. Atta, A.Y., et al. 2012. Preparation of analcime from local kaolin and rice husk ash. Applied Clay Science 61: 8-13.
20. Zhan, Z., et al. 2014. High performance zeolite NaA membranes synthesized on the inner surface of zeolite/PES-PI blend composite hollow fibers. Journal of Membrane Science 471: 299-307.
21. Zhang, W., et al. 2014. Facile control of zeolite NaA dispersion into xanthan gum-alginate binary biopolymer network in improving hybrid composites for adsorptive removal of Co²⁺ and Ni²⁺. Chemical Engineering Journal 255: 316-326.
22. García, G., et al. 2015. Preparation of zeolite A with excellent optical properties from clay. Journal of Alloys and Compounds 619: 771-777.

23. Qian, T. and J. Li. 2015. Synthesis of Na-A zeolite from coal gangue with the in-situ crystallization technique. Advanced Powder Technology 26: 98-104.
24. Melo, C.R., et al. 2012. Synthesis of 4A zeolites from kaolin for obtaining 5A zeolites through ionic exchange for adsorption of arsenic. Materials Science and Engineering: B 177: 345-349.
25. Moisés, M.P., et al. 2013. Synthesis of zeolite NaA from sugarcane bagasse ash. Materials Letters 108: 243-246.
26. Banerjee, S., S. Barman, and G. Halder. Sorptive elucidation of rice husk ash derived synthetic zeolite towards deionization of coalmine waste water: A comparative study. Groundwater for Sustainable Development
27. Swenson, P., et al. 2012. Water desalination and de-oiling with natural zeolite membranes — Potential application for purification of SAGD process water. Desalination 286: 442-446.
28. Jha, B. and D.N. Singh. 2014. A three step process for purification of fly ash zeolites by hydrothermal treatment. Applied Clay Science 90: 122-129.
29. Mopoung, S., N. Sriprang, and J. Namahoot. 2014. Sintered filter materials with controlled porosity for water purification prepared from mixtures with optimal ratio of zeolite, bentonite, kaolinite, and charcoal. Applied Clay Science 88: 123-128.
30. Pandey, P.K., S.K. Sharma, and S.S. Sambi. 2015. Removal of lead(II) from waste water on zeolite-NaX. Journal of Environmental Chemical Engineering 3: 2604-2610.
31. Gallastegi-Villa, M., et al. 2016. Metal-loaded ZSM5 zeolites for catalytic purification of dioxin/furans and NO_x containing exhaust gases from MWI plants: Effect of different metal cations. Applied Catalysis B: Environmental 184: 238-245.
32. Li, J., et al. 2017. Excellent performance for water purification achieved by activated porous boron nitride nanosheets. Materials Chemistry and Physics 196: 186-193.

33. Lin, K.-Y.A., C.-H. Wu, and A.P. Jochems. 2017. Adsorptive behaviors of methylimidazolium ionic liquids to a Y-type zeolite in water: Kinetics, isotherms, thermodynamics and interferences. Journal of Molecular Liquids 232: 269-276.
34. Meng, Q., et al. 2017. Zeolite A synthesized from alkaline assisted pre-activated halloysite for efficient heavy metal removal in polluted river water and industrial wastewater. Journal of Environmental Sciences 56: 254-262.
35. Nakamura, A., et al. 2017. Adsorption of Cs ions using a temperature-responsive polymer/magnetite/zeolite composite adsorbent and separation of the adsorbent from water using high-gradient magnetic separation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 527: 63-69.
36. Wibowo, E., et al. 2017. Reduction of seawater salinity by natural zeolite (Clinoptilolite): Adsorption isotherms, thermodynamics and kinetics. Desalination 409: 146-156.
37. Ying, Y., et al. 2017. Recent advances of nanomaterial-based membrane for water purification. Applied Materials Today 7: 144-158.
38. Sivasankar, V. and T. Ramachandramoorthy. 2011. Water softening behaviour of sand materials—Mimicking natural zeolites in some locations of Rameswaram Island, India. Chemical Engineering Journal 171: 24-32.
39. Coker, E.N. and L.V.C. Rees. 2005. Kinetics of ion exchange in quasi-crystalline aluminosilicate zeolite precursors. Microporous and Mesoporous Materials 84: 171-178.
40. Mohamed, R.M., et al. 2009. Synthesis of highly ordered cubic zeolite A and its ion-exchange behavior. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 348: 87-92.
41. MUMPTON, A.F. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. Proc. Natl. Acad. Sci. 96: 3463–3470.
42. Matai, I., et al. 2014. Antibacterial activity and mechanism of Ag–ZnO nanocomposite on *S. aureus* and GFP-expressing antibiotic resistant *E. coli*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 115: 359-367.
43. Sirelkhatim, A., et al. 2015. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. Nano-Micro Letters 7: 219-242.

44. Chao Wang, et al. 2012. Antibacterial effects of zinc oxide nanoparticles on Escherichia coli K88. African Journal of Biotechnology 11: 10248-10254.
45. Alswat, A.A., et al. 2016. Effect of zinc oxide amounts on the properties and antibacterial activities of zeolite/zinc oxide nanocomposite. Materials Science and Engineering: C 68: 505-511.
46. Kim, S., et al. 2016. Assessing the toxicity and the dissolution rate of zinc oxide nanoparticles using a dual-color Escherichia coli whole-cell bioreporter. Chemosphere 163: 429-437.
47. Ananth, A., et al. 2017. Soft jet plasma-assisted synthesis of Zinc oxide nanomaterials: Morphology controls and antibacterial activity of ZnO. Chemical Engineering Journal 322: 742-751.
48. Gupta, R., et al. 2017. Effect of morphology of zinc oxide in ZnO-CdS-Ag ternary nanocomposite towards photocatalytic inactivation of E. coli under UV and visible light. Chemical Engineering Journal 307: 966-980.
49. Murali, M., et al. 2017. Antibacterial and antioxidant properties of biosynthesized zinc oxide nanoparticles from Ceropogia candelabrum L. – An endemic species. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 179: 104-109.
50. He, Z.-h., L.-y. Li, and S.-g. Du. 2017. Creep analysis of concrete containing rice husk ash. Cement and Concrete Composites 80: 190-199.
51. Al-Khalaf, M.N. and H.A. Yousif. 1984. Use of rice husk ash in concrete. International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete 6: 241-248.
52. Antiohos, S.K., V.G. Papadakis, and S. Tsimas. 2014. Rice husk ash (RHA) effectiveness in cement and concrete as a function of reactive silica and fineness. Cement and Concrete Research 61–62: 20-27.
53. Srivastava, V.C., I.D. Mall, and I.M. Mishra. 2006. Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA. Journal of Hazardous Materials 134: 257-267.
54. Sobrosa, F.Z., et al. 2017. Development of refractory ceramics from residual silica derived from rice husk ash. Ceramics International 43: 7142-7146.

55. Husni, H., et al. 2017. Superhydrophobic rice husk ash coating on concrete. Construction and Building Materials 144: 385-391.
56. Thakkar, M., et al. 2016. In bed catalytic tar reduction in the autothermal fluidized bed gasification of rice husk: Extraction of silica, energy and cost analysis. Industrial Crops and Products 87: 324-332.
57. Abbas, S., S.M.S. Kazmi, and M.J. Munir. 2017. Potential of rice husk ash for mitigating the alkali-silica reaction in mortar bars incorporating reactive aggregates. Construction and Building Materials 132: 61-70.
58. Chabannes, M., et al. 2017. Experimental investigation of the shear behaviour of hemp and rice husk-based concretes using triaxial compression. Construction and Building Materials 143: 621-632.
59. Gad, H.M.H., et al. 2017. Radiation-induced grafting copolymerization of resin onto the surface of silica extracted from rice husk ash for adsorption of gadolinium. Journal of Molecular Liquids 231: 45-55.
60. Hossain, S.K.S., et al. 2017. Preparation of forsterite refractory using highly abundant amorphous rice husk silica for thermal insulation. Journal of Asian Ceramic Societies 5: 82-87.
61. Khoshbin, R. and R. Karimzadeh. 2017. Synthesis of mesoporous ZSM-5 from rice husk ash with ultrasound assisted alkali-treatment method used in catalytic cracking of light naphtha. Advanced Powder Technology 28: 1888-1897.
62. Lee, J.H., et al. 2017. Preparation of high purity silica originated from rice husks by chemically removing metallic impurities. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 50: 79-85.
63. Shen, Y. 2017. Rice husk silica derived nanomaterials for sustainable applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 80: 453-466.
64. Sinyoung, S., et al. 2017. Synthesis of belite cement from nano-silica extracted from two rice husk ashes. Journal of Environmental Management 190: 53-60.
65. Zhang, W., et al. 2017. Direct carbonization of rice husk to prepare porous carbon for supercapacitor applications. Energy 128: 618-625.
66. สุจินต์ พรราวพันธุ์. 2537. การใช้สาร CMC ในงานเซรามิก[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dss.go.th> [21 มิถุนายน 2560]

67. Tennison, S.R. 1998. Phenolic-resin-derived activated carbons. Applied Catalysis A: General 173: 289-311.
68. Luz, A.P., et al. 2017. Graphitization of phenolic resins for carbon-based refractories. Ceramics International 43: 8171-8182.
69. ปรีดา พิมพ์ขาวดำ. 2539. เซรามิกส์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
70. Tuaprakone, T., N. Wongphaet, and T. Wasanapiarnpong. 2011. Fabrication of Activated Rice Husk Charcoal by Slip Casting as a Hybrid Material for Water Filter Aid. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 18: 182009.
71. อีวินท์ ท้วประโคน. 2553. การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของวัสดุพูนจากถ่านกัมมันต์โดยการหล่อแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
72. Tepamat, T., M. Mongkolkachit, and T. Wasanapiarnpong. 2012. SYNTHESIS OF ZEOLITE NaA AND ACTIVATED CARBON COMPOSITE FROM RICE HUSK. Suranaree J. Sci. Technol 21: 119-123.
73. ธนากร เทพามาตย์. 2555. การเตรียมและลักษณะสมบัติของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียมเอและถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
74. Petkowicz, D.I., et al. 2008. Zeolite NaA from Brazilian chrysotile and rice husk. Microporous and Mesoporous Materials 116: 548-554.
75. Colantuono, A., et al. 1997. Thermal shrinkage of various cation forms of zeolite A. Thermochimica Acta 296: 59-66.
76. Dimitrijević, R., V. Dondur, and A. Kremenović. 1996. Thermally induced phase transformations of Ca-exchanged LTA and FAU zeolite frameworks: Rietveld refinement of the hexagonal CaAl₂Si₂O₈ diphyllsilicate structure. Zeolites 16: 294-300.
77. Greaves, G.N., *Zeolite Instability and Collapse*, in *Phase Transitions and Self-Organization in Electronic and Molecular Networks*, M.F. Thorpe and J.C. Phillips, Editors. 2001, Springer US. p. 225-246.

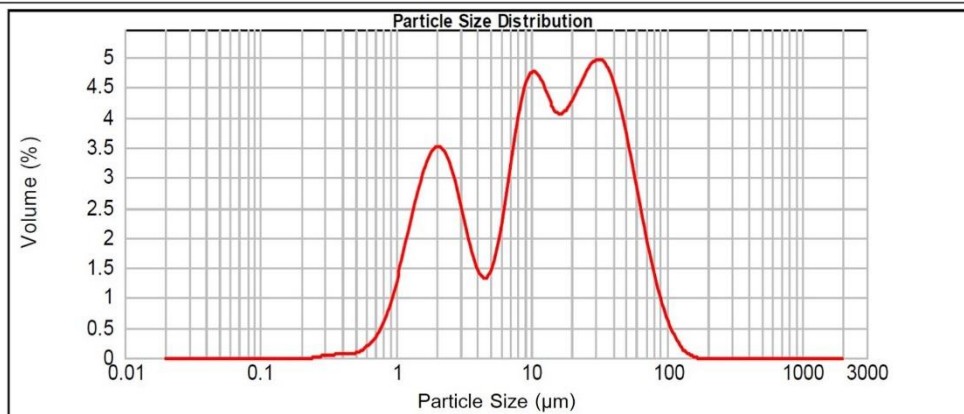
78. Greaves, G.N., F. Meneau, and G. Sankar. 2003. SAXS/WAXS and XAFS studies of zeolite stability. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 199: 98-105.
79. Radulović, A., et al. 2010. Thermal transformation of Na-LTA zeolite into low-carnegieite: The influence of residual sodium and aluminium species. Thermochimica Acta 511: 37-42.
80. Katsuki, H. and S. Komarneni. 2009. Synthesis of Na-A and/or Na-X zeolite/porous carbon composites from carbonized rice husk. Journal of Solid State Chemistry 182: 1749-1753.
81. Naskar, M.K., D. Kundu, and M. Chatterjee. 2011. Coral-like hydroxy sodalite particles from rice husk ash as silica source. Materials Letters 65: 3408-3410.
82. Abu Bakar, M.S. and J.O. Titiloye. 2013. Catalytic pyrolysis of rice husk for bio-oil production. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 103: 362-368.
83. Bohra, S., D. Kundu, and M.K. Naskar. 2014. One-pot synthesis of NaA and NaP zeolite powders using agro-waste material and other low cost organic-free precursors. Ceramics International 40: 1229-1234.
84. Alfaro, S., et al. 2007. Aging time effect on the synthesis of small crystal LTA zeolites in the absence of organic template. Materials Letters 61: 4655-4658.
85. Esposito, S., et al. 2004. A comparative study of the thermal transformations of Ba-exchanged zeolites A, X and LSX. Journal of the European Ceramic Society 24: 2689-2697.
86. Mascolo, M.C., et al. 2003. Thermal crystallization of ion-exchanged zeolite A. Journal of the European Ceramic Society 23: 1705-1713.



ภาคผนวก

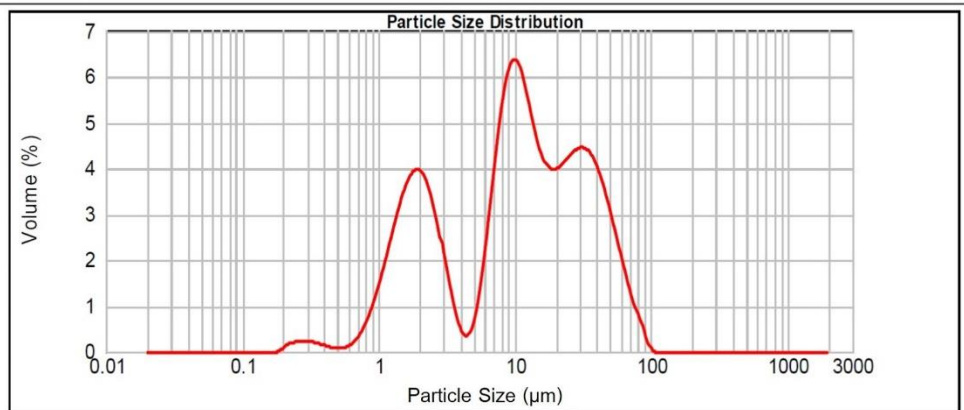
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

d(0.1): 1.688 um d(0.5): 12.759 um d(0.9): 50.181 um



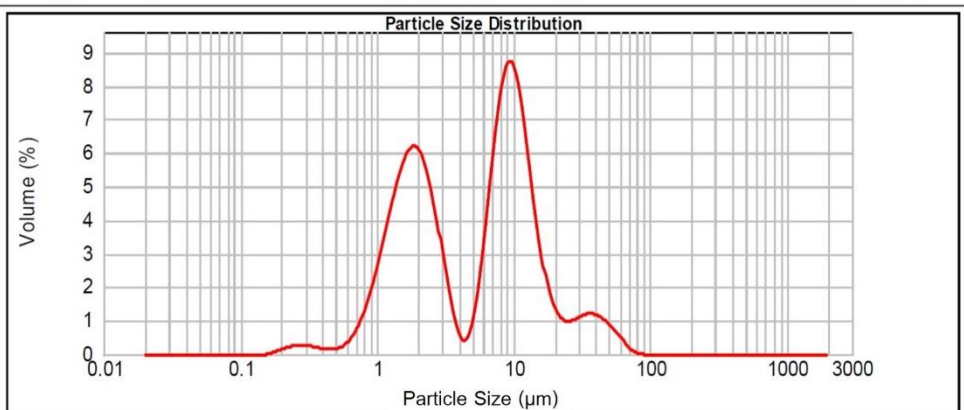
รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านกัมมันต์/ซีโอไลท์โซเดียม เอ/ซิงก์ออกไซด์
ที่บดผสม 15 นาที

d(0.1): 1.513 um d(0.5): 10.960 um d(0.9): 42.831 um

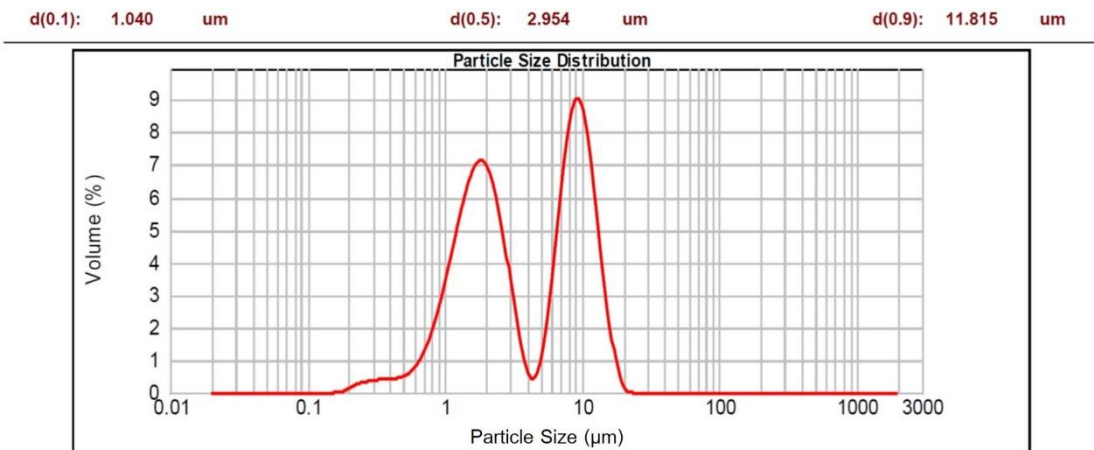


รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านกัมมันต์/ซีโอไลท์โซเดียม เอ/ซิงก์ออกไซด์
ที่บดผสม 30 นาที

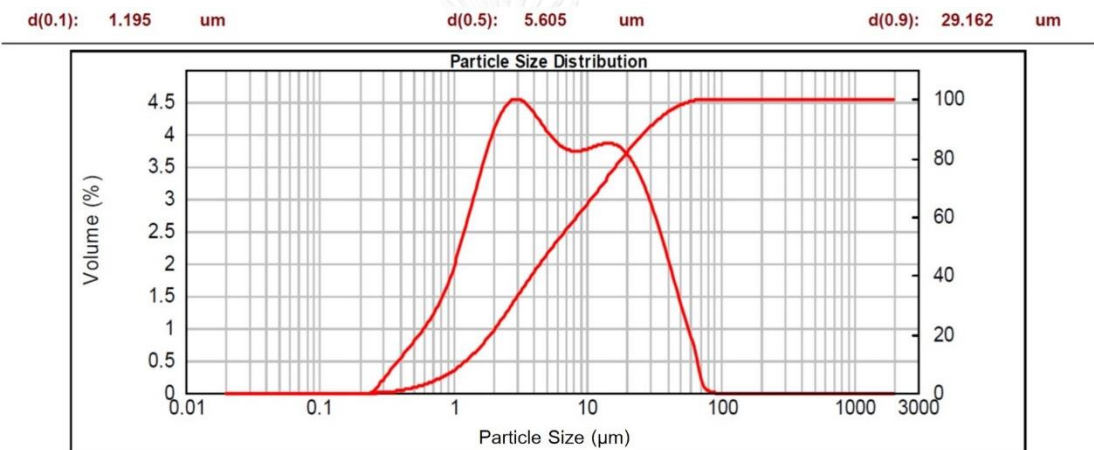
d(0.1): 1.210 um d(0.5): 6.610 um d(0.9): 16.849 um



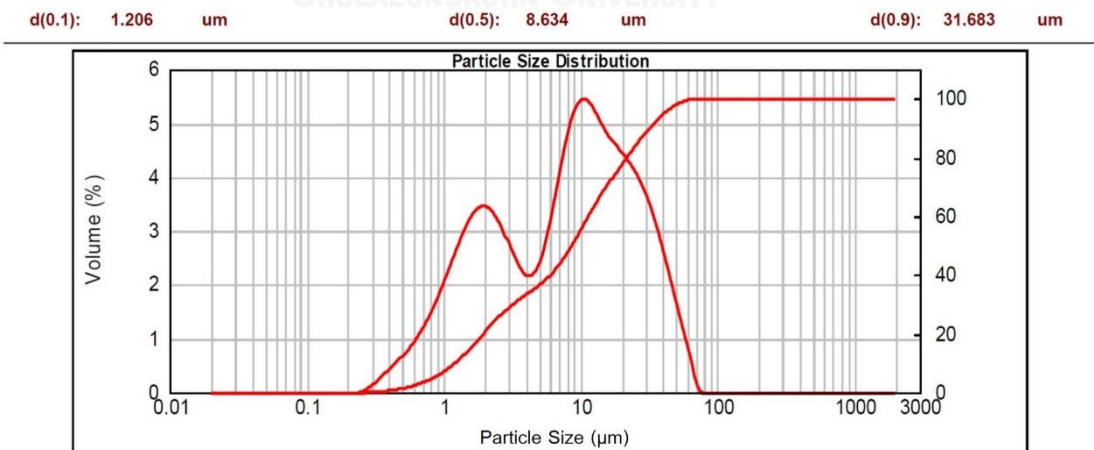
รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านกัมมันต์/ซีโอไลท์โซเดียม เอ/ซิงก์ออกไซด์
ที่บดผสม 45 นาที



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์โซเดียม เอ/ซิงก์ออกไซด์ ที่บดผสม 60 นาที

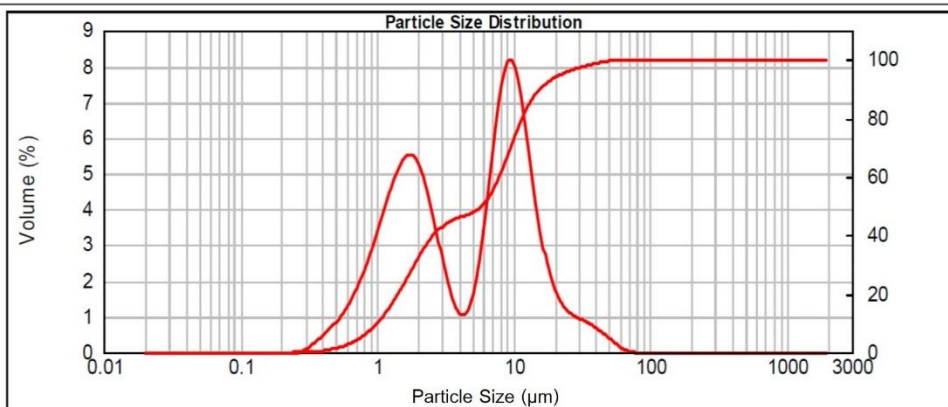


รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของวัสดุเชิงประกอบซีโอไลต์โซเดียม เอ และคาร์บอนสังเคราะห์ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



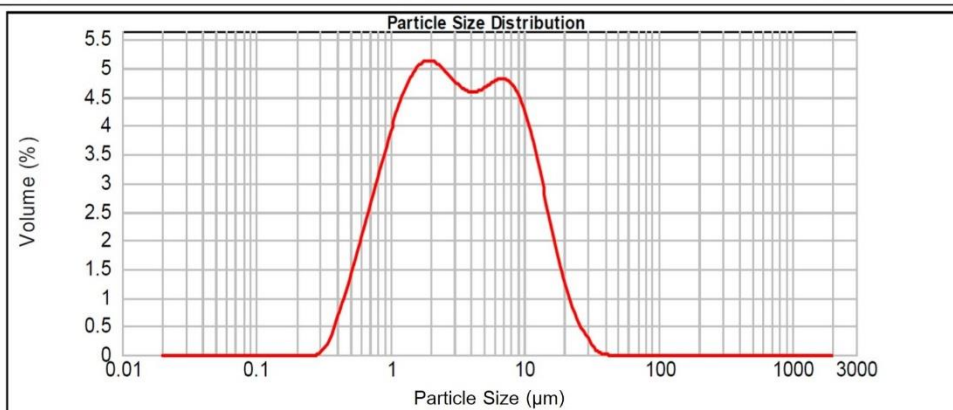
รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านกลบกัมมันต์/ซีโอไลต์โซเดียม เอ/ซิงก์ออกไซด์ ที่บดผสม 15 นาที

d(0.1): 0.998 um d(0.5): 5.822 um d(0.9): 15.626 um



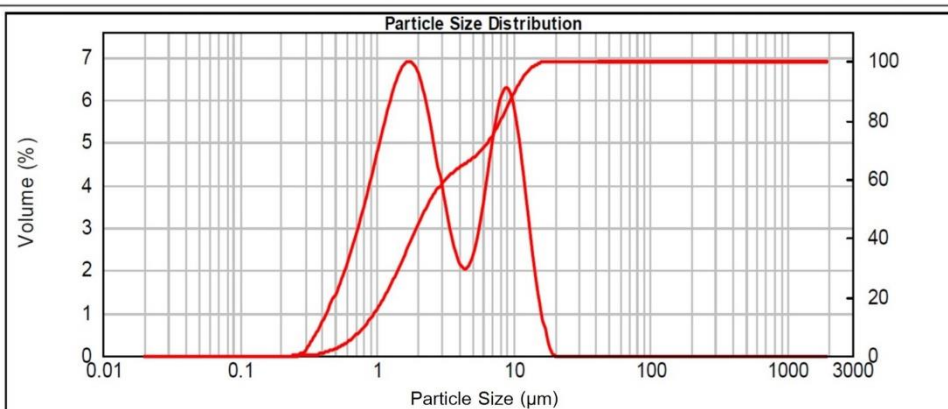
รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลท์โซเดียม เอ /ซิงก์ออกไซด์ ที่บดผสม 30 นาที

d(0.1): 0.851 um d(0.5): 3.158 um d(0.9): 12.079 um



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลท์โซเดียม เอ /ซิงก์ออกไซด์ ที่บดผสม 45 นาที

d(0.1): 0.809 um d(0.5): 2.313 um d(0.9): 10.371 um



รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคของน้ำสลิปถ่านแกลบกัมมันต์/ซีโอไลท์โซเดียม เอ /ซิงก์ออกไซด์ ที่บดผสม 60 นาที

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบทางเฟส

ตารางที่ 1 แสดงค่า 2 theta, Intensity และ hkl ของ Zeolite NaA ซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานจาก 2003 JCPDS-International Centre for Diffraction Data (PCPDFWIN) หมายเลข JCPDS 00-038-0241

Pattern : 00-038-0241		Radiation = 1.540600		Quality : High		
$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_{1.85}\text{O}_{7.7}\cdot 5.1\text{H}_2\text{O}$ $/\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 1.85\text{SiO}_2\cdot 5.1\text{H}_2\text{O}$ Sodium Aluminum Silicate Hydrate <i>Also called:</i> Zeolite A, (Na)		2 θ	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	
		7.187	100	1	0	0
		10.148	69	1	1	0
		12.439	35	1	1	1
		16.073	25	2	1	0
		17.618	2	2	1	1
		20.352	6	2	2	0
		21.621	36	3	0	0
		23.941	53	3	1	1
		26.057	16	3	2	0
		27.056	47	3	2	1
		29.899	55	4	1	0
		30.764	9	3	3	0
		32.485	12	4	2	0
		33.305	4	4	2	1
		34.116	22	3	3	2
		35.671	5	4	2	2
		36.435	4	4	3	0
		37.917	3	5	1	1
		39.330	1	5	2	0
		40.059	3	5	2	1
		41.444	7	4	4	0
		42.112	10	4	4	1
		42.760	3	5	3	0
		43.407	4	5	3	1
		44.074	9	6	0	0
		47.202	7	5	4	0
		47.808	4	5	4	1
		48.986	2	6	2	2
		49.584	3	6	3	0
		51.942	2	7	0	0
		52.455	13	5	5	0
		54.163	6	7	2	0
		54.723	2	7	2	1
		56.328	4	7	2	2
		57.402	6	7	3	1
		58.479	4	6	5	0
		60.546	2	7	4	0
		61.076	1	7	4	1
		62.587	3	8	2	1
		63.060	2	6	5	3
		65.084	3	7	5	0
		65.599	2	7	5	1
		66.548	5	8	3	2
		68.482	2	9	0	0
		68.999	8	9	1	0
Lattice : Cubic S.G. : (0) a = 12.32000		Mol. weight = 366.97 Volume [CD] = 1869.96 Dx = 0.326 Dm = 1.990				
Additional pattern: To replace 11-590. Data collection flag: Ambient.						
Milton, R., 2,882,243., U.S. Patent (1959)						
Radiation : CuK α Lambda : 1.54180 SS/FOM : F30= 88(0.0081,42)		Filter : Not specified d-sp : Diffractometer				

ตารางที่ 2 แสดงค่า 2 theta, Intensity และ hkl ของ Sodium Aluminum Silicate ซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานจาก 2003 JCPDS-International Centre for Diffraction Data (PCPDFWIN) หมายเลข JCPDS 00-052-1342

Pattern : 00-052-1342		Radiation = 1.540598		Quality : Not indexed			
NaAlSiO ₄		2θ	i	h	k	l	
Sodium Aluminum Silicate		21.199	100	1	1	1	
		24.531	12	1	2	1	
		29.331	11	2	1	1	
		35.008	38	1	4	1	
		35.778	6	2	3	1	
		37.964	3	1	2	2	
		41.355	11	1	5	1	
		43.256	3	2	2	2	
		48.093	3	4	1	0	
		50.449	4	4	0	1	
		55.317	4	0	6	2	
		56.898	3	2	7	0	
		59.376	6	4	1	2	
		62.955	6	1	8	1	
		63.122	2	0	5	3	
		67.181	3	5	3	1	
		72.288	2	4	7	0	
Lattice : Orthorhombic S.G. : Pmaa (49)		Mol. weight = 142.05 Volume [CD] = 524.63 Dx = 0.450					
a = 7.66950 b = 12.55290 c = 5.44930 a/b = 0.61097 c/b = 0.43411							
Sample preparation: Hydrated alumina gel, Na O H and aerosol silica were refluxed in aqueous ethanol for 4 hours. The solid product was heated at 800 C for 6 hours. General comments: The material may be a synthetic low-carnegieite. Additional pattern: See 44-1496 for data collected with a Guinier camera. Data collection flag: Ambient.							
Nayak, M., Kutty, T., Material Chemistry and Physics, volume 57, page 138 (1998)							
Radiation : CuKα1 Lambda : 1.54060 SS/FOM : F17= 2(0.0760,142)		Filter : Not specified d-sp : Diffractometer					

ตารางที่ 3 แสดงค่า 2 theta, Intensity และ hkl ของ Zeolite LTA ซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานจาก 2003 JCPDS-International Centre for Diffraction Data (PCPDFWIN) หมายเลข JCPDS 01-089-8015

Pattern : 01-089-8015		Radiation = 1.540600					Quality : Calculated				
Na _{94.75} (Al ₉₆ Si ₉₆ O ₃₈₄)(H ₂ O) _{39.17}		2th	i	h	k	l	2th	i	h	k	l
Sodium Aluminum Silicate Hydrate Zeolite LTA, syn		7.195	999	2	0	0	66.324	1	12	12	4
		10.182	664	2	2	0	66.816	18		6	4
		12.478	194	2	2	2	67.306	1	14	10	4
		14.418	2	4	0	0	67.672	1		5	1
		16.131	279	4	2	0	68.281	1		8	0
		17.682	10	4	2	2	68.766	6		8	2
		20.445	17	4	4	0	69.249	23		2	0
		21.393	13	5	3	1	69.730	1		2	2
		21.700	111	4	4	2	70.210	2		8	4
		22.889	2	6	2	0	70.689	2		4	0
		24.023	178	6	2	2	71.167	10	14	12	2
		25.108	3	4	4	4	71.524	1	15	11	1
		26.151	10	6	4	0	72.117	1	12	12	8
		27.157	90	6	4	2	72.591	4		4	4
		27.889	2	7	3	1	73.063	12	14	10	8
		29.072	2	8	0	0	73.534	1		6	2
		29.987	125	8	2	0	74.355	1		3	1
		30.878	26	8	2	2	74.473	1	10	4	4
		31.531	1	7	5	1	74.941	1		6	4
		31.746	2	6	6	2	75.291	1		9	3
		32.593	18	8	4	0	75.873	4		8	8
		33.216	1	7	5	3	76.338	5		8	0
		33.421	13	8	4	2	76.802	2		8	2
		34.232	95	6	6	4	77.265	4	14	10	10
		35.804	9	8	4	4	77.727	5		0	0
		36.569	30	10	0	0	78.188	10	12	2	2
		37.319	1	8	6	2	78.649	2		2	2
		38.057	15	6	6	6	79.567	1		4	0
		39.498	7	8	6	4	79.911	1		7	3
		40.202	5	10	4	2	80.026	1		4	2
		41.580	15	8	8	0	80.483	2	10	0	0
		42.088	2	11	3	1	80.941	4		10	2
		42.256	18	10	4	4	81.853	1		12	6
		42.922	16	8	6	6	82.309	4		6	2
		43.417	3	9	7	3	82.650	2		9	1
		43.581	11	10	6	2	83.672	3		8	8
		44.231	26	12	0	0	84.126	2	14	14	8
		44.714	1	11	5	1	84.466	1		11	7
		44.874	2	12	2	0	84.580	2		10	6
		45.510	1	12	2	2	85.032	1		12	8
		45.983	1	9	7	5	85.486	1		14	4
		46.762	2	12	4	0	85.938	1		12	2
		47.378	19	12	4	2	86.277	1		5	3
		47.988	15	10	8	2	86.841	1		8	4
		48.442	1	11	7	1	87.293	4		0	0
		48.593	1	10	6	6	87.745	1	14		6
		49.191	1	12	4	4					
		49.637	1	13	3	1					
		49.785	5	12	6	0					
		50.373	1	12	6	2					
		51.535	1	8	8	8					
		51.966	1	13	5	1					
		52.109	2	14	0	0					
		52.678	48	10	10	0					
		53.103	2	11	9	1					
		53.244	7	14	2	2					
		53.805	1	12	8	0					
		54.362	15	12	8	2					
		54.915	4	14	4	2					
		55.328	1	13	7	1					
		56.010	5	12	8	4					
		56.553	11	14	4	4					
		57.092	3	14	6	0					
		57.628	18	14	6	2					
		58.690	12	12	10	0					
		59.216	1	14	6	4					
		59.609	1	15	5	1					
		60.261	3		0	0					
		60.650	2	15	5	3					
		60.779	2	14	8	0					
		61.295	4		2	2					
		61.808	1	14	6	6					
		62.319	2		4	0					
		62.827	7		4	2					
		63.333	4	12	10	6					
		63.711	1	15	7	3					
		64.338	5		4	4					
		64.838	2		6	0					
		65.335	10	14	8	6					
		65.831	9	10	10	10					
Radiation : CuKα1		Filter : Not specified									
Lambda : 1.54060		d-sp : Calculated spacings									
SS/FOM : F30=1000(0.0000,33)											

ภาคผนวก ค

การกระจายตัวขนาดรูพรุน

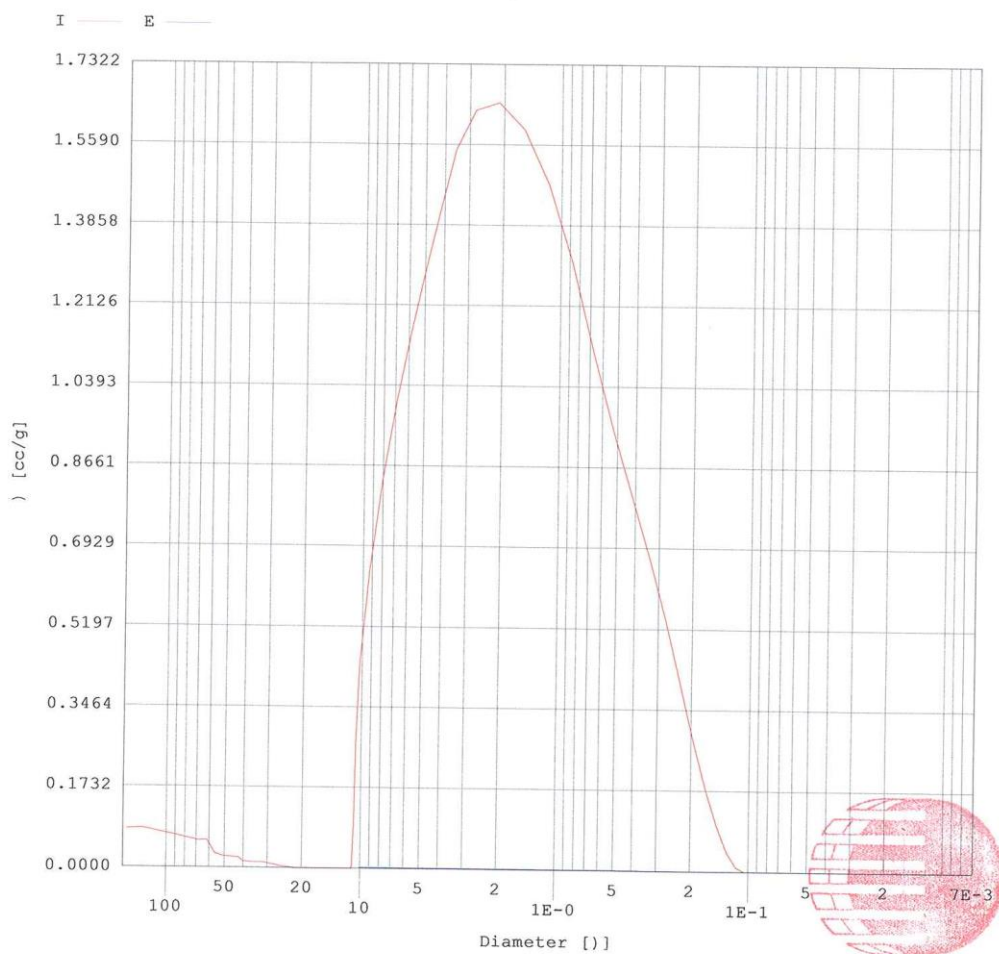
Report date: 05/07/2014

Analysis date: 04/29/2014

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

Sample ID	Filtex	File Name	S442902H_Merged
Sample Weight	0.2352 grams	Bulk Sample Volume	0.7379 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	29/4/2557		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm ²	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panita		Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 13 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของไส้กรองน้ำ Filtex

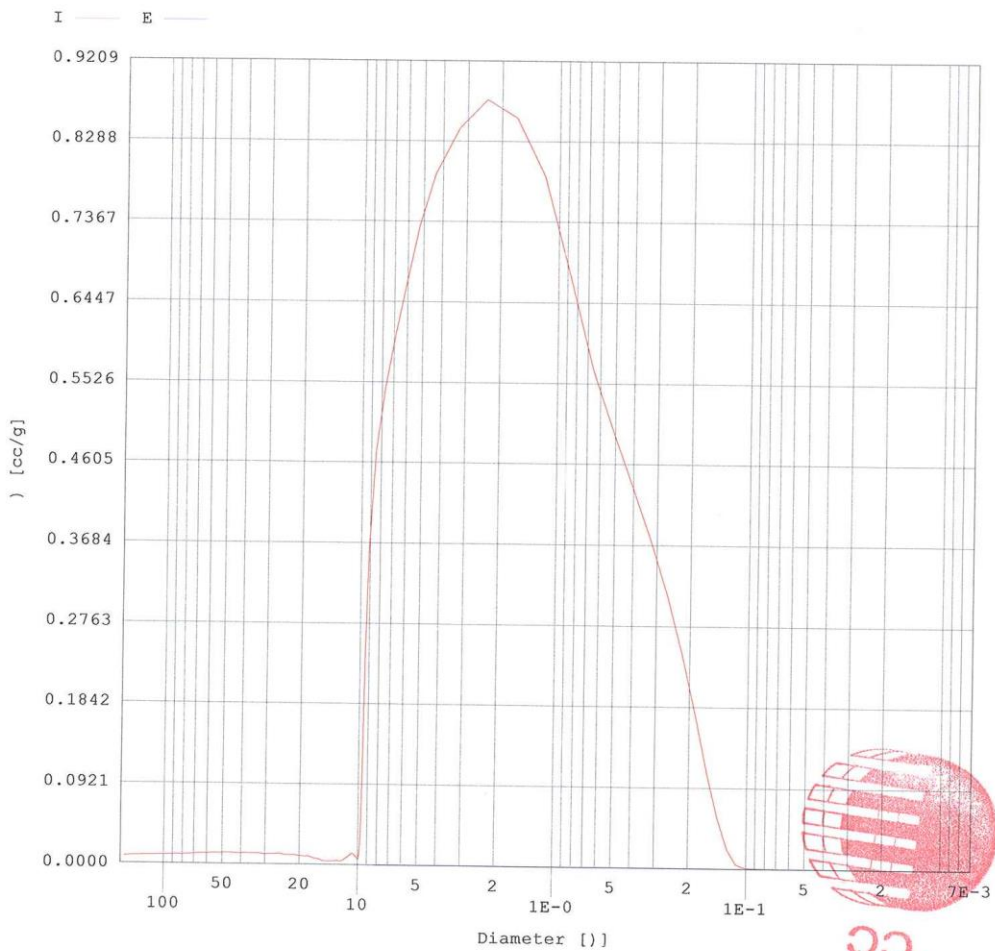
Report date: 05/07/2014

Analysis date: 04/29/2014

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

Sample ID	Mazuma	File Name	S442901H_Merged
Sample Weight	0.3029 grams	Bulk Sample Volume	0.6151 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	29/4/2557		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm ²	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panita	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 14 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของไส้กรองน้ำ Mazuma

Report date: 02/03/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ หป. 83/58

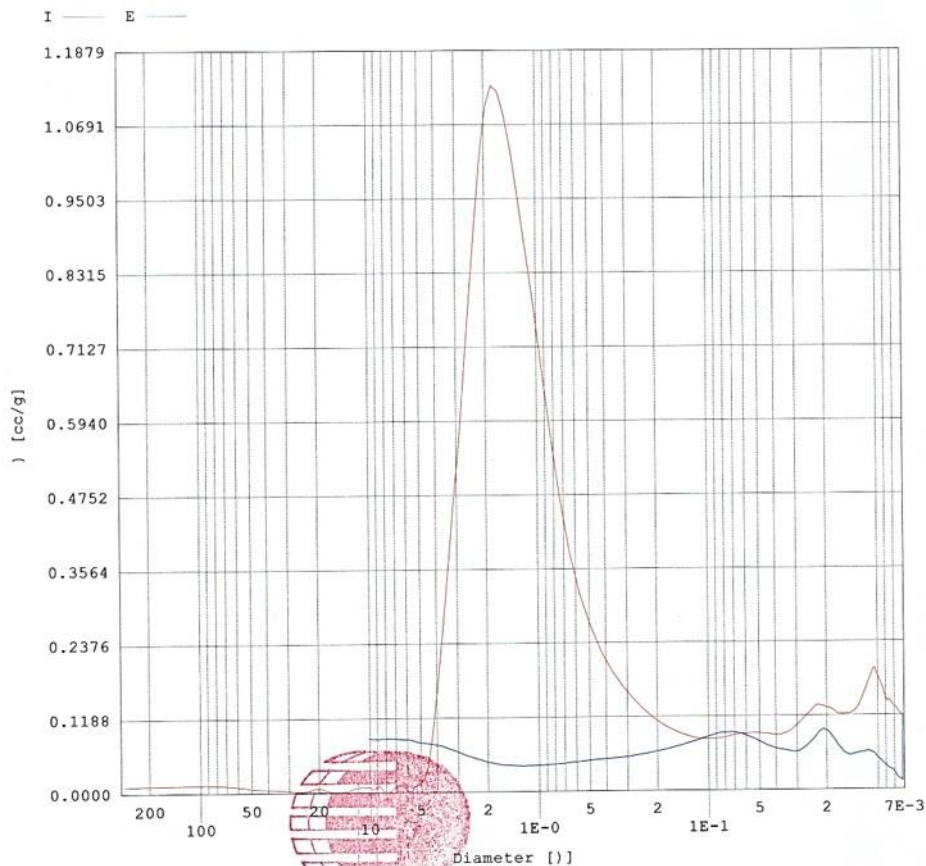
หน้า 6/22

Sample ID 15min/600C
Sample Weight 0.3088 grams
Sample Description TISTR
Comments 29/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S512901H_Merged
Bulk Sample Volume 0.4453 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 15 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 15 นาทีเผาที่ 600 องศาเซลเซียส

Report date: 02/03/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 83/58

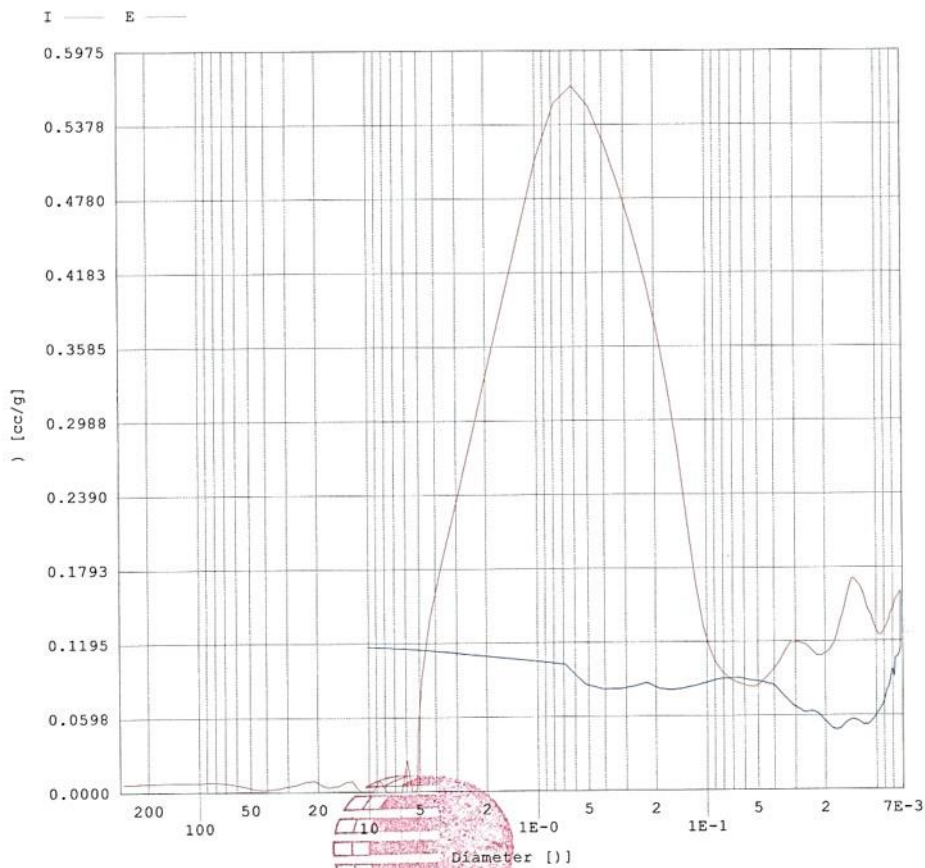
หน้า 10/22

Sample ID 30min/600C
Sample Weight 0.3231 grams
Sample Description TISTR
Comments 29/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S512902H_Merged
Bulk Sample Volume 0.4408 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๖๖.

รูปที่ 16 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเผาที่ 600 องศาเซลเซียส

Report date: 02/03/2015

Merged File

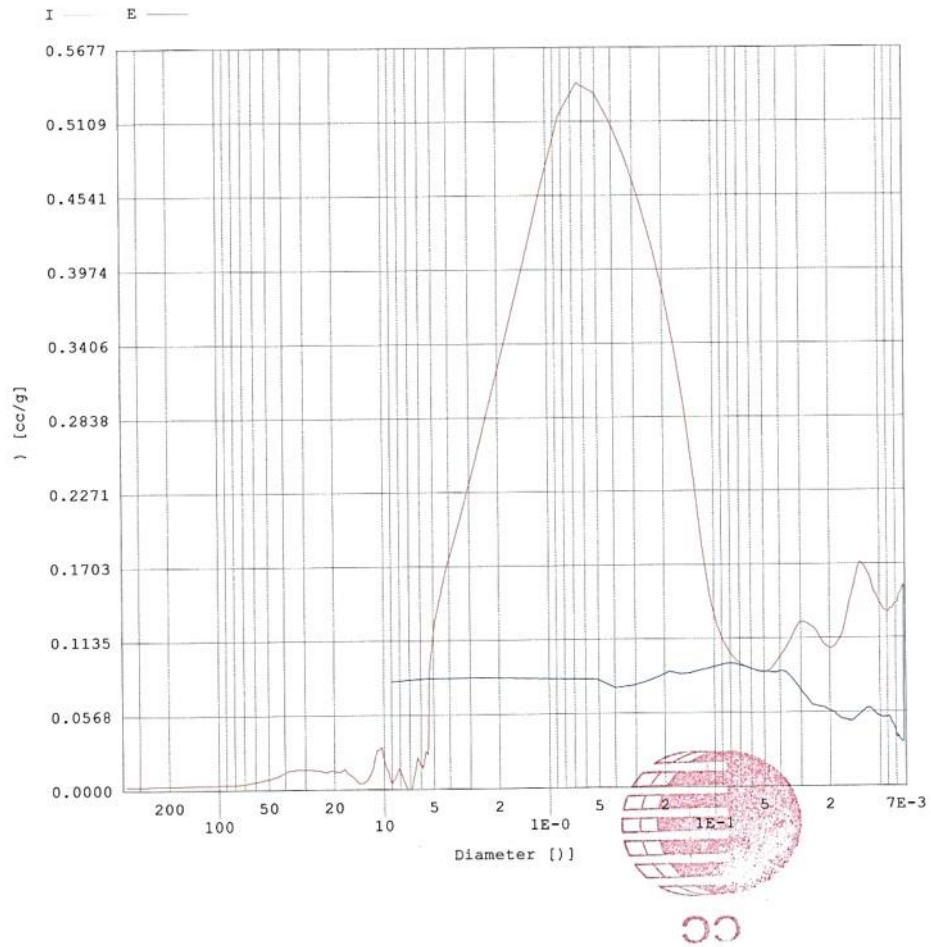
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 83/58
หน้า 14/22

Sample ID 45min/600C
Sample Weight 0.3171 grams
Sample Description TISTR
Comments 29/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S512903H_Merged
Bulk Sample Volume 0.4540 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 17 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 45 นาทีเผาที่ 600 องศาเซลเซียส

Report date: 02/11/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

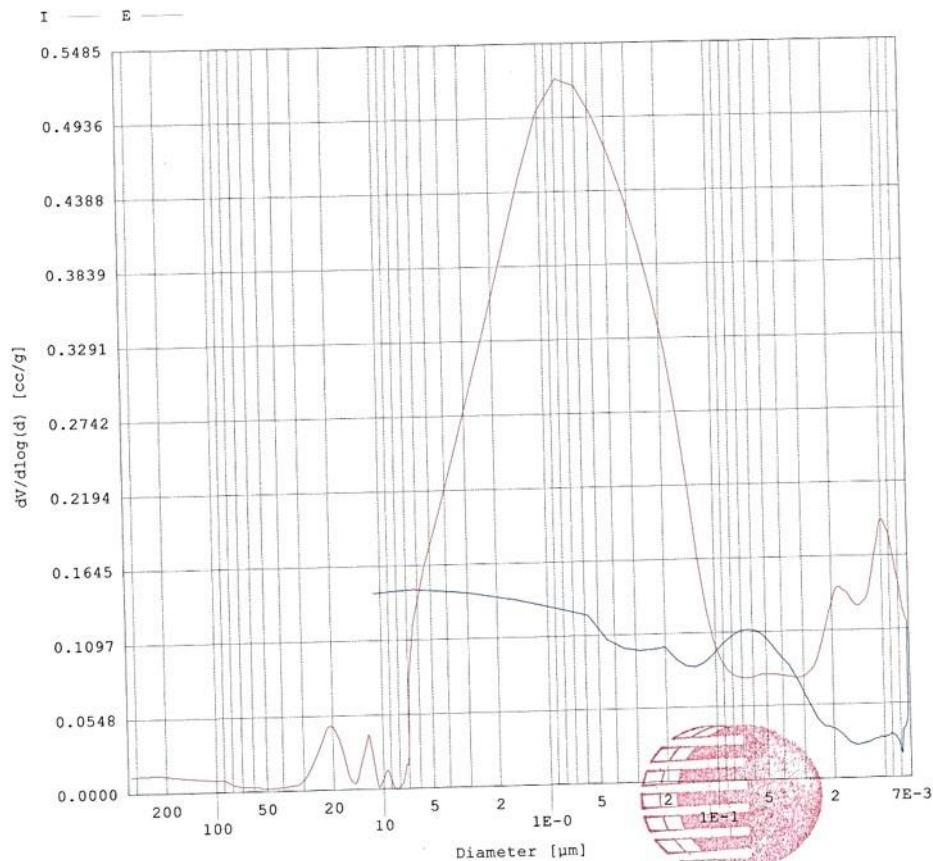
ที่ ทป. 83/58

หน้า 18/22

Sample ID 60min600C
Sample Weight 0.3618 grams
Sample Description TISTR
Comments 9/2/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S520902H_Merged
Bulk Sample Volume 0.5069 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๒๒.

รูปที่ 18 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 60 นาทีเผาที่ 600 องศาเซลเซียส

Report date: 02/03/2015

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

Merged File

ที่ ทป. 85/58

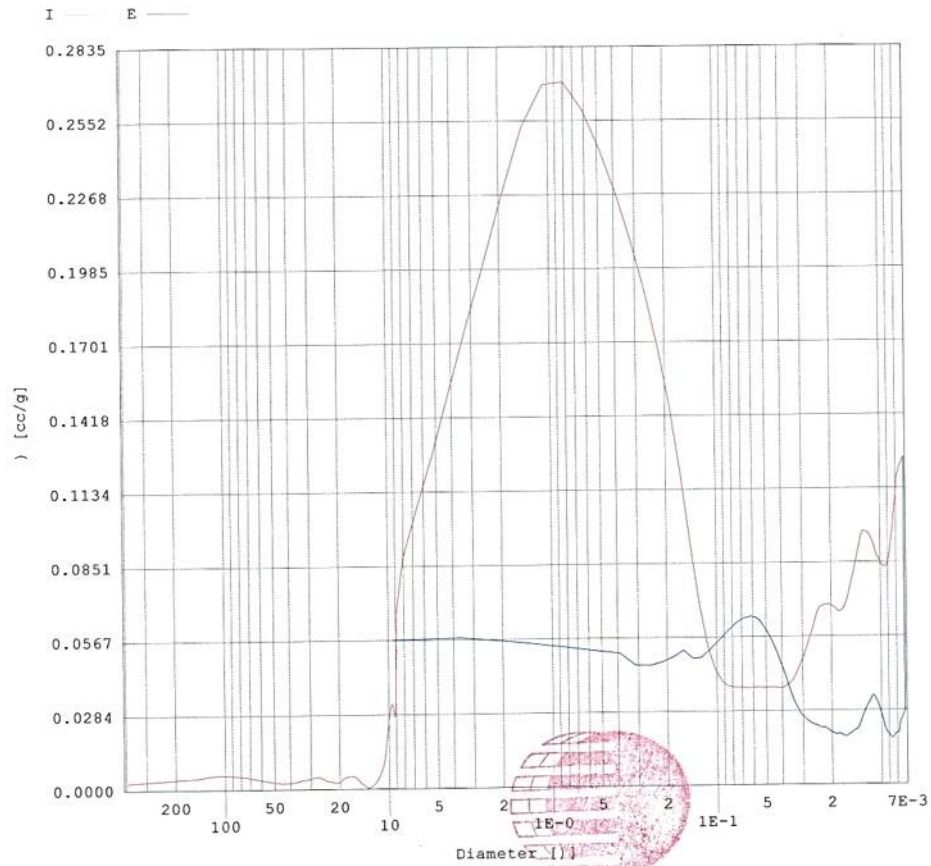
หน้า 6/18

Sample ID 15min/650C
Sample Weight 0.7131 grams
Sample Description TISTR
Comments 28/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S512803H_Merged
Bulk Sample Volume 0.5624 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๖๖.

รูปที่ 19 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 15 นาทีเผาที่ 650 องศาเซลเซียส

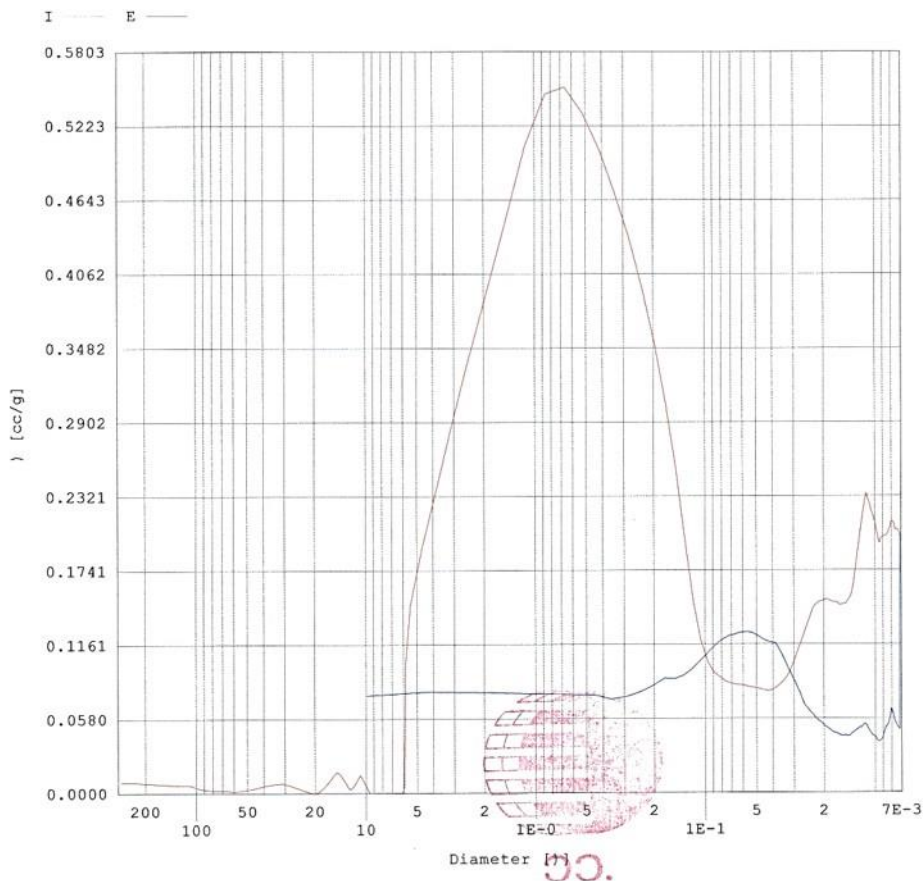
Report date: 02/12/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

Sample ID	30min/650C	File Name	S521207H_Merged
Sample Weight	0.2861 grams	Bulk Sample Volume	0.4141 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	11/2/2558		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm ²	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panita	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 20 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเผาที่ 650 องศาเซลเซียส

Report date: 02/03/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 85/58

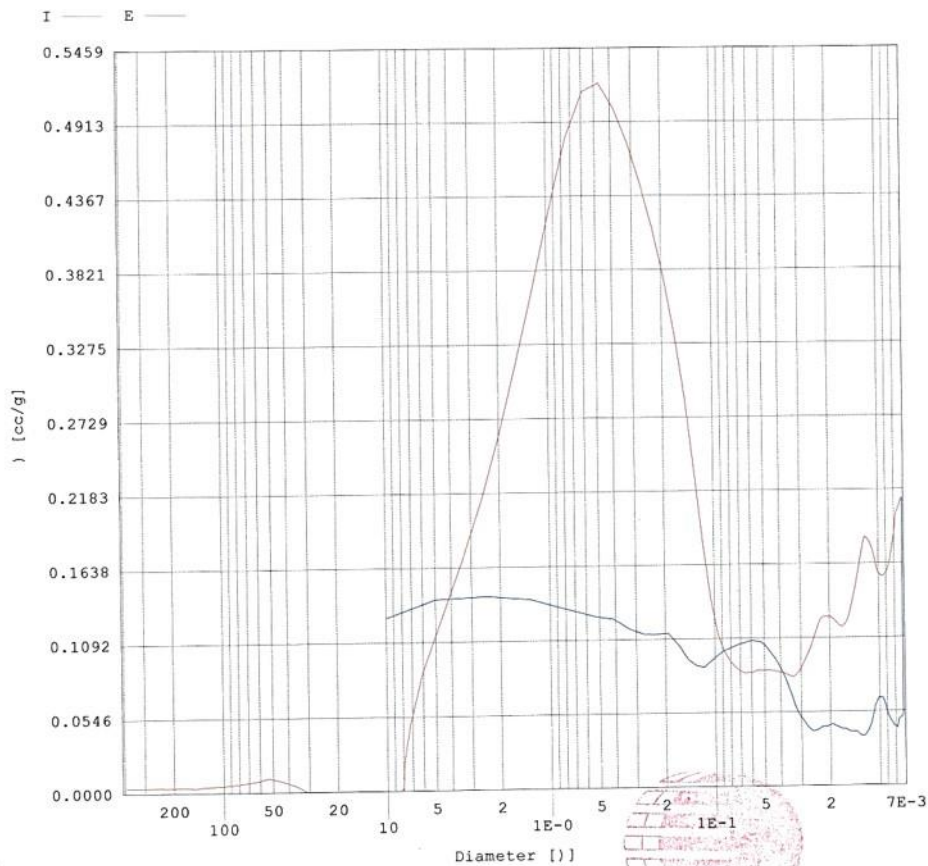
หน้า 14/18

Sample ID 45min/650C
Sample Weight 0.4119 grams
Sample Description TISTR
Comments 28/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S512804H_Merged
Bulk Sample Volume 0.5390 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๐๐.

รูปที่ 21 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 45 นาทีเผาที่ 650 องศาเซลเซียส

Report date: 02/03/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 85/58

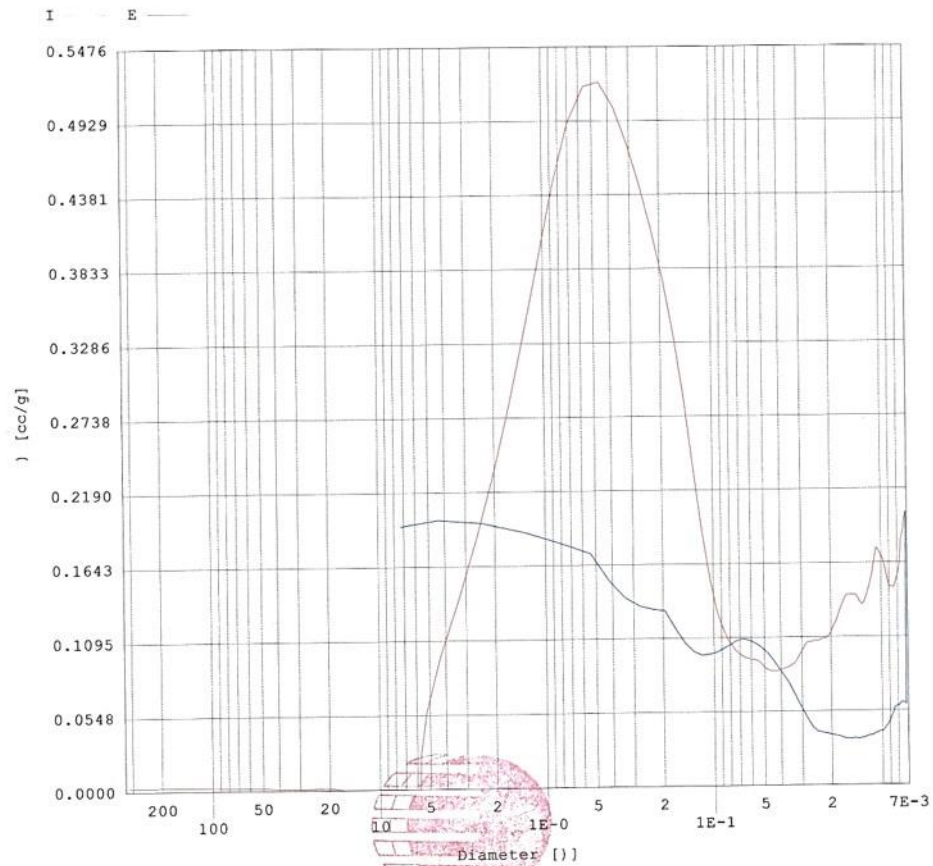
หน้า 18/18

Sample ID 60min/650C
Sample Weight 0.5399 grams
Sample Description TISTR
Comments 28/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S512802H_Merged
Bulk Sample Volume 0.6685 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๖๖.

รูปที่ 22 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 60 นาทีเผาที่ 650 องศาเซลเซียส

Report date: 01/13/2015

Analysis date: 01/13/2015

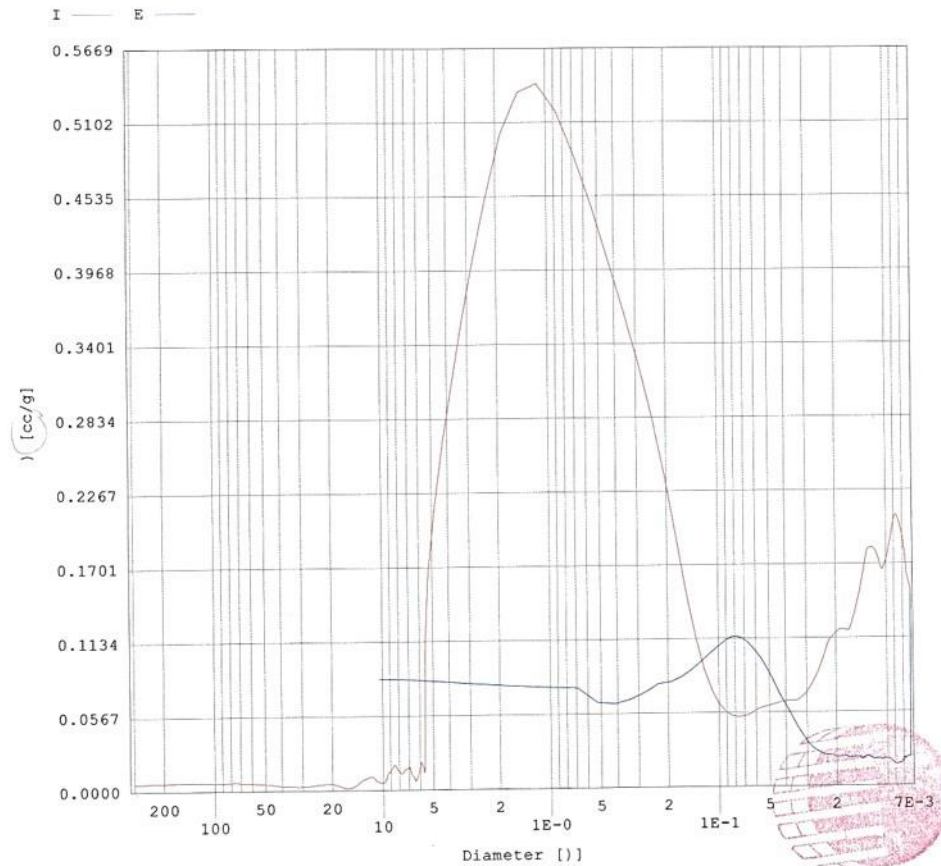
Quantachrome Instruments
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 66/58
หน้า 6/18

Sample ID 15min/700C
Sample Weight 0.4784 grams
Sample Description TISTR
Comments 13/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S511303H_Merged
Bulk Sample Volume 0.6223 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 23 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 15 นาทีเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 01/13/2015

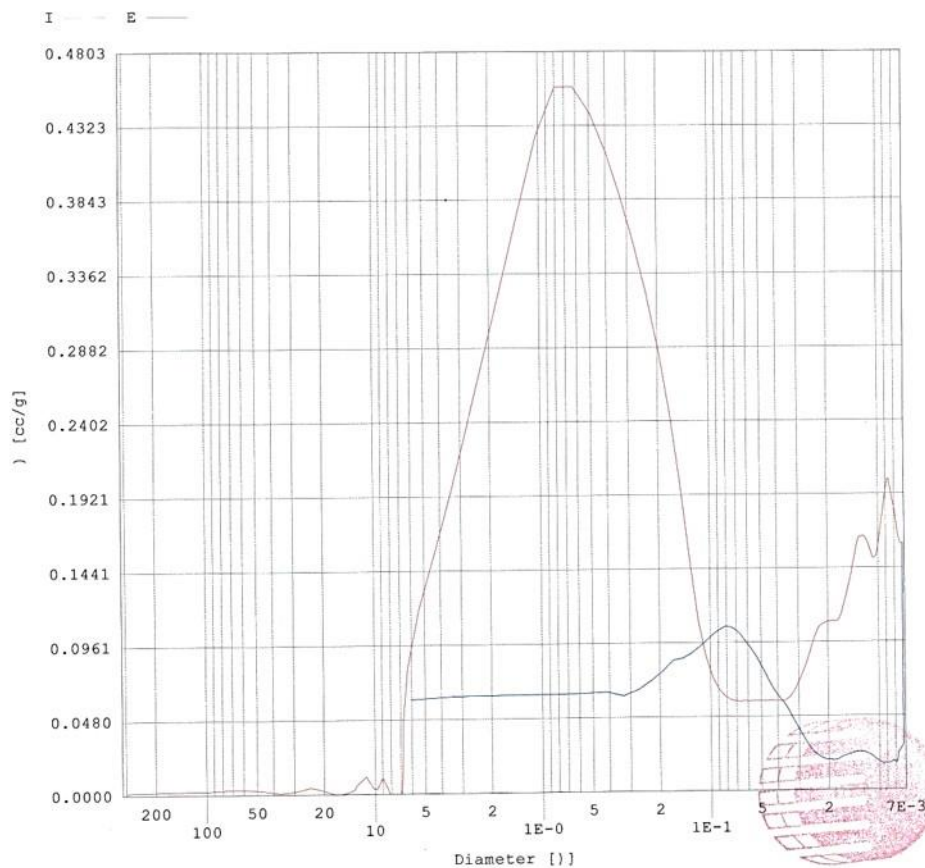
Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 66/58
หน้า 10/18

Sample ID	30min/700C	File Name	S511202H_Merged
Sample Weight	0.4894 grams	Bulk Sample Volume	0.5726 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	12/1/2558		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm ²	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



๖๖.

รูปที่ 24 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 01/13/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

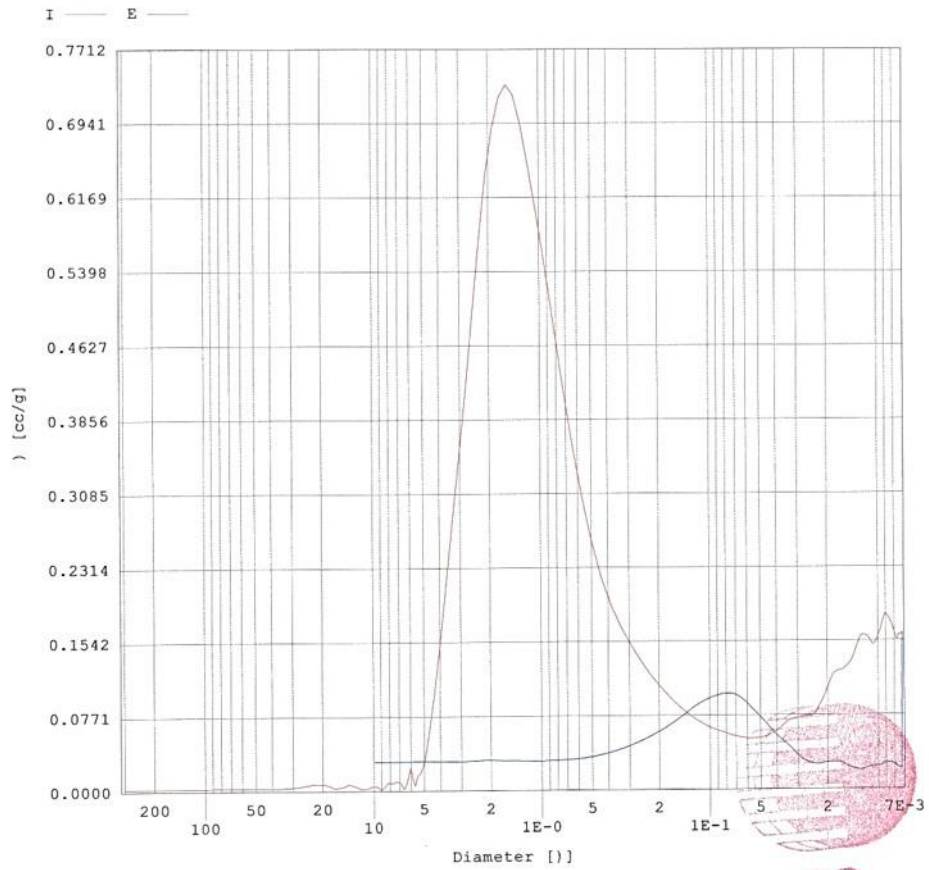
ที่ หป. 66/58

หน้า 14/18

Sample ID 45min/700C
Sample Weight 0.6447 grams
Sample Description TISTR
Comments 12/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S511201H_Merged
Bulk Sample Volume 0.7311 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 25 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 45 นาทีเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 01/13/2015

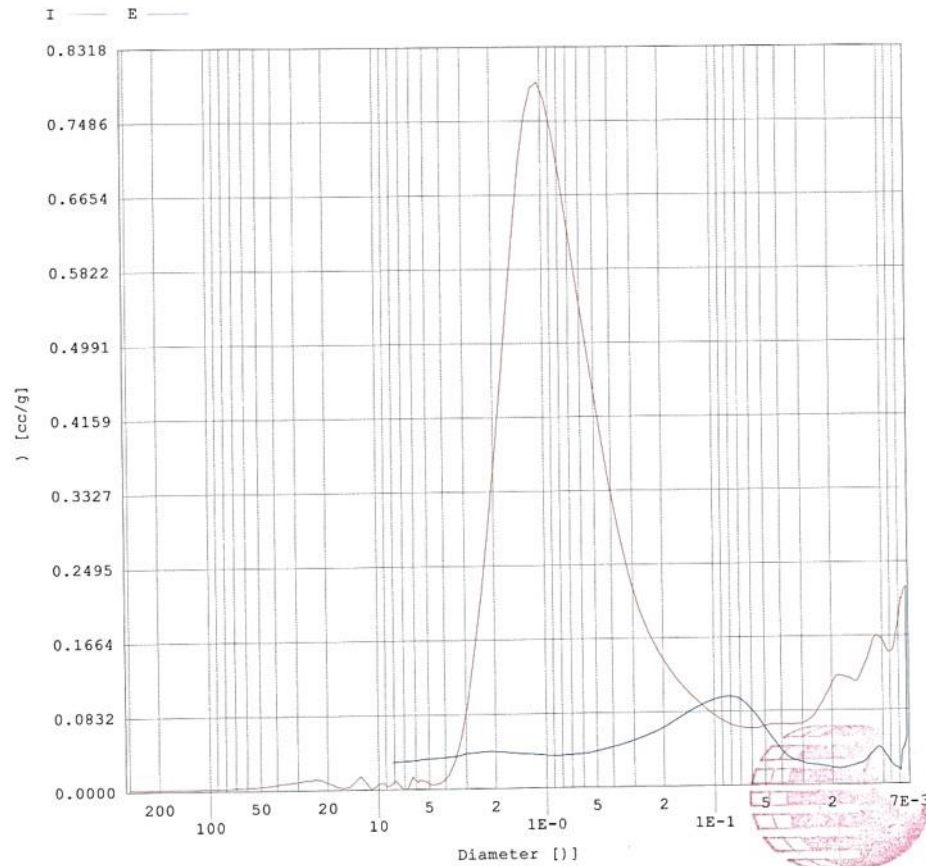
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

Merged File
ที่ทป. 66/58
หน้า 18/18

Sample ID 60min/700C
Sample Weight 0.4894 grams
Sample Description TISTR
Comments 13/1/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S511301H_Merged
Bulk Sample Volume 0.5545 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๖๖.

รูปที่ 26 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 60 นาทีเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 02/11/2015

Merged File

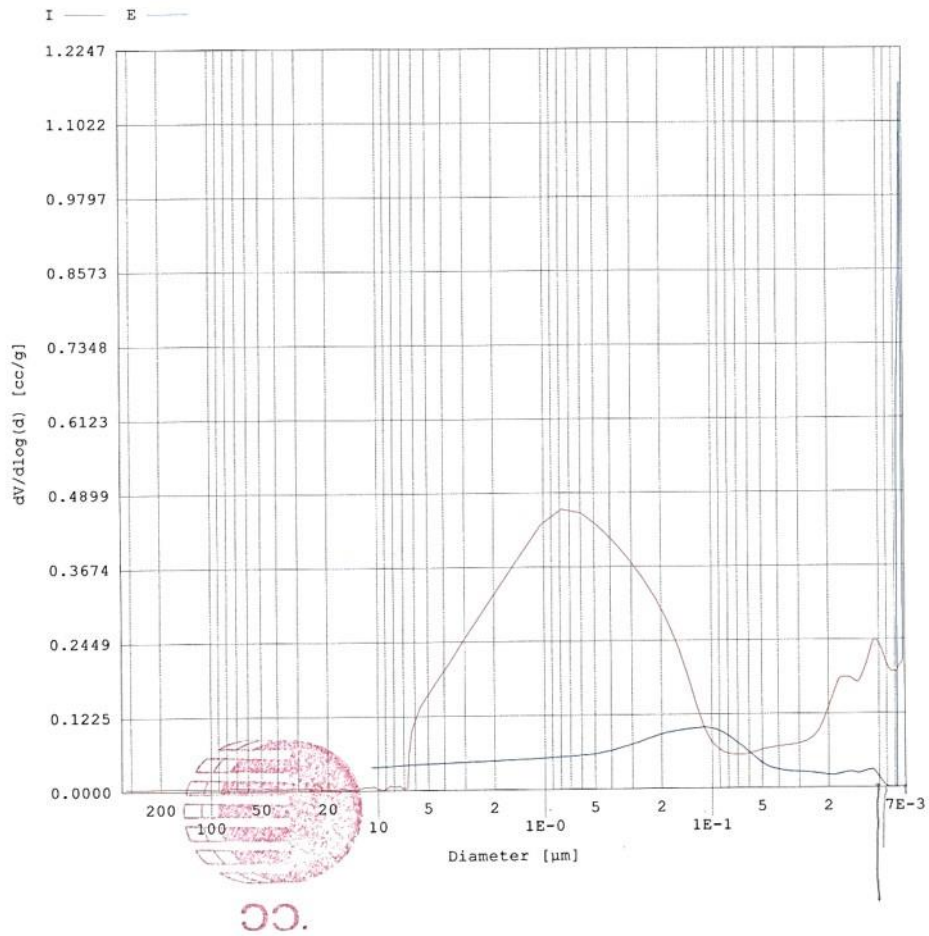
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 86/58
หน้า 6/18

Sample ID 15min/750C
Sample Weight 0.3573 grams
Sample Description TISTR
Comments 10/2/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S521001H_Merged
Bulk Sample Volume 0.4374 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 27 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 15 นาทีเผาที่ 750 องศาเซลเซียส

Report date: 02/11/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

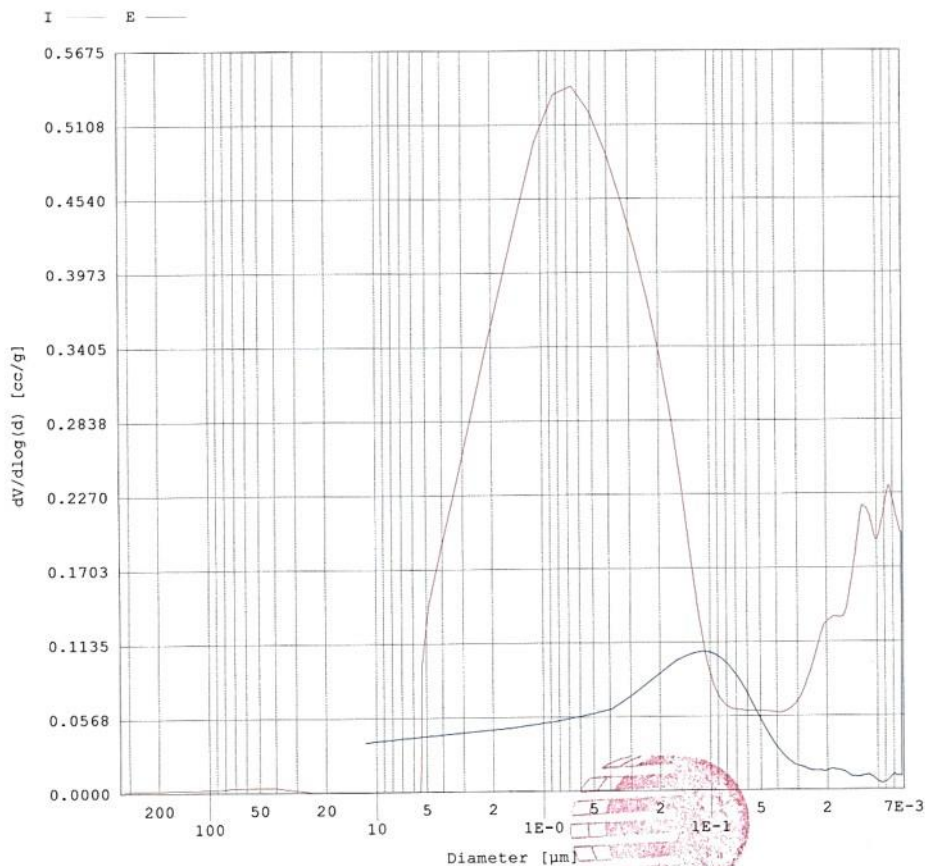
ที่ หป. 86/58

หน้า 10/18

Sample ID 30min/750C
Sample Weight 0.4124 grams
Sample Description TISTR
Comments 10/2/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S521002H_Merged
Bulk Sample Volume 0.5611 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



CC.

รูปที่ 28 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/ ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 30 นาทีเผาที่ 750 องศาเซลเซียส

Report date: 02/11/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

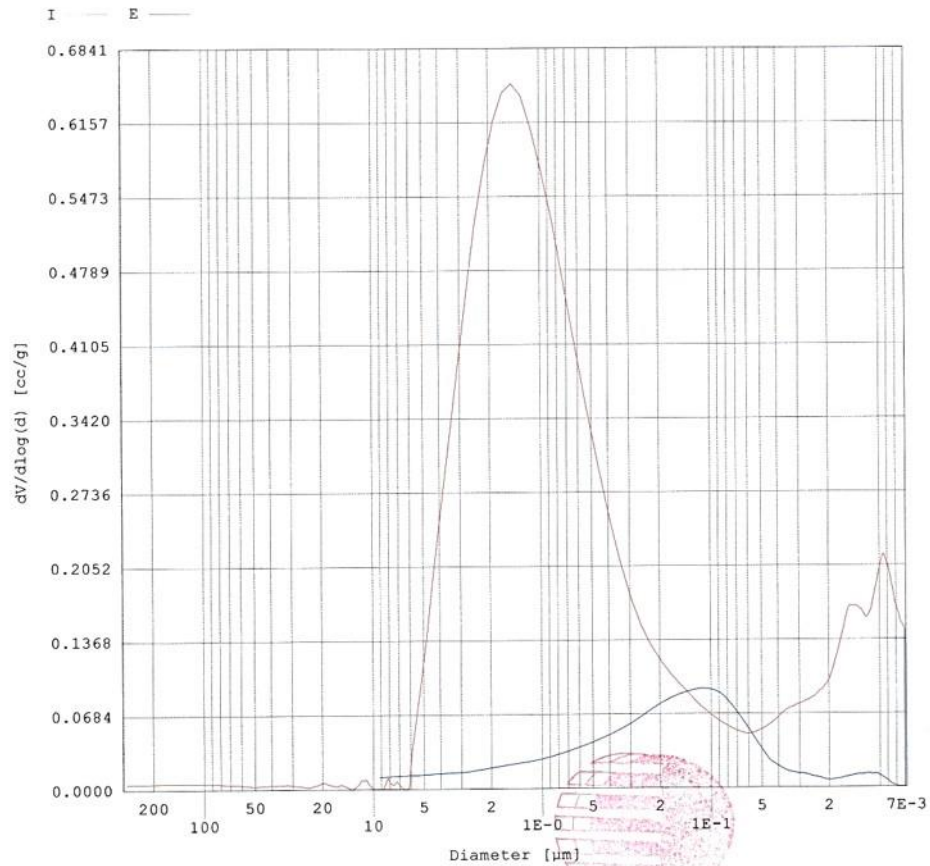
ที่ ทป. 86/58
หน้า 14/18

Sample ID 45min/750C
Sample Weight 0.4059 grams
Sample Description TISTR
Comments 10/2/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S521004H_Merged
Bulk Sample Volume 0.5074 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



๖๖.

รูปที่ 29 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/
ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 45 นาทีเผาที่ 750 องศาเซลเซียส

Report date: 02/11/2015

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 86/58

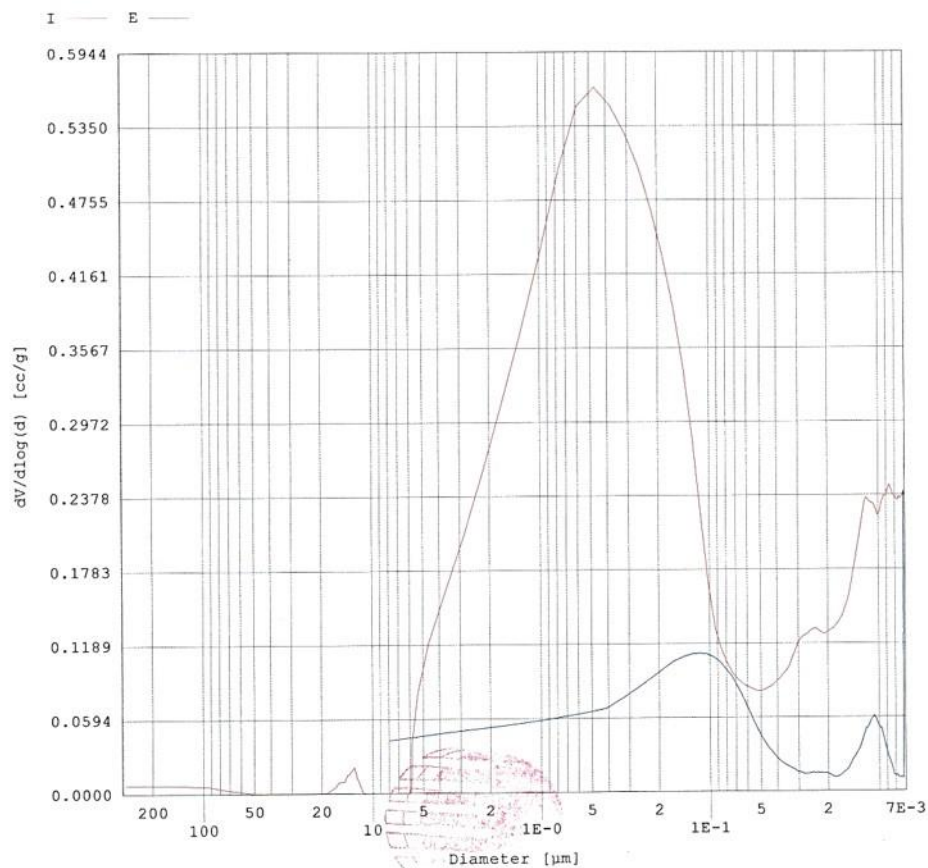
หน้า 18/18

Sample ID 60min/750C
Sample Weight 0.2419 grams
Sample Description TISTR
Comments 10/2/2558
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panita

File Name S521005H_Merged
Bulk Sample Volume 0.3374 cc

Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ 30 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของชิ้นงานตัวอย่างเซรามิกเชิงประกอบของถ่านกัมมันต์/
ซีโอไลต์/ซิงก์ออกไซด์ ที่เตรียมจากบดผสมน้ำสลิป 60 นาทีเผาที่ 750 องศาเซลเซียส

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนากร เทพามาตย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 เข้าทำงาน ตำแหน่งพนักงานบริการวิทยาศาสตร์ ที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2555 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2560

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

9-11 มิถุนายน 2560 Asia Conference on Mechanical and Materials Engineering (ACMME 2017) at University of Tokyo, Tokyo, Japan (Oral presentation)

14-15 ธันวาคม 2559 International Conference on Materials Science and Technology (MSAT9) at Swissotel Le Concorde Bangkok (Poster presentation, Best poster award)

15-16 ธันวาคม 2557 International Conference on Materials Science and Technology (MSAT8) at Swissotel Le Concorde Bangkok (Oral presentation)

11-13 กันยายน 2556 International Conference on Traditional and Advanced Ceramics ICTA2013 at Bitec Bangna, Bangkok, Thailand (Poster presentation)

การตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ

1 Tepamat, T., M. Mongkolkachit, and T. Wasanapiarnpong. 2012. SYNTHESIS OF ZEOLITE NaA AND ACTIVATED CARBON COMPOSITE FROM RICE HUSK. Suranaree J. Sci. Technol 21: 119-123.

2 Tepamat, T., et al. 2014. Preparation of Activated Carbon and Zeolite NaA Composites from Rice Husk Charcoal for Water Filtration. Key Engineering Materials 608: 241-246.

3 Tepamat, T., et al. 2015. Fabrication of Zeolite Na-A and Activated Carbon Composites by Slip Casting for Drinking Water Filtration. Key Engineering Materials 659: 299-303.